

HAZIR BETON DAĞITIM SİSTEMİNİN TRANSPORTASYON ALGORİTMASI İLE OPTİMİZASYONU

Meltem Özturan
Yard.Doç.Dr.
Boğaziçi Üniversitesi

Turan Özturan
Doç.Dr.
Boğaziçi Üniversitesi

Erbil Öztekin
Prof. Dr.
Sakarya Üniversitesi

Özet

Hazır beton sektörü ülkemizde giderek yaygınlaşmakta ve piyasadaki beton talebinden daha çok pay almaktadır. Kaliteden ödün vermeden serbest piyasa koşullarında rekabet etme durumunda olan firmalar karlılıklarını arttırmaya çalışırken, Hazır Beton Birliği çatısı altında sektörün genel ve yerel ekonomikliğini sağlama çabaları içinde olmaları da gerekmektedir. Yerel hazır beton dağıtım şebekesinin optimizasyonu bunu sağlamak için atılması gereken adımların başında gelmelidir.

Bu çalışmada İstanbul'un Anadolu yakasındaki bölge için mevcut hazır beton arz ve talep durumu toplam maliyeti minimum yapmak amacıyla transportasyon algoritması ile çözülerek optimum dağıtım şebekesi bulunmuştur. Ayrıca talep fazlası nedeniyle yeni bir tesis açılması durumunda da, problem yine transportasyon algoritması ile çözülerek tesis yerinin neresi olması gerektiği ve yeni optimum dağıtım şebekesinin ne şekilde olacağı elde edilmiştir. Piyasaya yeni bir tesis girmesine rağmen, dağıtım şebekesinin optimize edilmesi sonucu toplam maliyet daha düşük olmakta ve sektörün yerel ekonomikliği arttırılmaktadır.

Giriş

Bir sabit tesiste endüstriyel üretim şartları altında ve üretici-tüketici ilişkileri vasıtasıyla hazırlanıp, mobil karıştırıcılarla yerine ulaştırılan betona hazır beton denilmektedir. İlk olarak 1903 yılında Almanya'da ortaya çıkan, kısa bir süre sonra Amerika Birleşik Devletleri'nde uygulaması başlatılan, ancak etkin olarak İkinci Dünya Savaşından sonra yaygınlaşmaya başlayan hazır beton, günümüzde Kuzey Amerika ve Avrupa kıtasında inşaat sektöründe çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde ilk

uygulamaları 1976 yılında görülmüş, ancak 1986 yılından sonra gelişme göstermeye başlamıştır.

Türkiye çimento tüketiminde Avrupa üçüncüsü durumunda olduğu halde, tüketilen çimentonun hazır betonda kullanılma payına bakıldığında oldukça gerilerde kalmaktadır. Bu oran 1992 yılı verilerine göre Norveç'te %65, Almanya'da %53, Yunanistan'da %55 olurken, Türkiye'de %7 civarında kalmaktadır. Halbuki, 1993 yılı rakamlarına göre Türkiye'de yıllık hazır beton tüketimi yaklaşık 11 milyon metreküptür ve bu üretimin piyasa değeri yaklaşık yarım milyar Amerikan dolarına eşdeğerdir. Hazır beton sanayii kayıtlı ekonomiye 398 milyon Amerikan doları kadar kaynak aktarmaktadır. Bu da 1993 yılı için 53 milyon Amerikan doları kadar katma değer yaratıldığını göstermektedir (1).

Ülkemiz hazır betona geçmekte oldukça geç kalmış olmasına rağmen, çok hızlı bir gelişme sağlamıştır. 1991 den 1993 yılına kadar %65 lik bir büyüme hızıyla hazır beton sektörü, ülkenin ortalama ekonomik büyüme hızının yaklaşık 10 katı kadar bir gelişme göstermiştir. Tahminler bu dinamik gelişmenin süreceği ve 2000 yılına kadarki gelişim sürecinde ortalama büyüme hızının %25 lerde seyredeceği yönündedir (2).

Bu gelişim süreci içinde yurt çapında kurulan çok sayıda tesiste hazır beton üretimi yapılmakta ve piyasaya sunulmaktadır. Tüm firmalar piyasa ekonomisi koşulları içinde rekabet ederek kısıtlı ama gelişen piyasadan daha fazla pay kapmaya çalışmaktadırlar. Yine bu süreçte, 1988 yılında Hazır Beton Birliğinin temeli atılmıştır. Zaman içinde Birliğe çeşitli yörelerden katılımlarla üye sayısı artmaktadır. Birlik, üyeleri arasında teknik ve ekonomik koordinasyonu sağlayarak, kalite denetimine eğilmeyi amaçlamış, hazır beton standardı hazırlanmasındaki çalışmalarıyla da sertifikalı beton kavramının geliştirilmesine katkıda bulunmuştur. Bu nedenle, bundan sonra rekabet, ürün kalitesinden ödün vermeden, daha çok nakliyat, hizmet ve fiyat üzerinde yoğunlaştırılabilecektir.

Ülkemiz inşaat sektörüne teknik bir hizmet sunmak amacıyla gelişen bu sektörde, tabii ki firmaların amacı aynı zamanda kar etmek olacaktır. Firmalar yukarıda belirlenen kriterlerde rekabet şartları yaratarak kar maksimizasyonuna gitmek için, hazır beton tesisi kurarken ve çalıştırırken sistem seçimi, kapasite seçimi, tesis tipi seçimi, tesisin kontrolü, makina parkı tesbiti, kalite kontrolü ile bunlarla ilişkili ancak aynı öneme haiz tesis yeri seçimi ve dağıtım şebekesi saptanması gibi hususları da göz önüne almak durumundadırlar. Yukarıda belirtilen hususlardaki seçimleri yaparken tesis yeri konusunda karar vermek için, o bölgedeki mevcut durum tesbiti ve de ileriye dönük tahminler yaparak, yerel dağıtım şebekesinin, sektörün ve bölgenin ekonomisi açısından, bir kantitatif yöntem olan transportasyon algoritması ile maliyet minimizasyonu sağlayacak şekilde bilimsel olarak incelenmesi daha uygun olacaktır.

Transportasyon Algoritması

Transportasyon problemi doğrusal programlama probleminin özel bir tipidir. Toplam maliyeti minimum yapacak şekilde, kaynak denilen üretici merkezlerden, menzil denilen tüketici merkezlerine bir maddenin en optimum dağıtımının bulunmasını kapsar

Transportasyon probleminde (3):

- a) m sayıda üretici kaynak vardır. Herbir kaynaktaki üretim S_i ($i = 1, 2, \dots, m$) ile gösterilir. ($S_i > 0$).
- b) n sayıda tüketici menzil vardır. Herbir menzildeki tüketim D_j ($j = 1, 2, \dots, n$) ile gösterilir. ($D_j > 0$).
- c) C_{ij} ile i kaynağından j menziline gönderilen maddenin birim maliyeti gösterilmektedir.
- d) i kaynağından j menziline gönderilecek madde miktarı X_{ij} ile gösterilmektedir.
- e) Amaç mevcut durumdaki tüm kaynaklardan tüm talepleri en düşük toplam maliyette karşılayacak bir entegre transportasyon programını oluşturmaktır.

Transportasyon probleminde toplam üretimin toplam tüketime eşit olması durumunda;

$$\sum_{i=1}^m S_i = \sum_{j=1}^n D_j$$

olmaktadır. Üretim ve tüketimin eşit olmaması durumunda, kukla bir üretim veya tüketim yaratılarak yukarıdaki eşitlik sağlanır. Diğer taraftan toplam maliyetin minimizasyonu olan amaç fonksiyonu aşağıdaki şekilde formüle edilir.

$$\text{Min. } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij}$$

Modelin kısıtları aşağıdaki gibidir:

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = S_i \quad (i = 1, 2, \dots, m)$$

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} = D_j \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

$$X_{ij} \geq 0 \quad (i = 1,2,\dots,m) \quad (j = 1,2,\dots,n)$$

Bu standard durum elde edilince, problemin transportasyon algoritması ile çözümüne geçilebilmesi için Tablo 1. de verilen başlangıç tablosu kurulur. Daha sonra da transportasyon algoritması adımları doğrultusunda problem çözülür ve mümkün çözüm var ise minimum toplam maliyet ve bu maliyeti veren dağıtım şebekesi bulunur.

Vaka Çalışması

Vaka çalışması için İstanbul'un Anadolu yakasının kuzeyde Beykoz'a, doğuda Pendik'e kadar olan bölgesi seçilmiştir. Harita üzerinde bu bölge 3.3 km x 3.3 km boyutlu ızgara taksimatlarına ayrılmış ve bölgede mevcut dokuz hazır beton tesisi bu harita üzerine işlenmiştir (Şekil 1). Ayrıca taksimatlı ızgaranın her gözü için senelik tahmini beton talepleri saptanmış ve bunun içinde hazır betonun payının %75 olacağı kabul edilmiştir. Tablo 2 de mevcut hazır beton tesislerinin yıllık kapasiteleri, Tablo 3 de ise taksimatlı ızgaranın her gözü için hazır beton talepleri verilmektedir. Mevcut hazır beton tesislerinin toplam kapasiteleri 1 710 000 m³/yıl ve de bölgenin toplam hazır beton talebi 1 906 275 m³/yıl olarak saptanmıştır.

Görüldüğü gibi toplam talep ile toplam kapasite arasında 196 275 m³/yıl kadar bir fark vardır. Vaka çalışmasının ilk kısmında, bu talep fazlasının hepsi bir kukla kaynağa atanmış ve mevcut durum analizi yapılmıştır. Çalışmanın ikinci kısmında talep fazlasını karşılamak için bölgede 180 000 m³/yıl kapasiteli yeni bir beton santrali (onuncu tesis) kurulması ve kalan 16 275 m³/yıl kadar talep fazlasının bir kukla kaynağa atanması durumunun analizi yapılmıştır.

Her iki çalışmada da maliyet hesaplaması aşağıdaki gibi yapılmıştır.

a) Üretim Maliyeti:

Hammadde maliyeti, her tesis için, kullanılan malzemelerin (çimento, agrega, uçucu kül, su, katkı vb.) ve bunların nakliyelerinin maliyetlerinden oluşmaktadır. Malzeme maliyeti tüm hazır beton tesisleri için aynı kabul edilmiştir. Nakliye maliyeti için ise bölgedeki muhtemel malzeme kaynakları düşünülerek, her bir tesisin bu kaynaklara uzaklığı dikkate alınarak hesaplar yapılmıştır. Hazır beton üretim maliyetinin hesaplanmasında kullanılan malzeme ve nakliye bedelleri Tablo 4 de verilmiştir. Hammadde maliyeti dışında işçilik, tamir bakım, akaryakıt, yağ, elektrik ve amortisman, sigorta gibi diğer giderler için toplam 300 000 TL/m³ kabul edilmiştir. Bu hesaplar sonunda bulunan hazır beton üretim maliyetleri yaklaşık olarak 1 038 910 TL/m³ ile 1 135 120 TL/m³ arasında değişmektedir.

b)Taşıma Maliyeti:

Hazır betonun bölge içinde ortalama taşıma maliyeti 9 000 TL/m³/km alınmıştır. Hem hammadde nakliye maliyeti, hem de hazır beton taşıma maliyetini hesaplarken harita üzerindeki taksimatlı ızgara gözlerinin merkezleri arasındaki kuş uçuşu mesafeler alınmıştır. Aynı ızgara gözü içinde yapılan taşımalar için mesafe olarak göz boyutunun yarısı (1.65 km) alınmıştır. Bu şekilde hesaplanan hazır beton taşıma maliyetleri tesisin talep menziline olan uzaklığına bağlı olarak yaklaşık 14 850 TL/m³ ile 297 000 TL/m³ arasında değişmektedir.

c)Hazır Beton Maliyeti:

Hazır beton maliyeti, üretim maliyeti ile taşıma maliyetinden oluşmaktadır. Bu şekilde hesaplanan hazır beton maliyetleri de yaklaşık olarak 1 053 760 TL/m³ ile 1 424 800 TL/m³ arasında değişmektedir.

Bu bilgiler QSB (Quantitative Systems for Business) kantitatif analizler paket programına yüklenip, öncelikle mevcut durum için çözülmüş ve optimum dağıtım şebekesi saptanmıştır (Tablo 5). Çalışmanın ikinci kısmında ise talep fazlasını giderecek yeni tesisin nerede açılması gerektiği incelenmiştir. Bu amaçla yeni tesisin sırayla her bir ızgara gözünde olması durumu için problem çözülmüş, sonuçlar toplam maliyetler açısından karşılaştırılmış ve en düşük toplam maliyeti veren çözüm yeni tesisin açılması için optimum yerleşim yeri olarak bulunmuştur (Tablo 6).

Değerlendirme ve Sonuç

Hazır beton tesisinin yerleşimine bağlı olarak üretim maliyetleri arasındaki fark göreceli olarak az olurken, beton taşıma maliyetlerinin daha geniş bir aralıkta değiştiği görülmektedir. Bir tesis için ortalama taşıma mesafesinin 5 km azaldığını düşündüğümüzde, 45 000 TL/m³ (yaklaşık %5) ek kar yapılabileceğini görürüz. Firmanın karlılığının %15 olduğu varsayılırsa, bu durum yaklaşık %30 luk bir karlılık artışına karşı gelmektedir. Böylece optimum yer seçiminin bir tesisi zarardan kara geçirebileceği veya karını katlayabileceği ileri sürülebilir.

Birinci çalışmanın sonucunda mevcut durum için toplam maliyeti minimum yapacak bir dağıtım şebekesi bulunmuştur. Gerçek durumun buna ne kadar yaklaştığı hakkında elimizde veri yoktur. Ancak hazır beton sektörünün incelenen bölgedeki ekonomikliği açısından mevcut tesislerin ve Hazır Beton Birliğinin bu çözümü dikkate almaları yararlı olacaktır.

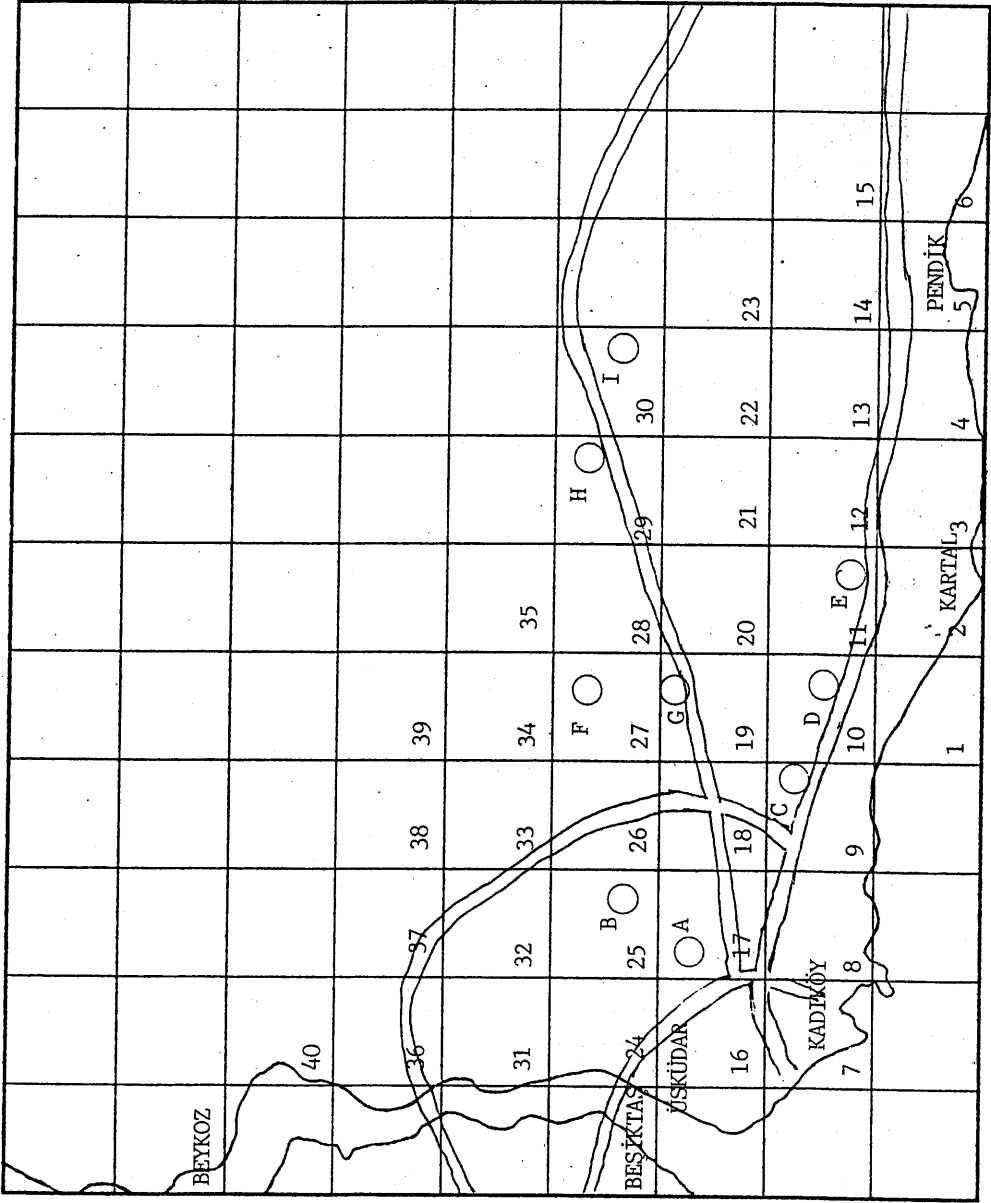
İkinci çalışmada elde edilen sonuçlardan, bölgedeki talep fazlasını karşılayacak yeni bir tesis için en uygun yerin 14 numaralı ızgara gözü olacağı anlaşılmaktadır. Bu tesisin 4, 5, 6, 13, 14, ve 15 numaralı ızgara gözlerine hizmet vereceği ve tabii ki mevcut durumdaki dağıtım şebekesinin de toplam maliyeti minimum yapacak şekilde değiştiği görülmektedir (Tablo 7). Dikkati çeken önemli nokta ise, sisteme 180 000 m³/yıl kapasiteli yeni bir

tesisin katılmasına rağmen, dağıtım şebekesinin transportasyon algoritması ile optimize edilmesi nedeniyle toplam maliyet daha düşük olmaktadır. Diğer bir deyişle üretimdeki yıllık 180 000 m³ artışa rağmen, ortalama beton maliyetinde 135 847 TL/m³ azalma olmaktadır. Bu da hazır beton sektörünün bölgedeki ekonomikliği açısından daha yararlı bir durum olarak ortaya çıkmaktadır.

Problemin çözümü eldeki verilere ve çeşitli varsayımlara dayanmaktadır. Gerçek durumu daha iyi yansıtabilen veriler ile, ve varsa malzeme temini ve hazır beton dağıtım şebekesi ile ilgili kısıtlamalar da ilave edilerek, gerekirse de daha küçük boyutlu ızgara taksimatı kullanarak yeni çözümler elde edilebilir. Ayrıca talep fazlasını karşılamak için birden fazla tesis açılması durumunda problemin kuruluş şeklinde gerekli değişiklikler yapılarak aynı yöntemle farklı çözümlere gidilebilir.

Kaynaklar

- 1)Kozikoğlu,M., "Hazır Beton Sektörü Üzerine", Hazır Beton Birliği Yayını, Yıl 1, Sayı 1, Ocak-Şubat 1994, sayfa 9.
- 2)Öztekin,E., "Hazır Beton, Standard Taslağı ve Tüketici", Hazır Beton, Hazır Beton Birliği Yayını, Yıl1, Sayı1, Ocak-Şubat 1994, sayfa 32-35.
- 3)Taha,H.A., Operations Research: An Introduction, Fourth Edition, 1987, Mc Millan Pub. Comp.



Şekil 1. Bölgenin Izgara Taksimatlarına Ayrılması

Tablo 1. Transportasyon Algoritması Başlangıç Tablosu

	1	2	3	.....	n	S
1	C_{11} X_{11}	C_{12} X_{12}	C_{13} X_{13}	.....	C_{1n} X_{1n}	S_1
2	C_{21} X_{21}	C_{22} X_{22}	C_{23} X_{23}	.....	C_{2n} X_{2n}	S_2
3	C_{31} X_{31}	C_{32} X_{32}	C_{33} X_{33}	.....	C_{3n} X_{3n}	S_3
·	·	·	·		·	·
·	·	·	·		·	·
·	·	·	·		·	·
m	C_{m1} X_{m1}	C_{m2} X_{m2}	C_{m3} X_{m3}	.....	C_{mn} X_{mn}	S_m
D	D_1	D_2	D_3	.....	D_n	

Tablo 2. Mevcut Hazır Beton Tesislerinin Kapasiteleri

Tesis	Kapasite (m^3 /yıl)
A	140000
B	210000
C	260000
D	120000
E	90000
F	180000
G	210000
H	260000
I	240000

Tablo 3. Izgara Sistemindeki Gözlerin Hazır Beton Talepleri

Göz No	Talep (m ³ /yıl)
1	38325
2	60375
3	57750
4	42525
5	30975
6	45150
7	65100
8	98175
9	108675
10	59850
11	65100
12	77175
13	67200
14	44625
15	8925
16	115500
17	89250
18	83475
19	101850
20	65625
21	20475
22	21000
23	9975
24	57750
25	76125
26	37800
27	40425
28	76125
29	61950
30	4725
31	41475
32	45150
33	24150
34	9975
35	7350
36	13125
37	11025
38	7875
39	3675
40	10500

Tablo 4. Hazır Beton Malzemelerinin Hammadde ve Nakliye Bedelleri

Malzeme	Hammadde Maliyeti	Nakliye Maliyeti
Çimento	1 750 000 TL/ton	2 500 TL/ton/km
Kum	90 000 TL/ton	1 550 TL/ton/km
Mıçır	75 000 TL/ton	1 750 TL/ton/km
Kimyasal Katkı	8 500 000 TL/ton	-----
Uçucu Kül	5 500 TL/ton	240 000 TL/ton *
Su	27 000 TL/ton	-----

* Orhaneli'den İstanbul'a

Tablo 5. Mevcut Durum için Optimum Dağıtım Şebekesi

KAYNAK	MENZİL	MİKTAR (m ³)
A	16	104550
A	17	35450
B	16	10950
B	24	57750
B	25	76125
B	31	41475
B	32	10575
B	36	13125
C	7	65100
C	8	98175
C	9	67600
C	17	29125
D	9	41075
D	10	59850
D	11	19075
E	11	41300
E	12	48700
F	26	37800
F	27	40425
F	32	34575
F	33	24150
F	34	9975
F	37	11025
F	38	7875
F	39	3675
F	40	10500
G	17	24675
G	18	83475
G	19	101850
H	12	28475
H	20	65625
H	21	20475
H	28	76125
H	29	61950
H	35	7350
I	4	7425
I	5	30975
I	6	45150
I	13	67200
I	14	44625
I	15	8925
I	22	21000
I	23	9975
I	30	4725
Kukla	1	38325
Kukla	2	60375
Kukla	3	57750
Kukla	4	35100
Kukla	11	4725

Minimum Toplam Maliyet : 2.156752 x 10¹² TL

Tablo 6. Yeni Tesis Yeri Alternatifleri için Dağıtım Şebekelerinin Minimum Toplam Maliyetleri

Yeni Tesis Yeri (Göz No)	Minimum Toplam Maliyet (10 ¹² TL)
1	2.136689
2	2.132109
3	2.129293
4	2.127891
5	2.127203
6	2.128020
7	2.137120
8	2.136490
9	2.138302
10	2.136729
11	2.132621
12	2.129191
13	2.128655
14	2.127027
15	2.127837
16	2.135651
17	2.136177
18	2.135397
19	2.137061
20	2.133748
21	2.132219
22	2.131925
23	2.130150
24	2.136467
25	2.136820
26	2.136481
27	2.138225
28	2.135663
29	2.136769
30	2.136574
31	2.136357
32	2.134639
33	2.134754
34	2.136551
35	2.137200
36	2.138387
37	2.135859
38	2.135704
39	2.137021
40	2.142621

Tablo 7. Yeni Tesisin 14 No'lu Izgara Gözünde Olması Durumunda Optimum Dağıtım Şebekesi

KAYNAK	MENZİL	MİKTAR (m ³)
A	16	88200
A	17	51800
B	16	27300
B	24	57750
B	25	76125
B	31	41475
B	36	7350
C	7	65100
C	8	98175
C	9	87550
C	17	9175
D	1	38325
D	2	700
D	9	21125
D	10	59850
E	2	59675
E	11	30325
F	17	3600
F	26	37800
F	27	40425
F	32	45150
F	33	24150
F	34	9975
F	37	11025
F	38	7875
G	17	24675
G	18	83475
G	19	101850
H	11	34775
H	20	65625
H	21	10500
H	28	76125
H	29	61950
H	35	7350
H	39	3675
I	3	57750
I	12	77175
I	13	59400
I	21	9975
I	22	21000
I	23	9975
I	30	4725
Yeni Tesis	4	42525
Yeni Tesis	5	30975
Yeni Tesis	6	45150
Yeni Tesis	13	7800
Yeni Tesis	14	44625
Yeni Tesis	15	8925
Kukla	36	5775
Kukla	40	10500

Minimum Toplam Maliyet : 2.127027 x 10¹² TL

