

Kısıtlar Teorisine Dayalı En Uygun Birleşik ve Ek Mamul Karması Kararına İlişkin Bir Algoritmanın Geliştirilmesi

Vedat EKERGİL

*Yrd. Doç. Dr., Anadolu Üniversitesi
İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi
vekergil@anadolu.edu.tr*

I. Giriş

Üretim işletmelerinin en yüksek kâr sağlayan ve üretim sistemlerini ergonomik kullanımına olanak tanıyan en uygun mamul karmasının oluşturulması, karar alıcılar için önemli bir stratejik karar niteliğindedir. Bununla birlikte petrol rafinerileri, kereste, canlı hayvan ürünleri, tahıl ürünleri, maden endüstrisi, kimya endüstrisi, sabun, tütün ve konserve gibi birçok birleşik mamul üreten üretim işletmesinde en uygun birleşik mamul, yan mamul ve ek mamul karmasının oluşturulması çok daha karmaşık bir karar problemidir. Bu sorunun aşılmasında karar alıcılar, birleşik üretim sürecindeki maliyetleri, tüm mamullere ilişkin pazar taleplerini, kaynak kısıtlarını göz önünde bulundurarak en yüksek kâra ulaştırılan mamul karmasının belirlenmesini "kısıtlar teorisi" veya "doğrusal programlama tekniği"nden yararlanarak çözümlenebilmektedir.

Kısıtlar teorisinin temellerini atarak yeni bir yönetim felsefesi geliştiren Goldratt'tan sonra yirmi yılı aşkın bir süredir bu konu farklı açılardan incelenmiştir. Kısıtlar teorisinin temel amacı, işletmenin değer katma sürecini sınırlayan kısıtları tanımlayan, analiz eden ve sonuç olarak ortadan kaldırmak için gerekli değişiklikleri uygulayan bir sürecin geliştirilmesidir (Souren vd, 2005, s.361). Böylece sistemin tüm faaliyetlerindeki kısıtları kabul ederek işletmek yerine, kısıtlı kaynakların kapasitesini en üst düzeyde kullanarak arzu edilen sistem verimliliğine ulaşılmaya çalışılmaktadır (Wang vd, 2008, s.2). Bu şekilde işletmede darboğaza neden olan kaynaklardan elde edilebilecek katkılar belirlenerek sürecin kârlılığı en üst düzeye çıkartılması amaçlanmaktadır (Lee ve Fredendall, 2002, s.283).

Kısıtlar teorisi, mevcut kapasiteyi iyileştirmek için kısa dönemli üretim kararlarını destekleyen ve süreçte katkı payı (nakdi girdi -throughput) yaratmak için darboğaza neden olan kaynakları etkin bir şekilde kullanmaya odaklanan bir yönetim felsefesidir. Her sistemde en az bir darboğaza sahip olması ve kısıtların varlığı işletmedeki iyileştirmeler için bir fırsat sunması kısıtlar teorisinin temel yapısını oluşturmaktadır (Rahman, 1998, s.337). Mamul karmasının belirlenmesi, kritik zincir yaklaşımı, nakdi girdi muhasebesi (throughput accounting), performans ölçümü, tedarik zinciri gibi birçok alanda yapılan bilimsel çalışmalarda kısıtlar teorisi etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Üretim işletmelerinde en uygun mamul karmasının belirlenmesine yönelik çalışmalar karar almaya ilişkin sorunların çözümüne önemli katkılar sağlamaktadır.

Kısıtlar teorisine dayalı en uygun mamul karması kararlarına yönelik bilimsel çalışmalar 1990'lı yılları başlarından itibaren artış göstermektedir. Doğrusal programlamaya dayalı mamul karması formülü

ömeği Markland ve Sweigart'ın (1987) çalışmasında yer almaktadır. Ancak birleşik mamul karmasını doğrusal programla kullanılarak yapılan ilk kapsamlı analiz Hartley'in (1971) çalışmasında görülmektedir (Tsai vd. 2007, s.3422). Goldratt The Haystack Syndrome adlı kitabında, geleneksel kısıtlar teorisi mamul karması algoritması olarak da adlandırılan yaklaşımı ortaya koyarak, en iyi mamul karmasını oluşturmak için bir yöntem geliştirmiştir. Goldratt ve Cox (1992), kısıtlar teorisini deneme yanılma (buluşsal) yaklaşımına dayandırmış ve mamul karmasını belirlenirken tek bir kısıt göz önünde bulundurarak çözümlenmiştir (Goldratt ve Cox, 2007). Luebbe ve Finch (1992) tarafından, kısıtlar teorisi ile doğrusal programlama arasında ilişki kurularak, bir örnek yardımıyla tek baskın kısıtlı kaynağa dayalı mamul karmasına ve net kâra ulaşılmıştır. Bu çalışma ile, en uygun mamul karmasının belirlenmesinde kısıtlar teorisinin doğrusal programlamaya göre daha basit olduğu sonucuna varılmıştır. Patterson (1992), nakdi girdi muhasebesi kavramına odaklanarak, üretim önceliğinin belirlenmesinde kısıtlı kaynakların katkı oranının büyüklüğünü kullanmış ve kısıtlar teorisi ile mamul karmasını doğrudan ilişkilendirmiştir. Kısıtlar teorisi kullanılarak mamul karması karar problemi bir doğrusal programlama modeli gibi matematiksel bir şekilde formüleştirmiştir.

Plenert (1993) çoklu kısıtlı kaynakların olması ve Lee ve Plenert (1993) yeni bir mamulün üretime girmesi durumlarını kısıtlar teorisi ile doğrusal programlamayı karşılaştırarak değerlendirmişlerdir. Her iki çalışmanın sonucunda da, kısıtlar teorisinin doğrusal programlamaya göre hesaplamasının daha zor, kâr değerlerinin daha küçük ve yanıltıcı sonuçlara ulaştığı iddia edilmiştir. Posnack (1994) ve Maday (1994), Lee ve Plenert'in sonuçlarının kısıtlar yönetiminin yanlış kullanılması nedeniyle yanıltıcı sonuçlara ulaştıklarını belirlemiştir. Lee ve Plenert'in baskın olmayan bir kısıtlı kaynağın öncelikle kullanılarak, baskın kısıtlı kaynaktan kapasitenin kalmasından dolayı mamul karmasının doğrusal programlamadaki sonuçla aynı sonuca ulaşamadığını kanıtlamıştır. Hsu ve Chung (1998), çoklu kaynak kısıtları olması durumunda, mamul karması problemini kısıtlar teorisine göre çözebilmek için, kısıtlı kaynakları üç aşamada önemlilik sırasına sokarak "üstünlük kuralı"na dayalı bir algoritma geliştirmiştir. Friendall ve Lea (1997) deneme yanılmaya dayalı kısıtlar teorisine göre, en uygun mamul karmasının belirlenmesinde ortaya çıkan sorunları ortadan kaldırmak amacıyla, kısıtlar teorisi algoritmasını yeniden gözden geçirilmişler ve sonuçları test etmişlerdir. Ancak güncellenen algoritma ile en uygun mamul karması sonuçlarına ulaşamamıştır. Onwubolu ve Mutingi (2001), çoklu kaynak kısıtlarında mamul karması kararını beş aşamada çözümlenemeyen kesin olmayan ve bazen de mantıksız sonuçlara yönlendirmesi nedeniyle, kısıtlar teorisi problemi için en büyük süreç katkı payı hedefine dayalı doğrusal programlama modelini kurmuşlardır. Aryanezhad ve Komijan (2004), en son Friendall ve Lea (1997) tarafından güncellenen kısıtlar teorisine dayalı en uygun mamul karması algoritmasını yeniden gözden geçirmiştir. Tamsayı doğrusal programlamadaki sonuçlarla aynı sonuçlara ulaştıran yeni bir algoritma geliştirilmiştir. Souren vd. (2005), kısıtlar teorisi altında mamul karmasının belirlenmesine ilişkin çeşitli durumları örnekler yardımıyla açıklamışlardır.

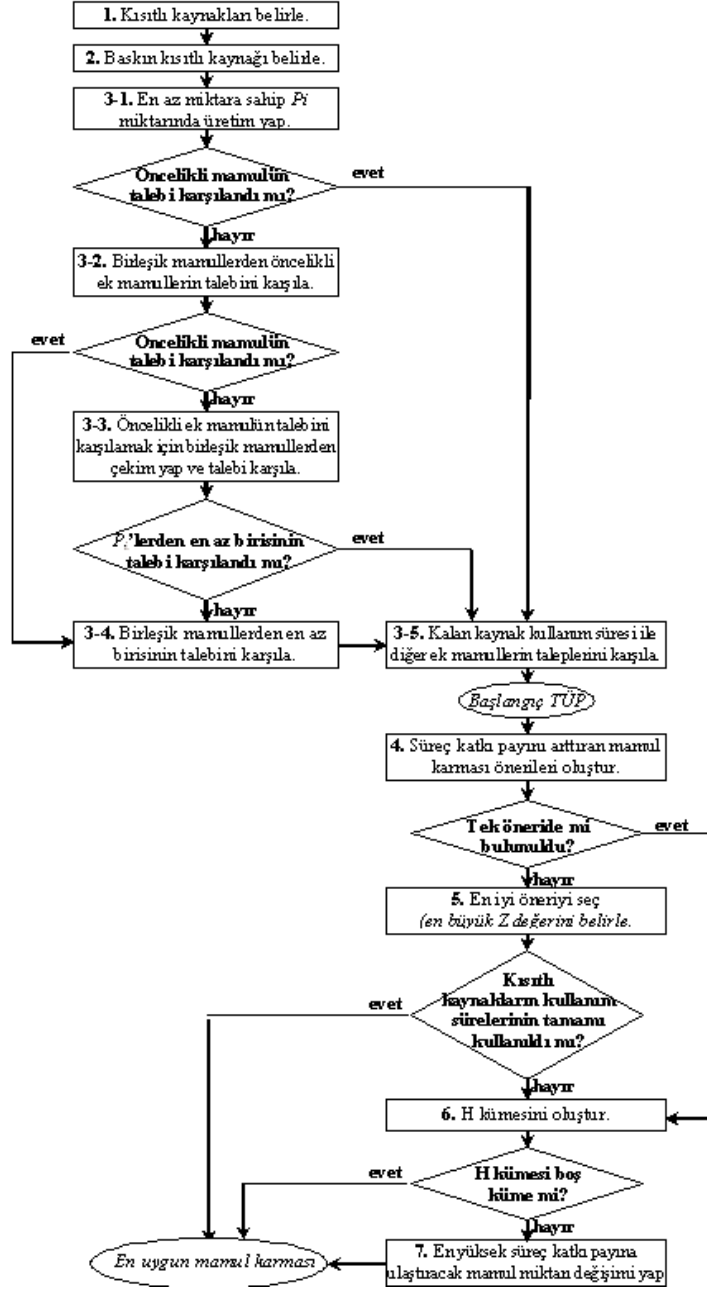
Birleşik mamul, yan mamul ve ek mamullerin kısıtlar teorisine dayalı olarak en uygun mamul karmasının belirlenmesinde birleşik üretim sürecinden kaynaklanan bazı sorunların göz önünde bulundurulması gerekir. Souren vd. (2005) ile Tsai vd. (2007) aşağıdaki koşulların olması durumunda kısıtlar teorisine dayalı olarak en uygun kararlara ulaşılacağını belirtmişlerdir. Çalışmada birleşik mamul, yan mamul ve ek mamullerin üretim özellikleri göz önünde bulundurularak, söz konusu koşullar genişletilmiştir. Bunlar;

- 1) Çoklu mamul karması kararında tek baskın kısıt olmalıdır,
- 2) Çözüm tamsayı veya ondalıklı sayı olabilir,
- 3) Tüm direkt maliyetler süreç katkı payında tam sayı olmalıdır,
- 4) Birleşik maliyetler tek bir mamule yüklenmemelidir,
- 5) Bir doğrusal amaç fonksiyonu olmalıdır,
- 6) Üretim sürecinde öncelikli olarak birleşik mamuller üretilmelidir,
- 7) Ek mamuller birleşik üretim maliyetlerinden pay almalıdır,
- 8) Yan mamuller birleşik üretimin ve hammaddenin özelliğine göre birleşik mamullerin veya kullanılan hammaddenin belirli bir yüzdesi kadar olmalıdır,
- 9) Yan mamul satış geliri TMS-2 Stoklar standardına göre birleşik mamullerin maliyetinden düşürülmelidir ve
- 10) Yan mamullerin satış değeri birleşik mamullere göre oldukça düşük ve önemsiz bir değere sahip olmalıdır.

Yukarıda belirtilen koşulların göz ardı edilmesi durumunda, kısıtlar teorisine dayalı en uygun mamul karmasına ulaşamayabilir. Bu koşullar altında kısıtlar teorisine dayalı yaklaşım bazı düzeltmeler ve değişiklikler gerektirmektedir. Bundan dolayı birleşik mamullerin her biri ve onun yan ve ek mamulleri arasında ardışık üretim özellikleri ve birleşik mamulün ortak bir üretim sürecinden geçme zorunluluğuna uygun bir algoritmanın geliştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmanın amacı, kısıtlar teorisini göz önünde bulundurarak en uygun birleşik mamul, ek mamul ve yan mamul karmasının belirlenmesi ve buna ilişkin bir algoritmanın oluşturulmasıdır.

2. En Uygun Birleşik, Yan ve Ek Mamul Karması Kararına İlişkin Algoritmanın Oluşturulması

Üretimin teknik özellikleri gereği olarak aynı hammaddelerin üretim sürecinden aynı anda geçirilmesi sonucu birden fazla mamulün birlikte üretilmesi "birleşik üretim" ve bu süreç sonunda ortaya çıkan mamullere de "ortak ürün" veya "birleşik mamul" adı verilmektedir (Sağlam vd, 2008, s.116,117). Ancak aynı donanımlarla farklı süreçlerden geçerek farklı mamullerin üretilmesi sonucu ortaya çıkan çoklu üretimin birleşik mamul olarak nitelendirilmemesi gerekir (Tsai vd. 2007, s.3421). Birleşik mamuller aynı üretim sürecinden geçmesine rağmen, belirli bir noktadan sonra (ayrım noktası) yapılan ek işlemler ve maliyetlerle farklı mamullere dönüşebilir. Bu mamullere "ek mamul" denilmektedir. Birleşik ve ek üretim süreci Şekil 1'de gösterilmektedir. Kapasite kısıtları yüzünden birleşik mamuller ayrım noktasında satılabileceği gibi, toplam kâr en yüksek düzeye getirmek amacıyla ayrım noktasından sonra birleşik mamulü ek işlemlere tabi tutularak ek mamule dönüştürülerek de satabilir. Yan mamuller ise, genellikle birleşik mamullerle aynı üretim sürecinde yer almalarına rağmen, çoğunlukla yapılan gereği daha küçük ve önemsiz bir satış değerine sahip



Şekil 2. En Uygun Birleşik ve Ek Mamul Karması Kararına İlişkin Algoritma Geliştirme

mullere dağıtımını gerçekleştirilmiştir.

- Son olarak, birleşik mamullerin genellikle ayrılmaz bir parçası niteliğinde yan mamuller çalışmaya dahil edilmiştir.

Birleşik üretim sürecinin sonunda en uygun mamul karmasının belirlenmesinde; satış fiyatı, kaynakların kapasitesi, pazar talepleri, üretimde birleşik mamullerin önceliği, yan mamullerin miktarı, ek mamullerin bir ya da birden fazla birleşik mamulden oluşması gibi birçok kısıtın göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Birleşik mamul süreci göz önünde bulundurularak algoritmanın hazırlanması ve kısıtlar teorisine ilişkin amaç fonksiyonuna bağlı olarak mamul karmasının belirlenmesi için bazı formüllerden yararlanılacaktır. Bu formüllerin daha anlaşılır olmasını sağlayabilmek için bazı kısaltmalara yer verilmektedir.

Birleşik üretim sürecinde (0) işlenmek üzere M_0 birim maliyetli ortak hammaddeden b_0 miktarda üretime sevk edilmekte ve P_i birleşik mamulleri üretilerek e_i miktarda birleşik mamul elde edilmektedir. Birleşik mamuller (P_i) ile aynı ortak üretim sürecinde hammaddenin c_i oranında oluşan yan mamuller (Y_i) ya y_i miktarda birleşik üretim sürecinde ya da y_{in} miktarda ek mamullerin üretilmesi için kullanılan yan mamullerin (birleşik mamul) üretimi sırasında ortaya çıkmaktadır. Yan mamuller ya hemen satılabilir ($S_{y_i,T}$ veya $S_{y_{in},T}$) ya da siparişlere bağlı olarak satılmak üzere depolanır. Birleşik üretim sürecinin aynı noktada ortaya çıkan birleşik mamuller P_i ya bu aşamada satılabilir ya da aynı noktadan sonra i ek işlem sürecinden geçerek ve ek (ayrılabilir) maliyetlere katlanılarak ek mamuller (P_{in}) üretilir. Birleşik mamuller P_i birleşik üretim sürecinden sonra i ek işleme tabi tutularak M_i birim maliyetli hammaddesinden b_i miktarda kullanılarak, a_i miktarda P_{in} ek mamulü/mamulleri elde edilir. P_i mamullerinin birim satış fiyatları S_i , i ek işlem sürecinde üretilen ek mamullerin bir satış fiyatları S_{in} ve yan mamullerin birim satış fiyatı S_y olarak ifade edilmektedir.

Kısıtlar teorisine dayalı birleşik üretim ve ek üretim sürecine ilişkin algoritmayı oluşturabilmek için, Aryanezhad ve Komijan (2004)'nin yedi aşamalı algoritmalarından yararlanılmaktadır. Bu yedi aşamanın ilk beş aşaması geleneksel kısıtlar teorisindeki deneme yanılma yaklaşımından elde edilirken, kalan iki aşama ise Aryanezhad ve Komijan (2004) çalışmasında "geliştirilmiş algoritma" adını verdikleri algoritma adımlarından oluşmaktadır. Tsai vd. (2007), Aryanezhad ve Komijan'ın yedi adımdan oluşan algoritmasını birleşik ve ek mamuller için yeniden düzenlemiştir. Çalışmada, Tsai vd. (2007) çalışmasındaki yedi aşamalı algoritma düzeneğinden yararlanarak birleşik, yan ve ek mamul karmasının en uygun dağılımını oluşturan algoritma açıklanacaktır.

I. Adım: Sistemin Kısıtlarının Tanımlanması

Bir üretim işletmesi faaliyetlerini sürdürebilmek için makine, tesis, donanım, insan gücü, enerji gibi birçok kaynağı bir bütün olarak işletmek zorundadır. Ancak işletme mevcut kaynaklarını kuramsal kapasite düzeyinde çalıştırmasına rağmen pazar taleplerini karşılayamıyorsa, başka bir deyişle mevcut kapasitesi gereksinim duyulan kapasitede üretim yapmasına imkan tanımıyorsa, bu durumda bazı kaynak veya kaynaklarda darboğaza neden olacağı aşikârdır. Kısıtlar teorisinin bu adımında kaynaklara ilişkin darboğazlar belirlenmeye çalışılmaktadır. Bu amaçla, her bir kaynak için mevcut

kapasite ile gereksinim duyulan kapasite arasındaki olumsuz fark "eksik kapasite süresi" olarak hesaplanmaktadır. Birleşik mamul karmasının diğer mamul karmalarına göre kapasite farklarının (d_j) hesaplanmasında üretim sürecinden kaynaklanan bir farklılıkla karşılaşılmaktadır. Birleşik üretim sürecinde aynı hammadde aynı üretim sürecinden geçerek aynı noktada birden fazla mamul elde edilebilmektedir. Bu nedenle de aynı üretim sürecinde mamullere ilişkin kısıtlar birbirinden farklı olabilmektedir. Bu durumda kısıtlara ilişkin olarak gerekli önlemlerin alınabilmesi için birleşik üretim sürecinde en büyük kısıta sahip mamulün değeri d_j formülünde yer alması gerekmektedir. Örneğin ham petrolün birleşik üretim sürecine girmesi durumunda, benzin, mazot, gazyağı vb. birçok birleşik mamul edilir. Birleşik üretim sürecinin farklı aşamalarında hammaddeden ayrılarak birleşik mamullere dönüşür. Benzinin mazottan daha uzun bir sürede oluşması, kaynaklar arasındaki geçişte mazotun o kaynaktan işi tamamlanmasına rağmen benzinin aynı kaynaktan işlem görmeye devam etmesi durumunda mazot diğer kaynağa geçmek için bekletilmek durumunda kalacaktır. Bu nedenle birleşik üretim sürecinde kapasite kullanım fazlasının veya eksikliğinin hesaplanmasında hangi birleşik mamul en fazla kaynak kullanıyorsa, d_j formülünde hesaplamaya dahil edilir. İşletmenin kapasite fazlası veya eksikliği aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmaktadır:

$$d_j = MK_j - \max \left\{ \frac{\left[D_i + \left(\frac{D_{in}}{a_i} \right) \right]}{e_i} \right\} t_{0j} - \sum_{i=1}^n (D_{in}) t_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

MK_j : Birleşik ve ek üretim süreçlerindeki j kaynağının mevcut kapasitesi,

D_i : Birleşik üretim sürecindeki P_i birleşik mamullerinin ve Y_i yan mamullerinin pazar talepleri,

D_{in} : Ek üretim sürecinde P_{in} mamullerinin pazar talepleri,

t_{0j} : j kaynağına giren bir birim P_i birleşik mamulünün ve Y_i yan mamulünün "0" birleşik üretim sürecinde işlenmesi için gerekli kaynak kullanım süresi,

t_{ij} : j kaynağına giren bir birim P_{in} mamulünün i ek işlem sürecinde işlenmesi için gerekli kaynak kullanım süresi,

e_i : Birleşik ve yan mamul üretim katsayısı, P_i birleşik mamulleri ve Y_i yan mamulleri üretim miktarının birleşik üretim sürecine giren direkt hammadde miktarına oranlanması sonucu bulunur,

a_i : Ek mamul üretim katsayısı, üretilen her bir P_i birleşik mamulün miktarının ilgili birleşik mamulden üretilen P_{in} ek mamulün miktarına oranlanması sonucu ortaya çıkan katsayıdır. Örneğin, P_i birleşik mamulünden ürettikten sonra ek işleme tabi tutarak yeni bir P_{ij} ek mamulü elde edebilmek için, iki birim P_i birleşik mamulünden ancak bir birim P_{ij} ek mamulü üretilebiliyorsa, burada $a_i = 2/1$ olacaktır.

Gereksinim duyulan kapasitenin mevcut kapasiteyi aşması durumunda ($d_j < 0$) işletme kaynaklarında

kısıt ortaya çıkmaktadır. Kısıtlı kaynakların d_j 'leri küçükten büyüğe sıralanır ($d_1 \leq d_2 \leq \dots \leq d_q$) ve kısıtlı kaynaklar (KK) sırasıyla $KK = \{K_1, K_2, \dots, K_q\}$ olarak ifade edilir. Doğal olarak q kısıtlı kaynak sayısının j kaynaklarının sayısından küçük ya da en fazla eşit olması beklenir ($q \leq m$).

Kısıtlar teorisinin en uygun mamul karmasının çoklu kısıtlı kaynağa dayalı olarak belirlenmesinde Plenert ve Lee (1993) çalışmalarında yanıtıcı sonuçlara ulaşıldığı kanıtlanmıştır. Fredendall ve Lea (1997) geleneksel algoritmanın bu yanıtıcı sonuçlarına yönelik düzeltmeler ve yeni ilkeler oluşturmuştur. Bu ilkeler; baskın kısıtlı kaynağın tanımlanması ve en uygun sonuca ulaşmak için baskın kısıtlı kaynağa kalan zamanı en aza indirilmesi olarak sıralanmıştır. d_j değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanarak baskın kısıtlı kaynaklar tanımlanır. En küçük d_j değeri üretim sürecinde işletmenin en fazla özen göstermesi gereken kaynaktır. Bu nedenle en küçük d_j değeri, yani talebi en fazla karşılayamayan kısıtlı kaynak "baskın kısıtlı kaynak" kabul edilir ve KK_1 olarak isimlendirilir. Bundan sonraki d_j değerleri sırasıyla KK_2, KK_3, \dots, K_q olarak sıralanır.

2. Adım: Kısıtların Üretim Öncelik Sırasının Belirlenmesi

Birleşik ve ek üretim süreçlerinde hangi mamullerin öncelikli olarak üretileceği, her bir kısıtlı kaynak için üretim öncelik oranları (R_{0,K_k} ve R_{m,K_k}) hesaplanarak belirlenir. Kısıtlı kaynağın mamule ilişkin işlem süresi küçük olması ve ilgili mamulün birim katkı paylarının (KP) büyük olması, baskın kısıtlı üretim öncelik oranının belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır.

Birleşik mamullerin ortak üretim özelliğine dayalı olarak, üretim sürecinde öncelikli olarak P_i birleşik mamullerin üretilmesi bir zorunluluktur. Eğer işletmenin müşterileri birleşik mamul yerine ek mamul talep ediyorlarsa, bu durumda da ek mamul öncelikle birleşik üretim sürecinden geçtikten sonra ek işlem süreci gerçekleştirilecektir. Bu nedenle üretim öncelik oranının belirlenmesinde sıralama sadece birleşik mamuller arasında değil, üretilen tüm mamuller arasında yapılmaktadır. Birleşik üretim süresinin bir parçası olan yan mamuller ise sıralamaya dahil edilmeyecektir. Birleşik ve ek mamullere göre daha önemsiz bir satış değerine ve katkı payına sahip olan yan mamuller birleşik üretimin doğal bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır.

Kısıtların üretim öncelik sıralarının belirlenmesinde aşağıdaki koşullar göz önünde bulundurulur:

- KK_1 baskın kısıtlı kaynak olarak varsayılarak R_{0,K_k} ve R_{m,K_k} üretim öncelik oranları katkı payları ile ilgili mamulün kısıtlı kaynağı kullanım süresi çarpılarak hesaplanır. Böylece mamule en fazla katma değeri sağlayan kısıtlı kaynak tespit edilmeye çalışılmaktadır (Aryanezhad ve Komijan, 2004, s.4224; Tsai vd., 2007, s.3425). Kısıtlı kaynakların mamullere ilişkin R değerleri hazırlanan "üretim öncelik oranı tablosu"na yerleştirilir. R_{0,K_k} ve R_{m,K_k} aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplanmaktadır:

$$R_{0,K_k} = \frac{KP_0}{t_{0,K_k}}; \quad k = 1, 2, \dots, q$$

$$R_{m,K_k} = \frac{KP_m}{t_{1,K_k}}; \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad k = 1, 2, \dots, q$$

Üretim öncelik oranı formülünde yer alan birleşik mamul karmasının birim katkı payı KP_0 ve ek mamullerin birim katkı payı KP_{in} aşağıdaki şekilde hesaplanır:

KP_0 : Üretilen birleşik mamullerin toplam birim satış fiyatı ile birleşik mamuller için kullanılan birim hammadde maliyeti (değişken maliyet) arasındaki farktır. TMS-2 Stoklar standardının gereği olarak, birleşik üretim sürecinde ortaya çıkan yan mamullerin birim satış fiyatı birim hammadde maliyetinden düşülür. Birleşik üretim sürecinin doğal bir sonucu olarak ortaya çıkan yan mamuller için hammadde kullanılmasına rağmen, işletme bu mamulü üretmek için herhangi bir hammadde maliyetine katlanmamıştır. Böylece birleşik üretim sürecinin birim katkı payı aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır.

$$KP_i = S_i - \{(b_i \times M_i) - (y_i \times S_y)\} \quad ; \quad y_i = M_0 \times c_i$$

KP_{in} : i ek işlem sürecinde işlem gören P_{in} mamulünün birim katkı payının hesaplanabilmesi için P_{in} mamulünün yan mamulü olan birleşik maliyetinin ve birleşik üretim sürecinde ortaya çıkan yan mamulden aldığı pay karşılığındaki satış gelirinin bilinmesi gerekmektedir. Bu bilinmeyen değerlere ulaşabilmek için, TMS-2 Stoklar standardında yan mamuller için belirtilen ifadelerden "net gerçekleştirilebilir değer (NGD)" yöntemine göre birleşik mamullerin net birim maliyetin hesaplanması gerektiği anlaşılmaktadır. Bu yöntem ile, ek mamullerin satış tutarından i ek işlem sürecinde katlanılan maliyetler düşülmektedir. Böylece ek mamullerin ayrım noktasındaki net gerçekleştirilebilir değerlerine (NGD_{an}) ulaşılmaktadır. NGD_{an} mamullerin ayrım noktasındaki net gerçekleştirilebilir değer toplamlarına ($NGD_{an,T}$) bölünerek her bir ek mamul için "birleşik maliyet yükleme oranı ($BM_{YO,in}$)" hesaplanmaktadır. Bu yükleme oranı ile ek mamullerin tamamının birleşik üretimden aldıkları ortak payın ek mamullere dağıtılması sağlanmaktadır. Bunun için; ek mamul üretim katsayı (a_i) ile ek mamullerin pazar talep miktarları (P_{in}) çarpılarak ek mamuller için kullanılan toplam birleşik mamul miktarı (TBM_{mik}) elde edilir. Toplam birleşik mamul miktarı ile ek hammadde birim maliyetinin (M_i) çarpılması sonucunda da ek mamullerin toplam birleşik maliyeti (TBM_{in}) hesaplanmış olmaktadır. $BM_{YO,in}$ ile TBM_{in} çarpılarak ek mamuller için kullanılan birleşik maliyetlerden her bir ek mamule düşen maliyet payı (BMP_i) hesaplanmış olmaktadır.

TMS-2 Stoklar standardında yan mamullerin satışından elde edilen gelirin birleşik mamul maliyetinden düşülebileceği belirtilmektedir. Her bir ek mamul için kullanılan birleşik mamullerden yaratılan yan mamulün miktannın (y_i) ve satış değerinin (S_y) belirtenebilmesi için, ek mamul için kullanılan toplam birleşik mamul miktarı (TBM_{mik}) ile bir birim hammaddenin birleşik üretim sürecine girmesi durumunda elde edilen yan mamul katsayısının (c_i) çarpılması gerekir. Böylece elde edilen toplam yan mamul satış gelirleri her bir ek mamulün NGD_{an} 'den çıkartılarak her bir ek mamulün net birleşik mamul maliyetine (BM_{net}) ulaşılmaktadır. BM_{net} , ilgili ek mamulün toplam yan mamul maliyetini yansıtmaktadır. Ek mamulün birim net

birleşik maliyetinin (NBM_{in}) hesaplanması için; BM_{net} 'in TBM_{mik} 'e bölünmesi gerekmektedir. Bu durumda ek mamullerin birim katkı payı formülü şöyledir:

$$KP_{in} = S_{in} - (M_i \times b_i) - NBM_{in}$$

- b. Baskın kısıtlı kaynağın KKI belirlenmesi için aşağıdaki aşamalar göz önünde bulundurulur (Aryanezhad ve Komijan, 2004, s.4224, 4227).
- i. Tek bir kısıtlı kaynak varsa, başka bir deyişle kısıtlı kaynaklarda q bire eşitse, bu kaynak baskın kısıtlı kaynak KK_1 olarak adlandırılır ve sonrasında (c)'ye gidilir.
- ii. birden fazla kısıtlı kaynak varsa, yani q birden büyükse, bu durumda kısıtlı kaynaklardan hangisi daha küçük d_j 'ye sahipse baskın kısıtlı kaynak KK_1 olarak adlandırılır ve diğer kısıtlı kaynaklar d_j 'lerine göre küçükten büyüğe doğru sıralanır ve sonrasında (c)'ye gidilir.
- c. Baskın kısıtlı kaynak tespit edildikten sonra kısıtlı kaynaklarda işlem gören mamullerin üretim öncelik sırası R_{0,K_i} ve R_{in,K_i} sonuçlarına büyükten küçüğe sıralanır. Eğer mamuller aynı R_{0,K_i} veya R_{in,K_i} değerlerine sahipse, bu değerleri sağlayan kaynakların katkı oranlarının (KP_1 veya KP_{in}) büyüklüklerine göre üretim önceliği o mamule verilir. Eğer mamulün R_{0,K_i} veya R_{in,K_i} değerleri sıfır ise yine katkı oranlarının büyüklüğüne göre sıralama gerçekleştirilir (Tsai vd. 2007, s.3425).

3. Adım: KKI'in Üretim Öncelik Sırasına Göre Temel Üretim Programının (TÜP) Geliştirilmesi

Birleşik ve ek mamullerin her birinin pazar talepleri göz önünde bulundurularak, KK_1 'in mevcut kapasitesi tükeninceye kadar üretim öncelik sırasına tüm mamullere eşzamanlı bir şekilde yüklenmesi gerekir. İşletmenin birleşik ve ek mamul kamasının en uygun şekilde belirlenebilmesi için öncelikle "temel üretim programı"nın oluşturulması gerekir. Bu program bir anlamda sadece baskın kısıtlı kaynağa göre mamullerin üretim miktarının kabaca belirlenmesidir. TÜP belirlendikten sonra, eğer hala diğer kısıtlı kaynaklarda kullanılmayan kapasiteler varsa bunların uygun bir şekilde mamullerin üretiminde kullanılması gerekmektedir. Bu süreç aşağıdaki aşamalarda sırasıyla gerçekleştirilmektedir (Tsai vd. 2007, s 3425).

3-1. Adım: En az miktara sahip olan birleşik mamulün öncelikli olarak üretilmesi:

Birleşik üretim yapan işletmeler üretimin özelliğinden dolayı öncelikle birleşik mamulleri üretmek zorundadır. Ayrım noktasından sonra birleşik mamullerin ek işlem sürecine girip girmeyeceği değerlendirilir. Bu nedenle, birleşik mamullerden en az miktara sahip P_j mamulünün miktarı "başlangıç miktar" olarak kabul edilir. Mamuller başlangıç miktarları ile kısıtlı kaynakların kullanım zamanları çarpılarak, başlangıç düzeyinde kaynak kullanım süreleri hesaplanmış olmaktadır. Kısıtlı kaynakların toplam mevcut kapasitelerinden kullanılan kapasite kullanım süreleri düşülmesi sonucunda, kalan kapasite süresi belirlenerek bir sonraki aşamada kullanılacak kapasite kullanım süresi aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır.

$$I_{kalan süre,q} = MK_{KKq} - \sum_{i=1}^n t_{i,KKq} Q_i$$

MK_{KKq} , mevcut kapasiteyi veya bir önceki dağıtımdan sonra kullanılabilir kapasiteyi; $t_{i,KKq}$ mamullerin kısıtlı kaynakları kullanım sürelerini ve Q_i ise üretilmesi arzu edilen miktarı ifade etmektedir. Birleşik mamullerin başlangıç miktarlarının kısıtlı kaynaklardan çekilmesi ile en az düzeydeki birleşik mamulün talebi (D_j) karşılanmış olmaktadır.

Üretim öncelik sırası göz önünde bulundurularak taleplerin karşılanmasına göre iki durumdan birisi tercih edilir:

- (1) Eğer birleşik mamul karmasının üretim öncelik sıralamasında ek mamullerden daha önce ise, 3-5. Adım'a gidilir.
- (2) Birleşik mamul karmasının üretim öncelik sırası herhangi bir ek mamulden sonra ise, 3-2. Adım'a gidilir.

3-2. Adım: Üretim öncelik sırası birleşik mamul karmasından önce olan ek mamul(ler)ün talebinin karşılanması:

Üretim öncelik sırası ilk olan ek mamul P_{in} ve onun pazar talebi D_{in} karşılamak için, başlangıç miktarında birleşik mamul karmasına yüklenen üretim miktarlarından ilgili birleşik mamulün miktar düşülerek ek işlem sürecine yan mamul olarak gönderilir. Öncelik sırası birleşik mamul karmasından daha önce olan ek mamullerin talepleri karşılanıncaya kadar, ek mamuller için birleşik üretim sürecine hammadde yüklemesi yapılır ve ayırım noktasında birleşik mamuller yan mamul olarak ek işlem sürecine gönderilir. Bu işlem birleşik mamul karmasındaki mamullerden en azından birisinin talebi (D_j) karşılanıncaya ya da tüm öncelik sırası birleşik mamullerden önce olan tüm ek mamullerin pazar talepleri karşılanıncaya kadar devam ettirilir.

Öncelik sırası birleşik mamul karmasından daha öncelikli olan ek mamullerin pazar talebi karşılanması durumunda, 3-4. Adım'a ilişkin süreç izlenir. Aksi takdirde birleşik mamul karmasından en az birisinin pazar talebi karşılanması, ancak henüz öncelikli ek mamullerin pazar talepleri karşılanamaması durumunda bir sonraki aşama olan 3-3. Adıma gidilir.

3-3. Adım: Ek mamullerin pazar talebinin karşılanması için birleşik mamullerin azaltılması:

Öncelik sırası birleşik mamul karmasından daha önce olan ek mamullerin pazar talebi tamamen karşılanamamışsa, ancak birleşik mamullerden en azından birisinin pazar talebi karşılanmışsa, öncelikli ek mamullerin talebini karşılamak için ilgili birleşik mamul ek işlem sürecine verilerek öncelikli ek mamulün pazar talebi karşılanır. Bu adım önceliği birleşik mamul karmasından önce olan ek mamullerin pazar talepleri tamamen karşılanıncaya kadar devam ettirilir ve sonrasında 3-4. Adıma geçilir.

3-4. Adım: Birleşik mamul karmasındaki mamullerden herhangi birisinin pazar talebinin karşılanması

Öncelik sırası birleşik mamul karmasından daha önce olan ek mamullerin tüm pazar talepleri tamamlanması nedeniyle, üretim öncelik sıralamasına göre artık birleşik mamullerin üretilmesi gerekmektedir. Bu adımın amacı birleşik mamul karmasında yer alan her bir birleşik mamulün kendi pazar talebinin en az kalacak şekilde karşılanmasıdır. Eğer birleşik mamullerin hiçbiri pazar talebine ulaşamıyorsa, kaynak kullanım süreleri göz önünde bulundurularak birleşik mamul karmasından en az birisinin pazar talebi karşılanıncaya kadar birleşik mamullere ilave birimler eklenmelidir.

Eğer üretim öncelik sıralamasına göre birleşik mamullerden sonra ek mamuller yoksa, başka bir deyişle birleşik mamuller öncelik sıralamasının en sonunda ise, ilk gerçekleştirilebilir "temel üretim programı" bu adımda belirlenmiş olmaktadır.

3-5. Adım: Öncelik sırası birleşik mamul karmasından sonra gelen ek mamullerin taleplerinin karşılanması:

Öncelik sıralamasında birleşik mamul karmasından sonra gelen ek mamuller yine öncelik sırasına göre üretim programına dahil edilir. Öncelik sıralamasına göre, birleşik mamullerinin üretim miktar artışı ve öncelik sırası birleşik mamulden sonra olan ek mamulün üretim miktarı artışı aynı olmalıdır. Eğer bu mamullerin üretim miktarları eşzamanlı olarak arttınlamıyorsa, birleşik mamul ve kendinden sonraki ek mamul eşzamanlı arttırılması imkansız oluncaya kadar arttırma işleminin devam ettirilmesi gerekir. Örneğin, birleşik mamulden sonraki üretim öncelik sırası $P_1+P_2+P_3+P_4$; P_{41} ; P_{21} ise, P_{41} 'in üretiminde artış yapabilmek için aynı miktarda P_4 'te de artış yapılması gerekmektedir. Ancak $P_{41} - P_4$ birlikte arttınlamıyorsa ve kısıtlı kaynaklarda kullanılabilir zaman kalmışsa $P_{21} - P_2$ 'nin arttırılmasına devam edilebilir. Bu adım üretim öncelik sırası göz önünde bulundurularak birleşik mamul karmasından sonra olan tüm ek mamuller için tekrarlanır. Bu işlem gerçekleştirilirken hiçbir kısıtlı kaynak kullanım süresinin sıfırdan küçük değerlere inmesine izin verilmemelidir.

4. Adım: Süreç Katkı Payını Geliştirmek İçin Temel Üretim Programında Değişikliklerin Yapılması

İlk üç adımla baskın kısıtlı kaynağa göre birleşik, yan ve ek mamullere ilişkin "başlangıç temel üretim programı" oluşturulmuştur. İşletme oluşturduğu temel üretim programındaki mamulleri üretmesi durumunda belirli bir süreç katkı payına ulaşacaktır. Ancak 3. Adım'ın tüm aşamalarının tamamlanmasından sonra hala kısıtlı kaynaklarda kullanılmaya süre bulunuyorsa, bu süreyi yaparak en uygun şekilde kullanarak birleşik mamul karması veya ek mamuller arasında miktarsal arttırma (P_y) veya azaltmalar (P_x) süreç katkı payını arttırma olasılıklarına ilişkin öneriler geliştirilir. Bu miktarsal değişim birleşik mamul karması içinde olabileceği gibi ek mamuller arasında da gerçekleştirilebilir. Ancak unutulmamalıdır ki, birleşik mamuller ek mamullerin yan mamulleridir ve bir ek mamulün azaltılması onun yan mamulü olan birleşik mamulün artmasına neden olacaktır.

4. Adımda tek bir öneri varsa, kısıtlarda kalan kapasite kullanım süresine göre P_y mamulünü bir birim arttırmak için P_x mamulünü kaç birim azaltılması gerektiğinin belirlenmesi gerekir. Bunun işlem için 6. Adım'a gidilir.

Ayrıca öneriler, birden fazla mamul arasında miktarsal değişimi de içerebilir. Ancak bu tür öneri oluştururken, kısıtlı kaynakların kullanım süreleri ile birleşik mamulün her birinin ek mamulün yan mamulü olduğu unutulmamalıdır. Miktarsal değişimler sonucunda hiçbir öneri en uygun sonucu vermiyorsa, "ilk gerçekleştirilebilir TÜP" en uygundur. Eğer öneriler arasında süreç katkı payını arttıran öneriler yaratılabiliyorsa, 5. Adım'a gidilir (Aryanezhad ve Komijan, 2004, s.4228).

5. Adım: En İyi Önerinin Belirlemesi

4. Adım'daki birden fazla öneri, kısıtlı kaynaklarda kalan kullanım süreleri göz önünde bulundurularak, P_y mamulünde bir birim arttırmak için P_x mamulünde azaltılması gereken mamul miktarı (N) tespit edilmeye çalışılır. Bu nedenle en iyi önerinin hangisi olduğunun tespit edilebilmesi için aşağıdaki formülден yararlanarak her bir öneri için Z değeri hesaplanır (Aryanezhad ve Komijan, 2004, s.4228):

$$Z = \sum_{k=1}^{q \leq m} (-NR_{P_x, KK_k} + R_{P_y, KK_k})$$

Önerilerden hangisi en büyük Z değerlerine sahipse bu öneri uygulanmak üzere, 6. Adım'a gidilir.

6. Adım: Talebi Karşılanamayan Mamulleri İçeren Mamul Karmasının Geliştirilmesi

Üretim öncelik sıralamasında talepleri tamamıyla karşılanamayan tüm mamulleri (P_y hariç) içeren bir mamul karması oluşturulur ve bu mamul karması H olarak adlandırılır (Aryanezhad ve Komijan, 2004, s.4228). İlgili mamulleri tespit edecek H nin geliştirilmesinin amacı; P_y mamulünün arttırılmasından ve P_x mamulü ile azaltılmasından sonra, kısıtlı kaynaklarda kalan kullanım sürelerine dayalı olarak mamullerin miktarı arttırılır (Tsai vd., 2007, s.3428).

7. Adım: Azaltma ve Arttırma Süreci

P_x mamulünün N miktarda azaltılması ve P_y mamulünün arttırılması sonucunda, H nin ilk üyesini mümkün olduğu kadar arttırmak için kısıtlı kaynaklarda kalan kapasite kullanım süresi hesaplanır. Eğer ilk üye mamulün pazar talebi karşılanmışsa ya da daha fazla mamulün miktarının arttırılma olanağı yoksa, sonraki üye mamulden başlamak üzere H nin tüm üye mamulleri sırasıyla arttırılarak kısıtlı kaynaklarda kalan kullanım süresi tüketilmeye çalışılır. P_y mamulünün tüm pazar talebini karşılanmışsa, P_y mamulü olarak H nin ilk üyesi yerleştirilir ve 6. Adım'a geri dönülür. Bu işlem P_x mamulünün N miktarda ardi ardına azaltıldıktan sonra P_y mamulünün arttırılması mümkün olmaması durumunda durdurulur.

Birleşik üretim sürecinde en uygun mamul karmasına ilişkin kararın alınmasında Tsai vd. ile Aryanezhad ve Komijan'ın yedi adımdan oluşan aşamaları kullanılmaktadır. Bu adımların daha iyi açıklanması ve doğrusal programlama ile aynı sonuca ulaştırıp ulaştırmadığının test edilmesi amacıyla sayısal bir örnekten yararlanılmaktadır.

3. Kısıtlar Teorisinde En Uygun Birleşik Mamul Karma Kararına İlişkin Sayısal Bir Örnek

ELMas üretim işletmesi elma hammaddesini birleşik üretim süreçlerinde işleyerek; elma dilimi, elma püresi, elma suyu, dondurulmuş ve fırınlanmış elma dilimi, bebek maması ve elma konsantresi üreten bir işletmedir. İşletmesi üç kg elmayı birleşik üretim sürecinde işleyerek; bir kg elma dilimi (P_1), bir kg elma püresi (P_2), bir kg elma suyu (P_3) ve üç kg elmanın üretim sürecine girmesi sonucunda %5'i (c_j) miktarında hayvan yemi (Y_1) olarak yan mamul üretilmektedir. Birleşik mamuller aynı noktadan sonrada ek işleme tabi tutulabilmektedir.

ELMas üretim işletmesi dördü birleşik üretim sürecinde ve üçü de ek işlem sürecinde olmak üzere toplam yedi birimde (kaynakta) mamullerini üretmektedir. Birleşik üretim sürecinde Yıkama (A), Kesme-Dilimleme (B), Ezme-Sıkma (C) ve Fırınlama-Dinlendirme (D) olmak üzere dört kaynaktan birleşik mamullerini ve ek mamuller için yan mamul üretimi yapmaktadır. Ek işlem üretim sürecinde ise; Şoklama (E), Mama (F) ve Paketleme (G) kaynakları kullanılarak ek mamuller üretilmektedir.

Birleşik üretim sürecinde birleşik mamulleri ve yan mamulü üretmek için A, B, C, D, E ve G kaynakları gerekmektedir. Birleşik mamul P_1 aynı noktada 2 liraya satılabilmektedir. P_1 aynı noktadan sonra I-A ek işlem sürecine A, B, E ve G kaynaklarından geçerek I I ek mamulünü 15 lira birim satış fiyatına veya I-B ek işlem sürecine A, B, D, G kaynaklarından geçerek de P_{12} ek mamulünü 20 lira birim satış fiyatına satabilmektedir. Ek işlem süreci I-A'dan bir kg dondurulmuş elma (P_{11}) elde edebilmek için, bir kg elma dilimine (P_1) ve bir birim (M_{11}) ek hammaddesine gereksinim duyulmaktadır. Ek işlem süreci I-B'den bir kg fırınlanmış elma (P_{12}) elde edebilmek için, bir kg elma dilimi (P_1) ve bir birim (M_{12}) ek hammaddesi gerekmektedir.

Birleşik mamul P_2 aynı noktada 4 liraya satılabilmektedir. P_2 aynı noktadan sonra II. ek işlem sürecindeki A, C, D, F ve G kaynaklarından geçerek P_{21} ek mamulünü 12 lira birim satış fiyatına satabilmektedir. Ek işlem süreci II'den bir kg bebek maması (P_{21}) elde edebilmek için bir kg elma püresine (P_2) ve bir birim (M_2) ek hammaddeye ihtiyaç duyulmaktadır.

Birleşik mamul P_3 aynı noktada ya 3 liraya ya da aynı noktadan sonra III. ek işlem sürecindeki A, C, D ve G kaynaklarından geçerek P_{31} elma konsantresini 4 lira birim satış fiyatına satabilmektedir. Ek işlem süreci III'den bir kg konsantrenin (P_{31}) elde edebilmesi için, bir kg elma suyu (P_3) ve bir birim (M_3) ek hammadde gerekmektedir.

ELMas üretim işletmesinin bir aylık pazar talebi, tüm mamullerin birim satış fiyatı, birim maliyetleri, birim katkı payları, mamullerin üretilmesi için kaynaklarda geçimleri gereken süreler, kaynakların mevcut kapasiteleri, pazar talebi bazında gereksinim duyulan kapasite, kısıtlı kaynaklar ve kısıtlı kaynakların eksik süreleri (d_j) Tablo 1 ve 2'de özetlenmektedir.

Tablo 1. Mamullerin Aylık Talep Miktarları, Birim Satış Fiyatı ve Birim Hammadde Maliyeti

| | Birleşik Mamul | | | Yan Mamul | Ek İşlem Gören Mamuller | | | |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | P ₁ | P ₂ | P ₃ | Y ₁ | P ₁₁ | P ₁₂ | P ₂₁ | P ₃₁ |
| Pazar talep miktarı (D ; D _j) | 30 ton | 75 ton | 65 ton | 14 ton | 40 ton | 20 ton | 20 ton | 30 ton |
| Satış fiyatı (S ; S _j) | 2 TL/kg | 4,0 TL/kg | 3 TL/kg | 0,30 TL/kg | 15 TL/kg | 20 TL/kg | 12 TL/kg | 4 TL/kg |
| Birim Hammadde Maliyeti (M ; M _j) | 4,30 TL/kg | | | 5 TL/kg | 5 TL/kg | 3 TL/kg | 2 TL/kg | |

Tablo 2. Mamullerin Kaynak Kullanım Süreleri (Ks) ve Kısıtlı Kaynaklar

| İşletme Birimleri Mamuller | (A) | (B) | (C) | (D) | (E) | (F) | (G) |
|---|--------|-----------------|------------|-----------------------|---------|------|-----------|
| | Yıkama | Kesme Dilimleme | Ezme/Sılma | Fırımlama Dinlendirme | Şoklama | Mama | Paletleme |
| P ₁ + P ₂ + P ₃ + Y ₁ | 16 | 15 | 12 | 6 | | | 12 |
| P ₁₁ | 4 | 6 | | | 25 | | 20 |
| P ₁₂ | 10 | 9 | | 20 | | | 10 |
| P ₂₁ | | | 25 | 25 | | 35 | 9 |
| P ₃₁ | 4 | | 10 | 14 | | | 5 |
| Mevcut Kapasite (000 Mks) | 1700 | 1700 | 1700 | 1700 | 1000 | 1000 | 2055 |
| Gereken Kapasite (000 Mks) | 2000 | 1845 | 1940 | 1890 | 1000 | 700 | 2280 |
| d _j = Kapasite Fazlası (eksiği) | (300) | (145) | (240) | (190) | 0 | 300 | (225) |

ELMas üretim işletmesi P1, P2, P3, Y1, P11, P12, P21 ve P31 mamul karmasını pazar taleplerine ve kâra sağladıkları katkı payına bağlı olarak üretmek istemektedir. ELMas üretim işletmesinin ürettiği mamuller, satış fiyatları, mamullerin kullandığı kısıtlı kaynaklar Şekil 3'teki üretim sürecinde gösterilmektedir.

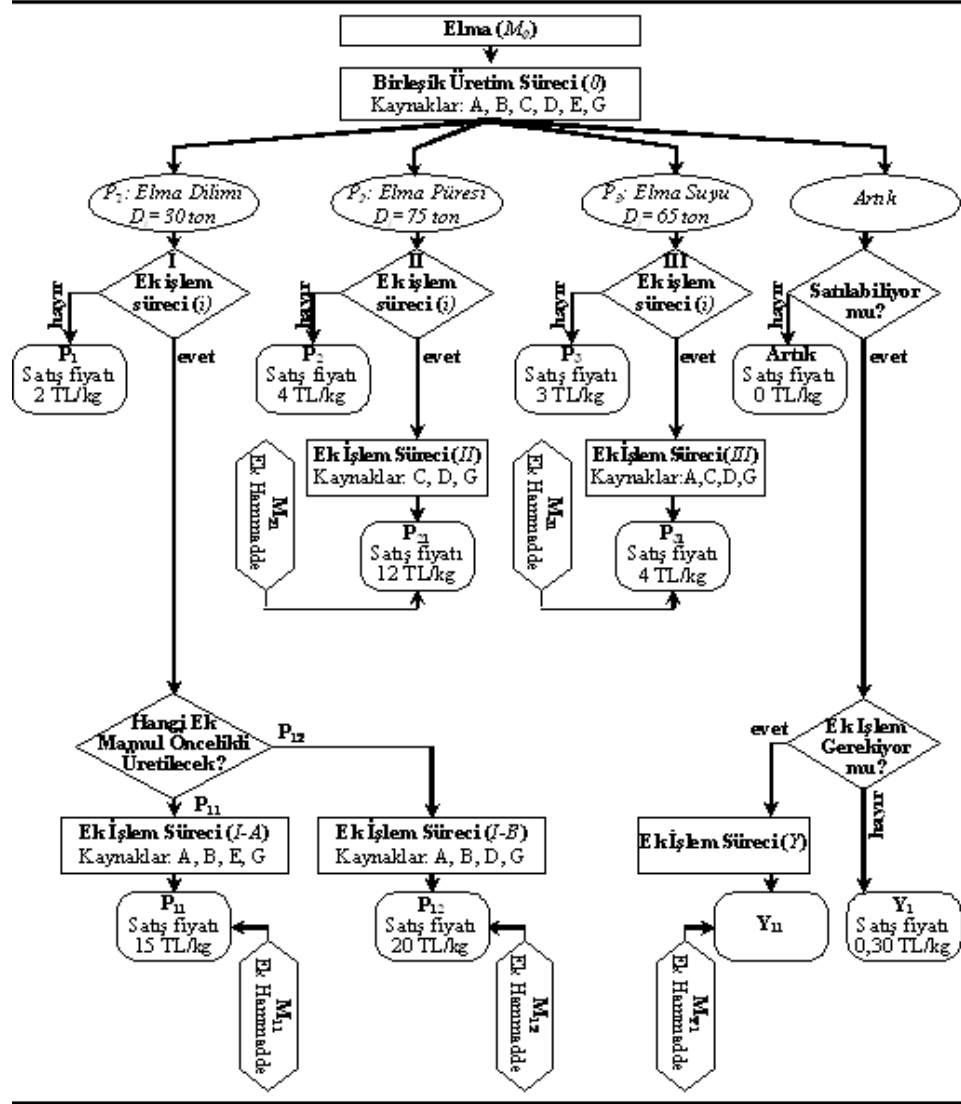
1. Adım: Sistemin kısıtlarının tanımlanması: İşletmenin sahip olduğu mevcut kapasite ile mamullere ilişkin pazar taleplerinin tamamının karşılanması için gereksinim duyulan kapasite arasındaki farkın negatif çıkması durumunda kaynakların kapasite sürelerinin yetersiz olması nedeniyle, kaynak kısıtları ortaya çıkmaktadır. Tablo 2'de kaynaklara ilişkin kapasite eksikliği veya fazlası d_j formülü yardımıyla Tablo 3'te hesaplanmıştır.

Tablo 3. Kaynakların Kapasite Süresi Fazlası veya Eksikliği

| ACP _j | P ₁ | P ₁₁ | P ₁₂ | P ₂ | P ₂₁ | P ₃ | P ₃₁ | u _{0j} | u _{1j} | u _{2j} | u _{3j} | u _{4j} | u _{5j} | d _j |
|------------------|---|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|
| d _A | - max{[(30+40+20)-1]-1; [(75+20)-1]-1; [(65+30)+1]-1; } x 16-40 x 4-20 x 10-20 x 0-30 x 4- | | | | | | | | | | | | | -300 |
| d _B | - max{[(30+40+20)-1]-1; [(75+20)-1]-1; [(65+30)+1]-1; } x 15-40 x 6-20 x 9-20 x 0-30 x 0- | | | | | | | | | | | | | -145 |
| d _C | - max{[(30+40+20)-1]-1; [(75+20)-1]-1; [(65+30)+1]-1; } x 12-40 x 0-20 x 0-20 x 25-30 x 10- | | | | | | | | | | | | | -240 |
| d _D | - max{[(30+40+20)-1]-1; [(75+20)-1]-1; [(65+30)+1]-1; } x 6-40 x 0-20 x 20-20 x 25-30 x 14- | | | | | | | | | | | | | -190 |
| d _E | - max{[(30+40+20)-1]-1; [(75+20)-1]-1; [(65+30)+1]-1; } x 0-40 x 25-20 x 0-20 x 0-30 x 0- | | | | | | | | | | | | | 0 |
| d _F | - max{[(30+40+20)-1]-1; [(75+20)-1]-1; [(65+30)+1]-1; } x 0-40 x 0-20 x 0-20 x 35-30 x 0- | | | | | | | | | | | | | 300 |
| d _G | - max{[(30+40+20)-1]-1; [(75+20)-1]-1; [(65+30)+1]-1; } x 10-40 x 20-20 x 10-20 x 9-30 x 5- | | | | | | | | | | | | | -225 |
| | 90 | | | 95 | | | 95 | | | | | | | |

İşletmenin pazar talepleri (D_j ve D_{ij}) ile mamullerin kaynak kullanım süreleri (Ks) çarpımı sonucunda birleşik ve ek mamullerin pazar taleplerinin karşılanması için gereksinim duyulan

kaynakların toplam kapasite süreleri hesaplanmaktadır. Kaynakların mevcut kapasite süreleri ile gereksinim duyulan kapasite süreleri arasındaki olumsuz fark ise "kısıtlı kaynak" olarak ifade edilmektedir. Tablo 3 incelendiğinde, ELMas işletmesinin A, B, C, D ve G kaynaklarının kısıtlı kaynak niteliğinde olduğu görülmektedir.



Şekil 3. ELMas Üretim İşletmesinin Üretim Süreci

2. Adım: Kısıtların üretim öncelik sırasının belirlenmesi: Bir önceki adımda belirlenen kısıtlı kaynakların her biri için üretim öncelik oranının (R_{0,k_s} ve R_{m,k_s}) belirlenmesi gerekmektedir. Üretim öncelik oranının hesaplanmasında mamullere ilişkin birim katkı paylarının hesaplanması gerekmektedir. Birleşik mamullerin birim katkı paylarının belirlenmesi oldukça basittir. Çünkü her bir birleşik mamulün satış fiyatı ve birleşik üretim sürecinde kullanılan hammaddelerin toplam birim maliyeti bilinmektedir ve iki değer arasındaki farkı birim katkı payını vermektedir. Ancak ek mamullerin birim katkı payının belirlenmesinde iki sorunla karşılaşılır. Bunlardan ilki, ek mamuller birleşik mamulleri yan mamul olarak kullanmaktadır ve bu yan mamul/lerin birim maliyetinin hesaplanması gerekmektedir. Bu amaçla da ek mamullere ortak maliyetlerin dağıtılması gerekmektedir. İkinci sorun ise, ek mamullerin yan mamulleri birleşik üretim sürecinden geçerken yan mamulleri de üretmiş olmasıdır ve bu yan mamuller satılabilir niteliktedir. Bu nedenle de yan mamullerin satış gelirlerinin her bir ek mamule düşen yan mamul payının yan mamullerin maliyetinden düşülmesi gerekmektedir. Birleşik ve ek mamullerin üretimi sonucunda ortaya çıkan yan mamullerin satış gelirinden arındırılmış birim katkı payı Tablo 4'te gösterilmektedir.

Tablo 4. Birim Katkı Payının Hesaplanması

| | Birleşik Mamul | | | Yan Mamul | Ek İşlem Gören Mamuller | | | | Toplam |
|--|---|-----------|----------|------------|---|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|--------------|
| | P_1 | P_2 | P_3 | Y_1 | P_{11} | P_{12} | P_{13} | P_{14} | |
| Parçaların miktarı (D_i) | 30.000kg | 75.000kg | 65.000kg | 14.000kg | 40.000kg | 20.000kg | 20.000kg | 30.000kg | |
| (+) Satış fiyatı (S_i) | 2 TL/kg | 4 TL/kg | 3 TL/kg | 0,30 TL/kg | 15 TL/kg | 20 TL/kg | 12 TL/kg | 4 TL/kg | |
| (=) Satış tutarı (S) | | | | | 600.000 TL | 400.000 TL | 240.000 TL | 120.000 TL | 1.360.000 TL |
| (-) Ek maliyetler ($M = D \times M$) | | | | | -200.000 TL | -100.000 TL | -60.000 TL | -60.000 TL | -420.000 TL |
| (=) İşlem noktasında NGD ($NGD = S - M$) | | | | | 400.000 TL | 300.000 TL | 180.000 TL | 60.000 TL | 940.000 TL |
| Birleşik Maliyet Yükleme Oranı ($EM_{i,m} = NGD_i / NGD_m$) | | | | | %42,55 | %31,91 | %19,15 | %6,38 | %100 |
| Ortak mamul miktarları ($M_{i,m} = \sum_{i=1}^n D_i$) | 30.000kg | 75.000kg | 65.000kg | | 40.000kg | 20.000kg | 20.000kg | 30.000kg | |
| ($M_{i,m} = \sum_{i=1}^n D_{ik} \times a_{ik}$) | 170.000 kg | | | | 110.000 kg | | | | |
| Toplam Üretim Maliyeti ($EM = M_{i,m} \times M_i$) | 731.000 TL (170.000 kg x 4,30 TL/kg) | | | | 473.000 TL (110.000 kg x 4,30 TL/kg) | | | | |
| Birleşik Maliyetlerin Dağılımı ($EMD = EM \times EM_{i,m}$) | | | | | 201.277 TL | 150.957 TL | 90.574 TL | 30.191 TL | |
| Birleşik mamullerin üretimine dayalı yan mamul miktarları ($y = M_{i,m} \times c_i$) | 1.500kg | 3.750kg | 3.250kg | | 2.000kg | 1.000kg | 1.000kg | 1.500kg | |
| Yan mamullerin satış tutarı ($S_{m,r} = y_r \times S_r$) | -450 TL | -1.125 TL | -975 TL | | -600 TL | -300 TL | -300 TL | -450 TL | |
| ($S_{m,r} = y_r \times S_r$) | -2.550 TL | | | | -1.650 TL | | | | |
| Değiştirilmiş Net Birleşik Maliyetler ($DEM = EM - ES$) | 728.450 TL (731.000 TL - 2.550 TL) | | | | 200.677 TL | 150.657 TL | 90.274 TL | 29.741 TL | 471.350 TL |
| ($DEM = EM - ES$) | | | | | | | | | |
| Birim Net Birleşik Maliyeti ($M_{i,m} = DEM / D_i$) | 4,29 TL/kg (728.450 TL / 170.000 kg) | | | | 5,02 TL/kg | 7,53 TL/kg | 4,51 TL/kg | 0,99 TL/kg | |
| ($M_{i,m} = DEM / D_i$) | | | | | | | | | |
| Birim Katkı Payı ($KP = S - M_{i,m}$) | 4,72 TL/kg (2 + 4 + 3) - 4,29 | | | | 4,96 TL/kg (15 - 5,02 - 5) | 7,47 TL/kg (20 - 7,53 - 5) | 4,40 TL/kg (12 - 4,51 - 3) | 1,01 TL/kg (4 - 0,99 - 2) | |
| ($KP = S - M_{i,m}$) | | | | | | | | | |

Ek mamullerin yan mamullerini oluşturan birleşik maliyetlerin ek mamullere dağıtılmasında "ayrım noktasındaki net gerçekleşebilir değer" yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem ile, ek mamullerin talep edilen miktarlarının tamamının satılması durumunda elde edilecek satış gelirlerinden tüm ek mamullerin değişken maliyeti düşülerek ayrım noktasındaki NGD'lerine ulaşılmıştır. Her bir ek mamulün ayrım noktasındaki NGD'nin toplam NGD oranlanması sonucunda birleşik mamullerin yükleme oranları belirlenmiş ve bu oranlar toplam birleşik maliyetler ile çarpılarak her bir ek mamule düşen birleşik maliyet payı hesaplanmıştır. Üretim miktarının %5'i yan mamul miktarını oluşturmaktadır. Yan mamul miktarı ile satış fiyatının çarpılması sonucunda birleşik mamullere ve her bir ek mamule düşen yan mamul geliri hesaplanabilmektedir. Toplam üretim maliyetinden yan mamul gelirlerinin düşülmesi ile bulunan sonucun mamullerin pazar taleplerine bölünmesi ile yan mamul geliri düşülmüş birim net birleşik maliyete ulaşılır. Birleşik ve ek mamullerin satış fiyatları birim net birleşik maliyetleri arasındaki fark ise birim katkı payını vermektedir.

Birleşik ve ek mamullere ilişkin birim katkı payları belirlendikten sonra, R_{0,K_2} ve R_{m,K_2} hesaplanarak mamuller arasındaki üretim öncelik sırası tespit edilebilir. R_{0,K_2} ve R_{m,K_2} birim katkı payının ilgili mamulün kısıtlı kaynağı kullanma süresine (K_s) oranlanması ile bulunmaktadır. ELMas işletmesinin üretim öncelik oranları aşağıda hesaplanmıştır.

| | |
|--|--|
| KAYNAK A | $R_{0,EHA} = CM_0 \div t_{0,EHA}$ |
| | $R_{0,EHA} = 4,72 \div 16 = 0,29$ |
| | $R_{11,EHA} = CM_{11} \div t_{11,EHA}$ |
| | $R_{11,EHA} = 4,98 \div 4 = 1,25$ |
| $R_{12,EHA} = CM_{12} \div t_{12,EHA}$ | $R_{12,EHA} = 7,47 \div 10 = 0,75$ |
| | $R_{31,EHA} = CM_{31} \div t_{31,EHA}$ |
| $R_{31,EHA} = 1,01 \div 4 = 0,25$ | |
| KAYNAK B | $R_{0,EHB} = CM_0 \div t_{0,EHB}$ |
| | $R_{0,EHB} = 4,72 \div 15 = 0,31$ |
| | $R_{11,EHB} = CM_{11} \div t_{11,EHB}$ |
| | $R_{11,EHB} = 4,98 \div 6 = 0,83$ |
| $R_{12,EHB} = CM_{12} \div t_{12,EHB}$ | $R_{12,EHB} = 7,47 \div 9 = 0,83$ |
| | $R_{31,EHB} = CM_{31} \div t_{31,EHB}$ |
| $R_{31,EHB} = 1,01 \div 10 = 0,10$ | |

| | |
|--|--|
| KAYNAK D | $R_{12,EHD} = CM_{12} \div t_{12,EHD}$ |
| | $R_{12,EHD} = 7,47 \div 20 = 0,37$ |
| | $R_{21,EHD} = CM_{21} \div t_{21,EHD}$ |
| | $R_{21,EHD} = 4,49 \div 25 = 0,18$ |
| $R_{31,EHD} = CM_{31} \div t_{31,EHD}$ | $R_{31,EHD} = 1,01 \div 14 = 0,07$ |
| | $R_{0,EHG} = CM_0 \div t_{0,EHG}$ |
| $R_{0,EHG} = 4,72 \div 10 = 0,47$ | |
| $R_{11,EHG} = CM_{11} \div t_{11,EHG}$ | $R_{11,EHG} = 4,98 \div 20 = 0,25$ |
| | $R_{12,EHG} = CM_{12} \div t_{12,EHG}$ |
| $R_{12,EHG} = 7,47 \div 10 = 0,75$ | |
| $R_{21,EHG} = CM_{21} \div t_{21,EHG}$ | $R_{21,EHG} = 4,49 \div 9 = 0,50$ |
| | $R_{31,EHG} = CM_{31} \div t_{31,EHG}$ |
| $R_{31,EHG} = 1,01 \div 5 = 0,20$ | |

R_{0,K_2} ve R_{m,K_2} oranları kısıtlı kaynaklar ve mamuller itibarıyla Tablo 5'teki gibi düzenlenerek her bir kısıtlı kaynak kendi içinde mamul karmasının üretim öncelik oranları tabloya yerleştirilir.

Tablo 5. Kısıtlı Kaynakların Mamullere İlişkin Üretim Öncelik Oranları

| | $P_1 + P_2 + P_3 + Y_1$ | P_{11} | P_{12} | P_{21} | P_{31} |
|-----------------|-------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Kaynak A | 0,29 | 1,25 | 0,75 | - | 0,25 |
| Kaynak B | 0,31 | 0,83 | 0,83 | - | - |
| Kaynak C | 0,39 | - | - | - | 0,10 |
| Kaynak D | - | - | 0,37 | 0,18 | 0,07 |
| Kaynak G | 0,47 | 0,25 | 0,75 | 0,50 | 0,20 |

Üretim öncelik oranları tablosu hazırlandıktan sonra, kısıtlı kaynaklardan hangisinin baskın kısıtlı kaynak olacağını belirlemek gerekmektedir. Buna göre kısıtlı kaynaklardan en küçük kapasite eksikliğine (d) sahip olan kaynak, işletme açısından en büyük darboğaza neden olacak kaynaktır. Bu durumda baskın kısıtlı kaynak KK_1 en küçük kapasite eksikliğine sahip A Kaynağıdır. Diğer kaynaklar kapasite eksikliğinin büyüklüğüne göre sıralanır.

Baskın kısıtlı kaynak belirlendikten sonra, her bir kısıtlı kaynağın üretim öncelik oranları en büyük R değerinden başlanarak küçük değere doğru sıralanarak "üretim öncelik sıralaması" Tablo 6'daki gibi geliştirilir.

Tablo 6. Üretim Öncelik Sırasının Belirlenmesi

| | Kapasite Eksikliği (d) | Kısıt Sırası |
|---|----------------------------|--------------|
| Kaynak A: P_{11} ; P_{12} ; $P_1 + P_2 + P_3 + Y_1$; P_{21} ve P_{31} | (300) | KK_1 |
| Kaynak B: P_{12} ; P_{11} ; $P_1 + P_2 + P_3 + Y_1$; P_{21} ve P_{31} | (145) | KK_5 |
| Kaynak C: $P_1 + P_2 + P_3 + Y_1$; P_{31} ; P_{12} ; P_{11} ve P_{21} | (240) | KK_2 |
| Kaynak D: P_{12} ; P_{31} ; P_{21} ; P_{11} ve $P_1 + P_2 + P_3 + Y_1$ | (190) | KK_4 |
| Kaynak G: P_{12} ; P_{21} ; $P_1 + P_2 + P_3 + Y_1$; P_{11} ve P_{31} | (225) | KK_3 |

3. Adım: Temel Üretim Programının (TÜP) geliştirilmesi: Baskın kısıtlı kaynak A'nın (KK_1) üretim öncelik sıralamasına göre temel üretim programı geliştirilir. Birleşik üretim sürecinde ister birleşik mamul isterse ek mamul üretilmek amaçlansın, öncelikle birleşik mamullerin üretilmesi gerekmektedir. Bu nedenle 3-1. Adımda birleşik mamullerden en az miktara sahip olan elma dilimlerinin (P_1) üretimi için elmalar birleşik üretim sürecine verilir. Böylece aynı birleşik üretim sürecinde aynı miktarda birleşik mamuller elde edilir. Ayrıca aynı süreçte hammaddenin %5'i kadar yan mamul elde edilmiş olacaktır. Birleşik üretim sürecinde kısıtlı kaynakların kullanılması nedeniyle, her bir birleşik mamulün kısıtlı kaynaktaki kullandığı süreler mevcut kapasite süresinden düşülmür.

3-2. Adımda, KK_1 'e göre üretim öncelik sırası birleşik mamullerden daha önce olan P_{11} ve P_{12} 'nin pazar talebi karşılanmaya çalışılmaktadır. Bu durumda 30 ton üretilen P_1 yan mamul olarak kullanılarak, öncelikle P_{11} 'in pazar talebinin ancak belirli bir kısmı karşılanabilecektir. P_{11} ve P_{12} 'nin pazar talebinin tamamı karşılanıncaya kadar 3-1 ve 3-2. Adımlar sırasıyla tekrarlanır. 3-2. Adımın tekrarlanması ile birleşik mamullerden hiçbirinin pazar talebi karşılanmadan öncelikli ek mamullerin pazar talepleri karşılanması nedeniyle, 3-3. Adıma atlanır.

Birleşik mamullerden daha öncelikli olan P_{11} ve P_{12} 'nin pazar talebi tamamen karşılandığına göre, artık en azından birleşik mamullerden birisinin pazar talebinin karşılanması gerekmektedir. Bu amaçla 3-4. Adımda, P_3 birleşik mamulünün şu ana kadar 60 ton olan üretim miktarı 5 ton daha artırılarak 65 tona çıkartılır.

Birleşik mamullerden herhangi birinin pazar talebi karşılanmış olmasına rağmen, mamullerin üretilmesi için kısıtlı kaynaklarda kullanım süresi bulunmaktadır. Bu nedenle 3-5. Adımdaki, birleşik mamulden sonra gelen ek mamullerin taleplerini karşılamak üzere, P_2 'nin pazar talebi olan 75 ton çıkartmak için 15 ton tüm birleşik mamuller için eş zamanlı olarak artırılır. Ancak P_3 'ün pazar talebi 3-4. Adımda tamamlandığı için 15 tonluk artış P_3 'ün üretimi için kullanılacaktır. Bu işlemin sonucunda KK_1 'in kalan kullanım süresi sıfıra ulaşmaktadır. Böylece üretim sürecinde ilk gerçekleştirilebilir mamul karmasına ilişkin "temel üretim programı" geliştirilmiş ve Tablo 7'de özetlenmiştir.

Tablo 6. Üretim Öncelik Sırasının Belirlenmesi

| | P_1 | P_2 | P_3 | Y_1 | P_{11} | P_{12} | P_{21} | P_{22} | A | B | C | D | E |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---|--|---|--|---|
| Pazar Talepleri | 30 | 75 | 65 | 14 | 40 | 20 | 20 | 30 | | | | | |
| KK kullanım süresi | | | | | | | | | 1700 | 1700 | 1700 | 1700 | 2055 |
| 3-1) Başlangıç Miktarı | 30 | 30 | 30 | 4,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1220 [1700-(30x16)] | 1250 [1700-(30x15)] | 1340 [1700-(30x12)] | 1520 [1700-(30x6)] | 1755 [2055-(30x10)] |
| 3-2) Önceliklik marulüne yükleme | 0 | 30 | 30 | 4,5 | 30 | 0 | 0 | 0 | 1100 [1220-(30x4)] | 1070 [1250-(30x6)] | 1340 [1340-(30x0)] | 1520 [1520-(30x0)] | 1155 [1755-(30x20)] |
| 3-1) Birleşik marulüne yükleme | 30 | 60 | 60 | 9 | 30 | 0 | 0 | 0 | 620 [1100-(30x16)] | 620 [1070-(30x15)] | 980 [1340-(30x12)] | 1340 [1520-(30x6)] | 855 [1155-(30x10)] |
| 3-2) Önceliklik marulüne yükleme | 0 | 60 | 60 | 9 | 40 | 20 | 0 | 0 | 380 [620-(10x4)] -[20x10] | 380 [620-(10x6)] -[20x9] | 980 [980-(10x0)] -[20x0] | 940 [1340-(10x0)] -[20x20] | 455 [855-(10x20)] -[20x10] |
| 3-4. Birleşik marulünün talebinin karşılanması | 5 | 65 | 65 | 9,75 | 40 | 20 | 0 | 0 | 300 [380-(5x16)] | 305 [380-(5x15)] | 920 [980-(5x12)] | 910 [940-(5x6)] | 405 [455-(5x10)] |
| 3-5. Başlangıç TUP | 20 | 75 | 65 | 12 | 40 | 20 | 5 | 15 | 0 [300-(15x16)] -(5x0) -(15x4] | 80 [305-(15x15)] -(5x0) -(15x0] | 465 [920-(15x12)] -(5x25) -(15x10] | 485 [910-(15x6)] -(5x25) -(15x14] | 135 [405-(15x10)] -(5x9) -(15x5] |

4. Adım: Süreç katkı payını geliştirmek: Temel üretim programı, sadece baskın kısıtlı kaynağın üretim öncelik oranlarına göre sıralanmış mamullerin pazar talepleri kısıtlı kaynakların kullanım süreleri kısıtına dayalı olarak geliştirilmiştir. Bu aşamada kısıtlı kaynaklarda sadece baskın kısıtlı kaynağın kullanım süresinin tamamı kullanılabilmiştir. Diğer kısıtlı kaynakların kullanım sürelerini de kullanarak mamullerin üretim miktarlarını ve dolayısıyla süreç katkı payını en yüksek düzeye ulaştırılmaya çalışılmalıdır. Böylece en uygun mamul karmasına ulaşılmış olacaktır. Bu amaçla 4. Adımda baskın kısıtlı kaynak dışındaki diğer kısıtlı kaynakların üretim öncelik oranı dağılımı incelenir ve süreç katkı payını arttıracak öneriler geliştirilir.

Temel üretim programında P_2 , P_3 , P_{11} ve P_{12} pazar taleplerinin tamamını karşılamış durumdadır. Ayrıca Kaynak A'nın kapasite kullanım süresinin tamamı kullanılmıştır. Bu durumda P_1 'in pazar talebini arttırılması durumunda Kaynak A'nın kullanım süresi eksi değerlere ulaşacaktır ki bu olmayan

bir kapasiteyi kullanmak anlamına gelmektedir. Bu koşullar altında, P_{21} ve P_{31} mamullerinin pazar taleplerinin artırılmasına yönelik önerilerin geliştirilmesi daha mantıklıdır. Diğer kısıtlı kaynaklar incelendiğinde; KK_3 (Kaynak G)'te P_{21} 'in ve KK_4 (Kaynak D)'te P_{21} ve P_{31} 'in birleşik mamul kamasından daha büyük üretim öncelik oranına sahip olduğu görülmektedir. Bu durumda şu önerilerin süreç katkı payını artırıp arttırmadığı test edilebilir:

Öneri 1: Hem KK_3 hem de KK_4 'te P_{21} birleşik mamul kamasından önce olduğu, P_{31} 'i üretebilmek için Kaynak A'nın kullanım süresinden faydalanılması gerektiği ve P_{21} 'in birim katkı payının P_{31} 'den çok daha büyük olması nedenleri ile P_2 'nin 15 ton azaltılarak P_{21} 'in aynı miktarda artırılması ilk öneridir.

Öneri 2: KK_4 'te P_{31} , birleşik mamullerden ve P_{11} 'den daha öncelidir. KK_4 'teki öncelik sıralamasına göre P_{11} 'den bir ton azaltılarak P_{31} 'in aynı miktarda üretiminin aktarılması anlamlı görülmemektedir. P_{31} 'in yarı mamulünü oluşturan P_3 'ün azaltılarak P_{31} üretilmesi durumda ise kullanım süresi olmayan Kaynak A'nın kullanılması, Kaynak A'nın eksi değere düşmesine neden olacaktır ki, bu nedenle anlamlı olmayacaktır.

Öneri 3: KK_2 'de P_{31} , baskın kısıtlı kaynakta öncelikli olması nedeniyle pazar talepleri tamamlanan P_{11} ve P_{12} mamullerinden daha öncedir. Bu nedenle birleşik mamuller P_{12} 'nin bir ton üretiminden vazgeçerek P_{31} 'in üretilmesi son öneri olarak verilebilir.

4. Adımda süreç katkı payını arttırmaya yönelik öneri sayısı çok daha fazla artırılabilir. Ancak sunulan önerilerin anlamlı ve mantıklı olması gerekir. Örneğin P_{11} 'in azaltılarak P_{21} 'in aynı miktarda üretiminin artırılması önerilebilir. Ancak bu öneri iki açıdan mantıklı değildir. Bunlardan ilki, P_{11} 'in azaltılması ile Kaynak A'nın kullanım süresi arttırılmış olacaktır ve bu süre P_{21} tarafından kullanılmayacaktır. İkincisi ise P_{11} 'in birim katkı payı P_{21} 'den daha büyüktür ve bu nedenle de süreç katkı payını arttırması imkansızdır.

5. Adım: En iyi önerinin belirlenmesi: Önerilere ilişkin Z değeri hesaplanarak, en büyük Z değeri uygulanır. Z formülünün P_x ve P_y arasında önerilen N üretim miktarında azaltılmasını ya da artırılmasını ifade etmektedir.

Öneri 1: $P_2 - 15; P_{21} + 15$

$$Z_1 = -(15 \times 0) + [15 \times (0,18 + 0,50)] = 10,2$$

Öneri 2: $P_{11} - 1; P_{31} + 1$

$$Z_2 = -1,25 - 0,83 - 0,25 + 0,25 + 0,10 + 0,07 + 0,20 = -1,71$$

Öneri 3: $P_{12} - 1; P_{31} + 1$

$$Z_3 = -0,75 - 0,83 - 0,37 - 0,75 + 0,25 + 0,10 + 0,07 + 0,20 = -2,08$$

Önerilerin Z değerleri incelendiğinde en büyük değer Z_1 'de olduğu görülmektedir. Bu durumda en iyi önerinin Z_1 olduğu belirlenmektedir.

6. Adım: En iyi önerinin değerlendirilmesi: 5. Adımda en iyi öneri olarak Z_1 seçilmesi nedeniyle P_{21} 'in pazar talebi olabildiğince karşılanmaya çalışılacaktır. P_{21} 'in dışında pazar talebi hala karşılanamayan birleşik mamul P_1 ve P_{31} mevcuttur. Bu durumda P_{21} kısıtlı kaynakları kullandıktan sonra, kalan kısıtlı kaynak kullanım süreleri eğer mümkünse P_1 ve P_{31} için kullanılmalıdır. Bu H kümesinin oluşturulması ile sağlanır. Buna göre $H = \{P_1 + P_2 + P_3 + Y_1 + P_{31}, P_{31}\}$ şeklinde belirlenir.

7. Adım: Azaltma ve artırma süreci: Bu adımda 4. Adımda ortaya konulan önerilerin sonucunda ortaya çıkan; mamul karmaları, kısıtlı kaynaklardan kalan süreler ve süreç katkı payları belirlenmektedir. İlk öneride P_{21} 'in artırılmasında P_2 birleşik mamulünden aynı miktarda azaltılması gerekmektedir. Bu işlem sırasında P_{21} 'in yan mamulü durumda olan P_2 yeniden üretilmeyecektir. Bu nedenle P_2 açısından kısıtlı kaynakların kullanımı söz konusu değildir. Kısıtlı kaynaklar sadece P_{21} 'in ek işlem sürecinde üretilmesi için kullanılacaktır.

İkinci öneride, P_{11} 'in azaltılması ile P_{11} 'in ek işlem sürecinde kısıtlı kaynakları kullandığı süreden vazgeçilmiş olmaktadır. Bu nedenle vazgeçilen süreler kısıtlı kaynaklara iade edilirken, P_{31} 'in ek işlem sürecinde kısıtlı kaynakları kullanım süreleri kalan kısıtlı kaynaklardan çıkartılır. Böylece işletme bu öneriyi tercih etmesi durumunda aynı noktadan sonra kısıtlı kaynakları P_{11} 'in ek işlem süreci yerine P_{31} 'in ek işlem sürecinde değerlendirecektir. Bu durum son öneri içinde benzerlik göstermektedir.

Tablo 8. Azaltma ve Artırma Süreci

| | P_1 | P_2 | P_3 | Y_1 | P_{11} | P_{12} | P_{21} | P_{31} | A | B | C | D | E | Süreç Katkı Payı |
|---------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---|----|-----|-----|-----|--------------------|
| 3-5. TUP | 20 | 75 | 65 | 12 | 40 | 20 | 5 | 15 | 0 | 80 | 465 | 485 | 135 | 960,60 TL |
| 1) $P_2 - 15$; $P_{21} + 15$ | 20 | 60 | 65 | 12 | 40 | 20 | 20 | 15 | 0 | 80 | 90 | 110 | 0 | 1.044,60 TL |
| 2) $P_{11} - 1$; $P_{31} + 1$ | 21 | 60 | 64 | 12 | 39 | 20 | 20 | 16 | 0 | 86 | 80 | 96 | 15 | 1.035,60 TL |
| 3) $P_{12} - 1$; $P_{31} + 1$ | 22 | 60 | 63 | 12 | 39 | 19 | 20 | 17 | 6 | 95 | 70 | 102 | 20 | 1.021,60 TL |
| Maximum Süreç Katkı Payı | 30 | 75 | 65 | 14 | 40 | 20 | 20 | 30 | | | | | | 1.112,20 TL |

ELMas üretim işletmesi kısıtlar teorisine dayalı olarak en uygun mamul karmasını süreç katkı payını en büyük yapan öneriyi tercih ederek belirleyecektir. Bu durumda Öneri 1, 1.044,60 liralık süreç katkı payı ve P_1 20, P_2 60, P_3 65, Y_1 12, P_{11} 40, P_{12} 20, P_{21} 20 ve P_{31} 15 ile en uygun mamul karmasını oluşturmaktadır. İşletmenin kısıtlı kaynaklar ve mamullerin pazar talepleri göz önünde bulundurulduğunda en fazla elde edebileceği süreç katkı payı 1.112,20 liradır. Kısıtlar teorisi ile oluşturulan en uygun mamul karmasının süreç katkı payı bu değere olabildiğince yakındır.

Kısıtlar teorisi ile oluşturulan algoritmanın "tamsayılı doğrusal programlama (TDP)" ile çözülerek, aynı sonuca ulaşıp ulaşılmayacağı test edilebilir. Bu durumda amaç fonksiyonu ve kısıt koşulları şöyle gösterilecektir:

Tablo 9. En Uygun Mamul Karmasının Belirlenmesinde TDP Amaç Fonksiyonu ve Sınırlamalar

Microsoft Excel - Kuvvet Teorisi

2 Amaç Fonksiyonu = $2Q_{P1} + 4Q_{P2} + 3Q_{P3} - (4Q_M - 0,30Q_{Y1}) + (15 - 5)Q_{P11} + (20 - 5)Q_{P12} + (12 - 3)Q_{P21} + (4 - 2)Q_{P31}$

3 $Q_M = \max(Q_{P1} + Q_{P11} + Q_{P12} + Q_{P2} + Q_{P21} + Q_{P3} + Q_{P31})$

4 $Q_M \geq Q_{P1} + Q_{P11} + Q_{P12}$

5 $Q_M \geq Q_{P2} + Q_{P21}$

6 $Q_M \geq Q_{P3} + Q_{P31}$

7 $16Q_M + 4Q_{P11} + 10Q_{P12} + 4Q_{P31} \leq 1700$

8 $15Q_M + 6Q_{P11} + 9Q_{P12} \leq 1700$

9 $12Q_M + 25Q_{P21} + 10Q_{P31} \leq 1700$

10 $6Q_M + 20Q_{P12} + 25Q_{P21} + 14Q_{P31} \leq 1700$

11 $10Q_M + 20Q_{P11} + 10Q_{P12} + 9Q_{P21} + 5Q_{P31} \leq 2055$

12 $Q_{P1} \leq 30$

13 $Q_{P2} \leq 75$

14 $Q_{P3} \leq 65$

15 $Q_{Y1} = 0,05Q_{P1} + 0,05Q_{P11} + 0,05Q_{P12} + 0,05Q_{P2} + 0,05Q_{P21} + 0,05Q_{P3} + 0,05Q_{P31}$

16 $Q_{Y1} \leq 14$

17 $Q_{P11} \leq 40$

18 $Q_{P12} \leq 20$

19 $Q_{P21} \leq 20$

20 $Q_{P31} \leq 30$

Tablo 10. Tamsayı Doğrusal Programlama'ya Dayalı En Uygun Mamul Karması Sonuçları

Microsoft Excel - Son KT-11.08.2008

| Hedef Hücre (En Büyük) | | | | |
|------------------------|------|-----------|-----------|--|
| Hücre | Ad | İlk Değer | Son Değer | |
| \$L\$4 | AMAÇ | 1044,60 | 0,00 | |
| Ayarlanabilir Hücreler | | | | |
| Hücre | Ad | İlk Değer | Son Değer | |
| \$C\$2 | QP1 | 20 | -6,25E-08 | |
| \$D\$2 | QP2 | 60 | 0 | |
| \$E\$2 | QP3 | 65 | -6,25E-08 | |
| \$F\$2 | QY1 | 12 | 0 | |
| \$G\$2 | QP11 | 40 | 0 | |
| \$H\$2 | QP12 | 20 | 0 | |
| \$I\$2 | QP21 | 20 | -6,25E-08 | |
| \$J\$2 | QP31 | 15 | 0 | |
| \$K\$2 | QM | 80 | -6,25E-08 | |

Tamsayılı doğrusal programlamada amaç fonksiyonu ile en uygun mamul karmasından en büyük süreç katkı payına ulaşmaktır. Karar değişkenleri; $P_1, P_2, P_3, Y_1, P_{11}, P_{12}, P_{21}$ ve P_{31} mamullerinin pazar talepleri, Q_M birleşik mamul miktarı ve üretilen tüm mamullerin %5'inin birleşik üretim sürecinde yan mamul (Y_1) olarak ortaya çıkacağıdır. Amaç fonksiyonunun çözülmesi durumunda en uygun mamul karmasının kısıtlar teorisi ile aynı sonuçlara ulaştığı görülmektedir.

4. Sonuç ve Öneriler

Kısıtlar teorisi 1980 yılında Goldratt'ın çalışması yeni bir yönetim felsefesi yaklaşımını ortaya çıkarmıştır. Kısıtlar teorisi, birden fazla kısıtın olduğu bir ortamda yöneticilerin; üretim programı, kaynak kapasite tasarımı ve ayarlaması, yatırım analizi, mamul gelişime stratejisi gibi birçok kararn alınmasında ortaya çıkan sorunları çözmeye yönelik bir araçtır. Kısıtlar teorisinden ortaya çıkışından bugüne kadar literatürde en uygun mamul karması kararına yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Ancak birleşik ve ek üretim sürecine ilişkin olarak kısıtlar teorisine dayalı bir algoritma çalışması çok az sayıdadır. Bu alanda en önemli çalışma Tsai vd. (2007) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma ile birleşik ve ek mamullerin en uygun mamul karması oluşturulurken, çoklu kısıtlı kaynak sorununa baskın kısıtlı kaynakla çözüm aranırken, diğer kısıtlı kaynaklar ikinci planda bırakılmaktadır.

Çalışmada birleşik ve ek üretim sürecinin dışında birleşik üretimin doğal bir sonucu olarak ortaya çıkan yan mamullerde göz önünde bulundurulmaktadır. Yan mamuller üretim öncelik sıralamasında göz ardı edilirken, TMS-2 Stoklar standardının gereği olarak yan mamullerin satış gelirleri birleşik üretim maliyetlerini azaltan bir unsur olarak hesaplanmaktadır. Baskın kısıtlı kaynağa dayalı olarak hesaplanan üretim öncelik oranları ile birleşik mamul karması ve ek mamullerden hangisinin daha öncelikli olarak üretim sürecinden geçeceği belirlenmektedir. Mamullerin üretim öncelik oranının belirlenmesinde mamullerin birim katkı payının hesaplanması gerekmektedir. Ek mamullerin birim katkı payını hesaplamayabilmek için satış fiyatından ek maliyetlerin, birleşik maliyetlerden aldığı payın ve yan mamulün satış gelirinden aldığı payın düşülmesi gerekmektedir. Ek mamullerin yan mamullerini oluşturan birleşik mamullerin maliyetlerinin ek mamullere dağıtımında "ayrım sonrasındaki net gerçekleştirilebilir değer" yöntemi kullanılmaktadır. Ayrıca bu çalışmayla, literatürde birleşik mamul karması kararına yönelik verilen sayısal örneklerde bir birleşik mamulden bir ek mamul üretebilir anlayışı yıkılmaya çalışılmaktadır. Böylece aynı birleşik mamulden üretilen iki farklı ek mamulün üretim öncelik sıralamasındaki durumları test edilebilmektedir.

Çalışmada, en uygun birleşik mamul ve ek mamul karması kararına yönelik algoritma adımlarının sayısı azaltılarak, karmaşıklık en aza indirilmeye çalışılırken, bir taraftan da algoritma daha kapsamlı bir şekilde hazırlanmaktadır.

En uygun birleşik mamul ve ek mamul karması kararında doğrusal programlama gibi kısıtlar teorisi de bir çözüm aracıdır. Kısıtlar teorisi öncelikle işletmedeki darboğazların ortaya çıkarılması, mevcut darboğazların ortadan kaldırılmasına yönelik önlemleri araştırmaya teşvik etmesi ve daha kolaylıkla uygulanabilir olması açısından doğrusal programlamadan daha üstün bir araçtır. Bu nedenle de kullanıcıların tek veya çoklu kısıtlı kaynak problemlerinde en uygun birleşik ve ek mamul karması oluşturmaya yönelik etkin bir çözüm yolu olarak kısıtlar teorisine dayalı yaklaşımı tercih etmeleri

önerilir.

Üretim işletmelerinin faaliyetlerini sürdürebilmeleri ve pazanın taleplerini karşılayabilmeleri için darboğazlarını belirleyerek kısıtlarını ortaya koymalıdır. İşletme darboğazlarını ortadan kaldırmak için; dış kaynak kullanımına başvurabilir, yeni satın alma ya da işe alma gibi genişlemeyi tercih edebilir ya da darboğaz olmayan kaynakları darboğaz kaynağın hızına uyumlaştırabilir. Ayrıca kısıtlar teorisine dayalı olarak en uygun mamul karmasını tespit ettikten sonra, pazardaki koşulları da göz önünde bulundurarak bazı mamullerin üretimini durdurma ya da üretim öncelik sırasını değiştirme gibi yeni kararlar almaya yönelebilir.

Kaynaklar

Aryanezhad, Mir-Bahador-Goli ve Komijan, Alireza R. (2004) "An Improved Algorithm for Optimizing Product Mix under the Theory of Constraints" *International Journal of Production Research*, Vol.42, No.20.

Fredendall, Lawrence D. ve Lea, Bih-Ru (1997) "Improving the Product Mix Heuristic in the Theory of Constraints" *International Journal of Production Research*, Vol.35, No.6.

Goldratt, Eliyahu M. (1990) *The Haystack Syndrome*. New York: North River Press, Croton-on-Hudson.

Goldratt, Eliyahu ve M. Cox, Jeff. (2007) *Amaç: Sürekli İyileştirme Süreci*. Çev: Ayşe Bilge Dicleli. Göz. geç. 2. Baskı. İstanbul: Optimist Yayınları.

Hsu, Tien-Chun ve Chung, Shu-Hsing (1998) "The TOC-based algorithm for Solving Product Mix Problems", *Production Planning & Control*, Vol.9, No.1.

Lea, Bih-Ru ve Fredendall, Lawrence D. (2002) "The Impact of Management Accounting, Product Structure, Product Mix Algorithm, and Planning Horizon on Manufacturing Performance, *International Journal of Production Economics* Vol.79, No.3.

Lee, Terry Nels ve Plenert, Gerhard (1993) "Optimizing Theory of Constraints When New Product Alternatives Exist" *Production and Inventory Management Journal Third Quarter* Vol.34, No.3.

Maday, Clarence J. (1994) "Proper Use of Constraint Management" *Production and Inventory Management Journal* Vol.35, No.1.

Luebbe, Richard ve Finch, Byron (1992) "Theory of constraints and linear programming: a comparison" *International Journal of Production Research* Vol.30, No.6.

Onwubolu, Godfrey C. ve Mutingi, Michael (2001) "A Generic Algorithm Approach to the Theory of Constraints Product Mix Problems" *Production Planning & Control*, Vol.12, No.1.

Patterson, Mike C. (1992) "The Product-Mix Decision: A Comparison of Theory of Constraints and Labor-Based Management Accounting" *Production and Inventory Management Journal*, Vol.33, No.3.

Plenert, G. ve (1993) "Optimising Theory of Constraints When Multiple Constrained Resources Exist" *European Journal of Operational Research*, Vol. 70, No.1.

Posnack, Alan J. ve (1994) "Theory of Constraints: Improper Applications Yield Improper Conclusions" *Production and Inventory Management Journal*, Vol. 35, No.1.

Rahman, Shams-ur (1998) "Theory of Constraints: A Review of the Philosophy and Its Applications" *International Journal of Operations & Production Management* Vol.18, No.4.

Sağlam, Necdet, Őengel, Salim ve Öztürk, Bünyamin (2008) Türkiye Muhasebe Standartları Uygulaması: Yorum, Açıklama, Ömekler. 2. Baskı. Ankara: Maliye ve Hukuk Yayınları.

Souren, Rainer, Ahn, Heinz ve Schmitz, Christian (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.

Tsai, Wen-Hsien, Lai, Chien-Wen ve Chang, J.Celler (2007) "An Algorithm for Optimizing Joint Products Decision Based on the Theory of Constraints" International Journal of Production Research, Vol.45. No.15.

Üstün, Rifat. (1985) Maliyet Muhasebesi. İstanbul: Bilim Teknik Yayınevi.

Wang, Jun-qiang, Sun, Shu-dong ve Si, S.B. Yang, Hong-an (2008) "Theory of Constraints Product Mix Optimisation Based on Immune Algorithm" International Journal of Production Research First Published on: 03 May 2008 [http://prod.informaworld.com/smpp/content~content=a792663921~db=all~order=pubdate (18.08.2008)]

Wang, Jun-qiang, Sun, Shu-dong ve Si, S.B. Yang, Hong-an (2007) Türkiye Muhasebe Standartları: TMS – TFRS. Ankara: TMSK Yayınları-2.