

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ŞEHİR İÇİ ULAŞIMIN İYİLEŞTİRİLMESİ İÇİN ESNEK ÇALIŞMA SAATİ
YAKLAŞIMINA DAYALI OLARAK GELİŞTİRİLEN MATEMATİKSEL
MODEL VE DEĞİŞKEN KOMŞU ARAMA ALGORİTMASI**

**YÜKSEK LİSANS
Zehra DURAK**

Anabilim Dalı : Endüstri Mühendisliği ABD

Programı : Endüstri Mühendisliği

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Özcan MUTLU

AĞUSTOS 2012

YÜKSEK LİSANS TEZ ONAY FORMU

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 091261006 nolu öğrencisi Zehra DURAK tarafından hazırlanan “ŞEHİR İÇİ ULAŞIMIN İYİLEŞTİRİLMESİ İÇİN ESNEK ÇALIŞMA SAATİ YAKLAŞIMINA DAYALI OLARAK GELİŞTİRİLEN MATEMATİKSEL MODEL VE DEĞİŞKEN KOMŞU ARAMA ALGORİTMASI” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

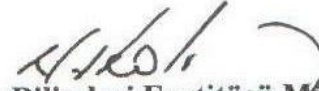
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Özcan MUTLU (PAÜ)
(Jüri Başkanı)

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Aşkner GÜNGÖR (PAÜ)

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Yetiş Şazi MURAT (PAÜ)



Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
3.1.10/2012. tarih ve ...27.10..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.


Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
Prof. Dr. Nuri KOLSUZ

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

İmza : 

Öğrenci Adı Soyadı : Zehra DURAK

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, trafiğin sıkışık olduğu zirve saatleri daha geniş bir zaman dilimine yayarak saat başına düşen yolculuk talebini dengelemek ve dolayısıyla sıkışıklığı azaltmak için, çalışma saatlerinin kademeli olarak düzenlenmesi konusu ele alınmıştır. Bu amaçla, kademelendirme kararlarının alınmasını sağlayacak tamsayı hedef programlama tabanlı bir matematiksel model geliştirilmiş ve büyük boyutlu problemler için değişken konşuluk arama algoritması önerilmiştir.

Bu çalışmanın gerçekleşme sürecinde bana yol gösteren, değerli zamanını ve bilgisini esirgemeyen Değerli Danışman Hocam Yrd. Doç. Dr. Özcan MUTLU'ya,

Çalışmalarım sırasında bana destek olan Sayın Hocalarım Prof. Dr. Aşkner GÜNGÖR'e, Prof. Dr. Osman KULAK'a, Yrd. Doç. Dr. Semih COŞKUN'a, Yrd. Doç. Dr. A. Ayça SUPÇİLLER'e,

Gerek fikirleri ile gerekse manevi destekleri ile hep yanımda olan sevgili çalışma arkadaşlarım ve değerli hocalarım, Arş. Gör. Hasan AKYER'e ve Arş. Gör. Olcay POLAT'a,

Bu tezin gerçekleşmesinde 2010FBE021 numaralı proje ile destek sağlayan Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine,

Son olarak, bana daima güvenip, her zaman yanımda olan İ. Edip TAŞCI'ya, Gülnur TAŞCI'ya, M. Burak TAŞCI'ya ve Sevgili Eşim Murat DURAK'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ağustos 2012

Zehra DURAK
(Endüstri Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

1. GİRİŞ	1
2. ULAŞIM TALEP YÖNETİMİ.....	4
2.1 Ulaşım Talep Yönetiminin Ortaya Çıkışı ve Tanımı	4
2.2 Ulaşım Talep Yönetimi Stratejilerinin Sınıflandırılması.....	6
2.3 Ulaşım Talep Yönetimi Önlemleri	7
2.3.1 Ulaşım ihtiyacının yolculuk yapmadan karşılanması.....	8
2.3.2 Ulaşım talebinin sınırlandırılması ve verimli ulaşım türlerine kaydırılması.....	8
2.3.3 Ulaşım talebinin dengelenmesi ve düzenlenmesi.....	10
2.3.3.1 Ulaşım talebinin mekanda dağılımın düzenlenmesi	10
2.3.3.2 Ulaşım talebinin zaman içindeki dağılımın düzenlenmesi	11
2.3.3.3 Sıkışıklık yönetimi	11
3. DEĞİŞKEN KOMŞU ARAMA.....	20
3.1 DKA Algoritmasının Adımları	21
3.1.1 Başlangıç adımı	21
3.1.1.1 Komşuluk yapılarının belirlenmesi	22
3.1.1.2 Başlangıç çözümünün bulunması	22
3.1.1.3 Durma koşulunun belirlenmesi	22
3.1.2 Karıştırma (Shaking)	23
3.1.3 Yerel arama (Local Search)	23
3.1.4 Hareket et ya da dur (Move or Not)	24
3.1.5 Çeşitlendirme (Diversification).....	24
3.2 DKA Algoritmasının Türleri.....	24
3.2.1 Değişken komşu iniş (Variable neighborhood descent).....	25
3.2.2 Temel değişken komşu arama (Basic variable neighborhood search)	25
3.2.3 Genel değişken komşu arama (General variable neighborhood search) ...	25
3.2.4 İndirgenmiş değişken komşu arama (Reduced variable neighborhood search)	25
3.2.5 Ayrıştırırmalı değişken komşu arama (Variable neighborhood decomposition search).....	26
3.2.6 Esnek değişken komşu arama (Skewed variable neighborhood search) ...	26
3.3 Literatürde DKA Metasezgiselinin Kullanımı	27
4. MODEL ÖNERİSİ VE MODELİN FORMÜLASYONU	31
4.1 Problemin Tanımı ve Varsayımlar	31
4.2 Problemin Modeli ve Formülasyonu	33
5. ÖNERİLEN MODELİN DEĞİŞKEN KOMŞULUK ARAMA ALGORİTMASI İLE ÇÖZÜLMESİ.....	37
5.1 Önerilen DKA Algoritması.....	37
5.1.1 Başlangıç Çözümü.....	39
5.1.2 Komşuluk Yapıları	39

5.1.2.1 İkili yer değiştirme operatörü	39
5.1.2.2 Yerine koyma operatörü	40
5.1.2.3 Ters çevirme operatörü	40
5.1.2.4 Aralıklı yerine koyma operatörü	40
5.1.3 Karıştırma	41
5.1.4 Yerel Arama	41
5.1.5 Hareket Et ya da Dur	41
5.1.6 Çeşitlendirme	41
5.1.7 Durma Kriteri	42
5.2 DKA algoritması için deneysel sonuçlar	42
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	51
KAYNAKLAR	53
EKLER	57

KISALTMALAR

UTY	: Ulaşım Talep Yönetimi
DKA	: Değişken Komşu Arama
DKİ	: Değişken Komşu İniş
TDKA	: Temel Değişken Komşu Arama
GDKA	: Genel Değişken Komşu Arama
İDKA	: İndirgenmiş Değişken Komşu Arama
ADKA	: Ayrıştırılmalı Değişken Komşu Arama
EDKA	: Eğri Değişken Komşu Arama
GSP	: Gezgın Satıcı Problemi

TABLO LİSTESİ

Tablolar

2.1 : Çağdaş ve geleneksel yaklaşımlar arasındaki temel farklılıklar	5
2.2 : UTY stratejilerinin sınıflandırılması ve etkinlikleri	7
4.1 : Örnek probleme ait yolların bilgisi	35
4.2 : Örnek probleme ait ulaşım talep bilgisi	35
4.3 : Örnek probleme ait yol kullanım bilgisi	35
4.4 : Örnek probleme ait hedef noktaların işe başlama zamanı bilgisi	36
4.5 : Örnek problemin çözümü sonucunda, yolların kapasite ve hedef yoğunluk değerlerinden sapma miktarları	36
5.1 : Parametre testi sonuçları	44
5.2 : Veri setlerinin detayları	45
5.3 : Problemlerin sezgisel algoritma ile çözüm sonuçları	47
5.4 : 15, 16, 17 ve 18 nolu problemlerin sezgisel algoritma ve matematiksel model ile çözüm sonuçları	49

ŞEKİL LİSTESİ

Şekiller

3.1 : DKA algoritmasının temel adımları.....	21
4.1 : Problemin şebeke gösterimi	31
5.1 : Önerilen DKA algoritması	38
5.2 : Önerilen DKA algoritmasına ait başlangıç çözümü örneği.....	39
5.3 : İkili yer değiştirme operatörü uygulaması.....	39
5.4 : Yerine koyma operatörü uygulaması	40
5.5 : Ters çevirme operatörü uygulaması.....	40
5.6 : Aralıklı yerine koyma operatörü uygulaması	41
5.7 : Yarılmalı yerine koyma operatörü uygulaması.....	42

SEMBOL LİSTESİ

T_k	k amacı için belirlenmiş hedef düzeyi
p_k	hedeften pozitif yönde sapma
p_n	hedeften negatif yönde sapma
v_k	pozitif yönde sapma için ağırlığı değeri
w_k	negatif yönde sapma için ağırlığı değeri
i	Başlangıç düğümü
j	Hedef düğümü
k	Yol
l	Zaman periyodu
m	Başlangıç düğümü sayısı
n	Hedef düğümü sayısı
p	Yol sayısı
q	Zaman periyodu sayısı
w	Ceza katsayısı
a_{ij}	i düğümünden j düğümüne giden araç sayısı
g_{ijk}	i 'den j 'ye k yolunun kullanılma durumu
b_k	k yolunun kapasite değeri
d_k	k yolunun hedef yoğunluk değeri
p_{lk}^-	Kapasite değerinden negatif sapmalar
p_{lk}^+	Kapasite değerinden pozitif sapmalar
s_{lk}^-	Hedef yoğunluk değerinden negatif sapmalar
s_{lk}^+	Hedef yoğunluk değerinden pozitif sapmalar
x_{jl}	j düğümünün l . zaman diliminde açılma durumu

ÖZET

ŞEHİR İÇİ ULAŞIMIN İYİLEŞTİRİLMESİ İÇİN ESNEK ÇALIŞMA SAATI YAKLAŞIMINA DAYALI OLARAK GELİŞTİRİLEN MATEMATİKSEL MODEL VE DEĞİŞKEN KOMŞU ARAMA ALGORİTMASI

Trafik sıkışıklığı günümüz büyük şehirlerinin en büyük sorunlarından birisidir. Bu nedenle, ulaşım talep yönetimi konusunda uygulanan pek çok ulaşım politikası mevcuttur. Bu politikalar dahilinde, çalışma saatlerinde esneklik kavramı önemli yere sahiptir.

Çalışma saatlerinde esneklik uygulamaları temelde iki şekilde olmaktadır. Bunlardan ilkinde çalışma saatleri, merkezi yönetim tarafından kademeli olarak düzenlenmektedir. Diğer türde ise çalışanlar belirli saatlerde mesaiye başlayıp bitirmek yerine; mesai başlama zamanını kendilerine uygun olarak belirlemekte ve günlük çalışma sürelerini tamamlamaktadırlar. Her iki durumda da kişilerin zirve saatlerden kaçınabilmeleri, dolayısıyla yol kapasitelerinin gün içinde daha verimli kullanımı sağlanmaktadır.

Bu çalışmada, çalışma saatlerinin kademeli olarak düzenlenmesi konusu ele alınmıştır. Bu yöntem trafiğin sıkışık olduğu zirve saatleri daha geniş bir zaman dilimine yayarak saat başına düşen yolculuk talebini, dolayısıyla sıkışıklığı azaltmayı amaçlamaktadır. Yöntem, iş yerlerinin çalışma saatlerine müdahale etmenin mümkün olduğu durumlarda mevcut altyapı kapasitesinden daha iyi yararlanmada oldukça etkilidir.

Bu tezde, yol kapasitelerini aşma miktarını minimize edecek şekilde hangi kurumun hangi saatte mesaiye başlayacağını ve son vereceğini belirlemek amaçlanmaktadır. Bu amaçla tamsayılı hedef programlama modeli geliştirilmiştir. Ayrıca, NP-Zor sınıfındaki problemin çözümü için Değişken Komşuluk Arama (DKA) metasezgiseline dayanan bir algoritma tasarlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ulaşım talep yönetimi, esnek mesai saatleri, zirve saatler, değişken komşu arama sezgiseli

SUMMARY

A MATHEMATICAL MODEL AND VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH ALGORITHM BASED ON FLEXIBLE WORK HOUR APPROACH IN ORDER TO IMPROVE CITY TRANSPORTATION

Traffic congestion is a major problem in today's metropolitan areas. Many transportation demand management strategies have been efficiently used in recent years. And flexible work hour has played a central rule in this strategies.

There are two types of flexible work hours programs: flex-time, staggered work hours. Staggered work hours concept involves spreading out employee arrival and departure times by the management. On the other hand, with a flex-time program, employees work five eight-hour days each week, but they are allowed to choose their work arrival and departure times. Applications of both two strategies, can help reduce traffic congestion and bottlenecks in the peak hours. This study deals with staggered work hours approach.

In this study, we offer a integer programming and goal programming based mathematical model in order to reduce traffic congestion during peak hours by adjusting the work start times of the public bodies such as schools, hospitals etc. We assume that there are two or more alternative work start times that can be determined by local authority. The problem is to find the work start times of the public bodies so that the traffic congestion is reduced. We also utilize Variable Neighborhood Search (VNS) heuristic in order to solve this NP-Hard problem.

Key Words: Transportation demand manegement, flexible work hour, peak hours, variable neighborhood search heuristic

1. GİRİŞ

Günümüzde, dünyanın hemen her ülkesinde karayolu ulaşımı ve trafiği büyük bir problem haline gelmiştir. Özellikle büyük kentlerdeki hızlı nüfus artışıyla orantılı olarak şehir içi ulaşım ve trafik problemleri artmaktadır. Bu konudaki rahatsızlığın en fazla hissedildiği dönem ise gün içinde mesai başlangıç ve bitiş saatlerine tekabül eden zirve dönemlerdir.

Trafik problemlerinin nedenleri ülkelerin sosyo-ekonomik yapısına göre farklılık göstermektedir. Gelişmiş ülkelerde otomobil sahipliği oldukça fazla olup, yol uzunlukları ve standartları yeterli olsa dahi bazı şehirlerde tıkanıklık probleminin yaşanması kaçınılmaz olabilmektedir. Hayat standartları yüksek olan ülkelerde her aileye bir otomobil düşerken, bu değer ülkemizde 20 kişiye bir otomobile kadar düşmektedir. Bu ülkelerde otomobil sahipliği daha fazla olmasına rağmen ülkemizde zirve saatlerde meydana gelen tıkanmalar, yaşadığımız trafik probleminin farklı nedenleri olduğunu göstermektedir (Öztürk, 2005). Bu nedenlerden başlıcaları; hatalı ulaşım politikaları, hızlı nüfus artışı, kırsal kesimden kente olan göçler şeklinde sayılabilir.

Özellikle İstanbul gibi büyük şehirlerimizde konut ile iş yerlerinin birbirinden uzak olması, kat edilen yolu ve yollarda geçen süreyi arttırdığı için büyük problem teşkil etmektedir. Toplu taşıma sistemlerinin yetersizliği insanları özel araçları ile trafiğe çıkmak zorunda bırakmaktadır. Otomobillerin doluluk oranlarının az olması, taşınan yolcu sayısı ile ters orantılı bir trafik yoğunluğu oluşturmaktadır. Bu aksaklıklar nedeni ile çalışma kapsamında ele alınan, mesai saatlerini kademelendirme yöntemi büyük şehirlerimizde, özellikle zirve dönemler için hızlı çözüm verebilecek bir uygulamadır.

Zirve dönemlerde ortaya çıkan trafik tıkanıklığı yolcular üzerinde olumsuz etkilere yol açmakla kalmayıp toplumsal olarak ciddi kayıplara neden olmaktadır. Katlanılmak zorunda kalınan ekonomik kayıplar; kaza maliyetleri, araç sahipliği maliyetleri, yolculuk süresi maliyetleri, hava kirliliği ve yakıt tüketimi maliyetleri olarak sıralanabilir. Ancak yapılan çalışmalar sonucunda zaman kaybının en büyük harici maliyet olduğu belirlenmiştir ve trafikte zaman kaybının en yoğun yaşandığı dönem, zirve saatlerdir. Amerika'da 85 metropol bölgesinde yapılan çalışmalarda 1982 yılında tıkanıklığın ekonomi üzerindeki maliyetinin 14,2 milyar dolar iken 2005 yılında 63 milyar dolara yükseldiği gözlemlenmiştir. Trafik tıkanıklığı 2005 yılında 3,7 milyar saat zaman kaybına ve 8,7 milyar litre petrol kaybına neden olmuştur (Saruç, 2008). Ayrıca zirve dönemlerde yolculuk yapanlar işe gittiklerinde yorgun olmakta ve iş gücünün kalitesi düşmektedir. Tüm bunların yanısıra acil durumlarda ambulans, itfaiye ve polis araçlarının yaşadığı gecikmeler geri dönüşü olmayan hasarlara neden olabilmektedir.

Tüm bu sebeplerden ötürü gerçekleştirilen çalışmada, özellikle büyük şehirlerdeki yolculuk talebini dengeleyerek zirve dönemlerdeki sıkışıklığı minimize etmek amaçlanmıştır. Araştırmacıların yoğunlaştığı diğer talep odaklı çalışmalar, fazla analitik detay içermeyen model taslakları ortaya koymuştur. Bu çalışmada ise mesai saatlerini kademelendirmek için tamsayılı hedef programlama modeli geliştirilmiş ve NP-zor sınıfında olduğu belirlenen problem için değişken komşuluk arama metasezgiseline dayanan bir algoritma tasarlanmıştır. Matematiksel modelin çözümünde GAMS paket programından (bakınız Ek 2) sezgisel algoritmanın çözümü için ise MATLAB paket programından faydalanılmıştır.

Çalışmanın birinci bölümünde konuya giriş yapılmıştır. İkinci bölümde ulaşım talep yönetimi konusu ele alınmış ve esnek çalışma saati uygulamalarını da içeren değişik dengeleme yöntemleri irdelenmiş ayrıca literatürdeki mevcut çalışmalara değinilmiştir.

Üçüncü bölümde Değişken Komşuluk Arama (DKA) algoritması hakkında bilgi verilmiş, sezgiselin farklı konulardaki uygulamalarından bahsedilmiştir.

Dördüncü bölümde ise çalışmaya konu olan problem için geliştirilen matematiksel model ve faydalanılan yöntemler açıklanmıştır. Beşinci bölümde, NP-Zor türünde olduğu ortaya konan problemin çözümü için geliştirilen DKA algoritmasına yer verilmiştir.

Sonuç bölümünde ise, elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve ileride yapılabilecek çalışmalar hakkında öneride bulunulmuştur.

2. ULAŞIM TALEP YÖNETİMİ

2.1 Ulaşım Talep Yönetiminin Ortaya Çıkışı ve Tanımı

Gelişmekte olan ülkelerde, trafik sıkışıklığı ciddi sağlık, çevre ve ekonomi konulu problemlere sebep olan en yaygın sorunlardan biridir (Meyer, 1999). Bu yüzden, 1970'li yılların başlarından beri özellikle şehir ulaşımı açısından, trafik sıkışıklığı yönetimi konusuna büyük önem verilmeye başlanmıştır. Ancak sınırlı ulaşım altyapısı, alan yetersizliği, bütçe açıkları gibi problemler ulaşım konusunda seçenekleri kısıtlamaktadır. Bahsi geçen kısıtlardan dolayı arz sunmak zorlaştıkça ulaşım planlayıcılar talep odaklı çözümlere yoğunlaşmışlardır. Bu bağlamda, ulaşım talep yönetimi (UTY) ulaşım kaynaklarının kullanım talebini kontrol etmek için tasarlanmıştır (Nozick ve diğ., 1998). UTY stratejileri trafik problemlerini mevcut ulaşım sistemlerindeki arzı artırmadan, kontrol etmeyi amaçlar. UTY stratejileri yardımıyla kullanıcı aktivitelerini ve davranışlarını etkilemek sureti ile trafik sıkışıklığı azaltılabilir (Fujii ve diğ., 2001).

UTY çok yönlü ve kapsamlı bir çalışma gerektirir. Bir diğer deyişle, etkili bir UTY programı uygun UTY önlemleri ve uygulamalarının bir bütünü olmalıdır. Bu çalışmada diğer UTY önlemleri ve stratejileri ile birlikte gerçekleştirildiğinde fayda sağlayan kademeli mesai saati uygulaması ele alınmaktadır.

Ulaşım planlamasında UTY'nin benimsenmesindeki en önemli etken geçmişten bugüne çeşitli dönemlerde uygulanmış ve benimsenmiş olan planlama yaklaşımlarındaki olumsuzlukların ve kısır döngülerin oluşmasıdır (Çelik, 1999).

Kentiçi ulaşımdaki ilk sorunlar kavşaklarda oluşmuş ve noktasal çözümler ile tıkanıklıkların çözüleceği inancı benimsenmiştir. Planlamacılar tıkanan kavşaklardaki problemleri başlarda ilave kapasite yaratarak çözümlenmiş sonrasında ise noktasal çözümler ile etkin bir sonuç alınamayacağı görülmüştür.

Atmışlı yılların sonlarından itibaren trafik yönetiminde koridor kavramı devreye girmiş ve şehir içinde tanımlanan ana ulaşım koridorlarının bir bütün olarak ele alınması uygun görülmüştür. Bu amaçla koridorlarda trafik talebinin gerektirdiği arzın sunulması ile kesintisiz akımın sağlanmasına çalışılmıştır. Ancak bu yöntem sonucunda, ya talep diğer koridorlara kayarak buralarda tıkanıklığa yol açmış, ya da sunulan kapasite aynı koridora talep çekerek tekrar tıkanıklık oluşturmuştur.

Yetmişli yıllara gelindiğinde koridor etütlerinin uygulanmasıyla ortaya çıkan sonuçlar, bu yaklaşımın yetersiz kaldığını göstermiştir. Nokta ya da koridor anlayışı ile çözülemeyen problemlerin, ulaşım sistemlerinin bir şebeke olarak ele alınması ile çözülebileceği anlaşılmıştır. Bu yaklaşım sonucunda kentiçi ulaşım sistemlerinin bilgisayarlarda benzetim modelleri yaratılarak, trafiğin yönetilmesi fikri doğmuştur.

Seksenli yılların sonlarında bilgisayarlara dayalı benzetim modellerine, yaya ve sürücü davranış ve alışkanlıklarının, dolaylı ve dolaysız maliyetlerin, mekânsal ve görsel bozulmaların, yasal çerçevenin ve yaptırım sisteminin, yeterince yansıtılmadığı ortaya çıkmıştır. Sonunda, kentiçi ulaşım sistemlerinin, sadece ulaşım altyapısı hizmetlerini dikkate alan noktalar, koridorlar ve şebekelerden ibaret olmadığı kabul edilmiş ve bunlar dışında farklı değişkenlerin de ulaşım sisteminin davranışlarını belirlediği anlaşılmıştır. Dolayısıyla çok boyutlu sistem çözümlerinin geliştirilmesi gereği ortaya çıkmış ve artan talebe arzı arttırarak cevap verme yaklaşımı yerine yeni arayışlar içerisine girilmiştir (Demirtaş, 2009).

Bu arayışlar sonucunda ortaya konulan çağdaş yaklaşımlar ile geleneksel yaklaşımlar arasındaki temel farklılıklar Tablo 2.1’de görülmektedir.

Tablo 2.1: Çağdaş ve geleneksel yaklaşımlar arasındaki temel farklılıklar

Geleneksel yaklaşımlar	Çağdaş yaklaşımlar
Ulaşım arzının planlanması	Talebin yönlendirilmesi
Taşıtlara öncelik	İnsanlara öncelik
Ek kapasite yaratma	Mevcut altyapıyı verimli kullanma
Otomobil kullanıcılarına yönelik	Toplumun tüm kesimlerine yönelik
Sermaye yoğun yatırımlar	Küçük/gerçekleşebilir yatırımlar
Geri dönülmez kararlar	Esnek kararlar
Fiziksel çözümler	Yönetsel/ekonomik çözümler
İnşaata yönelik	Çevreye duyarlı

Çağdaş algılayış ile taşıtların akımı yerine insanların hareketliliğine önem verilmekte, mevcut ulaşım altyapısını en verimli biçimde kullanmak temel hedef olarak belirlenmektedir. Bu politikalar dahilinde, gerçekleştirilen UTY önlem türleri aşağıdaki ana başlıklar altında toplanabilir.

- Ulaşım ihtiyacının yolculuk yapmadan karşılanması,
- Ulaşım talebinin verimli türlere kaydırılması,
- Ulaşım talebinin mekanda dağılımının düzenlenmesi,
- Ulaşım talebinin zaman içindeki dağılımının düzenlenmesi,

Uygulamada talep yönetimini etkin bir şekilde sağlamak için bahsedilen başlıklar altında çeşitli önlemlerin senkronize bir şekilde hayata geçirilmesi gereklidir. Söz konusu politikalar dahilinde, çalışma saatlerinde ve yerinde esneklik kavramları önemli yer tutmaktadır. Çalışma saatlerindeki esneklik, çalışma saatlerinin merkezi yönetim tarafından kademeli olarak düzenlenmesi veya çalışanların önceden belirlenmiş iş başlama ve bitiş saatlerine uymaları yerine belirli miktarda çalışma saatini doldurmalarına izin verilmesi şeklinde olabilir. Her iki durumda da kişilerin zirve saatlerden kaçınabilmeleri, dolayısıyla yol kapasitelerinin gün içine daha verimli kullanımı sağlanmaktadır. Sıkıştırılmış çalışma saatleri ve esnek çalışma saatleri uygulamaları ile zirve saat trafiği dağıtılmış olur (Bhattacharjee ve diğ., 1997). Çalışma yerindeki esneklik ise, tele-iletişim olanaklarının ve bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle birlikte ulaşımın yerini iletişimin almasıyla sağlanabilmektedir. Bu yöntemle kişiler iş yerlerine gitme zorunluluğu olmadan buldukları yerden çalışabilmektedirler.

Bu çalışmada, çalışma saatlerinin kademeli olarak düzenlenmesi konusu ele alınmıştır. Bu yöntem trafiğin sıkışık olduğu zirve saatleri daha geniş bir zaman dilimine yayarak saat başına düşen yolculuk talebini, dolayısıyla sıkışıklığı azaltmayı amaçlamaktadır. Çalışma saatlerinin denetiminin büyük oranda yerel veya merkezi yönetimin elinde olduğu durumlarda, bu politikanın mevcut altyapı kapasitesinden daha iyi yararlanmak için etkili bir yöntem olduğu söylenebilir (Çelik, 1999).

İlerleyen bölümlerde, çalışmada ele alınan çalışma saatlerinin kademeli olarak düzenlenmesi konusu ve yukarıda ana başlıklar altında toplanan UTY önlemleri detaylandırılmıştır.

2.2 Ulaşım Talep Yönetimi Stratejilerinin Sınıflandırılması

UTY önlemlerini talep yönlü ve arz yönlü olmak üzere iki temel gruba ayırmak mümkündür (Saruç, 2008). Talep yönlü yöntemler; bir sonraki bölümde detaylı olarak açıklanacak olan; toplu taşıma sistemlerinin kullanılması, ortak araç kullanımının özendirilmesi, seyahat etme gereğinin azaltılması gibi önlemlerle seyahate olan talebi düşürmeye ve/veya dengelemeye çalışan yöntemlerdir. Arz yönlü yöntemler ise ulaşım sisteminin mevcut kapasitesini artırmaya yönelik çalışmalardır (Demirtaş, 2009).

Tablo 2.2’de talep yönlü UTY stratejilerinin sınıflandırılması ve etkinlikleri görülmektedir.

Tablo 2.2: UTY stratejilerinin sınıflandırılması ve etkinlikleri

Önlemler		ŞM	ŞA	ZZ	ZDZ
Arazi kullanımı ve zonlara ayırma	•Arazi kullanımı ve zonlara ayırma politikaları	E	BE	E	BE
Ulaşım ikameleri	•Tele haberleşme	E	BE	E	U
	•Tele çalışma	BE	E	BE	BE
	•Tele alışveriş	BE	BE	BE	BE
Yolcu bilgilendirme servisi	•Seyahat öncesi ulaşım bilgilendirme	E	E	E	BE
	•Seyir paylaşımı arama sistemi	E	U	E	U
Ekonomik önlemler	•Tıkanıklık fiyatlandırması	E	E	E	BE
	•Park ücretlendirmesi	E	U	E	BE
	•Toplu taşıma teşvikleri	E	U	E	U
İdari önlemler	•Alternatif vardiyalar	E	U	E	E
	•Taşıt girişi yasaklı bölgeler	E	U	E	E
	•Park yönetimi	E	U	E	U
ŞM: Şehir merkezi	ZZ: Zirve Zaman	E: Etkili		U: Uygulanmıyor	
ŞA: Şehirler Arası	ZDZ: Zirve Dışı Zaman	BE: Biraz etkili			

2.3 Ulaşım Talep Yönetimi Önlemleri

UTY yaklaşımı kapsamında izlenecek adımların ilki ulaşım ihtiyacının yolculuk yapmadan karşılanmasını sağlamaktır. Bu şekilde elimine edilen ulaşım talebinin dışında kalan kısım için ikinci adım, otomobil kullanımına alternatiflerin geliştirilmesi ve desteklenmesi, bireysel ulaşımın sınırlandırılması, gibi önlemler dizisi ile talebin verimli ulaşım türlerine kaydırılmasıdır. Birinci ve ikinci adımlarda azaltılan ve verimli ulaşım türlerine kaydırılan ulaşım talebinin dengelenmesi ve düzenlenmesi ise iki yönlüdür. Bunlar; ulaşım talebinin mekandaki ve zaman içindeki dağılımının düzenlenmesidir.

Aşağıda söz konusu önlem ve yöntemlerden detaylı olarak bahsedilmiştir.

2.3.1 Ulaşım ihtiyacının yolculuk yapmadan karşılanması

UTY önlemleri alınırken öncelikle ulaşımın da alternatiflerinin olduğu unutulmamalıdır. Günümüzde teknolojik gelişmeler iletişimin pek çok alanda ulaşımın yerini alabileceğini ve gelecekte bu eğilimin daha da artacağını göstermektedir. Ulaşım ihtiyacının yolculuk yapmadan karşılanması amacıyla, üzerinde durulması gereken konular iki ana başlık altında toplanabilmektedir (Çelik, 1999);

- Elektronik işlemler ve iletişim
- Tele çalışma

Telefon, faks, bilgisayar, internet, elektronik ücret ödeme gibi konulardaki hızlı gelişmelerle birlikte, e-bankacılık, e-alışveriş gibi uygulamalar da rahatlıkla gerçekleştirilebilmektedir. Bu sayede, yolculukları ortaya çıkaran ihtiyacın önemli bir kısmının yolculuk yapmaksızın karşılanabilmesi mümkün hale gelmektedir.

Ayrıca, iş ortamlarının giderek daha fazla bilgisayara dayalı hale gelmesi ve artan elektronik iletişim olanakları, insanların işyerlerine gitmeden evlerindeki kişisel bilgisayarlarıyla bürolarındaki işlerini yapabilmesine imkan vermektedir. Kentiçi ulaşım ihtiyacının doğuşu olan konutla işyeri arası yolculuk gereksinimi, böylelikle yolculuklar daha başlamadan ortadan kaldırılabilmektedir (Çelik, 1999).

2.3.2 Ulaşım talebinin sınırlandırılması ve verimli ulaşım türlerine kaydırılması

Bireysel otomobil kullanımı özellikle atıl kapasite ile gerçekleştirildiğinde istenmeyen bir durumdur. Bireysel otomobil kullanımının azaltılması amacıyla iki tür uygulama gerçekleştirilebilir. Bunların ilki çeşitli yaptırımlarla bireysel otomobil kullanımını kısıtlamak diğeri ise teşviklerde bulunarak verimli ulaşım türlerine kaymayı sağlamaktır.

Bireysel ulaşımın sınırlandırılmasına yönelik aşağıda maddeler halinde sıralanan önlemler, bir sonraki bölüm olan ulaşım talebinin dengelenmesi ve düzenlenmesi konu başlığı altında sınıflandırılmış ve detaylandırılmıştır;

- Bazı yol ve alanlarda otomobil trafiğinin yasaklanması
- Özel otomobiller için yol kapasitesinin azaltılması
- Yüksek doluluk oranlı taşıtlara öncelik tanınması
- Otopark arzının sınırlandırılması ve ücretlendirme politikaları
- Yol ve alan ücretlendirmesi

Ancak bu önlemler, talebin verimli ulaşım türlerine kaydırılmasına yönelik uygulamalarla koordineli şekilde gerçekleştirilirse, etkin sonuçlar alınabilir. Ulaşım talebinin verimli ulaşım türlerine kaydırılmasına yönelik uygulamalardan bazıları aşağıda belirtildiği gibidir;

- Bisiklet ve yaya ulaşım koşullarının iyileştirilmesi
- Otopaylaşma programlarının yaygınlaştırılması
- Minibüs paylaşma programlarının yaygınlaştırılması
- Toplutaşıma sistemlerinin geliştirilmesi

Şehiriçi yolculuklarda bisiklet ile ve yaya olarak ulaşım sağlamak, en zararsız ve maliyetsiz ulaşım türleri olmalarına karşılık fazla uygulanmamaktadır. Bisiklet ve yaya ulaşımı özellikle öğrenciler için, yeterince desteklendiğinde ve özendirildiğinde verim alınabilecek önemli bir UTY önlem türüdür.

Otopaylaşma ise özel otomobilleri iki veya daha fazla kişinin birlikte yolculuk yaparak paylaşmasıdır. Otomobil yolculuğunun paylaşımı uygulamasında sürücünün ya da çalışılan işyerinin mülkiyetinde olan otomobil, iş-konut yolculuklarında diğer kişilerle birlikte kullanılmaktadır. Bilgisayarla yapılan eşleştirmeler sonucunda belirlenen yolculuk paylaşma grubu, uygun güzergah ve işe başlama/ayrılma saatleri ile aynı otomobilde yolculuk yapmaktadırlar (Çelik, 1999).

Benzer şekilde minibüs paylaşımı, ana güzergahlar üzerinde yolculuk yapacak 7-15 kişinin bir araya gelerek bir minibüsü kullanması ile gerçekleşmektedir. Minibüs paylaşım programlarının organizasyonu farklı şekillerde olabilmektedir. Bu organizasyon uygulamaları minibüsün sahibi tarafından işletilen minibüs paylaşım, işverenlerin desteklediği minibüs paylaşım ve bir ekip tarafından yapılan minibüs paylaşım olmak üzere üç şekilde gerçekleşmektedir (Çelik, 1999).

Elbette ki, sınırlı oranda uygulanabilecek bu yöntemlerin dışında, ulaşımın en yoğun şekilde kaydırılması gereken alan toplu taşımadır. Söz konusu talep kaymasını gerçekleştirmek için, toplu taşıma işletmelerinin fiziksel olarak iyileştirilmesi ve toplu taşımanın kullanıcıya maliyetinin azaltılması gerekmektedir.

Yalnızca toplu taşıma hizmet düzeyini yükselten ve kullanıcıya maliyetini düşüren veya otomobil kullanımını sınırlandıran UTY politikaları tek başına yeterli olmamaktadır. Bu politikalar birlikte uygulandığında istenilen yönde talep kayması gerçekleşebilmektedir. Aksi halde benimsenen tek yönlü yaklaşımlar, istenilen talep kaymasını sağlayamamakta, buna karşılık gereksiz maliyetlere ve kullanıcı tepkilerine sebep olmaktadır.

2.3.3 Ulaşım talebinin dengelenmesi ve düzenlenmesi

Ulaşım talep dengeleme ve düzenleme çalışmaları zaman ve mekan bazında gerçekleştirilmektedir. Literatürde önemli bir yere sahip olan sıklık yönetimi konusu ise hem zaman hem de mekan boyutunda ele alınmalıdır.

2.3.3.1 Ulaşım talebinin mekanda dağılımın düzenlenmesi

Yolculuk talebinin mekanda dağılımının düzenlenmesi şehir içi alanların kullanım planlarının oluşturulması ile gerçekleştirilmektedir. Bir şehrin arazi kullanım kararları, ulaşım taleplerinin oluşmasında ve dolayısıyla bu taleplerin düzeyinin belirlenmesinde, ulaşım taleplerinin kent koridorlarına dağılımında, yolculuk uzunluklarının oluşmasında ve tür seçiminde en önemli ve belirleyici etkidir (Çelik, 1999).

Tüm bu sebeplerden ötürü, şehir içinde yolculuk üreten (konutlar) ve çeken (işyerleri, okullar, kültür ve eğlence tesisleri, v.b.) kentsel yapıların dengeli bir şekilde yerleştirilmesi, yolculuk talebinin düzenlenmesi ve ulaşım sisteminin daha etkin ve verimli bir şekilde işletilmesi açısından önemlidir. Ayrıca, şehirlerde tek merkeze bağımlılığın ortadan kaldırılması ve çevre iş merkezlerinin oluşturulması konu ile ilgili önemli çağdaş yaklaşımlardan birisidir.

2.3.3.2 Ulaşım talebinin zaman içindeki dağılımın düzenlenmesi

Diğer talep yönetimi problemleri gibi UTY için de amaçlanan ulaşım sisteminin, kapasite aşımaları olmadan dengeli şekilde kullanılmasını sağlamaktır. Ancak gün içinde sabit olmayan ulaşım talebinin özellikle zirve saatlerde dengelenmesi zor bir problemdir. Zirve saat sıkışıklığının en önemli sebebi iş yerlerinin, kamu kurumlarının ve okulların yakın veya aynı mesai saatlerini kullanmalarıdır. Bu yüzden, zirve saatlerde talebi zamana yaymak açısından en kolay yöntemler mesai saatlerinin düzenlenmesi ile ilgili olanlardır. Ayrıca yol ve geçiş ücretlerinin zirve saatlere göre düzenlenmesi ile kullanıcıların bu dönemlerde ulaşım sistemini kullanma oranı düşürülebilmektedir.

2.3.3.3 Sıkışıklık yönetimi

Sıkışıklık yönetimi, kentin ulaşım şebekesinin verimli kullanımına yönelik önlemlerin tümüdür. Bu uygulamalarda yönetim tarafından yapay sıkışıklık oluşturularak yolcuların istenen koridorlara ve zaman dilimlerine kaydırılması sağlanmaktadır. Sıkışıklık yönetimi önlem türleri, zaman ve mekan boyutunda olarak sınıflandırılabilir. Bu önlemlerden bazıları aşağıdaki gibidir;

Mekan boyutunda sıkışıklık yönetimi önlemleri;

- Bazı yol ve alanlarda otomobil trafiğinin yasaklanması
- Özel otomobiller için yol kapasitesinin azaltılması
- Yüksek doluluk oranlı taşıtlara öncelik tanınması
- Otopark arzının sınırlandırılması ve otopark ücretlendirme
- Yol ve alan ücretlendirmesi

Zaman boyutunda sıkışıklık yönetimi önlemleri

- Sıkıştırılmış çalışma haftası uygulaması
- Esnek çalışma haftası uygulaması
- Esnek mesai saatleri
- Otoparklar için zirve saat ücretlendirmesi
- Yol ve alanlar için zirve saat ücretlendirmesi

Görüldüğü gibi sıkışıklık yönetimi konusunda zaman ve mekan bazında düzenlemeler iç içe geçmiş durumdadır. Örneğin özel otomobiller için yol kapasitesinin azaltılması mekan boyutunda bir önlem iken, bu sınırlandırma sadece belirlenen saatlerde gerçekleştirildiğinde zaman boyutu da kazanmaktadır. Bu duruma özellikle ücretlendirme konusunda sıklıkla rastlanmaktadır. Günün değişik zamanları için farklı ücretlendirme yapılması yaygın bir uygulamadır. Bununla birlikte sıkışıklık yönetimi ile ilgili alınan önlemlerin, arzın kısıtlanması, ücretlendirme politikaları ve mesai saatlerinin düzenlenmesi olmak üzere üç ana başlıkta toplandığı söylenebilmektedir.

Arzın kısıtlanması ile ilgili yöntemlerden biri olan şehir merkezlerindeki bazı yol ve alanların özel araç trafiğine kapatılması, son dönemlerde yönetimler tarafından sıklıkla uygulanmaktadır. Şehir merkezlerinin yayalaştırılması olumlu çevresel etkiler sağlamaktadır. Merkezi yerlerin hemen dışında araçlara park yeri tahsis edilmesi ile uygulanan yöntem sayesinde, önemli varış noktalarına trafik sıkışıklığı nedeniyle erişilebilirliğin kısıtlanması sorunu ortadan kalkmış olmaktadır.

Şehir merkezlerindeki bazı yol ve alanların özel araç trafiğine tamamen kapatılması yerine yol kapasitelerinin azaltılması diğer bir UTY önlemidir. Bu kapsamda alınacak başlıca önlemler; trafik şeritlerinden bazılarının toplu taşıma araçlarına veya yayalara tahsis edilmesi ve trafik sinyallerinde toplu taşıma araçlarına öncelik tanınmasıdır (Kavasoğlu, 2002).

Yukarıda bahsedildiği gibi toplu taşıma araçlarına öncelik tanınmasına benzer şekilde, özel araçlara yüksek doluluk oranında yolculuk yapmaları halinde özellikle zirve saatlerde öncelik tanınması da oldukça etkili bir UTY önlemidir. Bu önlemin uygulanması, yolun tamamının veya belirli bir kısmının, trafik işaretleri ve fiziksel engeller ile içinde 3 veya 4 kişi olan özel araçlara ayrılması şeklindedir. Otoyol veya ekspres yol giriş rampaları ile kavşaklarda bu tür taşıtlara öncelik tanımak da sık uygulanan önlemlerdendir (Kavasoğlu, 2002). Ayrıca bu taşıtlara, ücretli yolları ödemenin bir kısmını veya tamamını yapmadan kullanma şeklinde ekonomik ayrıcalıklar da tanınabilir.

Otopark arzının sınırlandırılması ile de kullanıcıların ulaşım türü seçimi direk olarak etkilenebilmektedir. Yöntem, özellikle şehir merkezlerinde tüm gün veya günün belirli saatlerinde uygulanabilen maliyetsiz ve etkili bir yöntemdir. Yolculuk talebinin mekan içindeki dağılımının düzenlenmesi kapsamındaki yöntem, günün belirli saatlerinde uygulandığında zaman boyutu da kazanmaktadır. Otopark arzının sınırlandırılmadığı durumlarda ise otopark ücretlendirme politikaları ile otomobil yolculukları azaltılabilir. Aynı şekilde ücretlendirme işlemi günün belirli saatlerinde sıkışıklık durumu ile orantılı olarak düzenlendiğinde zaman boyutu devreye girmektedir.

Ücretlendirme politikaları otoparkların dışında, yol, köprü, tünel gibi geçiş noktalarında veya belirli alanlarda uygulanabilirler. Söz konusu yöntem, uygulanması zor olmakla birlikte oldukça verimli sonuçlar vermektedir. Araştırmacıların en çok odaklandığı konulardan biri olan yol ve alan ücretlendirmesinde, maliyetler sürücüler açısından gerçek ve kolay algılanabilir olduğundan, yolculuk davranış ve talebini kolayca etkilemektedir.

Sıkışıklık yönetimi kapsamındaki en önemli kavram hiç kuşkusuz zirve dönem kavramıdır. Zirve dönemler, trafik akımındaki dalgalanmalar esnasında oluşan en yüksek trafik hacmi değerlerinin gözlemlendiği periyotlardır. Zirve dönemlerin gerçekleşmesinde birçok faktör rol oynamakla birlikte, konut-iş yeri yolculukları her gün belirli saatlerde düzenli olarak yapıldıklarından bu faktörlerin en önemlisi olarak görülebilir.

Ekler'in 2009 yılında yaptığı çalışmasında belirttiği üzere; "Mesai saatlerinin erken veya geç başlatılması ile yolculukların yapılma saatleri kaydırılabilir. Toplumun ve giderek bireylerin yararları açısından bu davranışları kendi haline bırakmak yerine bunları yönlendirici politikalar uygulanması gerekmektedir." Bu politikalar zirve saatlerde seyahat eden çalışan hacmini etkilediği gibi çalışanların alternatif türlere eğilimini de etkilemektedir (Erel ve Yüksel, 1997). Bu bağlamda mesai saatlerinin düzenlenmesine yönelik birçok değişken iş saati uygulaması mevcuttur. Bu uygulamalar esnek iş saatleri ve değişken iş haftaları başlıkları altında toplanabilir.

Değişken iş haftası uygulamalarında; beş iş gününden oluşan normal bir hafta içindeki toplam çalışma saatleri aynı kalmak üzere, günlük iş saatlerinin artırılarak haftalık çalışma süresinin dört iş gününde tamamlanması sağlanmaktadır. Dört günde onar saat çalışmayı yansıtmak üzere kısaca "4/10" olarak tanımlanan bu yaklaşımın bir diğer değişik uygulaması ise, "4-5/9" olarak adlandırılmaktadır (Çelik, 1999). Çalışılan günler yönetim tarafından belirlenebileceği gibi çalışanın tercihine de bırakılabilir.

Esnek çalışma saatleri uygulamalarından ilkinde; çalışanlar işe gelişlerini yönetim tarafından belirlenen 2-3 saatlik bir dilim içerisinde kendilerine en uygun olanı seçerek gerçekleştirmektedirler. İkinci uygulamada ise işe başlama saatleri söz konusu 2-3 saatlik dilim içinde yönetim tarafından kademelendirilmekte ve her çalışan kendisine bildirilen zaman diliminde işe başlamaktadır. Her iki durumda da çalışanlar 8 saatlik çalışmalarını tamamladıktan sonra işten ayrılmaktadırlar. Bu çalışmada kademelendirilmiş mesai saatinin özel bir uygulaması olarak kişilerin değil iş yerlerinin işe başlama saatleri basamaklandırılmıştır. Çoğu esnek çalışma saati düzenlemelerinde sabah 7:00 ile 9:30 saatleri baz alınmaktadır. Bu uygulamalar ile aynı saatte işe başlayan ve bitirenlerin sayısı azaldığı için yolculuk talebi zirve saatlerde yoğunlaşmamakta, diğer saatlere dağıtılarak yoğunluk ve tıkanıklıklar azaltılmaktadır (Çelik, 1999).

Esnek çalışma saatleri ile ilgili literatürde rastlanan çalışmalarda genellikle bu uygulamaların çalışanlar üzerindeki veya ekonomik yöndeki etkileri incelenmektedir. İşyerlerinin aynı anda faaliyette olmamasının ekonomik kayıplara neden olabileceği ve değişken iş saatlerinin çalışanları olumsuz etkileyebileceği görüşleri nedeni ile bu konuda çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Sundo ve Fujii'nin 2004 yılında gerçekleştirdiği söz konusu çalışmalardan birinde; sıkıştırılmış çalışma haftası uygulamasının çalışan performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu çalışma için Philippines Üniversitesi'nde çalışan 220 kamu çalışanı rassal olarak seçilmiş ve uygulama için kendilerinden iki ay boyunca sıkıştırılmış hafta programına uymaları istenmiştir. Çalışmanın amacı sıkıştırılmış hafta uygulaması ile yaşam tarzı özellikle de çalışma davranışları (performans) arasındaki ilişkinin incelenmesidir. Çalışmada ayrıca sıkıştırılmış çalışma haftasının kullanıcıların ulaşım davranışları üzerindeki etkisi dolayısıyla ulaşım talep yönetimi bakımından önemi irdelenmiştir (Sundo ve Fujii, 2004).

Giuliano ve Golob'un 1990 yılında gerçekleştirdiği çalışmada ise sıkıştırılmış çalışma haftasının trafik yönetimi konusundaki yeri örnek bir uygulama üzerinde incelenmiştir (Giuliano ve Golob, 1990).

Trafik sıkışıklığının ekonomik olarak analiz edilmesine yönelik öncü çalışmalardan birisi Vickrey'in sıkışıklık teorisini ortaya attığı çalışmasıdır (Vickrey, 1969). Bu çalışmanın sonrasında, birçok araştırmacı tarafından darboğaz noktaları için arz-talep dengeleme analizleri ve marjinal maliyetler konusu kapsamlı şekilde çalışılmıştır. Bu konudaki güncel yaklaşım ise marjinal maliyet analizlerinin zaman bağımlı kuyruk yapısı ele alınarak dinamik tabanlı hale getirilmesidir (Kuwahara, 2007).

İşe gidiş geliş seyahatlerinin oluşturduğu zirve dönem trafiğinin dengelenmesi konusunda esnek çalışma saatleri ve çalışma haftası yaklaşımlarının yanı sıra, literatürde en sık rastlanan konu evden ayrılma zamanı ve seyahat şekli seçme problemleridir. Bu problemlerde, çalışanların zirve dönemlerden kaçma amacıyla evden erken veya geç ayrılma durumu (işe erken veya geç varma durumu) ile sıkışıklık noktalarındaki kuyrukta bekleme maliyeti arasında ödünleşmede bulunarak evden ayrılma ve seyahat şekli seçimi yapmaları ele alınmaktadır.

Hess ve arkadaşlarının 2007 tarihli çalışmalarında, İngiltere ve Hollanda'dan derlenen üç ayrı data seti ile çeşitli analizler yapmışlar ve istisnai durumlar dışında, evden ayrılma zamanı seçiminin, alternatif seyahat şekli seçimi yerine tercih edildiğini ortaya koymuşlardır (Hess ve diğ., 2007).

Evden ayrılma zamanı seçimi probleminde, esnek çalışma saatlerine sahip olan ve olmayan kullanıcıların olduğu sistemleri inceleyen çalışmalar mevcuttur. Ancak De Palma ve arkadaşlarının 1997'de gerçekleştirdiği çalışmaya göre, esnek çalışma saatlerine sahip olmayan kullanıcılardan evden ayrılma zamanında değişiklik yapanların sayısı esnek çalışma saatlerine sahip olanlara göre daha azdır ve bu kişiler evden ayrılma zamanlarını değiştirseler dahi değiştirme miktarları azdır (De Palma ve diğ., 1997). Bununla birlikte önceki çalışmalarda evden ayrılma zamanı seçimini etkileyen diğer faktörler, seyahat süresi, seyahat maliyeti, evlilik durumu, ailevi zorunluluklar, kazanç düzeyi, eğitim durumu ve uygulanmakta olan ücretlendirme politikaları olarak sıralanabilir.

Ulaşım talep yönetiminin bir bütün olarak ele alınması gerekliliği daha önce belirtilmişti. Bu düşüncenin bir göstergesi olarak, evden ayrılma zamanı seçimi probleminin ücretlendirme politikaları ile birlikte incelendiği birçok çalışmaya rastlamaktayız. Sıkışıklık fiyatlandırma yöntemi seyahat davranışlarını ciddi olarak etkileme potansiyeline sahip olduğundan, fiyatlandırmanın değişken olarak tanımlanması durumunda kullanıcıların evden ayrılma zamanları üzerinde de etkili olunması mümkündür. Bu nedenle ücretlendirme politikaları uygulanırken, kullanıcıların evden ayrılma zamanları üzerinde oluşacak etkinin analiz edilmesi zorunludur. Bu analiz yöntemlerinden biri; ayrık seçim modellerini kullanmaktır.

Ayrık seçim modelleri sınırlı sayıda alternatif arasından (sınırlı sayıda evden ayrılma zamanı seçeneği gibi) seçim yapmayı ifade etmektedir. Söz konusu modeller ulaştırma alanında özellikle de kullanıcıların seyahat davranışlarını inceleme ve tahminleme amacıyla sıklıkla kullanılmaktadır. Evden ayrılma zamanı ile ilgili ayrık seçim modeli kullanarak çalışmalar yapılırken sürekliliğe sahip olan zaman değişkeni belirli aralıklarda bölünmektedir. Her bir aralığın kullanıcılar için fayda derecesi farklıdır ve kullanıcılar bunların arasından kendilerine uygun olan zaman periyodunu seçmektedirler (Saleh ve Farrell, 2005).

Evden ayrılma zamanı seçme problemine yönelik gerçekleştirilmiş güncel çalışmalarda, kuyrukta bekleme ile işe erken/geç gitme arasındaki ödünleşmenin yanı sıra diğer bazı önemli faktörlerin de göz önünde bulundurulması gerekliliği ortaya konulmuştur. Bunlardan bazıları, işe gidiş dönüş seyahatlerinin maliyetleri, farklı çalışma sürelerinin fayda oranı olarak sayılabilir.

Zhang ve diğerleri 2004'te gerçekleştirdikleri çalışmada, çalışan seyahatlerini, çalışma sürelerini belirlemek sureti ile programlamaya çalışmışlardır. Bu amaçla, seyahat maliyetlerini kuyruk modeli kullanarak, her bir çalışanın iş verimini ise işe başlama ve işten ayrılma zamanına göre değişen marjinal zaman fayda fonksiyonunu kullanarak belirlemişlerdir. Çalışmada, oluşturulan deney setleri için, çalışma süresi açısından farklı esneklik derecesinde çeşitli marjinal zaman fayda fonksiyonları uygulanmış ve deneylerden anlamlı sonuçlar elde edilmiştir. Çalışma sonucunda özellikle esnek çalışma saatlerinin trafik sıkışıklığını hafifletme konusunda oldukça etkili olduğu ortaya konmuştur (Zhang ve diğ., 2004)

Benzer şekilde birden fazla faktörü birlikte ele alan çalışmalardan bir diğesinde, kullanıcı dengeleme, sistem optimizasyonu ve değişken ücretlendirme kavramları bir arada ele alınmış ve basit bir şebeke üzerinde sistemli olarak analizler yapılmıştır (Arnott ve diğ. 1990). Çalışmada, evden ayrılma zamanı ve rota seçimi kararlarının, seyahat süresi ile işe gecikme durumu arasındaki ödünleşme sayesinde gerçekleştirildiği varsayılmaktadır. Yapılan analizler sonucunda, her bir rotadaki kullanıcı sayısı optimum sistem değerinde olsa dahi, ücretlendirme uygulanmadan yapılan dengeleme çalışmalarında kuyruk oluştuğu ve zamana göre değişkenlik gösteren ücretlendirme yöntemi ile rota kullanım durumu etkilenmeden optimallik sağlanabildiği görülmüştür. Üniform ve kademeli ücretlendirme sisteminin ise rota kullanımını etkilediği farkedilmiştir. Sonuç olarak kademeli ücretlendirme, kuyruk oluşumunu evden ayrılma zamanını değiştirerek azalttığından üniform ücretlendirmeye göre daha büyük oranda verim sağladığı ortaya konmuştur.

Zirve saat sıkışıklıklarını önleme konusunda gerçekleştirilebilecek önemli uygulamalardan bir diğeri de akıllı ulaşım sistemleri geliştirmektir. Shah ve arkadaşları 2011 yılında gerçekleştirdikleri çalışmada akıllı trafik sistemleri geliştirme konusunu incelemişlerdir (Shah ve diğ., 2011).

Sınırlı ölçüdeki, ekonomik ve fiziksel kaynaklar ile hızla artan kullanım talebini karşılamaya yönelik yeterli altyapı artırımını sağlamanın mümkün olmaması sebebiyle yeni yol inşaatları gerçekleştirmek yerine yeni akıllı ulaşım yönetim ve koordinasyon sistemleri geliştirmenin zorunlu hale geldiği inancıyla yola çıkan araştırmacılar, geliştirilen yeni tekniğin etkinliğini optimal kapasite kullanımı ile karşılaştırmalarda bulunarak ölçmeyi amaçlamışlardır. Ayrıca bu karşılaştırma sonucunda anlamlı bir gelişme sağlamanın mümkün olduğu durumlarda akıllı trafik sistemi yatırımlarının yapılması gerektiğini savunmuşlardır.

Shah ve arkadaşları bu çalışmalarında, tamsayı programlama ve şebeke akış modeli olmak üzere iki adet optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Ayrıca problemin NP-Zor sınıfına girdiğini ispatlayarak iki adet sezgisel model geliştirmişlerdir. Araştırmacılar geleneksel yaklaşımların aksine trafik sıkışıklığını yönetmeye yönelik genel bir strateji geliştirilmesi gerektiğini belirterek bilgisayar ve bilgisayar ağı geliştirme alanlarındaki son gelişmelerden faydalanmışlardır. Ayrıca, mevcut altyapıyı artırmadan, yeni akıllı sistem çözümleri geliştirmenin böylece seyahat süresini ve sıkışıklığı azaltmanın mümkün olduğunu belirtmişlerdir. Benzer düşünce ile akıllı sistem çözümlerinin uygulandığı bazı ulaştırma problemi konuları aşağıdaki gibidir.

- Karayolları trafik kontrolü (Varaiya, 1993)
- Kavşaklarda trafik yönetimi (Porche ve Lafortune, 1997)
- Demiryolu trafik yönetimi (Porche ve Lafortune, 1997)
- Demiryolu trafik kontrolü (Matsumoto diğerleri, 2002)

Akıllı sistem çözümleri ile karayolu trafiğinin düzenlenmesi amacıyla literatürde en çok çalışılan konuların rota belirleme ve trafik tahminleme olduğu söylenebilir. Rota belirleme yöntemi, trafik sıkışıklığını azaltmak için kullanıcıları belirli rotalara yönlendirme fikrine dayanmaktadır. Araçlar genellikle her bir hedef noktasına varış için en kısa rotayı takip etme eğilimindedirler. Bu durum da ana yollarda sıkışıklık sonucunu doğurmaktadır. Bu sebeple bazı araştırmacılar trafiği yollarda ve kavşaklarda eşit olara dağıtma konusunda alternatif bir yaklaşım olarak rota belirleme konusunda çalışmışlardır.

Bu doğrultuda Mamei ve arkadaşları, 2003 yılında dinamik bir rota belirleme algoritması geliştirmişlerdir (Mamei ve diğ.,2003). Çalışmada her bir araç için varış noktasına giden en az sıkışıklık olan yollar, yol ağından sağlanan verilerden faydalanarak bağımsız olarak hesaplanmaktadır. Benzer şekilde, Lei ve Ozguner, 2000'de bütünleşik rota belirleme ve kavşak kontrol sistemini önermişlerdir (Lei ve Ozguner, 2000). Bu sistem, araçlar için rota belirleme işlemini yol ağından sağlanan verilerden ve kavşak kontrol sisteminden gelen geri bildirimlerden faydalanarak hesaplanmaktadır.

Şehir içi trafik yönetimi ile ilgili çalışmaların birçoğu ise, trafik tahmini ve modellenmesi konusu kapsamındadır. Çoğu anayolların yükünü hafifletmeyi amaçlamış olan konu ile ilgili çalışmalarda yol şartlarının modellenmesi için simülasyon modellerinden sıklıkla faydalanılmaktadır.

Akıllı ulaşım sistemlerinin doğuşu, ileri bilgi sistemlerindeki gelişmelere dayanmaktadır. İleri bilgi sistemleri, genellikle trafik sıkışıklığını azaltma konusunda faydalı kabul edilmekle birlikte hala faydaları ve etkinliği konusunda tartışmalar sürmektedir. Bazı araştırmacılara göre bu sistemler kullanıcıları sıkışıklık yaşanan yolların alternatiflerine yönlendirirken, şebekenin performansını düşürerek verimlilik amacına aykırı sonuçlar doğurabilmektedir. Ayrıca söz konusu sistemlere insan faktörünün ve sistem maliyetleri gibi bazı faktörlerin dahil edilmesi gerektiği savunulmaktadır (Shah ve diğ., 2011).

Literatür araştırmasının ardından, şimdiye kadar yoğunlaşılın ulaşım talep yönetimi stratejileri ile ilgili çalışmaların, fazla analitik detay içermeyen model taslakları ortaya koyduğu söylenebilir (Dowling ve diğ., 2011).

Bu çalışmada ise esnek mesai saati konusu dahilinde, iş yerlerinin mesaiye başlama ve bitirme saatlerinin düzenlenmesi amacıyla tamsayılı hedef programlama modeli geliştirilmiş ve aynı problemin çözümüne yönelik değişken komşuluk arama yaklaşımı ile sezgisel algoritma geliştirilmiştir. Bir sonraki bölümde, model ve sezgisel uygulama konusuna geçmeden önce, değişken komşuluk arama yöntemi genel hatları ile açıklanmaya çalışılmıştır.

3. DEĞİŞKEN KOMŞU ARAMA

Klasik yaklaşımlar ile uygun bir sürede optimal çözüme ulaşamayan NP-Zor sınıfındaki problemlerin ele alındığı durumlarda sezgisel arama yöntemlerinden faydalanılmaktadır. Bu yöntemlerin temeli ise yerel arama algoritmalarına dayanmaktadır.

Yerel arama algoritmaları, başlangıç çözümünden başlamakta ve her adımda amaç fonksiyonu değerini iyileştirerek yerel değişiklikler yapmaktadırlar. Yerel değişimler ile iyileşme yapmak mümkün olmadığında ise algoritma sonlanmaktadır. Ancak elde edilen yerel optimal her zaman global optimal değildir. Yerel optime takılı kalma durumunu önlemek amacıyla, benzetilmiş tavlama, tabu arama, genetik algoritma, karınca kolonisi gibi çeşitli metasezgiseller geliştirilmiştir.

Çalışma kapsamında faydalanılan Değişken Komşu Arama (DKA) metasezgiseli ise 1997 yılında Pierre Hansen ve Nenad Mladenovic tarafından geliştirilmiştir. Ortaya atıldığı tarihten bu yana, sürekli geliştirilen ve sayısız alanda uygulamaları olan DKA yöntemi, tek çözüme dayalı, statik amaç fonksiyonu kullanan, çeşitli komşuluk yapısına dayalı (DKA dışındaki metasezgiseller tek bir komşuluk yapısı kullanırlar) bir metasezgiseldir.

Aramada kullanılan komşuluk yapılarının sistematik biçimde değiştirilmesi esasına dayanan DKA, kombinatorial ve global optimizasyon problemlerini çözmeyi amaçlayan basit ve etkili bir sezgiseldir (Hansen, 2001).

Hansen ve Mladenović'in yerel arama yöntemine komşulukları değiştirme fikrini entegre ettikleri DKA yönteminin detaylarını 2001 yılındaki çalışmalarında ortaya koymuşlardır. Bu çalışmada DKA yönteminin, komşuluk yapılarının geliştirilmesi, karıştırma, yerel arama ve komşuluk değiştirme kriteri gibi temel adımları açıklanmıştır. DKA algoritmasının temel adımları Şekil 3.1'de görülmektedir.

Başlangıç

- (1) N_k , Komşuluk yapıları kümesini seç ($k = 1, \dots, k_{max}$)
- (2) π , Başlangıç çözümünü bul
- (3) Durma koşulunu belirle

Durdurma koşulu sağlanıncaya kadar aşağıdaki adımları tekrarla

- (1) $k=1$ olarak al
- (2) $k=k_{max}$ oluncaya kadar aşağıdaki adımları tekrarla
 - (a) Karıştırma: π 'in, k . komşuluğundan, rassal olarak bir π' noktası üret ($\pi' \in N_k(\pi)$)
 - (b) Yerel arama: π' başlangıç çözümüne yerel arama metodunu uygula ve elde edilen yerel en iyi çözümü π'' olarak belirle
 - (c) Hareket et ya da dur: eğer bu yerel en iyi daha iyi bir sonuç ise $\pi = \pi''$ yap ve adım aynı komşulukta aramaya devam et. Diğer durumda, $k = k+1$ yap.

Şekil 3.1 : DKA algoritmasının temel adımları

DKA algoritmasının söz konusu adımları, bir sonraki bölümde detaylı olarak açıklanmıştır.

3.1 DKA Algoritmasının Adımları

DKA algoritmasının adımları, bu bölümde detaylı olarak açıklanmaktadır.

3.1.1 Başlangıç adımı

Algoritmanın ilk aşaması olan başlangıç adımında, yöntemin en önemli aşaması olan karıştırma adımında kullanılacak olan komşuluk yapıları belirlenmektedir. Ayrıca karıştırma ve yerel arama adımlarında ihtiyaç duyulan başlangıç çözümü de bu aşamada oluşturulmaktadır.

Başlangıç çözümü rassal olarak oluşturulabileceği gibi algoritmanın performansını artıracak şekilde belirli bir yapıya göre de belirlenebilir. Bu aşamada, son olarak algoritmanın makul bir sürede tamamlanması için durdurma kriterleri tanımlanmalıdır. Aşağıda başlangıç aşamasında gerçekleştirilen işlemlerden detaylı olarak bahsedilmiştir.

3.1.1.1 Komşuluk yapılarının belirlenmesi

Diğer yerel arama tabanlı sezgiseller tek bir komşuluk yapısı kullanırken, DKA farklı komşuluk yapılarından faydalanmaktadır. Birden fazla komşuluk yapısı kullanmadaki amaç, aramada çeşitliliği sağlamaktır. Hansen and Mladenović (2001), önceden belirlenmiş komşuluk yapılarının kümesini N_k , ($k = 1, \dots, kmax$), k . komşuluk yapısındaki π 'nin çözümler kümesini ise $Nk(\pi)$ şeklinde tanımlamaktadır.

3.1.1.2 Başlangıç çözümünün bulunması

Problemin başlangıç çözümü rassal olarak oluşturulabileceği gibi algoritmanın performansını artıracak yani daha iyi çözümlere daha kısa zamanda ulaşmaya imkan verecek şekilde belirli bir yapıya göre de belirlenebilir.

3.1.1.3 Durma koşulunun belirlenmesi

Durma koşulunun belirlenmesi algoritmanın kritik bir aşamadır. Bu aşamada dikkat edilmesi gereken bazı noktalar vardır; algoritma en iyiye yakın sonucu üretmek amacıyla yeterli süre çalışabilmelidir, ancak iyileştirme yapmadan gereksiz yere çalışmaya devam etmemelidir.

Genellikle kullanılan durma koşulları; önceden belirlenmiş maksimum CPU zamanı, maksimum toplam iterasyon sayısı ve iki iyileşme arasındaki maksimum iterasyon sayısı olarak sıralanabilir. Bu koşullardan sadece biri kullanılabilir gibi iki veya daha fazlası bir arada da kullanılabilir. Örneğin algoritma önceden belirlenmiş bir zamana ulaşıldığında ya da belirli bir iterasyon sayısına ulaşıldığı halde iyileşme olmamışsa daha öncesinde durabilir. Problem yapısına ve mevcut süreye göre farklı durma koşulları geliştirilebilir.

3.1.2 Karıştırma (Shaking)

DKA yaklaşımının en önemli aşaması olan karıştırma adımı, başlangıç adımı tanımlanmış olan komşuluk yapıları çeşitlendirilmektedir. Bu aşamada; komşuluk yapısının indeksi olan k 'nın güncel değerine göre, $Nk(\pi)$ 'den rassal olarak bir π' çözümü üretilmektedir. π' çözümünün rassal olarak seçilmesinin nedeni; seçimin deterministik kurallarla belirlenmesi durumunda döngü oluşma ihtimalidir. Karıştırma adımının temel amacı, mevcut çözümde pertürbasyon stratejisi ile düzensizlik oluşturmak sureti ile yerel minimumlardan kaçmak ve yerel arama için daha iyi başlangıç noktaları oluşturmaktır. Pertürbasyon stratejisi, yerel en iyiden kurtulma amacıyla çeşitlendirme yapmak için, daha olumlu sonuçlar alınması muhtemel alanlara geçmek amacıyla kullanılan etkili bir yöntemdir. Genel olarak uygulanan pertürbasyon yöntemi, önceki yerel en iyiyi rassal şekilde kısmi olarak değiştirmektir.

Karıştırma aşamasında dikkat edilmesi gereken nokta şudur ki; yeni π' başlangıç noktası, farklı bir yerel minimumun etki alanına dahil olmakla birlikte π değerinden çok fazla uzaklaşmamalıdır.

3.1.3 Yerel arama (Local Search)

Bu adımda, karıştırma aşamasında rassal olarak oluşturulan π' başlangıç çözümlerine, yerel arama metodu uygulanmaktadır. Bu aşamada, π' başlangıç çözümü komşuluğundaki her bir π'' çözümü için amaç fonksiyonu değeri hesaplanmaktadır ($\pi'' Nk(\pi')$). Sonrasında en iyi amaç fonksiyonu değerine sahip π'' çözümü belirlenmektedir. Eğer belirlenen π'' çözümüne ait amaç fonksiyonu değeri, π' çözümüne ait amaç fonksiyonu değerinden küçük ise bu kez π'' komşuluğundaki çözümler için amaç fonksiyonu değerleri hesaplanır. Söz konusu adımlar daha iyi bir sonuç bulunamayana kadar tekrarlanmaktadır. Son olarak bulunan π'' çözümü ise yerel en iyi çözüm olarak belirlenir ve yerel arama sonlandırılır.

Yerel aramada öncekinden iyi bir çözüm elde edilmesi halinde ise, $k=1$ olarak devam edilir ve yerel arama önceki çözüme daha da uzaklaşarak uygulanır. Böylece önceki çözüme uzak olan alanlar da taranmış olur. Yerel arama aşamasında elde edilen sonuçların bir öncekinden daha iyi olmadığı durumlarda, komşuluk yapısının indeksi olan k değeri artırılmaktadır. Böylelikle, önceki çözümde daha büyük değişiklikler yaparak, daha güçlü olan yerel minimumlardan kaçmak mümkün olmaktadır. Bu sayede yerel arama her seferinde önceki çözümü iyileştiremeye de güçlü bir etki ortaya koymuş olur.

Yukarıda yerel arama algoritmasının en basit hali açıklanmaya çalışılmıştır. Ele alınan problemin yapısına göre, daha gelişmiş ve etkili yerel arama algoritmaları veya karıştırma aşamasında belirlenenlerden farklı komşuluk yapıları kullanılabilir.

3.1.4 Hareket et ya da dur (Move or Not)

Bu aşamada, yerel arama adımının ardından çözüm uzayı içinde hareket kararı verilmektedir. Eğer yerel en iyi olan π'' çözümü, π çözümünden daha iyi ise π'' değeri π' 'ye atanır ve $k = 1$ olarak devam edilir. Böylece, arama yeni en iyi çözüm etrafında yoğunlaştırılır ve sonrasında karıştırma aşamasında daha az miktarda perturbasyon yapılır. Eğer, π'' çözümü π çözümünden daha kötü ise, k değeri artırılır ve aramada çeşitlendirmeye gidilir.

3.1.5 Çeşitlendirme (Diversification)

Yerel arama aşamasında, iyileşme sağlanamadığı durumlarda, komşuluk yapısının değiştirilmesine çeşitlendirme denir. DKA'da çeşitlilik kavramının dayanağı komşuluk yapısının değiştirilmesi, karıştırma adımı ve perturbasyon stratejisidir. Yerel arama ile daha iyi bir sonuca ulaşamayıp k artırıldığında çeşitlenme artmış olur. Diğer durumda ise k , 1 değerini alır ve çeşitlenme oluşmaz.

3.2 DKA Algoritmasının Türleri

DKA algoritmasının uygulanmasında önem teşkil eden komşuluk yapılarının belirlenmesi farklı yaklaşımlarla gerçekleştirilebilir. DKA'nın değişik ihtiyaçları karşılamak amacıyla geliştirilmiş türleri bu bölümde ele alınmıştır.

3.2.1 Değişken komşu iniş (Variable neighborhood descent)

Değişken komşu iniş (DKİ) sezgiseli, farklı yerel en iyilere sahip olabilen farklı komşuluk yapıları özelliğine dayanmaktadır. DKİ metodu, komşuluk yapılarının deterministik olarak değiştirilmesi şeklinde uygulanmaktadır. Ayrıca DKİ’de karıştırma adımı bulunmamaktadır. Her seferde π ’nin komşuluğundaki en iyi sonuç bulunmakta, eğer bulunan sonuç π ’den daha iyi ise arama aynı komşulukta devam etmektedir. Aksi halde komşuluk değiştirilmekte ve aramaya bu şekilde devam edilmektedir. Bu versiyon daha çok yerel arama yöntemi olarak kullanılmaktadır.

3.2.2 Temel değişken komşu arama (Basic variable neighborhood search)

Komşuluk yapılarının değiştirilmesi işleminin hem deterministik hem de stokastik şekilde gerçekleştirildiği DKA türüne temel değişken komşu arama (TDKA) methodu denmektedir. DKA yaklaşımının kilit prosedürü olarak tanımlanabilecek karıştırma adımında gerçekleştirilen pertürbasyon oluşturma stratejisi ile Şekil 3.1’de detayları verilen TDKA methodu uygulanmaktadır.

3.2.3 Genel değişken komşu arama (General variable neighborhood search)

Mladenović ve diğerleri 2008 yılındaki çalışmalarında, sürekli global optimizasyon problemlerini çözmek amacıyla, genel değişken komşu arama (GDKA) sezgiselini ortaya koymuşlardır. Temel değişken komşu arama methodundaki yerel arama adımı yerine DKA yaklaşımının uygulanmasıyla GDKA yöntemi elde edilmektedir.

3.2.4 İndirgenmiş değişken komşu arama (Reduced variable neighborhood search)

İndirgenmiş değişken komşu arama (İDKA) sezgiseli kısa sürede uygun sonuçlar elde etmek amacıyla tasarlanmıştır. TDKA’da en çok zaman alan aşama yerel aramadır. Bu nedenle İDKA’da yerel arama adımı tamamen kaldırılmış ve onun yerine karıştırma adımında elde edilen sonuca doğru hareket adımı önerilmiştir.

Bu yöntemde, her seferinde komşuluk kümesinden rassal olarak noktalar seçilir ve eğer öncekinden iyi bir sonuç elde edilirse yeni bir çözüme harehet edilir. Yani $N(k)$ komşuluğunda rassal olarak bir çözüm seçildikten sonra doğrudan başlangıç çözüm ile karşılaştırma adımına geçilir. Böylece çok hızlı bir şekilde sonuç elde edilmiş olur.

Elde edilen sonucun daha iyi olmaması durumunda ise k artırılır ve aramaya farklı komşuluklarda devam edilir. Bu yöntem, yerel aramanın güç olduğu büyük boyutlu problemlerde kolaylık sağlamaktadır. Durdurma koşulu olarak ise genellikle iki iyileşme arasındaki maksimum iterasyon sayısı kullanılmaktadır.

3.2.5 Ayrıştırılmalı değişken komşu arama (Variable neighborhood decomposition search)

Hansen ve diğerleri 2001 yılında gerçekleştirdikleri çalışmada, DKA'nın büyük boyutlu problemler üzerindeki etkinliğini artırmak amacı ile ayrıştırılmalı değişken komşu arama (ADKA) sezgiselini önermişlerdir. ADKA, tüm problem yerine alt problemin çözüldüğü yerel arama adımında TDKA'dan farklılık göstermektedir. Bu yöntem, TDKA'ya ardışık yakınsama ve ayrıştırma metodunun entegre edilmesi ile geliştirilmiştir.

3.2.6 Esnek değişken komşu arama (Skewed variable neighborhood search)

Bu versiyonda, DKA'da yer alan karıştırma ve yerel arama aynen korunmakla birlikte yerel aramada elde edilen π'' çözümünü kabul etme şartı DKA'ya göre esnetilmiştir.

Esnek değişken komşu arama (EDKA), arama yapılan alanda önceki çözümden çok uzağa hareket etmeyi gerektiren problemleri çözmek için geliştirilmiştir. Yöntem ile π'' çözümüne ait amaç fonksiyonu değerinin yanı sıra π'' çözümünün bir önceki çözüme olan uzaklığı belirlenmektedir. Söz konusu işlem DKA'nın temel adımlarına mesafe fonksiyonunu kullanan yeni bir adımın eklenmesi ile sağlanmaktadır. Bu yöntem ile önceki çözümden uzak alanları da araştırma imkanı sağlanmaktadır.

3.3 Literatürde DKA Metasezgiselinin Kullanımı

Literatürde çeşitli alanlarda gerçekleştirilmiş, çok sayıda DKA uygulamasına rastlamak mümkündür. Söz konusu çalışma alanlarından bazıları aşağıdaki gibidir.

- Endüstriyel uygulamalar
- Komünikasyon konusundaki tasarım problemleri
- Lokasyon problemleri
- Veri madenciliği
- Çizelgeleme problemleri
- Araç rotalama problemleri
- Karma tamsayılı programlama

Metasezgiseller, bu çalışma kapsamında geliştirilen matematiksel modelin de dahil olduğu, büyük boyutlu ve zor tamsayılı programlama problemleri için uygun çözümü bulmaya yardımcı olurlar. Söz konusu fikirden yola çıkan Fischetti ve Lodi 2003 yılında, karma tamsayılı programlama problemini çözme amacı ile DKA tabanlı bir yöntem geliştirmişlerdir (Fischetti ve Lodi, 2003).

Lokasyon problemleri DKA konusunda çalışan araştırmacıların yoğun ilgisini çekmiş ve birçok uygulamaya konu olmuş önemli bir problem türüdür. Bu doğrultuda, ayrık modeller grubuna giren p-medyan problemi en çok çalışılan lokasyon konulardan birisidir ve DKA'nın gelişmesinde önemli bir rol oynamıştır. Brimberg ve Mladenovi'c, 1996 yılında konu ile ilgili ilk DKA uygulamalarından birini gerçekleştirmiştir (Brimberg and Mladenovi'c, 1996).

Hansen ve Mladenovi'c de 1997 tarihli çalışmalarında DKA algoritmasını, p-medyan problemine uygulanmıştır. Çalışmada DKA'nın performansı, tabu arama algoritması ile karşılaştırılmış ve DKA'nın orta ve büyük boyutlu problemlerde daha iyi sonuç verdiği görülmüştür (Hansen ve Mladenovi'c, 1997).

Mladenovi'c ve diğerleri ise 2003 yılında gerçekleştirdikleri çalışmada, p-merkez probleminin tabu arama ve DKA kullanarak çözümünü ele almışlardır. Gerçekleştirilen deneylerin ardından, GDKA'nın tabu aramadan daha iyi performans gösterdiği görülmüştür.

Harm ve Hentenryck 2005 yılında sınırsız kapasiteli tesis yerleşim problemleri üzerine DKA uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Tabu arama algoritmasında yaptıkları basit bir değişiklik ile DKA algoritmasını oluşturmuşlardır. Uygulama sonucunda kısa zamanda optimale çok yakın sonuçlar elde edildiği görülmüştür (Harm ve Hentenryck, 2005).

Hansen ve diğerleri de 2007 yılında, temel fabrika yerleşim problemi olarak da adlandırılan sınırsız kapasiteli tesis yerleşim problemleri üzerinde çalışmışlardır. Çalışmada, ADKA metasezgiselinden faydalanarak çözüme ulaşılmıştır (Hansen ve diğ.,2007).

Literatürde araç rotalama problemlerinin, DKA yaklaşımından faydalanarak çözüldüğü pek çok çalışmaya rastlamak mümkündür. İlk olarak değişken komşu iniş yöntemi, araç rotalama problemine Crispim ve Brandao tarafından 2001 yılında uygulanmıştır. Sonrasında DKA'nın diğer türlerinden araç rotalama problemi çeşitlerini çözmede faydalanılmıştır (Crispim ve Brandao, 2001).

Braysy'in 2003 yılında ortaya koyduğu çalışma söz konusu uygulamaların ilk örneklerindedir. Çalışmada, araç rotalama probleminin çözümünde TDKA yaklaşımından faydalanılmıştır (Braysy, 2003). Paraskevopoulos ve diğerleri ise 2008 yılında, heterojen araç filolu eş zamanlı dağıtım toplamalı araç rotalama problemlerini ele almış ve tabu aramaya dayalı melez DKA algoritması geliştirmişlerdir (Paraskevopoulos ve diğ., 2003).

Kytöjoki ve diğerleri 2007 yılındaki çalışmalarında, çok büyük boyutlu araç rotalama problemleri üzerine eğilmişlerdir. Araştırmacılar geliştirdikleri algorithmada yönlendirilmiş yerel arama yaklaşımından faydalanarak DKA algoritması geliştirmişlerdir (Kytöjoki ve diğ., 2007). Araçların depoya dönüş yapmadığı araç rotalama problemi türü ise Fleszar ve diğerleri tarafından 2009 yılında DKA'dan faydalanarak çözülmüştür (Fleszar ve diğ., 2009).

Hemmelmayr ve diğ erleri ise 2009 yılındaki çalışmalarında, periyodik araç rotalama problemi için DKA algoritması geliştirmişlerdir. Ayrıca aynı yaklaşımdan periyodik gezgin satıcı problemi için de faydalanmışlardır (Hemmelmayr ve diğ., 2009). Son olarak 2009 yılında Wen ve arkadaşlarının ortaya koyduğ u gerç ek hayat problemi üzerine olan çalışmadan bahsedecek olursak; problem kapsamında haftalık olarak araç rotalama ve sürücü çizelgeleme işleminin DKA algoritması ile gerçekleştirildiğ ini söyleyebiliriz (Hemmelmayr ve diğ., 2009).

Araç rotalamanın özelleşmiş kollarından gezgin satıcı probleminin (GSP) değ iş ik versiyonları için de DKA algoritmasını içeren pek çok çalışma mevcuttur. DKA yöntemini ortaya atan Hansen ve Mladenovic'in, yaklaşımı açıklamak amacıyla yayınladıkları ilk çalışmalarında GSP'yi örnek problem olarak ele almaları, problemin konu açısından önemini ortaya koymaktadır. Ayrıca araştırmacılar 1999 ve 2006 yıllarındaki çalışmalarında da TDKA'dan faydalanarak GSP'ye çözüm sunmuşlardır (Hansen ve Mladenovic, 1999, Hansen ve Mladenovic, 2006).

Burke ve diğ erleri ise 2001 yılında, asimetrik GSP üzerine çalışmışlardır (Burke ve diğ., 2001). Carrabs ve diğ erlerinin 2007 yılındaki çalışmasında ise, eş zamanlı dağıtım toplamalı GSP'ye, DKA algoritması ile çözüm önerilmiştir. Çalışmada DKA'da kullanılmak üzere üç adet etkin yerel arama operatörü geliştirilmiştir (Carrabs ve diğ., 2007).

DKA'nın gezgin satıcı problemine uygulandığ ı bir diğ er çalışmayı ise 2006 yılında Şevkli ve Sevilgen ortaya koymuştur. Çalışma kapsamında yol bulma (orienteeing) problemi için üç farklı DKA algoritması geliştirilmiştir. Bunlardan ikisi, İDKA tabanlı algoritmalarıdır. Üçüncü algoritma ise DKA yöntemine yerel arama adımında melezleme stratejisinin uygulanması ile geliştirilmiştir (Şevkli ve Sevilgen, 2006).

Son yıllarda, tek ve paralel makine çizelgeleme, çok amaçlı çizelgeleme, kapasite kısıtlı proje çizelgeleme gibi bazı çizelgeleme problemi türleri de DKA yaklaşımı ile etkin bir şekilde çözülmüştür. Gupta ve Smith 2006 yılında tek makine için, öncelik sırası nedeni ile oluş an toplam ağırlıklı gecikmelerin minimizasyonu üzerine DKA algoritması geliştirmişlerdir (Gupta ve Smith, 2006).

De Paula ve arkadaşlarının 2007 yılında gerçekleştirdikleri çalışma ise, paralel makine çizelgeleme problemi için DKA uygulamasının bir örneğidir (De Paula ve diğ., 2007). Gagné ve arkadaşları Tabu arama yaklaşımından faydalanarak, çok amaçlı çizelgeleme probleminin çözümü için DKA algoritması geliştirmişlerdir (Gagné ve diğ., 2005) Fleszar ve arkadaşlarının çalışmasında ise kapasite kısıtlı proje çizelgeleme problemi için DKA tabanlı bir çözüm örneği ortaya konmuştur (Fleszar ve diğ., 2009).

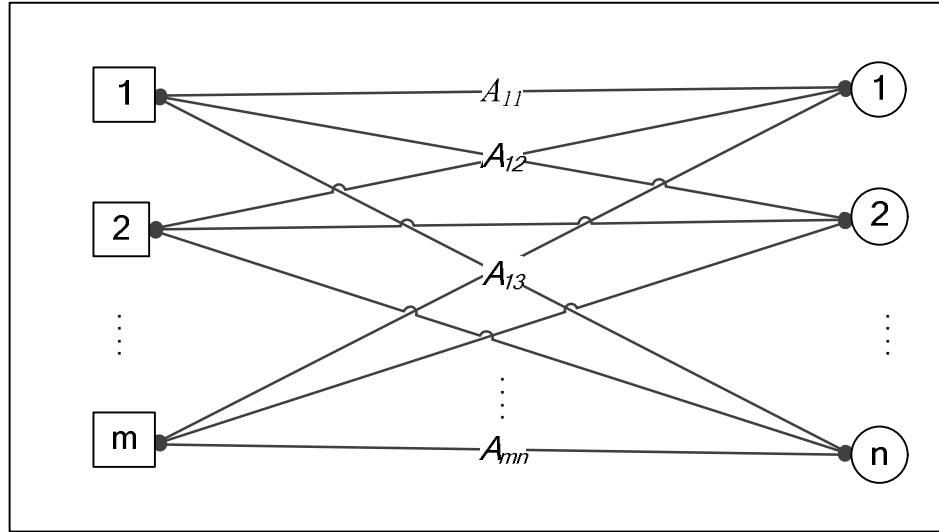
Kirlik ve Oguz'un 2012 yılında gerçekleştirdikleri güncel çalışmada ise NP-zor sınıfında tanımladıkları çizelgeleme problemine, GDKA yöntemi ile çözüm sunmuşlardır. Çalışmada tanımlanan çizelgeleme problemi ile öncelik sırası nedeni ile oluşan toplam ağırlıklı gecikmelerin minimize edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada ayrıca problem için literatürde yer alan sonuçlar ile çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve GDKA'nın etkin ve robüst bir algoritma sunduğu ortaya konulmuştur (Kirlik ve Oguz, 2012).

4. MODEL ÖNERİSİ VE MODELİN FORMÜLASYONU

Bu bölümde, geliştirilen matematiksel modelin tanımına, varsayımlarına ve formülasyonuna yer verilmiştir. Ayrıca, model küçük boyutlu bir örnek problem üzerinde açıklanmaya çalışılmıştır.

4.1 Problemin Tanımı ve Varsayımlar

Şekil 4.1’de görülen M , ($i=1, \dots, m$) başlangıç noktaları kümesini, N , ($j=1, \dots, n$) hedef noktaları kümesini, A ise her bir başlangıç noktası ile hedef nokta arasındaki güzergahların kümesini ifade etmektedir. Söz konusu güzergah kümesi $A = \{(i, j) | i \in M, j \in N\}$ şeklinde tanımlanmaktadır. Burada başlangıç noktası belirli bir yerleşim yeri, mahalle ya da merkezi alan olabilir. Hedef noktalar ise benzer şekilde tek bir iş yeri olabileceği gibi birden fazla iş merkezinden oluşan bir bölge de olabilir.



Şekil 4.1: Problemin şebeke gösterimi

Problemi genel anlamda Őu Şekilde tanımlayabiliriz; yolcular m adet başlangıç noktasından n adet hedef noktaya mesai saatleri çerçevesinde ulaşmak istemektedir. Belirli bir başlangıç noktası ile hedef nokta arasında, problemde tanımlanmış k adet ana yoldan bazılarının kullanılmasının zorunlu olduğu varsayılmaktadır. Bu nedenle her i başlangıç noktası ile j hedef noktası arasındaki sabit A_{ij} güzergahı, iki nokta arasında kullanılması zorunlu olan bu yollardan oluşmaktadır.

Problemde yollar için kapasite ve hedef yoğunluk kavramları tanımlanmıştır. Kapasite hakim koŐullar altında belirli bir yolun birim zamanda geçirebileceği azami taşıt sayısıdır. Kapasite kavramına ek olarak tanımlanan hedef yoğunluk düzeyi ise her bir yol için kapasite değerinin %75'i olarak belirlenmiştir. Modelde, bir yolda hedef yoğunluk düzeyine ulaŐılana kadar serbest akım koşullarının geçerli olduğu varsayılmıştır. Diğer bir deyişle taŐıtlar birbirinden bağımsız hareket etmekte, taşıt hareketlerinde bir kısıtlama bulunmamakta, böylece yol üzerinde tıkanıklık ve kuyruklanma oluşmamaktadır. Ancak ulaşım talebinin hedef yoğunluk düzeyinin üzerine çıkması halinde, zorlamalı akım ya da kısıtlanmış akım koşulları geçerli olmakta ve trafik tıkanıklığı ve kuyruklanma oluşmaktadır.

Problemde amaçlanan, her bir yol için tanımlanmış kapasite ve hedef yoğunluk değerlerini aşma miktarını minimize etmektir. Bu amaçla, hedef noktalar için l adet mesaiye başlama zamanı (örneğin, 08.00, 08.30, 09.00 olmak üzere 3 adet açılma zamanı belirlenebilir) tanımlanmıştır. Geliştirilen matematiksel model, öncelikle kapasite sonrasında hedef yoğunluk değerlerinden aŐmayı minimize edecek Şekilde, her bir hedef noktanın tanımlanan mesaiye başlama zamanlarından hangisinde açılacağına karar vermektedir.

Yolların kapasitelerini aŐmasını öncelikli olarak engellemek için bir ceza katsayısı tanımlanmıştır. Kapasite değerleri aŐıldığında hedef fonksiyonuna uygulanan ceza katsayısı sayesinde, yolların hedef yoğunluk değerine göre bir atama yapılması sağlanmıştır.

Problemde her başlangıç nokta hedef nokta ikilisi arasındaki güzergahlar, başlangıç noktalarından hedef noktalara ulaşmak isteyen araç sayıları ve yolların kapasite ile hedef yoğunluk değerini bilinmektedir.

4.2 Problemin Modeli ve Formülasyonu

Problemin çözümü için, tamsayılı hedef programlama modeli geliştirilmiştir. Problemden benimsenen iki adet hedeften ilki belirli bir zaman diliminde belirlenen kapasite değerlerinin aşılmaması diğeri ise hedef yoğunluk değerlerinden sapmaların mümkün olduğunca minimize edilmesidir. Belirlenen iki hedef arasındaki önceliği sağlamak için tanımlanan ceza katsayısından faydalanılmaktadır. Böylelikle kapasite kısıtı mümkün olduğunca karşılandıktan sonra hedef yoğunluk kısıtı karşılanmaktadır.

Problemi matematiksel olarak modellemek için aşağıdaki indisler kullanılmıştır;

i = başlangıç düğümü ($i=1, \dots, m$)

j = hedef düğümü ($j=1, \dots, n$)

k = yol ($k=1, \dots, p$)

l = zaman periyodu ($l=1, \dots, q$)

Matematiksel modele ait parametreler aşağıda listelenmiştir;

w = ceza katsayısı

a_{ij} = i düğümünden j düğümüne giden araç sayısı (araç / birim zaman)

$$g_{ijk} = \begin{cases} 1, & i \text{ 'den } j \text{ 'ye } k \text{ yolu kullanılmış ise} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

b_k = k yolunun kapasite değeri (araç sayısı / birim zaman)

d_k = k yolunun hedef yoğunluk değeri (araç sayısı / birim zaman)

Geliştirilen modele ait karar değişkenleri aşağıdaki gibidir;

$$x_{jl} = \begin{cases} 1, & j \text{ düğümü } l. \text{ zaman diliminde açılıyor ise} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

p_{lk}^- = l . zaman diliminde k yolunun kapasite değerinden negatif sapmalar

p_{lk}^+ = l . zaman diliminde k yolunun kapasite değerinden pozitif sapmalar

s_{lk}^- = l . zaman diliminde k yolunun hedef yoğunluk değerinden negatif sapmalar

s_{lk}^+ = l . zaman diliminde k yolunun hedef yoğunluk değerinden pozitif sapmalar

Problemde yolların öncelikle kapasitelerinin sonra hedeflenen yoğunluklarının aşılmaması hedeflenmektedir. Bu nedenle amaç fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanmıştır;

$$\text{Min} \sum_{k=1}^p \sum_{l=1}^q w p_{lk}^+ + s_{lk}^+ \dots\dots\dots(4.1)$$

Geliştirilen modelin kısıtları aşağıdaki gibidir;

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m \sum_{l=1}^q a_{ij} g_{ijk} x_{jl} + s_{lk}^- - s_{lk}^+ = d_k, k = 1, 2, \dots, p \dots\dots\dots(4.2)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m \sum_{l=1}^q a_{ij} g_{ijk} x_{jl} + p_{lk}^- - p_{lk}^+ = b_k, k = 1, 2, \dots, p \dots\dots\dots(4.3)$$

$$\sum_{l=1}^q x_{jl} = 1, \forall j \dots\dots\dots(4.4)$$

$$x_{jl} = 0 \text{ veya } 1 \dots\dots\dots(4.5)$$

$$s_{lk}^-, s_{lk}^+, p_{lk}^-, p_{lk}^+ \geq 0 \dots\dots\dots(4.6)$$

(4.2) numaralı kısıt hedef yoğunluk kısıtıdır. Bu kısıt ile her bir işe başlama zamanında, yollardan geçen araç sayısı ile hedef yoğunluk değerinin farkı belirlenmektedir. Eğer hedef yoğunluk aşıyor ise pozitif sapma değer almakta, negatif sapma sıfır olmaktadır. Kapasite değerinin altında kalınması durumunda ise negatif sapma değer almakta, pozitif sapma sıfır olmaktadır. (4.3) numaralı denklemde aynı durum kapasite değeri için geçerlidir.

(4.4) nolu kısıt bir hedef noktasının tek bir zaman diliminde açılmasını sağlamaktadır.

Modelin daha iyi açıklanabilmesi için küçük boyutlu bir problem üzerinde uygulama yapılmıştır. Problemde üç adet başlangıç noktası, dört adet hedef noktası, sekiz adet yol ve üç adet zaman dilimi bulunmaktadır.

Tablo 4.1’de probleme ait yolların kapasite ve hedef yoğunluk değerleri verilmektedir.

Tablo 4.1: Örnek probleme ait yolların bilgisi

Yollar	Kapasite değerleri (araç sayısı / birim zaman)	Hedef yoğunluk değerleri (araç sayısı / birim zaman)
1	225	168
2	150	112
3	75	56
4	225	168
5	75	56
6	60	45
7	180	135
8	375	281

Tablo 4.2’de başlangıç noktalarından hedef noktalara ulaşım talebi oluşturan araç sayısı bilgisi yer almaktadır.

Tablo 4.2: Örnek probleme ait ulaşım talep bilgisi

Ulaşım Talep Matrisi				
Başlangıç noktaları	Hedef noktalar			
	1	2	3	4
1	0	71	49	96
2	20	0	0	55
3	66	144	70	0

Tablo 4.3’de problemdeki her bir başlangıç noktasından her bir hedef noktasına ulaşmak için kullanılması zorunlu olan yolların bilgisi yer almaktadır.

Tablo 4.3: Örnek probleme ait yol kullanım bilgisi

Yol Kullanım Matrisi												
	1-1	1-2	1-3	1-4	2-1	2-2	2-3	2-4	3-1	3-2	3-3	3-4
1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
4	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
5	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
6	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
8	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0

Yukarıda detayları verilen matematiksel modelin çözülmesinde kullanılan GAMS paket programından alınan sonuçlar Tablo 4.4’de yer almaktadır.

Tablo 4.4: Örnek probleme ait hedef noktaların işe başlama zamanı bilgisi

Hedef noktası	Açıldığı zaman periyodu
1	2. Zaman periyodu
2	2. Zaman periyodu
3	1. Zaman periyodu
4	3. Zaman periyodu

Tablo 4.5'te problemin çözümü sonucunda elde edilen, yolların kapasite ve hedef yoğunluk değerlerinden sapma miktarları yer almaktadır.

Tablo 4.5: Örnek problemin çözümü sonucunda, yolların kapasite ve hedef yoğunluk değerlerinden sapma miktarları

	1. Zaman periyodu				2. Zaman periyodu				3. Zaman periyodu			
	Kapasiteden sapma		Hedef kapasiteden sapma		Kapasiteden sapma		Hedef kapasiteden sapma		Kapasiteden sapma		Hedef kapasiteden sapma	
	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)
1	-	176	-	119	-	154	-	97	-	225	-	168
2	-	101	-	63	-	79	-	41	-	54	-	16
3	-	75	-	56	-	75	-	56	-	20	-	1
4	-	176	-	119	-	154	-	97	-	74	-	17
5	-	75	-	56	11	-	29.75	-	-	75	-	56
6	-	60	-	45	26	-	41	-	-	60	-	45
7	-	110	-	65	-	36	9	-	-	180	-	135
8	-	305	-	211	-	145	-	51	-	375	-	281

Tablo 4.5'te görüldüğü üzere ikinci zaman periyodu dışında kapasite ve hedef yoğunluk değerlerinden sapmalar negatif değer almıştır. Yalnızca ikinci zaman diliminde 5 ve 6 nolu yollarda kapasite ve hedef yoğunluk değerleri aşılmıştır. Uygulamada ulaşım talebi üç ayrı zaman dilimine yayıldığı halde hedef yoğunluk değerinin yanısıra kapasite değerinin dahi aşıldığı bu yollarda ek önlemler alınabilir.

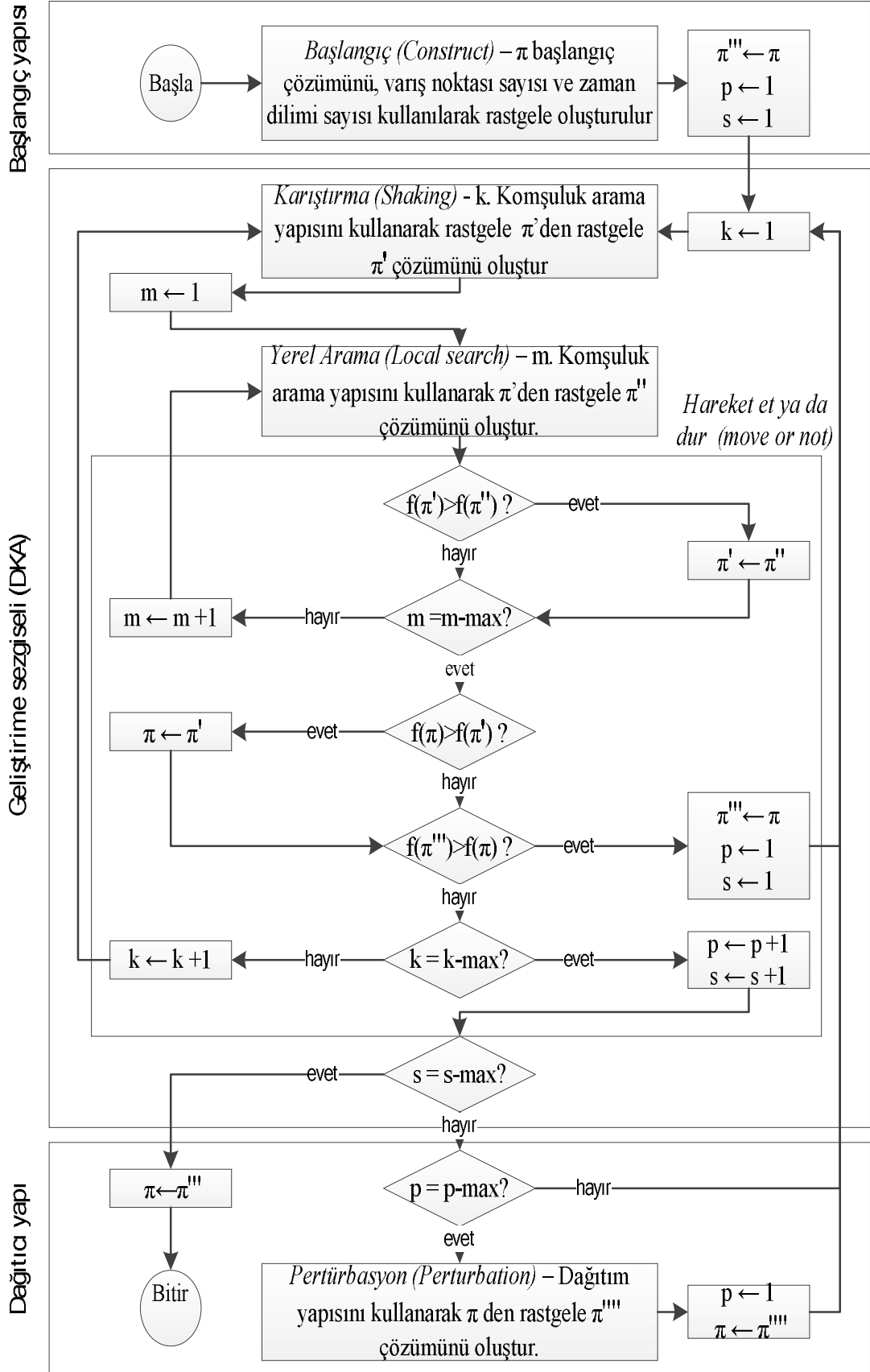
Ele alınan problemde; n adet hedef nokta ve l adet zaman dilimi olan durum için l^n adet olası çözümün söz konusu olduğu görülmektedir. Bu durumda hedef nokta sayısı arttıkça, olası çözüm sayısının üstel olarak arttığı söylenebilir. Buradan da problemin NP-Zor sınıfında yer aldığı sonucuna varılmaktadır. Bu doğrultuda DKA yaklaşımı ile geliştirilen algoritma detayları bir sonraki bölümde yer almaktadır.

5. ÖNERİLEN MODELİN DEĞİŞKEN KOMŞULUK ARAMA ALGORİTMASI İLE ÇÖZÜLMESİ

5.1 Önerilen DKA Algoritması

Tamsayılı programlamada, değişkenlerin tamsayı olmasını sağlayan kısıtların modele eklenmesi, hesaplama bakımından tamsayılı problemleri zor hale getirmektedir. Sıfır – bir tamsayılı programlama modellerinde, değişken sayısı az olduğunda, tüm seçenekler oluşturularak en iyi çözüm bulunabilir. Ancak bu çalışmada olduğu gibi, büyük çaplı problemler ele alındığında, miktarı üstel olarak artan tüm seçenekleri taramak oldukça güç ve zaman alıcı olmaktadır. Bu gibi durumlarda, farklı tekniklerin kullanılması ve/veya sezgisel yöntemlerden faydalanılması gerekmektedir. Bu doğrultuda ele alınan problem için geliştirilen DKA algoritması bu bölümde detaylı olarak açıklanmıştır. Ayrıca, parametre testi sonuçları ve gerçekleştirilen deney çalışmalarına yer verilmiştir.

Şekil 5.1’de DKA algoritmasının adımları gösterilmektedir;



Şekil 5.1 : Önerilen DKA algoritması

5.1.1 Başlangıç Çözümü

Geliştirilen algorithmada başlangıç çözümü, hedef noktası ve işe başlama zaman dilimleri kullanılarak rassal olarak oluşturulmaktadır. Şekil 5.2’de 14 adet hedef noktası ve 3 farklı işe başlama zamanı olan bir problem için rassal olarak oluşturulmuş başlangıç çözümü görülmektedir. Örnek verecek olursak; Şekil 5.2’deki durumda, 10 numaralı hedef 2. zaman diliminde işe başlayacaktır.

Hedef nokta numarası	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Açılma zamanı	1	2	3	3	3	2	2	2	2	2	1	1	1	3

Şekil 5.2 : Önerilen DKA algoritmasına ait başlangıç çözümü

5.1.2 Komşuluk Yapıları

Bu çalışmada, arama çeşitliliğini sağlamak amacıyla dört farklı komşuluk yapısı geliştirilmiştir. Bu amaçla kullanılan operatörler ilerleyen bölümlerde detaylı olarak açıklanmaktadır.

5.1.2.1 İkili yer değiştirme operatörü

İkili yer değiştirme operatörü, mevcut çözümde yer alan rassal olarak belirlenmiş iki hedef noktanın açılış zamanlarının yer değiştirilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Şekil 5.3’te 3 numaralı ve 9 numaralı hedefe ilişkin işe başlama zamanları yer değiştirilmiştir.

Hedef nokta numarası	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Mevcut durum açılma zamanı	1	2	3	1	3	2	2	2	2	2	1	1	1	3
İkili yer değiştirme operatörü sonrası	1	2	2	1	3	2	2	2	3	2	1	1	1	3

Şekil 5.3 : İkili yer değiştirme operatörü uygulaması

5.1.2.2 Yerine koyma operatörü

Yerine koyma operatörü, mevcut durumda yer alan rassal olarak belirlenmiş bir hedef noktanın işe başlama zamanının yerine yine rassal olarak başka bir işe başlama zamanının koyulması ile gerçekleştirilmektedir. Şekil 5.4'te, 5 numaralı hedefe ilişkin işe başlama zamanı (3), alternatif işe başlama zamanlarından (1,2) bir tanesi (1) ile rastgele değiştirilmiştir.

Hedef nokta numarası	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Mevcut durum açılma zamanı	1	2	3	1	3	2	2	2	2	2	1	1	1	3
					{1,2}									
Yerine koyma operatörü sonrası	1	2	3	1	1	2	2	2	3	2	1	1	1	3

Şekil 5.4 : Yerine koyma operatörü uygulaması

5.1.2.3 Ters çevirme operatörü

Ters çevirme operatörü, mevcut durumda yer alan rastgele belirlenmiş iki hedef nokta arasındaki hedef noktaların, işe başlama zamanlarının ters çevrilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Şekil 5.5'teki örnek durumda 4 numaralı hedef ile 7 numaralı hedef arasındaki hedeflerin işe başlama zamanları ters çevrilmiştir.

Hedef nokta numarası	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Mevcut durum açılma zamanı	1	2	3	1	3	2	2	2	2	2	1	1	1	3
Ters çevirme operatörü sonrası	1	2	3	2	2	3	1	2	3	2	1	1	1	3

Şekil 5.5 : Ters çevirme operatörü uygulaması

5.1.2.4 Aralıklı yerine koyma operatörü

Son olarak aralıklı yerine koyma operatörü, mevcut durumda yer alan rastgele belirlenmiş iki hedef nokta arasındaki hedef noktaların işe başlama zamanlarının alternatifler arasından rastgele değiştirilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Şekil 5.6'daki örnek durumda 4 numaralı hedef ile 8 numaralı hedef arasındaki hedeflerin işe başlama zamanları alternatif işe başlama zamanları arasından rastgele değiştirilmiştir.

Hedef nokta numarası	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Mevcut durum açılma zamanı	1	2	3	1	3	2	2	2	2	2	1	1	1	3
				{2,3}	{1,2}	{1,3}	{1,3}	{1,3}						
Aralıklı yerine koyma operatörü sonrası	1	2	3	2	2	1	3	1	3	2	1	1	1	3

Şekil 5.6 : Aralıklı yerine koyma operatörü uygulaması

5.1.3 Karıştırma

Daha önce açıklandığı üzere, DKA algoritmasını oluşturan üç temel adım karıştırma, yerel arama ve hareket etme veya etmeme kararıdır. Karıştırma adımında, komşuluk yapıları kısmında tanımlanan komşuluk operatörleri kullanılmaktadır. Her seferinde algoritma, k komşuluk yapısını rassal olarak belirleyerek karıştırma adımını yürütmektedir. Karıştırma adımının sonucunda elde edilen çözüm π' şeklinde tanımlanmaktadır.

5.1.4 Yerel Arama

Bu çalışmada, DKA yaklaşımı ile aynı komşuluk yapıları kullanılmıştır. Yani π' komşuluğundaki her çözüm için amaç fonksiyonu değerleri hesaplanmaktadır. Komşuluktaki (π'') en iyi çözüm bulunduğu sürece aramaya tekrar başlamaya devam edilmektedir.

5.1.5 Hareket Et ya da Dur

Bu aşamada hareket kararı verilmektedir. Eğer π'' , π' 'den daha iyi ise önceki çözüm π' , π'' değeri ile değiştirilir ve $k = 1$ olarak alınır. Böylelikle, karıştırma adımında yapılan pertürbasyon ile yeni en iyi çözüm etrafında yoğunlaşmış olur. Eğer π'' , π' 'den kötü ise, k artırılır ve aramaya k -max oluncaya kadar devam edilebilir.

5.1.6 Çeşitlendirme

Hareket etme ya da durma kararını verme amacıyla, karıştırma ve yerel arama adımlarının ardından elde edilen geçici çözüm (π''), mevcut çözüm ile karşılaştırılmaktadır. Söz konusu geçici çözümün kabul edilmesi için iyileşme sağlaması yeterlidir. Ancak bu durum, arama esnasında yerel en iyiye takılmaya neden olabilmektedir. Bu nedenle, iyileşme sağlamayan çözümleri belirleyen bir stratejinin geliştirilmesi gerekmektedir.

Pertürbasyon kavramı, yerel en iyiden uzaklaşarak daha iyi sonuçlar elde edilebilecek alanlara kaymak amacıyla kullanılan etkili bir stratejidir. Genellikle uygulanan pertürbasyon stratejisi, bir önceki yerel en iyinin belirli bir kısmının rassal olarak değiştirilmesi şeklindedir.

Bu çalışmada, pertürbasyon operatörü olarak yarılamalı yerine koyma kullanılmaktadır. Pertürbasyon operatörü, en son iyileşme sağlanan çözümden sonra iyileşme sağlanamayan çözüme kadar geçen belirli sayıdaki iterasyondan (p-max) sonra devreye girmektedir.

Yarılamalı yerine koyma operatörü, mevcut durumda yer alan hedef nokta sayısının yarısı kadar rastgele belirlenmiş hedef noktanın açılış zamanlarının alternatifler arasından rastgele değiştirilmesi şeklinde uygulanmaktadır.

Şekil 5.7'deki örnek durumda rastgele belirlenmiş 7 bölgenin işe başlama zamanları alternatif işe başlama zamanları arasından rastgele değiştirilmiştir.

Hedef nokta numarası	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Mevcut durum açılma zamanı	1	2	3	1	3	2	2	2	2	2	1	1	1	3
		{1, 3}	{1, 2}		{1, 2}		{1, 3}	{1, 3}	{1, 3}			{2, 3}		
Yarılamalı yerine koyma operatörü sonrası	1	1	1	1	1	2	3	3	1	2	1	2	1	3

Şekil 5.7 : Yarılamalı yerine koyma operatörü

5.1.7 Durma Kriteri

Bu çalışmada, maksimum toplam iterasyon sayısı ve iki iyileşme arasındaki maksimum iterasyon (s-max) sayısı önerilen algoritma için durdurma kriteri olarak belirlenmiştir.

5.2 DKA algoritması için deneysel sonuçlar

Bu kısımda parametre testinin ve gerçekleştirilen deneylerin sonuçlarına yer verilmiştir. Ayrıca geliştirilen örnek problemlerin çözümleri değerlendirilmiştir.

Yerel komşuluk arama seti için en uygun sırayı bulmak amacı ile DKA algoritmasındaki karıştırma operatörleri için farklı sıralamalar ile deneyler yapılmıştır. Sonuçlar {N1: İkili yer değiştirme, N2: Yerine koyma, N3: Ters çevirme, N4: Aralıklı yerine koyma} sırasının etkinliğini ortaya koymuştur. Aynı sıra DKA algoritmasının yerel arama aşamasında da uygulanmıştır. Ayrıca DKA algoritmasına ait her iki adımda aynı yapılar kullanıldığından, karıştırma sayacı (k-max) ve yerel arama sayacı (m-max) parametreleri, deneylerde 4 olarak alınmıştır.

Önerilen algorithmada, DKA parametrelerine ek olarak çözüm kalitesini etkileyen iki temel parametre daha tanımlanmıştır. Söz konusu parametreler, pertürbasyon sayacı (p-max) ve DKA sonlandırma sayacıdır (s-max). Geliştirilen DKA algoritmasında, gerçekleştirilen son hareketten itibaren çalıştırılan p-max iterasyonunun ardından pertürbasyon mekanizması çağrılmaktadır. Ve gerçekleştirilen son hareketten itibaren çalıştırılan s-max iterasyonunun ardından DKA algoritması sonlanmaktadır.

Optimal p-max ve s-max parametrelerini belirlemek amacı ile (33x33x40) boyutundaki 15 nolu problem üzerinde gerçekleştirilen deney sonuçları Tablo 5.1'de yer almaktadır.

Tablo 5.1: Parametre testi sonuçları

Pertürbasyon (p-max)	1n			2n			5n			10n		
	EİÇ	ORT	S	EİÇ	ORT	S	EİÇ	ORT	S	EİÇ	ORT	S
20 n	903797,50	903804,50	2,99	903790,00	903804,50	7,04	903797,50	903809,00	5,53	903800,00	903812,50	4,31
50 n	903790,00	903793,50	10,01	903787,50	903795,50	12,54	903787,50	903801,00	8,62	903792,50	903800,50	10,87
100 n	903785,00	903789,50	29,90	903775,00	903790,00	25,41	903787,50	903792,50	30,86	903787,50	903795,00	24,43
200 n	903785,00	903789,50	29,96	903775,00	903782,00	47,60	903785,00	903787,00	47,34	903785,00	903788,00	53,97
500 n	903775,00	903784,00	37,33	903775,00	903782,00	47,60	903775,00	903782,50	50,19	903785,00	903789,00	14,01

n: hedef nokta sayısı (33 alınmıştır); EİÇ: replikasyonlar içindeki en iyi çözüm; ORT: replikasyonlar içindeki çözümlerin ortalaması; S: replikasyonlar içindeki en iyi çözümün bulunma süresi

Tablo 5.1’de, 66 (=2*33) olan p-max ve 6600 (=200*33) olan s-max parametre kombinasyonlarının optimal (en hızlı ve robust) olduğuna karar verilmiştir.

Gerçekleştirilen parametre testlerinin ardından aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- Optimal operatör sırası = N1 (İkili yer değiştirme), N2 (Yerine koyma), N3 (Ters çevirme), N4 (Aralıklı yerine koyma)
- Karıştırma işlemi sayacı (k-max) = 4
- Yerel arama sayacı (m-max) = 4
- Pertürbasyon sayacı (p-max) = (2n) (n, hedef nokta sayısı)
- Sonlandırma sayacı (s-max) = (200n) (n, hedef nokta sayısı)

Bu çalışmada özgün bir model ortaya konulduğundan, literatürde daha önce üzerinde çalışılmış veri seti bulunmamaktadır. Bu nedenle çalışma kapsamında 18 adet veri seti oluşturulmuştur. Matematiksel modelin çözümünde GAMS paket programından, sezgisel algoritamanın çözümünde ise MATLAB paket programından faydalanılmıştır. Veri setlerine ait detaylı bilgi Tablo 5.2’de yer almaktadır.

Tablo 5.2: Veri setlerinin detayları

Problem No	Düğüm sayısı	Başlangıç noktası sayısı	Hedef noktası sayısı	Yol sayısı
1	10	2	8	10
2	10	2	8	20
3	10	4	6	10
4	10	4	6	20
5	20	4	16	20
6	20	4	16	40
7	20	8	12	20
8	20	8	12	40
9	50	10	40	40
10	50	10	40	50
11	50	20	30	40
12	50	20	30	50
13	7	3	4	8
14	19	5	14	12
15	66	33	33	40
16	83	33	50	40
17	105	5	100	10
18	205	5	200	10

Yukarıda görülen 18 adet veri seti, 2, 3, 4 ve 5 zaman periyodu olan durumları ele alan problemler için sezgisel algoritma ile ayrı ayrı çözülmüştür. Söz konusu çözümlerin detayları Tablo 5.3’de yer almaktadır.

15, 16, 17 ve 18 numaralı veri setlerinden üretilen problemlerin ise hem matematiksel model çözümü hem de sezgisel algoritma çözümü gerçekleştirilmiş ve Tablo 5.4’te çözüm detayları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Tablo 5.3 ve Tablo 5.4’te her bir zaman dilimi için ayrı ayrı gerçekleştirilen replikasyon sonuçlarının ortalama değerleri verilmekle birlikte, bütün replikasyonlara ait sonuçları detaylı olarak içeren Tablolar Ek 1’de yer almaktadır.

Tablo 5.3: Problemlerin sezgisel algoritma ile çözüm sonuçları

Problem No	1 ZD		2 ZD		3 ZD		4 ZD		5 ZD	
	OÇ	ÇS	OÇ	ÇS	OÇ	ÇS	OÇ	ÇS	OÇ	ÇS
1	812056	0	123348	0	26	0	12,5	0	12,5	0
2	1624112	0	191721,5	0	38	0	12,5	0	12,5	0
3	866566,25	0	141,25	0	20,25	0	20,25	0,004	20,25	0,008
4	1223449,25	0	53249	0	33096,75	0	33096,75	0,006	33096,75	0,008
5	6534896	0	288070,5	0,004	30101,5	0,21	30057,5	0	30057,5	0
6	13706248	0	246031	0,01	10228,5	0,024	10128,5	0,002	10128,5	0,002
7	5346034	0	828865,5	0,006	753809,25	0,008	678753	0,012	603696,75	0,008
8	24232362,5	0	1071445,5	0,002	586	0,012	16	0,008	0	0,004
9	116682862,5	0	12968124	4,59	7093626	49,33	6593086	0	6092711	0
10	223228774	0	95933374	0,01	11888359	28,7	12210	81024	60	86,14
11	198899692,25	0	47679712,5	15,47	572205,5	43,44	558	48,65	0	0,02
12	307047711,25	0	78173960,5	6,17	254297,25	44,06	488,25	42,31	0	0,01
13	183421,5	0	37143,5	0	37079,75	0	37079,75	0,008	37079,75	0
14	4026396	0	0345764	0	129265,5	0,006	129180	0	129179	0
15	23961240	0	2165915	9,298	473787	33,838	411047	37,66	410920	0,866
16	662310115	0	13001306	0,02	993	0,01	0	0	0	0
17	68634684,75	0	202077,5	11,82	0	0	0	0	0	0
18	134777260	0	206307	34,88	0	0	0	0	0	0

ZD: Zaman Dilimi; OÇ: Optimal Çözüm; ÇS: Çözüm Süresi (saniye)

Tablo 5.3'te problemlerin MATLAB paket programı ile çözümleri gerçekleştirilen replikasyonlarına ait en iyi çözüm ve çözüm sürelerine yer verilmiştir. Tablodaki ilk satır zaman dilimi bilgisini, ilk sütun ise problem sırasını içermektedir. İkinci sütundan itibaren sırası ile her zaman dilimi için replikasyonlar içindeki en iyi çözüm ve çözüm süresi bilgisi yer almaktadır. Tabloda bir zaman dilimi olan durum, mevcut trafiğe hiç bir müdahale yapılmadığında oluşan kapasite aşım değerini vermektedir. Görüldüğü gibi zaman dilimi sayısı arttığı sürece kapasite aşım değerleri hızla düşmektedir. Geliştirilen problemler için en son anlamlı iyileşmenin üç adet zaman dilimi olan durumda gerçekleştiği görülmektedir. Ayrıca problem boyutu büyüdükçe çözüm sürelerinde gerçekleşen kabul edilebilir artışla birlikte algoritmanın hızlı olduğu söylenebilir. Tabloda tüm replikasyonlara yer verilmediğinden Ek 1 incelendiğinde, replikasyonlar arasında yok denecek kadar az farklılık olduğu görülebilir. Buradan da geliştirilen sezgisel algoritmanın robust yapıda olduğu sonucuna varılabilir.

Tablo 5.4: 15, 16, 17 ve 18 nolu problemlerin sezgisel algoritma ve matematiksel model ile çözüm sonuçları

		OÇ		ÇS	
		MM	SA	MM	SA
15 Nolu Problem	1 ZD	23961240	23961240	0,015	0
	2 ZD	2165915	2165915	3,171	9,298
	3 ZD	473777	473787	5,593	33,838
	4 ZD	411042	411047	44,843	37,66
	5 ZD	410920	410920	0,281	0,866
16 Nolu Problem	1 ZD	662310115	662310115	0,031	0
	2 ZD	13001306	13001306	0,281	0,02
	3 ZD	993	993	0,328	0,01
	4 ZD	0	0	0,125	0
	5 ZD	0	0	0,14	0
17 Nolu Problem	1 ZD	68634684,75	68634684,75	0,031	0
	2 ZD	-	202077,5	-	11,82
	3 ZD	-	0	-	0
	4 ZD	-	0	-	0
	5 ZD	-	0	-	0
18 Nolu Problem	1 ZD	134777260	134777260	0	0
	2 ZD	-	206307	-	34,88
	3 ZD	-	0	-	0
	4 ZD	-	0	-	0
	5 ZD	-	0	-	0

OÇ: Optimal Çözüm; ÇS: Çözüm Süresi (saniye) ; ZD: Zaman Dilimi
MM: Matematiksel Model; SA: Sezgisel Algoritma

Tablo 5.4’de problemlerin sezgisel algoritma ile elde edilen çözümlerine ek olarak matematiksel model çözümlerine de yer verilmiştir. Tabloda sezgisel modelin MATLAB paket programı ile elde edilen çözümleri ile matematiksel modelin GAMS paket programı ile elde edilen çözümleri ve çözüm süreleri karşılaştırılmıştır. Görüldüğü gibi 17 ve 18 nolu problemler hedef nokta sayısının büyüklüğünden dolayı GAMS paket programı ile çözülememiştir. Bu problemlerde NP-Zor yapı göstermediğinden sadece 1 zaman dilimi olan versiyonlarda çözüm elde edilmiştir. Elde edilen tüm çözüm sonuçları karşılaştırıldığında, matematiksel model ve sezgisel algoritma sonuçlarının 15 nolu problem dışında tamamen aynı olduğu görülmektedir. 15 nolu problemde 3 ve 4 zaman dilimi için elde edilen çözüm sonuçları arasındaki % 0,002 ve % 0,001 oranındaki fark ise göz ardı edilebilecek kadar azdır. Bu doğrultuda, geliştirilen sezgisel algoritmanın optimale yakın sonuçlar verme konusunda başarılı olduğu sonucuna varılabilir.

Optimale çok yakın çözüm sunan sezgisel algoritmanın, 15 nolu problemin 2 ve 3 zaman dilimi olan versiyonları dışındaki problemlerin tamamında daha kısa sürede çözüm sunduğu görülmektedir. Buradan, problem yapısından kaynaklanan durumlar dışında sezgisel algoritma ile daha hızlı çözüm üretildiği sonucuna varılabilir. Ayrıca GAMS paket programı ile çözülemeyen büyük boyutlu problemler için de sezgisel algoritmanın çözüm sürelerinde diğer problemlere göre ciddi bir artış gözlemlenmemiştir.

Sonuç olarak sezgisel algoritma ile optimale çok yakın çözümlerin matematiksel modele göre daha hızlı elde edildiği ve matematiksel model ile çözülemeyen büyük boyutlu problemlerin sezgisel algoritma ile makul sürelerde çözülebildiği söylenebilir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizdeki büyük kentler göz önüne alındığında da, şehir içi trafiğin son yıllarda önemli ölçüde arttığı görülmektedir. Hızla artan ulaşım talebi mevcut ulaşım altyapısı ile karşılanamamaktadır. Sonuçta birçok olumsuz etkisi sebebiyle istenmeyen bir durum olan trafik sıkışıklığı ile karşı karşıya kalınmaktadır.

Artan trafik sıkışıklığı, seyahat sürelerinin uzamasına bu da yaşam kalitesinin düşmesine ve kullanıcılar üzerinde psikolojik olumsuzluklara sebep olmaktadır. Bunlara ek olarak, trafik sıkışıklığı araçların daha yavaş ilerlemesine ve beklemeleere sebep olmakta, bu durumdan dolayı da yakıt tüketimi artmaktadır. Yakıt tüketiminin gereksiz yere artışından ekonomi olumsuz etkilenmekte ve hava kirliliği, küresel ısınma gibi sonuçları olan sera gazı emisyonu artmaktadır. Tüm bu sebeplerden ötürü trafik sıkışıklığının ortadan kaldırılması en azından minimize edilmesi zorunludur.

Trafik sıkışıklığını ve olumsuz etkilerini gidermeye yönelik modern yaklaşımların başında ulaşım talep yönetimi gelmektedir. Ulaşım talep yönetimi önlemleri, trafik sıkışıklığını gidermek için ulaşım arzını artırmak yerine, ulaşım kaynaklarının etkin kullanımı için talebi kontrol etmek amacıyla tasarlanmaktadır.

Trafik problemlerinin en fazla hissedildiği dönem ise mesai başlangıç ve bitiş dönemlerinde yaşanan zirve zamanlardır. Ulaşım talebinin en yüksek düzeye ulaştığı zirve dönemlerde trafiğin dengelenmesi amacıyla faydalanılan ulaşım talep yönetimi stratejilerinden biri de kademeli mesai saati uygulamasıdır. Bu yöntem, çalışma saatlerinin büyük oranda yerel veya merkezi yönetim tarafından belirlendiği durumlarda, iş yerlerinin mesai saatlerinin kademeli olarak düzenlenmesi şeklinde uygulanmaktadır.

Gerçekleştirilen literatür araştırması sonucunda konu ile ilgili çalışmaların fazla analitik detay içermediği gözlemlenmiştir. Bu nedenle literatürdeki çalışmalardan farklı olarak, mesai saatlerinin sistematik şekilde kademelendirilmesi amacı ile tamsayılı hedef programlama modeli geliştirilmiştir. Ayrıca, problem NP-Zor yapıda olduğundan, değişken komşu arama (DKA) sezgiseline dayalı bir algoritma geliştirilmiştir.

Geliştirilen modelin amacı şehir içi yolların kapasite ve hedef yoğunluk değerlerini mümkün olduğunca aşmayacak şekilde her bir iş yerinin işe başlama saatine karar vermektir. Söz konusu hedef yoğunluk değeri, kapasite değerinin %75'i olarak belirlenmiştir. Hedef programlama mantığı ile geliştirilen modelde yol kapasitelerinden aşmaları minimize etmek amaçlanmıştır. Model, başlangıç noktası sayısı, hedef noktası sayısı, kademelendirme yapılacak zaman periyodu sayısı, yol sayısı, yol kullanım bilgisi ve ulaşım talebi bilgisi gibi girdiler sağlandığında, her iş yerinin mesaiye başlama zamanı kararını verebilmektedir.

Matematiksel modelin çözülmesinde GAMS paket programından, sezgisel algoritma ile çözüm elde ederken ise MATLAB paket programından faydalanılmıştır. Deneilerin gerçekleştirilmesinde, 2 50 GHz ve 1.00 GB RAM özelliklerinde masa üstü bilgisayar kullanılmıştır.

Deney sonuçları incelendiğinde, geliştirilen algoritmanın optimale çok yakın çözüm değerleri sunduğu görülmektedir. Ayrıca, çözüm süreleri ve replikasyonlar arasındaki çok az miktardaki farklılık dolayısı ile de algortimanın hızlı ve robust yapıda olduğu söylenebilir.

Bu tezde bulunan sonuçlar doğrultusunda ileride yapılabilecek çalışmalar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Aynı türdeki iş yerleri gruplanarak, aynı zaman diliminde işe başlamaları sağlanabilir. Örneğin tüm ilköğretim okullarının aynı zaman diliminde işe başlaması modele eklenecek kısıt ile kolaylıkla sağlanabilir.
- Önerilen yöntemin diğer ulaşım talep yönetimi önlemlerinden hangileri ile birlikte uygulanmasının daha etkin sonuçlar vereceği araştırılabilir.
- Önerilen yöntemin uygulanmasının, çalışan üzerindeki ve ekonomik anlamdaki etkileri analiz edilebilir.
- Geliştirilen DKA algoritmasının etkinliğini artırmak amacı ile çalışmalar gerçekleştirilebilir.
- Bunun yanısıra ele alınan problemin farklı sezgisel yöntemler ile çözülüp, DKA ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırma yapılması da oldukça faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Arnott, R., Palma, A., Lindsey, R.,** 1990: Departure time and route choice for the morning commute. *Transportation Research Part B: Methodological*. Vol. **24**, pp. 209–228.
- Bhattacharjee, D., Haider, S., Tanaboriboon, Y., Sinha, K.,** 1997: Commuters' attitude towards travel demand management in Bangkok. *Transport Policy*. pp. 175-184.
- Braysy, O.,** 2003: A reactive variable neighborhood search for the vehicle-routing problem with time Windows. *INFORMS Journal on Computing*, Vol. **15**, pp. 347-368
- Brimberg, J., ve Mladenovi'c, N.,** 1996: Brimberg, J., & Mladenovi'c, N. (1996). A variable neighborhood algorithm for solving the continuous location-allocation problem. *Studies in Locational Analysis*, Vol. **10**, pp. 1–12.
- Burke E.K., Cowling P.I., Keuthen R.,** 2001: Effective local and guided variable neighbourhood search methods for the asymmetric travelling salesman problem. *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. **2037**, pp. 203-212
- Çelik F.,** 1999: Geçmişte Ülkemizde Uygulanan Yolculuk Talep Yönetimi Yaklaşımları ve bu Yaklaşımların Kalıcılığına İlişkin Alınması Gereken Önlemler. *II. Ulaşım Ve Trafik Kongresi-Sergisi*. pp. 34-50.
- Carrabs F., Cordeau J. F., Laporte G.,** (2007): Variable neighborhood search for the pickup and delivery traveling salesman problem with LIFO loading. *INFORMS Journal on Computin*. Vol.**19**, pp. 618-648
- Crispim, J., ve Brandao, J.,** 2001: Reactive tabu search and variable neighborhood descent applied to the vehicle routing problem with backhauls. *MIC'2001, Porto*, pp. 631–636.
- Davidon, W.C.,** 1959: Variable metric algorithm for minimization. *Argonne National Laboratory Report*. ANL-5990.
- De Palma, A., Khattak, A.J., Gupta, D.,** 1997: Commuters' departure time decisions in Brussels, Belgium. *Transportation Research Record*. Vol. **1607**, pp. 139–146.
- De Paula, M. R., Ravetti, M. G., Mateus, G. R., Pardalos, P. M.,** 2007: Solving parallel machines scheduling problems with sequence-dependent setup times using Variable Neighbourhood Search. *IMA Journal of Management Mathematics*, Vol. **18(2)**, pp. 101–115.
- Demirtaş B.,** 2009: Kadıköy Merkez Bölgesinde Trafik Tıkanıklık Fiyatlandırması Potansiyeli Üzerine Bir Araştırma, *Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*

- Dowling, R., Margiottab, R., Cohenc, H., Skabardonisd, A., Eliase, A.,** 2011: Methodology to Evaluate Active Transportation and Demand Management Strategies. *Procedia Social and Behavioral Sciences*. Vol. **16**, pp. 751–761.
- Elker C.,** 1999: Çağdaş Ulaşım Politikaları. *II. Ulaşım Ve Trafik Kongresi-Sergisi*. pp. 175-184.
- Erel A., Yüksel H.,** 1997: Kentiçi Ulaşım Sorunlarının Çözümünde Talep Yönetimi. *Ulaşım-Trafik Kongresi Bildiriler Kitabı*. pp. 53-59.
- Fischetti, M., ve Lodi, A.,** 2003: Local branching. *Mathematical Programming*, Vol. **98(1–3)**, pp. 23–47.
- Fleszar, K., ve Hindi, K. S.,** 2004: Solving the resource-constrained project scheduling problem by a variable neighborhood search. *European Journal of Operational Research*, Vol. **155(2)**, pp. 402–413
- Fleszar K., Osman I. H., Hindi K. S.,** 2009: A variable neighbourhood search algorithm for the open vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, Vol. 195, pp. 803–809
- Fujii, S., Garling, T., Kitamura, R.,** 2001: Changes in driver's perceptions and use of public transport during a freeway closure: effects of temporal structural change on cooperation in a real-life social dilemma. *Environment and Behavior*. Vol. **33**, pp. 796–808.
- Gagné, C., Gravel, M., Price, W. L.,** 2005: Using metaheuristic compromise programming for the solution of multiple-objective scheduling problems. *Journal of the Operational Research Society*, Vol. **56**, pp. 687–698.
- Giuliano, G., Golob, T.F.,** 1990: Staggered work hours for traffic management: a case study. *Transportation Research Record 1280*, pp. 46–58.
- Gupta, S. R., ve Smith, J. S.,** 2006: Algorithms for single machine total tardiness scheduling with sequencedependent setups. *European Journal of Operational Research*, Vol. **175(2)**, pp. 722–739.
- Hansen, P., ve Mladenovi'c, N.,** 1999: An introduction to variable neighborhood search. In S. Voss et al. (Eds.), *Metaheuristics, advances, trends in local search paradigms for optimization* (pp. 433–458). Amsterdam: Kluwer.
- Hansen, P., Mladenovic, N.,** 2001: Variable Neighborhood Search: Principles and Applications. *European Journal of Operational Research*. Vol. **130**, pp. 449-467.
- Hansen, P., ve Mladenovi'c, N.,** 2006: First improvement may be better than best improvement: An empirical study. *Discrete Applied Mathematics*, Vol. **154**, pp. 802–817.
- Hansen, P., Mladenovic, N., Perez, J. A. M.,** 2010: Variable Neighborhood Search: Methods and Applications. *Ann Oper Res*. Vol. **175**, pp. 367–407
- Hemmelmayr V.C., Doerner K.F., Hartl R.F.,** 2009: A variable neighborhood search heuristic for periodic routing problems. *European Journal of Operational*. Vol. **195**, pp. 791–802

- Hess, S., Daly, A., Rohr, C., Hyman, G.,** 2007: On the development of time period and mode choice models for use in large scale modelling forecasting systems. *Transportation Research Part A*. Vol. **41**, pp. 802–826.
- Kavasoğlu B. R., Yıldız D.,** 2002: Kentiçi Ulaşım Sorunlarının Çözümünde Talep Yönetimi. *Uluslararası Trafik ve Yol Güvenliği Kongresi*.
- Kirlik, G., Oguz, C.,** 2012: A variable neighborhood search for minimizing total weighted tardiness with sequence dependent setup times on a single machine. *Computers & Operations Research*. Vol. **39**, pp. 1506–1520
- Kritzing, S., Tricoire, F., Doerner, K. F., Hart, R.F.,** 2001: Variable Neighborhood Search for the Time-Dependent Vehicle Routing Problem with Soft Time Windows.
- Kuwahara, M.,** 2007: A theory and implications on dynamic marginal cost. *Transportation Research Part A*. Vol. **41**, pp. 627–643.
- Kytöjoki J., Nuortio T., Bräysy O., Gendreau M.,** 2007: An efficient variable neighborhood search heuristic for very large scale vehicle routing problems. *Computers and Operations Research*, Vol. **34**, pp. 2743 – 2757
- Lei, J., Ozguner, U.,** 2000: Integration of dynamic routing and intersection control in intelligent transportation system. *Proceedings of Intelligent Transportation Systems Conference*, IEEE, pp. 137–142.
- Mamei, M., Zambonelli, F., Leonardi, L.,** 2003: Distributed motion coordination with co-fields: a case study in urban traffic management. *6th International Symposium on Autonomous Decentralized Systems*, IEEE, pp. 63–70.
- Meyer, M.,** 1999: Demand management as an element of transportation policy: using carrots and sticks to influence travel behavior.. *Transportation Research Part A*. Vol. **33**, pp. 575–599.
- Mladenovic, N., Hansen, P.,** 1997: Variable Neighborhood Search. *Computers Ops Res*. Vol. **24**, pp. 1097-1100
- Nozick L., Borderas, H., Meyburg, A.,** 1998: Evaluation of travel demand measures and programs: a data envelopment analysis approach. *Transportation Research Part A*. Vol. **32**, pp. 331–343.
- Öztürk, Z.,** 2005: Karayolu Şehiriçi Trafikte Tıkanma Maliyeti. *Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi, Bildiriler Kitabı*. pp. 484-496
- Paraskevopoulos, D.C., Repoussis P.P., Tarantilis C.D., Ioannou G., Prastacos G.P.,** 2008: A reactive variable neighborhood tabu search for the heterogeneous fleet vehicle routing problem with time Windows. *Journal of Heuristics*, Vol. **14**, pp. 425–455
- Saleh, W., Farrell, S.,** 2005: Implications of congestion charging for departure timechoice: Work and non-work schedule flexibility. *Transportation Research Part A*. Vol. **39**, pp. 773–791.

- Saruç, N.**, 2008: Trafik Sıkışıklığı Ücretlendirmesi: Ekonomik Teori ve Uygulamalar. *Gazi Kitabevi*.
- Shah, N., Kumar, S., Bastani, F., Yen, I. Y.**, 2011: Optimization models for assessing the peak capacity utilization of intelligent transportation systems *European Journal of Operational Research*.
- Sundo, M. B., Fujii S.**, 2004: The Effects of a Compressed Working Week on Commuters' Daily Activity Patterns. *Transportation Research Part A* Vol. **39**, pp. 835–848.
- Vickrey, W.S.**, 1969: Congestion theory and transportation investment. *American Economic Review*. Vol. **59**, 251–261.
- Zhang, X., Yang, H., Huang, H., Zhang, H.M.**, 2004 Integrated scheduling of daily work activities and morning–evening commutes with bottleneck congestion. *Transportation Research Part A*. Vol. **39**, pp. 41–6
- Url-1** < <http://www.gams.com/>

EKLER

EK 1 MATLAB çözüm sonuçlarını içeren tablolar

1. PROBLEM (2x8x10)		
	Çözüm Sonuçları	Çözüm Süreleri
1 ZD	812056,00	0,00
Ç 1	123348,00	0,00
Ç 2	123348,00	0,00
2 ZD	123348,00	0,00
Ç 3	123348,00	0,00
Ç 4	123348,00	0,00
Ç 5	123348,00	0,00
Ç 1	26,00	0,00
Ç 2	26,00	0,00
3 ZD	26,00	0,00
Ç 3	26,00	0,00
Ç 4	26,00	0,00
Ç 5	26,00	0,00
Ç 1	12,50	0,00
Ç 2	12,50	0,00
4 ZD	12,50	0,00
Ç 3	12,50	0,00
Ç 4	12,50	0,00
Ç 5	12,50	0,00
Ç 1	12,50	0,00
Ç 2	12,50	0,00
5 ZD	12,50	0,00
Ç 3	12,50	0,00
Ç 4	12,50	0,00
Ç 5	12,50	0,00

2. PROBLEM (2x8x20)		
	Çözüm Sonuçları	Çözüm Süreleri
1 ZD	1624112,00	0,00
Ç 1	191721,50	0,00
Ç 2	191721,50	0,00
2 ZD	191721,50	0,00
Ç 3	191721,50	0,00
Ç 4	191721,50	0,00
Ç 5	191721,50	0,00
Ç 1	38,00	0,00
Ç 2	38,00	0,00
3 ZD	38,00	0,00
Ç 3	38,00	0,00
Ç 4	38,00	0,00
Ç 5	38,00	0,00
Ç 1	12,50	0,00
Ç 2	12,50	0,00
4 ZD	12,50	0,00
Ç 3	12,50	0,00
Ç 4	12,50	0,00
Ç 5	12,50	0,00
Ç 1	12,50	0,00
Ç 2	12,50	0,00
5 ZD	12,50	0,00
Ç 3	12,50	0,00
Ç 4	12,50	0,00
Ç 5	12,50	0,00

3. PROBLEM (4x6x10)		
	Çözüm Sonuçları	Çözüm Süreleri
1 ZD	866566,25	0,00
2 ZD	Ç 1	141,25
	Ç 2	141,25
	Ç 3	141,25
	Ç 4	141,25
	Ç 5	141,25
3 ZD	Ç 1	20,25
	Ç 2	20,25
	Ç 3	20,25
	Ç 4	20,25
	Ç 5	20,25
4 ZD	Ç 1	20,25
	Ç 2	20,25
	Ç 3	20,25
	Ç 4	20,25
	Ç 5	20,25
5 ZD	Ç 1	20,25
	Ç 2	20,25
	Ç 3	20,25
	Ç 4	20,25
	Ç 5	20,25

4. PROBLEM (4x6x20)		
	Çözüm Sonuçları	Çözüm Süreleri
1 ZD	1223449,25	0,00
2 ZD	Ç 1	53249,00
	Ç 2	53249,00
	Ç 3	53249,00
	Ç 4	53249,00
	Ç 5	53249,00
3 ZD	Ç 1	33096,75
	Ç 2	33096,75
	Ç 3	33096,75
	Ç 4	33096,75
	Ç 5	33096,75
4 ZD	Ç 1	33096,75
	Ç 2	33096,75
	Ç 3	33096,75
	Ç 4	33096,75
	Ç 5	33096,75
5 ZD	Ç 1	33096,75
	Ç 2	33096,75
	Ç 3	33096,75
	Ç 4	33096,75
	Ç 5	33096,75

5. PROBLEM (4x16x20)			
	Çözüm Sonuçları	Çözüm Süreleri	
1 ZD	6534896,00	0,00	
2 ZD	Ç 1	288070,50	0,01
	Ç 2	288070,50	0,00
	Ç 3	288070,50	0,01
	Ç 4	288070,50	0,00
	Ç 5	288070,50	0,00
3 ZD	Ç 1	30101,50	0,06
	Ç 2	30101,50	0,20
	Ç 3	30101,50	0,14
	Ç 4	30101,50	0,57
	Ç 5	30101,50	0,08
4 ZD	Ç 1	30057,50	0,00
	Ç 2	30057,50	0,00
	Ç 3	30057,50	0,00
	Ç 4	30057,50	0,00
	Ç 5	30057,50	0,00
5 ZD	Ç 1	30057,50	0,00
	Ç 2	30057,50	0,00
	Ç 3	30057,50	0,00
	Ç 4	30057,50	0,00
	Ç 5	30057,50	0,00

6. PROBLEM (4x16x40)			
	Çözüm Sonuçları	Çözüm Süreleri	
1 ZD	13706248,00	0,00	
2 ZD	Ç 1	246031,00	0,01
	Ç 2	246031,00	0,03
	Ç 3	246031,00	0,00
	Ç 4	246031,00	0,00
	Ç 5	246031,00	0,01
3 ZD	Ç 1	10228,50	0,04
	Ç 2	10228,50	0,02
	Ç 3	10228,50	0,01
	Ç 4	10228,50	0,02
	Ç 5	10228,50	0,03
4 ZD	Ç 1	10128,50	0,00
	Ç 2	10128,50	0,00
	Ç 3	10128,50	0,00
	Ç 4	10128,50	0,00
	Ç 5	10128,50	0,01
5 ZD	Ç 1	10128,50	0,00
	Ç 2	10128,50	0,00
	Ç 3	10128,50	0,00
	Ç 4	10128,50	0,00
	Ç 5	10128,50	0,01

7. PROBLEM (8x12x20)		
	Cözüm Sonuçları	Cözüm Süreleri
1 ZD	5346034,00	0,00
Ç 1	828865,50	0,01
Ç 2	828865,50	0,00
2 ZD	828865,50	0,00
Ç 3	828865,50	0,02
Ç 4	828865,50	0,00
Ç 5	828865,50	0,00
Ç 1	753809,25	0,02
Ç 2	753809,25	0,00
3 ZD	753809,25	0,02
Ç 3	753809,25	0,00
Ç 4	753809,25	0,00
Ç 5	753809,25	0,00
Ç 1	678753,00	0,03
Ç 2	678753,00	0,00
4 ZD	678753,00	0,03
Ç 3	678753,00	0,00
Ç 4	678753,00	0,00
Ç 5	678753,00	0,00
Ç 1	603696,75	0,00
Ç 2	603696,75	0,00
5 ZD	603696,75	0,00
Ç 3	603696,75	0,04
Ç 4	603696,75	0,00
Ç 5	603696,75	0,00

8. PROBLEM (8x12x40)		
	Cözüm Sonuçları	Cözüm Süreleri
1 ZD	24232362,50	0,00
Ç 1	1071445,50	0,00
Ç 2	1071445,50	0,00
2 ZD	1071445,50	0,00
Ç 3	1071445,50	0,01
Ç 4	1071445,50	0,00
Ç 5	1071445,50	0,00
Ç 1	586,00	0,02
Ç 2	586,00	0,01
3 ZD	586,00	0,01
Ç 3	586,00	0,01
Ç 4	586,00	0,01
Ç 5	586,00	0,01
Ç 1	16,00	0,00
Ç 2	16,00	0,02
4 ZD	16,00	0,00
Ç 3	16,00	0,01
Ç 4	16,00	0,01
Ç 5	16,00	0,01
Ç 1	0,00	0,00
Ç 2	0,00	0,00
5 ZD	0,00	0,00
Ç 3	0,00	0,01
Ç 4	0,00	0,01
Ç 5	0,00	0,01

9. PROBLEM (10x40x40)		
	Çözüm Sonuçları	Çözüm Süreleri
1 ZD	116682862,50	0,00
2 ZD	Ç 1	12968124,00
	Ç 2	12968124,00
	Ç 3	12968124,00
	Ç 4	12968124,00
	Ç 5	12968124,00
3 ZD	Ç 1	7093626,00
	Ç 2	7093626,00
	Ç 3	7093626,00
	Ç 4	7093626,00
	Ç 5	7093626,00
4 ZD	Ç 1	6593086,00
	Ç 2	6593086,00
	Ç 3	6593086,00
	Ç 4	6593086,00
	Ç 5	6593086,00
5 ZD	Ç 1	6092711,00
	Ç 2	6092711,00
	Ç 3	6092711,00
	Ç 4	6092711,00
	Ç 5	6092711,00

10. PROBLEM (10x40x50)		
	Çözüm Sonuçları	Çözüm Süreleri
1 ZD	138365174,00	0,00
2 ZD	Ç 1	4238279,00
	Ç 2	4238338,00
	Ç 3	4238292,00
	Ç 4	4238310,00
	Ç 5	4238322,00
3 ZD	Ç 1	0,00
	Ç 2	0,00
	Ç 3	0,00
	Ç 4	0,00
	Ç 5	0,00
4 ZD	Ç 1	0,00
	Ç 2	0,00
	Ç 3	0,00
	Ç 4	0,00
	Ç 5	0,00
5 ZD	Ç 1	0,00
	Ç 2	0,00
	Ç 3	0,00
	Ç 4	0,00
	Ç 5	0,00

11. PROBLEM (20x30x40)			
	Çözüm Sonuçları	Çözüm Süreleri	
1 ZD	145484661,00	0,00	
2 ZD	Ç 1	6026886,00	13,52
	Ç 2	6026818,00	5,45
	Ç 3	6026649,00	8,52
	Ç 4	6026649,00	46,56
	Ç 5	6026810,00	0,46
3 ZD	Ç 1	546,00	9,23
	Ç 2	546,00	52,70
	Ç 3	546,00	4,72
	Ç 4	546,00	2,37
	Ç 5	546,00	80,62
4 ZD	Ç 1	0,00	0,00
	Ç 2	0,00	0,01
	Ç 3	0,00	0,01
	Ç 4	0,00	0,00
	Ç 5	0,00	0,00
5 ZD	Ç 1	0,00	0,00
	Ç 2	0,00	0,00
	Ç 3	0,00	0,00
	Ç 4	0,00	0,00
	Ç 5	0,00	0,00

12. PROBLEM (20x30x50)			
	Çözüm Sonuçları	Çözüm Süreleri	
1 ZD	225611680,00	0,00	
2 ZD	Ç 1	8426014,00	50,68
	Ç 2	8426018,00	2,17
	Ç 3	8426014,00	9,33
	Ç 4	8426047,00	28,73
	Ç 5	8426014,00	3,82
3 ZD	Ç 1	238,00	3,94
	Ç 2	266,00	29,12
	Ç 3	246,00	63,45
	Ç 4	246,00	22,61
	Ç 5	226,00	99,35
4 ZD	Ç 1	0,00	0,00
	Ç 2	0,00	0,00
	Ç 3	0,00	0,00
	Ç 4	0,00	0,00
	Ç 5	0,00	0,00
5 ZD	Ç 1	0,00	0,00
	Ç 2	0,00	0,00
	Ç 3	0,00	0,00
	Ç 4	0,00	0,00
	Ç 5	0,00	0,00

13. PROBLEM (3x4x8)		
	Çözüm Sonuçları	Çözüm Süreleri
1 ZD	183421,50	0,00
Ç 1	37143,50	0,00
Ç 2	37143,50	0,00
2 ZD	37143,50	0,00
Ç 3	37143,50	0,00
Ç 4	37143,50	0,00
Ç 5	37143,50	0,00
Ç 1	37079,75	0,00
Ç 2	37079,75	0,00
3 ZD	37079,75	0,00
Ç 3	37079,75	0,00
Ç 4	37079,75	0,00
Ç 5	37079,75	0,00
Ç 1	37079,75	0,00
Ç 2	37079,75	0,00
4 ZD	37079,75	0,01
Ç 3	37079,75	0,00
Ç 4	37079,75	0,00
Ç 5	37079,75	0,00
Ç 1	37079,75	0,00
Ç 2	37079,75	0,00
5 ZD	37079,75	0,00
Ç 3	37079,75	0,00
Ç 4	37079,75	0,00
Ç 5	37079,75	0,00

14. PROBLEM (5x14x12)		
	Çözüm Sonuçları	Çözüm Süreleri
1 ZD	4026396,00	0,00
Ç 1	345764,00	0,00
Ç 2	345764,00	0,00
2 ZD	345764,00	0,00
Ç 3	345764,00	0,00
Ç 4	345764,00	0,00
Ç 5	345764,00	0,00
Ç 1	129265,50	0,00
Ç 2	129265,50	0,00
3 ZD	129265,50	0,01
Ç 3	129265,50	0,02
Ç 4	129265,50	0,00
Ç 5	129265,50	0,00
Ç 1	129180,00	0,00
Ç 2	129180,00	0,00
4 ZD	129180,00	0,00
Ç 3	129180,00	0,00
Ç 4	129180,00	0,00
Ç 5	129180,00	0,00
Ç 1	129179,00	0,00
Ç 2	129179,00	0,00
5 ZD	129179,00	0,00
Ç 3	129179,00	0,00
Ç 4	129179,00	0,00
Ç 5	129179,00	0,00

15. PROBLEM (33x33x40)		
	Çözüm Sonuçları	Çözüm Süreleri
1 ZD	23961240,00	0,00
Ç 1	2165915,00	14,78
Ç 2	2165915,00	1,02
2 ZD	2165915,00	1,29
Ç 4	2165915,00	16,86
Ç 5	2165915,00	12,54
Ç 1	473777,50	9,96
Ç 2	473777,50	17,19
3 ZD	473825,00	35,63
Ç 4	473777,50	49,72
Ç 5	473777,50	56,69
Ç 1	411047,50	14,91
Ç 2	411042,50	14,10
4 ZD	411047,50	18,22
Ç 4	411042,50	73,68
Ç 5	411055,00	67,39
Ç 1	410920,00	0,52
Ç 2	410920,00	0,12
5 ZD	410920,00	2,58
Ç 4	410920,00	1,01
Ç 5	410920,00	0,10

16. PROBLEM (33x33x50)		
	Çözüm Sonuçları	Çözüm Süreleri
1 ZD	23961240,00	0,00
Ç 1	2165915,00	14,78
Ç 2	2165915,00	1,02
2 ZD	2165915,00	1,29
Ç 4	2165915,00	16,86
Ç 5	2165915,00	12,54
Ç 1	473777,50	9,96
Ç 2	473777,50	17,19
3 ZD	473825,00	35,63
Ç 4	473777,50	49,72
Ç 5	473777,50	56,69
Ç 1	411047,50	14,91
Ç 2	411042,50	14,10
4 ZD	411047,50	18,22
Ç 4	411042,50	73,68
Ç 5	411055,00	67,39
Ç 1	410920,00	0,52
Ç 2	410920,00	0,12
5 ZD	410920,00	2,58
Ç 4	410920,00	1,01
Ç 5	410920,00	0,10

17. PROBLEM (5x100x10)		
	Çözüm Sonuçları	Çözüm Süreleri
1 ZD	23961240,00	0,00
2 ZD	Ç 1	2165915,00
	Ç 2	2165915,00
	Ç 3	2165915,00
	Ç 4	2165915,00
	Ç 5	2165915,00
3 ZD	Ç 1	473777,50
	Ç 2	473777,50
	Ç 3	473825,00
	Ç 4	473777,50
	Ç 5	473777,50
4 ZD	Ç 1	411047,50
	Ç 2	411042,50
	Ç 3	411047,50
	Ç 4	411042,50
	Ç 5	411055,00
5 ZD	Ç 1	410920,00
	Ç 2	410920,00
	Ç 3	410920,00
	Ç 4	410920,00
	Ç 5	410920,00

18. PROBLEM (5x200x10)		
	Çözüm Sonuçları	Çözüm Süreleri
1 ZD	23961240,00	0,00
2 ZD	Ç 1	2165915,00
	Ç 2	2165915,00
	Ç 3	2165915,00
	Ç 4	2165915,00
	Ç 5	2165915,00
3 ZD	Ç 1	473777,50
	Ç 2	473777,50
	Ç 3	473825,00
	Ç 4	473777,50
	Ç 5	473777,50
4 ZD	Ç 1	411047,50
	Ç 2	411042,50
	Ç 3	411047,50
	Ç 4	411042,50
	Ç 5	411055,00
5 ZD	Ç 1	410920,00
	Ç 2	410920,00
	Ç 3	410920,00
	Ç 4	410920,00
	Ç 5	410920,00

EK 2 GAMS ile ilgili bilgi

GAMS (The General Algebraic Modeling System) paket programı doğrusal, doğrusal olmayan ve karma tamsayılı optimizasyon problemlerinin modellenmesi amacı ile geliştirilmiştir. GAMS, özellikle büyük ve karmaşık problemlerin çözümünde oldukça etkindir. Sistem kişisel bilgisayarlarda, iş istasyonlarında, anabilgisayar ve süperbilgisayarlarda kullanım için uygundur.

GAMS paket program ile birçok farklı problem sınıfı için modelleme yapılabilir. Bunlardan bazıları aşağıdaki gibidir (Url-1).

- LP (Linear Programming)
- MIP (Mixed-Integer Programming)
- NLP (Non-Linear Programming)
- MCP (Mixed Complementarity Problems)
- MPEC (Mathematical Programs with Equilibrium Constraints)
- CNS (Constrained Nonlinear Systems)
- DNLP (Non-Linear Programming with Discontinuous Derivatives)
- MINLP (Mixed-Integer Non-Linear Programming)
- QCP (Quadratically Constrained Programs)
- MIQCP (Mixed Integer Quadratically Constrained Programs)

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Zehra DURAK

Doğum Yeri ve Tarihi: Kırşehir, 29.06.1986

Adres: Pamukkale Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, DENİZLİ

Lisans Üniversite: Kırıkkale Üniversitesi

Yayın Listesi:

- Mutlu Ö., **Durak Taşcı Z.**, Maral S., Akyer H., 2010: Bulanık Doğrusal Karar Modelinin Tarım Sektörüne Uygulanması. *10. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu*, 16-18 Eylül, Girne Amerikan Üniversitesi, Girne, Kıbrıs.
- **Durak Z.**, Mutlu Ö., Polat O., Akyer H., 2012: A Mathematical Model To Improve City Transportation By Using Flexible Work Hour Approach. *25th Conference of European Chapter on Combinatorial Optimization*, April 26-28, Antalya, Turkey.