

# BİLKENT ÜNİVERSİTESİ PERSONEL TAŞIMA SİSTEMİ

## İÇİN ETKİN VE EKONOMİK ÇÖZÜM

V. Alptekin DİNÇERLER, N. Engin GÜVEN, Mehmet Mustafa TANRIKULU

Melih TEMEL, Mehmet YİTMEN ve Hande YAMAN

*Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü*

### GİRİŞ

Bilkent Üniversitesi geniş kampüsü, on binin üzerinde öğrencisi ve binin üzerinde personeli ile ülkemizin en iyi üniversitelerinden biridir. Ancak üniversite şehir merkezine uzak sayılabilecek bir noktada kurulmuştur ve kampüs dahilinde ya da yakınlarında ikamet etmeyen öğrenci ve personel için ulaşım önemli bir sorun oluşturmaktadır. Bu nedenle, Bilkent Üniversitesi kampüs dışında yaşayan öğrenci ve personele taşıma hizmeti verme sorumluluğunu üstlenmiştir.

Taşıma sorununu halletmek için, üniversite geniş bir ulaşım ağı kurmuştur. Bu ağ kapsamında üç ana hizmet verilmektedir: öğrenci servisleri, kampüs içi ring servisleri ve personel servisleri. Personel servisleri üniversitenin çalışanlarına hizmet vermekte ve onların konutlarından Bilkent'e ve Bilkent'ten konutlarına ulaşımını sağlamaktadır. Fakat, çok sayıda çalışana sahip olmak, karmaşık, maliyeti yüksek ve üzerinde çalışılması güç bir ulaşım ağını beraberinde getirmiştir. Bu durum çalışanların ulaşım sistemi hakkında bazı istek ve şikayetlerine yol açmıştır. Bunlar kısaca çalışanların konutlarına çok yakın yerlerden alınmak (ve bu noktalara geri bırakılmak) ve servislerde az zaman geçirmek istemeleri şeklindedir. Ulaşım Hizmetleri ise bunlara bağlı maliyet artışından rahatsız olmakta ve herkesin isteğini aynı anda karşılamanın olanaksız olduğunu belirtmektedir.

Bu çalışmanın temel hedefi, sözü geçen sıkıntıları çözebilmek ve ulaşım sisteminde iyileştirmeler yapmaktır. Çalışma, maliyetler, her güzergahta katedilen mesafe ve yolculuk zamanı gözönünde bulundurularak ulaşım ağının verimliliğinin artırılması üzerine odaklanmıştır.

İlk adım olarak personel adresleri kullanılan Coğrafi Bilgi Sistemleri yazılımı yardımı ile Ankara'nın sayısal haritası üzerine aktarılmıştır. Yöneylem Araştırması yöntemleri kullanılarak çalışmada kullanılan sezgisel yöntemler geliştirilmiş; bu yöntemlerle yeni duraklar ve güzergahlar belirlenmiş ve Bilkent Üniversitesi Ulaşım Hizmetleri Müdürlüğü'ne sunulmuştur.

Bu makalenin ikinci bölümünde mevcut durum anlatılmaktadır. Üçüncü bölüm problem tanımına, dördüncü bölüm uygulanan yöntem bilime ayrılmıştır. Beşinci bölümde çözümün kalitesi, altıncı bölümde memnuniyet analizi ve yedinci bölümde hazırlanan veritabanı hakkında bilgi verilmektedir. İnşası süren metro ağının etkileri sekizinci bölümde incelenmiştir. Son olarak dokuzuncu bölüm genel değerlendirme ve sonuçlara ayrılmıştır.

### MEVCUT DURUM

Yukarıda bahsedildiği gibi, Bilkent Üniversitesi üç ayrı hizmet sağlamaktadır: öğrenci servisleri, ring servisleri ve personel servisleri. Personel servisleri, sabahları personeli kampüse taşıyan 36 taşıtı (otobüs ve midibüs) ve akşamları konutlarına geri götüren 35 taşıtı içermektedir. Sadece bu servisler çalışmanın kapsamındadır. Çalışmanın başladığı tarihte Bilkent Ulaşım Hizmetleri 46 araç ile personele servis sağlamaktaydı. Çalışma sırasında, sistemde iyileştirme çalışmalarına başlayan Ulaşım Hizmetleri araç sayısını şimdiki duruma, yani sabah 36, akşam 35 araca çekmiştir. Bu servisler sabah 8:10 civarında personeli ana kampüse getirmekte ve akşam 17:45'te ana kampüsten kalkmaktadırlar. Bunlara ek olarak, gece vardiyasında çalışan personeli konutlarına taşıyan ve gece 24:00'te ana kampüsten kalkan servisler de mevcuttur. Fakat, bunlar çalışma kapsamında değildir. Kullanılan taşıtlar güzergahtaki kullanıcı sayısına göre belirlenir ve iki çeşittir: 44 kişi taşıyabilen otobüsler ve 23 kişi taşıyabilen midibüsler.

Ulaşım hizmetlerini taşıeron firmalar sağlamaktadır. Ödemeler, tek-yön ve kullanılan taşıtın cinsi temelinde yapılmaktadır. Bir otobüsün tek yön seyahatine (gidiş veya geliş) 54.137.000 TL ödenirken, bir midibüsün tek yön seyahatine 36.123.000 TL ödenmektedir (bu rakamlar 1 Ağustos 2003 tarihinde yapılan sözleşmelerden alınmıştır). Personel servislerine yapılan 31 Mayıs 2003 tarihli aylık ödeme toplamda 125.452.451.660 TL'yi bulmaktadır ve o dönemde yapılan bütün ulaşım hizmetleri harcamalarının % 30,3'ünü oluşturmaktadır. Ulaşım hizmetlerinin ciddi bir maliyeti olduğu ve üzerinde hassasiyetle çalışılmasında fayda olduğu açıktır.

## **PROBLEM TANIMI VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ**

Çalışmanın temel amacı ulaşım sisteminin incelenmesi ve en iyi çözümü verecek otobüs durak yerlerinin, güzergahların ve her güzergahta kullanılacak taşıt cinsinin belirlenmesidir. Bu çözüm, gerekli hizmeti veren, hizmetin kalitesini ve personel memnuniyetini sağlayan en düşük maliyetli çözüm olmalıdır. Üniversite ve özel taşımacılık şirketleri arasındaki mevcut sözleşmelere bakıldığında maliyetteki temel etken taşıt cinsi ve sayıdır.

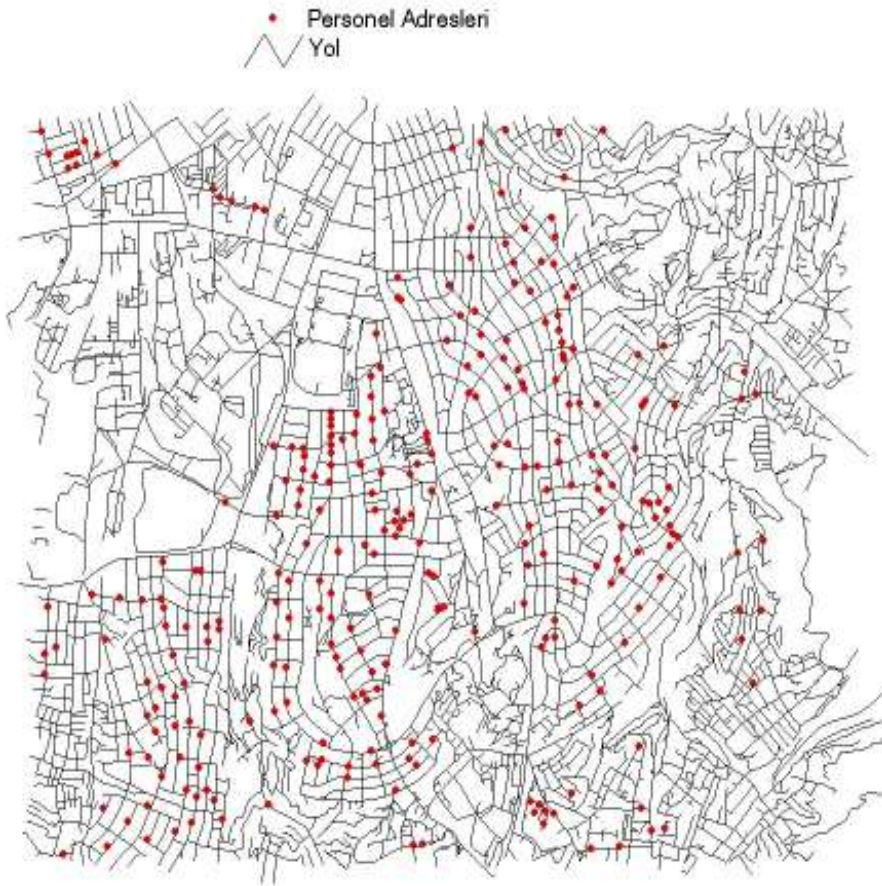
Problemin çözümüne başlamadan önce benzer özellikteki birçok çalışma incelenmiş ve lojistik alanındaki birçok somut vakada Coğrafi Bilgi Sistemleri'nin (CBS) kullanıldığı görülmüştür. Okul servislerinin planlanmasından, şirketlerin taşımacılık filolarının yönetimine kadar çok geniş bir çerçevede lojistik problemleri ile karşılaşılmaktadır. Lojistik problemleri yoğun coğrafi bilgi kullanımını gerektirmektedir. Uygulamanın yeri ve amacına göre bu bilgi, bir şehrin yol haritası, geniş bir kara parçasındaki yeryüzü şekilleri, dağıtım merkezlerinin bulunduğu yerler, sipariş noktaları arasındaki uzaklıklar vb. olabilmektedir. Kağıt haritalar, krokiler gibi alışlagelmiş araçlarla bu miktarda detaylı bilginin toplanması ve kullanılması oldukça zor olmaktadır. Başarılı lojistik uygulamaları için mekansal analiz çalışmaları önemli rol oynamaktadır. Coğrafi Bilgi Sistemleri'nin gelişmesinin ve yaygın biçimde kullanılmasının gerisinde de coğrafi veri oluşturulması, veri yönetimi ve mekansal analiz işlerinde getirdiği ciddi kolaylık bulunmaktadır.

Böylece bizim çalışmamız da CBS ve Yöneylem Araştırması yöntemlerinin birleştirilmesi şeklinde bir çalışmaya dönüşmüştür. Yaptığımız kaynak taraması, üzerinde çalıştığımız problemin Kapasiteli Araç Rotalama Problemi'nin bir çeşidi olduğunu göstermiştir (bkz. Gendreau ve diğerleri, 1999, Toth ve Vigo, 2002 ve Wassan ve Osman, 2002). Bu problem NP-Zor olarak ifade edilmektedir. Problemin boyutu büyüdükçe eniyi sonucu bulmak zorlaşmakta ve işlem zamanı artmaktadır. Küçük sayılabilecek boyuttaki problemler bile makul bir zaman içinde çözülemeyebilmektedir. Bu yüzden sıklıkla bu tür problemlerin çözümünde sezgisel yöntemler kullanılmaktadır.

## **UYGULANAN YÖNTEMBİLİM**

Ulaşım sistemini tanıyabilmek, problemi yerinde görebilmek ve çözümde doğru yöntemi belirleyebilmek amacıyla, farklı güzergahlardaki servisler incelenmiş, veri toplanmış ve sorunlar gözlemlenmiştir. Kaynak taramasından sonra da çalışma alt basamaklara ayrılmış ve her basamak üzerinde o basamaktaki işlere uygun yöntemlerle çalışılmıştır. Temel araç olarak yaygın bir CBS yazılımı olan ArcView GIS 3.1 ve bu yazılımın bir uzantısı olan Network Analyst kullanılmıştır.

Sayısal haritalar, ArcView ve benzeri yazılımların üzerinde çalışmaya imkan verdiği coğrafi veritabanları olarak işlev görmektedir (Şekil 1). Örneğin bir şehir haritasında, cadde ve sokakların isimleri, uzunlukları, trafik bilgileri (günün saatlerine göre araç yoğunluğu, tek-yön, çıkmaz sokak vb.) hatta bina bilgileri (ismi, numarası, kat sayısı vb.) bulunabilmektedir. Bu veritabanının oluşturulması başlıbaşına bir çalışma olmaktadır. Ülkemizde özellikle İstanbul ve Ankara için bu tür çalışmalar yapılmıştır ve bu sayısal haritalar ücret karşılığında temin edilebilmektedir. Çalışma için gerekli olan sayısal Ankara haritası ise ODTÜ Şehir ve Bölge Planlama Bölümü'nden ücretsiz olarak alınmıştır. Ancak bu harita yeterli trafik ve adres bilgisi içermemektedir. Elimizdeki haritada tek yönlü sokaklar, bölünmüş yollar ve binalar ile ilgili bilgi mevcut değildir. Tüm Ankara için bu bilgileri tamamlamak çalışma kapsamında mümkün değildir. Çalışma, bu bilgiler kullanılmadan çözüme ulaştırılmış; daha sonra durak yerlerinin ve de güzergahların durumu hakkında Bilkent Ulaşım Hizmetleri personeline danışılarak çözüm üzerinde düzeltmeler yapılmıştır.



Şekil 1. Çalışmada Kullanılan Sayısal Ankara Haritasından Bir Kısım

Otobüs duraklarının ve güzergahların belirlenmesinde personel konutlarının Ankara'daki yerleri ve dağılımının görüntülenmesi ilk aşamadır. Bu dağılımın özelliklerine göre, konutlar gruplandırılarak duraklar oluşturulmuş; her duraktaki kullanıcı sayısı ve duraklar

arası mesafeler göz önüne alınarak güzergahlar tespit edilmiştir. Bu basamakların hepsinde yoğun bir şekilde coğrafi bilgiye ve mekansal analizlere gerek duyulmuştur. Bütün basamaklarda kullanılan yöntemler ArcView üzerinde kodlanarak, istenilen mekansal analizler ve bilgiler hızlı ve etkili bir şekilde elde edilmiştir. Yöntemleri kodlamada ArcView'in kendine özel programlama dili olan Avenue kullanılmıştır.

Sayısal haritalara eklenen her şekil, veritabanında bir kayıta karşılık gelmekte ve o şekille ilgili özellikler (en başta konumu) veritabanında yer almaktadır. Bütün şekiller, Avenue'da yazılan programlarda birer nesne olarak ele alınabilmektedir. Yazılan programlar için kullanıcı arayüzüne düğmeler eklenmiş ve bunların Bilkent Ulaşım Hizmetleri tarafından tek bir komutla çalıştırılması sağlanmıştır. Ayrıca, çözümün kalitesi ile ilgili detaylı analizleri yapmak, Network Analyst (ESRI, 1996b) sayesinde mümkün olmuştur.

### **Personel konutlarının Ankara'nın sayısal haritası üzerinde işaretlenmesi (Coğrafi Kodlama)**

Coğrafi kodlama, basitçe, personel konutlarına karşılık gelen bir grup noktanın mevcut sayısal harita üzerinde ayrı bir katman olarak gösterilmesidir. Personel adresleri Bilkent Üniversitesi Personel Müdürlüğü'nden sağlanmıştır. Bu verilere göre Bilkent Üniversitesi'nin 1600 çalışanı vardır. Ancak bu kişilerin tamamı personel servislerini kullanmamaktadır. Kampüs içerisindeki lojmanlarda ve kampüs civarındaki sitelerde ikamet eden kişiler bir kenara ayrıldığında geriye 1240 adres kalmaktadır.

ODTÜ Şehir ve Bölge Planlama bölümünden temin ettiğimiz sayısal Ankara haritası adreslerin işaretlenmesi için yeterli bilgi içermemektedir. Bu nedenle, adresler daha detaylı (1/22000 ölçekli) kağıt harita ile karşılaştırılarak, Bilkent Ulaşım Hizmetleri'ne ve bazı internet kaynaklarına başvurularak işaretlenmiştir.

Önce, adres verileri ile sayısal harita üzerinde mevcut olan bilgilerin birbirine uyumluluğu denetlenmiştir. Sayısal harita ile iyi eşleşen adresler doğrudan harita üzerine yerleştirilmiştir. Eşleşmeyen adresler, detaylı kağıt harita üzerinde aranmış ve yerleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Kağıt harita üzerinde yeri tespit edilemeyen adresler için Bilkent Ulaşım Hizmetleri'nin yardımı alınmış ve internet adreslerine (örneğin, <http://www.kavakliderem.org> ve <http://www.yenimahalle.belediyesi.com>) başvurulmuştur.

Sayısal haritada apartman numaraları veya isimleri hakkındaki bilginin mevcut olmaması nedeniyle noktalar şu şekilde konulmuştur: Bir sokak üzerinde tek bir adres sözkonusu olduğunda, o adrese karşılık gelen nokta sokağın ortasına yerleştirilmiştir. Eğer uzun bir cadde ve birçok adres sözkonusu ise ve apartman numaraları elde yoksa, noktalar cadde üzerine düzgün bir şekilde dağıtılmıştır. Apartman numaraları varsa ve birbirine yakınsa noktalar yerleştirilirken bu gerçek gözönüne alınmıştır.

### **Adreslere karşılık gelen noktaların kümelenmesi (her kümeye bir durak atanması amacıyla)**

Ulaşım sistemi ile ilgili başlıca sorunlardan biri çoğu personelin doğrudan konutlarından alınmasıdır. Bu, durak sayısını ve dolayısıyla ulaşım zamanını artırmakta ve çeşitli şikayetlere yol açmaktadır. Böylece, durak yerlerinin (ve sayısının) etkili bir şekilde belirlenmesi çok önemli bir ihtiyaç olarak görünmüştür. Durak sayısının azalması tercih edilmektedir. Ancak Ulaşım Hizmetleri ile yapılan görüşmelerde durağa olan yürüme mesafesinin 1 km'yi aşmaması gerektiği de belirtilmiştir. Bu kısıt gözönüne alınarak, adreslere karşılık gelen noktalar gruplara bölünmüş ve her gruba bir durak atanmıştır.

Durakları oluşturabilmek için kümeleme yöntemleri üzerine kaynak taraması yapılmış ve bulunan yöntemler incelenmiştir. Fakat, kümeleme yöntemlerinin çoğunda, yöntemin uygulanabilmesi için başlama noktalarının ve oluşacak küme sayısının (yani durak sayısının) verilmesi gerektiği görülmüştür (örneğin K-means algoritması, Hartigan, 1975). Bu ise çözümün kalitesini etkilemekte ve başlama noktalarının (durakların, yöntem uygulanmadan önceki başlangıç pozisyonlarının) belirlenmesi gibi başka bir sorunu beraberinde getirmektedir. Bu nedenle başka seçenekler denenmiştir. Kullandığımız CBS yazılımı ArcView' in yaratıcısı ve CBS konusunda önde gelen bir kuruluş olan ESRI'nin (ESRI 1996a, 1996b, 1996c) web sitesindeki (<http://www.esri.com>) kaynaklar içinden kümelemede kullanılabilir bir program parçası alınmıştır. Ancak algoritmanın ciddi bir kusuru olduğu görülmüştür. Tekrarlanan süreçler yürüme mesafesi üzerindeki kısıtı (en fazla 1 km) özellikle Çankaya gibi kalabalık bir bölgede ihlal etme eğilimindedir. Neredeyse tüm Çankaya bölgesi tek bir kümede toplanabilmekte ve makul olmayan sonuçlara varılabilmektedir.

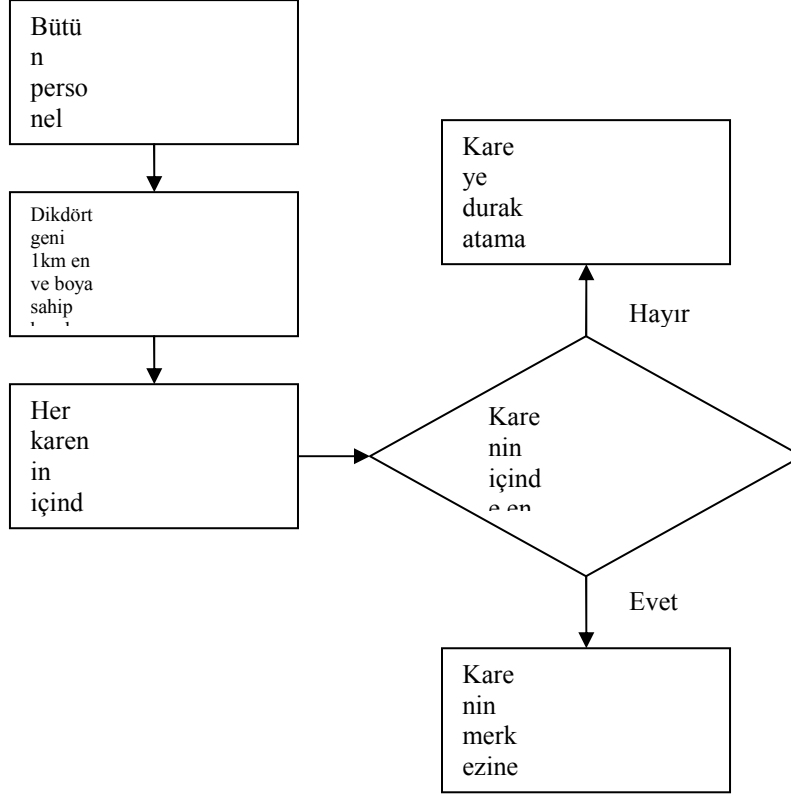
Bu ön çalışmalar sonunda çalışmanın amacına uygun bir yöntemin geliştirilmesi ve gerekli program parçalarının yazılması gerektiği kanısına varılmıştır. Uygulanabilir durakları belirlemek için haritacılık alanında Karelaj olarak bilinen yaklaşıma dayalı bir yöntem geliştirilmiştir.

### **Karelaj Yöntemi**

Uygulanabilir durakları belirlemek için kullanılan bu yöntem sayısal haritayı karelere bölen işlevin geliştirilmesi ile elde edilmiştir. Mevcut işlev, her karenin içinde kalan adres sayısının hesaplanması ve eğer o kare içinde en az bir adres varsa karenin merkezine bir durak atanması şeklinde değiştirilmiştir (Şekil 2).

Geliştirilen bu sezgisel yöntem, Avenue kullanılarak kodlanmış ve ArcView'in kullanıcı arayüzüne bir düğme olarak eklenmiştir. Düğmeler ve kullanıldıkları işler Şekil 3'te görülebilir. Sayısal haritada personel adreslerini gösteren katman aktifken düğmeye basıldığında durakların yeri, sayısı ve her duraktaki kullanıcı sayısı kabaca belirlenmektedir. Bu yöntem kullanılarak 245 durak elde edilmiştir. Ancak, bu duraklar üzerinde çalışılması ve iyileştirmeler yapılması gerekmektedir. Bu çerçevede aşağıdaki değişiklikler yapılmıştır:

- Her kare tek başına ele alınmıştır.
- Duraklar adreslerin o kare içindeki yoğunluğuna göre kaydırılmıştır.
- Duraklar ana yollara kaydırılmıştır.
- Yakın duraklar birleştirilmiştir.
- Çok az sayıda kişi bulunan duraklar silinmiş ve yürüme mesafesi kısıtı gözönünde bulundurularak personel en yakın durağa atanmıştır.

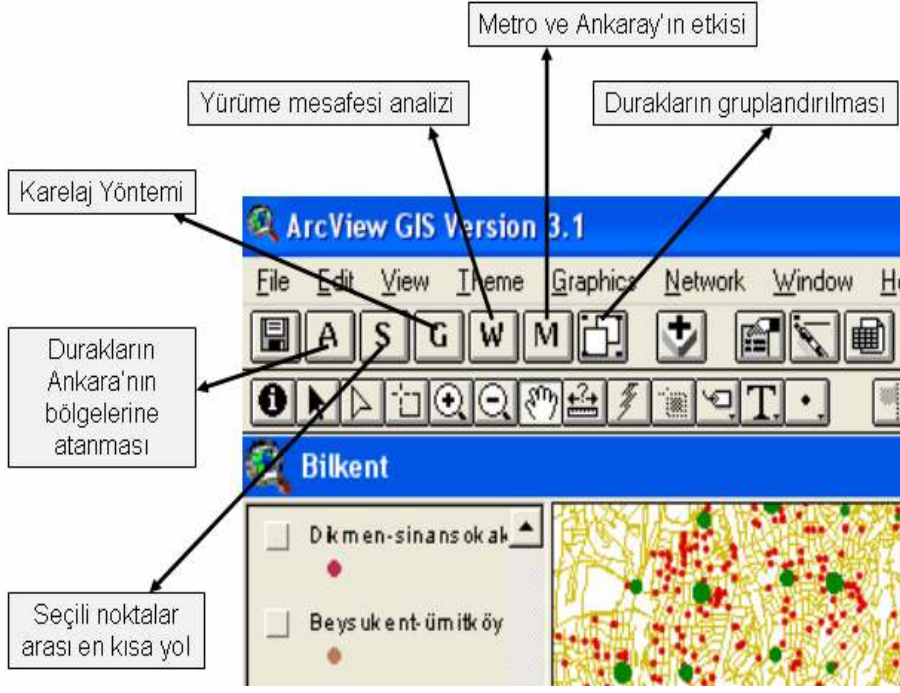


Şekil 2. Karelaj Yönteminin Akış Şeması

Yapılan düzeltmelerden sonra Ankara genelinde durak sayısı 153'e indirilmiştir. Dolayısıyla, yeni duraklarda daha çok kişi bulunmaktadır.

### Güzergahların belirlenmesi

Duraklar elimizde iken çözülmesi gereken problem daha önce bahsi geçen Kapasiteli Araç Rotalama Problemi'dir (KARP). Bu problem NP-Zor sınıfında yer almaktadır ve birçok ticari uygulamada da karşılaşılmaktadır. Bu nedenle çok sayıda araştırmacının ilgisini çekmiştir ve 60'lı yıllardan beri üzerinde yoğun biçimde çalışılmıştır. Çok sayıda sezgisel veya kesin yaklaşım önerilmiştir. Eniyi sonucu sunan algoritmalar içerisinde en etkili olanları 50'ye kadar nokta içeren vakaları çözebilmektedir (Toth ve Vigo, 2002). 153 nokta (durak) bizim bu optimizasyon modellerini kolayca uygulamamızı engellemiştir. Ancak, bu 153 durağın da alt kümelere ayrılabilmesi ve her alt küme içinde KARP çözülebileceği düşüncesi ile 3 ayrı matematiksel model (örneğin, Spasovic ve diğerleri, 2001), C++ dilinde yazılmıştır. Çözücü olarak Cplex yazılımı kullanılmıştır. 50 durak içeren bu alt problemler iki haftalık işlem süresi sonunda dahi eniyi sonucu verecek şekilde çözülememiştir. Böylece, bu aşamada da eniyiye yakın sonuç verebilecek sezgisel yaklaşımlar üzerine yoğunlaşmıştır.



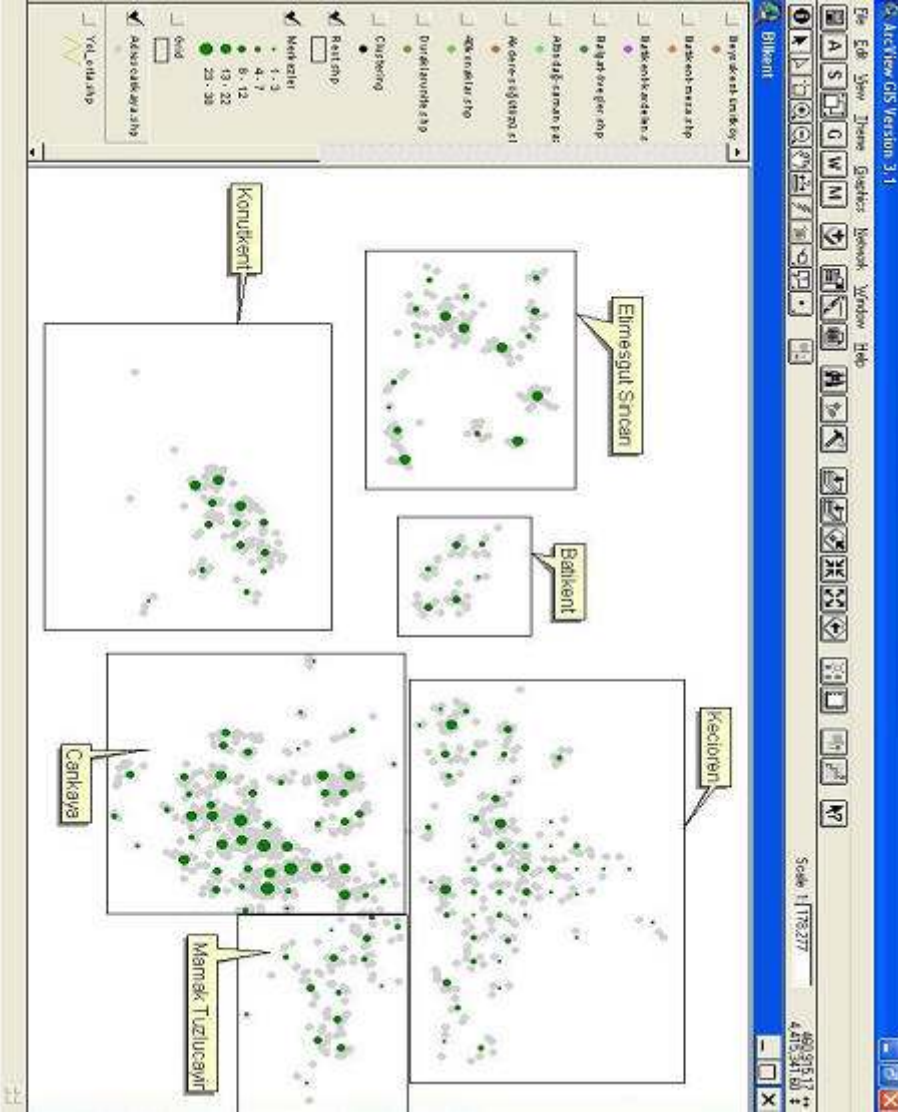
Şekil 3. Çalışma İçin Hazırlanan Programların Arayüze Eklenen Düğmeleri

Temel amaç güzergahları dolambaçlı ve uzun hale getirmeden araç sayısını azaltmaktır. Çalışmanın uzun vadede yararlı olabilmesi için, Bilkent Ulaşım Hizmetleri'nin muhtemel değişiklikler halinde yeni çözümü kolayca elde edebilmesi gerekmektedir. Çözüm için kullanılan yöntemin ArcView içinde işleyebilmesi ve zorlanmadan çalıştırılabilmesi büyük önem taşımaktadır. Başarılı bir sezgisel yöntemin ArcView içinde kodlanması ve kullanıma sunulması bu açıdan da uygun görülmüştür. Yöntemin ana hatları aşağıdaki gibidir:

### Ankara'nın bölgelere ayrılması

Adreslerin ve otobüs duraklarının dağılımındaki eğilimler incelenmiştir. Adreslerin ve durakların birbirinden ayırt edilebilecek kümeler oluşturduğu açıkça görülmüştür. Bir küme içinde kalan duraklar bir diğer kümedeki duraklardan ciddi oranda uzaktadır. Bu gerçeğin ışığında Ankara altı bölgeye ayrılmıştır: Çankaya, Mamak-Tuzluca, Konutkent, Keçiören, Fatih-Sincan ve Batıkent. Her bir durağın Ankara'nın hangi bölgesinde yer aldığıın bulunması ve veritabanına işlenmesi için gerekli kod yazılmış ve kodu çalıştıran düğme arayüze eklenmiştir. Güzergahlar oluşturulurken durağın içinde yer aldığı bölge belirleyici bir etkidir. Bunun sonucunda, oluşacak güzergahların dolambaçlı ve uzun olmaması beklenir. Adreslerin ve durakların dağılımı ile bahsedilen bölgeleri gösteren ArcView çıktısı için Şekil 4'e bakınız.





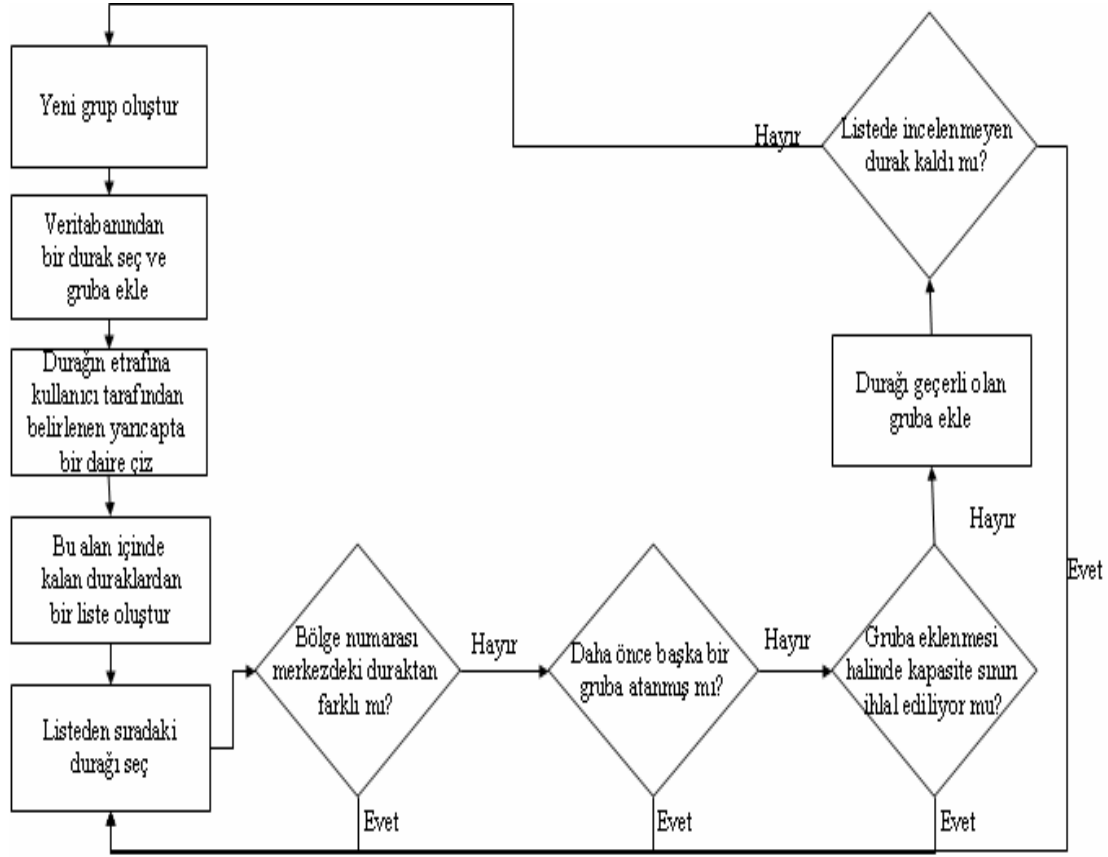
Şekil 4. ArcView Programından Bir Çıktı. Adreslerin Ve Otobüs Duraklarının Dağılımı İle Kümelemde Kullandığımız Bölgeleri Göstermektedir.

### Durakların gruplanması

Güzergahları oluşturabilmek için duraklar gruplanmıştır. Duraklar birbirine yakınlıklarına ve aracın kapasitesine göre oluşturulmuştur. Kapasite kısıtı olarak 44, yani bir otobüsün kapasitesi alınmıştır. Bunun sebebi şudur: kişi başına düşen maliyet, tam doluluk oranında otobüs için 1.230.386 TL, midibüs için 1.505.125 TL olmaktadır. Daha önce bahsedildiği gibi, araç sayısı başlıca maliyet etkeni olduğundan midibüs yerine otobüs kullanımını teşvik edecek bir sonuç ortaya çıkmıştır. Bunun yanında, gruplar oluşturulduğunda 24 ya da daha az kişi içeren gruplara midibüs atanması sözkonusudur. Gruplama için geliştirilen ve kullanılan sezgisel yöntemin akış şeması Şekil 5'tedir. Bu sezgisel yöntem, Avenue programlama dili kullanılarak kodlanmış ve ArcView programının kullanıcı arayüzüne bir düğme olarak eklenmiştir. Duraklar katmanı aktif haldeyken bu düğmeye basıldığında, her durağın ait olduğu grup tespit edilip, veritabanında ilgili kayıda işlenmektedir.

Daha uygun gruplar bulmak için farklı yarıçap girdileri ile bu yöntem uygulanmıştır. Sonunda en iyi çözüm 8000 metrelik yarıçap girdisi ile ve 29 grupla ortaya çıkmıştır. Bu çözümde otobüslerin doluluk oranları 34 ile 44 arasında değişmektedir.





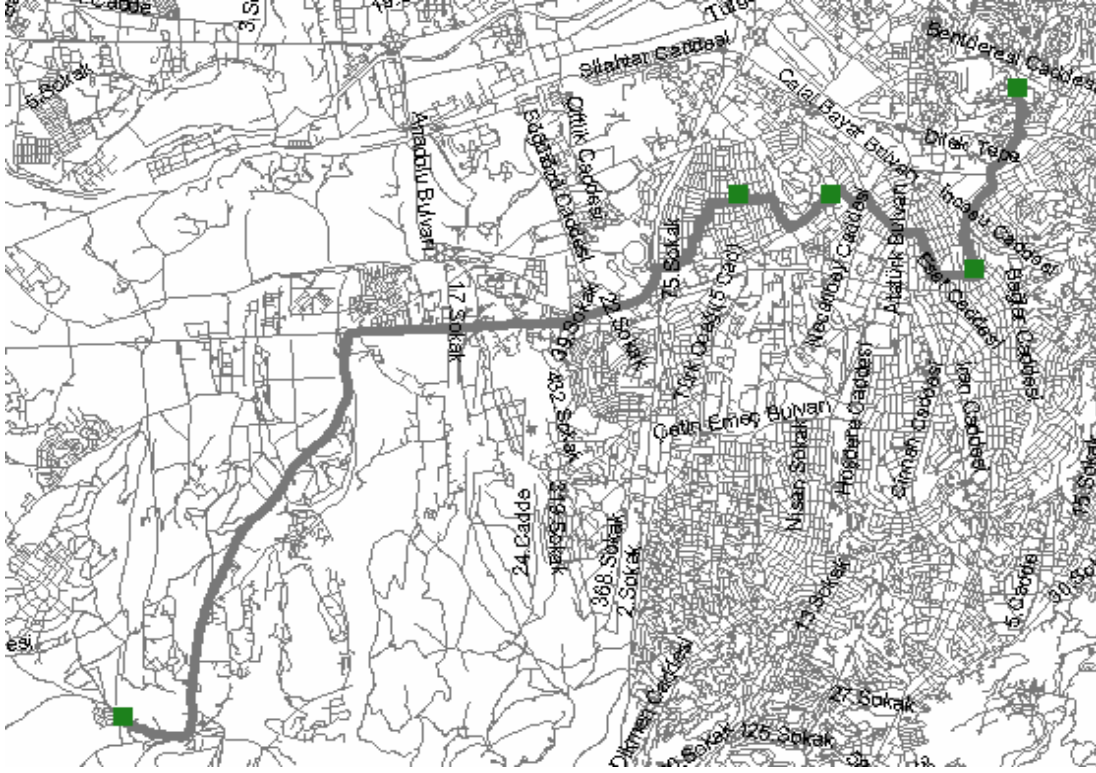
Şekil 5. Durakları Gruplandırma Yönteminin Akış Şeması

### Her bir gruba karşılık gelen güzergahların bulunması

Gruplar oluşturulduktan sonra, her grubun içinde bir güzergah elde etmek için ArcView adlı yazılımın "Network Analyst" uzantısında mevcut olan "Find Best Route" (En iyi Rotayı Bul) işlevi kullanılmıştır. Bu işlevin kullanılmasını kolaylaştırmak amacıyla kod yazılmış ve arayüze ilgili düğme eklenmiştir. Bir gruba ait duraklar seçili iken bu düğmenin çalıştırılması ile en kısa yol çizilmektedir. Böylece bu durakları içeren güzergaha ulaşılmaktadır. Tablo 1 ve Şekil 6'da örnek olarak 16. güzergah gösterilmiş ve ilgili istatistikler verilmiştir.

<i>Toplam Mesafe</i>	<i>Ortalama Ulaşım Zamanı</i>	<i>Durak Sayısı</i>	<i>Bilkent ve ilk durak arası uzaklık</i>	<i>Toplam kullanıcı sayısı</i>
20,2 km	35 dk.	4	11,6 km	44

Tablo1. 16. Güzergah ile ilgili istatistikler



Şekil 6. Çözümde Elde Edilen 29 Güzergahtan 16.Güzergah

### ÇÖZÜMÜN KALİTESİ

1240 kişiyi taşımak için gereken otobüs sayısı  $1240 / 44 = 28.18$ 'den büyük olmalıdır. Geliştirilen sezgisel yöntem yürüme mesafesi kısıtı ve güzergahların fazla uzun olmaması koşulu ile 29 otobüs kullanımını gerektiren bir sonuca ulaşmıştır. 11 güzergahta 44 kişi (tam doluluk oranı), 10 güzergahta 43 kişi, 5 güzergahta 42, 2 güzergahta 41 ve bir güzergahta da 34 kişi vardır. En kısa güzergah 13.3 km ve en uzununu da 44.9 km'dir. Ziyaret edilen durak sayısı 2 ile 10 arasında değişiklik göstermektedir.

Şu anda Ulaşım Hizmetleri 22 otobüs ve 14 midibüs ile hizmet vermektedir. Bir ayda ortalama 22 iş günü olduğu varsayılırsa, bunun aylık maliyeti 73.863.878.000 TL, önerilen sistemin aylık maliyeti 69.078.812.000 TL'dir. Önerilen çözüm maliyette %6.48 oranında azalma öngörülmektedir; bu ise yıllık olarak 57.420.792.000 TL'ye karşılık gelmektedir.

Daha önce sözü edildiği gibi, çalışmaya başlandığı tarihte Ulaşım Hizmetleri personeli toplam 46 araç ile servis vermekteydi. Elde edilen çözüm, bu ilk durum ile karşılaştırıldığında sağlanan tasarrufun çok daha yüksek olduğu görülmektedir. 46 araç kullanılan sisteme göre masrafta %45 azalma öngörülmektedir ve bu azalma yıllık 676.483.675.920 TL'ye karşılık gelmektedir.

Personel servislerinden aylık kartla, belli bir ücret karşılığı faydalanmak mümkündür. Bilkent personeli olmayan, ancak kampüs içinde veya yakınında çalışanlar bu hizmeti kullanmaktadırlar. Güzergahların çoğunda bu kartlı kullanıcılar için fazla boşluk kalmadığı görülmektedir. Ancak bu çalışma Bilkent dışında ikamet eden bütün personelin servisleri kullanacağı varsayımı ile gerçekleştirilmiştir. Mart ayının ilk iki haftasında yapılan yoklamalar ise personel servislerini toplamda (Bilkent personeli ve kartlı kullanıcılar dahil) 1123 kişinin kullandığını ortaya koymuştur. Bizim yaklaşımımız en kötü durum senaryosunu yansıtmaktadır ve gerçekte, önerilen çözümün uygulanması halinde kartlı

kullanıcılar için yeterince boş yer olacağını beklemek yanlış değildir. Kartlı kullanıcılardan gelen ücretler de maliyetin azalmasında rol oynamaktadır.

### MEMNUNİYET ANALİZİ

Ulaşım Hizmetleri ile yapılan görüşmelerde duraklara olan yürüme mesafesinin aynı zamanda memnuniyet açısından bir ölçüt olarak değerlendirilebileceği sonucu çıkmıştır. ArcView'de yazılan bir program parçası ile her adresin kendine en yakın durağa olan mesafesi bulunmuş ve adreslerle ilgili verilere yeni bir öznitelik olarak eklenmiştir. Bunun devamında bazı istatistikler elde edilmiştir.

Ortalama yürüme mesafesi	370 metre
750 m'den az yürüyen kişi sayısı	1219
500 m'den az yürüyen kişi sayısı	967
250 m'den az yürüyen kişi sayısı	333
100 m'den az yürüyen kişi sayısı	67
Standart sapma	185 metre

Tablo 2. Önerilen çözüm için yürüme mesafesi istatistikleri

1240 kişiden sadece 21'i 750 m'den fazla yürümek durumunda kalmaktadır. Ortalama 370 m yürüme mesafesi ise 1000 m'lik kısıtın oldukça altındadır. Bu sonucun daha iyi bir değerlendirmesini yapmak için aynı istatistikleri mevcut durumda elde etmek gerekmiştir. Şu anda kullanılan 36 güzergah ve bu güzergahlar üzerindeki duraklar Ulaşım Hizmetleri'nden alınmış ve sayısal haritaya aktarılmıştır.

Mevcut durum ile ilgili istatistikler (Tablo 3), önerilen çözüm ile arasında memnuniyet açısından büyük bir fark olmadığını göstermektedir. Ortalamada geçerli durum lehine sadece 28 m fark vardır ( $370-342 = 28$  m). 750 ve 500 m'den az yürüyen kişi sayısı iki durumda da birbirine oldukça yakındır. Tek ciddi fark 250 ve 100 m'den az yürüyen kişi sayısında görülmektedir.

Ortalama yürüme mesafesi açısından önerilen durum daha yüksek bir değer sunmaktadır. Ancak durakların yerini sabitlemek ve sayısını düşürmek de Ulaşım Hizmetleri tarafından yapılan görüşmelerde talep edilmiştir. Önerilen durumda 153 durak ve mevcut durumda 438 durak bulunmaktadır. Durak sayısındaki azalmanın, yolculuk sürelerinde kısalma sağlaması beklenmektedir; ancak yürüme mesafeleri üzerinde olumsuz etkisi olması kaçınılmazdır. Eğer personel memnuniyeti açısından yürüme mesafelerinin, ortalama yolculuk sürelerine göre daha fazla önem taşımakta olduğu kabul edilirse, önerilen güzergahlarda durak sayısı artırılarak yürüme mesafelerinde düşüş sağlanabilir.

Ortalama yürüme mesafesi	342 metre
750 m'den az yürüyen kişi sayısı	1157
500 m'den az yürüyen kişi sayısı	990
250 m'den az yürüyen kişi sayısı	562
100 m'den az yürüyen kişi sayısı	154
Standart sapma	265 metre

Tablo 3. Kullanılan Sistemin Yürüme Mesafesi İstatistikleri

## VERİTABANI

Ulaşım Hizmetleri'nin talebi üzerine personel, güzergahlar, duraklar, sürücüler ve benzeri kayıtları tutacak bir veritabanı Microsoft Excel ve Visual Basic Editor kullanılarak hazırlanmıştır. Veritabanı, bir güzergahta kullanılan aracın plakası, tipi, sürücüsü, sürücünün telefon numarası, aracın sahibi olan şirket, güzergahın uzunluğu, güzergah üzerindeki durak yerleri ve bu duraklara kaçta gelindiği bilgilerini içermektedir. Alınan yoklamalar sayesinde bir aracı hangi kişilerin kullandığı bilgisi mevcuttur. Personelin adresi, çalıştığı birim ve iş telefonu da veritabanında yer almaktadır. Sisteme üç arama motoru yaratılmış ve eklenmiştir. İlk seçenekte personelin ismini verip onun hangi araca bindiği, aracın sürücüsü, personelin bağlı olduğu birim, adresi, iş telefonu vb. bilgilerine ulaşılmaktadır. İkinci seçenekte, listeden bir güzergah seçip o güzergahta hangi personelin olduğu, kullanılan araç, araç sürücüsü, durak yerleri vb. bilgilerine ulaşılmaktadır. Son seçenekte ise, sürücünün ismi girilerek onun hangi güzergahtan sorumlu olduğu, aracının plakası, bağlı olduğu şirket vb. bilgilere ulaşılmaktadır.

## İNŞA EDİLEN METRO AĞININ

### MUHEMEL ETKİSİ

Ankara'nın metro sisteminde genişletme çalışması yapılmakta olup, yeni metro ağı Eskişehir yolundan geçmekte ayrıca Bilkent köprüsüyle de kesişmektedir. Yeni metro ağının tamamlanmasıyla Bilkent Ulaşım Hizmetleri servis güzergahlarını yeniden yapılandırma yoluna gidebilir. Yeni yapılanma sonucunda metro duraklarına yakın oturan personel, kampüse metro ağını kullanarak ulaşabilir. Metro ağını kullanarak kampüse ulaşacak olan personelin ulaşım harcamaları Bilkent Ulaşım Hizmetleri tarafından karşılanacaktır.

Yeni yapılan metro ağı kullanılmaya başlandığında, personel servislerinin güzergahlarının nasıl etkileneceğini araştırmak için bir çalışma yapıldı. İlk olarak Ankaray, mevcut ve yapılmakta olan metro ağının istasyonları sayısal haritaya yerleştirildi. Daha sonra bu istasyonlara en çok 1 km uzaklıkta olan personel adresleri saptandı. Bu analiz, Bilkent'in dışında yaşayan tüm personel (1240 kişi) düşünülerek önerilen çözüm için yapıldı. Yapılan bu analiz, mümkün olan değişiklikleri, örneğin servis sayısının kaçta düşebileceği, hangi güzergahların iptal edilebileceği gibi bilgileri içermektedir.

Analizin sonucunda metro istasyonlarına 1 km mesafede oturan 269 kişi bulunduğu görülmüştür. Bu istasyonlara ortalama yürüme mesafesi 556 m olup en uzununu 994 m, en kısası 46 m'dir. Metro sistemini kullanabilecek personelin belirli bölgelerde yoğunlaşmış olması o bölgeleri içeren güzergahların kaldırılması ya da araç türünün otobüsten midibüse çevrilmesi gibi seçenekler getirmektedir.

Güzergah kodu	Metro istasyonlarına yakın personel sayısı
26	6
24	8
23	28
22	13
18	5
17	36
16	34
15	43
14	13

13	6
12	5
10	3
8	27
5	3
4	36
3	3

Tablo 4. Önerilen Çözümdeki Olası Metro Kullanıcılarının Güzergahlara Dağılımı

Hangi güzergahtan kaç kişinin metro sisteminden istifade edebileceği tablo 4'te verilmiştir. 23., 22., 17., 16., 15., 8. ve 4. güzergahlarda önemli sayıda potansiyel metro/Ankaray kullanıcısı bulunmaktadır ve bu bireyler metro sistemini kullandığı takdirde önerilen çözümdeki güzergahlarda önemli değişiklikler yapılabilir.

- 22. güzergah Batıkent bölgesine karşılık gelmektedir. Buradaki 13 kullanıcının metro sistemini kullanarak kampüse ulaşması mümkündür. Ancak tam kapasite dolu olması beklenen bir otobüsten 13 yolcu azaltmak, araç tipini midibüse çevirmek için yeterli değildir. Önerilen çözümde bu güzergahın yakınından geçen başka bir güzergah bulamadığı için 13. güzergahın başka bir güzergah ile birleştirilmesi de söz konusu olmayacaktır. Ayrıca, metro sistemini kullanacak olan personel Bilkent'e ulaşmak için Batıkent'ten önce Kızılay'a gitmek zorunda kalacaktır ki, bu durum büyük ölçüde personel memnuniyetsizliğine yol açacaktır. Bu yüzden 22. güzergahta metro sisteminden kaynaklanan bir değişiklik yapılması tavsiye edilmemektedir.
- 4. ve 8. güzergahların Beysukent bölgesine servis vermesi planlanmaktadır. 8. güzergahtan 27, 4. güzergahtan 36 kullanıcı azalması ile bu güzergahlarda geri kalan kişilere 1 midibüsle servis verilebilmesi mümkün olacaktır.
- Emek-Bahçeli bölgesindeki güzergahlardan biri olan 15. güzergah metro sisteminin kullanıma açılması ile tamamen kaldırılabilir .
- 36 kullanıcı metro sistemini kullanmaya başladıktan sonra 17. güzergahtaki geri kalan 6 kişi için yeni bir durak oluşturulup, 5 kişilik azalmaya uğrayan 18. güzergaha eklenebilir.
- 14. ve 16. güzergahlardaki kullanıcı sayısının azalması ile bu güzergahlar da birleştirilerek tek bir güzergaha indirgenebilir.

Önerilen bütün bu değişiklikler sırasında güzergahların birbirine olan yakınlığı ve personel adreslerinin dağılımı dikkate alınmıştır. Eğer bu değişiklikler uygulanacak olursa, önerilen 29 otobüs kullanılan çözüm yerine, 23 otobüs ve 2 midibüs kullanılacak şekilde toplam 25 araçlı bir çözüm bulunabilir. Bu çözümün maliyeti aylık olarak 57.965.468.000 TL'dir. Bu sayede fazladan 11.113.334.000 TL aylık tasarruf sağlanabilir. Ancak Bilkent Köprüsü'nde bulunan metro istasyonu ile kampüs arasındaki ulaşımın sağlanması gerekecektir ve bu hizmetin maliyeti olacaktır. Ayrıca personelin büyük çoğunluğuna ulaşım hizmeti verirken, bir kısmını duraklara birkaç yüz metre uzakta olmalarına rağmen metroya binmeye zorlamak memnuniyetsizliğe yol açabilir. Metro ağı dahil edilerek uygulanabilecek yeni sistemde, bu gerçekler dikkate alınmalıdır.

## GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Ulaşım Hizmetleri ile yapılan görüşmelerle çalışmanın içeriği ve odak noktası belirlenmiştir. Yöntembilim ve seçenekler ele alınmış, çalışma alt basamaklara ayrılmıştır. Öncelikle, veri işleme sürecinin temel unsuru olarak personel adresleri sayısal haritaya aktarılmıştır. Daha sonra bu adresler geliştirilen yöntemle durakları oluşturmak amacıyla gruplanmıştır. Bundan sonraki basamak kabaca belli olan durakları yürüme mesafesi kısıtı gözönünde tutularak düzenlemek olmuştur. Geliştirilen bir başka yöntemle duraklar gruplanmış ve her grup içinde en uygun güzergah ortaya çıkarılmıştır. Bilkent Üniversitesi Ulaşım Hizmetleri'nin talebi doğrultusunda güzergah ve personel bilgilerini içeren bir veritabanı hazırlanmıştır. İnşa edilen metro ağının ulaşım sistemindeki olası etkileri incelenmiştir.

29 yeni güzergah elde edilmiş ve önerilen çözümle %6.48 oranında (yıllık 57.420.792.000 TL) bir masraf indirimi öngörülmüştür. Ayrıca önerilen çözüm, çalışmanın başladığı tarihte geçerli olan 46 araçlık sisteme göre masrafta %45 azalma öngörmektedir ve bu azalma yıllık 676.483.675.920 TL'ye karşılık gelmektedir. Daha sonraki görüşmelerde bunun verimli olduğu kadar memnuniyet açısından da iyi bir çözüm olup olmadığını anlayabilmek için, geçerli durum ile önerilen durum arasında yürüme mesafeleri açısından farklılıkların irdelenmesi gerektiği ortaya çıkmıştır. Bu nedenle bahsi geçen istatistikler hesaplanmıştır. Ortalama yürüme mesafesi açısından kabul edilebilir, küçük bir fark olduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca önerilen çözümde personelin % 77.9'unun 500 m'nin altında yürüme mesafesine sahip olduğu görülmüştür. Önerilen güzergahların hayata geçirilmesi durumunda, durak sayısını artırmak ve yürüme mesafelerini düşürmek de mümkün olabilecektir.

#### **KAYNAKÇA**

1. ESRI (1996a), *Avenue, Customization and Application Development for ArcView GIS*, Redlands, California.
2. ESRI (1996b), *ArcView Network Analyst, Optimum Routing, Closest Facility and Service Area Analysis*, Redlands, California.
3. ESRI (1996c), *ArcView GIS, The Geographic Information System for Everyone*, Redlands, California.
4. Gendreau, M., Laporte, G., Musarangayi, C., Taillard, E.D. (1999), *A tabu search heuristic for the heterogeneous fleet vehicle routing problem*, *Computers and Operations Research* 26, 1153-1173.
5. Hartigan, J.A. (1975), *Clustering Algorithms*, Wiley, New York.
6. Spasovic, L. , Chien, S. , Kelnhofner-Feeley, C. , Wang, Y. , Hu, Q. (2001), *A Methodology for Evaluating of School Bus Routing - A Case Study of Riverdale, New Jersey*, *Transportation Research Board 80th Annual Meeting*, Washington D.C.
7. Toth, P., Vigo, D. (2002), *Models, relaxations and exact approaches for the capacitated vehicle routing problem*, *Discrete Applied Mathematics* 123, 487 - 512.
8. Wassan, N.A., Osman I.H. (2002), *Tabu search variants for the mix fleet vehicle routing problem*, *Journal of the Operational Research Society* 53, 768-782.