

Doğrusal Programlama Kullanılarak Mermer Fabrikalarının Üretim Optimizasyonu

Production Optimization of Marble Factory Using Linear Programming

E Topal, M Ayhan
Dicle Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Diyarbakır

ÖZET Kaynakların azalması ve pazarda yükselen rekabetten dolayı endüstrinin karlılığının ve verimliliğinin sürdürülebilmesi çok önemli hale gelmiştir. Entegre bir mermer fabrikasının üretimini optimizasyonunu yapan kapsamlı çalışmalar yapılmamıştır.

Bu çalışmada mermer işleme tesislerinde üretim planının optimizasyonunu yapan bir doğrusal programlama modeli sunulmuştur. Bu modelin amacı tesiste işlenen mermer çeşitlerinden hangi mermer çeşidini ne kadar miktarda (m^3) ve hangi tip uun olarak üretilmesi gerektiğini tespit ederek fabrikanın karını maksimum yapmasını sağlamaktır.

Çalışmanın ilk bölümünde, bir mermer işleme fabrikasında, tüm üretim maliyetten, hammaddeden, paketlenmeye kadar ve kapital maliyetleri ve gelirler modeli oluşturmak için hesap edilmiştir. İkinci bölümde, yem doğrusal programlama modeli geliştirilmiş ve çözüm yapılmıştır. Çalışmanın en son bölümünde ise geliştirilen modelde elde edilen gelir ve uygulanabilirlik açısından değerlendirilmiştir.

ABSTRACT Due to diminishing resources and higher competitiveness in the market, optimization of the marble processing operation has become crucially important to sustain business. There are not sufficient published works on optimizing the factory processes for complex marble operations.

This paper presents a linear programming model for optimizing the production plan in the marble processing plants. A linear programming (LP) model is developed to maximize the net profit of a marble factory by identifying the type of marble and the optimal quantity of that marble (m) for each type of existing various processes m the processing plant.

In the first part of the study, all costs, including all the operating costs from raw material costs to product packing costs and capital costs, and revenues, were calculated in order to generate the model. In the second part of the research, a new LP model is constructed and solved for a marble factory. In the last part of the work, the generated plan was evaluated with respect to income and applicability.

1 GİRİŞ

Son yıllarda mimarların ve dekoratörlerin yapılarında doğal taşları daha fazla tercih etmeleri, üretim ve işletme teknolojisindeki önemli gelişmelerle her türlü taşın daha kolay ve ekonomik olarak istenilen şekilde işlenmesi dünya doğal taş üretiminin artmasına neden olmuştur. Önümüzdeki yıllarda da bu gelişmenin devam edeceği tahmin edilmektedir. Alp dağları kuşağında yer alan zengin mermer yataklarına sahip olan Türkiye, 3,8 milyar m^3 mermer, 2,7 milyar m^3 kireçtaşı, 995 milyon m^3 traverten ve 1,3 milyon m^3 işletilebilir oniks rezervi ile dünya doğal taş rezervinin yaklaşık üçte birine (%40) sahip olduğu bazı uluslararası yayınlarda ifade edilmektedir (Kose, 2004).

Türkiye'nin, 2003 yılında 6 milyar üzerinde gerçekleşen dünya doğal taş üretimi ve pazarındaki payı %5-6 dolayındadır. 2003 yılında 431 milyon dolarlık ihracat geliri ile doğal taş madenciliği toplam maden ihracatının %51'ini gerçekleştirmiş oluşturmaya olup, 2007 yılında 1 milyar dolar ihracatla bu oranın %80'e çıkarılması hedeflenmektedir. Doğal taş sektörünün 2003 yılı itibarıyla 431 milyon dolarlık ihracat, 300 milyon dolarlık içi piyasa tüketimi ve yaklaşık 200 milyon doları bulan doğal taş makineleri üretimi ve ihracatı ile Türkiye ekonomisine yıllık yaklaşık 930 milyon dolarlık katkı sağlamakta ve 200 kişinin üzerinde kişiye doğrudan istihdam yaratmaktadır (Kose, 2004). 2000'li yıllara kadar yapılan mermer

ihracatını daha çok blok ve ham plaka oluştururken, 2000'İ yıllar ve sonrasında ihracatımızda işlenmiş ürün hızlı bir artış göstererek %82.3 seviyelerine ulaşmıştır.

Türkiye'deki önemli mermer rezervleri Anadolu ve Trakya boyunca geniş bir bölgeye yayılmış olup farklı yapıda 120'nin üzerinde değişik renk ve desende mermer çeşidi belirlenmiştir. Son yıllarda işletilmeye alman kireçtaşı rezervleri ile Diyarbakır yöresi de yoğun yatırım yapılan bir bölge konumuna gelmiştir.

Türkiye'de 1000'e yaklaşan doğal taş ocağında yılda toplam 1.5 milyon m³ (4 milyon-ton) dolayında üretim gerçekleşmektedir. İşlenmiş mermer ihracatında en önemli pazarları A.B.D., İsrail, Türkmenistan, Suudi Arabistan ve İspanya, harn-plaka ve blok mermer ihracatında ise İspanya, İtalya, Çin ve Almanya'dır (Uyanık, 2003).

Açık renkli mermerin ışığı yansıtma ve kapalı mekanlarda serin bir ortam yaratma özelliği nedeniyle, sıcak iklim bölgelerinde granit ve diğer koyu renkli sert taşların mermerin yerini alması mümkün görünmemekte bu taşlara olan talep her geçen gün artmaktadır. Bu anlamda, Diyarbakır yöresinde üretilen ve blok verimi yüksek olan kireçtaşı kökenli bej mermer yatakları büyük bir ekonomik potansiyel arz etmektedir. Yörede bej yatakları yanı sıra uluslararası diye adlandırılan piyasada yoğun bir talep gören renkli taşlar: hazar pembe, orient, coral, siyah inci ve vişne yatakları diğer önemli bir potansiyel oluşturmaktadır (Ayhan, 2003).

Özellikle 90'lı yılların ikinci yarısından itibaren Diyarbakır yöresinde ocak işletmeciliğinde yaşanan gelişmeler mermer işleme fabrika fabrikalarına yansımış ve şu anda yörede uluslar arası standartlarda üretim yapan 4'ü entegre olmak üzere sayıları hızla artan 10'nun üzerinde orta boy mermer işleme fabrikası bulunmaktadır. Bu gelişimde yörenin mermer rezervi açısından zengin ve kuruluş yeri şartları bakımından elverişli konuma sahip olmasının önemli payı vardır (Ayhan, 2004).

Diyarbakır, 2003 yılında yaklaşık 100.000 m³ blok üretimi ile Türkiye blok üretiminin %6-7'sini gerçekleştirmiştir. Yine 2003 yılında Diyarbakır'daki mermer işleme fabrikalarından 1000000 m³'nin üzerinde plaka üretilmiş olup, bu değer Türkiye plaka üretiminin yaklaşık %8'ine karşılık gelmektedir. Mermer sektörünün yörede çok kısa bir süreçte bu denli önemli bir gelişme göstermesi sektörün gelecekteki konumu güçlendirmektedir.

Sektörde giderek işlenmiş ürün ihracatına ağırlık verilmesi ile birlikte fabrika işletmeciliğinde;

fabrika karını maksimum yapmak için uygun zamanda, uygun kalite ve maliyette ürün mamul üretimini zorunlu kılmakta ve bu anlamda optimizasyonun önemi ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada, bölgenin en büyük üretim kapasitesinden birine sahip olan bir mermer işleme fabrikasında işlenen yöre mermerlerinin, mermer işleme fabrikasında ürün haline dönüşüm sürecinde oluşan maliyetler ve ürün satış rakamları göz önünde bulundurularak, maksimum karının elde edilmesi için hangi mermer çeşidinden, hangi mamul ürünün üretilmesi gerektiği geliştirilen model yardımı ile tespit edilmiştir.

2. İŞLENEN MERMERLERİN FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Fabrikada işlenen, farklı isimlerle adlandırılan kireçtaşı kökenli yöre mermerlerinin (salira bej, bella bej, coral, orient ve krem) fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 1'de kimyasal özellikleri ise Tablo 2'de verilmiştir. Bu özellikler mermerin üretim maliyetini ve satış fiyatını doğrudan etkilemektedir.

3. YÖNTEM

Seçilen örnek mermer fabrikasında yörede üretilen 5 tür mermer işlenmektedir. Fabrikada seri ve sipariş yöntemiyle üretim yapılmaktadır. Geliştirilen modelin amacı fabrikada optimum karın elde edilmesi için; bir ay içerisinde hangi mermer çeşidinden hangi tür mamulün ne kadar üretilmesi gerektiği doğrusal programlama tekniği kullanılarak tespit etmektir. Üretim planlamasında en yaygın olarak kullanılan optimizasyon metodu doğrusal programlamadır. Bir doğrusal programlama modeli aşağıdaki gibi lineer olan bir amaç fonksiyonuna,

$$\text{Maksimize or (Minimize) } Z = c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 + \dots + c_nx_n$$

Ve lineer olan aşağıdaki gibi sınırlamalara,

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n &\leq b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n &\leq b_2 \\ \vdots & \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n &\leq b_m \end{aligned}$$

ve son olarak ta değişkenlerin negatif olmama sınırlamasına sahiptir. $x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0$

Bu doğrusal programlama modelinde, Z amaç fonksiyonunun değeridir. Bu modelin amacına

göre maliyet veya net gelir olabilir. x karar değişkenleridir ve geliştirilen model bu değerleri tespit etmeye çalışır, a ve C_j sabit değerlerdir ve önceden belirlenirler. b_j ise sınırlamalardaki sağ taraf değeridir ve sabittir örneğin kullanılabilir rezerv gibi (Topal 2003).

Geliştirilen modelin amaç fonksiyonunu oluşturmak amacıyla öncelikle her bir mermer türü ve ürün çeşidinin m^2 başına üretim maliyetleri belirlenmiştir. Bu amaçla üretilen ürünün fabrikada geçirdiği aşamalarda maliyete etki eden enerji,

personel, su, aşınma, abrasife, kalibre, dolgu, üretim hızı, kayıplar, ambalaj gibi temel tüketim parametreleri yanı sıra blok sabitlemede kullanılan alçı, forklift, bant aşınmaları, iç ve dış vtnç gibi en küçük parametreler bile dikkate alınmıştır, Tablo 3 fayans hattı için oluşturulan ömek maliyet değerlerini göstermektedir, Daha sonra m^2 hammadde fiyatı, işleme maliyeti ve satış fiyatına bağlı olarak net karlar belirlenmiştir. Bütün ürünler içm elde edilen maliyetler ve net karlar ($\$/m^2$) Tablo 4 te verilmektedir.

Tablo 1. Diyarbakır'da üretilen bazı kireçtaşlarının fiziksel ve mekanik özellikleri

Fiziksel ve mekanik Özellikler	Diyarbakır-Hani/Şaklat Bej	Diyarbakır-Hazro/Kırmataş Pembe (pink)	Diyarbakır-Çermik Hazar Pembe (pink)	Diyarbakır-Çüngüş Bej	Diyarbakır-Çüngüş Siyah İnci
Sertlik (mohs)	3,5	3,5	4,5	4	5,2
Birim hacim ağırlık (gr/cm ³)	2,64	2,65	2,68	2,70	2,71
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	2,71	2,70	2,71	2,73	2,74
Atmosfer basıncında su emme hacimce	0,8	0,8	0,5	0,2	0,09
Atmosfer basıncında su emme ağırlıkça	2	2,1	1,4	0,5	0,11
Kaynar su ^{da} su emme hacimce	0,8	0,9	0,5	0,3	0,09
Kaynar suda su emme ağırlıkça	2,2	2,4	1,4	0,7	0,11
Görünür porozite (%)	2	2,1	1,4	0,5	-
Basmç dayanımı (kgf/cm ²)	1.190	1 360	1 480	1019	1869,5
Don sonrası basınç dayanımı (kgf/cm ²)	1.330	1.570	1 470	1019	1869,5
Darbe dayanımı (kgf/cm ²)	8	20	6	3	-
Eğilme dayanımı (kgem/ cm ²)	165	190	130	132	300,7
Doluluk oranı (%)	97	98	98,9	98,9	100
Gözeneklilik (%)	3	2	1,1	1,1	-
Ortalama aşınma direnci cm/50 cm ²	15,89	18,77	12,02	18,8	30,4
Ortalama çekme dayanımı (kgf/cm ²)	693	683	9,48	6,1	68

Tablo 2. Diyarbakır'da üretilen bazı kireçtaşlarının kimyasal analizleri

	Diyarbakır-Hani/Şaklat Bej	Diyarbakır-Hazro/Kırmataş Pembe (pink)	Diyarbakır-Çermik Hazar Pembe (pink)	Diyarbakır-Çüngüş Bej	Diyarbakır-Çüngüş Siyah İnci
SiO ₂ (%)	0,60	0,30	1,15	1,25	28,35
Fe ₂ O ₃ (%)	0,15	0,15	0,50	0,69	9,70
CaO (%)	54,55	54,55	54,10	-	
MgO (%)	0,60	0,70	1,05	0,40	25,25

Her bir mermer ürünü için elde edilen bu katsayılar doğrusal programlama modelinin amaç fonksiyonuna yerleştirilmiştir. Örnek mermer fabrikası 5 ayrı mermer çeşidinden 6 ayrı ürün elde etmektedir. Geliştirilen doğrusal programlama modeli fabrikanın karını maksimum yapmak için,

toplam 30 ayrı farklı üründen hangilerinin üretilmesi gerektiğine karar verecektir.

Fabrikada var olan sınırlamalar ise hammadde temini sınırı, müşteri talep sınırlamaları, mamul üretim süreleri, fabrikanın fiili kapasitesidir. Model ve sınırlamalar daha sonraki bölümde detaylı olarak açıklanmıştır.

Tablo 3 Fayans hattı için hesap edilen maliyet değerleri

Mermer Çıktısı	İşçilik (\$/A ²)	Su (l/m ²)	Enerji (\$/m ²)	İlimas disk (\$/m ²)	Abıası+ Pail Bnki (\$/m ²)	Dolgu mal + Lpoxi (V/m^3)	Paketleme (\$/m ²)	Diğer (\$/m ²)
Sahara Bej	0 572	0 252	1 517	0 151	0 351	0 675	0 386	0 119
Bella Bej	0 610	0 215	1 574	0 163	0 346	0 691	0 386	0 145
Orient	0 475	0 174	1 206	0 154	0 282	0 737	0 395	0 122
Coial	0 512	0 179	1 320	0 163	0 362	0 746	0 418	0 114
Ki em	0 606	0 217	1 628	0 150	0 374	0 683	0 386	0 148

Tablo 4 Her ürün için elde edilen maliyetler ve net karlar

Merme (, eşiti)	Üretim Maliyeti (%/tn)	Maliyeti (\$/m ²)	Blok Maliyeti (\$/m ²)	Satış fiyatı (Yn)	Net Kar (\$/m ²)
Non Polished Slabs					
Sahara Bej	1 765	2 382	4 670	11 000	3 948
Bella Bej	1 853	2 502	5 493	13 000	5 005
Orient	1 504	2 030	5 831	17 000	9 138
Koral	1 817	2 453	6 585	16 000	6 961
Krem	1 845	2 491	10 928	16 000	2 581
Polished Slabs,					
Sahara Bej	2 417	3 263	4 670	18 000	10 068
Bella Bej	2 590	3 497	5 493	23 000	14 010
Orient	2 289	3 090	5 831	22 000	13 079
Koral	2 594	3 502	6 585	20 000	9 913
Ki em	2 642	3 567	10 928	21 000	6 505
Non ov. Polished Tiles					
Sallara Bej	2 425	3 274	5 911	16 000	6 814
Bella Bej	2 379	3 211	8 635	18 000	6 153
Orient	2 045	2 761	5 654	21 000	12 585
Koral	2 278	3 075	6 956	19 000	8 969
Krem	2 331	3 146	7 886	20 000	8 968
Tiles.					
Sahara Bej	4 023	5 431	5 911	22 000	10 658
Bella Bej	4 130	5 576	8 635	25 000	10 789
Orient	3 545	4 785	5 654	30 000	19 561
Koral	3 814	5 149	6 956	24 000	11 895
Krem	4 192	5 659	7 886	24 000	10 455
Non Polished Stnps					
Sahara Bej	1 912	2 581	5 911	12 000	3 507
Bella Bej	1 888	2 549	8 635	14 000	2 816
Orient	1 591	2 147	5 654	18 000	10 199
Koral	1 845	2 491	6 956	17 000	7 553
Krem	1 956	2 641	7 886	16 667	6 140
Polished Stnps					
Sahara Bej	3 179	4 292	5 911	19 000	8 797
Bella Bej	3 468	4 682	8 635	25 000	11 683
Orient	3 653	4 932	5 654	24 000	13 414
Koral	3 048	4 115	6 956	22 000	10 929
Krem	3 198	4 317	7 886	22 000	9 797

3.1. Doğrusal Programlama Model

- Amaç Fonksiyonu

Geliştirilen modelin amacı fabrika katım maksimum hale getirmek olduğu için modelin amaç fonksiyonu daha önce belirlenen kar katsayılarının da yer aldığı her bir ürünü içeren net kar maksimizasyonunu içermektedir.

- Rezerv Sınırlaması:

İşlenecek mermer bloğu stoklarda var olan mermer miktarını geçemez. Bu sınırlama olmayan bir şeyin işlenmesine izin vermemektedir. Biz bu limite rezerv limiti diyoruz.

- Kapasite Sınırlaması:

Bu limit ise, aylık olarak üretilen toplam mermer miktarının fabrika kapasitesini aşmamasını sağlamaktadır.

- Zaman Sınırlaması:

Her bir ürün çeşiti farklı üretim evrelerini takip etmektedir. Her bir üretim bölümünün ise kullanılabilmesi zaman sınırlıdır. Bu limit ise her bir üretim devresi ancak belirli bir zaman dilimi kadar kullanılabilirliğini daha fazla kullanmasını engellemek için konulmuştur.

- Talep Sınırlaması:

Her ay fabrikadan belirli ürünler talep edilmektedir. Geliştirilen model bu ürünlerin fix

olarak üretilmesi esnekliğinde sağlamaktadır. Bu amaçla bu limit bu ürünlerin direk olarak üretilmesini sağlamaktadır.

- Negatif Olamama Sınırlaması:

En son limit ise doğrusal programlamanın kural olarak koyduğu tüm değişkenler sıfır veya sıfırdan büyük olabilir kuralını sağlar.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Geliştirilen model Lindo What's Best Programming software kullanılarak çözülmüştür. Tablo 5 örnek modelin sınırlamalarını göstermektedir.

Tablo 5 te verilen limitler altında model oluşturulmuş ve çözülmüştür. Geliştirilen modelden elde edilen sonuçlar Tablo 6 da verilmektedir. Bu üretim planlamasında fabrikanın aylık net karı 563,027 S olmuştur. Bu geliri elde etmek için 12 ayı üründen o ay üretim yapılması gerekmektedir.

Geliştirilen yeni model fabrika yöneticisine fabrika karının maksimum yapılmasında büyük fayda sağlayacaktır. Bu amaçla yapılan ilk matematiksel model olma özelliği taşımaktadır.

Geliştirilen model hangi mermer çeşidinden, hangi ürünün, ne miktarda üretileceğini maksimum kan elde etmek için söylemektedir. Bunu yaparken de daha öncede belirtilen sınırlamaların tümüne uymaktadır. Aynı zamanda geliştirilen model, mermer işleme fabrikalarında verimliliğin artırılması konusunda katkılar sunmaktadır.

Table 5. Ömek planlama için kullanılan limitler

Kullanılabilir Mermer Bloğu (m ²)	Sahara Bej	15,000
	Bella Bej	12,000
	Orient	10,000
	Koral	15,000
	Krem	10,000
Kullanılabilir İşleme Zamanı (m ² /ay)	Ham levha	40,500
	Cıvalı levha	40,500
	Honlanmış fayans	40,500
	Fayans	40,500
Talep Edilen ürün Çeşiti ve Miktarı (m ² /ay)	Ham ebatlı	40,500
	Cıvalı ebatlı	40,500
	Sahara bej -cıvalı levha	2,000
Fabrika Kapasitesi (m ² /ay)	Bella bej - fayans	2,700
	Bütün Çeşitler	55,000

Tablo 6. Geliştirilen Modelden Elde Edilen Sonuçlar

Mermer ve Ürün Çeşiti	Planlanan Üretim (m /ay)
Sahara Bej Ham levha	1,044
Sahara Bej Cilalı levha	2,00ü
Sahara Bej Cilalı ebatlı	4,955
Bella Bej Cilalı levha	7,570
Bella Bej Fayans	2,700
Bella Bej Cilalı ebatlı	1,730
Orient Fayans	4,510
Onent Ham ebatlı	5,490
Coral Ham levha	9,497
Coral Ham ebatlı	5,503
Krem Honlanmış	9,369
Ki em Cilalı ebatlı	632
Toplam Üretim	55.000

5. KAYNAKLAR

- Ayhan, M , 2003 Diyarbakırda Mermer Sektörü, GAP-GIDEM Avrupa Komisyonu ve T.C. Başbakanlık GAP Bölge Kalkınma İdaiesi
- Ayhan,M , Topal,E , Akkoyun,0., 2004, "Diyarbakır Mermer Türkiye Mermer Endüstrisinde ki Yen, Sorunları ve Çözüm Önerileri" Maden Mühendisleri. Odası Mermer Özel Sayısı
- Kose, M, 2004, "Türkiye'nin Geleceğinde Doğal Taflarımızın Önemi " TUMMER Bülteni.
- Topal, E., 2003, "Advanced Underground Mine Scheduling Using Mixed Integer Programming (MIP)", Ph D. Dissertation, Colorado School of Mines, Golden, Colorado.
- Uyanık, T , 2003, "TMatual Stone" Short Course, Ankara.