

# ÜRÜN KARMASI OPTİMİZASYONU KARARLARINDA KISITLAR TEORİSİ KULLANIMI VE BİR UYGULAMA

*Burçin KAPLAN, Özlem AKÇAY KASAPOĞLU<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*İstanbul Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Öğretim Üyesi, Yrd. Doç. Dr.*

## ÜRÜN KARMASI OPTİMİZASYONU KARARLARINDA KISITLAR TEORİSİ KULLANIMI VE BİR UYGULAMA

**Özet:** Günümüz işletmelerinin, karşılaştıkları en önemli problemlerden biri, karlarını maksimum kılabilmek için verilmesi gereken optimum ürün karması problemleridir. İşletmenin kar elde edebilmesi için, sistemin verimli bir biçimde çalışması son derece önemlidir. Verimlilik, sistemin bütününde sağlandığında ve doğru ürün karması kararları alındığında kar maksimum düzeye çıkar. Bu savı destekleyen ve günümüzde pek çok işletme tarafından benimsenen teorilerin başında Kısıtlar Teorisi gelir.

Bu çalışmada, kimya sektöründe üretim yapan bir firmanın çoklu darboğaz problemlerinde, kısıtların etkililiği azalttığı durumlar, örnek alınan veriler üzerinde gösterilmiştir. Kısıtlar teorisi geleneksel algoritması ile bunun üzerine düzenlenmiş olan düzeltilmiş algoritma, firma verilerine uygulanarak her birinin dezavantajları gözlemlenmiştir. Daha sonra optimum sonuca ulaşan algoritma tespit edilmiş ve bu algoritmanın etkililiği sunulmuştur. Son olarak geliştirilen algoritma ile Tamsayı Doğrusal Programlama (TDP) söz konusu örnek üzerinde birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Geliştirilmiş algoritmanın başarısı sonuçlarla sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Kısıtlar Teorisi, Ürün Karması, Çıktı Optimizasyonu, Kısıtlar Teorisi Üzerine Geliştirilen Algoritmalar, Tam Sayılı Doğrusal Programlama.

## THEORY OF CONSTRAINTS IN PRODUCT MIX OPTIMIZATION DECISIONS AND AN APPLICATION

**Abstract:** One of the most important problems that today's companies face is the optimum product mix decision problems to maximize their profit. Companies have to make their operations efficient to be able to get profits. If the efficiency could be implemented in the whole system, and when the right product mix decisions are taken then the profitability increase to the maximum level. Theory of constraints is the theory that supports this idea which: is most known within the companies.

In this study, the constraint cases decrease the efficiency in the multiple bottleneck problems of a company in chemical industry were shown through the data selected. The traditional theory of constraints algorithm and the revised algorithm were applied to the firm's data and disadvantages were presented. Then, the latest improved algorithm is discussed and an improved algorithm is presented. Finally, the improved algorithm and the Integer Linear Programming (ILP) methods are compared. The improved algorithm's success are submitted with the results.

**Keywords:** Theory of Constraints, Product Mix, Throughput Optimization, Algorithms Improved Based on TOC, Integer Linear Programming

## I. GİRİŞ

Üretim işletmelerinde başarı ölçütlerinin başında verimlilik gelir. Doğru ürün karması kararlarına paralel olarak sistem bütününde verimlilik sağlandığında kar maksimum düzeye çıkar. Bu koşulların sağlanabilmesi için günümüzde pek çok işletme tarafından uygulanan yöntemlerin başında -Kısıtlar Teorisi- gelir. Bu teori, başarıya ulaşmayı engelleyen veya bu yolda tıkanıklıklara sebep olan unsurların nasıl tespit edilip, iyileştirilmeleri gerektiği ile nasıl ortadan kaldırılacağını açıklar ve bu amaçlara yönelik çözüm yolları geliştirir. Ürün karması, bir işletmenin hali hazırda üretimini yaptığı çeşitli ürünlerden oluşan yapıya verilen genel isimdir. Ürün karması kararları ise, işletmenin hangi üründen ne kadar ve nasıl bir sırayla üreteceği karardır. Ürün karması kararları verilirken, geleneksel yaklaşımlar, üretimi ilgilendiren bütün maliyetleri hesaba katarak, birim kar veya değişken maliyetleri dikkate alan ürün katkıları kullanırlar [1]. Kısıtlar teorisinde ise, tek değişken gider olarak kabul edilen hammadde maliyetleri ile belirlenen katkılara göre ürün karması tespit edilir.

Bu makale, Kaplan [2]'in çalışması içinde yer alan, M. B. Aryanezhad and A. R. Komijan'ın 2004 yılında sunduğu geliştirilmiş algoritma isimli algoritmanın, bir işletmedeki örnek uygulama sonuçlarından çıkarılarak hazırlanmıştır. Bu uygulama çalışmasında, işletme verileri vasıtasıyla geleneksel algoritmanın, KT altında ürün karmasını belirlemede etkili olmadığı gösterilmiş, daha sonra KT altında ürün karmasını belirleyen son algoritma ele alınmıştır. Çalışmanın ilerleyen aşamalarında bu algoritma, geleneksel algoritmanın tekrar gözden geçirilip, düzeltilmesinin sonucu olduğu için "Düzeltilmiş Algoritma" olarak anılmış, düzeltilmiş algoritmanın dezavantajları örnek üzerinde gösterilmiştir. Daha sonra optimum sonuca ulaşan, "geliştirilmiş algoritma" sunulmuştur. Son olarak geliştirilmiş algoritmanın optimum çözüme ulaşmadaki etkililiği aynı örnek üzerinde TDP metodu ile karşılaştırılmıştır. Burada bahsi geçen çalışmalardan farklı olarak, çalışmada yeni değişken, proses ve kısıt eklenmesi yoluyla algoritmaların gelişimine katkı sağlamak amaçlanmıştır. Uygulamada, söz konusu şirket verileri ile kısıtlar teorisinde geleneksel,

düzeltilmiş ve geliştirilmiş algoritmalar, sırasıyla uygulama içinde açıklanarak, denenmiştir. Yapılan çalışmalar sırasında, gerekli formüllerin uygulanması ve tabloların oluşturulması amacıyla Microsoft Excel programı kullanılmıştır. Etkililiğin testi amacıyla, son olarak veriler, WINQSB programının tam sayılı doğrusal programlama alt bölümünde bir maksimizasyon problemi olarak çözülmüştür.

Bu çalışmada, diğer çalışmalardan farklı olarak, kaynak, ürün ve kısıt sayıları artırılmış ve bu şekilde, söz konusu çalışmaların farklı koşullarda yeterince etkili olup olmadığı araştırılmıştır. Tüm bunlara ilaveten, uygulama yapılan şirketin sistem içindeki kısıtlarını, bunlara paralel verimlilik ve çıktı sorunlarını ortaya çıkarması boyutuyla da uygulama çalışması son derece faydalı olmuştur.

Bu çalışma ile uygulama yapılan işletmenin kapasite ve talep kısıtları üzerinde durulmuş, tespit edilen kısıtların ortadan kalkması için çeşitli algoritmalar uygulanarak sonuçlar karşılaştırıldığında, geliştirilmiş algoritmanın optimum çözümü sağladığı görülmüştür. Sonuç kısmında çalışmanın sınırlılıkları ve gelecek çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

## II. AKADEMİK YAZINA BAKIŞ

Kısıtlar teorisi kullanılarak ürün karması optimizasyonu konusunda pek çok çalışma yapılmıştır. Ürün karması optimizasyonu konusunda, ilk kapsamlı çalışma 1971 yılında Hartley tarafından yapılmıştır [3]. Kısıtlar teorisinin temeli ise, özel bir algoritmaya bağlı olan bir planlama programına dayandırılmıştır. Bu program, Eliyahu Goldratt ve üç ortağı tarafından 1970’li yılların sonlarında, inceledikleri bir işletmenin tüm iş merkezlerini göz önüne alarak, optimum iş çizelgeleri hazırlamayı hedefleyen, optimize edilmiş üretim planlaması (Optimized Production Timetable-OPT) adıyla bir bilgisayar programı olarak geliştirilmiştir. Daha sonra bu isim “Optimize Üretim Teknolojisi” (Optimized Production Technology) olarak değiştirilmiştir [4].

İzleyen yıllar içinde, yazılım geliştirilirken, OPT yönetim felsefesi ve kuralları ortaya çıkmıştır. Daha sonra ortaklar arasındaki anlaşmazlık sebebiyle şirket iflas etmiş ve hakları İngiliz ”Scheduling Technologies Group” tarafından satın alınmıştır. Bunun ardından Goldratt, “Goldratt Ensitüsü”nü kurmuş ve uzun bir geliştirme sürecinin ardından “Kısıtlar Teorisi” (Theory of Constraints-TOC) ortaya çıkmıştır [4]. Kısıtlar teorisi OPT’ nin temellerinden gelerek, önce bir üretim yönetimi felsefesi olarak geliştirilmiştir. 1984 yılında yayımlanan “The Goal-Amaç” ve 1986 yılında yayımlanan “The Race-Yarış” adlı kitaplar Goldratt’ ın kısıtlar teorisini anlatan ilk iki kitabıdır. Daha sonra Markland ve Sweigart[5] yapmış oldukları çalışmada, doğrusal programlamaya dayandırdıkları ürün karması formülünü ortaya atmışlardır [3]. Goldratt, 1990 yılında “The Haystack Syndrome ” [6] adlı kitabı ile literatürde “Geleneksel kısıtlar teorisi ürün karması algoritması”

olarak isimlendirilmiş olan yöntemi geliştirmiştir. Goldratt ve Cox [7], kısıtlar teorisini deneme yanılma yaklaşımına dayandırmış ve ürün karması belirlenirken tek bir kısıdı göz önünde bulundurarak kısıt problemlerini çözmeye çalışmışlardır. Luebbe ve Finch [8], kısıtlar teorisi ile doğrusal programlama arasında bir bağlantı oluşturmuştur. Bu bağlantıya göre, bir örnek ile tek baskın kısıtlı kaynak baz alınarak optimum ürün karmasına ve net kâra ulaşılmıştır. Bu arada, üretim önceliği olarak katkı payının, darboğazda işlem süresine oranını kullanan algoritmayı içeren çalışma ile optimum ürün karmasının belirlenmesinde kısıtlar teorisinin doğrusal programlamadan daha basit olduğu sonucuna varılmıştır. Patterson [9], üretim sırasında önceliğin belirlenmesinde, kısıtlı kaynakların katkı oranının büyüklüğünü kullanmış ve kısıtlar teorisi ile ürün karması arasında kurduğu direkt bağla, kısıtlar teorisi altında ürün karması optimizasyonunu doğrusal bir programlama modeli gibi matematiksel bir şekilde formüleştirmiştir [10]. Luebbe ve Finch [8], söz konusu algoritmanın, ürün karmasını tam sayılı doğrusal programlama (TDP) gibi optimize edebileceğini belirtmiştir. Ancak, daha sonra algoritmanın iki tip problemi çözmede yetersiz olduğu ortaya çıkmıştır. Bunlardan 1.tip; mevcut üretim hattına yeni ürün alternatiflerinin eklenmesiyle ilişkili olanlarken [11]; 2.tip algoritmanın, optimum çözüme ulaşamadığı birden fazla darboğaza sahip problemlerdi. Bu aşamada, baskın darboğaz konsepti ortaya atılmıştır. Burada baskın darboğaz, mevcut ve gereken kapasiteleri arasındaki farkın en büyük olduğu kaynak olarak atanmıştır. Plenert [12], baskın darboğazın kalan kapasitesi varken, baskın olmayan darboğazın tükenmiş olduğu bir örnek hazırladı. Plenert[12] darboğaz kaynak sayısının birden çok olduğu ve Lee ve Plenert [11] üretim hattına yeni bir ürün eklendiği durumlar için kısıtlar teorisi ile doğrusal programlamayı karşılaştırma yoluna gitmişlerdir. Bu çalışmalarla, kısıtlar teorisinin doğrusal programlamadan daha zor çözülen, kâr miktarları daha az ve karar verecek kişileri yanlış yönlendirebilecek sonuçlara ulaştığı öne sürülmüştür. Posnack [13] ve Maday [14], Lee ve Plenert’in [11] sonuçlarındaki bu durumu, kısıtlar teorisinin yanlış kullanılması sebebine dayandırmış ve Lee ve Plenert’in [11] baskın olmayan bir kısıtlı kaynağı öncelikle kullanılarak, üretim sonunda baskın kısıtlı kaynağa kapasite bıraktığı için ürün karmasının doğrusal programlamadaki sonuçla aynı sonuca ulaşamadığını ispatlamışlardır.

Fredendall ve Lea [15], kısıtlar teorisi temelli çözümün, denemeye dayalı alternatifler geliştirilerek en uygun ürün karmasının tespit edilmesi için, geliştirilmiş olan kısıtlar teorisi algoritmasını tekrar inceleyerek güncellemiş; ancak bu algoritma optimum ürün karmasına ulaşamamıştır. Dettmer [16], kısıtlar teorisi üzerinde yapılan çalışmalar içinde en kapsamlılardan olan çalışmasıyla, kısıtlar teorisi ile ilgili pek çok araştırmacının başvurduğu kaynaklardan birini oluşturmuştur. Daha sonra, Rahman [17], kısıtlar teorisinde geline aşamaları gözden geçirmiş, teorisinin

felsefesi ve uygulamaları ile ilgili bir çalışma hazırlamıştır. Hsu ve Chung [18], üstünlük kuralı ismini verdikleri bir algoritma ile, kısıda sahip kaynaklar arasında değer yönünden bir sıralama yaparak birden fazla kısıda sahip mamul karması problemini kısıtlar teorisine göre çözmeye çalışmışlardır. Birden fazla kısıda sahip ürün karması kararı için, kısıtlar teorisinin beş adımlı çözüm sürecinin her zaman kesin sonuçlar vermediğini iddia eden Omwubolu ve Mutingi [19], kısıtlar teorisi problemleri için, büyük süreç katkı payı hedefine dayalı bir doğrusal programlama modeli kurmuşlardır. Ayrıca Blackstone [1] tarafından da kısıtlar teorisi konusu, bir durum raporu şeklinde ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Mabin ve Davies [20], Ürün karması optimizasyonu konusunda, Kısıtlar teorisi yaklaşımıyla çizilen çerçeveleri yeni bir çerçeve içinde toplamaya çalışmıştır. Aryanezhad ve Komijan [21], Frendall ve Lea [15] tarafından son olarak güncellenen kısıtlar teorisine dayalı optimum ürün karması algoritmasını tekrar incelemiş ve tamsayılı doğrusal programlama sonuçlarıyla aynı sonuçlara ulaşan geliştirdikleri yeni algoritmalarına “Geliştirilmiş Algoritma” ismini vermişlerdir. Souren vd. [22] ise çeşitli örnekler yardımıyla, kısıtlar teorisinin ürün karmasının belirlenmesinde çok geniş bir alanda uygulanabildiğini ve bazen küçük değişikliklerle de olsa, çoğunlukla optimum çözümü sağladığını bulmuşlardır. Bhattacharya ve Vasant [23], yapmış oldukları çalışmada Hsu and Chung [18] ve Omwubolu ve Mutingi [19]’nin çalışma sonuçlarından yola çıkarak, doğrusal programlama ile kısıtlar teorisi altında ürün karması optimizasyonunu “Bulanık Doğrusal Programlama” alternatif yaklaşımıyla incelemişlerdir. Wang vd. [24] ise, özellikle büyük ölçekli ürün karması problemlerinde optimum çözüm için kısıtlar teorisine bağlı bağışıklık algoritması kullanmış ve yapmış oldukları simulasyon sonucunda bu yöntemin alternatif sezgisel kısıtlar teorisi, lineer programlama veya genetik algoritma gibi yöntemlere üstünlüğünü öne sürmüşlerdir.

Hasuike ve Ishii [25], pek çoğu bulanıklık ve belirsizlik içeren farklı ürün karması modelleri öne sürmüş ve esnekliğin sağlanması yardımıyla bu problemlerin kolaylıkla çözülebileceğini iddia etmişlerdir. Shirkouhi vd., [26], entegre ürün karması ve dış kaynak kullanımı optimizasyonu çözümü için “emperyalist yarışmacı algoritma” isimli bir algoritma uygulamış; sonuçları geleneksel kısıtlar teorisi ve standart hesaplama yöntemleri ile karşılaştırdıklarında emperyalist yarışmacı algoritmanın üstünlüğünü öne sürmüşlerdir. Zeng vd., [27], pazar talebinin işletme kapasitesinden fazla olduğu durumlarda, dışarıda üretim gerektiğinde, ürün karması optimizasyonunu sağlamak için kısıtlar teorisinin beş aşamalı çözüm basamaklarına yeni bir basamak eklenmesini öneren bir çalışma yapmıştır. Tanhaei ve Nahavandi [28], ise mevcut alternatifleri inceledikten sonra, çift kısıda sahip ürün karması optimizasyonu problemlerinde kullanılmak üzere yeni bir algoritma geliştirmişlerdir.

### III. GELENEKSEL ALGORİTMA

Uygulamanın gerçekleştirildiği şirket, İnşaat ve Tekstil Kimyasalları, Tekstil Konfeksiyon ve Tekstil Laboratuvarı alanlarında hizmet veren bir şirketler grubudur. Uygulama, şirketin tekstil, inşaat ve deri sektörleri için yardımcı kimyasallar üreten fabrikasında yürütülmüştür.

Uygulamada, işletmenin ürettiği 6 ürün ele alınmaktadır. Bu ürünler sırasıyla:

1: PD, 2: AD, 3: SS, 4: NG, 5: CG, 6: RSD

olarak ifade edilecektir.

Fabrika söz konusu ürünlerin üretimi için, 5 proses kullanılmaktadır:

- Hammadde Giriş Kontrol
- Reaktör
- Nötralizasyon
- Paketleme
- Ürün Son Kontrol

Haftada 5 gün ve günde 10 saat çalışan işletmenin haftalık toplam çalışma süresi, işletmenin mevcut kapasitesi olarak anılacak olup, toplam süre 3000 dakikadır.

Geleneksel Algoritmada, öncelikle kısıtlar teorisinin temeli olan darboğaz oluşturan kaynaklar tespit edilir. Bu kaynaklar mevcut kapasitesi gereken kapasitesinden az olan kaynaklardır. Darboğaz oluşturan kaynaklar içinde, mevcut ve gereken kapasitesi arasında en büyük fark olan kaynak baskın darboğaz olarak atanır. Her bir ürünün katkı payı, bu kaynaktaki prodesteki süresine bölünerek, üretim önceliği sıralamaları tayin edilir. Belirlenen öncelik sıralamasına uygun olarak bir ana üretim planı oluşturulur. Bu plan üzerinde maksimum çıktının sağlanabileceği şekilde ürün talepleri, mevcut süreler baz alınarak karşılanmaya çalışılır. Olabilecek maksimum adet veya miktardaki ürün karması, -optimum ürün karması- olarak kararlaştırılır.

Haftalık talep, satış fiyatı ve ürünlerin hammadde giderleri Tablo 1’ de gösterilmiştir. Katkı payı; her bir ürünün satış fiyatıyla hammadde gideri arasındaki farktır.

Katkı Payı = Satış Fiyatı – Hammadde Gideri

Tablo 2’de gösterildiği gibi; reaktör, nötralizasyon ve paketleme prosesleri darboğazlardır. İhtiyaç duyulan kapasite ile mevcut kapasitesi arasındaki farkı en büyük olan proses olan Reaktör baskın darboğaz olarak atanır. Tablo 2’ de belirtilen 3000 dakikalık mevcut kapasite, haftada 5 gün ve günde 10 saat çalışan işletmenin haftalık toplam çalışma süresidir. (1 Saat = 60 dk.); Toplam Çalışma Süresi = 10 x 60 x 5 = 3000. Her bir ürünün, her kaynaktaki proses süresi Tablo 2’de sunulmuştur.

Darboğazlar negatif (-) değerli olan, yani mevcut kapasitesi gereken kapasitesinden az olan Reaktör,

Nötralizasyon, Paketleme ve Ürün Son Kontrol olarak görülür. Geleneksel algoritmada baskın darboğaz, mevcut ve gereken kapasiteleri arasında en büyük farka sahip olan "Reaktör" olarak kabul edilir.

**Tablo 1. Haftalık Talep, Satış Fiyatı ve Hammadde Gideri**

Ürün	Talep (ton/hafta)	Satış Fiyatı (Euro/ton)	Hammadde Gideri (Euro/ton)	Katkı Payı (Euro/ton)
PD	40	1500	1300	200
AD	25	2000	1100	900
S. S	15	1800	500	1300
NG	20	1700	900	800
CG	15	900	400	500
RSD	15	1250	850	400

**Tablo2. Proses Süresi (dk.),Mevcut ve Gereken Kapasite**

Ürün	Kaynaklar					Ürün Son Kontrol
	Hammadde Giriş Kontrol	Reaktör	Nötralizasyon	Paketleme	Ürün Son Kontrol	
PD	20	84	50	60	25	
AD	30	15	40	25	35	
S. S	20	10	0	20	25	
NG	20	10	45	35	25	
CG	5	96	50	60	10	
RSD	25	30	40	20	30	
Mevcut Kapasite(dk)	3000	3000	3000	3000	3000	
Gereken Kapasite(dk)	2325	5525	4650	4925	3350	
Fark (dj)	675	-2525	-1650	-1925	-350	

Üretim önceliği (Ri), her bir ürünün katkı payının baskın darboğaz olan reaktördeki proses süresine bölünmesiyle elde edilir. Yani;

PD:200/84=2,4; AD:900/15=60; SS:1300/10=130;  
NG:800/10= 80; CG:500/96=5,2; RSD:400/30=13,3

şeklinde dir.

**Tablo 3. Baskın Darboğaza Göre Üretim Önceliği Belirlenmesi**

Ürün	PD	AD	S.S	NG	CG	RSD
Ri	2,4	60	130	80	5,2	13,3

Üretim önceliği (Ri): SS-NG-AD-RSD-CG-PD

Harcanan süre, AÜP'de belirlenen miktar ile ürünün söz konusu proseste harcadığı sürenin çarpımıdır.

Kalan süre, toplam mevcut kapasite olarak ifade edilen 3000 dk'lık süreden harcanan sürenin aşama aşama çıkarılmasıyla bulunur.

Har. Süre: Harcanan Süre, AÜP:Ana Üretim Planı

**Tablo 4. Geleneksel Algoritmanın Ana Üretim Planı**

Ürün	Talep (ton)	AÜP (ton)	Reaktör		Paketleme		Nötralizasyon		Ürün Son Kontrol	
			Har. Süre (dk)	Kalan Süre (dk)	Har. Süre (dk)	Kalan Süre (dk)	Har. Süre (dk)	Kalan Süre (dk)	Har. Süre (dk)	Kalan Süre (dk)
S.S	15	15	150	2850	300	2700	0	3000	375	2625
NG	20	20	200	2650	700	2000	900	2100	500	2125
AD	25	25	375	2275	625	1375	1000	1100	875	1250
RSD	15	15	450	1825	300	1075	600	500	450	800
CG	15	10	960	865	600	475	500	0	100	700
PD	40	0	0	865	0	475	0	0	0	700

Öncelik sırasına göre ana üretim planı kurulmuştur. Tablo 4'te görüldüğü gibi, ürün karması 15 S.S, 20 NG, 25 AD,15 RSD,10 CG, 0 PD olup, çıktı aşağıdaki gibi hesaplanır:

Çıktı, AÜPde her bir ürün için belirlenen miktar ile o ürüne ait katkı payı çarpımlarının toplamıdır

Çıktı = (15 x 1300) + (20 x 800) + (25 x 900) + (15 x 400) + (10 x 500) + (0 x 200) = 69000 Euro

Tablo 4'te gösterildiği gibi, baskın darboğaz etkili bir biçimde kullanılmamıştır ve bu, çözümün optimum olmadığını gösterir. Bundan sonraki aşama, aynı ürün karması problemini düzeltilmiş algoritma ile çözümlenmiştir.

#### IV. DÜZELTİLMİŞ ALGORİTMA

Düzeltilmiş Algoritma, geleneksel algoritmadan farklı olarak baskın darboğaz bulunması yoluna farklı bir açıdan yaklaşır. Düzeltilmiş Algoritmaya göre, baskın darboğaz üretim sürecinde süresi ilk tükenen kaynak olarak atanmalıdır. Uygulamada yer alan veriler dikkate alındığında, Tablo 4'de de görüldüğü üzere ilk tükenen

Kaynak "Nötralizasyon"dur. Kaynakların talep miktarlarına karşılık verebilecek maksimum düzeyde kullanım şartlarını kontrol etmek ve bu arada artan ve yetmeyen süreleri gözden geçirerek, ilk tükenen kaynağı tekrar test etmek için aşağıdaki gibi bir tablo düzenlemek uygun olacaktır. Tablo 5'de görüldüğü gibi, olabilecek

maksimum adetleri üretmeye çalıştığımızda Nötralizasyon prosesinin kalan süresi ilk (-) değer alan süre olarak karşımıza çıkacaktır.

Kalan süreler karşılaştırıldığında, ilk tükenen kaynağın nötralizasyon olduğu göze çarpmaktadır. Bu algoritmaya göre süresi ilk biten proses olan nötralizasyon baskın darboğaz olarak atanır. Her bir ürünün önceliği, her ürünün nötralizasyon proses süresi kullanılarak yeniden hesaplanır.

**Tablo 5. Düzeltilmiş Algoritmaya Göre Baskın Darboğaz Seçiminin Gözden Geçirilmesi**

Ürün	Talep (ton)	AÜP (ton)	Reaktör		Paketleme		Nötralizasyon		Ürün Son Kontrol	
			Har. Süre (dk)	Kalan Süre (dk)	Har. Süre (dk)	Kalan Süre (dk)	Har. Süre (dk)	Kalan Süre (dk)	Har. Süre (dk)	Kalan Süre (dk)
S.S	15	15	150	2850	300	2700	0	3000	375	2625
NG	20	20	200	2650	700	2000	900	2100	500	2125
AD	25	25	375	2275	625	1375	1000	1100	875	1250
RSD	15	15	450	1825	300	1075	600	500	450	800
CG	15	15	1440	385	900	175	750	-250	150	650
PD	40	4	336	49	240	-65	200	-450	100	550

**Tablo 6. Düzeltilmiş Algoritmada, İlk Tükenen Proses olan Nötralizasyon için Üretim Önceliği Belirlenmesi**

Ürün	PD	AD	S.S	NG	CG	RSD
Ri	4	23	-	18	10	10

Üretim önceliği

Ri sırası: AD-NG-CG-RSD-PD-SS

Ri sıralamamızda CG ve RSD nin değerleri aynı olmasına karşın, CG' nin katkı payı RSD' den yüksek olduğu için daha önce sıralanmaktadır. Bu sıralamaya uygun olarak, düzeltilmiş algoritmanın ilk AÜP' si oluşturulabilir.

**Tablo 7. Düzeltilmiş Algoritmanın İlk AÜP'si**

Ürün	Talep (ton)	AÜP (ton)	Nötralizasyon		Paketleme		Ürün Son Kontrol		Reaktör	
			Har. Süre (dk)	Kalan Süre (dk)	Har. Süre (dk)	Kalan Süre (dk)	Har. Süre (dk)	Kalan Süre (dk)	Har. Süre (dk)	Kalan Süre (dk)
AD	25	25	1000	2000	625	2375	875	2125	375	2625
NG	20	20	900	1100	700	1675	500	1625	200	2425
CG	15	15	750	350	900	775	150	1475	1440	985
RSD	15	8	320	30	160	615	240	1235	240	745
PD	40	0	0	30	0	615	0	1235	0	745
S.S	15	15	0	30	300	315	375	860	150	595

Öncelik sırasına göre ana üretim planı kurulmuştur. Tablo 7' de görüldüğü gibi, ürün karması 25 AD, 20 NG, 15 CG, 8 RSD, 0 PD, 15 S.S olup, çıktı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\text{Çıktı} = (15 \times 1300) + (20 \times 800) + (25 \times 900) + (8 \times 400) + (15 \times 500) + (0 \times 200) = 68700 \text{ Euro}$$

AD diğerlerinden öncelikli olduğu için, önce listelenir. Tablo 7' de görüldüğü gibi darboğazlar 25 B üretmek için yeterlidir. Bunu ürettikten sonra sıra NG' nin talebini karşılamaya gelir. NG listelenir. 20 NG ürettikten sonra, 15 CG üretilebilir. RSD' nin talebi 15 ton olup, diğer ürünler ve proses süreleri göz önüne alarak, diğer ürünlere de yeterli kapasite kalıncaya dek yani ancak 8 ton ürettikten sonra nötralizasyonun kalan kapasitesi 30 dk.'ya düşer. Bu 1 ton PD' nin nötralizasyondan geçmesi için bile yeterli değildir. Bu sebeple hiç PD üretmeden devam edilir. Ancak S.S nötralizasyondan geçmediği için kalan 30 dk sorun olmaz. S.S için reaktör, paketleme ve ürün son kontrolde yeterli süre kaldığından 15 ton S.S üretilir.

Düzeltilmiş algoritmanın bize sunduğu sıralamaya göre, daha iyi bir çıktı sağlamanın mümkün olup olmadığını kontrol edebilmek amacıyla, üretim adetlerinde değişiklikler yaparak elde edilen çıktının maksimum olup olmadığını kontrol edebiliriz. Bu amaçla Tablo 8' de Deneme Ürün Karması adıyla yeni bir AÜP oluşturulmuştur.

**Tablo 8. Deneme Ürün Karması**

Ürün	Talep	AÜP	Nötralizasyon		Paketleme		Ürün Son Kontrol		Reaktör	
	(ton)	(ton)	Har. Süre (dk)	Kalan Süre (dk)	Har. Süre (dk)	Kalan Süre (dk)	Har. Süre (dk)	Kalan Süre (dk)	Har. Süre (dk)	Kalan Süre (dk)
AD	25	25	1000	2000	625	2375	875	2125	375	2625
NG	20	20	900	1100	700	1675	500	1625	200	2425
CG	15	14	700	400	840	835	140	1485	1344	1081
RSD	15	9	360	40	180	655	270	1215	270	811
PD	40	0	0	40	0	655	0	1215	0	811
S.S	15	15	0	40	300	355	375	840	150	661

Deneme Ürün Karması: 25 AD, 20 NG, 14 CG, 9 RSD, 0 PD, 15 S.S

Çıktı: 68600 Euro

Burada Tablo 7' deki AÜP'den farklı olarak, CG'den 14 ton üretilerek, artacak süre ile diğer ürünlerin adetlerinde artış sağlanmaya çalışılmış; ancak RSD'den 8 yerine 9 ton üretmek çıktıyı artırmadığı gibi, diğer üretim miktarlarında ve çıktıda artış sağlanamamıştır. Çıktı 68600 Euro'ya gerilemiştir.

En son hazırlanan iki AÜP'yi üretim miktarları, çıktılar ve kalan süreleri bazında görsel olarak bir arada karşılaştırabilmek amacıyla "Yan Araştırma" adıyla yeni bir tablo düzenlemek faydalı olacaktır. Tablo 9'da gösterildiği gibi, nötralizasyon, reaktör, paketleme ve ürün son kontrolde geriye kalan zamanlar sırasıyla 30, 595, 315 ve 860 dakikadır. CG'den 1 ton azaltmak, RSD'den 1 ton artışını sağlar. RSD'yi 9 tona çıkardıktan sonra, darboğazlarda geriye kalan zaman 40, 661, 355 ve 840 dakikadır ve hiçbir ürün miktarını artırmak mümkün değildir. Çıktı 68600 Euro'ya düştüğü için, düzeltilmiş algoritma sonlanır ve 25 AD, 20 NG, 15 CG, 8 RSD, 0 PD, 15 S.S üretilmesini önerir. Bu durumda maksimum çıktı 68700 Euro olur.

Tablo 9'da gösterildiği gibi, nötralizasyon, reaktör, paketleme ve ürün son kontrolde geriye kalan zamanlar sırasıyla 30, 595, 315 ve 860 dakikadır. CG'den 1 ton azaltmak, RSD'den 1 ton artışını sağlar. RSD'yi 9 tona çıkardıktan sonra, darboğazlarda geriye kalan zaman 40, 661, 355 ve 840 dakikadır ve hiçbir ürün miktarını artırmak mümkün değildir. Çıktı 68600 Euro'ya düştüğü için, düzeltilmiş algoritma sonlanır ve 25 AD, 20 NG, 15 CG, 8 RSD, 0 PD, 15 S.S üretilmesini önerir. Bu durumda maksimum çıktı 68700 Euro olur.

**Tablo 9. Yan Araştırma**

	Nötralizasyonda Geriye Kalan Süre (dk)	Reaktörde Geriye Kalan Süre (dk)	Paketlemede Geriye Kalan Süre (dk)	Ürün Son Kontrolde Geriye Kalan Süre (dk)	Çıktı (Euro)
25 AD, 20 NG, 15 CG, 8 RSD, 0 PD, 15 SS	30	595	315	860	68700
25 AD, 20 NG, 14 CG, 9 RSD, 0 PD, 15 S.S	40	661	355	840	68600

Uygulamamızı son olarak Geliştirilmiş Algoritma ile çözerek, bu üç algoritmadan en etkili olanı bulunmaya çalışılacaktır.

## V. GELİŞTİRİLMİŞ ALGORİTMA

Bu bölümde, geliştirilmiş algoritma sunulacaktır. Bu algoritmada, sunulan diğer iki algoritmadan farklı olarak baskın darboğaz yaklaşımı uygulanmaz. Her bir darboğaza göre üretim öncelikleri belirlenir ve bu öncelik sıralamalarına uygun olarak her biri için ayrı ayrı AÜP'ler oluşturulur. Oluşturulan AÜP'lerin çıktıları karşılaştırılmak suretiyle, maksimum çıktının elde edildiği AÜP'ye ait ürün karması takip edilir.

Buna göre adımlar sıralanırsa:

Adım 1. Sistemin kısıtlarını tespit edilir.

Adım 2. Her bir darboğaz karşısında üretim öncelikleri hesaplanır.

Adım 3. Uygulanabilir ana üretim planları geliştirilir.

Adım 4. Çıktıyı artırabilmek için kullanılabilir alternatifler belirlenip, denemeleri yapılır.

Adım 5. En iyi alternatif seçilir.

Adım 6. Talebi karşılanmamış ürünlerden oluşan bir set oluşturulur.

Adım 7. Belirlenen ürün adetlerinde ne miktarda bir artırma veya azaltma prosesinin çıktıyı nasıl etkilediği incelenir.

Adım 8. Karar verilen ürünlere ait miktarlarda denemeler yoluyla artırma ve azaltma prosesi uygulanır. Bu esaslara uygun biçimde uygulama yürütülebilir.

Adım1. Sistemin kısıtlarını tespit edilir. Uygulamamızın başlangıcında hangi proseslerin kısıt oluşturduklarını daha önce belirlemiştir (Tablo 2). Bunları tekrar belirtmek gerekirse,

BN: Bottleneck-Darboğaz

BN1-Reaktör,

BN2-Nötralizasyon,

BN3-Paketleme,

BN4- Ürün Son Kontrol

şeklinde sıralanabilir.

Böylelikle 1.Adım olarak sistemin kısıtları tespit edilmiştir.

Adım 2: Belirlenen her bir darboğaza göre Ri öncelik sıralaması yapılır.

**Tablo 10. Reaktör Darboğazı Karşısında Her Bir Ürünün Üretim Önceliği**

Ürün	PD	AD	S.S	NG	CG	RSD
Ri	2,4	60	130	80	5,2	13,3

DB1 (Reaktör) Karşısında üretim önceliği sırası S.S, NG, AD, RSD, CG, PD

**Tablo 11. Nötralizasyon Darboğazı Karşısında Her Bir Ürünün Üretim Önceliği**

Ürün	PD	AD	S.S	NG	CG	RSD
Ri	4	22,5	-	17,8	10	10

DB2 (Nötralizasyon) Karşısında üretim önceliği sırası AD, NG, CG, RSD, PD, S.S

**Tablo 12. Ürün Son Kontrol Darboğazı Karşısında Her Bir Ürünün Üretim Önceliği**

Ürün	PD	AD	S.S	NG	CG	RSD
Ri	3,3	36	65	23	8,3	20

DB3 (Paketleme) Karşısında üretim önceliği sırası S.S,AD, NG, RSD, CG, PD

**Tablo 13. Ürün Son Kontrol Darboğazı Karşısında Her Bir Ürünün Üretim Önceliği**

Ürün	PD	AD	S.S	NG	CG	RSD
Ri	8	26	52	32	50	13,3

DB4 (Ürün Son Kontrol) Karşısında üretim önceliği sırası S.S, CG, NG, AD, RSD, PD

Adım 3: Uygulanabilir Ana Üretim Planları geliştirilir

Reaktör açısından öncelik sırası göz önüne alındığında, ilk AÜP geliştirilir.

Tüm darboğazlar 15 ton S.S üretmek için yeterli kapasiteye sahiptir. NG ürünü reaktör açısından geliştirilen öncelik sırasına göre bir sonraki üründür. Yine, tüm darboğazlar 20 ton NG üretmek için yeterli kapasiteye sahiptir. AD öncelik sırasında bir sonraki üründür ve talebi 25 tondur. Tüm AD talebi üretilir. Daha sonra tüm RSD talebi olan 15 ton üretildiğinde, geriye kalan süre ile ancak 10 ton CG üretilebilir ve hiç PD üretmek mümkün değildir. (Bu ürün karması daha önce geleneksel algoritmanın AÜP'si ile aynıdır.)

**Tablo 14. BN1 Karşısında Üretim Önceliği Sırasına Göre İlk AÜP**

Ürün	Talep (ton)	AÜP (ton)	Reaktör		Paketleme		Nötralizasyon		Ürün Son Kontrol	
			Har. Süre (dk)	Kalan Süre (dk)	Har. Süre (dk)	Kalan Süre (dk)	Har. Süre (dk)	Kalan Süre (dk)	Har. Süre (dk)	Kalan Süre (dk)
S.S	15	15	150	2850	300	2700	0	3000	375	2625
NG	20	20	200	2650	700	2000	900	2100	500	2125
AD	25	25	375	2275	625	1375	1000	1100	875	1250
RSD	15	15	300	1975	200	1175	400	700	300	950
CG	15	10	1344	631	840	335	700	0	140	810
PD	40	0	0	631	0	335	0	0	0	810

Ürün Karması: 15S.S, 20 NG, 25AD, 15 RSD, 10 CG, 0 PD

Çıktı: 69000 Euro

Bu ürün karması daha önce denendiğinden ve amacımız daha yüksek bir çıktı elde etmek olduğundan, deneme- yanılma yaklaşımı ile, geliştirilmiş algoritmanın esaslarından biri olan artırma ve azaltma yoluyla çeşitli alternatifler kontrol edilir. Ürünlerimizin talep değerleri, katkı payları ve öncelik sıraları incelendiğinde, RSD ve CG ürünlerinin adetlerinde değişikliklere gidip, diğer hiçbir ürünün adedini değiştirmeden optimum çıktı sağlayabileceğimiz alternatifler geliştirilebileceğini görürüz. Buna göre aşağıdaki alternatifler değerlendirilebilir.

RSD ürününün 1 ton azaltılıp, CG' nin 1 ton artırılması nötralizasyondaki süre yetmeyeceğinden mümkün değildir. (14 RSD- 11 CG). Aynı şekilde RSD' yi 2 ton azaltıp, CG'yi 2 ton artırmaya da nötralizasyon kısıtı engel olacaktır. (13 RSD- 12 CG).Bu kez, RSD 12 tona düşürüldüğünde ve CG 12 tonda sabit bırakıldığında mevcut sürelerin yeterli olduğunu görülecektir. (12 RSD- 12 CG). Bu şekildeki bir ürün karmasıyla ulaşacağımız çıktı 68800 Euro olur.

RSD 11 tona düşürülüp, CG 13 tona çıkarıldığında ise çıktının 68900 Euro olduğunu görülür.

Aynı şekilde devam edip, RSD'yi 1 ton daha azaltıp 10 ton yaptıktan sonra, kalan süre ile CG'yi 1 ton artırarak 14 ton yapıldığı zaman, çıktı 69000'e yükselir. Bu ürün karmasıyla nötralizasyondaki süre sıfırlanır ve diğer alternatiflerde olduğu gibi hiç PD üretmek mümkün değildir. Bu ürün karması, reaktör darboğazı karşısında ulaşılabilecek en iyi çıktıyı sağlar.

Bu deneme yaklaşımı ile ulaştığımız ürün karmasına göre son AÜP, Tablo 14'deki gibi olacaktır.

Ürün Karması: 15S.S, 20 NG, 25AD, 10 RSD, 14 CG, 0 PD

Çıktı: 69000 Euro

Bu ürün karması kararı, reaktör açısından optimumdur. Fakat nötralizasyon, paketleme ve ürün son kontrol açısından optimum olmayabilir. Bu sebeple, bu açıdan da değerlendirilmesi gerekir.

**Tablo 15. BN2 Karşısında Üretim Önceliği Sırasına Göre AÜP**

Ürün	Talep	AÜP	Nötralizasyon		Paketleme		Ürün Son Kontrol		Reaktör	
	(ton)	(ton)	Har. Süre (dk)	Kalan Süre (dk)	Har. Süre (dk)	Kalan Süre (dk)	Har. Süre (dk)	Kalan Süre (dk)	Har. Süre (dk)	Kalan Süre (dk)
AD	25	25	1000	2000	625	2375	875	2125	375	2625
NG	20	20	900	1100	700	1675	500	1625	200	2425
CG	15	15	750	350	900	775	150	1475	1440	985
RSD	15	8	320	30	160	615	240	1235	240	745
PD	40	0	0	30	0	615	0	1235	0	745
S.S	15	15	0	30	300	315	375	860	150	595

Ürün Karması: 25 AD, 20 NG, 15 CG, 8 RSD, 0 PD, 15 S.S

Çıktı : 68700 Euro

**Tablo 16. BN3 Karşısında Üretim Önceliği Sırasına Göre AÜP**

Ürün	Talep	AÜP	Paketleme		Reaktör		Nötralizasyon		Ürün Son Kontrol	
	(ton)	(ton)	Har. Süre (dk)	Kalan Süre (dk)	Har. Süre (dk)	Kalan Süre (dk)	Har. Süre (dk)	Kalan Süre (dk)	Har. Süre (dk)	Kalan Süre (dk)
S.S	15	15	300	2700	150	2850	0	3000	525	2475
AD	20	20	500	2200	300	2550	800	2200	700	1775
NG	25	25	875	1325	250	2300	1125	1075	625	1150
RSD	15	15	300	1025	450	1850	600	475	450	700
CG	15	9	540	485	864	986	450	25	90	610
PD	40	0	0	485	0	986	0	25	0	610

Ürün Karması: 15 S.S, 20 AD, 25 NG, 15 RSD, 9CG, 0 PD

Çıktı: 68000 Euro

**Tablo 17. BN4 Karşısında Üretim Önceliği Sırasına Göre AÜP**

Ürün	Talep	AÜP	Ürün Son Kontrol		Reaktör		Nötralizasyon		Paketleme	
	(ton)	(ton)	Har. Süre (dk)	Kalan Süre (dk)	Har. Süre (dk)	Kalan Süre (dk)	Har. Süre (dk)	Kalan Süre (dk)	Har. Süre (dk)	Kalan Süre (dk)
S.S	15	15	375	2625	150	2850	0	3000	300	2700
CG	20	20	200	2425	1920	930	1000	2000	1200	1500
NG	25	25	625	1800	250	680	1125	875	875	625
AD	15	15	525	1275	225	455	600	275	375	250
RSD	15	6	180	1095	180	275	240	35	120	130
PD	40	0	0	1095	0	275	0	35	0	130

Ürün Karması: 15 S.S, 20 CG, 25 NG, 15 AD, 6 RSD, 0 PD

Çıktı: 65400 Euro

Adım 4. Çıktıyı artırmak için kullanılabilir alternatifler belirlenip, denemeleri yapılır.

Bu aşamanın gereklerinin uygulanması, her bir AÜP'yi oluşturma ve ortaya çıkan AÜP lerde en iyi çıktıyı elde edebilmek amacıyla ürün miktarı dağılımı dengeleme aşamalarında gerçekleştirilir. Bu aşamada hangi ürünlerin miktarlarında artırma ve azaltma yapılacağına dair aday ürünler belirlenir ve bu adaylarla çıktının artırılması doğrultusunda denemeler yapılır.

Adım 5. En iyi alternatif seçilir.

Tüm tablolar incelendiğinde, her bir kısıtlı kaynak için yapılmış olan AÜP ler içinde en yüksek çıktı miktarını sağlayan, BN1 yani Reaktör darboğazı karşısında yapılan öncelik sıralamasına göre oluşturulan AÜP olduğu görülmektedir. Buna göre en iyi alternatif, BN1-Reaktör karşısında üretim önceliği sırasına göre AÜP olacaktır.

Adım 6. Talebi karşılanmamış ürünlerden oluşan bir set oluşturulur.

Seçilmiş en iyi alternatif olan "BN1 Karşısında üretim önceliği sırasına göre AÜP" de talebi tam olarak karşılanmamış ürünlerin RSD, CG ve PD olduğu görülür. Reaktör karşısında üretim önceliği sırasına göre AÜP hazırlama aşamasında detaylı biçimde açıklanmış olduğu gibi, bu ürünler içinde ancak RSD ve CG'nin miktarlarında değişimler yoluna gidilerek maksimum çıktı sağlanması için denemeler yapılabilir.



Adım 7. Belirlenen ürün adetlerinde nasıl bir artırma veya azaltma prosesinin, çıktıyı ne derece etkilediği incelenir. RD ve CG ürünlerinde yapmış olduğumuz denemeler sonucunda, RSD'yi 10 ton yaptıktan sonra, kalan süre ilCG'yi 14 ton yapıldığı zaman, bu ürün karmasıyla nötralizasyondaki süre sıfırlanmış ve diğer alternatiflerde olduğu gibi hiç PD üretmek mümkün olmamış ve çıktı 69000'e yükselmiştir.

Adım 8. Artırma ve azaltma prosesi:

Bu adım, yapılmış olan artırma ve azaltma işlemlerinin kalan süreleri ve üretilebilecek adetleri bir arada gösterebilmesi amacıyla, denenmiş ve denenebilecek alternatif örnekler içeren bir tablo üzerinde gösterilebilir.

**Tablo 18. Artırma ve Azaltma Prosesi**

	Reaktörde Geriye Kalan Süre	Nötralizasyonda Geriye Kalan Süre	Paketlemede Geriye Kalan Süre	Ürün Kontrolde Geriye Kalan Süre	Çıktı (Euro)
15S.S, 20 NG, 25AD, 9 RSD, 14 CG, 0 PD	661	40	335	840	68600
15S.S, 20 NG, 25AD, 13 RSD, 11 CG, 0 PD	829	30	455	750	68700
15S.S, 20 NG, 25AD, 12 RSD, 12 CG, 0 PD	761	20	415	770	68800
15S.S, 20 NG, 25AD, 11 RSD, 13 CG, 0 PD	697	10	375	790	68900
15S.S, 20 NG, 25AD, 10 RSD, 14 CG, 0 PD	631	0	335	810	69000 (Optimum)
15S.S, 20 NG, 25AD, 15 RSD, 10 CG, 0 PD	865	0	475	700	69000

Sıradaki aşama problemi, bulduğumuz maksimum çıktı değerlerinin, olabilecek en doğru sonuç olup olmadığını kontrol amacıyla WINQSB programı yardımı ile, tam sayılı doğrusal programlama ile çözülmesidir.

## VI. WINQSB PROGRAMINDA TAM SAYILI LİNEER PROGRAMLAMA İLE ÇÖZÜM

Problem bir optimizasyon problemi şeklinde ifade edildiğinde, karar değişkenleri PD, AD, SS, NG, CG ve RSD' nin üretilen adetleridir. Amaç fonksiyonu çıktının maksimizasyonudur. Amaç fonksiyonundaki her değişkenin katsayıları CMi' dir. Model kısıtları kaynak, kapasite ve pazar talep kısıtlarıdır.

Tüm bu verilere uygun olarak, problemi WINQSB programında, tam sayılı doğrusal programlama bölümünde çözerek, tam sayılı doğrusal programlamaya göre en uygun sonucunun bulunmasına çalışılmıştır. Problemi aşağıdaki şekilde tanımlayarak özetlemek mümkündür:

$$\text{Maksimum } 200 \text{ PD} + 900 \text{ AD} + 1300 \text{ S.S} + 800 \text{ NG} + 500 \text{ CG} + 400 \text{ RSD}$$

$$20 \text{ PD} + 30 \text{ AD} + 20 \text{ S.S} + 20 \text{ NG} + 5 \text{ CG} + 25 \text{ RSD} \leq 3000$$

$$84 \text{ PD} + 15 \text{ AD} + 10 \text{ S.S} + 10 \text{ NG} + 96 \text{ CG} + 30 \text{ RSD} \leq 3000$$

$$50 \text{ PD} + 40 \text{ AD} + 0 \text{ S.S} + 45 \text{ NG} + 50 \text{ CG} + 40 \text{ RSD} \leq 3000$$

$$60 \text{ PD} + 25 \text{ AD} + 20 \text{ S.S} + 35 \text{ NG} + 60 \text{ CG} + 20 \text{ RSD} \leq 3000$$

$$25 \text{ PD} + 35 \text{ AD} + 25 \text{ S.S} + 25 \text{ NG} + 10 \text{ CG} + 30 \text{ RSD} \leq 3000$$

$$\text{PD} \leq 40$$

$$\text{AD} \leq 25$$

$$\text{S.S} \leq 15$$

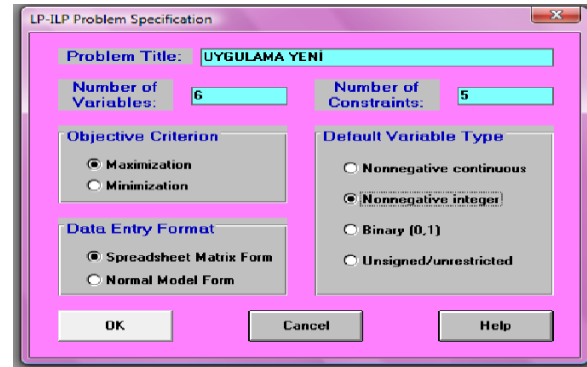
$$\text{NG} \leq 20$$

$$\text{CG} \leq 15$$

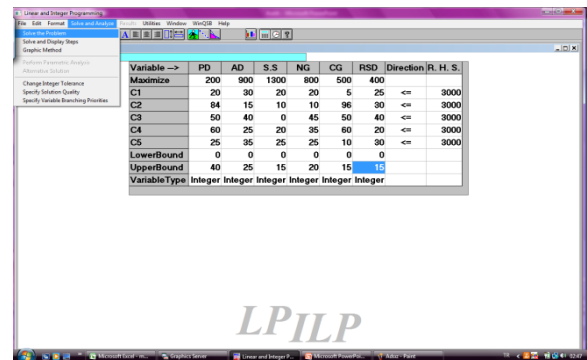
$$\text{RS} \leq 15$$

PD, AD, SS, NG, CG ve RSD tamsayıdır ve negatif değildir.

WINQSB programında, Doğrusal Programlama, İngilizce karşılığı olan "Linear Programming" kelimesinin kısaltması olarak LP şeklinde gösterilmiştir. Yine Tam Sayılı Doğrusal Programlama, İngilizce karşılığı olan "Integer Linear Programming" kelimesinin kısaltması olarak ILP şeklinde gösterilir.



Şekil 1. WINQSB Problem Tanımı



Şekil 2. WINQSB Programında Verilerin Girilmesi Penceresi

Variable	PD	AD	S.S	NG	CG	RSD	Direction	R. H. S.
Maximize	200	900	1300	800	500	400		
C1	20	30	20	20	5	25	<=	3000
C2	84	15	10	10	96	30	<=	3000
C3	50	40	0	45	50	40	<=	3000
C4	60	25	20	35	60	20	<=	3000
C5	25	35	25	25	10	30	<=	3000
LowerBound	0	0	0	0	0	0		
UpperBound	40	25	15	20	15	15		
VariableType	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer		

Şekil 3. WINQSB Programında Problem Çözümü Penceresi

TDP' dan çıkan optimum çözüm 15S.S, 20 NG, 25AD, 10 RSD, 14 CG, 0 PDdir. Çıktı 69000 Euro'dur. Bu sonuç, geliştirilmiş algoritmada çıkan sonuçla aynıdır.

Bu çalışmaların yürütülmesi sürecinde, algoritmaların gerektirdiği denemeler yapılırken Şekil 3' de karşımıza çıkan sonuç ile, firmanın yalnızca kapasite kısıdının olmadığı ve talepleri ile ilgili sıkıntılar olduğu da dikkat çekicidir.

Variable	PD	AD	S.S	NG	CG	RSD	Direction	R. H. S.
Maximize	200	900	1300	800	500	400		
C1	20	30	20	20	5	25	<=	3000
C2	84	15	10	10	96	30	<=	3000
C3	50	40	0	45	50	40	<=	3000
C4	60	25	20	35	60	20	<=	3000
C5	25	35	25	25	10	30	<=	3000
LowerBound	0	0	0	0	0	0		
UpperBound	40	25	15	20	15	15		
VariableType	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer		

Şekil 4. WINQSB Programının Problem Çözümü Bilgisi Penceresi

Decision Variable	Value	Unit Cost or Profit (€)	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status
1 PD	0	200,000	0	-300,000	at bound
2 AD	25,000	900,000	22,500,000	0	basic
3 S.S	15,000	1,300,000	19,500,000	0	basic
4 NG	20,000	800,000	16,000,000	0	basic
5 CG	14,000	500,000	7,000,000	0	basic
6 RSD	10,000	400,000	4,000,000	0	basic
Objective Function (Max.)			69,000,000		
Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price
1 C1	1,770,000	<=	3,000,000	1,230,000	0
2 C2	2,389,000	<=	3,000,000	631,000	0
3 C3	3,000,000	<=	3,000,000	0	10,000
4 C4	2,665,000	<=	3,000,000	335,000	0
5 C5	2,190,000	<=	3,000,000	810,000	0

Şekil 5. WINQSB Programında Optimum Çözüm Penceresi

Yalnızca S.S, NG ve AD ürünlerinin, sırasıyla 31, 40 ve 24 ton üretilerek, hiç RSD, CG ve PD üretilmemesi durumunda çıktı mevcut koşullarda elde edilebilecek maksimum çıktı olan 69000' e göre 24900 Euro daha

fazladır. Her ne kadar katkı payı en yüksek olan ürünlerin daha fazla üretilmelerinin çıktığı çok daha fazla artıracığı tabii bir sonuç olsa da, aradaki fark çok yüksek olduğu için dikkat çekicidir.

Tablo 19. Talep Dengesi Değişiminin Çıktığı Nasıl Etkileyeceğine Dair Deneme

Ürün	Talep	AÜP	Reaktör		Paketleme		Nötralizasyon		Ürün Son Kontrol	
	(ton)	(ton)	Har. Süre (dk)	Kalan Süre (dk)	Har. Süre (dk)	Kalan Süre (dk)	Har. Süre (dk)	Kalan Süre (dk)	Har. Süre (dk)	Kalan Süre (dk)
S.S	15	31	310	2690	620	2380	0	3000	775	2225
NG	20	40	400	2290	1400	980	1800	1200	1000	1225
AD	25	24	360	1930	600	380	1200	0	840	385
RSD	15	0	0	1930	0	380	0	0	0	385
CG	15	0	0	1930	0	380	0	0	0	385
PD	40	0	0	1930	0	380	0	0	0	385

Ürün Karması :30 S.S, 40 NG, 24 AD, 0 RSD, 0 CG, 0 PD

Çıktı:93900 Euro

Tablolaştırılmış olan ürün karmalarının hiçbirinde PD üretilmediği için, PD' nin üretim planından çıkarılması düşünülür. Ancak RSD ve CG ürünlerinin sipariş miktarları üzerinde mevcut koşullar değerlendirilerek tekrar düşünüleceği gibi S.S, NG ve AD ürünlerinin miktarlarında artırma yoluna gidilmesinin oldukça karlı olacağı da hesaba katılarak, talebin artırılması yolunda çalışılmalıdır.

## VII. SONUÇ

Kısıtlar teorisi, her sistem içinde, sistem akışının hızını ve verimliliğini azaltan faktörler olduğunu ve bunların belli adımlarla tespit edilerek yok edilmesi gerektiğini savunan bir teoridir. Üretim yönetimi kısıtlar teorisi, kısıt oluşturan kaynak, kapasite veya unsurların saptanması ve üretim sürecinin gereklilikleri ile taleplere uygun bir biçimde kontrol altına alınarak ortadan kaldırılmasını gerektirir.

Kısıtlar teorisi altında ürün karması optimizasyonu, üretim içinde darboğaz oluşturan noktaların tespit edilerek, ortadan kaldırılmasını, hangi ürün veya ürünlerin üretilip üretilmemesini ve üretimine karar verilen ürünlerin nasıl bir sıralama ile üretime gireceği kararının verilmesini sağlayan bir karar verme mekanizması olarak nitelendirilebilir. Bu sayede, mevcut koşullar altında maksimum ürün çıktısı ve kar elde edilmesine olanak tanır. Kısıtlar teorisi altında ürün

karması optimizasyonu ile farklı ürünler üreten ve bu ürünlerin üretimi esnasında karşılaşılan problemlerin, üretim akışını negatif olarak etkilemesi ve buna paralel olarak verimlilik ve karı azaltması sorununu ortadan kaldırmak isteyen işletmelerde uygulanabilecek en iyi tekniklerden biridir. İşletmeler, varlıklarının sürekliliği ve pazar paylarının genişleyebilmesi için mevcut ürün karmalarını artırmak isterler. Ancak, üretime eklenen her yeni ürün, mevcut ürün akışını ister istemez değiştirecek ve beraberinde kısıtların oluşmasına da sebep olabilecektir. Yapılan araştırma ve uygulama çerçevesinde, bu ve benzeri pek çok üretim koşulunda, KT altında ürün karması optimizasyonunun oldukça faydalı sonuçlar sağladığı görülmüştür.

Kısıtlar Teorisi günümüzde oldukça geliştirilmiş ve faydaları kanıtlanmış olmasına rağmen kullanım alanı çok yaygın değildir. Bu noktadan yola çıkılarak yapılan çalışma ile kimya sektöründe üretim yapan bir işletmede yapılan uygulama ile bir sonraki yıla ait üretim kararları konusunda oldukça çarpıcı sonuçlara ulaşılmıştır.

Uygulamanın başarılı olabilmesi amacıyla, öncelikle konu hakkında detaylı bir araştırma yapılmıştır. Yapılan literatür taramasında, KT'nin ortaya çıkışından bu yana pek çok araştırmacı tarafından incelendiği ve gelişimi adına pek çok çalışma yapıldığı görülmüştür. Bu çalışmalar içinde, ürün karması optimizasyonu uygulamalarından Ayanezhad ve Komijan'ın 2004 yılında yapmış oldukları çalışma sonuçları ve faydaları açısından dikkat çekici olup, uygulamanın yapılacağı şirket için mevcut durumu itibariyle denenmek üzere kararlaştırılmıştır. Bu çerçevede içinde yapılan uygulama çalışmasında, öncelikle firmanın kısıtları araştırılmıştır. Yapılan araştırma sonucunda, üretim akışını bozan yanlış üretim şekilleri ve arz - talep dengesizliği ön plana çıkmıştır. İşletme, oldukça yoğun çalışarak, tonlarca üretim yapmakta olmasına rağmen, sürekli problemler yaşanmakta, kimi ürünler zamanında teslim edilemediği gibi, yoğun çalışma temposuna karşılık, istenen verim ve hedeflenen karların sağlanamadığı görülmüştür. Bunun üzerine, hangi spesifik noktaların darboğaz oluşturduğu saptanmış ve bu darboğaz oluşturan kaynakların daha doğru ve etkili bir şekilde yönetilmesi için harekete geçilmiştir.

İşletmenin kısıtlarının tespiti aşamasında, üretilen tüm ürün ve proseslerin tek tek incelenmesi sayıca fazla olmaları açısından mümkün olmadığından, genel üretim prosedürlerini temsil edebilecek ve genel kısıtların giderilebilmesinde de fikir verebilecek nitelikte 6 adet ürün seçilmiştir. Bu ürünler, işletmenin temel operasyonlarından olan 5 prosesten geçmektedir. PD, AD, S.S, NG, CG ve RSD kısaltmalarıyla kullanılmalarına izin verilen bu ürünler sırasıyla, hammadde giriş kontrol, reaktör, nötralizasyon, paketlenme ve ürün son kontrol proseslerinde işlem görmektedir.

Bu aşamaların öğrenilmesinin ardından, genel değerlendirme sırasında ilk tespit olarak proses sıralaması dikkatimizi çekmiştir. Ürün son kontrol aşamasının,

paketlenme aşamasından önce olması sebebiyle sıkıntılar yaşandığı fark edilmiştir. Buradaki darboğaz paketlenmiş veya bidonlara aktarılmış ürünlerin son kontrol sırasında kalite veya diğer standartlara uygunsuzluğu tespit edildiğinde sevkiyattan çekilmesi veya beklenerek yeni ürün takviyesi yapılması durumudur. Konuyla ilgili görüş bildirilmiş ve bir ara proses eklenmesi ya da elverişli ürünlerin, önceden son kontrol prosesine alınması ile ilgili çalışmalar başlatılmıştır.

Daha sonra, ürün karması optimizasyonu için temel alınan ve izlenecek algoritmaların uygulanabilmesi için ana üretim planlarının oluşturulabilmesi için her bir ürüne ait mevcut ve gereken kapasite bilgileri alınmıştır. Bu verilerin değerlendirilmeleri sonucu, hammadde giriş kontrolde herhangi bir kapasite kısıdı yokken, reaktör, nötralizasyon, paketlenme ve ürün son kontrol proseslerinin mevcut kapasitelerinin gereken kapasitelerinden az olduğu sonucu elde edilmiştir. Algoritmaların temel prensibine göre, bu kaynakları kapasite kısıtlı kaynak olarak atayarak işlemlere başlanmıştır.

Geleneksel algoritmada, mevcut kapasite ile gereken kapasite arasında en büyük farka sahip olan reaktör prosesibaskın darboğaz olarak atayarak, buna göre her bir ürünün katkı payının reaktörde harcanan süreye oranı ile üretim önceliği belirlenmesi sonucu geleneksel algoritmanın AÜP'sinde optimum karması olarak 15 S.S, 20 NG, 25 AD, 15 RSD, 10 CG, 0 PD sonucu ile elde edilebilecek maksimum çıktı 69000 Euro bulunmuştur. Baskın darboğaz etkili olarak kullanılmadığı için, bu sonucun optimum olmayacağı kanısına varılmıştır.

Düzeltilmiş algoritmada, baskın darboğaz geleneksel algoritmadan farklı olarak, kapasitesi ilk tükenen kaynağın darboğaz olarak atanmasını gerektirdiğinden yapılan gözden geçirme planı ile nötralizasyon prosesinin, süreç içinde ilk tükenen olduğunu bulunmuştur. Buna göre, her bir ürünün katkı payının nötralizasyonda harcanan süreye oranı ile tespit edilen öncelik sıralamasına uygun olarak AÜP oluşturulmuştur. Bu AÜP'ye göre ürün karması 25 AD, 20 NG, 15 CG, 8 RSD, 0 PD, 15 S.S ve çıktı 68700 Euro bulunmuştur.

Elde edilen sonuç geleneksel algoritma sonucundan daha düşük olduğundan, düzeltilmiş algoritmanın sunduğu sıralamaya göre, daha iyi bir çıktı sağlamanın mümkün olup olmadığını kontrol edebilmek amacıyla, üretim adetlerinde değişiklikler yapılarak elde edilen çıktının maksimum olup olmadığını kontrol amacıyla deneme bir ürün karması oluşturulduğunda, 25 AD, 20 NG, 14 CG, 9 RSD, 0 PD, 15 S.S miktarlarıyla elde edilen çıktı 68600 Euro olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar, düzeltilmiş algoritmanın geleneksel algoritmaya göre daha düşük çıktı verdiğini ve optimum sonuca ulaştıramadığını göstermiştir.

Geliştirilmiş algoritma ile yapılmış olunan çalışmada, geliştirilmiş algoritmanın en karakteristik özelliği olan tüm darboğazlara, optimum ürün karmasının

oluşturulabilmesi adına eşit hak tanıyan yaklaşımından yararlanılmıştır. Yani her bir darboğaz için teker teker üretim önceliği sıralaması hesaplanarak, bu sıralamalara göre AÜP'leri hazırlanmıştır.

Geliştirilmiş algoritmada, reaktör darboğazı karşısında yapılan AÜP, geleneksel algoritma ile oluşturulan AÜP ile aynı öncelik sıralamasına sahiptir. Ancak geliştirilmiş algoritma, daha yüksek çıktı sağlanması için, ürün miktarlarının deneme yanılma yoluyla değiştirilerek çeşitli alternatifler oluşturmasını önerdiğinden, yapılan denemeler sonunda, ürün karması 15S.S, 20 NG, 25AD, 10 RSD, 14 CG, 0 PD; Çıktı 69000 Euro olarak bulunmuştur.

Bu sonuçta çıktı, geleneksel algoritma çıktı sonucuyla aynı olmasına karşılık, ürün karması farklıdır.

Geleneksel Algoritma --) 15 S.S, 20 NG, 25 AD,15 RSD ,10 CG, 0 PD iken;

Geliştirilmiş Algoritma --) 15S.S, 20 NG, 25AD, 10 RSD, 14 CG, 0 PD' dir.

RSD ürününden 5 ton eksik, CG ürününden ise 4 ton fazla üretmek suretiyle aynı çıktı miktarına ulaşılmıştır. Ancak, toplam genel üretim miktarı önce 85 ton iken, daha sonra 84 ton'a düşmüştür. Bu da göstermektedir ki, geliştirilmiş algoritmanın sunduğu bu ürün karmasına göre 1 ton eksik üreterek, aynı çıktıya ulaşmak mümkündür yani geliştirilmiş algoritma, geleneksel algoritmaya göre daha etkin bir ürün karması sağlamıştır.

Nötralizasyon, paketleme ve ürün son kontrol proseslerine göre de öncelik sıralamaları belirlenip, AÜP'ler oluşturulduğunda, nötralizasyon darboğazı karşısında, optimum ürün karması 25 AD, 20 NG, 15 CG, 8 RSD, 0 PD, 15 S.S olup, çıktı 68700 Euro bulunmuştur.

Paketleme darboğazı karşısında, optimum ürün karması 15 S.S, 20 AD, 25 NG, 15 RSD, 9CG, 0 PD olup, çıktı 68000 Euro bulunmuştur. Paketleme darboğazı karşısında, optimum ürün karması 15 S.S, 20 CG, 25 NG, 15 AD, 6 RSD, 0 PD olup, çıktı 65400 Euro bulunmuştur.

Tüm bu sonuçlar karşılaştırdığında en iyi ürün karması ve çıktı sonucunun geliştirilmiş algoritmanın reaktör darboğazı karşısında belirlenen üretim önceliği sıralamasına göre oluşturduğu AÜP' nin sağladığı sonucuna varılmıştır.

Bu işlem sonucunda, en iyi ürün karmasının bulunabilmesi adına yapılan çalışma kadar önemli olan başka bir sonuca daha varılmıştır. Her bir kısıtlı kaynağa göre oluşturulan AÜP'ler, üretim sürecindeki adımlarımızı görsel olarak ifade ettiğinden, ürünler arasındaki kapasite, talep, proses süreleri ve genel akış konularında bir ön izleme vazifesi görmüş ve bu konularda alınacak kararlar için fikir edinilmesine ve değişik öneriler getirilmesinin önünün açılmasına olanak sağlamıştır.Bulduğumuz sonucun, tüm şartlar altında varılabilecek olan en yüksek ürün karması ve çıktı

sonuçlarına yakınlığını test edebilmek amacıyla, aynı problemin WIN QSB programında, Tam sayılı doğrusal programlama bölümünde çözümünde ürün karması 15S.S, 20 NG, 25AD, 10 RSD, 14 CG, 0 PD; çıktı 69000 Euro olarak bulunmuştur. Bu verilerle, kısıtlar teorisi altında ürün karması optimizasyonu probleminde işletme için en uygun ürün karması ve en yüksek çıktı sonucuna, geliştirilmiş algoritmanın ulaştığı sonucuna varılır.

Yapılan çalışma ile, geleneksel ve düzeltilmiş algoritmaların tüm şartlarda, özellikle birden fazla darboğaza sahip, darboğaz problemlerinde optimum çözüme kesin olarak ulaşamadığı görülür. Bu algoritmaların ana dezavantajı, baskın darboğaza yoğunlaşmış olmalarından kaynaklanır. Baskın darboğaz ifadesi, tablolama işlemi yapan kişinin bunun üzerine odaklanıp, diğer darboğazların önemini yok saymasına yol açar. Bu gerçeği dikkate alarak, geliştirilmiş algoritma, tüm darboğazlara, karar verme prosesine öncelik sırasıyla katkıda bulunmalarını sağlar. Fakat düzeltilmiş algoritma, baskın darboğaza odaklanarak, ürün karması belirleme problemini bir tek amaç modeli gibi inceler. Geliştirilmiş algoritma ilk AÜP' ye ulaşır ve tüm darboğazların rehberliğinde, optimum sonuca ulaşmak için en iyi yola, tüm alternatifleri değerlendirerek ulaşır. Geliştirilmiş algoritma, çoklu darboğaz problemlerinde optimum çözüme ulaşmada etkili olan bir metottur.

Geliştirilmiş algoritmanın bazı avantajları ile geleneksel ve düzeltilmiş algoritmanın bazı dezavantajlarını sıralamak istersek,

1. Geleneksel algoritma, bulunduğu ilk AÜP'de sonlanır ve daha iyi alternatifler geliştirilmesine olanak sağlamadan kararını verir.
2. Düzeltilmiş algoritma optimum çözüme tüm şartlarda ulaşamaz. Geliştirilmiş algoritma, tüm alternatifleri gözden geçirmesiyle avantajlıdır.
3. Düzeltilmiş algoritmada, tüm kararlar baskın darboğaz baz alınarak verilir ve diğer darboğazlar karar vermede dikkate alınmaz. “ Baskın” tabirinin kullanılması, planlamayı yapan ve karar verecek olan kişinin bunun en önemli darboğaz olduğu ve yalnızca bunun üzerine odaklanması gerektiğini düşündürür. Geliştirilmiş algoritma, tüm darboğazlar için aynı önemi kabul eder ve bunları karar verme prosesinde kullanır.
4. Geliştirilmiş algoritma basit ve anlaşılması kolaydır.
5. Geliştirilmiş algoritma, tüm alternatifleri değerlendirme sürecinde planlamayı yapan ve karar veren kişilere, her bir AÜPnin oluşturulması basamaklarında, ürünler arasındaki kapasite, talep, proses süreleri ve genel akış konularında farklı bakış açıları geliştirilmesi adına yardımcı olur.

Bu çalışmayla, uygulama yapılan işletmenin kapasite ve talep kısıtları üzerinde durulmuştur. Ancak işletmelerin bunların haricinde, yönetsel, pazar, makine, işgücü vb. pek çok kısıtları vardır. Daha sonraki araştırmalarda bu gibi kısıtların üzerinde çalışmalar yapılması düşünülebilir. Ayrıca çalışmanın sabit koşullar ve sipariş teslim tarihleri kısıtları altında yapıldığı göz önüne alınır, değişen koşul ve teslim tarihli üretim planları için farklı çalışmalar yapılması da son derece faydalı olabilir.

#### YARARLANILAN KAYNAKLAR

- [1] Blackstone, J. H. (2001). Theory of Constraints – A status Report. *International Journal of Production Research*, Vol.39, No. 6.
- [2] Kaplan, B., (2010). Kısıtlar Teorisi Altında Ürün Karması Optimizasyonu, Üretim Yönetimi, Yüksek Lisans Tezi Sosyal Bilimler Enstitüsü. İstanbul Üniversitesi.
- [3] Tsai, W.H., Lai, C.W.ve Chang, J.C., (2007). An Algorithm for Optimizing Joint Products Decision Based on the Theory of Constraints. *International Journal of Production Research*, Vol.45. No.15.
- [4] Tezcan, H. (2008). Üretim Akışında Darboğaz Teorisi ve bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi Sosyal Bilimler Enstitüsü. Yıldız Teknik Üniversitesi.
- [5] Markland, R. and Sweigart, J. (1987). *Quantitative Methods: Applications to Managerial Decision Making*, John Wiley & Sons, New York.
- [6] Goldratt, E. M., (1990). *The Haystack Syndrome*. New York: North River Press, Croton- on-Hudson.
- [7] Goldratt ve Cox (1992). *The goal*. 2nd ed. New York: North River.
- [8] Luebbe, R., Finch, B.(1992). Theory of Constraints and Linear Programming: A Comparison, *International Journal of Production Research*, Vol.30, No.6.
- [9] Patterson, M. C., (1992). The product-mix decision: a comparison of theory of constraints and labor-based management accounting. *Production and Inventory Management Journal*, 33.
- [10] Ekergil, V. (2008). Kısıtlar Teorisine Dayalı En Uygun Birleşik ve Ek Mamul Karması Kararına İlişkin bir Algoritmanın Geliştirilmesi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi*, Ekim, 3(2).
- [11] Lee, T. N., Plenert, G. (1993). Optimizing Theory of Constraints When New Product Alternatives Exist. *Production and Inventory Management Journal*, Third Quarter.
- [12] Plenert, G., (1993). Optimizing Theory of Constraints When Multiple Constrained Resources Exist. *European Journal of Operational Research*, Vol.70, No.1. North Holland.
- [13] Posnack, A. J., (1994). Theory of Constraints: Improper Applications Yield Improper Conclusions. *Production and Inventory Management Journal*, Vol. 35, No.1.
- [14] Maday, C.J. (1994). Proper Use of Constraint Management. *Production and Inventory Management Journal* Vol.35, No.1.
- [15] Fredendall, L. D.ve Lea, B.R., (1997). Improving the Product Mix Heuristic in the Theory of Constraints. *International Journal of Production Research*, Vol.35, No.6.
- [16] Dettmer, H.W.(1997). *Goldratt's Theory of Constraints: A Systems Approach to Continuous Improvement*. ASQC Press, Milwaukee, WI.
- [17] Rahman, S., (1998). Theory of Constraints: A review of The Philosophy and its Applications. *International Journal of Operations and Production Management*, 18.
- [18] Hsu, T.C.ve Chung, S.H. (1998). The TOC-based algorithm for Solving Product Mix Problems. *Production Planning & Control*, Vol.9, No.1.
- [19] Omwubolu, G., Mutingi, M., (2001). A Genetic Algorithm Approach to the Theoryof Constraints Product Mix Problems. *Production Planning and Control*, Vol.12, No.1.
- [20] Mabin, V.J. ve Davies, J., (2003). Framework for understanding the complementary nature of TOC frames: insights for the product mix dilemma. *Int. J. Production Research*,41, 661–680.
- [21] Aryanezhad, M. B.G. ve Komijan,. (2004). An Improved Algorithm for Optimizing Product Mix under the Theory of Constraints. *International Journal of Production Research*, Vol.42, No.20.
- [22] Souren, R., Ahn, H., Schmitz, C., (2005), Optimal product mix decisions based on the Theory of Constraints?Exposing rarely emphasized premises of Throughput Accounting. *International Journal of Production Research*, Vol.43.No:2, 361-374.
- [23] Bhattacharya, A., Vasant, P., (2007). Soft-sensing of level of satisfaction in TOC product-mix decision heuristic using robust fuzzy-LP, *European Journal of Operational Research*, 177,55-70.
- [24] Wang, J.Q., Sun, S.D., Si, S.B. ve Yang, H.A., (2009). Theory of constraints product mix optimisation based on immune algorithm, *International Journal of Production Research*, 47:16,4521-4543.
- [25] Hasuike, T. ve Ishii, H., (2009), On flexible product- mix decision problems under randomness and fuzziness, *Omega* 37, 770 – 787.
- [26] Shirkouhi, S. N., Eivazy, H., Ghodsi, R., Rezaie, K.,Gargari, E.A., (2010). Solving the integrated product mix-outsourcing problem using the Imperialist Competitive Algorithm, *Expert Systems with Applications* 37 , 7615–7626.
- [27] Zeng, B., Gao, Y., Wang,Y., (2012). The Product – Mix Optimization with outside Processing Based on Theory of Constraints Oriented Cloud Manufacturing. *Applied Mechanics and Materials*.Vol.122, 1306-1310.
- [28] Tanhaei, F., Nahavandi, N., (2013). Algorithm for solving product mix problem in two-constraint resources environment, *International Journal of Manufacturing Technology*, 64, 1161–1167.



## **BURÇİN KAPLAN**

**burcin\_bezek\_kaplan@hotmail.com**

She is a research asistant in the faculty of Economics and Administrative Sciences at İstanbul Aydın University. She still takes her doctoral work in the department of Production Management and Marketing at Marmara University Institute of Social Sciences. She completed her master degree in 2010, in Istanbul University- Faculty of Business Administration, in Production Management Department. She is interested in Production - Marketing Integrations, Optimization in Production and Textile and International Marketing.



## **ÖZLEM AKÇAY KASAPOĞLU**

**ozlemak@istanbul.edu.tr**

She is an assistant professor in the Faculty of Business, Administration, Department of Production Management at Istanbul University. She earned her master degree in 2003 and her PhD in 2008 from Istanbul University Social Sciences Institute, Department of Business Administration. While her PhD studies she worked as a visiting research asistant in Indiana University Purdue University Indianapolis, USA. She is interested in the Production Management and Quality fields.