

Perakendecilikte Transfer Problemi

A101 Yeni Mağazacılık A.Ş.

Proje Ekibi

Mert Çınar
Beril Beliz Derman
Deniz Emre
Mert Öyken
Aslan Soyal
Pelin Terzioğlu

Endüstri Mühendisliği
Bilkent Üniversitesi
06800 Ankara

Şirket Danışmanı

Gürhan Özesenli
A101 Yeni Mağazacılık A.Ş., Bilgi Sistemleri Uzmanı

Akademik Danışman

Yrd. Doç. Dr. Firdevs Ulus
Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

A101, mağazalardaki ürünlerin stokta bulunmama durumunu engellemek için mağazalar arası transferler gerçekleştirmektedir. Proje amacı mağazalar arasındaki transferleri sistematik hale getirmek, ürünlerin stokta bulunmama durumunu azaltmak ve bu doğrultuda satışları arttırmaktır. Projenin sonucunda, belirli bir bölge içerisinde, günlük transfer rotası ile uğranılan mağazalardan alınacak ve mağazalara bırakılacak ürün isimleri ve miktarlarını veren kullanıcı dostu bir karar destek sistemi oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Mağazalar Arası Transfer, Karar Destek Sistemi, Sezgisel Algoritma, Envanter Dengeleme, Eşzamanlı Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemi

1. Şirket Tanıtımı

A101 Yeni Mağazacılık A.Ş. 2008 yılında kurulmuştur ve “hard discount” perakendecilik sektöründe faaliyet göstermektedir. Kaliteli gıda ve tüketim malzemelerini düşük fiyatlarla tüketiciye ulaştırma prensibiyle çalışan A101'in merkez ofisi İstanbul'da olup, 6000'den fazla şubesi, 37 lojistik aktarma deposu, 25000'den fazla çalışanı ve 20 farklı ürün grubundan 1000'i aşkın aktif ürün çeşidiyle müşterilerine hizmet vermektedir.

2. Proje Tanıtımı ve Mevcut Sistem Analizi

2.1 Proje Kapsamı

Proje kapsamında iki adet bölge seçilmiştir. Bu bölgelerden biri pilot bölge olarak diğeri ise kontrol bölgesi olarak atanmıştır. Projenin başlangıç noktası olarak A101 tarafından seçilen sekiz mağazadan oluşan pilot bölgenin satış verileri ve transfer bilgileri incelenmiştir. Soğuk zincir ürünleri ve spot ürünler şirketin isteği üzerine proje kapsamından çıkartılmıştır. Proje kapsamında incelenen mağaza gruplarında transferler sadece bir araç kullanılarak yapılmaktadır. Pilot bölge üzerinde yapılacak olan transfer iyileştirmesi çalışması için, A101 şirketi tarafından, bölgedeki güncellenen bilgiler dahilinde yedi mağaza ve 53 ürün çalışma için seçilmiştir. Şirket tarafından sağlanan veriler; pilot bölgedeki mağaza isimleri, mağazalardaki ürünlerin isimleri, kod bilgileri, güvenlik envanter seviyeleri, kâr marjları ve günlük talep tahminleri, ürünlerin taşındığı koli hacimleri ile koli içindeki ürün adetleri, mağazalar arasındaki yol mesafeleri, her ürünün her mağazadaki gün sonu envanter seviyeleri ve satış miktarlarını içermektedir. Proje kapsamında kullanılan bu verilerle, günlük yapılacak transfer rotası ile birlikte bölgede bulunan mağazalardan alınarak taşınması yapılması gereken ürünler ve miktarları ayrıca taşınan ürünlerin hangi mağazaya ne kadar miktarda bırakılacağını gösteren bir karar destek mekanizması oluşturulmuştur.

2.2 Mevcut Sistem Tanımı

A101, Türkiye genelinde 6000'i aşkın sayıdaki mağazalarını, her birinde ortalama yedi mağaza bulunacak şekilde “bölge” adı altında gruplandırarak çalışmaktadır. Birbirine mesafe olarak yakın olan mağazaların bir araya gelmeleri ile oluşan bu bölgelerin her birinden sorumlu bir bölge sorumlusu bulunmaktadır. Her bir bölge, görev ve sorumlulukları itibarıyla A101 yönetimine bağlı olsa da, kendi bütçesine sahiptir. A101 için ana performans göstergelerinden biri, satışı yapılan aktif ürünlerin stokta bulunmaması durumudur. Bölgelerdeki mağazalar bağlı bulundukları ana depoya haftada üç kere sipariş verebilme hakkına sahiptir. Ancak ana depodan teslim alınan siparişlere rağmen ürünlerin stokta bulunmama durumu yaşandığında, bölge sorumlusu mağazalar arasında ürün taşınması yapmaktır.

2.3 Mevcut Sistem Analizi

A101'in ana performans göstergelerinden biri olan ürünün stokta bulunamaması durumunu en aza indirmek için, bölge sorumluları şirketin kendilerine tahsis ettiği araç ile kendi bölgeleri içindeki mağazalar arasında taşıma gerçekleştirirken, taşıma güzergâhına ve taşınacak/teslim edilecek ürün miktarlarına kendilerinin karar vermesi, mevcut sistemin öznelliğini göstermektedir. Bunun sonucunda, taşınması yapılan ürünlerden elde edilecek kârın taşıma sırasında oluşan yol masrafı ile kaybolması ya da taşınması yapılan ürünlerin alındıkları mağazalarda stokta kalmaması sorunları oluşabilmektedir.

3. Problem Tanımı

3.1. Belirtiler ve Şikayetler

Mevcut durum analizinde, mağazalar arası transferler incelenmiştir. İncelemeler sonucunda problem, transferlerin sistematik olmaması olarak saptanmıştır. Saptanan problem, yüksek maliyetlere yol açmaktadır. Bölge sorumlusu ürünlerin taşıma planını yaparken ürünlerin envanter seviyelerini manuel olarak kontrol etmekte ve transfer rotasını buna göre şekillendirmektedir. Buna ek olarak verilen bir zaman dilimindeki güncel envanter seviyeleri bölge sorumlusu tarafından bilinmemektedir. Bölge sorumlusunda güncel envanter bilgilerinin bulunmaması, ürün transferi kararlarını etkilemektedir. Örneğin, bölge sorumlusu gün içerisinde bir mağazaya ürün bırakmak ya da ürün almak amacıyla birden fazla kez gitmektedir. Bu durum, transfer masrafını artırmaktadır. Ayrıca bu transferler kayıp satışlara da sebep olabilmektedir.

3.2. Literatür Taraması

Bir veya birkaç depodan, belirli müşterilere ürün dağıtımı veya toplanması Araç Rotalama Problemi olarak tanımlanmaktadır. Bizim probleminiz ise araç rotalama probleminin genişletilmiş versiyonu olan Eşzamanlı Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemi (ETD_ ARP) ile benzerlik göstermektedir. Literatürde iki aşamalı çözülen ETD_ ARP örnekleri vardır (Gillett vd. 1974 ve Tiacci vd. 2013). Örneklerde birinci aşama rotaların, ikinci aşama ise dağıtım miktarlarının belirlenmesidir. Bu problemde de araç kapasitesi, talep dengesi gibi kısıtlar incelenmektedir (Kalantari vd. 1985). Bizim modelimiz iki aşamalı sistemi takip etmektedir. Literatürde incelenen makaleler genellikle tek ürün taşınmasını ele almıştır. Bu çalışmalarda mağazalar arası taşımaların genel olarak “en yakın lokasyon, kâr marjı, envanter dengeleme” gibi karar değişkenlerine bağlı olduğu görülmüştür (Axsater, 2003 ve Banerjee, 2003).

4. İzlenen Yöntem ve Uygulamaları

Projede çözülmesi gereken problem, periyodik gözden geçirme (periodic review) kapsamında proaktif bir yanıl aktarma (proactive lateral transshipment) problemidir. Çözüm modeli, Problem 1 ve Problem 2 olmak üzere iki kısma

ayrılmıştır. Problem 1 rota oluşturmak için kullanılır. Problem 2 ise dağıtımın matematiksel modelidir. Problem 1 ve 2'den oluşan çözüm sistemi farklı şekillerde kullanılabilir. Bunun dışında alternatif çözüm yöntemi olarak iki adet sezgisel yöntem geliştirilmiştir.

4.1. Rota Oluşturma Modeli (Problem 1)

Çalışılan bölgede bulunan tüm mağazalar arasında, her mağazaya bir kez uğrama koşulu göz önünde bulundurularak olası tüm rotalar çıkarılmıştır. Bunun için, Microsoft Excel platformunda Visual Basic programlama dili kullanılarak kodlama yapılmıştır. Rota oluşturmak için kullanılan mağazalar arası mesafe şirket tarafından sağlanmıştır. Olası tüm rotalar toplam uzunlukları bakımından küçükten büyüğe sıralanmaktadır. Ayrıca, taşıma işlemlerinde kullanılan aracın kilometre başına 0,5 TL yakıt masrafı olacağı varsayılarak her rota için yol masrafı da hesaplanmaktadır. Problem 1 adı ile kullanılan rota oluşturma modelinden gelen rota bilgisi ve kullanılan rotanın yol masrafı, Problem 2 için girdi olarak kullanılacaktır.

4.2. Dağıtım Belirleme Matematiksel Modeli (Problem 2)

Problem 2 adı ile kullanılan dağıtım belirleme matematiksel modeli, Problem 1 den gelen rotaları girdi olarak kullanır. Her rota için, uğranılan her mağazadan, hangi üründen ne miktarda alınacağına ve her mağazaya hangi üründen ne kadar bırakılacağına karar vermektedir. Bu modelin amaç fonksiyonu kârı arttırmaktır. Amaç fonksiyonu, mağazalara bırakılacak olan ürünlerin kâr marjı ve Problem 1'den gelen rotanın yol masrafını göz önüne alır. Bu model Problem 1'den gelen bütün rotaları kullanarak oluşturulan çözümlerin amaç fonksiyonlarının değerini karşılaştırır ve en iyi olan çözümü ortaya çıkarır. Modelin karar değişkenleri, parametreleri, amaç fonksiyonu, kısıtları ve kısıtların açıklamaları Ek-1'de tanımlanmıştır.

4.3. Problem 1 ve 2 için Kullanım Önerileri

Önerilen sistem aracın takip edeceği rota ile her mağaza için alınacak ve bırakılacak ürün miktarlarını belirlemektedir. Bu sistem için verilen ilk öneri Problem 2'yi olası tüm rotalara göre çözerek amaç fonksiyonu değerlerine göre en yüksek değeri veren rotanın seçilmesidir. Bu çözüm sonucunda en yüksek kârı getiren rota belirlendikten sonra, bu rota üzerinde seyreden aracın doluluk oranı incelenmiştir. Aracın doluluk oranına göre farklı çalışmalar yapılabilir. İlk olarak, eğer araç neredeyse bütün rota boyunca kapasitesinin tamamına yakını kullanıyorsa, ilk rotaya ek olarak ikinci bir tur atması önerilebilir. Bu durumda ikinci tur için ilk rotadan sonra tüm mağazalar için güncellenmiş envanterleri kullanarak Problem 2 tekrar çözülür ve ikinci tur için yeni bir rota elde edilebilir. Bahsedilen ikinci tur, ilk turdan farklı olarak tüm mağazaları içermek zorunda değildir. Diğer yandan, eğer araç birinci tur boyunca belirli bir miktarın altında doluluk oranı ile taşıma yapıyorsa, mağazalar

için beklenen talep tahmini 2 gün için yapılabilir. Bu sayede aracın doluluk oranı artırılarak mağazaların stokta olmama durumuna düşmeleri azaltılabilir.

4.4. Sezgisel Yöntem 1

Matematiksel modele ek olarak iki farklı sezgisel yöntem geliştirilmiştir. Sezgisel Yöntem 1’de uğranacak mağazalar, mağazalardan alınabilecek ürünlerin toplam sayısına bağlı olarak azalan şekilde sıralanmaktadır. Bu sıralama yapılırken, bahsi geçen toplam alınabilecek ürün sayısı, bakılan mağazanın o gün için tahmin edilen satışının ve güvenlik envanterinin, o gün için sistemde görülen envanter miktarından çıkarılmasıyla elde edilmektedir. Her ürün için ayrı ayrı hesaplanan bu fazlalığın toplam miktarı, o mağazanın rotada hangi sırada bulunacağını belirler. Ürünlerin taşınmak amacıyla araca eklenmesi işleminde, ürünler metreküp kâr marjı sırasına göre azalan sırada olmak üzere bakılarak araca alınır. Araç birinci mağazadan yola çıkarken öncelikle rotasındaki ikinci mağazanın ihtiyaçlarını aracın kapasitesine ve kendi fazlalık miktarına uygun olarak doldurur. Bahsedilen ihtiyaç, her ürün için ikinci mağazanın envanter miktarının; o ürünün güvenlik envanterinin ve tahmin edilen satışının toplamından az olduğu durumda aradaki fark olarak hesaplanmaktadır. İkinci mağazanın ihtiyaçları araca doldurulduktan sonra eğer aracın kapasitesi tam dolu değilse, üçüncü mağazanın ihtiyaçları aracın kalan kapasitesine uygun olarak eklenir. Aynı işlem rotadaki diğer mağazalar için de gerçekleştirilir. Yola çıkan araç ikinci mağazanın ihtiyaçlarını bıraktıktan sonra buradan kapasitesindeki uygunluğa göre üçüncü mağazadan bakmaya başlayarak, rotadaki diğer mağazaların ihtiyaçlarını araca alır. Aynı işlem bütün rotadaki mağazaların ziyareti bitene kadar devam eder. Sezgisel Yöntem 1, Excel VBA aracılığıyla kodlanıp çalıştırılmıştır.

4.5. Sezgisel Yöntem 2

Sezgisel Yöntem 2’de uğranacak mağazalar, mağazalara bırakılabilecek ürünlerin toplam sayısına bağlı olarak artan şekilde sıralanmaktadır. Başka bir ifadeyle, rotada mağazaların sıralaması toplam ihtiyacı en az olan mağazadan en fazla olan mağazaya doğru yapılmıştır. Mağazaların ihtiyaç ve fazlalık durumları, Sezgisel Yöntem 1’de açıklandığı gibi hesaplanmıştır. Rota belirlendikten sonra, ürünlerin dağıtım miktarları Sezgisel Yöntem 1’deki mantıkla aynı şekilde belirlenmektedir. Bu yöntem Excel VBA aracılığıyla kodlanıp çalıştırılmıştır.

4.6. Denemeler

İlk olarak Problem 2 Xpress’te kodlanmıştır. Kodu test etmek, çözüm zamanını ve sonuçları gözlemlemek için denemeler yapılmıştır. 8 mağaza ve her mağaza için aynı 3 ürün belirlenmiş; ürünlerin mağaza açılışı öncesindeki envanter miktarları, güvenlik envanterleri ve talep tahminleri henüz data olmadığı için rastgele sayılar kullanılarak sabitlenmiştir. Problem 1 çözümünden

ıkan en kısa mesafeli 20 rota için Problem 2 özölmüştür. En yüksek amaç fonksiyonunu veren rota ve toplama dağıtma önerisi çözüm olarak alınmıştır.

A101'in aktif ürün sayısı 1000 adetten fazla olduğu için ve Xpress'te değişken sayısı limiti aşılabacağından, daha yüksek kapasiteli bir program olan IBM ILOG CPLEX OPTIMIZATION STUDIO Programı (OPL) kullanılmaya karar verilmiştir. Java Eclipse, CPLEX kütüphanesi ile birlikte kullanılarak problem kodlanmıştır. Şirketin göndereceği gerçek veri bilgilerini otomatik işlemek için de, MS Office bilgilerini okuma ve yazma işlevlerini yapabilen Apache POI kullanılmıştır. Program, 8 mağaza ve 10 ürün için, her ürünün her mağaza için mağaza açılışından önceki envanteri, güvenlik envanteri ve talep tahminleri rastgele atanmak üzere üç farklı veri kümesi için özölmüştür. Ayrıca bu üç veri seti kendi içinde de en kısa mesafeli ilk 20, ilk 50 rota ile olası tüm rotalar için ayrı ayrı özölmüştür. Hedef, Problem 1 ve Problem 2 ile verilen modelin farklı sayıda rota ile çalıştırılmasının amaç fonksiyonunu nasıl değiştireceğini gözlemlemektir. Böylece rota seçiminin etkisi gözlenebilecektir. Rastgele oluşturulmuş farklı girdi değerleri kullanılarak bu gözlemin doğrulaması yapılabilecektir. Sonuçlar incelendiğinde program çalıştırılırken kullanılan rota sayısındaki artışın amaç fonksiyonunu %0,07 ile %0,13 aralığında iyileştirdiği, ancak programın çalışma zamanını %80 ile %96 değerleri aralığında arttırdığı gözlenmiştir (Ek-2). Gerçek uygulama planındaki ürün sayısı artacağından ve programın çalışma zamanı önemli olduğundan dolayı 20 rota ile çalışmak uygun bulunmuştur.

Xpress ve Java CPLEX ile modelin özölmesi ve doğrulanması yapılmış olmakla birlikte, Xpress ve Java Eclipse CPLEX lisanslı programlardır. Şirketin yararı için, ekstra bir maliyet karşılığında kullanılabilen programlar yerine ücretsiz kullanılabilecek alternatif bir program olan Excel OpenSolver eklentisi kullanılmaya karar verilmiştir. Modelin OpenSolver'a uyarlaması yapıldıktan sonra, Java CPLEX'teki girdiler kullanılarak 20 rota için sonuçlar özdürölerek model doğrulanmıştır.

4.7. Uygulama Aşaması

10.04.2017 ve 28.04.2017 tarihleri arasında günlük olarak uygulama yapılmıştır. Çalışılan bölgedeki mağaza sayısı yedidir. Şirket tarafından belirlenen 53 ürün ile çalışılmıştır. Her ürünün güvenlik envanter sayısı şirket tarafından tarafımıza sağlanmıştır. Ayrıca ürünlerin talep tahminleri, A101'in talep tahmini çalışmalarını yürüten Solvoyo şirketinden gelen veriler kullanılarak güncellenmiştir. Her sabah, her mağazadaki 53 ürünün mağaza açılışı öncesi envanter bilgileri tarafımıza gönderilmiştir. Günlük özömlerden elde edilen rota bilgisi ile mağazalardan alınacak ve mağazalara bırakılacak ürünler ve ürünlerin adetleri mağaza açılış saati öncesi raporlanarak, endüstriyel danışmana gönderilmiştir. Bölge sorumlusuna endüstriyel danışman tarafından

iletilen bilgiler ile taşıma gerçekleşmiştir. Önerilen taşıma bilgileri kullanımıyla ilgili sahadan alınan geri bildirimlerle model doğrulaması yapılmıştır.

4.8. Kullanıcı için Oluşturulan Arayüz

A101'in sistemi kullanabilmesi için kullanıcı dostu bir arayüz tasarlanmış ve uygulanmıştır. Çözüm için tasarlanan tuş kullanıcıya kaç rotayı inceleyerek çözüme ulaşılmmasının hedeflendiğini sormaktadır. Böylece kullanıcı, eğer mağazalar arası mesafe farkı dikkate değer şekilde büyükse ve rota seçimi, çözümü yüksek ölçüde etkileyecekse, olası tüm rotalar ya da istenilen sayıdaki rotalar için modeli çözündürüp, en yüksek kâr fonksiyonunu veren çözüme ulaşabilecektir. Çözüm sonucu olarak belirlenen rotadaki mağazaların sıralaması, her mağaza için mağazalardan alınacak ve mağazalara bırakılacak ürün kodları ve taşınacak ürünlerin koli miktarları kullanıcıya raporlanır. Arayüz örneği Ek-3'te ve rapor örneği Ek-4'te görülmektedir.

4.9. Performans Ölçütleri

4.9.1. Yöntem

Performans ölçütleri seçilirken, şirketin ana problemi olan ürünlerin stokta bulunmama durumu ve kârı arttırma hedefleri dikkate alınmıştır. Performans ölçütleri, firmanın belirlediği 53 ürünü değerlendirmek üzere ele alınıp üç ana başlık altında toplanmıştır. Bunlar her mağazadaki 53 ürünün günlük satış miktarları, stokta olmama durumları ve güvenlik envanteri miktarlarıdır. Performans ölçütleri, öncelikle matematiksel olarak gösterilmek için formülize edilmiştir. Uygulama aşaması bittiğinde, elde edilen sonuçlar incelenecektir. Mağazalarda, önerilen çözümün dışında gün içinde ilave taşıma durumları olabilmektedir. Bu nedenle performans ölçütleri kullanılırken sadece önerilen sistemin uygulandığından emin olmak için benzetim modeli ile çalışılacaktır. Bu aşamada ürünlerin mağazalardaki gün sonu envanter bilgileri, satış miktarları ve önerilen taşıma miktarları kullanılacaktır. MS Excel OpenSolver eklentisi ile yapılacak simülasyon uygulamasından çıkan sonuçlar ile sezgisel çözüm 1, sezgisel çözüm 2 yöntemlerinin simülasyon sonuçları performans ölçütleri açısından karşılaştırılacaktır. Ayrıca pilot ve kontrol bölgesi de performans ölçütleri açısından değerlendirilecektir.

4.9.2. İlgili Performans Ölçütleri ve Formüller

İlk performans ölçütü ürünlerin satış miktarı ile ilgilidir. Bunun için iki farklı ölçüt düşünülmüştür. Birinci ölçüt, transfer edilen ürünlerden elde edilen satış kârıdır. Eğer ürün bir mağazadan alınıp başka bir mağazaya bırakıldıysa ve bırakıldığı mağazaya transfer edilmesinden kaynaklı olarak mağazadaki envanteri artarak, transfer miktarı ya da o miktardan daha az satıldıysa mağaza bu durumdan ekstra bir kâr elde etmektedir. İkinci durum ise transfer edilen ürünler sebebiyle oluşan zarardır. Eğer bir ürün bir mağazadan alınıp başka bir mağazaya bırakıldıysa ve bu transferden dolayı ürünün alındığı mağaza envanterindeki azalma, gerçekleşen satışın tahminden büyük olması kaynaklı

yok stok durumu yaşatabilir. Bu da zarar ölçütü olarak incelenmektedir. İki durum da formülize edilmiştir. Birinci ölçüt her teslimat mağazası ve her ürün için, transfer edilen ürün miktarından, aynı ürünün satış talep tahmini ile envanter miktarı arasındaki fark ve sıfır arasından büyük olan değerin çıkartılması ile elde edilen sonucun ürünün kâr marjı ile çarpımı yapılmaktadır (Ek-5). İkinci ölçüt ise ürünün alındığı mağaza ve yine her ürün için, alınan ürün miktarından, ürünün envanter miktarı ve satış miktarı arasındaki farkın çıkarılması ile elde edilen sonucun kâr marjı ile çarpımı yapılarak hesaplanmaktadır (Ek-6).

Diğer performans ölçütleri olan ürünlerin stokta olmama durumları ve güvenlik envanteri miktarlarının formülize işlemleri üzerinde çalışılacaktır.

5. Sonuçlar ve Genel Değerlendirme

Mağazalarda stokta olmama durumunu azaltmayı ve transferleri sistematikleştirmeyi amaçlayan projenin çıktıları probleme etkin çözümler sunmaktadır. Şirket danışmanından gelen öneriler ve sahadan gelen geri bildirimlerle revizyonlar devam etmektedir. Ayrıca arayüzü geliştirmek için çalışmalar sürmektedir. OpenSolver kullanılarak yapılan çözüm lisans ücreti olmadan kullanılabileceği için her bölgeye kurulabilirliğiyle, modelin çözülme sürecinde oluşan zaman kaybını aza indirerek CPLEX çözümünden daha uygun olarak değerlendirilmiştir.

KAYNAKÇA

- Axsäter, Sven. "A New Decision Rule for Lateral Transshipments in Inventory Systems." *Management Science* 49.9 (2003): 1168-179. Web.
- Banerjee, Avijit, Jonathan Burton, and Snehamay Banerjee. "A simulation of lateral shipments in single supplier, multiple buyers supply chain networks." *International Journal of Production Economics* 81-82 (2003): 103-14. Web.
- Gillett, Billy E., and Leland R. Miller. "A Heuristic Algorithm for the Vehicle-Dispatch Problem." *Operations Research* 22.2 (1974): 340-49. Web.
- Kalantari, Bahman, Arthur V. Hill, and Sant R. Arora. "An algorithm for the traveling salesman problem with pickup and delivery customers." *European Journal of Operational Research* 22.3 (1985): 377-86. Web.
- Tiacci, Lorenzo, and Stefano Saetta. "A heuristic for balancing the inventory level of different locations through lateral shipments." *International Journal of Production Economics* 131.1 (2011): 87-95. Web.

EKLER

Ek-1. Problem 2: Dağıtım Belirleme Matematiksel Modeli

Noktalar Problem 1’de verilen rotalara göre sıralanmıştır. Buna ek olarak aktarma masrafı da problem 1’den elde edilmiştir. Her bir rota tamsayıların permütasyonu olacak şekilde oluşturulmuştur. Bu tamsayılar kümesinin eleman sayısı pilot bölgede bulunan mağaza sayısına eşittir (n). Tüm rotaların oluşturduğu küme R ile gösterilmektedir ve $n!$ elemana sahiptir. Her bir rota r ile gösterilmektedir ve R kümesinin bir elemanıdır ($r \in R$). Her bir rota $r = \{r_1, \dots, r_n\}$ ifadesi ile gösterilir. Burada r_1 başlangıç mağazası olarak tanımlanmıştır.

Karar Değişkenleri

$N_{r_i}^a$: r rotasındaki i sayılı noktayı ziyaret ettikten sonraki

ürün a ’nın koli sayısı

$P_{r_i}^a$: r rotasındaki i sayılı mağazadan alınacak olan ürün a ’nın koli sayısı

$D_{r_i}^a$: r rotasındaki i sayılı mağazaya bırakılacak olan ürün a ’nın koli sayısı

Parametreler

r : Tüm mağazaları içeren tek bir rota ($r \in R$).

K : Araç kapasitesi (hacim olarak hesaplanmakta).

v_a : Ürün a ’nın koli hacmi.

$I_{r_i}^a$: r rotasındaki i sayılı mağazanın a ürünü için envanter seviyesi (koli bazında).

$U_{r_i}^a$: Ürün a ’nın r rotasındaki i sayılı mağaza için beklenen talebi (koli bazında).

m_a : Ürün a ’nın kâr marjı (koli bazında).

C_r : Problem 1’den elde edilen aktarma masrafı

$W_{r_i}^a$: r rotasındaki i sayılı mağazaya ana depodan gelecek olan ürün a ’nın koli sayısı. Eğer incelenen gün içinde depodan gelecek bir aktarma yoksa bu parametre sıfır olarak tanımlanmaktadır.

$S_{r_i}^a$: r rotasındaki i sayılı mağazanın a ürünü için tanımlanmış olan güvenlik stok miktarı.

Amac Fonksiyonu:

$$\text{ençokla} \sum_{i=1}^n \sum_{a=1}^m D_{r_i}^a * m_a - C_r$$

Kısıtlar:

1. $P_{r_i}^a \leq \text{enb} \{0, I_{r_i}^a + W_{r_i}^a - U_{r_i}^a - S_{r_i}^a : \} \quad \forall i, a$
 2. $D_{r_i}^a \leq \text{enb} \{0, U_{r_i}^a - I_{r_i}^a - W_{r_i}^a \} \quad \forall i, a$
 3. $\sum_{a=1}^m N_{r_i}^a \cdot v_a \leq K \quad \forall i$
 4. $D_{r_i}^a \leq N_{r_{i-1}}^a \quad \forall i, a$
 5. $N_{r_i}^a - D_{r_{i+1}}^a + P_{r_{i+1}}^a = N_{r_{i+1}}^a \quad \forall i, a$
 6. $N_0^a = 0 \quad \forall a$
 7. $P_0^a = 0 \quad \forall a$
 8. $D_0^a = 0 \quad \forall a$
 9. $N_{r_i}^a, P_{r_i}^a, D_{r_i}^a \geq 0 \quad \forall i, a$
- $a = \text{ürünler} ; a \in \{1, 2, \dots, m\}, r_i \in \{1, 2, \dots, n\}$

Kısıtların Açıklamaları

Kısıt 1: Eğer bir mağazada bakılan ürünün eksiklik durumu var veya oluşabilecek ise o mağazadan o ürünün alınmamasını sağlar.

Kısıt 2: Bir mağazaya teslim edilen ürünün miktarının, o mağazanın talebini karşılamak için gereken ürün eksikliğinden fazla olmamasını sağlar.

Kısıt 3: Her bir mağazanın ziyaretinden sonra araçtaki ürünlerin toplam hacminin aracın hacminden fazla olmamasını sağlar.

Kısıt 4: Mağazaya teslim edilen a ürünü miktarının, o mağazaya girmeden hemen önce aracın içinde bulunan a ürününün miktarına eşit ya da daha az olmasını sağlar.

Kısıt 5: Aracın art arda mağazaları ziyaret ettikten sonraki kapasitesinin eşitliğini sağlar.

Kısıt 6: Aracın hayali mağazadan sonraki toplam koli miktarının 0'a eşitlenmesini sağlar.

Kısıt 7 ve Kısıt 8: Hayali mağazadan toplam alınacak ve bırakılacak ürün miktarının 0 olmasını sağlar.

Kısıt 9: Karar değişkenlerinin negatif olmayan değerler almasını sağlar.

Ek-2. Amaç Fonksiyonu ve Çözüm Zamanının Farklı Senaryolarda Testi

Rastgele Talep ve Envanter Miktarı Aralığı	Rota Sayısı					
	20		50		40320	
	Amaç Fonksiyonu (TL)	Çözüm Zamanı (Sn.)	Amaç Fonksiyonu (TL)	Çözüm Zamanı (Sn.)	Amaç Fonksiyonu (TL)	Çözüm Zamanı (Sn.)
Eki.60	740	125	760	310	880	658
0-100	3200	128	3200	325	3550	695
100-1000	21630	133	22547	330	23506	677

Ek-3 Arayüzde Bulunan Tuşlar ve Elde Edilen Bilgiler

The screenshot displays the software interface with three distinct states:

- Run1:** The interface shows a large grey button labeled "Run1". A dialog box titled "Microsoft Excel" is open, asking "how many route?" with "OK" and "Cancel" buttons.
- Successful Completion:** A dialog box titled "Microsoft Excel" displays an information icon and the message "This code ran successfully in 65,12 seconds". A "Tamam" (OK) button is at the bottom.
- Run2:** The interface shows a large grey button labeled "Run2". A dialog box titled "Microsoft Excel" is open, displaying the number "3" and a "Tamam" (OK) button.

Ek-4. Şirkete Gönderilen Rapor Örneği

	Mağaza Kodu	Mağaza Adresi
1. Olarak Gidilmesi Gereken Mağaza	5926	İŞÇİ BLOKLARI ÇANKAYA ANKARA
	ALINACAK ÜRÜN MİKTARI (KOLİ)	BIRAKILACAK ÜRÜN MİKTARI (KOLİ)
13000751		
ÇAY YELLOW LABEL 1000 G LİPTON	2	0
15000261		
KURUYEMIŞ AYÇEKİRDEĞİ 250 G ÇEREZYA	2	0
2. Olarak Gidilmesi Gereken Mağaza	5937	MEMORİAL ÇANKAYA ANKARA
	ALINACAK ÜRÜN MİKTARI (KOLİ)	BIRAKILACAK ÜRÜN MİKTARI (KOLİ)
13000751		
ÇAY YELLOW LABEL 1000 G LİPTON	0	1

Ek-5. Ürünlerin satış miktarı olarak belirlenen performans ölçütü - 1.durum formülü

x : Alıcı mağaza

m^a : Ürün a 'nın kâr marjı

$D^{x,a}$: x mağazasına bırakılacak olan ürün a 'nın sayısı

$U^{x,a}$: Ürün a 'nın x mağazasındaki beklenen talebi

$I^{x,a}$: Ürün a 'nın x mağazasındaki envanter seviyesi

$$\text{Kâr} = \sum_a \text{enk}(D^{x,a} - \text{enb}(0, U^{x,a} - I^{x,a})) * m^a$$

Ek-6. Ürünlerin satış miktarı olarak belirlenen performans ölçütü - 2.durum formülü

y : Bağışçı mağaza

m^a : Ürün a 'nın kâr marjı

$T^{y,a}$: ürün a 'nın y mağazasındaki satış miktarı

$P^{y,a}$: y mağazasından alınan a ürünü miktarı

$I^{y,a}$: Ürün a 'nın y mağazasındaki envanter seviyesi

$$\text{Zarar} = \sum_a \text{enb}(0, (P^{y,a} - (I^{y,a} - T^{y,a}))) * m^a$$

Beklenmedik Bakım Uzamaları için Karar Destek Sistemi

AnadoluJet

Proje Ekibi

Mine Su Ertürk
Doruk Esen
İrem Gürsesli
Kemal Cem Karaburun
Yücel Şanlı
Yücel Naz Yetimoğlu

Endüstri Mühendisliği
Bilkent Üniversitesi
06800 Ankara

Şirket Danışmanı

Mehmet Serhan Akın
AnadoluJet, Network ve Tarife Planlama Uzmanı

Akademik Danışman

Yrd. Doç. Dr. Kağan Gökbayrak
Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

AnadoluJet'in bazı uçuşları, planlanmış uçak bakımlarının beklenmedik uzamaları sonucu aksamaktadır. Bu uzamalarla ortaya çıkan maliyetin enazlanması projenin odağı olmuştur. Bu gibi durumlarda yerde kalan uçakların uçuş saatleri değiştirilmekte, bu uçuşlar iptal edilmekte veya dışarıdan temin edilen uçaklarla gerçekleştirilmektedir. Projenin amacı yeniden çizelgeleme işlemini özişler hale getirmek ve maliyeti enazlamak adına verilen kararların daha güvenilir olmasını sağlamaktır. Bu amaçla AnadoluJet için bir karar destek sistemi oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Maliyet enazlaması, karar destek sistemi, yeniden çizelgeleme, dışarıdan uçak temin etme.

1. Şirket Tanıtımı

AnadoluJet, 23 Nisan 2008 tarihinde Türk Hava Yolları'nın yeni bir ticari markası olarak kurulmuştur. Düşük maliyetli havayolu şirketleri kategorisinde olan AnadoluJet, ilave servislerin sadeleştirilmesi ve ekonomi sınıfı yapılandırmasıyla daha geniş bir müşteri kitlesine hitap etmeyi amaçlamıştır. AnadoluJet Nisan 2017 itibariyle 189 yolcu kapasiteli 33 uçak ile hizmet etmektedir. Uçuş ağında ağırlıklı olarak topla-dağıt sistemini kullanan AnadoluJet bu model ile uçaklarını merkez havaalanlarında toplar, merkez dışı havaalanlarına dağıtır ve sonrasında belirlenen merkezlere geri getirir. Bu merkezler Ankara Esenboğa ve İstanbul Sabiha Gökçen havalimanlarıdır. Toplamda 66 farklı uçuş rotası olan AnadoluJet yalnızca 5 uçuş rotasında noktadan noktaya uçmaktadır.

2. Mevcut Sistem Analizi

2.1.Problem Tanımı

AnadoluJet planlanmış bakım sürelerini baz alarak uçuş atamaları yapmaktadır. Şirketin bazı uçakları planlanan bakımların beklenmedik şekillerde uzaması sonucunda yerde kalmaktadır. Bakımı uzayan uçağın yerde kalmasıyla, söz konusu uçağa atanmış uçuşlar bakım uzaması boyunca bu uçak tarafından gerçekleştirilememektedir. Bu gibi durumlarda AnadoluJet uygun olan diğer uçaklarıyla yeniden uçuş çizelgelemesi yapabilmekte, anlaşmalı olduğu şirketlerden uçak kiralayabilmekte veya bakımı uzayan uçağın uçuş ya da uçuşlarını iptal edebilmektedir. Böyle durumlarda şirket çözümleri tamamen elle yaptığı için zaman kaybı yaşanmakta, uygulanan çözümün maliyet ve en etkili olması bakımından güvenilirliği tespit edilememektedir.

2.1.1. Uçuşu Yeniden Çizelgeleme

Bakımı uzamış uçakların yerde kalmasıyla ortaya çıkacak eksikliğe çözüm olarak, AnadoluJet ilk olarak o uçağa ait tüm uçuşları ve uçuşlar arasındaki zaman aralıklarını tespit eder. Daha önceden belirlenmiş uçuş zamanları ileri veya geri alınarak uygun olan uçaklarla yeni bir uçuş çizelgelemesi yapılır.

2.1.2. Uçuş İptali

AnadoluJet yeniden çizelgeleme için bazı uçuşları iptal etmek zorunda kalabilmektedir. Bu iptaller yapılırken iptal edilecek uçuşun (veya uçuşların) kârlılığı, sıklığı ve doluluk oranları göz önünde bulundurulmaktadır. Uçuş iptalleri, şirketin mali tablosunu olumsuz yönde etkilediği ve müşteri memnuniyetinin azalmasına yol açtığı için olabildiğince az tercih edilmektedir.

2.1.3. Dışarıdan Uçak Temin Etme

Yeniden çizelgeleme ya da uçuş iptali uygulanabilir değilse AnadoluJet anlaşmalı olduğu şirketlerden uçak kiralama yoluna gidebilir. Dışarıdan uçak temin etmek çok maliyetli bir işlem olduğundan AnadoluJet uçak kiralama seçeneğini son çare olarak düşünmektedir.

2.2. Proje Amaç ve Çıktıları

2.2.1. Proje Amaçları

Projenin amacı AnadoluJet uçaklarının beklenmedik bakım uzamaları durumunda yolcu aksamalarını ve uçuş aksamalarına bağlı maliyeti enazlayacak bir karar destek sistemi tasarlamaktır. Uçuşların yeniden çizelgelenmesi, iptali ve dışarıdan uçak temini işlemleri ayrı ya da birlikte uygulanabilmektedir. AnadoluJet'in pazardaki yerini koruyabilmesi ve geliştirebilmesi için müşteri memnuniyetini yüksek tutmak ve olumsuz durumların şirkete olan etkisini enazlamak projenin hedefleri arasındadır.

2.2.2. Kısıtlamalar ve Varsayımlar

AnadoluJet'in, yeniden çizelgeleme ve uçuş iptali kararlarını verirken dikkat etmesi gereken bazı kısıtlar vardır. Bazı uçuşlar hiçbir zaman iptal edilemezken, bazıları ise yıllık iptal kotalarının ihlal edilmemesi adına gerçekleştirilmek zorundadır. Havalimanlarının açılış kapanış saatleri ve programlı iniş kalkış zamanları da AnadoluJet'in dikkat etmesi gereken kısıtlardır. Proje kapsamında uçuş mürettebatının her zaman uygun olduğu varsayılmaktadır. Uçuş süreleri ve yer zamanı alt sınırı da sabit olarak kabul edilmektedir.

3. Literatür Taraması

Literatür taramasında havacılık sektöründe sıklıkla karşılaşılan çizelgeleme, filo atama gibi problemlere değinen çalışmalar incelenmiştir. Bir uçuş gerçekleşmeden önce ilk olarak tarife planı belirlenmelidir. Bu tarife planlaması yapılırken geçmişteki talep miktarları göz önünde bulundurulur. Daha sonra ise filo atama problemi çözülür. Filo atama yönteminin amacı tarife planı olan uçakların işletim maliyetini enazlamaktır. Sherali vd. (2005) filo atama problemini çözerken çizelge oluşturma, uçak bakım ve mürettebat planlaması gibi konuları entegre eden bir modelden yararlanmıştır. Modelimizde uçuşlar uçaklara atanırken bu makale göz önünde bulundurulmuştur. Lohatepanont (2002), filo atama probleminde uçuş iptallerinin etkisini ve yolcu aksamalarını dikkate almıştır. Jafari ve Zegordi (2010) ise sefer saati değişikliklerini ve iptallerini modelleyen bir çalışma yapmıştır. Bu makaleler de matematiksel modelimizdeki yeniden atama işlevinin oluşturulması ve iptal kararlarının modellenmesi sırasında kullanılmıştır. Son olarak, modellerimizdeki maliyet parametreleri belirlenirken Saltoğlu vd. (2016) referans alınmıştır.

4. İzlenen Yöntem ve Uygulamaları

Proje, AnadoluJet'in problem tanımı kısmında bahsedilen durumlarda oluşan yeniden çizelgeleme maliyetinin enazlanmasına odaklanmıştır. Maliyet enazlanırken müşteri memnuniyetinden ödün vermemek adına yolcuların yaşayabileceği aksamaları en aza indirmek hedeflenmektedir. Dolayısıyla,

yolcuların uçuş bilgileri trafik matrisi adı verilen bir tabloda tutulmuştur. Bu tablo bir uçuştan daha sonraki başka bir uçuşa aktarma yapan yolcuların sayılarını içermektedir.

AnadoluJet şu anda uçuş çizelgelerini dalga modeline göre hazırlamaktadır. Dalga modeline göre bir gün (06:00-01:30) 4 veya 5 periyoda bölünmekte ve bu periyotların her birine dalga adı verilmektedir. Örneğin, 08:00-12:00 aralığı 5 dalgalı bir günün sabah dalgasıdır. Dalga modeli uçuş gecikmelerini olabildiğince azaltırken yolcuların bir uçuştan başka bir uçuşa aktarma yapabilmesini kolaylaştırmaktadır.

4.1. Matematiksel Model

İlk çözüm yöntemi olarak dakika bazlı matematiksel model geliştirilmiştir. Bu matematiksel model aktarmalı veya doğrudan yolcuların aksamalarından kaynaklanan fırsat maliyetini birer amaç fonksiyonu kalemı olarak kabul etmekte ve çizelgelemeyle toplam maliyeti enazlamayı amaçlamaktadır. Bu model ile, günlük uçuş listesi ve trafik matrisi göz önünde bulundurularak iptal edilecek uçuşlar belirlenebilmektedir. Aynı zamanda matematiksel model, dakika bazlı yeniden çizelgeleme de yapabilmektedir.

Matematiksel modeli oluştururken bazı varsayımlar dikkate alınmaktadır. Birincisi bütün uçakların aynı olduklarının kabul edilmesidir. Model merkez bazlı olup Ankara Esenboğa ve İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanları için ayrı ayrı çalıştırılmaktadır. Bakım işlemlerinin sadece merkezlerde yapıldığı bilinmektedir. Bir sonraki güne aktarılan yolcu kaybedilmiş sayıldığından yapılan değişikliklerle hiçbir yolcu bir sonraki güne bırakılmamaktadır. Yolcular bağlantılı uçuşlarını kaçırmadıkları sürece kalkış saatini daha erkene almanın cezası yoktur.

Matematiksel model CPLEX çözücüsünde çalıştırılmıştır. Modelde yer zamanları kısıt olarak yazılmıştır. Benzer şekilde, aktarma yapan yolcuların bir sonraki uçuşlarına yetişmelerini sağlamak adına aktarma için gereken en az süre de bir kısıt olarak eklenmiştir. Uçuş atamalarına ek olarak uçak kalkış ve varış saatlerinin değişken olması sebebiyle havaalanı çalışma saatleri de kısıt olarak göz önünde bulundurulmaktadır. Matematiksel model Ek-1'dedir.

4.2. Sezgisel Model

Matematiksel modelin amacı, yolcuların aksamalarını enaza indirerek yapılan değişikliklerin maliyetini enazlamaktır. Model, uçuş iptali ve yeniden çizelgeleme seçeneklerini önermektedir. Matematiksel modelin bir çözüme ulaşması gerçek boyutlardaki bir veri için çok uzun sürdüğünden, hızlı ve uygun bir sonuca ulaşmak amacıyla sezgisel bir model de geliştirilmiştir.

Sezgisel model matematiksel model ile aynı varsayımlar üzerine kurulmuştur. Model kodlanırken MATLAB kullanılmış, kullanıcı arayüzü Visual Basic for Applications kodlama dili ile Microsoft Excel'de tasarlanmıştır. Örnek deneme senaryolarında merkez olarak Ankara Esenboğa Havalimanı

seçilmiştir. Veriler Excel dosyasından okunmaktadır. AnadoluJet'in günlük uçuş listesi ve uçuş bazında aktarmalı yolcu sayılarını içeren trafik matrisi okunan verilerdir. Veriler alındıktan sonra model, bakımı uzayan uçağın numarasını da girdi olarak alır. Ardından, bakımı uzayan uçağın uçuşları belirlenir ve uçuş süreleri kaydedilir. AnadoluJet aynı gün içinde bir yolcuyu gitmek istediği yere ulaştıramıyorsa onu kaybetmiş saydığı için sezgisel model tek seferde sadece bir gün için çalıştırılmaktadır. Bu nedenle, eğer bir uçuş o gün gerçekleştirilemiyorsa, iptal etmek ve uçuşu bir sonraki güne atamak aynı kabul edilmektedir.

Var olan çizelgeyi girdi olarak aldıktan sonra, sezgisel model bütün aksayan uçuşları kontrol etmekte, aynı dalgada o uçuşu yerleştirebileceği boş yer olup olmadığına bakmakta ve bulduğu ilk uygun yere uçuşu atamaktadır. Aynı dalgada boş yer olmaması durumunda sezgisel model, dakika bazlı yeniden çizelgeleme yöntemini kullanmaktadır. Bu yöntem ile aksayan her bir uçuşun atanabileceği, halihazırda yeterli atıl zamanı (idle time) bulunan uçaklar belirlenir. Tüm bu uçuş ve uçak ikilileri arasından uygulanabilir olan bütün olası atamalar için maliyet hesaplanarak en az maliyet yaratan küme seçilir ve bu atamalar gerçekleştirilir. Diğer bir deyişle, belirlenen uçaklar ve aksayan uçuşlar arasında bir atama problemi çözülür. Bu problem çözülürken, bir uçuşun yerleştirilebileceği tüm zaman aralıkları denenmekte, oluşan seçenekler listelenmekte, en az yolcu aksaması ve maliyet oluşturan seçeneğe göre atamalar yapılmaktadır. Bu sırada, yer zamanı atıl zaman kabul edilmemekte ve aksayan uçuşun atamasının yapıldığı uçak dalga modelinden bağımsız düşünülmektedir. Aynı zamanda, bir sonraki uçuşlarını kaçıracak aktarmalı yolcuların sayısı belirlenmekte ve yeni uçuş atamalarıyla oluşan aktarmalı ve doğrudan yolcu kaybı maliyeti kullanıcıya önerilmektedir.

Bir uçuşun yeniden atanamaması durumunda model, uçuşla aynı dalgadaki bütün uçuşların kârlarını kontrol etmekte ve iptal halinde en az maliyeti yaratan üç uçuşu belirleyip kullanıcıya önermektedir. Bu şekilde kullanıcı, iptal edilemeyecek uçuşlar gibi kısıtları göz önünde bulundurarak en uygun uçuşu seçebilmektedir. Model son olarak atanamayan uçuşların iptal maliyetini dışarıdan uçak temin etme maliyetiyle karşılaştırmaktadır. İptal maliyetinin uçak kiralamaya göre daha yüksek olması durumunda kullanıcıya bu seçenek önerilmektedir.

Dalga modeliyle oluşturulan, 15 uçak ve 84 uçuşu içeren örnek bir uçuş çizelgesi Ek-2.1'de verilmiştir. 3. uçağın planlanmış bakımının beklenmedik şekillerde uzaması sonucunda yerde kaldığı örnek bir senaryo incelenmiştir. Bu örnek senaryoda, aksayan F23 uçuşu aynı dalgasında boş yer bulunan 8. uçağa atanmış ve dalga bazlı yeniden çizelgelendirme adımı tamamlanmıştır. Aksayan F3, F13 ve F33 uçuşları ise günlük çizelgelerinde yeterli atıl zaman bulunan 11. 14. ve 7. uçaklara sırasıyla atanmış, bu esnada uçakların yer zamanları dikkate

alınmıştır. Verilen atamalar dakika bazlı yeniden çizelgelemenin örnekleridir. Yeniden atanamayan F305 ve F306 uçuşları için de bulundukları dalgadaki uçuşların karlılıkları kontrol edilmiş ve iptal edilmesi durumunda en az maliyet yaratan üç uçuş adayı listelenmiştir. F313 ve F314 uçuşlarının iptal edilmesi sonucunda açılan yerlere F305 ve F306 uçuşları atanmıştır. Dakika bazlı yeniden çizelgeleme ve iptal adımları Ek-2.2’de, çizelgenin son hali ise Ek-2.3’de yer almaktadır.

5. Sonuç

AnadoluJet için hazırlanan karar destek sisteminin amacı beklenmedik uçak bakım uzamalarında şirkete daha kârlı bir çözüm bulmaları konusunda yardımcı olmaktır. Matematiksel ve sezgisel modeller rastgele yaratılan senaryolar kullanılarak doğrulanmıştır. 5 dalgalı sistemde uçan 10 uçak ile 4 dalgalı sistemde 5 uçaktan oluşan 84 uçuşluk senaryolar kullanılmıştır. Matematiksel model CPLEX yazılımı kullanılarak çalıştırılmış fakat problem büyüklüğü sebebiyle süre limiti ile durdurulmuştur. Bunun sonucunda elde edilen olası çözüm incelenmiştir. Sezgisel model ise matematiksel modelin yarattığı süre sorununu ortadan kaldırarak iyileştirme yapılmasına olanak sağlamıştır. Bakımı uzayan uçağın, aynı dalgasında boş yer bulunmayan tüm uçuşlarının iptali uygulanabilir bir seçenektir. Bu seçenek sezgisel modelin başarısının ölçülmesinde referans noktası olarak alınmıştır. Bu model ile iptal edilen uçuş sayısı, kaybedilen yolcu sayısı ve toplam maliyet alanlarında sırasıyla %60, %57 ve %57 iyileştirme gözlemlenmiştir. Ayrıca, şirketin yeniden çizelgeleme işlemini elle yaptığı göz önünde bulundurulduğunda, 4 saati aşan çözüm süresinin geliştirilen sezgisel modelle 15 saniyeye kadar düşürüldüğü de görülmektedir. Dolayısıyla, sezgisel model hızlı karar verilmesi gereken durumlarda kayda değer bir avantaj sağlayacaktır.

Sezgisel modelin kullanılabilirliğini sağlamak amacıyla Microsoft Excel programında, Visual Basic for Applications programlama dili kullanılarak bir arayüz yazılmıştır. Excel, MATLAB kodunu çağırarak ve MATLAB’den alınan sonuçları Excel arayüzünde bastırmaktadır. Kullanıcı arayüzü görseli Ek-3’te sunulmuştur. Arayüz kullanıcıdan dört farklı girdi istemektedir. Uçuş listesi, trafik matrisi, kişi başı iptal maliyeti ve merkez bilgileri kullanıcı tarafından belirlenmektedir. İptal maliyetinin değişmesi durumunda kullanıcıya esneklik tanınması amacıyla bu bilgi girdi olarak alınmaktadır. AnadoluJet’in kullandığı iki farklı merkez bulunduğu (Ankara Esenboğa Havalimanı ve Sabiha Gökçen Havalimanı) ve model merkez bazlı çalıştığı için merkez seçiminin de kullanıcı tarafından yapılabilmesi sağlanmıştır. Girdiler tamamlandıktan sonra “Çalıştır” tuşu ile karar destek sistemi çalıştırılmaktadır. Ayrıca, tasarlanan arayüz ile kullanıcı yeniden çizelgeleme, uçuş iptal etme ve dışarıdan uçak temin etme seçeneklerinden tercih ettiklerini çözüme dahil edebilmektedir. Bu sayede kullanıcıya esneklik sağlanmış ve projenin uygulanması kolaylaştırılmıştır.

Arayüzün Microsoft Excel kullanılarak tasarlanması ile projenin uygulanabilirliğinin artırılması ve şirketin operasyonel herhangi bir değişikliğe gitmeden karar destek sisteminden faydalanabilmesi hedeflenmiştir.

KAYNAKÇA

- AnadoluJet 2016. About Us, accessed at http://www.anadolujet.com/ajen/corporate/about_us/index.aspx as of November 5, 2016.
- Ball, Michael, et al. "Air transportation: Irregular operations and control." *Handbooks in operations research and management science* 14 (2007): 1-67.
- Jafari, Niloofar, and Seyed Hessameddin Zegordi. "The airline perturbation problem: considering disrupted passengers." *Transportation Planning and Technology* 33.2 (2010): 203-220.
- Kim, J., Kröller, A., & Mitchell, J. (2009). Scheduling aircraft to reduce controller workload. In *OASICS-Open Access Series in Informatics* (Vol. 12). Schloss Dagstuhl-Leibniz-Zentrumfür Informatik.
- Lohatepanont, Manoj. *Airline fleet assignment and schedule design: integrated models and algorithms*. Diss. Massachusetts Institute of Technology, 2002.
- Saltoglu, R., Humaira, N., & Inalhan, G. (2016). Scheduled Maintenance and Downtime Cost in Aircraft Maintenance Management. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, 10(3), 580-585.
- Sherali, Hanif D., Ebru K. Bish, and Xiaomei Zhu. "Polyhedral analysis and algorithms for a demand-driven refueling model for aircraft assignment." *Transportation Science* 39.3 (2005): 349-366.

EKLER

Ek 1. Matematiksel Model

Parametreler

R = rota kümesi

F = uçuş kümesi

K = sıralama kümesi

δ = planlanmış bakımında uzama meydana gelen uçak sayısı

t_{fg} = uçuş f ve g arasında aktarma yapan yolcu sayısı $f, g \in F$

o_arr_f = ilk varış zamanı $f \in F$

o_dep_f = ilk kalkış zamanı $f \in F$

ta = bağlantı süresi (turnaround time)

gt = uçağın yerde kalış süresi (ground time)

p = yolcu başına iptal maliyeti

Karar Değişkenleri

$$x_f = \begin{cases} 1, & \text{eğer uçuş } f \text{ iptal edildiyse} \\ 0, & \text{değilse} \end{cases}$$

$$asg_{rkf} = \begin{cases} 1, & \text{eğer uçuş } f \text{ } r \text{ rotasında } k \text{ sırasına atandıysa} \\ 0, & \text{değilse} \end{cases}$$

$$s_{rk} = \begin{cases} \text{eğer atanmış uçuş varsa, } (r, k)' \text{ ye atanan uçuşun süresi} \\ 0, & \text{değilse} \end{cases}$$

d_{rk} = (r, k) ikilisine atanan uçuşun kalkış zamanı

a_{rk} = (r, k) ikilisine atanan uçuşun varış zamanı

$$u_{rkf} = \begin{cases} \text{eğer atanmış uçuş varsa, } (r, k)' \text{ ye atanan } f' \text{ nin kalkış zamanı} \\ 0, & \text{değilse} \end{cases}$$

$$v_{rkf} = \begin{cases} \text{eğer atanmış uçuş varsa, } (r, k)' \text{ ye atanan } f' \text{ nin varış zamanı} \\ 0, & \text{değilse} \end{cases}$$

$$\gamma_{fg} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } f \text{ ve } g \text{ uçuşları arası aktarma aksadıysa} \\ 0, & \text{değilse} \end{cases}$$

Model

$$\text{enazla } p * \sum_f (\sum_{g \neq f} (\gamma_{fg} * t_{fg}) + x_f * t_{ff}) \quad (0)$$

öyle ki

$$\sum_r \sum_k asg_{rkf} + x_f = 1 \quad \forall f \in F \quad (1)$$

$$\sum_f asg_{rkf} \leq 1 \quad \forall r \in R, \forall k \in K \quad (2)$$

$$\sum_f asg_{rkf} * (o_arr_f - o_dep_f) = s_{rk} \quad \forall r \in R, \forall k \in K \quad (3)$$

$$\sum_f u_{rkf} + s_{rk} = a_{rk} \quad \forall r \in R, \forall k \in K \quad (4)$$

$$u_{rkf} \leq d_{rk} \quad \forall r \in R, \forall k \in K, \forall f \in F \quad (5)$$

$$u_{rkf} \geq d_{rk} - 1500 * (1 - asg_{rkf}) \quad \forall r \in R, \forall k \in K, \forall f \in F \quad (6)$$

$$u_{rkf} \leq 1500 * asg_{rkf} \quad \forall r \in R, \forall k \in K, \forall f \in F \quad (7)$$

$$v_{rkf} \leq a_{rk} \quad \forall r \in R, \forall k \in K, \forall f \in F \quad (8)$$

$$v_{rkf} \geq a_{rk} - 1500 * (1 - asg_{rkf}) \quad \forall r \in R, \forall k \in K, \forall f \in F \quad (9)$$

$$v_{rkf} \leq 1500 * asg_{rkf} \quad \forall r \in R, \forall k \in K, \forall f \in F \quad (10)$$

$$a_{rk} \leq 1500 \quad \forall r \in R, \forall k \in K \quad (11)$$

$$d_{rk} \geq 360 * \sum_f asg_{rkf} \quad \forall r \in R, \forall k \in K \quad (12)$$

$$x_f \leq \gamma_{fg} \quad \forall f \in F, \forall g \in F, g \neq f \quad (13)$$

$$\sum_f asg_{r(k+1)f} \leq \sum_f asg_{rkf} \quad \forall r \in R, \forall k \in K \quad (14)$$

$$a_{rk} + gt * \sum_f asg_{rkf} \leq d_{r(k+1)} \quad \forall r \in R, \forall k \in K \quad (15)$$

$$\sum_r \sum_k v_{rkf} - \sum_r \sum_k u_{rkg} + ta \leq 1500 * \gamma_{fg} \quad \forall g \neq f \quad (16)$$

$$x_f \in \{0,1\} \quad \forall f \in F \quad (17)$$

$$asg_{rkf} \in \{0,1\} \quad \forall r \in R, \forall f \in F, \forall k \in K \quad (18)$$

$$s_{rk} \geq 0, \text{ tamsayı} \quad \forall r \in R, \forall k \in K \quad (19)$$

$$a_{rk} \geq 0, \text{ tamsayı} \quad \forall r \in R, \forall k \in K \quad (20)$$

$$d_{rk} \geq 0, \text{ tamsayı} \quad \forall r \in R, \forall k \in K \quad (21)$$

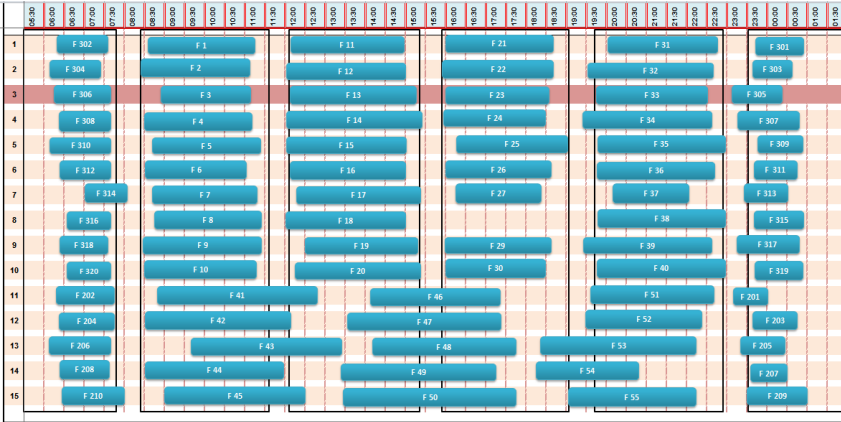
$$u_{rkf} \geq 0, \text{ tamsayı} \quad \forall r \in R, \forall k \in K, \forall f \in F \quad (22)$$

$$v_{rkf} \geq 0, \text{ tamsayı} \quad \forall r \in R, \forall k \in K, \forall f \in F \quad (23)$$

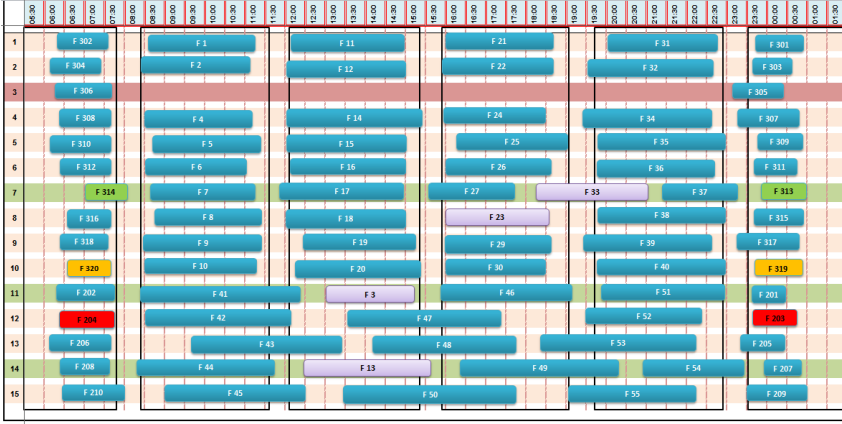
$$\gamma_{fg} \in \{0,1\} \quad \forall f \neq g \in F \quad (24)$$

Ek 2. Sezgisel Model

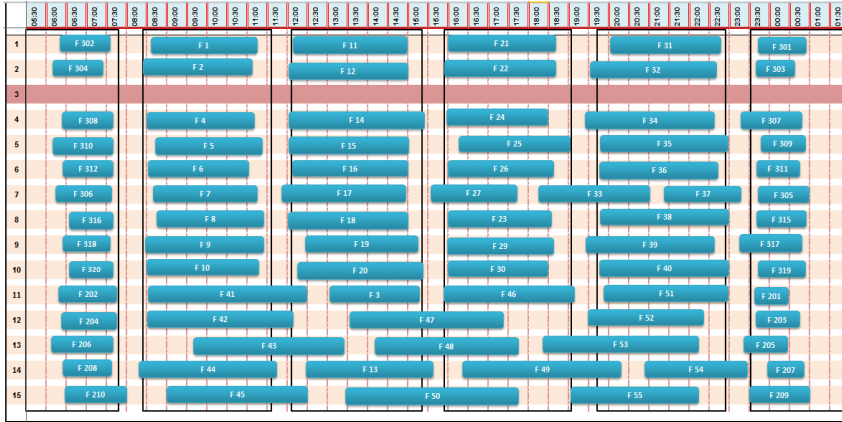
Ek 2.1 Örnek Senaryo Uçuş Çizelgesi



Ek 2.2 Yeniden Çizelgeleme ve İptal Adımları



Ek 2.3 Sezgisel Modelin Sonucunda Oluşan Çizelge



Ek 3. Kullanıcı Arayüzü

Decision Support System to Handle Unexpected Maintenance Delays

 **Bilkent Üniversitesi**





Instructions

1. Select flight list and traffic matrix files.
2. Select airport.
3. Enter cancellation cost.
4. Select options to include.
5. Run the model.

Next

Developed by Mine Su Ertürk, Doruk Esen, İrem Gürsesli,
Kemal Cem Karaburun, Yücel Şanlı and Yücel Naz Yetimoğlu

Decision Support System to Handle Unexpected Maintenance Delays

Flight List File **Select**

Traffic Matrix File **Select**

Cancellation Cost

Unavailable Aircraft

Hub Airport

Next

 **Bilkent Üniversitesi**



Decision Support System to Handle Unexpected Maintenance Delays

Options

☐ Rescheduling

☐ Cancellation

☐ Sub-chartering

Run

Exit

Results

 **Bilkent Üniversitesi**



Dahili Malzeme Planlama ve Dağıtım Sistemi Tasarımı

Arçelik A.Ş. Bulaşık Makinesi Fabrikası

Proje Ekibi

Yiğit Ayaz
Musa Eren Çeldir
Elif Gül Demir
Ozan Doluca
Taha Yaşar Erdoğan
Merih Koray Karabulut

Endüstri Mühendisliği
Bilkent Üniversitesi
06800 Ankara

Şirket Danışmanı

Aycan Yılmaz
Arçelik A.Ş. Bulaşık Makinesi Fabrikası, Endüstri Mühendisi

Akademik Danışman

Prof. Dr. Oya Ekin Karaşan
Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Arçelik Bulaşık Makinesi fabrikasında takip edilebilir ve otomatik bir malzeme planlama ve taşıma sisteminin eksiliği fabrikadaki üretkenliği olumsuz yönde etkilemektedir. Bu projenin amacı, üretim bantlarının ihtiyaç duyduğu malzemelerin türünü, miktarını, ve taşıma sıklığını belirleyen bütünleşik bir malzeme taşıma sistemi kurmaktır. Fabrikada yapılan gözlemler ve zaman etüdü çalışmaları sonucunda malzeme ihtiyacını gösteren dinamik bir veritabanı oluşturulmuş, bu malzemelerin depo alanından üretim bantlarına taşınması için bir algoritma geliştirilmiştir. Bunun yanı sıra, fabrikadaki forklift trafiğini azaltmak amacıyla malzeme taşıması AGV'lerle yapılacak şekilde kurgulanmış, taşıma araçlarının verimli bir şekilde doldurulması için iş planını gösteren kullanıcı dostu bir arayüz tasarlanmıştır. Proje sonucunda firmaya, bant kenarı birikmesini azaltan, üretimdeki verimliliği artıran ve bantların ihtiyacını karşılayan bir karar destek sistemi sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: dağıtım lojistiği, malzeme taşıma sistemi, milkrun

1. Şirket Tanıtımı

Yönetim merkezi İstanbul'da bulunan Arçelik A.Ş. 1955 yılında Vehbi Koç tarafından kurulmuştur. Günümüzde 27 ülkede beyaz eşya sektöründe satış ve pazarlama operasyonlarını sürdüren Arçelik A.Ş.'nin altı ülkede 15 üretim tesisi bulunmaktadır. 2015 yılının üçüncü çeyreğinde 10.1 milyon Türk Lirası net satış cirosuna sahip olan şirket; Türkiye'de beyaz eşya, LCD televizyon ve klima sektörlerinin lideridir [1].

2. Proje Tanımı ve Mevcut Sistem Analizi

2.1. Mevcut Sistem Tanımı

1993 yılında Ankara'da kurulan Arçelik A.Ş. Bulaşık Makinesi Fabrikası, yılda ortalama 2.5 milyon bulaşık makinesi üretmektedir. Günlük toplam 9500 makine, her biri sekiz saat süren üç vardiyada dört farklı bantta üretilmektedir. Fabrika yerleşim planı Ek 1'de, bantların vardiya başına üretim miktarları Tablo 1'de gösterilmiştir. Fabrikada Cassioli ve Kardex marka otomatik depolama sistemleri, forklift, paletli taşıma araçları ve havadan konveyör gibi farklı malzeme taşıma sistemleri kullanılmaktadır.

Tablo 1. Üretim bantlarının vardiya başına üretim miktarları

Üretim Bandı	Vardiya	Üretim Miktarı
1	00-08, 08-16, 16-24	1150
2	00-08, 08-16	1000
3	00-08, 08-16, 16-24	1250
4	08-16	300
Toplam Üretim		9500

2.2. Mevcut Sistem Analizi

Arçelik Bulaşık Makinesi Fabrikası 5000 farklı tanımlı malzeme ile toplamda 900 model bulaşık makinesi modeli üretmektedir. Bazı malzemeler her model için kullanılmakta olup bazı malzemelere ise sadece yılda bir veya iki kere ihtiyaç duyulmaktadır. Projemizi kapsayan malzemeler 9 ana kategoriye ayrılmıştır ve kategorilere ayrılmış ilgili malzemelerin çeşit miktarları Tablo 2'de gösterilmiştir.

Mevcut durumda Arena depoda bulunan malzemelerin taşınmasından sorumlu işçiler; hangi malzemenin, nereye, ne zaman ve hangi miktarda taşınacağını belirten bir iş planına sahip değildir. Aksine, forklift ve palet operatörlerine üretim planı ve ürün ağacı verilmektedir. Bu operatörler, her bant için gereken malzeme sayısını hesaplamakta ve taşıma rotasını kendileri belirlemektedir.

Mevcut durumu analiz etmek için aylık üretim planı, ürün ağacı, malzeme bilgisi ve forklift ve transpaletleri içeren zaman etüdü kullanılmıştır. Zaman etüdü verileri depo ve üretim hatlarındaki belirli bölgeler arasındaki uzaklıklar temel alınarak oluşturulmuştur. Taşıyıcı araçların hızı düz yol ve dönüş noktaları için hesaplanmış olup yükleme, boşaltma ve malzeme arama süreleri bunlara dahil edilmiştir. Üretim planı, ürün ağacı, malzeme bilgisi ve zaman etüdünü kullanarak her bir üretim bandının saatlik malzeme ihtiyacını veren bir veritabanı oluşturulmuştur. Visual Basic ile dinamik bir şekilde oluşturulan veritabanı, data kaynağında gerçekleşen değişiklikleri anında

yansıtmaktadır. Bu veritabanı bantların malzeme ihtiyacını karşılamak için vardiya başına gereken forklift ve transpalet operatörü sayısını belirlemek için kullanılmıştır.

Tablo 2. Her bir malzeme kategorisine ait malzeme çeşit sayısı.

Malzeme Kategorisi	Malzeme Çeşidi
Sepet	181
Mat	57
Karton	40
İthal Malzemeler	39
Metal Parçalar	38
Cam Kapı	21
Tuz Kutusu	17
Denge Ağırlığı	3
Alt Plastik	2
Toplam	398

3. Problem Tanımı

3.1. Belirtiler ve Şikayetler

Fabrikada malzeme taşıma sisteminin eksikliği, üretim süreçlerinde problemlere yol açmakta ve yetersiz bilgi nedeniyle malzeme takibini zorlaştırmaktadır. Özellikle üretim planında bir değişiklik yapıldığında, malzemelerin üretim bantlarında eksik olması veya fazla birikmesi durumuyla karşılaşmaktadır. Gerekli malzemelerin üretim bantlarında bulunmaması üretimi durdurmaktadır. Öte yandan, malzemelerin bant kenarlarında yığılarak geniş yer kaplaması operatörlerin malzeme ararken zaman kaybetmesine yol açmaktadır. Fabrikada yapılan gözlemler her vardiyada 9 ila 11 forklift operatörünün üretim bantlarına malzeme tedarik etmekte güçlük yaşadığını göstermektedir. Operatörlerden verimli bir şekilde yararlanılamaması yüksek maliyete yol açmaktadır. Forklift ve paletli araç operatörlerinin bantlara malzeme yetiştirmek için acele etmesi depo ve üretim bantları arasında yoğun trafiğe sebep olmakta, bu durum iş kazası riskini arttırmaktadır.

3.2. Problem Tanımı ve İlgili Literatür

Şirket danışmanımızla yaptığımız görüşmelerde fabrikadaki problemi, izlenebilir ve dokuz farklı kategorideki malzemelerin depodan üretim bantlarına taşınmasını sağlayan dinamik ve bütünleşik bir malzeme taşıma sisteminin eksikliği olarak tanımladık. Şirket forklift ve transpalet operatörü sayısını arttırmadan, üretim hatları kenarındaki birikmiş malzeme sayısını ve biriken malzemenin kapladığı alanı en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Problemimiz, taşınacak malzemelerin adedini, üretim planı, ürün ağacı ve gerekli malzeme bilgisi ile elde etmektir. Kontrol edilebilir ve dinamik bir malzeme taşıma sistemi gerekli malzemelerin doğru yerde doğru zamanda olacağını, üretim planı değişikliklerine uygun olarak garanti edecektir. Projemiz kapsamında, malzemelerin depodan üretim hatlarına taşınmasına çözüm getiren bir lojistik eniyileme problemi ele alınacaktır. Şirket forklift ve paletli araç kullanımını ortadan kaldırarak üretim bantları etrafında forkliftsiz bölge oluşturmayı ve trafiğin azalması ile birlikte iş kazası riskini de düşürmeyi hedeflemektedir.

Çalışmamızda gerekli malzemelerin depodan üretim hatlarına taşındığı forkliftsiz bir alan yaratmak amacıyla fabrika içi milkrun sistemleri ile ilgili literatür taranmıştır. Modelimizi oluştururken milkrun sistemlerinin dallarını anlatan [2]'den, [3] ve [4]'teki fabrika içi taşıma sistemi dizaynlarından yararlanılmıştır. Çekiş esaslı milkrun dağıtım sistemi dizayn eden [5], varsayımları ve kısıtlamaları gevşetmekte kullanılmıştır. Zaman aralığı kısıtlarını ayarlamak için [6]'dan yararlanılmıştır. Sistemimizin gereklilikleri tam olarak önceki makalelerde modellenmediğinden, malzeme planını dikkate alan yeni bir model ortaya konulmuştur.

Önerilen model hedeflenen sürede çözülemediği için problemi çözebilecek sezgisel metodlar araştırılmıştır. Taşıma araçlarının vagonlarını mümkün olduğu kadar fazla doldurma amacını karşılayan kutulama sezgisel metoduna yoğunlaşmıştır. [7], dikdörtgen prizma şeklindeki kutuların üç boyutlu vagonlara en az sayıda vagon kullanılarak yerleştirilmesini amaçlayan ilk uyan algoritmasını (First Fits Algorithm) açıklamaktadır. [8], kutuların taşıma araçlarının vagonlarına en büyük kutudan başlayarak yerleştirilmesini hedefleyen ilk uyan algoritmasının nasıl kullanılacağını açıklamaktadır.

4. İzlenen Yöntemler ve Uygulamaları

Önerilen sistem sahip olduğumuz veriler ile uyumlu bir şekilde çalışan sezgisel metoda göre işlem görmektedir. Girdiler ile çıktılar arasındaki süreci Excel VBA yardımıyla tanımlayan sistemimizin ve sezgisel algoritmamızın kavramsal şeması Ek I'de bulunmaktadır.

Projenin ana hedefi her bandın ihtiyacını zamanında karşılayacak etkili malzeme taşıma sisteminin oluşturulmasıdır. Bu amaca ulaşmak için belirlenen ara hedefler şunlardır:

- Bantların talebini karşılayan ve bant kenarında biriken malzeme miktarını en aza indiren bir malzeme taşıma sistemini tasarlamak
- Taşıyıcıların bantlara hangi malzemeden kaç tane taşıyacağını belirleyen bir algoritma sunmak
- Bantlarda malzeme eksikliğinden kaynaklanan üretim aksaklarını ortadan kaldırmak
- Bant kenarında malzeme birikiminden dolayı işgal edilen alanı en aza indirmek
- Depo ve üretim hatları arasında güvenli trafik oluşturmak
- İş gücünden daha fazla faydalanmak

Bu hedeflere ulaşabilmek için problemimizi malzemelerin taşınma programını veren bir planlama sisteminin sunulması, en az sayıda taşıyıcı kullanmayı hedefleyen bir araç doldurma algoritmasının hazırlanması, ve son olarak bu verilen sunulduğu bir kullanıcı arayüzünün tasarlanması olarak üç parçaya ayırdık.

4.1. Malzeme Planlama Sistemi

Tasarlanan sezgisel algoritma aylık üretim planı, ürün ağacı ve malzeme bilgisi sonucu elde edilen bilgileri parametre olarak almakta ve her bir montaj bandı için saatlik ihtiyaç matrisi oluşturmaktadır. Her bir bant için gruplanmayan malzemeleri kutu içi adedinin tamsayı katı kadar, gruplanan malzemeleri ise ihtiyaç kadar belirten bir tedarik matrisi oluşturmaktadır. Bu matrisin sonuçlarına göre, eğer bir malzeme önümüzdeki dört saat boyunca kullanılmayacaksa o saat içinde o malzemeyi bant kenarından alıp

depoya geri götürmektedir. Bu bilgiler, malzeme taşıma sisteminde kullanılacak olan otomatik güdümlü araç (AGV) sayısı, hızı ve fiziksel kapasitesi de ilgili girdiler arasındadır. Yine şirket ile yapılan görüşmeler sonucu AGV'nin her turda aynı rotayı takip etmesi kararlaştırılmıştır.

4.2. Araç Doldurma Algoritması

Araçlarda iki farklı vagon tipi mevcuttur. İlk tip vagonlar daha küçük kutuların taşınması için kullanılırken, ikinci tip vagonlar büyük kasaların taşınmasında kullanılmaktadır. Üç raftan oluşan ilk tip vagonların ölçüleri 50 x 85 x 150 (cm) dir. İkinci tip vagonların ölçüleri ise 150 x 85 x 150 dir. 40 x 40 x 40 ve 40 x 60 x 80 boyutlarına sahip küçük kutular ilk tip vagonun raflarına yerleştirilmektedir. Raflara yerleştirme algoritması temelde ilk uyan algoritması prensiplerini kullanmaktadır. Kutuların yükseklikleri iki kutunun aynı rafa üst üste konulmasına izin vermediği için algoritma yalnızca en ve boy değerlerine bakarak rafın sol üst köşesinden başlayarak listedeki ürünleri sırasıyla raflara yerleştirmektedir. Algoritma eğer mevcut rafta sıradaki kutu için yer kalmadıysa ürünü bir sonraki rafa yerleştirmekte, aynı zamanda üç raftaki boş kısımların lokasyonlarını ve ölçülerini de sürekli olarak tutmaktadır. Örnek vermek gerekirse, listenin ilk sırasında 40 x 40 x 40 ölçülerine sahip kutu sol üst köşeye yerleştirilir. Listedeki ikinci ürünün 40 x 60 x 80 ölçülerine sahip olduğunu varsaydığımızda kutunun sol alt köşeye yerleştirilmesi mümkün olmadığından ilk kutunun sağına yerleştirilir. Sol alt köşedeki boş kısım listenin ilerleyen bölümlerinde 40 x 40 x 40 ölçülerine sahip olan bir kutuyla karşılaştığında doldurulur. Bu şekilde rafların olabildiğince yüksek doluluk oranlarına ulaşması sağlanır. Yalnızca iki tip kutunun raflara yerleştirildiğini düşündüğümüzde, rafların doldurulması için mevcut konfigürasyon sayısı oldukça azdır ve algoritma mümkün olan en iyi doluluk oranlarını vermektedir. Büyük kutuların ikinci tip vagonlara yerleştirilmesi için de benzer bir yaklaşım izlenmektedir, raf yerleştirmesinden farklı olarak bazı durumlarda kutular üst üste de koyulabilmekte ve algoritma aynı prensipleri üç boyut için uygulamaktadır.

4.3. Kullanıcı Arayüzü

Sistemin ana sayfası 6 adet tuş ve açıklama bölümünden oluşmaktadır. Açıklama kısmında bu tuşların ne işe yaradıkları anlatılmaktadır. “Saatlik Malzeme İhtiyacı Hesapla” tuşu, her bant için gerekli olan saatlik malzeme ihtiyacını hesaplamak için kullanılmaktadır. “Bant İhtiyaçları” tuşu, bir önceki tuş ile hesaplanan her bant için gerekli olan saatlik malzeme ihtiyacını görüntülemeye yaramaktadır. “Araç Planını Çıkart” tuşu, bantların ihtiyaçlarını karşılarken kullanılacak vagonlara ilgili malzemelerin ne şekilde yerleştirileceğini görüntülemek için kullanılır. “Bant Kenarı Birikimleri” tuşu, her bant için saatlik bant kenarları birikmesini görmeye yaramaktadır. “Excel’i Aç” tuşu ise exceldeki ilgili çalışma sayfalarına ulaşmayı sağlar. Son olarak “Çıkış” tuşu ile sistemden çıkılır. Ana menü Ek II’de bulunmaktadır.

5. Uygulama Planı

Şirket danışmanımız Aycan Yılmaz ile yaptığımız görüşmeler sonucunda uygulamaya geçişin ilk adımı olarak projemiz içinde geliştirdiğimiz kullanıcı arayüzü teslim edilecek ve önerilen sistemin seçilen bir montaj bandında demosu yapılacaktır. Demo yapıldıktan sonra, her montaj bandı için bir teslim alanı belirlenecek ve bu aşamalar tamamlandıktan sonra AGV belirlenen rota üzerine kurulacaktır. Montaj

bantları için malzemeci ve depo için bir grupta (kitting) operatörü belirlendikten sonra yeni malzeme dağıtım sistemine geçilmiş olacaktır.

6. Sonuçlar ve Genel Değerlendirme

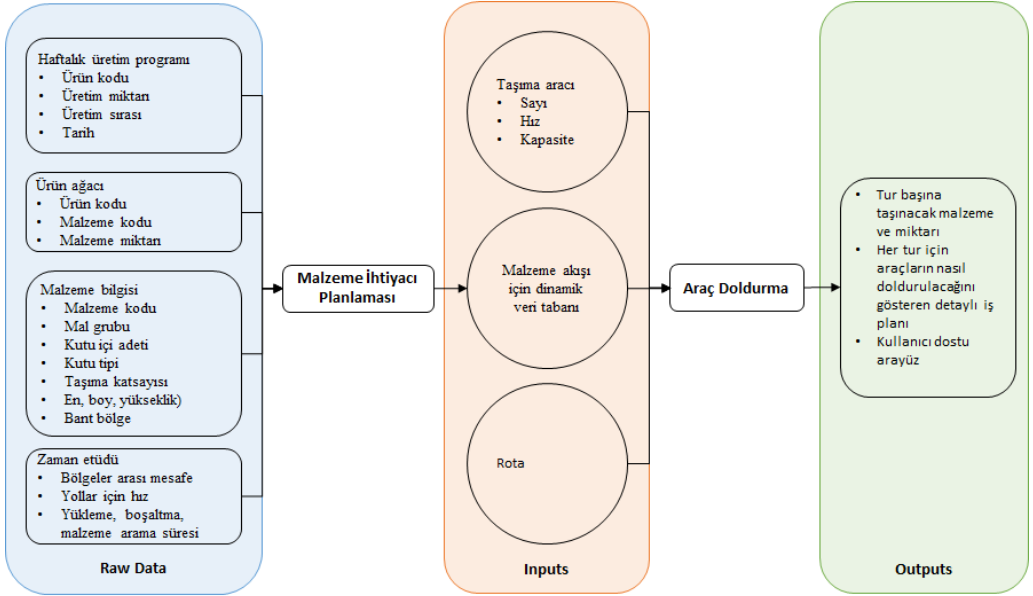
Depodan üretim bantlarına malzeme taşıma sisteminin iyileştirilmesini hedefleyen projemiz, her bandın saatlik malzeme ihtiyacını dinamik bir algoritmayla hesaplamaktadır. Buna ek olarak geliştirilen yerleştirme algoritması, otomatik yönlendirmeli araçların her bir vagonuna hangi malzemenin ne şekilde yerleştirileceğini belirten bir çıktı vermektedir. Böylece insan faktörü devreden çıkarılmakta ve takip edilebilir bir sistem devreye girmektedir. Önerilen sistemde sadece bir sonraki saat gerekli olan malzemeler bantlara ulaştırıldığı ve gereksiz malzemeler istasyonlardan geri toplandığı için bant kenarı birikmesi %86 azalmıştır. Mevcut sistemde taşıma rotalarını forklift operatörlerinin belirlemesinden dolayı tüm bantların saatlik malzeme ihtiyacını karşılamak için forkliftlerin depo ile istasyonlar arasında 45 tur atması gerekmektedir. Önerilen sistemde otomatik yönlendirmeli araçların 10 tur atması bantların malzeme ihtiyacını karşılamak için yeterlidir. Malzeme taşınmasında forklift kullanımı ortadan kaldırılarak depo ile üretim bantları arasında güvenli bölge oluşturulmuştur. Ayrıca taşımada görevli operatör sayısı mevcut sistemde 29 iken önerilen sistemde bu sayı 22'ye düşmektedir. Projemiz malzemelerin fabrika içinde etkili bir şekilde taşınmasını ve kolay takip edilebilmesini sağlamakta, bant kenarındaki birikmeyi azaltarak üretimdeki karışıklığı önlemekte ve taşıma operatörlerinin sayısını azaltarak kaynak kullanımını arttırmaktadır.

KAYNAKÇA

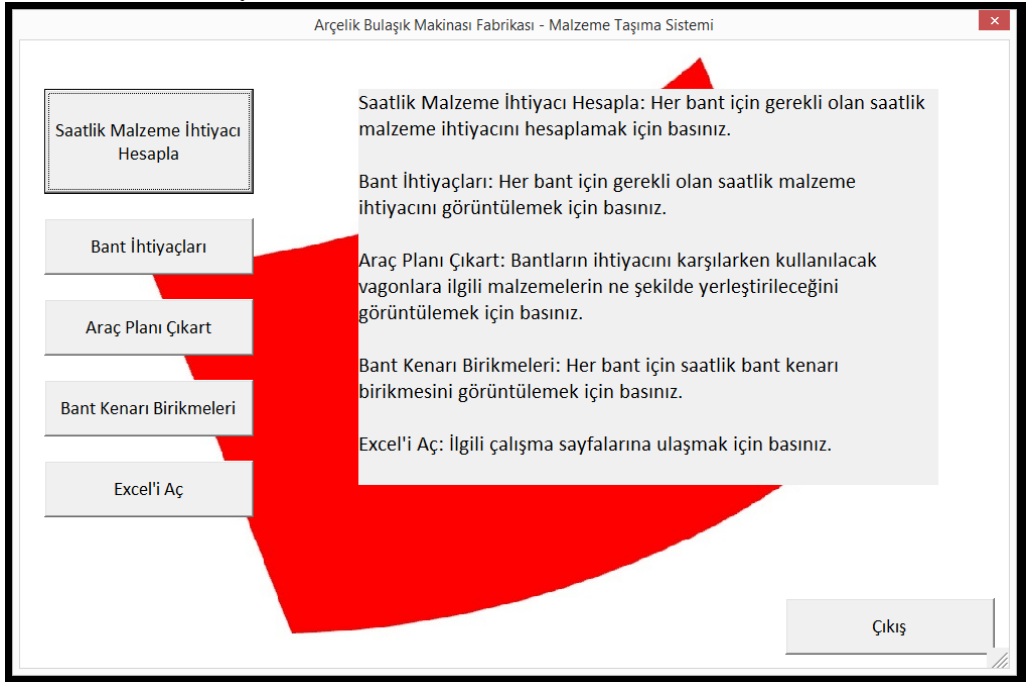
- [1] Arçelik, "Kurumsal Tanıtım," in Arçelik A.Ş. Hakkında, 2011. [Online]. Available: http://www.arcelikas.com/sayfa/72/Arcelik_Kurumsal_Tanitim. Accessed: Dec. 15, 2016.
- [2] Vaidyanathan, Bharath S., et al. "A capacitated vehicle routing problem for just-in-time delivery." *IIE TRANSACTIONS* 31.11 (1999): 1083-1092
- [3] Kılıç, Hüseyin Selçuk. *Yalın Üretim Ortamında İç Lojistik Sisteminin Tasarımı*. Diss. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011.
- [4] Bilici, Gözde, et al. "Fabrika İçi Çekme Esaslı Taşıma Sistemi Tasarımı." *Endüstri Mühendisliği Dergisi* 18.3: 31-42.
- [5] Akıllıoğlu, Hakan, et al. "Dizel Enektör Üretimi yapan Bir Şirket İçin Fabrika İçi Çekme Esaslı Tekrarlı Dağıtım Sistemi Tasarımı." *Endüstri Mühendisliği Dergisi* ,17(3), 2-15.
- [6] El-Sherbeny, Nasser A. 2010. "Vehicle routing with time windows: An overview of exact, heuristic and metaheuristic methods", *Journal of King Saud University, Mathematics*, Egypt, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1018364710000297>
- [7] Martello, Silvano, David Pisinger, and Daniele Vigo. "The three-dimensional bin packing problem." *Operations Research* 48.2 (2000): 256-267.
- [8] Berkey, J. O., and P. Y. Wang. "Two-Dimensional Finite Bin-Packing Algorithms." *The Journal of the Operational Research Society*, vol. 38, no. 5, 1987, pp. 423–429., www.jstor.org/stable/2582731.

EKLER

Ek I - Kavramsal Model



Ek II - Malzeme Taşıma Sistemi Ana Menüsü



Talep Tahmini ve Depo Optimizasyonu

BigChefs Cafe & Brasserie

Proje Ekibi

Gül Çulhan
Volkan Demir
İpek Gezer
Pelin Keşrit
Kemal Doğukan Sağbaş
Osman Can Sulu

Bilkent Üniversitesi
Endüstri Mühendisliği Bölümü
Ankara

Şirket Danışmanı

Pınar Pelit
One Tower BigChefs, Şube Yöneticisi

Akademik Danışman

Yrd. Doç. Dr. Ayşegül Toptal Bilhan
Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Restoran stok yönetimi, ürünlerin çabuk bozulabilirliği sebebiyle klasik envanter modellerinden ayrılmaktadır. Değişken talebin tahmin edilememesi sonucu ürün yokluklarıyla müşteri siparişlerinin karşılanamaması veya alınan ham maddenin tüketilmeden bozulması gibi durumlar ortaya çıkmaktadır. Sistematik sipariş politikasının temel amaçları, siparişlerin miktar ve zamanlarındaki değişkenliklerinin azaltılması ve dolaylı olarak müşteriler tarafından algılanan kalitenin artırılması olarak tanımlanabilir. Aynı zamanda One Tower BigChefs yönetimi, değişken ve belirsiz talep karşısında etkin olmayan envanter yönetiminden kaynaklanan maliyet artışlarının önüne geçerek minimum maliyeti hedeflemektedir. Her ürün/ürün grubu için beklenen proje çıktısı; sipariş miktarı, sipariş sıklığı ve sipariş günü bileşenlerini içeren bilgisayar destekli bir sipariş politikasıdır.

Anahtar Kelimeler: Bozulabilir envanter, restoran yönetimi, sipariş politikası

1. Şirket Tanıtımı

BigChefs, cafe ve brasserie olarak hizmet veren birinci sınıf bir restoran zinciridir. 2007’de Ankara’da Gamze Cizreli tarafından kurulmuştur. 2009 yılında Saruhan Tan ile gerçekleştirilen ortaklık sayesinde restoran zinciri İstanbul’da ilk şubesini açmıştır. Şu anda BigChefs’in yurt içinde 35, Birleşik Arap Emirlikleri, Suudi Arabistan ve Kuveyt’te 7 şubesi vardır. Tüm BigChefs şubeleri, menü kalemleri, yemek tarifleri, iç mekân tasarımı ve operasyon yönetimi açısından son derece standartlaştırılmıştır.

BigChefs yaklaşık 2000 işçi için iş olanakları barındırmaktadır. Şirket yılda 4 milyon müşteriye hizmet vermektedir. Restoran zincirinin, yıllık 200 milyon TL’lik bir geliri vardır. Bu projenin yürütüldüğü şube olan One Tower BigChefs ise 1 Temmuz 2016’da açılmıştır. Şube şu anda altmıştan fazla çalışanı istihdam etmektedir.

2. Proje Kapsamı ve Mevcut Sistem Analizi

2.1. Proje Kapsamı

Talep Tahmini ve Depo Optimizasyonu projesinde, ürünlerin bozulabilirliği ve mevsimsellik, son ürün reçeteleri, malzeme listeleri göz önünde bulundurulmuştur. Önceki talep verilerinin kullanılması ile şirketin satın alma operasyonlarını tümünden etkileyecek talep tahminlerine göre kritik ham maddeler için sistematik bir sipariş politikası geliştirmeye odaklanılmıştır. Bu proje, genel işletme giderlerinin ve dolaylı olarak olası müşteri hoşnutsuzluğunun azaltılmasını ve BigChefs’in algılanan kalitesinin ve müşteri memnuniyetinin en üst düzeye çıkmasını sağlayacaktır.

One Tower BigChefs Cafe & Brasserie, müşterilere farklı çeşitte pek çok ürün sunmaktadır. Ancak, bu projede, satın alımlarda asıl problem teşkil eden yiyecek maddeleri kapsama alınmış, stoklanmasında ve satın alınmasında problem yaşanmayan alkollü ve alkolsüz içecekler için sipariş politikası geliştirilmemiştir.

2.2. Mevcut Sistem Tanımı

Restoran işletmesi, olasılıksal olarak dağılmış, saatlik, günlük ve aylık olarak zamanla değişen talep yapısına sahiptir. Restoranlar çoğunlukla çekme tipi hizmet sistemleridir. BigChefs’te, siparişe göre montaj (Assemble-to-Order) ve siparişe göre üretim (Make-to-Order) prensiplerini kapsayan melez bir hizmet sistemi uygulanmaktadır. Siparişe göre montaj, nihai ürünlerin yalnızca müşteri siparişi alındıktan sonra malzemelerin birleştirilmesi prensibine göre çalışır. Bu sistem, BigChefs’in, her peynir türünün, nane ve ceviz gibi diğer birkaç bileşenle birleştirilerek sunulduğu peynir tabağı gibi çeşitli ürünlerinde görülebilir. Portakal suyu gibi diğer menü öğeleri ise, yalnızca müşteri siparişinden sonra mutfakta hazırlanan siparişe göre üretim stratejisine örnek verilebilir. Tüm et yemekleri, pizzalar ve hamburgerler gibi kalan menü öğelerinin hazırlanması da, bu iki stratejinin birleşimi olarak düşünülebilir. Bu melez strateji, New York

Steak gibi ürünlerde, kıyılmış et gibi yarı-mamullerin işlenip sos ve soğan gibi bileşenlerle nihai ürüne dönüşmesi şeklinde işler.

Garson müşteriden siparişi aldığı anda, ön hazırlığın tamamlandığı üst mutfak bilgilendirir. Daha sonra, yarı-işlenmiş gıda maddesi, nihai ürünün son hazırlıklarının tamamlandığı gösteri mutfakına aktarılır. Gösteri mutfakındaki süreçler, yemek alanındaki müşteriler tarafından görülebilir ve bu da müşteri deneyimine görsel bir boyut katar. Üst mutfak, sebzeleri dilimlemek, eti marine etmek ve pizza hamurunu hazırlamak gibi asıl vakit alan süreçleri önceden tamamlayarak, müşterilerin bekleme sürelerini kısalttığı için fonksiyoneldir. Buna ek olarak, yemeklerin ön hazırlık süresince, ham madde tüketimi yoğun olduğu için stoklar üst mutfakta daha yakın konumdadır. Ham maddelerin tutulduğu, geçici depo (bar ve mutfak için ayrı) ve ana stok alanı olmak üzere iki tür envanter bulunmaktadır. Ana stok alanı, soğuk hava deposu (+4 ve -18 santigrat derece depoları) ve kuru gıda deposu gibi alanlara sahiptir.

Tedarikçiden gelen siparişler, ilk olarak ana stok alanına, daha sonra gelen ürünün cinsine göre kuru gıda deposuna veya ana stok alanının altındaki ilgili kısımlara transfer edilmektedir. Örneğin, gelen etler -18 santigrat derece depolarına, sebzeler +4 santigrat derece deposuna ve paketlenmiş makarnalar kuru gıda deposuna taşınmaktadır.

Geçici depo, yarı-işlenmiş mamullerin ana stok alanından transferiyle sıkça doldurulmaktadır. Gösteri mutfak, müşteri her sipariş verdiğinde geçici envanteri doğrudan kullanır. Geçici envanter seviyesi, ana şefe göre önemli ölçüde düştüğünde, geçici stok, ana stok alanlarındaki ham maddelerle yeniden doldurulur. Ana şef bazen ana stok alanını ziyaret eder, ve bu ziyaretler sonucu, ana şef ve depo sorumlusunun iş birliğiyle yeni sipariş talepleri satın alma departmanına iletilir.

2.3.Mevcut Sistem Analizi

Mevcut sistemde, sipariş ve depo yönetimi süreçleri manuel olarak yürütülmektedir. Satın alımı yapılacak ham madde miktarı ana şef tarafından belirlenmekte ve satın alma uzmanına raporlanmaktadır. Ancak şirket, nicel kararlar alınmasını sağlayan sistematik bir yaklaşımın yoksunluğu nedeniyle zorluklar yaşamaktadır.

Ham maddelerin satın alımı gerçekleştirildikten sonra, depoyu İlk Giren İlk Çıkar (FIFO) prensibine göre düzenleyen ve ana şefin ihtiyaç duyduğu durumlarda bu ham maddeleri temin eden bir depo sorumlusu vardır. Mevcut sistemde depo sorumlusu bu ham maddelerin depolar arasındaki transferini kayıt altına alır.

Buna ek olarak, her son ürünün kendine özgü reçete ve ürün ağacı bulunmaktadır. Kullanılacak ham maddelerin miktarları bu reçetelere ve ara reçetelere göre belirlenir.

Envanter tutma maliyeti ise parayı envantere bağlamaktan kaynaklanan fırsat maliyeti olarak düşünülmektedir. Bu nedenle envanter tutma maliyeti toplam envanterin maddi değerine eşittir denilebilir.

Mevcut sisteme daha kapsamlı şekilde yaklaşmak için, şirket tarafından sağlanan veriler üzerinden veri analizi gerçekleştirilmiştir. BigChefs şubelerinde sunulan menü kalemleri ve fiyatları BigChefs genel merkezi tarafından önceden belirlenmektedir. Projenin ilerleyen aşamalarında yararlı olacağı düşünülerek, tüm ham maddeler toplam satın alma maliyetlerine ve raf ömürlerine göre sıralanmıştır. Raf ömürleri One Tower BigChefs tarafından temin edilmiş olup satın alma maliyetleri ise reçeteler, talepler ve ham madde fiyatları kullanılarak hesaplanmıştır.

Geliştirilen yönteme göre, ham maddeler dört farklı sınıfa ayrılmıştır. Ham maddelerin sınıflandırılması raf ömrü ve satın alma maliyetlerini göz önünde bulunduran sezgisel bir yönteme göre yapılmıştır. Sınıf A, çok yüksek maliyetli ve kısa raf ömrüne sahip ürünleri içermektedir. Sınıf B ürünleri, daha az maliyetli ve kısa raf ömürlü ürünlerdir. Buna zıt olarak, Sınıf C, pahalı ancak uzun ömürlü ürünlerden oluşmaktadır. Benzer şekilde Sınıf D de, daha ucuz ve uzun raf ömrüne sahip ürünleri içermektedir (bkz Ek A).

3. Problem İçeriği

3.1.Belirtiler ve Şikayetler

3.1.1.Uygun bir sipariş politikası mevcut değildir

Bir sipariş politikası sipariş hacmini, sipariş sıklığını ve emniyet stoku seviyesini göz önünde bulundurmalıdır. Ancak, BigChefs'te belirli bir sipariş politikasının eksikliğine bağlı olarak, sipariş hacmi, sipariş sıklığı ve emniyet stoku seviyeleri standartlaşmamıştır. Siparişler, ana şefin nitel değerlendirmesine göre verilmektedir.

- **Önceden belirlenmiş emniyet stoğu seviyesinin bulunmaması**

BigChefs'te emniyet stoku sistemi bulunmadığından, ne zaman sipariş verileceğine karar verilememekte, sipariş tedarik süresince de ürün yokluğu gibi sorunlar yaşanmaktadır.

- **Değişken sipariş hacimleri**

Mevcut sistem, ana şefin öngördüğü gelecek talep tahminlerine ve mevcut periyottaki tüketime dayanmaktadır. Bu rastgele sipariş yöntemi envanterdeki dengesizliği artırmakta ve sipariş sisteminin standartlaşmasını engellemektedir.

- **Değişken sipariş sıklığı**

BigChefs yönetimi sipariş sıklıklarına sezgisel ve sistematik olmayan bir yöntemle karar vermektedir. Bu, envanterdeki belirsizliği ve olası eksiklikleri ve zayıfları artırmaktadır.

3.1.2.Ürün eksiklikleri sıklıkla yaşanmaktadır

Manuel ve nitel sipariş politikası ham madde eksikliklerine neden olmaktadır. Eksiklik problemi, daha yüksek birim fiyattan perakende alımlarla

    lmeye çalışılmaktadır. Perakende alımlar m  şteri siparişini geciktirerek m  şteri memnuniyetsizliğine yol açmaktadır. M  şteri siparişini temin edememek ise m  şteri kaybıyla sonuçlanabilen daha k  t  bir vakadır. Perakende alımlar aynı zamanda zaman ve iş g  c  kaybına da neden olmaktadır.

3.1.3.  r n zayileri sıklıkla yaşanmaktadır

Envanter BigChefs için bir varlık olarak düşünülmektedir. Bu nedenle, envanterde kullanılmayan her bir ham madde artan fırsat maliyetine neden olmaktadır. Ham maddedeki her türlü zayi anaparanın harcanmasına neden olduğu için, gereğinden fazla envanter tutmak ekstra riske dönüşür. Mevcut durumda BigChefs'te birçok ham madde son tüketim tarihi geçtiği için zayi olmaktadır.

3.1.4. Geçmiş talep verisi nicel olarak kullanılmamaktadır

Eldeki talep verisi sipariş verilme anında gerekli öngörüyü sağlayacak şekilde kullanılmamaktadır. Bu durum, sipariş politikasının analitik terimlerle karar verilmesini engellemekte ve siparişlerin rastgele verilmesine sebep olmaktadır.

3.1.5. Eldeki veri etkin olarak yönetilmemektedir

BigChefs  r n ağacı, günlük satış miktarı gibi birçok büyük veriye sahip olmasına rağmen, bu veriler etkin yönetilememektedir. Bu da mevcut sistemi gözleyip problemlere daha hızlı cevap vermeyi engellemektedir.

3.1.6. Acil perakende alımlar

Ham maddelerin beklenmedik eksiklikleri sebebiyle, BigChefs yönetimi envanterde bulunmayan bu ham maddeleri yakın çevreden acil perakende alımlarla karşılamaya çalışmaktadır. Bu, zaman ve iş g  c  kaybına yol açtığı, ve aynı zamanda daha yüksek birim maliyete sebep olduğu için etkin bir çözüm yolu değildir.

3.2. Problem Tanımı

BigChefs, yönetim ve işletme politikası olarak yüksek m  şteri memnuniyetini benimseyen Türkiye'nin en prestijli restoran zincirlerinden biridir. M  şteri memnuniyetini ölçmede en önemli etken m  şterinin restoranda yaşadığı deneyimdir. M  şteri deneyimine etki eden faktörler, siparişin geliş hızı, kullanılan malzemelerin kalitesi ve tazeliği ve istenilen menü kalemlerine ulaşılabilirliktir.

Mevcut sistemde, etkin bir sipariş politikasının eksikliği, Bölüm 3.1'de belirtilen ham maddelerde eksiklik, pahalı olan acil perakende alımlar, ham maddelerde zayi, ve genel olarak hizmet kalitesinde düşüş gibi sorunlara yol açmaktadır. Sözü edilen tüm bu durumlar, işletme maliyetlerinin artmasına ve BigChefs'in algılanan kalitesinin düşmesine neden olmaktadır. Bu proje, ham maddelerin kısa raf ömrünü göz önünde bulunduran bir envanter yönetim sistemi önermektedir.

3.3.Problem Tanımı ile ilgili Literatür

Belirlenen problem tanımı kapsamında sistem temelinin bozulabilir envanter yönetimine dayanması, proje grubunu çözüm yaklaşımlarını belirlerken bozulabilir ve dinamik envanter sistemleri ile ilgili literatür taraması yapmaya itmiştir. Bu yolla, bozulabilir ürünler için sipariş politikası belirlenmesinde nasıl bir yol izleneceğine dair yöntemler hakkında bilgi sahibi olunmuş, kazanılan bakış açısıyla literatürde görülen modellerin gerçek hayat problemine uyarlanması üzerinde çalışılmıştır.

Nahmias (1982), hem sabit ömrü olan bozulabilir envanter hem de sürekli üstel bozulmaya tabi stok için uygun sipariş politikalarını belirlemeyi amaçlamıştır. Makalenin amacı, yukarıda belirtilen farklı senaryolarda bozulabilir ürünler için sipariş politikaları oluşturmaktır. Nahmias, talebin olasılıksal olduğu karmaşık problemlerde ürünlerin tek bir periyottan fazla stokta kalamayacağını varsayar.

Gazete Satıcısı Modeli'nde (Newsboy Model) satılacak ürün her periyot başında sipariş edilir ve sipariş edilen miktar yalnızca o periyottaki talebi karşılamak için kullanılabilir. Bu modelde talep fonksiyonun sürekli olduğu ve bilindiği varsayılmaktadır. Periyot sonunda sipariş edilen miktar talepten fazla ise elde kalan ürünler cezalandırılmaktadır. Sipariş edilen miktarın talebi karşılayamadığı durumda da, aynı şekilde geri çevrilen talep cezalandırılmaktadır. Gazete Satıcısı Modeli talep fonksiyonunu göz önünde bulundurarak bu iki ceza türlerini dengeleyen bir sipariş hacmi çıkarmaktadır (Nahmias, 2009). BigChefs envanterindeki ürünlerin sipariş sıklığı ürünün raf ömrüne eşit ya da küçük olarak seçilirse, Gazete Satıcısı Modeli'nden faydalanılabilir.

4. İzlenen Yöntem ve Uygulamaları

Sistem analizi sırasında gerçekleştirilen ham madde sınıflandırması sonucunda, ham maddeler farklı özelliklerine göre sınıflara ayrılmış; Sınıf A ve B ürünleri ile Sınıf C ve D ürünleri için iki farklı model geliştirilmesi düşünülmüştür. Sınıf A ve B ürünleri kısa raf ömürlü ve yüksek maliyetli ürünler olduğu için geliştirilen yöntemde raf ömrüne ağırlık verilmektedir. Sınıf C ve D ürünleri için geliştirilen yöntemle de, şirketin bu ürünler için karar verme sürecini kolaylaştırarak, bu ürünlerden hiçbir zaman eksiklik yaşanmayacak şekilde sonuçlar alınması amaçlanmıştır.

4.1. Geliştirilen Modeller

4.1.1.Sınıf A&B için Geliştirilen Model: Çoklu Periyot Gazete Satıcısı Modeli

BigChefs yönetimi sipariş hacmine göre farklılık gösteren değişken birim ürün maliyetlerinin fonksiyonunu sağlayamamıştır. Aynı zamanda BigChefs yönetimi envanter maliyetlerinin envanterdeki ürün miktarına göre değişmediğini bildirmiştir. Buna bağlı olarak, envanter kapasitesinin kısıt

oluşturmadığı varsayılmıştır. Envanter tutma maliyeti ise, modelde sonucu etkilemeyecek derecede küçük bir değer olarak alınmıştır.

A ve B sınıfı ürünler için sezgisel bir çözüm yöntemi üretilmiş ve bu yöntemde sipariş periyotları sipariş edilecek ürünlerin raf ömründen küçük veya raf ömrüne eşit olacak şekilde seçilmiştir. Gazete Satıcısı Modeli'nin aynı ham madde için farklı sipariş periyotlarında çözümü, zayı ve ürün eksikliğinden kaynaklanan maliyetin en düşük olduğu seçeneğin belirlenmesine imkan sağlamıştır. Bu çözüm yöntemi geçmiş verilerin analizi sonucunda hayata geçirilmiştir. Bu yöntem ile kesin olarak belirlenmiş sipariş sıklıkları modele eklendiği zaman, bu yapı sürekli gözden geçirme modeli yerine periyodik gözden geçirme envanter kontrol modeli ile benzerlik göstermektedir. Bu yaklaşım, ürünler bozulabilir olduğu için anlamlı görünmektedir.

Karar Değişkenleri:

$Q(t, u)$: sipariş sıklığı u gün olduğunda t günü verilen siparişin hacmi, $t=1,2,...,7$ ve $u=1,2,...,m$; (m seçilen ürünün raf ömrüdür.)

Parametreler:

m : Ürünün raf ömrü.

$f(t,u)$: Ürünün t gününde başlayan ve u gün süren talebinin yoğunluk fonksiyonu.

ET : Envanter devir süresi. Bu değer 1 günden başlayarak ürünün raf ömrü ve raf ömründen daha küçük tüm gün değerleri için denenmiştir. Örneğin, domatesin raf ömrü 5 gündür. 1 gün, 2 gün, 3 gün, 4 gün ve 5 günlük envanter devir süreleri için beklenen toplam maliyet hesaplanmıştır. Daha sonra en düşük maliyeti veren envanter devir süresi ürünün sipariş sıklığı olarak seçilmiştir.

I : Mevcut envanter miktarı.

c : Ürünün birim satın alma maliyeti.

α : Faiz oranı.

$f_s(t,m)$: Raf ömrü m gün olan ürünün, t devir süresi boyunca bozulma fonksiyonudur.

C_u : Ürün yokluğundan kaynaklanan birim maliyet. Bu maliyet, ürünün cinsine göre değişmektedir. Çevre perakendecilerden kolaylıkla sağlanabilecek ürünlerin, ürün yokluğu maliyeti ürünün perakendecideki satın alma fiyatı olarak alınmıştır. Perakende alınamayacak ürünler için, ürün yokluğundan kaynaklanan maliyet, o ham maddeyi içeren en pahalı menü kaleminin fiyatı olarak alınmıştır.

C_o : Birim zayı maliyeti. Her periyot sonunda, envanterde artakalan ürün, ürünün kalan raf ömrüne göre cezalandırılmaktadır. Eğer ürünün raf ömrü kalmadıysa, ürünün bozulduğu kabul edilmekte ve zayı maliyeti ürünün satın alma maliyeti olarak düşünülmektedir. Ancak, ürünün raf ömrü varsa yani ürün bozulmadıysa, ürünün zayı maliyeti ürünün satın alma fiyatının bozulma fonksiyonuyla oranlanması ve ortalama envanter taşıma maliyetinin eklenmesiyle bulunmuştur.

Varsayımlar:

- Envanterde raf ömrü boyunca kullanılmayan ürünler bozulmuştur.

- İlk giren ilk çıkar yani FIFO prensibi kullanılmıştır.
- Pozitif sipariş tedarik süresi olmasına rağmen, sipariş edilen ürünlerin hepsi restorana taze olarak ulaşmaktadır ve kalan raf ömrü sipariş tedarik süresinden etkilenmemektedir.
- Talebin olasılıksal yoğunluk dağılımı bilinmektedir ve bu fonksiyonun ortalama ve standart sapması bilinen bir Normal dağılıma sahip olduğu varsayılmıştır. Bu varsayım proje açısından bir kısıt olarak düşünülmemiştir çünkü veri analizine göre ürünlerin çoğunluğu, seçilen periyotlarda Normal dağılıma uymaktadır. Üçgensel, beta, tekdüze (uniform) dağılıma sahip olan talepler de en fazla %5 ortalama karesel hata ile Normal dağılıma uyarlanabilmektedir.

A & B Sınıfları için Geliştirilen Modelin Metodolojisi:

Metodolojide izlenen aşamalar aşağıdaki gibi açıklanabilir:

1. Menü kalemlerinin günlük satış verileri ve menü kalemlerinin reçeteleri BigChefs yönetimi tarafından proje ekibine sağlanmıştır. Menü kalemlerinin reçetelerine göre, kullanılan ham maddelerin yüzdelere ulaşılmıştır.
2. Bu aşamada her ham maddenin günlük kullanım miktarı, menü kalemlerinin günlük satış miktarı ile menü kalemi içindeki ham madde miktarının çarpılması ve sonrasında ham madde bazında toplanması ile elde edilmiştir.
3. Örneğin raf ömrü 3 gün olan bir ürünü ele aldığımızda, envanter devir süresi seçimi için 1 gün, 2 gün ve 3 günün göz önünde bulundurulması gerekmektedir. 3 gün sonunda elde kalan ham madde kesinlikle kullanım dışı kalmaktadır. Envanter devir süresi 1 gün olarak seçildiğinde, her gün sipariş verilecektir. Sipariş sıklığı 2 gün seçildiğinde, sipariş periyotları Pazartesi-Salı, Çarşamba-Perşembe, Cuma-Cumartesi gibi 2 günlük talepleri kapsayan gün kombinasyonlarıdır. Aynı şekilde, 3 günlük sipariş periyotlarına da Pazartesi-Salı-Çarşamba, Perşembe-Cuma-Cumartesi, Pazar-Pazartesi-Salı kombinasyonları örnek verilebilir. Dolayısıyla bir ham maddenin ömrü m gün ise düşünülmesi gereken talep dağılımı $7*m$ kadardır. Taleplerin bir fonksiyona oturtulması ile talep tahmini de yapılmaktadır.
4. Her olası sipariş periyodu için talep dağılımları çıkarılmıştır. Daha önce anlatıldığı gibi talep dağılımları ya kendiliğinden Normal dağılıma sahiptir ya da en fazla %5 ortalama karesel hata ile Normal dağılıma sahip olmaya zorlanmıştır.
5. Anlatıldığı şekilde hesaplanan birim ürün yokluğu, birim zayı maliyetleri ve talebin kümülatif dağılımının (Normal dağılım) tersi kullanılarak, en uygun sipariş miktarı hesaplanmıştır. Bu literatürdeki Gazete Satıcısı maliyet fonksiyonun sipariş hacmine göre türevi alınarak bulunmuştur.

$$Q^* = F^{-1}\left(\frac{C_u}{C_u + C_o}\right) - I$$

Gazete Satıcısı maliyet fonksiyonu ürün yokluğu ve zayı maliyetlerini içermektedir. Gazete Satıcısı modeli C_u ve C_o maliyetlerine göre ürün yokluğundan oluşan ve zayılerden kaynaklanan maliyeti dengelemeye çalışmaktadır. Gazete Satıcısı zayı maliyeti aşağıdaki formüle göre hesaplanmaktadır:

$$C_o \int_0^Q (Q - x) f(x) dx$$

Benzer şekilde, Gazete Satıcısı ürün yokluğu maliyeti aşağıdaki formülden hesaplanmaktadır:

$$C_u \int_Q^\infty (x - Q) f(x) dx$$

Gazete Satıcısı ürün eksikliği ve zayı maliyetleri toplanarak bir periyot için Gazete Satıcısı maliyeti hesaplanmaktadır.

6. Her sipariş karar süresinin haftanın her günü ile ilişkilendirilen 7 farklı en uygun sipariş miktarı vardır. Tabloda $Q^1_{\text{pazartesi}}$ sipariş periyodunun başlangıcı pazartesi ve sipariş sıklığı 1 gün olan sipariş hacmini göstermektedir. Bu miktar klasik Gazete Satıcısı modelinden yararlanılarak ve Pazartesilerin talep fonksiyonu kullanılarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde, $Q^2_{\text{pazartesi}}$ sipariş periyodunun başlangıcı Pazartesi olan ve sipariş sıklığı 2 gün olan sipariş hacmini göstermektedir. Ancak bu sefer hesaplamalar Pazartesi ve Salı toplam talebinin fonksiyonu üzerinden yapılmıştır. Anlatılan bütün fonksiyonlar üçüncü aşamada elde edilmiştir (bkz EK 2)
7. Hesaplamalar Gazete Satıcısı maliyet fonksiyonu ile optimal sipariş sıklığını bulmak için yapılmıştır ve sipariş sıklığı seçenekleri 1 gün, 2 gün, 3 gün,...m gün olarak devam etmektedir. Sipariş sıklıklarını karşılaştırmak için sipariş sıklığı için beklenen haftalık maliyetler hesaplanmıştır. Sipariş karar süresinin n gün olması halinde, n haftalık süre için periyot maliyetleri hesaplanmaktadır. Örneğin; sipariş sıklığının 1 gün olduğu durumda karar döngüsü kendini haftada 1 tekrarlamaktadır. (Sipariş günleri: Pazartesi-Salı-Çarşamba....Pazartesi) Sipariş sıklığının 2 gün olduğu durumda karar döngüsü kendini 2 haftada bir tekrarlamaktadır. (Sipariş günleri: Pazartesi-Çarşamba-Cuma-Pazar-Salı...Pazartesi) Bu durum aynı zamanda talep fonksiyonları sayısının $7 \cdot m$ tane olmasının da bir başka kanıtıdır. Eğer sipariş sıklığı 2 gün ise, elde edilen beklenen maliyet 2 haftalıktır. Farklı sipariş sıklıklarının maliyetini karşılaştırmak için, ortak bir baz süreye ihtiyaç duyulmaktadır. En kolay yollardan biri, değerleri haftalık olarak karşılaştırmaktır. Dolayısıyla farklı sipariş sıklıkları için karar döngüsünün beklenen toplam maliyetini sipariş sıklığına bölmek gerekmektedir.

4.1.2 Sınıf C ve D için Geliştirilen Model

Daha önce mevcut sistemin analizi için ABC sınıflandırmasından yola çıkılarak geliştirilen yöntem doğrultusunda, C ve D sınıfı ürünlerinin 2 haftadan fazla, genellikle 1 aydan 12 aya kadar raf ömrüne sahip olduğu görülmüştür. Bu ürünler bozulabilirlik açısından BigChefs için A ve B sınıfı ürünlerinden daha az önem teşkil ettiğinden, daha az öncelikli bu ürünler için farklı bir envanter modeli geliştirilmesi uygun bulunmuştur.

Bu ürünler uzun raf ömrüne sahip oldukları için bozulmadan önce tüketilebilecekleri varsayılmış ve günlük sipariş kararları vermeye gerek duyulmadan büyük hacimlerde satın alınabileceği öngörülmüştür. Bu yüzden, bu ürünlerin haftalık kullanımları hafta boyunca sabit olarak kabul edilerek, periyodik gözden geçirme envanter modeli geliştirilmesi uygun bulunmuştur.

Parametreler:

$\bar{d}$: Talep ortalaması. Bu, talep verisinden elde edilen numune ortalamasıdır.

t_b : Siparişler arasında geçen süre. Bu değer, karar verici tarafından belirlenir.

L : Sipariş tedarik süresi. BigChefs yönetimi bu değer en fazla 1 iş günü olduğunu belirtmiştir.

σ_d : Günlük talebin standart sapması.

z : Sipariş hizmet seviyesi karşılık gelen standart normal değeri (Hizmet seviyesi 95% olarak alınmıştır.).

$z * \sigma_d * \sqrt{t_b + L}$: Emniyet stoğu.

I : Eldeki mevcut stok miktarı.

Model:

$$Q = \bar{d} * (t_b + L) + z * \sigma_d * \sqrt{t_b + L} - I$$

Modeldeki $\bar{d} * (t_b + L)$ terimi sipariş devir süresi ve sipariş tedarik sürelerinin toplamı boyunca ortalama talebi göstermektedir. Sipariş tedarik edilene ve iki sipariş arasında geçen süre boyunca gerçekleşebilecek talep varyasyonuna karşı restoranı korumak için ihtiyaç duyulacak envanter miktarını temsil eder. $z * \sigma_d * \sqrt{t_b + L}$ terimi ise belirli bir hizmet seviyesi için emniyet stoğunu ifade eder. Sezgisel olarak siparişler arası sürenin olabildiğince uzun tutulması planlandığı için, 1 günlük sipariş tedarik süresi daha az önem teşkil etmekte ve bu nedenle göz ardı edilebilmektedir. 1 yıllık ürünler için sabit sipariş sıklığı 3 ay, 3 aylık ürünler için gözden geçirme sıklığı 1 ay olarak önerilmektedir. 1 aylık ürünler için ise sabit sipariş periyodu 15 gün olacaktır.

5. Sonuçlar ve Genel Değerlendirme

Geliştirilen modellerin performans değerlendirmesi, seçilen pilot ürünler üzerinden gerçekleştirilmiştir. A ve B sınıfı ürünler şirket için zayıf ve eksikliklerinde daha yüksek maliyete yol açtığı için, pilot ürün seçiminde A ve B sınıflarına ağırlık verilmiştir. Seçilen pilot ürünler için Temmuz 2016'da başlayıp Ocak 2017'de sonlanan talep verileri kullanılarak, talep dağılım

fonksiyonlarına ulaşılmıştır. Bu fonksiyon kullanılarak, bilgisayar destekli karar sistemi ve şirketin sağladığı parametrelerle birlikte model çıktıları olan sipariş miktarı, sipariş sıklığı ve sipariş günü elde edilmiştir. Bu model çıktıları, mevcut sistemin modelin girdileri arasında olmayan Şubat 2017 verileri ile kıyaslanarak performans değerlendirmesi sağlanmıştır. Modelin amaç fonksiyonu, sistemdeki envanter maliyetini enazlamak olduğu için, bahsedilen bu performans değerlendirmesi maliyet bazında gerçekleştirilmiştir. Göz önünde bulundurulmuş toplam maliyet, ürün yokluğundan kaynaklanan eksiklik maliyeti, ürün bozulmasından kaynaklanan zayı maliyeti ve satın alma maliyetlerini içermektedir. En uygun sipariş miktarı ve sıklığı göz önüne alınıp, bu verilerle Şubat 2017 için satın alma senaryoları test edilmiştir. Modelin çıktısı olan sipariş miktarlarının, gerçek talep verisiyle olan ilişkisi zayı veya eksiklik miktarları açısından incelenmiştir. Şubat ayı içerisinde BigChefs'in gerçekleştirdiği gerçek alım verileri, şirketin sağladığı zayı miktarları üzerinden, mevcut sistem ve önerilen sistem arasında maliyet karşılaştırılması yürütülmüştür. Bu analizlerin sonucunda, sunulan modelin her pilot ürün için iyileştirme sağladığı görülmüş; sistem üzerinde pilot ürünler kapsamında ise toplam maliyet bazında ortalama %31.6 iyileştirmeye ulaşılmıştır.

Model algoritmasının, şirket tarafından kullanılabilirliği açısından kullanıcı dostu bir arayüz geliştirilmesi düşünülmüştür. Bu arayüz Excel VBA tarafından sağlanmakta olup kullanıcıdan modelde anlatılan ürün adı, raf ömrü, toptan birim alım maliyeti gibi parametreleri isteyip, en uygun sipariş sıklığı ve sipariş miktarı gibi model çıktılarını kullanıcıya sunmaktadır. Bu sayede, şirketin talep ve mevcut envanter miktarı gibi verileri rahatlıkla karar destek sistemine nicel olarak aktarılabilir. Model algoritması BigChefs envanterindeki ham madde yelpazesinin daha büyük çoğunluğuna uygulanmak istenirse, BigChefs'in veri tabanı işletim sistemine entegre edilebilmektedir.

KAYNAKÇA

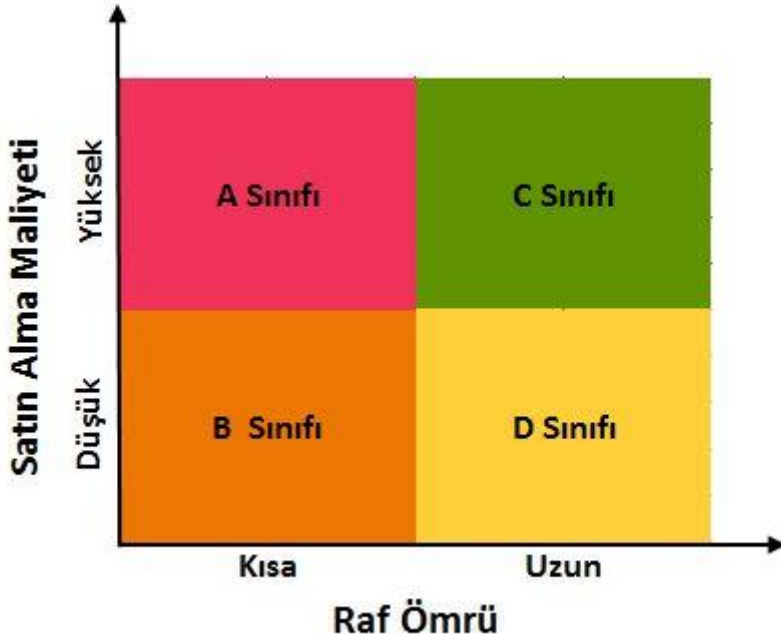
Nahmias, Steven. "Perishable Inventory Theory: A Review". Operations Research, vol 30, no. 4, 1982, pp. 680-708. Institute For Operations Research And The Management Sciences (INFORMS), doi:10.1287/opre.30.4.680.

Nahmias, Steven. Production And Operations Analysis. 1st ed., Boston, Mcgraw-Hill Irwin, 2009,.

"Order Quantity for a Periodic Inventory System", Web, <http://www.prenhall.com/divisions/bp/app/russellcd/PROTECT/CHAPTERS/CHAP12/HEAD06.HTM>,.

EKLER

EK 1 – Hammadde Sınıflandırma Yöntemi



EK 2 – A & B Sınıfları için Geliştirilen Modelin Metodolojisi

	Sipariş Sıklığı = 1 gün	Sipariş Sıklığı = 2 gün	Sipariş Sıklığı = 3 gün
Pazartesi	Periyot 1	Periyot 1	Periyot 1
Salı	Periyot 2		
Çarşamba	Periyot 3	Periyot 2	Periyot 2
Perşembe	Periyot 4		
Cuma	Periyot 5	Periyot 3	Periyot 2
Cumartesi	Periyot 6		
Pazar	Periyot 7	Periyot 4	Periyot 3
Pazartesi			
Salı		Periyot 5	Periyot 4
Çarşamba		Periyot 6	
Perşembe		Periyot 7	Periyot 5
Cuma			
Cumartesi			Periyot 6
Pazar			
Pazartesi			Periyot 7
Salı			
Çarşamba			Periyot 6
Perşembe			
Cuma			Periyot 7
Cumartesi			
Pazar			

Satış Tahminleri ve Güvenlik Stoğu Seviyelerinin İyileştirilmesi

Doğadan Gıda Ürünleri Sanayi ve Pazarlama A.Ş.

Proje Grubu

Ece Akyol

Karya Atış

İrem Erdem

Elif Gülce Keskin

Elçin Kocaman

Aydın Bora Önder

Endüstri Mühendisliği

Bilkent Üniversitesi

06800 Ankara

Şirket Danışmanı

Gözde Özyandı Sili

Doğadan, Planlama & Lojistik Yöneticisi

Akademik Danışman

Doç. Dr. Savaş Dayanık

Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Projenin amacı, zincir marketlere satılan ürün gruplarının satış tahminlerinin iyileştirilmesidir. Sürdürülebilir tahmin sistemi, birçok tahmin metodunu değerlendirerek en iyi sonucu vermesinin yanı sıra ürün özelliklerindeki olası değişikliklere uyum sağlar. 2016 verileri kullanılarak yapılan doğrulama çalışmaları sonucu, tahmin doğruluğunda %33 civarında bir iyileştirme görülmektedir. Oluşturulan kullanıcı arayüzü; tahmin sonuçlarının ve ürün analizlerinin incelenmesine ve gerekli parametrelerin değiştirilebilmesine olanak sağlar. Son olarak, Excel sayfaları kullanılarak oluşturulan güvenlik stoğu belirleme sistemi tahmin yapmak için kullanılan arayüze entegre edilecektir.

Anahtar Kelimeler: satış tahmini, güvenlik stoğu, doğrulama

1. Özet Sistem Tanımı

1.1 Şirket Hakkında Özet Bilgi

1975 yılında kurulan Doğadan bitki ve meyve poşet çay kategorisinde açık ara liderdir. “Bitki-meyve çayı” terminolojisi Türkiye’de ilk kez tarafından başlatılmıştır. 2007 yılında siyah çay operasyonuna da başlayan Doğadan, siyah çay kategorisinde de stratejik hedefleri ile emin adımlarla ilerlemektedir. Türkiye pazarı dışında birçok farklı uluslararası pazarda boy gösteren Doğadan’ın misyonu yenilikçi ve marka değeri yüksek ürünleriyle çay endüstrisinde dünya çapında bir marka olmak ve sürdürülebilir karlar ile ortak paydaşlarının değerlerini sürekli olarak koruyan ve yükselten bir marka olmak olarak açıklanabilir. Bu bağlamda Doğadan, ISO9001 başta olmak üzere FSSC 22000, ISO 14001 ve OHSAS 18001 kalite güvence sertifikalarına sahiptir.

1.2 Servis ve Üretim Sistemi

Ham madde ve son kullanıcı ürünlerini Akyurt’ta bulunan deposunda stoklayan Doğadan, 2017 yılı itibari ile 80 farklı ülkeden ham madde ihtiyacını karşılamaktadır. Sipariş verildikten sonra malların teslimine kadar geçen temin süreleri değişkenlik göstermektedir. Doğadan, Akyurt’ta bulunan tesisinde ürünlerin paketlenme faaliyetlerini gerçekleştirir, gerekli depolama süreçlerini iletir ve ürünlerin son müşteriye dağıtımını sağlar.

1.3 Sistem Analizi

Bu bölümde elde ettiğimiz verileri tanıtır, problemimizi tanımladıktan sonra, projemizin amaç ve kapsamını sunacağız.

1.3.1 Veri Analizi

Doğadan’ın mevcut düzeninde genel merkezde bulunan satış, pazarlama ve finans departmanları satış hedefleri ve satış tahminleri süreçlerini yönetmektedir. Akyurt’ta bulunan üretim planlama departmanı tarafından bu tahminlere göre malzeme ihtiyaç planlaması ve üretim planlaması yapılmaktadır.

1.3.2 Problem Tanımı

Doğadan’ın mevcut düzeninde temel problem, talep tahminleri doğruluğunun düşük olmasıdır. Sektöre baktığımızda bu oran diğer firmalar için de yaklaşık aynı seviyelerdedir. 2015 yılında yetersiz stok durumu %65 oranla doğru olmayan satış tahminlerinden kaynaklanmaktadır. 2016 yılında ise bu oran %80’dir. Sonuç olarak, bu projede hedeflenen satış tahmini iyileştirmesi doğrultusunda yetersiz stok durumu ile karşılaşılma oranının düşmesi beklenmektedir.

1.3.3 Amaç ve Kapsam

Projenin esas amacı zincir marketlere satılan ürünlerin satış tahminlerini iyileştirmektir. Projenin ikinci amacı ürünün stokta bulunmama durumunu engellemek, aynı zamanda stokta çok fazla ürün tutulmamasını sağlamaktır. Başka bir amacı ise talebin zamanında karşılanmasını sağlamaktır. Proje,

Doğadan Şirketi tarafından uzun süreli kullanılabilir olmalıdır. Bu nedenle tahmin sistemi ürünlerin değişen karakteristiklerine uyum sağlayabilmelidir. Aynı zamanda satış tahmini sisteminin girdileri zamanla değişebilmelidir. Son olarak, satış tahmin sonuçlarına kolayca ulaşabilmek için bir arayüz oluşturulacaktır.

2. Çözüm Yaklaşımı ve Güncel Durum

Bu bölümde satış tahmini ve güvenlik stoğu seviyeleri için çözüm yaklaşımımızı, sonuçlarımızı ve doğrulamalarını sunacağız.

2.1 Satış Tahmini için Çözüm Yaklaşımı

Projenin henüz ilk aşamasında, karmaşık verilerin istatistiksel analizlerinin yapılmasına olanak sağladığı ve açık bir kaynak olduğu için R programının kullanılmasına karar verilmiştir. Firmanın sunduğu geçmiş talep verileri, ürünlerin ayırt edici özelliklerini gözlemleyebilmek için öncelikle haftalık bazda analiz edilmiş olup ürünlerin çok farklı karakteristiklere sahip olduğu görüldükten sonra, her bir ürünün sipariş, sevk ve kalan miktarları belirlenip grafiklerle görselleştirildiğinde bazı aykırı değerlere rastlanması sonucu bunlar endüstriyel danışmanlarla görüşülerek ayrıştırılmıştır. Analiz sonuçlarına ve danışmanlarla yapılan görüşmeler sonucu bazı ürünlerin önceliklendirilmiş olup onlar üzerinde talep tahmini yöntemleri yine R programı üzerinden uygulanmıştır. Farklı özellikteki ürünleri kapsayan ve ürün özelliklerinin zamanla değişme olasılığını göz önünde bulundurup buna uyum sağlayabilen esnek bir prosedüre ihtiyaç duyulmaktadır. Bu şekilde, verilerin hangi bölümünün dikkate alınması gerektiğini belirlemeye gerek kalmamaktadır. Bu sebeple, bir yöntemler dizisinden meydana gelen ve talep tahmini istenilen zaman için en uygun yöntemi seçen bir prosedür oluşturulmuştur.

Talep tahmini için oluşturulan yöntemler dizisi yirmi yöntem içermektedir ki bunlardan ikisi otomatik tahmin yöntemleri olan “Autoarima” ve “ETS” yöntemleridir. Bu otomatik yöntemler kullanıcı müdahalesi olmadan çok sayıda seriye ve alışılmadık zaman serisi modellerine uygulanabilmektedir. (E,T,S) üçlüsü, üç bileşene işaret etmektedir: hata, eğilim ve sezonsallık [1]. Bu üçlü; eklenebilir ya da çarpımsal veya sönümlü olabilir özelliklerini gösterebilir, ancak hiçbirinin olmaması da olasılıklar dahilindedir. Dolayısıyla bu otomatik yöntemler geniş bir özellik yelpazesine sahip olsa da diğer yöntemlerin de sıklıkla seçildiği görülmüştür. Örneğin sezonsallık ve trendi dikkate alan Holt Winter’s yöntemi en çok seçilen yöntemlerden biri olmuştur. Bunların yanı sıra, “Theta”, “Holt’s Linear”, “Croston”, “Moving Averages”, “Neural Network” ve bunların STL versiyonları da yöntemler dizisinde yer almaktadır [2]. STL versiyonları verideki sezonsallığı çıkarttıktan sonra yöntemi uygulamakta, ardından sezonsallığı eklemektedir. Bu nedenle sezonsal özellik gösteren ürünlerde bu yöntemin daha sık seçildiği gözlenmiştir. Son olarak “Autoarima”

ve otomatik “ETS” modellerini harmanlayan melez bir model olan “Hybrid” modeli sisteme eklenmiştir. Bu model içerdiği modellerin ağırlıklarına, çapraz geçerlilik hatalarıyla ters orantılı olarak karar verir [3].

Yöntemlerin doğruluğu test edilirken bazı haftalarda sıfır talep görülmesi sorun yaratacağından dolayı, veriler aylık bazda toplanıp zaman serisi formatına getirilmektedir. Ayrı bir objenin içinde verilerin son $i=1,2,3$ ayının çıkarılmış biçimleri tutulmaktadır. Verilerin bu eksiltilmiş hali daha önce belirtilen yöntemler listesinin girdisini oluşturduktan sonra i ay kadar tahmin yapılmaktadır. Yapılan bu tahminler, daha önce çıkartılan gerçek sipariş miktarlarıyla kıyaslanarak her bir i için ortalama hata payı belirlenmektedir. Benzer şekilde, bu prosedür 1 yıl için de uygulandıktan sonra geçen yılki aynı ay ve çevresindeki 3 ayın hata paylarının ortalaması belirlenmektedir. Elde edilen bu dört hata değeri kıyaslanması sonucu en küçüğünün kullandığı talep tahmin yöntemi seçilerek önümüzdeki dönemin tahminini yapmak için kullanılmaktadır. En sonunda, kullanıcı arayüzünün yardımıyla seçilen yöntem ve istenilen talep tahmin değerleri belirlenen güven aralığıyla beraber bir Excel dosyasına bastırılabilir. Bu prosedür izlenerek önümüzdeki dönemin tahminlerini elde etmek için program her çalıştırıldığında, ürünlerin davranışlarındaki olası değişikliklere tepki verebilmek için yeniden değerlendirme yapılmaktadır. Dolayısıyla bu yöntem, o ürün için ve belirlenen zaman için en uygun yöntemin seçilmesini sağlamaktadır.

2.2 Satış Tahmini için Güncel Sonuçlar ve Doğrulama

Daha önce de bahsettiğimiz üzere çözüm yaklaşımımız en az hatayı veren metodu seçerek tahmin yapıp her ürün için en yüksek doğruluk oranını elde etmek üzerine kuruludur. Sonuç olarak, arayüzden elde edilen tahmin çıktılarında bir ürün için hem tahmin miktarı hem de analiz yapabilmek için seçilen yöntem görülebilmektedir. Doğadan, arayüz yardımıyla şu andan itibaren istedikleri zamana kadar sistemimizi kullanarak tahmin yapabilmektedir ve sistemimizle alakalı geri dönüşler olumlu yöndedir. İlk olarak Doğadan’dan Aralık 2016 itibarıyla her ay ve her ürün için gelen sipariş miktarları, sistem ve çıktıları kontrol etmek amacıyla istenmeye başlanmıştır. Excel’de her ay için sayfa oluşturularak Doğadan için en önemli 30 ürünün gerçek satış miktarları ve R programından aktarılan tahmin miktarları kullanılarak, Doğadan ile tutarlı olabilmek için, Doğadan’ın formülüyle

$$\left(1 - \frac{|tahmin - gerçekteşen|}{gerçekteşen}\right) \times 100$$

tahmin doğrulukları hesaplanmıştır. Daha sonra yalnızca bir kaç ay için hesaplanan tahmin doğruluklarının sistemin çalışması hakkında çok net bilgiler veremeyeceği fark edilmiştir. Bu sorunu çözmek için her ay için geçmiş bir yıllık veriyi kontrol etmenin ve yıllık satış hacminin %99’ unu oluşturan 70 ürüne odaklanmanın daha doğru olduğu düşünülmüştür.

R programında yapılan sisteme göre, Ocak 2017 tarihinden başlayıp Aralık 2015 tarihine kadar her seferinde bir aylık gerçekleşen sipariş verisini kullanılan kümülatif veriden silerek, o ay için tahmin yapılmaktadır. Bir örnekle, şu anda Kasım 2016 tarihinde olduğumuz düşünülerek, Kasım ayının gerçekleşen sipariş verileri kümülatif veri içinden çıkartılır, Kasım hiç yaşanmamış gibi tahmin yapılır, tahmin çıktısı ve Kasım ayı gerçekleşen siparişler kullanılarak Excel sayfası üzerinde tahmin doğrulukları hesaplanır. Dolayısıyla Aralık 2015 ve Ocak 2017 arasındaki 13 ay için 70 ürünün ürün kodlarını, gelen sipariş miktarını, kullanılan tahmin metotlarını ve tahmin doğruluklarını 13 ayrı Excel sayfasında gösterilebilmektedir. Ayrıca hata hesaplarken kullandığımız çözüm yaklaşımı kısmında açıklanan 1,2,3 aylık ve 1 yıllık süreçlerden sistem tarafından hangisinin seçildiği de bu sayfalarda bir sütunda analizlerimizi kolaylaştırmak için tutulmuştur. 13 ay için elde edilen 70 ürün için ortalama tahmin doğruluğu miktarlarını tabloda (Ek 1) görülmektedir. Bu 13 ayın ortalaması %58,3 olup Doğadan'ın 2016 tahmin doğruluğu ortalamasını %32 arttırmıştır. Ayrıca bir hassasiyet analizi yapabilmek için nokta tahminlerimizle beraber güven aralığına giren en düşük ve en yüksek tahmin miktarlarına da kullanıcılara sunmaktayız. Böylelikle kullanıcı siparişlerde herhangi bir terslik gördüğünde veya veri karakter değiştirdiğinde, kullanıcının güven aralığından elde edilen değerleri kullandığında sistemimiz olası değişikliklerle de başa çıkabilmiş olacaktır.

2.3 Güvenlik Stoğu Seviyeleri için Çözüm Yaklaşımı, Güncel Sonuçlar ve Doğrulama

Doğadan şirketinin talepleri karşılamadaki sıkıntısını tahminlerdeki sapma payının çok olması oluşturmaktadır. Bir diğer neden ise güvenlik stoğunu doğru belirleyememektir. Yapılan toplantılar sonucunda çok fazla stok tutmak zorunda kaldıklarının belirtilmesi üzerine, projenin ikinci kısmı uygun güvenlik stoğu saptamak olarak belirlendi. Fazla stok tutmak, şirketin stok maliyetini arttırmakta ve depolarındaki alanı kısıtlamaktadır. Projenin sonucunda öncelikli olarak talepleri karşılamının yanı sıra, fazla stok tutmaktan kaynaklanan giderleri azaltmayı ve depodaki kullanılabilir alanı arttırmayı hedeflemekteyiz.

Araştırdığımız bir çok yöntem arasından, elimizdeki bilgiler doğrultusunda, bize en uygun olanı servis düzeyi yöntemi olduğu için bunu kullanmayı uygun gördük. Servis düzeyi yöntemi, tahminlerin ortalama karesel hatasının karekökü (TOKHK), servis düzeyini, teslim süresini ve istenen servis düzeyi sabitini girdi olarak alıp, güvenlik stoğunu bulmamızı sağlamaktadır. Bunun için

$$\text{Güvenlik Stoğu} = \text{TOKHK} \times \sqrt{\text{teslim süresi}} \times (\text{servis düzeyi})$$
 formülünü kullanmaktayız.

Literatüre göre taleplerin %80'ini karşılamayı hedefleyerek servis düzeyini %80 olarak kabul etmekteyiz [4]. Bu şekilde bulduğumuz stok

güvenliği ile beraber sipariş tahminimiz aylık siparişlerin %80'nin tamamını karşılamak için yeterli olacaktır. O ay için bulduğumuz stoğun bizi 1 ay kurtaracağını düşünerek teslim süresini de 1 ay olarak almaktayız. Şirkete sunduğumuz kullanıcı ara yüzüyle Doğadan, servis düzeyini ve teslim süresini her ürün için uygun şekilde değiştirebilmektedir. Bu bilgiler doğrultusunda her ürün için güvenlik stoğunu belirleyici etkenin, tahminlerden elde ettiğimiz sapmalar olduğunu söyleyebiliriz.

Bulduğumuz sonuçların değerlendirmesi, güvenlik stoğu olduğu ve olmadığı zamanki tahmin doğruluğunu karşılaştırarak yapılmıştır. Değerlendirme elimizde gerçekleşeni olan 2016 sonu ve her 2017 ayı için yapılmıştır. Bu hesaplama yapılırken tahmin kısmında belirttiğimiz formül kullanılmış ve tahmin doğruluğunun düştüğü görülmüştür. Bunun sebebi, talepleri karşılayabilir duruma getirmemize rağmen, belirli bir miktar stoğun artmasıydı. Endüstriyel danışmanımızla yapılan toplantı sonucunda güvenlik stoğu hesaplamaları için temel tahmin formülünü kullanmaya karar verilmiştir. Sağladığımız güvenlik stoklarının Doğadan tarafından istenen seviyede olması için, temel tahmin sonucunun 0,60 ve 1,15 aralığında olması uygun görülmüştür. Temel tahmin için

$$\frac{\text{gerçekleşen}}{\text{tahmin} + \text{güvenlik stoğu}}$$

formülünü kullanılmıştır.

Tahminlerin karesel hatası ne kadar çoksa optimal aralığa girmek o kadar zorlaşmaktadır. Bu nedenle talepler uygun şekilde karşılanabildiği sürece, güvenlik stoklarının uzun vadede daha optimal bir sonuç vermesi beklenmektedir. Ayrıca teslim süreleri, ürünlerin ham maddesinin geldiği yere göre değişiklik göstermektedir. Doğadan, ham maddesi yurt dışından gelen ürünler için teslim süresini 2 ay olarak almaktadır. Sağladığımız ara yüzle bu ürünler için teslim süresi kullanıcı tarafından ayarlanıp, güvenlik stokları da ona göre belirlenebilecektir.

3. Projenin Şirkete Faydaları ve Uygulama Planı

Bu bölümde projenin şirkete olan faydalarını ve projeyi uygulama planını sunacağız.

3.1 Projenin Şirkete Faydaları

Proje iki kısımdan oluşmaktadır, birincisi satış tahminlerinin iyileştirilmesi ve ikincisi güvenlik stoğu seviyesinin belirlenmesidir. Bu iki kısım birbiriyle bağlantılıdır, çünkü birinin iyileşmesi diğerini de iyileştirmektedir. Satış tahminleri ne kadar gerçeğe yakın olursa güvenlik stoğu seviyesi de o kadar doğru olur. Aynı zamanda, üretim ve mali planların hazırlanması kolaylaşır. Bunun sonucu olarak, satışı artırmaya yönelik pazarlama stratejilerine odaklanma fırsatı doğar. Satış tahmininin iyileştirilmesi daha doğru bir plan yapmalarının yanı sıra şirketin büyümesini sağlamaktadır.

Müşteri memnuniyetinin yüksek olması, şirketin itibarını arttıran unsurlar arasındadır. Müşteri memnuniyetinin ilk koşulu ise taleplerin zamanında karşılanabilmesidir. Bu sürecin devamlılığı için şirketin stoğunda yeterli miktarda ürünün bulunması gerekmektedir. Satış tahmini gerçeğe ne kadar yakın olursa gerekli güvenlik stoğu o kadar iyi belirlenir. Aynı zamanda daha az güvenlik stoğuna ihtiyaç duyulacağı için stok maliyetinin azalması beklenir. Satış tahmin sistemi, istendiği zaman kullanılıp, istenilen ürün için, seçilen zaman diliminde kullanılabilir. Tahmin hesaplamalarımızın Doğadan'ın hesaplarıyla karşılaştırılınca %41 oranında yetersiz stok durumunu azalttığı görülmüştür. Son 14 ayda gelen talepler doğrultusunda satış tahmin sisteminin tahmin doğruluğunu %33 oranında artırdığı gözlemlenmiştir.

3.2 Uygulama Planı

Projenin gerektirdiği neredeyse bütün tahmin ve geliştirmeler R programı üzerindeki kodlamalarla gerçekleştirilmiştir. R ücretsiz, kullanıma açık bir program olsa da projenin uygulama kısmını kolaylaştırmak, hızlı ve anlaşılır analizlere olanak sağlamak için bir kullanıcı arayüzü geliştirilmiştir. Bu arayüz R programlama dilini kullanan bir web uygulama sistemi olan “shiny” sayesinde hazırlanmıştır.

Öncelikle arayüz üzerindeki arama butonuyla toplu verilerin bulunduğu dosya bilgisayardan bulunarak yüklenir ve güncellenebilir. Ürünler adlarına, kalan miktarlarına, sipariş miktarlarına ve kalan paylarına göre sıralanabilir ve listelenir. Böylece istenilen ürün kolayca seçilir. Haftalık veya aylık baz, ürün türleri (kg, paket), ürün durumu ve zaman aralığı gibi verileri düzenleyebileceğiniz farklı bölümler vardır. Seçilen ürünün zaman serisi grafikleri “Zaman Serileri” bölümünde incelenebilir. Arayüzün yan tarafında seçenek olarak belirtilen “Özel günler” butonu işaretlenirse Ramazan Bayramı, Kurban Bayramı ve Yılbaşı tarihleri grafikler üzerinde kırmızı ile gösterilecektir. “Yıllık Sipariş” bölümünde seçili ürünün yıllara göre sipariş miktarları üst üste gelecek şekilde grafikte gösterilir. “Sezon ve Trend” bölümünde ise ürünün sezonsallık ve trend özellikleri ayrıştırılarak grafikte incelenebilir. “Modeller” bölümünde ise bütün modeller daha önce anlatılan prosedüre göre seçili ürüne uygulanır ve tahmin yöntemlerinin verdiği hata ölçüleri olan OMH(Ortalama mutlak hata) ve ABK(Akaike bilgi kriteri)’ ye göre grafikte konumlandırılır. Dolayısıyla en düşük hataya sahip yöntem sol alt köşede gösterilir ve seçilmesi gereken yöntemin o olduğuna işaret eder. (Ek 2) Birbirine yakın modeller arasından OMH değeri küçük olan model seçilmelidir. En iyi tahmin yapan model belirlendikten sonra “Tahmin” bölümündeki listeden bu yöntem seçilir; böylelikle, tahminler grafik üzerinde görülür. Siyah çizgiyle asıl veriler, kırmızı çizgiyle seçilen yöntemin geçmiş veriye uygulanmış hali ve mavi çizgiyle gelecek dönem için yapılan tahminler gösterilir. Gölgelediği kısım ise güven aralığını temsil eder ve grafiğin sağ tarafındaki panelden değiştirilebilir (Ek 3).

Benzer şekilde tahmin uzunluğu da kolayca değiştirilebilir. Yukarıdaki “Tahminleri yazdır” butonuna tıklandığında o ürün için belirlenen tahmin uzunluğunda yapılan tahminler güven aralıklarıyla beraber bir Excel dosyasına basılır. Arayüzün “Analiz” kısmında ise yöntemin veriye ne kadar uyumlu olduğunu anlamaya yarayan hata ölçüleri verilir, artıklar ve özilinti fonksiyon grafikleri çizilir. Box-Cox butonuna tıklayarak, veriler istatistiksel analizlere uygun hale getirilir. Örneğin eklemeli ETS modelinin tek başına uygulanmasındansa, Box-Cox dönüşümü yapıldıktan sonra uygulanması daha iyi tahmin sonuçları vermektedir [5]. Gelecekte şirkette gerçekleşebilecek olası değişikliklerde bu bölümden yararlanılarak eklemeler ve geliştirmeler yapılabilir. Dolayısıyla, yalnızca mevcut ihtiyaçları karşılayan bir sistem değil, aynı zamanda gelecekteki olası büyük değişikliklere de uyum sağlayabilecek bir sistem geliştirilmiş oldu. Son olarak, “Toplu Tahminler” bölümünde her ürün için önceden belirlenmiş olan tahmin uzunluğunda nokta tahmin değerleri ve güven aralıkları bir Excel dosyasına basılır. Her ürün için en düşük OMH değerini veren yöntem en iyi yöntem olarak arka planda seçilir ve uygulanır. İki yıllık toplu tahmin yapmak ortalama on dakika sürmektedir ve tahmin aralığı kısaltırsa, tahmin yapma süresi de kısaltılmaktadır. Son olarak, güvenlik stoğu hesaplamasının da arayüze entegre edilmesini ve kullanıcının ilgili parametreleri değiştirerek arka plandaki hesaplamalar sonucu güvenlik stoğu miktarlarının elde edilmesi hedeflenmektedir.

KAYNAKÇA

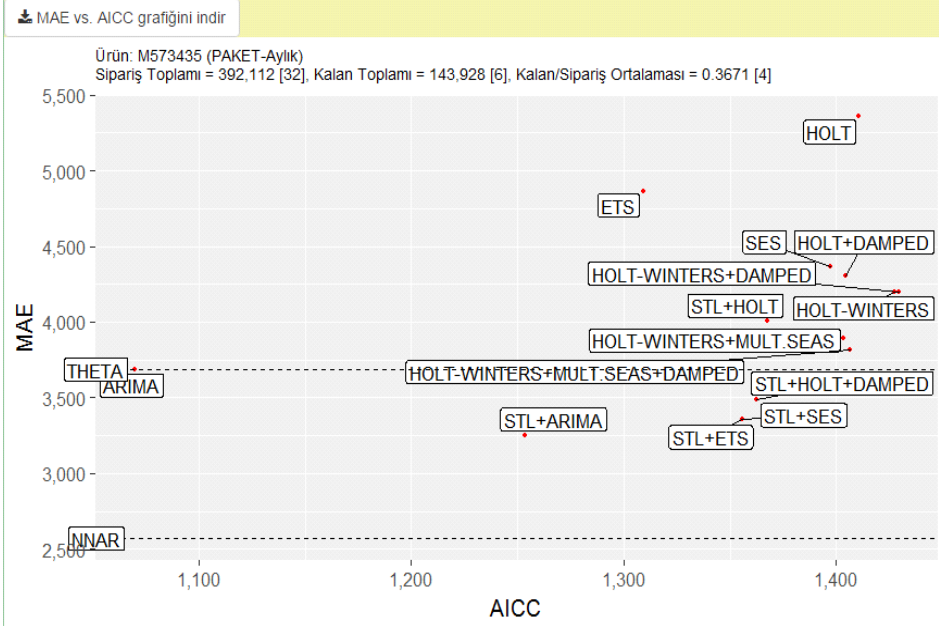
- [1] Cowpertwait, P. and V. Metcalfe, A. (2011). *Introductory Time Series with R*. 1st ed. Seattle: Springer, sf.124-130.
- [2] Hyndman, R. and Khandakar, Y. (2008). Automatic Time Series Forecasting: The forecast Package for R. *Journal of Statistical Software*, [web] 27(3), sf.13-19. <https://www.jstatsoft.org/article/view/v027i03/v27i03.pdf> [15 Ar. 2016].
- [3] Shaub, D. and Ellis, P. (2017). *Convenient Functions for Ensemble Time Series Forecasts*. 1st ed. [ekitap] sf.11. <https://github.com/ellisp/forecastHybrid> [15 Nis. 2017].
- [4] Thomopoulos, T. Nick. (2015). *Demand Forecast for Inventory Control*. 1st ed. Seattle: Springer, sf.149-163.
- [5] Hyndman, R. (2014). *Forecasting: Principles & Practice*. 1st ed. University of Western Australia, sf.63,64.

EKLER

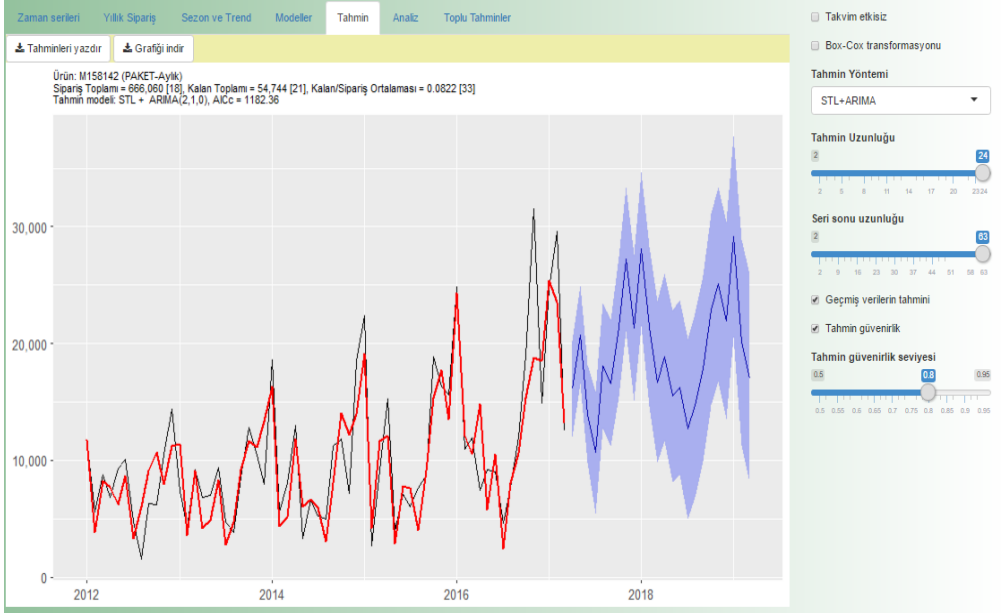
Ek 1.Tablo

Ara.15	Ocak.16	Şub.16	Mar.16	Nis.16	May.16	Haz.16	Tem.16	Ağu.16	Eyl.16	Eki.16	Kas.16	Ara.16	Ocak.17
69.6	62.3	53.5	56.5	47.1	73.9	63.9	30.4	50.5	62.0	66.3	58.8	56.3	64.7

Ek 2. Arayüz



Ek 3. Arayüz



Depo İçi Raf Adresleme ve Optimizasyon Algoritması

Ekol Lojistik

Proje Ekibi

Fatih Durmayaz

Melda Korkut

Ece zcan

Bengisu Uurlu

Gamze nl

Endüstri Mühendisliği

Bilkent Üniversitesi

06800 Ankara

Şirket Danışmanı

Yasemin Erol

Ekol Lojistik, Operasyonel Mükemmeliyet ve Kontrat Lojistiği

Akademik Danışman

Prof. Dr. Mustafa Çelebi Pınar

Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Ekol Lojistik müşterilerine daha iyi hizmet verebilmek için depolarında daha hızlı bir toplama işlemi gerçekleőtirmeyi hedeflemektedir. Toplamanın hızlanması depolardaki operasyonel süreçler için en önemli noktalardan birisidir. Bunun için toplama algoritması kadar adresleme ve yer açma algoritmasının da daha etkili yapılması gerekmektedir. Bu proje, adreslemeyi ve yer açmayı optimizasyon modeline ve sezgisel algoritmaya göre yaparak toplama süresini düşürmeyi amaçlamıştır. Bunun için, ürünlerin birlikte sipariş edilme oranları ve sipariş sıklıkları göz önüne alınarak model geliştirilmiştir. Sezgisel algoritma ise ürünlerin sipariş sıklıklarına göre adresleme yapmaktadır. Bu modelin teorik olarak sepet başına çıkan ürün sayısını 50% arttıracadı, toplama süresini ise %10 kısaltacadı hesaplanmıştır. Modelin farklı durumlarda nasıl davrandığı da gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Adresleme, rn toplama geliştirme, yer açma algoritması.

1. Şirket Tanıtımı

Ekol Lojistik firması, Türkiye, Almanya, Romanya, İtalya, Bosna, Fransa, Yunanistan, Ukrayna, Macaristan, İspanya, Polonya, Bulgaristan, Çek Cumhuriyeti ve İran'da 750.000 m²'yi bulan tesisleriyle hizmet vermektedir. 5.500 araçlık filosu ve 6.500'in üzerinde çok uluslu çalışanıyla, öncü entegre lojistik hizmet sağlayıcıları arasında yer almaktadır. Ekol Lojistik tedarik zinciri yönetiminde gelişmiş teknolojileri kullanarak müşterilerine çevre dostu filo hizmetleri sunmaktadır. Ekol Lojistik Otomotiv, Hızlı Tüketim Ürünleri, Gıda, Sağlık, Perakende, Tekstil, Endüstri, Yapı & Dekorasyon ve Teknoloji sektörlerine özel çözümler üretmektedir.

2. Proje Kapsamı ve Mevcut Sistem Analizi

2.1 Proje Kapsamı

Proje, e-ticaret yapan şirketlerin, Ekol lojistik ile çalıştığı depolarında, ürünleri stok lokasyonlarına adresleme sürecini sistematik bir düzene göre iyileştirerek sistemin verimliliğini arttırmayı, toplama süresini kısaltmayı ve bu sayede müşteri memnuniyetini arttırmayı amaçlar. Şirket, uygulama için ilk olarak Sakura Boyner deposunu seçmiştir. Bu proje kapsamındaki uygulamalar, Sakura deposunun verileriyle denenmiş olmasına rağmen başka depolarda da uygulanabilir niteliktedir.

2.2 Mevcut Sistemin Tanımı

İnternet üzerinden sipariş edilen ürünler, tedarikçiler tarafından depoya getirildikten sonra gelen ürünlerin öncelikle doğruluğu kontrol edilir. Daha sonra ürünlerin yüzde doksanı kalite kontrol sürecinden geçip irsaliye numaraları sisteme girilerek ürün kabulü yapılır. Bu süreçte RF el terminalleri ile ürünlerin barkodları okutularak hem sayımları gerçekleşir hem de ürünler sisteme girilir. Mevcut sistemde ürünlerin 5 farklı sipariş kategorisi bulunmaktadır: çoklu sipariş, tekli sipariş, firmalar tarafından gönderilen sipariş, mağazalar tarafından yollanmış siparişler ve numuneler. Numune siparişler adreslenmez ancak sadece kontrolleri yapılır; firmalar tarafından gönderilen ürünler direkt olarak adreslenir ve mağazalar tarafından yollanan ürünler kalite kontrol sürecinden sonra adreslenirler. Çoklu siparişlerin adreslenmesi için depoda belirli bölgeler ayrılmıştır. Tekli siparişler ise adreslenmeden direkt olarak müşteriye yollanır. Depoda beş ana ürün grubu bulunmaktadır ve bu gruplar kendi içlerinde ayrı alanlara adreslenmektedir. Bu gruplar tekstil, ayakkabı, ev, aksesuar ve diğer ürün gruplarıdır. Tekstil, ayakkabı ve aksesuar ürünleri sepetlere adreslenirken ev ve diğer ürünleri sepet/kolilerle adreslenmektedir. Tüm ürün gruplarında, yeni gelen ürünlere yer açmak için sepetler birleştirilerek yer açma işlemi yapılmaktadır. Sipariş alınmasından sonra ürünlerin toplanma işlemi, RF el terminali, ışık ile toplama sistemi ve ses ile toplama sistemi yardımlarıyla yapılır. Paketleme alanına gönderilen ürünlerin, paketleme ve sıralama işlemleri gerçekleştirilir. Tek parça sipariş sistemi kesin ve hızlı bir kutulama operasyonu

için bir kolaylık sunmaktadır. Kutulanan ürünler paketlenip ayrıştırılırlar. Ürünlerin sevkiyatı, dağıtım stratejileri ve rotalama dikkate alınarak dağıtım planları yapılır ve ürünler nakliyyeye verilir.

2.3 Mevcut Sistem Analizi

Mevcut sistemde çoklu ve stok siparişler, operatör inisiyatifinde ürün grubuna göre ayrılmış lokasyonlarda rastgele adreslenmektedir. Daha sık sipariş edilen ürünlerin adreslendiği sepetlerin doluluğunun daha hızlı azaldığı gözlemlenmiştir. Sepetlerin bu sirkülasyonu, yeni gelecek ürünlere yer açmak için yarı dolu sepetlerin birleştirilmesini gerekli kılmaktadır. Sepetlerin birleştirilmesi boş sepet ihtiyacı durumuna göre yapılıp belirli bir algoritma kullanılmadan operatörler tarafından gerçekleşmektedir. Adresleme ve sepet birleştirerek yer açma işleminin rastgele olması, ürünlerin toplama sürecini de etkilemektedir. Eğer adresleme süreci operatör inisiyatifinden kurtarılıp sistemli bir şekilde yapılırsa, hem yer açma işleminin ortadan kalkacağı hem de toplama süresinin azalacağı öngörülmektedir.

3. Problem Tanımı

3.1 Belirtiler ve Şikâyetler

Adresleme ve toplama süreçleri birbirleriyle bağlantılı olduğundan süreçlerin birinde yapılan bir değişiklik diğer süreci de etkilemektedir. Mevcut toplama algoritması, adresleme sürecinde rastgele yerleştirilen lokasyonlara göre yapıldığı için, adreslemenin belli bir düzene göre yapılmamış olması toplama sürecinin etkili ve hızlı olmasını engellemektedir. Yeni gelecek ürünler için yarı dolu sepet/kolilerin rastgele birleştirilmesi, hem sonradan adreslenecek ürünlere yer için hem de toplama sürecinde sorun teşkil etmektedir. Bununla beraber, sipariş edilen ürünlerin rastgele adreslenmesi sonucunda genellikle aynı siparişte yer alan ürünlerin depoda birbirlerinden uzak yerlere koyulması gibi durumlar da toplama süresini etkilemektedir.

3.2 Problem Tanımı ve İlgili Literatür

Ekol Lojistik'in Sakura deposunda, mal kabul sürecinden sonra yapılan adresleme işlemi operatör inisiyatifinde boş bulunan sepet/kolilere rastgele olarak ürün grubunun lokasyon alanına göre yapılmaktadır. Bununla beraber yeni gelen ürünlere yer açmak için bu bölgelerde yarı dolu sepet/koliler rastgele birleştirilmektedir. Yarı dolu sepetleri birleştirme işleminde yalnızca ürün boyutları dikkate alınırken; ürün özellikleri, ürün çıkış hızı veya sipariş yapısı göz ardı edilmektedir. Depo içinde adresleme sürecinin sistematik şekilde olmayıp operatöre bağlı ve rastgele yapılması hem bir sonraki süreç basamağı olan toplamayı hem de tüm süreci etkileyerek operasyon süresini uzatmıştır.

Problem tanımı doğrultusunda literatürdeki birçok makale araştırılmıştır. Bu aşamada, kullanılabilir makaleler arasında eleme yapıldıktan sonra kalan ana iki makale önerilen sistem için yol gösterici olmuştur.

Birinci makalede Chiang and Chen (2011) tarafından, bir depodaki ürünlerin ve lokasyonların arasındaki ilişkinin, 'AIX' isimli bir parametre ile takip edildiği bir model geliştirilmiştir. AIX parametresi ürünlerin çıkış sıklığını, lokasyonların çıkışa uzaklıklarını ve ürünlerin birlikte söylenme sıklıklarını içermektedir. Hesaplanan 'AIX' parametresi, adreslenecek her ürün için adreslenmesi düşünülen lokasyonun ilişkisini matematiksel bir hesaplama kontrol eder ve en uygun lokasyonu bulmaya çalışır.

İkinci makalede ise Egas ve Masel (2010) tarafından ürünlerin sipariş sıklıklarına göre kümelendiği bir model üretilmiştir. Daha kısa mesafede olan lokasyonlara gitmesi gereken sık sipariş edilen ürünler belirli bir şekilde kümelendirilmiştir. Bu kümelere göre en yüksek sıklıkların daha yakın mesafedeki yerlere adreslendiği bir algoritma üretilmiştir. Bu sayede sipariş sıklıkları daha yüksek olan ürünlerin adresli olduğu yerler daha çok ziyaret edileceğinden yürüme mesafesinin azaltılarak toplama süreçlerinin de azaltılması amaçlanmıştır.

4. Önerilen Sistem

Tekstil, aksesuar ve ayakkabı ürün grupları için, literatür taramasında bahsedilen 'AIX' parametresinin kullanıldığı bir matematiksel model geliştirilmiştir. Bu modelin girdileri için ürünlerin geçmiş verilerinin analizi yapılmıştır. Ev ve diğer ürün tipleri, içerisinde farklı hacimlere sahip birden çok ürün bulunan kolilerle sisteme ulaştığından, ürünleri tek tek adreslemek operasyonel olarak uygun bulunmamıştır. Bu ürün grupları için, kolilerin birer küme olarak düşünüldüğü, sipariş sıklığı ortalamaları yüksek olan kolilerin daha yakın yerlere adreslendiği sezgisel algoritma geliştirilmiştir. Önerilen sistemi oluşturabilmek için bazı varsayımlar yapılmıştır. Bu bağlamda ürünlerin çıkışa olan uzaklıkları hesaplanırken bulundukları lokasyonların koridor numarası, x doğrultusu ve y doğrultusu kullanılmıştır. Ancak bu üç uzaklık biriminin etkisi aynı olmadığından uzaklık hesaplamalarında farklı ağırlık kat sayılarıyla çarpılarak işleme katılmıştır. Kullanılan datanın talep çizgisini yansıttığı düşünülmüştür. Tüm operatörlerin aynı performansta çalıştığı kabul edilmiştir. Ürünlerin hacimleri olarak kullanılan yaklaşık değerlerin ve anlık sepet kapasitelerinin gerçekçi olduğu kabul edilmiştir. Askılı ürün grubu proje kapsamı dışında tutulmuştur.

4.1 Matematiksel Model

Tekstil, aksesuar ve ayakkabı ürün grupları için geliştirilen modelde ürün tipleri ve adreslenebilecekleri lokasyonlar k ve i indisleri ile tanımlanmıştır (Ek 1). Bununla beraber her ürün grubunun adreslenebileceği lokasyonlar ürün grubuna göre farklılık gösterdiğinden, karar değişkenleri her ürün grubuna özel tanımlanmıştır. Modelin amacı adreslenecek ürünler için maksimum AIX değerini bularak bu değer en yüksek olduğu lokasyonlara atama yapılmasını sağlamaktır. Modelin ilk üç kısıtı her ürünün bir lokasyona atandığını garanti

ederken dörtten altıya kadar olan kısıtlarla ürünlerin sepet hacmine göre yerleştirilmesi sağlanmıştır. Son kısıt grubu ise bir ürünün bir yere adreslenip adreslenmediğini gösteren bir-sıfır ifadesidir.

Bu modelde ürünler stok yerlerine atanırken belirli bir parametrenin en iyilenmesi amaçlandığından yer açma operasyonu modelin sonuçlarını bozacaktır. Mevcut adreslenmiş ürünlerin belirtilen sepetlerde bulunmasının sebebi modeldeki ürünlerin diğer ürünlerle ve bulundukları sepetlerle ilişkilerini gösteren parametrenin değeri olduğundan, önerilen sistemdeki modele göre her adresli ürün en yüksek ilişki olan yere adreslenmiş demektir. Sepetlerin birleştirilmesi durumunda adreslenen ürünlerin AIX değerleri birleştirildikleri sepetlerdeki ürünlerle genellikle maksimum değere sahip olmayacağından, sistemin istenilen gibi çalışabilmesi için yer açma işlemi kaldırılmak zorundadır. Bunun yanı sıra, model sepet kapasitelerini de göz önüne alarak işlem yaptığından, ilave olarak yer açma operasyonuna gerek kalmayacaktır. Çünkü bu operasyon adreslenmiş olan ürünlerin daha düşük ilişkileri olan sepetlere konmasına sebep olabilecektir. Bu da modelin işleyiş mantığına aykırı olacaktır.

4.2 Sezgisel Algoritma

Sezgisel algoritma, ev ve diğer ürün gruplarının adreslenmesi için tasarlanmıştır. Bu iki gruba ait ürünler koliler içerisinde depoya ulaştığı ve ürünlerin hacim farklılıkları nedeniyle koliler halinde adreslendiği için, kolilerin içindeki ürünlerin sadece sipariş sıklığı göz önünde bulundurarak sezgisel algoritma geliştirilmiştir.

Sezgisel algoritma gelen her kolinin içindeki ürünlerin sipariş sıklıklarının ortalamasını alıp en yüksek ortalamayı en yakın boşluğa atar. Modelden farklı olarak bu algoritma, sadece ürün sipariş sıklıklarının ortalamasını ve sepetlerin çıkışa uzaklığını göz önüne aldığı için AIX parametresindeki iki ürün arasındaki ilişkiyi hesaplayan prosedür elimine edilmiştir. Ayrıca kolilerin sepetlere direkt adreslenmesi için sepetlerin tamamen boş olması gerekmektedir. Bunun için de yer açmanın kullanılması önem arz etmektedir. Algoritma aynı zamanda yarı dolu bir sepete de koli gibi davranarak içindeki ürünlerin sipariş sıklıklarına göre başka yarı dolu sepet ile birleştirme yapabilir. Bu şekilde algoritma, ev ve diğer gruba ait ürünler için yer açılmasına gerek duyulduğu zaman da yer açma algoritması kullanılabilecektir.

5. İzlenen Yöntem ve Modelin Çalıştırılması

Tekstil, ayakkabı ve aksesuar ürün grupları için kullanılan model, CPLEX programı ile kullanılarak yazılmıştır. Modelin veri girdilerinin uygun hale getirilmesi Excel VBA ile, 'AIX' parametresinin hesaplanması ise MATLAB programıyla yapılmıştır (Ek 2). Bu üç programın birlikte çalışabilmesi için Excel'de bir ara yüz tasarlanmıştır (Ek 3). Ara yüz oluşturulurken kullanım kolaylığı amaçlanmıştır.

Kullanıcı, ara yüzü çalıştırdığında tekstil, ayakkabı ve aksesuar ürün grupları için tek seferde yeni gelen ürünlerin nereye adreslenmesi gerektiği sonucuna ulaşabilmektedir. Ev ve diğer ürün gruplarında uygulanmak üzere geliştirilen algoritma ise MATLAB üzerinden sonuç vermektedir.

5.1 Önerilen Sistemin Doğrulanması

Önerilen modelin tutarlı bir şekilde çalışıp çalışmadığını gözlemlemek adına, şirketin sistem verilerinden alınmış olan 100 verilik pilot veri seti ile başlanıp, büyüyen birden çok veri seti ile model çalıştırılmış ve sonuçların analizleri yapılmıştır. Sistemin örnek girdiler ile çalıştırıldığında beklenen şekilde sonuçlar alındığından emin olunmuş ve sonuçlar arasında bir tutarlılık olduğuna kanaat getirilmiştir. Bu sayede modelin yazılımının teorik olarak istenilen şekilde çalıştığı anlaşılmıştır.

Sistem doğrulandıktan sonra şirketten alınan bütün eski veriler ile sistem çalıştırılmıştır. Şirketin verileri, geçmişte adreslenmiş ve sipariş edilmiş üç yüz bin ürünün verisinden oluşmaktadır ve bu veriler yaklaşık 100 000 tekstil, 35 000 ayakkabı ve 14 000 aksesuar verisine tekabül etmektedir. Birlikte sipariş edilmiş olan ürünlerin bilgisi, ürünlerin sipariş sıklığı, lokasyonların çıkışa olan uzaklığı ve depoya giriş çıkışların hangi tarihlerde yapıldığı gibi parametrelerin elde edilebileceği dosyalar tarafımızla paylaşılmış, bu dosyalar düzenlenerek sistemin girdilerini oluşturmuştur.

5.2. Duyarlılık ve Senaryo Analizi

Geliştirilen modelin her koşulda ve farklı şartlar altında uygulanmaya uygun olup olmadığını görmek amacıyla duyarlılık ve senaryo analizleri uygulanmıştır. Duyarlılık analizi modelin parametrelerini değiştirerek, senaryo analizi ise modeli farklı senaryolar altında çalıştırarak yapılmıştır. Duyarlılık analizine bir örnek vermek gerekirse, bütün sepetlerin doluluğu sıfır alınmış (bütün sepetlerin boş olduğu durum) ve model çalıştırılmıştır. Sonuçlara bakıldığında, bütün ürünlerin çıkışa en yakın lokasyonlara adreslendiği görülmüştür. Bir başka analizde ise, sepetlerde çok az boş alan bulunması durumunda, ürünlerin AIX değerleri yüksek (ya da düşük) olsa dahi, sepetlerdeki boş hacim miktarının, sepet kapasitelerinin ve ürün hacimlerinin belirleyici olduğu görülmüştür. Bu duyarlılık testlerinin sonucunda ortaya çıkan örnek ürün adreslendirmeleri ve sepet başına düşen ürün yüzdeleri kroki üzerinde Ek 4'te görülebilir. Senaryo analizi yapmak için ise, yaz aylarında (örneğin Haziran ayında) gelen siparişlerin diğer aylarda da (örneğin Temmuz, Ekim ve Kasım) gelmesi durumunda, sistemde adresli ürünler ve sipariş edilen ürünler arasındaki ilişkiye bakan AIX parametresinin nasıl değişeceğine bakılmıştır. Sonuç olarak ise, sipariş edilen ürün sezonu ile gerçek sezon değiştikçe (örneğin yaz sezonuna ait ürün kış sezonunda sipariş edildikçe), AIX değerinin düştüğü ve dolayısıyla ürün adreslenmesi yapılırken içinde bulunulan sezonun ürününe öncelik verildiği görülmüştür. İlgili grafik Ek 5'te görülebilir.

6. Geliştirilen Sistemin Başarısı

6.1 Projenin Şirkete Katkıları

Ekol Lojistik bünyesindeki Sakura deposunda, adresleme işleminde herhangi bir algoritma kullanılmamaktadır. Şirketin öncelikli beklentisi şirket bünyesine eklenecek ve toplama süresini kısaltmak için kullanılabilecek bir model ve/veya algoritma önerisidir.

Doğrulama ve performans ölçme testleri ürün toplama sürecinde operatörlerin eşit performansta çalıştıkları varsayılarak yapılmıştır. Bu testler sonucunda, önerilen model toplama süresinde %10 oranında bir azalma sağlamıştır. Kullanılan bir diğer performans ölçütü olan lokasyon başına toplanan ürün sayısının ise %50 oranında arttığı gözlemlenmiştir. Modelin ana amacı aynı lokasyona adreslenen ürünler ve lokasyonlar arasındaki ilişkiyi artırmak olduğu için, bu artış modelin çalışma prensibini de doğrulamaktadır. Şirketin verimlilik kısıtları açısından incelendiği zaman ise, ürünlerin toplama süresinin kısalmasının müşteriye daha hızlı hizmet verilmesini, operatörlerin verimliliğinin artmasını (örneğin saat başı toplanan ürün sayısı) ve uzun vadede daha düzenli bir depo akışı oluşmasını sağlaması beklenmektedir. Ev ve diğer ürün grupları için önerilen algoritmayı test etmek için ise performans ölçütü katedilen mesafe olarak alınmıştır. Algoritmanın bu ölçüte göre katedilen mesafede %6 lık bir azalma sağladığı gözlemlenmiştir.

6.2 Projenin Uygulama Planı

Proje operasyonel kısıtlar sebebiyle hemen uygulanamayacak olmasına karşın geliştirilen modelin belirleyici parametresi AIX, şirketin başka bir adresleme probleminde kısa bir süre içerisinde kullanılmaya başlanacaktır. Projenin tamamının uygulamaya konması ise algoritmaların ve modelin şirketin kendi adresleme ve veritabanı sistemine aşama aşama entegre edilmesiyle gerçekleşecektir. Sakura deposu dahil olmak üzere EKOL Lojistik'in bütün depolarının veri tabanında CPLEX yazılımı ve Microsoft Excel aktif olarak kullanılmaktadır. Şu aşamada sunulmuş Excel arayüzü ise kodların nasıl ve ne şekilde sisteme entegre edilmesi gerektiği konusunda şirketin bilgi işlem çalışanlarına gerekli bilgiyi sağlayacaktır.

7. Sonuçlar ve Değerlendirme

Bu projede Ekol Lojistik'in Sakura deposunda adresleme süreçlerini iyileştirmek için önerilen sistem toplama sürecini kısaltarak şirketin problemlerine etkili ve dinamik bir çözüm sunulmuştur. Geliştirilen model ürünlerin ilişkileriyle ve özellikleriyle bir matematiksel hesap yaparak adreslenecek lokasyonları atayabilmektedir. Bu sayede şirket doğru adresleme yoluyla toplam sistemi iyileştirebilmektedir. Aynı zamanda tüm depolara her deponun kendi özelliklerine göre küçük değişiklikler yaparak entegre edilebilecek bir sistem Ekol Lojistik'in Ar-Ge departmanının literatürüne girmiştir. Farklı girdilerle çalışmaya müsait bir model kurgulanmıştır. Önerilen

sistem sayesinde şirket depolardaki toplama süreçlerini %10 dan fazla bir verimle iyileştirme imkanını elde edecektir.

KAYNAKÇA

Ekol at a Glance, 2016. “Management Sytems”, accessed at <http://www.ekol.com/en/at-a-glance/management-systems> as of October, 2016

Egas, Carlos, and Dale Masel. “Determining warehouse storage location assignments using clustering analysis”, International Material Handling Research Colloquium, Milwaukee. 2010.

David Ming-Huang Chiang , Chia-Ping Lin & Mu-Chen Chen (2011) The adaptive approach for storage assignment by mining data of warehouse management system for distribution centres, Enterprise Information Systems, 5:2, 219-234, DOI:10.1080/17517575.2010.537784

EKLER

EK 1. Matematiksel Model

Karar Değişkenleri:

$$X(i_x, k_x): \begin{cases} 1, \text{ Aksesuar ürünü } k\text{'nın kilitli alanda } i \text{ lokasyonuna adreslenmesi} \\ 0, \text{ Aksi durum} \end{cases}$$

i=lokasyon
k=ürün

$$S(i_s, k_s): \begin{cases} 1, \text{ Ayakkabı ürünü } k\text{'nın ayakkabı bölgesinde } i \text{ lokasyonuna adreslenmesi} \\ 0, \text{ Aksi durum} \end{cases}$$

x=aksesuar
s=ayakkabı
t=tekstil

$$T(i_t, k_t): \begin{cases} 1, \text{ Tekstil ürünü } k\text{'nın tekstil bölgesinde } i \text{ lokasyonuna adreslenmesi} \\ 0, \text{ Aksi durum} \end{cases}$$

Parametreler:

$AIX(i_{\text{grup}}, k_{\text{grup}})$: Ürün k ile i lokasyonu arasında ve ürün k ile i lokasyonunda daha önceden adreslenmiş (k') pozisyonunda olan ürünlerin arasındaki ilişki, grup = (x,s,t)

$B(i_{\text{grup}})$: lokasyon i'de bulunan sepetin boş kapasitesi, grup = (x,s,t)

$V(k_{\text{grup}})$: Her ürün grubuna göre hacim parametresi, grup = (x,s,t)

$$\text{Max} \quad \sum_i \sum_k (X(i_x, k_x) * AIX(i_x, k_x) + S(i_s, k_s) * AIX(i_s, k_s) + T(i_t, k_t) * AIX(i_t, k_t))$$

st

$$(1) \quad \sum_{i_x} X(i_x, k_x) = 1 \quad \forall k_x$$

$$(2) \quad \sum_{i_s} S(i_s, k_s) = 1 \quad \forall k_s$$

$$(3) \quad \sum_{i_t} T(i_t, k_t) = 1 \quad \forall k_t$$

$$(4) \quad \sum_{k_x} X(i_x, k_x) * V(k_x) \leq B(i_x) \quad \forall i_x$$

$$(5) \quad \sum_{k_s} S(i_s, k_s) * V(k_s) \leq B(i_s) \quad \forall i_s$$

$$(6) \quad \sum_{k_t} T(i_t, k_t) * V(k_t) \leq B(i_t) \quad \forall i_t$$

$$(7) \quad X(i_x, k_x) \in \{0,1\}, T(i_t, k_t) \in \{0,1\}, S(i_s, k_s) \in \{0,1\}$$

EK 2. - Adresleme modeli prosedürü

Microsoft Excel

- *Büyük Veritabanı*; Sistemde adresli ürünlerin article kodları, lokasyon kodları ve diğer detayların tutulduğu veritabanı.
- *Yeni gelen ürünlerin veritabanı*; adreslenecek ürünlerin article kodları ve sipariş numaralarının bulunduğu veritabanı.
- Lokasyonların çıkışa uzaklığı
- Ürünlerin çıkış sıklıkları

MATLAB

- *Öncelik*; ürünlerin beraber söylenme sıklıkları hesaplanıyor
- *Sonra*; lokasyonların çıkışa uzaklıkları, ürünlerin çıkış sıklıkları ve ürünlerin beraber söylenme sıklıkları AIX'in hesaplanacağı koda girdi olarak veriliyor
- *AIX*; çıktı olarak *yeni gelen ürünler x lokasyonlar matrisi* basıyor

CPLEX

- *Girdiler*;
 - MATLAB tarafından çıktı olarak verilen AIX değerleri
 - Sepet boşlukları
 - Ürünlerin hacim parametreleri
- *Çıktı*;
 - Yeni gelen ürünler x lokasyon matrisi (binary)

EK 3. - Arayüz ana sayfası

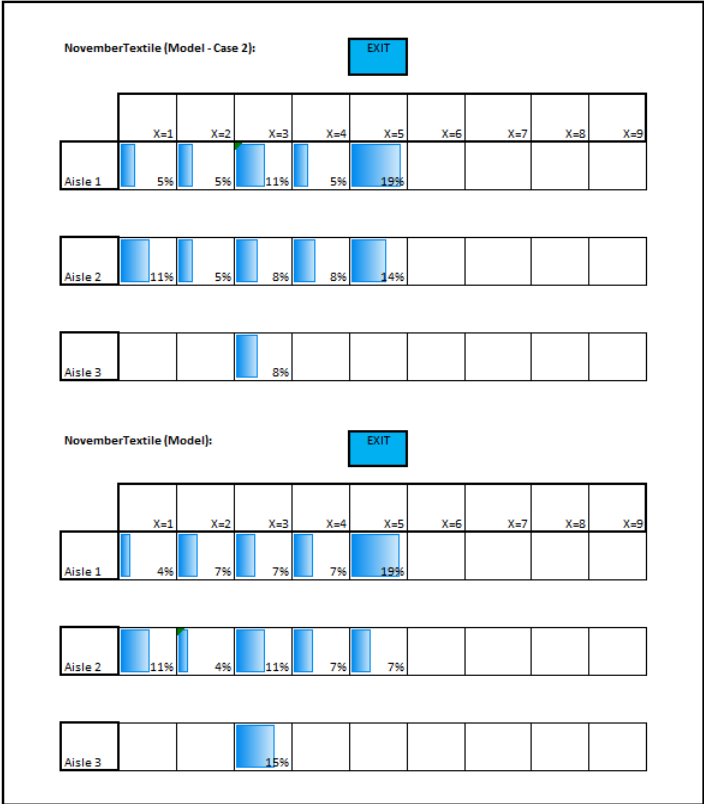
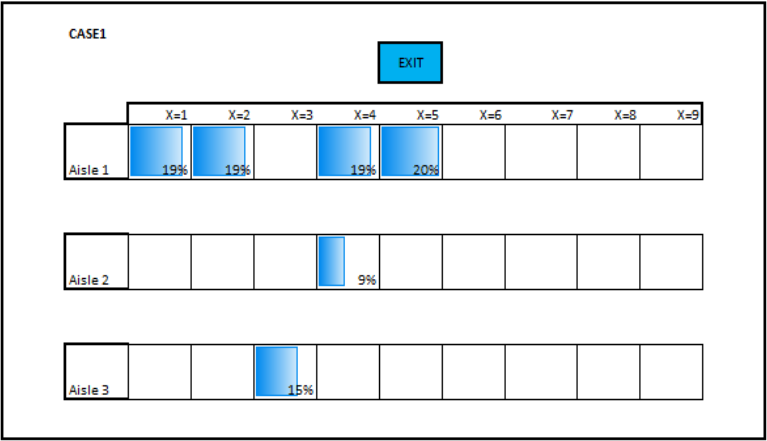
EKOL Logistics

The interface displays a 3D model of a truck with the text 'TEAM 20' on its side. A 'Clear' button is located at the bottom left. The main form contains the following fields:

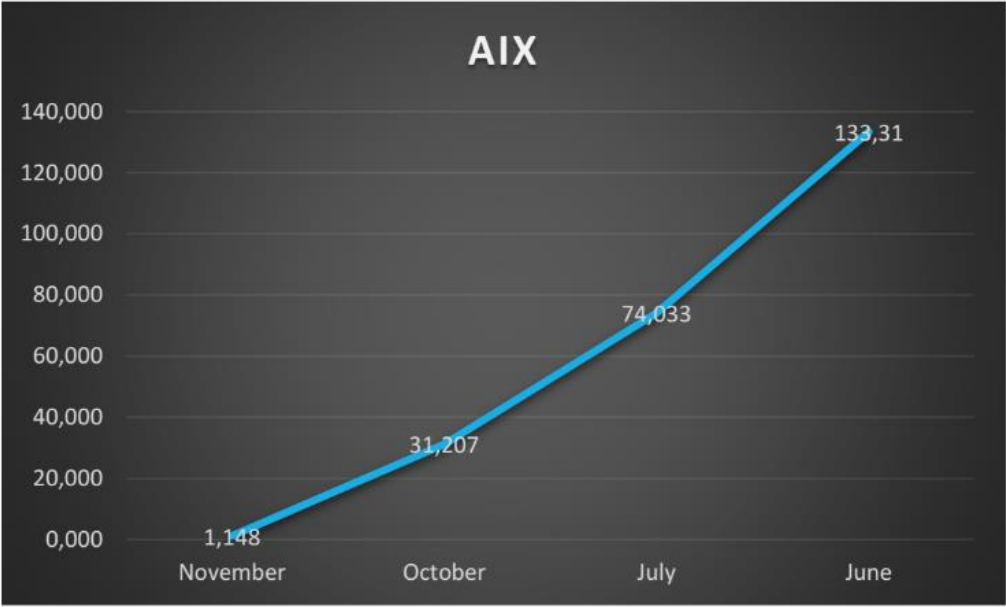
- New Arrival Number of Textile Products:
- New Arrival Number of Shoe Products:
- New Arrival Number of Accessory Products:
- Number of Locations for Textile:
- Number of Locations for Shoe:
- Number of Locations for Accessory:

Below the form, a workflow diagram shows the process: Excel Data Processing → MATLAB → CPLEX → See The Results. The EKOL logo is at the bottom right, and the Bilkent University logo is at the bottom center.

EK 4. - Duyarlılık Analizleri



EK 5. - Senaryo Analizi



“Door-to-Door” Rota Optimizasyon

Enerjisa A.Ş.

Proje Ekibi

Faruk Tolga Bayazıt
Beyza Fayetörbay
Celal Selçuk Karaca
Sude Koşar
Özlem Mahmutoğulları
Eda Tarhan

Endüstri Mühendisliği
Bilkent Üniversitesi
06800 Ankara

Şirket Danışmanı

Osmancan Uslu
Enerjisa, İş Zekâsı Uzmanı

Akademik Danışman

Yrd. Doç. Dr. Özlem Çavuş İyigün
Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Enerjisa “door-to-door” sistemiyle serbest tüketici limitini geçmiş müşterileri ziyaret ederek taahhütlü elektrik satışı gerçekleştirmekte ve serbest tüketici abone sayısını arttırmayı hedeflemektedir. Saha satış ekiplerinin günlük rotaları belirlenirken müşterilerin adreslerinin arasındaki kuş uçuşu uzaklıklar dikkate alınmakta ve toplam tüketim miktarının eniyilemesi yapılmamaktadır. Bu nedenle toplam satılan elektrik miktarında önemli ölçüde kayıp yaşanmaktadır. Bu çalışmada, satış ekiplerinin rota atamalarını müşterilerin gerçek uzaklıklarını ve potansiyel tüketim miktarlarını göz önünde bulundurarak oluşturan bir sistem tasarlanması amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda şirkete verimliliği ve kazancı arttıran matematiksel bir model ve müşteri ağının geniş olduğu durumlarda kullanılmak üzere modelin alt-eniyi çözümlerini kısa sürede veren sezgisel bir metot önerilmiştir. Sezgisel metotun şirket tarafından uygulanabilirliğini sağlamak amacıyla metot, kullanıcı dostu bir karar destek sistemine entegre edilmiş ve şirkete sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: elektrik sektörü, door-to-door sistemi, serbest tüketici, rotalama problemi, sezgisel yöntem, karar destek sistemi

1. Şirket Tanıtımı

Enerjisa, Sabancı Grup tarafından 1996 yılında şirketlerinin elektrik ihtiyacını karşılamak üzere kurulmuştur. Şirket, Nisan 2013'te özel elektrik ve doğal gaz şirketi E.ON ile %50 ortaklık sürecini tamamlamıştır. Zaman içerisinde üretim, yatırım ve rekabetçi stratejileri ile Türkiye'nin büyüyen ve gelişen elektrik piyasasının önde gelen firmalarından biri olmuştur. Faaliyet alanları olarak elektrik üretimi, dağıtımı, ticareti ve satışından oluşan dört ana iş koluna ek olarak doğalgaz alanında gelişen büyük bir portföyü yönetmektedir. Çevre dostu enerji santralleriyle yaklaşık 3600 MW kurulu güce sahiptir. Türkiye'de 14 ilde yaklaşık 20 milyon nüfusa hizmet sağlayan Enerjisa, Türkiye'deki 21 dağıtım bölgesinden Ayedaş, Başkent ve Toroslar'da faaliyetlerini sürdürmektedir. Firmada yaklaşık 6000 kişi sahada olmak üzere toplamda 10000 kişi çalışmaktadır.

2. Mevcut Sistem Analizi ve Problem Tanımı

Projenin amacı doğrultusunda öncelikle projenin kapsamı belirlenmiş ve şirketin mevcut sisteminin analizi yapılmıştır. Sistemin analizinin sonucunda problemin belirtileri ve şirketin şikâyetleri saptanmıştır. Bu belirtiler ve şikâyetler doğrultusunda problem tanımı yapılmıştır.

2.1. Proje Kapsamı

Proje, saha satış ekiplerinin rotalarının, müşteri tüketim miktarları ve gerçek yürüme mesafeleri dikkate alınarak, daha çok müşteriye ziyaret edecek şekilde belirlenmesini, dolayısıyla ziyaretler sonucu ulaşılacak toplam tüketim miktarının artırılmasını ve süpervizörlerin karar verme süreçlerini iyileştirecek bir sistemin tasarlanmasını kapsamaktadır. Bu bağlamda, gezilen müşterilerin toplam tüketim miktarını eniyileyen bir optimizasyon modeli geliştirilmesi, büyük veri kümelerinde modeli çözebilmek için sezgisel metodun önerilmesi ve her iki yöntemin entegre edildiği bir karar destek sisteminin oluşturulması projenin hedefleri arasındadır.

2.2. Mevcut Sistem Analizi

Enerjisa'nın "door-to-door" sistemi, yıllık en az 2400 kWh elektrik tüketen potansiyel serbest tüketicileri ziyaret ederek onları serbest tüketici konumuna geçirmeyi amaçlamaktadır. Bu sistemi potansiyel serbest tüketicileri periyodik olarak belirleyen satış destek ekipleri, belirlenen müşterilere ziyaretleri planlayan süpervizörler ve belirlenen müşterilere ziyaret gerçekleştirerek serbest tüketici kazanımı yapmayı amaçlayan saha satış ekipleri yürütmektedir. Süpervizörler serbest tüketici limitini aşmış müşterileri göz önünde bulundurarak günlük olarak ziyaret edilecek bölgeleri il, ilçe ve mahalle kırılımında belirlemektedir. Ziyaret edilmesi planlanan mahallelerde yer alan müşteriler x ve y koordinatlarına göre sıralanarak satış ekiplerine atanmaktadır. Ziyaret edilerek serbest tüketici yapılmış müşteriler, potansiyel müşteri listesinden çıkarılmaktadır. Adresinde bulunamayan veya planlanmasına

rağmen ziyaret gerçekleştirilememiş müşteriler ise belirlenen bir süre sonrasında tekrar ziyaret edilebilmektedir.

2.3. Belirtiler ve Şikâyetler

Şirket, satış ekiplerini etkili atayıp mesai süresini verimli kullanarak daha fazla potansiyel serbest tüketiciyi ziyaret etmeyi ve ziyaretlerini müşterilerin elektrik tüketimlerini dikkate alarak kazanılacak potansiyel toplam tüketim miktarını arttırmayı amaçlamaktadır. Mevcut sistemde, müşterilerin koordinatları baz alınarak kuş uçuşu uzaklıkları kullanılmakta ve atama sırasında tüketim eniyilemesi yapılmamaktadır. Bu nedenle mevcut sistem, ziyaret edilen müşteri sayısını ve ulaşılan potansiyel toplam tüketim miktarını arttırmak açısından şirketin asıl amacı doğrultusunda geliştirilmeye açıktır.

2.4. Problem Tanımı

Enerjisa tarafından belirtilen şikâyetlerden yola çıkılarak bir problem tanımı oluşturulmuştur. Ziyaret edilecek müşteriler arasındaki gerçek yürüme mesafelerinin göz ardı edilmesi, kümelenendirme, atama ve rotalama süreçlerinde sadece uzaklık kriterinin dikkate alınması hedeflenen ziyaret sayısına ulaşılamamasına ve elde edilen potansiyel tüketim miktarının planlanandan düşük olmasına neden olmaktadır.

3. Literatür Araştırması

Tanımlanan problemin doğrultusunda, projenin başlıca hedefi satış ekiplerini en doğru şekilde rotalandırmak ve mesai saatleri içerisinde ziyaret edebilecekleri müşteri sayısını arttırarak ulaşılabilen müşteriler için potansiyel toplam tüketim miktarında artış sağlamaktadır. Bu hedef için gerçekleştirilen detaylı literatür taraması ile incelenen örnek modeller ve algoritmalar, projenin şekillenmesinde ve yürütülmesinde önemli bir rol oynamıştır.

İlk olarak matematiksel modelin düğüm bazlı kurulmasında Çoklu Tur Enbüyük Toplama Problemine (Multiple Tour Maximum Collection Problem - MTMCP) ve Takım Oryantiring Problemine (Team Orienteering Problem - TOP) başvurulmuştur. MTMCP’de m tane zaman kısıtı bulunan turlarda elde edilecek kârı enbüyükleyecek noktalar tespit edilmekte (Butt ve Ryan, 1999), TOP’de ise zaman kısıtı bulunan m kişinin her biri belirlenen m tane rota, uğranılacak noktalardan elde edilecek toplam kârı enbüyükleyecek şekilde dağıtılmaktadır (Chao vd., 1996). Projenin ilerleyen aşamalarında ise modelin daha büyük müşteri ağında daha hızlı sonuç vermesi adına ark bazlı formülleştirildiği Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Probleminden (Distance Constrained Vehicle Routing Problem - DCVRP) yararlanılmıştır. Toplam katedilen mesafenin enküçüklendiği DCVRP’de, her rotanın aynı düğümde başlayıp bitme, her müşterinin bir kez ziyaret edilme ve her rotanın uzunluğunun enbüyük uzaklık değerini geçmemesi kısıtları doğrultusunda en çok m tane araç rotası belirlenmektedir (Kara vd., 2017).

Sezgisel metodun iyileştirme aşamasında, Takım Oryantiring Problemine (Team Orienteering Problem - TOP) için önerilen hızlı ve etkili sezgisel metottan faydalanılmıştır. Bu yöntemde başlangıç ve bitiş noktalarını içeren bir elips sınırları içinde İki Noktalı Değişim Algoritması (Two Point Exchange Algorithm) uygulanmaktadır (Chao vd., 1996).

4. İzlenen Yöntemler ve Uygulamalar

Enerjisi tarafından belirtilen şikâyetlerden yola çıkılarak bir problem tanımı oluşturulmuş, kısıtlar ve varsayımlar belirlenerek problemi çözmeye yönelik birtakım yöntemler izlenmiştir. Proje kapsamında müşteriler arasındaki seyahat ve hizmet sürelerinin toplamının, satış elemanlarının mesai süresini geçmemesi ve satış elemanı sayısı kısıtları yer almaktadır. Ayrıca bir potansiyel serbest tüketicinin birden fazla kez ziyaret edilmesini önlemek için ziyaret edilen bir müşterinin adresinde bulunduğu, müşterilere satış yapma olasılığının bir olduğu, hizmet sürelerinin [10, 15] dakika aralığında tekdüze dağıldığı ve satış elemanlarının yürüme hızlarının eşdeğer olduğu kabul edilmektedir. Belirlenen kısıtlar ve varsayımlar doğrultusunda mevcut problemi çözmek için önerilen yöntemler sırasıyla, bir matematiksel model kurulması, modelin büyük müşteri kümelerini rotalama sürecine etkili bir şekilde cevap verememesinden yola çıkılarak sezgisel bir metot geliştirilmesi ve sezgisel metodun şirket tarafından uygulanabilirliğini sağlamak amacıyla bir karar destek sistemi tasarlanmasıdır.

4.1. Matematiksel Model

Matematiksel modelde, elemanları $V=\{0, 1, \dots, N\}$ ve $A=\{(i, j): i, j \in V, i \neq j\}$ olan bir grafik oluşturulmuştur. Bu grafikte V düğüm (müşteri) setini, A ise arklar setini temsil etmektedir. Sıfırıncı düğüm, başlangıç düğümü olup diğer düğümlere olan uzaklığı 0 kabul edilmektedir. Diğer düğümler ise müşterilerin fiziksel konumunu temsil etmektedir.

Karar Değişkenleri:

x_{ij} : 1 eğer ark (i, j) bir satış elemanı tarafından ziyaret edilmişse; 0 aksi halde, $i=1, \dots, N, j=1, \dots, N, i \neq j$

y_{ij} : Eğer ark (i, j) bir servis elemanı tarafından ziyaret ediliyorsa, j düğümüne kadar o satış elemanı tarafından harcanan toplam süre, $i=1, \dots, N, j=1, \dots, N, i \neq j$

Parametreler:

t_{ij} : düğüm i 'den düğüm j 'ye gitmek için gerekli süre, $i=1, \dots, N, j=1, \dots, N, i \neq j$

p_i : düğüm i 'deki tüketim miktarı, $i=1, \dots, N$

T_{max} : toplam mesai süresi

N : düğüm (müşteri) sayısı

K : satış elemanı sayısı

w_i : Amaç fonksiyonunda yer alan tüketim miktarı ve düğümler arası mesafeye ait ağırlıklar, $i=1, 2$

Matematiksel Model:

$$\max w_1 \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N p_j * x_{ij} - w_2 \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N t_{ij} * x_{ij} \quad (1)$$

s.t.

$$\sum_{j=0}^N x_{ij} \leq 1 \quad i = 1, \dots, N \quad (2)$$

$$\sum_{i=0}^N x_{ij} \leq 1 \quad j = 1, \dots, N \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{0i} = K \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{i0} = K \quad (5)$$

$$\sum_{j=0, j \neq i}^N y_{ij} - \sum_{j=0, j \neq i}^N y_{ji} - \sum_{j=0}^N t_{ij} x_{ij} = 0 \quad i = 1, \dots, N \quad (6)$$

$$y_{0i} = t_{0i} x_{0i} \quad i = 1, \dots, N \quad (7)$$

$$y_{ij} \leq (T_{max} - t_{j0}) x_{ij} \quad i = 0, \dots, N, j = 1, \dots, N \quad (8)$$

$$y_{i0} \leq T_{max} x_{i0} \quad i = 1, \dots, N \quad (9)$$

$$y_{ij} \geq (t_{0i} + t_{ij}) x_{ij} \quad i = 1, \dots, N, j = 0, \dots, N \quad (10)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in A \quad (11)$$

Amaç fonksiyonu (1), ziyaret edilen düğümlerin toplam tüketim miktarını eniyilerken aynı zamanda satış elemanlarının toplam seyahat sürelerini azaltmak amacıyla kurulmuştur. Kısıt (2) ve (3), herhangi bir düğümün en fazla bir kere ziyaret edilmesini garanti etmektedir. Kısıt (4) ve (5), tüm satış elemanlarının başlangıç düğümünden ayrılma sürelerini ve rotalarını yine aynı düğüme dönerek bitirmelerini sağlamaktadır. Kısıt (6), eğer bir düğüm ziyaret edilmişse bu düğümden ayrılma süresinin, bir önceki düğümden ayrılma süresi ile bir önceki düğüm ve söz konusu düğüm arasındaki seyahat süresinin toplamına eşit olması gerektiğini gösteren kısıttır. Eğer söz konusu düğüm ziyaret edilmemişse bu kısıt gereksiz olup göz ardı edilebilir. Kısıt (7), başlangıç düğümünden diğer düğümlere gittikçe satış elemanının ulaştığı bir düğüme kadar harcadığı toplam sürenin değerini atamaktadır. Söz konusu düğüme gidilmemişse satış elemanının toplam harcadığı süre değişkeni 0 değerini almaktadır. Kısıt (8), satış elemanının ziyaret ettiği bir düğüme kadar harcadığı toplam süre ile o düğümden bitiş düğümüne gitmek için gereken sürenin toplamının en fazla toplam mesai süresi kadar olabileceğini belirtmektedir. Kısıt (9), her bir düğümden bitiş düğümüne gidilmesi durumunda bitiş düğümüne kadar harcanan toplam sürenin en fazla

toplam mesai süresi kadar olabileceğini garantilemektedir. Kısıt (10), i düğümünden j düğüme gidilmesi durumunda j düğüme ulaşılan kadar harcanan toplam sürenin en az başlangıç düğümünden i düğüme ve i düğümünden j düğüme olan seyahat sürelerinin toplamı kadar olması gerektiğini ifade etmektedir. Eğer i düğümünden j düğüme seyahat gerçekleşmiyorsa bu kısıt bir anlam ifade etmemektedir. Son olarak, kısıt (11) ise ziyaret etme koşulunu temsil eden x_{ij} değişkeninin ikili değişken olduğunu belirtmektedir.

4.1.1. Matematiksel Modelin Geçerlenmesi

Doğrulanması gerçekleştirilen matematiksel modelin geçerlenmesini test etmek amacıyla, Enerjisa'nın proje için sunduğu veriler kullanılmıştır. Sunulan bu veri havuzundan, matematiksel modelin çalıştırabileceği sayıda müşteriye (düğüme) sahip olan bir bölge seçilmiştir. Karabük ilinin Aydınlıkevler mahallesindeki 25 müşteriye kapsayacak şekilde seçilen bu bölgeye, 2 servis elemanı atanmasına karar verilmiş ve her servis elemanının mesai süresi 150 dakika olarak belirlenerek model çalıştırılmıştır. Ziyaret edilen düğümlerin toplam tüketim miktarını eniyileme amacıyla kurulan amaç fonksiyonu ve belirtilen kısıtlar doğrultusunda model, 2 servis elemanı için düzgün ve istenilen şekilde bir rotalama yapmıştır. Ek 1.1.'deki rotayı takip eden birinci satış elemanı ziyaret ettiği düğümlerden toplam 31878 kWh elektrik tüketimi, Ek 1.2.'deki rotayı izleyen ikinci satış elemanı ise toplam 31002 kWh elektrik tüketimi elde ederek 25 düğümlü müşteri ağında ziyaret ettikleri 20 düğümden toplamda 62880 kWh elektrik tüketimine ulaşmışlardır (Ek 1).

4.2. Sezgisel Metot

Sezgisel metodun amacı, “door-to-door” sisteminin uygulanması planlanan bölgenin müşteri ağı geniş olduğunda, eniyi sonucu vermese bile amaca kabul edilecek ölçüde hizmet eden çıktıyı hızlı veren pratik bir strateji oluşturmaktır. Metotta, yapılandırma ve iyileştirme aşamaları olmak üzere iki aşama bulunmaktadır.

Yapılandırma Aşaması

Adım 1 (Başlangıç): Düğümlerin müşterileri, arkların yürüme mesafelerini temsil ettiği potansiyel müşteri ağı üzerinde p 'nin satış elemanı sayısına eşit olduğu p -ortanca problemini çöz.

Adım 2: P -ortanca probleminden elde edilen düğümleri, her satış elemanının başlangıç noktası olarak al.

Adım 3: Her bir başlangıç noktasından rotalar oluşturmaya başla. Her satış elemanı için oluşturulan rotalara seyahat ve hizmet sürelerinin toplamının tüketim miktarına bölünmesiyle elde edilen enküçük orana sahip düğümleri, satış elemanlarının rotaları içinde geçirdikleri süre toplam çalışma süresinin %110'unu ($1.1 * T_{max}$) geçmeyecek şekilde ekle.

İyileştirme Aşaması

Adım 1 (Başlangıç): Yapılandırma aşamasında oluşturulan rotaları al.

Adım 2: Her satış elemanının başlangıç düğümü hariç, kendisine atanan diğer düğümlerle satış elemanına atanmayan düğümleri karşılıklı değiştir. Rotanın toplam tüketim miktarı artarsa, rotanın toplam süresi $(1.1 * T_{max})$ 'ı geçmediği takdirde rotayı o yönde güncelle.

Adım 3: Her bir satış elemanının rotasındaki arkaların bütün ikili kombinasyonlarına göre ikişer arkı birbiriyle değiştir. Rotanın toplam süresi azalır, rotanın toplam süresi $(1.1 * T_{max})$ 'ı geçmediği takdirde rotayı o yönde güncelle.

Adım 4: Her bir satış elemanının rotasındaki düğümleri diğer satış elemanlarının rotalarındaki düğümlerle birer birer, karşılıklı değiştir. Söz konusu her iki rotanın da toplam süresi azalır, rotaları o yönde güncelle.

Adım 5: Toplam süresi satış elemanının mesai süresinden (T_{max}) fazla olan rotadaki en son ziyaret edilen düğümü rotadan çıkar. Toplam süresi mesai süresinden (T_{max}) az olan rotanın sonuna, güncellenecek rotanın süresi mesai süresini geçmediği takdirde rotada en son ziyaret edilen düğüme en yakın düğümü ekle.

4.2.1. Sezgisel Metodun Geçerlenmesi

Başkent bölgesi kapsamındaki Karabük Merkez'in Aydınlıkevler mahallesinden 25 düğümlü müşteri ağında "door-to-door" sistemi 2 satış elemanı aracılığıyla uygulanmıştır. Bu denemede üzerinde çalışılan müşteri ağı geniş olmadığı için günlük mesai süresi 150 dakika ve düğümlerdeki hizmet süreleri 13 dakika alınmıştır. Düğümler arası seyahat süresi verileri ise Google Haritalar'dan elde edilmektedir. 25 düğümlü müşteri ağını kapsayan problemin sezgisel metotla çözülmesi sonucu 2 satış elemanının ziyaret ettikleri düğümler ve ziyaret etme sıraları doğrultusunda ağda izledikleri rotalar bulunmuştur (Ek 2). Rotalara bağlı olarak her satış elemanının rotasının toplam süresi ve ziyaret ettikleri potansiyel serbest tüketicileri serbest tüketici yaparak elde ettikleri toplam elektrik tüketim miktarları sezgisel metottan çıktı olarak alınmıştır. Birinci satış elemanı Ek 2.1.'deki rotayı, ikinci satış elemanı ise Ek 2.2.'deki rotayı izlemiştir. Rotası 141.933 dakika süren birinci satış elemanı ziyaret ettiği düğümlerden toplam 31070.778 kWh elektrik tüketimi, rotası 139.383 dakika süren ikinci satış elemanı toplam 28051.850 kWh elektrik tüketimi elde ederek 25 düğümlü müşteri ağında ziyaret ettikleri 19 düğümden toplamda 59122.628 kWh elektrik tüketim miktarına ulaşmışlardır.

Ankara'nın Çankaya ilçesindeki Ahlatlıbel, İncek ve Öveçler mahallelerinden 130 düğümlü müşteri ağında sezgisel metot, 3 satış elemanı ve 480 dakikalık mesai süresi ile çalıştırılmıştır. Toplam 302169.377 kWh elektrik tüketimi kazancı olmuştur. Aynı müşteri ağı şirketin mevcut sistemiyle kuş uçuşu uzaklıklar baz alınarak çözüldüğünde toplam elektrik tüketimi

293577.081 kWh olmaktadır. Gerçek uzaklıklar aslında en az kuş uçuşu uzaklıklar kadar olduğundan şirket, belirlediği hedefe çoğu zaman ulaşamamaktadır. Bu müşteri ağı gerçek uzaklıklar baz alınarak çözüldüğünde ise şirketin asıl elde ettiği toplam elektrik tüketim miktarının 262472.821 kWh olduğu görülmüştür.

4.3. Karar Destek Sistemi

Geliştirilen sezgisel metodun karar destek sistemine entegre edilmesi sonucu şirketin büyük müşteri kümelerini daha etkili bir şekilde rotalaması ve bu sayede, mevcut sisteme kıyasla satış ekiplerinin daha çok müşteri ziyaret ederek elde edilen potansiyel toplam tüketim miktarının arttırılması hedeflenmektedir.

Excel'in Open Solver eklentisi kullanılarak oluşturulan karar destek sistemi, saha satış ekiplerinin rotalarına karar veren süpervizörler tarafından kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Kullanıcı, sisteme giriş yapıp satış elemanı sayısı ve toplam mesai süresini girdikten sonra il, ilçe ve mahalle bilgilerini girmektedir. "Veriyi Filtrele" ("Filter Data") butonu tıklandığında müşteri veri havuzu girilen adres bilgisi doğrultusunda filtrelenmektedir. İki müşteri arasındaki gerçek yürüme mesafeleri Google Haritalar Uzaklık Matrisi API kullanılarak hesaplanmaktadır. "Rotaları Oluştur" ("Create Routes") butonu tıklanarak her bir satış elemanının rotası belirlenmektedir. Sistemden çıkılmak istendiğinde "Çıkış" ("Exit") butonu tıklanıp mevcut Excel dosyası otomatik olarak kaydedilmekte ve çıkış yapılabilmektedir. Karar destek sistemi kullanıcı arayüzüne ilişkin detaylar Ek 3, Ek 4, Ek 5 ve Ek 6'da verilmiştir.

Karar destek sistemi, problem parametrelerinde değişiklik yapılabilmesine olanak sağlamaktadır. Kullanıcı, karar destek sistemi üzerinde müşteri bilgileri, satış elemanı sayısı ve toplam mesai süresi gibi bilgileri kolaylıkla değiştirebilmektedir. Dolayısıyla geliştirilen karar destek sistemi, satış elemanlarının müşterilere kolay ve hızlı bir şekilde atanmasını ve şirketin elde ettiği toplam tüketim miktarını arttırmasını sağlayan kullanıcı dostu bir sistemdir.

5. Sonuçlar ve Genel Değerlendirme

Yapılan doğrulama ve geçerleme denemelerinde, sezgisel metodun geniş müşteri ağlarındaki performansının daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. 25 düğümlü müşteri ağını kapsayan problem, matematiksel model ve sezgisel metotla çözülmüştür. Sezgisel metotta ziyaret edilen 19 düğümden toplam 59122.628 kWh elektrik tüketimi, matematiksel modelde ziyaret edilen 20 düğümden toplam 62880 kWh elektrik tüketimi elde edilmiştir. Böylece matematiksel model ve sezgisel metot arasında toplam elektrik tüketiminde %5.975'lik bir fark olmuştur. Matematiksel model ile sezgisel metot sayesinde müşteriler arasındaki gerçek mesafeler dikkate alınarak saha satış ekipleri mesai süresini daha verimli kullanacak şekilde atanmış ve müşteri ağında ziyaret edilen

müşteri sayısı arttırılarak elde edilecek toplam tüketim miktarının artması sağlanmıştır.

Metodun Ankara'nın Çankaya ilçesindeki Ahlatlıbel, İncek ve Öveçler mahallelerinden 130 düğümlü müşteri ağında 3 satış elemanı ile uygulanması sonucu önerilen sistem ile şirketin mevcut sistemi karşılaştırıldığında verimlilik ve kazançta artışlar görülmüştür. Mevcut sistemde beklenen müşteri sayısı mesai süresi içinde ziyaret edilemediğinden hedeflenen toplam tüketim miktarına ulaşamamaktadır (Tablo 1).

Satış Elemanı	Müşteri Sayısı (Beklenen)	Toplam Yıllık Tüketim Miktarı-kWh (Beklenen)	Müşteri Sayısı (Asıl)	Toplam Yıllık Tüketim Miktarı-kWh (Asıl)
1	27	97766.420	24	87994.544
2	33	96752.396	31	90933.879
3	33	99058.265	28	83544.398
Toplam	93	293577.081	83	262472.821

Tablo 1: Mevcut Sistemde Beklenen ve Asıl Elde Edilen Sonuçlar

Satış elemanları yıllık belirli bir miktarda elektrik tüketen potansiyel serbest tüketicileri günlük olarak ziyaret etmektedir. Serbest tüketici birim elektrik tüketim miktarı ortalama 0.314096 TL alındığında önerilen sistem şu anki sistemden şirkete satış elemanı başına her gün yıllık 4156.176 TL daha fazla kazanç sağlamaktadır. Her gün ortalama 80 satış elemanının görev aldığı dikkate alındığında önerilen sistemin şirkete her gün yıllık 332494.119 TL fazladan kazanç getireceği saptanmış, toplam gelirden %15.124'lük artış gözlenmiştir (Tablo 2).

	Toplam Yıllık Tüketim Miktarı (kWh)	Toplam Yıllık Kazanç (TL)
Önerilen Sistem	302169.377	94910.193
Mevcut Sistem (Beklenen)	293577.081	92211.387
Mevcut Sistem (Asıl)	262472.821	82441.663

Tablo 2: Önerilen Sistemle Mevcut Sistemin Beklenen ve Asıl Elde Edilen Sonuçları

Proje kapsamı doğrultusunda süpervizörlerin karar verme süreçlerinin iyileştirilmesini, saha satış ekiplerinin müşteri ağlarında daha verimli ve etkili rotalar izleyerek daha çok müşteri ziyaret etmesini ve şirketin elde ettiği mevcut toplam elektrik tüketim miktarının arttırılmasını sağlayan bir karar destek sistemi tasarlanmıştır.

KAYNAKÇA

B.Yetis Kara, I. Kara, H. Toyoglu. A Comparative Analysis and New Extensions of the Distance Constrained Vehicle Routing Problem Formulations. submitted, 2017.

I.M. Chao, B.L. Golden, and E.A. Wasil. A Fast and Effective Heuristic for the Orienteering Problem. *European Journal of Operational Research*, 88: 475-489, 1996.

I.M. Chao, B.L. Golden, and E.A. Wasil. The Team Orienteering Problem. *European Journal of Operational Research*, 88: 464-474, 1996.

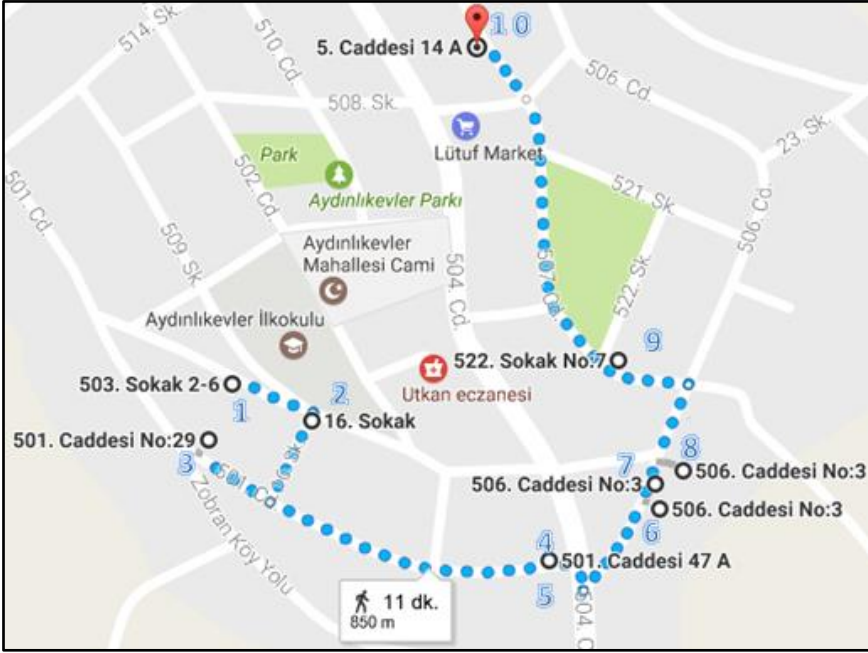
S. Butt and D. Ryan. An Optimal Solution Procedure or the Multiple Tour Maximum Collection Problem Using Column Generation. *Computers & Operations Research*, 26: 427-441, 1999.

“Şirket Profili.” Enerjisa. <https://www.enerjisa.com.tr/tr/enerjisa-hakkinda/sirket-profil>. Son erişim tarihi: 17 Ekim 2016.

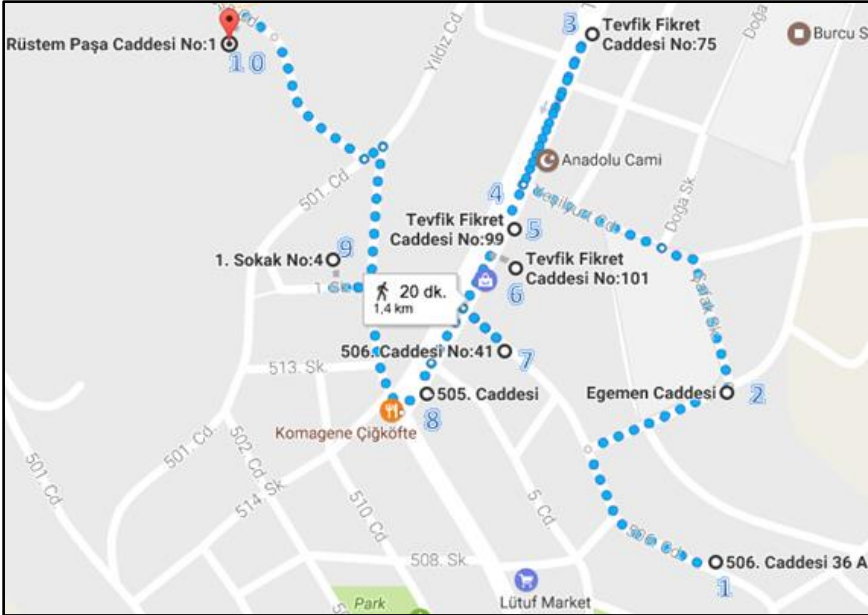
EKLER

Ek 1. Matematiksel Model Çözümündeki Rotalar

Ek 1.1. Birinci Satış Elemanının Rotası

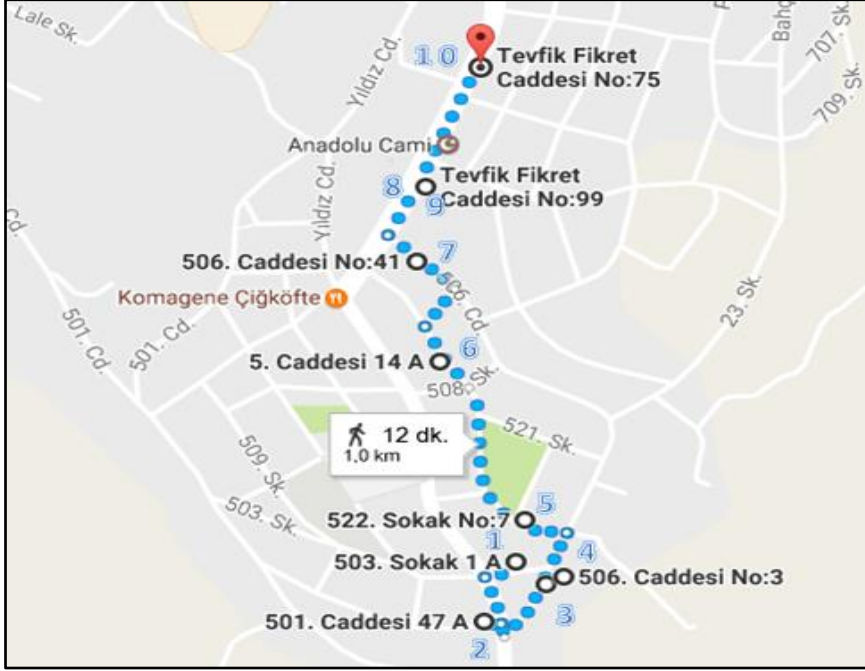


Ek 1.2. İkinci Satış Elemanının Rotası

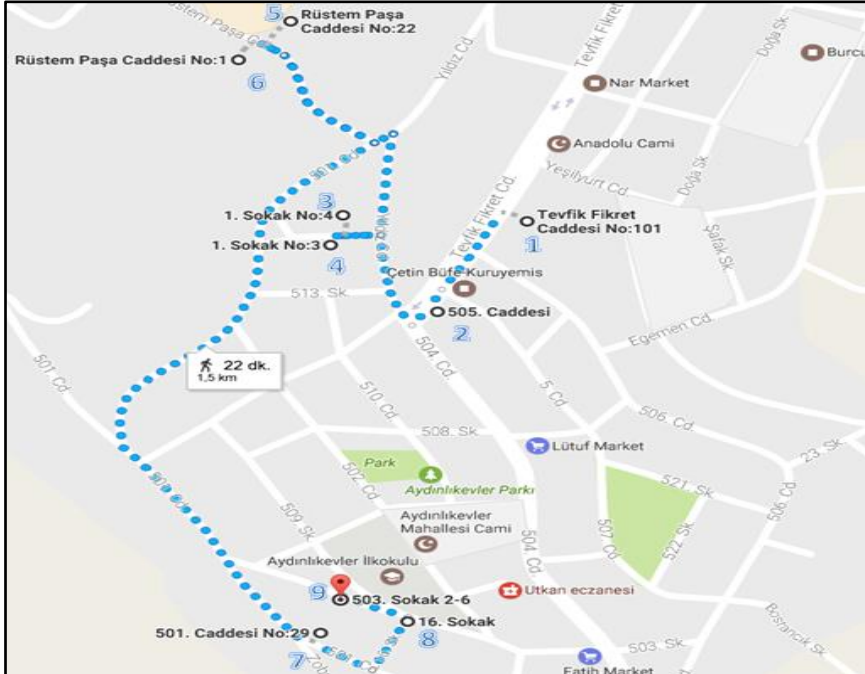


Ek 2. Sezgisel Metot Çözümündeki Rotalar

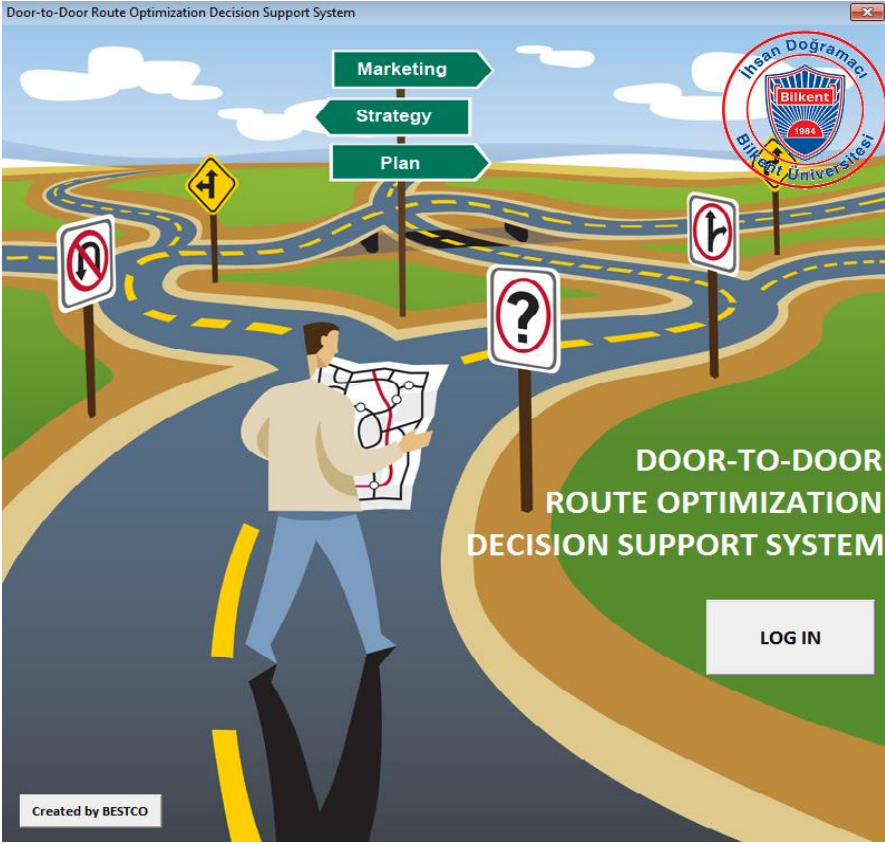
Ek 2.1. Birinci Satış Elemanının Rotası



Ek 2.2. İkinci Satış Elemanının Rotası



Ek 3. Karar Destek Sistemi Ana Ekranı



Ek 4. Karar Destek Sistemi Kullanıcı Giriş Ekranı

The screenshot shows the user login screen of the 'Door-to-Door Route Optimization Decision Support System'. The background is a light blue grid pattern. At the top, the text 'DOOR-TO-DOOR ROUTE OPTIMIZATION DECISION SUPPORT SYSTEM' is displayed in bold, black, uppercase letters. Below this, there are two input fields: one for 'User Name' and one for 'Password'. A 'LOG IN' button is positioned at the bottom center of the screen.

Ek 5. Karar Destek Sistemi Veri Filtreleme Ekranı

Door-to-Door Route Optimization Decision Support System

**DOOR-TO-DOOR ROUTE OPTIMIZATION
DECISION SUPPORT SYSTEM**

City

District

Neighborhood

Filter Data

Create Routes

Homepage *Exit*

Ek 6. Karar Destek Sistemi Rota Oluşturma Ekranı

Door-to-Door Route Optimization Decision Support System

**DOOR-TO-DOOR ROUTE OPTIMIZATION
DECISION SUPPORT SYSTEM**

Working Time

Number of Agents

Create Routes

Homepage *Exit*

Türkiye'nin Senaryo Bazlı Uzun Dönem Elektrik Talep Tahmini

Enerjisa A.Ş.

Proje Ekibi

Aslı Hazal Akaltun

Gülay Bakışlı

Muhammed Ali Taksim

Ömer Tekin

İbrahim Enes Yavaş

Endüstri Mühendisliği

Bilkent Üniversitesi

06800 Ankara

Şirket Danışmanı

Ayhan Demirci

EnerjiSA, İş Zekâsı Bölümü Müdürü

Akademik Danışman

Prof. Dr. Ülkü Gürler

Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Elektrik üretimi, yüksek miktartlı depolanmaya elverişli olmayan; bununla birlikte toplumsal gelişim ve ülke ekonomisi açısından sürekli ve yeterli üretim yapılması gerektiğinden stratejik önemi olan bir üründür. Bu nedenle elektrik talebinin doğru tahmin edilmesi, ülkenin enerji stratejisinin belirlenmesi için çok önemlidir. Bu projenin amacı, çok değişkenli istatistiksel yöntemlerini ve ekonometrik analizler ile zaman serisi yöntemlerini kullanarak Türkiye'nin uzun vadeli elektrik tüketimini tahmin etmektir. Türkiye'de ve farklı ülkelerde gerçekleştirilen uzun vadeli elektrik tüketim talep tahmin modelleri incelenmiştir. Ülkemiz için kurulan tahmin modellerinde, Gayri safi milli gelir, Nüfus, Sanayinin gelişimi değişkenlerinin kullanılmasına karar verilmiş ve 10, 20, 30 yıllık süreler için projeksiyon yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: uzun dönem elektrik tüketim tahmini, çoklu regresyon modeli, ARIMA modeli

1. Şirket Tanıtımı

Enerjisa, 1996 yılında Sabancı Holding'e ait firmaların ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisinin üretimini sağlamak için bir otoprodüktör şirketi olarak kurulmuştur. 2013 yılında elektrik piyasasının özelleştirilmesinden sonra Enerjisa; elektrik piyasasında üretim, dağıtım, perakende ve ticaret alanında sürekli büyüyen lider firmadır. Enerjisa, Ayedaş, Başkent ve Toroslar olmak üzere üç bölgenin elektrik dağıtımını gerçekleştirmektedir. Hâlihazırda Enerjisa 14 ilde 9 milyona yakın müşteriye hizmet vermektedir. Bu, Türkiye nüfusunun yaklaşık %25'ine tekabül eden 20 milyondan fazla nüfusun elektrik ihtiyaçlarını karşıladığı anlamına gelmektedir. Enerjisa; elektrik üretiminden, dağıtımından, ticaretinden ve satışından oluşan dört ana iş koluna ek olarak doğal gaz alanında gelişen büyük bir portföyü de yönetmektedir. Yaklaşık 3.600 MW kurulu güce sahip çevre ile uyumlu santralleri mevcuttur. Ayrıca, yenilenebilir enerjiye dayalı üretim ile sağladığı karbon azaltım fırsatları, teknoloji ve verimlilik odaklı elektrik dağıtım yatırımları ve tüm Türkiye çapındaki operasyonları ile sürdürülebilirliğe önemli katkılar sağlamaktadır.

2. Proje Kapsamı ve Mevcut Sistem Analizi

2.1. Proje Kapsamı

Enerjisa, elektrik sektöründe faaliyetlerini yerine getirirken kısa, orta ve uzun dönem elektrik üretim ve tüketim tahminleri de yapmaktadır. Kısa dönem tahminler, mevcut kapasitenin kullanımı ile üretim planlama ve kaynak yönetimi gibi alanlarda optimizasyon amacıyla kullanılmaktadır. Uzun dönemli tahminler ise şirketin üretim kapasitesine yönelik ileride yapacağı yatırımları belirlemek ve uzun vadeli karar vermek için kullanılmaktadır. Proje kapsamı, şirkete gelecekte yapacağı kritik yatırım kararlarında yardımcı olmak amacıyla uzun dönem elektrik tüketim tahminlerini oluşturan modeller geliştirmektir.

2.2. Mevcut Sistem Analizi

Uzun ve kısa vadeli talep tahmini göz önüne alındığında, Enerjisa; üretim, dağıtım ve perakende yapılarını uygulamak için modern yazılım sistemlerini kullanmaktadır. Bu sistemler, elektrik tüketim bilgisine büyük veri platformlarından ulaşır. Veri toplama işleminden sonra sırasıyla veri madenciliği, öngörme ve raporlama gibi süreçlerden geçer. Son adım olarak; fiyatlandırma, stratejik pazarlama, iş uygulamaları ve gelir güvencesi, Enerjisa'nın stratejik gelişimi için uzun vadede mevcut analizin vurgulanan noktalarıdır. Analizlerde kullanılan veri kalitesi, Enerjisa'nın daha doğru talep tahmini yapabilmesi için projenin en önemli bileşenlerinden biridir.

3. Problem Tanımı

3.1 Belirtiler ve şikâyetler

Enerjisa uzun dönem elektrik tüketim tahminlerini özellikle gayri safi yurtiçi hasılanın (GSYİH) ve diğer muhtemel faktörlerin elektrik tüketimine etkisini gözlemleyerek oluşturmaktadır. Fakat Türkiye'nin elektrik tüketimi

incelendiğinde gelecek yıllarda elektrik tüketiminin artacağı öngörülebilse de, tüketimi etkileyen birçok faktörün ve belirsizliklerin mevcut olması, yapılan tahminlerin sapmasına neden olmaktadır. Problemin karmaşık yapısı ve birçok belirsizliğin oluşu, uzun dönem elektrik talep tahminlerini gelişmeye açık bir konu haline getirmektedir. Elektrik depolanamadığı için tahminlerdeki sapma, şirketin taleplere göre ürettiği elektriği piyasadaki diğer oyunculara satmasına ya da elektrik satın almasına neden olabilmektedir. Bu nedenle, elektrik tüketim tahminlerinin hata payını düşürmek, şirket için büyük önem arz etmektedir. Şirket, elektrik tüketimine etkisi olabilecek değişkenleri saptayarak, Türkiye'nin uzun dönem için elektrik tüketimini tahmin edebilen bir sistem geliştirilmesini talep etmiştir. Enerjisa, gelecekte GSYİH'nın, demografik yapının, teknolojik ya da endüstriyel alandaki gelişmelerin elektrik tüketimine etkisini farklı bir bakış açısından gözlemlemek istemektedir.

3.2 Problem tanımı ile ilgili literatür

Uzun dönem elektrik tüketim tahminleri ile ilgili literatürde birçok kaynak bulmak mümkündür ancak bunlardan Türkiye'nin gelişim eğrilerine uygun olan çalışmalara odaklanılmıştır. Koen (2015) Kuzey Afrika'daki çalışmasında GSYİH, nüfus ve iklim değişiklikleri ile elektrik tüketimi arasında ilişki olduğunu saptamıştır. Çok değişkenli regresyon modelleri oluşturularak analizler yapmıştır. Benzer şekilde, Bianco ve Manca (2009) düzenlenmiş R kare değerlerine göre GSYİH'deki ve nüfustaki eğilimin elektrik tüketimi ile yüksek bir ilişkisinin olduğunu saptamış ve bunu çoklu regresyon modelinde kullanarak uzun dönem elektrik tüketim tahmininin yapılabileceğini göstermiştir. Oh vd. (2016) Singapur'da yaptığı çalışmada soğutma sistemlerinin uzun dönem elektrik tüketimine etkisini analiz etmiş ve 2030'a kadar elektrik tüketim tahmininde bulunmuştur. Bu çalışma sayesinde senaryo yöntemleri ile tahmin yapma ihtimalleri bu proje içerisinde de değerlendirilmiştir. Citroen vd. (2015) Fas'ta uzun dönem elektrik tüketim tahminleri üzerine çalışmıştır. Analizlerinde, otoregresyon hareketli ortalamalar ve ARIMAX modellerini kullanmış, elektrik tüketiminin 2025'e kadar yıllık %5.28 büyüme oranıyla artacağı sonucuna varmıştır. ARIMAX modelindeki açıklayıcı değişken olarak diğer modellerde de kullanılan bağımsız değişken GSYİH seçilmiştir. Bu kaynaklar ışığında, farklı bağımsız değişkenler seçilerek de modeller oluşturulmuştur.

4. Kullanılan Yöntemler ve Uygulamaları

4.1 Regresyon Analizi

4.1.1. Regresyon Modelleri

1960-2015 veri aralığında hem test veri aralığının regresyon modelinde hem de tahmini regresyon modelinde geçerliliği sağlayacak bir modele ulaşılmıştır. Bu modele ulaşılırken veri dönüştürmeleri, en iyi alt set metodu, Box-Cox metodu, ileri doğru seçim metodu, kukla değişken oluşturulması ve aykırı verinin veri setinden çıkarılması gibi yöntemler izlenmiştir. Test modeli

için, 1960-2005 yılları test veri aralığı olarak belirlenmiştir ve açıklanamayan aykırılığı nedeniyle 1994 yılı verisi bu veri setinden çıkarılmıştır. Bu doğrultuda ileri doğru seçim metodu ile oluşturulan model, sınamaları geçerken aynı zamanda 1980-2005 veri aralığında oluşturulan test modeli de bütün sınamaları geçmiştir.

4.1.2. Regresyon Modeli Doğrulanması ve Doğrulama Testleri

Bu projede oluşturulan farklı regresyon modellerinin geçerliliğini kontrol etmek için bazı sınamalar yapılmıştır. Bu sınamaların veri setinin hem test veri aralığında hem de tahmini gerçekleştirecek veri aralığında sınamaları geçmesi beklenmiştir. Modellerin geçerli olması için uygulanan sınamalar aşağıdaki gibi listelenmiştir.

1. Bağımlı değişkenin model tarafından açıklayamadığı boş testinin reddedilmesi
2. Bağımsız değişkenlerin her birinin modelde bağımlı değişkeni açıklayamadığı boş testinin reddedilmesi
3. Modelin artık değerlerinin ortalamasının sıfır olması
4. Modelin artık değerlerinin oto-korelasyona sahip olmaması
5. Modelin artık değerlerinin normal dağılması
6. Modelin artık değerlerinin sabit varyansa sahip olması

Bu sınamaların yapılması için literatürdeki testler kullanılmıştır. Oto-korelasyon testi için Durbin-Watson istatistiği, normal dağılım testi için Jarque-Bera Testi ve sabit varyans testi için Breusch-Pagan-Godfrey testi kullanılmıştır.

4.2. Zaman Serileri Analizi

Zaman serileri analizi, bir değişkenin geçmiş değerleri ile ilişkisini anlamamızı sağlayan bir yöntemdir. Tahmin edilmesi gereken değişkenler genellikle eski değerleri ile bir ilişki içinde olmaktadır. Bu ilişkiyi tanımlamak tahminin güvenilirliğini artırıp daha uygulanabilir tahmin modelleri oluşturulmasına da yardımcı olmaktadır.

4.2.1. Otoregressif Entegre Hareketli Ortalama(ARIMA)

Otoregressif Entegre Hareketli Ortalama Box-Jenkins metodu kullanılarak zaman serisi analizi modellenmesidir. Bu modelde başka bir açıklayıcı değişken kullanılabilmekle birlikte şart değildir. Bu projede ise gayri safi yurtiçi hasıla (GSYİH) elektrik tüketimi ile göz ardı edilemez bir ilişki içinde olduğu için modele dahil edilmiştir. Kendi geçmiş değerlerinden başka bir değişken eklenince modeller ARIMAX olarak adlandırılmaktadır.

Box-Jenkins metodu ile doğru modeli bulmak için entegrasyon, otoregresyon ve hareketli ortalama sıralarının bulunması gerekmektedir. Öncelikle verinin durağanlığından emin olunması için entegrasyon sırası hesaplanmaktadır. Bu hesaplamada Augmented Dickey- Fuller ve KPSS durağanlık testleri kullanılmıştır.

Otoregresyon ve hareketli ortalama sıraları otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyonları incelenerek bulunmaktadır. Eğer otokorelasyon fonksiyonu giderek kuyruklaşıyorsa ve kısmi otokorelasyon fonksiyonu 'p' atlama sonra kesiliyorsa, o zaman otoregresyon sırası 'p'dir. Eğer otokorelasyon fonksiyonu 'q' atlama sonra kesiliyorsa ve kısmi otokorelasyon fonksiyonu giderek kuyruklaşıyorsa, o zaman hareketli ortalama sırası 'q' dur. Zaman Serisi Analizi modellendikten sonra tahmin yapılmadan önce gerçekleştirilen testlerle modelin doğrulanması gerekmektedir. Bu doğrulama işlemi ayrıca modelin güvenilirliği ve beklenecek kayma miktarları ile ilgili de fikir vermektedir.

5. Sonuçlar Ve Değerlendirmeler

Elektrik tüketim tahminleri, elektrik dağıtım sektöründeki şirketler için hayati derecede önemlidir. Tahminler talebin altında ise, elektrik kesintisine neden olabilmektedir. Tahminler talebin üzerindeyse, elektrik depolaması mümkün olmadığı için bu da bir sorun teşkil edip elektrik israfına neden olmaktadır. Bu nedenle bu proje, Enerjisa'nın gelecekle ilgili konularda karar almasını sağlayarak en doğru uzun vadeli tahminler üretmeyi amaçlamıştır.

Türkiye'nin uzun dönem elektrik talep tahmini projesinde, geçmiş yıllara ait elektrik tüketim verisinin yanısıra çeşitli değişkenlerin geçmiş yıllardaki verilerinden de yararlanılarak, iki farklı yöntemin kullanılması sonucunda çoklu regresyon ve ARIMAX modelleri oluşturulmuştur. Projenin kritik hedefi Türkiye'nin 10, 20 ve 30 yıllık toplam elektrik tüketim tahminlerinin doğruluğunu en üst düzeye çıkarmaktır. GSYİH, nüfus, endüstriyel katma değer ve karbondioksit emisyonu 1960 ile 2015 yılları arasında bağımsız değişken olarak seçilmiştir. Model sonuçlarının doğruluğu R, EVIEWS ve SPSS yazılımları kullanılarak test edilmiştir. Durbin-Watson testi, Jarque-Bera, Breusch-Pagan-Godfrey testi modellerinin doğruluğunu kontrol etmek için uygulanmıştır. Bu projeye, farklı veri kombinasyonlarına sahip farklı modeller geliştirilerek, şirketin 2045 yılına kadar olası sonuçları geniş bir perspektifle gözlemleyebilmesine ve önceliklerine göre kullanmasına olanak sağlanmıştır.

Projenin kritik hedefi, Türkiye'nin toplam elektrik tüketim tahminlerinin 10, 20 ve 30 yıl boyunca en üst düzeye çıkarılmasıdır. Ekonomi ve elektrik tüketimi arasındaki korelasyon çok yüksek çıkmıştır ancak beklenmedik değişikliklerin veya gelişmelerin elektrik tüketiminde de değişime neden olabileceği öngörülmüştür. Bu gibi durumları tahmin edip, çözümler üretmek için krizin ve teknolojik gelişmelerin bağımsız değişken olabileceği senaryolar geliştirilmiştir.

KAYNAKÇA

“Enerjisa”. *Enerjisa*. N.p., 2015. Web. 21 Apr. 2017

Koen, Renee. “Application of multiple regression analysis to forecasting South Africa’s electricity demand”, South Africa, 2015; Vol. 5.

Bianco and Manca. “Linear Regression Models to Forecast Electricity Consumption in Italy”, 2009; 86-93

Oh, Seung Jin, Kim Choon Ng, Kyaw Thu, Wongee Chun, and Kian Jon Ernest Chua. "Forecasting long-term electricity demand for cooling of Singapore’s buildings incorporating an innovative airconditioning technology." Elsevier 1 Sept. 2016: 183-93. Print.

Citroen, Noreddine, Oussaid, Mohammed, Maarouifi, Mohamed. “Long Term Electricity Demand Forecasting Using Autoregressive Integrated Moving Average Model: Case Study of Morocco”. ICEIT, 2015.

Sıcak Satış Araçları Yükleme Optimizasyonu

ETİ Gıda Sanayi ve Ticaret A.Ş.

Proje Ekibi

Sarper Aydın
Saltuk Buğrahan Demir
Melda Dikici
Özgü Kokal
Merve Musubeyli
Özgür Özel

Endüstri Mühendisliği
Bilkent Üniversitesi
06800 Ankara

Şirket Danışmanı

Onur Sarı
ETİ Gıda Sanayi ve Ticaret A.Ş.
Satış Sistemleri ve İş Çözümleri Geliştirme Mühendisi

Akademik Danışman

Prof. Dr. Hande Yaman
Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Sıcak satış sistemi satış temsilcilerinin her gün belirli bir grup müşteriyi ziyaret ettiği, net talebi ziyaret sırasında aldığı ve teslimatı araca yüklenen stoktan karşıladığı sistem olarak tanımlanabilir. Bu kapsamda müşteri talebinin tam olarak karşılanabilmesi için ürünlerin dağıtım araçlarına dengeli ve yok satmaya sebep olmayacak şekilde yüklenmesi gerekmektedir. Projenin amacı, bir karar destek sistemiyle, satış temsilcilerinin yaptıkları satış miktarlarının kendilerine verilen satış hedeflerinden sapmasının en aza indirilmesi olarak belirlenmiştir. Bu doğrultuda yapılan kaynak taramasından sonra satış miktarlarını belirlemek için bir talep tahmin modeli tasarlanmış, ürünlerin araçlar arasında uygun biçimde dağıtılması için de sistem bir dağıtım modeli ile güçlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sıcak satış, talep tahmini, regresyon, adil dağıtım

1. Şirket Tanıtımı

ETİ Bisküvi Fabrikası 1961 yılında Firuz KANATLI tarafından Eskişehir’de kurulmuştur. Şirket ilk yıllarında sadece bisküvi üretiminde bulunurken 1972 yılında ürün yelpazesini büyük çapta genişletmiş ve ETİ Gıda Sanayi ve Ticaret A.Ş. olarak bugünkü adını almıştır. Kuruluşundan bu yana çıkardığı yenilikçi ürünlerle ilklere imza atarak tüketicilerini mutlu etmeyi başaran ETİ; bugün 45 marka ve sunduğu 300’den fazla ürünle bir gıda devi olarak karşımıza çıkmaktadır. Yıllık toplam 250.000 ton üretim kapasitesine sahip yedi modern fabrikasıyla 7000’den fazla kişiye istihdam sağlayan şirket; kraker, gofret, kek gibi ürünlerde pazar lideri konumunda olup 2 milyar TL üzerinde bir ciroya sahiptir. Ülke içinde 150 distribütör ve 2500 dağıtım aracı ile 200.000’den fazla satış noktasında faaliyet gösteren şirket, beş kıtada 40 ülkeye yaptığı ihracatla da ülkemizi dünyada başarıyla temsil etmektedir. İstanbul Sanayi Odası’nın (2015) hazırladığı listeye göre Türkiye’nin en büyük 25. şirketi olan ETİ, kurucusu Firuz KANATLI’nın çizdiği yolda ilerlemeye devam etmektedir.

2. Proje Tanımı ve Sistem Analizi

2.1. Proje tanımı

Sıcak satış sistemi, müşterilerin taleplerinin en iyi şekilde tahmin edilmesi ve tam olarak karşılanmasının her şeyden önemli olduğu bir sistemdir. Bu nedenle dağıtım araçlarında yeterli miktarda ürünün bulunmaması yok satmalara sebep olarak şirkete gelir kaybettirirken, kimi araçlarda da gereğinden oldukça fazla ürün taşınması dengesizliklere yol açmaktadır. Satış hedeflerinin ıskalanması da ek bir sorun olarak görülmektedir. Bu bağlamda projenin ana amaçları, satış hedeflerinden sapmanın azaltılması ve müşteri taleplerinin daha iyi tahmin edilmesi olarak belirlenmiştir. Buradan hareketle, satış temsilcilerinin hedeflerini de göz önünde bulundurarak satış miktarlarını tahmin edecek, sonrasında da depo ve araç stok seviyelerini dikkate alarak araçlara yüklenecek ürün miktarlarını belirleyecek bir karar destek sistemi oluşturulmuştur. Sistem geçmiş satış verilerini, satış temsilcilerinin çıkacağı rotaları ve müşterilerin gelir potansiyellerini kullanarak isabetli tahminler üretecek ve bu tahminleri kullanarak dağıtım araçlarına verilecek ürün miktarlarını belirleyecektir. Talep tahmini ve ürün yükleme süreçlerinde insan etkisinin azaltılarak sürecin otomatikleştirilmesi de sistemin kullanım amaçlarından biri olarak belirlenmiştir. Pilot bölgede yapılacak uygulamalar sonucunda sistemin genişletilmesi de seçenekler arasındadır.

2.2. Mevcut sistemin analizi

Önceki bölümlerde belirtildiği gibi kapsamlı bir satış ve dağıtım ağına sahip olan ETİ, geniş müşteri yelpazesini distribütörler, zincir marketler ve direkt müşteriler olarak üçe ayırmaktadır. Bilecik, Eskişehir ve Bilecik’teki fabrikalarda üretilen ürünler Eskişehir’deki lojistik merkezinde toplanmakta ve

buradan konsolide depolara taşınmaktadır. Konsolide depolardan distribütörlere ve büyük müşterilere teslimatlar gerçekleştirilirken distribütörler de ürünleri satış noktalarına dağıtmakla yükümlüdür. Bu sebeple distribütörlere yapılan dağıtım faaliyetleri soğuk satış sistemi olarak adlandırılırken, satış noktalarına yapılan teslimatlar sıcak satış sisteminin bir parçası olmaktadır. Sıcak satış sisteminde satış temsilcileri ürün satışının yanı sıra raf düzeni, müşteri ilişkilerinin geliştirilmesi gibi konulardan da sorumlu olup bir anlamda şirketin sahadaki yüzü konumundadır. Bu proje ise sıcak satış sistemi üzerine yoğunlaşmış ve kapsamı ETİ'nin Kırıkkale distribütörü Hocaoglu firması ve bu firmanın operasyonlarıyla sınırlı tutulmuştur. Şirket yetkilileri, incelemelerin ETİ'nin belirlediği 90 öncelikli ürün üzerinden yapılmasını kararlaştırmıştır.

Dağıtım araçlarına yüklemeler satış temsilcilerinin el terminalleri üzerinden bildirdikleri miktarda yapılmaktadır. Satış temsilcilerinin yükleme taleplerini, depo operasyonlarını kolaylaştırmak için, saat 15.00'a kadar bildirmeleri gerekmektedir. Bir sonraki gün için standart bir talep tahmin sistemi bulunmamakta olup, satış temsilcileri kişisel tecrübelerine dayanarak yükleme miktarlarına karar vermektedir. Anında karşılanamayan müşteri taleplerinin sonradan karşılanması mümkün olmadığı için, satış temsilcileri araçlarında olabildiğince fazla ürün bulundurmamak istemektedir. Satış temsilcileri hedeflerini tutturdukları oranda prim almaları da bu davranışa neden olmaktadır. Yok satmalara dair herhangi bir veri tutulmaması kayda değer bir eksiklik olarak göze çarpmaktadır.

Distribütör deposunda yüklemeler önce gelenin istediği ürünleri alması şeklinde ilerlediği ve talep tahmini yapılırken belirli standartlar izlenmediği için, depodaki ürünlerin araçlara dağıtımında dengesizlikler yaşanabilmektedir. Aynı sebeplerden dolayı satış temsilcileri araçlarında mümkün olduğunca fazla ürün tutmaya çalışmakta, bu da gereksiz stok taşınmasına ve ürünlerin kimi zaman ihtiyacı olan satış temsilcilerine kalmamasına neden olmaktadır. 11 öncelikli ürün üzerinde yapılan incelemelerin gösterdiği üzere, satış temsilcileri ortalama olarak sattıkları ürün miktarının neredeyse dört katını araçlarında gezdirmektedir ki, bu durum çok satılan ve az satılan ürün türlerinin her ikisi için de geçerlidir. Bununla bağlantılı olarak yedi öncelikli üründe de satış temsilcilerinin istedikleri yükleme talepleri incelenmiş ve bir aylık bir dönemde satış temsilcilerinin az satılan ürünlerde %11,5, çok satılan ürünlerde %19,2 oranında istedikleri yükleme taleplerinin karşılanamadığı görülmüştür. İki sorunun da sebebinin ürünlerin dağıtım araçlarına dengesiz bir biçimde yüklenmesi olduğu çıkarımı yapılabilir.

Satış hedeflerinde sapmanın azaltılması projenin temel amaçlarından biri olduğu için, satış temsilcilerinin öncelikli ürünlerin tümünde kendilerine verilen hedefleri ne düzeyde tutturdukları irdelenmiştir. Genel ortalamada hedefler %97 oranında tutturulsa da, ürünlere teker teker bakıldığında sapmaların %36 gibi

yüksek bir oranda olduğu görülmüştür. Bir üründe hedefini %83 aşan satış temsilcileri olduğu gibi, hedefini yalnızca yüzde %33 oranında karşılayabilen satış temsilcileri görülmüştür. Satış temsilcilerinin toplam hedeflerinde de benzer bir durum gözlenmiştir. Hedefini %12 aşan bir satış temsilcisinin yanında sadece %60 oranında hedef tutturan bir satış temsilcisi, ürün dağıtımındaki dengesizlikleri göstermektedir. İncelemede dokuz satış temsilcisinin yalnızca üçünün hedefini %95 ve üstü oranda tutturduğunun görülmesi de aynı sorunu işaret etmektedir.

2.3. Kaynak taraması

Kurulacak karar destek sistemi talep tahmini ve dağıtım olarak iki ayaktan oluştuğu için, kaynak taraması da bu iki yön üzerinden yürütülmüştür. Şirketin sahip olduğu zengin geçmiş satış bilgileri ve ETİ ürünlerine olan talebin bayramlar, okul sezonu gibi çok çeşitli faktörlerden etkilenmesi göz önünde bulundurularak ARIMA gibi zaman serisi modellerinin uygun olacağı sonucuna varılmıştır. Nahmias (1994) hızlı tüketim mallarında zaman serileri modellerinin kullanılmasını incelemiş ve ay, çeyrek yıl gibi geniş zaman aralıkları ve zengin veri kayıtları için bu tip modellerin uygun olduğu sonucuna varmıştır. Şirketin elinde zengin bir veri koleksiyonu bulursa da projede tahminler ve araçlara yapılan yüklemeler bir haftalık periyotları aşmayacağından farklı yöntemler de araştırılmıştır. Yukarıda da bahsedildiği gibi talep çok çeşitli faktörlerden etkilendiği için regresyon üzerine incelemelerde bulunulmuştur. Arunraj ve Ahrens (2015) ARIMA üzerine doğrusal regresyon uygulayarak bir dükkândaki günlük muz satışının tahmin etmeye çalışmıştır. Daha kısa zaman aralıkları ve talepteki ani değişimlerin regresyonla daha iyi yansıtılabileceği düşünüldüğü için bu makale proje için önem arz etmektedir. Talep tahmin modelinin kurularak veriler üzerinde test edilmesi için Hyndman ve Khandakar'ın (2008) R istatistiksel analiz yazılımı kullanarak geliştirdiği paketler kullanılmış ve talep tahmin süreci hem kolaylaştırılmış, hem de model kurulurken verilerin bölünmesi engellenmiştir.

Projenin bir anlamda gazeteci çocuk probleminin bazı özelliklerini yansıttığı söylenebilir. Bu kapsamda Sachs ve Minner'in (2013) bozulabilir ürünlerde talep trendlerini ve yok satmaları incelediği araştırması fayda göstermektedir. Yok satma kavramının daha iyi anlaşılması ve kurgulanması, olası etkilerinin değerlendirilmesi anlamında katkı sağladığı söylenebilir.

3. Sistem Tasarımı

3.1. Sistem girdi ve çıktıları

ETİ için önerilen model, talep tahmini ve dağıtım olarak iki ayaktan oluştuğu için her kısmın kendine ait sistem girdileri ve çıktıları mevcuttur. Talep tahmini kısmında, geçmiş satış verileri tahmin modeli için gerekli veri girdisini oluşturmaktadır. Temel olarak model satışlar için bir tahmin grafiği sunmakta ve hata payları vermektedir. Ayrıca, talebi etkileyen sezonsal faktörler, modelin

sezon sal dalgalanmalara karşı esnek olmasını sağlamaktadır. Bunların yanında hava durumu, bayramlar gibi çeşitli regresyon faktörleri, sene içindeki özel durumların modele entegre edilmesine olanak sağlamaktadır. Dağıtım modeli ise depo ve araç kapasitelerini göz önünde bulundurarak modelin üst sınırlarını tanımlamaktadır. Ayrıca, depo stok seviyesi kamyonlara yüklenecek ürün miktarını belirlemede kısıt olarak kullanılmaktadır. Satış temsilcisine verilen hedefler de amaç fonksiyonunda hedeflerden sapmayı en aza indirmek için girdi olarak yer almaktadır.

Sisteminin iki adet ana çıktısı bulunmaktadır. Talep tahmin modeli belirli güven aralıkları içerisinde iyileştirilmiş satış tahminlerini sunarken, dağıtım modeli de araçlara yüklenecek günlük ürün miktarlarını belirleyecektir.

3.2. Model tanımı

Önceki bölümlerde de görülebileceği sistem talep tahmini ve dağıtım modeli şeklinde, birbirleriyle yakın bir ilişki içerisinde bulunan iki kısımdan oluşmaktadır. İlk ayak olan talep tahmin modeli, ARIMA zaman serisi modelinin üstüne regresyon faktörlerinin eklenmesiyle oluşturulmuştur. Zaman aralığı günlük, haftalık veya aylık olacak şekilde tasarlanmıştır. Günlük tahminler sapma yüzdelerini arttırarak proje amacından uzaklaşmaya sebep olurken aylık tahminlerin ise fazlasıyla genel olduğu görülmüştür. Bu nedenle kaynak taramasının sonuçları ve şirketin iş yapış süreçleri de dikkate alınarak talep tahminlerinin her öncelikli ürün için haftalık bazda yapılmasına karar verilmiştir. Modelin genel matematiksel ifadesi aşağıda görülebilir.

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 X_{1t} + \beta_2 X_{2t} + \beta_3 X_{3t} + \dots + \beta_k X_{kt} + ARIMA(p, d, q)$$

X'li ifadeler regresyon faktörlerini temsil ederken β katsayıları bu faktörlerinin aldıkları ağırlıkları ifade etmektedir. Modelde hava durumu, bayramlar ve okul sezonu olacak şekilde üç adet regresyon faktörü bulunmaktadır. ARIMA modeli üç farklı parametre kullanarak talep tahminleri üretmektedir. ARIMA modelinin kurulumu için Hyndman ve Khandakar'ın (2008) geliştirdiği istatistiksel analiz paketleri kullanılmıştır. Y_t ise bir ürün için yapılan haftalık talep tahminine karşılık gelmektedir.

Modelde kullanılacak doğrusal regresyon tipi öncelikle en küçük kareler yöntemi (OLS) üzerinde durulmuştur. Bu yöntem verilerin normal dağılımdan geldiğini kabul ettiği için yüzdelik dilim regresyonunun uygulanmasına karar verilmiştir. Yüzdelik dilim regresyonu yinelemeli şekilde çalışarak regresyon faktörleri için en uygun katsayıların belirlenmesini sağlamaktadır. Bu yöntemin matematiksel gösterimi ise aşağıdaki gibidir.

$$Q(\beta_q) = \sum_{i: y_i \geq \beta_q x'_i}^N q |y_i - \beta_q x'_i| + \sum_{i: y_i < \beta_q x'_i}^N (1 - q) |y_i - \beta_q x'_i|$$

İkinci kısımda talep tahmin modelinden elde edilen ürün miktarlarının satış temsilcileri arasında dengeli bir şekilde dağıtılması ve ETİ tarafından

belirlenmiş satış hedeflerinden satış temsilcileri başına sapmanın azaltılması için bir dağıtım modeli geliştirilmiştir. Bu dağıtım modelinin her gün araç yüklemelerinden önce çalıştırılması ve haftalık (altı iş günü için) ürün dağıtımına karar vermesi planlanmıştır. Bu sayede günlük ürün yükleme miktarlarına karar verilirken, haftanın ilerleyen günlerindeki depo durumunu ve karşılanan satış hedeflerini göz önünde bulundurarak daha doğru ve hassas bir dağıtım yapılması amaçlanmıştır.

Kümeler

M: öncelikli ürün kümesi

P: satış temsilcisi (ST) kümesi

T: zaman kümesi

Parametreler

b_i : ürün i 'nin boyutu, $i \in M$

c_i : ürün i 'nin birim fiyatı, $i \in M$

FU_{ikt} : ST k için i ürününden t gününde yapılan tahmin aralığının üst sınırı, $i \in M$, $k \in P$, $t \in T$

FL_{ikt} : ST k için i ürününden t gününde yapılan tahmin aralığının alt sınırı, $i \in M$, $k \in P$, $t \in T$

E_{it} : fabrikadan t gününde gelen ürün i miktarı, $i \in M$, $t \in T$

Q_k : ST k 'nin aracının kapasitesi, $k \in P$

H_{ik} : ST k 'nin ürün i için satış hedefi, $i \in M$, $k \in P$

CSF_i : ürün i için sezonsal faktör, $i \in M$

P_i : ürün i 'nin ilk başta depoda bulunduğu miktar, $i \in M$

Karar Değişkenleri

S_{ikt} : ST k 'nin aracında t gününde bulunması gereken ürün i miktarı, $i \in M$, $k \in P$, $t \in T$

x_{ikt} : ST k 'nin aracına t gününde yüklenecek ürün i miktarı, $i \in M$, $k \in P$, $t \in T$

I_{it} : depoda t gününde bulunan ürün i miktarı, $i \in M$, $t \in T$

A_{ikt} : ST k 'nin aracında t gününde hâlihazırda bulunan ürün i miktarı, $i \in M$, $k \in P$, $t \in T$

Dağıtım Modeli

$$\text{minimize } \sum_i \sum_k ((\sum_t S_{ikt} \times c_i) - H_{ik} \times CSF_i)^2$$

$$S_{ikt} \geq FL_{ikt}, \forall i, k, t \quad (1)$$

$$S_{ikt} \leq FU_{ikt}, \forall i, k, t \quad (2)$$

$$E_{i(t-1)} + I_{i(t-1)} = \sum_k x_{ikt} + I_{it}, \forall i, t \quad (3)$$

$$\sum_i x_{ikt} \times b_i \leq Q_k - \sum_i A_{ik(t-1)} \times b_i, \forall k, t \quad (4)$$

$$A_{ikt} = A_{ik(t-1)} + x_{ikt} - S_{ikt}, \forall i, k, t \quad (5)$$

$$I_{i0} = P_i, \forall i \quad (6)$$

$$A_{ik0} = 0, \forall i, k \quad (7)$$

$$S_{ikt} \geq 0, \forall i, k, t \quad (8)$$

$$x_{ikt} \geq 0, \forall i, k, t \quad (9)$$

$$A_{ikt} \geq 0, \forall i, k, t \quad (10)$$

$$I_{it} \geq 0, \forall i, t \quad (11)$$

Dağıtım modelindeki amaç fonksiyonuyla, Türk lirası cinsinden, ürün başına yapılması beklenen satış miktarı ile ETİ tarafından belirlenen satış hedefleri arasındaki sapmanın azaltılması amaçlanmıştır. Dağıtım modelinin bir haftayı kapsayacak şekilde çalıştırılması ve yükleme miktarı gibi karar değişkenlerinin günlük olması için, aylık satış hedeflerinin haftalık, haftalık talep tahmini miktarlarının da günlük düzeye kırılması gerekmektedir. ETİ'den gelen ürün başına aylık satış hedeflerinin haftalık olarak bölünmesi, ürünlerin haftalık talep tahmin miktarı katsayılarına (CSF_i) göre yapılmıştır. Talep tahmin modelinden gelen haftalık ürün miktarlarının günlük ve satış temsilcileri başına kırılması ise, satış temsilcilerinin günlük ziyaret rotalarındaki müşteri potansiyellerine göre yapılmıştır. Dağıtım modeline esneklik katmak amacıyla ürünler için noktasal tahminler yerine istatistiksel talep tahmini modelinden gelen ürün başına güven aralıkları ile FU_{ikt} (üst sınır) ve FL_{ikt} (alt sınır) tanımlanmıştır. (1) ve (2) numaralı kısıtlar satış tahminlerinin bu sınırlar içerisinde kalmasını sağlamaktadır. (4) numaralı kısıt ile ürün yüklemelerinin araç kapasitesini aşmaması gerektiğini belirtirken, (3) ve (5) numaralı kısıtlar sırasıyla depo stok akışı ve araç içi stok akışını temsil etmektedir. Bu kısıtlar ile depoda bulunan ürün miktarından fazla yükleme yapılması ve araçlarda bulunan ürün miktarından fazla satış tahmini yapılması engellenmektedir. (6) numaralı kısıt ile hafta başı depoda bulunan stok miktarı ve (7) numaralı kısıt ile hafta başı stok miktarının tanımlanması sağlanmıştır. Model hafta başında çalıştırıldığında araçların içinin boş olduğu varsayılmaktadır. (8), (9), (10) ve (11) numaralı kısıtlar karar değişkenlerinin sürekli olduğunu ve negatif değerler alamayacağını göstermektedir.

3.3. Modellerin doğrulanması

Talep tahmin modelinin ürettiği tahminler şirketin geçmiş satış verileri kullanılarak yapıldığı için karşılaştırmalar da bu veriler ile gerçekleştirilmiştir. Hesaplanan hata terimleri tahmin edilen ortalamalar ile karşılaştırılmış ve ortalama hata payının %25-30 civarında olduğu görülmüştür. Bu durumu gösteren dört öncelikli ürün örnek olarak hazırlanmış ve Ek-1'de sunulmuştur.

Dağıtım modelinin daha gerçekçi olması için öncelikle tamsayı programlaması üzerinde durulmuş, ancak bu yöntem modelin büyüklüğü sebebiyle sonuç vermemiştir. Tüm ürünler için bir tamsayı programı yerine her ürün için ayrı ayrı uygulanan tamsayı programları bazı sonuçlar verse de çözüm süresinin saatleri bulmasıyla gerçek hayatta kullanılmayacağına karar verilmiştir. Bu sebeple karar değişkenlerinin sürekli tutulup sezgisel yöntemlerle tamsayıya çevrilmesi benimsenmiştir. Ürünlerin satış miktarları incelenip, şirketin istekleri de göz önünde bulundurulduktan sonra her zaman tamsayı

olacak şekilde satılan ürünlerin yüklemelerinin tamsayı, diğer ürünlerin ise yüklemelerinin ise en yakın buçuğa yuvarlanmış şekilde yapılmasına karar verilmiştir. Bu sezgisel yöntem ile yaklaşık 30 dakikada tüm satış temsilcileri için yükleme planı oluşturulabilmiş ve amaç fonksiyonu değerinde %18,3 oranında azalma sağlanmıştır. Bunun yanı sıra doğrusal programlamadan alınan ondalık sonuçlar, önce kendinden küçük, en yakın tamsayıya yuvarlandıktan sonra, her gün için ayrı ayrı oluşan açık hesaplanabilir. Sonra oluşan açık, kendinden küçük en yakın tamsayıya yuvarlandıktan önceki halinde, ondalık kısmı en büyük olana ilk koliyi verecek şekilde dağıtılabilir. Bu işlem, bir sonraki ondalık kısmı en büyük olana tamsayı konacak kadar açık kalmayana kadar devam edilir. Tüm günlere beraber bakmanın avantajı ise, oluşan açık en küçük pozitif tamsayı olan 1'den küçük olduğunda ise kalan günler birleştirilerek aynı sezgisel yöntem tekrarlanabilir.

4. Şirket Kazanımları ve Uygulama Planı

4.1. Şirkete sağlanan katkılar ve performans ölçütleri

Katkıları tanımlanabilir hale getirmek amacıyla, amaç fonksiyonu ile ilintili olarak iki ayrı performans ölçütü tanımlanmıştır. İlk olarak, haftalık satışların her ürün ve her satış temsilcisi başına finansal hedeflerin ne kadar tutturduğu incelenmiştir. Mevcut durumda bu oran %84,6 iken önerilen sistem ile %89,1'e yükseltilecek %5,1 oranında bir iyileşme sağlanmıştır. Daha önemlisi mevcut durumda standart sapmanın %50,4 olduğu gözlemlenirken önerilen sistem bu sayıyı %44,2 azaltarak %28,1'e çekmeyi başarmıştır. Ek bir ölçüt olarak toplamda satış temsilcisi başına düşen standart sapma incelenmiş ve %9,6'lık bir gelişme kaydedilmiştir.

Proje sonucunda şirkete önerilen sistemin şirket beklentilerini karşıladığı, ETİ ile yapılan toplantılarda defalarca belirtilmiş ve hedeflerden sapmanın azaltılması, isabetli tahminler ile araçlar arasında daha dengeli ürün dağıtımına erişilmesinin önemi vurgulanmıştır.

4.2. Uygulama planı

Entegrasyon sürecinde, şirkete yeni bir maliyet oluşturmamak adına, açık kaynak kodlu ücretsiz hizmet veren yazılımlar tercih edilmiştir. İstatistiksel talep tahmini yapmak için R programlama dili kullanılmıştır. Ücretsiz olmasının yanı sıra kullanışlı olması, (örneğin, tahmin modellerini ve parametrelerini doğrudan eniyilemesi) bu tercihin altında yatan önemli bir etken olmuştur. R dilinde yazılan kodların ilerleyen dönemlerde elde edilen yeni satış verilerine göre yenilenmesi ve bu işlemin ilgili bölümdeki mühendislerin kontrolünde olması planlanmaktadır.

Matematiksel modelin çözümü için OpenSolver yazılımı kullanılmıştır. Bu programın da ücretsiz olmasının yanı sıra şirketin verileri kullanılırken, veri tabanındaki bilgileri MS Excel'e aktarması ve yazılımın MS Excel programına doğrudan eklenti olarak kurulması diğer eniyileme programlarına göre avantaj

olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, yazılımın doğrusal olmayan modelleri çözme olanağına sahip olması, dağıtım modelinin doğrusal hale dönüştürülmesine ihtiyaç bırakmamıştır. Modelden çıkacak yükleme planı ise kullanıcı dostu bir ara yüz sayesinde depodaki satış temsilcilerine özel bir eğitim verilmesine gerek kalmadan sunulması beklenmektedir. Bunun için de MS Excel ile uyumlu olarak çalışan MS VBA programlama dilinde ara yüz oluşturulmuştur. Ara yüz görüntüleri Ek-2’de görülebilir.

Mevcut sistemde, şirket satışları ve satış temsilcilerinin konumlarını gerçek zamanlı olarak takip edebilmektedir. Ancak her ürün için ayrı ayrı tutulan satış verilerinin haftalık toplama dönüştürülmesi gerekmektedir. Bir diğer ihtiyaç ise, temel olarak matematiksel modele sunulan parametrelerin, şirket tarafından şu anda doğrudan tutulan verilerin çeşitli algoritmalarla hazır hale getirilmesidir. Buna örnek olarak, üretilen satış tahminlerinin satış temsilcisi rotalarının potansiyellerine göre dağıtılması verilebilir.

Sonuç olarak, önerilen yöntemler şirket için hiçbir ek maliyet yaratmamaktadır. Önerilen sistemde yeni tipte verilerin toplanmasına gerek olmayıp, sadece elde olan verilerin modele ve tahmin sistemine konulmadan önce temel aritmetik işlemlerle elden geçirilmesi gerekmektedir. Bu konuda şirketle yapılan görüşmeler sonucu, Bilgi Teknolojileri Bölümü’nden gerekli verilerin hazırlanması konusunda destek alınmasına karar kılınmıştır ve Mayıs ayında pilot bölge olan Kırıkkale’de yapılacak örnek dağıtım denemesinden sonra, şirketin projeyi uygulaması yüksek olasılıkla beklenmektedir.

5. Sonuç

ETİ’nin belirlediği proje amaçları doğrultusunda iki ayaklı bir karar destek sistem oluşturulmuştur. Talep tahmin modeli ürünler için haftalık bazda isabetli tahminler üretirken, dağıtım modeli de bu tahminleri kullanarak dağıtım araçlarına gerekli günlük yüklemeleri yapmaktadır. Elde edilen sonuçlar umut verici olup kullanım kolaylığına sahipken, sistemin şirkete ek maliyet yaratmaması da önemli bir yarar olarak göze çarpmaktadır. Satış hedeflerinden sapmanın azaltılması ve bu çerçevede ürünlerin satış temsilcilerine daha dengeli dağıtılması gibi ana amaçlara ulaşıldığı söylenebilir. Şirketin sonuçlardan memnun ve projeyi uygulamaya geçirmek için oldukça istekli olduğu da gözlenmektedir.

KAYNAKÇA

Arunraj, N. S., & Ahrens, D. (2015). A hybrid seasonal autoregressive integrated moving average and quantile regression for daily food sales forecasting. *International Journal of Production Economics*, 170, 321-335.

- Berk, E., Gürl r,  ., & Levine, R. A. (2007). Bayesian demand updating in the lost sales newsvendor problem: A two-moment approximation. *European Journal of Operational Research*, 182, 256-281.
- Bijvank, M., & Vis, I. F. (2011). Lost-sales inventory theory: A review. *European Journal of Operational Research*, 215, 1-13.
- Chatfield, C. (2003). *The Analysis of Time Series: An Introduction* (6th ed.). Chapman and Hall/CRC.
- Dekker, M., Donselaar, K. V., & Ouwehand, P. (2004). How to use aggregation and combined forecasting to improve seasonal demand forecasts. *International Journal of Production Economics*, 90, 151-167.
- Ernst, R., & Kamrad, B. (2006). Estimating demand by using sales information: inaccuracies encountered. *European Journal of Operational Research*, 174, 675-688.
- Gruen, T. W., & Corsten, D. (2007). *A Comprehensive Guide To Retail Out-of-Stock Reduction In the Fast-Moving Consumer Good Industry*. P&G.
- Huh, W. T., Janakiraman, G., Muckstadt, J. A., & Rumsevichientong, P. (2007). An Adaptive Algorithm for Finding the Optimal Base-Stock Policy in Lost Sales Inventory Systems with Censored Demand. *Mathematics of Operations Research*, 34(2), 397-416.
- Hyndman, R.J. & Khandakar, Y., (2008). *Automatic Time Series Forecasting: The forecast Package for R*. Journal of Statistical Software, Volume 27, Issue 3.
- Nahmias, S. (1994). Demand Estimation in Lost Sales Inventory Systems. *Naval Research Logistics*, 41, 739-757.
- Sachs, A., & Minner, S. (2014). The data-driven newsvendor with censored demand observations. *International Journal of Production Economics*, 149, 28-36.
- Türkiye'nin 500 Büyük Sanayi Kuruluşu - 2015. (n.d.). Retrieved from <http://www.iso.org.tr/sites/1/content/500-buyuk-liste-2015.html>

EKLER

Ek 1: Talep tahmin modeli sonuçları

Kod	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	MASE	ACF1	Ortalama	Sapma
�r�n 5	3,087	71,780	53,480	-4,464	19,472	0,765	-0,016	311,230	23,06%
�r�n 6	0,714	15,258	7,586	-11,477	38,652	0,871	0,017	51,947	29,37%
�r�n 30	-0,001	1,243	0,924	-18,785	37,738	0,868	0,014	3,486	35,67%
�r�n 52	-0,047	1,538	1,044	-13,673	28,215	0,790	0,012	4,787	32,13%

Ek 2: Sistem ara yüz görüntüleri

Giriş Ekranı

ETİ Karar Destek Sistemine Hoşgeldiniz!

Yükeme Planını görmek istediğiniz günü seçiniz:

Yükeme Planları

Detaylı Yükeme Planları için Tıklayınız:

Ürün Formu

Ürün seçiniz:

Araç Formu

Satış temsilcisi seçiniz:

Mal Kabul Alanı Performans Ölçümü ve İyileştirmesi

FNSS Savunma Sistemleri A.Ş.

Proje Ekibi

Fatih Gürcan

Fulya Sucu

Mustafa Kemal Şenol

Necati Furkan Ün

Mehmet Akif Yazıcılar

Emre Yeşilyurt

Endüstri Mühendisliği

Bilkent Üniversitesi

06800 Ankara

Şirket Danışmanı

Filiz Atasever Kaplanlar

FNSS Savunma Sistemleri A.Ş. Üretim Planlama Kıdemli Mühendisi

Akademik Danışman

Doç. Dr. Osman Oğuz

Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

FNSS Savunma Sistemleri'nin Ankara'da bulunan fabrikasında, malzemelerin fabrika içi üretim bölümlerine gönderilmeden önce kabul edildiği Mal Kabul Alanının verimsiz kullanılması sorunu bulunmaktadır. Bu verimsizlik, alana gelen siparişlerin belirli bir düzende gelmemesinden ve iş akışındaki düzensizlikten kaynaklanmaktadır. Alandaki bu düzensizlik, malzemelerin alanda bekleme sürelerinin artmasına ve gereksiz elleçleme işlemlerinin yapılmasına yol açmaktadır. Bu projenin amacı, FNSS şirketinin mal kabul alanı performansını iyileştirmek ve gelecekteki gelişmelere ışık tutacak bir sistem oluşturmaktır. Bu proje, depodaki giren ürünlerin açıldığı, sayıldığı ve kalite kontrole gönderildiği süreçlerin (mal kabul süreçleri) performansını inceler ve analiz eder. Depo içi operasyonlar ile uyum yakalanmasının sağlanması ve alanın etkili bir şekilde kullanılması için şirkete; farklı bir yerleşke düzeni, veri toplama işlemini hassaslaştıracak ve parça arama sürelerini azaltacak bir konum belirleme sistemi, mevcut sistemde alanın %25'ini işgal eden arşiv dosyaları ve yedek parçalar için ayrı bir arşiv odası ve yedek parça alanı çözüm olarak sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Arena Benzetim Modeli, Yerleşke Planı, Mal Kabul Alanı Yerleşim Planı, Süreç Yönetimi.

1. Sistem Tanımlaması

FNSS Savunma Sistemleri A.Ş.; Nurol Holding A.Ş. (%51) ve BAE Systems (%49) ortaklık girişimi olup, Türk Silahlı Kuvvetleri ile müttefik silahlı kuvvetlerinin kullanımı için paletli ve tekerlekli Zırhlı muharebe araç aileleri ile silah sistemlerinin tasarım ve üretiminde önder bir kuruluştur.

Ankara Gölbaşı'nda 280,000 m² alan üzerine kurulu olan FNSS tesisleri, Ağustos 1991'de üretim faaliyetlerine başlamıştır.

Özetle, FNSS, yerli ve yabancı müşteriler için uyarlanmış, güvenilir ve uygun fiyatlı kara savaş sistemi çözümleri tasarlar, geliştirir, üretir ve destekler.

Mal Kabul Alanı Odaklı Sistem Tanımlaması

FNSS depo alanında bulunan mal kabul alanı yaklaşık 450 m²'dir (depo yerleşimini gösteren autocad çizimi Ek 1'de verilmektedir).

Mal kabul alanı, gelen paketlerin paletlere konularak kalite kontrol departmanına aktarılması ve kalite kontrol sürecinden sonra depoya taşınması için hazırlandığı yerdir. Paketler depoya ulaştıktan sonra -kalite kontrol alanına geçmeden önce- iki farklı şekilde test edilmektedir: el ile sayma veya tartma. (El ile sayım ve tartım işlemlerinin tamamı Ek 2 ve Ek 3'te verilmektedir.) Test edilen paketler test sonuçlarına göre etiketlenmektedir. Sayma veya tartma sonuçları sipariş ile tutarlı değilse, kalite kontrol alanına aktarılmaz ve bekleme alanına alınır. Test sonuçları tutarlıysa, kalite kontrol departmanına gönderilir. Kalite kontrol işlemlerinden sonra, parçalar kabul edilirse, geçici bekleme alanına yerleştirilir ve daha sonra depolama raflarında saklanır. Reddedilen parçalar ise bekleme alanına taşınır. Onarılması mümkün olan parçalar, onarım işleminden geçirildikten sonra tüm süreçlerden tekrar geçirilir. Onarılması mümkün olmayan parçalar sistemden çıkarılır. (Mal kabul sürecinin tamamı Ek 4'te gösterilmiştir)

2.1 Mevcut Sistem Analizi

FNSS'e gelen her paket öncelikle mal kabul alanına gelmektedir. Mal kabul alanında ölçüm, tartım ve sayım işlemleriyle birlikte paketler zemin alanına taşınır ve Kalite-Kontrol Departmanı'na nakil edilmek için hazır hale gelir. Gelen paketlerin sayım ve tartım işlemlerinde eksiği varsa paketler Kalite-Kontrol Departmanı'na girmeden Bekleme Alanı'na gönderilir. Kalite-Kontrol Departmanı'nda belirli testlerle onaylanan mallar, Geçici Bekleme Alanı'nda ambara taşınmak için bekletilirken, testler sonucu hatalı olan mallar da Bekleme Alanı'na gönderilir. Bekleme Alanı, Kalite-Kontrol Departmanı'ndaki testlerden geçemeyen veya sayım ve tartım işlemlerinde eksiği olan malların tutulduğu, sonrasında tedarikçi firmaya geri gönderilmek için malların bekletildiği alandır.

Gelen paketler mal kabul alanına girmeden önce etiketlenir. Paketlerin önceliğini belirlemek için 2 çeşit etiket kullanılır: beyaz etiket ve pembe etiket. Pembe etikete sahip olan mallar, şirket için öncelikli olan, acil kullanıma

geçmesi gereken mallardır. Acil paketlerin, sayım ve tartım işlemlerinden sonra beklemeden Kalite-Kontrol Departmanı'na girip, kullanıma hazır olması gerekmektedir. Beyaz etiketliler normal paketlerdir. Bu paketler sayım ve tartım işlemlerinden sonra Kalite-Kontrol Departmanı'na girmek için zemin alanında beklemektedir.

FNSS proje bazlı ürün aldığı için mal kabul alanına gelen paketlerin çeşitliliği projeden projeye değişmektedir. Bu durum doğru bir tahmin(forecasting) yapamamamıza sebep olmuştur.

2.2. Bugünkü Durum Analizi

Depodaki sistemi daha iyi inceleyebilmek için şirketten son 2 yılın verileri alındı. Bu veriler paketlerin mal kabul alanına giriş, Kalite-Kontrol Departmanı'na girişi, bekleme alanına giriş ve ambara giriş tarihleri ile gelen malların hacimleri ve ağırlıkları gibi özelliklerini içermektedir. Gelen verilerin analizi sonucunda darboğaz(bottleneck) en çok hangi birimde ve hangi paketlerde olduğu incelendi. Analiz doğrultusunda, gelen paketlerin %18.7 acil paketlerken, %81.3'ü normal paketlerdir. Gelen paketlerin %83.27'si Kalite-Kontrol Departmanı'na girmektedir. Acil paketlerin Kalite-Kontrol departmanında geçirdiği ortalama süre 5.7 saat iken normal paketlerin ortalama süresi 4 gündür. Kalite-Kontrol Departmanı'na, bekleme alanındaki paketlerden birkaç örnek girerken, paketin diğer kısmı zemin alanda kalite kontrolün bitmesini beklemeye devam etmektedir. Kalite-Kontrol departmanında geçen süreyi azaltamayacağımız için, zemin alandaki ve geçici bekleme alanındaki süreleri azaltmak amaçlandı.

Şirketle yapılan görüşmeler doğrultusunda malların hacimleri veri analizinde önemli olduğu için parçaları iki özelliği de taşıyanlar olarak da incelendi. Hem acil olup hem büyük hacimli olması gibi. Çünkü şirket belirli bir hacimden büyük olan parçalar için başka bir depo tuttuğundan dolayı, büyük hacimli malların projede geçen ambara girişi yapılmamaktadır.

Bunlara ek olarak mal kabul alanının bugünkü raf kapasitesinin %15'i arşiv dosyaları için kullanılırken, %10'u da yedek parça için kullanılmaktadır. Bu durum, gelen paketlerin bazen raflara sığmayıp zeminde bırakılmasına ve yolu tıkamasına sebep olmaktadır.

Ayrıca, yapılan zaman etüdü çalışmaları doğrultusunda zemin alanda çok vakit kaybedildiği gözlemlenmiştir. Kalite kontrolü yapılacak olan paketlerin zemin alanda bulunup taşınması elleçleme yöntemiyle yapıldığı için zaman almakta ve parça akışında tıkanıklığa sebep olmaktadır.

3. Sistem Tasarımı

3.1. Benzetim

Sistemdeki problemlerin analiz edilmesi ve önerilen çözümlerin sınanması için Arena programında benzetim modeli kurulmuştur.

3.1.1. Arena

Proje kapsamında Arena programı kullanılarak, Mal Kabul Alanındaki sürecin işleyişini anlatan bir model oluşturduk. Model, alana gelen paketlerin gelmesi ve işlemlerini görürken geçen süreyi ve işlemleri gördükten sonra çıkan sonuca göre tedarikçiye geri gönderilmesi veya ambara yerleştirmesi arasında geçen süreyi ölçmek amacıyla oluşturulmuştur. Model şirketin bize sağladığı veriler analiz edilerek çıkarılan olasılıksal dağılımlar ve şirket ziyaretlerinde yapılan zaman etütleri sonucunda çıkan veriler ile çalıştırılmıştır, parçalar alan içinde el arabaları (hand truck) ile taşınır. Taşıma işlemi süreleri ise uluslararası standartlara göre ortalama bir el arabası hızı ve alan içi bölümler arası mesafeler baz alınarak modele işlenmiştir, modelin doğrulaması yine şirketin sağladığı verilerle model çıktılarını kıyaslaması ile yapılmıştır.

Modelde başlangıç olarak, paketlerin günlük varış oranı son iki yılın verilerine dayanarak hesaplanmıştır.

Modelin ikinci kısmında, yine şirket verisinden elde edilen olasılıklara göre paket niteliği tayin edilmiştir. Bu modelde gelen paketlere normal, acil, çok büyük, ön-onaylı (pre-checked), ön-onaylı ve acil, ön-onaylı ve çok büyük, acil ve çok büyük ile acil-çok büyük-ön onaylı olmak üzere 8 farklı paket bulunmaktadır. Paket niteliğinde “acil” olanlar süreç içinde öncelik sahibi oldukları için diğer paketlerden ayrılır ve öncelikli şekilde süreçte ilerlerler. Parçalar sayım ve etiketleme bölümüne sevk edilir ve burada paketlerin doğru miktarda olup olmadığı kontrol edilir. Buradan kalite kontrole gönderilen paketler, kalite kontrol çalışanı gelip paketleri alana kadar beklemek durumundadır. Daha sonrasında Kalite Kontrole alınan parçalar farklı sürelerde bu bölümde kalırlar. Şirket, numunelendirme (sampling) yöntemi ile kalite kontrol yaptığı için bu geçen sürede parçaların geri kalanı, alan içinde beklemeye ve yer işgal etmeye devam etmektedir. Bu noktada, şirketten alınan verilerden, kalite öncesi sayım işleminde yanlış miktarda gelip de geri gönderilen paket sayılarının oranı çıkarılamadığı için, sistemde bu parçaların da kalite kontrole girişinin yapıldığı ve oradan ret edildiği varsayımında bulunulmuştur. Kalite kontrolden ret yiyip tedarikçiye gönderilecek paketler Bekleme alanına, kabul edilen paketler ise Geçici Bekleme Alanına oradan da Ambara sevk edilmiştir. Proje kapsamında modelin ve şirket verilerinin analizlerinin sonuçlarına dayanarak paketlerin Kalite Kontrole girişinden önce bekledikleri süre, süreci aksatan bir darboğaz olarak değerlendirilmiş ve çözümler bu süreyi azaltmaya yoğunlaşarak oluşturulmaya çalışılmıştır. Model çıktılarının analizi sonucunda paketlerin alanda geçirdikleri sürenin %65lik bölümünü Kalite Kontrolden önce geçirdiği saptanmıştır. Bu sonuç gözlemlerimizden çıkardığımız kalite kontrolden önceki sürecin darboğaz oluşturduğunu doğrulamaktadır. Modelde atanan kaynakları değiştirerek ve bu süreçteki olasılıksal dağılımların değiştirilmesinde değişiklikler yapılarak önerilen çözümlerin değerlendirmesi

yapılmıştır. Model bir gün, bir hafta ve bir yıl tekrarlarıyla çalıştırılmıştır. Modelde kaynak olarak atanan işçi ve el arabalarının ortalama verimlerine bakılmış ve alandaki bir işçinin verimsiz olduğu sonucu ortaya çıkmıştır, bunun yanında da alana bir adet daha el arabasının alınmasının paketlerin süreci hızlandıracağı görülmüş ve şirkete sunulmuştur.

4. Geliştirilen Sistemin Başarısı

4.1 Beklentileri Karşılama

FNSS şirketi ile yapmaya başlamış olduğumuz mal kabul alanı iyileştirme projemizde, öncelikle şirket ile yaptığımız görüşmelerde aldığımız şikâyetler ve daha sonrasında yaptığımız ziyaretlerde gözlemlediğimiz sorunlar karşısında çözüm üretmeye çalıştık. Mal kabul alanındaki düzensizlik, alanın verimsiz kullanılması, uzun bekleme süreleri ve düzensiz iş akışı saptadığımız başlıca sorunları. Bunlara çözüm olarak bu alan için yeni düzenler (layout) geliştirdik. Alanın daha verimli kullanılabilmesi için arşiv odası ve yedek parça alanı oluşturduk. İş akışının daha verimli hale gelmesi için konum belirleme sistemini geliştirdik. Yaptığımız bu yeni düzen, uygulama ve modeller sayesinde mal kabul alanında verim alınamayan bölgeleri azalttık, alanın performansını arttırdık ve adam/saat kullanımını azalttık. Bu yeni geliştirmeler sonucunda raf alanlarından %25lik alanın kullanılabilir hale getirilmesini sağladık ve getirdiğimiz yeni sistemi daha rahat ve hassas veri toplayabilecek hale getirdik.

4.2 Uygulama ve Mevcut Sisteme Uyarlama

4.2.1. Arşiv Odası

Alanda yaklaşık olarak 220 adet dosya içeren palet bulunmaktadır bu da paletlerin konulduğu rafların %15lik bölümüne karşılık gelmektedir. Mal kabul alanına bir arşiv odası inşa ederek raflarda alan açmayı ve bu alanı da mevcut bulunan ve yeni gelecek olan ürünler ile değerlendirmeyi planladık. Arşiv odası 8,5 m² alan kaplayacak ve bu oda için giriş kapısının sol tarafında bulunan alan uygun bulundu çünkü bu alan pasif bir vaziyette bulunuyor. Bu alanı değerlendirerek mal kabul alanını daha verimli bir hale getirmek mümkün olacaktır. ABAD Yapı Projeden İnşaat Mühendisi Hüseyin Nergiz beyden aldığımız bilgiye dayanarak inşaat sürecinin maksimum 4 gün süreceğini öngörebiliriz. İnşaat için 3500TL ve arşiv odasındaki dolaplar için 4000TL ücretle 7500 TL ye arşiv odasını tamamlamak mümkün olacaktır. Ek 5 te görüldüğü üzere Ceylan Çelik A.Ş. den tedarik edeceğimiz iki adet üçlü kompakt arşiv dolabı kullanacağız. Bu dolapları seçmemizin nedeni ise kapasitesinin yüksek olması ve hareket kabiliyetinin alana çok yönlülük getirebileceğini düşünmemizden kaynaklanmaktadır.

Bu 220 dosyayı arşiv odasına taşımak için en uygun saatin 10:00 ile 12:00 arası olduğunu tespit ettik; çünkü iş yoğunluğunun en düşük olduğu saatler 10:00 ile 12:00 arasındadır(Ek 6 da görüldüğü gibi). Bu taşıma süreci 8 adımdan oluşacaktır. İlk olarak bir kişi tarafından hangi paletlerde arşiv dosyası olduğu

tespit edilecek daha sonra bu paletler işaretlenecektir ve bu sayede işçilerin paletleri tanınması daha kolay olacaktır. Daha sonrasında paletler aşağı indirilip taşıma işlemi gerçekleştirilecektir. Taşıma işlemi bittiğinde ise bu dosyalar bilirkişi tarafından ayıklanıp, gereksiz dosyaların ayıklanması ile dosyaların belli bir düzen içerisinde dolaplara yerleştirilmesiyle son bulacaktır. Bütün bu işlemleri yapmak için 1 tane el arabası, 2 işçi ve 1 bilirkişiye ihtiyaç olacaktır. Yaptığımız hesaplamalar ile 18 işçi-saati dosyaları taşımak ve bir düzen ile dolaplara yerleştirmek için yeterli olacaktır. Bu yeni arşiv odası ile FNSS birçok fayda kazanacaktır, ilk olarak tarihi geçmiş ve gereksiz dosyaları kilitli bir odada kapalı bir halde saklama fırsatını yakalayacaktır. Yeni gelecek irsaliyeler ve dosyaları bu oda içerisinde bir düzen içerisinde saklamak mümkün olacaktır. Arşiv odasının en önemli faydası ise raflarda % 15'lik bir alan açması ve bu alanın yeni gelen ürünler ve mevcut bulunan ürünler tarafından kullanılabilecek olmasıdır.

4.2.2. Yedek Parça Alanı

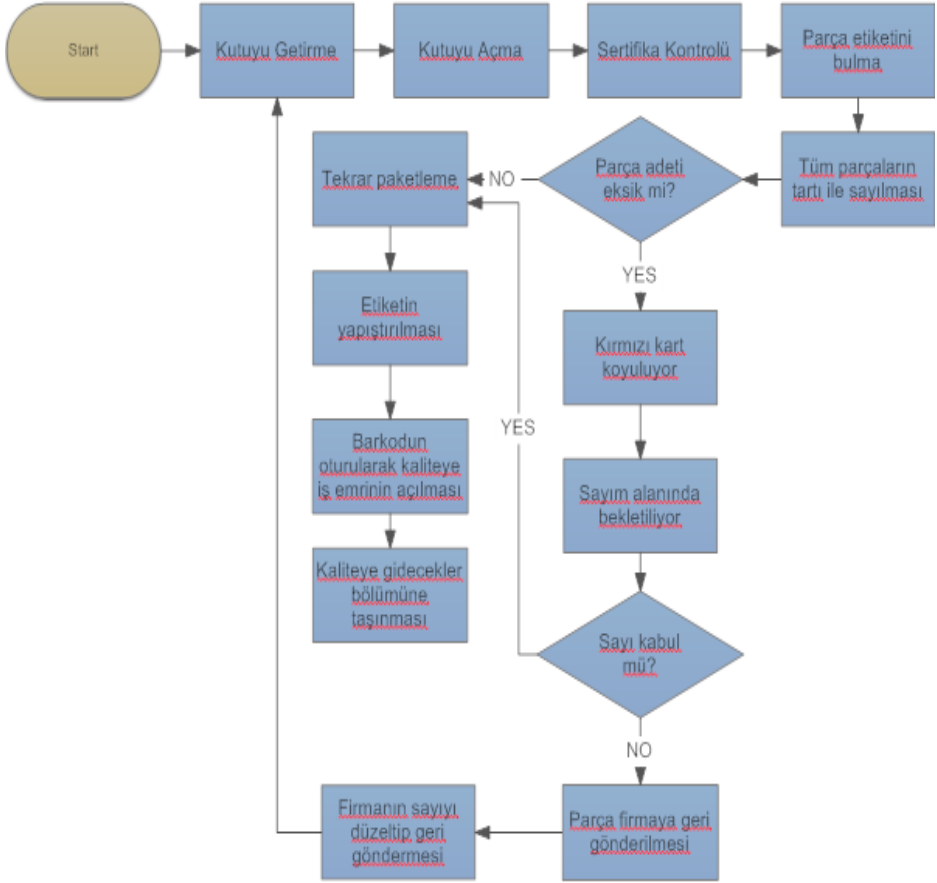
Mal kabul alanındaki rafların % 10unda yedek parçalar bulunmaktadır. Bu % 10luk alan 23 paletlik bir kayba neden olmaktadır firma için. Ana deponun girişinin sağ tarafına bir yedek parça alanı oluşturmayı planladık. Bu alanda 32 hücrelik yer ayırarak raflarda bulunan ve sonradan gelebilecek olan yedek parçalar için alan oluşturmak düşünüldü. Bu alanı belirgin hale getirmek için, alanın etrafını Doğan Tel A.Ş. tarafından yapılacak olan tel örgü ile çevirmeyi planlıyoruz. Alan planını anlattığımız zaman, Doğan Tel A.Ş. alanın daha güvenli olması için daha dayanıklı 5 mm kalınlığında, 5 metre yüksekliğinde ve 70x70lik tel kullanmamızı tavsiye ettiler. Bunun yaklaşık ücreti ise 780TL olarak hesaplanmıştır.

Bu alana yedek parçaları taşımak için 2 el arabası, 2 işçi ve 22 işçi-saati yeterli olacaktır. Bu taşıma işlemini yapmak için de yine iş yoğunluğunun en az olduğu saatler (10:00-12:00) kullanılacaktır. Bu saat aralıklarında bu işlemi yaptığımız zaman ise taşıma işleminin 10 gün süreceğini söyleyebiliriz. Fakat bu taşıma işini en doğru biçimde yapmak için bir bilirkişi'nin yedek parça bulunan paletleri işaretlemesi ardından işaretlenen bu paletlerin taşıma işleminin gerçekleştirilmesi daha doğru olacaktır. Sonuç olarak, bu yeni yapılan alan sayesinde raflarda açılan % 10luk alan, önerdiğimiz yeni yerleşim planında, yeni gelecek ürünler için kullanmak mümkün hale gelecektir.

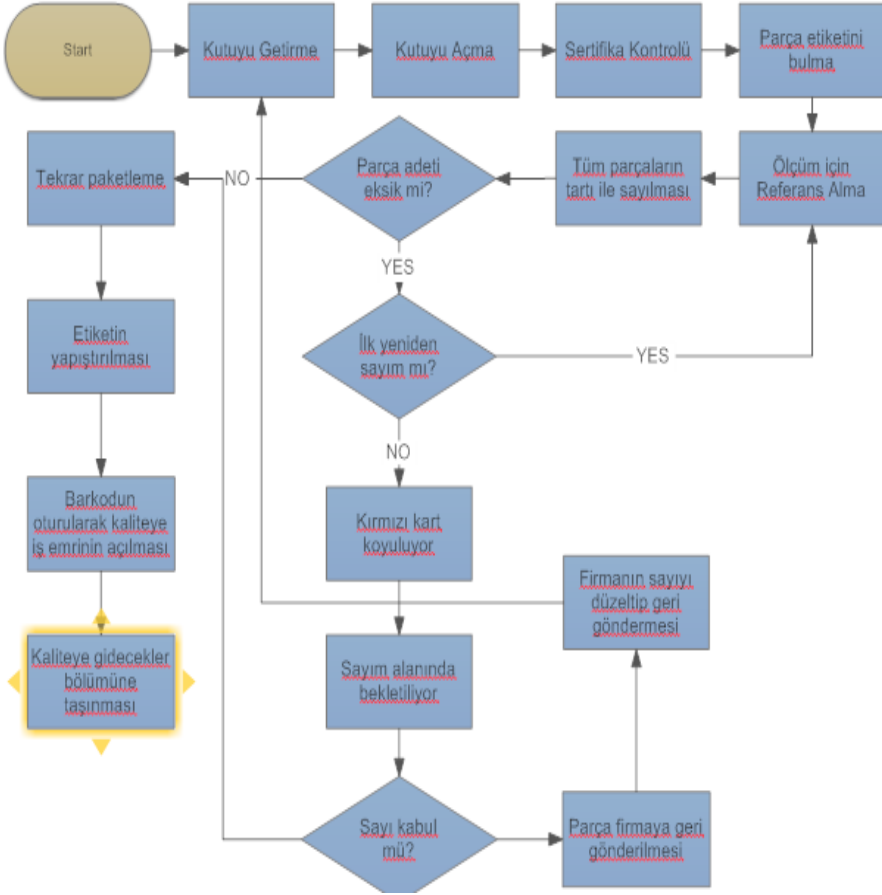
4.2.3. Konum Belirleme Sistemi

Mevcut sistemde, işçiler gerekli parçaları elle aramakta ve bu adam saati kaybına neden olmaktadır. Bu sorunu çözmek için, veri tabanına tüm parçaların niteliklerini kaydedecek şekilde yeni özellik eklemeyi önerdik. Bu özellik, parçanın bulunduğu palet barkod numarasıdır. Buna ek olarak, mal kabul alanında her bir katta 2 ila 4 hücreden oluşan ve tek bir palet kullanan raflar bulunmaktadır. Her hücreye, paletlerin yerini belirlemek için özgün bir barkod

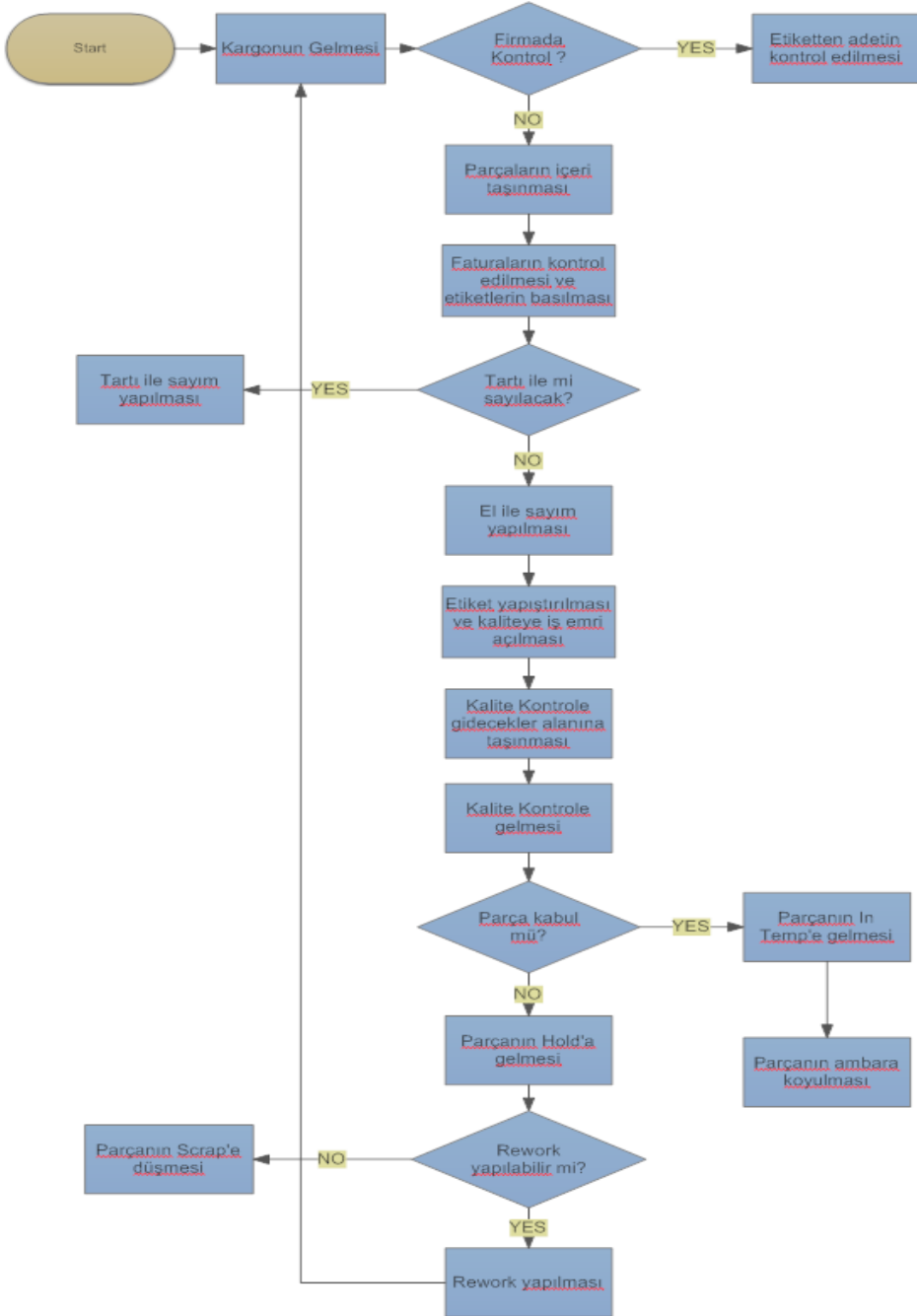
Ek 2 El ile Sayım İşlemi



Ek 3 Tartım İşlemi



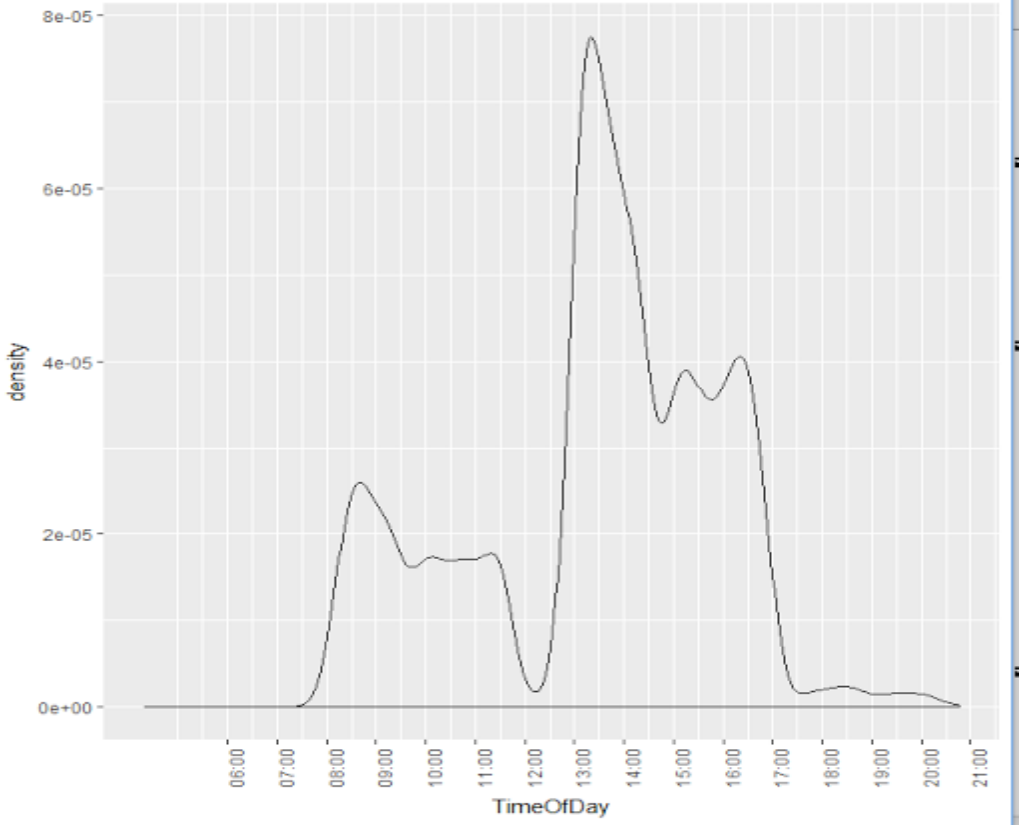
Ek 4 Mal Kabul Alanının İş Akış Şeması



Ek 5 Kompakt Arşiv Dolapları



Ek 6 Gün İçi Yoğunluk Çizelgesi



Garanti Sürecindeki Maliyetin Sistematik Biçimde Belirlenmesi

GAMA Güç Sistemleri Mühendislik ve Taahhüt A.Ş.

Proje Ekibi

Duygu Ağar

Duygu Ak

Sena Altunok

Merve Demirhan

Yaşar Kıvanç Kenger

Gizem Sıla Koçkar

Endüstri Mühendisliği

Bilkent Üniversitesi

06800 Ankara

Şirket Danışmanları

Uğur Ulaşoğlu

GAMA Güç Sistemleri, Garanti Bölümü Müdürü

Can Özcan

GAMA Güç Sistemleri, Planlama ve Proje Hizmetleri Direktörü

Akademik Danışman

Prof. Dr. Nesim Erkip

Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

GAMA Güç sistemleri Mühendislik ve Taahhüt A.Ş. “EPC” (mühendislik-satın alma-yapım-devreye alma) kapsamında enerji üretim tesisleri inşaa eden bir firmadır. Firma projeler için işverenlerle yapılan sözleşmelerde projelerin tamamlanmasından sonra 1-2 yıllık bir Garanti Sürecini de işverene taahhüt etmektedir. Çalışmalarımızda söz konusu tesislerin 4 ana sistemden oluştuğu prensibi ile hareket etmiş bulunuyoruz. Garanti süreci boyunca ortaya çıkan sorunların çözümü ve bunların neden olabileceği işletme kesintileri GAMA’ya bir maliyet getirmektedir. Dolayısı ile bu projedeki amacımız geçmiş projelerdeki sorunların istatistiksel analizinin yapılması ve gelecekteki projeler için tutarlı maliyet öngörülerinin sağlanmasıdır. Bu proje için istatistiksel veri analizi ve stokastik model olmak üzere 2 sistem öneriyoruz. İstatistiksel veri analizinde proje, tedarikçi, önem ve unit bazlı analiz yapılmaktadır. Stokastik model ise gelecek yeni projelerle birlikte kendini güncelleyebilmekte ve olasılıksal maliyet hesabı yapabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Garanti Süreci, Markov Chain, Excel, İstatistiksel maliyet analizi

1. Şirket Tanımı

GAMA Holding 1961 yılından bugüne teknoloji ağırlıklı endüstriyel tesis yapımı başta olmak üzere enerji müteahhitliği kapsamında da bir çok projeye imza atmıştır. GAMA Holding bünyesindeki GAMA Güç sistemleri Mühendislik ve Taahhüt A.Ş.'de 2003 yılından bu yana uluslararası standartlarda Doğal Gazlı Kombine Çevrim Santralleri ve Termik Santrallerin anahtar teslimi projeleri (tasarım, satın alma, imalat, montaj ve devreye alınmasını içerecek şekilde) faaliyetlerini sürdürmektedir.

Kısa bir süre içinde sektörde büyük bir pazar payı kazanan GAMA Güç Sistemleri, günümüzde geniş bir coğrafyada, Türkiye'de ve 15'ten fazla ülkede, elektrik üretim tesislerinin anahtar teslimi yapımı alanında hizmetlerini sunmaktadır.

2. Proje Kapsamı ve Mevcut Sistem Analizi

2.1. Proje kapsamı

Garanti Sürecindeki Maliyetin Sistematik Biçimde Belirlenmesi Projesi, garanti sürecindeki maliyeti arttıran temel sebeplerin istatistiksel veri analizi yoluyla belirlenmesine ve süreç sonundaki toplam maliyetin hesaplanmasına odaklanmıştır. Bu sayede, tekrarlı olarak arızalanan sistemlerin, bu arızaların hangi önceliğe sahip olduğunun ve hangi olasılıkla ortaya çıktığının tespiti amaçlanmıştır.

Garanti süreci tamamlanan önceki projelerin arıza verileri ve stokastik çözümler kullanılarak oluşturulan sistem, maliyet tespitinde bir çözüm yöntemi olarak kullanılmaktadır. Sistemin oluşturulmasında son 11 yılda tamamlanan 7 adet projenin garanti verileri kullanılmıştır. (A,B,C,D,E,F,G) GAMA Güç Sistemleri, gelecekte tamamlanacak projelerin verilerini çözüm yöntemi olarak sunulan sisteme ekleyip güncellenmiş maliyet hesaplaması yapabilecektir. Güncellenebilen sistem sayesinde, gelecek projelerde tedarikçi ve sistem bazında karar verilirken arıza olasılıklarına göre çıkması beklenen maliyetin göz önünde bulundurulması amaçlanmıştır.

2.2. Mevcut sistem analizi

GAMA Güç Sistemleri, projenin inşasının tamamlanmasından sonra iki yıllık garanti sürecini yönetmektedir ve bu süreçte çıkan garanti konularından sorumludur. Garanti sürecinin uzunluğu, müşterinin talebine göre ve genellikle iki yıl olarak belirlenir. Güç santralının sorunsuz çalışmasından, ve sistemde çıkan arızaların giderilmesinden GAMA Güç Sistemleri'nin yetkili mühendisleri sorumludur. Garanti sürecinde gözlemlenen arızalar, teknik sorunlar; mühendislik tasarımından, ekipman tedarikçisinden veya saha montajından kaynaklanabilmektedir. Sistemde oluşan arızaların giderilme sorumluluğu öncelikle yukarıda söz edilen taraflarca yapılması esastır. Ancak bazı arıza konularının GAMA Güç Sistemleri'nin sorumluluğu altında da karşılandığı durumlar mevcuttur.

GAMA Güç Sistemleri, santralda ortaya çıkan arızaların kaydını; ana sistem adı, problemin nedeni, sistem adı, parça, problemin GAMA tarafından kabul edilip edilmediği, arızanın ortaya çıktığı ve tamir edildiği tarih, öncelik ve tedarikçi başlıkları altında kayıt altına alınmaktadır. Güç sisteminde buhar türbini, gaz türbini, HRSG ve GAMA-BOP olmak üzere 4 ana sistem, 58 sistem ve 240 parça bulunmaktadır.

Garanti süreci boyunca çıkan arızalar A,B,C ve D olarak 4 ayrı öncelik alabilmektedir. Öncelikler, müşteri tarafından belirlenmektedir. A öncelikli arızalar, güç santralının durdurulmasını ve çalıştırılmadan önce tamir edilmesini gerektirmektedir. B öncelikli hatalar tamir edilmediği takdirde sistemde sorunlara sebep olabilir ve A öncelikli hataya dönüşme ihtimali taşır. C öncelikli hatalar güç santralının durdurulmasını gerektirmez ama santralin ilk duruşunda tamir edilmesi gerekir. D öncelikli hatalar en uygun zamanda tamir edilmelidir. Bazı projelerde santralin emre amadeliği taahhüt edildiği için özellikle A öncelikli sorunlar önem taşımaktadır.

3. Problem Tanımı

3.1. Belirtiler ve şikayetler

Şirket yetkilileri ile yapılan toplantılar sonucunda garanti süreci maliyetini arttıran sebepler; A öncelikli arızalar sebebiyle santralin durdurulması ve garanti sürecinde meydana gelen arızaların tamiri olarak belirlenmiştir.

3.2. Problem tanımı ve ilgili literatür

Belirtiler ve şikayetler başlığı altında da belirtildiği üzere santralde meydana gelen arızaların tamiri ve bu arızalar sebebi ile santralin durdurulması garanti süreci maliyetinde artışa neden olmaktadır. Problem tanımı, garanti sürecinde oluşan arızaların, bu arızaların sebep olduğu tamir maliyetinin ve arızalardan kaynaklı, santralin durdurulması nedeniyle ödenen günlük ceza ücretinin sistematik bir biçimde öngörülememesi olarak ifade edilebilir. Bu problemin çözümü amacıyla önerilen sistemler; istatistiksel veri analizleri ve garanti maliyetinin hesaplanması şeklinde iki başlık altında toplanmaktadır.

Öncelikle arızaların sebeplerinin net bir biçimde gözlemlenmesi ve analiz edilmesi için balık kılçığı şeması hazırlanmıştır. Sonrasında arızaların kayıtlarının tutulduğu dosyadan alınan veriler üzerinde istatistiksel analiz yapılmıştır. GAMA Güç Sistemlerinin bize sağlamış olduğu, arızaların kayıtlarının tutulduğu dosya 7 proje için toplam 2093 garanti konusu içermektedir. Bu konular üzerinde yapılan istatistiksel veri analizi öncelik, tedarikçi, proje ve ana sistem bazlıdır.

Önerilen diğer sistem, gelecekteki projeler için garanti maliyetinin hesaplanmasıdır. Maliyet hesabı yapılabilmesi için stokastik bir süreç olan Markov Zinciri modeli oluşturulmuştur. Markov Zinciri modeli olasılıksal ve eklenen yeni projelerle kendini güncelleyebilen bir modeldir.

Garanti maliyetini yükselten ana faktörleri belirlemek için, geçmiş projelerin verileri üzerinden istatistiksel veri analizi yapılmıştır. Yapılan analizler tedarikçi, ana sistem, proje ve öncelik bazlıdır. Analizlerin sonuçları eklerde görülmektedir. Örneğin, toplam hataların %7'si A öncelikli olup, bu hataların büyük bir çoğunluğu (%41) tek bir projede görülmüştür. Ayrıca, hataların %84 oranla büyük çoğunluğu GAMA BOP'tadır.

4. Çözüm Yöntem ve Metotları

4.1. İstatistiksel Veri Analizi

İstatistiksel veri analizi, arızaların verisi kullanılarak eklerde belirtildiği gibi birçok temelde yapılmıştır. Önerilen çözüm sistemlerinden biri olan veri analizi, meydana gelen ardışık iki hata arasındaki zamanların belirlenmesi ve bunların hataların meydana gelmesinin olasılık hesabına dönüştürülmesinde temel veriyi oluşturmaktadır. Her ana sistem ve öncelik için bir sonraki periyotta (1 hafta veya 2 hafta) arızalanma olasılığı bu veri ile hesaplanmaktadır. İstatistiksel veri analizi yapılırken bütün projelerin aynı koşullarda yapıldığı kabul edilmiştir.

4.2. Garanti Maliyetinin Hesaplanması

- **Markov Zinciri**

Markov Chain modelinin belirlenmesi için izleyeceğimiz adımlar şu şekilde sıralanabilir:

1. Durum Tanımı

i: GAMA BOP

j: buhar türbini

k: gaz türbini

m: HRSG

Her durum (i,j,k,m) yapısından oluşmaktadır.

Her bir i,j,k,m 4 farklı değer alabilmektedir. Bunlar 1,2,3,4 şeklinde sıralanır.

1: ana sistem herhangi bir arıza olmadan çalışmaktadır.

2: ana sistem, sistem arızasından dolayı çalışmamaktadır.

3: sistem çalışmaktadır fakat ana sistemde B öncelikli bir arıza vardır.

4: sistem çalışmaktadır fakat ana sistemde C veya D öncelikli hata vardır.

Her sistem 4 farklı değer alabildiği için ve 4 ana sistem olduğu için, toplam durum sayısı (4^4) işleminden 256 bulunur.

Her bir geçiş 1 haftalık süreci temsil etmektedir.

- **Arıza Zamanlarının Geçiş Olasılıkları**

Her bir i,j,k,m için geçiş olasılıkları hesaplanmıştır:

$x \rightarrow y, x: \{1,2,3,4\}, y: \{1,2,3,4\}$

B, C ve D öncelikli hataların hemen tamir edildiğini varsaydığımız için,

$Pr\{3 \rightarrow 3\}$ arıza tamir edilmiş fakat diğer B öncelikli hata ilk haftada ortaya çıkmış anlamına gelmektedir. Bu yüzden, örneğin

1,1,1,1 1,1,3,1 ve 1,1,3,1 1,1,3,1 aynı olasılıklara sahiptir.

- Geçiş olasılıklarını bulabilmek için, iki hata arasında geçen sürelerin histogramı her bir ana sistem ve her öncelik için çizilmektedir. Histogramları çizebilmek için, varsayımlarımız göz önünde bulundurularak hata verisi listesi temizlenmiştir. Örneğin, A öncelikli hatalar sebebiyle santral çalışmayı durdurduğu sırada meydana gelen başka hatalar bulunmaktadır.

- Arena-Input Analyzer kullanılarak, 16 histogramın da belli bir dağılıma uyup uymadığı incelenir. 16 histogram da, lambda parametresi ile üstel dağılım (exponential distribution)'a sahiptir. Üstel dağılımın belleksiz özelliğe sahip olması nedeniyle, 1 haftalık geçiş olasılıklarının Markov Zinciri modelinde hesaplanması yararlı görülmektedir.

- Histogram, Input Analyzer programına konulmuş ve lambda = 3.23 parametresi ile üstel dağılım (exponential distribution)'a sahip olduğu görülmüştür.

- Üstel dağılımın parametresi kullanılarak 1 haftada hata verme olasılığı şu şekilde hesaplanır:

$$P\{t \leq 1\} = 1 - e^{(-3.23 \cdot 1)} = 0.96$$

Sonuç olarak 0.5'ten düşük bir olasılık elde edilmesi beklenmektedir çünkü yüksek olasılıklar bir geçiş içerisinde birden çok hata bulunduğu anlamına gelir. 0.5'ten yüksek olasılığa sahip hatalar için empirical dağılım kullanılmıştır. Eğer sonuçlar 0.5'e eşit veya 0.5'ten düşük değere sahip ise modelde kullanılmışlardır. Empirical dağılımlar için şu denklem kullanılmıştır:

$(\lambda) \cdot t = M \cdot p$. Bu denklemde t, Markov Zincirinde bulunan süreyi temsil etmektedir. Modelde 1 haftalık geçişler kullanıldığı için, t = 1 olarak alınmaktadır.

Bu denklemde p, 1 haftada M hata meydana gelme olasılığını temsil etmektedir. Örnekte ise, parametre lambda = 3.23 ve 1 haftadaki hata meydana gelme olasılığı 0.96 olarak hesaplanmıştır. Eğer M = 7 olarak alınırsa, p = 0.46 olarak hesaplanmaktadır. Sonuç olarak, 1 haftada HRSG ana sisteminde C ve D öncelikli 7 hata meydana gelme olasılığı 0.46 olarak bulunmuştur.

Hata Zamanlarının Geçiş Olasılıkları

- Daha önce değinildiği gibi, B, C ve D öncelikli hatalar için gerekli tamir süreleri bilgilerine gerek bulunmamaktadır. A öncelikli hataların tamir sürelerinin 1 geçişteki olasılıklarının bulunabilmesi için histogram çizilmiş ve geometrik dağılım kullanılmıştır.

- Tamir sürelerinin histogramı, hata veren ana sistemi tamir etmek için gereken maksimum tamir süresini vermektedir.

- Herhangi bir ana sistemin 1 geçişte tamir olma olasılığı şu şekilde hesaplanmıştır:

$$Pr\{X=k\} = (1-p)^{(k-1)} \cdot p$$

Bu denklem k deneme içerisinde ilk başarılı denemenin olasılığını verir. Eğer bu denklem verilen örneğe uyarlanırsa; k=6 olarak alınır ve bunun anlamı hata

veren sistemin 1, 2, 3, 4, 5 veya 6 haftada, 0.99 olasılıkla tamir edildiği anlamına gelmektedir. 1 geçişteki tamir olasılığı şu şekilde hesaplanmıştır:

$$p+(1-p)*p+(1-p)^{(2)}*p+(1-p)^{(3)}*p+(1-p)^{(4)}*p + (1-p)^{(5)}*p =0.99$$

Bu denklemin sonucu şu şekildedir: $p=0.54$

Geçiş Matrisinin Belirlenmesi

Önceden hesaplanan olasılıklar MATLAB kullanılarak matrise aktarılır. MATLAB kullanılmasının nedenleri şunlardır:

- Geçiş matrisini maliyet matrisi ile çarparak, belli süreler sonucundaki beklenen garanti maliyetini hesaplayabilmek.
- Geçiş matrisi p 'nin n 'inci kuvveti alınarak (p^n), n süre sonundaki hata verebilme olasılığını hesaplayabilmek.
- Markov Chain matrisini otomatik olarak oluşturabilecek bir algoritma yazıp, kullanabilmek için.

Maliyet Vektörünün Belirlenmesi

Her hata verisi için, karşılık gelebilen maliyet bilgisi aşağıda bulunan aralıklar halinde verilmiştir:

0 = Maliyeti bulunmamaktadır

1= €1 ve €1000 arasında maliyete sahiptir

2 = €1000 ve €5000 arasında maliyete sahiptir

3 = €5000 ve €10000 arasında maliyete sahiptir

4 = €10000 ve €25000 arasında maliyete sahiptir

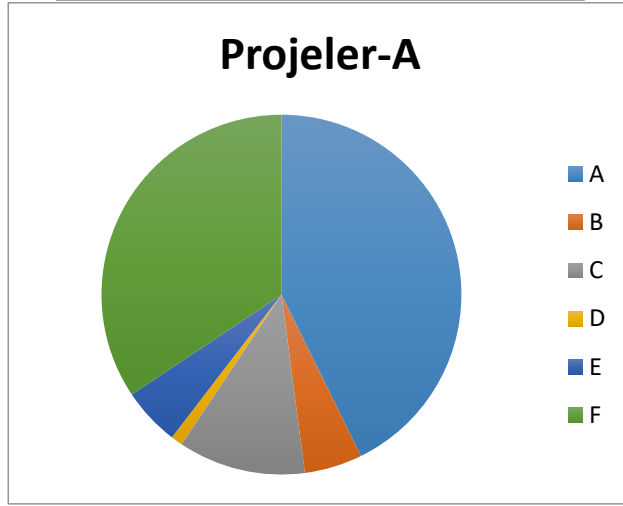
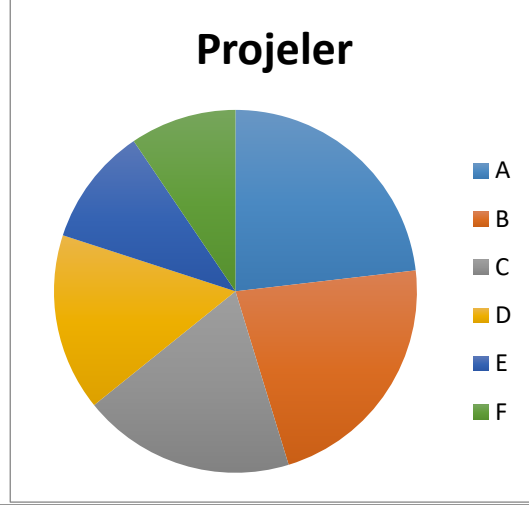
5 = €50000 ve €100000 arasında maliyete sahiptir

Her durum için, her öncelik ve her ana sistem göz önünde bulundurularak beklenen maliyet hesabı yapılır. Örneğin, buhar türbini ana sisteminde, B önceliği olan 41 hata verisi bulunmaktadır. Bu hatalardan 35 tanesi maliyetsizdir (tedarikçi tarafından çözülmüştür), 3 tanesi €1 ve €1000 arasında maliyete sahiptir ve son olarak 3 tanesi €1000 ve €5000 arasında maliyete sahiptir. Buhar türbini ana sistemi için durum 3'te beklenen maliyet hesabı şu şekilde yapılmıştır:

$$(3/41)* €500 + (3/41)* €3000 = €256$$

5. Sonuçlar ve Genel Değerlendirme

Önceden de belirtildiği gibi iki farklı çözüm yöntemi bulunmaktadır. Bunlardan birincisi, şirketin garanti süreci maliyetini arttıran faktörleri daha geniş bir pencereden görmesini ve verimli bir şekilde yorumlamasını sağlayacak olan analizlerdir. Bu analizler geçmiş projelerin verilerinden elde edilmiştir. Şirkete daha önceki projelerde hangi tedarikçilerin daha çok maliyete neden olduğu, hangi sistemlerin hata çıkarma olasılıklarının yüksek olduğu veya hangi projelerin daha verimli olduğu gibi analizler verilmektedir.



“Şekil 1. Proje Bazlı Analiz ve A önceliğinin Proje Bazında Analizi”

Örnek olarak Şekil 1’e bakıldığında B projesinin 7 proje içinde %21 ile en çok hata çıkaran ikinci proje olduğu görülmektedir. Ancak A öncelikli hatalar bazında baktığımızda, bu hataların sadece %5’i B projesinden kaynaklanmakta olduğu görülmektedir. Aynı şekilde toplam hataların sadece %9’u(sondan ikinci) F projesinden kaynaklanmaktayken, A öncelikli hataların neredeyse üçte biri bu projede meydana gelmiştir. Bunun gibi yapılan birçok analizi kendi bilgi ve deneyimleriyle birleştirdiklerinde şirkete projelerde neleri iyi yaptıklarını veya nerelerde hata yaptıklarına dair yorum kazandırabilir ve gelecek projelerde neleri geliştirebileceklerini görebilirler.

İkinci çözüm yöntemi ise gelecekte bir proje için olasılıksal olarak beklenen garanti süreci maliyetinin hesaplanmasıdır. Bu maliyetin hesaplanması için daha önceki bölümlerde de anlatıldığı gibi bir Markov Zinciri modeli oluşturulmuştur. Kullanıcının bu modeli kullanması için yapması gereken sadece VBA’de oluşturulmuş kodu çalıştırması ve otomatik olarak oluşan maliyet ve geçiş matrislerini MATLAB’a input olarak girmesi gerekmektedir. MATLAB’da oluşturulan yazılım çalıştırıldığında otomatik olarak beklenen garanti süreci maliyetini vermektedir. Excel VBA’de oluşturulan kod, otomatik olarak daha önceki projelerde girilen verileri ana sistemlere ve hata önceliklerine göre ayırmakta ve her bir ana sistem ve hata önceliğinin bir projede ortaya çıkma ihtimalini hesaplayarak Markov Zinciri modelini oluşturmaktadır. Sistem adaptif olup, yeni projeler eklendikçe onların da dahil olduğu bir model oluşturmaktadır. Tutarlı olmak amacıyla iki farklı model oluşturulmuştur. Bunların farkı modeldeki geçiş sürelerinin 1 ve 2 hafta şeklinde olmasıdır. 1 haftalık modelden elde edilen sonuç 1.8 milyon Euro’dur. 2 haftalık modelden elde edilen sonuç ise 1.7 milyon Euro’dur. Bunun dışında modelin tutarlılığını ölçmek için her bir projenin garanti süreci maliyeti manuel olarak hesaplanmıştır ve oluşturulan modelin 1 haftalık veya 2 haftalık periyodlara göre çalıştırılması ile elde edilen sonuçlar şirket tarafından onaylanmıştır. İki farklı modelden elde edilen sonuçların birbirlerine ve onaylanan manuel sonuçlara yakın olması, oluşturulan modellerin tutarlılığını göstermektedir.

KAYNAKÇA

- “Gama Power Systems.” Web. 7 November 2016.
<<http://www.gama.com.tr/en>>
- “Power Plant Performance.” Web. 7 November 2016.
<<http://www.systemdynamics.org/conferences/2000/PDFs/ajami374.pdf>>.
- “Fishbone Diagram”, Web. 7 November 2016.
<<https://www.cms.gov/Medicare/Provider-Enrollment-and-Certification/QAPI/downloads/FishboneRevised.pdf>>.
- GAMA Holding. Department of Engineering and Planning. GAMA Training Documents Introduction to GAMA Power Systems, 2013.
- GAMA Holding. Department of Engineering and Planning. Warranty Procedure, 2014.
- GAMA Holding. Department of Warranty Issues. Project Failure Record List, 2016.

“Engineering and Construction of Turnkey Industrial Projects.” Web. 7 November 2016.

<<http://www.powertechnology.com/contractors/powerplant/gamapower systems/>>.

Mitra, Amitava. Fundamentals of Quality Control and Improvement. New Jersey: John Wiley& Sons, Inc., 2008.

Lisnianski, Anatoly, Ilia Frenkel, ve Yi Ding. Multi-State System Reliability Analysis and Optimization for Engineers and Industrial Managers. London: Springer, 2010.

Law, Averill M. ve Kelton, W. David. Simulation Modeling & Analysis. Singapore: McGraw-Hill, Inc., 1991.

Ekler

İSTATİKSEL VERİ ANALİZİNİN İÇERİĞİ:

Unit bazında

Öncelik bazında

Proje bazında

Tedarikçi ve unit bazında

Unitlerin öncelikleri bazında

A önceliğinin projeler bazında

A önceliği ve tedarikçi bazında

GAMA BOP B önceliğinin eşik istatistiği

R programında Q-Q Plot test

Montaj Ön Hazırlık Hattı Yerleşim Planı Eniyilemesi

MAN Türkiye A.Ş.

Proje Ekibi

Can Berk Alay
Ali Doğacan Aydın
Ege Birol
Ece Şahinbeyoğlu
Zeynep Tekin
Bengisu Ulusu

Endüstri Mühendisliği
Bilkent Üniversitesi
06800 Ankara

Şirket Danışmanı

İlke Gerboğa
MAN Türkiye A.Ş., Süreç Mühendisi

Akademik Danışman

Yrd. Doç. Dr. Çağın Ararat
Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

MAN Türkiye A.Ş. otobüs fabrikasında günlük hedeflenen üretim kapasitesinin 11 otobüse çıkarılması sonucunda montaj ön hazırlık istasyonlarının darboğaz oluşturması verimliliği düşürmektedir. Bu projenin amacı, ön hazırlık istasyonlarındaki yetersiz stok alanı ve bu alanların verimsiz kullanılması gibi sorunlara çözüm olarak günlük üretim kapasitesine ulaşılmasını sağlamaktır. Çözüm önerileri bulunurken benzetim modelleri kullanılmış ve gerekli stok ekipmanı sayısı saptanmıştır. Ayrıca, bazı otobüs tiplerinin art arda gelmesi yetersiz stok alanına sebep olduğu için şirkete yeni bir üretim planı sunulmuştur. Buna ek olarak, ambardan stok çekme sıklığının standart hale getirilmesi için çalışmalar yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Montaj hattı, Ön hazırlık istasyonları, Benzetim modellemesi, Yerleşim yönetimi

1. Şirket Tanıtımı

Dünya çapında lider bir ticari araç üreticisi olan MAN Truck & Bus AG 1758'de kurulmuştur ve MAN Group SE'nin alt firmasıdır. MAN Türkiye A.Ş.'de 27 çeşit otobüs üretilmektedir. Üretim tesisi 317.202 m² olup 1782 çalışanı vardır ve yılda ortalama 2500 otobüs üretmektedir. Fabrikanın üretim alanı 40.000 m²'dir ve bu alanda 1198 çalışan vardır.

Fabrikadaki üretim hattı, içlerinde kalite kontrol, test ve montaj hattı birimlerinin de bulunduğu toplam 14 birimden oluşmaktadır. Montaj hattı içerisinde bulundurduğu her bir istasyonu besleyen ön hazırlık istasyonlarından oluşmaktadır. Montaj hattı bu proje kapsamında en önemli birimdir çünkü montaj ön hazırlık istasyonları bu birime bağlıdır. Ocak 2017'den itibaren MAN Türkiye A.Ş. üretim kapasitesini günlük 8,5 otobüsten 11 otobüse çıkarmış ve ön hazırlık istasyonlarının bir kısmını başka bir binaya taşımıştır. Buna ek olarak üretim kapasitesini karşılamak için 250 mavi yaka çalışan işe almıştır. Yapılan bu değişikliklerden dolayı ön hazırlık istasyonlarındaki birim işlem süresi 8 dakika kısalmıştır.

2. Proje Kapsamı ve Mevcut Sistem Çözümlemesi

Bu bölümde proje kapsamı ve mevcut sistem tanımı ayrıntılandırılıp mevcut sistemin çözümümleri yapılmaktadır.

2.1 Proje Kapsamı

Projenin kapsamı ön hazırlık istasyonlarında bulunan stok alanlarının iyileştirilmesi olarak belirlenmiştir. Proje bitiminde darboğaz oluşturan ön hazırlık istasyonlarında gözlemlenen sorunların çözüm önerileri sayesinde giderilmesi hedeflenmiştir. İşlem sürelerindeki iyileştirmeler proje kapsamı dışında tutulmaktadır. Bunun dışında, yeterli stok miktarı ve yeterli işgücünün her daim sağlanacağı da varsayımlar arasında yer almaktadır.

2.2 Mevcut Sistem Tanımı

Ön hazırlık istasyonlarına bakıldığında, her istasyon ürettiği parçayı montaj hattının ilgili kısımlarına göndermektedir. Komşu istasyonlar birbirlerini olumsuz şekilde etkilememekte ve istasyonlar arası ön koşul ilişkisi bulunmamaktadır. İstasyonlardaki çalışanlar o günün öncesinde ne kadar otobüs siparişi geldiğini bilmekte ve günlük planlarını siparişler doğrultusunda biçimlendirmektedir. Öte yandan her bir istasyonun kendisine ait, şirket yönetimi tarafından belirlenen bir alanı vardır. Her istasyon genel olarak iki ana kısımdan oluşmaktadır: İşlenmemiş ve işlenmiş parçaların stok alanı, çalışma tezgâhı.

Daha etkili ve verimli olabilmek amacıyla şirket çalışanlarının da yardımıyla üç istasyon seçilmiş ve projeye bu üç istasyonun çözümümleriyle başlanmıştır. Seçilen üç istasyonun diğer istasyonların sorunlarını ve şikâyetlerini de kapsadığı düşünülmüştür. Bu nedenle ayrıntılı çözümleme, üç ana istasyon için yapılacaktır. Bu istasyonlar Kapı Ön Hazırlık İstasyonu (G74),

Torpedo Ön Hazırlık İstasyonu (G82) ve Ön Maske Ön Hazırlık İstasyonu'dur (G70). Proje devamında diğer istasyonlar da ayrıntılı bir biçimde incelenmiş, belirti ve şikâyetleri belirlenmiştir.

2.3 Mevcut Sistem Çözümlemesi

Bu bölümde MAN Türkiye A.Ş. ön hazırlık istasyonlarının mevcut sistem özellikleri bahsedilen üç ana istasyon üzerinden incelenecektir.

2.3.1 Kapı Ön Hazırlık İstasyonu (G74)

G74 istasyonunda otobüslere takılacak olan kapılar işlenmektedir. Farklı tip otobüsler için farklı tipte kapılar kullanılmaktadır ve bu işlemler yapılırken o ve ertesi günün üretim planları dahilinde hareket edilmektedir.

Üretim planından sonra, gerekli sayıda ve çeşitte yarı bitmiş kapılar ambardan G74 istasyonuna taşınır ve işlenmiş ve işlenmemiş kapılar burada genişlikleri 240 cm olan taşıma araçlarında depolanır. Bazı otobüs türlerinin kapıları yapıştırıcı içerdiği için diğer kapı çeşitlerinden daha uzun sürede işlem görmektedir ve bu durum da gecikmelere sebep olmaktadır. Gecikmelerden dolayı G74 istasyonu montaj hattından her zaman önde gitmektedir (Herhangi bir günün akşamüstünde montaj hattına giren bir otobüsün kapısı o günün sabahı hazır edilmektedir ve herhangi bir günün sabahında montaj hattına giren otobüsün kapısı önceki günün akşamüstü hazırlanmaktadır.). Sac levha içeren kapılar da diğerleriyle birlikte boyutları 187 cm x 85 cm olan stok raflarında tutulmaktadır. İstasyonda çalışanların kapıları hazırlaması için iki tane 210 cm x 240 cm boyutlarında çalışma tezgâhı bulunmaktadır ve çalışanlar burada paralel olarak aynı işi yapmaktadırlar. Aynı çalışanlar kapı taşıma araçlarının hazırlığında da görev almakta olup bu araçların montaj hattının gerektirdiği kapıları içerip içermediğini kontrol etmektedirler. Kapı taşıma araçlarının istasyonda 100 cm x 87 cm boyutlarında belirli bir alanı vardır. Kapılarla ilgili önemli bir özellik yapıştırıcı içeren kapıların kurumaları için bir süre bekletilmesi gerektiği ve bu kapılara montaj hattında ihtiyaç duyulduğunda doğrudan stok raflarından taşıma arabalarına aktarılmalıdır.

2.3.2 Torpedo Ön Hazırlık İstasyonu (G82)

G82 istasyonunda otobüslere takılacak olan torpedo kısımları hazırlanmaktadır. Bu istasyonda iki komşu çalışma tezgâhı bulunmaktadır. Bu iki çalışma tezgâhından ve torpedo hazırlık işlemlerinden bir çalışan sorumludur. Torpidolar otobüs çeşitlerine göre 5-7 farklı parçadan oluşabilmektedir ve bu parçalar belirtilen çalışma tezgâhlarında birleştirilmektedir. Tezgâhların uzunlukları 180 cm'dir. İki tezgâh arasında ise 120 cm boşluk bulunmaktadır ve her iki tezgâh da dolu iken bu boşluk 30 cm'ye kadar inebilmektedir. Buna ek olarak torpidoların küçük parçaları bu iki çalışma tezgâhının arkasında depolanmaktadır. Tezgâhların ve bahsedilen küçük parçaların arası 88 cm olarak ölçülmüştür. Öte yandan, işlenmiş ve işlenmemiş torpidolar çalışma tezgâhlarının sağında ve solunda bulunan stok raflarında bir arada

depolanmaktadır. Ayrıca, dikey torpidolar için farklı bir stok alanı mevcuttur ve bu alan bahsedilen küçük parçaların stok raflarının tam önünde yer almaktadır.

2.3.3 Ön Maske Ön Hazırlık İstasyonu (G70)

G70, otobüslerin ön maskelerinin montaj hattına gönderilmek üzere hazırlandığı ön hazırlık istasyonudur. Yapılan ölçümlere göre, ön maske ön hazırlık istasyonu 75 cm x 60 cm boyutlarında iki çalışma tezgâhı, karkaslı arabaların ön maskelerinin hazırlandığı iki taşıma arabası ve raf genişliği 110 cm olan tekerlekli üç stok rafından oluşmaktadır. Stok raflarının kapladığı alanın toplam genişliği 4,5 m'dir. Küçük üretim parçaları ise stok raflarında depolanmaktadır. Ön maske parçaları bu istasyona ambardan değil, boyahaneden gelmektedir. İşlem gören ön maske parçaları tekerlekli stok raflarında depolanmaktadır ve montaj hattında birleştirilmektedir. Bu istasyonda dört çalışan vardır.

3. Problem Tanımı

Bu bölümde projenin temelini oluşturan problemle ilgili belirti ve şikâyetler, problem tanımı ve yazın taraması sonuçları bulunmaktadır.

3.1 Belirtiler ve Şikâyetler

Bu bölümde belirlenen üç istasyonda gözlemlenen belirti ve şikâyetler incelenmektedir.

3.1.1 Kapı Ön Hazırlık İstasyonu (G74)

Sınırlı Stok Alanı: İşlenmemiş kapılar ve işlenmiş kapılar aynı stok alanında tutulduğundan dolayı günün bazı saatlerinde stok alanlarının tamamen dolu olduğu gözlemlenmiştir. Her iş gününün sonunda, çok sayıda işlenmiş kapı ertesi gün montaj bandına yollanmak üzere hazır bulundurulmaktadır. Ancak, stok alanında yeni kapıların depolanması için alan olmadığından ötürü yeni kapılar, bu alanlar yerine çalışma tezgâhlarının üstlerine konulmaktadır. Bu durum çalışanların çalışma alanlarını kısıtlamakta ve istasyon içindeki işlemlerin süresini artırmaktadır.

Stok Raflarının Verimsiz Kullanımı: İşlenmemiş kapılar ambardan istasyonlara forkliftlerle taşınmakta ve özel olarak tasarlanan taşıma araçları üzerinde depolanmaktadır. Her aracın kapasitesi 6 kapıdır ve 4 adet araç bulunmaktadır. İşlenmiş kapıların depolandığı raflar en fazla 6 kapı aldığı için istasyon içindeki akışta sorunlar yaşanmaktadır. Bu rafların verimsiz kullanımı nedeniyle ambardan gelen işlenmemiş kapıların depolandığı komisyon alanları da fazladan stok alanı olarak kullanılmakta ve forkliftlerin ambardan yeni parçalar getirdiği durumlarda taşıyıcı paletlerin çıkarılması ve forklifte malzeme yüklenmesi gibi işlemleri istasyon çalışanı ve forklift işletmeni birlikte yürütmektedirler.

3.1.2 Torpido Ön Hazırlık İstasyonu (G82)

Özelleştirilmiş Stok Rafi Yetersizliği: Torpidoların depolanması için özelleştirilmiş stok alanları bulunmamaktadır. Örneğin, dikey torpidolar, yatay

torpidolar gibi özelleştirilmiş bir stok alanına sahip değildir. Bu nedenle, dikey torpidoları depolamak için taşıma arabaları kullanılmakta ve bu durum istasyon içerisinde alan kullanımında sorunlar oluşturmaktadır.

Yanlış Yerleştirilen Stok Birimleri: Yatay torpidoların stok alanı iki taraflı olup bir tarafı akabindeki istasyonu işgal etmektedir. Çalışan istasyon tarafındaki stok alanından işlenmemiş torpidoları temin ederken veya işlenmiş torpidoları stok alanına yerleştirirken sorun yaşamaktadır. Stok alanı ile çalışma tezgâhları arasındaki uzaklık 80 cm olarak ölçülmüştür ve bu alan çalışanın torpidoyu hızlı bir biçimde çevirmesine veya hareket ettirmesine izin vermemektedir.

3.1.3 Ön Maske Ön Hazırlık İstasyonu (G70)

Özelleştirilmiş Stok Rafı Yetersizliği: Çalışanlar boyahaneden gelen parçaları işlem yapmak üzere stok raflarından alıp çalışma tezgâhı üzerine koymaktadırlar. İşlem bittiğindeyse aynı stok rafını işlenmiş parçaların stok rafı olarak kullanmaktadırlar. Üretimde herhangi bir nedenden ötürü aksaklık yaşanırsa yeni hazırlanan parçalar için stok rafı bulunmamaktadır. Bu nedenle üretim hattındaki en ufak bir gecikme, hazırlanmış ön maskelerin depolanmasında soruna yol açmaktadır.

Stok Raflarının Belirli Yerlerinin Olmaması: Tekerlekli stok raflarının önceden belirlenmiş bir alanın olmaması ön maske hazırlık istasyonunda sorunlara sebep olmaktadır. Çalışanlar kendi çalışma alanlarını rahatlatmak için rasgele bu stok raflarının yerlerini değiştirebilmektedirler. Bu durum da çalışanların stok raflarının yerlerini tayin etmek için ayrı bir çaba ve zaman harcadıklarını göstermektedir. Günde üç defa mal gelişi olduğu için, çalışanlar günde üç defa bu rafların yerlerini çalışma alanının uygunluğuna göre ayarlamaktadırlar.

3.2 Problem Tanımı ve İlgili Yazın

Problem tanımı, günlük hedeflenen üretim kapasitesinin 11 otobüse çıkarılması sonucunda ortaya çıkan; yetersiz stok alanı, stok raflarının verimsiz kullanılması, parça boyutlarına uygun olmayan stok rafları ve çalışma tezgâhları, yerleşim planının verimsiz hazırlanması sorunlarının giderilmesi olarak belirlenmiştir. Bu doğrultuda iyileştirme yapılması beklenen ön hazırlık istasyonları için kaynak taraması yapılmıştır. Bu süreçte konuyla ilgili akademik makaleler incelenmiş ve referans olarak alınmıştır.

Azadivar ve John (2000) makalesi benzetim modeli kullanarak ve kısıtlamaları göz önünde bulundurarak sisteme uygun en iyi yerleşim planını sunmak üzere tasarlanan bir modeli açıklamaktadır. Ön hazırlık hattı, üretim talebi sonucu işlem yapan bir hat olduğundan dolayı bu sistem bir benzetim sistemi olarak düşünülmektedir. Bu makale, sistemin verimliliğini göz önünde bulundurduğu ve devamlılığı için senaryo analizleri geliştirdiğinden ötürü eniyileme çalışmalarımız sırasında kaynak olarak yararlanılabilecek niteliğe

sahiptir. Projede, makaledeki benzetim modelinden yararlanılarak yeni bir model geliştirilmiştir.

Üretim kapasitesinin 11 otobüse çıkarılması sırasında varsayılan işlem sürelerini doğrulamak için Banks (2005) kitabından yararlanılmıştır. Bunun yanı sıra, benzetim modelleri oluşturulurken Kelton vd. (2015) kitabı kullanılmıştır.

4. Sistem Tasarımı

Bahsedilen sistemin doğru bir biçimde incelenip belirtilen problem tanımına çözümler bulunabilmesi amacıyla sistem için bir benzetim modeli geliştirilmiştir.

4.1 Veri Çözümlemesi ve Doğrulama

Benzetim modelinde girdi olarak kullanılacak her istasyonun işlem sürelerini doğru hesaplamak için belirli bir metodoloji geliştirilip uygulanmıştır. İşlem sürelerini için üçgensel dağılım kabul edilmiş ve aşağıdaki adımlar takip edilmiştir:

1. Her istasyonda bir gün boyunca otobüs tiplerinin işlem süreleri ölçülür.
2. Her istasyonun hangi dağılıma uygun olduğunu bulmak için açıklayıcı istatistiklerden (ortalama, standart sapma, güven aralığı) yararlanılır.
3. Açıklayıcı istatistikler kullanılarak her istasyonun işlem süreleri üçgensel dağılıma oturtulur.

Buna göre, Kapı Ön Hazırlık İstasyonu için yapılan çalışmalarda, ortalama işlem süresi 95% güven aralığı ile $27,42 \pm 1,40$ dakika olarak ölçülmüştür ve işlem süresinin dağılımı da ÜÇGEN(26.01,27.42,28.82) şeklinde bulunmuştur. İşlem sürelerini bulmak için kullanılan yöntem bütün istasyonlara uygulanmıştır.

Öngörülen işlem sürelerinin doğrulaması için aşağıdaki adımlar takip edilmiştir:

1. Boş denence olarak gözlemlenen ve benzetimle elde edilmiş sonuçların farkının sıfır olduğu kabul edilir.
2. İşlem süreleri rassal olarak üçgensel dağılıma göre üretilir.
3. Benzetimle elde edilmiş işlem süreleri gözlemlenen sürelerle karşılaştırılır.
4. İki süre arası fark hesaplanır.
5. İki taraflı T testi kullanılarak hesaplanan farkların ortalama değeri bulunur.
6. Hesaplanan farkların varyansı ve standart sapması hesaplanır.
7. t_0 değeri hesaplanır.
8. $t_{\alpha/2, n-1}$ değeri hesaplanır.
9. Her $t_{\alpha/2, n-1}$ değeri t_0 değerinin mutlak değeri ile karşılaştırılır.
10. t_0 'ın mutlak değerinin $t_{\alpha/2, n-1}$ değerinden küçük olduğu durumda boş denence reddedilir. Bu da karşıt denencenin geçerliliğini, yani, süreler için üçgensel dağılımın uygun olduğunu göstermektedir.

Bu işlemler her istasyon için uygulanmıştır. İşlem süreleri için doğrulama, Microsoft Excel programı kullanılarak yapılmıştır.

4.2 Arena Programı Kullanılarak Oluşturulan Benzetim Modelleri

Ön hazırlık istasyonlarında iyileştirme önerebilmek amacıyla iki benzetim modeli oluşturulmuştur. İlk modelde girdi olarak rasgele oluşturulan otobüs tipleri kullanılırken ikinci modelde güncel üretim planı girdi olarak kullanılmaktadır. Bu iki model sayesinde üretim planının stok miktarları üzerindeki etkisi görülmüştür. Ayrıca, art arda gelen bazı otobüs tiplerinin parça sayılarından dolayı stok alanlarında ciddi birikmelere sebep olduğu saptanmıştır. Bunun dışında, ambardan stok çekme sıklığı girdi olarak kullanıldığı için bu iki model üçe ayrılmıştır. Bu nedenle toplam 6 Arena programı oluşturulmuştur. Ambardan stok çekme sıklığı çözüm önerisinin ayrıntılı anlatımı için 5.1 bölümüne bakınız.

İlk modelde her otobüsün dağılım işlevleri güncel üretim planına göre belirlenmiştir. Bu model sonucunda rasgele oluşturulan üretim planı Excel dosyasına da yazılmaktadır. Model 1000 gün çalışmaktadır. Arena programı raporun önceki bölümlerinde bahsedilen rasgele ve gerçek üretim planları üzerinden koşturulup işlenmiş ve işlenmemiş stok miktarlarının zamana bağlı değişimleri raporlanmıştır. Rassal üretim planı ile koşturulan benzetim modeli, ilerleyen bölümlerde bahsedilen üretim planı değişiklik önerilerini desteklerken gerçek üretim planı ile yürütülen benzetim modeli stok miktarına bağlı olarak ekipman değişikliklerine dair önerileri desteklemektedir.

5. Çözüm Önerileri ve Uygulama Süreci

Bu bölümde belirtilen sorunlara getirilen çözüm önerileri ayrıntılı olarak incelenip değerlendirilecektir.

5.1 Ambardan Stok Çekme Sıklığı

Ön hazırlık istasyonlarına parçalar, Ayna ve Ön Maske Ön Hazırlık İstasyonları dışında, ihtiyaç olduğu durumlarda ambardan gelmektedir. Ambardan stok çekme sıklığını standartlaştırmak amacıyla ön hazırlık istasyonlarında kullanılan parçalar üç gruba ayrılmıştır. Bu sınıflandırma yapılırken iki kısıt göz önünde bulundurulmaktadır. İlk olarak parçaların ambardan uzaklığı ölçülmüştür ve bu uzaklık uzak, orta ve yakın mesafe olmak üzere üçe ayrılmıştır. İkinci olaraksa parça boyutları ölçülmüştür ve parçalar büyük, orta ve küçük olarak sınıflandırılmıştır. İstasyonu besleyen parçaların boyutları ve ambardan uzaklıkları kullanılarak ambardan stok çekme sıklığı ise günde bir kere, günde iki kere ve günde üç kere olmak üzere üçe ayrılmıştır. Bu sayede küçük parça boyutlarına sahip, ambara uzak istasyonlar için parçalar günde bir kere rahatlıkla taşınabilecektir. Bunun yanı sıra, büyük parça boyutlarına sahip ve ambara yakın istasyonlar için ise günde üç kere taşıma yapılacak ve parçaların istasyonda az yer kaplaması sağlanacaktır. Bunun dışında, ambardan stok çekme sıklıklarına göre istasyona gönderilecek parça

sayılarını otomatik olarak hesaplayan ve kullanıcının işini kolaylaştıran bir sistem de Excel programı kullanılarak geliştirilmiştir (Ek 1).

Tablo 1: Ambardan önerilen miktarda stok çekme sıklıkları

Günde 1 kere	Günde 2 kere	Günde 3 kere
G60 Tavan	G70 Ayna	G70 Ön Maske
G63 Tutamak	G73 Yan Konsol	G74 Kapı
G81 Döşeme	G82 Torpido	G67 Yan Duvar

5.2 Alınacak Stok Ekipmanlarının Belirlenmesi

Benzetim modellerinden elde edilen sonuçlar doğrultusunda işlenmiş ve işlenmemiş parçalar için mevcut durumdaki stok ekipmanlarının yetersiz olduğu saptanmıştır. Her istasyon için alınması gereken stok ekipmanlarına karar verilirken aşağıdaki basamaklar izlenmiştir:

1. Ambardan stok çekme sıklığı ilgili benzetim modelinden alınır.
2. Benzetim modeli çıktısına göre ortalama ve enbüyük işlenmiş ve işlenmemiş parça sayıları bulunur.
3. Enbüyük işlenmiş ve işlenmemiş parça sayılarına göre stok düzeyi hesaplanır.
4. Enbüyük parça sayısını karşılayacak kadar stok ekipmanı (taşıma arabası/stok rafı) belirlenir.
5. İstasyon içinde alınması gereken stok ekipmanını karşılayacak alanın olup olmadığı incelenir.
6. Eğer alan yeterli ise stok ekipmanının fiyatı Canves Makine firmasından alınan fiyat listesine göre hesaplanır. (Canves, 2017)

Güncel üretim planını girdi olarak kullanan benzetim modelinin sonuçlarına göre belirtilen basamaklar her istasyon için uygulanmıştır. Benzetim modelinden elde edilen sonuçlar Ek 2’de yer almaktadır.

Ön Maske Ön Hazırlık İstasyonu incelendiğinde ise ambardan stok çekme sıklığı günde 3 olarak saptanmıştır. Benzetim modeline göre gerekli olan işlenmiş ön maske taşıma arabası sayısı 4 olarak hesaplanmıştır. İşlenmemiş parçaları depolayan taşıma arabası sayısı ise 7’dir. Mevcut durumda toplam 4 adet taşıma arabası istasyona sığabilmektedir. Bu nedenle ön maske ön hazırlık istasyonunun alanı genişletilmelidir. Genişletildiği takdirde işlenmemiş ön maskeleri depolayan taşıma arabası sayısı 5 ve işlenmiş ön maskeleri depolayan taşıma arabası 3 adet olmalıdır. Diğer istasyonlar için de aynı yöntemler kullanılıp alınması gereken stok ekipman çeşidi ve sayısı bulunup maliyet hesapları yapılmıştır (Ek 3).

5.3 Üretim Planındaki Olası Değişiklikler

Rassal olarak hazırlanan üretim planını kullanan benzetim modelindeki sonuçlar incelendiğinde bazı otobüs tiplerinin art arda gelmesi istasyonlardaki stok alanlarında sorunlar yaratmaktadır. Bu sorunları ortadan kaldırmak amacıyla üretim planında birtakım değişikliklerin yapılması öngörülmüştür:

1. R07-09, P14-16 ve R12-14 tipi otobüsler günlük üretim planında art arda 5 otobüs içerisinde en fazla 2 adet bulunmalıdır.
2. A tipi otobüsler günlük üretim planında aralarında en az 3 otobüs olmalıdır.
3. P14-16 ve R12-14 tipi otobüsler günlük üretim planında aralarında en az 3 otobüs olmalıdır.

Belirtilen kısıtlar kullanılarak yeni bir üretim planı önerilirken Excel programı kullanılarak bir sistem tasarlanmıştır. Excel dosyasında oluşturulan bu ara yüz sayesinde kurallar otomatik olarak uygulanıp yeni bir bant alışı sıralaması elde edilmektedir.

6. Sonuçlar ve Değerlendirme

Mevcut sistemde, ön hazırlık istasyonlarındaki işlenmiş ve işlenmemiş parçalar rasgele depolanmaktadır. Proje sonucunda, işlenmiş ve işlenmemiş parçalar için ayrı stok yerleri geliştirilmiştir. İyileştirmeler ışığında işlenmiş parçaların montaj hattına kolayca taşınması hedeflenmiştir. Ayrıca, her istasyon için gerekli olan enküçük stok alanı benzetim modeli yardımıyla hesaplanmıştır. Çözüm yaklaşımlarıyla, toplam maliyet en aza indirilmiştir. Rassal olarak oluşturulan üretim planını kullanan benzetim modeli çıktılarını gözlemlenerek, üretim planı önerilerinde bulunulmuş ve günlük stok miktarlarını en aza indirmeyi sağlayacak üretim planı sunan bir program geliştirilmiştir. Geliştirilen çözümlerin şirkete diğer bir katkısı ise günlük 11 otobüslük üretim kapasitesi doğrultusunda ambardan stok çekme sıklığı standart hale getirilmiştir. Önerilen çözümleri uygulamak için bir uygulama kılavuzu hazırlanmıştır.

1. Önerilen ve uygulanması gereken çözüm üzerinde karar verilmelidir.
2. Çözüm önerisi istasyon alanının genişlemesini gerektiriyorsa, yakındaki bölgeler gözlemlenmelidir. Kullanılabilen alan varsa istasyon genişletilmelidir ve gerektiğinde istasyonlar boş alan yaratmak için kaydırılmalıdır.
3. Çözüm önerisi stok alanlarını artırmaksa gerekli stok birimi işlenmiş ve işlenmemiş parçalar için ayrı olacak biçimde stok alanına yerleştirilmelidir.

KAYNAKÇA

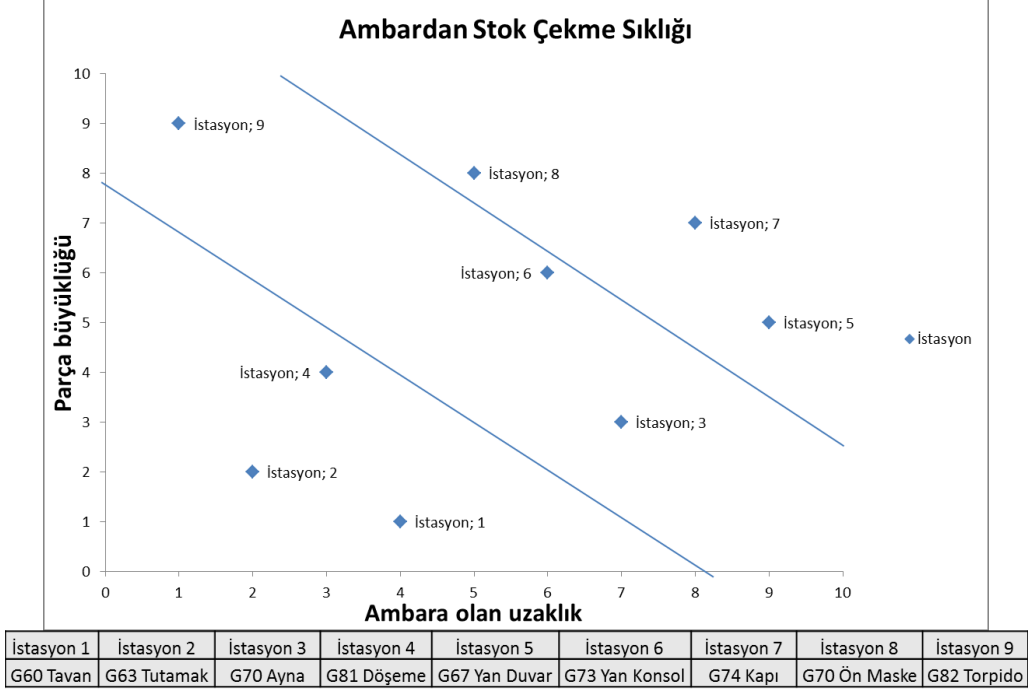
- Azadivar, Farhad, and John(Jian) Wang. "Facility Layout Optimization Using Simulation And Genetic Algorithms". *International Journal Of Production Research*, vol 38, no. 17, 2000, pp. 4369-4383. *Informa UK Limited*, doi:10.1080/00207540050205154.
- Banks, Jerry. *Discrete-Event System Simulation*. 4th ed., Upper Saddle River, NJ, Pearson Prentice Hall, 2005.
- "Canves Makina Modüler Raf Ve Yalın Üretim Sistemleri". 2017, <http://Canvesmakine.com>.

Çetinkaya, Ferda Can, “Endüstri Mühendisliği ve Mühendislik Yönetimi Sözlüğü (İngilizce - Türkçe)”, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Yayın No: 2007/426, 2007, Ankara.

Kelton, W. David et al. *Simulation With Arena*. 1st ed., New York, NY, Mcgraw-Hill Education, 2015.

EKLER

Ek 1: Ambardan stok çekme sıklığı karar grafiği



Ek 2: Benzetim Modeli Sonuçları

Hazırlık İstasyonları	İşlenmemiş Envanter		Hassasiyet Analizi		İşlenmiş Envanter		Hassasiyet Analizi	
	Ortalama	Maksimum	Ortalama	Maksimum	Ortalama	Maksimum	Ortalama	Maksimum
G74 Kapı	8,28	14	8,11	14	4,52	8	4,52	8
G82 Torpido	10,37	21	10,37	22	2,33	5	2,29	4
G70 Ön Maske	4,66	7	5,21	8	2,97	4	2,99	4
G81 Döşeme	11,14	18	10,98	18	65,16	142	63,56	140
G63 Tutamak	18,64	58	17,91	58	3,74	8	3,90	8
G60 Tavan	19,89	96	18,72	92	1,25	4	1,40	4
G70 Ayna	5,11	11	4,98	11	5,77	10	4,59	10
G73 Yan Konsol	15,67	34	15,68	34	12,30	17	12,10	17
G67 Yan Duvar	108,14	210	101,10	212	54,56	112	52,02	107

Ek 3: Alınacak Stok Ekipman Sayısı ve Çeşidi

Ön Hazırlık İstasyonu	Stok Çekme Sıklığı	İşlenmemiş Parça Sayısı	İşlenmiş Parça Sayısı	Gerekli Olan Ekipman Tipi	Gerekli Olan Ekipman Sayısı
G74 Kapı	Günde 3	14	8	Raf	1
G82 Torpido	Günde 2	21	5	Raf	1
G70 Ön Maske	Günde 3	7	4	Araba	4
G81 Döşeme	Günde 1	18	42	Raf	2
G63 Tutamak	Günde 1	38	8	Raf	2
G60 Tavan	Günde 1	96	4	Raf	1
G70 Ayna	Günde 2	12	10	-	-
G73 Yan Konsol	Günde 2	34	17	Raf	1
G67 Yan Duvar	Günde 3	210	112	Raf	1

Endirekt Satınalma Süreçlerinin İyileştirilmesi

Nobel İlaç Sanayi ve Ticaret A.Ş.

Proje Ekibi

Umut Küçük
Özlem Öztürk
Sera Sarıkaya
Nazlı Ege Sırtıoğlu
Batuhan Sivrikaya
Yavuz Selim Tandoğan

Endüstri Mühendisliği
Bilkent Üniversitesi
06800 Ankara

Şirket Danışmanları

Özhan Özesenli
Nobel İlaç San. ve Tic. A.Ş.,Tedarik Zinciri Direktörü
Aysen Bankaoğlu Akçay,
Nobel İlaç San. ve Tic. A.Ş.,Satınalma Uzmanı

Akademik Danışman

Yrd. Doç. Dr. Fehmi Tanrısever
Bilkent Üniversitesi, İşletme Fakültesi

ÖZET

Proje, Nobel İlaç San. ve Tic. A.Ş. nin Endirekt Satın Alma departmanı ile yürütülmektedir. Endirekt Satın Alma Departmanındaki süreçlerin verimliliğini arttırmak için proje 3 temel başlık altında ele alınmıştır. Bunların ilki şirket için tedarikçileri bir araya getiren en uygun E-İhale platformunun önerilmesi ve platformun Endirekt Satın alma Departmanı tarafından yapılan ihalelerde uygulanması, bir diğeri Sarf ve Kırtasiye ürünlerinin alımı için bir E-Katalog arayüzünün tasarlanması ve son olarak Laboratuvar ürünlerinin alımını düzenlemek ve fiyat iyileştirmesi sağlamak amacıyla sipariş miktarları ve periyotlarının eniyilenmesidir.

Anahtar Kelimeler: Endirekt satın alma, elektronik ihale, elektronik katalog, satın alma politikası.

1. Kuruluşun Tanıtımı

Nobel İlaç, 1964 yılında Ulkar Holding bünyesinde tamamen Türk sermayesiyle kurulmuştur. Şirket, yüksek kalitede ve çok çeşitli ürünleriyle insanların hayat kalitelerini arttırmak için çalışmaktadır. Portföyünde üretimi ülkemizde ve yurtdışında gerçekleşen 100'e yakın ürün bulunmaktadır. Bu ürünler temel olarak ağrı kesiciler, antibiyotikler, soğuk algınlığı ilaçları, sindirim sistemi ilaçları, kardiyovasküler ilaçlar, sinir sistemi ilaçları, probiyotikler ve bağışıklık sistemi güçlendiren ilaçlardır.

2. Sistem ile İlgili Bilgiler, Proje Kapsamı, Sistem Tanımı, Mevcut Durum Analizleri ve Belirtiler

2.1. Proje Kapsamı

Satın Alma Süreçlerinin İyileştirilmesi projesi, Endirekt Satın Alma bölümünde ürün alımları sırasında oluşan iş yükünü azaltmayı, böylece zaman verimliliğini arttırarak çalışan memnuniyetini ve dolayısıyla karlılığı arttırmayı hedeflemektedir. Projenin bir başka amacı ise dışarıdan alınacak E-ihale sistemi için bir karar destek mekanizması yaratmaktır. Bu amaçla şirket adına yapılan araştırmalar sonucu bulunan şirketlerin teklifleri, şirket ile beraber belirlenen değerlendirme ölçütleri ile değerlendirilmiştir. Proje kapsamındaki gözlem ve iyileştirmeler örnek bölümler üzerinden, örnek alımlarla değerlendirilmiş olmakla beraber şirketin diğer bölümleri veya diğer ürün alımları için de uygulanabilir özelliktedir.

2.2. Sistem Tanımı

Endirekt Satın Alma bölümü özendirme, servis, bakım ve sarf ve laboratuvar ürünlerinin alımından sorumludur. Satın Alma bölümü, isteğinin talebini yaratan her bölümün SAP-MM Modülü üzerinden açtığı talepleri kontrol edebilir. SAT, şirket içinden herhangi birinin açtığı satın alma talebi anlamına gelirken, SAS endirekt satın alma bölümünün SAT onaylandıktan sonra başlattığı satın alma süreci anlamına gelmektedir. Depo kavramı is MIGO kelimesiyle anlatılmaktadır. Talebin geçmesi gereken imza sirküleri, yapılan alımın fiyat türündeki boyutuna göre belirlenir. SAP-MM Modülü üzerinde açılan talebin özendirme bölümü için aynı zamanda pazarlama bölümünün de onay ve imza sirkülerini tamamlaması gerekmektedir. Bütçe onayları tamamlanan satın alma süreçleri yine SAP-MM Modülüne girilmekte ve satın alma tamamlanmaktadır. 2016 yılının verilerine göre Endirekt Satın Alma bölümü yılda yaklaşık 12,500 ürün alımı gerçekleştirmektedir ve toplam alım gücü 27 milyon lira civarındadır.

2.3. Mevcut Durum Analizleri ve Belirtiler

Birbirinden bağımsız ilerleyen süreçlere sahip olan dört farklı Endirekt Satın Alma bölümünün mevcut durum analizleri ve problem belirtileri aşağıdaki gibidir. Özendirme bölümü için imza ve onay sirkülerini iki katına çıkaran Satürn sistemi, satın alma süresindeki iş gücünü arttırmaktadır. Ürün

alımlarında herhangi bir sınıflandırma yapılmaması da geçmiş tekliflere ulaşmayı zorlaştırdığından ürün alımı üzerinde çalışılan zamanı arttırmaktadır. Laboratuvar ürünlerinin alımı ise herhangi bir öbek büyüklüğü modeline göre gerçekleştirilmediği için, sürekli ve düzensiz alımlar fazla iş gücü gerektirmekte ve fiyat dengesizliği yaratmaktadır. Servis bölümünün alımları ihtiyaca bağlı olduğundan dolayı son ana kadar oluşabilmektedir. Bakım ve Sarf malzemelerinin alımı ise fabrika ve laboratuvarın taleplerine göre gerçekleşmektedir; fakat istenilen ürünlerin herhangi bir kodunun olmayışı, açıklamalarda farklılığa sebep olmaktadır ve ürün alımlarında iş gücünü arttırırken fiyat verimliliğini de düşürmektedir.

3. Sistem Tasarımı

3.1. Elektronik Katalog Tasarımı

Bir veri tabanı yaratmak ve bunu geliştirmek önerilen sistemin başlıca gerekliliklerindendir. Gelen taleplerdeki eksik ya da hatalı tanımları belirlemek ve taleplerin ortak bir platformda toplanmasını kolaylaştırmak için e-katalog sistemi yaratılması uygun görülmüştür (Baron vd., 2000). Aynı zamanda, gelen taleplere özel kodlara atanmasının, aynı verinin birkaç kez sisteme girilmesini ve toplanması için harcanan zamanın azaltılmasında önemli yarar sağlaması beklenmiştir. Ancak, yapılan incelemeler sonucu, Nobel İlaç Endirekt Satın Alma Departmanı'nda böyle bir düzenlemenin olmadığını gözlemlenmiştir. Proje kapsamında bir e-katalog yaratılmasına ve burada tutulan ürünlere özel kodlar atanmasına karar verilmiştir. E-katalog kapsamında, en çok alım gerçekleşen kırtasiye kategorisinin ürünlerinin tutulması kararlaştırılmıştır.

Veriler incelendiğinde, aynı ürünlerin farklı tanımlarla sisteme girildiği gözlemlenmiştir. Bunun da siparişlerin verilmesinde düzensizliğe ve karışıklığa yol açması sebebiyle "ürün kodlama" işlemi gerekli görülmüştür. 27 sınıf ve bunların içerisinde bulunan 361 ürün için, bulunduğu sınıfın ilk üç sessiz harfi alınarak her bir ürüne kodlar atanmıştır. Harflerden sonra ise ürünün sisteme giriş sırasına göre sayılar eklenmiştir. Örnek vermek gerekirse, "Klasörler" sınıfına ait olan bir ürün, listede beşinci sırada ise kodu KLS-5 olarak tanımlanmıştır. Bu kodlar, e-katalog içerisinde, otomatik olarak oluşturulmakta ve saklanmaktadır. Kodların atanmasının yanı sıra, E-katalog'un asıl amacı çalışanların, şirket içi siparişlerde ortak bir paydada buluşmalarını sağlamaktır (Brock, 2001). Bu yüzden, kolay kullanımı olan bir arayüz oluşturulmuştur. Kullanıcı, sipariş vereceği kodu ezberleyip, sisteme girmek yerine; arayüzde oluşturulan ve mevcut ürünlerle doldurulan listelerden gerekli bilgileri seçebilmektedir. Listeler, SAP MM-Modülü'nde doldurulması zorunlu yerler olup; "Talep Eden", "Ürün Kategoriler", "Ürün Çeşitler", "Miktar", "Birim", "Mal Grubu Tanımı", "Üretim Yeri", "Satın alma Grubu" ve "Depo kodu" şeklindedir (Şekil 1). Bu da, hem düzenli bir veri tabanı olmasını, hem de kullanıcılarının ortak bir dili konuşmalarını sağlamaktadır.

3.2. Satın alma Politikalarının Belirlenmesi

Endirekt Satın Alma Departmanının Laboratuvar Alt Birimi'nin düzensiz zaman aralıklarında özellikli ürünler sipariş ettiği gözlenmiştir. Bu ürünlerin zamanında tedariki ve eniyileme miktarının belirlenmesi amacıyla farklı satın alma yöntemleri denenmiştir. Satın alma politikalarının uygulanabilmesi adına ürünler raf ömürlerine ve yıl içindeki talep edilişlerine göre kategorilere ayrılmıştır. Bu ayrımın sonucunda raf ömürleri bir yıldan uzun olan ve yılda on kereden fazla siparişi verilen ürünler için satın alma politikalarının test edilmesine karar verilmiştir.

Satın alma politikalarının daha verimli ilerleyebilmesi ve ürünler için en iyi politikayı belirlemek adına talep farklılıkları (varyasyonları) incelenmiştir. Bu varyasyonlar incelenirken her ürün için ortalama sipariş miktarı ve siparişlerin standart sapma değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler kullanılarak bütün ürünlerin her siparişinin talep farklılıkları bulunmuş ve bu farklılıkların 1-sigma alt ve üst sınırları içinde olup olmadığı incelenmiştir. Bu incelemenin sonucunda 1-sigma sınırları içinde kalan değerlerin yüzdelik oranı sayesinde talep farklılıkları belirlenmiştir. Talep farklılıkları oranı %70'ten büyük olan ürünler için talep farklılıkları düşük kabul edilmiştir (Bahl, 1987).

3.2.1. En Kazançlı İsmarlama Miktarı

En Kazançlı İsmarlama Miktarının uygulanmasındaki amaç talep farklılıkları düşük olan ürünler için uygulanabilir bir satın alma politikası kullanmaktır. Bu satın alma politikası uygulanırken $\sqrt{(2KD/h)}$ formülü kullanılmıştır. Formüldeki K organizasyon maliyetini simgelemektedir ve proje kapsamında çalışma maliyetleri olarak kullanılmıştır. D yıllık talep miktarını göstermektedir. Son olarak h sembolü depolama maliyeti olarak hesaplanmıştır ve burada ürünün değer değişimi de göz önüne alınmıştır. Bu politika ile şirketin talep farklılıkları az olan ürünler için en kazançlı ismarlama miktarlarında ve düzenli aralıklarda sipariş vermesinin uygunluğu denenmiştir.

3.2.2. En Az Toplam Maliyet

En Az Toplam Maliyet satın alma politikası, şirketin depolama maliyeti ve çalışma maliyeti gibi maliyetlerini en aza indirerek farklı miktarlarda sipariş vermesini mümkün kılmaktır. Bunu yapabilmek amacıyla siparişlerin önceden incelenmesi ve birim ürüne düşen maliyetlerin hesaplanması gerekmektedir. Bu hesaplama sona birim ürün fiyatının en düşük olduğu dönemlerde toplu sipariş verilmesi amaçlanmaktadır.

3.2.3. Silver Meal Sezgiseli

Silver Meal sezgiseli satın alma politikasının amacı daha önceden belirlenen talepler doğrultusunda sipariş miktarlarının maliyetlerini en aza indirmektir. Bu yöntemi uygularken eski veriler üzerinden inceleme yaparak farklılıklar belirlenmiştir. İncelemenin daha kesin sonuçlar vermesi adına on günden az teslimat süreleri sıfır kabul edilmiş ve on gün ile otuz gün arası

teslimat süreleri bir ay olarak varsayılmıştır. Sonuç olarak geçen yıl içinde farklı miktarlarda sipariş vererek nasıl bir farklılık yaratabilecekleri gösterilmiştir.

3.2.4. S-s Kuralı

S-s kuralı satın alma politikasındaki amaç talep farklılıkları fazla olan ürünlerin stok denetiminin iyileştirilmesi ve ürünlerin eksikliğinin çekilmemesi amaçlanmıştır. “s” alt stok miktarını simgelemektedir ve bu sınır şirketin yeni sipariş vermesi gerektiği zamanı belirlemesi için bulunur. “S” ise üst stok miktarını gösterir ve şirket bu sınırdan fazla ürün depolarsa, ürün depolama maliyetini sipariş maliyetini geçecektir. “S” ve “s” değerleri bulunurken ortalama teslimat süreleri, teslimat sürelerinin standart sapması, ortalama talep miktarı ve taleplerin standart sapması kullanılmıştır. Şirket bu iki sınırı bilerek ürünlerin talep farklılıklarının negatif etkisini en aza indirilebilmekte ve ürün eksikliği çekilmemektedir.

3.3. Elektronik İhale Sistemi Satın alımı Değerlendirmesi

Nobel İlaç Endirekt Satın alma süreçlerinde herhangi bir ihale sisteminin kullanılmadığı görülmüştür. Bu eksiklikten kaynaklanan, gerektiğinde eski tekliflere ulaşılamaması, tekliflerin belli bir yerde toplanamaması gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır. Tarafımızdan, Nobel İlaç Endirekt Satın alma departmanının belirlediği kısıtlar ve amaçlar doğrultusunda şirket için en uygun olan ihale sisteminin önerilmesi planlanmıştır.

Elektronik İhale Sistemi Satın alımı için öncelikle sektördeki şirketler araştırılmış, teklifler toplanmıştır. Araştırılan şirketler arasından dört alternatif seçilmiştir ve bu şirketler Promena, Bideg, Jetract ve Intengo’dur. Tekliflerin incelenmesinin ardından şirket için en uygun olacak sistemin seçilmesi için çok kriterli karar verme metoduna başvurulmuştur. Analiz için Microsoft Excel programı kullanılmıştır. Çok Kriterli Karar Verme metodu için Satın alma departmanının belirlediği değerlendirme ölçüleri esas alınmıştır.

Şirket için değerlendirme ölçülerinin önemi sırasıyla maliyet, güvenlik, kullanıcı arayüzü, satış sonrası destek ve ödeme süresidir. Problemin çözülebilmesi için başlangıçta bu ölçütlerin ağırlıkları önem sıralamasına göre 5/15,4/15,3/15,2/15,1/15 olarak toplamları 1 olacak şekilde alınmıştır. Artan ve azalan değer fonksiyonları için belirlenen değer aralıkları değişmektedir. Maliyet gibi azalan fonksiyon için aralıktaki en küçük sayının faydası en büyüktür. Güvenlik gibi artan fonksiyonlar için ise aralıktaki en büyük sayının getirisi en büyüktür. Daha sonra bulunan bu değerler 0-1 aralığına normalize edilmiştir. Alternatifler için değerlendirme ölçülerinin puanları, alınan tekliflere göre girilmiştir (Şekil-2). Elde edilen veriler ile her alternatif için değer fonksiyonu oluşturulmuştur. Değer fonksiyonu sonucu en büyük olanın şirket için en uygun çözüm olduğuna karar verilmiştir (Şekil-3).

Toplam değer fonksiyonunu veren formül şu şekildedir:

$$v(X_c, X_s, X_u, X_a, X_p) = w_c v_c(X_c) + w_s v_s(X_s) + w_u v_u(X_u) + w_a v_a(X_a) + w_p v_p(X_p)$$

Burada c maliyeti, s güvenlik derecesini, u kullanıcı arayüzü kolaylığını, a satış sonrası destek oranını ve p ödeme süresini temsil etmektedir. Aynı zamanda w ağırlık vektörünü oluşturmakta ve X alternatiflerin kriterler için puanını göstermektedir. $v(X)$ ise her kriter için oluşturulan değer fonksiyonudur. Çözümün verilen değerlere ve ağırlıklara göre değişebilmesi için dinamik bir model yaratılmıştır. Alternatiflerin değerleri veya puanları değiştiği takdirde, en uygun sistem de güncellenmektedir (Aguiar, vd., 2016). Farklı senaryoların incelenmesi için ise her değerlendirme ölçütü için $(0,1)$ aralığında farklı vektör değerleri için duyarlılık çözümlemesi uygulanmıştır (Şekil-4).

4. Geliştirilen Sistemin Başarısı

4.1. E-Katalog

Geliştirilen elektronik katalog sayısal olarak bir iyileştirme sunmamasına rağmen sarf malzemelerinde eski siparişlerin veri tabanında tutulması ve kullanıcıların daha hızlı ve isabetli satın alma talebi açmaları sağlanmıştır. Bu doğrultuda kullanıcıların, yani şirket içi satın alma talebi açanların, mevcut durumdaki talep açmalarından farklı olarak katalog sipariş edilebilir ürünleri görsel olarak da sunmaktadır. Bunun yanında katalog eski siparişlerin fiyat ve miktar bilgilerini tutarak ve göstererek talep sahibine yeni vereceği talep sırasında da fikirvermektedir.

Kataloga duyulan ihtiyacın oluşmasında talep edilen ürünün tanımının talep sahipleri tarafından yeterli ve isabetli yapılamaması da vardır. Bunu gidermek için oluşturulan katalogda ürünler ölçülenmiştir ve yeni ürünlerin kataloga eklenmesi de bu şartlar altında gerçekleşebilmektedir.

4.2. Satın alma Politikaları

Önerilen Satın alma Politikaları ile Nobel İlaç için verilen düzensiz satın alımların önüne geçilmesi amaçlanmıştır. Her model için sipariş sayıları ve sipariş miktarları hesaplanmış ve bunların sonucunda da sipariş sonucu oluşan giderler azaltılmıştır. En çok talep edilen 10 ürünün üzerinde önerilen 4 model uygulanmış ve her ürün için en çok kazanç sağlanan modeller belirlenmiştir. Bu modelleri seçerken aynı zamanda talep varyasyonları göz önüne alınmış ve ürünler için en uygun olan satın alma politikaları seçilmiştir.

Talep varyasyonunun az olduğu ürünlerde En Kazançlı Ismarlama Miktarı modeli daha uygun sonuçlar alırken, talep varyasyonunun yüksek olduğu ürünlerde dinamik modeller (Silver Meal Sezgiseli, S-s Kuralı) daha fazla kazanç sağlamıştır. Talep edilen 10 ürün için elde edilebilecek olası kazançlar aşağıdaki Tablo 1’de gösterilmiştir.

“Tablo 1. Talep edilen 10 üründe her model için elde edilen kazanç miktarları ve sipariş sayıları”

	En Az Toplam Maliyet		S-s Kuralı		Silver Meal Sezgiseli		En Kazançlı İsmarlama Miktarı	
	Sipariş Adedi	Kazanç	Sipariş Adedi	Kazanç	Sipariş Adedi	Kazanç	Sipariş Adedi	Kazanç
ASETONİTRİL(HPLC)	6	3,500 ₺	12	2,000 ₺	9	3,250 ₺	5	4,250 ₺
DİMETİLSÜLFOKSİT	3	2,500 ₺	8	1,250 ₺	6	2,750 ₺	2	2,750 ₺
ENJEKTÖR 10 ML	2	3,000 ₺	8	1,500 ₺	9	2,000 ₺	1	4,000 ₺
ETHANOL ABSOLUTE	2	2,250 ₺	6	1,000 ₺	7	1,500 ₺	1	3,000 ₺
FİLTRE ENJEKTÖR 0.45 m PTFE	3	3,000 ₺	11	1,000 ₺	7	2,250 ₺	2	3,500 ₺
İSOPROPANOL(2-PROPANOL)	3	3,250 ₺	8	1,750 ₺	7	2,500 ₺	1	4,000 ₺
METANOL(HPLC)	5	4,250 ₺	16	1,500 ₺	12	5,000 ₺	3	7,250 ₺
N-HEPTAN	5	1,500 ₺	7	1,000 ₺	8	1,000 ₺	2	2,500 ₺
N-HEXANE	5	2,250 ₺	8	1,500 ₺	8	2,000 ₺	1	3,750 ₺
TETRAHİDROFURAN	2	3,250 ₺	10	1,000 ₺	7	2,000 ₺	1	3,500 ₺

4.3. E-İhale

Geliştirilen Çok Kriterli Karar Verme metodu ile Nobel İlaç için en uygun elektronik ihale sistemi belirlenmiştir. Elde edilen farklı senaryolar sonucunda Jetract en uygun ihale sistemi olarak öne çıkmıştır. Bu şirketin sunduğu hizmet Nobel İlaç tarafından personel servisi şirketleri arasında örnek bir ihale yapılarak denenmiştir. Şirketin deneyimleri doğrultusunda önerilen sistemden işlemlerin hızı, verilerin tutulabilmesi ve az iş yükü yaratması nedeniyle memnun kaldığı geri dönüşü alınmıştır. Bu deneme sonrasında şirket tarafından personel servisleri harcamalarında yaklaşık olarak 100.000 TL kazanım sağlanması hedeflenmektedir. Denenen sistemden memnun kalan şirket, elektronik ihale servislerini kullanmaya Jetract ile devam etme kararı olarak 2017 için anlaşmıştır. Ancak, geliştirilen karar verme modeli kullanılarak farklı dönemler için farklı elektronik ihale sistemleri her zaman tekrar değerlendirilebilecektir.

KAYNAKÇA

Aguiar, A., Palma dos Reis, A. Web-based procurement systems: Intention of adoption by Portuguese organizations, 3-5. Retrieved December 28, 2016.

Bahl, H. C., Ritzman, L. P., Gupta, J. N. D. (1987). OR Practice—Determining Lot Sizes and Resource Requirements: A Review. Operations Research 35(3):329-345.

Brock, D. L. (2001). White Paper The Electronic Product Code (EPC) A Naming Scheme for Physical Objects. MIT Auto ID Center. Retrieved December 23, 2016.

Baron, J. P., Shaw, M. J., & Bailey Jr, A. D. (2000). Web-based e-catalog systems in B2B procurement. Communications of the ACM, 43(5), 93-100.

"Hakkımızda - Nobel İlaç." Hakkımızda - Nobel İlaç. N.p., n.d. Web. 06 Nov. 2016. Kirkwood, Craig W. Strategic decision making: multiobjective decision analysis with spreadsheets. Belmont: Duxbury Press, 1997.

EKLER

Şekil-1:

TALEP FORMU

YENİ TALEP OLUŞTURMA

Ürün Bilgileri

Talep Eden : UTEKNOLOJİ

Mal Grubu Tanımı : Sarf Malzemeler

Ürün Kategorileri : KLASÖRLER

Üretim Yeri : 1700

Ürün Çeşitleri : LEITZ 1010 GENİŞ KLASÖR MAVİ

Satınalma Grubu : IS3

Miktar : 50

Depo Yeri : 8241

Birim : Adet

Birim Fiyat : TL1,00

Ürün Kodu : KLS2

Aynı Ürün Önceki Siparişler

Ürün Çeşitleri	Miktar	Birim	Birim Fiyatı	Yekün	Talep Tarihi
LEITZ 1010 GENİŞ KLASÖR	100	Adet	1,00 ₺	100,00 ₺	21.4.2017
LEITZ 1010 GENİŞ KLASÖR	200	Adet	1,00 ₺	200,00 ₺	26.4.2017
LEITZ 1010 GENİŞ KLASÖR	300	Paket	1,00 ₺	300,00 ₺	27.4.2017
LEITZ 1010 GENİŞ KLASÖR	100	Adet	1,00 ₺	100,00 ₺	28.4.2017
LEITZ 1010 GENİŞ KLASÖR	34	Adet	1,00 ₺	34,00 ₺	30.4.2017

Go Back to Main Page

SAT OLUŞTUR

NOBEL

İstanbul Doğramacı
Nobel
İstanbul Üniversitesi

Şekil-2:

Değer Fonksiyonu									
malîyet (onbin dolar)		güvenlik		kullanıcı arayüzü		satış sonrası destek		ödeme süresi (gün)	
x	değer	x	değer	x	değer	x	değer	x	değer
0	1,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
10	0,00	5	1,00	5	1,00	5	1,00	90	1,00
mono	DECREASING	mono	INCREASING	mono	INCREASING	mono	INCREASING	mono	INCREASING
base	0,33		0,27		0,20		0,13		0,07
ağırlık	0,3		0,3		0,2		0,1		0,1
TOPLAM									
1,00									
1									
Skor									
Alternatif	malîyet (onbin dolar)	güvenlik		kullanıcı arayüzü		satış sonrası destek		ödeme süresi (gün)	
Promena	7	5		5		5		30	
Bideg	1,11	3		3		3		60	
Jetract	0,64	4		2		4		60	
Intengo	6	5		5		5		15	

Şekil-3:

Ağırlık Vektörleri					
Alternatif	malîyet (onbin dolar)	güvenlik	kullanıcı arayüzü	satış sonrası destek	ödeme süresi (gün)
Promena	0,095000	0,268000	0,201000	0,134000	0,022333
Bideg	0,293370	0,160800	0,120600	0,080400	0,699837
Jetract	0,308880	0,214400	0,080400	0,107200	0,755547
Intengo	0,132000	0,268000	0,201000	0,134000	0,011167
TOPLAM					0,724333
SIRALAMA					3
					4
					1
					2

Şekil-4:

Duyarlılık Çözümlemesi (MalİYET İÇİN)													
	0	0,10	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1		
Promena	0,724333	0,93333333	0,87	0,80666667	0,74333333	0,68	0,6166667	0,5533333333	0,49	0,426666667	0,363333333	0,3	0,3
Bideg	0,699837	0,6066667	0,6349	0,66313333	0,69136667	0,7196	0,7478333	0,776066667	0,8043	0,832533333	0,860766667	0,889	0,889
Jetract	0,755547	0,6666667	0,6936	0,72053333	0,74746667	0,7744	0,8013333	0,828266667	0,8552	0,882133333	0,909066667	0,936	0,936
Intengo	0,746167	0,9166667	0,865	0,813333333	0,76166667	0,71	0,6583333	0,606666667	0,555	0,503333333	0,451666667	0,4	0,4
En iyi seçenek	Promena	Promena	Intengo	Intengo	Jetract	Jetract	Jetract	Jetract	Jetract	Jetract	Jetract	Jetract	Jetract
Duyarlılık Çözümlemesi (Güvenlik İÇİN)													
	0	0,10	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1		
Promena	0,724333	0,55633333	0,56333333	0,56333333	0,56333333	0,56333333	0,56333333	0,56333333	0,56333333	0,56333333	0,56333333	1,45633333	1,45633333
Bideg	0,699837	0,5390367	0,59036667	0,65903667	0,71903667	0,77903667	0,8390367	0,899036667	0,959036667	1,019036667	1,079036667	1,13903667	1,13903667
Jetract	0,755547	0,5411467	0,621146667	0,70114667	0,78114667	0,861146667	0,9411467	1,021146667	1,101146667	1,181146667	1,261146667	1,34114667	1,34114667
Intengo	0,746167	0,57816667	0,67816667	0,77816667	0,87816667	0,9781667	1,07816667	1,178166667	1,278166667	1,378166667	1,47816667	1,47816667	1,47816667
En iyi seçenek	Jetract	Jetract	Jetract	Jetract	Intengo	Intengo	Intengo	Intengo	Intengo	Intengo	Intengo	Intengo	Intengo
Duyarlılık Çözümlemesi (Kullanıcı arayüzü İÇİN)													
	0	0,10	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1		
Promena	0,724333	0,5233333	0,623333333	0,72333333	0,823333333	0,923333333	1,0233333	1,123333333	1,223333333	1,323333333	1,423333333	1,52333333	1,52333333
Bideg	0,699837	0,5792367	0,639236667	0,69923667	0,75923667	0,819236667	0,8792367	0,939236667	0,999236667	1,059236667	1,119236667	1,17923667	1,17923667
Jetract	0,755547	0,6751467	0,715146667	0,75514667	0,79514667	0,835146667	0,8751467	0,915146667	0,955146667	0,995146667	1,035146667	1,07514667	1,07514667
Intengo	0,746167	0,5451667	0,645166667	0,74516667	0,84516667	0,945166667	1,0451667	1,145166667	1,245166667	1,345166667	1,445166667	1,54516667	1,54516667
En iyi seçenek	Jetract	Jetract	Jetract	Intengo	Intengo	Intengo	Intengo	Intengo	Intengo	Intengo	Intengo	Intengo	Intengo

Ay Sonu Sevkiyat Yığılımının Yönetilmesi

Procter & Gamble

Proje Ekibi

Zeynep Aygar
Emre Bökeer
Şina Ertoğrul
Deniz İşgenç
Efe Mert Öngener
Besen Özkurt

Endüstri Mühendisliği
Bilkent Üniversitesi
06800 Ankara

Şirket Danışmanları

Uğurcan Aksoy
P&G Saç Bakım – Pantene Ticari Pazarlama Müdürü
Melihcan Kütükçü
Özgün A.Ş., Merkez Lojistik Sorumlusu

Akademik Danışman

Doç. Dr. Alper Şen
Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

P&G'nin talebi artırmak için kullandığı tanzim teşhir fonları, distribütör Özgün'den yapılan sevkiyatların ayın son haftalarına yığılmasına neden olmaktadır. Bu proje, müşterilere olan sevkiyatların ay içindeki dağılımını düzenlemeyi, böylelikle yok satma oranlarını, envanter düzeylerini ve lojistik maliyetlerini azaltmayı hedeflemektedir. Proje ekibi, sipariş-sevkiyat dağılımındaki düzensizliğin somut olarak ölçülmesi için bir ölçüt geliştirmiş, bu ölçüt yardımıyla düzensizliğin yok satma oranları, lojistik maliyetler ve envanter düzeylerine etkisini istatistiksel modeller kurarak incelemiştir. Destek kararlarının düzensizliğe ve maliyete olan etkilerine göre bir karar destek sistemi oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: sevkiyat yığılması, hokey çubuğu olgusu, regresyon, tanzim teşhir fonu

1. Şirket Tanımı

Procter & Gamble (P&G), bünyesinde Ariel, Oral-B, Pantene gibi markalar bulunduran ve hızlı tüketim malları sektöründe Türkiye’de lider markalardan biridir. 180 yılı aşkın süredir dünya çapında birçok markette ürünleri satılan P&G, 180’den fazla ülkede 5 milyardan fazla tüketiciye ulaşmaktadır (P&G, 2016). Bugün, Türkiye pazarında sahip olduğu konumla, 3000’den fazla ürün çeşidini satışa sunmaktadır. P&G Türkiye’deki operasyonlarını çeşitli kanallar ile yürütmektedir.

Özgün A.Ş. (Özgün) 1995 yılında Ankara’da distribütör ve dağıtım operasyonlarını gerçekleştirmek amacıyla kurulmuştur. Toplamda 5 deposu bulunan Özgün 27 şehirde operasyonlarını sürdürmektedir. Özgün, P&G’nin özellikle Orta Anadolu Bölgesi’nde yerel zincir mağazalara ve geleneksel kanaldaki bayilere dağıtım ve satış yapmasını sağlamaktadır.

2. Proje Kapsamı ve Mevcut Sistem Analizi

2.1 Mevcut sistem analizi

P&G; Migros ve CarrefourSA gibi ulusal zincir mağazalara ürünlerin sevkiyatını doğrudan Şekerpınar’daki dağıtım merkezi ve Gebze fabrikasından yapmaktadır. Yerel zincir mağazalara (Soykan, Altunbilekler, Çağdaş vb.) ve geleneksel kanaldaki bayilerle (bakkal, mini market vb.) ise distribütörlerle çalışmaktadır. Bu bağlamda P&G’nin, Ankara’daki yerel zincir mağazalara ve geleneksel kanaldaki bayilere ürünlerinin dağıtım görevini Özgün üstlenmiştir.

P&G satışlarını artırmak için müşterilerine çeşitli teşvikler sunmaktadır. Bu teşvikler genel olarak üç ana başlığa ayrılabilir: periyodik olarak yıl ve ay başlarında kategori özelinde yayınlanan teşvikler ve buna ek olarak ay içi satış hedeflerinin desteklenebilmesi için ise ay içerisinde açıklanan tanzim teşhir fonları.

2.2 Problem tanımı

P&G, Özgün ve yerel market zincirleri arasındaki mevcut ilişki incelendiğinde, distribütör Özgün’ün ay içinde düzenli olarak P&G’den ürün alımı yaptığı, ancak yerel market zincirlerine aynı oranlarda sevkiyat yapamadığı görülmektedir. Bu durumun başlıca sebebi olarak, P&G’nin hem distribütör hem de yerel market zincirlerinde kullandığı satış teşvikleri gösterilmektedir.

Özgün’e verilen teşvikler distribütörün haftalar bazında düzenli alım yapmasını sağlarken, yerel market zincirlerindeki talebi artırmak için kullanılan tanzim teşhir fonları distribütörden yapılan sevkiyatların ay sonuna doğru yığılmasına neden olmaktadır. Ay sonuna yığılan talepler, Özgün’ün ayın son iki haftasında tüm kaynaklarını kullanmasını ve envanter yığılmasını beraberinde getirirken; P&G tarafında distribütör ile olan düzenli sevkiyat ilişkisinin bozulma riskini taşımaktadır. Özgün’ün müşterilere olan haftalık sevkiyat dağılımına örnek Ek-1’de görülebilir.

2.3 Proje kapsamı

P&G bu projeyle, Özgün'ün Ankara müşterilerine olan sevkiyatlarının ay içindeki dağılımını düzenlemeyi, böylelikle rafta yok satma oranlarını, envanter düzeylerini ve toplam lojistik maliyetlerini azaltmayı hedeflemektedir. Bu sayede P&G sadece gerekli miktarda destek açıklayabilecek ve yok satma oranlarını azaltabilecek; Özgün ise envanter ve iş gücü tasarrufuna gidebilecektir.

3. İzlenen Yöntem ve Uygulamaları

Projede öncelikle her ay için ay sonu sevkiyat yığılmasını niceleyebilecek bir ölçüt geliştirilmiştir. Bu ölçüt kullanılarak sevkiyat yığılmasının değişik maliyet kalemlerine ve yok satma oranlarına olan etkilerini incelemek için istatistiksel modeller geliştirilmiştir. Bütün bunların sonucunda, bu analizleri tanzim teşhir fon miktarı kararında kullanabilecekleri bir sistem geliştirilmiştir.

3.1 Gini Endeksi

Her ay distribütörden müşterilere aktarılan stok akış verilerinin çok fazla değişkenlik ve çoğunlukla ayın son haftasına doğru bir yığılım olduğu gözlemlenmiştir. Bu yığılım, aylık stok akışının değişkenliğinin yüksek olmasına sebep olmaktadır. Her ay gerçekleşen stok akışındaki bu düzensizlikleri daha rahat gözlemleyebilmek ve değerlendirebilmek için bu sapmayı ölçen bir ölçüt oluşturuldu. Bu ölçüt stok akışının olması gereken ideal duruma olan uzaklığını belirtmektedir.

Bu ölçüt, ülkelerin gelir dağılımının her yüzdelik nüfus dilimi için nasıl değiştiğini gösteren Gini endeksinden uyarlanmıştır. Bu hesaplama yapılırken yüzdelik dağılımların biriken toplamalarını gösteren Lorenz eğrisi ile her yüzdelik dilime eşit gelir dağılımı olması gerektiğini gösteren ideal 45 derecelik eğri arasında kalan alanın oranı kullanıldı. Gini endeksinin asıl kullanılma amacında, değerin 0 olması eşit gelir dağılımını gösterdiği gibi projedeki kullanım amacında da her hafta distribütör ve müşteri arasında eşit stok akışının gerçekleştiğini gösterir ve ideal durumdur; değerin 1 olması ise asıl amacında popülasyonun sadece %1'lik kısmının bütün gelire sahip olduğunu gösterdiği gibi projedeki kullanım amacında bütün stok akışının ayın sadece bir haftasında yapıldığını gösterir ve en kötü durumu belirtir.

Gini endeksinin Lorenz eğrisi üzerinden hesaplanmasının matematiksel gösterimi şu şekildedir;

$$\text{Gini Endeksi}_{(i)} = 1 - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i + y_{(i-1)})$$

$i = \text{hafta } (1,2,3,4)$

$N = \text{bir aydaki toplam hafta sayısı}$

$Y_i = i. \text{ haftaya kadar yapılan yüzdelik stok akışı}$

Projede Gini endeksi 2012-2016 yılları arasında Ankara, Kayseri, Zonguldak, Samsun ve Trabzon illeri için her aya özel hesaplanmıştır. Ankara iline ait Gini endeksi değerleri ve trendi Ek-2'de gösterilmiştir. Grafikten

görüldüğü üzere Gini değeri sürekli artış göstermektedir. Ankara’da gözlemlenen artan trend durumu diğer dört ilde de gözlemlenmiştir. P&G ve Özgün bu düzensizliğin her geçen yıl aynı oranda seyrettiğini düşünürken Gini ölçütü sayesinde bu düzensizliği gözlemlemek ve yönetmek daha kolay bir hale gelmiş ve düzensizlikte artan trend eğrisi durumun gidişatı hakkında şirketlere yol göstermiştir.

3.2 Lojistik Maliyet Regresyonu

Özgün’ün lojistik maliyetlerini Gini endeksinin ne kadar etkilediğini gözlemlemek için bir regresyon modeli oluşturuldu. Özgün’ün P&G’nin lojistik operasyonlarını yürüttüğü Ankara, Kayseri, Zonguldak, Trabzon ve Samsun illerinin lojistik maliyetleri değişken olarak kullanıldı. 2012 – 2016 yılları arasındaki aylık bazdaki veriler kullanıldı. Yılın her ayı için lojistik maliyetler ve her şehrin aylık uğranan toplam nokta sayısı hesaplandı. Toplamda 186 veri analize dahil edildi. Modelde stok akışındaki düzensizliğin maliyet üzerine etkisinin olup olmadığı Gini endeksi kullanılarak gözlemlenmeye çalışıldı.

Gini endeksi ve lojistik maliyetler arasında oluşturulan regresyon modeli şu şekilde gösterilebilir;

$$LojMal = \beta_0 + \beta_1 Gini + \beta_2 Benzin + \beta_3 Nokta + \beta_4 Şehir + \beta_5 Yıl + \varepsilon$$

Regresyon modelinde her ay hesaplanan lojistik maliyetinin o ay depo içindeki düzensizliği belirten Gini Endeksi, o ay araçlarda kullanılan benzin fiyatları, ay boyunca ziyaret edilen toplam nokta sayısı ve bu maliyetlerin şehirlere ve yıllara göre dağılımına göre ilişkisi incelenmiştir. Bu modelde şehir ve yıl değişkenleri gösterge değişken olarak kullanılmıştır. R kullanılarak incelenen regresyon modelinin çıktıları Ek-3’de gösterilmiştir.

Regresyon sonucunda, Artık Standart Hatası (ASH) küçük ve R^2 büyük değerlerle sonuçlanarak uygun bir model elde edilmiştir. P-değeri küçük çıkmış ve bağımsız değişkenler ile bağımlı değişkenin ilişki içerisinde olduğu ortaya çıkmıştır. Gini endeksi değişkeninin kat sayısının negatif değer aldığı gözlenmiştir. Bu da Gini endeksi arttıkça, lojistik maliyetin azalma eğiliminde olduğunu göstermektedir.

Bunun sebeplerini araştırmak üzere Gini endeksi ile kamyon doluluk oranları arasında bir grafik oluşturulmuş (Ek-4) ve düzensizlik arttıkça Özgün’ün kamyonlarını tam kapasite kullanmaya başladığı gözlemlenmiştir. Bir başka deyişle, talep yoğunluğu belli bir aralığa sıkıştıkça, Özgün kamyonlarını tamamen doldurabilmekte ve onlardan tam verim elde etmektedir. Bunun sebebi Özgün’ün lojistik kaynak miktarının ay sonundaki yığılmayı karşılayabilmek amacıyla ayarlanmış olması ve ayın ilk haftalarında sipariş miktarı için bu kaynak sayısının fazla olmasıdır. Bu sonuçlar distribütör şirket Özgün’ü araçların kiralanması veya dışarıdan karşılanması seçeneğini değerlendirmeye yöneltmiştir.

3.3 Rafta Yok Satma Regresyonu

Rafta yok satmanın olası sebeplerinden bir tanesi ayın son haftalarında müşterilerden gelen siparişlerin birikmesi olarak görülmekteydi. Rafta yok satma oranları ve Gini endeksi arasındaki ilişkiyi görebilmek için bir regresyon modeli geliştirilmiştir. P&G her müşterisine rafta yok satma durumunun önemini belirten bir katsayı vermiştir. Her müşterinin hacim bazında katsayıları ve yok satma katsayıları kullanılarak bu müşteriler için ortalama bir yok satma oranı belirlenmiştir. Kaynak olarak Ankara'daki müşterilerin 2013 – 2016 yılları arasındaki yok satma oranları kullanılmıştır.

Regresyon formülü aşağıda gösterilmektedir;

$$\text{Ortalama Rafta Yok Satma} = \beta_0 + \beta_1 \text{Gini} + \beta_2 \text{Ay} + \varepsilon$$

Regresyon modelinde aylık yok satma miktarları ile aylık düzensizliği gösteren Gini Endeksi ve bu yok satmanın aylara göre dağılımı arasında bir ilişki kurulmuştur. Bu modelde ay değişkeni gösterge değişken olarak kullanılmıştır. Regresyon modeli R kullanılarak incelenmiştir ve çıktılar Ek-5'te gösterilmiştir.

R^2 değeri 0.22 olarak sonuçlanmıştır ve bu regresyon modelinin uygunluk derecesinin düşük olduğunu gösterirken; Gini'nin P-değerinin büyük çıkması Gini'nin rafta yok satma ile önemli bir ilişkisinin bulunmadığını belirtmektedir. Gini endeksi ve ortalama rafta yok satma arasındaki ilişki Ek-6'da gözlemlenebilir. Gini endeksi ve rafta yok satma arasında herhangi bir ilişki gözlemlenmesinin sebepleri şu şekillerde yorumlanabilir; müşteriler aylık ihtiyaçlarını doğru bir şekilde tahmin edip her kategoriden bir ay boyunca ihtiyaçları olan ürün miktarını fiyatların en düşük olduğu zaman olan ayın son haftasında tek seferde sipariş edip bu ürünleri depolarında bekletip mağazalarda ihtiyaç oldukça hızlı bir şekilde kendi depolarından temin etmektedirler. Bu sebeple distribütördeki düzensizliğin müşterilerdeki yok satma üzerindeki etkisi azaltılmış olmaktadır.

3.4 Envanter Devir Hızı Regresyonu

Distribütörden müşteriye gerçekleşen stok akışındaki düzensizliklerin, distribütörün deposundaki envanter seviyesini niceleyen ölçüt envanter devir hızına olan etkisini gözlemlemek için bir regresyon modeli oluşturuldu. Envanter devir hızı; o ay satılan bütün ürünlerin miktarının ay boyunca depoda bekleyen ortalama ürün miktarına bölünmesiyle bulunur. Envanter devir hızı depolar için bir temel performans göstergesidir. Bunun nedeni; düşük devir hızının, satış miktarına oranla depoda gereğinden fazla ürün depolandığını işaret etmesidir. Özgün'ün hedeflediği envanter devir hızı, hızlı tüketim malları sektöründe beklenenlerin altındadır.

Kurduğumuz regresyon modeli şu şekildedir;

$$\text{Envanter Devir Hızı} = \beta_0 + \beta_1 \text{Gini} + \beta_2 \text{Ay} + \beta_3 \text{Şehir} + \varepsilon$$

Regresyon modelinde aylık ortalama envanter devir hızı ile düzensizliği gösteren ölçüt olan Gini Endeksi arasındaki ilişki aylara ve şehirlere göre

dağılımlara bakılarak incelenmiş ve aralarındaki ilişki gözlemlenmiştir. Bu modelde ay ve şehir verileri gösterge değişken olarak kullanılmıştır. Regresyon modeli R kullanılarak incelenmiş ve çıktılar Ek-7’de gösterilmiştir.

Model sonucunda Gini endeksi ve envanter devir hızı arasında ters bir orantı olduğu ve satış akışındaki düzensizlik arttıkça Özgün’ün deposundaki envanter devir hızının azaldığı, aylık ortalama depoda bekleyen ürün miktarının arttığı görülmektedir. Gini endeksindeki 0.1’lık bir azalışın envanter devir hızında yaklaşık 0.226’lık bir artış sağlayacağı gözlemlenmiştir.

Gini endeksinde yapacağımız iyileştirmelerin envanter devir hızı üzerindeki etkisini gösterebilmek için Gini endeksindeki her %10 azalışta devir hızı gösteren bir hesaplama yapıldı. Bu ikili arasındaki ilişki Ek-8’de görülebilir.

3.5 Önerilen Karar Destek Sistemi

Proje kapsamında, şirket için bir karar destek sistemi (KDS) oluşturuldu. KDS sayesinde, Özgün gibi P&G’nin herhangi bir distribütör, proje süresince yapılan analizleri kolaylıkla yapabilmektedir. MS Excel tabanıyla hazırlanan bu program, üç temel parçadan oluşmaktadır. Ana sayfadaki butonlara tıklanarak, bu fonksiyonlar kullanılabilir. Geliştirilen KDS’nin ekran görüntüleri Şekil 1 ve Şekil 2’de görülebilir.

3.5.1 Gini Endeksi Hesaplama

Kullanıcı, herhangi bir bilgi birikimine sahip olmaksızın düzensizliği belirten Gini endeksini hesaplayabilmektedir. Bu noktada kullanıcıdan istenilen girdi, ayın içerisindeki haftalarda stok akışının yüzdesel ya da adet olarak yazılmasıdır. Buna bağlı olarak program, düzensizliği ölçerek kullanıcıya geri bildirimde bulunmaktadır. Program bu noktada herhangi bir ana veriye ihtiyaç duymamaktadır.

The image shows two overlapping windows from a software application. The background window is the 'Hosgeldiniz' (Welcome) page, featuring the P&G 30th Anniversary logo and four main buttons: 'Gini Endeksi Hesapla', 'Envanter Düzeyi <-> Gini Endeksi', 'Destek <-> Sipariş', and 'Excel'e Dön'. Below these buttons is the logo of Hasan Doğanmaz İktisadi İdari Bilimler Üniversitesi. The foreground window is the 'Gini Endeksi Hesaplama' (Gini Index Calculation) window. It has two tabs: 'Haftalık % Girerek Hesapla' (selected) and 'Koli Miktarları ile Hesapla'. The 'Haftalık % Girerek Hesapla' tab contains four input fields for '1. Hafta', '2. Hafta', '3. Hafta', and '4. Hafta', each followed by a '%' symbol. Below these fields is a 'Hesapla' button. At the bottom of the window is an 'Ana Menü' button. The text 'Gini Endeksi' is displayed below the input fields.

Şekil 1. KDS Ana Sayfası ve Gini Endeksi Hesaplayıcı Arayüzü

The image shows two overlapping windows. The background window is the 'Envanter Düzeyi' (Inventory Level) window. It contains a text box with the instruction: 'Aşağıdaki değerler girilerek Gini endeksi ve Envanter düzeyi arasındaki ilişki görülebilir:' (The relationship between the Gini index and inventory level can be seen by entering the following values:). Below this are three input fields: 'Gini Endeksi', 'Stok Devir Hızı', and 'Satış MSU'. At the bottom, there is a 'Hesapla' button and an 'Ana Menü' button. A note at the bottom states: 'Sisteminizin kendi ondalık ayırıcı kullanılmaktadır. ("," ya da " ")' (The system uses its own decimal separator. ("," or " ")). The foreground window is the 'Destek Sistemi' (Support System) window. It features four dropdown menus: 'Ürün', 'Yıl', 'Ay', and 'Hafta'. Below these are two input fields: 'Satış Miktarı' and 'Satış Hedefi'. At the bottom, there is an 'Incentive Miktarı Hesapla' button and an 'Ana Menü' button.

Şekil 2. Envanter Düzeyi ve Destek – Sipariş Sistemi Arayüzü

3.5.2 Envanter Düzeyi – Gini Endeksi İlişkisi

Projedeki bir diğer çıktı olan envanter düzeyi – Gini endeksi ilişkisi bu fonksiyon sayesinde kullanıcılarla paylaşılmıştır. Daha önce hesaplanan Gini değeri, stok devir hızı ve satış miktarı girdileri siteme sunulduktan sonra, hesaplama butonuna basılarak sistem çalıştırılır. Sistem bu fonksiyon altında yapılan hesaplamalarda regresyon analizi değerini hafızasında bulunan değerden

faydalanarak hesaplamaya katmaktadır. Gerekli işlemler sistem tarafından yapıldığında, Gini endeksindeki her %10 azalma için oluşacak yeni Gini endeksi ve buna karşılık gelen stok devir hızı ile ortalama stok düzeyi bir tablo halinde sunulmaktadır. Kullanıcı bu tablodan faydalanarak, yapılan regresyon analizi sonucunda ortaya çıkan bulgulardan faydalanabilecektir.

3.5.3 Destek – Sipariş İlişkisi

KDS'deki son fonksiyon, kategori bazında açıklanan destekler ile talepteki artışı değerlendirerek şirkete getireceği hasılatı hesaplamaktadır. Bununla beraber satış ekibinin aylık hedefini alarak, zaman ilerledikçe ay içerisinde açıklanması gereken ideal indirim oranlarını kullanıcıya bildirim olarak vermektedir. Sistemin çalışabilmesi için kullanıcı tarafından; ürün kategorisi, içinde bulunulan yıl – ay – hafta, son haftada gerçekleşen satış miktarı ve o ay için satış hedefi girilmelidir. Bu girdilere bağlı olarak bir sonraki hafta için, düzensizliği en aza indirecek ve satış hedefini yakalatacak indirim oranı kullanıcıyla paylaşılmaktadır. Bu noktada sistem, P&G'den edinilen kategori bazında yapılan indirimler ve bu indirim oranlarına göre satış miktarları arasındaki ilişkiler kullanılarak her kategori için fiyat elastikliği katsayısı hesaplanmış ve indirim-sipariş miktarı arasındaki ilişki bu katsayıya göre hesaplanmıştır. Buna ek olarak sistemin arka planındaki model her hafta girilen satış miktarına göre ay sonuna göre yapılması beklenen satış miktarını öngörmekte ve öngörülen bu satış miktarını satış hedefi düzeyine çekmek için bahsedilen fiyat elastikliği katsayısını kullanarak gereken indirim miktarını belirlemektedir. Son olarak zaman ilerledikçe girilen verilere bağlı olarak Gini endeksinin nasıl değiştiğini de kaydetmektedir.

4. Sonuçlar ve Genel Değerlendirme

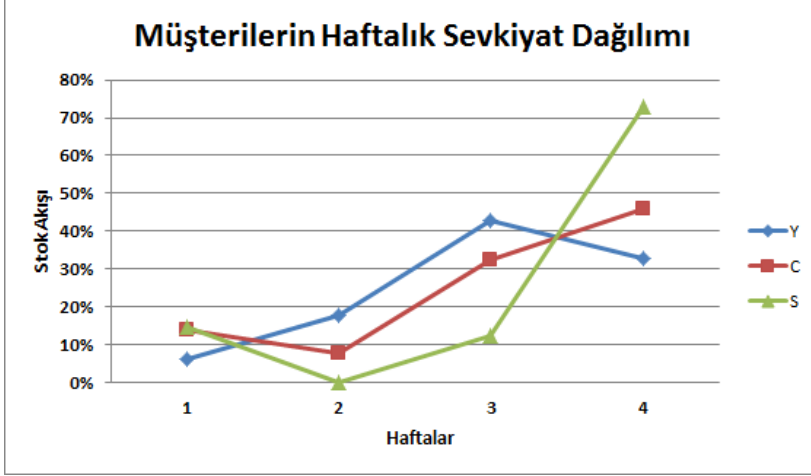
İlk aşamada düzensizlik ölçütü olarak hesapladığımız ve sunduğumuz ölçüt olan Gini endeksi P&G ve Özgün tarafından kabul görmüş ve düzensizliğin gözlemlenmesi ve yönetilmesi için kullanılmıştır. Düzensizliği gösteren Gini endeksinin kullanarak oluşturduğumuz regresyon analizleri şirketler tarafından incelenmiş ve özellikle düzensizlik ve lojistik maliyetleri arasındaki beklenmedik ilişki Özgün'ün lojistik stratejisini şekillendirmek için farklı alternatifleri göz önüne almasına yol açmıştır. Envanter devir hızı ile ilgili yapılan regresyon modeli Özgün'ün aylık hedefinin sektör ortalamasına göre düşük kaldığını ve düzensizliğin azalmasıyla sektör ortalamasını yakalayabilecek bir seviyeye gelebileceğini ve performansının artabileceğini göstermiştir. Geliştirilen KDS ile şirketin uzun dönemdeki karlılığının artırılması, sistematik bir yapı ile doğru tarihte ve doğru miktarda ek tanzim teşhir fonlarının açıklanması hedeflenmiştir. KDS P&G satış kanalı tarafından dikkatle incelenmiş ve uygulamaya son derece uygun bulunmuştur.

KAYNAKÇA

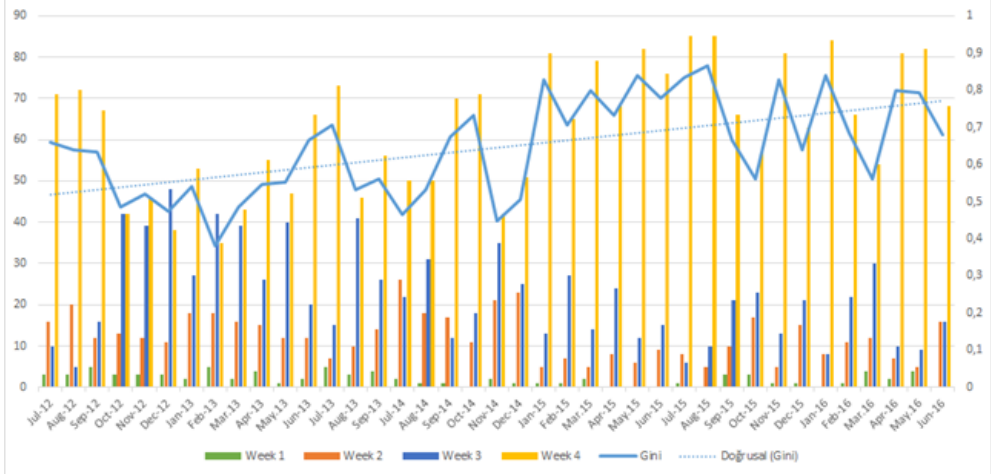
Procter & Gamble “P&G Türkiye”, Web, accessed at http://www.pg.com.tr/procter/pg_turkiye.htm as of November 14, 2016.

EKLER

Ek 1. Özgün’ün müşterilerine olan sevkiyat dağılımı



Ek 2. Ankara ili için Gini endeksi ve haftalık sevkiyatın dağılımı



Ek 3. Lojistik maliyet regresyon modeli sonuçları

Residuals	Min	1Q	Median	3Q	Max
	-0.47484	-0.06918	0.00716	0.08033	0.3578
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	8.89E+00	2.82E-01	31.55	<2e-16***	
factor(year)2013	-1.35E-02	3.52E-02	-0.384	0.701814	
factor(year)2014	8.74E-02	3.99E+01	2.192	0.029709*	
factor(year)2015	1.30E-01	4.21E-02	3.093	0.002314**	
factor(year)2016	1.29E-01	5.31E-02	2.42	0.016581*	
gini	-3.67E-01	1.13E-01	-3.26	0.001344***	
gas	2.54E-01	6.61E-02	3.839	0.000174***	
node	3.15E-04	5.64E-05	5.581	9.22e-08***	
locationKayseri	1.49E-02	4.87E-02	0.305	0.760507	
locationSamsun	5.62E-02	3.34E-02	1.682	0.094363	
locationTrabzon	-5.26E-01	3.70E-02	-14.244	<2e-16***	
locationZonguldak	-6.33E-01	4.26E-02	-14.855	<2e-16***	

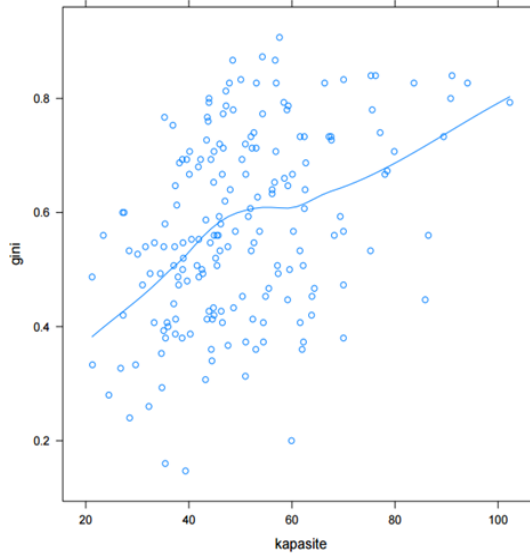
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.1409 on 171 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.8577, **Adjusted R-squared:** 0.8485

F-statistic: 93.67 on 11 and 171 DF, **p-value:** < 2.2e-16

Ek 4. Gini ile kamyon doluluk ilişkisi



Ek 5. Ortalama yok satma miktarı regresyon modeli sonuçları

Residuals	Min	1Q	Median	3Q	Max
	-1.6237	-0.6387	-0.1174	0.6117	1.9586
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	3.9089	1.4589	2.679	0.0144*	
Gini	-0.7122	1.7278	-0.412	0.6846	
factor(month)2	0.0799	1.043	0.077	0.9397	
factor(month)3	0.483	1.0337	0.467	0.6454	
factor(month)4	-0.3237	1.0154	-0.319	0.7532	
factor(month)5	-0.7227	1.0128	-0.714	0.4837	
factor(month)6	-0.1842	1.0138	-0.182	0.8576	
factor(month)7	-0.8725	1.0193	-0.856	0.4021	
factor(month)8	-0.3454	1.025	-0.337	0.7396	
factor(month)9	-1.4218	1.028	-1.383	0.1819	
factor(month)10	-0.497	1.1427	-0.435	0.6683	
factor(month)11	-0.2663	1.145	-0.233	0.8184	
factor(month)12	-0.9993	1.1664	-0.857	0.4018	

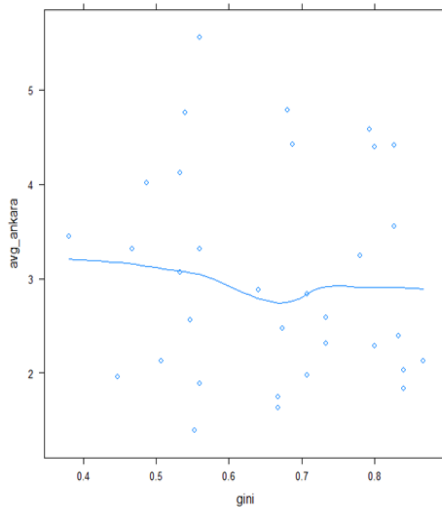
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 1.24 on 20 degrees of freedom (208 observations deleted due to missingness)

Multiple R-squared: 0.2233, **Adjusted R-squared:** -0.2428

F-statistic: 0.4791 on 12 and 20 DF, **p-value:** 0.904

Ek 6. Gini ile Ankara ortalama rafta yok satma ilişkisi



Ek 7. Envanter devir hızı regresyon modeli sonuçları

Residuals	Min	1Q	Median	3Q	Max
	-1.60859	-0.34552	-0.04991	0.29792	1.3675
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	3.76839	0.24795	15,198	<2e-16***	
Gini	-2.26295	0.26277	-8,612	3.74e-15***	
factor(month)2	-0.47034	0.188	-2,502	0.013261*	
factor(month)3	0.18335	0.18526	0.99	0.323674	
factor(month)4	-0.05027	0.18464	-0.272	0.785739	
factor(month)5	0.4227	0.18407	2,296	0.022818*	
factor(month)6	-0.18103	0.18415	-0.983	0.32691	
factor(month)7	-0.11846	0.17415	-0.68	0.497249	
factor(month)8	-0.08853	0.17753	-0.499	0.618627	
factor(month)9	-0.14644	0.17842	-0.821	0.412876	
factor(month)10	-0.51276	0.18935	-2,708	0.007431**	
factor(month)11	-0.30213	0.18909	-1,598	0.111846	
factor(month)12	-0.64403	0.19119	-3,369	0.000926***	
locationKayseri	0.06064	0.11895	0.51	0.610841	
locationSamsun	0.06276	0.1148	0.547	0.585292	
locationTrabzon	0.07149	0.12089	0.591	0.555017	
locationZonguldak	0.176	0.11452	1,537	0.126098	

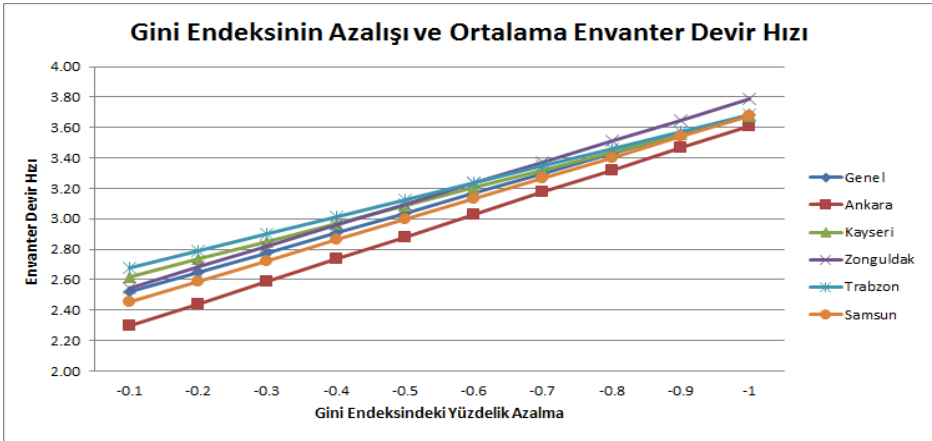
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.5041 on 178 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.4029, **Adjusted R-squared:** 0.3493

F-statistic: 7.508 on 16 and 178 DF, **p-value:** 2.695e-13

Ek 8. Gini ile envanter devir hızı ilişkisi



Atölye Tipi Üretim Ortamında Çizelgeleme Sistem Tasarımı

Roketsan Roket Sanayii ve Ticaret A.Ş.

Proje Ekibi

Elif Cebeci

Gülden Çelik

Ezgi Seray Süzgün

Rana Ulusoy

Bernis Vural

Kübra Yediyıldız

Endüstri Mühendisliği

Bilkent Üniversitesi

06800 Ankara

Şirket Danışmanı

Efe Can Okumuş

Roketsan A.Ş., Üretim Planlama Mühendisi

Akademik Danışman

Prof. Dr. M. Selim Aktürk

Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Roketsan Çizelgeleme Karar Destek Sistemi Tasarım Projesi, tüm Roketsan üretim ve kalite kontrol ekipmanlarını ve teknisyenlerini kapsayarak ERP ile uyumlu çalışabilen atölye bazlı üretim ortamında en az gecikme ile haftalık çizelgeleme planı ve vardiya karar destek sistemi oluşturulmasını hedef alır. Bu hedef doğrultusunda MATLAB ve Excel VBA yardımıyla hesaplanan işlerin kaynaklardaki başlangıç zamanları, gecikme zamanları ve vardiya önerilerini pratik bir kullanıcı ara yüzü ile sunar.

Anahtar Kelimeler: Gecikmeyi En Aza İndirgeme, İşleri Kaynaklara Atama, Atölye Çizelgeleme, Sistematiik Vardiya Karar Mekanizması

1. Şirket Tanıtımı

Roketsan A.Ş., 1988 yılında Savunma Sanayi İcra Komitesi kararı ile Türk Silahlı Kuvvetlerinin roket ve füze ihtiyacını karşılamak üzere kurulmuş, savunma sanayi sektöründe Türkiye'deki öncü şirketlerden biridir. Havada, karada ve denizde kullanılabilecek roket, füze ve silah sistemleri tasarımı yapan şirket aynı zamanda hassas güdümlü füzeler, balistik koruma sistemleri de oluşturmaktadır ("Roketsan", 2017).

Şirket, Ankara'nın Elmadağ ilçesi ve Lalahan semtinde olmak üzere iki adet yerleşke üzerine kurulmuştur. Şirket 1100'ü mühendis olmak üzere 2100 çalışanıyla hizmet vermektedir ("Roketsan", 2017).

2. Proje Kapsamı ve Mevcut Sistem Analizi

2.1 Proje Kapsamı

Çizelgeleme Karar Destek Sistemi Tasarım Projesi tüm Roketsan üretim ve kalite kontrol ekipmanlarını ve teknisyenlerini kapsar. Bu kapsamda, projede ERP ile uyumlu çalışabilen ve atölye bazlı üretim ortamında en az gecikme planı ile haftalık çizelgeleme planı ve vardiya karar destek sistemi oluşturulmasını hedef alan bir sistem tasarımı amaçlanmıştır.

2.2 Mevcut sistem analizi

Roketsan proje bazlı çalışan bir şirkettir ve şirketin öncelikli hedefi projeleri zamanında teslim etmektir. Burada atölye tipi kesikli üretim söz konusudur. Stoğa ya da siparişe yönelik seri üretim ve tasarıma yönelik prototip üretimler yapılmaktadır. Bu üretimler kimyasal, mekanik, talaşlı imalat, elektronik, mekatronik ve montaj üretim atölyelerinde gerçekleşmektedir. Şirket, kurumsal veriyi tek bir noktada toplamak ve süreci daha kolay takip etmek amacıyla kurumsal kaynak planlama sistemini ve üretim departmanında meydana gelen bütün faaliyetleri kontrol etmek için ise üretim yürütme sistemi olan MES'i kullanır. Sözleşmelerle belirlenmiş deterministik talepler doğrultusunda kaynak ve malzeme planlama sistemi, kaynak kısıtlı ve kaynak kısıtsız olarak çalıştırılır. Bu sayede her bir ürün için başlanması ve bitirilmesi gereken en geç tarihler belirlenir. Fakat mevcut sistem ile işlerin kaynaklarda hangi sırayla yapılması gerektiğine dair bir çizelge ya da veri elde edilememektedir. Bu nedenle, kritik kaynak ve atölyeler için haftalık toplantılar düzenlenir ve bu toplantılarda o hafta yapılacak olan işler planlanır. Bu planlamada atölye amirlerinin ve planlama departmanında çalışanların tecrübelerinden faydalanılır ve buna bağlı olarak da genel proje önceliklerine göre işler sıralanır.

3. Problem Tanımı

3.1 Belirtiler ve Şikâyetler

Var olan sistemde kritik kaynak ve atölyeler için üretim çizelgeleri haftalık olarak gerçekleşen toplantılarda atölye amirleri ve planlama departmanı çalışanları tarafından oluşturulmaktadır. Yapılan bu toplantıların sistematik

olmaması sebebiyle bütün kısıtları göz önüne alabilme olasılığı oldukça düşüktür ve çizelgenin oluşturulması uzun zaman almaktadır. Ayrıca, karar mekanizmasındaki sistematik eksiklik ve insan odaklılık şirketin bütüncül bakış açısını yakalayamamasına sebep olmaktadır; bu da işlerde ve projelerde bazı gecikmeler meydana getirebilmektedir. Şirketin öncelikli hedefi projeleri zamanında teslim etmek ve bu sayede şirket repütasyonunu ve güvenilirliğini korumak olduğu için gecikmelerin en aza indirgenmesi amaçlanmaktadır.

3.2 Problem Tanımı ve İlgili Literatür

Tüm bu belirti ve şikâyetler ışığında, problem tanımı “Var olan üretim planı çizelgeleme sisteminin tüm kısıtları göz önüne alarak sistematik olarak gerçekleştirilememesi ve çizelgeye dayalı herhangi bir vardiya karar destek sisteminin bulunmayışı” olarak belirlenmiştir.

Projenin temel amacı olan atölye bazlı üretim ortamında en az gecikme planı ile haftalık çizelgeleme planı ve vardiya karar destek sistemi oluşturulmasını gerçekleştirmek adına literatür taraması yapılmıştır. Bu aşamada, tek ve çoklu kaynaklar için kullanılan çizelgeleme yöntemleri araştırılmış, projenin kısıtlarını göz önüne alan metotlar tespit edilmiştir. Bu doğrultuda öncelikle, işler arasındaki öncelik ilişkilerini göz önüne alabilen ve algoritma sonunda işlerin bir set içinde çizelgeleme sırasını veren Lawler’s Algoritmasından yararlanılmıştır (Nahmias, 2005). Bu algoritmadan yola çıkarak, projedeki kısıtlara ve projenin yapısına uygun bir sıralama algoritması geliştirilmiştir. Yeni oluşturulan algoritma içerisinde işlerin sıralanmasını sağlamak içinse literatürde bulunan ATC kuralından yararlanılmıştır (Pinedo, 2005). ATC kuralı baz alınarak oluşturulan yeni kural, işlerin önceliklerini, kaynak kullanım sürelerini ve teslim tarihlerini baz alarak işlerin bu ölçütlere göre sıralanmasına yardımcı olmuştur. Projenin ikinci kısmı olan vardiya karar destek sistemi için ise literatürde bulunan zaman maliyeti hesaplama metotlarından yararlanılmış ve proje girdilerine uygun maliyet hesaplama yöntemi geliştirilmiştir (Pinedo 2000).

3.3 Kısıtlar ve Varsayımlar

Kaynak kapasiteleri, işler arasındaki öncelik ilişkileri, çalışma saatlerinin 8 saatlik zaman dilimleri halinde olması ve karar verilebilecek en fazla vardiya sayısının üç vardiya oluşu projenin kısıtları olarak kabul edilirken, proje varsayımları; teslim tarihlerinin değiştirilemez olması, üretim sürelerinin sabit olması, talebin belirli olması, vardiya kararlarının haftalık olması ve kaynak bazlı gerçekleştirileceği kabul edilmiştir.

4. İzlenen Yöntem ve Uygulamaları

Bu projede, girdi olarak işlerin teslim tarihi, kaynak kullanım süreleri ve sıraları, ürün ağacı bilgileri ve işlere atanmış öncelik sıraları alınır. Bu girdiler kullanılarak, gecikmeyi en aza indirecek çizelgeleme ve kaynak bazlı vardiya kararının verileceği bir karar destek sisteminin oluşturulması amaçlanmaktadır.

Bu amaçla proje, Çizelgeleme Sistem Tasarımı ve Vardiya Planı Sistem Tasarımı olmak üzere iki ana parçaya ayrılmaktadır.

4.1 Çizelgeleme Sistem Tasarımı

Projenin bu kısmında iş kodları, işlerin kullanacağı kaynaklar, kaynak kullanım sıraları ve süreleri, ürün ağacı bilgisi ve teslim tarihleri girdi olarak alınmış, işlerin her kaynaktaki başlama ve tamamlanma zamanları, kaynak bazlı gecikme süreleri (gün bazında) çıktı olarak elde edilmiştir.

MATLAB kullanılarak hazırlanan sistemde, girdilerin tamamı, şirketin kullandığı ERP programından çekilerek hazırlanmış Excel dosyasından MATLAB'a aktarılır. Öncelikle, her iş kodunun birçok kaynağı belirli bir sırayla kullanması gerekliliği, aynı iş kodunda, alt iş kodlarından bağımsız bir öncelik sırası kısıtı getirmektedir. Bu koşulu sağlayabilmek adına, girdi olarak alınan işlerin altındaki her kaynak kullanım sırasına birincil anahtar kodu (Primary Key) atanır. Böylece, her biri tek bir kaynağı kullanan ayrı birer iş olarak tanımlanır ve MATLAB kodu boyunca yapılacak bütün işlemler, birincil anahtar kodları kullanılarak devam eder.

Birincil anahtar kodu kullanılarak yeniden tanımlanan işler, projenin objektiflerinden biri olan gecikmeyi en aza indirme amacıyla indeksleme (Indexing Rule) ve Sıralama (Array Rule) olmak üzere iki alternatif kural ile sıralanır.

4.1.1 İndeksleme Kuralı

Bu kural, ATC (Apparent Cost Tardiness) kuralı uyarlanarak tasarlanmıştır. (Pinedo, 2005). İşlerin her birine bu işlerin öncelikleri, kaynak kullanım süreleri ve teslim tarihleri baz alınarak aşağıdaki formüle göre bir indeks atanır. Bu kurala göre, işlerin belirlenmiş öncelik değerleri (w_i) kaynak kullanım sürelerine (p_i) bölünür. Bu değer, işin teslim tarihinden (d_i) hesaplamanın yapıldığı zamanın (t) ve kaynak kullanım süresinin (p_i) çıkarılması ile bulunan değer $I_i(t)$ üstel değeri ile çarpılır. Bu işlemler sonucunda elde edilen I_i değeri, "i" işinin "t" anındaki indeksini belirtir. İşlere ait indeks değerleri iş listesinin bulunduğu Excel dosyasında ilgili işin yanında yer alır. İşler indeks değeri en büyük olandan başlayarak Lawler's Algoritmasını baz alarak oluşturulan KEGREB algoritmasına göre sıralanır.

$$I_i(t) = \frac{w_i}{p_i} \exp(-\max(d_i - p_i - t, 0))$$

4.1.2 Sıralama Kuralı

İndeksleme kuralına alternatif olarak yaratılan bu kural, Ek-1'de gösterilen algoritma ışığında geliştirilmiştir. Bu kurala göre, işler önce teslim tarihlerine göre sıralanır. Ardından, işler kendisini bekleyen işin olup olmamasına göre tekrar sıralanır. İşler, son olarak da kaynak kullanım sürelerine göre sıralanır. Bu sıralamaya göre teslim tarihleri eşit olan işler arasında

kendisini bekleyen işler olan ve kaynak kullanım süresi kısa olan işler daha önce yapılır.

Bu kurallar, gecikme sürelerini en aza indirmek için belirlenmiş birbirine alternatif olan kurallardır. İndeksleme kuralında tüm kriterler aynı anda göz önüne alınırken, sıralama kuralında teslim tarihlerine göre sıralanan işler, aynı teslim tarihlerinde diğer kriterler göz önüne alınarak tekrar sıralanır. Bu uygulama farklılığı da, iki kural sonucunda ortaya çıkan gecikme değerlerinde farklara yol açmaktadır. Değişen veriler ile iki kuralın değişken olarak daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle, çizelgeleme sistemi bu iki farklı sıralama kuralı uygulanarak çalıştırılır ve işlerin toplam gecikme zamanları karşılaştırılır. Karar destek sistemi, bu iki farklı kural ile elde edilen çizelgelemeleri kullanıcıya sunar.

4.1.3 Geliştirilen Algoritma

İşlerin kaynak kullanım sırası ve ürün ağaç bağlantılarından kaynaklanan öncelik ilişkileri konsolide edilir. Bununla birlikte, kendisini takip eden işler belirlenir. J ve S adı verilen iki ayrı küme oluşturulur. Algoritmayı uygulamaya başlarken J ve S kümeleri boş olarak tanımlanır. Bu algoritma işleri geriden gelerek (backward) sıralar. Bu nedenle, J kümesine öncelikle kendisini takip eden iş bulunmayan işler atanır. Sonrasında, yukarıda belirtilen iki kuraldan birine göre sıralanmış olan işler J kümesinden seçilerek S kümesi doldurulur. Atama işlemi tamamlandığında, S kümesinde tüm işler geriden gelerek sıralanmış bir halde bulunurken, J kümesi boştur.

İş atama işlemi tamamlandıktan sonra, işlerin kaynaklara atama işlemi başlar. Bu işlem gerçekleşmeden önce, aynı işi yapabilecek olan kaynaklar sisteme sayısına göre aynı kaynak kodu ile tanımlanır. Kaynak atama işlemi gerçekleşirken, işlerin her kaynaktaki işleme başlama zamanları, bağlı oldukları işlerin diğer kaynaklardaki tamamlanma zamanları göz önüne alınarak belirlenir. Aynı kaynak kodlu birden fazla kaynağın (eş kaynaklar) bulunması durumunda ise, işler en erken müsait olacak kaynağa atanır. Ardından kaynak kullanım süreleri bilinen işlerin tamamlanma zamanları hesaplanır ve bu doğrultuda kaynak bazlı teslim tarihlerine göre gecikmeleri hesaplanır. Bu bilgiler, girdilerin de yer aldığı Excel dosyasında ilgili satıra yazdırılır.

Departman	İş No	Kaynak Kodu	Kaynak Tipi	Kaynak Kullanım Süresi (saat)	İş Kaynak Son Tarihi	İş Başlangıç Zamanı	İş Bitiş Zamanı	Gecikme Miktarı (Gün)
Departman 100	91803	40760	Makine	4	23.03.2017	23 Mart 2017 8:06	23.03.2017 12:06	0,5
Departman 101	116212	40824	Kişi	7,68	23.03.2017	23 Mart 2017 8:00	23.03.2017 15:40	0,7
Departman 100	91803	40951	Kişi	0,1	23.03.2017	23 Mart 2017 8:00	23.03.2017 08:06	0,3
Departman 100	106402	41121	Kişi	3	23.03.2017	23 Mart 2017 10:30	23.03.2017 13:30	0,6
Departman 100	119125	41292	Makine	6	06.04.2017	6 Nisan 2017 8:00	06.04.2017 14:00	0,1

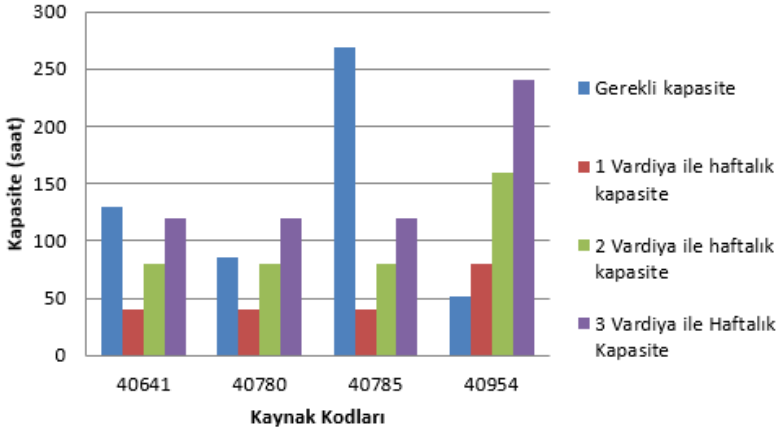
Şekil 1: Çizelgeleme Sistemi Çıktısı

4.2 Vardiya Planı

Çizelgeleme sistem tasarımının ardından kaynak bazında vardiya planlarının oluşturulması amaçlanmıştır. Vardiya sayısı önerisi için birbirine alternatif üç farklı yol geliştirilmiştir. Bu üç farklı yol; kaynak bazında haftalık kapasite gereksinimlerine, gecikme değerlerindeki yüzdesel azalışa ve ek vardiyanın maliyetine dayanmaktadır.

İlk yol kaynak bazında haftalık kapasite gereksinimlerini baz alır. Kaynak bazlı iş teslim tarihleri göz önüne alınarak, vardiya kararının verileceği hafta tamamlanması gereken işler belirlenir. Bu işlerin, kullanacakları kaynaklarda belirtilen teslim tarihinde tamamlanabilmesi için ne kadar kapasiteye (saat bazında) ihtiyaç duyduğu hesaplanır. Sonrasında bu kaynakların 1, 2 ve 3 vardiya alternatifleri ile ne kadar kapasiteye sahip oldukları belirlenir. Sistemdeki komut düğmesine tıklandığında sistem makro kod ile ihtiyaç duyulan kapasite ve farklı vardiya alternatiflerinde kaynak kapasiteleri arasındaki farkı hesaplar. Sistem, bu değerlere bakarak aradaki farkın en az olduğu vardiya alternatifini kaynak bazında önerilen vardiya sayısı olarak gösterir. Kapasite gereksinimlerini ve kaynak bazlı vardiya sayısına ait bilgileri aşağıda görebilirsiniz.

Kapasite Gereksinim Grafiği

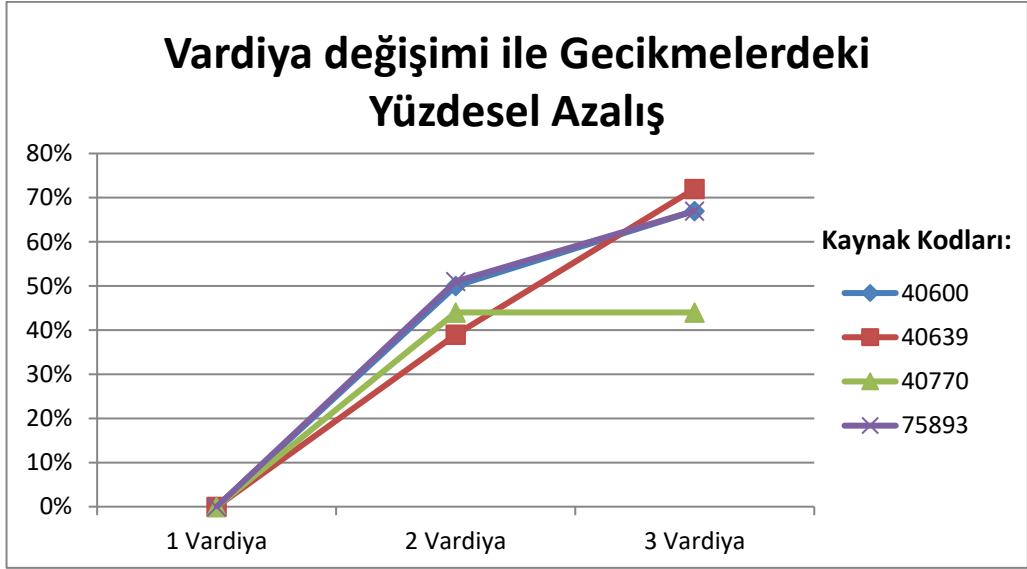


Şekil 2: Kapasite Gereksinim Grafiği

Kaynak Kodu	Gerekli kapasite	1 Vardiya ile haftalık kapasite	2 Vardiya ile haftalık kapasite	3 Vardiya ile Haftalık Kapasite	Vardiya Sayısı Önerisi
40641	130	40	80	120	3
40780	85,5	40	80	120	2
40785	269	40	80	120	3
40954	52	80	160	240	1
41121	3	440	880	1320	1

Şekil 3: Kapasite Gereksinimlerine göre vardiya önerisi

İkinci yol, vardiya kararını gecikme değerlerindeki yüzdesel azalışa dayandırır. MATLAB kodu ile 1, 2 ve 3 vardiya alternatifleri ile elde edilen gecikme değerleri Excel dosyasının ilgili satırlarına yazılır. Vardiya kararının verileceği hafta tamamlanması gereken işler, kaynak bazlı teslim tarihleri göz önüne alınarak belirlenir. Çizelgeleme sisteminde bulunan komut düğmesine tıklandığında çalışan makro kod, kullanılacak kaynaklardaki işlerin toplam gecikme değerlerini hesaplar. Bu değerlere göre vardiya sayısının 1'den 2'ye ve 2'den 3'e çıkarıldığı durumlardaki toplam gecikme değerlerinin yüzdesel olarak değişimi, yine makro kod ile hesaplanır ve Excel dosyasına yazdırılır. Gecikme değerlerindeki yüzdesel değişimin (azalışın) daha büyük olduğu durumdaki vardiya alternatifi, kaynak bazında önerilen vardiya sayısı olarak gösterilir. Kaynak bazında gecikmelerdeki yüzdesel azalışları ve vardiya kararları ile ilgili bilgileri aşağıda görebilirsiniz.

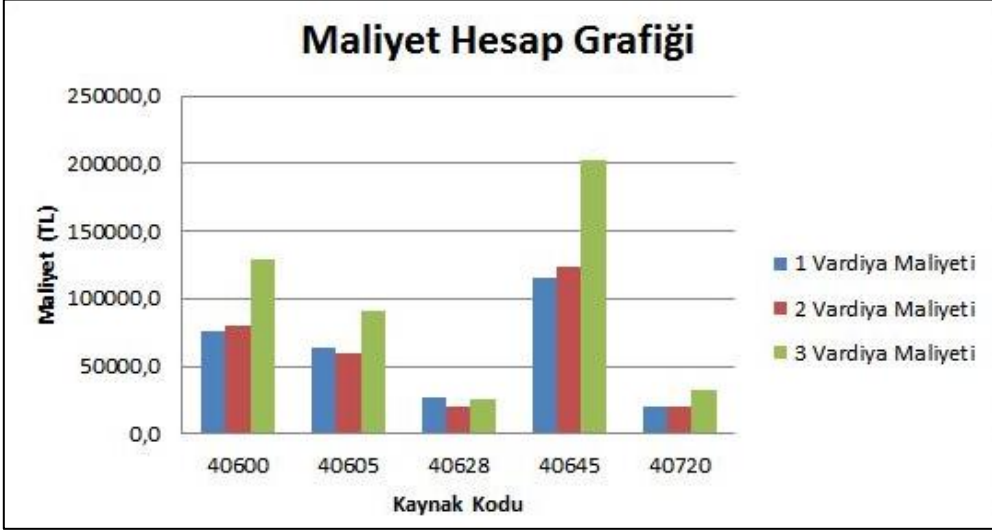


Şekil 4: Gecikmelerdeki Yüzdesel Azalış Grafiği

Kaynak Kodları	1 Vardiya ile Gecikme	2 Vardiya ile Gecikme	3 Vardiya ile Gecikme	1 ve 2 Vardiya Arasında Gecikme Yüzde Azalışı	1 ve 3 Vardiya Arasında Gecikme Yüzde Azalışı	2 ve 3 Vardiya Arasında Gecikme Yüzde Azalışı	Vardiya Sayısı Önerisi
40600	21263,0	10618,4	7068,4	50%	67%	33%	2
40639	24,9	15,2	6,9	39%	72%	55%	3
40770	1,5	0,9	0,9	44%	44%	0%	2
75893	8468,4	4191,7	2771,0	51%	67%	34%	2

Şekil 5: Yüzdesel Azalışa Göre Vardiya Önerisi

Üçüncü yol ise vardiya eklemenin maliyetine göre vardiya sayısı önerir. Öncelikle MATLAB kodu 1, 2 ve 3 vardiya alternatifleri ile işlerin başlangıç ve bitiş zamanları, elde edilen gecikme değerleri Excel dosyasının ilgili satırlarına yazılır. Vardiya alternatiflerindeki gecikme değerleri gecikmenin birim maliyetleri (gün bazında) ile çarpılarak ve vardiyaların sabit maliyetleri göz önüne alınarak her bir vardiya alternatifi için toplam maliyet hesaplanır. Çizelgeleme sisteminde bulunan komut düğmesine tıklandığında çalışan makro kod, toplam maliyetleri değerlendirerek en düşük maliyetli vardiya alternatifini kaynak bazında önerilen vardiya sayısı olarak gösterir. Maliyetler göz önünde bulundurularak oluşturulan vardiya önerilerini aşağıda görebilirsiniz.



Şekil 6: Kaynak Bazında Vardiya ve Maliyet Grafiği

Kaynak Kodu	1 Vardiya Maliyeti	2 Vardiya Maliyeti	3 Vardiya Maliyeti	Vardiya Sayısı Önerisi
40600	75789,1	79855,1	129205,1	1
40605	63102,0	59555,0	90378,0	2
40628	26714,1	20361,1	26244,1	2
40645	115184,0	124118,0	203070,0	1
40720	20182,8	20598,8	32726,8	1

Şekil 7: Kaynak Bazında Maliyete Göre Vardiya Önerisi

5. Sonuçlar ve Genel Değerlendirme

Atölye bazlı üretim ortamında toplam gecikmenin en aza indirgenmesini amaçlayan ve buna uygun olarak haftalık çizelge ve haftalık makine bazlı vardiya planları sağlayacak olan karar destek sistemi, şirkette yapılan haftalık atölye planlama toplantıları ile belirlenen ve karşılaşılmaması muhtemel olan bütünsel bakış açısıyla probleme yaklaşamama sorununa etkin çözümler getirmektedir. Çizelgeleme sistem tasarımı ve vardiya planı şirketin mevcut sistemde göz önüne alamadığı kısıtlara karşı geliştirilen algoritma ve

matematiksel yöntem ile sistematik ve etkin çözümler sunmaktadır. Göz önüne alınamayan kısıtlara işler arası alt iş-üst iş bağlantıları, sistematik bir önceliklendirme katsayısı ve ara işlerin en geç teslim tarihleri örnek olarak verilebilir. Çözüm önerisinde performans ölçütü toplam gecikmedeki iyileştirme olarak belirlenerek iki farklı çözüm önerisi için aynı veriler ile incelenmiştir. Değişen veriler ile iki farklı çözümün değişken olarak daha iyi olan sonucu verdiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle daha iyi bir sonuca ulaşmak için çizelgeleme sistemi tasarlanırken iki alternatif çözümün de denenerek iyi sonuç verenin kullanılmasına karar verilmiştir. Oluşturulan çizelgeleme sistemi, şirket tarafından verilen farklı büyüklüklerdeki datalarla test edilmiştir. Bu data, belirli tarihler arasındaki iş listesini, kaynak kullanım sıralarını ve sürelerini, işlerin öncelik ilişkilerini ve kaynak kullanım kapasitelerini içermektedir. Sistem doğrulaması için 2000 işten oluşan bir data seti kullanılmış olup, sistem arka planda çalışan MATLAB ile 44 saniyede çizelge elde edilmektedir. Elde edilen çizelge ve işlerin gecikme miktarları da girdilerin alındığı Excel dosyasına yazdırılır. Vardiya planında ise üç alternatif çözüm şirkete sunulurken, haftalık kaynak bazlı vardiya kararı verilmesi hedeflenmiştir. Üç farklı alternatif ile şirket vardiya kararlarını, kaynakların haftalık kapasitelerine göre, gecikme değerlerindeki yüzdesel azalışa göre veya maliyetlere bakarak verebilmesini sağlamıştır. Bu sayede, şirket farklı analizler yaparak anlık ihtiyaçları doğrultusunda vardiya kararı verebilecek konuma getirilmiştir.

Projenin son aşaması olarak, çizelgeleme sistem tasarımı ve vardiya planı için tasarlanan sistemler, kullanıcı ara yüzleri ile şirket kullanımına uygun hale getirilmiştir [Ek 2-Ek3]. Böylece şirketin tek bir excel dosyası üzerinden hem çizelgeleme sistem tasarımı hem de vardiya planı karar destek sistemine ulaşması sağlanmıştır.

Sonuç olarak, yapılan karar destek sistemi; atölye bazlı üretim ortamında makinelerin daha verimli kullanılmasını, gecikmelerin indirgenerek gecikme bazlı maddi kayıpların azaltılmasını ve şirketin kârının artmasını sağlamaktadır.

KAYNAKÇA

Nahmias, S. (2005). *Production and operations analysis* (1st ed.). Boston: McGraw-Hill Irwin.

Pinedo, M. (2005). *Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems* (4th ed., pp. 57-395). New York: Springer.

Pinedo, M. (2000). *Planning and Scheduling in Manufacturing and Services* (2nd ed., pp. 63-72). New York: Springer.

EKLER

Ek 1: Geliştirilen Algoritma

Adım 1: Var olan İşler:

- Teslim tarihlerine göre, (En yakın tarihli iş öncelik alacak şekilde)
- Önem arz edişlerine göre, (Şirket tarafından belirtilen en önemli iş öncelik alacak şekilde)
- Öncelik ilişkilerine göre, (Herhangi bir işe bağlı olmayan iş öncelik alacak şekilde)
- Sürelerine göre sıralanır. (En kısa süreli iş öncelik alacak şekilde)

En başta kalan iş ilk iş olarak seçilir.

Adım 2: Sıralamaya girecek ikinci iş, ilk işin gecikme süresi eklendiğinde toplam gecikmelere bakılarak belirlenir. En az gecikme süresini veren iş sıralamaya atanır.

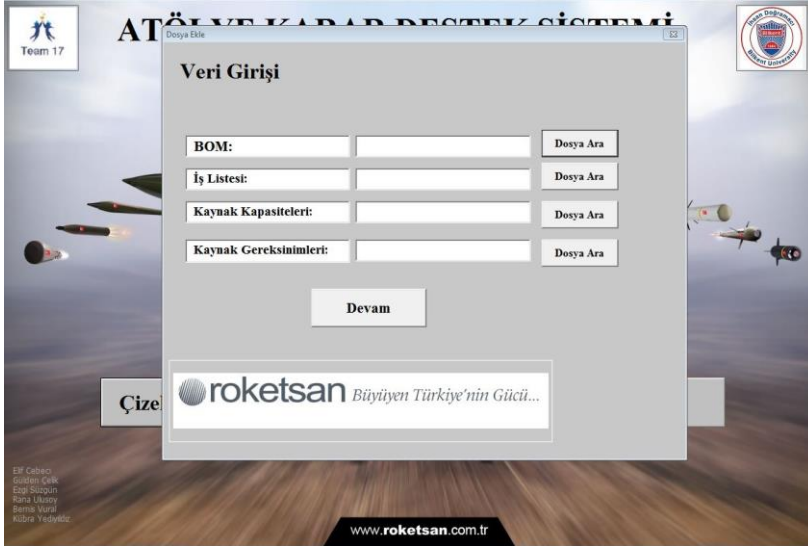
Adım 3: Bir sonraki iş atanırken de sıralanmış işlerin toplam gecikme değerleri bulunur. Bu değer, sıralanabilecek her işin o sıralamayla yapıldığındaki gecikme değeri ile toplanarak toplam bir gecikme değeri bulunur. Minimum toplam gecikme değerini veren iş, sıralamaya eklenir.

Adım 4: Bütün işler sıralanana kadar Adım 3 tekrarlanır.

Ek 2: Kullanıcı Ara yüz Ana sayfası

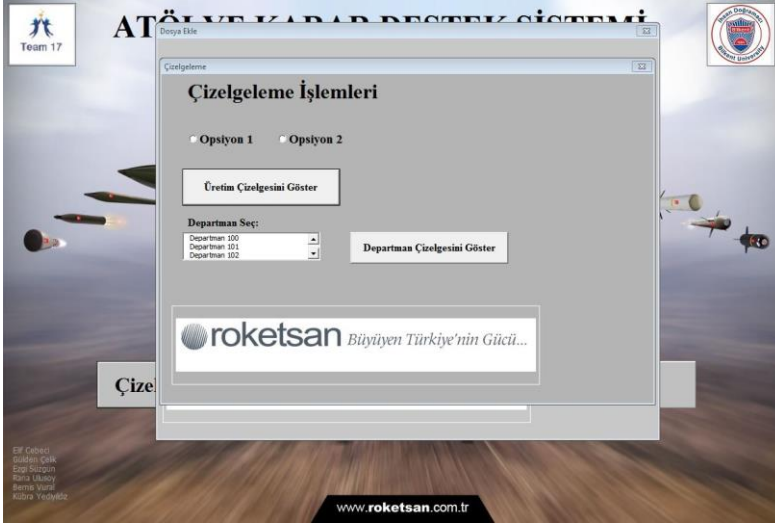


Step 1: Çizelgeleme İşlemleri Butonu ile Açılan Kullanıcı Arayüz Sayfası



Step 2: Devam Butonu ile Açılan Kullanıcı Ara yüz Sayfası

Dosya isimleri seçildikten sonra, devam butonu ile çizelgelemenin indeks veya sıralama kuralına göre yapılması opsiyonu seçilir. “Üretim Çizelgesini Göster” butonuna basıldığında iş listesindeki tüm işlere ait çizelge görüntülenir. “Departman Çizelgesini Göster” butonuna basıldığında ise istenilen departmana ait çizelge görüntülenir.



Ek 3: Vardiya İşlemleri Butonu ile Açılan Kullanıcı Ara yüz Sayfası

Vardiya Analizi ve vardiya önerisi bu arayüz üzerinden istenilen analiz tipi seçilerek yapılır.



Tesis İçi Malzeme Dağıtım ve Toplama Ağ Sistemi

Roketsan Roket Sanayii ve Ticaret A.Ş.

Proje Ekibi

Nehir Bilgen

Rabia Demir

Sezen Günendi

Sami Kayhan

Ratipcan Uysal

Ahmet Turhan Üçok

Endüstri Mühendisliği

Bilkent Üniversitesi

06800 Ankara

Şirket Danışmanı

Bilgehan Bıyıklı

Roketsan A.Ş., Malzeme Yönetim Mühendisi

Akademik Danışman

Yrd. Doç. Dr. Ayşe Selin Kocaman,

Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

İlgili proje, Roketsan Elmadağ tesisindeki malzeme dağıtım sorunlarına çözüm aramaktadır. Sistemdeki problemin ana sebepleri araç ve ekipmanlar yeterli olmasına rağmen; müşteri taleplerine hızlı cevap verilmeye çalışılmasından kaynaklı üretim planı dalgalanmaları, tesis içindeki iletişimin yasal nedenlerden dolayı kablosuz internet ağı kullanılmadan yapılması, tasarım çalışmaları ve seri üretimlerin aynı kaynakları kullanarak gerçekleştirilmesi olarak özetlenebilir. Günlük taşıma talepleri sayısının ciddi oranlarda değiştiği tesiste, üretimin aksamaması için taleplerin ilgili birimlere istenilen zamanlarda teslim edilmesi kritik bir öneme sahiptir. Buna yönelik olarak, üretim planlama, malzeme dağıtım ve lojistikle ilgili bilgileri kaynak olarak kullanan, taleplerin gecikmesiz bir şekilde birimlere taşınmasını sağlayan bir optimizasyon modeli oluşturulmuş, ayrıca gerekli şartları yerine getiren algoritmalar yaratılarak geç teslim problemlerini ortadan kaldıran bir sistem tasarlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Materyal malzeme dağıtımı, iş yükü sıralama ve dengeleme, dağıtım ağı yönetimi, ağ tasarım ve optimizasyonu, stratejik üretim dağıtım modeli, araç rotalama problemi, sezgisel algoritmalar.

1.Şirket Tanımı

Roketsan Roket Sanayii ve Ticaret A.Ş. 14 Haziran 1988 tarihinde, Savunma Sanayii İcra Komitesi kararıyla, Türkiye’de savunma sanayii üzerinde çalışmalar yapıp ulusal bir şirket ile lider bir konuma gelinmesi amacıyla kurulmuştur. Başta Türk Silahlı Kuvvetleri’ne hizmet ederek roket ve füze üretimindeki tasarımdan üretime, ürün geliştirmeden sistem tasarımına tüm süreçlerden sorumlu olan bir kuruluştur. Şirket, TSKGV Türk Silahlı Kuvvetleri Geliştirme Vakfı, MKEK Makine ve Kimya Endüstrisi Kurumu, Aselsan, Havelsan, VakıfBank ve diğer orta ve küçük ölçekli ortaklarla iş birliği içerisinde oluşturulmuştur.

Roketsan, Türkiye’deki roket ve füze üretimindeki temel taşı şirket olmasının yanı sıra savunma sanayii içerisinde Aselsan, TAI, Havelsan, FNSS gibi şirketler ile birlikte kritik bir öneme sahiptir. En gelişmiş teknolojilerin kullanılması hedeflendiği için ürünlerle ilişkili tüm süreçler Roketsan tarafından gerçekleştirilmektedir. Şirket, proje bazlı bir şirket özelliğinde olup günümüzde Roketsan’ın ana müşterisi Türk Silahlı Kuvvetleri’ne ilaveten yurtiçi ve yurtdışı birçok müşterisi bulunmaktadır.

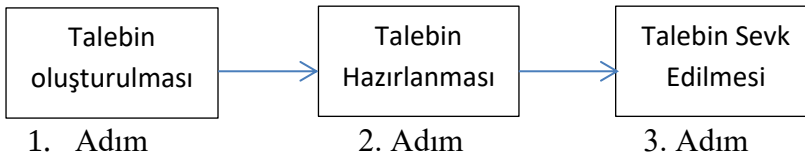
2. Proje Kapsamı ve Mevcut Sistem Analizi

Bu bölümde, proje kapsamı ve kapsam dahilindeki sorun hakkında ayrıntılı bilgilendirme yapılacaktır.

2.1. Proje Kapsamı

Tesis İçi Malzeme Dağıtım ve Toplama Ağı Projesi bir tek amaca odaklanmıştır: Talep edilen malzemelerin teslim edilme zamanlarındaki gecikmeleri en aza indirmek.

Proje kapsamındaki iyileştirmeler temel olarak taleplerin hazır olma anından sonraki ulaştırma sürecini kapsadığı halde, daha gerçekçi sonuçlar alınması adına taleplerin hazır olma süreci ve daha verimli iş gücü kullanımı açısından iş yükü dengeleme süreçleri de proje kapsamına dahil edilmiştir. Bu doğrultuda; optimal araç atama ve rotalama yapan, gerektiğinde iş yükü dengelemesi yapan, hangi taleplerin kim tarafından ne sırayla yapılması gerektiğini belirleyen bir sistem oluşturmak esas alınmıştır.



Projenin asıl kapsamı, yukarıdaki diyagramdaki üçüncü adım olan talebin sevk edilmesi olmasına rağmen; malzemelerin gereksinim zamanına uygun şekilde teslim edilebilmesi, ikinci adımdaki hazırlanma sürecinin ne kadar

verimli olduğu ile direkt olarak ilişkili olduğu için süreç içerisinde projenin kapsamı genişletilmiş ve her iki adıma da çözüm üreten bir sistem tasarlanmıştır.

2.1. Mevcut Sistem Tanımı ve Analizi

Proje bazlı çalışan bir şirket olan Roketsan'ın iki tip projesi vardır. Bunlardan biri olan seri üretim projeleri, tasarımı onaylanmış ve kalite süreçlerini başarıyla tamamlamış projelerdir. Henüz tasarım ve süreç onaylama aşamasında olanlar ise tasarım geliştirme projeleridir.

Fabrikanın mevcut malzeme dağıtım ve toplama sistemi kullanılan araç kaynaklarından optimal faydayı ve verimi sağlamadığı için, iş hacmi arttıkça aksamalar yaşandığı gözlemlenmiştir. Mevcut durum analiz edildiğinde, taleplerin yüzde 40'ından fazlasının geç teslim edildiği tespit edilmiştir (Ek-1). Bu durum derinlemesine incelendiğinde ise malzeme teslim etme süreleri kısaltılsa dahi, paket hazırlama zamanları yüzünden gecikmelerin azaltılamayacağı gözlemlenmiş ve bu durum sipariş hazırlama sürecinde yapılacak iyileştirmelerin gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Roketsan şirketinde tasarım ve seri üretim projeleri eş zamanlı gerçekleştirildiği için malzeme sorumlularına her an kısa termin süreli ve çeşitli taleplerin gelmesi mümkündür. Bu durumda taleplerin önceliklendirilmesindeki yetersizlikler, taleplerin geç hazırlanması teslim edilmedeki olumsuz sonuçların etkenlerden biridir. Malzeme dağıtım ve toplama için toplamda 3 forklift, 2 hafif ticari araç, 1 kamyon ve 1 sideloader kullanılan üretim tesisine ait veri analizinden elde edilen bilgilere göre son 2 yıl içerisindeki toplam taşımanın yüzde 67'si hafif ticari araçlar, yüzde 31'i forklift ve sadece yüzde 2'si sideloader ve kamyon tarafından yapılmıştır (Ek-2). Bu bilgidan yola çıkarak projenin odak noktasının forklift ve hafif ticari ile taşıma olmasına karar verilmiştir.

3. Problem Tanımı

Roketsan'ın Elmadağ ve Lalahan'da olmak üzere 2 adet yerleşkesi bulunmaktadır. Ana yerleşkenin Elmadağ olması sebebiyle, ilgili proje Elmadağ tesisindeki üretim sürecine odaklanmıştır. Yerleşkede 12 depo ve 43 üretim sahası vardır ve bazı üretim sahalarındaki boş alanlar depo olarak kullanılmaktadır. Üretim sahaları ve depolar arasında üretim planlamasına bağlı olarak sürekli bir malzeme akışı bulunmaktadır. Malzeme taşıması için 3 forklift, 1 sideloader, 1 kamyon ve 2 hafif ticari araç kullanılıp, üretim planına göre gerekli malzeme sayılarındaki sert değişimler ve dalgalanmalar, malzeme taleplerinde ciddi boyutlara varabilecek gecikmelere neden olmaktadır.

Savunma sanayii içerisindeki uyulması zorunlu katı kurallar sebebiyle, tesis içerisinde iç ağ kablosuz olarak kullanılamamaktadır ve bu sebeple çalışanlar arasındaki iletişimi ve operasyonel bazı aktiviteleri kolaylaştırmaya yönelik güncel teknolojilerden yararlanılamamaktadır. Malzeme taşımadan sorumlu çalışanlar arasında yukarıda belirtilen sebeplerden dolayı sadece kısıtlı şekilde telsiz kullanılabilmektedir. Operatörlerin anlık olarak lokasyonları ve

uygunlukları bilinemediği, iş yükü-İlgili görev dağıtımları için sistematik bir algoritma var olmadığı ve gün içerisinde öngörüleemeyen acil taşıma taleplerinin ortaya çıkması ve kritik öneme sahip olmasından dolayı malzeme taşımadaki operasyonlar sekteye uğramaktadır, bu da üretim planında yaşanacak sekteye neden olabilmektedir.

Şirketin yukarıda bahsi geçen sebeplerden dolayı dinamik bir malzeme dağıtım ve toplama sistemi için yeni, güvenilir, gerekli kısıtlamaları tanıyan ve iş yükünü dengeleyip, yoğun trafiğin olduğu günlerde bile algoritmaları sayesinde gecikmeyi sıfırlamayı amaçlayan bir karar destek sistemine ihtiyacı vardır.

3.1. Literatür İncelemesi

Kachitvichyanukul vd. (2015) [1] yaptıkları çalışmada, Roketsan'ın problemine benzer bir sorunu ele almışlardır. Çok lokasyonlu araç rotalama problemini birden fazla dağıtım ve toplamayı da başarabilecek matematiksel bir model ortaya koyarak çözmüşlerdir. Projenin ilk evrelerinde, bu model gerekli değişiklikler yapılarak Roketsan'ın malzeme dağıtım ve toplama sorununu da çözebilecek hale getirilmeye çalışılmış fakat daha sonra uygun olmadığına kanaat getirilmiştir. Bunun nedeni ise bu çalışmanın lokasyonları esas alması ve bir lokasyonda birden fazla dağıtım ya da toplama yapılmasına izin vermeyecek matematiksel kısıtlara sahip olmasıdır. Projenin modeli daha sonra talep numaraları esas alınarak değiştirilmiştir. Fakat bu değişim Kachitvichyanukul vd. (2015) 'un yaptıkları çalışmada kısıtları oluştururken ortaya koydukları mantık izlenerek yapılmıştır. Her ne kadar çoğu parametre ve değişken farklı olsa da, projenin modeli bu çalışma ile paralel amaçları olan kısıtları içermektedir ve ana mantık olarak bahsi geçen proje sonucundan esinlenilmiştir.

4. İzlenen Yöntem ve Uygulamalar

Bu proje, Roketsan'ın Elmadağ yerleşkesi içindeki taleplerin gecikmelerini en aza indirmeyi ve nihai amaç olarak gecikmeleri sıfırlamayı amaçlamaktadır. Bu nedenle gecikmeleri minimize ederek, hangi araçların hangi talepleri hangi sıra ile taşıyacağını bulmayı hedefleyen bir model yazılmıştır. Fakat elde edilen model çalıştırıldığında, taleplerin gecikmelerinin lojistik operasyonlarının yanı sıra taleplerin gerektirdiği paketlerin geç hazırlanmasına da bağlı olduğu görülmüştür. 51 talep içeren bir gün için model çalıştırıldığında 21 talep geç kalırken, paketlerin hazır olduğu zamanlar 30 dakika öne çekildiğinde hiçbir talep geç kalmadan iletilebilmiştir. Daha detaylı bir inceleme yapıldığında ise geç iletilen 21 talebin paketlerinin alış noktasındaki hazır olma zamanının varış noktasına iletilmesi gereken zamandan geç olduğu görülmüştür.

Proje tanımı paketlerin hazırlanma sürelerinde iyileştirme yapmayı gerektirmemesine ve bu kapsama girmemesine rağmen, bu projenin Roketsan tarafından daha faydalı bir şekilde kullanılabilmesi için model içerisindeki 21-

32 arasındaki matematiksel kısıtlar eklenerek geliştirilmiştir. Bunun sonucunda model, araç atama-rotalamanın yanı sıra malzeme sorumlularının paketleri hangi sıra ile hazırlayacağını da ortaya koyan bir hale getirilmiştir. Buna göre modelin karar değişkeni; gecikmeleri en aza indiren paket hazırlama sıralamasını, araç atamalarını ve araçların izleyeceği rotaları göstermektedir.

4.1. Paket Hazırlığı Sıralama ve Araç Atama-Rotalama Modeli

Kümeler:

K: Araçlar kümesi

A: Talepler kümesi

L: Malzeme sorumluları kümesi

Parametreler:

R_a : a numaralı talebin istendiği zaman,

D_{ia} : a numaralı talebin başlangıç ve bitiş noktaları arasındaki uzaklık,

$F_a = \begin{cases} 1 & \text{Eğer a numaralı talebin forklift ile taşınması gerekiyorsa} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases}, a \in A$

$D_a = \begin{cases} 1 & \text{Eğer a numaralı talebin hafif ticari araç ile taşınması gerekiyorsa} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases}, a \in A$

$a \in A$

W : Bir vardiyanın toplam süresi

$Disbtworders_{ab}$: A talebinin bitiş lokasyonu ile b talebinin başlangıç nodu arasındaki uzaklık,

Ve_k : k aracının hızı,

$BigM$: Yeteri kadar büyük sayı

Pro_a : a talebinin paketlerinin hazırlanabilmesi için gereken süre

afn : Kullanıma müsait forkliftlerin sayısı

adn : Kullanıma müsait ticari araçların sayısı

$ms1$: 1 numaralı malzeme sorumlusunun hazırlaması gereken paketlerin sayısı

$ms2$: 2 numaralı malzeme sorumlusunun hazırlaması gereken paketlerin sayısı

$ms3$: 3 numaralı malzeme sorumlusunun hazırlaması gereken paketlerin sayısı

$ms4$: 4 numaralı malzeme sorumlusunun hazırlaması gereken paketlerin sayısı

$ms5$: 5 numaralı malzeme sorumlusunun hazırlaması gereken paketlerin sayısı

Değişkenler:

$X_{ak} = \begin{cases} 1 & \text{Eğer a talebi k aracı tarafından taşınıyorsa} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad a \in A \quad k \in K$

$Y_{abk} = \begin{cases} 1 & \text{Eğer a ve b talepleri k aracı tarafından art arda yapılıyorsa} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$

$a, b \in A$

P_a : a numaralı talebin paketinin hazır olduğu zaman, $a \in A$

Z_{ak} : k aracının a numaralı talebi taşımaya başladığı zaman, $a \in A, k \in K$

O_a : a numaralı talebin tamamlandığı zaman, $a \in A$

$$H_a = \begin{cases} 1 & \text{Eğer a numaralı talep zamanında yerine ulaştırılamamışsa} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad a \in A$$

$$Ye_{atl} = \begin{cases} 1 & \text{Eğer a talebini l. sorumlu t. sırada hazırlıyorsa} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad a \in A$$

Linz_a: Amaç fonksiyonunu doğrusallaştırmak için kullanılan değişken

Amaç: Zamanında tamamlanamayan taleplerin tamamlanma zamanları ile istenilen tamamlanma zamanları arasındaki farkın bütün talepler için toplamını minimize etmek

$$\text{MIN } \sum_a (\text{Linz}(a) - H(a) * R(a))$$

$$1) \sum_{k \in K} X_{ak} = 1 \quad \forall a \in A$$

$$2) Z_{ak} + D_a / V_{ek} + 2 \leq O_a + \text{BigM} * (X_{ak} - 1) \quad \forall a \in A$$

$$3) P_a \leq Z_{ak} + \text{BigM} * (1 - X_{ak}) \quad \forall a \in A, \forall k \in K$$

$$4) O_a + (\text{distbtworders}_{ab} / V_{ek}) \leq Z_b + \text{BigM} * (1 - Y_{abk}) \quad \forall a \in A, \forall b \in A, \forall k \in K, a \neq b$$

$$5) O_a \leq W \quad \forall a \in A$$

$$6) \sum_{a \in A} X_{ak} = \sum_{a \in A} \sum_{b \in B} Y_{abk} + 1 \quad \forall k \in K$$

$$7) X_{ak} * \text{BigM} \geq Z_{ak} \quad \forall a \in A, \forall k \in K$$

$$8) \sum_{b \in B} Y_{abk} \leq X_{ak} \quad a \neq b, \forall a \in A, \forall k \in K$$

$$9) \sum_{a \in A} Y_{abk} \leq X_{bk} \quad a \neq b, \forall b \in B, \forall k \in K$$

$$10) \text{BigM} * (1 - Y_{abk}) \geq Y_{bak} \quad \forall a \in A, \forall b \in A$$

$$11) (1 - F_a) * \text{BigM} \geq \sum_{k=\text{afn}+1}^{\text{afn}+\text{adn}} X_{ak} \quad \forall a \in A$$

$$12) (1 - D_a) * \text{BigM} \geq \sum_{k=1}^{\text{afn}} X_{ak} \quad \forall a \in A$$

$$13) X_{ak} \in \{0,1\} \quad \forall k \in K, \forall a \in A$$

$$14) Y_{abk} \in \{0,1\} \quad \forall k \in K, \forall a \in A, \forall b \in A$$

$$15) Z_{ak} \geq 0 \quad \forall a \in A$$

$$16) O_a \geq 0 \quad \forall a \in A$$

$$17) \text{Linz}_a \geq H_a * R_a \quad \forall a \in A$$

$$18) \text{Linz}_a \geq O_a - 480 * (1 - H_a) \quad \forall a \in A$$

$$19) H_a * \text{BigM} + R_a \geq O_a \quad \forall a \in A$$

$$20) H_a \in \{0,1\} \quad \forall k \in K, \forall a \in A$$

$$21) Ye_{atl} \in \{0,1\} \quad \forall l \in L, \forall a \in A$$

$$22) \text{Eğer } ms1 > 0, \sum_{t=1}^{ms1} Ye(a, t, 1) = 1 \quad a \in 1 \dots ms1$$

$$23) \text{Eğer } ms2 > 0, \sum_{t=ms1+1}^{ms1+ms2} Ye(a, t, 2) = 1 \quad a \in ms1+1 \dots ms1+ms2$$

$$24) \text{Eğer } ms3 > 0, \sum_{t=ms1+ms2+1}^{ms1+ms2+ms3} Ye(a, t, 3) = 1 \\ a \in ms1+ms2+1 \dots ms1+ms2+ms3$$

$$25) \text{Eğer } ms4 > 0, \sum_{t=ms1+ms2+ms3+1}^{ms1+ms2+ms3+ms4} Ye(a, t, 4) = 1 \\ a \in ms1+ms2+ms3+1 \dots ms1+ms2+ms3+ms4$$

$$26) \text{Eğer } ms5 > 0, \sum_{t=ms1+ms2+ms3+ms4+1}^{ms1+ms2+ms3+ms4+ms5} Ye(a, t, 5) = 1 \\ a \in ms1+ms2+ms3+ms4+1 \dots ms1+ms2+ms3+ms4+ms5$$

$$27) \text{Eğer } ms1 \geq 2, P_a + (1 - Ye_{atl}) * \text{BigM} + (1 - Ye_{b(t-1)1}) * \text{BigM} \geq P_b + Pro_a$$

- $a \in 1 \dots ms1, b \in 1 \dots ms1, t \in 2 \dots ms1, a \neq b$
- 28) Eğer $ms2 \geq 2, P_a + (1 - Y_{e_{at2}}) * BigM + (1 - Y_{e_{b(t-1)2}}) * BigM \geq P_b + Pro_a$
 $a \in 1 + ms1 \dots ms1 + ms2, b \in 1 + ms1 \dots ms1 + ms2, t \in 2 \dots ms2, a \neq b$
- 29) Eğer $ms3 \geq 2, P_a + (1 - Y_{e_{at3}}) * BigM + (1 - Y_{e_{b(t-1)3}}) * BigM \geq P_b + Pro_a$
 $a \in 1 + ms1 + ms2 \dots ms1 + ms2 + ms3, b \in 1 + ms1 + ms2 \dots ms1 + ms2 + ms3,$
 $t \in 2 \dots ms3, a \neq b$
- 30) Eğer $ms4 \geq 2, P_a + (1 - Y_{e_{at4}}) * BigM + (1 - Y_{e_{b(t-1)4}}) * BigM \geq P_b + Pro_a$
 $a \in 1 + ms1 + ms2 + ms3 \dots ms1 + ms2 + ms3 + ms4,$
 $b \in 1 + ms1 + ms2 + ms3 \dots ms1 + ms2 + ms3 + ms4,$
 $t \in 2 \dots ms4, a \neq b$
- 31) Eğer $ms5 \geq 2, P_a + (1 - Y_{e_{at5}}) * BigM + (1 - Y_{e_{b(t-1)5}}) * BigM \geq P_b + Pro_a$
 $a \in 1 + ms1 + ms2 + ms3 + ms4 \dots ms1 + ms2 + ms3 + ms4 + ms5,$
 $b \in 1 + ms1 + ms2 + ms3 + ms4 \dots ms1 + ms2 + ms3 + ms4 + ms5,$
 $t \in 2 \dots ms5, a \neq b$
- 32) Eğer $ms1 > 1, 1 - Y_{e_{at1}} \geq Y_{e_{bt1}}, a \in 1 \dots ms1, b \in 1 \dots ms1, t \in 1 \dots ms1, a \neq b$
- 33) Eğer $ms2 > 1, 1 - Y_{e_{at2}} \geq Y_{e_{bt2}} a \in 1 + ms1 \dots ms1 + ms2, b \in 1 + ms1 \dots ms1 + ms2,$
 $t \in 1 \dots ms2, a \neq b$
- 34) Eğer $ms3 > 1, 1 - Y_{e_{at3}} \geq Y_{e_{bt3}} a \in ms1 + ms2 + 1 \dots ms1 + ms2 + ms3,$
 $b \in 1 + ms1 + ms2 \dots ms1 + ms2 + ms3, t \in 1 \dots ms3, a \neq b$
- 35) Eğer $ms4 > 1, 1 - Y_{e_{at4}} \geq Y_{e_{bt4}}$
 $a \in 1 + ms1 + ms2 + ms3 \dots ms1 + ms2 + ms3 + ms4,$
 $b \in 1 + ms1 + ms2 + ms3 \dots ms1 + ms2 + ms3 + ms4,$
 $t \in 1 \dots ms4, a \neq b$
- 36) Eğer $ms5 > 1, 1 - Y_{e_{at5}} \geq Y_{e_{bt5}}$
 $a \in 1 + ms2 + ms3 + ms4 \dots ms1 + ms2 + ms3 + ms4 + ms5,$
 $b \in 1 + ms1 + ms2 + ms3 + ms4 \dots ms1 + ms2 + ms3 + ms4 + ms5,$
 $t \in 1 \dots ms5, a \neq b$
- 37) $(1 - \sum_l Y_e(a, 1, l)) * BigM + P_a \geq Pro_a \quad \forall a \in A$
- 38) $(1 - \sum_l Y_e(a, 1, l)) * BigM + Pro_a \geq P_a \quad \forall a \in A$
- 39) Eğer $ms1 \geq 2,$
 $\sum_{a=1}^{ms1} \sum_{tt=1}^{ms1} (Pro(a) * Y_e(a, tt, 1) - Pro(a) * (1 - Y_e(b, t, 1))$
 $+ Y_e(b, t, 1) * Pro(b)) \leq P(b)$
 $b \in 1 \dots ms1, t \in 2 \dots ms1, tt < t, a \neq b$
- 40) Eğer $ms2 \geq 2,$
 $\sum_{a=1+ms1}^{ms1+ms2} \sum_{tt=1}^{ms2} (Pro(a) * Y_e(a, tt, 2) - Pro(a) * (1 - Y_e(b, t, 2))$
 $+ Y_e(b, t, 2) * Pro(b)) \leq P(b)$
 $b \in 1 + ms1 \dots ms1 + ms2, t \in 2 \dots ms2, tt < t, a \neq b$
- 41) Eğer $ms3 \geq 2,$
 $\sum_{a=1+ms1+ms2}^{ms1+ms2+ms3} \sum_{tt=1}^{ms3} (Pro(a) * Y_e(a, tt, 3) - Pro(a) * (1 - Y_e(b, t, 3))$
 $+ Y_e(b, t, 3) * Pro(b)) \leq P(b)$
 $b \in 1 + ms1 + ms2 \dots ms1 + ms2 + ms3, t \in 2 \dots ms3, tt < t, a \neq b$

- 42) Eğer $ms4 \geq 2$,
 $\sum_{a=1+ms1+ms2+ms3+ms4}^{ms1+ms2+ms3+ms4} \sum_{tt=1}^{ms4} (Pro(a) * Ye(a, tt, 4) - Pro(a) * (1 - Ye(b, t, 4)) + Ye(b, t, 4) * Pro(b)) \leq P(b)$
 $b \in 1+ms1+ms2+ms3 \dots ms1+ms2+ms3+ms4, t \in 2 \dots ms4, tt < t, a \neq b$
- 43) Eğer $ms5 \geq 2$,
 $\sum_{a=1+ms1+ms2+ms3+ms4+ms5}^{ms1+ms2+ms3+ms4+ms5} \sum_{tt=1}^{ms5} (Pro(a) * Ye(a, tt, 5) - Pro(a) * (1 - Ye(b, t, 5)) + Ye(b, t, 5) * Pro(b)) \leq P(b)$
 $b \in 1+ms1+ms2+ms3+ms4 \dots ms1+ms2+ms3+ms4+ms5,$
 $t \in 2 \dots ms5, tt < t, a \neq b$
- 44) $\sum_{a=1}^{ms1} Pro(a) \geq P(b) \quad b \in 1 \dots ms1$
- 45) $\sum_{a=ms1+1}^{ms1+ms2} Pro(a) \geq P(b) \quad b \in ms1 + 1 \dots ms1 + ms2$
- 46) $\sum_{a=ms1+ms2+1}^{ms1+ms2+ms3} Pro(a) \geq P(b) \quad b \in ms1 + ms2 + 1 \dots ms1 + ms2 + ms3$
- 47) $\sum_{a=ms1+ms2+ms3+1}^{ms1+ms2+ms3+ms4} Pro(a) \geq P(b) \quad b \in ms1 + ms2 + ms3 + 1 \dots ms1 + ms2 + ms3 + ms4$
- 48) $\sum_{a=ms1+ms2+ms3+ms4+1}^{ms1+ms2+ms3+ms4+ms5} Pro(a) \geq P(b) \quad b \in ms1 + ms2 + ms3 + ms4 + 1 \dots ms1 + ms2 + ms3 + ms4 + ms5$

4.2. Modelin Çalıştırılması ve Gerekli Parametrelerin Elde Edilmesi

Taleplerin bilgisi elde edildikten sonra, modelin çalıştırılması için gereken ve yukarıda belirtilmiş olan parametrelerin hesaplanması için ilk adım şirket danışmanının kullandığı ERP sistemi üzerinden Excel'e veri aktarımıdır. Açık siparişler için dizayn ettiğimiz Excel sayfasına aktarılan veriler, VBA kodu yardımı ile gerekli parametreler şekline dönüştürülüp modele aktarılmaktadır. Bu sayede model kullanımı kolay bir hale getirilmiştir.

20 talep içeren bir gün için model çalıştırıldığında, 0,2 saniyede en iyi sonucun ortaya koyulduğu görülmüştür. Bu sayı arttırılıp 51 talep içeren bir gün için model çalıştırıldığında ise 13,2 saniyede en iyi sonucu vermiştir. Roketsan'ın proje için sağlamış olduğu 547 iş gününün talepleri bilgilerine bakıldığında toplam gün sayısının yüzde 98,5'inde 50'den az sayıda talep olduğu görülmesine rağmen, her türlü olasılık göz önünde bulundurulmuş ve talep sayısının çok fazla olabileceği günlerde de modelin kullanılabilmesi amaçlanmıştır. Modelin talep sayısı çok fazla olduğu durumlarda da makul bir süre içerisinde sonucu verebilmesi için, probleme sezgisel bir yolla yaklaşılacak, problem ayrıştırma yöntemi ile 50'li gruplar halinde çözülecektir.

4.3. Malzeme Sorumluları Arasındaki İş Yükü Denge Dağılımının Sağlanması

Hangi malzeme sorumlularının hangi paketleri hazırlayacağı önceden, Roketsan'ın güncel durumuna göre belirlenmektedir. Bu nedenle model, taleplere malzeme sorumlusu atamasını yapmamakta, yalnızca malzeme sorumlularının paketleri hangi sıra ile hazırlayacağını ortaya koymaktadır. Fakat bazı günlerde malzeme sorumlularının paketleri hazırlamak için harcayacakları zamanlar arasında büyük bir dengesizlik olduğu görülmüştür.

Roketsan ile yapılan toplantılarda bu konu görüşülmüş ve dengesizliklerin büyük olduğu günlerde modeli kullanan yetkiliye seçme hakkı sunacak bir VBA kodu geliştirilmiştir. Buna göre yetkili kişi malzeme sorumlularının iş dağılımlarını dengelemeye karar verdiği zamanlarda, iş yükün dengeleme modeli sayesinde bu dengelemeyi yapabilecektir. Buna göre linear model kodu malzeme sorumlularını önceden belirlenmiş iki gruba ayıracaktır. Her bir grup için, o gruptaki malzeme sorumlularının o günkü iş yükü zamanları farkının toplam iş yükü zamanına bölümünü % 10'a eşit veya % 10 dan küçük yapacak şekilde iş paylaşımını tekrar yapacaktır. (Ek-3). Ancak, malzeme sorumlularından biri kimya bilgisi gerektiren özel paketleri hazırladığından dolayı bu malzeme sorumlusu ve ona atanmış paketler istisna olarak iş yükü dengeleme işlemlerinin dışında tutulmuştur.

5. Sonuçlar ve Öneriler

Proje, modelin araç atama-rotalama'nın yanı sıra paketlerin hazırlanma sıralarında da en iyileştirme yapmasıyla, Roketsan'ın malzeme dağıtım sistemini ciddi oranda geliştirecek bir hale getirilmiştir. Bu kısımda, projenin geliştirilmesi sürecinde ortaya çıkan sonuçlar ve bu sonuçlara dayanılarak ortaya konulmuş önerilerden bahsedilecektir.

Proje sonucunda, taşıt atama ve rotalarını yapan, malzeme sorumlularının sipariş hazırlama sırasını belirleyen ve malzeme sorumlularının arasındaki iş dengesini sağlayan bir sistem tasarlanmıştır. Bu sistemle birlikte siparişlerdeki gecikmelerde 27% - 100% arasında değişen gelişme kaydedilmiştir. Ayrıca, iki işçi arasındaki toplam paketleme sürelerinin farkının toplam iş süresine bölümünün yüzde 10'dan küçük olması ölçütüyle hazırlanan iş dengesi modelimiz, iş yükleri arasındaki farkları 30% - 85% oranında azaltılmıştır. Örnek sonuçlar için Ek-4 ve Ek-5 incelenebilir. 20 dakikadan kısa bir süre içerisinde günlük planlar hazırlanabilmesinin yanı sıra, proje değişen işçi, araç, depo ve parça lokasyonlarına göre kolay bir şekilde adapte edilebilecek durumdadır. Şirkete sağlanan kullanıcı kılavuzları ile birlikte, verimli, kullanımı kolay, esnek ve sürdürülebilir bir sistem tasarlanmıştır.

Şirkete sistemin kullanımı için ilk önerimiz, model çalıştırıldığı anda yalnızca sistemde kayıtlı olan talepler için en iyileştirme yapılması yönündedir. Sisteme gün içerisinde sonradan dâhil olmuş ani talepler araç atama-rotalama ve paket hazırlama sıralamasına dâhil edilmemektedir. Bu durumu düzeltebilmek ve modeli dinamik taleplere de cevap verebilir bir hale getirebilmek için, modelin günde bir kere çalıştırılması yerine, taleplerin istenilen zamanlara göre öğleden önce ve öğleden sonra olarak iki gruba ayrılması ve modelin her bir grup için bir kere, yani günde iki kere çalıştırılmasının uygun olacağı önerilmektedir. Bu öneri, Roketsan ile yapılan toplantılarda da değerlendirilmiş ve projeyi aktif bir şekilde kullanacak olan yetkililer tarafından da uygun görülmüştür.

Yukarıda da bahsedildiği üzere bir diğer öneri ise, talep sayısı fazla olduğu günlerde modelin makul bir zaman aralığında çıktıları en uygun şekilde gecikmesiz ortaya koyabilmesi için, 50'şerli talepler halinde gruplandırıp her bir grup için modeli bir kere çalıştırmaktır. Talepler istenilen zamanlara göre gruplandırılabilir.

Projenin ilk zamanlarında, daha önce de bahsedildiği gibi, paketlerin hazır olduğu zamanlar bir parametre olarak alınırken, modelin paket hazırlama sıralamasını da yapar hale getirilebilmesi için, paketlerin hazırlanmaları için gerekli olan zamanlar değişken olarak alınmıştır. Bu noktada, Roketsan'ın 2015-2016 eğitim öğretim döneminde Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği öğrencileriyle yapmış olduğu projeden yararlanılıp; bu projede her bir paket için gerekli olan zaman, paketlerin stoklandığı depo çeşitlerine bağlı olarak doğrusal regresyon denklemi haline getirilmiştir. Bu denklemler siparişteki kalem sayısına ve her bir kalemin paketlenmesi için gereken zamana bağlıdır. Denklemler kullanılarak paketlerin hazırlanması için gerekli zamanlar ortaya çıkarılmıştır.

Ancak, ortaya konulan bu parametrelerin doğrulundan emin olunması ve var ise yanlışlıkların düzeltilmesi için zaman incelemesi yapılması önerilmektedir. Taleplerin gecikmesinin taşıma sürelerinden çok paketlerin geç hazırlanmasından kaynaklandığı düşünüldüğünde, paket hazırlama sürelerinin oldukça kritik olduğu görülecektir. Bu nedenle, modelin en iyi sonuçları verebilmesi için paket hazırlama süreleri üstünde zaman incelemesi yapmak en önemli önerilerden birisidir.

Analizler sonucunda paketleri hazırlayan malzeme sorumlularının çalışacakları zamanlar arasında bazı günlerde dengesizlik olduğu gözlemlenmiş ve bu zamanları dengelemek kullanıcıya bir seçenek olarak sunulmuştur. Paket hazırlama zamanları, talepleri vaktinde ulaştırabilmek için çok kritik olduğundan, malzeme sorumluları arasında iş yükü dengesinin sağlanması önerilmektedir. Dengesizliklerin ortadan kaldırılmasıyla, malzeme sorumlularından herhangi birinin ya da bazılarının daha fazla paket hazırlama görevini alıp paketleri istenilenden geç hazırlama ihtimali düşürülmüş olacaktır. Paketlerin hazır olduğu zamanlar öne çekildiği için taleplerdeki gecikmeler daha da azaltılabilecektir.

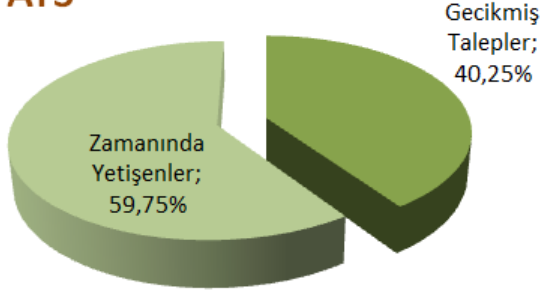
KAYNAKÇA

[1] Kachitvichyanukul, Voratas, Pandhapon Sombuntham, and Siwaporn Kunnappadeelert. "Two solution representations for solving multi-depot vehicle routing problem with multiple pickup and delivery requests via PSO." *Computers & Industrial Engineering* 89 (2015): 125-136.

EKLER

Ek-1

ATS



Ek-2

	Kullanım Yüzdeleri			
	FTS	ATS	Kayıt Dışı	TOPLAM
Hafif Ticari	%7.53	%78.14	%65.57	%65.56
Forklift	%77.07	%21.16	%32.71	%31.80
Kamyon/Sideload	%15.40	%0.70	%1.72	%2.64
TOPLAM	%100.00	%100.00	%100.00	%100.00

Ek-3 İş Dengeleme Modeli

Setler:

A: Sipariş seti, $a \in A$

L: İşçi seti $l \in L$

Parameterler

$JobAssignments_{a,l}$: 1 eğer a siparişi kesinlikle l kişisi tarafından yapılması gerekiyorsa, 0 diğer durumlarda, $a \in A, l \in L$

TotJobs1 : 1. Grubun toplam iş sayısı

TotJobs2: 2. Grubun toplam iş sayısı

MsTen:Malzeme Sorumlusu10'un tamamlaması gereken iş sayısı

TotOrd: Toplam açık sipariş sayısı

Pro_a : A siparişinin paketleme süreleri

TotPro: Toplam paketleme süreleri

W: Mesai süresi

BigM: Yeteri kadar büyük sayı

Variables:

P_a: Siparişin taşımaya hazır olduğu zaman

$Y_{a,l} : \begin{cases} 1 & \text{eğer sipariş } a \text{ } l \text{ kişisi tarafından paketlenmişse} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad a \in A, l \in L$

ms1: Malzeme Sorumlusu1'in toplam iş sayısı

ms2: Malzeme Sorumlusu2'nin toplam iş sayısı

ms3: Malzeme Sorumlusu3'ün toplam iş sayısı

ms4: Malzeme Sorumlusu4'ün toplam iş sayısı

Objective : 1&2 ve 3&4 numaralı çalışanlar arasında bulunan iş yükleri farkını enazlamak

Min $\sum_a (Y_{a,2} * Pro_a - Y_{a,1} * Pro_a) + (Y_{a,4} * Pro_a - Y_{a,3} * Pro_a)$

Constraints:

1. $\sum_{a,l} Y_{a,l} = TotOrd$
 - Bütün siparişler tamamlanmalı
2. $\sum_a Y_{a,1} = ms1$
 - 1. Malzeme sorumlusunun toplamda yapabileceği iş sayısı ms1 değişkenine eşit olmalıdır
3. $\sum_a Y_{a,2} = ms2$
 - 2. Malzeme sorumlusunun toplamda yapabileceği iş sayısı ms2 değişkenine eşit olmalıdır
4. $\sum_a Y_{a,3} = ms3$
 - 3. Malzeme sorumlusunun toplamda yapabileceği iş sayısı ms3 değişkenine eşit olmalıdır
5. $\sum_a Y_{a,4} = ms4$
 - 4. Malzeme sorumlusunun toplamda yapabileceği iş sayısı ms4 değişkenine eşit olmalıdır
6. $\sum_a Y_{a,5} = MsTen$
 - 5. Malzeme sorumlusunun toplamda yapabileceği iş sayısı ms5 parametresine eşit olmalıdır
7. $\sum_l Y_{a,l} = 1 \quad \forall a \in A$
 - Her bir sipariş bir kişi tarafından yapılmalıdır
8. $\sum_a (Y_{a,2} * Pro_a - Y_{a,1} * Pro_a) / TotPro \leq 0.1$
9. $-\sum_a (Y_{a,4} * Pro_a - Y_{a,3} * Pro_a) / TotPro \leq 0.1$
10. $\sum_a (Y_{a,2} * Pro_a - Y_{a,1} * Pro_a) / TotPro \leq 0.1$
11. $-\sum_a (Y_{a,4} * Pro_a - Y_{a,3} * Pro_a) / TotPro \leq 0.1$

- 8,9,10,11 sınırları ikililer arasındaki iş yükleri farkının en fazla yüzde 10 olmasını sağlar
12. $ms1+ms2=TotJobs1$
- $Ms1$ ve $ms2$ değişkenlerinin toplamı başta o gruba atanan toplam iş sayısına ($TotJobs1$) eşit olmalıdır
13. $ms3+ms4=TotJobs2$
- $Ms3$ ve $ms4$ değişkenlerinin toplamı başta o gruba atanan toplam iş sayısına ($TotJobs2$) eşit olmalıdır
14. If $a>TotJobs1$; $\sum_a Y_{a,l} = 0 \quad l \in \{1,2\}$
- 1. Grup tarafından yapılması gereken siparişler 2.grup tarafından yapılamaz
15. If $a \leq TotJobs1$; $\sum_a Y_{a,l} = 0 \quad l \in \{3,4\}$
- 2. Grup tarafından yapılması gereken siparişler 1.grup tarafından yapılamaz
16. If $a>TotJobs1+TotJobs2$;
 $\sum_a Y_{a,l} = TotOrd - TotJobs1 - TotJobs2 \quad l \in \{5\}$
- $MS10$ kendisini atanan bütün işleri yapmak durumundadır
17. $Y_{a,l} \geq JobAssignments_{a,l} \quad \forall a \in A, \forall l \in L$
- $Y(a,l)$ değişkeni kesinlikle 1 olması gereken a-l çiftlerini, Excel'den veri olarak gelen $JobAssignments$ parametresinden alır

Ek-4 30 Sipariş Gerçek – Model Karşılaştırma

Gerçek Sıra	Model Sıra	Malzeme Sorumlusu	Teslim Saati	Bitiş	Gerçekteki Gecikme Miktarı	Model Sonucundaki Gecikme
8	6	MS15	09:30	09:28	-1.88	-5.31
6	8	MS15	10:00	11:18	78.57	-34.33
14	9	MS15	13:30	13:11	-18.78	-229.42
15	11	MS15	13:30	13:11	-18.73	-0.67
9	14	MS15	15:30	13:55	-94.22	-213.33
22	15	MS15	14:30	13:55	-34.17	-202.68
28	19	MS15	14:00	15:00	60.95	-385.33

30	20	MS15	16:00	15:5 6	-3.22	-323.33
20	22	MS15	16:30	16:3 6	6.32	-228.33
11	28	MS15	17:30	16:3 6	-53.35	-157.60
19	30	MS15	16:30	11:5 3	1163.22	-267.99
3	2	MS17	17:00	11:3 7	-322.07	-134.65
7	3	MS17	09:00	11:3 8	158.68	-216.95
2	7	MS17	13:30	20:0 8	398.82	-0.33
21	18	MS17	14:30	20:1 0	340.93	-369.05
18	21	MS17	17:30	11:3 5	1085.38	-0.26
23	23	MS17	17:30	11:3 5	1085.97	-405.47
24	24	MS17	17:30	11:3 6	1086.47	-0.52
25	12	MS18	13:30	13:3 8	8.83	-3.58
16	13	MS18	11:30	15:5 6	266.10	-0.13
13	16	MS18	10:30	16:1 8	348.25	-86.68
12	25	MS18	10:30	16:3 3	363.70	-233.76
26	26	MS18	14:30	17:3 3	183.22	-211.58
1	1	MS23	13:30	09:5 9	-7410.20	-164.93
4	4	MS23	09:30	16:5 4	-995.47	-13.30
5	5	MS23	10:30	15:5 8	328.55	-36.70
10	10	MS23	13:30	09:3 4	1204.65	-0.53

29	27	MS23	15:30	14:1 3	1363.60	-289.16
27	29	MS23	15:30	14:4 5	1395.35	-271.13
17	17	MS10	17:00	10:5 0	-369.67	-419.18

Ek-5 70 siparişli gün iş dengeleme örneği

15.06.2016	Malzeme Sorumlusu 15	Malzeme Sorumlusu 17	Malzeme Sorumlusu 18	Malzeme Sorumlusu 23	Malzeme Sorumlusu 10
Toplam Siparişler	52	1	8	6	3
Dengelenmiş Toplam Siparişler	30	23	6	8	3
Toplam Hazırlama Süreleri (dk)	324	4	261	42	14
Dengelenmiş Hazırlama Süreleri (dk)	192	136	182	121	14
Yüzdeler	%50.23	%0.62	%40.47	%6.51	%2.17
Dengelenmiş Yüzdeler	%29.77	%21.09	%28.22	%18.76	%2.17
					Eşik:%10

Akaryakıt İkmal Optimizasyonu ve Karar Destek Sistemi Tasarımı

Shell & Turcas Petrol A.Ş.

Proje Ekibi

İbrahim Cihanser Akdağ

Nazlıcan Arslan

Sibel Berfun Aslan

Gaye Ege Buzol

Canberk Çayiroğlu

Hakkı Yiğit Er

Endüstri Mühendisliği

Bilkent Üniversitesi

06800 Ankara

Şirket Danışmanı

Şerif Çağrı Kayı

Shell, İkmal Operasyon ve Optimizasyon Müdürü

Akademik Danışman

Prof. Dr. Bahar Yetiş Kara

Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Proje çalışmasının amacı, akaryakıt ikmalinin en düşük maliyetle planlanmasını ve operasyonel düzeydeki veri güncellemelerinin en kısa zamanda yapılmasını amaçlayan karar destek sistemi tasarlamaktır. Bu sebeple varolan sistem incelenmiş ve yapılan incelemeler doğrultusunda ikmal planlarının en düşük maliyetle yapılması için matematiksel model tasarlanmıştır. Tasarlanan model büyüklüğü nedeniyle şirketin kullandığı programda çözilememiş ve sezgisel algoritmalar oluşturulmuştur. Bunlara ek olarak manuel olan operasyonel güncelleme sistemi otomatikleştirilerek karar destek sistemi tasarımı tamamlanmıştır. Önceki yılların verileriyle karşılaştırma yapılarak tasarlanan karar destek sisteminin şirketin sistemini iyileştirdiği ve planlama işlemlerinin yapılma süresini üç saatten 15 dakikaya düşürdüğü ölçülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Çok Modlu Taşımacılık, Akaryakıt Tedarik Zinciri, Karar Destek Sistemi, Tedarikçi Seçimi

1.Şirket Tanıtımı

Günümüzde Shell, dünyanın önde gelen enerji şirketlerinden biri olarak yaklaşık 94.000 kişi istihdam etmekte ve 70'den fazla ülkede faaliyet göstermektedir.

1923'ten bu yana Türkiye'de faaliyet gösteren Shell, 2006 yılında akaryakıt alanındaki ticari faaliyetlerini ve istasyon ağını büyütmek üzere yeni bir yapılanmaya gitti ve sektörün köklü şirketlerinden Turcas Petrol ile ortak olarak, %70 oranında hissesine sahip olduğu Shell & Turcas Petrol A.Ş.'yi (STAŞ) kurdu. Shell'in Perakende Satışlar, Ticari Akaryakıtlar, Ticari Filo ve Madeni Yağlar alanlarındaki faaliyetleri Shell & Turcas Petrol A.Ş. bünyesinde yürütülmekte olup petrol ve doğal gaz arama, havacılık, kimya, denizcilik, doğalgaz ve elektrik ticareti faaliyetleri de Türkiye'deki diğer Shell şirketleri tarafından gerçekleştirilmektedir.

2. Proje Kapsamı ve Mevcut Sistem Analizi

Proje kapsamı ve mevcut sistem analizi üç başlık altında incelenmiştir.

2.1 Proje kapsamı

Ham petrol rafinerilerde işlenir ve istasyonlara gönderilmeden önce terminal adı verilen büyük depolarda saklanır. Shell & Turcas Petrol A.Ş. yurt içindeki ve yurt dışındaki rafinerilerden aldıkları LPG, benzin ve dizeli kendi terminallerinde depolamakta daha sonrasında da benzin istasyonlarına taşıyıp son kullanıcıya ulaştırmaktadır. Proje kapsamında, dizel ve benzin ürünlerinin tedarikçilerden terminallere ikmal planlaması incelenmiştir.

2.2 Mevcut sistem tanımı

Şirketin toplamda 9 adet terminali bulunmaktadır. Bu terminaller kendi aralarında üçe ayrılırlar:

- 1.Tip:Bu terminaller STAŞ tarafından işletilmektedir.
- 2.Tip:Bu terminallerde diğer firmalarla ortak operasyon yürütmektedir. Bu terminallere müşterek terminaller denir.
- 3.Tip:Bu terminaller diğer şirketler tarafından işletilmekte, bu tesislerde STAŞ'ın herhangi bir operasyonel sorumluluğu bulunmamaktadır. STAŞ bu terminallerden kendi tankerlerine dolum yapıp terminali terk etmektedir.

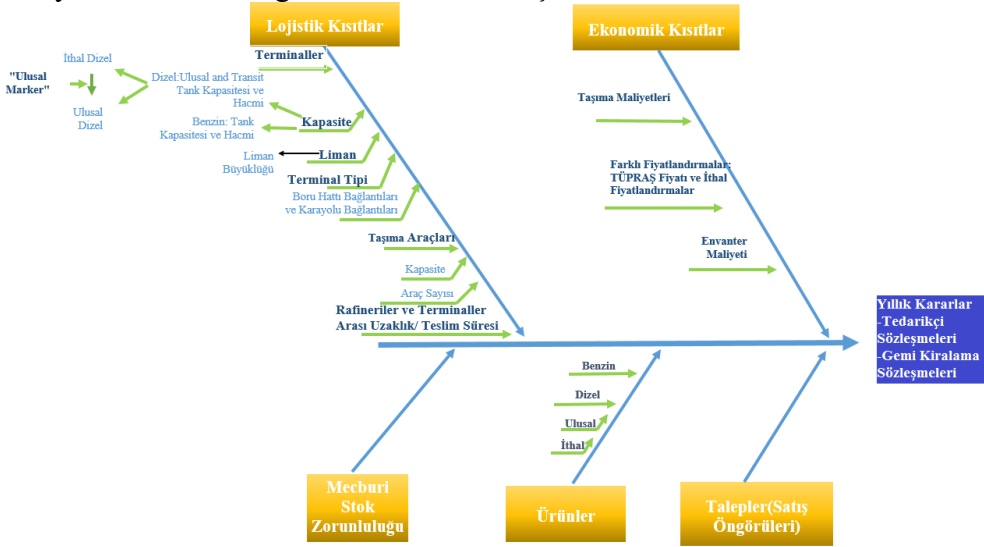
Terminallere akaryakıt ikmal boru hattı, tren ve gemi ile yapılmaktadır.

Shell & Turcas Petrol A.Ş.'de Akaryakıt İkmal ve Optimizasyon Departmanı terminallere yapılan akaryakıt ikmalini aylık ve yıllık bazda planlamakta ve operasyonel ikmal planlarını günlük bazda güncellenmektedir.

2.3 Mevcut sistem analizi

Mevcut sistem analiz edilerek balık kılıçığı diyagramları oluşturulmuştur. Akaryakıt İkmal ve Optimizasyon Departmanı'nın aylık ve yıllık akaryakıt ikmal planlamalarını geçmiş verilere ve kendi tecrübelerine dayanarak yaptığı

tespit edilmiştir. Operasyonel güncellemeleri yaparken şirket çalışanının birden çok dosyadan gerekli olan verileri aldığı ve bu dosyaların güncelleme esnasında kullanılmayan birçok veri içerdiği gözlemlenmiştir. Mevcut sistemin analizinden sonra süreç içinde gerekli olan bir dizi manuel işlemin zaman kaybına neden olduğu sonucuna varılmıştır.



Figür 1. Balık Kılıcı Diyagramı

3.Problem Tanımı ve İlgili Literatür

Birçok tedarikçiye üç farklı taşıma yöntemiyle akaryakıt ikmalı yapan Shell & Turcas Petrol A.Ş. taktiksel düzeyde tedarikçi ve taşıma yöntemi seçimlerini bahsi geçen araç ve sistemler ile yapmaktadır. Operasyonel düzeydeki verilerin işlenmesinde gerekli olan manuel işlemler karar süreçlerinin gereksiz uzamasına sebep olmaktadır.

Problemın tanımı yapıldıktan sonra projeye literatür taramasıyla başlanmıştır. Akaryakıt tedarik zinciri yönetimi, rafinerilerden terminallere boru hattı ile taşıma ve içe yönelik lojistik ile ilgili çalışmalar ayrı ayrı incelenmiştir.

Ham petrolün tedarik zinciri planlanmasını konu alan literatür çalışmaları taranmıştır. Ronen(1995) rafinerilerden terminallere akaryakıt tedarik zinciri planlaması üzerine yaptığı çalışmada rafinerilerden terminallere boru hattı, tren, gemi ve tanker olacak şekilde dört farklı taşıma yöntemi belirlemiştir. Ayrıca, tedarik sırasında güvenli stoğun korunmasını da amaçlamıştır. Ronen'e ek olarak, Uzar ve Çatay(2012)'ın akaryakıt ikmalı rotalama problemi ile ilgili çalışması, Popovic(2012), Bector(2011)'un petrol ürünleri için envanter yönlendirme problemi çalışmaları Neiro(2003)'un petrol ürünlerinin kalitesini düşürmeden ürün tedarikini amaçlayan çalışması, Batta vd. (2013)'un petrol ürünlerinin en doğru şekilde taşınması üzerine yaptıkları çalışmalar, Elaldı (2011)'nın petrol ürünlerinin taşınma risklerini anlatan araştırması, Neiro(2003)

ve Ümit(2002)'in zararlı madde taşınımı üzerine yaptığı çalışmalar, Rejowski vd.(2003)'nun, Relvas(2013)'in farklı türdeki ürünlerin boru hattı ile taşınması ile ilgili çalışmaları buna ek olarak Magalhães vd. (2003)'in rafinerilerden terminallere boru hattı taşınımı araştırmaları ve Arayapan vd. (2009)'un taşıma modu seçerek, bu moddan en az maliyetle lojistik planlaması yaptığı çalışma problemin çözüm sürecinde problemi anlamak ve çözmek için önemli referanslar olmuşlardır.

4. İzlenen Yöntem ve Uygulamaları

Problem tanımı yapıldıktan sonra proje kapsamında karar destek sistemi tasarlanmasına karar verilmiş ve sistem iki modüle ayrılmıştır. Modüller ayrı ayrı oluşturulduktan sonra birleştirilerek karar destek sistemi tasarımı tamamlanmıştır.

İlk modülde, toplam maliyeti azaltmak ve ikmal kararlarını iyileştirmek amaçlanmıştır. Yıllık gemi kiralama ve tedarikçi sözleşmelerine karar vermek için yıllık model oluşturulmuş, bu modelin planlama süresi 12 ay olarak alınmıştır. Alınan yıllık kararların her ay için gün gün planlamasını yapabilmek amacıyla aylık model oluşturulmuş, bu modelin planlama süresi ise ortalama 30 gün olan belirlenmiştir.

İkinci modülde, operasyonel veri güncellemelerinin tek tuşla yapılabilmesi için otomatikleştirme çalışmaları yapılmış ve kullanıcı dostu bir karar destek sistemi tasarlanmıştır.

4.1 Matematiksel Model

Şirketin mevcut yılda ne kadar ürünü hangi tedarikçiden ve hangi taşıma yöntemi ile alması gerektiğini belirlemek için yazılmıştır. Modelin amacı en düşük satın alma, taşıma ve envanter maliyetini verecek sonucu bulmaktır. Yıllık modelin mecburi stok zorunluluğu, lojistik ve ekonomik kısıtlar olmak üzere üç tane ana kısıtı vardır.

Parametrelerine ve karar değişkenlere Ek'1 de değinilen yıllık model aşağıda gösterilmiştir:

$$\text{Min } \sum_i \sum_t \sum_s (PC_{its} \cdot (\sum_n P_{itns})) + \sum_m (v_m \cdot RC_m) \sum_i \sum_t [(\sum_{s=4}^9 \sum_m (w_{itm}) \cdot TC_{i2s}) + (\sum_{n=3}^4 \sum_{s=4}^9 TC_{ins} \cdot (P_{itns}))] \sum_i \sum_t I_{it} \cdot ICost_{it}$$

$$s.t \sum_{n=1}^4 \sum_{s=1}^7 P_{itns1} + I_{i(t-1)1} = I_{it1} + D_{it1} \quad \forall i, t \quad (1)$$

$$\sum_{n=1}^4 \sum_{s=1}^7 P_{itns2} + I_{i(t-1)2} = I_{it2} + b_{it} \quad \forall i, t \quad (2)$$

$$P_{it3} + I_{i(t-1)3} = I_{it3} + c_{it} \quad \forall i, t \quad (3)$$

$$\sum_{n=1}^4 \sum_{s=1}^7 P_{itns1} + I_{i(t-1)1} \geq D_{it1} \quad \forall i, t \quad (4)$$

$$b_{it} + c_{it} \geq D_{it2} \quad \forall i, t \quad (5)$$

$$\sum_i \sum_{n=1}^4 \sum_{s=1}^7 P_{itnse} + P_{it3} + I_{i(t-1)} \geq CSO \quad \forall t \quad (6)$$

$$\sum_{n=1}^4 \sum_{s=1}^7 P_{itnse} + I_{i(t-1)e} \leq CAP_{ie} \quad \forall i, t \quad (7)$$

$$P_{itns} \leq TCAP_n \quad \forall i, t, s, n \in \mathbb{N} \setminus \{2\} \quad (8)$$

$$P_{it2s} \leq TCAPV_m \cdot w_{itms} \quad \forall i \in I \setminus \{3\}, t, m, s \in S \setminus \{3,8\} \quad (9)$$

$$w_{itms} \leq v_m \quad \forall i \in I \setminus \{3\}, t, m, s \in S \setminus \{3,8\} \quad (10)$$

$$\sum_{s \in S \setminus \{3,8\}} \sum_{i \in I \setminus \{3\}} w_{itms} \cdot d_{ism} \leq 30 \quad \forall t, m \quad (11)$$

$$P_{itns} \geq 0 \quad \forall i, t, n, s \quad (12)$$

$$I_{it} \geq 0 \quad \forall i, t, n, s \quad (13)$$

$$v_m, w_{itms} \in \{0, 1\} \quad \forall i, t, m, s \quad (14)$$

4.2 Sezgisel Algoritma

Geliştirilen modellerin profesyonel çözücü gerektirmesi, gerçek veri boyutlarında çözüm sürelerinin uzun olması sebebi ile şirketin günlük kullanımı için sezgisel algoritmalar geliştirilmiştir. Karar destek sistemine geliştirilen bu algoritmalar entegre edilmiştir. Sezgisel algoritmalarda matematiksel model de olduğu gibi yıllık ve aylık kırılımlar kullanılmıştır. Yıllık kırılımda geliştirilen sezgisel algoritma bütün ikmal seçeneklerinin operasyonel maliyetlere ve satın alma maliyetlerine göre karşılaştırır. En düşük maliyeti veren terminali seçip bu terminalin taleplerine ve mecburi stok zorunluluğuna göre terminal için bir ikmal planlaması oluşturur. Bu planlamalar ışığında şirketin yıllık kontratlarını ve gemi kiralama sözleşmelerini yapması amaçlanmaktadır. Yıllık kırılımda geliştirilen sezgisel algoritma Ek 2’de gösterilmiştir.

Aylık kırılımda geliştirilen algoritma yıllık algoritmadaki verileri kullanarak aylık ikmal planlamalarını oluşturmaktadır. Aylık ikmal planlamalarında benzinin veya dizelin hangi terminalden ne zaman ve ne kadar miktarda temin edilmesi gerektiğine karar verilmektedir.

4.3 Mevcut sisteme uyarlama

- Uygulama planı ve uygulanmaya alınma

Şirketin kurulan sistemi rahatlıkla kullanabilmesi, ileride sistem üzerinde rahatça güncelleme yapabilmeleri için kullanıcı kılavuzları hazırlanmıştır. 18-19 Nisan 2017’de karar destek sisteminin kurulumu gerçekleştirilmiştir.

5.KAJU Karar Destek Sistemi

KAJU karar destek sistemi üç ana başlıkta açıklanmıştır:

5.1 Veri güncellemesinin otomatikleştirilmesi

Projede manuel güncelleme için harcanan süreyi azaltmak ve daha hızlı bir güncelleme sistemi tasarlamak için veri güncellenmesi otomatikleştirilmiştir. Veri güncellemesinin otomatikleştirilmesine veri konsolidasyonu ile başlanılmış güncelleme için kullanılmayan veriler sistemden çıkartılarak gerekli olanlar birleştirilmiştir. Bu işlemden sonra güncellemelerin yapıldığı mevcut dosya tekrar tasarlanmıştır. Tasarlanan yeni dosyaya verilerin Visual Basic Applications programlama diliyle yapılan kodlamalarla otomatik bir şekilde çekilmesi sağlanmıştır. Ayrıca, tasarlanan dosya şirketin kullandığı dosyaya göre daha detaylı olup bu dosyada operasyonel ikmal planlaması için gerekli olan tüm veriler toplanmıştır. Böylece, çalışanın birden çok dosyadan veri

[illegible]

Figür 2. Veri güncelleme dosyası örneği

Sezgisel algoritmaların karar destek sistemine kolay bir şekilde entegre edilmesi için algoritmalar Visual Basic Applications programa dili kullanılarak kodlanmıştır. Böylece, veri güncellemesi için tasarlanmış olan dosyaya algoritmalar kolayca entegre edilmiştir.

Veri güncellemesi için tasarlanan dosya şirketin operasyonel planlamaları için gerekli olan bütün günlük verileri almaktadır ve kullanıcıya raporlamaktadır. Raporlama dosyası figür 2’de gösterilmiştir.

6. Sonuçlar ve Genel Değerlendirme

İyileştirilmiş Optimizasyon Kabiliyeti: Aylık ve yıllık ikmal planlaması ile günlük ikmal zinciri yönetiminde matematiksel programlamadan faydalanılacağı için şirket optimizasyon ve planlama süreçlerini daha rasyonel bir zemine oturtmayı ve bu sayede yıllık 1-3 milyon dolarlık ilave finansal fayda üretmeyi beklemektedir.

181

KAYNAKÇA

- Arayapan, K., Warunyuwong, P. 2009. "Logistics Optimization: Application of Optimization Modeling in Inbound Logistics," M.S. Dept. Mechanical Eng. Mälardalen University.
- Batta, R., Kwon, C. 2013. "Handbook of OR/MS Models in Hazardous Materials Transportation." Springer, New York
- Boctor, F.F., Renaud, J., Cornilier, F. 2011. "Trip Packing in Petrol Station Replenishment." *Omega*, 39, 86–98.
- Elaldı, P. 2011. "Intermodal Transportation of Hazardous Materials with Supplier Selection: Application in Turkey." *Industrial Engineering*, 24
- Fernandes, L. J, Relvas, S., Barbosa-Povoa, A.P. 2013. "Strategic Network Design of Downstream Petroleum Supply Chains: Single versus Multi-entity Participation." *Chemical Engineering Research and Design*, 91, 1557–1587.
- Leonelli, P., Bonvicini, S., Spadoni, G. 2000. "Hazardous Materials Transportation: A Risk Analysis Based Routing Problem." *Journal of Hazardous Materials*, 71, 283-300.
- Magalhães and Shah Magalhães V., Shah N. 2003. "Crude Oil Scheduling", M.S. Dept. Chemical Eng. Imperial College London.
- Neiro, S., and J.M Pinto. "Supply Chain Optimization of Petroleum Refinery Complexes." Web. 2 Nov. 2016
- Perboli, G., Tadei, R., Vigo, D. 2011. "The Two-Echelon Capacitated Vehicle Routing Problem: Models and Math-Based Heuristics." *Transportation Science*, 45, 364-380.
- Popovic, D., Vidovic, M., Radivojevic, G. 2012. "Variable Neighborhood Search Heuristic for the Inventory Routing Problem in Fuel Delivery." *Expert System with Applications*, 39, 13390- 13398.
- Rejowski, R., Pinto, J. 2003. Scheduling of a Multiproduct Pipeline System, *Computers and Chemical Engineering*, 27, 1229–1246.
- Relvas, S., Suelen, N. et. al. 2013. "Integrated scheduling and inventory management of an oil products distribution system" *Omega*, vol. 41, issue 6, pages 955-968
- Ronen, D. 1995. Dispatching Petroleum Products" *Operational Research*, 43(3), 379-387
- Turcas.com.tr.(2016). *Turcas Petrol A.Ş.*[online] Available at: <http://www.turcas.com.tr/en/yazi.php?id=19> [Accessed 14 Nov. 2016].
- Umit, H. 2002. " GIS Based Analysis for Transportation of Hazardous Materials From Different Perspectives." *Industrial Engineering*, 28
- Uzar, M.F., Catay, B. 2002. "Distribution Planning of Bulk Lubricants at BP Turkey", *Omega*, 40, 870-881.

EKLER

Ek 1. Yıllık Modelin Parametreleri ve Karar Değişkenleri

1 Parametreler

I: Terminal sayısı (1: MDH, 2: Gebze, 3: Samsun, 4: Kırıkkale, 5: Aliağa, 6: Körfez, 7: Mersin ,8: Antalya Çekisan)

T: Planlama süresi.

N: Taşıma modu sayısı. (1: Boru hattı, 2: Gemi, 3: Karayolu, 4: Tren)

S: Tedarikçi sayısı. (1: Aliağa Rafineri 2: İzmit Rafineri, 3: Kırıkkale Rafineri, 4: Üçüncü Parti tedarikçi #1, 5: Üçüncü Parti tedarikçi #2, 6: Üçüncü Parti tedarikçi #3, 7: Üçüncü Parti tedarikçi #4, 8: İthal)

M: Kiralanabilecek gemi seçenekleri sayısı

Ürün= {A: Benzin, B: Ulusal Dizel, C: Transit Dizel}

CSO: Zorunlu stok seviyesi (EPDK tarafından belirlenmiştir).

m: güvenlik stoğu seviyesi

1.1 Maliyet Parametreleri

Taşıma Maliyetleri:

- TC_{ins} : Tedarikçi s'ten taşıma yöntemi n ile terminal i'ye taşıma maliyeti. ($n=2,3,4, i \in I, s \in S$)
- RC_m : Gemi m'in kira maliyeti. ($m \in M$)

Satın Alma Maliyetleri:

- PCA_{its} : t anında tedarikçi s'ten i terminali için benzin fiyatı. ($s \in S, s \neq 8, t \in T, s \in S$)
 PCB_{its} : t anında tedarikçi s'ten i terminali için dizel fiyatı ($i \in I, t \in T, s \in S$)
 PCC_{it} : t anında i terminali için ithal dizel fiyatı.
- $ICost_{it}$: Inventory Cost for i^{th} terminal at time t. ($i \in I, t \in T$)

1.2 Talep:

- DA_{it} : Demand of gasoline from i^{th} terminal at time t. ($i \in I, t \in T$)
 DB_{it} : Demand of diesel from i^{th} terminal at time t. ($i \in I, t \in T$)

1.3 Kapasite:

- $CAPA_i$: i terminalinin benzin tank kapasitesi. ($i \in I$)
 $CAPB_i$: i terminalinin ulusal dizel tank kapasitesi. ($i \in I$)
 $CAPC_{it}$: i terminalinin transit dizel tank kapasitesi. ($i \in I, t \in T$)
- $TCAP_n$: Taşıma yöntemi n'in kapasitesi ($n \in N / \{2\}$)
- $TCAPV_m$: Gemi m'in kapasitesi ($m \in M$)
- d_{ism} : Tedarikçi s'ten m gemisi ile terminal i'ye teslimat süresi. ($i \in I, m \in M, s \in S \setminus \{8\}$)

2 Karar Değişkenleri

2.1 Satın Alınan Ürünün Tonu

- PA_{itns} : t anında tedarikçi s'ten taşıma yöntemi n ile terminal i'ye alınan benzin miktarı. ($i \in I, t \in T, n \in N, s \in S \setminus \{8\}$)
 PB_{itns} : t anında tedarikçi s'ten taşıma yöntemi n ile terminal i'ye alınan ulusal dizel miktarı ($i \in I, t \in T, n \in N, s \in S \setminus \{8\}$)
- PC_{it} : t anında i'ye ithal edilen transit dizel tonu. ($i \in I \setminus \{4\}, t \in T$)

2.2 Gemi Kiralama ve Kullanımı

- v_m : 1 eğer gemi m kiralandıysa, 0 kiralanmadıysa. ($m \in M$)
- w_{itms} : 1 eğer gemi m terminal i'ye tedarikçi s'ten t anında ürün taşıdıysa zaman t, 0 taşımadıysa ($i \in I \setminus \{4\}, t \in T, m \in M, s \in S \setminus \{3,8\}$)

2.3 Envanter Seviyesi

- IA_{it} : t anında i terminalindeki benzin envanteri. ($i \in I, t \in T$)
 IB_{it} : t anında i terminalindeki ulusal dizel envanteri. ($i \in I, t \in T$)
 IC_{it} : t anında i terminalindeki transit dizel envanteri ($i \in I, t \in T$)
- I_{it} : i terminalindeki toplam envanter seviyesi ($i \in I, t \in T$) $I_{it} = \{IA_{it}, IBB_{it}, IC_{it}\}$

Ek 2. Kullanıcı Arayüzü Ana Sayfası



Ek 3. Aylık Tedarik Planı Görüntüleme Sayfası Örneği

Antalya

×

AYLIK TEDARİK PLANI GORUNTULEME SAYFASI

ANTALYA TERMINALI



Bilkent Üniversitesi
Endüstri Mühendisliği Bölümü



Ürün

☒ Benzin

☐ Dizel

Ay Seçimi

Tüm Yıl

Tedarikçi Seçimi

Bütün Teminciler

Getir

TÜPRAS

Gemi	Tanker	Boruhatti
Korfez Tupras'tan: 36 ton. Aliaga Tupras'tan : 36 ton.	Korfez Tupras'tan: 12 ton. Aliaga Tupras'tan: 12 ton. Kırıkkale Tupras'tan: 12 ton.	Korfez Tupras'tan: 12 ton. Aliaga Tupras'tan: 12 ton. Kırıkkale Tupras'tan: 12 ton.

3. PARTİ

Intank

12 ton.

Antalya

×

AYLIK TEDARİK PLANI GORUNTULEME SAYFASI

ANTALYA TERMINALI



Bilkent Üniversitesi
Endüstri Mühendisliği Bölümü



Ürün

☐ Benzin

☒ Dizel

Ay Seçimi

Tüm Yıl

Tedarikçi Seçimi

Bütün Teminciler

Getir

TÜPRAS

Gemi	Tanker	Boruhatti
Korfez Tupras'tan: 0 ton. Aliaga Tupras'tan : 0 ton.	Korfez Tupras'tan: 0 ton. Aliaga Tupras'tan: 0 ton. Kırıkkale Tupras'tan: 0 ton.	Korfez Tupras'tan: 0 ton. Aliaga Tupras'tan: 0 ton. Kırıkkale Tupras'tan: 0 ton.

3. PARTİ

İthal

Intank

0 ton.

Gemi

0 ton.

İstatiksel Araçlar Kullanılarak Talep Tahmin Sistemi Tasarımı

SunExpress

Proje Ekibi

Buket Gürsoy
Bahadır Köşger
Ebru Kanlı
Mustafa Mutlu
Ege Onur
Gülce Yiğit

Endüstri Mühendisliği
Bilkent Üniversitesi
06800 Ankara

Şirket Danışmanı

İpek Aral
SunExpress, İş Analisti

Akademik Danışman

Yrd. Doç. Dr. Cem Tekin
Bilkent Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği

ÖZET

Sun Express Havayolları ve Bilkent Üniversitesi iş birliğiyle yürütülen bu projede hedef, Sun Express'in uçtuğu farklı rotalar için uçuş doluluk oranlarının kısa ve uzun vadedeki tahminlerinin iyileştirilmesidir. Bu süreçte öncelikle farklı tahminleme metotları sınanmış, farklı tahminleme yazılımları kullanılmış ve birtakım değerlendirme kriterleri neticesinde farklı metotların tahmin sonuçları karşılaştırılarak minimum hatayla tahminleme yapan modeller seçilmiştir. Tahminleme sürecinde eldeki verinin içeriği sebebiyle ağırlıklı olarak zaman bazlı (gün, ay, yıl) değişkenler kullanılmıştır; bu değişkenlere ek olarak uçuş doluluk oranlarına etki eden bazı ekonomik veriler (tüketici güven endeksi) de tahminleme modeline eklenmiştir. Proje sonunda aylık bazda ortalama %4-5 hatayla tahminleme yapan bir sistem elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Doluluk oranı, talep tahminleme, regresyon, yapay sinir ağı

1.Şirket Tanıtımı

Sun Express,1989 yılında, Türk Havayolları ve Lufthansa eşit ortaklığı ile hayata geçen bir havayolu şirketidir. İlk *charter* uçuşunu Antalya ile Almanya güzergâhında gerçekleştiren şirketin hali hazırda 63 uçaktan oluşan bir filosu bulunmakta olup, 107 destinasyona sefer yapmaktadırlar. 2015 yılı verilerine göre yılda 8 milyondan fazla yolcuya hizmet veren havayolunun filosu 141.601 saatlik bir toplam uçuş süresine ve % 85,4'lük bir doluluk oranına sahiptir. Şirketin İzmir, Antalya ve Almanya'da birer merkezi bulunmaktadır.

2.Proje Tanıtımı ve Mevcut Sistem Analizi

Bu bölümde mevcut sistem analizi ve yapılacak projenin içeriği anlatılacaktır.

2.1. Mevcut Sistem Tanımı

SunExpress Havayolu şirketinin, hali hazırda filosunda bulundurduğu uçak tipi Boeing 737 tipi uçaklar olup, bu uçaklar uçuş başına 189 yolculuk bir kapasiteye sahiptir. Şirketin inisiyatifinde yapılan çifte rezervasyonlarla uçuş başına düşen yolcu sayısı 190 ila 195'e kadar çıkabilmektedir. Şirket *seat-only* ve *charter* olmak üzere iki çeşit bilet satış yöntemi izlemektedir. *Seat-only* satışlar, bireylerin kişisel talepleriyle yapılan tek koltuk üzerinden satışlardır. Bunun yanında Charter satışlar üç farklı yöntem ile yapılmaktadır. Bu yöntemlerden ilki sabit satışlardır ve turizm acentelerinin belirttiği miktarda koltuk üzerinden taraflar arasında yapılan bir antlaşma yapılır. Bu yöntemle satılan biletlerde SunExpress bilet iptali ve boş kalan koltuklar konusunda turizm acentesine geri ödeme yapmaz. İkinci yöntem *pro-rata* olarak tabir edilir; bu satış yönteminin bir öncekinden farkı boş kalan her koltuktan SunExpress'in sorumlu olmasıdır. Son yöntem ise havuz satışlardır; bu satış tipinde boş kalan koltuklar bir havuzda toplanır ve turizm acenteleri talebe göre bu havuzdan fazladan koltuk alabilirler. Bu üç yöntem arasındaki fiyat kıyaslaması yüksek fiyattan düşük fiyata göre şu sıra ile ilerlemektedir: havuz satışlar, *pro-rata* satışlar, sabit satışlar.

2.2. Proje Amaçları ve Kapsamı

Projenin genel amacı kullanıcı dostu ara yüze sahip bir tahminleme sisteminin geliştirilmesi ve bu ara yüz sayesinde SunExpress çalışanlarına aylık bazda yapılan isabetli tahminler sağlayarak şirketin finansal planlarının iyileştirilmesidir. Tahminleme sistemi ara yüzünde günlük, aylık ve yıllık tahminlemelere erişim sağlanmıştır. Bu tahminlemelerin yanında çeşitli yardımcı özellikler eklenmiştir. Tahminlemeleri çeşitli zaman aralıklarına bağlı olarak özetleyen tablo ve grafikler, günlerin ayrı ayrı etkisini gösterebilen, Türkiye'deki turizm ve ticaret hacminin etkisini tahminlemeye dahil edebilen ve resmi tatil günlerinin etkisini göz önünde bulundurabilen bir senaryo yöneticisi ve kullanıcıların ara yüzü verimli bir şekilde kullanmaları konusunda yardımcı olan bir kullanıcı rehberi bu yardımcı özelliklerin arasındadır.

Tahminleme arayüzünün bel kemiği oluşturduğumuz tahminleme sistemidir. Bu sistem şirketten sağlanan önceki uçuşlara ait verileri farklı tahminleme metotları ile değerlendirip en az hata payına sahip olan metotlar aracılığıyla farklı zaman aralıklarına göre tahminlerde bulunmaktadır. Geliştirilen tahminleme sistemi hata paylarının ölçülmesi ve metotların seçilmesi işlemini yaparken şirket talebi üzerine aylık alt toplamı ve aylık hata payını göz önünde bulundurmaktadır. Sistemin geçmiş senelerde filosunu ve operasyonlarını büyüten SunExpress'in doluluk oranlarını tatmin edici bir seviye tahminlemesi beklenmektedir.

3.Problem Tanımı

Bu bölümde belirtiler ve şikâyetler açıklanacak, bunlara bağlı olarak da problemin tanımı yapılacaktır.

3.1. Belirtiler ve Şikâyetler

Mevcut sistem analizinden hareketle, aşağıdaki şikâyetler ve belirtiler saptanmıştır: Şirketin mevcut tahminleme sistemi artan uçuş sayısı ve operasyonlarla doğru orantıda iyileştirilmemiştir. Bu denge bozukluğu kaynakların şirketçe yeterince verimli kullanılmamasına, dış etkenlerin tahmin üzerindeki etkisinin hızlı bir şekilde gözlemlenememesine ve sonuç olarak arz-talep dengesizliğine neden olabilmektedir.

3.2.Problem Tanımı

Şirket *seat-only* uçuşlar için koltuk doluluk oranını uzun ve kısa vadede istediği doğruluk düzeyinde tahminleyememektedir. Bu asıl problem kendi içinde diğer problemleri doğurmaktadır. Fiyatlandırma planlamaları istenilen düzeyde yapılamamaktadır; boş kalan koltuklardan ötürü kayıp kazanç oluşmaktadır, kaynakların kullanımı en iyileştirilememektedir.

4. Literatür Taraması

Regresyon metotları: Regresyon analizi bağımlı ve bağımsız değişkenler kullanılarak, bu değişkenlerin arasındaki ilişki incelenerek yapılır. Bağımlı değişkenin bağımsız değişkenlerden etkilenip etkilenmemesi, etkileniyorsa bu ilişkinin ne boyutta olduğu belirlenir. Uçak doluluk oranlarının tahminlenmesinde doluluk oranı bağımlı değişken, diğer veriler ise bağımsız değişken olarak kullanılır. Gerçekleşmiş olan uçuşlardan alınan bilgiyle oluşturulan regresyon modeli daha sonra gelecek uçuşların tahminlenmesi için çalıştırılmıştır [1].

Yapay sinir ağları: Yapay sinir ağları, insanlardaki sinir sisteminin ve beyindeki nöronların gözlemlenmesi sonucu ortaya çıkan, yapay nöron adı verilen birimlerden oluşan bir işlem mekanizmasıdır. Bu sistem bilgiyi işleyerek ve öğrenerek çalışır. Projedeki metotlardan biri olarak yer alan yapay sinir ağları ile ilgili Türkiye’de hava durumunu tahminlemede kullanılmaları [5] ve farklı yapay sinir ağı kombinasyonları [6] ile ilgili araştırmalardan proje sırasında yararlanılmıştır.

Benzer endüstri ve bölgelerde yürütülen araştırmalar: Çalışmalara başlamadan önce geçmişte yürütülen çalışmalardan ve araştırmalardan yararlanılmıştır. Bu araştırmalar Amerika Birleşik Devletleri'nde uçakların çıkışı ve varış noktalarını, bölgesel gelir ve demografilerini değerlendirerek yapılan tahminlemeler [2], Nijerya'daki yolcu, uçak türü ve uçak trafiğini değerlendirerek yapılan tahminlemeler [3] ve son yıllarda havacılık endüstrisinde gelişen Türkiye'de, regresyon metotları kullanılarak yapılan tahminlemeler üzerinedir [4]. Görüldüğü gibi bu araştırmalar farklı bölgelerde farklı faktörler göz önüne alınarak yapılan tahminlemelerle ilgilidir ve projemizin ilerleyişinde bir yol haritası çizilmesinde etkili olmuştur.

5. Gözlenen Metotlar ve Uygulamaları

Bu aşamada tahminleme için uygulanan modeller, çalışma prensipleri ve sonucunda oluşturulmuş birleştirilmiş model açıklanmıştır.

5.1. Modellerde Kullanılan Veri Seti

Modellerde AYT-FRA, FRA-AYT, ADB-ASR, ADB-FRA, AYT-ADA destinasyonların mevcut verileri ile beraber; normalize edilmiş değişken değerleri veri seti olarak kullanılmıştır. Veriler değerlendirilirken 2016 yılının verileri girdi verileri içerisine konulmamış; salt test ve validasyon aşamasında 2016 yılına ait tahminlenen değerlerle karşılaştırma amaçlı kullanılmıştır. Yolcu sayısı 190'Nın üzerinde ve 50'nin altında olan uçuşlar; tahminlemenin sağlığı açısından veri setinden çıkartılmıştır.

5.2. Modellerde Kullanılmak Üzere Belirlenen Değişkenler

İlerleyen bölümde bahsedilen üç yöntem içerisinde kullanılmak üzere belirlenen değişkenler şöyledir:

D_i : Gün değişkeni $i=1..7$ (i'inci günü temsil eder)

M_j : Ay değişkeni $j=1..12$ (j'inci ayı temsil eder)

H_z : Tatil günleri değişkeni $z=1..5$ (z'inci şehrin tatil günlerini temsil eder)

R_k : Aynı gün içerisindeki uçuşların sıralaması $k=1..4$ (k'inci uçuşu temsil eder)

C_{zl} : Tüketici güven endeksi değişkeni $z=1..5$, $l=1..5$ (z'inci şehrin l'inci yılına ait tüketici güven endeksini temsil eder)

A_z : Havaalanı yoğunluğu değişkeni $z=1..5$ (z'inci şehrin günlük havaalanı yoğunluğunu temsil eder)

Değişkenler daha önceki konu hakkında yapılan çalışmalar, Sun Express yetkililerinin taleple alakalı gözlemleri ve grup olarak modeli değişkenlere uyarılama kısmındaki saptamalarımız sonucunda belirlenmiştir.

5.3. Lineer Regresyon Modeli

Model geliştirme sürecinde, birçok farklı regresyon modelleri denenmiştir. Bu regresyon modelleri arasından veri setine göre modellerin ortalama hata karekökleri hesaplanmıştır. Ortalama hata kareköklerine göre en iyi regresyon modelinin lineer regresyon modeli olduğuna karar verilmiştir. Bu regresyon modelinde daha önce belirlenen 24 farklı değişken kullanılmıştır.

Daha sonra her bir destinasyondaki uçuş verileri kullanılarak MATLAB kodları yardımıyla bir lineer regresyon modeli oluşturulmuş ve bu uygulama sonucu aşağıdaki tahminleme modeli elde edilmiştir.

$$Y = \text{kesişim noktası} + \sum_{i=1}^n \text{Coeff}_i x \text{Variable}_i$$

Coeff_i = i. değişkenin katsayısı

Variable = i. değişkenin değeri

$$i = 1, \dots, n$$

n = değişken sayısı

Bu model sayesinde bulunan katsayıların değişkenlerin o uçuş için hali hazırda bulunan değerleri ile çarpılması ile birlikte günlük tahminlemeler elde edilmiştir. Antalya- Frankfurt destinasyonu için örnek sonuçlar Ek-1 de görülebilir.

5.4. Yapay Sinir Ağları ile Öngörü Modellemesi

Modelin geliştirilmesi süresince literatürde az rastlanan yöntemler de araştırılmıştır. Araştırmalar sonucunda bu alanda yeni bir modelleme yöntemi olan Yapay Sinir Ağları (YSA) modellemesi ile talep tahmini modelinin daha da geliştirilmesi amaçlanmıştır. YSA, beyin sinir hücresi gibi çalışmakta olup öğrenme yeteneğine sahip paralel dağılmış bir işlemcidir; beyin tarafından komut edilen bir işlevi yerine getirme süreçlerini modellemek için kullanılır. YSA modellemesinde yapılan literatür araştırmalarına dayanarak geri beslemeli ağ mimarileri kullanılmıştır. Zaman serilerinin tahminlenmesinde oldukça başarılı olan geri beslemeli YSA modellemesinde gizli katmandaki nöron sayıları 1'den başlayarak 20'ye kadar denenmiş ve denemeler sonucunda toplam kareler kökü en düşük olan katman sayısı seçilmiştir. Bu bağlamda katman sayısının 12 olmasına karar verilmiştir ve verinin yapısına uygun olarak *Bayesian* öğrenme metodu kullanılmıştır. Sonra karar verilen katman sayısı, öğrenme metodu ve verinin yapısına göre diğer girdilerle beraber MATLAB kullanılarak her bir uçuş için tahminleme yapılmıştır. Bu aşamada girdi verisi olarak talep tahmini yapılacak uçuşun 2016 yılına ait geçmiş verileri hariç geçmiş veriler ve yine bu yıllara ait değişken verileri, hedef verisi olarak 2016 yılına ait değişken değerleri kullanılmış ve bunun sonucunda YSA aracı tarafından bir çıktı veri seti üretilmiştir. Antalya- Frankfurt destinasyonu için örnek sonuçlar Ek-2 de görülebilir.

5.5. Holt-Winters Metodu

Bu metod birbirini tekrar eden, yani sezonsal korelasyon gösteren talep verileri için oldukça kullanışlıdır. Veriyi üç farklı düzenleyici katsayı ve bu katsayılardan oluşturulmuş fonksiyonlardan geçirdikten sonra son senenin girdileriyle bir sonraki senenin tahminlenmesini oluşturur. Kullanılan formüller ve işlevleri aşağıdaki gibidir:

- Trendi hesaplamak için:

$$S(t) = \alpha \frac{D(t)}{c(t-N)} + (1 - \alpha) (S(t-1) - G(t-1))$$

- Mevsime bağlı olmayan seri hesaplaması için:

$$G(t) = \beta (S(t-1) - G(t-1)) + (1 - \beta) G(t-1)$$

- Sezonsal faktörlerin dahilî için:

$$c(t) = \gamma \frac{D(t)}{c(t-N)} + (1 - \gamma) c(t-N)$$

- Son olarak, t periyodundan t+T periyodunu tahminlemek için:

$$F(t, t+T) = (S(t) - T G(t)) c(t+T-N)$$

Bu model, aylık ve haftalık sonuçlar verebilmesi için ekibimiz tarafından Excel programında VBA üzerinden çalışacak şekilde uyarlanmış ve kodlanmıştır. Solver yardımıyla uygun α , β ve γ değerleriyle denenmiş ve yakın tahminler oluşturmuştur. Özellikle sezonsal salınım gösteren turistik uçuşlarda düşük hata paylarıyla 2016'yı tahminlemeyi başarmıştır. Validasyon için kullandığımız 2016 gerçek değerlerinde olağandışı düşüş ve artışlar haricindeki salınımlara adapte olabilmektedir. Bu başarının neticesinde Holt-Winters metodunu birleşik ağırlıklı tahmin fonksiyonumuza dahil etme kararı alınmıştır.

Holt-Winters metodunun olumsuz özelliklerini de göz önünde bulundurursak, trendin birikmiş bir etki yaratabilmesi veya çalışabilmesi ve doğru katsayıları oluşturabilmesi için en az 3 periyod veriye ihtiyaç duyması, yani örneğin 2016'yı tahminlerken 2012'den itibaren uçuş verisi olması gerekliliği gibi sebeplerden ötürü problemimize tek başına bir çözüm teşkil edememektedir. Diğer metotların oluşturduğu tahminleri düzgünleştirmede kullanılması mantıken ön plana çıkmaktadır. Antalya- Frankfurt destinasyonu için örnek sonuçlar Ek-3 de görülebilir.

5.6. Uygulanan Metotlara Ağırlık Atamasıyla Birleşik Öğretim Metodu

Bütün modeller denendikten sonra günlük, haftalık ve aylık bazda en iyi tahminleme yapan modelin farklı olduğu ve her modelin kendi özelliğine göre etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Örneği; Holt-Winters modelinde mevsimsellik ön plana çıkarken, yapay sinir ağları ise öğrenme yeteneğinden dolayı tahminlemeyi daha iyi yapmaktadır. Bu sebeple tahminleme için kullanılan üç modelde ağırlıklar verilerek yeni bir matematiksel model oluşturulmuştur. Öncelikle 2010-2015 veri seti kullanarak 2016 hesaplanmış ve doğrulaması gerçekleşen 2016 veri seti ile yapılmıştır. Daha sonra her modelin 2016'da gerçekleşen her uçuş için hata payı hesaplanmıştır; bir sonraki adımda ise bu üç farklı modele Excel VBA kullanılarak değişen hata paylarına ters orantılı şekilde değerler verilmiştir; bu değerler normalize edilmiştir. Bir sonraki adımda ise MATLAB kullanılarak lineer regresyon ile bu değerlerin veri seti içindeki ağırlıkları hesaplanmıştır. Daha sonra veri setinde yer alan 2010-2015 yılları arasında gerçekleşen uçuşlar girdi olarak kullanılmış ve 2016 yılı tekrar yeni birleştirilmiş modele göre tekrar tahminlenmiştir. Bu tahminleme bir önceki tahminlerle karşılaştırılmış ve bütün modelleri kapsayan bu yeni modelin hata paylarına bakılarak yeniden bir doğrulama yapılmış ve yeni modelin daha iyi olduğu çıkarımına varılmıştır. Daha sonra bu yeni model için bir %95 güven

aralığı oluşturulmuş; her bir destinasyon için tahminlenen uçuşların bu aralıkta seyrettiği gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak bu yeni modelin temeli başta belirlenen üç farklı modele dayanmaktadır; bu üç farklı tahminleme modelinin birleştirilmesiyle yeni model oluşturulmuştur. Modelin arka planında önce üç modelin tahminlemesi yapılmaktadır. Daha sonra bu yeni model kullanılarak üç modele verilen farklı ağırlıklarla beraber yeniden bir tahminleme yapılır. Bütün modelleri kapsayan birleşik model aşağıdaki gibidir:

$$F_{BEST} = W_{ANN} \times F_{ANN} + W_{LINEER} \times F_{LINEER} + W_{HOLT-WIN} \times F_{HOLT-WIN}$$

W_{ANN} : Yapay sinir ağı modeli ağırlığı

W_{LINEER} : Lineer regresyon modeli ağırlığı

$W_{HOLT-WIN}$: Holt-Winters modeli ağırlığı

F_{ANN} : Yapay sinir ağı modeli tahmini

F_{LINEER} : Lineer regresyon modeli tahmini

$F_{HOLT-WIN}$: Holt-Winters modeli tahmini

Antalya- Frankfurt destinasyonu için örnek sonuçlar Ek-4 de görülebilir.

6. Algoritma Doğrulama ve Performans Ölçümlemesi

Bu bölümde algoritma doğrulaması ve performans ölçümlemesi tahminlenen ve gerçekleşen arasındaki hata payı ve bu hata payı kullanılarak güven aralığı hesaplanmıştır.

6.1 Hata Payı Hesaplaması

Modellerimizi işlediğimiz 5 ayrı uçuşun 2015 ve geçmiş verilerini kullanarak 2016 yılının talep tahminlemesi yapıldı. 2016 yılının verilerini kullanmadan elde ettiğimiz sonuçları 2016 yılının gerçek verileri ile kıyaslamayı şu şekilde hesapladık;

$$Hata = \frac{|2016 \text{ gerçekleşen} - 2016 \text{ tahmin}|}{2016 \text{ gerçekleşen}}$$

Bu hesaplama günlük, haftalık ve aylık olarak yukarıda bahsedilen 5 ayrı uçuş için yapılmıştır. “Hata” hesaplamaları sonucunda 3 ayrı modelden çıkan sonuçlar yukarıda bahsedilen “en iyi metot” adını verdiğimiz modelle birlikte bu 3 ayrı modele birer ağırlık atamaktadır. Yani her gün için tek model atamak yerine her modelden verilen ağırlığa göre belirli ölçüde etkiler alınarak yeni bir tahmin yapılmaktadır.

6.2 Güven Aralığı Hesaplaması

Oluşturulan modelin güvenilirliği *t-test* hesabı yapılarak %95 güven aralığında yolcu sayısı ve hata hesaplamasında alt ve üst sınırlar hesaplanmıştır. Bu hesap aylık olarak yapılırken o ayın yapılan günlük tahmine göre aylık ortalaması, standart sapması hesaplanarak *t* tablosunda değer elde edilmiştir. Elde edilen bu *t* değeri ile alt ve üst sınırlar şu şekilde hesaplanmıştır;

$$\text{Alt sınır} = \mu_i - t_i * \sigma_i / \sqrt{n_i}$$

$$\text{Üst sınır} = \mu_i + t_i * \sigma_i / \sqrt{n_i}$$

μ_i = i. ayın ortalaması

σ_i = i. ayın standart sapması

n_i = i. ayın gün sayısı

t_i = i. ayın t tablosundaki değeri

Antalya- Frankfurt destinasyonu için örnek sonuçlar Ek-5 de görülebilir.

7. Senaryolar

Bölüm 8’de bahsi geçen ara yüzün içinde senaryo yöneticisi vardır. Bu bölümde senaryoların neler olduğu, nasıl çalıştığı ve nasıl uygulandığı tartışılmıştır.

7.1 Senaryo Açıklaması

Güncel olarak uçulan pek çok rotanın tahminlemede kullanılabilecek sadece 1 veya 2 senelik verisinin olması alternatif çözüm arayışlarını gerektirmektedir. Ayrıca bu veriler 3 veya 4 senelik olabilse de bazı durumlarda dış etmenlerden ötürü fazla değişkenlik göstermekte ve yetersiz kalmaktadır. Bu durum, veriyi normalize edebilmek için uçuş dışı bazı verilerin veya indikatörlerin kullanılması ihtiyacını doğurmaktadır. Senaryoların kullanım amacı da budur. Bu göstergeler aşağıda sıralanmıştır:

- Kalkış veya varış noktasından yapılan tüm SunExpress uçuşlarının ortalamaları
- Türkiye ihracat ve ithalat endeksi
- Havaalanı yolcu ortalamaları
- Turistik giriş istatistikleri

Bahsi geçen verilerin ilki SunExpress verileri ile oluşturulmuştur. Diğerleri Devlet Hava Meydanları ve TÜİK veri tabanından elde edilmiştir. Bu verileri kullanmanın başlıca avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Geçmişe yönelik verinin fazla ve kolay ulaşılabilir olması
- Verilerin toplam, yani agrega olması sayesinde beklenmedik etmenlerden ve volatiliteden uzak değerler vermesi
- Uçuş yoğunluğuna doğrudan veya dolaylı etmenleri içerisinde barındırması sayesinde tahminlerde düzgünleştirici etki yapabilmesi

Senaryoları tahminlemeye dahil etmenin başlıca dezavantajları da şu şekildedir:

- Rotayı kullanan yolcu profilindeki değişmelerde sonuca olumsuz etki etme. Örneğin; turistik bazlı bir uçuşun ekonomi bazlı bir uçuşa evrilmesi sonucunda turistik giriş istatistikleri yardımıyla yapılan tahminden sapmalar gözlenecektir.
- Senaryo kullanmak bilimselden ziyade sezgisel bir yaklaşım olmaktadır. Elbette korelasyon gösteren R değerleri hesaplanabilir ve buna dayalı kullanımlar yapılabilir, fakat geçmişte korelasyon göstermesi her zaman korelasyon göstereceğine delalet etmemektedir.

- Tahminleme kalitesindeki artışın her bir uçuş için geçerli olacağı garanti edilememektedir.

Bütün bu değerlendirmelerin sonucunda bahsedilen verilerin tahminlemeye eklenmesinin ara yüzde kullanıcıya bir seçenek olarak sunulması kararlaştırılmıştır. Bu kararda şirketin uçuşlar hakkındaki sezgisel bilgisinin iyi olduğunu, yani rotalardaki yolcu profillerinin bilindiğini, dolayısıyla olumlu etki edecek verileri başarıyla seçebileceklerini düşünmemiz de etkili olmuştur.

7.2. Senaryo Metodolojisi

Bahsedilen harici veriler yapay sinir ağları metoduna entegre edilebilmektedir. Örneğin, turistik bir uçuş olduğunu tahmin ettiğimiz ve 2015 için gerçekleşen uçuş yoğunluğu ve turistik giriş sayıları arasında, 0,68 R-kare değeri veren Frankfurt-Antalya uçuşu için yapılan tahminlemeye regüler parametrelere artı olarak bu bahsedilen veri kümesini dahil ettiğimizde, nokta tahminlemelerimizde haftalık hata payının ortalama %9,9'dan %9'a düştüğü gözlemlenmiştir. Aylık içinse bu rakam %6,7'den %6'ya düşüş şeklinde etki etmiştir.

8. Ara Yüz

Sistemin ara yüzü 3 ana sayfadan oluşmaktadır. İlk sayfada sisteme kayıtlı herhangi bir kullanıcı, kullanıcı adı ve parola girerek sisteme giriş yapabilir (Ek-6). İkinci sayfada, kullanıcı tahminleme yapmak istediği çıkış ve varış noktası ile tarihi bu sayfadan seçer (Ek-7). Sonuç sayfası için birkaç seçenek bulunmaktadır. Sadece tahminleme yapılmasını istenilen günün, o günün bulunduğu haftanın-ayın ve o ayın içinde bulunduğu 6 aylık tahminleme sonuçlarının gösterildiği “Sonuç” sayfası, buna ek olarak tahminleme yapılan 6 ayın bir önceki yıl ile kıyaslama yapıldığı grafiğin gösterildiği “Grafikler” sayfası (Ek-8) ya da “Senaryolar” butonu ile bazı değişkenlerin varlığının veya yokluğunun etkisi, farklı seçenekler seçerek gözlemlenebilir (Ek-9).

9. Uygulama Planı

Şirketle yaptığımız mutlak görüşmelerde projenin gidişatı ve beklentileri yönünde geribildirimler alınmaktadır. Daha önce kararlaştırılan stratejimiz üzere, geliştirilecek olan ürün prototip seviyesindedir. Ortaklaşa belirlenmiş olan 6 uçuş 2016 için tahminlenmiş, çıkan sonuçlar gerçekleşen verilerle validasyondan geçirilerek 2017 için tahminleme üretecek katsayılar ve ağırlık değerleri oluşturulmuştur. Söylenildiği gibi oluşturulan ara yüzü bu 6 uçuş için çalışacak bir prototiptir. Şirket IT departmanı algoritmasının ve çalışma mekanizmasının verimli sonuçlar elde ettiğine hemfikir olduğu takdirde bütün uçuşlara uygulanabilmesi için oluşturulacak sürüm için tarif ve kullanım kılavuzu grubumuz tarafından oluşturulacaktır; sözlü ve yazılı olarak yöntem bilgisi paylaşımı gerçekleştirilecektir.

10. Sonuçlar ve Genel Değerlendirme

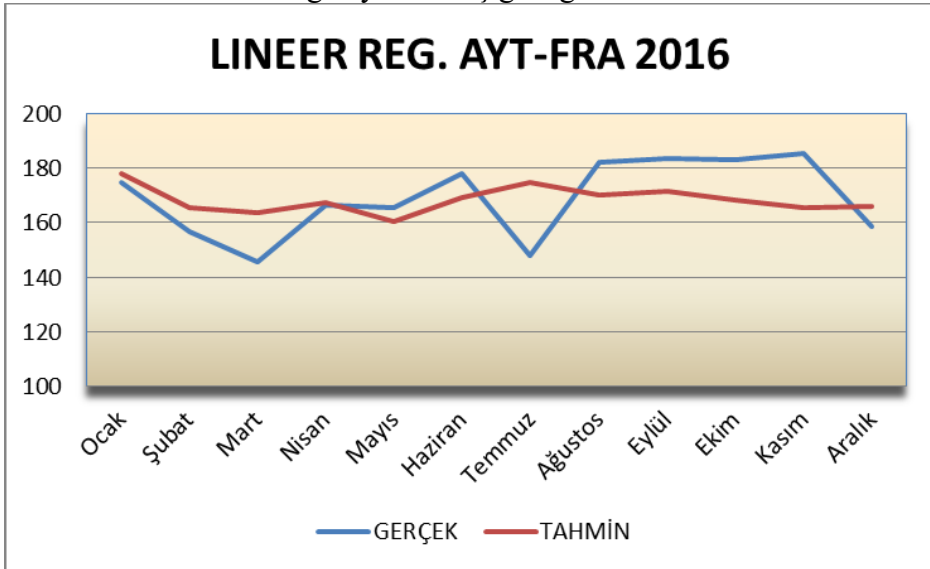
Proje, SunExpress'in 500'ün üzerindeki uçuş rotası için 1 seneye kadar olan talep tahminini ve kullanıcı dostu bir ara yüzü de içeren tahminleme sistemini çıkartarak sunmaktadır. Çok sayıda uçuş olması ve uzun vadeli tahminleme ihtiyacı sebebiyle tahmin doğrulukları için kesin bir sayı verilemeyecek olsa da %95 doğruluk oranı çevresinde yer aldığı söylenebilir. Proje öncesinde şirket tarafından belirtilen tahmin doğruluğunun %80-85 arası olduğu göz önüne alındığında projenin şirkete artı değer kattığı söylenebilir. Proje çıktısı olarak sistem, kullanıcıya tahmin edilmesi istenen uçuşun ve günün seçilebildiği bir ara yüzün içinde ayrıca seçilen ay için de ortalama talep tahminini gözlemleme şansı vermektedir. Ayrıca sistem içinde tahminleme modellerinde kullanılan farklı değişkenlerin tahminler üzerindeki etkisinin de görülebileceği bir senaryolar kısmı da bulunmakta ve kullanıcıya dinamik bir tahminleme imkanı vermektedir. Tahminleme sisteminin içindeki tüm bu özellikler şirketin kısa ve uzun vadedeki her bir uçuş için yolcu doluluk oranlarına erişebilmesini sağlamaktadır. Projenin temeli olan tahminleme sistemi geçmişteki bilgiyi işleyerek gelecek için değerli bilgiye dönüştürür. Havayolu taşımacılığı sektöründe uçuş doluluk oranları, geliri ve dolayısıyla karlılığı etkileyen başlıca etmen olduğu için daha isabetli tahminlerin uçuş operasyonlarının verimliliğini artıracak yadsınamaz bir gerçektir. Proje de bu noktada SunExpress'e günlük nokta tahminler vererek ileriye dönük daha doğru kararlar almalarını sağlayacaktır. Bu kararlar, bilet fiyatlarının belirlenmesinden bir rota üzerindeki uçuş sayısının günlük, aylık, yıllık tayin edilmesine kadar farklı alanları kapsamaktadır. Örneğin, talep tahminin yeterli gözükmediği rotalarda yolcu sayısını artırmak adına aksiyonlar alınabilir. Ayrıca aylık ve yıllık ortalama uçuş sayısına sahip olacak şirket geleceğe dönük uçuş planlamalarını düzenleyebilir. Planlamalardaki gelişme operasyonel verimliliğin artmasına katkı sağlayacağından şirket kaynaklarının daha verimli kullanılmasını sağlayacaktır. Dolayısıyla projenin şirkete gelir yönetimi açısından gayet faydalı olacağı açıktır. Talep tahminlerine sahip olan SunExpress, pazar payını artırmak adına dinamik kararlar ve aksiyonlar alma şansına sahip olacaktır. Diğer bir deyişle SunExpress'in havayolu sektöründeki rekabetle baş etmesine yardımcı olacak yeni stratejiler geliştirmesini sağlamada proje yararlı olacaktır. Sonuç olarak projenin talep tahminlerini iyileştirerek SunExpress'in ileriye dönük stratejik karar alımlarında yardımcı olacağı öngörülmektedir.

KAYNAKÇA

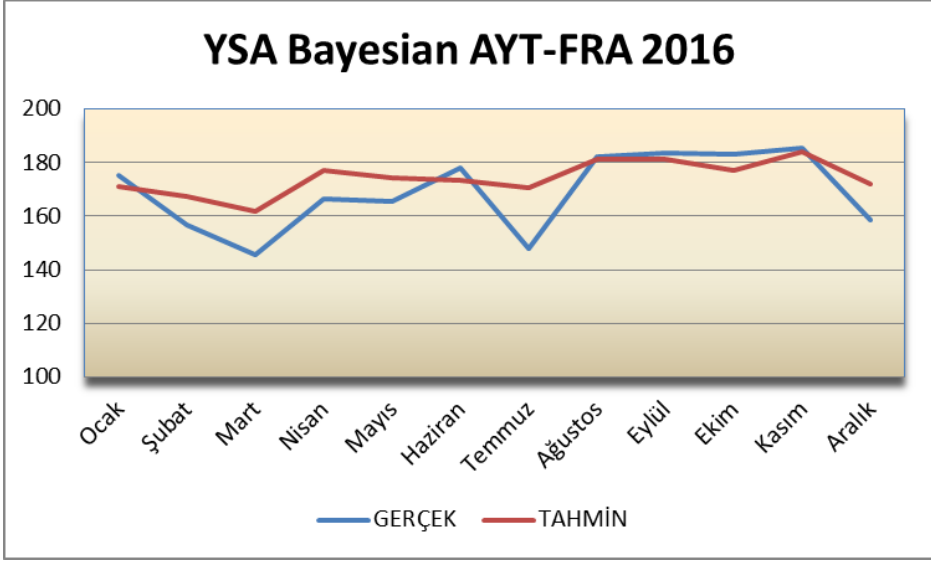
- [kaynak1]T. Hastie, R. Tibshirani, J. Friedman. *The Elements of Statistical Learning*. Springer: 2001
- [kaynak2] A. J. Aderamo, "Demand for air transport in Nigeria,". *Journal of Economics*, vol. 1, pp. 2331, 2010. [Print].
- [kaynak3] D. Bhadra, "Demand for air travel in the United States: bottom- up econometric estimation and implications for forecasts by origin and destination pairs" in *Journal of Air Transportation* Vol. 8, No. 2, 2003.
- [kaynak4] T. Sivrikaya. "Demand Forecasting for Domestic Airlines in Turkey" in *The Open Transportation Journal*.Vol.7, 2013, pp. 20- 26
- [kaynak5]H. Erkamaz, Ö. Yaşar, "Yapay sinir ağı ile hava sıcaklığı tahmini" *5th International Computer & Instructional Technologies Symposium*. Sep. 2011.
- [kaynak6]Z. Zhou, J. Wu, W. Tang, "Ensembling neural networks:Many could be better than all" *Artificial Intelligence*, Vol. 137. pp. 239-263. Nov. 2002.

EKLER

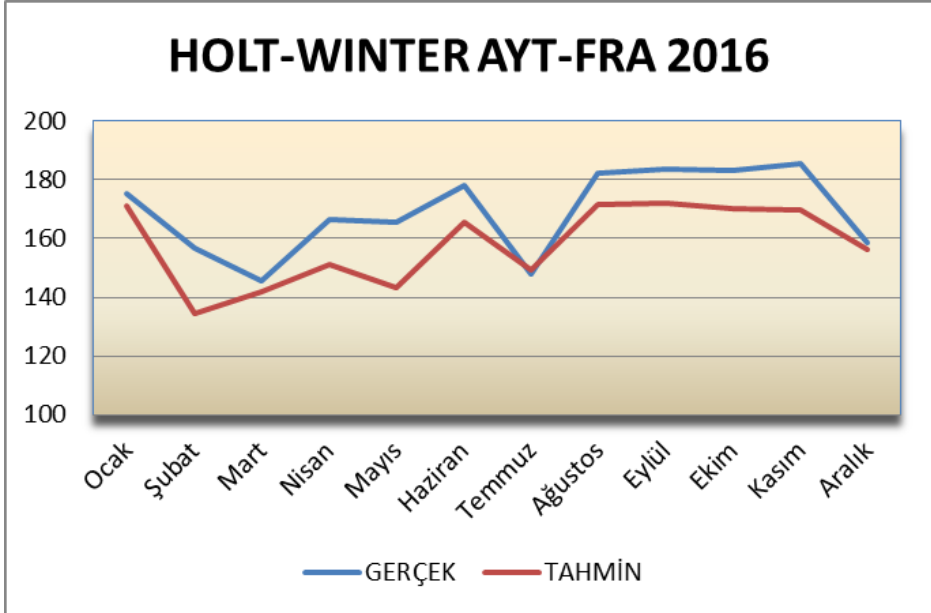
Ek-1 AYT-FRA Lineer Regresyon sonuç grafiği



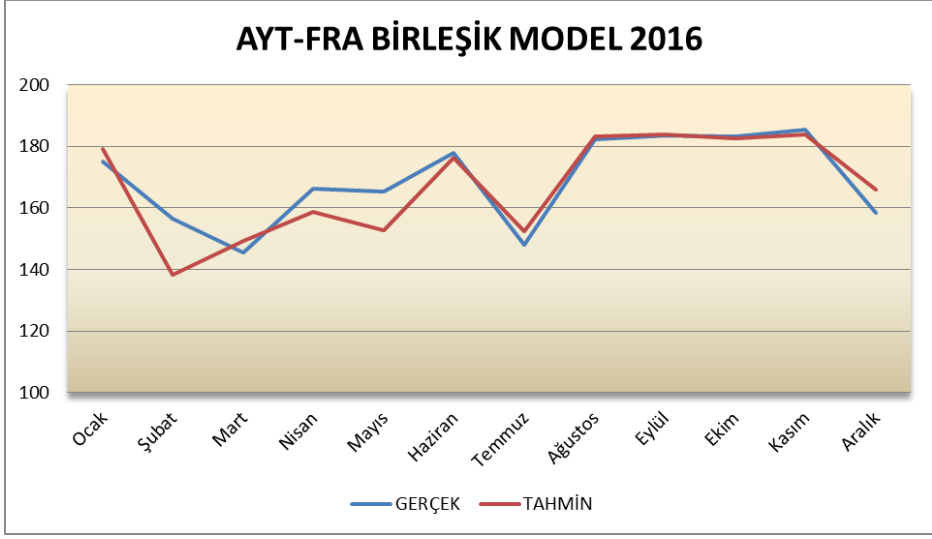
Ek-2 AYT-FRA Yapay Sinir Ağı sonuç grafiği



Ek-3 AYT-FRA Holt-Winters sonuç grafiği



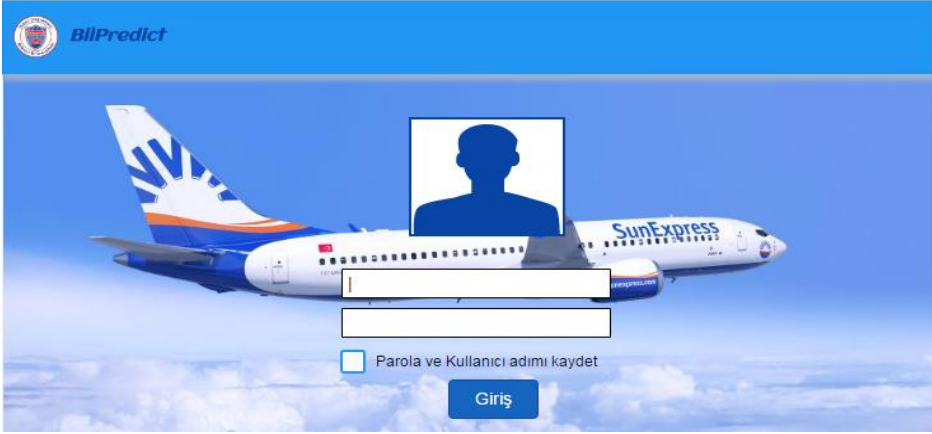
Ek-4 AYT-FRA en iyi tahmin model sonuç grafiği



Ek-5 AYT-FRA uçuşu için güven aralığı tablosu

AYT-FRA							
%95 GÜVEN ARALIĞI İLE 2016 YILI AYLIK				YOLCU SAYISI		HATA ORANI	
AY	GERÇEK	EN İYİ TAHMİN	HATA	ALT SINIR	ÜST SINIR	ALT SINIR	ÜST SINIR
OCAK	178	178	0,0167	174	181	0,016357	0,016364
ŞUBAT	156	165	0,0582	124	187	0,08107	0,081481
MART	145	142	0,024	136	157	0,022593	0,022596
NİSAN	166	167	0,074	157	182	0,043274	0,043423
MAYIS	165	160	0,0295	159	183	0,053689	0,053896
HAZİRAN	177	173	0,0256	172	181	0,027658	0,027719
TEMMUZ	147	149	0,0082	148	152	0,007595	0,007595
AĞUSTOS	182	181	0,0037	182	187	0,012993	0,013004
EYLÜL	183	181	0,0121	182	184	0,017674	0,017692
EKİM	183	176	0,035	183	184	0,021479	0,021494
KASIM	185	184	0,0068	179	184	0,025417	0,025473
ARALIK	158	156	0,0147	154	164	0,012964	0,012966

Ek-6 Arayüzün giriş sayfası



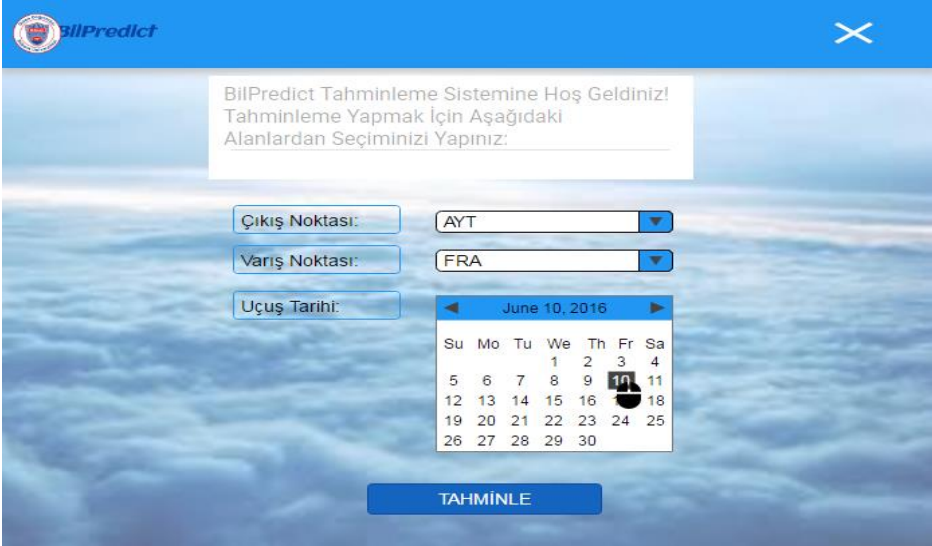
The login page features a blue header with the BilPredict logo. The background shows a SunExpress airplane flying over clouds. A silhouette of a person is centered, with a white rectangular input field below it. Below the input field is a checkbox labeled "Parola ve Kullanıcı adımı kaydet" and a blue "Giriş" button.

BilPredict

☐ Parola ve Kullanıcı adımı kaydet

Giriş

Ek-7 Arayüzün tahminleme yapmak istenilen seçeneğin seçildiği sayfa



The prediction page has a blue header with the BilPredict logo and a close button. A white box contains the text: "BilPredict Tahminleme Sistemine Hoş Geldiniz! Tahminleme Yapmak İçin Aşağıdaki Alanlardan Seçiminizi Yapınız:". Below this are three input fields: "Çıkış Noktası:" (AYT), "Varış Noktası:" (FRA), and "Uçuş Tarihi:" (June 10, 2016). A calendar widget shows the date June 10, 2016, with the 10th highlighted. A blue "TAHMİNLE" button is at the bottom.

BilPredict

BilPredict Tahminleme Sistemine Hoş Geldiniz!
Tahminleme Yapmak İçin Aşağıdaki Alanlardan Seçiminizi Yapınız:

Çıkış Noktası: AYT

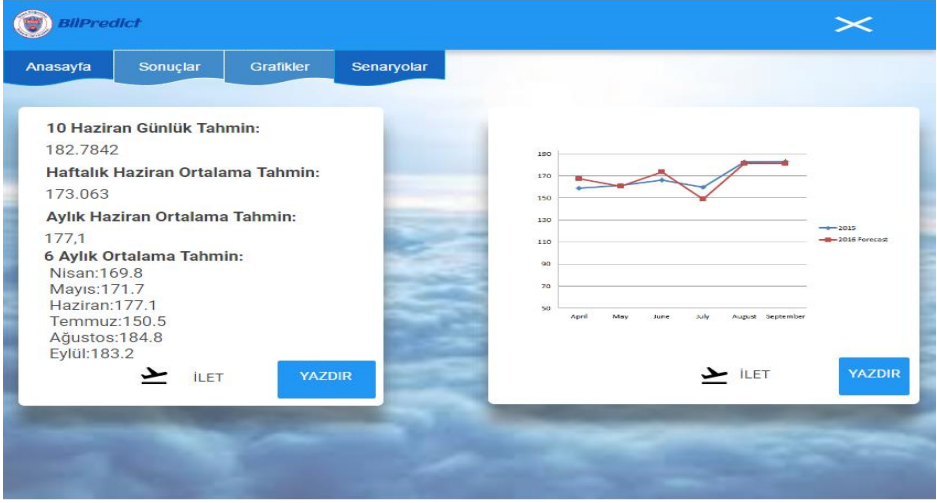
Varış Noktası: FRA

Uçuş Tarihi: June 10, 2016

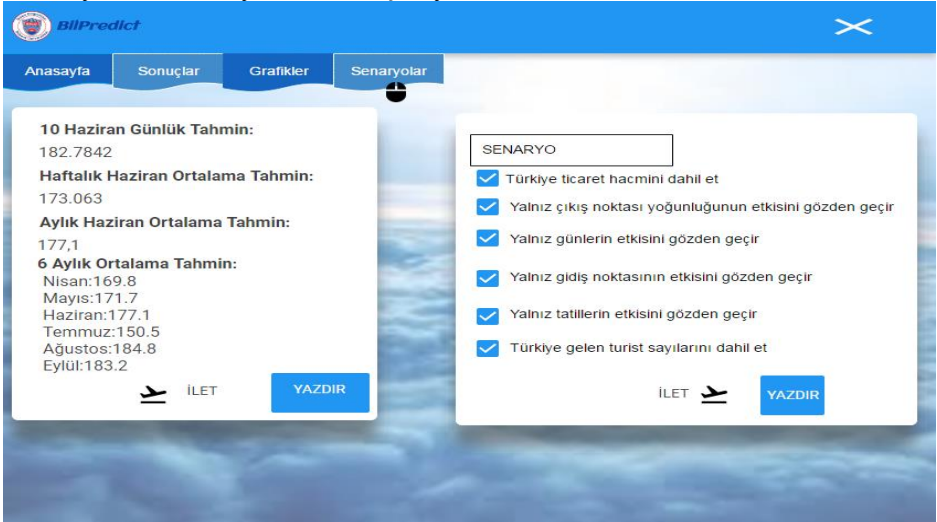
Su	Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30		

TAHMİNLE

Ek-8 Arayüzün Grafik ve Sonuç sayfası



Ek-9 Arayüzün Senaryo ve Sonuç sayfası



Afet Müdahale Faaliyetlerinde Beslenme Hizmetlerinin Performans Ölçümü

Türk Kızılayı

Proje Ekibi

Melisa Nur Ek

Tuğçe Ünlü

Gözde Şen

Dilara Yazıcı

Sinem Karaova

Batu Ülkü

Endüstri Mühendisliği

Bilkent Üniversitesi

06800 Ankara

Şirket Danışmanı

Pınar Özkurt

Türk Kızılayı, Stratejik Planlama Birim Yöneticisi

Akademik Danışman

Yrd. Doç. Dr. Özlem Karsu

Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Türk Kızılayı afet durumunda birçok hizmeti aynı anda faydalanicılara sunarak afet müdahale operasyonlarını yürüten kâr amacı gütmeyen bir kurumdur. Türkiye Afet Müdahale Planı'na belirtilen yönergeler doğrultusunda Beslenme Hizmet Grubu'nda ana çözüm ortağı olan Türk Kızılayı, afet durumunda beslenmeye dair yürütülen tüm operasyonları başarıyla koordine ederek afetzedelere yardımcı olmaktan sorumludur. Bu proje ile Türk Kızılayı'nın beslenme hizmet grubu özelinde gerçekleştirdiği operasyonların performansını ölçecek bir sistem oluşturmak ve bu sayede Türk Kızılayı'nın geliştirilebilir ve başarılı yönlerini bularak, kurumun süreçlerini geliştirmesi, kaynaklarını daha verimli kullanması ve afet sonu raporları ile şeffaflığını arttırması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Performans Ölçüm Sistemi, Performans İndikatörleri, İnsani Yardım

1. Şirket Tanıtımı

Türk Kızılayı 1868 yılında kurulmuş olup Türkiye çapında görev yapmakta olan en büyük ve köklü insani yardım kuruluşudur. Uluslararası Kızılhaç ve Kızılay Dernekleri Federasyonu (IFRC) üyesi olmakla beraber hem Türkiye hem de Ortadoğu’da; hem afet hem de olağan zamanlarda bölgedeki en büyük insani yardım hizmeti sağlayan kuruluş olarak görev yapmaktadır. Bu bağlamda Türk Kızılayı yedi temel ilkeye bağlı kalarak insanî yardımlarını gerçekleştirmektedir. Bunlar, insanlık, ayırım gözetmemek, tarafsızlık, bağımsızlık, gönüllü hizmet, birlik ve evrenselliştir. Türk Kızılayı’nın vizyonu “Türkiye’de ve dünyada, insani yardım hizmetlerinde model alınan, insanların en zor anlarında yanındaki kuruluş olmak”tır. Türk Kızılayı’nın, Türkiye içinde gerçekleştirdiği bölgesel faaliyetlerin çoğu ülke çapına yayılmış olan Türk Kızılayı şubeleri aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Türk Kızılayı’nın afet ve acil durumlarda insani yardımların yanı sıra Türkiye’nin kan ihtiyacının karşılanması, hem ulusal hem de uluslararası sosyal hizmet ve yardım projeleri olmak üzere, Mineralli Su Üretim İşletmeleri ve Çadır Üretim İşletmeleri gibi birçok alanda da faaliyetlerini yürütmektedir. Türk Kızılayı, afet operasyonları sırasında birimler arasındaki koordinasyonu ve iletişimi sağlamak amacıyla 2001 yılında Afet Operasyon Merkezi’ni kurmuştur. Afet zamanı yürütülen insani yardım operasyonlarına iki ana birim müdahale etmektedir. Bu birimler, *afet hazırlık birimi* ve *afet müdahale birimidir*.

Türk Kızılayı’nın yurt içi afet zamanlarındaki görev tanımları ve sorumlulukları Türkiye Afet Müdahale Planı tarafından belirlenmiş olup bunlara uyması beklenmektedir. Bu plan doğrultusunda afet müdahalesindeki farklı hizmet grupları arasındaki koordinasyonun nasıl sağlanacağı ve hangi hizmet grubundan kimlerin sorumlu olduğu belirlenmiş olup; plana göre Türk Kızılayı, Beslenme Hizmet Grubu’nda ana çözüm ortağı olup belirtilen diğer hizmet gruplarında destekleyici çözüm ortağı konumundadır. Bunlar; Haberleşme Hizmet Grubu, Sağlık Hizmet Grubu, Nakliye Hizmet Grubu, Barınma Hizmet Grubu, Psikososyal Destek Hizmet Grubu, Aynı Bağış Depo Yönetimi ve Dağıtım Hizmet Grubu, Uluslararası Destek ve İşbirliği Hizmet Grubu, Ulusal ve Uluslararası Nakdi Bağış Hizmet Grubudur.

2. Proje Kapsamı

Projenin kapsamı Türk Kızılayı’nın afet müdahale operasyonlarındaki beslenme hizmet grubuna yönelik yürüttüğü operasyonlardır. Sunulan çözümde oluşturulan performans ölçüm sistemi ile Türk Kızılayı’nın afet müdahale operasyonlarında, beslenmeye yönelik sağladığı hizmetlerin performansının ölçülmesi hedeflenmektedir. Bununla birlikte yapılan değerlendirmeler Türk Kızılayı’nın güçlü ve geliştirilebilir yanlarını ortaya koyacak; oluşturulacak raporlar ile birlikte de kurumsal şeffaflık arttırılacaktır. Geliştirilen sistemin sağladığı olanaklar ve özellikler şu şekildedir: Bilimsel metotlara dayalı ve

objektif, hesap verilebilirliği arttırıcı ve şeffaflık sağlayıcı, dinamik ve esnek, kullanıcı dostu.

3. Problem Tanımı ve Mevcut Sistem Analizi

3.1 Belirtiler ve Şikayetler

Belirtiler ve şikayetler aşağıda belirtilmiştir. Bunlar:

- Türk Kızılayı'nda halihazırda afet operasyonları sırasındaki performansını ölçmek için kullanılan bir ölçüm sisteminin olmaması. Buna bağlı olarak başarı ölçütlerinin net bir şekilde belirlenmemiş olması da performans ölçme işlemini zorlaştırmaktadır.
- Operasyonlar sonrası paydaşlardan geri bildirim alım mekanizmasındaki iyileştirme ihtiyacı da Türk Kızılayı'nın başarısını belirlemeyi zorlaştırmaktadır. Paydaşlardan alınacak geri bildirim sayesinde Türk Kızılayı'nın operasyonlardaki güçlü ve zayıf yanlarını görmeleri mümkün olacak ve bu noktalar geliştirilebilecektir.
- Afet operasyonları sırasında düzenli olarak belirli zaman aralıklarına göre doldurulan raporlar mevcut sistemde vardır. Ancak bu raporların gelişmeye açık yanları da mevcuttur. Doğru zamanda doğru bilgiye en kısa sürede ulaşabilmek adına mevcut raporlardaki iyileştirme ihtiyacının giderilmesi gerekmektedir.
- Türk Kızılayı'nın mevcut kaynaklarının ulusal çaptaki herhangi bir afet için yeterli olduğu, mevcut sistemde bilinmektedir. Ancak kaynak kullanımının en verimli şekilde gerçekleştirilmesi de geliştirilmeye açık noktalardandır.
- Afet operasyonları yürütülürken, birimler arası iletişimin ve koordinasyonun en iyi şekilde sağlanması gerekmektedir. Afet müdahalelerini yöneten kriz masasında yaşanabilecek herhangi bir eksiklik, raporlama noktasında bazı sorunlar doğurabilir. Dolayısıyla gerektiği anda herhangi bir yetkiliye ulaşabilmek hayati önem taşımaktadır. Mevcut sistemde her yöneticinin ve personelin iletişim bilgileri mevcuttur. Ancak zaman zaman bu iletişim bilgilerinde eksiklikler yaşanmaktadır. Bu da iletişim eksikliğine yol açmaktadır. Dolayısıyla kayıtların ve bilgilerin güncelliği de gelişmeye açık noktalardan bir diğeridir.

3.2 Problem tanımı

Belirtiler ve şikayetler problemin sebeplerini göstermektedir. En temel problem afet operasyonlarının yönetilmesi sürecinde Beslenme Hizmet Grubu temel alınarak; iyi tanımlanmış performans ölçütlerinin olması ihtiyacıdır. Performans ölçütleri, istenen amaca ulaşmak için yapılan operasyonların başarısını değerlendirmek için kullanılan indikatörlerdir (Poister, 2003). Kâr amacı gütmeyen kurum ve kuruluşlar için bu değerlendirmelerin yapılması hem performanslarını geliştirmek hem de şeffaflığı, hesap verilebilirliği sağlamak adına önemli bir rol oynamaktadır (Kinnunen, 2008).

Türk Kızılayı'nın halihazırda performans ölçümü konusunda yürüttüğü raporlama benzeri çalışmalar bulunmaktadır. Bu bağlamda performans ölçütlerinin belirlenmesi ihtiyacının giderilmesi ile Türk Kızılayı kendi başarılı ve geliştirilmeye açık noktalarını tespit ederek afet müdahale operasyonlarında kendini geliştirecektir. Bununla birlikte, operasyonel performans değerlendirmesi ile ilgili paydaşlara hazırlanıp sunulacak raporlar ile şeffaflık da arttırılmış olacaktır. Temelde üç faktör performans ölçümünün yapılabilmesi zorlaştırmaktadır. Bunlar: Dış faktörlere bağımlılık, standardizasyondaki iyileştirme ihtiyacı, iç ve dış bilgi akışındaki iyileştirme gereksinimi.

3.2.1 Dış Faktörlere Bağımlılık

Türkiye Afet Müdahale Planı'na göre Türk Kızılayı Beslenme Hizmet Grubu'nda ana çözüm ortağıdır. Temel sorumluluğu afetin gerçekleştiği bölgede farklı besin türlerinin dağıtımıdır ancak Türk Kızılayı, afet müdahalede ana karar verici organ olmadığı için dağıtımın bitiş zamanı gibi konularda devlet kurumlarına bağlı kalmak durumundadır.

Türk Kızılayı'nın kendi planları doğrultusunda acil durumlar için oluşturduğu besinlerin ulaştırma süreleri, ne zaman hangi besin türünün dağıtılması gerektiği belirlenmiştir. Örnek vermek gerekirse bir afet gerçekleştiği zaman, çay çorba gibi besinleri afet gerçekleştikten sonraki 72 saat içerisinde; sıcak yemeği ilk 72 saat sonrasında afetzedelere dağıtmayı planlamaktadır. Dağıtıma başlanacak zaman bilinmektedir, ancak dağıtımın ne kadar süre yapılacağına dış faktörlere bağlı oluşu ve bu noktadaki belirsizlik kaynakların verimsiz kullanımına sebep olmaktadır. Bu dış faktörler afetin büyüklüğü, afetten etkilenen kişi sayısı, bağlı olunan kurum ve kuruluşlardan gelen direktifler gibi etkenlerdir. Tüm bu dış etkenlerden dolayı afet müdahale operasyonları kesin bir şekilde planlanamamakta ve bu da kaynak kullanımında verimsizliğe sebep olmaktadır.

3.2.2 Standardizasyondaki İyileştirme İhtiyacı

Afet müdahale operasyonlarına bakıldığında bilgi akışı ve karar alma mekanizmalarının zaman ve çalışanlardan etkilenebildiği görülmektedir. Sürece bakılacak olursa, afet bölgesinde ilk olarak bir değerlendirme ekibi araştırma ve ihtiyaç belirleme faaliyetlerini gerçekleştirmekte ve kriz masasından gelen bilgiler doğrultusunda gerekli düzenlemeleri yapmaktadır. Acil Durum Raporu'nu doldurmaktan sorumlu olan bu ekip raporu ilgili yerler olan Afet Operasyon Merkezi'ne ve Bölgesel Koordinasyon Merkezi'ne yollamaktadır. Belirli rapor formatları olmasına karşın belirli kurallar ve yönlendirmeler olmadığı için bu rapor, çalışanın perspektifinden ve geçmiş tecrübe düzeyinden etkilenerек doldurulmaktadır. Ayrıca oluşturulan kriz masasında alınan kararlar bireylerin yetkinliklerine göre farklılık gösterebilmekte, bu da çeşitli etkilenelemelere yol açabilmektedir. Zaman geçtikçe, gözlemlere ve değerlendirmelere göre afet bölgesinden gelen bilgiler güncellenebilmekte; bu

da Türk Kızılayı'nın dinamik bilgilere karşı hızlı karar alabilmesini önemli kılmaktadır. Tüm bu bilgilerdeki değişkenlikler ve zaman zaman rastlanabilen öznel değerlendirmeler afet müdahale operasyonlarında verimsizliklere sebep olmaktadır.

3.2.3 İç ve Dış Bilgi Akışındaki İyileştirme Gereksinimi

Türk Kızılayı çeşitli bilgi aktarım ve iletişim araçları kullanmaktadır. Önemli ve gerekli bilgilerin bir kısmını barındıran araçlar *geribildirim sistemi, çalışanlar arasında yapılan eğitimler, kayıt defterleri ve kurumsal raporlardır*. Türk Kızılayı geribildirim mekanizmasını kullanmayı planlayarak operasyonel anlamda başarısını ölçmeyi hedeflese de henüz bu sistem kullanılmamaktadır. Yapılan eğitimlerden sonra çalışanların vereceği geri bildirim, yapılacak müdahalelerin verimliliğini arttıracaktır. Geri bildirim mekanizmasına duyulan ihtiyaç mevcut durumda operasyonel anlamda Türk Kızılayı'nın kendisini değerlendirmesini eksik kılmaktadır. Bunun dışında mevcut sistemde bulunan kayıt defterleri de istenilen bilgiye anlık olarak ulaşılmasını zorlaştırabilmektedir. Son olarak, mevcut sistemde hazırlanan ve sunulan raporlar uzun olduğu için takibi zor yapılmaktadır. Detaylı ve uzun raporlar bilgilerin saklanması için önemli olsa da daha efektif ve niş raporlara ihtiyaç duyulmaktadır.

4. Çözüm Yaklaşımı

Türk Kızılayı sorumlu pozisyonda olduğu tüm hizmet gruplarında gerçekleştirdiği çeşitli operasyonlarla faydalancılara afet durumlarında hizmet etmektedir. Bu noktada Türk Kızılayı'nın performansı, müdahale operasyonlarındaki başarısını belirlemektedir. Geliştirilen performans ölçüm sistemi ile Türk Kızılayı bu değerlendirmeyi objektif bir şekilde yapabilir hâle gelecektir. Proje geliştirilirken izlenen adımlar aşağıdaki gibidir:

- Beslenme hizmet grubuna yönelik gerçekleştirilen tüm operasyonların iş akış şeması çizilmiştir.
- İzlenen adımları etkileyen performans indikatörleri belirlenmiştir.
- Geliştirilen sistemin kullanıcı dostu olabilmesi için sayıca fazla olan indikatörler kurum içinde yapılan bir anket ile önem sırasına göre dizilerek bir elemenden geçirilmiştir.
- Uzman görüşleri ve anket sonuçları değerlendirilerek belirlenen son indikatörler performans ölçüm sisteminin girdileri olarak belirlenmiştir.
- Belirlenen performans ölçütleri için hedeflenen değerler, minimum ve maksimum değerler ulusal ve uluslararası standartlar göz önünde bulundurularak belirlenmiştir.
- Yapılan literatür araştırması ile performans ölçüm sistemleri için kullanılan örnek kullanıcı panelleri bulunmuştur. (Microsoft Excel ve Visual Basic tabanlı)

- İndikatörlerin önem sıralarına göre ağırlıklandırılması ve genel performansa olan katkıları matematiksel olarak modellenmiş ve sistemin formülasyon aşaması tamamlanmıştır.
- Tüm girdiler ve modelleme tamamlandıktan sonra sistem Microsoft Excel ve Visual Basic kullanılarak oluşturulmuştur. Raporlar, girdi ve çıktı sayfaları, hesaplama metotları sistem içerisinde yer almaktadır. Örnek arayüz görüntüleri Ek 2’de yer almaktadır.
- Daha sonra, kullanıcıların sistemi doğru şekilde kullanabilmesi ve ilerleyen zamanlarda farklı operasyon türlerinde de kullanabilmek üzere revize edebilmeleri adına bir kullanım kılavuzu hazırlanmıştır.
- Kurulan sistemin çalışırılığının doğrulanabilmesi için eski afetlerden alınan veriler kullanılarak çeşitli senaryolar ile sistem test edilmiştir.

Sistem içerisinde kullanılan indikatörler dört temel kategoride sınıflandırılmıştır: Kaynak Özellikleri, Hizmet Özellikleri, İç Süreçler ve Finansal Özellikler. (Bkz.: Ek 3)

Bu adımların tamamlanmasıyla birlikte proje sonunda, Türk Kızılayı’nın afet müdahale faaliyetleri kapsamında verdiği beslenme hizmetlerinin performansı nesnel ve bilimsel temellere dayalı bir şekilde ölçülebilecek olup, kurumun bu faaliyetlerdeki güçlü ve geliştirilebilir yanları tespit edilebilecektir. Farklı hizmet gruplarında yapılan müdahaleler ve farklı indikatör ağırlıklarının olduğu senaryolar için de gelecekte güncellenerek kullanılması hedeflenen bu sistem dinamik ve esnek olarak geliştirilmiştir.

5. Sonuçlar ve Genel Değerlendirme

Türk Kızılayı geliştirilmiş olan performans ölçüm sistemini kullanarak güçlü ve geliştirilmeye açık yönlerini tespit ederek operasyonlarındaki verimliliği arttırabilecektir. Afet gibi olağanüstü bir toplumsal durumda, her afetın birbirinden oldukça farklı dinamikleri olmasına rağmen, afet süreçleri dikkatli ve detaylı bir şekilde incelenerek, uluslararası standartlarda süreçlerin başarısını etkileyen indikatörler hem literatür araştırması ile hem de uzman görüşleri alınarak belirlenmiş ve sistemin girdileri olarak tanımlanmıştır. Böylece, afet türlerinden ve müdahale uzunluğundan bağımsız olarak standart bir şekilde kullanılabilecek bir performans ölçüm sistemi geliştirilmiştir.

Mevcuttaki uzun ve detaylı raporlama sisteminde harcanan insan kaynağı yerine, her afet sırasında ve sonrasında hızlı bir şekilde performans değerlendirmesi yapılarak, afet anından itibaren kaynakların daha verimli kullanılmasına başlanabilecektir. Bu sistem ile finansal kaynaklar ve insan kaynağı konusundaki dağılım da değerlendirilerek, olası kaynak israfının önüne geçilebilecektir. Ayrıca, sistemin sağladığı afet sonu raporlar ile şeffaflık arttırılarak tüm paydaşlarla olan ilişkiler olumlu yönde geliştirilecektir.

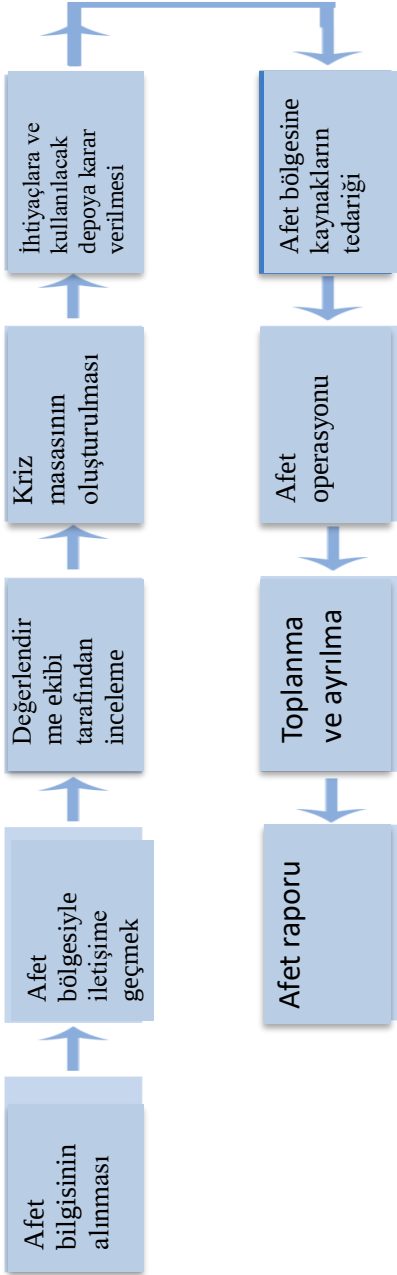
KAYNAKÇA

Poister, T.H. (2003), “Measuring Performance in Public and Nonprofit Organizations”, Jossey-Bass, San Francisco, CA.

Larsson, Kinnunen, (2008), “Performance Measurement in Nonprofits – Much to be gained or a waste of resources?”

EKLER

Ek 1 Ulusal Afetlerde İzlenen İş Akış Şeması



Ek 2 Sistem Kullanıcı Arayüzü





**Türk Kızılayı
Beslenme Düzeyinde
Afet Operasyonları Ölçüm
Sistemi**

Kullanıcı Adı:

Şifre:

Giriş





+72 Saat Sonraki Performans Metrikleri

İlgili değerleri boş bırakılan kısımlara giriniz.

Beslenme Ünitelerinin
Hazırlanma Zamanı

Sıcak Yemeğin Dağıtılma
Süresi (Gün Bazında)

Bozulmuş Sıcak Öğün Sayısı

Sıcak Yemeğin Dağıtım Sıklığı

Toplam Aile Mutfak Seti Sayısı

Toplam Aile Sayısı

Aile Kuru Gıda Paket Sayısı

Aile kuru gıda paketlerinin
dağıtım sıklığı

Aile Kuru Gıda Paketlerinin
Dağıtım Başlanma Zamanı

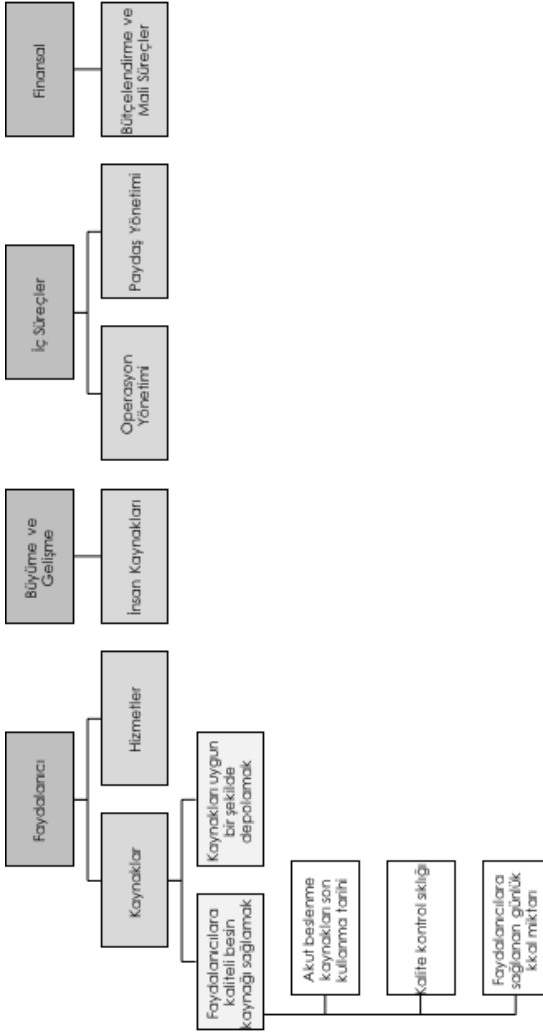
Sıcak Yemek Dağıtım
Sırasında Güvenlik
Önlemlerinin Yeterliliği

İPTAL

KAYDET

ANASAYFAYA GERİ DÖN

Ek 3 İndikatör Sınıflandırması



Operasyonel Verimliliği Artırmak için İşlemlerin Ortak Havuzdan Yönetilmesi

Türkiye Finans Katılım Bankası

Proje Ekibi

Cahit Yiğit Başbuğ
Ayşe Işın Budak
Mehmet Oğuzhan Daştan
İnci Elif Güvenli
Beril Kilimcioğlu
Semih Kuru

Endüstri Mühendisliği
Bilkent Üniversitesi
06800 Ankara

Şirket Danışmanı

Halis Deha Yüceil
Organizasyon ve Süreç Geliştirme Yöneticisi

Akademik Danışman

Dr. Nil Şahin
Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Türkiye Finans Katılım Bankası'nda işlemler, operasyon bölümlerinin kendilerine ait havuzlardan yönetilmektedir. Bu yönetiliş, şirkette çalışanların fazla mesaiye kalması, işlemlerin gecikmesi, reddedilmesi gibi durumlarla karşılaşmaya sebep olmaktadır. Bu tür durumların önlenmesi için işlemlerin ortak havuz idaresi ile yönetilmesi hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Havuz sistemi, iş ataması, bankacılık operasyonel iyileştirme

1.Şirket Tanıtımı

Türkiye'nin en büyük katılım bankalarından biri olan Türkiye Finans Katılım Bankası 2005 yılında kurulmuştur. Şirketin en büyük ortağı olan The National Commercial Bank şirketin %67 oranında hisse değerine sahip olup Suudi Arabistan'da bulunmaktadır. Bankanın, faiz oranı kullanmadan kar üretimi gerçekleştirip, müşteri memnuniyetini yüksek oranda tutmak ve Türkiye'nin lider katılım bankası olmak temel hedefleri arasında yer almaktadır. Güncel olarak Türkiye Finans Katılım Bankası'nın, diğer katılım bankalarına kıyasla yaklaşık olarak yüzde 25 pazar payı bulunmaktadır. Bankada müşteriler ile olan finansal ilişkiler ortak kar ilişkisine dayanmaktadır. Bu finansal ilişkiler müşterilerin bankadan hizmet veya ürün alabilmesini içermektedir. Sonrasında, vaat edilen kar değeri yüzdesel oranlamaya göre katılımcılar ile paylaşılmaktadır. Sonuç olarak, müşteriye para satılır, katılımcıların yatırımlarından kazanılan genel kardan belli bir oranda elde edilen bir miktar para müşteriye kazandırılır. Şirketin organizasyonel yapısı gereği bu proje Operasyon ve Süreç Geliştirme Departmanı ile yürütülmektedir. Ayrıca olarak, proje yöneylem araştırması ile ilişkili olup Bilgi Teknolojileri departmanı ile bağlı olarak çalışılmaktadır. Organizasyon ve Süreç Geliştirme departmanında standartlaştırma, dosyalama, sistem otomasyonu, alt yapı ve kapasite gibi bazı işler departmanın çalışanları tarafından yapılmaktadır. ("Ek 1. Şirketin çalışma prensibi akış şeması" (Türkiye Finans Katılım Bankası)

2.Projenin Kapsamı ve Mevcut Sistem Analizi

2.1 Proje Kapsamı

Projemizin amacı tüm işleri ortak bir havuzda toplayıp, bu işleri boş ve uygun olan çalışana yönlendiren bir havuz sistemi oluşturmaktır. Bu sistem belli bir sayıda çalışanı, işin aciliyetini, çalışanın bu işi yapabilirliliğini, çalışanın boş olma durumunu, işlerin son teslim zamanını, işlerin hesaplanmış bitiş sürelerini, işlerin şirket tarafından belirlenen önem sıralamalarını, müşterilerin özel durumlarını ve çalışanların niteliklerini göz önünde bulundurarak yine belli bir sayıda işe yönlendirmektedir. Projeimiz şirketin kararıyla 440 işten veri yeterliliği sebebi ile 7 tanesini kapsamaktadır.

2.2 Mevcut Sistem Tanımı

Mevcut sistem 440 süreç, 6 fonksiyonel alt grup ve 270 çalışandan oluşmaktadır. Tüm işler belirli bir departmana yönlendirilecek farklı havuzlarda toplanmaktadır. Başka bir deyişle, işler belirli servislere ,sadece bu serviste çalışan kişilere, daha önceden belirlenmiş olan hizmet-seviyesi anlaşmasına uygun olan servis süreleriyle birlikte, itme sistemiyle yönlendirilmektedir. Mevcut sistem, servisler arasında iş yönlendirilmesini sağlamamakta ve her işin farklı zamanlarda farklı yoğunlukları bulunmaktadır. Bu durumdan dolayı mevcut sistemde bir servis yoğunlukta olan diğer servislerin işini yapamamaktadır.

2.3. Mevcut Sistem Analizi

Şirketin kararı ile 440 operasyonel süreç işlemi içerisinde 7 tane işlemin ortak havuz idaresi ile yönetilmesi uygun görülmüştür. Sistem verimliliğinin araştırılabilmesi için, iş tipi bilgisini içeren, işlemlerin başlangıç ve bitiş zamanlarını içeren ve onaylanma veya reddedilme durumunu içeren gerekli veriler istenmiştir. 7 tane işlem içerisinde gözlem yapılabilmesi için, işlemlerin bitiş ve başlangıç zamanları arasındaki farkın ortalama değerleri, standart sapmaları, varyansları ve en küçük ve en büyük değerleri ayrı ayrı kontrol edilmiştir. Şirketten edindiğimiz veri içerisinde, iş tiplerinin en yoğun olduğu saatlerin kararlaştırması yapılmıştır. Ayrıca, veriler içerisinde reddedilen iş sayısının hesabı yapılmıştır. Bu çıkarım, grup üyelerinin daha açık ve verimli bir sistem yapması için yeterli bir kaynak sağlamıştır.

3. Problem Tanımı

3.1 Belirtiler ve Şikayetler

Şirketin belirttiği doğrultuda farklı işlerin farklı yoğunluk periyotları olması servisler arasında dengesiz iş yükü oluşmasına sebebiyet vermektedir. Bu nedenle bazı servislerin çalışanları diğer servislerin çalışanlarına göre daha fazla iş yüküne sahip olmaktadır. Mevcut sistemde bir servisteki işler diğer servisler tarafından yapılamamaktadır. Bu nedenle yoğun olan servislerin fazla mesaiye kalma durumu oluşmakta ve buna rağmen işlerin yetişmediği servisler bulunmaktadır. Ek olarak bu yoğunlukta olmayan servisler ve yoğun olan servislerin yoğunluk durumlarında boş olan servisler bulunmaktadır. Farklı servis çalışanları diğer servislerin bazı işlerini yapabilme niteliğine sahiptir fakat mevcut sistemde işlerin farklı servislere yönlendirmesi mümkün olmadığından dolayı bu niteliklerini kullanamamaktadırlar. Mevcut sistemdeki iş atmasının teslim zamanını, işin yoğunluğunu ve işin bekleme zamanını dikkate almadan sadece işlerin tipine göre yapılmaktadır. Detaylandırarak olursak bazı işler sadece belirli bir servis tarafından yapılabilmekteyken (nitelik gerektirmekteyken) bazıları diğer servisler tarafından da yapılabilmektedir. Şu anki sistemde belirli bir servis nitelik gerektiren işlerle meşgul olmasına rağmen nitelik gerektirmeyen işler de o servis tarafından yapılmaktadır. Bu durumdan dolayı bazı işler zamanında ve istenilen şekilde tamamlanamamaktadır. İşlerin öncesinde müşteri temsilcisine sonrasında departman operasyonlarına sonrasında finansal müsaade ve teşrih için merkezi operasyonlara gönderilmesi ve bu süreç sonunda müşteriye servis verilmesi işlerin yetişememesine sebebiyet veren bir diğer faktördür. Bu sistemde çalışanlar sorumlu olmadıkları farklı bir iş tipine yönlendirilemediğinden dolayı işlerin boş olan başka bir departman tarafından yapılabilmesi mümkün değildir. Belirli bir iş tipinin yoğunluğundan kaynaklanan reddedilen işlerin fazlalığı topladığımız verilerde de görülmektedir.

3.2. İlgili Literatür Taraması

Türkiye Finans Katılım Bankası'nın çalışanlarının yardımları ile çağrı merkezlerinin kullandıkları genel sistemin yani Beceri Temelli Yönlendirme sistemi araştırılmıştır. Literatür taraması ile, Rodney Wallace tarafından yayımlanan *A Staffing Algorithm for Call Centers with Skill-Based Routing* kaynağında Beceri Temelli Yönlendirme Sisteminin algoritmaları ile ilgili bilgilere ulaşılmıştır. Yayında, projemizde uygulanması planlanan gerekli yöntemlerin kullanımı açıklanmış olmakla beraber, bu yöntemler tercihe bağlı ilk işlem seçimi ve yetenek bazlı çalışan seçimi yöntemleridir. Bu yöntemler, projemizde, işlerin geliş zamanına bağlı olarak, sistemde beklemede olan, tanımlı ve işi olmayan çalışanların yetenek matrisine aktarılması konusunda ve olası uygun çözümün bulunmasında kullanılacak olan kaynaklardan biridir. Ayrıca çağrı merkezi sisteminde, iş görenler çalışan yerine kullanılacak olup bu kişiler M/M/C/K tanımlamasına göre yani İlk Gelen İlk Servis Alan mantığına göre tanımlanacaktır (Wallace). Bu projede, durum çağrı sistemlerinin genel yapısından biraz daha farklı olmaktadır. Çünkü, çalışanlara verilen işlemler işlerin geliş zamanı ile beraber birçok kısıtlamaya bağlıdır. Ayrıca, projeyi tamamlamak ve temel modeli oluşturmak için, *A Staffing Algorithm for Call Centers with Skill-Based Routing* yayını kullanarak modelin temel mantığını oluşturduk. Bunların dışında çağrı merkezinde iş yönlendirilmesi sisteminin mantığını açıklayan *Call Management Method and System for Skill-Based Routing* adlı bir patent kullandık. Makalede belirtilen bu patentte anlatılan tüm sistem akış şemaları ile belirtilmiştir. Belirtilen akış şemaları, işlerin çalışan yeteneğine ve işin bitiş tarihine bağlı olarak, işlerin tercih listesine göre çalışan atamasının genel mantığını anlatmaktadır. Bu bağlamda Wallace'ın çalışması, proje sürecinde yardımcı bir kaynak olmuştur. Bu projede bu patentin sistemine benzeyen, işleri belli kısıtlara göre sıralayacak olan bir listeleme algoritması kullanılması planlanmaktadır (Wallace).

Ayrıca, X. Cai ve K. N. Li tarafından yazılan, “A Genetic Algorithm for Scheduling Staff of Mixed Skills Under Multi Criteria” kaynağı, farklı ve karma yeteneklere sahip çalışanların zamanlaması üzerine çeşitli bilgiler sunmaktadır(Cai, Li). Önceden de belirtildiği gibi, projenin temel hedefi; bütün iş tiplerini birleştirerek ortak bir havuz sistemi oluşturmak ve çalışanların bu ortak havuzdan işleri tercihlerine göre seçebilmesini sağlamaktır. “A Genetic Algorithm for Scheduling Staff of Mixed Skills Under Multi Criteria” adlı kaynakta, zamanlama problemi ile ilgili çoklu kriterli optimizasyon modeli kullanılmıştır(Cai,Li). Şirketin şu anda var olan zamanlama problemini çözebilmek için bu kaynağın yardımcı bir kaynak olabileceği düşünülmüştür. Aynı zamanda, kaynak taraması sürecinde Liang tarafından yazılan “Balancing Workload in Project Assignment” kaynağı iş yükü dengesi kurarak en uygun projenin çalışana atamasını anlatmaktadır. “Balancing Workload in Project

Assignment” adlı kaynak, proje içerisinde modelleme yöntemi için kullanılmış olup, bu modelleme yönteminin iş yükü dengesi için iki aşamalı sezgisel yaklaşımları kullanmaktadır. Bu durumun kullanılmasının sebebi ise kaynakta bahsedilen problem, NP Hard bir problem olup, yani belirsiz ve çok terimli zamanlarda yani polinomsal zamanda çözülebilen bir problemdir (Liang).

4. İzlenen Yöntem ve Uygulamaları

Problem tanımı sonrasında çözüm için iki farklı yol geliştirilmiştir. Bunlardan ilki iş atanması ve işlerin planlamasını iyileştirmek adına geliştirilen bir Skorkart modelidir. Bir diğeri ise iş yükü dengesini sağlamak amacıyla kullanılan iş yükü dengeleyici bulgusal algoritmadır. Skorkart modeli için 4 farklı önem derecelendirmesi yapılacaktır. Bu derecelendirmeler sonucunda çalışan için bir liste oluşacaktır ve bu listeden işleri kendi seçebilecektir. Bu model ile birlikte sistem çekme sistemine dönecektir. Diğer kullandığımız iş yükü dengesini sağlayan algoritmada ise; skorkart modelinde elde edilen ortalama skorlar ve her çalışanın toplam ortalama iş yükü göz önüne alınarak iş atanması ve yeni yetkilendirme gerçekleştirilmektedir. (“Ek 2. Çalışan bağlamında modelin akış şeması”, “Ek 3. Modelin akış şeması”)

4.1 Skorkart Modeli

Skorkart modelinde 4 farklı önem derecelendirmesi yapılmaktadır. Bunlar, WIP(Work In Process), yani, tamamlanmamış iş için önem derecelendirmesi, müşteri segmenti önceliklendirmesi, zamana bağlı önceliklendirme ve süre aşımı önleyici önceliklendirmedir. Bu önceliklendirilmeler kendi aralarında 0-100 puan, tümü içerisinde is 0-25 puan ağırlıklarına sahiptir. 4 önceliklendirme türünün de önem ağırlığı birbirine karşı eşit olarak ayarlanmıştır. Dolayısıyla skorkart üzerindeki puan aralığı da 0-100 puan üzerinden değerlendirilmektedir. Havuzdaki işler bu önceliklendirmelerden gelen toplam puan bazında değerlendirilerek bir önem sıralaması ve listesi oluşturmaktadır. Çalışanlar bu listeden sıralamadaki ilk n sayıdaki işten, bir tane seçme ve işe başlama hakkına sahip olacaktır. N sayısı şirket tarafından belirlenmektedir.

4.1.1 Tamamlanmakta olan iş (Work In Process) önceliklendirmesi

Work in Process (WIP) tamamlanmak için bekleyen iş miktarını tanımlamak için kullanılır. Tamamlanmamış iş için önem önceliklendirmesinde, bu kısma ait skorun elde edilebilmesi için iş tipi bilgisi, her iş tipi için ortalama süreler ve bu kısmın ağırlığının girilmesi gerekmektedir. Sonucunda, çıktı olarak sistem WIP önem önceliği skorunu verecektir. Bu önceliklendirme puanı p1 olarak temsil edilmektedir. (“Ek 4. Yığın Tablosu”)

4.1.2 Müşteri Segmenti Önceliklendirmesi

Müşteri segment puanları kaç müşteri segmentinin mevcut olduğuna bağlı olarak 0-100 puan aralığında değişecektir. Şirketin müşteri segmentine doğrudan puan vermek isteyebileceği durumlar haricinde müşteri segment

numarası doğrusal veya üssel olarak tanımlanacaktır. Daha yüksek puana sahip segmentli müşterilerin işlerinin skorkart algoritmasında öncelik kazanarak daha az beklemesi amaçlanmıştır. Bu önceliklendirme puanı p2 olarak temsil edilmektedir. (“Ek 4. Yığın Tablosu”)

4.1.3 Zamana Bağlı Önceliklendirme

Zamana bağlı önceliklendirme, bir işin teslim tarihine kalan süre, anlık zaman ve iş tipleri için ortalama bitim süresini kullanmaktadır. Bu işlerin teslim tarihi, iş geldiği anda, her iş tipi için işin geldiği zaman + 8 kat ortalama iş bitim süresi olarak o işe atanmaktadır. Her iş çekim istesiğinde bu puan anlık zamanın değişmesiyle yeniden güncellenmektedir.

Bu durumda, teslim tarihi yaklaşan işin önemi artar, listede üst seviyelere çıkar. Bu önceliklendirme puanı p3 olarak temsil edilmektedir. (“Ek 4. Yığın Tablosu Örneği”)

4.1.4 Süre Aşımı Önleyici Önceliklendirme

Sistemde halihazırda bekleyen bir işin, o işin bitirilmesi gereken zaman, iş tipi, iş tipinin ortalama bitirme süresi ve mesai bitimine kalan süre parametreleri göz önüne alınmaktadır. Skorkard modelinde mesai süresi bitimine yaklaşıldığında bitirilemeyeceği öngörülen işin puanı arttırılarak mesai süresi aşılmadan bitirilmesi amaçlanmaktadır. Bu önceliklendirme puanı p4 olarak temsil edilmektedir. (“Ek 4. Yığın Tablosu”)

4.2 İş Yükü Dengesi Sağlama

İş yükü dengesinin sağlanabilmesi, yani fazla mesaiye kalma durumunun önlenerek adil çalışma şartlarının sunulabilmesi için, 2 aşamalı bir plan gerektirmektedir. İlk aşama olarak iş yükünün az olduğu çalışanların saptanmasıdır. İkinci olarak da bu çalışanlara yeni yetkilendirme verebilmek için, en çok ihtiyaç duyulan iş tiplerinin belirlenmesidir. Bunun için proje sürecinde iki farklı algoritma kullanılmaktadır. Bunlardan birisi iş yükü dengesinin saptanması algoritması, diğeri ise iş tiplerine göre istatistiksel skorkarttır.

4.2.1 İş Yükü Dengesi Saptanması Algoritması

İş yükü dengesi saptanması algoritması çalışanların iş yükü ortalamalarını, her çalışan için toplam iş yüklerini ve şirket tarafından belirlenen hassaslık katsayısını alarak, yeni işler atanması gerektiğine karar verilen çalışanların listesini çıkarmaktadır. Oluşturulan algoritma her çalışan için toplam ve ortalama iş yükü ve yetkilendirme matrisi girdi olarak kullanılırken seçilen çalışan için yeni yetkilendirme ihtiyacı çıktısını verir. (“Ek 4. Yığın Tablosu”)

4.2.2 İş Tiplerine Göre İstatistiksel Skorkart

İş tiplerine göre istatistiksel skorkart hesaplamasında, sistem iş tipleri ve iş tipleri için ortalama skor değerlerini girdi olarak alır. İş tipleri için ortalama skor, her işin alındığı andaki skorların ortalamasından oluşmaktadır. Çıktı olarak iş

tiplerinin skor tablosunu yoğunluklarına göre , skor ortalamalarına göre sıralandırır. Dolayısıyla yeni yetkilendirmeye ihtiyaç duyulacak iş tiplerinin sıralamasını verir. ("Ek 4. Yığın Tablosu")

4.2.3 Çalışan İş Yükü Raporlama

Önerilen sistemde, çalışanların günlük, haftalık ve aylık olarak havuz sisteminde bulunan işler üzerinde ne kadar çalıştıklarını takip edebilmektedir. Böylelikle, çalışanın bağlı olduğu birim müdürü çalışanlar arasındaki iş yükü dengesini takip edebilecek ve gerektiğinde çalışanlara müdahale edebilecektir. ("Ek 4. Yığın Tablosu")

5. Sonuçlar ve Genel Değerlendirme

Türkiye Finans Katılım Bankası ile çalışarak, iş gücünün daha dengeli olarak dağılımının sağlanması, fazla mesailerin azaltılması, işlerin geç kalmasının önlenmesi ve müşteri memnuniyetinin artırılması, işlerin atanmasını sistematik hale getirerek verimliliğin artırılmasında olumlu etkileri olan bir sistem geliştirdik. Kullandığımız modelin simüle edilmesiyle birlikte elde ettiğimiz istatistiksel veriler doğrultusunda belirtilen amaçların hepsine ulaşıldığı görülmektedir. Kurduğumuz simülasyon modelinde, işlerin kuyrukta bekleme durumlarını, çalışanların sistemde aktif olma durumlarını karşılaştırarak iş havuzu ile ilgili bazı veriler elde ettik. Bu veriler, iş havuzundaki işlerin 22 kişi yerine 19 kişi tarafından yapılması sağlanmıştır. Ayrıca, iş yüklerinin bu 22 çalışan arasında daha dengeli olarak dağıldığı gözlemlenmiştir. Bu durum günlük tamamlanan iş sayısını arttırmış olup, işlerin sırada bekletilmesi sorununun çözümü konusunda olumlu sonuçlar vermiştir.

KAYNAKÇA

"Türkiye Finans Hakkında." Türkiye Finans. N.p., n.d. Web. 09 May 2017.

Brooks, Nancy Sinling, Paul Douglas Fryer, Gary Stanley Kaufman, Stephen Phillip Berkson,

Cai, X., and K.n Li. "A genetic algorithm for scheduling staff of mixed skills under multi-criteria." European Journal of Operational Research 125.2 (2000): 359-69. Web.

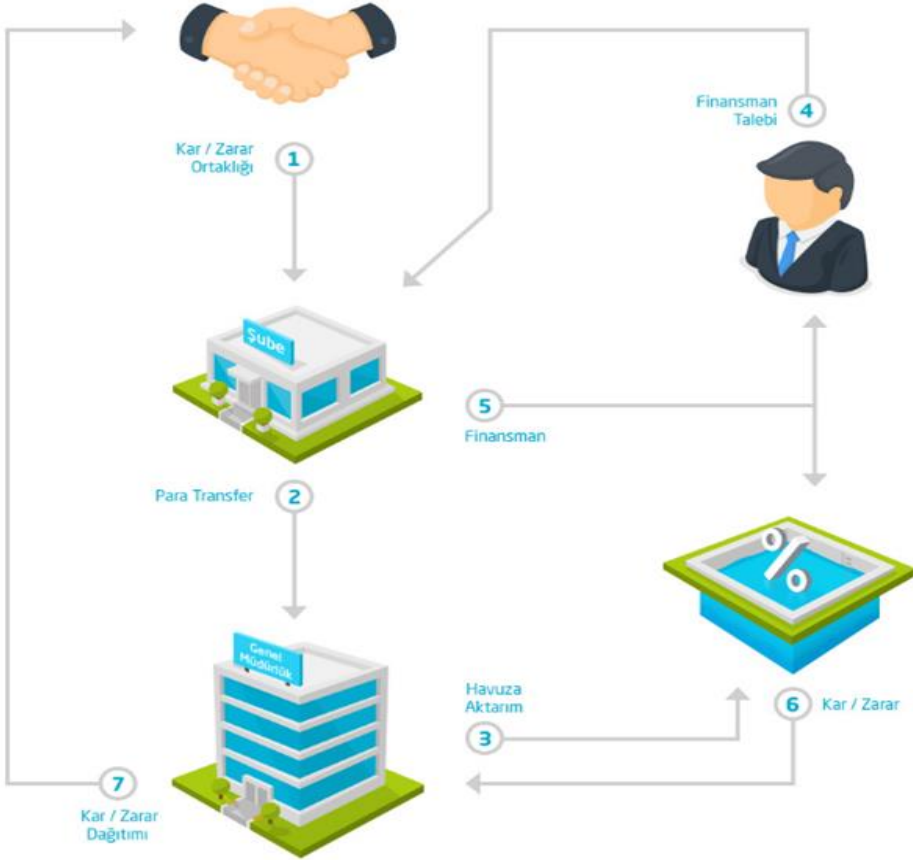
Charles R. Herel, and Laura M. Brooks. "Call Management Method and System for Skill-Based Routing." N.p., 1998. Web.

Liang, Zhirong, Yanzhi Li, Andrew Lim, and Songshan Guo. "Workload balancing in project assignment." Computers & Operations Research 37.12 (2010): 2248-256. Web.

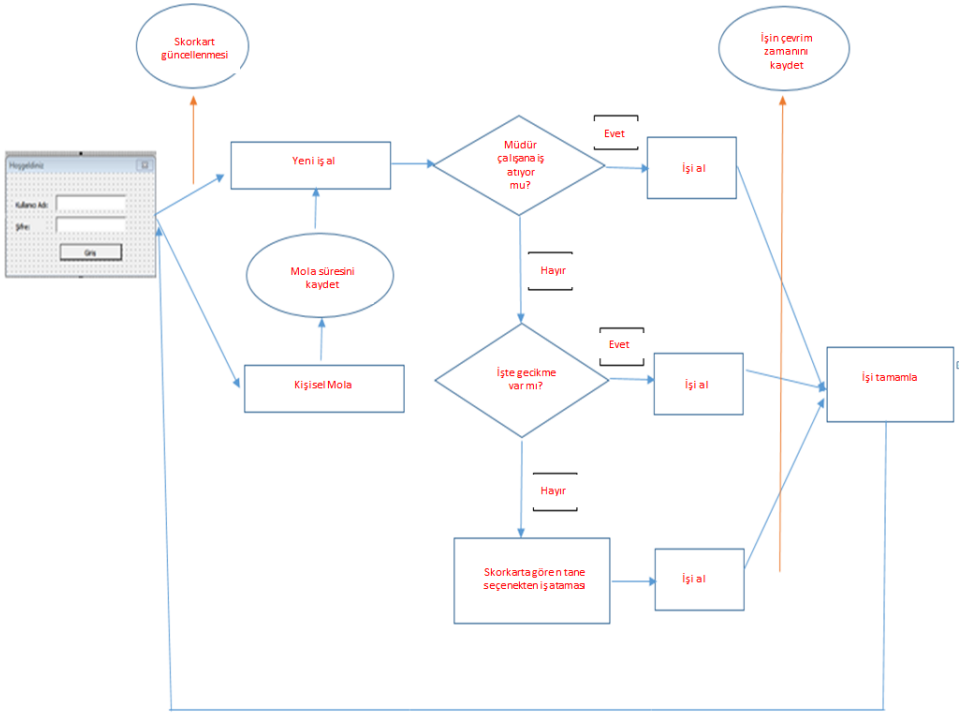
Wallace, Rodney B., and Ward Whitt. "A Staffing Algorithm for Call Centers with Skill-Based Routing." Manufacturing & Service Operations Management 7.4 (2005): 276-94. Web.

EKLER

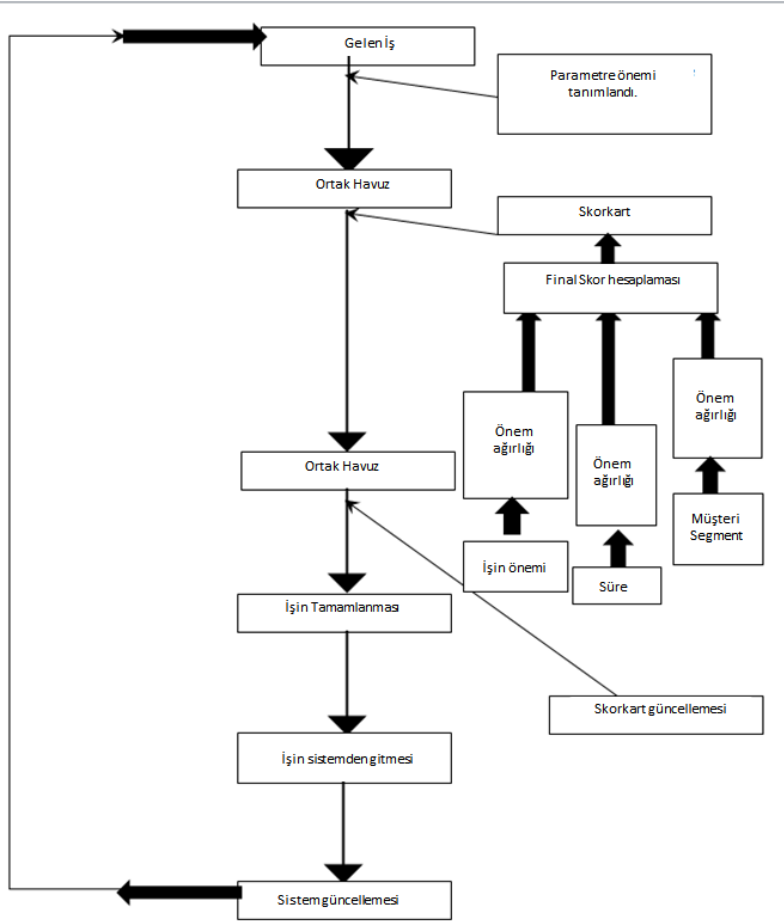
Ek 1. Şirketin çalışma prensibi akış şeması



Ek 2. Çalışan bağlamında modelin akış şeması



Ek 3. Modelin akış şeması



Ek 4. Yığın tablosu

Skor	İş Sayısı	İş Yüğü	Bugün Beklenen Çalışan Sayısı	Bugünün İş Yükünü Üstlenecek Çalışan Sayısı	Alarmlı İş
80-100					🚩
50-80					🚩
0-50					🚩

Sürdürülebilir Nakliye Sistemi Tasarımı

Unilever

Proje Ekibi

Tayfun Aydoğdu

Alican Boz

Melis Çolak

Deniz Özmısır

İrem Yaprak Utku

Endüstri Mühendisliği

Bilkent Üniversitesi

06800 Ankara

Şirket Danışmanları

Tağra Bayık

Unilever, Lojistik Müdür Yardımcısı

Mert Cem Didiş

Unilever, Lojistik Müdür Yardımcısı

Akademik Danışman

Yrd. Doç. Dr., Emre Nadar

Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Konya fabrikasında kişisel bakım ve ev bakımı ürünlerinin üretiminin başlamasıyla, ilgili performans indikatörleri cinsinden yıllık karbon emisyon seviyesinde yüzde beş oranında bir düşüş sağlanması, Unilever Türkiye tarafından hedef olarak belirlenmiştir. Projenin amacı, Türkiye bazında, rota bazlı ve filo bazlı olarak sınıflandırılan karbondioksit emisyon sebeplerini belirlemek ve sürdürülebilir nakliye sistemi tasarımıyla bu sebeplerin ortaya çıkardığı etkiyi azaltacak çözüm önerileri üretmek şeklinde tanımlanmıştır. Bu doğrultuda, cross-dock depo noktalarından daha etkin yararlanılması ve alternatif yakıt kullanımı önerilmiş olup, bu önerilere ilişkin rotalar belirlenmiştir. Diğer yandan, filo kaynaklı karbondioksit salınımını azaltacak aerodinamik tasarım ile lastik basıncı, hız ve ivme değerleri önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilir Nakliye, Karbon Emisyonu İndirgenmesi, Yerleştirme Rotalama Problemi, CNG, Çapraz Sevkiyat, Alternatif Yakıt Rotalaması

1. Şirket Tanımı

Unilever 1929 yılından itibaren Antarktika hariç her kıtada hızlı tüketim malları üreten, ürünleri 190 ülkede satılan, dünyanın önde gelen şirketlerinden biridir. Ürünleri tüm dünyada, günde yaklaşık iki milyar insan tarafından kullanılan Unilever, 2016 yılında yaptığı 59.19 milyar dolarlık net satışla, Statista tarafından dünyadaki hızlı tüketim malları şirketleri arasında dördüncü büyük şirket olarak seçilmiştir. Yüz yıldan fazla süredir Türkiye'deki faaliyetlerini sürdüren Unilever, Türkiye'de bulunan 8 fabrikasında ürettiği 27 farklı markayla sektördeki yerini koruyarak, 5000'i aşkın çalışanıyla yaklaşık 51 milyon yerli müşteriye ulaşmakta ve 34 farklı ülkeye ihracat yapmaktadır. Üstün bir çalışma felsefesine sahip Unilever, tüm dünyada sürdürdüğü yatırım atağıyla küresel pazardaki etkinliğini ve payını sürekli olarak arttırmakta ve sürdürülebilir büyümesine devam etmektedir.

2. Proje Kapsamı ve Mevcut Sistem Analizi

2.1. Proje Kapsamı

Sürdürülebilir Nakliye Sistemi Tasarımı projesi kapsamındaki gözlem ve iyileştirmeler, Unilever Türkiye'nin nakliye planlama evresi ve filo özelliklerini baz alan, tüm müşterilerin günlük talebini karayolu nakliyesi kullanarak karşılayacak şekilde emisyonu ilgili performans indikatörleri cinsinden azaltacak kısa ve orta süreli çözüm önerileri sunacak bir sistem oluşturmayı hedeflemektedir.

2.1. Mevcut Sistem Analizi

Unilever'in ana hedeflerinden birisi, üretimden başlayıp müşteri sonrası işlemlere kadar devam eden süreçteki tüm operasyonel faaliyetlerini çevresel açıdan sürdürülebilir hale getirmektir. Bu strateji kapsamında Unilever Sürdürülebilir Yaşam Planı (USLP) adını verdikleri projeyi hayata geçirmiş, büyütürken sebep oldukları çevresel ayak izlerini azaltmak adına sürdürülebilir yaşamı olağan hale getirmeyi hedeflemişlerdir. Bu doğrultuda, 2020 yılının sonunda, şirket kaynaklı karbon emisyonunda %40 iyileştirme sağlamak adına, karbondioksit salınımını her yıl %5 oranında düşürmeyi amaçlamışlardır. Sistem analizi süresince emisyon miktarıyla ilintili olan palet doluluk oranı, nakliye başına düşen müşteri sayısı ve nakliyeler için kullanılan araçların türleri incelenmiştir. Nakliyelerde kullanılan araçların yaklaşık %75'ini tırlar oluşturmaktadır. Üç ürün grubunda hizmet veren Unilever, bu üç ürün grubunun nakliyesini kullandığı üç araç filosu ile gerçekleştirmektedir. Yılda 0.7 M ton satış hacmine erişen firma, 30 milyon Euro'nun üzerinde nakliye maliyetine sahiptir.

3. Problem Tanımı

3.1. Belirtiler ve Şikayetler

Unilever global tarafından USLP çerçevesinde belirtilen hedef doğrultusunda bu projenin amacı, Unilever Türkiye'nin nakliye sisteminden kaynaklanan karbon emisyonlarında yıllık %5 oranında düşüş sağlamaktır. Ancak 2016 yılında gerçekleştirilen vektör projenin hayata geçmesi ve Unilever'in Gebze'de var olan deposunun Konya'ya taşınması ile ilgili performans indikatörü (KPI₂) cinsinden yıllık belirlenen %5 karbon emisyonu düşüşü, 2016 yılı itibariyle istenilen oranda gerçekleştirilememiştir.

$$KPI_2 = \left(\frac{\text{Nakliyeden Kaynaklı Oluşan Karbon Emisyonu Miktarı (kg)}}{\text{Satış Miktarı (ton)}} \right)$$

3.2. Problem Tanımı ve İlgili Literatür

Konya fabrikasının üretime geçmesiyle birlikte, Türkiye genelinde yapılacak olan tüm sevkiyatları kapsayan, karbon emisyonunu en aza indireyecek nakliye sistemi geliştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Unilever'in mevcut durumda kullandığı nakliye sistemi maliyet odaklı çalıştığından oluşturulan yeni optimizasyon modellerinde, kullanılan araç türleri, araç rotaları ve açılan cross-dock deposu sayısı gibi değişkenler ile alternatif yakıt kullanımı ve filoda yapılacak teknik iyileştirmelerin, en düşük karbon emisyon değerini ortaya çıkaracak şekilde kullanılması sağlanmıştır.

Projenin başlangıcında literatür araştırması yapılarak dünya genelinde nakliye sistemlerinde karşılaşılan karbon emisyonlarının sebepleri bulunmuştur. Bu sebepler göz önünde bulundurularak projede izlenecek yöntem ve sunulması gereken çözüm önerileri belirlendikten sonra optimizasyon modelleri oluşturulmuştur. Süreç, Vehicle Routing Problem (VRP) olarak belirtilen, bir ya da birden fazla aracın çeşitli noktalar arasında ürün dağıtımını gerçekleştiren model ile başlamış ancak cross-dock depo seçim aşamasında bu problem yetersiz kaldığından, depo konumlarını da belirleyerek bu konumlara ek olarak rotalamasını da gerçekleştiren Location Routing Problem (LRP) modeli geliştirilmiştir. Diğer yandan, mevcut sistemde kullanılan dizel yakıt yerine karbon salımını azaltacak Compressed Natural Gas (CNG) yakıt kullanımı önerildiğinden, Green Vehicle Routing Problem (GVRP) modeli baz alınarak üzerine eklemeler yapılmış ve Unilever'in belirlediği %5 emisyon azaltılması hedefine ulaşılması planlanmıştır.

4. İzlenen Yöntem ve Uygulamalar

Bu proje, Unilever Türkiye'nin nakliye sisteminde karbon emisyonuna sebep olan tüm alanlara çözüm önerisi sunmaktadır. Projenin çözüm stratejisi, Unilever'in büyüyen yapısına ve artan taleplerine cevap verecek nitelikte ve mevcut durumla uyumlu olarak çalışan yeni bir nakliye sistemi tasarlamaktır. Bu

doğrultuda çözüm önerileri, rota ve filo bazlı öneriler olarak iki grupta incelenmiştir.

4.1. Rota Bazlı Çözüm Önerileri

4.1.1. Cross-Dock Yerleştirme ve Rotalama Modeli

Rota bazlı çözüm önerilerinin ilki olan Cross-Dock depo yerleştirme ve rotalama modelinin çıkış noktası, ekip tarafından geliştirilen ve arayüz tasarımının da tamamlanmasının ardından Unilever'e teslim edilen "Karbon Emisyonu Hesap Makinesi"nin kullanımı olmuştur (Ek 1). Bu hesap makinesi, ürün çeşidi, araç tipi, aracın hareket ettiği toplam mesafe, bu esnada araçtaki yük miktarı, aracın bu ürünleri soğutma süresi, depoya geri dönüşüne kadar uğraması gereken müşteri sayısı ve aracın yakıt tipi olmak üzere yedi değişken üzerinden hesaplama yapan bir yazılımdır. Bu hesap makinesi aracılığıyla elde edilen verilerin en önemlilerinden biri, araçların üzerlerinde taşıdıkları yük miktarının kapasitelerine oranı arttıkça, bir diğer deyişle doluluk oranı fazlalaştıkça, yükün birim ton başına oluşan karbon emisyon miktarının azalmasıdır. Bunun yanında elde edilen bir diğer çıkarım ise, tır ve benzeri büyük kapasiteli araçların, seyahat sonunda tıryon, kamyonet gibi araçlara oranla birim ton başına daha az emisyon ortaya çıkardığıdır.

Bu iki bulgudan yola çıkılarak, Unilever dağıtım ağı detaylıca incelemiş ve bulguların geliştirmeye açık bir alan olduğuna kanaat getirilmiştir. Bu kapsamda, yüksek kapasiteli araçların mümkün olan en üst seviyedeki dolulukla servis yapmasını ve kat edilen mesafenin mümkün olduğunca çoğunun bu araçlarla kat edilmesini sağlayacak Cross-Dock Yerleştirme ve Rotalama modeli oluşturulmuştur. Unilever'in sisteminde üç çapraz depo bulunmaktadır. Cross-Dock Yerleştirme ve Rotalama modelinde, var olan üç çapraz deponun bulunmadığı düşünülerek, kullanıcının sisteme girdi olarak verdiği sayıda yeni lokasyonun önerilmesi hedeflenmiştir.

Model girdileri:

- Açılması istenen Cross-Dock depo sayısı
- Filodaki her aracın sayısı, kapasite bilgisi ve yakıt tüketimi
- Mesafe cetveli
- Müşteri talep ve lokasyon bilgileri

Karar değişkenleri:

- Araçların depodan ayrılırkenki yükleri
- Her bir nokta arası yük miktarı değişimi
- Seçilen bir şehre Cross-Dock depo açılıp açılmaması
- O gün teslimat yapılması gereken müşterilerin ziyaret edilme sırası
- Büyük kapasiteye sahip araçların hangi Cross-Dock depoya tahsis edileceği

Geliştirilen optimizasyon modeli Ek 4'te verilmiştir. Modelin amaç fonksiyonu, ekip tarafından hazırlanan hesap makinesindeki değerler

sonucunda oluşturulan karbon emisyon miktarını en aza indireyecek araç ve sevkiyat planlamasını yapmak ve bu sevkiyatı mümkün kılan Cross-Dock yerlerini seçmektir.

Amaç fonksiyonu altı bileşenden meydana gelir. Bunlar: tır ve tırdan küçük araçların (modelde kullanılan iki araç tipinin) her birinin bir noktadan bir noktaya giderken yarattığı emisyonun üçer sebebi olan boş kasayı taşımanın emisyon değeri, taşınan her ton ürünün emisyon değeri ve bu ürünlerin bozulmadan taşınması için gerekli soğutucu yakıt değerinin etki ettiği mesafelerin kilometreleri ile çarpılmış halleridir. Amaç fonksiyonunun ardından gelen tüm kısıtlar, modeli Unilever'in her gün sevkiyatlarını gerçekleştirirken sağlamak zorunda olduğu şartları sağlamaya zorlamaktadır. Bu kapsamda daha az emisyon değerine sebebiyet vermesi mümkün olsa dahi o gün sevkiyatını başlaması gereken hiçbir müşteri oluşturulan rotaların dışında bırakılmamıştır. Oluşturulan ve FICO® Xpress Optimization Suite'te kodlanan optimizasyon modeli, ana depo, açılması kararlaştırılan Cross-Dock noktaları ve sevkiyat yapılması gereken müşteriler arasındaki karbon emisyon oranlarını göz önünde bulundurarak kullanıcının belirlediği sayıda lokasyona Cross-Dock depoların açılmasına izin vermektedir.

Model, Cross-Dock depoların yerlerinin belirlenmesinin yanı sıra bu sistemi tamamlayan tüm noktalar arasındaki rotalamayı da oluşturmaktadır. Bu rotalar genel olarak tır ve tırdan küçük araçlar için ikiye ayrılır. Tırlar, modelin mantığı gereği yalnızca ana depo ve seçilen Cross-Dock depolar arasında, olabildiğince yüksek yükle yola çıkar ve o gün gidecekleri Cross-Dock depodan dağıtılacak yükü ana depodan alarak Cross-Dock depoya getirirler. Tırların başlangıç ve bitiş noktası ana depo olarak belirlenmiştir.

Tırlar tarafından ana depodan gelen yükün Cross-Dock depolara ulaşmasının ardından küçük araçların tamamlayacağı mikro düzeydeki taşıma başlar. Bu fazda, gerekli sayıda küçük araç, kendileri için belirlenen rotadaki müşterilerin sevkiyatını tamamlamak amacı ile bulundukları Cross-Dock depodan yola çıkar ve yükün tamamının dağıtımını tamamladıktan sonra başlangıç noktalarına geri dönerler.

Bu sayede, makro taşıma olarak adlandırılabilen faz, ton başına emisyon değeri düşük olan yüksek kapasitedeki araçların olabildiğince fazla mesafede kullanılması ile tamamlanmaktadır. Mikro taşıma olarak adlandırılabilen ikinci faz ise ton başına oluşturdukları emisyon değeri daha yüksek olan küçük araçların Cross-Dock depolar ile müşteriler arasındaki bağlantıyı sağlaması ile sonuca ulaşır.

4.1.2. CNG Alternatif Yakıtle Rotalama Modeli

Rota bazlı çözüm önerilerinin ikincisi, tüketilen her litre başına dizele oranla %20-%30 daha az karbon emisyonu, %99 daha az partikül ve %20-%30 daha az NOx emisyonu oluşturan CNG'nin alternatif yakıt olarak kullanıldığı bir optimizasyon modelidir. Kilometre başına tüketilen yakıt miktarı olarak düşünüldüğünde ortalama %10 daha çok yakıt tüketimi yaratan CNG, seyahat edilen kilometre bazında düşünüldüğünde ortalama %11-%12 iyileştirme vaat edebilmektedir. Dizel ve CNG arasındaki neredeyse yarı yarıya olarak nitelendirilebilecek fiyat farkı da göz önünde bulundurulduğunda Unilever filusunda, özellikle donmuş ürünler grubunda, CNG dönüşümü tamamlanmış araçların kullanılması fikri oluşturulmuştur.

Ancak bu öneriyi bir endüstri mühendisliği problemi haline getiren gerçek, Türkiye'de CNG yakıt istasyonlarının homojen bir biçimde dağılmaması ve sayılarının toplamda 20'den az olmasıdır. Zira aracın ihtiyaç duyduğunda yakıt deposunun ikmalini gerçekleştiremiyor oluşu seyahat edilmesi gereken kilometrenin sayısal değerini artırma ve karbon emisyonunda yakalanabilecek düşüşü engelleyebilme ihtimalini beraberinde getirmektedir.

CNG yakıtle çalışan araçların üretilmeye başlanmasının yanı sıra dizel motora sahip araçların yakıt tiplerini CNG'ye çevirmeleri de günümüz teknolojisi ile mümkün olabilmektedir. Bu kapsamda bu dönüşümü Türkiye'de gerçekleştiren şirketlerle iletişim kurulmuş, dönüşüme dair maliyetler öğrenilmiş ve gerçekleştirilen projelerde başarılı iyileştirmeler hakkında bilgi edinilmiştir. Tamamının olumlu olmasının ardından CNG Alternatif Yakıtle Rotalama modelinin de FICO® Xpress Optimization Suite'te kodlanması sağlanmıştır (Ek 5). Unilever'in dondurulmuş ürünlerin taşınmasında kendine ait araçları kullanıyorken diğer ürün gruplarında ihaleler neticesinde anlaştığı nakliye şirketlerinin araçlarını kullanıyor olması sebebi ile model yalnızca dondurulmuş ürün grubu için hizmet veren, -32 santigrad derecede taşıma sağlayan tırlar üzerinden oluşturulmuştur.

Model girdileri:

- CNG araç sayısı, araç kapasite bilgisi, yakıt tüketim bilgisi
- Müşteri talep ve lokasyon bilgileri
- CNG istasyonlarının yerleri ve müşterilere olan uzaklıkları

Karar değişkenleri:

- Her aracın sevkiyat yapması gereken müşteriler ve bu müşterilere sevkiyat yapma sırası
- Her araç için sevkiyatlar arası kalan yakıt miktarı
- Sevkiyatlar arası aracın yükündeki değişim miktarı

Her günün sevkiyat yapılması gereken müşteri verileri ile o müşterilerin talep miktarlarının girdi olarak verildiği model, ana depo ve müşteriler arasında yer alan CNG istasyonlarının yerlerini düzenli kontrol ederek, depo

ya da bir müşteriden çıktıktan sonra kendi rotasında yer alan bir müşteriye erişebilmesini mümkün kılacak yakıt miktarının olup olmadığından emin olarak, ve eğer yeterli yakıtı yoksa aracın müşteri yerine mümkün olan en yakın istasyona uğramasını sağlaması için çalışmaktadır. Hiçbir müşterinin talebini açıkta bırakmamak üzere oluşturulan algoritma, model çıktısı olarak kullanılan araç sayısı, oluşturulan toplam karbon emisyon miktarı ve her araç için müşterilerden oluşan bir rota vermektedir. Her araç hareketine ana depodan başlamakta ve ana depoya dönerek o günkü turunu sonlandırmaktadır.

4.2. Filo Bazlı Çözüm Önerileri

4.2.1. Aerodinamik ve Teknolojik İyileştirmeler

Araç aerodinamiğinde yapılacak iyileştirmelerin, karbon salımının düşürülmesinde ve yakıt maliyetlerinin azaltılmasında önemli bir etkiye sahip olduğu literatür taraması sonucunda öğrenildiğinden, Unilever filosundaki araçlar için rüzgarlık modelleri önerilmiştir (Ek 2). Gereken yatırım, sağladığı yakıt tasarrufuna oranlandığında, yaklaşık 2 ay içerisinde kendini amorti edebilmekte, ve uluslararası kurumlarca kabul edilen oranlarda yakıt tasarrufu sağlayabilmektedir.

4.2.2. Hız, İvme ve Teker Basıncı için Standardizasyon

Literatür araştırmaları sonucunda teker basıncı ile araçların hız ve ivme değerlerinin, ortaya çıkan karbon emisyonlarına etkisi gözlenmiştir. Hız ve ivme değerlerinin optimizasyonu sonucu %5-%10 yakıt tasarrufu ve karbon emisyonlarında %7 azalma olduğu saptanmıştır. Bu doğrultuda, yakıt tasarrufunu arttırırken bir yandan da karbon emisyonunu en aza indireyecek şekilde hız ve ivme değerleri için standartlar belirlenmiştir. Diğer yandan, Unilever filosundaki araçların tümünün teker özellikleri incelenmiş ve yapılan literatür çalışması sonucunda elde edilen en uygun teker basınç değerleri, her araca uygun olacak şekilde şirkete sunulmuştur (Ek 3).

4.3. Sezgisel Yaklaşımlar

4.3.1. Cross-Dock Yerleştirme ve Rotalama Sezgisel Yaklaşımları

Birim ton başına en az karbon emisyonuna sebep olan Cross-Dock yerlerinin belirlenmesi ile ana depo, Cross-Dock depoları ve müşteriler arasındaki rotanın belirlenmesini sağlayan Xpress modeli, artan sayıda nokta için çözümde zorlanması sonucu sezgisel yaklaşım ile iki parçaya ayrılmıştır. Sistem, ikinci adımda iki Xpress modelinin birlikte çalıştırılması, ilkinin sonucunun ikinciye girdi olarak verilmesi mantığına dayanmaktadır. Birinci Xpress modeli ile en mantıklı Cross-Dock lokasyonlarını belirler ve bunu yaparken literatürde K-Hub Median problemi olarak geçen modeli baz alır. İkinci model, kendine girdi olarak verilen Cross-Dock depolarının yerlerini göz önünde bulundurur ve müşteriler ile seçilen Cross-Dock noktaları arasında küçük araçlarla sevkiyat yapılmasını sağlayan rotaları elde eder.

Üçüncü adımda ise modellerin oluşturulduğu yazılım programlarının şirket tarafından kullanılamayabileceği ihtimali göz önünde bulundurularak Xpress optimizasyon yazılımı, Excel ile değiştirilmeye çalışılmış ve sistem Excel VBA'in birlikte kodlanmasını kullanarak yeniden oluşturulmuştur. Bu aşamada Xpress modelinin yaptığı rotalamayı yapması gereken Excel'e En Yakın Komşu Algoritması (Nearest Neighbor Algorithm) kodlanmıştır.

Son aşamada ise, Cross-Dock lokasyonlarını belirleyen Xpress modeli de uygulanabilirlik endişesi ile elimine edilmiş ve tüm modeller Excel ile VBA kullanarak oluşturulmuştur. Kullanıcı dostu arayüz tasarlanarak oluşturulan sezgisel modeller kullanıma sunulmuştur.

4.3.2. CNG Alternatif Yakıtlı Rotalama Modeli Sezgisel Yaklaşımları

İki ana aşamadan oluşan CNG alternatif yakıtlar otalama modeli, belirli kısıtları göz önünde bulundurarak rotalar elde etmeyi amaçlaması sebebi ile Cross-Dock depo modelinin ikinci kısmıyla benzerlik göstermektedir. İlk adımda Xpress'te kodlanan ve depodan çıkan donmuş ürün grubu tırlarının müşterilere olan sevkiyatları tamamlarken ihtiyaç duyması halinde CNG istasyonlarına uğraması sağlanmıştır. Ancak problem büyüklüğünün artması ile Xpress'in bu problemi çözme süresinin de artışı ekibi bu amaç için de sezgisel bir yaklaşım yapmaya itmiştir.

Bu bağlamda Cross-Dock yerleştirme ve rotalama modeli için kullanılan En Yakın Komşu (Nearest Neighbor) algoritmasının doğru ve en iyiye yakın sonuçlar veriyor oluşu sebebi ile CNG rotalama modeli de bu noktadan devam etmiştir. Excel'e ve yine VBA kullanılarak kodlanan algoritma ilkinden farklı olarak kalan yakıt miktarını da düzenli olarak kontrol etmekte ve gerekli durumlarda müşteriler arasında yakıt istasyonlarına giriş çıkışı mümkün kılmıştır.

5. Arayüz Tasarımı

Oluşturulan sezgisel modellerin kullanımını kolaylaştırmak ve uygulanabilirliğini arttırmak adına Excel –VBA kullanılarak tasarlanan arayüz ile günlük müşteri talebine göre belirlenen kümelerin (Cross-Dock noktaları ve bu noktalara atanan şehirler) seçilmesi sağlanmıştır. Kullanıcının seçtiği tarih ve küme doğrultusunda o tarihe ve kümeye ait müşteri bilgisi, toplam talep ve müşteri sayısı görüntülenir ve mevcut araç sayısının girilmesiyle seçilen Cross-Dock noktalarına göre rotalamalar belirlenir (Ek 6,7).

6. Sonuçlar ve Genel Değerlendirme

Bu proje sonucunda yıllık karbon emisyonunun %5 oranında azaltılması hedeflenmiş ve bu doğrultuda rota ve filo bazlı çözüm önerileri sunulmuştur.

Rota bazlı çözüm önerileri Cross-Dock ve CNG modellemeleri sezgisel yaklaşımlar ile şirketin günlük ve gerçek müşteri verilerini kullanarak sonuç alabileceği hale getirilmiştir.

Proje ekibi mevcut sistemi göz önünde bulundurmak ve daha doğru doğru geliştirme kaydedebilmek adına rastgele seçilen 30 günlük Ocak 2016-Kasım 2016 satış verilerini kullanarak çalışma yapmıştır. Çalışmalar sonucunda farklı Cross-Dock sayılarının ve lokasyonlarının mevcut sisteme oranla karbon emisyonunu ne derece etkilediği ve ne kadarlık bir geliştirme oranının yakalanabileceğini görmek amaçlanmıştır. Bu doğrultuda bir, üç ve beş olmak üzere belirlenen farklı Cross-Dock sayıları verilerek modeller çözümlenmiş ve model sonuçlarına göre farklı Cross-Dock sayıları ve mevcut sisteme göre karbon emisyon değerleri karşılaştırılarak geliştirme oranı saptanmıştır. Sonuç olarak, 30 günlük satış verileri baz alınarak yapılan ve bir Cross-Dock açılmasını hedefleyen çalışma sonucunda ortalama karbon emisyonu 13220.4 kg olarak belirlenirken, üç Cross-Dock açılarak yapılan çalışmada bu değer 8896.86 kg olarak, beş Cross-Dock noktası açılması hedeflenen çalışmada ortalama karbon emisyonu 8116.8 kg olarak saptanmıştır. Bu sonuçlar beş Cross-Dock noktasının bulunduğu sistemin en verimli sistem olacağını göstermektedir. Üç farklı senaryo, mevcut sistemle karşılaştırıldığında ise üç ve beş farklı Cross-Dock noktaları için %13.08 ve %20.80 geliştirme elde edilmiştir. Bunun yanında, bir Cross-Dock noktası açılması hedeflenen çalışmanın sonucu mevcut sisteme oranla daha yüksek karbon emisyonu elde edilmesi, bir Cross-Dock noktası açılması önerisinin verimli olmayacağını göstermektedir. Açılması planlanan Cross-Dock sayılarının belirlenmesine ilave olarak her bir senaryo için açılması önerilen lokasyonlar da ısı haritalarıyla en çok tercih edilenden en az tercih edilen şehirler olarak gösterilmiştir. En çok tercih edilen şehirler en koyu renkle gösterilirken en açık renkli iller Cross-Dock noktaları için en az tercih edilen illeri işaret eder.

CNG rotalama modelimizin sonucu ise Unilever'in satın alımını tamamladığı 10 CNG yakıtla çalışabilir aracın her günün talepleri dikkate alındığında kullanımının en iyi sonuç vereceği alanlara karar verebileceği arayüz olmuştur. Bunun dışında, filoya eklenecek farklı sayıdaki araç için maliyet, karbon emisyonundaki azalma miktarı ve talepleri CNG yakıtlı araçla karşılanabilecek yeni alanlardan oluşan bir analiz yapılmış ve farklı senaryolar halinde şirketin seçimine sunulmuştur.

KAYNAKÇA

- Beuthe, M., Gasca, J., Greene, D., Lee, D. S., Muromachi, Y., Newton, P. J., Plotkin, S., Sperling, D., Wit, R., Zhou, P. J. 2007. "Transport and Its Infrastructure", Climate Change Report, Editors: Bose, R., Kheshgi, H., 323-380.
- Gereffi G., Dubay Kristen. 2008. "Auxiliary Power Units, Reducing Carbon Emissions by Eliminating Idling in Heavy-Duty Trucks".
- Kay D., 2013. "The impact of 20 mph limits on carbon emissions and air quality", 4th Annual 20mph Conference

- Li, H. 2016. "Study on green transportation system of international metropolises", *Procedia Engineering* 137, 762-771.
- N.A. "CO2 Emissions from Fuel Combustion 2015. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development", International Energy Agency Report, 2015.
- N.A. "25+ Ways to Reduce Your Carbon Footprint", Carbon Offsets to Alleviate Poverty.
- N.A. "Overview of Greenhouse Gases", US Environmental Protection Agency, 2014.
- Ramachandran, K., Kanchustambham, S., Wingerden, V., Ladipo, O., Aggarwal, S., Rucke, A., Rigel, A. 2012. "Road Transport: Unlocking Fuel-Saving Technologies in Trucking and Fleets", Carbon War Room Research Report, Editors: Lee, T. M., Cullinen, M. S., 1-28.
- Tice, C. 2013. "How to calculate and reduce your business's carbon footprints?", *Entrepreneur*, accessed at <https://www.entrepreneur.com/article/226467> as of November 13, 2016.
- Tice, C. 2013. "How to go green with carbon-neutral shipping?", *Entrepreneur*, accessed at <https://www.entrepreneur.com/article/226289> as of November 13, 2016.
- The Community of European Railway and Infrastructure Companies. 2015. "Rail Transport and Environment: Facts & Figures", accessed at <http://www.cer.be/sites/default/files/publication/Facts%20and%20figures%202014.pdf> as of December 20, 2016.
- Wiedmann, T., Minx, J. 2008. "A Definition of Carbon Footprint", *Ecological Economics Research Trends*, Chapter 1, pp. 561-596. Nova Science Publishers, Hauppauge NY, USA.

EKLER

Ek 1: Karbon Emisyonu Hesap Makinesi

CO2 Calculator

Product Type: → Frozen, Chilled, Ambient

Vehicle Type: → Kamyonet, Tır

Distance (km):

Loadfill (ton):

Refrigerating Time (hour):

Number of Customers: → One, More than one

Fuel Type: → CNG, Diesel

Sources: NBC, Manufacturers

Ek 2: Aerodinamik İyileştirmelerle Elde Edilebilecek Yakıt Tasarruf Oranları



Ek 3: Teker Basıncı Öneri Tablosu

Teker Sayısı	Teker Büyüklüğü	Dingil Sayısı	Dingil Üzerindeki Ağırlık (kg)	Önerilen Teker Basıncı
12	12,5 R 22,5	5	25,000	5,5
12	295/80 R 22,5	5	40,000	9
12	295/80 R 22,5	5	40,000	9
10	12,5 R 22,5	3	13,300	5,5
10	12,5 R 22,5	3	13,200	5,5
10	12,5 R 22,5	3	14,100	5,5
10	12,5 R 22,5	3	12,700	5,5
6	215/75 R 17,5	2	4,150	4
10	12 R 22,5	3	25,000	5,5
10	12 R 22,5	3	25,000	5,5
12	315 70 22,5	5	40,000	9

Ek 4: Cross-Dock Yerleştirme ve Rotalama Modeli

$$\begin{aligned} \min \quad & \sum_{i,j \in V} \sum_{k \in SV} \left\{ \left[(a_k \times X_{ijk} \times \text{DIST}_{ij}) + (b_k \times f_{ijk} \times \text{DIST}_{ij}) + \right. \right. \\ & \left. \left(c_k \times X_{ijk} \times \frac{\text{DIST}_{ij}}{\text{vel}} \right) \right] + \sum_{j \in S, k \in BV} \left[(a_{2k} \times Y_{jk} \times \text{DIST}_{2s}) + (b_{2k} \times \right. \\ & \left. \text{flow}_{jk} \times \text{DIST}_{2s}) + \left(c_{2k} \times Y_{jk} \times \frac{\text{DIST}_{2s}}{\text{vel}} \right) \right] \Big\} \\ \text{subject to} \quad & \end{aligned}$$

$$\sum_{j \in S} Y_{jk} \leq 1 \quad \forall k \in BV \quad (1)$$

$$\sum_{i \in S, j \in V} X_{ijk} \leq 1, \quad \forall k \in SV \quad (2)$$

$$X_{ijk} = 0, \quad \forall i, j \in S, k \in SV \quad (3)$$

$$\sum_{i \in V, k \in SV} X_{ijk} = 1, \quad \forall j \in C \quad (4)$$

$$\sum_{j \in S, k \in SV} V_{ijk} = 1, \quad \forall i \in C \quad (5)$$

$$\sum_{i \in V} X_{ijk} = \sum_{i \in V} X_{jik} \quad \forall j \in C, k \in SV \quad (6)$$

$$\sum_{j \in C} X_{ijk} = \sum_{j \in C} X_{jik} \quad \forall i \in S, k \in SV \quad (7)$$

$$f_{ijk} \leq \text{CAP}_k \times X_{ijk}, \quad \forall i, j \in V, k \in SV \quad (8)$$

$$\sum_{j \in V} f_{sjk} - \sum_{i \in C} \text{DEM}_i \times V_{isk} = 0, \quad \forall s \in S, k \in SV \quad (9)$$

$$u_{ik} - u_{jk} + N \times X_{ijk} \leq N - 1, \quad \forall i \in V, j \in C, k \in SV \quad (10)$$

$$u_{ik} \leq N - 1, \quad \forall i \in C, k \in SV \quad (11)$$

$$\sum_{s \in S} W_s = r \quad (12)$$

$$X_{sjk} \leq W_s \quad \forall s \in S, j \in C, k \in SV \quad (13)$$

$$V_{jsk} \leq W_s \quad \forall s \in S, j \in C, k \in SV \quad (14)$$

$$X_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in V, \forall k \in SV \quad (15)$$

$$f_{ijk} \geq 0 \quad \forall i, j \in V, \forall k \in SV \quad (16)$$

$$V_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i \in C, j \in S, \forall k \in SV \quad (17)$$

$$u_{ik} \geq 0 \quad \forall i \in V, \forall k \in SV \quad (18)$$

$$W_s \in \{0,1\} \quad \forall s \in S \quad (19)$$

Ek 5: CNG Alternatif Yakıtla Rotalama Modeli

$$\min \sum_{i,j \in V, k \in K} \left\{ \left[(a_k \times X_{ijk} \times d_{ij}) + (b_k \times f_{ijk} \times d_{ij}) + \left(c_k \times X_{ijk} \times \frac{d_{ij}}{vel} \right) \right] \right\}$$

subject to

$$\sum_{j \in V} X_{0jk} = \sum_{j \in V} X_{j0k} \quad \forall k \in K \quad (1)$$

$$\sum_{i \in V} X_{ijk} = \sum_{i \in V} X_{jik} \quad \forall k \in K, \forall j \in V/\{0\} \quad (2)$$

$$\sum_{i \in V} \sum_{k \in K} X_{ijk} = 1 \quad \forall j \in C \quad (3)$$

$$\sum_{i \in V} \sum_{j \in S} X_{ijk} \leq 1 \quad \forall k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{j \in V/\{0\}} X_{0jk} \leq 1 \quad \forall k \in K \quad (5)$$

$$f_{ijk} \leq CAP_k \times X_{ijk} \quad \forall k \in K, \forall j \in V, \forall i \in V \quad (6)$$

$$R_{ik} - (a \times DIST_{ij} \times X_{ijk}) - (b \times DIST_{ij} \times f_{ijk}) - \left(c \times \frac{DIST_{ij}}{vel} \times X_{ijk} \right) + Q \times (1 - X_{ijk}) \geq R_{jk} \quad \forall k \in K, \forall i \in C, \forall j \in V, j \neq i \quad (7)$$

$$Q - (a \times DIST_{ij} \times X_{ijk}) - (b \times DIST_{ij} \times f_{ijk}) - \left(c \times \frac{DIST_{ij}}{vel} \times X_{ijk} \right) + Q \times (1 - X_{ijk}) \geq R_{jk} \quad \forall k \in K, \forall i \in C, \forall j \in V \quad (8)$$

$$\sum_{i \in V} f_{0ik} - \sum_{i \in V} \sum_{j \in V, i \neq j} DEM_i \times X_{ijk} = 0 \quad \forall k \in K \quad (9)$$

$$u_{ik} - u_{jk} + N \times X_{ijk} \leq N - 1 \quad \forall k \in K, \forall i \in V, \forall j \in V/\{0\}, j \neq i \quad (10)$$

$$u_{jk} \leq N - 1 \quad \forall k \in K, \forall i \in V/\{0\} \quad (11)$$

$$X_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in V, \forall k \in K \quad (12)$$

$$f_{ijk} \geq 0 \quad \forall i, j \in V, \forall k \in K \quad (13)$$

Ek 6: Cross-Dock Karar Destek Sistemi Arayüzü

Unilever XDock DSS

Date: 09.01.2016

Cluster Selection: 5

Customer's Information

Nakliye	Tarih	Araç Adı	CO2 Truck Type
1329888	9.01.2016	Tır	Articulated truck
1329888	9.01.2016	Tır	Articulated truck
1329888	9.01.2016	Tır	Articulated truck

Total Demand: 55.275008

Number of Customers: 20

Enter number of available vehicles: 10

Show Info

Run

Designed by: Tayfun Aydoğdu, Alcan Boz, Mels Çolak, Deniz Özmsir, İrem Yaprak Utku

Ek 7: CNG Modeli Karar Destek Sistemi Arayüzü

Unilever CNG DSS

Date: 09.01.2016

Customer's Information

Nakliye	Tarih	Araç Adı	CO2 Truck Type	Ri
1329888	9.01.2016	Tır	Articulated truck 7	C
1329888	9.01.2016	Tır	Articulated truck 7	C
1329888	9.01.2016	Tır	Articulated truck 7	C

Total Demand: 55.275008

Number of Customers: 20

Number of Stations: 19

Enter number of available vehicles: 10

Show Info

Run

Designed by: Tayfun Aydoğdu, Alcan Boz, Mels Çolak, Deniz Özmsir, İrem Yaprak Utku