

TOZ DETERJAN İÇİN ÜRETİM PLANLAMA VE ÇİZELGELEME SİSTEMİ TASARIMI

*Tardu Selim SEPİN, Mehmet Diyar YATKIN, Merve Nazlı ERALP, Gökhan MEMİŞOĞLU,
Mehmet Rüştü TANER*, Mehmet ÖZCAN, Deniz AKDEMİR*

Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 06800 Bilkent, Ankara

*tsepin@princeton.edu, yatkın@bilkent.edu.tr, nme20@cam.ac.uk, gmemis@tamu.edu, mrtaner@bilkent.edu.tr,
mehmetozcan@alumni.bilkent.edu.tr, d_akdemir@ug.bilkent.edu.tr*

ÖZET

Unilever Gebze Fabrikasının toz deterjan üretimi planlama sürecinde çizelgeleme işlemi için karar destek sisteminin eksikliği, ürün değişikliklerinin neden olduğu kurulum sayısının ve fırsat maliyetlerinin artmasına sebep olmaktadır. Projenin amacı, sürekli imalat yapısına sahip olan toz deterjan üretimine hızlı ve tutarlı sonuçlar veren, toplam kurulum sayısı ve süresini en aza indirecek bir çizelgeleme sistemi tasarlanmasıdır. Problem dört aşamada incelenmiş; sırasıyla bütünlük, bölünmüş, kısıtlı bölünmüş matematiksel modeller ve sezgisel metot ile çözülmüştür. Sonuçların karşılaştırılmasıyla sezgisel metodun kısa zamanda tutarlı çözümler verdiği görülmüş ve oluşturulan arayüzle sisteme entegre edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çizelgeleme, sürekli imalat, karışık tam sayı programlama, geçerli eşitsizlikler, sezgisel metot

PRODUCTION PLANNING AND SCHEDULING SYSTEM FOR LAUNDRY POWDERS

ABSTRACT

The absence of a decision support system for scheduling production of laundry powders causes Unilever Gebze Plant to incur opportunity costs due to increasing number of setups. It is intended with this project to design a fast and consistent scheduling system which minimizes the number of setups in a continuous manufacturing environment. The problem has been studied with a compact model, a decomposed model with and without valid inequalities and finally with a heuristic method. It is found out that the heuristic method generates consistent solutions very quickly. Heuristic method has been integrated into Unilever Gebze Plant's scheduling system with a graphical user interface.

Keywords: Scheduling, continuous manufacturing, mixed integer programming, valid inequalities, heuristic method

* İletişim yazarı

Bilkent Üniversitesi tarafından düzenlenen 29. Yönelem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Ulusal Kongresi Öğrenci Bildirileri Yarışması'nda üçüncülük ödülü kazanan çalışmanın ilgili öğretim üyelerinin katkılarıyla düzenlenmiş halini EM Dergisi yayın politikası doğrultusunda yayımlıyoruz.

1. FİRMA TANITIMI

Unilever Gebze Fabrikası Dilovası mevkinde 42.000 m² lik açık alan içinde 30.000 m² lik alan üzerine kurulmuştur. Gebze Fabrikası çamaşır deterjanı, sıvı deterjan ve kişisel bakım ürünlerinin üretimini içeren üç ana bölümden oluşmaktadır. Bu bölümlerde sırasıyla Omo ve Rinso marka çamaşır deterjanları; Cif, Domestos ve Yumoş marka sıvı deterjanlar; Elidor, Dove ve Clear marka şampuanlar üretilmektedir. Bütün son ürünler Unilever'in Muallimköy'de bulunan deposuna gönderilir ve buradan Türkiye içindeki perakende ve toptancı şirketlere dağıtılır. Unilever Gebze Fabrikası ürünlerini başka ülkelere de ihraç etmektedir; İsrail ve Suudi Arabistan bu ülkelerin içinde en önemlileridir. Şirketin toplamda 113 milyon dolarlık ihracatı, toplam üretimin %5'ini oluşturur.

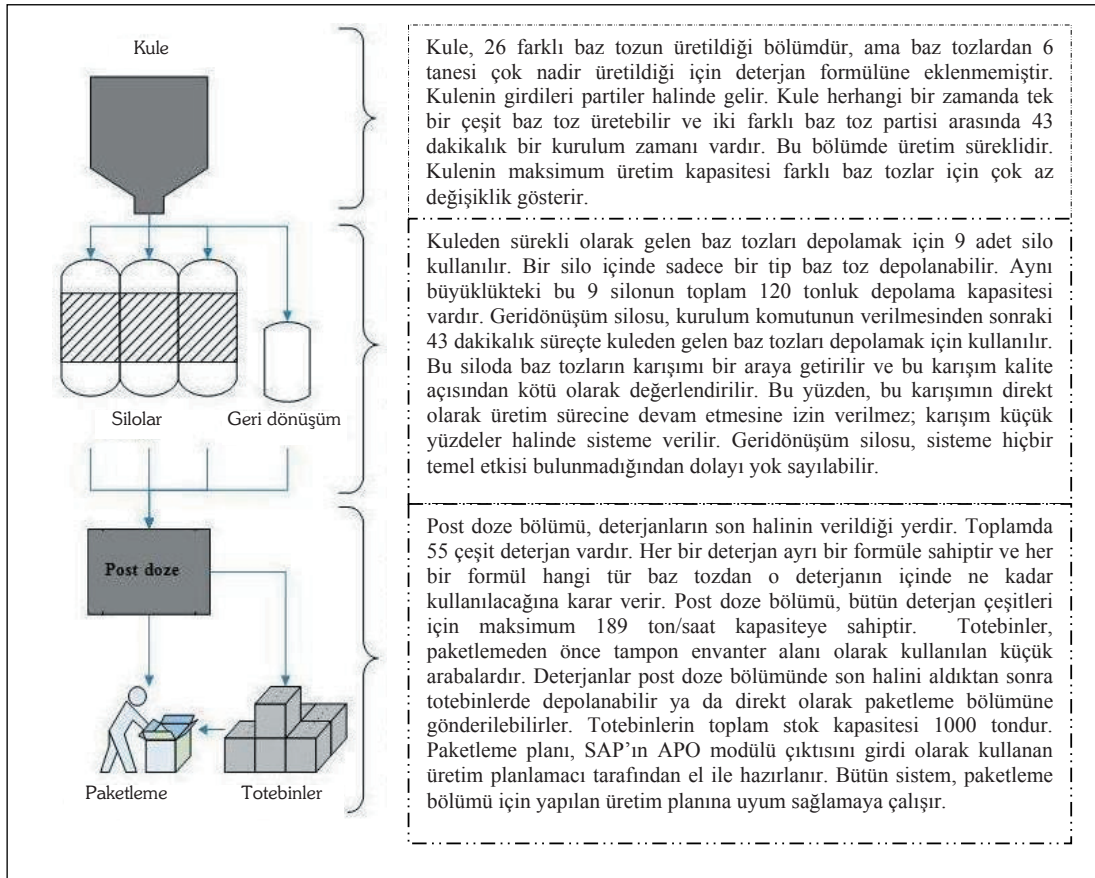
2. PROJENİN TANIMI VE ANALİZİ

2.1 Problem Ortamı

Fabrikadaki üretim işleyişi Şekil 1'de görüldüğü gibidir.

Yukarıda da belirtildiği gibi fabrikada “sürekli imalat” yapılmaktadır. Fabrikanın üretim sistemi incelenirken literatürden yararlanılmıştır. Gentner vd. (2004), literatürde yer alan sürekli parti imalatı ile ilgili çizelgeleme algoritma ve modellerini incelemiş ve özetlemişlerdir.

Fabrikanın üretim ortamı ve işleyişi ile ilgili veriler, firmanın ticari sır niteliğindeki bilgilerini korumak amacıyla gerçek verilerin belirli bir aralıkta normalize edilmesiyle oluşturulmuştur.



Şekil 1. Üretim Ortamı ve İşleyiş Şeması

2.2 Semptomlar

Gözlemlerimiz ve şirket yetkilileri ile yaptığımız görüşmeler sonucunda aşağıdaki semptomlar belirlenmiştir:

- Ürün değişiminin sık olması nedeniyle yapılan kurulumların sıklığının fazla olması (bir vardiyada ortalama dört dönüş gerçekleştiği söylenmiştir).
- Paketleme anında gerekli deterjanın mevcut olmamasından dolayı paketleme bölümünde yeniden planlama yapılması.
- Süreç mühendislerinin tek vardiyalık planlama yapma anlayışına sahip olması (bir sonraki vardiyanın düşünülmemesi).
- Kurulumla harcanan toplam zamanın, toplam üretimin kayda değer bir kısmının üretilmesi için gerekli olan zamana karşılık gelmesi.

2.3 Problem Tanımı

Toz deterjan üretiminden elde edilen gelir, Unilever Türkiye'nin elde ettiği toplam gelirinin önemli bir kısmına karşılık gelmektedir. Şirket tarafından belirtilen yıllık üretim kaybı yine şirket tarafından belirtilen yıllık kayıp zamandan kaynaklanmaktadır. Bu miktar yıllık toplam üretimin kayda değer bir kısmına karşılık gelirken, Unilever Türkiye için büyük bir fırsat maliyeti oluşturmaktadır.

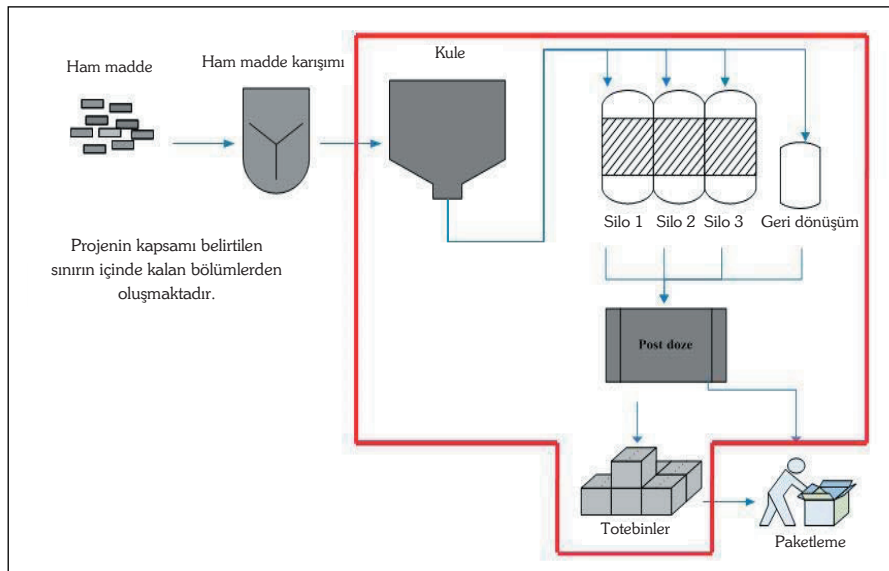
Fabrika paketleme planı olarak SAP'ın APO modülünün çıktısından yararlanır ve yapılacak üretim bu plana uygun olmak zorundadır. Sık gerçekleşen ürün değişimleri için yapılan kurulum sayısının fazlalığı ve üretim planının süreç mühendisleri tarafından çeşitli sistemler yardımıyla manuel ve günlük olarak hazırlanması nedeniyle fabrika, SAP'ın çıktısına göre hazırlanan planı takip etmekte zorluk yaşamaktadır.

Daha önce belirtilen üretim ortamının kısıtları ile birlikte *donmuş alan*¹ metodunun kullanılmaması, üretim planını paketleme bölümüne göre hazırlayan süreç mühendisleri için büyük bir zorluk teşkil etmekte olup yaptıkları üretim planını günlük değişimlere maruz bırakmaktadır.

Tüm bunlara göre fabrikanın problemi, kule ve post doze bölümündeki üretim süreçlerinin paketleme için yapılan plana ayak uydurabilmesi için çok fazla sayıda ürün değişimi yapması ve dolayısıyla kurulum sayısının artmasıdır. Kule ve post doze bölümlerinde yapılan sezgisel, basit ve kısa vadeli üretim planları, üretim hattında uyumsuzluğa sebep olmaktadır.

2.4 Projenin Kapsamı

Proje, temel olarak toz deterjanın paketleme bölümüne gidene kadar hazırlandığı bölümleri kapsamaktadır (Şekil 2):



Şekil 2. Projenin Kapsamı

¹ Belirli bir süre içinde üretim planlamasında değişiklik yapılmaması.

- Baz tozların üretildiği kule bölümü.
- Baz tozların depolandığı silolar.
- Baz tozların farklılaştırıldığı ve bitmiş ürüne dönüştürüldüğü post doze bölümü.
- Son ürünlerin paketleme için bekletildiği totebinler.

2.5 Projenin Amaçları

Projenin amaçları ayrıntılı olarak aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Çizelgeleme problemlerinden dolayı meydana gelen kayıp üretimi en aza indirmek.
- Sisteme entegre edilebilecek kapsamlı bir çizelgeleme sistemi teslim etmek.
 - Fabrikanın üretim planı hâlen SAP'ın APO modülünün çıktısına göre çeşitli sistemler kullanılarak manuel olarak yapılmaktadır. Tasarlanan sistem kullanıcı dostu bir arayüzle fabrikanın mevcut sistemine entegre edilecek hâle getirilecektir.
- Üretimin yapıldığı alandaki tıkanma sayısını azaltmak.
 - Totebinlerin paketleme bölümünden istenen üründen farklı ürünlerle dolu olması halinde meydana gelebilecek tıkanmalar.
 - Bütün siloların dolu olması halinde meydana gelebilecek tıkanmalar.
- Sistemin manuel olarak yapılan planlamaya olan bağlılığını azaltıp, yapılması gereken en iyi üretim planını otomatik olarak hazırlamak.
 - Günlük planlama esas olarak üretim mühendisleri tarafından paketleme bölümündeki plana göre yürütülür. Üretim mühendislerinin çeşitli sistemler yardımıyla manuel olarak yaptığı planlama paketleme planına uyum sağlamak için yeterli düzeyde değildir.

2.6 Projenin Performans Ölçütleri

İlgilenilen sistemin iki adet performans ölçütü vardır:

- Vardiya başına gerçekleşen toplam kurulum sayısı.
- Kurulumlar için harcanan toplam zaman.

3. SİSTEM TASARIMI

3.1 Sistemin Amacı

Önerilen sistem, kule ve post doze bölümleri için toplam kurulum sayısını en aza indirecek ve paketleme bölümünün istediği zamanda doğru miktarda deterjan çeşidini tedarik etmesini sağlayacak üretim çizelgelerini oluşturmayı amaçlamaktadır.

3.2 Sistemin Özellikleri

- Tasarlanan sistemin girdileri:
 - Paketleme planı.
 - Planlama zaman aralığı (vardiya sayısı).
- Üretim planı oluşturulurken o anki sistem verileri göz önüne alınır:
 - Baz toz ve deterjan çeşitleri için sırasıyla o andaki silo ve totebin seviyeleri¹
 - Sistemin o anki durumu² (sistem kurulum halinde ya da kurulum gerekli).
- Sistem, ihtiyaç duyulan herhangi bir anda gerekli girdiler verilerek sonuç alınabilecek şekilde tasarlanmıştır.
- Program herhangi bir anda çalıştırıldığında sistem çıktı olarak şunları vermektedir:
 - Kulede her bir baz tozu için üretim miktarı ve zamanlaması.
 - Post dozede her bir deterjan için üretim miktarı ve zamanlaması.
 - Bütün periyotlar için silolarda bulunan her bir baz tozunun envanter seviyesi.
 - Bütün periyotlar için totebinlerde bulunan her bir deterjanın envanter seviyesi.
 - Kurulumların hangi periyotlarda gerçekleşeceği.
 - Hangi ürünler için kurulum gerçekleşeceği.

¹ Uygunluk açısından sistemin sıfırdan başladığı ve stok düzeyinin sıfır olduğu kabul edilmiştir.

² Uygunluk açısından sistemin sıfırdan başladığı ve herhangi bir üretim için henüz kurulum gerçekleştirilmediği kabul edilmiştir.

3.3 Sistemin Modellenmesi ve Modellerin Çözümleri

Sistem dinamikleri ve sistemin işleyiş prensipleri göz önünde bulundurularak üretim hattı matematiksel olarak modellenmiştir. Süreç çizelgeleme problemlerinin genellikle karışık tam sayı programlama ile modellendiği belirtilmiştir (Anasov vd., 2006; Floudas ve Xiaoxia 2005; Mendez vd., 2006). Bizim çözüm yaklaşımlarımız da Bhattacharya ve Bose'nin (2007) önerdiği modellerden esinlenen tam sayı programlama modelleri geliştirmek şeklinde olmuştur. Projenin amacı kısa süre içerisinde tutarlı sonuçlar elde eden bir üretim planlama sistemi tasarlamaktır. Bu nedenle oluşturulan modelin ne kadar kısa zamanda çözüme ulaştığı büyük önem taşımaktadır. Sistem öncelikle bütünlük olarak modellenmiştir; fakat bütünlük modelin çok uzun sürede çözüme ulaşması veya bilgisayarda oluşan hafıza sorunlarından dolayı bir sonraki aşamada model, birbirleriyle haberleşen iki ayrı model olarak incelenmiştir. Bölünmüş modellerde de istenilen kriterler sağlanamadığı için bu modellere geçerli eşitsizlikler eklenerek problem bir başka açıdan daha ele alınmıştır. Fakat çözüm sürelerinin uzunluğu ve hafıza sorunları bu yaklaşımda da tekrar ettiği için son alternatif olarak, probleme kısa sürede tutarlı çözümler veren sezgisel bir metod geliştirilmiştir.

3.3.1 Bütünlük Model

Paketleme planı ve o anki sistem verilerini girdi olarak kabul edip post doze ve kule bölümlerini bir bütün olarak ele alan ve buna göre bir üretim çizelgesi oluşturan model Ek 1'de sunulmuştur.

Modelin doğrulanması:

Modelin gerçek sistemi yansıttığından emin olunması için model birkaç özel durum için denenip gözlemlenmiştir.

- İlk durumda, başlangıçta üç silo da farklı baz tozlarla dolu ve totebin boş olarak alındı. Silolarda olmayan bir baz tozun hemen üretilmesini gerektiren bir paketleme planı verildi. Sistemin işleyiş prensiplerine göre geçersiz olan bu durumda, model de geçersiz çözüm verdi.
- İkinci durumda, totebinde bulunmayan ve post dozede üretilmeyen bir deterjanı hemen talep

eden bir paketleme planı verildi. Bu durumda da beklenene uygun olarak modelimiz geçersiz çözüm verdi.

- Üçüncü durumda, model üretim kapasitesini aşan paketleme planları ile denendi. Bu durum için de model, beklendiği gibi geçersiz çözüm verdi.
- Son olarak geçerli durumlar için de modelin elde ettiği çözümlerin doğruluğu kontrol edildi. Yapılan bütün denemelerde, modelin çözümlerinin kısıtları sağladığı ve sistemin işleyiş prensiplerine uygun olduğu tespit edildi.

Sonuçların Analizi:

Formülasyonumuz 0-1 değişkenleri içerdiğinden, planlanmak istenen vardiya sayısı arttırıldığında çözüm zorlaşmakta ve çözüm süresi artmaktadır. Dolayısıyla, hesaplama süresi model için en büyük zorluğu oluşturmaktadır.

3.3.2 Bölünmüş Model

Bütünlük modelde çok uzun süren çözüm süreleri projenin amaçlarından olan uygulanabilirlik açısından bir engel teşkil etmektedir. Çözüm sürelerinin kısaltılabilmesi amacıyla bütünlük modelde bir bütün olarak ele alınan post doze ve kule birbirinden bağımsız iki model olarak tekrar ele alınmıştır. Yeni formülasyonda post doze paketleme planına göre bir üretim planı oluşturur ve oluşturduğu planı kule modeline vererek ikinci bir problem daha çözdürür. İki üretim ünitesinin ayrı ayrı ele alınması zaman açısından bir iyileştirme sağlamıştır. Elde edilen çözümler yerel en iyi çözümler olup bu çözümlerin toplamı genel anlamda en iyi çözümü veremeyebilir. Aynı zamanda elde edilen iyileştirme beraberinde sistemin işleyiş prensiplerinden bazı tavizler verilmesine sebep olmuştur. Bir örnek vermek gerekirse; post dozede verilen bir deterjanın üretim talimatının gerektirdiği toz silolarda bulunmadığı ve siloların hepsinin farklı tozlarla dolu olduğu bir durumda bölünmüş modelden çözüm elde edilemez. Fakat bütünlük model böyle bir senaryo altında silolardaki tozu boşaltacak bir deterjan üretimi yapıp bu üretimi totebinde stoklar ve silolarda açılan yerde talimatı verilen deterjanın gerektirdiği toz üretimine başlayabilir. Sonuç olarak bölünmüş model değerlendirildiğinde hâlâ uygulanabilirlik

Tablo 1. İki Vardiyalı Üretim Planları İçin Bütünleşik ve Bölünmüş Modellerin Çözüm Süreleri (saniye)

Örnek Veri	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bütünleşik Model	13974	12968	12662	6140	5708	4390	4423	13767	251	12620
Bölünmüş Model	10400	10950	8613	1648	1994	64.9	2042	9615	10.4	10720

açısından kayda değer bir iyileşme elde edilememiştir ve bu formülasyon, bazı sistem prensiplerinin ihlal edilmesini de beraberinde getirmiştir. Aynı zamanda bazı üretim planları bütünleşik modelde de karşılaşılan ve uzun süren hesaplama zamanından kaynaklanan sistem belleği yetersizliği nedeni ile de çözülememiştir. Fabrikanın üretim kapasitesini ve siparişlerin son tarihlerini zorlayacak şekilde en kötü durumu örnekleyebilecek veriler hazırlanmıştır. Tablo 1’de iki vardiya için yapılacak üretim planlarının, aynı veriler kullanılarak bütünleşik ve bölünmüş modellerdeki çözüm sürelerinin saniye cinsinden karşılaştırılması görülebilir. Bölünmüş model, bütünleşik modele oranla daha hızlı çözümler sunmaktadır.

3.3.3 Kısıtlı Bölünmüş Model

Bölünmüş modelde uygulanabilirlik açısından kayda değer bir iyileştirme elde edilemediğinden bölünmüş modele kısıtlar eklenmek suretiyle en iyi olmayan bazı çözümlerin problem çözüm kümesinden atılması ve çözüm süresinde iyileştirme elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda en iyi çözümleri çözüm kümesinden atmayan iki kısıt formüle edilmiştir. Prensip olarak siparişlerin üretiminin bölünmemesi gerektiği ispatlanmıştır. En iyi çözüm/çözümler bu özelliği sağlamak zorundadır. Bu bağlamda oluşturulan ilk kısıt paketleme planındaki siparişleri bölmeme kısıtıdır.

İlk kısıtın eklenmesi ile birlikte modelde yapılan değişiklikler şunlardır:

- Modele siparişler kümesi olan Q kümesi eklenmiştir.
- Modele k_{pq} parametresi eklenmiştir; bu parametre p deterjanına ait q siparişinin üretilmesi için gerekli olan zaman aralığı sayısını göstermektedir.
- Modelin ilk halinde Y_{pt}^{Post} olan değişken, Y_{ptq}^{Post} olarak yeniden tanımlanmıştır. Bu değişken p deterjanına ait q siparişinin t zaman aralığında üretilip üretilmediğine dair bilgiyi taşımaktadır.
- Y_{pt}^{Post} değişkeninin değiştirilmesinden dolayı, modeldeki bütün Y_{pt}^{Post} ifadeleri Y_{ptq}^{Post} değişkeninin q üzerinden toplamı olarak ifade edilmiştir.

İkinci kısıt ise sipariş tarihi en yakın olan siparişin diğer siparişlerden önce üretilmesi gerektiğidir.

Bu ikinci kısıtın eklenmesiyle birlikte ilk kısıtta yapılan değişikliklerin üzerine aşağıdaki değişiklikler eklenmiştir:

- Modele S_{ptq} değişkeni eklenmiştir. Bu değişken p deterjanına ait q siparişinin üretimi t zaman aralığında üretilmeye henüz başlanmıyorsa 1 değerini, aksi durumlarda 0 değerini alacak şekilde tanımlanmıştır.

Bu iki kısıt eklendikten sonra verilen örnek

Kısıt 1:

$$\sum_{i=t}^{t+k_{pq}-1} Y_{piq}^{Post} \geq k_{pq} - k_{pq} \cdot Y_{p(t-1)q}^{Post} - k_{pq} \cdot (1 + Y_{p(t-1)q}^{Post} - Y_{ptq}^{Post}) \quad \forall t > 0 \quad \forall p \in P \quad \forall q \in Q$$

Kısıt 2:

$$S_{ptq}^{Post} \geq 1 - Y_{p(t-1)q}^{Post} - (1 + Y_{p(t-1)q}^{Post} - Y_{ptq}^{Post}) \cdot M \quad \forall t > 0 \quad \forall p \in P \quad \forall q \in Q$$

$$S_{ptq}^{Post} \leq (Y_{ptq}^{Post} - Y_{p(t-1)q}^{Post} + 1) / 2 \quad \forall t > 0 \quad \forall p \in P \quad \forall q \in Q$$

senaryolara göre çözülen modellerden sadece ilk kısıtın kullanıldığı model bazı örneklerde çözüm süresinde bir iyileşme sağlamıştır. İki kısıtın da eklendiği model ise çözüm süresini kötüleştirmiştir. Çözüm süreleri kıyaslanıp genel bir değerlendirme yapıldığında; ilk kısıtlı modelin çözümlerinin yeterince kısa sürede elde edilemediği görülmektedir. Tablo 2’de iki vardiya için yapılacak üretim planlarının,

- Birleştirilecek siparişlerin belirlenmesinde, geçerliliği bulmaya veya korumaya yönelik ve ileride yapılabilecek birleştirmeleri engellemeyecek bir yöntem kullanılması gereklidir. Bu bağlamda, birleştirilecek siparişlerin belirlenmesinde birleşmeye aday iki siparişin arasında kalan iş sayısının azlığı, dolayısı ile birleştirmeden olumsuz etkilenebilecek sipariş sayısının az olması, asıl kriterdir.

Tablo 2. İki Vardiyalı Üretim Planları İçin Bölünmüş, Tek Kısıtlı ve İki Kısıtlı Modellerin Çözüm Süreleri (saniye)

Örnek Veri	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bölünmüş Model	10400	10950	8613	1648	1994	64.9	2042	9615	10.4	10720
1 Kısıtlı Böl. Mod.	11935	7702	7405	2610	1891	1791	400	9447	9.7	9956
2 Kısıtlı Böl. Mod.	14466	7525	7525	7884	7493	11115	7056	10601	8504	8174

aynı veriler kullanılarak bölünmüş, tek kısıtlı ve iki kısıtlı modellerdeki çözüm sürelerinin saniye cinsinden karşılaştırılmaları görülebilir.

3.3.4 Sezgisel Metot

Bu çözüm metodolojisi sezgisel bir yoldan en iyiye yakın bir çözüme ulaşmayı amaçlamaktadır. Amaç post dozedde en iyi çözüme olabildiğince yaklaşmak ve kulede geçerliliği sağlamaktır. Literatürde benzer problemler için önerilen modeller eldeki problemle tam bir uyum sağlamamaktadır. Bu nedenle, önerilen yaklaşım eldeki problemin en iyi çözümünün genel özellikleri esas alınarak oluşturulan kurallar ile gerçekleştirilmektedir. Bu kurallar şöyle sıralanabilir:

- Eğer problemin en iyilenen çözüm ya da çözümleri mevcutsa, siparişlerin hiçbirinin bölünmediği bir en iyi çözüm vardır. Bu yüzden siparişler bölünmeden birleştirilebilir ve birçok alternatif en iyi çözüm elenebilir.

Sezgisel çözüm iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada amaç, verilen paketleme planından geçerli bir üretim planı elde etmektir (Ek 2). İkinci aşamada ise elde edilen üretim planı iyileştirilmeye çalışılmaktadır (Ek 3).

Teorik açıdan bakıldığında esas olarak çözüm aradığımız çizelgeleme problemine geçerli bir çözüm bulmak bile polinom zamanda çözülemeyen bir problemdir. Bu nedenle geçerli bir çözüm elde etmek dahi oldukça zordur; fakat genel olarak pratikte karşılaşılan problemlerin teorik en kötüye oranla daha kolay olması nedeniyle, uygulamada böyle bir sorunla karşılaşılacağı öngörülmektedir.

Sezgisel çözüm ile iki ve üç vardiya için sonuçlar, yaklaşık olarak bir saniyeden bile az bir sürede elde edilmiştir. Elde edilen çözümler çoğu zaman post doze için mümkün olan en iyi çözümü vermiştir. Tablo 3’te iki vardiya için yapılacak üretim planlarında,

Tablo 3. İki Vardiyalı Üretim Planları İçin Bölünmüş, Tek Kısıtlı, İki Kısıtlı ve Sezgisel Metotların Çözümünden Elde Edilen Kurulum Sayıları (saniye)

Örnek Veri	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bölünmüş Model	MD	MD	MD	7	6	6	5	7	5	MD
1 Kısıtlı Böl. Mod.	MD	MD	MD	7	6	6	5	7	5	MD
2 Kısıtlı Böl. Mod.	MD	MD	MD	MD	MD	MD	MD	MD	MD	MD
Sezgisel Metot	9	8	7	7	6	6	5	7	5	5

MD: Mevcut Değil

matematiksel modellerin ve sezgisel metodun aynı veriler kullanarak post doze için elde ettiği en az kurulum sayıları görülebilir.

3.4 Çözüm Alternatiflerinin Karşılaştırılması

Çözüm alternatiflerinden elde edilen sonuçlar değişik karakterlerdedir. Bütünleşik modelde dikkat çeken noktalardan bir tanesi, elde edilen çözüm kümesinde bazı talimatların bölünmüş olarak üretildiğidir. Bu nedenle alternatif çözüm kümesi çok geniştir. 0-1 değişkenlerinin çok olmasının yanı sıra alternatif olarak denenebilecek talimat sıralamalarının çokluğu da çözüm süresinin artmasına sebep olmaktadır. Bunun yanı sıra elde edilen çözümler sistemin bütünü için en iyi çözüm olma özelliğine sahiptir. Bölünmüş model ile elde edilen sonuçlar da bütünleşik modelde olduğu gibi, talimatların bölünerek üretilebiliyor olmasından ötürü, çok geniş bir çözüm kümesi içerisinde yer almaktadır. Fakat bu çözüm kümesi, ikinci modelin ilk model çıktısını bir girdi olarak kullanmasından dolayı, bütünleşik modelinkine kıyasla daha küçüktür. Ayrıca bu kazanım, çözümlerin sistemin bütünü için en iyi çözümler olamaması riskiyle elde edilmiştir ve süre bakımından da yeterince kazanç

sağlanamamaktadır. Bu iki modelde de ortaya çıkan çözümlerin özelliklerinden yararlanarak, siparişlerin bölünmemesi gerekliliği kısıtı modele eklenmiştir ve çözüm kümesi daraltılmıştır. Bu kısıtın eklenmesi ile süre bakımından az bir iyileşme kaydedilmiştir. Fakat eklenen ikinci kısıt getirdiği değişkenlerin fazlalığı sebebiyle çözüm süresini daha da kötüleştirmiştir.

Tablo 4'te belirtilen esaslar ışığında firmanın ihtiyaçlarını karşılama potansiyeline en çok sezgisel metot sahiptir. Bütünleşik modelle en iyi çözüme ulaşılsa da, çözüm süresi veriye de bağlı olarak çok uzun zaman alabilmekte, zaman zaman sistem belleği yetersiz kalabilmektedir. Bölünmüş ve kısıtlı modeller buna kıyasla daha kısa zamanda çözüme ulaşmasına karşın en iyi çözümü bulma garantisi yoktur ve yine çözüm süresi istenilen seviyeye çekilememiştir. Sezgisel çözüm bu süreyi önemli ölçüde azaltmış, önceki modellerde saatlerle ölçülen çözüm süresini saniyeler birimine indirmiştir. Her ne kadar sezgisel çözümün teorik olarak en iyi sonucu verme garantisi olmasa da yapılan denemelerde genellikle en iyi, nadiren de en iyiye çok yakın çözümler verdiği gözlemlenmiştir. Firma yetkilileriyle yapılan görüşmeler sonucu kısa zamanda ulaşılacak mantıklı çözümlerin, uzun zamanda alınacak en iyi çözümlere tercih edildiği konusunda fikir birliğine varılmıştır.

Tablo 4. Çözümlerin Genel Karşılaştırması

Çözüm	Bütünleşik	Bölünmüş	Kısıtlı Bölünmüş	Sezgisel Çözüm
+	<ul style="list-style-type: none"> Kesin olarak en iyi sonucu vermesi. 	<ul style="list-style-type: none"> Problemi daha kısa sürede çözmesi. 	<ul style="list-style-type: none"> Sadece 1. Kısıt eklenmiş modelin daha kısa sürede sonuç vermesi. 	<ul style="list-style-type: none"> Çok hızlı olması. Genelde iyi çözümler vermesi. Solver almaya gerek kalmaması.
-	<ul style="list-style-type: none"> Çözüm süresinin çok uzun olması. Bazı örneklerin çözümüne bilgisayar hafızasının yetmemesi. 	<ul style="list-style-type: none"> Siloların en iyi şekilde kullanılamaması. En iyi çözümü vermeme olasılığının bulunması. Çözüm süresinin çok uzun olması. 	<ul style="list-style-type: none"> 2. Kısıt eklenmiş modelin bir ilerleme kaydedememesi. Çözüm süresinin çok uzun olması. 	<ul style="list-style-type: none"> Geçerli çözüm vermesinin 'teoride' kesin olamaması. En iyi çözümü vermeme olasılığının bulunması.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE UYGULAMA

Projenin uygulanması üretim ortamında ortaya çıkan karışıklıkları engelleyecek ve alınacak hızlı çözümlerle, mevcut planlama süresini önemli ölçüde azaltacak ve planlama kalitesini yükseltecektir. Ayrıca, projenin sunduğu üretim planlama şekli süreç mühendislerinin elle hazırlamak zorunda olduğu planı otomatik ve standart hâle getirerek fabrikanın sorunlarına çözüm getirecektir. Buna ek olarak, üretim yapılan zamanlar enerji masraflarının düşük olduğu aralıklara denk getirilerek üretim maliyeti düşürülebilecek, ayrıca ürün değişimi sebebiyle gerçekleşen kurulum sayısının azaltılmasıyla enerji tasarrufu sağlanacaktır.

Süreç mühendislerinin elle yaptığı kısa vadeli üretim planları sık ürün değişimlerine yol açmakta ve üretim ortamında aksaklıklara neden olmaktadır. Her ne kadar şu anki üretim miktarı, fabrikanın kapasitesini zorlamasa da ileride herhangi bir sebeple talep artışı yaşandığı takdirde üretim süreci sırasında yapılacak planlama sunulan sistem sayesinde hazırlanabilecektir. Bu bağlamda proje ileriye dönük bir yaklaşım da göstermekte olup gelecekte karşılaşılabilecek olası sorunları engellemeyi amaçlamaktadır.

Proje sisteme kullanıcı dostu bir ara yüzle entegre edilmiş ve kullanıma hazır haldedir. Ayrıca sisteme entegre edilen yazılımın firmaya herhangi bir maddi yükü yoktur.

KAYNAKÇA

1. Anosov, A.A., Antonov, A.V., Khobotov, E.N. 2006. "Modeling in the Problems of Equipment Selection for Oil Product Mixing Systems", *Automation and Remote Control*, 67(7), 170-189.
2. Bhattacharya, S., Bose, S.K., 2007. "Mathematical Model for Scheduling Operations in Cascaded Continuous Processing Units", *European Journal of Operational Research*, 182(1), 1-14.
3. Floudas, C., Xiaoxia, L. 2005. "Mixed Integer Linear Programming in Process Scheduling: Modeling, Algorithms, and Applications", *Annals of Operations Research*, 139(1), 131-162.
4. Leung, J.Y.T. 2004. *Handbook of Scheduling: Algorithms, Models, and Performance Analysis*, Chapman & Hall/CRC Press, New York.
5. Méndez, C.A., Cerda, J., Grossmann, I.E., Harjunkoski, I., Fahl, M. 2006. "State-of-the-art Review of Optimization Methods for Short-term Scheduling of Batch Processes", *Computers and Chemical Engineering*, 30(6-7), 913-946.

EKLER**Ek 1. Bütünleşik Model****KÜMELER**

- B : Baz Tozlar kümesi
 P : Son Ürünler (Deterjanlar) kümesi
 S : Silolar Kümesi

PARAMETRELER

- V_s : Silo s'nin hacmi
 $V_{totebin}$: Totebinlerin hacmi
 f_{pb} : p ürünü için kullanılan b Baz Tozunun yüzdesi
 D_t^p : p Deterjanı için t anındaki talep
 ω_{bp} : 1 eğer b Baz Tozu p Deterjanının üretiminde kullanılıyorsa | 0 aksi takdirde
 $BigM_{Post}$: Post Dozenin maksimum üretim kapasitesi
 $BigM_{Tower}$: Kulenin maksimum üretim kapasitesi

DEĞİŞKENLER

- X_{bt}^{Tower} : Kulede t anında üretilen b Baz Tozu miktarı
 X_{pt}^{Post} : Post Dozede t anında üretilen p ürünü miktarı
 Y_{bt}^{Tower} : 1 eğer t anında Kulede b Baz Tozu üretiliyorsa | 0 aksi takdirde
 Y_{pt}^{Post} : 1 eğer t anında Post Dozede p ürünü üretiliyorsa | 0 aksi takdirde
 W_{bt}^{Tower} : 1 eğer t anında Kulede b Baz Tozuna ürün dönüşü varsa | 0 aksi takdirde
 W_{pt}^{Post} : 1 eğer t anında Post Dozede p ürününe ürün dönüşü varsa | 0 aksi takdirde
 I_t^p : t anında totebinlerdeki p ürünü miktarı
 I_t^b : t anında totebinlerdeki b Baz Tozu miktarı
 y_{tb}^i : Baz Toz envanterini parçalı fonksiyon olarak ifade eden 0-1 değişkenleri
 $i=1,2,3$
 z_{tb}^i : Baz Toz envanterini parçalı fonksiyon olarak ifade eden doğrusal değişkenler
 $i=1,2,3,4$

KISITLAR

- (1) $\sum_{b \in B} W_{bt}^{Tower} \leq 1 \quad \forall t$
- (2) $\sum_{p \in P} W_{pt}^{Post} \leq 1 \quad \forall t$
- (3) $W_{bt}^{Tower} \geq Y_{b(t+1)}^{Tower} - Y_{bt}^{Tower} - Y_{b(t-1)}^{Tower} \quad \forall t \quad \forall b \in B$
- (4) $W_{pt}^{Post} \geq Y_{p(t+1)}^{Post} - Y_{pt}^{Post} - Y_{p(t-1)}^{Post} \quad \forall t \quad \forall p \in P$
- (5) $Y_{pt}^{Post} \leq (1 - W_{mt}^{Post}) \quad \forall t \quad \forall p, m \in P$
- (6) $Y_{bt}^{Tower} \leq (1 - W_{mt}^{Tower}) \quad \forall t \quad \forall b, m \in B$
- (7) $\sum_{b \in B} Y_{bt}^{Tower} \leq 1 \quad \forall t$
- (8) $\sum_{p \in P} Y_{pt}^{Post} \leq 1 \quad \forall t$
- (9) $X_{bt}^{Tower} \leq BigM_{Tower} \cdot Y_{bt}^{Tower} \quad \forall t \quad \forall b \in B$
- (10) $X_{bt}^{Tower} \leq BigM_{Tower} \cdot \sum_{i=1}^3 y_{tb}^i + BigM_{Tower} \cdot (3 - N_{t-1}) \quad \forall t > 0 \quad \forall b \in B$
- (11) $X_{pt}^{Post} \leq BigM_{Post} \cdot Y_{pt}^{Post} \quad \forall t \quad \forall p \in P$
- (12) $I_t^p = I_{t-1}^p - X_{pt}^{Post} - D_t^p \quad \forall t > 0 \quad \forall b \in B$
- (13) $\sum_{p \in P} I_t^p \leq V_{lotebin} \quad \forall t$
- (14) $I_t^b = I_{t-1}^b - X_{bt}^{Tower} - \sum_{p \in P} w_{bp} \cdot f_{pb} \cdot X_{pt}^{Post} \quad \forall t \quad \forall b \in B$
- (15) $I_t^b = z_{tb}^1 \cdot 0 + z_{tb}^2 \cdot V + z_{tb}^3 \cdot 2V + z_{tb}^4 \cdot 3V \quad \forall t \quad \forall b \in B$
- (16) $\begin{cases} z_{tb}^1 \leq y_{tb}^1 \\ z_{tb}^2 \leq y_{tb}^1 + y_{tb}^2 \\ z_{tb}^3 \leq y_{tb}^2 + y_{tb}^3 \\ z_{tb}^4 \leq y_{tb}^3 \end{cases} \quad \begin{matrix} \forall t & \forall b \in B \\ \forall t & \forall b \in B \\ \forall t & \forall b \in B \\ \forall t & \forall b \in B \end{matrix}$
- (17) $z_{tb}^1 + y_{tb}^1 < 2 \quad \forall t \quad \forall b \in B$
- (18) $\sum_{i=1}^4 z_{tb}^i \leq 1 \quad \forall t \quad \forall b \in B$
- (19) $\sum_{i=1}^4 z_{tb}^i = \sum_{i=1}^3 y_{tb}^i \quad \forall t \quad \forall b \in B$
- (20) $\sum_{b \in B} \sum_{i=1}^3 i \cdot y_{tb}^i = N_t \quad \forall t$
- (21) $N_t \leq 3 \quad \forall t$
- (22) $I_t^b \leq (y_{tb}^1 \cdot V + y_{tb}^2 \cdot 2V + y_{tb}^3 \cdot 3V) + (3 - N_{t-1})V \quad \forall t \quad \forall b \in B$

$$\begin{array}{ll}
 W_{b0}^{Tower} = 0 & \forall b \in B \\
 W_{p0}^{Post} = 0 & \forall p \in P \\
 Y_{b0}^{Tower} = 0 & \forall b \in B \\
 Y_{p0}^{Post} = 0 & \forall p \in P \\
 Y_{b1}^{Tower} = 0 & \forall b \in B \\
 Y_{p1}^{Post} = 0 & \forall p \in P \\
 I_t^b = 0 & \forall t \quad \forall b \in B \\
 I_t^p = 0 & \forall t \quad \forall p \in P \\
 y_{tb}^i \in \{0,1\} & \forall i = 1,2,3 \quad \forall t \quad \forall b \in B \\
 W_{pt}^{Post} \in \{0,1\} & \forall i = 1,2,3 \quad \forall t \quad \forall p \in P \\
 W_{bt}^{Tower} \in \{0,1\} & \forall i = 1,2,3 \quad \forall t \quad \forall b \in B \\
 Y_{pt}^{Post} \in \{0,1\} & \forall i = 1,2,3 \quad \forall t \quad \forall p \in P \\
 Y_{bt}^{Tower} \in \{0,1\} & \forall i = 1,2,3 \quad \forall t \quad \forall b \in B
 \end{array}$$

AMAÇ FONKSİYONU

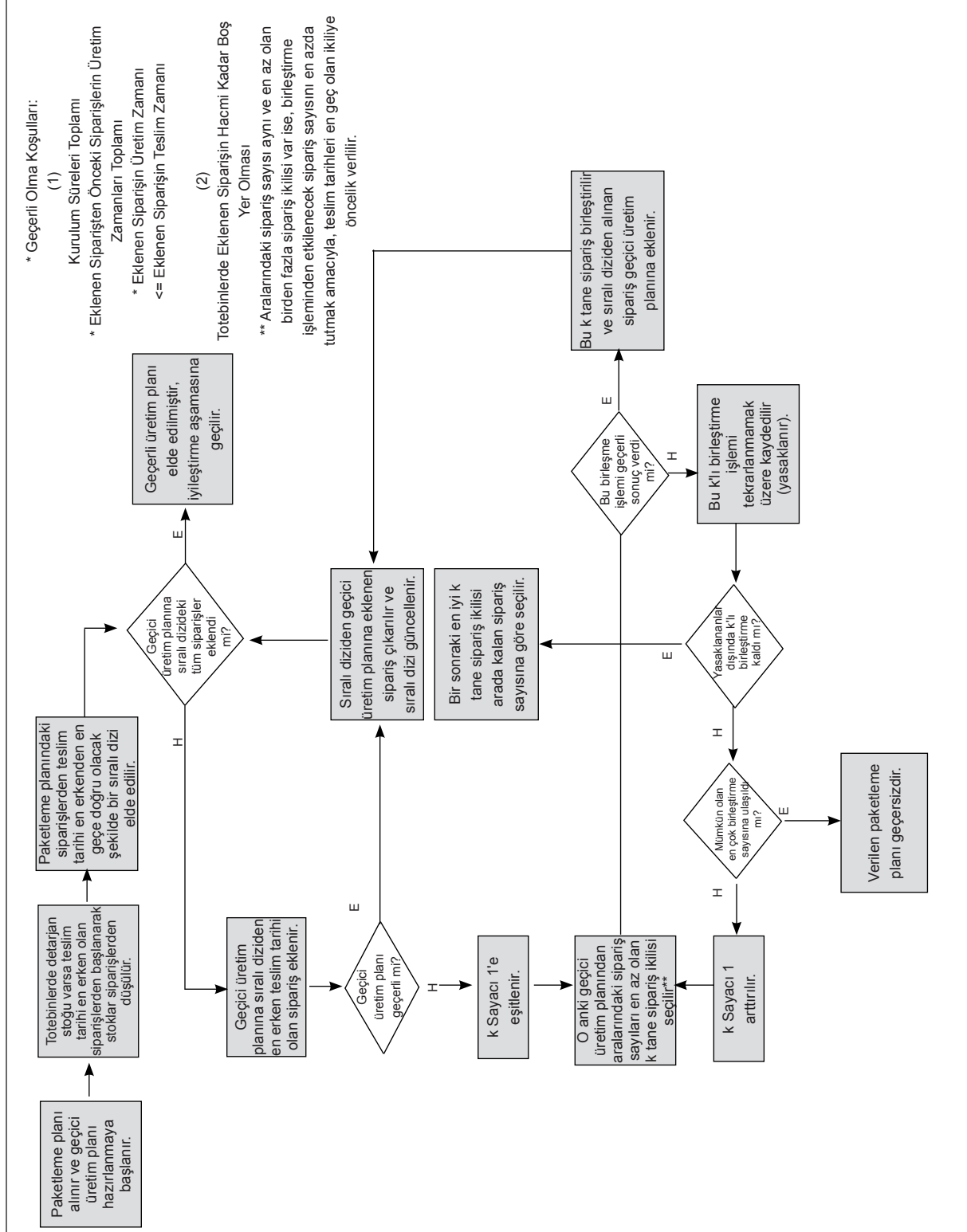
$$\text{en küçük} \sum_t \left(\sum_{b \in B} W_{bt}^{Tower} + \sum_{p \in P} W_{pt}^{Post} \right)$$

KISITLARIN AÇIKLAMASI

- (1) t zamanında Kulede aynı anda bir tane ürün dönüşü olabilir.
(Bhattacharya ve Bose, 2007)
- (2) t zamanında Post Dozede aynı anda bir tane ürün dönüşü olabilir.
(Bhattacharya ve Bose, 2007)
- (3) $t+1$ anında, $t-1$ anında üretilen ürün üretilmiyorsa Kulede ürün dönüşü gerçekleşir.
(Bhattacharya ve Bose, 2007)
- (4) $t+1$ anında, $t-1$ anında üretilen ürün üretilmiyorsa Post Dozede ürün dönüşü gerçekleşir. (Bhattacharya ve Bose, 2007)
- (5) t zamanında Post Dozede ürün dönüşü yapılıyorsa Post Dozede ürün ataması yapılamaz.
(Bhattacharya ve Bose, 2007)
- (6) t zamanında Kulede ürün dönüşü yapılıyorsa Kulede ürün ataması yapılamaz.
(Bhattacharya ve Bose, 2007)

- (7) Kulede aynı anda bir ürün ataması yapılabilir. (*Bhattacharya ve Bose, 2007*)
- (8) Post Dozede aynı anda bir ürün ataması yapılabilir. (*Bhattacharya ve Bose, 2007*)
- (9) b Baz Tozunun t zamanındaki üretimi Kule kapasitesiyle sınırlandırılır.
- (10) b Baz Tozunun t zamanındaki üretimi yalnızca üç silodan en az biri boşsa ya da aynı tür Baz Toz depolayan başka silo mevcutsa mümkündür.
- (11) p Deterjanının t zamanındaki üretimi Post Dozenin kapasitesiyle sınırlandırılmıştır.
- (12) p Deterjanı t anında bu envanter eşitsizliğini sağlar.
- (13) Toplam depolanan Deterjan miktarı Totebinin depolama kapasitesini geçemez.
- (14) Her b Baz Tozunun t zamanındaki envanter seviyesi, eski tutulan seviye, şimdiki üretim ve şu anda üretilen Deterjan tarifine uygun tüketime göre değişir.
- (15) b Baz Tozunun t zamanındaki envanter seviyesi z_{tb}^i 'lerin parçalı doğrusal kombinasyonu olarak ifade edilir.
- (16) Bu kısıtlar envanter seviyesinin hangi aralıkta oluşunu ve hangi z_{tb}^i 's değişkenlerinin pozitif değer alabileceğini ifade etmektedir.
- (17) Envanter seviyesinin sıfır olduğu bir senaryonun modelde temsil edilebilmesi için z_{tb}^i 's değişkeninin 1 değeri almaması koşulu sağlanır.
- (18) b Baz Tozu için herhangi bir t anında z_{tb}^i 's değişkenlerinin toplamı en çok bir olabilir.
- (19) b Baz Tozu için z_{tb}^i ve y_{tb}^i değişkenlerinin kendileri arasındaki toplamları herhangi bir t anında eşit olmalıdır.
- (20) Herhangi bir t anında kaç adet silonun kullanıldığına envanter hacminin hangi aralıkta olduğunu belirten y_{tb}^i değişkeninin değerine bakılarak karar verilir.
- (21) Herhangi bir t anında en fazla üç silo kullanılıyor olabilir.
- (22) b Baz Tozu için t anında tutulabilecek envanter üstten kalan silo hacmi ile sınırlıdır.

Ek 2. Geçerli Çözüm Üretim Aşaması



Ek 3. Geçerli Çözümü Geliştirme Aşaması

