

**T.C. İSTANBUL KÜLTÜR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TRAFİK YÖNETİMİNDE KUADRATİK
PROGRAMLAMA UYGULAMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Aşlı GÜVEN**

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Programı: Proje Yönetimi

Kasım 2011

**T.C. İSTANBUL KÜLTÜR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TRAFİK YÖNETİMİNDE KUADRATİK
PROGRAMLAMA UYGULAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ash GÜVEN

0909211033

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 2 Kasım 2011

Tezin Savunulduğu Tarih : 24 Kasım 2011

**Tez Danışmanı: Öğr. Gör. Dr. K. Emre Can
Diğer Jüri Üyeleri: Yrd. Doç. Dr. Ümit Dikmen
Yrd. Doç. Dr. Rifat Gürcan Özdemir**

Kasım 2011

ÖNSÖZ

Mevcut yatırımları en yüksek kapasitede kullanmak, ülke gelişmesine paralel olarak artan kara taşıtları sayısı dolayısı ile meydana gelen trafik yoğunluğunu gidermek için yeni yatırım yapmaktan daha hızlı ve ekonomik bir çözüm olarak gözükmektedir. Bu çalışmada kamu bütçeleri içerisinde büyük yer tutan ulaştırma yatırımlarından karayollarının daha verimli kullanılmasına olanak sağlayan bir model geliştirilmiş ve İstanbul şehir içi trafiğine uygulanmıştır.

Bu çalışmada bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım, öğrenim hayatıma verdiğim uzun bir aradan kaynaklı zaman zaman yaşadığım motivasyon bozukluluğunu verdiği pozitif enerji ile aşmamda etkili olduğu için tez danışmanım Sayın Dr. K. Emre Can'a çok teşekkür ederim. Yine bu çalışmada benden yardımlarını esirgemeyen arkadaşım İnşaat Yük. Mühendis Sayın Murat Sönmez'e ve çalışmalarım esnasında bana her türlü desteği veren anneme teşekkür etmek isterim.

İÇİNDEKİLER	iii
TABLO LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ	v
DENKLEM LİSTESİ	vii
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
2.1. Ulaştırma (Ağ) Modelleri	4
2.2. İnşaat Mühendisliğinde Kuadratik Programlama Çalışmaları	9
3. YÖNETİM BİLİMİ VE MODELLEME	14
3.1. Yönetim Biliminde Karar Verme Sürecinin Aşamaları	14
3.2. Doğrusal Programlama	15
3.3. Kuadratik Programlama	16
3.4. Diğer Teknikler	17
4. TRAFİK AKIŞI	19
5. ULAŞTIRMA AĞ MODELLERİNİN (TRAFİK AKIŞININ) ENİYİLEMESİ	24
5.1. Trafik Akışının Eniyilemesinde Kuadratik Programlamanın Uygulanması	26
5.2. Modelin Çözümü	33
6. MODELİN GENİŞLETİLMESİ	35
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	40
KAYNAKLAR	41
EKLER	44
ÖZGEÇMİŞ	91

TABLO LİSTESİ

TABLO	AÇIKLAMA	SAYFA NO
Tablo 2.1	Hatlar üzerinde seyahat zamanının trafik yoğunluğuna bağlı değeri	8
Tablo 3.1	S matrisinin pozitif veya yarı pozitif olma durumu	
Tablo 5.1	Yarı pozitif amaç fonksiyonunun matris hali	27
Tablo 5.2	Kısmi İstanbul ulaştırma ağı modeline uygulanan kuadratik programlama eniyileme formülasyonu	31
Tablo 5.3	İstanbul için oluşturulmuş kısmi ulaştırma ağı modeline ait hatların verileri	32
Tablo 5.4	Trafik akış tablosu	33
Tablo 6.1	Geliştirilmiş İstanbul ulaştırma ağı modelinin eniyilemesinde kuadratik programlamanın formülasyonu	38
Tablo 6.2	İstanbul için geliştirilmiş ulaştırma ağı modeline ait hatların verileri	39
Tablo C.1	Boyutlarına göre Lingo modelleri	70

ŞEKİL LİSTESİ

ŞEKİL	AÇIKLAMA	SAYFA NO
Şekil 2.1	Hatlardaki trafik akışına bağlı değişen doğrusal olmayan zaman fonksiyonu	5
Şekil 2.2	Örnek ulaştırma ağı	8
Şekil 2.3	Doğrusal Regresyon	10
Şekil 2.4	Proje aktiviteleri için zaman-maliyet ilişkisi	11
Şekil 2.5	Baraj işletmesi modeli	12
Şekil 4.1	Araçlar arasındaki boşluk	19
Şekil 4.2	Araçlar arasındaki açıklık	20
Şekil 4.3	Trafik yoğunluğu	20
Şekil 4.4	Trafikte geçirilen zamanın hatlar üzerindeki trafik yoğunluğuna bağlı fonksiyon grafiği	21
Şekil 4.5	Kesintisiz akış modeli	21
Şekil 4.6	Kesintili akış modeli	22
Şekil 4.7	Araçların ortalama hızları ile trafik yoğunluğu arasındaki bağlantı	22
Şekil 4.8	Araçlar arasındaki mesafe ile hatlardaki kapasite arasındaki ilişki	23
Şekil 4.9	Araçların akış değerleri ile araçların hızları arasındaki ilişki	23
Şekil 5.1	Ulaştırma ağı modeli örneği	24
Şekil 5.2	Hat kapasiteleri belli olan ulaştırma ağı modeli örneği	25
Şekil 5.3	AD ve DB hatlarının harita üzerinde gösterimi	27
Şekil 5.4	AC ve CB hatlarını harita üzerinde gösterimi	28
Şekil 5.5	AC, CD ve DB hatlarının harita üzerinde gösterimi	28
Şekil 5.6	İstanbul için oluşturulan kısmi ulaştırma ağı modeli	29
Şekil 5.7	Araçların hat boyunca sıralanış mesafeleri	29
Şekil 5.8	Araçların AD yolu boyunca trafik akışına bağlı seyahat zamanı grafiği	30
Şekil 5.9	Değişen trafik akışlarına göre alternatif yolların aldığı eniyi akış değerlerini gösteren grafik	34
Şekil 6.1	AC, CD, DE ve EB hatlarının harita üzerinde gösterimi	35
Şekil 6.2	AF, FG, GL ve LB hatlarının harita üzerinde gösterimi	36
Şekil 6.3	AC, CD, DF, FG, GL ve LB hatlarının harita üzerinde gösterimi	36
Şekil 6.4	AC, CD, DE, EG, GL ve LB hatlarının harita üzerinde gösterimi	36
Şekil 6.5	AF, FH, HJ, JL ve LB hatlarının harita üzerinde gösterimi	37
Şekil 6.6	AH, HJ, JL ve LB hatlarının harita üzerinde gösterimi	37
Şekil 6.7	İstanbul için geliştirilen ulaştırma ağı modeli	37
Şekil A.1	İstanbul için oluşturulan kısmi ulaştırma ağı modeli	44
Şekil A.2	Araçların AC yolu boyunca trafik akışına bağlı seyahat zamanı grafiği	45

ŞEKİL	AÇIKLAMA	SAYFA NO
Şekil A.3	Araçların DB yolu boyunca trafik akışına bağlı seyahat zamanı grafiği	46
Şekil A.4	Araçların CB yolu boyunca trafik akışına bağlı seyahat zamanı grafiği	47
Şekil A.5	Araçların CD yolu boyunca trafik akışına bağlı seyahat zamanı grafiği	48
Şekil B.1	İstanbul için oluşturulan ulaştırma ağı modeli	50
Şekil B.2	Araçların AC yolu boyunca trafik akışına bağlı seyahat zamanı grafiği	51
Şekil B.3	Araçların CD yolu boyunca trafik akışına bağlı seyahat zamanı grafiği	52
Şekil B.4	Araçların DE yolu boyunca trafik akışına bağlı seyahat zamanı grafiği	53
Şekil B.5	Araçların EB yolu boyunca trafik akışına bağlı seyahat zamanı grafiği	54
Şekil B.6	Araçların AF yolu boyunca trafik akışına bağlı seyahat zamanı grafiği	56
Şekil B.7	Araçların FG yolu boyunca trafik akışına bağlı seyahat zamanı grafiği	57
Şekil B.8	Araçların GL yolu boyunca trafik akışına bağlı seyahat zamanı grafiği	58
Şekil B.9	Araçların LB yolu boyunca trafik akışına bağlı seyahat zamanı grafiği	59
Şekil B.10	Araçların AH yolu boyunca trafik akışına bağlı seyahat zamanı grafiği	60
Şekil B.11	Araçların HJ yolu boyunca trafik akışına bağlı seyahat zamanı grafiği	62
Şekil B.12	Araçların JL yolu boyunca trafik akışına bağlı seyahat zamanı grafiği	63
Şekil B.13	Araçların DF yolu boyunca trafik akışına bağlı seyahat zamanı grafiği	64
Şekil B.14	Araçların EG yolu boyunca trafik akışına bağlı seyahat zamanı grafiği	65
Şekil B.15	Araçların HF yolu boyunca trafik akışına bağlı seyahat zamanı grafiği	66

DENKLEM LİSTESİ

DENKLEM	AÇIKLAMA	SAYFA NO
Denklem 2.1	Amaç fonksiyonu	9
Denklem 2.2	Doğrusal regresyonda amaç fonksiyonu	10
Denklem 3.1	Kuadratik programlamada amaç fonksiyonu	16
Denklem 3.2	Kuadratik programlamada doğrusal kısıt	16
Denklem 3.3	Kuadratik programlamada karar değişkenlerinin negatif olmama durumu	16
Denklem 3.4	Doğrusal oranlı programlamada amaç fonksiyonu	17
Denklem 3.5	Doğrusal oranlı programlamada doğrusal kısıt	17
Denklem 3.6	Doğrusal oranlı programlamada karar değişkenlerinin negatif olmama durumu	17
Denklem 4.1	Trafikte geçirilen zamanın hatlar üzerindeki trafik yoğunluğuna bağlı fonksiyonu	21
Denklem 5.1	Ulaştırma ağı modelinde amaç fonksiyonu	24
Denklem 5.2	Ulaştırma ağı modelinde kaynak düğümündeki süreklilik	24
Denklem 5.3	Ulaştırma ağı modelinde hedef düğümündeki süreklilik	24
Denklem 5.4	Ulaştırma ağı modelinde bütün ara düğümler için süreklilik	25
Denklem 5.5	Ulaştırma ağı modelinde bütün ara düğümler için hat kapasiteleri	25
Denklem 5.6	Trafik akışının eniyilemesinde amaç fonksiyonu	26
Denklem 5.7	Trafik akışının eniyilemesinde ara düğümlerdeki süreklilik	26
Denklem 5.8	Trafik akışının eniyilemesinde ara düğümler için hat kapasiteleri	26
Denklem 5.9	Trafik akışının eniyilemesinde her hat için trafik akış değerlerinin negatif olmama durumu	26
Denklem 5.10	AD yolunun trafik akışına bağlı seyahat zamanı fonksiyonu	31
Denklem A.1	İstanbul için oluşturulan kısmi ulaştırma ağının AC hattına ait trafik akışına bağlı seyahat zamanı fonksiyonu	45
Denklem A.2	İstanbul için oluşturulan kısmi ulaştırma ağının DB hattının trafik akışına bağlı seyahat zamanı fonksiyonu	46
Denklem A.3	İstanbul için oluşturulan kısmi ulaştırma ağının CB hattına ait trafik akışına bağlı seyahat zamanı fonksiyonu	47
Denklem A.4	İstanbul için oluşturulan kısmi ulaştırma ağının CD hattına ait trafik akışına bağlı seyahat zamanı fonksiyonu	48
Denklem A.5	İstanbul için oluşturulan kısmi ulaştırma ağının amaç fonksiyonu	48
Denklem A.6	İstanbul için oluşturulan kısmi ulaştırma ağının eniyilemesinde A noktasında süreklilik	48

DENKLEM	AÇIKLAMA	SAYFA NO
Denklem A.7	İstanbul için oluşturulan kısmi ulaştırma ağının eniyilemesinde C noktasında süreklilik	48
Denklem A.8	İstanbul için oluşturulan kısmi ulaştırma ağının eniyilemesinde D noktasında süreklilik	48
Denklem A.9	İstanbul için oluşturulan kısmi ulaştırma ağının eniyilemesinde B noktasında süreklilik	48
Denklem A.10	İstanbul için oluşturulan kısmi ulaştırma ağının eniyilemesinde AD yolunun kapasitesi	48
Denklem A.11	İstanbul için oluşturulan kısmi ulaştırma ağının eniyilemesinde AC yolunun kapasitesi	48
Denklem A.12	İstanbul için oluşturulan kısmi ulaştırma ağının eniyilemesinde DB yolunun kapasitesi	48
Denklem A.13	İstanbul için oluşturulan kısmi ulaştırma ağının eniyilemesinde CB yolunun kapasitesi	48
Denklem A.14	İstanbul için oluşturulan kısmi ulaştırma ağının eniyilemesinde CD yolunun kapasitesi	48
Denklem B.1	Geliştirilmiş ulaştırma ağının AC hattına ait trafik akışına bağlı seyahat zamanı fonksiyonu	52
Denklem B.2	Geliştirilmiş ulaştırma ağının CD hattına ait trafik akışına bağlı seyahat zamanı fonksiyonu	53
Denklem B.3	Geliştirilmiş ulaştırma ağının DE hattına ait trafik akışına bağlı seyahat zamanı fonksiyonu	54
Denklem B.4	Geliştirilmiş ulaştırma ağının EB hattına ait trafik akışına bağlı seyahat zamanı fonksiyonu	55
Denklem B.5	Geliştirilmiş ulaştırma ağının AF hattına ait trafik akışına bağlı seyahat zamanı fonksiyonu	56
Denklem B.6	Geliştirilmiş ulaştırma ağının FG hattına ait trafik akışına bağlı seyahat zamanı fonksiyonu	57
Denklem B.7	Geliştirilmiş ulaştırma ağının GL hattına ait trafik akışına bağlı seyahat zamanı fonksiyonu	58
Denklem B.8	Geliştirilmiş ulaştırma ağının LB hattına ait trafik akışına bağlı seyahat zamanı fonksiyonu	60
Denklem B.9	Geliştirilmiş ulaştırma ağının AH hattına ait trafik akışına bağlı seyahat zamanı fonksiyonu	61
Denklem B.10	Geliştirilmiş ulaştırma ağının HJ hattına ait trafik akışına bağlı seyahat zamanı fonksiyonu	62
Denklem B.11	Geliştirilmiş ulaştırma ağının JL hattına ait trafik akışına bağlı seyahat zamanı fonksiyonu	63
Denklem B.12	Geliştirilmiş ulaştırma ağının DF hattına ait trafik akışına bağlı seyahat zamanı fonksiyonu	64
Denklem B.13	Geliştirilmiş ulaştırma ağının EG hattına ait trafik akışına bağlı seyahat zamanı fonksiyonu	65
Denklem B.14	Geliştirilmiş ulaştırma ağının HF hattına ait trafik akışına bağlı seyahat zamanı fonksiyonu	67
Denklem B.15	Geliştirilmiş ulaştırma ağının eniyilemesinde amaç fonksiyonu	67
Denklem B.16	Geliştirilmiş ulaştırma ağının eniyilemesinde A noktasındaki süreklilik	67

DENKLEM	AÇIKLAMA	SAYFA NO
Denklem B.17	Geliştirilmiş ulaştırma ağının eniyilemesinde C noktasındaki süreklilik	67
Denklem B.18	Geliştirilmiş ulaştırma ağının eniyilemesinde D noktasındaki süreklilik	67
Denklem B.19	Geliştirilmiş ulaştırma ağının eniyilemesinde E noktasındaki süreklilik	67
Denklem B.20	Geliştirilmiş ulaştırma ağının eniyilemesinde F noktasındaki süreklilik	68
Denklem B.21	Geliştirilmiş ulaştırma ağının eniyilemesinde L noktasındaki süreklilik	68
Denklem B.22	Geliştirilmiş ulaştırma ağının eniyilemesinde H noktasındaki süreklilik	68
Denklem B.23	Geliştirilmiş ulaştırma ağının eniyilemesinde j noktasındaki süreklilik	68
Denklem B.24	Geliştirilmiş ulaştırma ağının eniyilemesinde B noktasındaki süreklilik	68
Denklem B.25	Geliştirilmiş ulaştırma ağının eniyilemesinde network ağının giren ve çıkan akış dengesi	68
Denklem B.26	Geliştirilmiş ulaştırma ağının eniyilemesinde AC yolunun hat kapasitesi	68
Denklem B.27	Geliştirilmiş ulaştırma ağının eniyilemesinde CD yolunun hat kapasitesi	68
Denklem B.28	Geliştirilmiş ulaştırma ağının eniyilemesinde DE yolunun hat kapasitesi	68
Denklem B.29	Geliştirilmiş ulaştırma ağının eniyilemesinde EB yolunun hat kapasitesi	69
Denklem B.30	Geliştirilmiş ulaştırma ağının eniyilemesinde AF yolunun hat kapasitesi	69
Denklem B.31	Geliştirilmiş ulaştırma ağının eniyilemesinde FG yolunun hat kapasitesi	69
Denklem B.32	Geliştirilmiş ulaştırma ağının eniyilemesinde GL yolunun hat kapasitesi	69
Denklem B.33	Geliştirilmiş ulaştırma ağının eniyilemesinde LB yolunun hat kapasitesi	69

ÖZET

Ulaştırma yatırımları kamu bütçeleri içerisinde büyük yer tutar. Diğer taraftan her geçen gün ülke gelişmesine paralel olarak kara taşıtları sayısı artmaktadır. Bu artış kaçınılmaz olarak trafikte yoğunluğu artırarak sıkışıklıklara yol açmakta ve bu sıkışıklıklar yeni yol yatırımları ile bir süreliğine çözüme kavuşturulmaktadır. Ancak, çok pahalı olan bu yeni yatırımları yapmak yerine mevcudu en yüksek kapasitede kullanmak, çözüme giden en hızlı ve ekonomik yol olarak görülmektedir.

Son yıllarda büyük metropol kentlerde trafik akımları ve trafik tıkanmaları ile bunun neden olduğu zaman kayıpları hızla artmıştır. Trafik mühendisliği alanında dünyada çeşitli çalışmalar yapılmakta ve gün geçtikçe karmaşık hale gelen trafik sorunlarına çözüm arayışları devam etmektedir. Bu tez çalışmasında, bir trafik ağında, alternatif hatlar üzerindeki akış dağılımlarını düzenleyerek araçların bir başlangıç noktasından hedefe ulaşım zamanlarının toplamını en aza indirmek için bir model önerilmektedir. Modelin geliştirilmesi sürecinde, hatlardaki trafik yoğunluğu ile seyahat zamanı arasında doğrusal bir bağlantı olduğu varsayılmış ve araçların toplam seyahat zamanının en aza indirilmesi için bir kuadratik eniyileme probleminin çözümüne yer verilmiştir.

Bu çalışmada geliştirilen model ayrıca kısmi İstanbul trafiği ele alınarak sınanmıştır. Ana arterleri içine alan İstanbul'un Avrupa yakası ile bitiş noktası Anadolu yakasında olan bir ulaşım ağı oluşturulmuştur. Matematiksel formülasyondan sonra, model için parametreler hesaplanmıştır. Bu parametreler, trafik yoğunluğu, farklı trafik yoğunluklarında ortalama hızlar ve her hat için farklı trafik yoğunluklarında araçların ortalama seyahat zamanları. Alt ve üst hız limitleri olarak, hatlardaki izin verilen azami hız üst limit ve en düşük kesintisiz yoğunluk limiti sağlamak için alt hız limit 50 km /sa. olarak ele alınmıştır. Trafik yoğunlukları ile seyahat zamanları arasında doğrusal bir bağlantı olduğu varsayımı kullanılarak seyahat zamanları hesaplanmıştır.

Bu eniyileme modelinin amaç fonksiyonu, trafik ağı üzerindeki araçların başlangıç noktasından başlayarak bitiş noktasına gelene kadar geçirdikleri toplam seyahat süresini en aza indirmek içindir. Modelin kısıtları, düğüm noktalarındaki süreklilik, her hat için hat kapasiteleri, karar değişkenleri için kısıtların negatif olmamaları. Amaç fonksiyonunun ikinci derece polinom ve kısıtların doğrusal olmalarından ötürü, model kuadratik programlama olarak oluşturulmuştur.

Ayrıca çalışmada, genel İstanbul yol ağı için genişletilmiş bir model önerilmiştir. Matematiksel formülasyon yapılmış, parametreler hesaplanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Trafik, yol ağı, tıkanıklık, eniyileme, kuadratik programlama

ABSTRACT

Transportation investments accounts for a major portion of public budgets. On the other hand, number of vehicles increase in parallel with the development of the country. Inevitably this results in increase in vehicular traffic and congestions on the roads which are usually temporarily mitigated by new investments. However, efficient use of existing system can be the fastest and more economical solution instead of making expensive investments.

In recent years, in major metropolitan cities, loss of time has increased due to the slow traffic flows and the traffic congestions. In the field of traffic engineering, globally various studies were conducted and these studies are continued to propose new solutions to continuously increasing traffic problems. In this thesis, a model has been proposed to control the load on a traffic network by minimizing the total travel time between a start and an end node. A linear relationship has been assumed between traffic density and travel times on highway segments during the development of the model and a quadratic optimization problem can be solved to minimize the total travel time of the vehicles.

In this study, the model developed has also been tested with a partial regional section of İstanbul traffic. A transportation network has been formed including major highways in European side of İstanbul with an end node being in Anatolian side. After the mathematical formulation, the parameters are estimated for the model. These parameters are: traffic density, average velocities in different densities and travel times of vehicles for each segment (roads) for different traffic densities. The upper and lower velocity limits are taken as the maximum allowed velocity on the segment and 50 km/hr being the lowest uninterrupted density limit. Travel times have been estimated using an assumed linear relationship between the traffic density and travel times.

The objective of this optimization model is to minimize the total travel times of vehicles from start to an end node on traffic network. The limitations of the model are continuity at all nodes, capacities of traffic flows on each segment and nonnegative limitations for decision variables. The model is in the form of quadratic programming problem since the objective function is a second degree polynomial and constraints are linear.

Furthermore, expansion of the model is proposed for general İstanbul road network. A mathematical formulation has been made, parameters have been calculated.

Key Words: Traffic, road network, congestion, optimization, quadratic programming.

1.GİRİŞ

Bu çalışmada kamu bütçeleri içerisinde büyük yer tutan ulaştırma yatırımlarından karayollarının daha verimli kullanılmasına olanak sağlayan bir model geliştirilmiş ve İstanbul şehir içi trafiğine uygulanmıştır. Mevcut yatırımları en yüksek kapasitede kullanmak, ülke gelişmesine paralel olarak artan kara taşıtları sayısı dolayısı ile meydana gelen trafik yoğunluğunu gidermek için yeni yatırım yapmaktan daha hızlı ve ekonomik bir çözüm olarak gözükmektedir.

Trafiğin yönetimi, trafik akımlarının kontrolü olarak düşünülürse, kapasite kullanımının en iyi duruma getirilmesi, kent içi yollarda ana arterler ve buralardaki kavşakların bölgesel kontrolü ile kent içi yolları birleştiren katılım ve ayırım noktalarının denetimi ile sağlanır. Bu bağlamda kuyruklanmayı en aza indirmek, trafik sıkışıklığına engel olmak, ulaşım hızını arttırmak v.b kriterler için eniyileme (optimizasyon) problemlerinin çözülmesini gerektirir.

Yapılan araştırmalar (Leblanc ve diğerleri, 1975) trafikte seyreden sürücülerin varacakları yerlere ulaşmak için alternatif yollardan birini seçerken, yol boyunca harcanan zaman ve seyahatin ekonomik olma kriterleri üzerinde durduklarını göstermiştir. Ekonomik kriter düşünüldüğünde, araçların yol boyunca harcadıkları benzin miktarı, lastiklerin yıpranma payları, dur-kalk kaynaklı aşınmalar gibi hususlar ilk akla gelenlerdir. Bu bağlamda en kısa yol başlangıçta en ideal yol olarak gözükse de, şayet yol boyu yavaşlamalar hatta dur-kalklara sebep olan kavşak ve trafik lambalarının çokluğu, sarf edilen benzin miktarının artmasına ve araçların fren ve debriyaj balataları vs gibi parçaların yıpranmasına yol açacağı için cazibesini kaybeder. Bu sebeple dikkatli incelendiğinde, genelde yol boyunca harcanan zamanın en aza indirilmesi ile daha ekonomik seyahat sağlanır.

Birçok eniyileme çözümlerinde olduğu gibi, ulaşım ağı problemlerinde de araçların seyahatleri boyunca harcadıkları zamanı en aza indirmek için doğrusal modeller kullanılmaktadır (Schrage, 1991). Son yıllarda yapılan araştırmalar (Ulucan, 2004); bazı alanlarda uygulanan doğrusal modellerin problemi tam olarak ifade edemediği gözlemlenmiş ve bu bağlamda modelin doğrusal olmayan matematiksel ifadelerle yapılmasının sonucunda elde edilen bulguların çok daha gerçekçi olduğunu ortaya koymuştur. Doğrusal olmayan programlamalardan kuadratik programlama, inşaat mühendisliği alanında birçok yerde kullanılmıştır. Bu çalışmalara örnek olarak kritik yol metodunun, Muskingum nehir akım tayininin, çok kuyulu bir havzanın planlanması ve işletilmesinin, baraj inşaatlarının işletmelerinin, içme suyu dağıtım sistemlerinin eniyilemesi verilebilir. Bu çalışmalara literatür araştırması başlığı altında çok daha kapsamlı olarak yer verilmiştir. Bu tezde de trafik akışının eniyilemesi konusu ele alınmış ve örnek bir model oluşturularak, problem kuadratik programlama ile çözülmüştür.

Bu tezde; örnek olarak kısmi İstanbul trafiği çalışılmıştır. İstanbul trafiğinin en yoğun olduğu Avrupa yakasının büyük bölümünü kapsayan ve Anadolu yakasını da içine alan ana arter yollardan oluşan bir network ağı modelinin matematiksel formülasyonu yapılmıştır. Daha sonra da parametrelerin belirlenmesi için oluşturulan bu network ağından, uzunlukları, saatte geçen araç sayıları (trafik akışı), araçların farklı yoğunluklardaki ortalama hızları ve kat ettikleri zaman bilgileri hesaplanmıştır. Network ağı üzerinde gösterilen her yol için ayrı trafik yoğunluklarında (trafik akışı) araçların bu yolları ne kadar zamanda aldıkları, yolların hız limitleri de göz önünde tutularak belirlenmiştir. Farklı trafik yoğunlukları ile bu yoğunluklar için bulunan zamanlar arasındaki ilişkinin doğrusal (lineer) olduğu varsayılmıştır. Amaç; araçların ağ üzerindeki yoğunluk dağılımını düzenleyerek, tüm araçların network modelinin başlangıç noktasından başlayarak bitiş noktasına gelene kadar geçen toplam süreyi en aza indirmektir.

Bu durumda elde edilen amaç fonksiyonu ikinci dereceden denklem olup çözümü kuadratik programlama ile yapılmıştır. Kuadratik programının çözümünde en hızlı yöntemi olan bilgisayar destekli programlardan LINGO paket programı; bu modelin çözümü için en uygun çözüm aracı olarak kullanılmıştır.

Modelin çözümüne geçilmeden önce literatürde yer alan optimizasyon tekniklerinin network ağ şebekelerinde uygulanmış çalışmalarından ve inşaat mühendisliğinde kuadratik programlama çalışmalarından bahsedilecektir. Daha sonra sırasıyla yönetim bilimi ve modelleme, yönetim biliminde karar verme sürecinin aşamaları, doğrusal programlama, kuadratik programlama, trafik akışı, ulaştırma ağ modellerinin (trafik akışının) en iyilemesi konuları anlatıldıktan sonra İstanbul trafiğinin ele alındığı örnek modelin oluşturulması, formülasyonlarının hesaplanması ve kuadratik programlama kullanılarak çözümü ele alınacaktır. En son bölümde bu çalışmanın arkasından yapılabilecek gelişmeler irdelenecektir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatürde yapılan araştırmada, bu modelin çok daha iyi anlaşılmasını sağlayan ve aynı zamanda buna paralel olan çeşitli yayınların yapıldığı görülmüştür. Bu çalışmalar sırasıyla ulaştırma (ağ) modelleri ve kuadratik programlama çalışmaları başlıkları altında özetlenmiştir.

2.1.Ulaştırma (Ağ) Modelleri

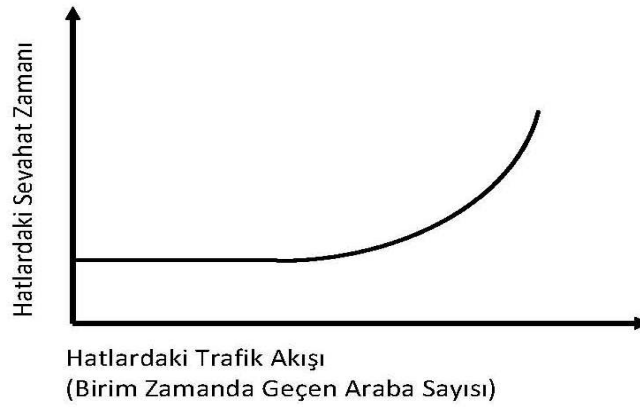
Klasik ulaştırma (ağ) modelleri türlerinden “en fazla yükü iletmek” modelinde amaç, hat kapasiteleri belli olan bir ulaşım ağının bir ucundan (kaynak) diğerine (hedef) en fazla yükü iletmek için gerekli kapasite dağılımını bulmaktır. Trafik ağlarında bu model, trafik akışını en üst seviyeye ulaştırmak için uygulanmıştır. Bu modelin; aynı şekilde boru sistemlerinde suyun veya doğal gazın kaynak noktasından iletilmek istenen noktaya en fazla miktarda ulaştırılmak üzere yapıldığı ifade edilmiştir. (Ulucan, 2004)

Ulaştırma (ağ) modellerinden diğer problem türü ise ‘en kısa yol problemleri’ başlığı altında işlenmiştir. ‘En kısa yol’ problemine örnek olarak doğuda bulunan bir pazarlamacı, mallarını pazarlamak için batıya posta aracıyla seyahat ederken çeşitli yol seçenekleri ve bu seçeneklere ait sigorta poliçe maliyetleri bulunmaktadır. Ucuz maliyet daha fazla güvenlik olarak belirtilmiştir. Burada amaç, seyahat boyunca en güvenilir yolun seçilmesi (en ucuz) olarak açıklanmıştır (Ravindran ve diğerleri, 1987).

Revelle ve diğerleri (2004) tarafından yazılan kitapta, ‘seyahat eden pazarlamacı problemi’ türüne yer verilmiştir. Çok tanınmış olan bu problem türünün çözülmesinin oldukça zor olduğu ve bu probleme Lawler ve diğerleri (1985) tarafından yayınlanan kitapta çok daha geniş yer verildiği belirtilmiştir. Bu

problemin daha küçük bir versiyonu ise bu kitapta tanımlanmış ve çözüm tekniği sunulmuştur. Bu problemde bir pazarlamacı n sayıda şehiri ziyaret edecektir. . Bütün noktaların tura dahil edilmesinden dolayı başlangıç ve bitiş noktası aynı alınmış ve sonuç olarak da şehirlerden herhangi birinin başlangıç / bitiş noktası olarak alınabileceği belirtilmiştir. Burada amaç, pazarlamacının turu en kısa mesafede bitirmesi olarak tanımlanmıştır. Bu problem türünün aynı şekilde bir okul servis otobüsünün rotasını belirlemek için de modellenebileceği anlatılmıştır.

Leblanc, Morlok ve Pierskalla (1975) tarafından yayınlanan makalede; büyük ölçekli yol ağlarının atamaları ve buna bağlı olarak doğrusal olmayan maliyetleri içeren akış problemlerinin çözüm teknikleri işlenmiştir. Kısıtları tahmini ve doğrusal olmayan akış problemlerinin de çözümünün olduğu ve bu durumda kısıtların geliştirilmiş yöntemlerle tahmin edilerek çözülebileceği işlenmiştir. Trafik atama probleminin doğrusal olmayan programlama modelinin oluşturulmasında; Şekil 2.1’de ifade edildiği gibi hatlardaki trafik akışına bağlı değişen doğrusal olmayan zaman fonksiyonu kullanılmıştır.



Şekil 2.1 Hatlardaki trafik akışına bağlı değişen doğrusal olmayan zaman fonksiyonu

Schadschneider ve diğerleri (2005) tarafından yapılan çalışmada; otoban ağları üzerinde trafik hareketlerinin anlaşılmasının trafik yönetimi için en önemli konu olduğu, bugünlerde gerçeğe yakın küçük modellerin varlığı ve bu modellerden yararlanılarak büyük ağ modellerinin yüksek verimlilikte olmasının sağlandığı anlatılmıştır. Bu simülasyonların; yarım kalmış otoban ağının tamamlanması

sırasında yerlerin tespitinin hesaplanması için uygulanabileceği gibi trafik tahmini için de kullanılabileceği belirtilmiştir.

Aboudolas ve diğerleri (2010) tarafından yayınlanan bildiride, son zamanlarda geliştirilmiş sinyalizasyon yöntemleri araştırılmış ve trafik yoğunluğunun yaşandığı geniş ölçekli kent içi yol ağlarında trafiği rahatlatmak üzere geliştirilmiş bir sinyalizasyon modeli önerilmiştir. Önerilen bu sinyalizasyon modeli, uygulanacak trafik ağı üzerinde daha önceden belirli zamanlarda gözlemlenmiş trafik akışı (birim zamanda geçen araç sayısı) kullanılarak bir trafik akış sürecini içermektedir. Bu model; bütün kısıtları içine alan geniş bir sinyalizasyon sistemi olup amaç fonksiyonu, yollarda yoğun trafikten dolayı oluşacak olan araç kuyruklarını dengelemek veya en aza indirmek olan kuadratik programlama olarak formüle edilmiştir.

Steenbrink (1973) tarafından yayınlanan bildirinin ilk bölümünde Hollanda'da bulunan bütün bir ulaşım çalışması verilmiş ve bu ulaştırma ağının üzerinde belirtilen yolların konumları işaretlenmiştir. İkinci bölümde; bu ulaşım ağının eniyileme problemi formüle edilerek problemi çözmek için, bir algoritma geliştirilmiştir. Bu modelde amaç; ulaşım ağında seçilen bir noktadan varılacak noktaya giderken seçilen güzergah boyunca bağlantı noktalarındaki hatların akış seviyeleri, ölçümleri göz önüne alınarak toplam maliyeti (yatırım ve sürücülerin maliyetleri) en aza indirmek olarak ifade edilmiştir. Bu çözüm sonucunda elde edilen verilerin uygulanması durumunda belirtilen ulaşım ağında sürücülerin çok kısa zamanda seyahat edebilme olanağı sağlanacağı belirtilmektedir.

Darbha ve Rajagopal (1999) tarafından yayınlanan çalışmada; trafik akışı problemlerinin çözümünde iki tür denge bağlantısının oluşturulması konularına yer verilmiştir. Bu bağlantılardan biri şerit dengesi (araçlarda takip dengesi) diğeri ise trafik akış dengesidir. Şerit dengesi ve trafik akışı dengesi arasındaki farkı ortaya koyan böyle bir çalışmanın literatürde daha önce hiç yayınlanmadığı ifade edilmiştir. Şerit dengesi ifadesi ile yol boyunca seyreden araçların arasındaki mesafelerin belli bir dengede olduğu ve belirlenen bu ortalama mesafe ile araçların hızları ve pozisyonları hakkında bilgiler öngörülebileceği belirtilmektedir. Diğer taraftan

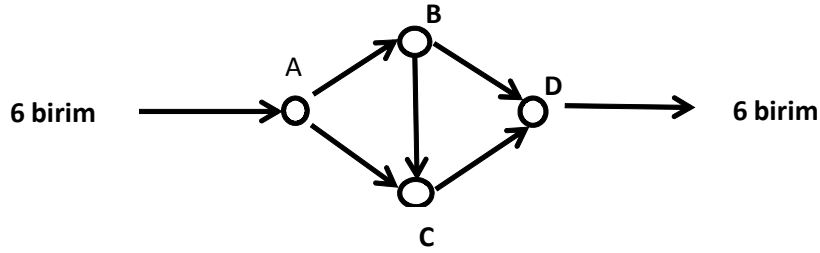
trafik akışındaki denge ise araçların hız artırımlarına karşılık trafik akışına giren araçların ve trafik akışından çıkan araçların meydana getirdikleri trafik yoğunluğu olarak açıklanmıştır.

Heydecker ve Addison (2011) tarafından yayınlanan makalede; değişen hız limitleri altında, trafik akışını analiz etmek için araçların hızları ve yoğunlukları arasında bir ilişki geliştirilmiştir. İngiltere’de bulunan bir otopan ağından toplanan trafik verilerinin istatistiksel analizi ile fonksiyonel bir model önerilmiş ve bu sayede araçların hızını sıfıra düşürecek trafik yoğunluğunun oluşmamasının sağlanabileceği ifade edilmiştir.

Yılmaz ve Köse (2008) tarafından yayınlanan çalışmada karayollarındaki trafik akışını modelleyerek bu modelin bilgisayar ortamında simülasyonunu gerçekleştiren bir yazılımın üretilmesi hedeflenmiştir. Trafik sistemlerindeki araç akışlarını iyileştirmek amacıyla değişik trafik mühendisliği çözüm teknikleri geliştirilmiştir. Bu çözüm tekniklerinin, trafik simülasyon yazılımı aracılığıyla zaman, maliyet ve iş gücü kaybı olmaksızın, mevcut trafik şebekeleri üzerine test edilebilirliği belirtilmiş ve orta ölçekli trafik şebekeleri için trafik sıkışmalarını önleyecek uygun çözümlerin bulunması hedeflenmiştir.

‘Lindo An Optimization Modeling System’ (Schrage, 1991) isimli kaynakta, Florian (1977) tarafından, trafik ağı problemlerinin modellerinin doğrusal programlama üzerine kurularak çözüldüğü ifade edilmiştir. Bu modellerde araçların her yol için harcadıkları zaman; yolların yoğunluklarına göre farklı değerler almaktadır. Trafik ağında yer alan her hat için yoğunluk ve yoğunluklara göre her hat üzerinde harcanan zaman verileri öngörülmüştür. Hatlar için öngörülen zaman verileri; hatların şerit sayıları, hatlar üzerinde yer alan trafik lambalarının ve dur işaretlerinin sayısına göre oluşturulmuştur. Bu verilerden yola çıkılarak her hat için trafik yoğunluğuna bağlı doğrusal zaman denklemleri formüle edilmiştir. Bu çalışmada amaç fonksiyonu, araçların herhangi bir noktadan gidecekleri noktaya giderken harcadıkları zamanı en aza indirmek olarak kurgulandığından daha önce verilerden her hat için ayrı elde edilen zaman denklemlerinin en aza indirilmesi olarak açıklanmıştır.

Yine aynı kaynakta yer alan ve Şekil2.2'deki ulaşım ağı örneği verilmiş çalışmanın bu tezde geliştirilen modele yakınlığı düşünülerek detaylı anlatılması daha uygun olacaktır. Şekil 2.2'de belirtilen ulaşım ağı örneğinde trafik yoğunluğu 6 birim olan araçların (her bir birim bin araç) A noktasından B noktasına gitmek istedikleri belirtilmiştir.



Şekil 2.2 Örnek Ulaştırma Ağı

Her hat üzerindeki seyahat zamanının, trafik yoğunluğuna bağlı değeri Tablo2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1 Hatlar üzerinde seyahat zamanının trafik yoğunluğuna bağlı değeri

Trafik yoğunluğu	<u>Hatlar üzerindeki seyahat zamanları (dak.)</u>				
	AB	AC	BC	BD	CD
2	20	52	12	52	20
3	30	53	13	53	30
4	40	54	14	54	40

Tablo 2.1'de hatların farklı seyahat zamanlara sahip olmalarının sebebinin, hatlarda bulunan farklı trafik lambalarının, dur işaretlerinin ve şerit sayılarının olabileceği ifade edilmiştir. ABD, ACD ve ABCD alternatif hatlar arasında yoğunluk dağılımının toplam seyahat zamanını en aza indirecek şekilde yapılması gerektiği üzerinde durulmuştur. Şayet hatlarda geçen seyahat zamanı trafik yoğunluğuna bağlı

doğrusal bir denklem olarak öngörülürse, amaç fonksiyonun hatlarda geçen seyahat zamanını en aza indirmek olarak formülize edilebileceği belirtilmiş ve AB, AC, BC, BD ve CD; sırasıyla hatlardaki trafik yoğunluğu olarak tanımlanmıştır. Bu durumda amaç fonksiyonu;

MIN

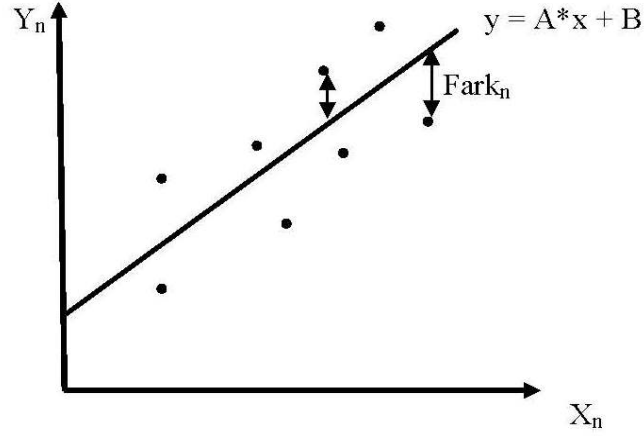
$$20 AB^2 + 30 AB^3 + 40 AB^4 + 52 AC^2 + 53 AC^3 + 54 AC^4 + 12BC^2 + 13 BC^3 + 14 BC^4 + 52 BD^2 + 53 BD^3 + 54 BD^4 + 20 CD^2 + 30 CD^3 + 40 CD^4 \quad (2.1)$$

Kısıtlar ise düğüm noktalarında süreklilik, hatlardaki trafik yoğunluklarının tanımlanması ve hat kapasiteleri olarak tanımlanmıştır.

2.2. İnşaat Mühendisliğinde Kuadratik Programlama Çalışmaları

Etkin optimizasyon tekniklerinden olan kuadratik programlama, inşaat mühendisliğinin değişik alanlarına uygulanmıştır. Bu kısımda bu modeller özetlenmiştir.

Can (2010) ders notlarında, ölçüm değerleri bulunan veriler arasında doğrusal regresyonun çözümünü sağlayan ilişki bulunurken en iyi çözümün veri noktalarının bu ilişkiye olan uzaklıklarının farklarının mutlak değerlerinin toplamının en az olması olarak ifade edilmiştir. Doğrusal regresyonun; parametrelerin negatif olmama durumunda ve/veya aralarında herhangi bir bağlantı olma durumunda çözümün kuadratik programlamadan farklı bir şey olmadığı ifade edilmektedir.. Bu durumu da, veri noktalarının en iyi çözümü oluşturan ilişkiye olan uzaklıkların farklarının karelerinin toplamının en az olma durumunda elde edilen noktaların çok daha gerçekçi olduğunun tespit edildiğini ifade ederek açıklamıştır.

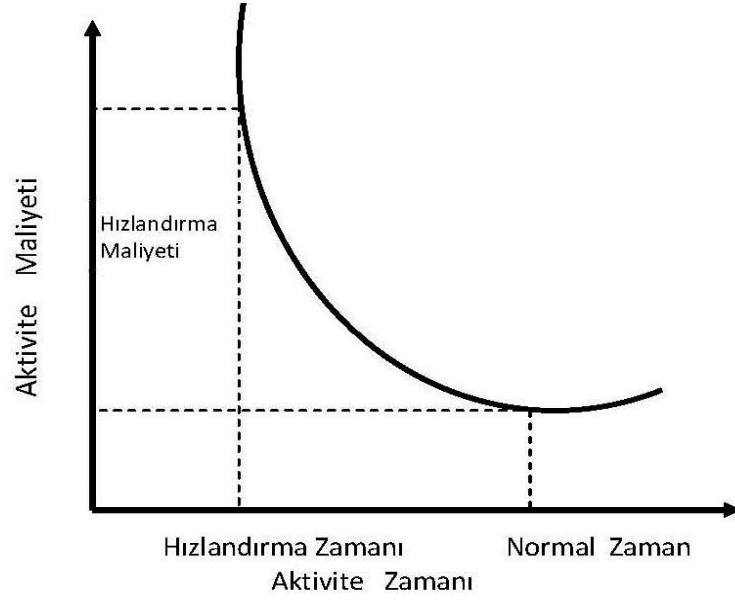


Şekil 2.3 Doğrusal regresyon

Şekil 2.3’ de doğrusal regresyon grafiğini göstermektedir. Grafikten de görüldüğü üzere Denklem 2.2 oluşturulmuştur.

$$\text{Min } Z = [\text{Fark}(1)]^2 + [\text{Fark}(2)]^2 + \dots + [\text{Fark}(n)]^2 \quad (2.2)$$

Can (1985) tarafından yapılan çalışmada, kritik yol metodu için, bir projenin belirlenen sürede tamamlanması için yapılacak ek yatırımlarının en düşük seviyede tutulmasını sağlayan bir eniyileme modeli önerilmiştir. Proje aktiviteleri için zaman – maliyet ilişkisi genelde doğrusal olmayıp belli bir en düşük zamana asimptotik bir şekilde yaklaşmakta ve belli bir düşük maliyetin de altına inememekte olduğu öngörülmüştür. Bu durumda kritik yol metodu, aktivite zamanlarının ek yatırım vasıtasıyla belli bir miktar azaltılabileceğini öngörmüştür. Aktivite zamanlarının azaltılması ile toplam projenin hızlandırılmasının mümkün olduğu ifade edilmiş ve bunun için yapılan ek harcamaya da hızlandırma maliyeti adı verilmiştir. Bunun için ilk yapılacak, zamanı kısaltabilme olasılığı bulunan aktiviteler için Şekil 2.4’de gösterilen zaman- ek maliyet ilişkisi üzerinde durulması gerektiği ifade edilmiş ve bunun sonucunda elde edilen amaç fonksiyonunun ikinci derece olması ile problem kuadratik programlamada çözülmüştür.



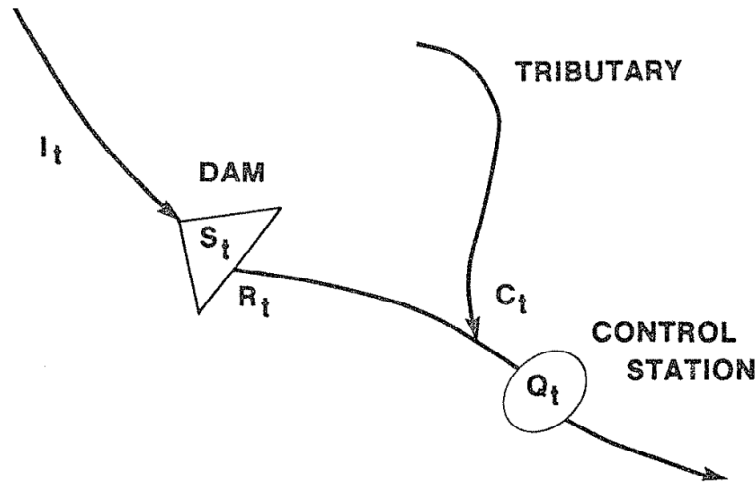
Şekil 2.4 Proje aktiviteleri için zaman – maliyet ilişkisi

Easa, ve Can (1985) tarafından yayınlanan bildiride, değişik kaynaklardan temin edilen agregaların boyut, maliyet ve diğer tasarım kriterlerine en uygun olması için hangi oranlarda karıştırılması gerektiği problemine çözüm öneren bir eniyileme modeli önerilmiştir. Bu çalışmada, değişik kaynaklardan alınan agregaların “en iyi” karışım yüzdeleri; fiyat ve fiziksel özellik limitlerinin sağlandığı ve elek geçme hedeflerinden sapmalarının en aza indirgenmeleri sonucu bulunmaktadır. Önerilen matematiksel eniyileme modelinin kısıtları doğrusal olup, amaç fonksiyonu ikinci dereceden fonksiyon olarak ifade edilmiş ve çözümü kuadratik programlamada yapılmıştır.

Gavilan ve Houck (1985) tarafından yayınlanan bildiride en iyi Muskingum nehir akım tayini yapılmıştır. Nehir akımının tayini sırasında nehrin bir bölgesinde depolanan su ile bu bölgeye gelen ve çıkan akımlar arasında yazılan süreklilik denklemi esas alınmıştır. Burada parametre seçiminin çok zor olduğu ifade edilmiş ve bundan dolayı araştırmacıların genelde ölçülen nehir hacimleri ile hesaplanan arasındaki hatanın karelerinin toplamını minimize eden standart doğrusal regresyon kullandıkları ifade edilmiştir. Bu makalede hataların karelerinin toplamının minimize edilmesi olarak oluşturulan amaç fonksiyonu kuadratik programlama ile çözülmüştür.

Yazıcıgil (1990) tarafından yayınlanan makalede Doğu Arabistan'da bulunan çok kuyulu bir havzanın sekiz yıllık bir süreç için "en iyi" planlaması ve işletilmesi amacı ile üç yeraltı su yönetim modeli geliştirilmiştir. Modellerden biri toplam pompalamanın artırılması olup tarımsal alanlardaki kuyuların pompalama miktarlarının maksimize edilmesi olduğu ifade edilmiştir. Diğer bir model su seviyesindeki azalmanın minimizasyonu olup bu modelin amacının bütün zaman dilimlerinde su ihtiyaçları karşılanırken, pompalama ve seviye kısıtları dahilinde toplam su seviyesindeki azalmayı minimize etmek olduğu ifade edilmiştir. Son model ise pompalama maliyetinin minimizasyonu olup amacının planlama süresi boyunca pompalama maliyetinin en aza indirilmesi olarak açıklanmıştır.

Can (1985) tarafından yayınlanan makalede baraj işletmelerinin eniyilemesi kuadratik programlama ile yapılmıştır. Şekil 2.5'de yan dere ile beslenen bir baraj işletmesinin eniyilemesi için, derenin aldığı yağmur sonucunda baraj suyuna akan su miktarı öngörülerek, kontrol noktasında hesaplanan akış miktarına göre baraj kapaklarının kapatılma veya açılma durumlarının tespit edilmesi için matematiksel bir model oluşturulmuştur. Oluşturulan modelin çözümü ise kuadratik programlama ile yapılmıştır.



Şekil 2.5 Baraj işletmesi modeli

Propato ve Uber (2004) tarafından yayınlanan makalede içme suyu dağıtım sistemlerinde, belli noktalara yerleştirilen istasyonlardan yapılan ilaçlamanın sürdürülebilirliğini sağlamak ve meydana gelen tortunun en aza indirilmesi için dezenfekte dozunun ayarlanmasında ve istasyonların yerlerinin belirlenmesinde

karmaşık tamsayılı kuadratik programlama önerilmiştir. Bu çalışmada örnek bir içme suyu ağ şebekesinde ilaçlama istasyonlarının yerlerinin belirlenmesinde ve ilaç dozunun ayarlanmasında kuadratik programlama uygulama çalışması yapılmıştır. Örnek ağ şebekesinin uygulanan kuadratik programlamadan sonra ilaçlama istasyonlarının sayılarının artırılması ile yeniden tahsis edilmesi sonucunda tortu miktarında otuz kez azalmanın görüldüğü ifade edilmiştir.

3. YÖNETİM BİLİMİ VE MODELLEME

Yönetim Biliminin temelinde matematiksel modelleme yatmaktadır. Matematiksel modelleme, gerçek hayat sistemlerinin matematiksel olarak temsil edilmesi ve en iyi (optimum) çözümü bulmak için kurulan modellere sayısal yöntemler (algoritmalar) uygulanmasıdır. Daha basit olarak matematiksel model, bir gerçek hayat probleminin sayısal olarak matematiksel ifadelerle gösterimidir (Ulucan, 2004). Bir eniyileme (optimizasyon) modeli verilen kısıtları sağlayan karar değişkenlerinin tüm değerleri arasında amaç fonksiyonunu eniyileyen (en büyükleyen veya en küçükleyen) değerleri bulmayı hedefler.

Sayısal karar modellerinin temel bileşenleri şunlardır;

Karar Değişkenleri: Amaca ulaşmak için kontrol edilen faktörler.

Bağımlı Değişkenler: Sistemin verilen kararlar sonucu değer kazanan kısmını göstermektedir. Dolayısı ile karar değişkenlerine bir fonksiyon ile bağlıdırlar.

Amaç Fonksiyonu: Ulaşılmak istenen hedefin karar değişkenlerinin fonksiyonu olarak matematiksel ifadesi.

Kısıtlar: Değişkenlerin alabileceği değerler üzerindeki sınırlama ya da gereksinimlerdir. Kısıtlar da amaç fonksiyonu gibi karar değişkenlerinin içerdiği matematiksel fonksiyonlar olarak ifade edilir.

Parametreler: Modeli etkileyen ancak karar vericinin kontrol edemediği faktörlerdir.

Varsayımlar: Model oluşturulurken doğru oldukları kabul edilen olgulardır.

3.1. Yönetim Biliminde Karar Verme Sürecinin Aşamaları:

Karar verme sürecini oluşturan aşamalardan ilki ve belki de en önemlisi problemin tanımlanmasıdır. Bunun nedeni genellikle problemin farkına varıldığı halde doğru olarak tanımlanamamasıdır. Problemin doğru tanımlanmasında

izlenebilecek tek yol, ilgili kişilerle konuşularak olabildiğince bilgi toplanmasıdır. Bu süreç oldukça önemli olduğundan harcanılacak zamandan kaçınılmamalıdır.

Problem en doğru şekilde tanımlandıktan sonra ikinci aşamada, problemin yapısı doğrultusunda hangi modelleme yaklaşımı ile modelleneceği belirlenir. Çok sayıda matematiksel model olduğundan ve de farklı problemlerde destek sağladığından probleme uyan modelin seçimi çok önemlidir. Burada yapılabilecek en önemli hata problemi bir model tipine uydurmaktır.

Modelin seçiminden sonra modelin formülasyon aşaması gelmektedir. Bu aşamada matematiksel bir formülasyon geliştirilir.

Matematiksel formülasyon aşamasından sonra modelde kullanılmak üzere veriler toplanır. Şayet veri toplamada sıkıntı yaşanır, yukarıda anlatılan aşamalardan gerekli olana geri dönmelidir. Bu durum bundan sonraki aşamalar için de geçerlidir.

Verilerin toplanılmasından sonra, model çözülmeye hazırdır. Ancak modelin çözülmesinden önce test edilmesi gerekmektedir. Test edilmesinden amaç, modelin doğruluğunu ve tutarlılığını kontrol etmektir. Test edilen model çözümlenerek sonuçlar elde edilir. Elde edilen bu sonuçlarla hemen karar vermek yerine, modeldeki parametreler değiştirilerek varsayılan koşullar değişirse modelin nasıl bir plan üreteceği de belirlenmelidir.

Bütün bu aşamalardan sonra uygulamaya geçilir. Ancak kararın uygulanması esnasında dışsal faktörlerin devreye girmesiyle istenmeyen sonuçlarla karşılaşılabilir. Bu durumda zaman kaybetmeden sorunun boyutuna göre ilk üç aşamadan birisine dönülür.

3.2. Doğrusal Programlama

Temel yönetim tekniklerinden başlıcaları; doğrusal programlama, doğrusal olmayan programlama, proje yönetimi teknikleri, hedef programlama, şebeke eniyilemesi, tamsayılı programlama, karar analizi teknikleri ve benzerleridir.

Yukarıda sıralanan temel yönetim tekniklerinden doğrusal programlama; doğrusal formda olan kısıtları göz ardı etmeden, doğrusal formda olan amaç fonksiyonunu eniyilemeyi sağlayan ve karar değişkenlerinin aldıkları değerleri bulan bir yaklaşımdır.

Karşılaşılan problemlerin büyük bir çoğunluğu elde yeteri kadar veri varsa doğrusal programlama formunda modellenebilir. 20. yüzyılda bilgisayarların gelişimiyle de doğrusal programlama %74 gibi bir oranla kullanılmaya başlanmıştır (Ravindran ve diğerleri 1987).

3.3. Kuadratik Programlama

Karşılaşılan problemlerin bir kısmının doğrusal programlama modellemeleri ile çözümlerinin hedeflenen sonucu vermemesinden dolayı amaç fonksiyonu ve kısıtlar, karar değişkenlerinin doğrusal olmayan fonksiyonları şeklinde ifade edilebilmektedir.

Amaç fonksiyonunun ikinci dereceden polinom, kısıtların ise doğrusal formda olduğu durum kuadratik programlama ile tanımlanır ve matematiksel olarak ifadesi vektör ve algoritma şekli ile Denklem 3.1 ve 3.2 ve 3.3'de verilmiştir (Ravindran ve diğerleri, 1987).

Vektörel	Algoritma şekli	
Minimum $Z = Cx + x^T Sx$	$Z = \sum_{n=1}^N C_n X_n + \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^N X_n S_{ni} X_i$	(3.1)

Kısıtlar	$Ax \geq B$	$\sum_{n=1}^N a_{mn} x_n = b_m$	(3.2)
----------	-------------	---------------------------------	---------

$x \geq 0$	$X_n \geq 0 \quad n=1,2,..N$	(3.3)
------------	------------------------------	---------

Yukarıda ifade edilen A; doğrusal olan kısıt fonksiyonunun katsayıları olup bir (pxq) matrisidir. B ; bir (px1) matrisinde kolon vektörü, C bir (1xq) matrisinde

satır vektörü , S bir (qxq) quadratik form matrisi ve X ise (qx1) karar değişkenleri vektörüdür.

Doğrusal kısıtları olan bir minimizasyon (asgariye indirgeme) probleminde çözüm varsa ve çözümün bir yöntemle bulunabilmesi için amaç fonksiyonunun konveks olması yeterlidir. O halde bir kuadratik programlama probleminde, amaç fonksiyonunun konveks olması ki; S matrisinin pozitif veya yarı pozitif olması ile mümkündür.

Simetriks bir matris aşığıdaki koşullarda pozitif (yarı pozitif) olur.

- Bütün köşegen elemanları pozitif (negatif değil) ve
- Bütün ana determinantları pozitif (negatif değil)

3.4. Diğer Teknikler

Karar verme tekniklerden Ayrılabilen Programlama (Separable Programming); ilk olarak 1963 yılında uygulanmıştır. “En Yararlı Doğrusal Olmayan Programlama” olarak da anılmıştır. Doğrusal olmayan fonksiyonlar doğrusal olarak yaklaşık ifade edilmekte ve bu şekilde çözüm bulunmaktadır. Tek varsayım fonksiyonların değişkenler bazında ayrılabilmesidir.

Doğrusal Oranlı Programlama (Linear Fractional Programming) karar verme tekniklerinden birisi olup amaç fonksiyonu iki doğrusal terimin oranı olarak ifade edilmektedir.

$$\text{Max } Z = \frac{c^*x + \alpha}{d^*x + \beta} \quad (3.4)$$

Kısıtlar;

$$A^*x = b \quad (3.5)$$

$$x \geq 0 \quad (3.6)$$

Denklem 3.4’de α ve β bilinenen sabitler, c ve d bilinen vektörlerdir.

Amaç fonksiyonu konveks ya da konkav olmamasına rağmen optimal çözüm bütün kısıtları sağlayan bölgenin köşe noktalarından birinde bulunmaktadır.

Karar değişkenlerinin tümünün ya da bir kısmının tamsayı değerler almak zorunda olduğu, doğrusal programlamanın bir uzantısı olan, tamsayılı doğrusal programlamanın çözüm yöntemlerinden en kolayı problemin tamsayı kısıtını kaldırıp sadece doğrusal programlama olarak çözmek ve çıkan sonucu tamsayıya yuvarlamaktır. Buna doğrusal programlama gevşetmesi de denir.

Genel doğrusal olmayan programlama problemleri doğrusal formda olmayan amaç fonksiyonuna ve/veya bir ya da daha çok sayıda doğrusal olmayan kısıta sahiptir. Doğrusal olmayan problemlerin çözümünde kullanılan matematiksel algoritmalar doğrusal programlama problemlerin çözümünde kullanılan algoritmalardan oldukça farklıdır.

4. TRAFİK AKIŞI

Trafik akışı modelleme araştırmaları, Ligthill ve Whitham'ın (1955) birlikte yayınladıkları 'Trafik Akışının Dinamik Dalgaları' başlıklı makalesi ile başlamıştır. Bu makaledeki çalışma, akışkanların içinde yer alan parçaların hareketleri ile trafik akışında seyreden araçların hareketlerinin birbirlerine benzemesine dayanmaktadır. Bu çalışmadan sonra, trafik akışının matematiksel tanımı trafik mühendisleri için her zaman bir araştırma ve müzakere konusu olmuştur (Barnhart, Laporte, 2007).



Şekil 4.1 Araçlar arasındaki boşluk

Trafik akışının matematiksel tanımlamasında Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de gösterilen araçlar arasındaki boşluk ve açıklık mesafeleri araçların ortalama hızlarına göre öngörülür ve trafikte takip mesafesi olarak tanımlanır. Karayolunda, aynı şeritte birbiri ardında hareket halinde olan iki araç arasındaki mesafeye takip mesafesi denir. Bu mesafe, aracın kilometre cinsinden saatteki hızının en az yarısı kadar metre olmalıdır (www.trafikkurallari.com). Daha sonra bu veriler ışığında hatlardaki trafik yoğunluğu diğer adı ile trafik akışı (birim zamanda geçen araç sayısı) hesaplanır.

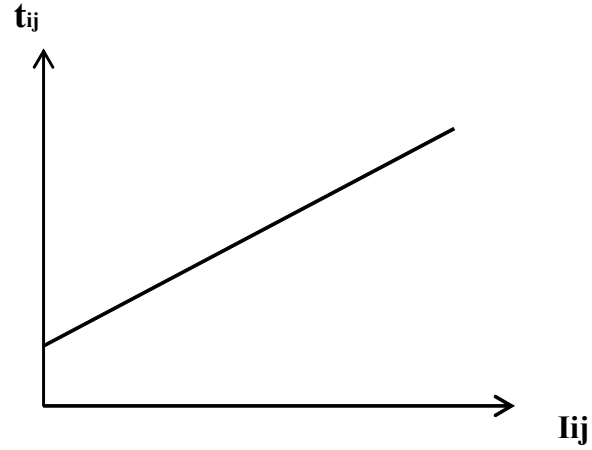


Şekil 4.2 Araçlar arasındaki açıklık

Otoban veya yolların planlanması esnasında, trafik mühendisleri; sistemdeki her hat için seyahat zamanını ve Şekil 4.3 de ifade edilen trafik yoğunluğunu tahmin etmek için bazı modeller kullanır. Trafik mühendisleri her hat için tahmin edilen ortalama geçirilen zamanı, hatlar üzerindeki trafik yoğunluğuna bağlı (doğrusal artan) fonksiyon olarak öngörürler ve bu bağlantının grafik olarak ifadesi Şekil 4.4’de belirtilmiştir.



Şekil 4.3 Trafik yoğunluğu



Şekil 4.4 Trafikte geçirilen zamanın hatlar üzerindeki trafik yoğunluğuna bağlı fonksiyon grafiği

Şekil 4.4 de ifade edilen fonksiyonun denklem olarak ifadesi;

$$t_{ij} = a_{ij} * I_{ij} + b_{ij} \quad (4.1)$$

Denklem 4.1'de t_{ij} , araçların i ve j hatları arasında geçirdikleri zamanı, I_{ij} trafik yoğunluğunu, a_{ij} trafik yoğunluğunun kat sayısını ve b_{ij} trafik yoğunluğuna bağlı zaman fonksiyonunda sabit sayıyı ifade etmektedir.

Trafik akışı modelleri iki ayrı kategoride incelenmektedir. Bunlardan; Şekil 4.5'de örnek olarak resimlenen kesintisiz akış modelindeki araç sürücüleri sadece diğer araç sürücüleri ile etkileşim içerisindedirler. Bu akış modelinde araç sürücüleri; hiçbir trafik ışığına, yaya geçidine ve buna benzer duraksamalara sebep olan kontrol noktalarına rastlamaksızın yol alırlar. Bu akış modeline en uygun örnekler çevreyolları, çok şeritli yollar, iki şeritli yollardır (Öngel, 2011).



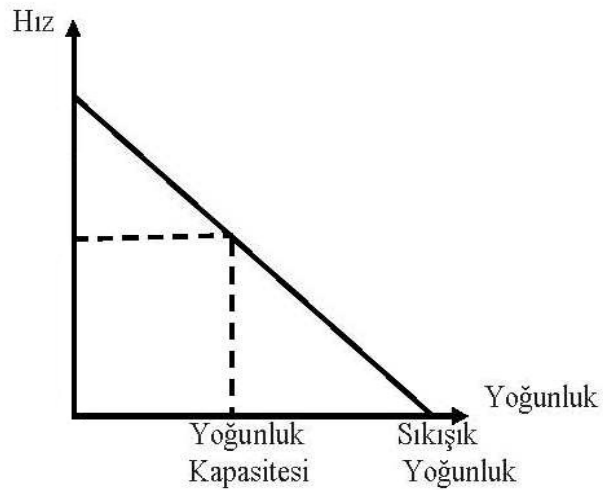
Şekil 4.5 Kesintisiz akış modeli

Kesintili akış modellerinde ise araç sürücüleri; Şekil 4.6’da örnek resimde görüldüğü gibi trafik kontrolleri, dur işaretleri, yaya geçitleri, ara yollara dönme noktasında dur ikazları, ara yol bağlantılarının bulunduğu noktalarda birçok kontrole maruz kalırlar (Öngel A., 2011).



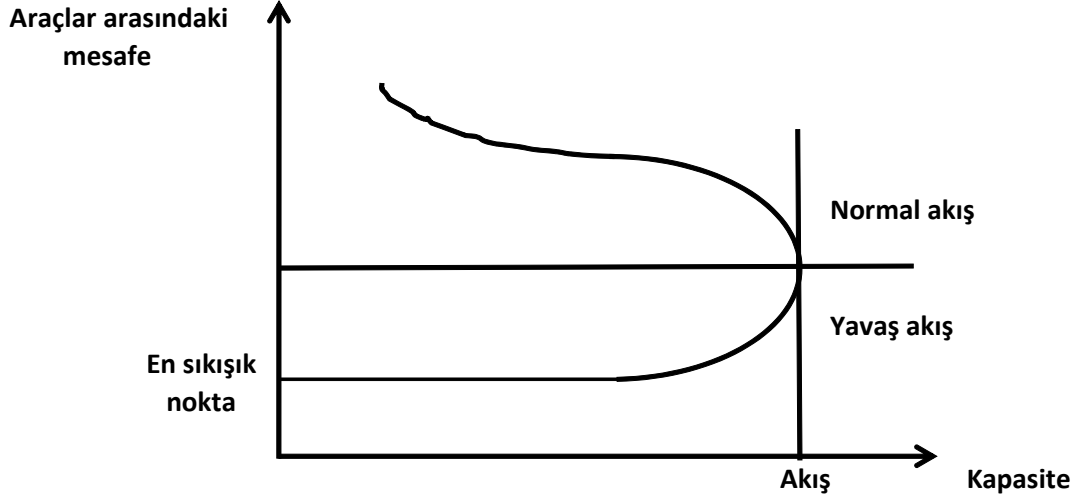
Şekil 4.6 Kesintili akış modeli

Yapılan araştırmalar sonucunda araçların ortalama hızları ile trafik yoğunluğu arasında doğrusal bir bağlantı olduğu varsayılır. Bu bağlamda trafik yoğunluğu arttıkça, araçların ortama hızları düşmektedir (Paquette ve diğerleri, 1982). Hız ve yoğunluk arasındaki bu ters orantı Şekil 4.7’de grafik olarak belirtilmiştir.



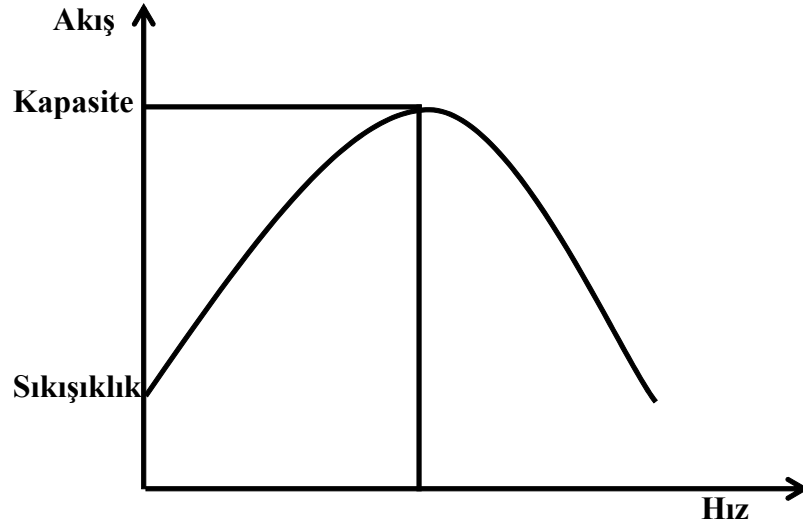
Şekil 4.7 Araçların ortalama hızları ile trafik yoğunluğu arasındaki bağlantı

Araçlar arasındaki mesafe (takip mesafesi) ile hat kapasitesi (yoğunluk) arasındaki bağlantı ise Şekil 4.8’de grafik çizimi ile anlatılmıştır. Burada en sıkışık nokta, araçlar arasındaki mesafenin olabilecek en düşük noktasıdır ki bu değer belli bir yoğunluğa kadar sabit gider. Kapasite, akışın sağlanabildiği en son noktaya kadar artar ve bu nokta kapasitenin en yüksek seviyesidir. Bu noktadan sonra mesafe arttıkça yoğunluk azalmaya başlar.



Şekil 4.8 Araçlar arasındaki mesafe ile hatlardaki kapasite arasındaki ilişki

Akış miktarları ile araçların hızları arasındaki bağlantı ise Şekil 4.9’da grafik halinde gösterilmiştir. Burada akış, araçların hızları ile belli bir noktaya kadar (kapasite) doğrusal orantılı olarak artarken, yine bu noktadan sonra akış, hız ile ters orantılı olarak azalmaya başlar.

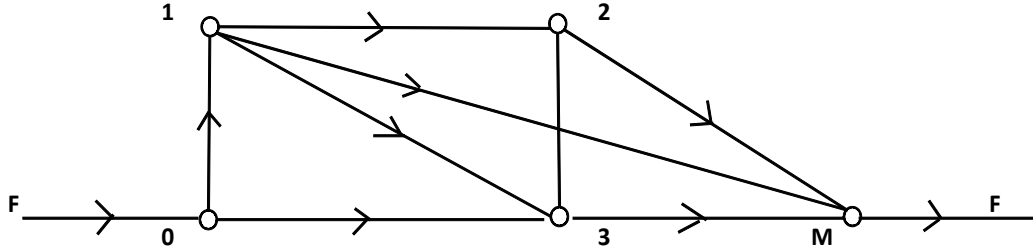


Şekil 4.9 Araçların akış değerleri ile araçların hızları arasındaki ilişki

5. ULAŞTIRMA AĞ MODELLERİNİN (TRAFİK AKIŞININ) ENİYİLEMESİ

Ulaştırma ağ modelinde eniyileme, iki nokta arasındaki en fazla akışı bulmayı gerektirir. En basit ulaştırma ağ modellerinde başlangıç (kaynak) ve bitiş (hedef) düğümleri vardır ve bu düğümleri birbirine bağlayan hatların üstünden birim zamanda gerçekleşebilecek akışın kapasitesi bellidir (Can, 2010)

Şekil 5.1 Ulaştırma ağı modeline bir örnektir.



Şekil 5.1 Ulaştırma ağı modeli örneği

F, toplam iletilen tutar.

F_{ij} : i düğümünden j düğümüne taşıma kapasitesi.

X_{ij} (negatif değer almayan) ij hattındaki akım ise,

Amaç fonksiyonu;

$$\mathbf{Max F} \quad (5.1)$$

Kaynak düğümündeki süreklilik;

$$\sum (X_{0j} - X_{j0}) = F \quad (5.2)$$

Hedef düğümündeki süreklilik;

$$F = \sum (X_{jM} - X_{Mj}) \quad (5.3)$$

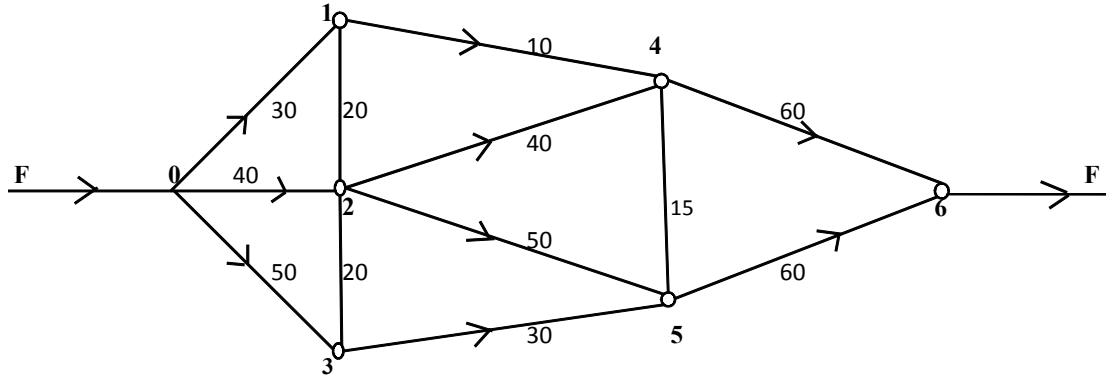
Bütün ara düğümler için süreklilik;

$$X_{ij} - X_{ji} = 0 \quad (5.4)$$

Bütün ara düğümler için hat kapasiteleri;

$$X_{ij} \leq F_{ij} \quad (5.5)$$

Bu modellemenin formülasyonu, Şekil 5.2’de hat kapasiteleri verilen örnek ağ modeline uygulanmıştır.



Şekil 5.2 Hat kapasiteleri belli olan ulaştırma ağ modeli örneği

Hatlardaki rakamlar trafik akım kapasitelerini göstermektedir. Hat üzerindeki oklar da trafik yönlerini göstermektedir. Bu problemde amaç, akış yönü belli olmayan hatlara varsa “tek yön” levhası koyarak trafik akışını en üst seviyeye çıkarmaktır.

Burada yapılacak en kolay çözüm akış yönü olmayan hatları iki yönde aynı kapasiteleri olan iki hat ile değiştirmektir. Bu negatif değeri alabilen karar değişkenlerini iki negatif olmayan değişken ile değiştirmeye benzerdir.

$$X_{12} \text{---} \implies X_{12} - X_{21}$$

$$X_{23} \text{---} \implies X_{23} - X_{32}$$

$$X_{45} \text{---} \implies X_{45} - X_{54}$$

Çözümdeki değerlere göre “tek yön” levhası yerleştirilir.

Yukarıdaki trafik akımı en iyilemesi problemlerinde amaç, trafik akışını en üst seviyeye çıkarmaktır. Bu modellemede amaç fonksiyonu doğrusal olup; doğrusal programlama ile çözülebilir.

5.1 Trafik Akışının Eniyilemesinde Kuadratik Programlamanın Uygulanması

Trafik akımının eniyilemesi problemlerinde diğer bir amaç da; ulaşım ağında seyreden araçların; ulaşım ağının bir ucundan (kaynak) diğer bir ucuna (hedef) giderken geçen zamanı en az seviyeye indirmektir. Bu modelde ilk olarak her bir network ağında araçların; trafik yoğunluklarına göre doğrusal zaman denklemleri elde edilir. Daha sonra amaç fonksiyonu; her bir aracın geçirdiği zamanın, ulaşım ağında seyreden toplam araç sayısı ile çarpımının en az seviyeye düşürülmesi olarak ifade edilir. Bu model ile ulaşım ağına giren araçların bir ucundan diğer ucuna giderken harcadıkları zamanın en az olması sağlanır.

$$t_{ij} = a_{ij} * I_{ij} + b_{ij} \quad (4.1)$$

$$\text{Min } F = \sum_i \sum_j t_{ij} * I_{ij} \quad (5.6)$$

$$\text{Min } F = \sum_i \sum_j (a_{ij} * I_{ij} + b_{ij}) * I_{ij}$$

Kısıtlar;

- 1) Ara düğümlerdeki süreklilik;

$$\sum_i I_{ij} - \sum_j I_{ji} = 0 \quad (5.7)$$

- 2) Ara düğümler için hat kapasiteleri;

$$I_{ij} \leq I_{ij} \text{ max} \quad (5.8)$$

- 3) $I_{ij} \geq 0$ $i=1,2,..n$ ve $j=1,2,..n$ (5.9)

Amaç fonksiyonunun ikinci derece, Tablo 5.1’de ifade edildiği gibi yarı pozitif ve kısıtların doğrusal denklem olması dolayısıyla bu modellemenin kuadratik programlamada çözümü vardır.

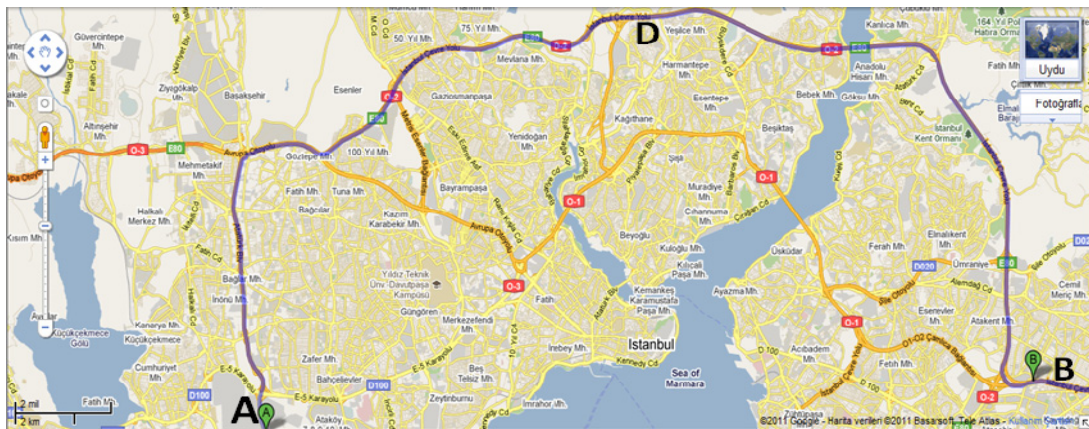
Tablo 5.1 Yarı pozitif amaç fonksiyonunun matris hali

$$F = \begin{matrix} & I_1 & \dots & I_m & I_{m+1} & \dots & \dots & I_{m+n} \\ I_1 & a_{11} & & & & & & \\ \cdot & & \cdot & & & & & \\ \cdot & & & & & & & \\ I_m & & & \cdot & & & & \\ \cdot & & & & & & & \\ I_{m+1} & & 0 & & a_{ij} & & & \\ \cdot & & & \cdot & & & & \\ \cdot & & & & & & & \\ I_{m+n} & & & & 0 & & & \cdot \end{matrix}$$

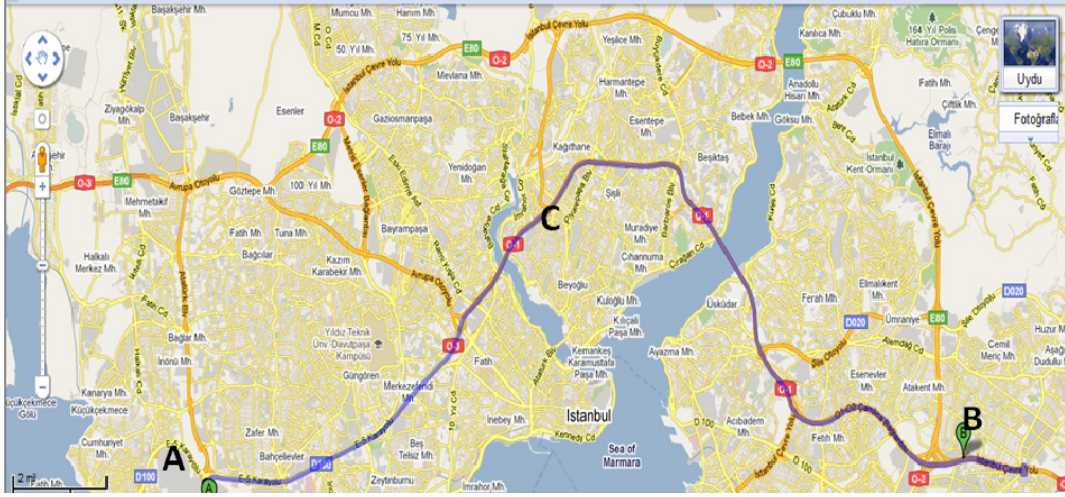
Köşegen olmayan elemanlar '0'.

Bütün bu aşamalar ayrıntılı bir şekilde örnek bir model üzerinde çalışılarak anlatılmıştır. Bunun için seçilen örnek model olarak, bütün yatırımlar ve çalışmalara rağmen hala çözülmemeyen İstanbul trafiği ele alınacaktır.

Sırasıyla Şekiller 5.3, 5.4 ve 5.5’de belirtilen haritalarda işaretlenen hatlar, şekil 5.6’de çizimi verilen network ağına ait hatların harita üzerindeki ifade şeklidir.



Şekil 5.3 AD ve DB hatlarının harita üzerinde gösterimi

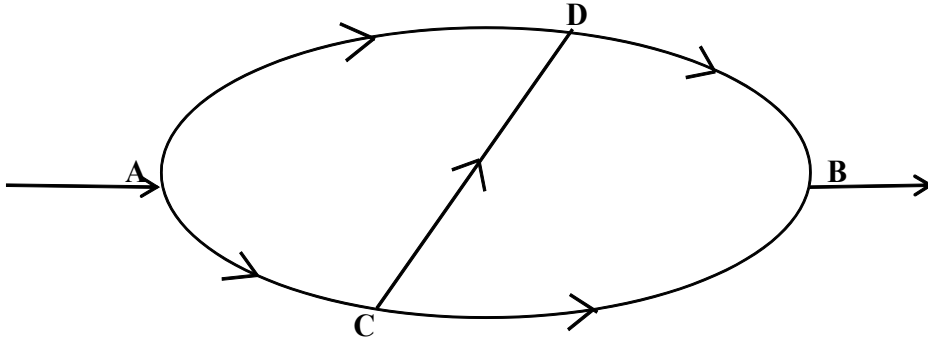


Şekil 5.4 AC ve CB hatlarının harita üzerinde gösterimi



Şekil 5.5 AC, CD ve DB hatlarının harita üzerinde gösterimi

Şekil 5.6’de çizimi verilen bu örnek çalışmada, üzerinde çalışılan network ağının başlangıç noktası; Avrupa yakasında yer alan ve trafik akışının yoğun yaşandığı Atatürk havalimanı, varış noktası ise Anadolu yakasında yer alan ve trafik yoğunluğunun oldukça azaldığı Ataşehir kavşağı olarak alınmıştır. Network ağının temsil ettiği yolların büyük bölümü; yoğunluğun en çok yaşandığı Avrupa yakasında yer alan ana arterlerdir. Araçların trafiği tek noktadan girdiği ve tek noktadan çıkacağı varsayılmıştır.

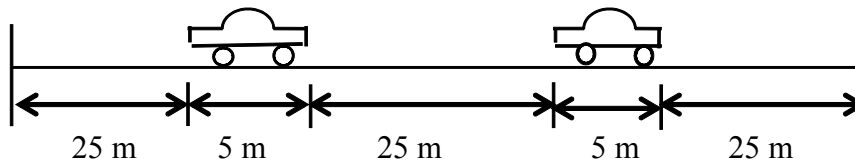


Şekil 5.6 İstanbul için oluşturulan kısmi ulaştırma ağı modeli

AD yolu : 23.3 km , 2 şeritli

Şekil 5.6'de İstanbul için oluşturulan kısmi ulaştırma ağında A noktası Atatürk havalimanını, D noktası Hasdal kavşağını işaret etmektedir. AD yolu boyunca şerit sayısı temde bazı yerlerde dörde çıksa da Atatürk Bulvarı'nın teme bağlantı kavşağında şerit sayısı ikidir. Bu 600 m'lik mesafede meydana gelebilecek sıkışıklık bütün bir yolu etkileyeceği için AD yolunun kapasite çalışması, bu yol baz alınarak yapılır.

Genel itibariyle her yol için ayrı olarak; araçların geçirdikleri zaman ve trafik akışı (araç sayısı) arasında doğrusal bir denklem oluşturulmuş. Trafik kurallarına göre (www.trafikkurallari.com) bir aracın ortalama hızı km/sa olarak düşünüldüğünde, önündeki araç ile mesafesi hızının 'm' cinsinden en az yarısı olması gerekmektedir. Buna göre; araçların ortalama hızları 50 km/sa alındığında, AD yolunun tıkanıklılığa meydan vermeden, kapasitesinin en fazla olduğu durumu oluşturacağı varsayılır. Şekil 5.7'de çizimi verilen araçların arasındaki mesafe yukarıda belirtilen kurala göre 25 m olarak alınır ve araçların ortalama uzunlukları da 5 m alındığında;



Şekil 5.7 Araçların hat boyunca sıralanış mesafeleri

$25m + 5m = 30m$ 'de bir araç yerleştirilirse;

$$23300m / 30m \approx 766 \text{ araç}$$

AD yolu 2 şerit olarak düşünüldüğünden toplam araç sayısı,

$$766 * 2 = 1532 \text{ araçtır.}$$

Yukarıda da anlatıldığı gibi AD yolunun yoğunluğunun en fazla olduğu durumda araçların hızları ortalama 50km/sa olarak düşünülür.

Hızın 50 km/sa. olma durumunda AD yolunu alma zamanı;

$$t_{AD} = 23.3 / 50 = 0.46 \text{ sa.} * 60 \approx 27 \text{ dak.}$$

27 dakikada ilk araç geçerse;

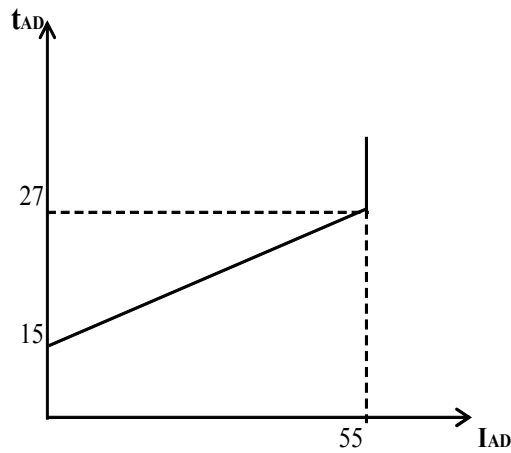
$$60 \text{ dakikada; } (60 / 27) * 1532 = 3400 \text{ araç / saat geçer.}$$

Dakikada geçen araç sayısı ise; $3400 / 60 \approx 55 \text{ araç / dak.}$

Trafik yoğunluğunun en az olduğu durumda ise araçların ortalama hızları saatte 90 km/sa (azami hız limiti) olarak alınır.

Hızın 90km/sa olma durumunda AD yolunu alma zamanı;

$$t_{AD} = 23.3 / 90 = 0.26\text{sa} * 60 \approx 15 \text{ dak.}$$



Şekil 5.8 Araçların, AD yolu boyunca trafik akışına bağlı seyahat zamanı grafiği

Şekil 5.8’de AD yolu için oluşturulan grafiğin denklem olarak ifadesi;

$$t_{AD} = a * I_{AD} + b$$

$$15 = a * 0 + b$$

$$b = 15$$

$$27 = 55 * a + 15$$

$$a = 0.2181$$

$$t_{AD} = 0.2181 * I_{AD} + 15 \quad (5.10)$$

Şekil 5.6’de çizimi verilen ulaştırma ağında belirtilen diğer hatlar için mesafe, konum ve hesaplanmış zaman denklem verileri Tablo 5.3’de ifade edilmektedir. Hatlar için Tablo 5.3’de ifade edilen trafik akışlarına bağlı zaman denklemleri kullanılarak amaç fonksiyonu ve düğüm noktalarındaki süreklilik, hat kapasiteleri göz önünde tutularak kısıtlar Tablo 5.2’de ifade edildiği şekilde oluşturulur.

Kısıtlarda yer alan ‘F’, başlangıç noktası olarak işaretlenen A noktasından (Atatürk havalimanı) ulaştırma ağına giren akış miktarıdır (araç sayısı).

Tablo 5.2 Kısmi İstanbul ulaştırma ağı modeline uygulanan kuadratik programlama eniyileme formülasyonu

Minimize
$Z = [0.2181*(I_{AD})^2+15*I_{AD}]+[0.0952*(I_{AC})^2+10*I_{AC}]+[0.1454*(I_{DB})^2+11*I_{DB}]$ $+[0.1204*(I_{CB})^2+13*I_{CB}]+[0.0363*(I_{CD})^2+4*I_{CD}]$
Kısıtlar
1. $I_{AD} + I_{AC} = F$
2. $I_{AC} - I_{CD} - I_{CB} = 0$
3. $I_{AD} + I_{CD} - I_{DB} = 0$
4. $I_{DB} + I_{CB} = F$
5. $I_{AD} \leq 55$
6. $I_{AC} \leq 84$
7. $I_{DB} \leq 110$
8. $I_{CB} \leq 83$
9. $I_{CD} \leq 55$
$I_{ij} \geq 0$ bütün hatlar için

Tablo 5.3 İstanbul için oluşturulmuş kısmi ulaştırma ağı modeline ait hatların verileri

HATLAR	MESAFE	ŞERİT SAYISI	TRAFİK AKIŞINA BAĞLI ZAMAN FONKSİYONU	KONUMU
AD	23.30 km	2	$t_{AD} = 0.2181 * I_{AD} + 15$	Atatürk Havalimanı - Hasdal Kavşağı arası (Tem)
AC	15.30 km	3	$t_{AC} = 0.0952 * I_{AC} + 10$	Atatürk Havalimanı - Okmeydanı Kavşağı arası (E5)
DB	22.70 km	4	$t_{DB} = 0.1454 * I_{DB} + 11$	Hasdal Kavşağı - Ataşehir Kavşağı arası (Tem)
CB	19.30 km	3	$t_{CB} = 0.1204 * I_{CB} + 13$	Okmeydanı Kavşağı - Ataşehir Kavşağı arası (E5)
CD	5.0 km	2	$t_{CD} = 0.0363 * I_{CD} + 4$	Okmeydanı Kavşağı - Ataşehir Kavşağı arası

5.2. Modelin Çözümü

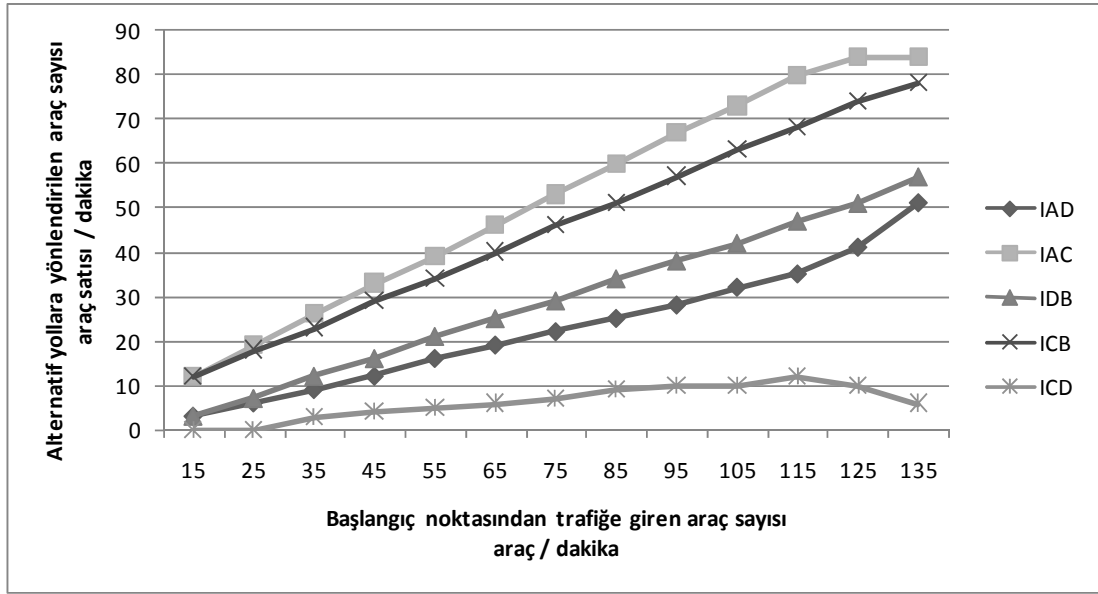
Oluşturulan örnek ulaştırma ağı modelinde başlangıç noktası olarak belirlenen havaalanından trafiğe dakikada giren araç sayısına göre, bitiş noktasına en kısa zamanda sıkışıklığa meydan vermeden ulaşımı sağlamak için oluşturulan alternatif hatların almaları gereken en iyi akış miktarları bilgisayar destekli Lingo (Lindo systems, www.lindo.com) paket programı ile hesaplanmıştır.

Tablo 5.4 Trafik akış tablosu

F	IAD	IAC	IDB	ICB	ICD
15	3	12	3	12	0
25	6	19	7	18	0
35	9	26	12	23	3
45	12	33	16	29	4
55	16	39	21	34	5
65	19	46	25	40	6
75	22	53	29	46	7
85	25	60	34	51	9
95	28	67	38	57	10
105	32	73	42	63	10
115	35	80	47	68	12
125	41	84	51	74	10
135	51	84	57	78	6

Tablo 5.4 de F kolonu başlangıç noktasından ulaştırma ağına akan trafik akış miktarlarını ifade etmekte ve aşağı doğru artmaktadır. $F = 139$ dak./araç sayısı, bu örnek ulaştırma ağında F'nin alabileceği en fazla dakikada trafiğe giren araç sayısıdır ve bu veriye; belli öngörülere dayanılarak yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen AC ve AD hatlarının kapasitelerinin toplamı ile ulaşılmıştır. Fakat bu hat kapasitesinin üzerine çıktığında sistem, tıkanma olmadan eniyileme işlemini gerçekleştirememektedir.

Yapılan hesaplamalar sonucu Tablo 5.4 de alternatif yolların en iyi akış miktarları belirtilmiş ve Şekil5.9'da grafik şeklinde ifade edilmiştir. Şekil 5.9'da görüldüğü gibi trafik akışının az olduğu durumlarda AD yoluna araç yönlendirilmemiş, trafik yoğunluğu arttıkça AD yolu devreye alınmış fakat belli bir yoğunluktan sonra tekrar sistem tarafından AD yoluna yönlendirilen araç sayısında azalmaya gidildiği saptanmıştır.

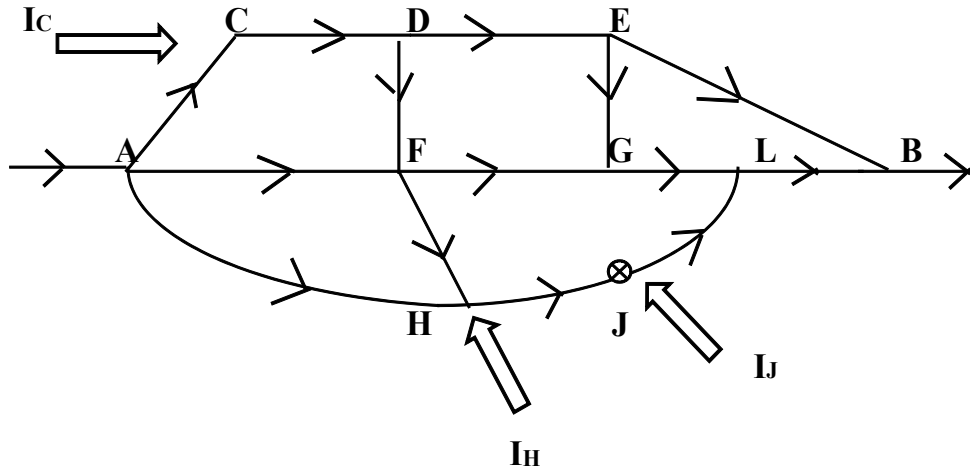


Şekil 5.9 Değişen trafik akışlarına göre alternatif yolların aldığı eniyi akış değerlerini veren grafik

Yukarıda Tablo 5.4'de belirtilen alternatif hatlar için elde edilen araç akışlarına göre trafik yönetildiğinde, ulaştırma ağında seyreden araçlar, gidilecek hedef noktasına, sıkışıklığa uğramadan olabilecek en kısa zamanda ulaşmış olurlar.

6. MODELİN GENİŞLETİLMESİ

Bu çalışmada geliştirilen modelin İstanbul trafiğine daha ayrıntılı olarak uygulanmış hali Şekil 6.1’de gösterilmektedir.



Şekil 6.1 İstanbul için geliştirilen ulaştırma ağı modeli

Model, sisteme giriş/çıkış noktalarının artırılması ve neticesinde düğüm sayısının fazlalılığı ile oluşturulmuştur. Daha önce İstanbul trafiği için oluşturulan kısmi ulaştırma ağında uygulanan formülasyon hesaplamaları ve çözüm yöntemi aynı şekilde, yine İstanbul trafiği için geliştirilmiş bu modele de uygulanabilir. Geliştirilen bu modelin hatlarının harita üzerinde gösterimi sırasıyla Şekil 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6 ve 6.7’de belirtilmiştir.



Şekil 6.2 AC, CD, DE ve EB hatlarının harita üzerinde gösterimi



Şekil 6.3 AF, FG, GL ve LB hatlarının harita üzerinde gösterimi



Şekil 6.4 AC, CD, DF, FG, GL ve LB hatlarının harita üzerinde gösterimi



Şekil 6.5 AC, CD, DE, EG, GL ve LB hatlarının harita üzerinde gösterimi



Şekil 6.6 AF, FH, HJ, JL ve LB hatlarının harita üzerinde gösterimi



Şekil 6.7 AH, HJ, JL ve LB hatlarının harita üzerinde gösterimi

Haritalarda gösterilen ulaştırma ağına ait hatlar için mesafe, konum ve hesaplanmış zaman denklem verileri Tablo 6.2’de ifade edilmektedir. Hatlar için Tablo 6.2’de ifade edilen trafik akışlarına bağlı zaman denklemleri kullanılarak amaç fonksiyonu, düğüm noktalarındaki süreklilik ve hat kapasiteleri göz önünde tutularak kısıtlar Tablo 6.1’de ifade edildiği şekilde oluşturulur.

Kısıtlarda yer alan ‘F’ A noktasından (Atatürk havalimanı), ‘I_C’ C noktasından (Tem bağlantısı), ‘I_H’ H noktasından (İDO Yenikapı feribotu), ‘I_J’ J noktasından (Sirkeci-Harem feribotu) ulaştırma ağına giren trafik akış miktarlarıdır.

Tablo 6.1 Geliştirilmiş İstanbul ulaştırma ağı modelinin eniyilemesinde kuadratik programlamanın formülasyonu

Minimize	
$Z = [(0.0943 * I_{AC} + 7) * I_{AC}] + [(0.0099 * I_{CD} + 2) * I_{CD}] + [(0.0849 * I_{DE} + 6) * I_{DE}]$ $+ [(0.1495 * I_{EB} + 12) * I_{EB}] + [(0.0897 * I_{AF} + 8) * I_{AF}] + [(0.0247 * I_{FG} + 3) * I_{FG}]$ $+ [(0.0395 * I_{GL} + 5) * I_{GL}] + [(0.0864 * I_{LB} + 9) * I_{LB}] + [(0.0987 * I_{AH} + 11) * I_{AH}]$ $+ [(0.0625 * I_{HJ} + 3) * I_{HJ}] + [(0.0784 * I_{JL} + 5) * I_{JL}] + [(0.098 * I_{DF} + 7) * I_{DF}]$ $+ [(0.0363 * I_{EG} + 4) * I_{EG}] + [(0.037 * I_{FH} + 4) * I_{FH}]$	
Kısıtlar;	
1) $I_A - I_{AC} - I_{AF} - I_{AH} = 0;$	12) $I_{AC} \leq 53$
2) $I_C - I_{CD} - I_{AC} = 0;$	13) $I_{CD} \leq 101$
3) $I_{CD} - I_{DE} - I_{DF} = 0;$	14) $I_{DE} \leq 106$
4) $I_{DE} - I_{EG} - I_{EB} = 0;$	15) $I_{EB} \leq 107$
5) $I_{AF} + I_{DF} - I_{FG} - I_{FH} = 0;$	16) $I_{AF} \leq 83$
6) $I_{LB} - I_{GL} - I_{JL} = 0;$	17) $I_{FG} \leq 81$
7) $I_{FG} + I_{EG} - I_{GL} = 0;$	18) $I_{GL} \leq 76$
8) $I_H + I_{AH} + I_{FH} - I_{HJ} - I_{HN} = 0;$	19) $I_{LB} \leq 81$
9) $I_J + I_{HJ} - I_{JL} - I_{JN} = 0;$	
10) $I_B - I_{LB} - I_{EB} = 0;$	
11) $I_A + I_C + I_H + I_J - I_B - I_{HN} - I_{JN} - I_{CN} = 0;$	
$I_{ij} \geq 0$ bütün ij hatlar için	

Tablo 6.1’de ifade edilen ‘I_{CN}’, ‘I_{HN}’, ‘I_{JN}’ sırasıyla geliştirilmiş ulaştırma ağında ‘C’, ‘H’ ve ‘J’ noktalarında modelden çıkan trafik akış miktarlarıdır.

Tablo 6.2 İstanbul için geliştirilmiş ulaştırma ağı modeline ait hatların verileri

HATLAR	MESAFE	ŞERİT SAYISI	TRAFİK AKIŞINA BAĞLI ZAMAN FONKSİYONU	KONUMU
AC	9.60 km	2	$t_{AC} = 0.0943 * I_{AC} + 7$	Atatürk Havalimanı - Atatürk Bulvarı Kavşağı arası
CD	2.30 km	4	$t_{CD} = 0.0099 * I_{CD} + 2$	Atatürk Bulvarı kavşağı - Mahmutbey Doğu çıkışı arası
DE	12.0 km	4	$t_{DE} = 0.0849 * I_{DE} + 6$	Mahmutbey Doğu çıkışı - Hasdal Kavşağı arası
EB	22.70 km	4	$t_{EB} = 0.1495 * I_{EB} + 12$	Hasdal kavşağı - Ataşehir Kavşağı arası
AF	11.70 km	3	$t_{AF} = 0.0897 * I_{AF} + 8$	Atatürk Havalimanı - Vatan cad. Kavşağı arası
FG	4.10 km	3	$t_{FG} = 0.0247 * I_{FG} + 3$	Vatan cad. kavşağı - Okmeydanı Kavşağı arası
GL	6.10 km	3	$t_{GL} = 0.0395 * I_{GL} + 5$	Okmeydanı kavşağı - Barbaros Bulvarı Kavşağı arası
LB	13.0 km	3	$t_{LB} = 0.0864 * I_{LB} + 9$	Barbaros Bulvarı kavşağı - Ataşehir Kavşağı arası
AH	15.60 km	3	$t_{AH} = 0.0987 * I_{AH} + 11$	Atatürk Havalimanı - İDO Yenikapı Feribotu arası (sahil yolu)
HJ	4.40 km	2	$t_{HJ} = 0.0625 * I_{HJ} + 3$	İDO Yenikapı Feribotu - Sirkece Harem Feribotu arası (sahil yolu)
JL	7.0 km	2	$t_{JL} = 0.0784 * I_{JL} + 5$	Sirkeci Harem Feribotu - Barbaros Bulvarı Kavşağı arası
DF	9.30 km	2	$t_{DF} = 0.098 * I_{DF} + 7$	Mahmutbey Doğu çıkışı - Vatan cad. Kavşağı arası
EG	5.0 km	2	$t_{EG} = 0.0363 * I_{EG} + 4$	Hasdal Kavşağı - Okmeydanı Kavşağı arası
FH	4.90 km	2	$t_{FH} = 0.037 * I_{FH} + 4$	Vatan cad. Kavşağı - İDO Yenikapı Feribotu

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ulaştırma ağı modelinin formülasyonun oluşturulması sırasında hesaplanan maksimum akış kapasitesinin aşılmaması için yan yolların ana arterlere bağlantı noktalarına kontrol mekanizmaları (trafik lambaları, görevli trafik polisi vb) konulabilir. Bu durumda mevcut olan ulaştırma ağının maksimum akış kapasitesine ulaşıldığında, kontrol mekanizmaları devreye sokulur ve bu noktalardan trafiğe akış yavaşlatılır. Bu noktalarda trafik lambalarının çalışma düzeninin insansız olarak gerçekleştirilmesi, ulaştırma ağına giren araçların sayımını yapan ve bu sayım sonuçlarını sistemdeki ulaştırma trafik ağına katılım noktalarındaki trafik lambalarına ileten bir sistemle sağlanabilir. Bu sistemin çalışması için bir bilgisayar programı geliştirilebilir.

Yukarıda ifade edilen kontrollerden başka, farklı trafik akışlarına göre elde edilmiş eniyileme sonuçlarının uygulanmasında, İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nden de hizmet amacı ile yardım alınarak belirlenen ideal yerlere ışıklı panolar yerleştirilebilir. Bu ışıklı panolarda, ulaştırma ağına katılan araç sayılarına göre mevcut olan alternatif yolların hesaplanmış eniyileme sonuçlarına göre yönlendirilmeler ifade edilebilir. Bütün bu sistemin birbirleriyle entegre şekilde çalışabilirliğini sağlamak için yani ulaştırma ağına katılan araç sayısının okunması ve bu verinin Lingo paket programına aktarılması ve programın çözümünde elde edilen sonuçların panolarda yazdırılması gibi işlemlerin yerine getirilmesini sağlayan bir otomasyon sistemi geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

Aboudolas K. , Papageorgiou M. , Kouvelas A. & Kosmatopoulos E. (2010) A Rolling-Horizon Quadratic-Programming Approach To The Signal Control Problem In Large-Scale Congested Urban Road Networks, Transportation Research Part C 18. pp. 680 – 694.

Barnhart C. and Laporte G. (2007) Handbook in OR & MS, Vol. 14.

Can, Emre K. (1985) Quadratic Programming Solution to Cost – Time Trade Off For CPM, Proceedings Of The 12th IASTED International Conference : Applied Simulation and Modelling, ASM '85, Edited by D. Koval and M.H. Hamza, Montreal, Canada, pp. 236 – 256.

Can Emre K. (2010) İ.K.Ü, Civil Engineering Department, Lecture Notes.

Darbha S. and Rajagopal K. R. (1999) Intelligent Cruise Control Systems And Traffic Flow Stability, Transportation Research Part C 7, pp. 329 – 352.

Easa S. and E. K. Can, (1985) Optimization Model for Aggregate Blending, Journal of Construction Engineering & Management, ASCE, Vol. 111(3), pp. 216 – 234.

Florian, M., (1977) An Improved Linear Approximation Algorithm For The Network Equilibrium (Packet Switching) Problem, Proceedings 1977 IEEE Conference Decision and Control.

Heydecker B. G. and Addison J. D. (2011) Analysis And Modelling of Traffic Flow Under Variable Speed Limits, Transportation Research Part C 19, pp. 206 – 217.

Lindo Systems (www.lindo.com) Optimization Software: Integer Programming, Linear Programming, Nonlinear Programming, Stochastic Programming, Global Optimization.

Lawler E. , Lenstra J. , Kan A. R. and Shmoys D. (1985) A Guider Tour of Combinatorial optimization, eds, Newyork, Wiley and sons

Leblanc L. J. , Morlok E.K. and Pierskalla W. P. (1975) An Efficient Approach to Solving The Road Network Equilibrium Traffic Assignment Problem, Transportation Research, Vol. 9, pp.309 – 318.

Lighthill, M. J. , Whitham and G. B. (1955) On Kinematic Waves II: A Traffic Flow Theory on Long Crowded Roads, Proceeding of the Royal Society of London series A 229, 317 – 345.

Öngel Aybike (2011) İ.K.Ü, Civil Engineering Department, Lecture Notes

Paquette R. J. , Ashford N. J. and Wright P. H. (1982) Transportation Engineering, Planning And Design, John Wiley & Sons, Inc. Newyork, second edition.

Propata M. and Uber J. G. (2004) Booster System Design Using Mixed-Integer Quadratic Programming, Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, pp. 348 – 352.

Revelle V. , Whitlatch and Wright J. (2004) Civil and Environmental Systems Engineering, second edition, Pearson, Prentice Hall Upper Saddle, River New Jersey 07458.

Ravindran A. , Phillips D. T. and Solberg J. J. (1987) Operations Research : Principles and Practice, second edition, John Wiley and sons, NewYork.

Schadschneider A. , Knospe W. , Santen L. and Schreckenberg M. (2005) Optimization of Highway Networks and Traffic Forecasting, Physica A 346, pp. 165 – 173.

Schrage L. (1991) Lindo, An Optimization Modeling System, Fourth Edition, The Scientific press.

Sipahioğlu A. & Saraç T. (2003) Lingo 6.0 Kullanım Kılavuzu, Osmangazi Üniversitesi Endüstri Müh. Bölümü, Eskişehir.

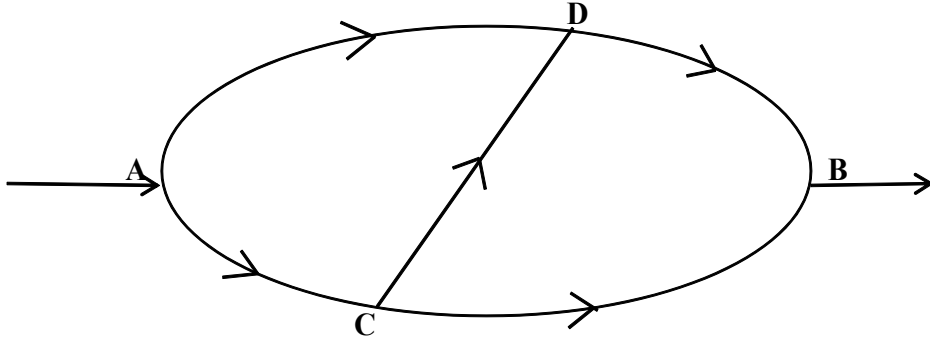
Steenbrink P. A. (1973) Transport Network Optimization in the Dutch Integral Transportation Study, Transportation Research, Vol. 8, pp. 11 – 27.

Ulucan A. (2004) Yöneylem Araştırması, İşletmecilik Uygulamalı / Bilgisayar Destekli Modelleme, Sayısal Kitabevi.

Yazıcıgil H. (1990) Optimal Planning and Operation of Multiaquifer system, Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, Vol. 116(4), July/August 1990.

Yılmaz E. and Köse C. (2008) Orta Ölçekli Trafik Ağlarının Geliştirilen Bir Yazılım ile Sümülasyonu ve Analizi, Akademik Bilişim

EK A. İstanbul İçin Oluşturulan Kısmi Ulaştırma Ağı Modelinin Formülasyonu



Şekil A.1. İstanbul için oluşturulan kısmi ulaştırma ağı modeli

Şekil A.1’de çizimi verilen ulaştırma ağı modeline ait tüm hatların formülasyon hesaplamaları sırasıyla yapılmıştır.

AC yolu : 15.3 km , 3 şeritli

AC yolundaki kapasitenin en fazla olduğu durumda araçların ortalama hızları 50 km /sa aralarındaki mesafe 30 m alındığında;

AC yolunun araç sayısı : $15300 / 30 = 510$ araç tek şeritte.

Üç şerit olduğundan $510 * 3 = 1530$ araç

Hızın 50 km /sa olduğu durumda;

Zaman = $15.3 / 50 = 0.31$ sa = $0.31 * 60 \approx 18$ dak.

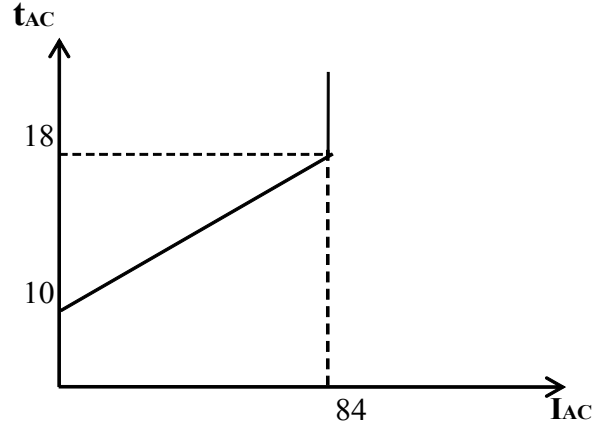
18 dakikada ilk araç geçerse;

60 dakikada $(60 / 18) * 1530 = 5090$ araç/saat geçer.

Dakikada geçen araç sayısı ise; $5090/60 = 84$ araç/dak

Hızın 90 km / sa olduğu durumda;

Zaman = $15.3 / 90 = 0.17$ sa * 60 ≈ 10 dak.



Şekil A.2 Araçların, AC yolu boyunca trafik akışına bağlı seyahat zamanı grafiği

Şekil A.2’de AC yolu için oluşturulan grafiğin denklem olarak ifadesi;

$$t_{AC} = 0.0952 * I_{AC} + 10 \quad (A.1)$$

DB yolu : 22.7 km , 4 şeritli

DB yolunun kapasitesinin en fazla olduğu durumda araçların ortalama hızları 50 km / sa ve aralarındaki mesafe 30 m alındığında;

DB yolunun kapasitesinin en fazla olduğu durumdaki araç sayısı;

$$22700 / 30 \approx 756 \text{ araç} * 4 = 3024 \text{ araç}$$

$$\text{Zaman} = 22.7 / 50 = 0.45 \text{ sa} \approx 27 \text{ dak.}$$

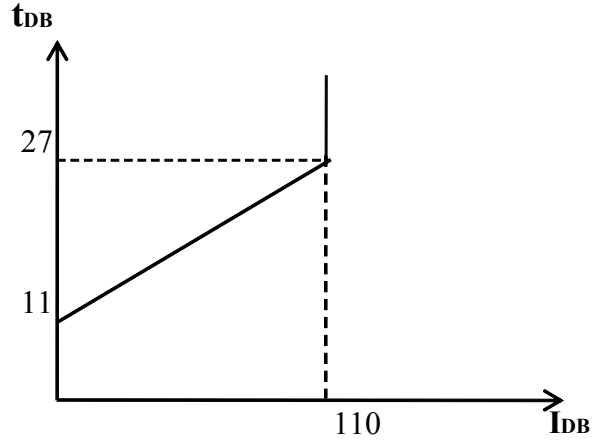
27 dakikada ilk araba geçerse;

$$60 \text{ dakikada } (60/27) * 3024 \approx 6713 \text{ araç/saat geçer.}$$

$$\text{Dakikada geçen araç sayısı ise } 6713/60 \approx 110 \text{ araç/dak.}$$

DB yolunun yoğunluğunun olmadığı durumda araçların ortalama hızları 120 km / sa (azami hız limiti) olarak alınır.

$$\text{Zaman} = 22.7 / 120 = 0.19 \text{ sa} * 60 \approx 11 \text{ dak.}$$



Şekil A.3 Araçların DB yolu boyunca trafik akışına bağlı seyahat zamanı grafiği

Şekil A.3'de DB yolu için oluşturulan grafiğin denklem olarak ifadesi;

$$t_{DB} = 0.1454 \times I_{DB} + 11 \quad (A.2)$$

CB Yolu : 19.3 km , 3 şeritli

Yoğunluğun en fazla olduğu durumda araçların ortalama hızları 50 km/sa ve araçların aralarındaki mesafe 30 m alındığında;

$$19300 / 30 = 643 \text{ araç} * 3 = 1929 \text{ araç}$$

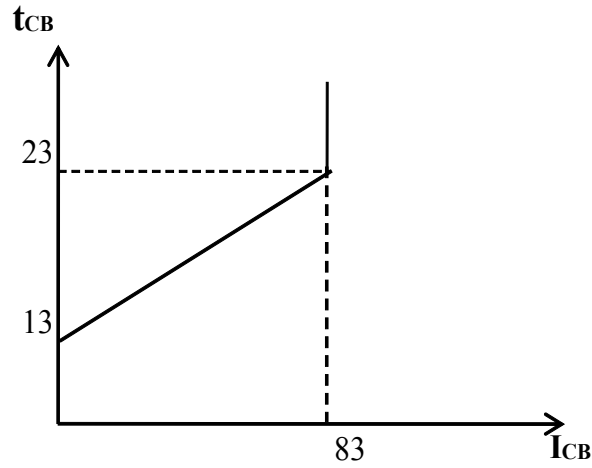
$$\text{Zaman} = 19.3 / 50 = 0.38 \text{ sa} \approx 23 \text{ dak.}$$

23 dakikada ilk araç geçerse;

$$60 \text{ dakikada } (60/23) * 1929 = 5015 \text{ araç/saat geçer.}$$

Dakikada geçen araç sayısı ise; $5015/60 = 83 \text{ araç/dak.}$

$$19.3 / 90 = 0.21 * 60 \approx 13 \text{ dak.}$$



Şekil A.4 Araçların CB yolu boyunca trafik akışına bağlı seyahat zamanı grafiği

Şekil A.4'de CB yolu için oluşturulan grafiğin denklem olarak ifadesi;

$$t_{CB} = 0.1204 * I_{CB} + 13 \quad (A.3)$$

CD yolu : 5 km , 2 şeritli

CD yolunun en yoğun olduğu durumda araçların ortalama hızları 50 km / sa ve aralarındaki mesafe 30 m olduğundan;

$$5000 / 30 = 166 \text{ araç} * 2 = 332 \text{ araç}$$

$$\text{Zaman} = 5 / 50 = 0.1 \text{ sa} * 60 \approx 6 \text{ dak.}$$

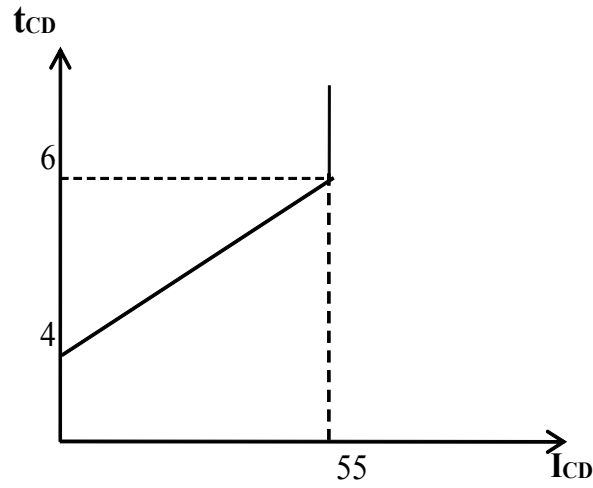
6 dakikada ilk araç geçerse;

$$60 \text{ dakikada } (60 / 6) * 332 = 3320 \text{ araç /saat geçer.}$$

$$\text{Dakikada geçen araç sayısı ise } 3320 / 60 \approx 55 \text{ araç / dak.}$$

CD yolunun yoğunluğunun en az olduğu durumda hız 90 km / sa alınır. Bu durumda;

$$\text{Zaman} = 5 / 90 = 0.06 \text{ sa} * 60 \approx 4 \text{ dak.}$$



Şekil A.5 Araçların CD yolu boyunca trafik akışına bağlı seyahat zamanı grafiği

Şekil A.5’de CD yolu için oluşturulan grafiğin denklem olarak ifadesi

$$t_{CD} = 0.0363 * I_{CD} + 4 \quad (A.4)$$

Amaç fonksiyonu ve kısıtlar sırasıyla yazıldığında;

$$\min = 0.2181*(I_{AD})^2 + 15*I_{AD} + 0.0952*(I_{AC})^2 + 10*I_{AC} + 0.1454*(I_{DB})^2 + 11*I_{DB} + 0.1204*(I_{CB})^2 + 13*I_{CB} + 0.0363*(I_{CD})^2 + 4*I_{CD} \quad (A.5)$$

$$I_{AD} + I_{AC} = F \quad (A.6)$$

$$I_{AC} - I_{CD} - I_{CB} = 0 \quad (A.7)$$

$$I_{AD} + I_{CD} - I_{DB} = 0 \quad (A.8)$$

$$I_{DB} + I_{CB} = F \quad (A.9)$$

$$I_{AD} \leq 55 \quad (A.10)$$

$$I_{AC} \leq 84 \quad (A.11)$$

$$I_{DB} \leq 110 \quad (A.12)$$

$$I_{CB} \leq 83 \quad (A.13)$$

$$I_{CD} \leq 55 \quad (A.14)$$

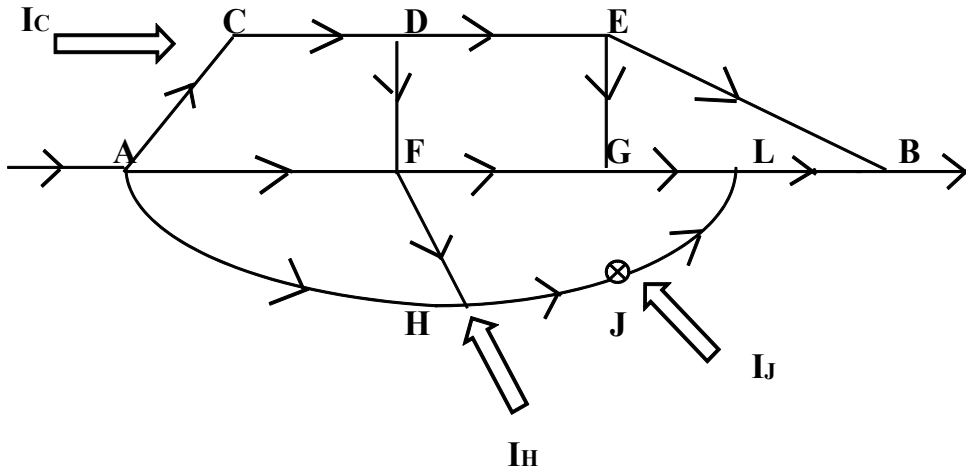
Kısmi İstanbul ulaştırma ağı modeli için düzenlenmiş amaç fonksiyonu ve kısıtlar Tablo 5.3'de sırasıyla yazılmaktadır.

Tablo 5.3 Kısmi ulaştırma ağı modeline uygulanan kuadratik programlama eniyileme formülasyonu

Minimize
$Z = [0.2181*(I_{AD})^2+15*I_{AD}]+[0.0952*(I_{AC})^2+10*I_{AC}]+[0.1454*(I_{DB})^2+11*I_{DB}]$ $+[0.1204*(I_{CB})^2+13*I_{CB}]+[0.0363*(I_{CD})^2+4*I_{CD}]$
Kısıtlar
1. $I_{AD} + I_{AC} = F$
2. $I_{AC} - I_{CD} - I_{CB} = 0$
3. $I_{AD} + I_{CD} - I_{DB} = 0$
4. $I_{DB} + I_{CB} = F$
5. $I_{AD} \leq 55$
6. $I_{AC} \leq 84$
7. $I_{DB} \leq 110$
8. $I_{CB} \leq 83$
9. $I_{CD} \leq 55$
$I_{ij} \geq 0$ bütün hatlar için

EK B. Geliştirilmiş Ulaştırma Ağı Modelinin Formülasyonu

Bu kısımda İstanbul trafiğinin eniyilemesi amacıyla oluşturulan büyük modelin ayrıntıları bulunmaktadır. Şekil B.1’de çizimi verilen ulaşırma ağı modeline ait tüm hatların tanımları ve formülasyon hesaplamaları sırasıyla yapılmıştır.



Şekil B.1 İstanbul için oluşturulan ulaşırma ağı modeli

. AC Yolu : 9.6 km, 2 şeritli

Atatürk havalimanından başlayıp Atatürk bulvarı boyunca ilerleyerek Avrupa otoyoluna bağlanma kavşağına kadar olan mesafe. Bu yol kavşağına kadar üç şeritli olup, kavşaktan otoyola geçiş sırasında yol iki şerite düşmektedir. Bu mesafe 600 m kadar kısa olmasına rağmen burada meydana gelen sıkışıklık bütün bir yolu etkileyeceği için AC yolunun kapasite çalışması, bu yol baz alınarak yapılır. Yani bütün yol iki şeritli olarak düşünülür.

Araçların ortalama hızlarının 50 km/sa olma durumunda, AD yolunun tıkanıklılığa meydan vermeden trafik akışı sağlanmış olduğu varsayılır. Bu durumda hesaplanan verilerin AD yolunun kapasitesi olduğu öngörülür. Araçların ortalama boyları 5 m ve aralarındaki mesafe 25 m (aracın ortalama hızının yarısı) alınır.

$25m + 5m = 30 m$ 'de bir araç yerleştirilirse;

$9600 m / 30m = 320$ araç

AC yolu 2 şerit olarak düşünüldüğünden toplam araç sayısı,

$$320 * 2 = 640 \text{ araçtır.}$$

Trafiğin tıkanmadan akışı için araç sayısı en fazla 640, araçların ortalama hızları ise 50 km/saat'tir.

Araçların hızlarının 50 km /sa olduğu durumda, her bir arabanın AC yolunu alma zamanı;

$$t_{AC} = 9.6/50$$

$$t_{AC} = 0.192\text{sa} \approx 12 \text{ dak.}$$

12 dakikada ilk araç geçerse;

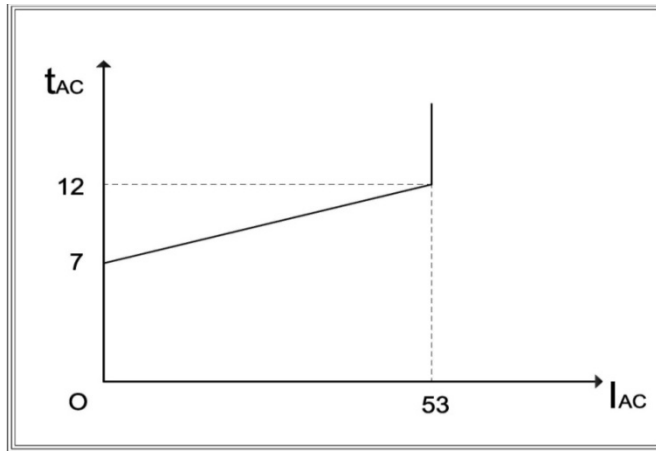
$$60 \text{ dakikada; } (60/12) * 640 = 3200 \text{ araç/saat geçer.}$$

Dakikada geçen araç sayısı ise; $3200/60 \approx 53 \text{ araç/dak.}$

Trafik yoğunluğunun en az olduğu durumda ise araçların ortalama hızları saatte 90 km (azami hız limiti) olarak alınır. Trafik yoğunluğunun olmadığı durumdaki araçların AC yolu üzerinde harcadıkları zaman ise;

$$t_{AC} = 9.6/90$$

$$t_{AC} = 0.106 \text{ sa} \approx 7 \text{ dak.}$$



Şekil B.2 Araçların, AC yolu boyunca trafik akışına bağlı seyahat zamanı

Şekil B.2'de AC yolu için oluşturulan grafiğin denklem olarak ifadesi;

$$t_{AC} = a * I_{AC} + b$$

$$7 = a * 0 + b$$

$$b = 7$$

$$12 = 53 * a + 7$$

$$a = 0.0943$$

$$t_{AC} = 0.0943 * I_{AC} + 7 \quad (B.1)$$

CD Yolu : 2.3 km , 4 şeritli

AC yolu için araçların akışa bağlı zaman fonksiyonu oluşturulma yöntemi aynı şekilde CD yolu içinde uygulanır.

CD yolundaki kapasitenin en fazla olduğu durumda araçların ortalama hızları 50 km/sa ve aralarındaki mesafe 30 m alındığında;

CD yolunun araç sayısı: $2300/30 \approx 76$ araç tek şeritte.

CD yolu dört şeritli olduğundan;

$$76 * 4 = 304 \text{ araç}$$

$$t_{CD} = 2.3 / 50$$

$$t_{CD} = 0.046 \text{ sa.} * 60 \approx 3 \text{ dak.}$$

3 dakikada ilk araç geçerse;

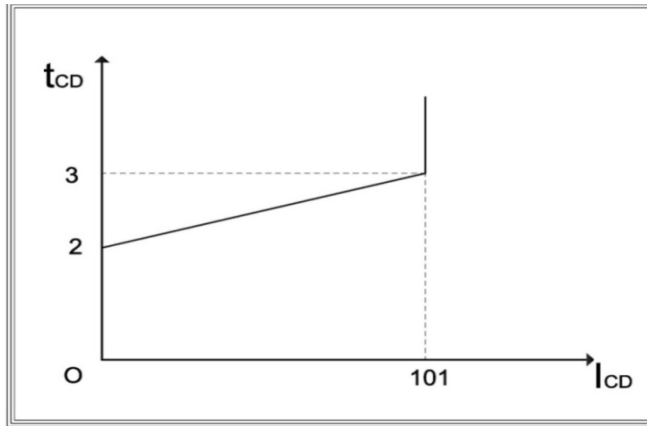
$$60 \text{ dakikada; } (60/3) * 304 = 6080 \text{ araç/saat geçer.}$$

Dakikada geçen araç sayısı ise $6080/60 \approx 101$ araç/dak.

CD yolunun yoğunluğunun olmadığı durumda araçların ortalama hızları 120 km/sa. (azami hız limiti) olarak alınır. Bu durumda;

$$t_{CD} = 2.3 / 120$$

$$t_{CD} = 0.019 \text{ sa.} * 60 \approx 2 \text{ dak.}$$



Şekil B.3 Araçların, CD yolu boyunca trafik akışına bağlı seyahat zamanı

Şekil B.3'de CD yolu için oluşturulan grafiğin denklem olarak ifadesi;

$$t_{CD} = a * I_{CD} + b$$

$$2 = a * 0 + b$$

$$b = 2$$

$$3 = a * 101 + 2$$

$$a = 0.0099$$

$$t_{CD} = 0.0099 * I_{CD} + 2 \quad (B.2)$$

DE Yolu : 12 km ; 4 şeritli

DE yolunun tıkanıklılığa izin vermeden alabileceği kapasite;

$$12000 / 30 = 400 \text{ araç}$$

DE yolu dört şeritli olduğundan;

$$400 * 4 = 1600 \text{ araç}$$

DE yolunun kapasite noktasında araçların ortalama hızları 50 km/sa olarak öngörüldüğünde;

$$t_{DE} = 12 / 50$$

$$t_{DE} = 0.24\text{sa.} = 0.24 * 60 \approx 15\text{dak.}$$

15 dakikada ilk araç geçerse;

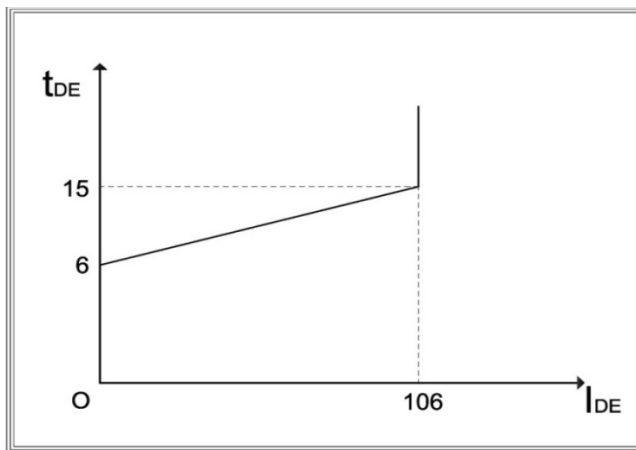
$$60 \text{ dakikada ; } (60/15) * 1600 = 6400 \text{ araç/saat geçer.}$$

Dakikada geçen araç sayısı ise; $6400/60 \approx 106 \text{ araç/dak.}$

DE yolunun yoğunluğunun olmadığı durumda araçların ortalama hızları 120 km/sa. (azami hız limiti) olarak alınır. Bu durumda;

$$t_{DE} = 12/120$$

$$t_{DE} = 0.1\text{sa.} = 0.1 * 60 = 6 \text{ dak.}$$



Şekil B.4 Araçların, DE yolu boyunca trafik akışına bağlı seyahat zamanı

Şekil B.4’de DE yolu için oluşturulan grafiğin denklem olarak ifadesi,

$$t_{DE} = a * I_{DE} + b$$

$$6 = a * 0 + b$$

$$b = 6$$

$$15 = a * 106 + 6$$

$$a = 0.0849$$

$$t_{DE} = 0.0849 * I_{DE} + 6 \quad (B.3)$$

EB Yolu : 22.7 km , 4 şeritli

EB yolunun tıkanıklılığa müsaade etmeden alabileceği kapasite;

$$22700 / 30 \approx 756 \text{ araç}$$

EB yolu dört şeritli olduğundan;

$$756 * 4 = 3024 \text{ araç}$$

EB yolunun kapasite noktasında araçların ortalama hızları 50 km/sa.olarak öngörüldüğünde;

$$t_{EB} = 22.7/50$$

$$t_{EB} = 0.454\text{sa} * 60 \approx 28\text{dak.}$$

27 dakikada ilk araç geçerse;

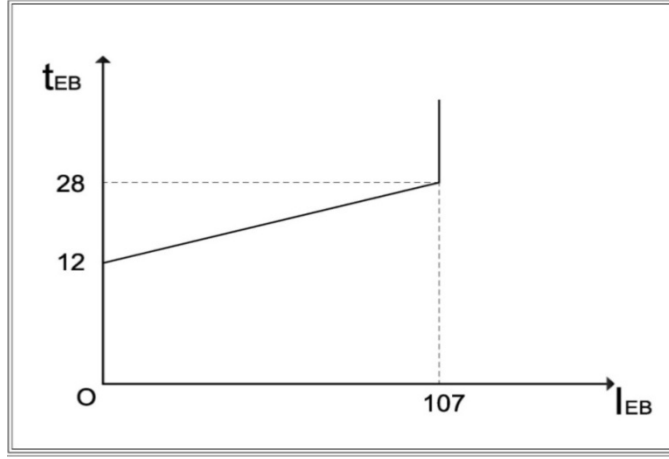
$$60 \text{ dakikada; } (60/28) * 3024 = 6471 \text{ araç/saat geçer.}$$

Dakikada geçen araç sayısı ise; $6471 / 60 \approx 107 \text{ araç/dak.}$

DE yolunun yoğunluğunun olmadığı durumda araçların ortalama hızları 120 km/sa. (azami hız limiti) olarak alınır. Bu durumda;

$$t_{EB} = 22.7/120$$

$$t_{EB} = 0.189\text{sa.} * 60 \approx 12\text{dak.}$$



Şekil B.5 Araçların, EB yolu boyunca trafik akışına bağlı seyahat zamanı grafiği

Şekil B.5’de EB yolu için oluşturulan grafiğin denklem olarak ifadesi;

$$t_{EB} = a * I_{EB} + b$$

$$12 = a * 0 + b$$

$$b = 12$$

$$28 = a * 107 + 12$$

$$a = 0.1495$$

$$t_{EB} = 0.1495 * I_{EB} + 12 \quad (B.4)$$

AF Yolu : 11.7 km , 3 şeritli

AF yolunun tıkanıklığa müsaade etmeden alabileceği kapasite;

$$11700 / 30 = 390 \text{ araç}$$

AF yolu üç şeritli olduğundan;

$$390 * 3 = 1170 \text{ araç}$$

AF yolunun kapasite noktasında araçların ortalama hızları 50km/sa olarak ön görüldüğünde;

$$t_{AF} = 11.7/50$$

$$t_{AF} = 0.234\text{sa} * 60 \approx 15\text{dak.}$$

15 dakikada ilk araç geçerse;

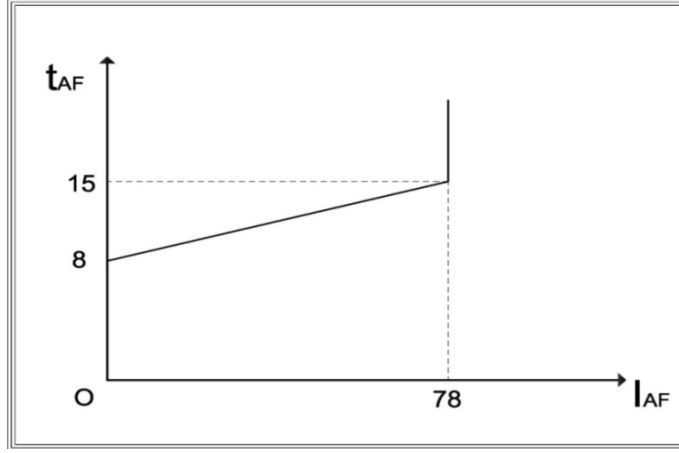
$$60 \text{ dakikada; } (60/15) * 1170 \approx 4680 \text{ araç/saat geçer.}$$

Dakikada geçen araç sayısı ise; $4680/60 = 78 \text{ araç/dak.}$

AF yolunun yoğunluğunun olmadığı durumda araçların ortalama hızları 90 km/sa (azami hız limiti) olarak ön görülür. Bu durumda;

$$t_{AF} = 11.7/90$$

$$t_{AF} = 0.13\text{sa} * 60 \approx 8 \text{ dak.}$$



Şekil B.6 Araçların AF yolu boyunca trafik akışına bağlı seyahat zamanı

Şekil B.6'da AF yolu için oluşturulan grafiğin denklem ifadesi;

$$t_{AF} = a * I_{AF} + b$$

$$8 = a * 0 + b$$

$$b = 8$$

$$15 = a * 78 + 8$$

$$a = 0.0897$$

$$t_{AF} = 0.0897 * I_{AF} + 8 \quad (B.5)$$

FG Yolu : 4.1 km , 3 şeritli;

FG yolunun tıkanıklığa müsaade etmeden alabileceği kapasite;

$$4100 / 30 \approx 136 \text{ araç}$$

FG yolu üç şeritli olduğundan;

$$136 * 3 = 408 \text{ araba}$$

FG yolunun kapasite noktasında araçların ortalama hızları 50 km/sa. olarak öngörüldüğünde;

$$t_{FG} = 4.1/50$$

$$t_{FG} = 0.082 \text{ sa} * 60 \approx 5 \text{ dak.}$$

5 dakikada ilk araç geçerse;

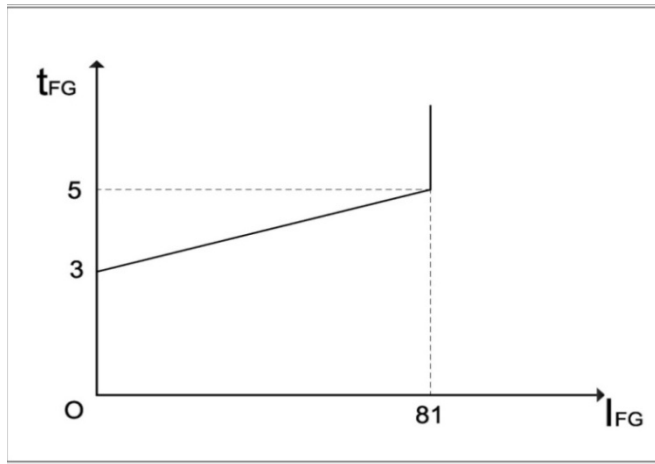
60 dakikada; $(60/5) * 408 = 4896$ araç/saat geçer.

Dakikada geçen araç sayısı ise; $4896/60 \approx 81$ araç/dak.

FG yolunun yoğunluğunun olmadığı durumda araçların ortalama hızları 90 km/sa (azami hız limiti) olarak ön görülür. Bu durumda;

$$t_{FG} = 4.1/90$$

$$t_{FG} = 0.05\text{sa} * 60 = 3 \text{ dak.}$$



Şekil B.7 Araçların FG yolu boyunca trafik akışına bağlı seyahat zamanı

Şekil B.7’de FG yolu için oluşturulan grafiğin denklem ifadesi;

$$t_{FG} = a * I_{FG} + b$$

$$3 = a * 0 + b$$

$$b = 3$$

$$5 = a * 81 + 3$$

$$a = 0.0247$$

$$t_{FG} = 0.0247 * I_{FG} + 3 \quad (B.6)$$

GL Yolu : 6.1 km , 3 şeritli

GL yolunun kapasitesi;

$$6100/30 \approx 203 \text{ araç}$$

GL yolu üç şeritli olduğundan;

$$203 * 3 = 609 \text{ araç}$$

GL yolunun kapasite noktasında araçların ortalama hızları 50 km/sa olarak ön görüldüğünde;

$$t_{GL} = 6.1/50$$

$$t_{GL} = 0.122\text{sa} * 60 \approx 8 \text{ dak.}$$

8 dakikada ilk araç geçerse;

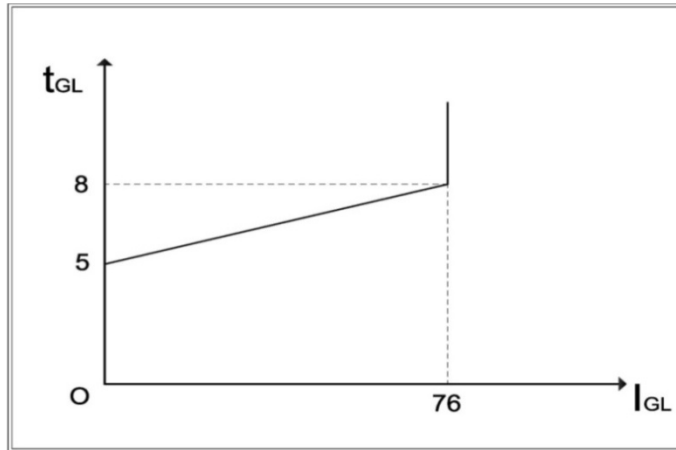
$$60 \text{ dakikada; } (60/8) * 609 \approx 4567 \text{ araç/saat geçer.}$$

Dakikada geçen araç sayısı ise; $4567/60 \approx 76$ araç/dak.

GL yolunun yoğunluğunun olmadığı durumda araçların ortalama hızları 90 km/sa (azami hız limiti) olarak ön görülür. Bu durumda;

$$t_{GL} = 6.1/90$$

$$t_{GL} = 0.07\text{sa} * 60 \approx 5 \text{ dak.}$$



Şekil B.8 Araçların GL yolu boyunca trafik akışına bağlı seyahat zamanı

Şekil B.8’de GL yolu için oluşturulan grafiğin denklem ifadesi,

$$t_{GL} = a * I_{GL} + b$$

$$5 = a * 0 + b$$

$$b = 5$$

$$8 = a * 76 + 5$$

$$a = 0.0395$$

$$t_{GL} = 0.0395 * I_{GL} + 5 \quad (B.7)$$

LB Yolu : 13 km , 3 şeritli

LB yolunun kapasitesi;

13000/30 \approx 433 araç

LB yolu üç şeritli olduğundan;

433 * 3 = 1299 araç

LB yolunun kapasite noktasında araçların ortalama hızları 50 km/sa olarak ön görüldüğünde;

$$t_{LB} = 13/50$$

$$t_{LB} = 0.26\text{sa} * 60 \approx 16 \text{ dak.}$$

16 dakikada ilk araç geçerse;

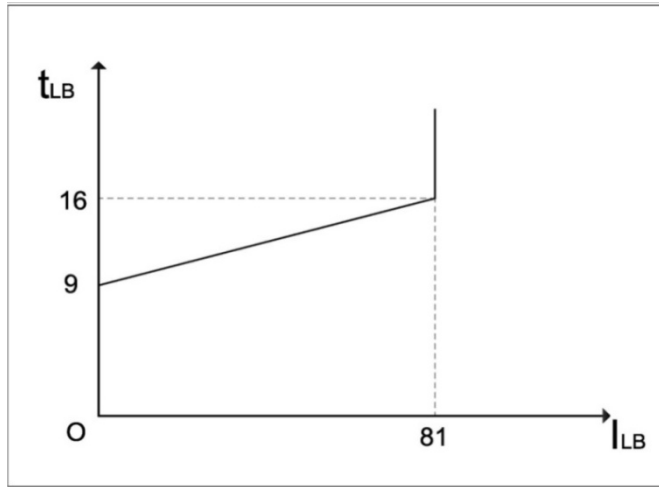
60 dakikada; (60/16) * 1299 \approx 4871 araç/saat geçer.

Dakikada geçen araba sayısı ise; 4871/60 \approx 81 araç/dak.

LB yolunun yoğunluğunun olmadığı durumda araçların ortalama hızları 90 km/sa (azami hız limiti) olarak ön görülür. Bu durumda;

$$t_{LB} = 13/90$$

$$t_{LB} = 0.14\text{sa.} * 60 \approx 9 \text{ dak}$$



Şekil B.9 Araçların LB yolu boyunca trafik akışına bağlı seyahat zamanı

Şekil B.9'da LB yolu için oluşturulan grafiğin denklem ifadesi,

$$t_{LB} = a * I_{LB} + b$$

$$9 = a * 0 + b$$

$$b = 9$$

$$16 = a * 81 + 9$$

$$a = 0.0864$$

$$t_{LB} = 0.0864 * I_{LB} + 9 \quad (B.8)$$

AH yolu : 15.6 km, 3 şeritli

AH yolunun kapasitesi;

$$15600 / 30 = 520 \text{ araç}$$

AH yolu üç şeritli olduğundan;

$$520 * 3 = 1560 \text{ araç}$$

AH yolunun kapasite noktasında araçların ortalama hızları 50 km/sa olarak ön görüldüğünde;

$$t_{AH} = 15.6 / 50$$

$$t_{AH} = 0.312 * 60 = 18.72 \approx 19 \text{ dak.}$$

19 dakikada ilk araç geçerse;

$$(60 / 19) * 1560 = 4914 \text{ araç / saat}$$

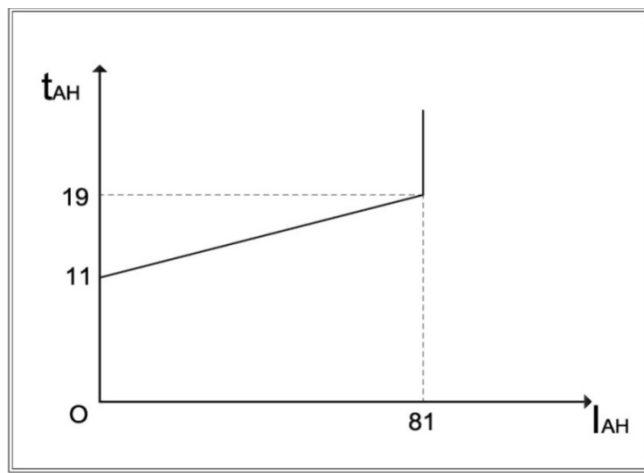
Dakikada geçen araç sayısı ise;

$$4914 / 60 \approx 81 \text{ araç / dak.}$$

AH yolunun yoğunluğunun olmadığı durumda araçların ortalama hızları 90 km / sa (azami hız limiti) olarak ön görülür. Bu durumda;

$$t_{AH} = 15.6 / 90$$

$$t_{AH} = 0.17 * 60 = 11 \text{ dak.}$$



Şekil B.10 Araçların AH yolu boyunca trafik akışına bağlı seyahat zamanı

Şekil B.10'da AH yolu için oluşturulan grafiğin denklem ifadesi,

$$t_{AH} = a * I_{AH} + b$$

$$11 = a * 0 + b$$

$$b = 11$$

$$19 = a * 81 + 11$$

$$8 = 81 * a$$

$$a = 0.0987$$

$$t_{AH} = 0.0987 * I_{AH} + 11 \quad (B.9)$$

HJ yolu: 4.4 km, 2 şeritli

HJ yolunun kapasitesi;

$$4400 / 30 \approx 146 \text{ araç}$$

HJ yolu iki şeritli olduğundan;

$$146 * 2 = 292 \text{ araç}$$

HJ yolunun kapasite noktasında araçların ortalama hızları 50 km/sa olarak ön görülür. Bu durumda;

$$t_{HJ} = 4.4 / 50$$

$$t_{HJ} = 0.088 * 60 \approx 6 \text{ dak.}$$

6 dakikada ilk araç geçerse;

$$(60 / 6) * 292 = 2920 \text{ araç / saat}$$

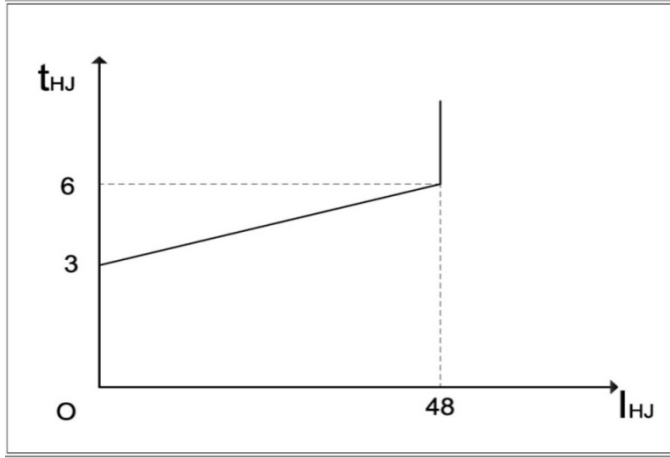
Dakikada geçen araç sayısı ise;

$$2920 / 60 \approx 48 \text{ araç / dak}$$

HJ yolunun yoğun olmadığı durumlarda araçların ortalama hızları 90 km / saat olarak ön görülür.

$$t_{HJ} = 4.4 / 90$$

$$t_{HJ} = 0.048 * 60 \approx 3 \text{ dak.}$$



Şekil B.11 Araçların HJ yolu boyunca trafik akışına bağlı seyahat zamanı

Şekil B.11’de HJ yolu için oluşturulan grafiğin denklem olarak ifadesi,

$$t_{Hj} = a * I_{Hj} + b$$

$$3 = a * 0 + b$$

$$b = 3$$

$$6 = a * 48 + 3$$

$$3 = a * 48$$

$$a = 0.0625$$

$$t_{Hj} = 0.0625 * I_{Hj} + 3 \quad (B.10)$$

JL Yolu : 7 km , 2 şeritli

JL yolunun kapasitesi;

$$7000 / 30 = 233 \text{ araç}$$

JL yolu 2 şeritli olduğundan;

$$233 * 2 = 466 \text{ araç}$$

JL yolunun kapasite noktasında araçların ortalama hızları 50 km / saat olarak ön görülür.

$$t_{jL} = 7 / 50$$

$$t_{jL} = 0.14 * 60 \approx 9 \text{ dak.}$$

9 dakikada ilk araç geçerse;

$$(60 / 9) * 466 \approx 3106 \text{ araç / saat}$$

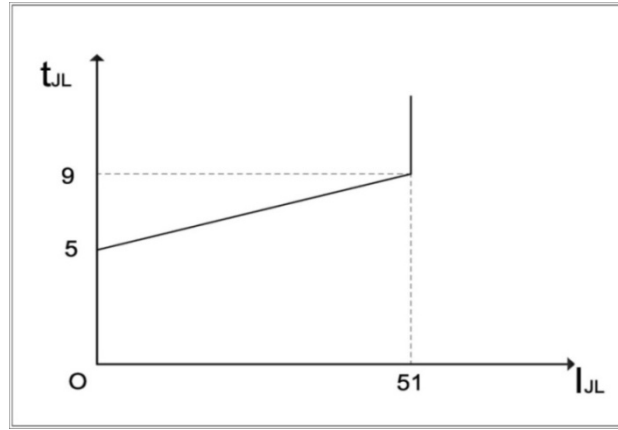
Dakikada geçen araç sayısı ise;

$$3106 / 60 \approx 51 \text{ araç / dak.}$$

JL yolunun yoğun olmadığı durumda araçların ortalama hızları 90 km / saat olarak ön görülür.

$$t_{JL} = 7 / 90$$

$$t_{JL} = 0.077 * 60 \approx 5 \text{ dak.}$$



Şekil B.12 Araçların, JL yolu boyunca trafik akışına bağlı seyahat zamanı

Şekil B.12’de JL yolu için oluşturulan grafiğin denklem olarak ifadesi,

$$t_{JL} = a * I_{JL} + b$$

$$5 = a * 0 + b$$

$$b = 5$$

$$9 = a * 51 + 5$$

$$a = 0.0784$$

$$t_{JL} = 0.0784 * I_{JL} + 5 \quad (B.11)$$

DF yolu : 9.3 km, 2 şeritli

DF yolunun kapasitesi;

$$9300 / 30 = 310 \text{ araç}$$

DF yolu 2 şeritli olduğundan;

$$310 * 2 = 620$$

DF yolunun kapasite noktasında araçların ortalama hızları 50 km/sa. olarak ön görülür.

$$t_{DF} = 9.3 / 50$$

$$t_{DF} = 0.186 * 60 \approx 12 \text{ dak.}$$

12 dakikada ilk araç geçerse;

$$(60 / 12) * 620 = 3100 \text{ araç / sa.}$$

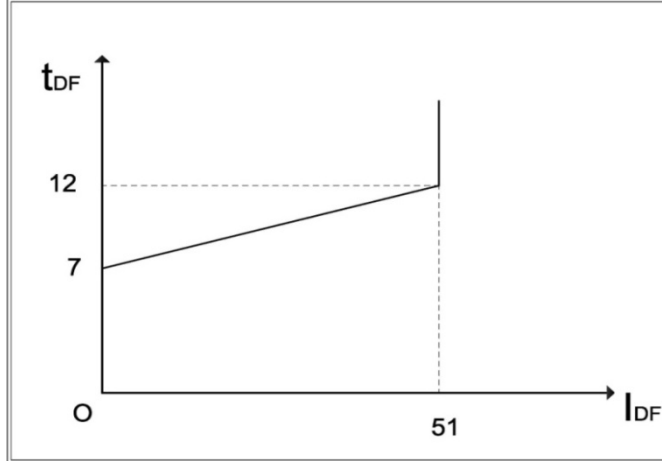
Dakikada geçen araç sayısı ise;

$$3100 / 60 \approx 51 \text{ araç / dak.}$$

DF yolunun yoğun olmadığı durumda araçların ortalama hızları 90 km / saat olarak ön görülür.

$$t_{DF} = 9.3 / 90$$

$$t_{DF} = 0.103 * 60 \approx 7 \text{ dak.}$$



Şekil B.13 Araçların, DF yolu boyunca trafik akışına bağlı seyahat zamanı

Şekil B.13’de DF yolu için oluşturulan grafiğin denklem olarak ifadesi;

$$t_{DF} = a * I_{DF} + b$$

$$7 = a * 0 + b$$

$$b = 7$$

$$12 = a * 51 + 7$$

$$a = 0.098$$

$$t_{DF} = 0.098 * I_{DF} + 7 \quad (B.12)$$

EG yolu : 5 km , 2 şeritli

EG yolunun kapasitesi;

$$5000 / 30 \approx 166 \text{ araç}$$

EG yolu iki şeritli olduğundan;

$$166 * 2 = 332 \text{ araç}$$

EG yolunun kapasite noktasında araçların ortalama hızları 50 km / sa. olarak ön görülür.

$$t_{EG} = 5 / 50 = 0.1 * 60 = 6 \text{ dak.}$$

6 dakikada ilk araç geçerse;

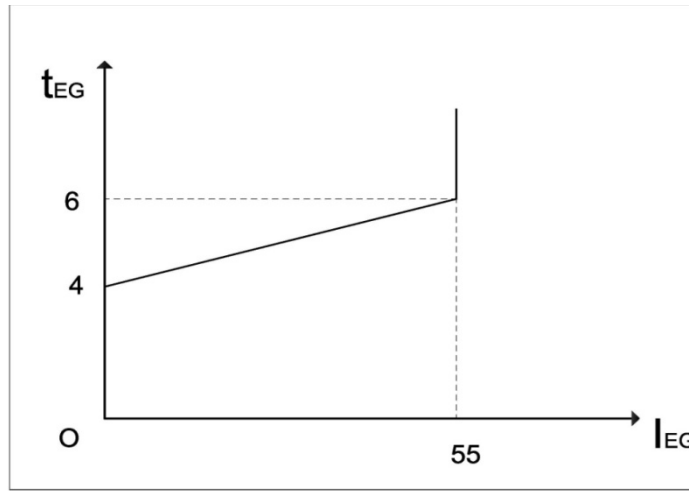
$$(60 / 6) * 332 = 3320 \text{ araç / sa.}$$

$$3320 / 60 \approx 55 \text{ araç / dak.}$$

EG yolunun yoğun olduğu durumda araçların ortalama hızları 90 km / sa. olarak alınır.

$$t_{EG} = 5 / 90$$

$$t_{EG} = 0.055 * 60 \approx 4 \text{ dak.}$$



Şekil B.14 Araçların, EG yolu boyunca trafik akışına bağlı seyahat zamanı

Şekil B.14'de yolu için oluşturulan grafiğin denklem olarak ifadesi,

$$t_{EG} = a * I_{EG} + b$$

$$4 = a * 0 + b$$

$$b = 4$$

$$6 = a * 55 + 4$$

$$a = 0.0363$$

$$t_{EG} = 0.0363 * I_{EG} + 4 \quad (B.13)$$

HF yolu : 4.9 km, 2 şeritli

HF yolunun kapasitesi;

$$4900 / 30 \approx 163 \text{ araç}$$

HF yolu iki şeritli olduğundan;

$$163 * 2 = 326 \text{ araç}$$

HF yolunun kapasite noktasında araçların ortalama hızları 50 km / sa. olarak ön görülür.

$$t_{HF} = 4.9 / 50$$

$$t_{HF} = 0.098 * 60 \approx 6 \text{ dak.}$$

6 dakikada ilk araç geçerse;

$$(60 / 6) * 326 = 3260 \text{ araç / saat}$$

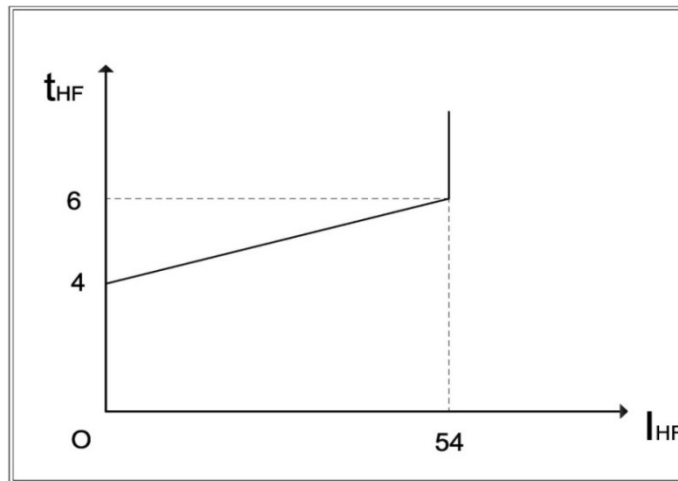
Dakikada geçen araç sayısı ise;

$$3260 / 60 \approx 54 \text{ araç / dak.}$$

HF yolunun yoğun olmadığı durumda araçların ortalama hızları 90 km / sa olarak alınır.

$$t_{HF} = 4.9 / 90$$

$$t_{HF} = 0.054 * 60 \approx 4 \text{ dak.}$$



Şekil B.15 Araçların, HF yolu boyunca trafik akışına bağlı seyahat zamanı

Şekil B.15’de HF yolu için oluşturulan grafiğin denklem olarak ifadesi,

$$t_{HF} = a * I_{HF} + b$$

$$4 = 0 * a + b$$

$$b = 4$$

$$6 = a * 54 + 4$$

$$a = 0.037$$

$$t_{HF} = 0.037 * I_{HF} + 4 \quad (B.14)$$

Yukarıda her yol için ayrı elde edilen, yolların trafik akışlarına bağlı doğrusal zaman denklemleri ile her yolun trafik akışı çarpılarak network ağında seyreden tüm araçların geçirdikleri toplam zaman hesaplanır. Bu noktada çalışmanın amacı hesaplanan toplam zamanı en aza indirmektir. Böylece bu network ağında seyreden araçların en kısa zamanda karşıya geçirilmesi için her yola ait eniyi trafik akışı (araç sayısı) hesaplanmış olacaktır. Bunun için daha önce de ifade edildiği üzere network ağında seyreden araçların aldıkları toplam zamanı minimize eden amaç fonksiyonu oluşturulur.

$$\text{Min } Z = \sum_i \sum_j t_{ij} * I_{ij} \quad (5.6)$$

$$\text{Min } Z = (0.0943 * I_{AC} + 7) * I_{AC} + (0.0099 * I_{CD} + 2) * I_{CD} + (0.0849 * I_{DE} + 6) * I_{DE} + (0.1495 * I_{EB} + 12) * I_{EB} + (0.0897 * I_{AF} + 8) * I_{AF} + (0.0247 * I_{FG} + 3) * I_{FG} + (0.0395 * I_{GL} + 5) * I_{GL} + (0.0864 * I_{LB} + 9) * I_{LB} + (0.0963 * I_{AH} + 11) * I_{AH} + (0.0612 * I_{HJ} + 3) * I_{HJ} + (0.0769 * I_{JL} + 5) * I_{JL} + (0.0961 * I_{DF} + 7) * I_{DF} + (0.0363 * I_{EG} + 4) * I_{EG} + (0.037 * I_{FH} + 4) * I_{FH}$$

$$(B.15)$$

Bu network ağında düşünülen kısıtlar ise sırasıyla; kaynak düğümündeki süreklilik, hedef düğümündeki süreklilik, bütün ara düğümler için hat kapasiteleri göz önünde tutularak oluşturulur.

A noktasındaki süreklilik:

$$I_A = I_{AC} + I_{AF} + I_{AH} \quad (B.16)$$

C noktasındaki süreklilik: Bu noktada network ağına dışarıdan bir akış olmaktadır.

$$I_C = I_{CD} - I_{AC} \quad (B.17)$$

D noktasındaki süreklilik:

$$I_{CD} = I_{DE} + I_{DF} \quad (B.18)$$

E noktasındaki süreklilik:

$$I_{DE} + I_{GE} = I_{EG} + I_{EB} \quad (B.19)$$

F noktasındaki süreklilik:

$$I_{AF} + I_{HF} = I_{FH} + I_{FG} \quad (B.20)$$

L noktasındaki süreklilik:

$$I_{LB} = I_{GL} + I_{JL} \quad (B.21)$$

H noktasındaki süreklilik: Bu nokta network ağında Yenikapı hızlı feribot iskelesini işaret etmektedir. Belli saatlerde bu noktaya bir akış olurken, aynı şekilde bu noktadan dışarıya bir akış olmaktadır. Dışarıdan network ağına giren akış için I_H , network ağından çıkan akış için ise I_{HN} olarak ifade edilir;

$$I_H + I_{AH} + I_{FH} = I_{HJ} + I_{HN} \quad (B.22)$$

J noktasındaki süreklilik: Bu nokta network ağında sirkeci – harem feribot hattının iskelesi olarak işaretlenmiştir. Bu noktaya da tıpkı H noktasında olduğu gibi belli saatlerde akış olmakta veya bu noktadan dışarı çıkmaktadır. Dışarıdan network ağına giren akış için I_J , network ağından çıkan akış için ise I_{JN} olarak ifade edilir;

$$I_J + I_{HJ} = I_{JL} + I_{JN} \quad (B.23)$$

B noktasındaki süreklilik:

$$I_B = I_{LB} + I_{EB} \quad (B.24)$$

Network ağına giren akışların toplamı ile network ağından çıkan akışların toplamı birbirine eşit olmalıdır;

$$I_A + I_C + I_H + I_J = I_B + I_{HN} + I_{JN} + I_{CN} \quad (B.25)$$

Bütün ara düğümler için hat kapasiteleri;

$$I_{AC} \leq 53 \quad (B.26)$$

$$I_{CD} \leq 101 \quad (B.27)$$

$$I_{DE} \leq 106 \quad (B.28)$$

$$I_{EB} \leq 107 \quad (B.29)$$

$$I_{AF} \leq 83 \quad (B.30)$$

$$I_{FG} \leq 81 \quad (B.31)$$

$$I_{GL} \leq 76 \quad (B.32)$$

$$I_{LB} \leq 81 \quad (B.33)$$

Yukarıda geliştirilmiş model için oluşturulan amaç fonksiyonu ve kısıtlar Tablo 6.1'de sırasıyla yazılmıştır.

Tablo 6.1 Geliştirilmiş İstanbul ağı modelinin eniyilemesinde kuadratik programlamanın formülasyonu

Minimize	
$Z = [(0.0943 * I_{AC} + 7) * I_{AC}] + [(0.0099 * I_{CD} + 2) * I_{CD}] + [(0.0849 * I_{DE} + 6) * I_{DE}]$ $+ [(0.1495 * I_{EB} + 12) * I_{EB}] + [(0.0897 * I_{AF} + 8) * I_{AF}] + [(0.0247 * I_{FG} + 3) * I_{FG}]$ $+ [(0.0395 * I_{GL} + 5) * I_{GL}] + [(0.0864 * I_{LB} + 9) * I_{LB}] + [(0.0987 * I_{AH} + 11) * I_{AH}]$ $+ [(0.0625 * I_{HJ} + 3) * I_{HJ}] + [(0.0784 * I_{JL} + 5) * I_{JL}] + [(0.098 * I_{DF} + 7) * I_{DF}]$ $+ [(0.0363 * I_{EG} + 4) * I_{EG}] + [(0.037 * I_{FH} + 4) * I_{FH}]$	
Kısıtlar;	
1) $I_A - I_{AC} - I_{AF} - I_{AH} = 0;$	12) $I_{AC} \leq 53$
2) $I_C - I_{CD} - I_{AC} = 0;$	13) $I_{CD} \leq 101$
3) $I_{CD} - I_{DE} - I_{DF} = 0;$	14) $I_{DE} \leq 106$
4) $I_{DE} - I_{EG} - I_{EB} = 0;$	15) $I_{EB} \leq 107$
5) $I_{AF} + I_{DF} - I_{FG} - I_{FH} = 0;$	16) $I_{AF} \leq 83$
6) $I_{LB} - I_{GL} - I_{JL} = 0;$	17) $I_{FG} \leq 81$
7) $I_{FG} + I_{EG} - I_{GL} = 0;$	18) $I_{GL} \leq 76$
8) $I_H + I_{AH} + I_{FH} - I_{HJ} - I_{HN} = 0;$	19) $I_{LB} \leq 81$
9) $I_J + I_{HJ} - I_{JL} - I_{JN} = 0;$	
10) $I_B - I_{LB} - I_{EB} = 0;$	
11) $I_A + I_C + I_H + I_J - I_B - I_{HN} - I_{JN} - I_{CN} = 0;$	
$I_{ij} \geq 0$ bütün ij hatlar için	

EK C. Lingo 6.0 Kullanım Kılavuzu

Aşağıda ifade edilen Lingo 6.0 kullanım kılavuzuna ait bilgilerin tümü Aydın Sipahioğlu ve Tuğba Saraç'a ait çalışmadan alınmıştır (Sipahioğlu A. ve Saraç T. , 2003).

C.1. Lingo Hakkında Genel Bilgiler

Lingo, Lindo Systems Inc. Şirketi (www.lindo.com) tarafından üretilmiş, doğrusal, tamsayı ve doğrusal olmayan matematiksel modelleri çözebilen, duyarlılık analizi yapan bir eniyileme yazılımı ve modelleme dilidir. Daha önce Dos ortamında kullanılan Lindo ve Gino yazılımlarının bir araya getirilmesi ve yeni özellikler eklenmesiyle oluşturulmuştur. En önemli iki yenilik, Lingo'nun bir modelleme dili olarak tasarlanması ve Windows ortamında çalışmasıdır. Böylece, matematiksel modellerin kapalı formda yazılması sağlanmış, diğer windows programlarıyla kolay bilgi alış verişi mümkün hale gelmiştir. Lingo, çözebildiği kadar modeli boyutlarına göre Tablo C.1'de belirtilen isimlerle anılmaktadır.

Tablo C.1 Boyutlarına göre Lingo modelleri

İsim	Toplam Değişken Sayısı	En Büyük Tamsayı Değişken Sayısı	En Büyük Doğrusal Olmayan Değişken Sayısı	En Büyük Kısıt Sayısı
Demo/Web Lingo	300	30	30	150
Solver Suite Lingo	500	50	50	250
Super Lingo	2.000	200	200	1.000
Hyper Lingo	8.000	800	800	4.000
Industrial Lingo	32.000	3.200	3.200	16.000
Extended Lingo	sınırsız	sınırsız	sınırsız	sınırsız

Bütün Lingo sürümlerinde bu kılavuzda anlatılan komutlar ve menüler kullanılmakta, modelin çözümüne dair raporlar aynı yapıda verilmektedir. Bu nedenle kılavuz, bütün Lingo sürümleri için geçerli bilgiler içermektedir. Ancak yazılımın kullanımıyla ilgili daha detaylı bilgiler edinmek için Lingo kullanım el kitabına bakmak yeterli olacaktır. Ayrıca www.lindo.com adresinden yazılımlarla ilgili olarak bilgi edinmek ve ücretsiz olarak Lingo Demo sürümünü indirmek mümkündür.

C.2. Lingo Menüleri

Lingo yazılımının kurulmasından ve çalıştırılmasından sonra kullanıcıya ilk olarak boş bir sayfa ve ana menü görüntülenir. Boş sayfa modelin girileceği yazım sayfasıdır. Ana menü ise File, Edit, Lingo, Windows ve Help olmak üzere 5 alt menüden oluşur. File menüsü girdi ve çıktılarla ilgili komutları, Edit menüsü yazımla ilgili komutları, Lingo menüsü modelin çözümü ve çözüm sonuçlarının türetilmesiyle ilgili komutları içerir. Windows menüsü, farklı pencerelere geçişi sağlar. Help menüsü ile Lingo ile ilgili yardım hizmetinin verildiği yerdir. Bu menüler esasen pek çok windows programında artık neredeyse standartlaşmış menülerle aynıdır. Sadece Lingo menüsü bu yazılıma ait özel komutları içerir. Dolayısıyla özellikle anlaşılması gereken menü budur. Öte yandan menülerdeki pek çok komut, kısa yol ikonu olarak programın ara yüzünde mevcuttur. Aşağıda bu menüler kısaca tanıtılmaktadır.

File Menüsü :

<u>New</u>	Yeni model için bir pencere açar.
<u>Open</u>	Kayıtlı bir modeli açar.
<u>Save</u>	Seçili pencerenin içeriğini kaydeder. (Model veya çözüm raporu)
<u>Save As</u>	Seçili pencerenin içeriğini farklı bir isimle kaydeder.
<u>Close</u>	Seçili pencereyi kapatır.
<u>Print</u>	Seçili pencerenin içeriğini yazdırır.
<u>Print Setup</u>	Yazıcı ayarları yapılır.
<u>Print Preview</u>	Seçili pencerenin içeriği yazdırılırsa nasıl görüleceği İzlenir.
<u>Log Output</u>	Çıktıları komut penceresine göndermek üzere bir log dosyası açar.
<u>Take Commands</u>	Bir dosyadaki komut dizisini çalıştırır veya daha önce bir başka editörle text olarak (ascii biçiminde) Lindo formatında yazılmış olan bir modeli okur.
<u>Import LINDO File</u>	Bir Lindo text dosyasını Lingo dosyasına dönüştürür.
<u>MPS File</u>	Diğer programlarla Lingo arasında MPS formatlı dosyaların transferi sağlanır. (Bu format IBM tarafından geliştirilmiş ve dünyada standart olarak kabul edilmiş bir biçimdir).
<u>License</u>	Sistemin yükseltilmesi için gerekli yeni lisans şifresine erişimi sağlar.

<u>Exit</u>	Lingo proramını kapatır.
Edit Menüsü:	
<u>Undo</u>	Son değişikliliği geri alır.
<u>Cut</u>	Belge içinde seçili kısmı keser.
<u>Copy</u>	Seçili kısmı panoya kopyalar.
<u>Paste</u>	Panoya kopyalanmış olan içeriği belgeye yapıştırır.
<u>Paste Special</u>	Panoya kopyalanmış olan içeriği nasıl yapıştırılacağına dair seçim yapmaya olanak tanıyarak belgeye yapıştırır.
<u>Select All</u>	Aktif pencerenin tüm içeriğini seçer.
<u>Find</u>	Belge içinde belli bir karakter dizisini arar.
<u>Find Next</u>	Belirlenmiş karakter dizisi için find işlemini tekrar eder.
<u>Replace</u>	Belirlenmiş karakter dizisini yenisiyle değiştirir.
<u>Go To Line</u>	İmlecini istenilen satıra hareketini sağlar.
<u>Match Parenthesis</u>	Seçilen bir parantezin karşılığını bulur.
<u>Paste Function</u>	Seçilen Lingo fonksiyonunun şablonunu yapıştırır.
<u>Select Font</u>	Belgenin seçilen kısmının yazı tipini seçmeye olanak tanır.
<u>Insert New Object</u>	OLE nesnesini belgenin içine yerleştirir.
<u>Links</u>	Belgedeki dış kaynaklı nesnelerin bağlantılarını kontrol eder.
<u>Objects Properties</u>	Belgeye yerleştirilmiş nesnenin özelliklerini görme olanağı tanır.

Lingo Menüsü:

<u>Solve</u>	Aktif penceredeki modeli çözer. Çözüm sırasında; model öncelikle yazım hatalarına karşı denetlenir. Eğer bir yazım hatası bulunursa, hatanın hangi satırda olduğunu ve satırda da olması muhtemel noktayı gösteren bir uyarı kutusu ekrana gelir. Hatası olmayan / düzeltilmiş model için çözüm hakkında genel bilgilerin yer aldığı solver status penceresi türetilir. Modelin çözüm sonuçlandıktan
--------------	--

	sonra,çözüm raporunun yer aldığı yeni bir parça daha oluşturulur.
<u>Solution</u>	Aktif model için çözüm raporu penceresini türetir. Çözüm raporunu text ya da grafik formatında, tüm bilgileri içerecek şekilde ya da yalnızca ilgilenilen bilgilerin yer alacağı şekilde oluşturmak mümkündür.
<u>Range</u>	Aktif pencere için duyarlılık analizi sonuçlarını üretir. Ancak bunun için öncelikle options seçeneğindeki General Solver sekmesinde ve Dual Computations seçeneğinde Prices & Ranges alternatifinin seçilmiş olması gerekir.
<u>Options</u>	Modelin çözümünü etkileyecek parametrelerin seçimine olanak sağlar. Oldukça önemli seçimlerin söz konusu olduğu bu menü ayrı bir başlık altında anlatılacaktır.
<u>Generate</u>	Kapalı formda yazılmış bir modelin derlenerek açık formda görüntülenmesini sağlar. Problemin değişken sayısı, kısıt sayısı gibi özet bilgilerini görüntüler.
<u>Picture</u>	Modelin katsayılar matrisini görüntüler.
<u>Model Statistics</u>	Modelin teknik detaylarıyla ilgili olarak (kısıt ve değişken sayısı vb.) özet rapor sunar.
<u>Look</u>	Aktif modeli gösteren bir rapor oluşturur.
<u>Export to Database</u>	Seçilen değişkenin değerini ODBC kullanarak bir veri tabanına aktarır.
<u>Export to Spreadshee</u>	Seçilen değişkenin değerini Excel sayfasına aktarır.

Windows Menüsü:

<u>Command Window</u>	Lingo komut satırını açar. (Lingo komutları Dos ortamında çalışan Lindo komutlarıyla aynıdır. Lindo komutlarına alışkın birisi için bu yapıya geçerek çalışmak daha kolay olabilir. Bu ortamdaki komutları görebilmek için COM, yardım alabilmek için HELP Komut adı yazılmalıdır. Ayrıntılar “Lingo’da Komut Kullanımı” bölümünde belirtilmiştir).
-----------------------	---

<u>Status Window</u>	Solver status penceresini açar.
<u>Send to Back</u>	Aktif pencereyi tüm açık pencerelerin arkasına gönderir.
<u>Close All</u>	Tüm açık pencereleri kapatır.
<u>Tile</u>	Belirlenen yapıyı tüm açık pencerelere uygular.
<u>Cascade</u>	Aktif pencere üstte kalacak şekilde tüm açık pencereleri düzenler.
<u>Arrange Icons</u>	Açık pencerelerin ikonlarını düzenler.

Help Menüsü:

<u>Help Topics</u>	Lingo'nun yardım hizmetlerine erişimi sağlar.
<u>About Lingo</u>	Kullanılan Lingo programının tipini ve versiyonunu görüntüler. İletişim için gerekli bilgiler mevcuttur.

C.3. Karar Modelinin Lingo'ya Tanıtılması

Bir karar modelinin Lingo'ya tanıtılabilmesi için üç yol vardır. Birincisi File menüsündeki Take komutuyla daha önceden Lindo formatında text olarak yazılmış olan bir modeli okutmak; ikincisi daha önce Lindo'da yazılıp kaydedilmiş bir modeli File menüsündeki Import Lindo File komutu ile okutmaktır. Bu iki yöntem daha önce Lindo yazılımını kullanmış yani Lindo formatını bilen kişiler için yararlıdır ve model okunarak Lingo formatında görüntülenir. Ancak Lindo formatının sadece doğrusal karar modelleri için geçerli olduğu unutulmamalıdır. Öte yandan Take komutu, Lingo'da peş peşe yapılması istenen bir grup işi, komutlar halinde bir dosyaya yazarak bu dosyayı okutup, işleri sırasıyla yaptırmak için de kullanılabilir. Örneğin bir modelin bazı parametrelerini değiştirerek farklı çözümler bulsun ve bunlar farklı dosyalara yazılan istiniyorsa, bu işlerin yapılması için geçerli komutları bir text dosyaya yazarak Lingo'ya okutmak ve işleri sırasıyla yaptırmak mümkündür. (Bunun için Take komutuna ait Help bilgisini okumak açıklayıcı olacaktır).

Lingo'da model tanıtmanın üçüncü yolu ise File menüsündeki New komutuyla yeni bir model girişi yapmaktır. Yeni model girişi seçildiğinde ekrana boş bir pencere açılır. Bu pencere, modelin açık veya kapalı formlarda yazılabileceği yerdir. Matematiksel model değişken ve kısıt sayısı açısından küçük boyutluysa açık formda yazmak, büyük boyutluysa kapalı formda yazmak tercih edilmelidir. Ancak modeli açık veya kapalı formda girmenin farklı kuralları vardır ve ayrı ayrı incelenmesi gerekir.

C.4. Modelin Açık Formda Yazımı

Herhangi bir matematiksel modelin Lingo formatında açık olarak yazımı basit olarak aşağıdaki şekildedir.

MODEL:

MIN(veya MAX) = amaç fonksiyonu;

Kısıt 1;

Kısıt 2;

.

.

Kısıt n;

END

Modelin açık yazımı sırasında uyulması gereken yazım kuralları aşağıda verilmiştir. Genel bir anlayış olarak modelin amaç fonksiyonu ilk satırda, kısıtlar ise diğer satırlarda yazılmaktadır. Ama Lingo'da bu bir zorunluluk değildir. Lingo'daki en önemli koşul, bütün matematiksel ifadelerin birbirleriyle “ ; ” ile ayrılmasıdır. Max ve min ile başlayan satırın amaç fonksiyonu satırı olduğunu diğerlerinin de kısıtlar olduğunu kabul eder. Anlaşılabilirliği sağlamak için her kısıtın yeni bir satırdan başlaması önerilir, kısıt sırasının önemi yoktur.

Değişken isimleri bir harf (A-Z) ile başlamalı ve en çok 32 karakter uzunluğunda olmalıdır. Büyük ya da küçük harf kullanımları arasında fark yoktur. “TALEP” ve “talep” aynı değişken olarak kabul edilir.

Değişken ve parametreler arasında mutlaka çarpı “ * ” işaretinin olması gerekir.

Örnek : $2x_1 + 3x_2 \leq 10$; yazımı yanlıştır. Doğrusu $2*x_1 + 3*x_2 \leq 10$; biçimindedir.

Lingo'da \leq / \geq ; işareti \leq / \geq olarak yazılabileceği gibi $< / >$ olarak da kullanılabilir.

Kısıtlar yazılırken değişkenler, ifadenin (eşitliğin ya da eşitsizliğin) sol tarafında, sabit değerlerin ise ifadenin sağ tarafında olması gerekli değildir. $x_1 = x_2$ yazımı ile $x_1 - x_2 = 0$ yazımı arasında fark yoktur.

Doğrusal karar modelleri için, değişkenlerinin negatif olamayacaklarına dair ayrıca bir kısıt yazılmasına gerek yoktur. Lingo, doğrusal karar modelinden ayrıca bir koşul verilmediği takdirde modeldeki bütün değişkenleri sıfırdan büyük veya eşit reel değişken olarak kabul eder. Ama doğrusal olmayan modellerde değişkenlerin negatif olmama durumu varsa, bunun mutlaka ayrı bir kısıt olarak modele eklenmesi gerekir. Tamsayı modellerde de hangi değişkenlerin genel tamsayı, hangilerinin 0-1 tamsayı değişken olduğunun mutlaka belirtilmesi gerekir. Eğer negatif alması mümkün olan değişkenler varsa, bunların da modelde ayrıca belirtilmesi gerekir. Değişkenlerin alttan ve üstten sınırlı olması halinde de modeldeki kısıt sayısını azaltmak için değişkenin sınır değerlerinin tanımlanması mümkündür. Bu tür tanımlamaları yapabilmek için Lingo'da kullanılabilecek fonksiyonlar aşağıda verilmiştir:

@GIN(değişken-adı)

genel tamsayı değişken

@BIN(değişke-adı)

0-1 tamsayı değişken

@FREE(değişken-adi)	her türlü reel değer alabilen değişken
@BND(alt sınır,değişken-adi,üst sınır)	alt veya üst sınır değeri olan değişken

Amaç fonksiyonu ya da kısıtlardan biri tek satıra sığmıyorsa, izleyen satıra geçilirken herhangi bir işaret koymadan devam edilmelidir. Lingo, noktalı virgüle kadar olan tüm satırları bir bütün olarak algılar.

Model yazımında anlaşılabilirliği sağlamak için satır başına ünlem işareti konarak çeşitli açıklamalar yazılabilir. Lingo “ ! ” işareti ile başlayan satırları dikkate almaz. Fakat açıklama satırı noktalı virgül ile sonlandırılmalıdır.

Kısıtlara isim vermek mümkündür. Bunun için bir harf ile başlayan toplam 32 karakter uzunluğunda ve Lingo komutu olmayan bir ifadeyi kısıtın başına köşeli parantez içinde yazmak yeterlidir.

Örnek : [Kapasite] $2*x_1 + x_2 \leq 10$

Lingo’da kullanıcıya kolaylık sağlamak amacıyla standart fonksiyonlar tanımlanmıştır. Bu fonksiyonlardan bazıları aşağıda sıralanmıştır.

@ABS(X)	X’in mutlak değerini verir.
@COS(X)	radyan olarak verilmiş olan X açısının kosinüsünü verir.
@EXP(X)	e (2.718281...) sayısının X.kuvvetini verir.
@LOG(X)	log(X) değerini verir.
@SQR(X)	X’in ikinci kuvvetini verir.
@SIGN(X)	eğer X sıfırdan küçükse -1, büyükse 1 değerini verir.
@SIN(X)	radyan olarak verilmiş olan X açısının sinüsünü verir.
@TAN(X)	radyan olarak verilmiş olan X açısının tanjantını verir.
@SMAX(X1,X2,...XN)	X1,X2,...XN sayılarından en büyüğünü verir.
@SMIN(X1,X2,...XN)	X1,X2,...XN sayılarından en küçüğünü verir.

Lingo’da kullanılacak olasılık fonksiyonlarından bazıları aşağıda sıralanmıştır.

@PSN(X)	X değerinin birikimli standart normal dağılımda olasılık değerini verir.
@PPS(A,X)	Ortalaması A olan Poisson dağılım fonksiyonuna ait birikimli olasılık değerini verir.
@PBN(P,N,X)	N deney sayısı, P bozuk çıkma olasılığı iken X’in Binom

dağılım fonksiyonuna ait birikimli olasılık değerini verir.

@PFS(A,X,C) M/M/C kuyruk sisteminde sistemde beklenen ortalama müşteri sayısını verir.

@RAND(SEED) 0 ve 1 arasında rassal sayı üretir.

Bu açıklamalar ışığında 4 değişkenli ve 3 kısıtlı örnek bir doğrusal karar modelinin gerçek yazımı ile açık Lingo formatındaki yazımı aşağıda verilmiştir:

Gerçek Model:

$$2x_1 + 2x_2 + x_3 + x_4 \leq 100$$

$$6x_1 + 2x_2 + 3x_3 + 2x_4 \geq 40$$

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 80$$

$$x_1, x_2, x_3 \geq 0$$

kısıtlar altında,

$$\text{En büyük } z = 2x_1 + 3x_2 + 4x_3 + x_4$$

Lingo Formatı:

$$\text{MAX}=2*x_1+ 3*x_2+ 4*x_3 + x_4;$$

$$2*x_1+ 2*x_2+x_3+x_4 <=100;$$

$$6*x_1+ 2*x_2+ 3*x_3+ 2*x_4 >=40;$$

$$x_1+ x_2+x_3 +x_4=80;$$

END

C.5. Lingo programının kuadratik programlama ayarlaması:

Lingo programında kuadratik programının çözümünün yapılabilmesi için öncelikle "LINGO" dosyasının altında yer alan options bölümüne girilir. Açılan pencerede "Interface" sekmesi tıklanır ve "File Format" bölümünde bulunan "lg4(extented)" sekmesi işaretlenir. Yine "Lingo Options" penceresinde "Global Solver" sekmesi tıklanır ve "Use Global Solver" şıkkı işaretlenir. Son olarak "Lingo Options" penceresinde "Nonlinear Solver" sekmesi tıklanır ve "Strategies" bölümünde yer alan "Quadratic Recognition" şıkkı işaretlenir.

EK D. Lingo Çözüm Sonuçları

```
: MODEL:
?
MIN=0.2181*@SQR(IAD)+15*IAD+0.0952*@SQR(IAC)+10*IAC+0.1454*@SQR(IDB)+11*I
DB+0.1204*@SQR(ICB)+13*ICB+0.0363*@SQR(ICD)+4*ICD;
? IAD+IAC=15;
? IAC-ICD-ICB=0;
? IAD+ICD-IDB=0;
? IDB+ICB=15;
? IAD<=55;
? IAC<=84;
? IDB<=110;
? ICB<=83;
? ICD<=55;
? @GIN(IAD);
? @GIN(IAC);
? @GIN(ICD);
? @GIN(ICB);
? @GIN(IDB);
? END
: LOOK ALL
```

```
: LOOK ALL
```

```
1]MIN=0.2181*@SQR(IAD)+15*IAD+0.0952*@SQR(IAC)+10*IAC+0.1454*@SQR(IDB)+11
>IDB+0.1204*@SQR(ICB)+13*ICB+0.0363*@SQR(ICD)+4*ICD;
2] IAD+IAC=15;
3] IAC-ICD-ICB=0;
4] IAD+ICD-IDB=0;
5] IDB+ICB=15;
6] IAD<=55;
7] IAC<=84;
8] IDB<=110;
9] ICB<=83;
10] ICD<=55;
11]@GIN(IAD);
12]@GIN(IAC);
13]@GIN(ICD);
14]@GIN(ICB);
15]@GIN(IDB);
```

```
: GO
Model is quadratic.
```

Global optimal solution found.

Objective value:	388.32
Objective bound:	388.32
Infeasibilities:	0.0000

Extended solver steps: 2
 Total solver iterations: 50

Model Class: PIQP

Total variables: 5
 Nonlinear variables: 5
 Integer variables: 5
 Total constraints: 10
 Nonlinear constraints: 1
 Total nonzeros: 20
 Nonlinear nonzeros: 5

Variable	Value	Reduced Cost
IAD	3.0000	0.0000
IAC	12.000	0.0000
IDB	3.0000	0.0000
ICB	12.000	0.0000
ICD	0.0000	0.0000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	388.32	0.0000
2	0.0000	-16.295
3	0.0000	4.0144
4	0.0000	0.0000
5	0.0000	-11.867
6	52.000	0.0000
7	72.000	0.0000
8	107.00	0.0000
9	71.000	0.0000
10	55.000	0.0000

: ALT 2,5
 'Old string'New string'?
 '15'25'

2] IAD+IAC=25;
 5] IDB+ICB=25;

: GO
 Model is quadratic.

Global optimal solution found.
 Objective value: 683.39
 Objective bound: 683.39
 Infeasibilities: 0.0000
 Extended solver steps: 2
 Total solver iterations: 51

Model Class: PIQP

Total variables: 5
 Nonlinear variables: 5
 Integer variables: 5
 Total constraints: 10

```

Nonlinear constraints:          1
Total nonzeros:                20
Nonlinear nonzeros:           5

```

Variable	Value	Reduced Cost
IAD	6.0000	0.0000
IAC	19.000	0.0000
IDB	7.0000	0.0000
ICB	18.000	0.0000
ICD	0.0000	0.0000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	683.39	0.0000
2	0.0000	-17.580
3	0.0000	4.1281
4	0.0000	0.0000
5	0.0000	-13.035
6	49.000	0.0000
7	65.000	0.0000
8	103.00	0.0000
9	65.000	0.0000
10	54.000	0.0000

```

: ALT 2,5
'Old string'New string'?
'25'35'

```

```

2]IAD+IAC=35;
5]IDB+ICB=35;

```

```

: GO
Model is quadratic.

```

Global optimal solution found.

```

Objective value:          1005.0
Objective bound:         1005.0
Infeasibilities:         0.0000
Extended solver steps:   6
Total solver iterations: 96

```

```

Model Class:              PIQP

```

```

Total variables:          5
Nonlinear variables:     5
Integer variables:       5

```

```

Total constraints:       10
Nonlinear constraints:   1

```

```

Total nonzeros:          20
Nonlinear nonzeros:     5

```

Variable	Value	Reduced Cost
IAD	9.0000	0.0000
IAC	26.000	0.0000
IDB	12.000	0.0000
ICB	23.000	0.0000

	ICD	3.0000	0.0000
Row	Slack or Surplus		Dual Price
1	1005.0		0.0000
2	0.0000		-18.905
3	0.0000		4.0806
4	0.0000		0.0000
5	0.0000		-14.403
6	46.000		0.0000
7	58.000		0.0000
8	98.000		0.0000
9	60.000		0.0000
10	52.000		0.0000

```
: ALT 2,5
'Old string'New string'?
'35'45'
```

```
2] IAD+IAC=45;
5] IDB+ICB=45;
```

```
: GO
Model is quadratic.
```

Global optimal solution found.

```
Objective value:          1353.1
Objective bound:          1353.1
Infeasibilities:          0.0000
Extended solver steps:    3
Total solver iterations:  53
```

```
Model Class:              PIQP
```

```
Total variables:         5
Nonlinear variables:      5
Integer variables:        5
```

```
Total constraints:       10
Nonlinear constraints:    1
```

```
Total nonzeros:         20
Nonlinear nonzeros:      5
```

Variable	Value	Reduced Cost
IAD	12.000	0.0000
IAC	33.000	0.0000
IDB	16.000	0.0000
ICB	29.000	0.0000
ICD	4.0000	0.0000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	1353.1	0.0000
2	0.0000	-20.234
3	0.0000	4.1864
4	0.0000	0.0000
5	0.0000	-15.601
6	43.000	0.0000
7	51.000	0.0000

8	94.000	0.0000
9	54.000	0.0000
10	51.000	0.0000

```
: ALT 2,5
'Old string'New string'?
'45'55'
```

```
2] IAD+IAC=55;
5] IDB+ICB=55;
```

```
: GO
Model is quadratic.
```

Global optimal solution found.

Objective value:	1727.8
Objective bound:	1727.8
Infeasibilities:	0.0000
Extended solver steps:	8
Total solver iterations:	131

Model Class: PIQP

Total variables:	5
Nonlinear variables:	5
Integer variables:	5

Total constraints:	10
Nonlinear constraints:	1

Total nonzeros:	20
Nonlinear nonzeros:	5

Variable	Value	Reduced Cost
IAD	16.000	0.0000
IAC	39.000	0.0000
IDB	21.000	0.0000
ICB	34.000	0.0000
ICD	5.0000	0.0000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	1727.8	0.0000
2	0.0000	-21.738
3	0.0000	4.3289
4	0.0000	0.0000
5	0.0000	-16.857
6	39.000	0.0000
7	45.000	0.0000
8	89.000	0.0000
9	49.000	0.0000
10	50.000	0.0000

```
: ALT 2,5
'Old string'New string'?
'55'65'
```

```
2] IAD+IAC=65;
5] IDB+ICB=65;
```

```

: GO
Model is quadratic.

Global optimal solution found.
Objective value:                2129.0
Objective bound:                2129.0
Infeasibilities:                0.0000
Extended solver steps:         7
Total solver iterations:       116

```

```

Model Class:                    PIQP

```

```

Total variables:                5
Nonlinear variables:           5
Integer variables:             5

Total constraints:              10
Nonlinear constraints:         1

Total nonzeros:                20
Nonlinear nonzeros:            5

```

Variable	Value	Reduced Cost
IAD	19.000	0.0000
IAC	46.000	0.0000
IDB	25.000	0.0000
ICB	40.000	0.0000
ICD	6.0000	0.0000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	2129.0	0.0000
2	0.0000	-22.394
3	0.0000	4.4414
4	0.0000	0.0000
5	0.0000	-17.383
6	36.000	0.0000
7	38.000	0.0000
8	85.000	0.0000
9	43.000	0.0000
10	49.000	0.0000

```

: ALT 2,5
'Old string'New string'?
'65'75'

```

```

2]IAD+IAC=75;
5]IDB+ICB=75;

```

```

: GO
Model is quadratic.

```

```

Global optimal solution found.
Objective value:                2556.8
Objective bound:                2556.8
Infeasibilities:                0.0000
Extended solver steps:         2
Total solver iterations:       48

```

Model Class: PIQP

Total variables: 5
Nonlinear variables: 5
Integer variables: 5

Total constraints: 10
Nonlinear constraints: 1

Total nonzeros: 20
Nonlinear nonzeros: 5

Variable	Value	Reduced Cost
IAD	22.000	0.0000
IAC	53.000	0.0000
IDB	29.000	0.0000
ICB	46.000	0.0000
ICD	7.0000	0.0000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	2556.8	0.0000
2	0.0000	-24.566
3	0.0000	4.5549
4	0.0000	0.0000
5	0.0000	-19.433
6	33.000	0.0000
7	31.000	0.0000
8	81.000	0.0000
9	37.000	0.0000
10	48.000	0.0000

: ALT 2,5
'Old string'New string'?
'75'85'

2]IAD+IAC=85;
5]IDB+ICB=85;

: GO
Model is quadratic.

Global optimal solution found.

Objective value: 3011.2
Objective bound: 3011.2
Infeasibilities: 0.0000
Extended solver steps: 4
Total solver iterations: 147

Model Class: PIQP

Total variables: 5
Nonlinear variables: 5
Integer variables: 5

Total constraints: 10
Nonlinear constraints: 1

Total nonzeros: 20
 Nonlinear nonzeros: 5

Variable	Value	Reduced Cost
IAD	25.000	0.0000
IAC	60.000	0.0000
IDB	34.000	0.0000
ICB	51.000	0.0000
ICD	9.0000	0.0000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	3011.2	0.0000
2	0.0000	-25.844
3	0.0000	4.5093
4	0.0000	0.0000
5	0.0000	-20.753
6	30.000	0.0000
7	24.000	0.0000
8	76.000	0.0000
9	32.000	0.0000
10	46.000	0.0000

: ALT 2,5
 'Old string'New string'?
 '85'95'

2] IAD+IAC=95;
 5] IDB+ICB=95;

: GO
 Model is quadratic.

Global optimal solution found.

Objective value: 3492.1
 Objective bound: 3492.1
 Infeasibilities: 0.0000
 Extended solver steps: 7
 Total solver iterations: 135

Model Class: PIQP

Total variables: 5
 Nonlinear variables: 5
 Integer variables: 5

Total constraints: 10
 Nonlinear constraints: 1

Total nonzeros: 20
 Nonlinear nonzeros: 5

Variable	Value	Reduced Cost
IAD	28.000	0.0000
IAC	67.000	0.0000
IDB	38.000	0.0000
ICB	57.000	0.0000
ICD	10.000	0.0000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	3492.1	0.0000
2	0.0000	-27.213
3	0.0000	4.6179
4	0.0000	0.0000
5	0.0000	-21.997
6	27.000	0.0000
7	17.000	0.0000
8	72.000	0.0000
9	26.000	0.0000
10	45.000	0.0000

```
: ALT 2,5
'Old string'New string'?
'95'105'
```

```
2]IAD+IAC=105;
5]IDB+ICB=105;
```

```
: GO
Model is quadratic.
```

Global optimal solution found.

```
Objective value:          3999.6
Objective bound:         3999.6
Infeasibilities:         0.0000
Extended solver steps:    2
Total solver iterations:  46
```

```
Model Class:              PIQP
```

```
Total variables:         5
Nonlinear variables:      5
Integer variables:        5
```

```
Total constraints:       10
Nonlinear constraints:    1
```

```
Total nonzeros:         20
Nonlinear nonzeros:      5
```

Variable	Value	Reduced Cost
IAD	32.000	0.0000
IAC	73.000	0.0000
IDB	42.000	0.0000
ICB	63.000	0.0000
ICD	10.000	0.0000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	3999.6	0.0000
2	0.0000	-28.789
3	0.0000	4.9138
4	0.0000	0.0000
5	0.0000	-23.144
6	23.000	0.0000
7	11.000	0.0000
8	68.000	0.0000
9	20.000	0.0000

10 45.000 0.0000

: ALT 2,5
'Old string'New string'?
'105'115'

2]IAD+IAC=115;
5]IDB+ICB=115;

: GO
Model is quadratic.

Global optimal solution found.

Objective value: 4533.6
Objective bound: 4533.6
Infeasibilities: 0.0000
Extended solver steps: 5
Total solver iterations: 89

Model Class: PIQP

Total variables: 5
Nonlinear variables: 5
Integer variables: 5

Total constraints: 10
Nonlinear constraints: 1

Total nonzeros: 20
Nonlinear nonzeros: 5

Variable	Value	Reduced Cost
IAD	35.000	0.0000
IAC	80.000	0.0000
IDB	47.000	0.0000
ICB	68.000	0.0000
ICD	12.000	0.0000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	4533.6	0.0000
2	0.0000	-30.089
3	0.0000	4.8633
4	0.0000	0.0000
5	0.0000	-24.510
6	20.000	0.0000
7	4.0000	0.0000
8	63.000	0.0000
9	15.000	0.0000
10	43.000	0.0000

: ALT 2,5
'Old string'New string'?
'115'125'

2]IAD+IAC=125;
5]IDB+ICB=125;

: GO

Model is quadratic.

Global optimal solution found.

Objective value: 5097.5
Objective bound: 5097.5
Infeasibilities: 0.0000
Extended solver steps: 2
Total solver iterations: 50

Model Class: PIQP

Total variables: 5
Nonlinear variables: 5
Integer variables: 5

Total constraints: 10
Nonlinear constraints: 1

Total nonzeros: 20
Nonlinear nonzeros: 5

Variable	Value	Reduced Cost
IAD	41.000	0.0000
IAC	84.000	0.0000
IDB	51.000	0.0000
ICB	74.000	0.0000
ICD	10.000	0.0000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	5097.5	0.0000
2	0.0000	-32.571
3	0.0000	4.6672
4	0.0000	0.0000
5	0.0000	-25.780
6	14.000	0.0000
7	0.0000	2.0314
8	59.000	0.0000
9	9.0000	0.0000
10	45.000	0.0000

: ALT 2,5
'Old string'New string'?
'125'135'

2] IAD+IAC=135;
5] IDB+ICB=135;

: GO
Model is quadratic.

Global optimal solution found.

Objective value: 5715.2
Objective bound: 5715.2
Infeasibilities: 0.0000
Extended solver steps: 2
Total solver iterations: 54

Model Class: PIQP

```

Total variables:          5
Nonlinear variables:     5
Integer variables:       5

Total constraints:       10
Nonlinear constraints:   1

Total nonzeros:          20
Nonlinear nonzeros:     5

```

Variable	Value	Reduced Cost
IAD	51.000	0.0000
IAC	84.000	0.0000
IDB	57.000	0.0000
ICB	78.000	0.0000
ICD	6.0000	0.0000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	5715.2	0.0000
2	0.0000	-36.493
3	0.0000	4.2016
4	0.0000	0.0000
5	0.0000	-27.208
6	4.0000	0.0000
7	0.0000	6.5321
8	53.000	0.0000
9	5.0000	0.0000
10	49.000	0.0000

```

: ALT 2,5
'Old string'New string'?
'135'145'

```

```

2]IAD+IAC=145;
5]IDB+ICB=145;

```

```

: GO
Model is quadratic.

```

No feasible solution found.

```

Extended solver steps:          0
Total solver iterations:       0

```

```

Model Class:                    PIQP

```

```

Total variables:          5
Nonlinear variables:     5
Integer variables:       5

Total constraints:       10
Nonlinear constraints:   1

Total nonzeros:          20
Nonlinear nonzeros:     5

```

	Variable	Value
	IAD	0.0000
	IAC	0.0000
	IDB	0.0000
	ICB	0.0000
	ICD	0.0000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	0.0000	0.0000
2	0.0000	0.0000
3	0.0000	0.0000
4	0.0000	0.0000
5	0.0000	0.0000
6	0.0000	0.0000
7	0.0000	0.0000
8	0.0000	0.0000
9	0.0000	0.0000
10	0.0000	0.0000

: 90

ÖZGEÇMİŞ

Aslı Güven 1970 yılında Sivas'ın Suşehri ilçesinde doğdu. İlköğrenimini Malatya'da Gazi İlkokulunda, orta ve lise öğrenimini Malatya'da Atatürk lisesinde tamamladı. 1986-1987 öğretim döneminde Ortadoğu Teknik Üniversitesi Gaziantep Kampüsü Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünü kazandı ve 1991-1992 öğretim döneminde mezun oldu. Uzun bir süre tekstil sektöründe ticaretle ilgilendi. 2009-2010 öğretim döneminde İstanbul Kültür Üniversitesi Proje Yönetimi alanında Yüksek Lisans Eğitimi almaya başladı.