

## ÇAMAŞIR MAKİNESİ FABRİKASI İÇ LOJİSTİK AKTİVİTELERİNİN OPTİMİZE EDİLMESİ

Sertalp Bilal ÇAY, Enes BİLGİN, Cansu ÇAKIR, Yasemin ARSLAN, Mehmet Fatih CABIOĞLU, Barbaros TANSEL\*

Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 06800 Bilkent, Ankara  
barbaros@bilkent.edu.tr

### ÖZET

BSH Çamaşır Makinesi Fabrikası'nda, malzemelerin büyük çoğunluğunun fabrika içerisindeki depolardan üretim hattına taşınması, milkrun sistemiyle sağlanmaktadır. Mevcut sistemde, milkrun araçlarının verimli kullanılmaması, milkrun araçlarının kat ettikleri mesafelerin uzun olması ve fabrika içerisinde forklift ve milkrun araçlarının sebep olduğu trafik gibi problemler gözlenmiştir. Bunun yanında, fabrika yönetimi fabrika içindeki bütün malzemelerin milkrun sistemine dahil edilmesini hedeflemektedir. Bu amaçla matematiksel model, sezgisel model ve benzetim modellerini bütünleşmiş bir şekilde kullanan SYMECA sistemi geliştirilmiştir. SYMECA sistemi ile milkrun araçlarının kat ettikleri mesafede %11, operatör gereksiniminde %20 ve araç gereksiniminde %33 azalma sağlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Milkrun sistemi optimizasyonu

### OPTIMIZATION ON INTERNAL LOGISTICS ACTIVITIES IN BSH WASHING MACHINE FACTORY

### ABSTRACT

In BSH Factory Istanbul Washing (FIW), milkrun system is used in order to transfer most of the materials from the storage areas to the assembly lines. In the current system, it is observed that milkrun vehicles are not used efficiently, the distances that milkrun vehicles use are very long and milkrun vehicles and forklifts cause cross-traffic in the factory. In addition to these, factory management aims to handle all materials only with milkruns. Therefore, SYMECA system which integrates a mathematical model, a heuristics model and a simulation model is developed. By using SYMECA system, the distances that milkrun vehicles move decrease by 11%, the need for operators decrease by 20% and the need for vehicles decrease by 33%.

**Keywords:** Milkrun system optimization

---

\* İletişim yazarı

Sabancı Üniversitesi tarafından düzenlenen 30. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Ulusal Kongresi Öğrenci Bildirileri Yarışması'nda ikincilik ödülü kazanan çalışmanın ilgili öğretim üyelerinin katkılarıyla düzenlenmiş halini EM Dergisi yayın politikası doğrultusunda yayımlıyoruz.

## 1. İŞLETME TANITIMI

Bosch ve Siemens Ev Aletleri Grubu, (BSH), Avrupa'nın birinci, dünyanın üçüncü en büyük ev aletleri şirkettir. Şirket Avrupa, Asya, Kuzey ve Güney Amerika, Kuzey Afrika, Orta Doğu ve Avustralya'da toplam 40 ülkede 42 fabrikasıyla üretim yapmaktadır. Dünya çapında 39.000 çalışanıyla BSH iş yaptığı ülkelerin ekonomik büyümelerine katkıda bulunmaktadır.

BSH Ev Aletleri Sanayi ve Ticaret A.Ş., (BSH-TR), ana markaları Bosch ve Siemens, özel markası Gaggenau ve yerel markası Profilo ile beyaz eşya sektörünün en büyük şirketlerinden biridir. BSH, yurt içine ve ihraç pazarlarına yönelik olarak büyük beyaz eşya üretimini gerçekleştirmektedir.

BSH-TR Çamaşır Makinası Fabrikası (FIW) Çerkezköy tesislerinde bulunan beş fabrikanın yıllık üretim adetleri bakımından en büyüğüdür. 1.000.000 adedin üzerinde yıllık üretim kapasitesi ile FIW, yurtiçi ve yurtdışı pazarlarına 210 farklı model çamaşır makinesi sunmaktadır. Fabrika üretiminin %40'ı yerli pazara gönderilirken, %60'ı Orta Avrupa, İtalya, İngiltere, İspanya, Polonya, İskandinav ülkeleri başta olmak üzere ihraç edilmektedir.

FIW süreç yönetimindeki başarısını 2008 yılında BSH Production System'de dünya çapında denek taşı olarak ve 2010 yılında Total Productive Maintenance, TPM'de Japon JIPM Enstitüsü tarafından TPM Excellence Kategori A ile ödüllendirerek taçlandırmıştır (BSH, 2010).

## 2. ANALİZ

### 2.1 Mevcut Sistemin Analizi

Fabrikada iki adet montaj hattı bulunmaktadır. İki montaj hattı birbirinin simetriği olup, montaj hatlarındaki donanım ve akış aynıdır. Çamaşır makinesi üretim süreci iki ana kategori halinde incelenebilir. Bunlar yarı mamul malzemelerin üretimi ve montaj sürecidir.

Yarı mamul malzemeler tambur, kazan, gövde, kontrol paneli ve diğer metal parçalar olmak üzere beş çeşittir. Bu yarı mamuller farklı ön üretim merkezlerin-

den montaj hatlarına taşınmaktadır. İki montaj hattı paketleme işleminin ardından birleşmekte ve nihai ürünler lojistik merkezine taşınmaktadır.

Çamaşır makinesi üretiminde 820 farklı malzeme kullanılmaktadır. Bu parçalardan bazıları valf, amortisör, vida gibi hacimsel olarak küçük parçalarken; bazıları ise beton ağırlık, motor, ön sac gibi hacimsel olarak büyük parçalardır. Bu malzemelerin 600 tanesi, montaj hatlarındaki 74 istasyona dağıtılmaktadır. Kalan 220 parça ise ön üretim merkezlerindeki dokuz farklı istasyona dağıtılmaktadır. Fabrika içerisinde malzemeleri taşımak için dört farklı yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler; elle, konveyörle, forkliftle ve milkrunla taşımadır.

Milkrun sisteminde araçlar belli bir rotayı kullanarak ve belli bir programa göre periyodik olarak istasyonlara malzeme dağıtımını yapmaktadır. Mevcut milkrun sisteminde yeşil, açık mavi, koyu mavi ve turuncu olmak üzere dört farklı milkrun vardır. Yeşil milkrun küçük hacimli malzemeler (c-parçalar) için, açık mavi milkrun küçük-orta hacimli malzemeler için, koyu mavi renkli milkrun büyük hacimli malzemeler için ve turuncu renkli milkrun askılı malzemeleri taşımak için kullanılmaktadır. Koyu mavi milkrun ile taşınamayacak kadar büyük hacimli ve ağır malzemeler ise forklift aracılığıyla taşınmaktadır. Fabrikada malzemelerin ambalaj içi miktarlarını küçültme ve uygun milkrun araçlarına adaptasyonları için çalışmalar sürmektedir.

### 2.2 Semptomlar

Fabrikada iç lojistik aktivitelerinde bazı semptomlar gözlemlenmiştir. Bu semptomlar, malzemelerin rampalardan stok alanlarına ve stok alanlarından montaj hatlarına taşınması sırasında oluşan iç lojistik aktiviteleriyle ilgili durumlardır. Bunlar:

- Fabrikadaki 123 malzeme grubundan 11'i forklift ile ilgili çalışma istasyonlarına götürülmektedir. Forkliftler sistematik bir yapı içerisinde çalışmadığı için, istasyonlardaki ara stok alanlarında gereğinden az ya da fazla malzeme bulunabilmektedir.
- Montaj hattındaki bazı istasyonlar birden çok ta-

şima aracıyla beslenmektedir. Bu durum montaj hattında araç trafiğinin tıkanmasına yol açmaktadır.

- Fabrika'daki milkrun araçları kapasitelerinin altında kullanılmaktadır. Gözlemlerimize göre açık mavi ve koyu mavi milkrun araçlarındaki vagonların kullanım oranı %60'a kadar düşmekteyken, yeşil milkrunda bu oran %30 olarak gözlenebilmektedir.
- Malzemeler kullanılacakları iş istasyonlarına olan yakınlıklarına göre süpermarketlere yerleştirilmediği için, fabrika içerisinde gereğinden fazla yol kat etmektedir.

### 2.3 Problem Tanımı

Mevcut sistem analizi yapıldıktan ve semptomlar gözlemledikten sonra sistemde var olan problemler aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

- *Forklift hareketleriyle ilgili problem:* Fabrika içerisinde forkliftler itme sistemiyle yani belli bir çizelge takip etmeksizin istasyonları beslediği için montaj hattında düzensiz forklift hareketleri ve malzeme beslemesinde sıkıntılar meydana gelmektedir. Forklift hareketlerinin en aza indirgenmesi veya tamamen kaldırılması istenmektedir.
- *Milkrun rotalarıyla ilgili problemler:* Milkrun rotaları birbirleriyle çakıştığı için bazı bölgelere birden çok milkrun uğramaktadır. Aynı bölgelerde faaliyet gösteren forkliftlerin varlığıyla birlikte, fabrika içerisinde trafik yoğunluğu oluşmaktadır. Trafik yoğunluğunun azaltılması istenmektedir.
- *Milkrun-malzeme eşleştirmeleriyle ilgili problem:* Malzemelerin milkrun vagonlarına atanması malzeme ambalaj hacimlerine göre yapılmıştır. Bu durum sonucunda, aynı istasyona birden fazla milkrun servis vermekte, bazı milkrun vagonları zaman zaman kapasitelerinin çok altında malzeme taşımaktadır. İstasyonların mümkün olduğunca tek milkrun seferiyle beslenmesi istenmektedir. Araç kapasitelerinin daha yüksek düzeyde kullanılması istenmektedir.
- *Malzeme depolarıyla ilgili problem:* Fabrika içerisinde bazı malzemeler kullanım istasyonlarına göre depolama yerlerinde konumlandırılmamıştır. Bu

nedenle bu malzemeler istasyona ulaşana kadar gereğinden fazla yol kat etmektedirler.

### 2.4 Çalışmanın Hedefleri ve Performans Ölçütleri

Çalışmanın kapsamı içerisinde, malzemelerin rampalardan depolama alanlarına ve depolama alanlarından montaj hattına taşınması sırasında oluşan iç lojistik aktivitelerinin optimize edilmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle, aşağıda belirtilen hedeflere cevap verilecek SYMECA sistemi tasarlanmıştır:

- Milkrun sisteminin verimliliğinin artırılması ve bunun sonucu olarak forklift ile taşınan diğer malzemelerin, milkrun sistemine dahil edilerek üretim alanlarında forklift kullanımının ortadan kaldırılması.
- Milkrun rotalarının montaj hattında meydana gelen trafik tıkanıklığını önleyecek şekilde düzenlenmesi.
- Malzemelerin fabrika içerisinde gereğinden fazla yol kat etmesinin engellenmesi.

SYMECA sisteminin çıktıları ve mevcut sistemin karşılaştırılmasında, şu performans ölçütlerine göre değerlendirilme yapılmıştır: Milkrun araçlarının kat ettiği toplam mesafe, milkrun vagonlarının doluluk oranı, ihtiyaç duyulan milkrun operatörle araç sayısı ve milkrun araçlarının çıkışan rota uzunluğu. Bunun yanında oluşturulan SYMECA sisteminin, herhangi bir zamanda fabrika yönetiminin malzeme çeşitlerinde ve malzeme ambalajlarında yapacağı değişikliklerde malzemeler için bir milkrun taşıma çizelgesi önerebilmesi de amaçlanmıştır.

## 3. ÖNERİLEN YÖNTEM

### 3.1 Literatür Taraması

BSH Çamaşır Makinesi Fabrikası'nda analiz edilen problemin özellikleri göz önüne alındığında, çözülmesi gereken problemin literatürde bulunan Araç Rotalama Problemi (APR)'nin çok karmaşık bir versiyonu olduğu tespit edilmiştir. Fabrika'daki problem;

- Çoklu malzeme
- Çoklu araç tipi

- Çoklu depo
- Kapasite kısıtı
- Zaman pencereli (periyodik olması)
- Fabrikaya özel kullanım kısıtları gibi özelliklere sahiptir.

Literatürde bulunan Araç Rotalama Problemleri'nin tam anlamıyla elimizde olan problemle örtüşmediği tespit edilmiştir. Karşılaştığımız probleme en yakın problem olarak Fry ve Ohlmann (2009) ARP'yi ceza tabanlı sezgisel tavlama yaklaşımıyla çözmüştür. Ancak bahsedilen makalede bizim problemimizde var olan çoklu malzeme ve çoklu depo özelliklerine değinilmemiştir. Araştırmalar sonucunda literatürde problemimize tam olarak uyan bir model bulunmadığı için, fabrikaya özel bir çözüm metodu geliştirilmesine karar verilmiştir.

Zaman pencereli ARP'lerde kesin çözüm modelleri, büyük problemler için genellikle uzun çözüm zamanları gerektirmektedir (Lenstra ve Rinnooy Kan, 2006). Bu yüzden matematiksel çözüm modelinde, mümkün olduğunca değişkenlerden kurtulmaya çalışılmıştır. Bu amaçla Petal sezgisel yaklaşım metoduna benzer bir yöntem kullanılmıştır. Petal sezgisel yaklaşım metoduna göre birçok olurlu rota oluşturulup, bu rotalar arasından seçim yapmak esastır (Ryan, 1993).

Sezgisel yaklaşım metodunda ise, yine tamamen FIW problemine özgü bir yaklaşım benimsenmiştir. Modellerin ayrıntıları, sonraki kısımlarda açıklanacaktır. Bununla birlikte matematiksel model kısıt yapısında ve benzetim modeli oluşturulurken Tansel vd. (2009) tarafından yapılan çalışmadan faydalanılmıştır.

### 3.2 SYMECA Çözüm Modeli

SYMECA karar destek sistemi; matematiksel model, sezgisel çözüm modeli ve benzetim modelinin bütünleşmiş bir şekilde ürettiği çözümlerin, bir Java kullanıcı arayüzüyle kullanıcıya aktarılmasına olanak sağlamaktadır. Bunun yanında kullanıcı, yine bu arayüz sayesinde belirtilen modellerde değişiklik yapma ve yeni veri girme imkanına da sahiptir.

SYMECA karar destek sisteminde kullanılan matematiksel model GAMS arayüzünü kullanan CPLEX

kodlamasıyla, sezgisel yaklaşım metodu SYMECA ekibi tarafından Java'da kodlanan bir programla, benzetim modeli ise Arena programıyla çalışmaktadır. Kullanıcı, tüm bu programlara sahip olması durumunda sistemin sağlayabileceği en iyi sonuçları elde edebilecek; GAMS ve/veya Arena'nın eksik olması durumunda ise sezgisel yaklaşım metodu ile uygulanabilir çözümlere ulaşacaktır.

Sistemin işleyişini anlatan bir şema ekte verilmiştir (Ek 1). Bu sistemin üzerinden sırasıyla gidilirse, kullanıcı ilk adımda, sisteme parametreleri (Malzeme ambalaj hacimleri, milkrun araç sayısı vb.) kaydeder. Bu işlem Java arayüzü ile halledilmekte ve sisteme özel uzantılı bir dosya olarak verileri kaydetmektedir. Kullanıcı burada isterse daha önceden kaydetmiş olduğu verileri yükleyebilir.

Sistem parametrelerinin yüklenmesinin ardından, çözümün ikinci adımında bir başlangıç çözümü bulunması gerekmektedir. Başlangıç çözümü şu üç yoldan biriyle bulunabilir: Kullanıcı Başlangıç Çözümü, Sez-Bul Metodu, Matematiksel Model. Kullanıcı zaten mevcut bir çözüme sahipse ve çeşitli nedenlerden dolayı bu çözümden uzaklaşmadan yerel iyileştirme yapmak istiyorsa, mevcut çözümünü başlangıç çözümü olarak alabilir. Bunun yanında, kısa zamanda çözüm elde etmek isteyen veya matematiksel modeli çözdürecek bir çözücü yazılıma sahip olmayan kullanıcı, Sez-Bul modülünü kullanacaktır. Bir çözücü yazılımına sahip olan ve iyi bir başlangıç çözümü bulmak isteyen kullanıcı ise Matematiksel Model çözüm modülünü kullanacaktır.

Başlangıç çözümleri arasında en iyi sonucun matematiksel model kullanılarak elde edilmesi beklenmektedir. Bunun yanında matematiksel modeldeki bazı değerler, modelin karmaşıklığını arttırmaması amacıyla değişken olarak değil parametre olarak alınmıştır. Bu durumun, elde edilebilecek bazı iyi çözümlere ulaşmayı engelleyebileceği düşünülmüştür. Bu çözümlerin de kullanıcı tarafından yakalanabilmesi amacıyla Sez-Gel çözüm geliştirme sezgisel algoritması tasarlanmıştır. Sez-Gel metodu, matematiksel modelde parametre olarak kabul edilen depo ve araçların transferine izin vererek elimizde olan çözümü daha

da iyileştirmektedir. Sez-Gel metodu herhangi bir yolla elde edilen tüm başlangıç çözümlerine uygulanabilmektedir.

Çözüm modellerinin son sonuçlarının elde edilmesiyle birlikte kullanıcıya çözümü sınaama seçeneği çıkmaktadır. Bu sayede kullanıcı yine Java arayüzünü kullanarak programı benzetim modelinde deneyebilmekte ve çeşitli istatistikleri (Malzemenin en fazla hat yanı stoğu, vagon doluluk oranları vb.) toplayabilmektedir. Modelin uygunluğu doğrulandıktan sonra uygun bir rapor formatıyla sonuçlar kullanıcıya verilmekte ve kullanıcı isterse bu dokümanı çıktı olarak alabilmektedir.

### 3.2.1 Başlangıç Çözümü Bulma Metotları

#### *Kullanıcı Girişli Başlangıç Çözümü*

Bu kısımda başlangıç çözümü, kullanıcı tarafından sisteme elle girilecektir. Kullanıcı, öncelikle daha önceden tanımladığı malzeme listesinden hangi malzemeleri milkrun sistemine dahil edeceğini seçecektir. Daha sonra kullanılacak mikrun aracı sayısı, her araç için tur sayısı ve her tur için kullanılacak rota belirlenmelidir. Yine her milkrun aracına eklenecek vagon tipi ve sayısı da kullanıcı tarafından girilecektir. Her milkrun aracına her tur için malzeme ataması yapılmasıyla başlangıç çözümü belirlenmiş olacaktır. Kullanıcı tüm bunları Java arayüzünde yapabilecek ve belirlediği başlangıç çözümünün uygulanabilirliğini kontrol edebilecektir.

#### *Sez-Bul Sezgisel Başlangıç Çözümü Bulma Metodu*

Kullanıcı Sez-Bul metodunu kullanarak, bir başlangıç çözümü elde edebilmektedir. Bu metot, şirketin matematiksel modeli çalıştırmak için gereken programı almama ihtimaline karşın, bağımsız bir çözüm üretebilmesi için geliştirilmiştir. Bu metot Java'da kodlanmış olup, basit ve mümkün bir çözüm oluşturmaktadır.

Bu çözümde her milkrun aracı yalnızca bir süpermarketle eşleştirilmektedir. Milkrun aracı görevlendirildiği süpermarketteki tüm malzemeleri hat yanına götürmekle görevlendirilir. Bunun için ilk ötelemede toplam tur sayısı, ikinci ötelemede her

tur için taşınacak malzemeler, üçüncü ötelemede ise malzemeler için uygun vagonlar belirlenmektedir. Eğer aracın kapasitesi malzemeleri taşımaya yetmezse, malzemelerin farklı süpermarketlere transferleri gerçekleştirilmektedir. Son ötelemede turlar için mümkün olan en kısa rotalar seçilmekte ve başlangıç çözümü tamamlanmaktadır.

#### *Matematiksel Model*

İç lojistik aktivitelerinin iyileştirilmesinde ilk aşamayı matematiksel modelin çalıştırılması oluşturmaktadır (Ek 2). Matematiksel model, istasyonlarda her malzemenin birer kutu bulunduğunu varsayarak, bir saatlik bir zaman dilimi içinde tüm istasyonlardaki saatlik malzeme ihtiyaçlarını taşıyacak bir milkrun sistemi önermektedir. Model genel olarak, milkrun araçlarını daha önceden belirlenmiş hazır rotalara, malzemeleri de milkrun araçlarına atamaktadır. Matematiksel modelin girdileri aşağıdaki gibidir:

- *Aday Rotalar:* Matematiksel modelin en önemli özelliği, malzeme taşımalarında milkrun araçlarının izleyeceği rotaların model tarafından, her tur için hazır rotalar arasından seçilmesidir. Bu sayede model, rota belirleme gibi karmaşık bir işlemden kurtarılmıştır. Fabrika yerleşkesinin kullanılabilirlik açısından çok çeşitli rotalara izin vermemesi de, rotaların hazır verilmesi yönteminin kullanılması da etkili olmuştur.
- *Aday Rota Uzunlukları:* Her rotaya ait toplam mesafe bilgisi de modelin girdileri arasındadır.
- *Malzeme Grupları:* Benzer fonksiyonları yerine getiren malzemeler aynı başlıklar altında toplanmıştır. Örneğin: Motor malzeme grubundaki farklı motor malzeme çeşitleri ayrı ayrı değerlendirilmek yerine, motor başlığı altında toplanmıştır. Bunun yanında hangi malzemenin hangi tip vagonla taşınacağı da parametre olarak verilmiştir.
- *Duraklardaki Malzeme Talebi:* Her durağa bağlı istasyonlardaki malzeme talebi, toplu ve durağın malzeme talebi olarak modele verilmektedir.
- *Malzeme Ambalaj Büyüklükleri:* Malzemelerin taşındığı ambalajlar, vagonlardaki kapasite de-

netimi için ambalaj tabanlarının kapladıkları alan cinsinden girdiler arasındadır.

- *Ambalaj İçi Malzeme Adetleri*: Malzemelerin, birim ambalaj içindeki adetleridir.
- *Malzeme Depolama Bilgisi*: Her bir malzeme için, malzemelerin fabrika içinde hangi depolama alanında tutulduğu sabit kabul edilmekte ve modele girilmektedir. Dolayısıyla, bir rotanın hangi malzemeler için yüklemeye elverişli olduğu da, rotanın o depolama alanına uğrayıp uğramamasına göre belirlidir.
- *Milkrun Vagon Adetleri*: Her bir vagon çeşidinden fabrikada kaç adet mevcut olduğu (veya sağlanabileceği) bilgisidir.
- *Süre Bilgileri*: Her bir malzeme için taşıma süreleri, duraklarda ve süpermarketlerde durma süreleri parametre olarak modele verilmektedir.
- *Vagon Kapasiteleri*: Her bir vagon tipi için kapasite bilgisidir.
- *Milkrun Treni Uzunluk Bilgisi*: Her bir milkrun treninin en fazla uzunluğu ve vagonların uzunluk bilgileridir.

Model kısıtları ise aşağıdaki gibidir:

- *Nakliye Kısıtı*: Malzemeler, milkrun araçları tarafından ancak o turda seçilen rotalardaki süpermarketlerden yüklenebilir ve rota üzerindeki duraklara teslim edilebilir.
- *Rota Kısıtı*: Bir milkrun aracı, belirli bir tur için en fazla bir rota seçebilir.
- *Talep Kısıtı*: Milkrun araçları, bir saat içerisindeki turlarında duraklardaki saatlik malzeme taleplerini karşılamak zorundadırlar. Her bir saat için istasyondaki güvenlik stoğunun dörtte bir oranda tüketilmesine izin verilmektedir.
- *Hat Yanı Stoğu Kısıtı*: Büyük hacimli malzemeler için, bir turda en fazla iki vagon teslim edilmesine izin verilmekte; böylece hat yanındaki stoğun çok fazla yer kaplaması engellenmektedir.

- *Tek Çeşit Milkrun Kısıtı*: Bir malzemenin bir duraktaki ihtiyacının karşılanması, sadece bir milkrun aracı tarafından yapılabilir. İhtiyaç, milkrun aracının farklı turlardaki teslimatlarıyla karşılanabilir. Böylece, gerçek hayatta malzemelerin kanban kartlarının farklı milkrun araçlarına dağılmasının önüne geçilmektedir.
- *Kapasite Kısıtı*: Bir turda taşınan malzemeler, vagonların kapasitelerini aşmamalıdır.
- *Uzunluk Kısıtı*: Milkrun trenlerinin vagonların eklenmesiyle oluşan uzunluğu belirlenen üst sınırı aşmamalıdır.
- *Vagon Kullanım Kısıtı*: Her bir vagon tipi için, kullanılan vagon sayısı mevcut vagon sayısını aşmamalıdır.
- *Süre Kısıtı*: Bir milkrun aracının atacağı tüm turların toplam süresi bir saati aşmamalıdır.
- *Ortak Süpermarket Kısıtı*: Bir milkrun aracının bir saat içerisinde atacağı toplam turlarda kullanılan rotalarda, en az bir süpermarket hareket merkezi olması amacıyla, ortak olarak bulunmalıdır.

Matematiksel modeldeki basitleştirmeler ve çözüme tahmini etkileri şunlardır:

- *Malzemelerin Gruplanması*: Farklı malzemelerin gruplar altında incelenerek her malzeme grubunun her zaman taşınacağı düşünülmesi, matematiksel modelin vagon kapasitelerinin normalinden fazla tüketiildiğini hesaplamasına neden olmaktadır. Bununla beraber kullanıcı, benzetim modelinde kapasitedeki bu fazla tüketim oranını farkedebilecek ve gerekirse modelde kapasiteleri uygun katsayıyla çarparak fazla kullanımı büyük ölçüde dengeleyebilecektir.
- *Hazır Rotaların Kullanılması*: Fabrika yerleşkesi, çok çeşitli rotaların kullanılmasına müsait değildir. Bu yüzden hazır verilen rotalar iyi düşünüldüğü takdirde, en iyi çözümden kayda değer oranda uzaklaşması beklenmemektedir.
- *Süpermarket-Malzeme Eşleştirilmelerinin Sabit Kabul Edilmesi*: Süpermarket-Malzeme eşleştir-

melerinin modelin karmaşıklığını arttırmaması açısından sabit kabul edilmesi, modelde bulunan ve sonuca etki edecek en önemli varsayımdır. Bu yüzden bu varsayımı kaldırarak iyileştirme yapmaya çalışan bir sezgisel iyileştirme algoritması geliştirilmiştir.

Çözümün sonunda matematiksel modelin kullanıcıya sağladığı çıktılar aşağıdaki gibidir:

- Milkrun araçlarının turlarında kullanacakları rotalar
- Her turda, her bir milkrun aracı tarafından bir malzeme için öngörülen taşınacak kutu miktarı
- Her milkrun aracına takılacak vagon tipleri ve adetleri

### 3.2.2 Sez-Gel Sezgisel Çözüm Geliştirme Modeli

Sez-Gel çözüm modeli, SYMECA sisteminde başlangıç çözümlerinin iyileştirilmesi görevini yapan kısımdır (Ek 3).

Malzemelerin depolara dağılımı, matematiksel modeli karmaşıklatacağı için değişken olarak değil parametre olarak alınmıştır. Bu durum milkrun sistemi içinde yapılacak iyileştirmeleri kısıtlamaktadır. Sez-Gel modeli malzemelerin depolara dağılımını düzenleyerek daha iyi sonuçlar elde etmeyi sağlamaktadır.

Java programlama dili sayesinde üç farklı şekilde elde edilebilen başlangıç çözümleri Sez-Gel modeline aktarılmaktadır.

Sez-Gel modeli şu adımları izlemektedir: Öncelikle, her bir durak için, o durağa servis veren farklı milkrun araçlarının sayısı tespit edilmektedir. Bunların içinde en fazla araç tarafından servis verilen durak seçilmekte ve bu durağa uğrayan araç sayısında azaltmaya gidilmektedir. Bunun için bu durağa en az parça bırakan milkrun, bu parçanın taşınması görevini diğer araçlara devretmektedir. Bu sayede diğer milkrun araçlarının gittiği duraklardaki parçaların araç ve süpermarket transferi sağlanarak, sistemde toplam servis verilen durak sayısı ve dolayısıyla toplam yol azaltılmaktadır.

Sez-Gel modeli, matematiksel model ile aynı formatta çıktı vermektedir.

### 3.2.3 Benzetim Modeli

Matematiksel model ve/veya sezgisel yaklaşım modellerini (çözüm modelleri) kullanarak elde ettiğimiz sonuçları sınamak için Arena 12 benzetim programı üzerinde bir sına modelini oluşturuldu. Benzetim modeli mevcut sistemin ve önerilen sistemin performansını ölçmek ve öngörülen değişikliklerin mevcut sistemde ne gibi sonuçlar doğuracağını öğrenmek için kullanılmıştır.

Benzetim modelini oluştururken bazı varsayımlarda bulunulmuştur. İlk olarak matematiksel modelde her turda belli sayıda malzeme dağıtım yapılarak, benzetim modeli gerçeğe uygun şekilde kanban sistemiyle çalışmaktadır. İkinci olarak, proje kapsamı dışında bırakıldığı için malzemelerin ana depodaki ve süpermarketteki stok seviyeleri sonsuz olarak kabul edilmiştir.

Benzetim modelinde üç grup girdi kullanılmaktadır. İlk grup, sistem tarafından belirlenen sabitler (parametreler), ikinci grup çözüm modelleri tarafından sağlanan veriler, üçüncü grup ise zamana bağlı istatistiği tutulan değişkenlerdir. Bu değişkenler sayesinde önerilen sistemin performansı ölçülmektedir.

Benzetim modelinde milkrun ve kontrolcü olmak üzere iki tip varlık (entity) vardır. Milkrunlar sisteme çözüm modelleri tarafından belirlenmiş zaman aralıklarıyla gelmekte ve kanban kartlarının durumunu güncellemekte, yani hat yanındaki ürün sayısını arttırmaktadır. Yapay bir varlık (entity) olan kontrolcü ise sistemin üretim sırasında kullanması gereken malzemeleri tüketmesini, kanban kartlarının biriktirilmesini, yani hat yanındaki malzeme miktarının azalmasını sağlamaktadır. Bu sayede model, gerçeğe uygun şekilde ürün sayılarındaki dalgalanmayı takip etmektedir.

Benzetim modeli yardımıyla, sistem için aşağıdaki kontroller yapılabilir:

- Her hat için üretimin durup durmadığı
- Her bir malzeme için ölçülen hat yanı ortalama stok değerleri
- Her bir malzeme için ölçülen hat yanı en düşük stok seviyeleri

- Milkrunların kapasitelerinin aşılmış aşılmadığı
- Milkrunların rotasını tamamlamak için harcayacağı zaman

### 3.2.4 Arayüz

Sistem parametrelerine, matematiksel modele, benzetim modeline ve sezgisel yaklaşım metoduna kullanıcı tarafından müdahale edilmesini sağlayan kullanıcı dostu Java tabanlı bir arayüz tasarlanmıştır (Ek 4). Arayüzün işlevi aşağıdaki gibidir:

- *Sistem Parametreleri*: Sisteme parametre eklenmesi, sistemden parametre çıkarılması ve sistemde var olan parametrelerin değerinin değiştirilmesi için kullanılan bir modüldür. Matematiksel model için kullandığımız bazı parametreler; aday rotalar ve aday rotaların uzunlukları, malzeme grupları, duraklardaki malzeme talebi, ambalaj içi malzeme adetleri, malzeme depolama bilgisi, vagon adetleri ve kapasiteleri, malzeme taşınma süreleri matematiksel model için kullandığımız bazı parametrelerdir. Benzetim modeli için kullanılan bazı parametreler ise malzemelerin kullandığı milkrun çeşidi, montaj hattının üretim kapasitesi, durakların konumu ve aralarındaki mesafe ve malzemelerin kanban kartı sayısıdır.
- *Matematiksel Model*: Matematiksel modele kısıt eklemek veya kısıt çıkarmak için kullanılan modüldür.
- *Benzetim Modeli*: Kullanıcının sonuçları benzetim ortamında denemesini sağlayan modüldür.
- *Sezgisel Yaklaşım Metodu*: Matematiksel modelden elde edilen sonuçların iyileştirilmesi için kullanılan modüldür.

## 4. SONUÇLAR

### 4.1 Sistem Performansı ve Altyapısı

SYMECA sistemi sonuçları verebilmek için uzun sayılabilecek bir zamana ihtiyaç duymaktadır. Fakat burada verilen sonuçların uzun dönem kullanılıyor olması önemlidir. Sistemin matematiksel model çözümü yaklaşık 30 saat, sezgisel yaklaşım modeli geliştirilmesi ise yaklaşık bir saat sürmektedir. Sonuç olarak top-

lam 1,5 gün içerisinde mevcut sistemden daha iyi bir çözüm elde edilebilmektedir. Ayrıca benzetim modeli dakikalar içerisinde denenmek istenen her sistemi test etme kapasitesine sahiptir. SYMECA sisteminin mümkün bir sonuca bir saatte, en iyi çözüme daha yakın bir sonuca ise 31 saatte ulaştığı tespit edilmiştir.

Geliştirilen sistem altyapı olarak Java teknolojisini içeren her bilgisayarda temel çözüm üretebilmektedir. Ayrıca, GAMS programının tam sürüm paketiyle birlikte matematiksel modeli çözebilmekte ve geliştirilen benzetim modeliyle Arena programının kısıtlı sürümlerinde bile sonuç değerlendirmesi yapabilmektedir.

### 4.2 Mevcut Durumla Sistem Çıktılarının Karşılaştırılması

Fabrikadaki mevcut durumda kullanılan rotalarla, SYMECA sisteminin üretmiş olduğu sonuçlar aşağıdaki tabloda karşılaştırılmıştır:

**Tablo 1.** Sistem Performansı Özeti

	Mevcut Durum	Önerilen Sistem	Geliştirme (%)
Milkrun Ortalama Doluluk Oranı - KMM* hariç (%)	52	83	59
Çakışan Rota Kesiti (m)	400	148	63
Milkrun Rota Mesafesi - KMM* hariç (m)	1450	1150	21
Toplam Milkrun Rota Mesafesi (m)	2750	2450	11
İhtiyaç Duyulan Operatör (kişi)	5	4	20
Araç Sayısı (adet)	3	2	33

KMM: Koyu Mavi Milkrun

Önerilen sistemde, sonuçlara göre taşınan tüm malzemelerin kanban kartı sayıları mevcut sistemde kullanılan kanban kartı sayısına eşittir. Bu nedenle önerilen sistemin benzetim modeli çıktılarına bakıldığında, hat yanı stoğu ölçümlerinin mevcut sistemle yaklaşık olarak aynı değerlere sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra, uygun rotaların ve



depoların seçilmesi sayesinde, daha az kişi ve milkrun aracı kullanılmasına rağmen, malzemeler toplamda daha az yol kat ederek zamanında teslim edilmektedir. Benzetim modeli sonuçlarına göre hiçbir istasyonda malzeme yetersizliği görülmemiştir. Önerilen sistem, bu açılardan, mevcut sisteme göre herhangi bir dezavantaja sahip değildir.

### 4.3 Önerilen Sistemin Sağladığı Kazanımlar

Öncelikle SYMECA ile FIW Fabrika Lojistik Departmanı ve milkrun sisteminin kullanıldığı tüm BSH fabrikaları, değişen makine modellerinin üretimlerine uygun milkrun sistemi oluşturabilecekleri bir karar destek sistemine sahip olmuşlardır.

Bunun yanında sistem ile oluşturulan yeni rotalamayla dört farklı milkrun üçe düşürülmüş ve rota çakışmaları azaltılmıştır. Böylelikle çapraz trafik kaynaklı teslimat gecikmelerinin büyük ölçüde önüne geçilmiştir.

Rotalamadaki optimizasyon ile milkrun araçlarının bir yılda kat ettiği mesafe mevcut duruma göre 1050 km. ve kullanılan milkrun operatör sayısı 1,5 kişi azalmaktadır (iki vardiya ve yılda 250 iş günü çalıştığı varsayımıyla).

Milkrun prosesinde kullanılan kaynaklardan elde edilen yukarıdaki kazançlar ve verim artışı, forklift ile taşınan diğer malzemelerin, milkrun sistemine dahil edilerek üretim alanlarında forklift kullanımının ortadan kaldırılması için gerekli altyapıyı oluşturmaktadır. Böylece forklift kullanımını tamamen kaldırılmıştır ve forkliftlerle taşınan diğer bazı malzemeler de milkruna dahil edilmiştir.

## 5. UYGULAMA VE GENEL DEĞERLENDİRME

Önerilen çözüm sistemi kullanıcı dostu bir arayüzü içermektedir. Arayüz kullanılarak GAMS, Java ve Arena uygulamaları hiçbir program ve programlama bilgisi gerekmeden kolaylıkla kullanılabilir. Bunun yanı sıra matematiksel modelde eklenmesi veya

çıkarılması gereken kısıtlar yine arayüz ekranından düzenlenebilecektir. Sabit olan sistem parametrelerinin de değişmesine imkan sağlayan arayüz sayesinde kullanıcı fabrikadaki değişen koşullar için de problemi çözdürebilecektir.

SYMECA arayüzünün kullanımı fabrikadaki ilgili lojistik birimi elemanlarına bir sunumla tanıtılmıştır. Bunun için bir kullanma kılavuzu oluşturulmuştur. Fabrika yönetimi tarafımızdan sağlanan çözümü irdelemiş, seri üretim şartlarında yapılan denemeler ile test etmiş ve doğrulanmıştır. Önerilen çözümün uygulamaya geçişi, 17 Mayıs 2010 tarihi itibarıyla başlamıştır.

### TEŞEKKÜR

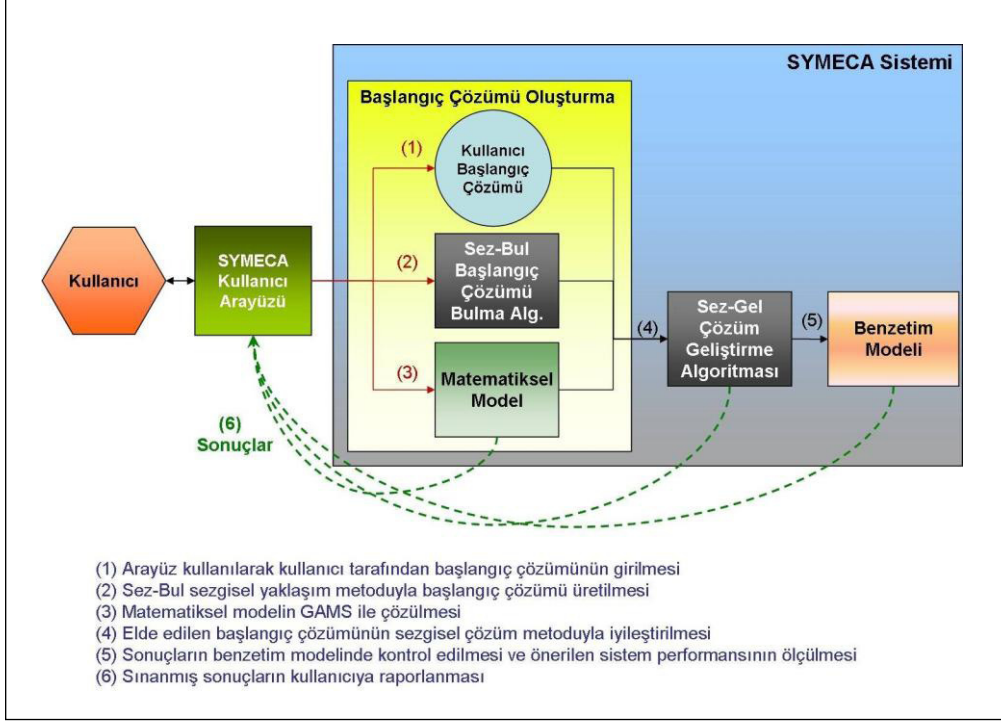
Bu projenin gerçekleşmesinde bizlerden yardım ve desteklerini esirgemeyen BSH İstanbul Çamaşır Makinesi İşletmesi Lojistik Müdürü Sn. Korhan Gökçay'a, Kurumsal Teknoloji Müdürü Murat Yücel'e, Malzeme Planlama Mühendisi Savaş Tat'a ve Kanban Koordinatörü Oktay Cankılıç'a teşekkürlerimizi sunarız.

### KAYNAKÇA

1. BSH 2010. BSH Kurumsal Tanıtım, <http://www.bsh-group.com.tr/page.aspx?id=7>. Son erişim tarihi: 25 Nisan 2010.
2. Fry, M.J., Ohlmann, J.W. 2009. "Route Design for Delivery of Voting Machines in Hamilton County", *Interfaces*, 39(5), 443-459.
3. Lenstra, J. K., Rinnooy Kan, A. H. G. 2006. "Complexity of Vehicle Routing and Scheduling Problems," *Networks*, 11(2), 221-227.
4. Ryan, M.D. 1993. "Extensions of the Petal Method for Vehicle Routing," *Operational Research Society*, 44(3), 289-296.
5. Tansel, B., Daşyürek, F., Eren, S., Kaya, O., Sezgin, G. ve Şahinoğlu, E. 2009. "Arçelik Yurt İçi Tedarik Zinciri İçin Araç Sevkiyat ve Rotalama Sistemi," *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 20, 22-38.

## EKLER

Ek 1. Önerilen Çözüm Sistemi Yapısı



Ek 2. Matematiksel Model

### Setler

$i$	: Milkrun aracı
$r$	: Tur numarası
$m$	: Malzeme numarası
$j$	: İstasyon numarası (süpermarket dahil)
$T$	: Rota numarası
$p$	: Vagon tipi
$s$	: Süpermarket numarası
$m_q$	: Değerlendirilen malzemeler
$l_s$	: Askılı tip malzemeler
$e_s$	: Büyük hacimli milkrununda taşınan malzemeler
$z_s$	: Normal tip malzemeler

### Parametreler

$C(T)$	: $T$ rotasının toplam mesafesi
$N(j, T)$	: $j$ istasyonu $T$ rotasında bulunuyor mu (1, 0)
$D(j, m)$	: $j$ istasyonunun saatlik $m$ malzemesi talebi
$Q(m)$	: $m$ malzemesinin kutu içi adedi

$V(m)$	: $m$ malzemesinin kutu hacmi
$W(m,T)$	: $m$ malzemesi $T$ rotasında sağlanıyor mu (1, 0)
$Z(p)$	: Eldeki $p$ tip vagonların sayısı
$G1$	: 1. Tip vagonun hacmi ( $g1$ birimi)
$G2$	: 2. Tip vagonun hacmi ( $g2$ birimi)
$G3$	: 3. Tip vagonun hacmi ( $g3$ birimi)
$L$	: Maksimum milkrun treni uzunluğu
$MTR$	: Maksimum malzeme taşıma katsayısı
$MN$	: Çok büyük bir sayı (Big M)
$stTime$	: Milkrun aracının durmasından dolayı kayıp zaman
$smTime$	: Milkrun aracının supermarket girmesinden dolayı kayıp zaman
$rNum$	: İzin verilen saatlik maksimum tur sayısı
$sNum$	: Süpermarket sayısı
$matTimes(2,m)$	: $m$ malzemesi için kutu yükleme ve taşıma zamanları
$smG(s)$	: $s$ süpermarketine uğramadan dolayı kayıp zaman
$smMat(s,m)$	: $s$ supermarket $m$ malzemesini içeriyor mu (1/0)

### Değişkenler

$X(i,r,T)$	: $i$ milkrun aracının $r$ 'nci turunda $T$ rotası seçildi mi (1/0)
$k(i,r,m,j)$	: $i$ milkrun aracının $r$ 'nci turunda $m$ malzemesinden taşınan kutu adedi
$u(i,m,j)$	: $i$ milkrun aracı $m$ malzemesini $j$ durağına taşıyor mu (1/0)
$RN(i,p)$	: $i$ milkrun aracına kaç tane $p$ tip vagon takılacağı (tamsayı)
$g(i,r,j)$	: $i$ milkrun aracı $r$ turunda $j$ istasyonuna uğruyor mu (1/0)
$ncomS(i,s)$	: $i$ milkrun aracı için $s$ supermarketi her rotada ortak mı (1/0)
$kInt(i,r,m,j)$	: $i$ milkrun aracının $r$ 'nci turunda $m$ malzemesinden taşınan kutu adedi (2 saatlik, tamsayı)

### Hedef Fonksiyon

En Küçült :  $cst$

### Kısıtlar

$$cst = \sum_i \sum_r \sum_T C(T) * X(i,r,T) + \sum_i \sum_r \sum_s smG(s) * g(i,r,s)$$

$$k(i,r,mq,j) * Q(mq) \leq \sum_T X(i,r,T) * N(j,T) * W(mq,T) * MN \quad \forall i, \forall r, \forall mq, \forall j$$

$$\sum_T X(i,r,T) \leq 1 \quad \forall i, \forall r$$

$$\sum_i \sum_r k(i, r, mq, j) * Q(mq) \geq D(j, mq) - \frac{Q(mq)}{4} \quad \forall mq, \forall j$$

$$\sum_i \sum_r k(i, r, mq, j) * Q(mq) \leq MTR * D(j, mq) \quad \forall mq, \forall j$$

$$k(i, r, es, j) \leq 2 \quad \forall i, \forall r, \forall es, \forall j$$

$$\sum_r k(i, r, mq, j) * Q(mq) \leq u(i, mq, j) * MN \quad \forall i, \forall mq, \forall j$$

$$u(i, mq, j) \leq \sum_r k(i, r, mq, j) \quad \forall i, \forall mq, \forall j$$

$$\sum_i u(i, mq, j) \leq 1 \quad \forall mq, \forall j$$

$$\sum_{zs} \sum_j V(zs) * k(i, r, zs, j) \leq RN(i, '1') * G1 \quad \forall i, \forall r$$

$$\sum_{es} \sum_j V(es) * k(i, r, es, j) \leq RN(i, '2') * G2 \quad \forall i, \forall r$$

$$\sum_{ls} \sum_j 1 * k(i, r, ls, j) \leq RN(i, '3') * G3 \quad \forall i, \forall r$$

$$\sum_p RN(i, p) * trLen(p) \leq L \quad \forall i$$

$$\sum_i RN(i, p) \leq Z(p) \quad \forall p$$

$$\sum_{mq} k(i, r, mq, j) * Q(mq) \leq g(i, r, j) * MN \quad \forall i, \forall r, \forall j$$

$$\sum_r \sum_j g(i, r, j) * stTime + \sum_r \sum_m \sum_j k(i, r, m, j) * \frac{(matTimes('1', m) + matTimes('2', m))}{60} + \sum_r \sum_s g(i, r, s) * smTime + \sum_r \sum_T C(T) * \frac{X(i, r, T)}{60 * 1.6} + \sum_r \sum_s smG(s) * \frac{g(i, r, s)}{(60 * 1.6)} \leq 60 \quad \forall i$$

$$\sum_r \sum_T X(i,r,T) - \sum_r \sum_T X(i,r,T) * N(1',T) \leq ncomS(i,1') * MN \quad \forall i$$

$$\sum_r \sum_T X(i,r,T) - \sum_r \sum_T X(i,r,T) * N(2',T) \leq ncomS(i,2') * MN \quad \forall i$$

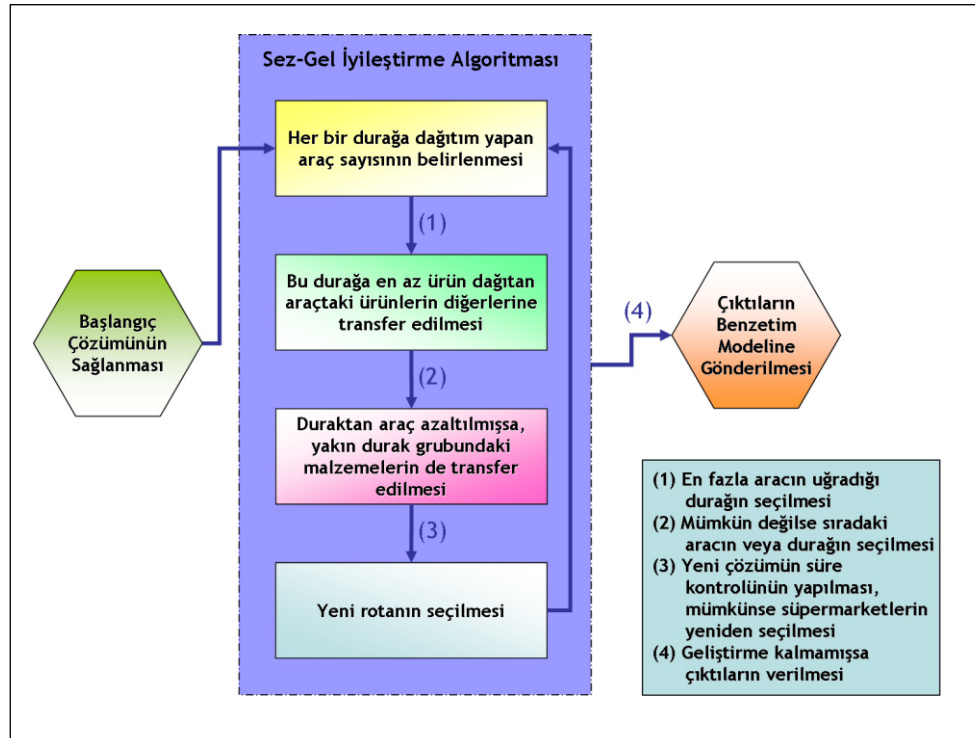
$$\sum_r \sum_T X(i,r,T) - \sum_r \sum_T X(i,r,T) * N(3',T) \leq ncomS(i,3') * MN \quad \forall i$$

$$\sum_s ncomS(i,s) \leq sNum - 1 \quad \forall i$$

$$\sum_j k(i,r,,mq,j) * smMat(s,mq) \leq g(i,r,s) * MN \quad \forall i, \forall r, \forall mq, \forall s$$

$$2 * k(i,r,,mq,j)) = kInt(i,r,mq,j) \quad \forall i, \forall r, \forall mq, \forall j$$

**Ek 3.** Sez-Gel Sezgisel Çözüm Geliştirme Modeli



#### Ek 4. SYMECA Sistemi Kullanıcı Arayüzü

