

MEDYAN EN KISA YOL PROBLEMİ: MALİYET-ERİŞİLEBİLİRLİK HEDEFLERİNE YÖNELİK BİR ÇOK AMAÇLI TAŞIMACILIK PROBLEMİ UYGULAMASI

Yrd.Doç.Dr.Mehpare TİMOR
İ.Ü.İşletme Fakültesi
timorm@istanbul.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, bir çok amaçlı taşımacılık problemi modeli olan "Medyan En Kısa Yol Problemi" (MEKYP) ele alınmıştır. Potansiyel uygulama alanları; demiryolu, çevre yolu, metro güzergahları ile havayolunda rota belirleme problemlerini kapsayan MEKYP'nde, biri hat uzunluğu, diğeri erişilebilirlik (kullanıcı maliyeti) olmak üzere iki hedef mevcut olup, amaç her iki maliyetin de minimize edilmesidir. Problemin çözüm aşamasında, ana hatta ait alternatif güzergahların belirlenmesi için "Double Sweep" yöntemi kullanılarak "K adet En Kısa Yol" hesaplanmıştır. K adet yol alternatifinin herbiri için, potansiyel ulaşım talebinin hatta erişim maliyeti hesaplanmıştır. "Hat uzunluğu" ve "erişilebilirlik" bileşenlerinden oluşan her bir çözüm, önceki çözüme göre avantaj sağlayıp sağlamadığına bakılarak elemeye tabi tutulmuştur. Sonuçta elde edilen baskın olmayan çözüm değerleri "alternatif çözümler"i oluşturmaktadır. Çalışmanın son bölümünde, baskın olmayan çözüm alternatiflerinin subjektif değer yargılarının kullanılabilirdiği "Analitik Hiyerarşi Prosesi" (AHP) ile karar vericiler tarafından ne şekilde değerlendirilebileceği ele alınmaktadır.

***Anahtar Kelimeler:** Medyan En Kısa Yol Problemi, K adet En Kısa Yol, Double Sweep Yöntemi, Baskın ve Baskın Olmayan Çözümler, Analitik Hiyerarşi Prosesi.*

ABSTRACT

In this article Median Shortest Path Problem (MSPP) is presented as a multiobjective programming problem. Potential applications of the MSPP are the location of new railways, highways, subway lines and design of airline routes. MSPP is considered as a bicriteria problem, which objectives are "total path length" and "potential users costs". The goal is to minimize the two objectives. In the solution procedure of the problem, "K-th Shortest Path" is calculated by using "Double Sweep Method". For each path alternative "user cost" is calculated. In the final step of the algorithm, solutions are compared with each other according to the path length and user costs. Nondominated solutions are eliminated, and final solutions are listed. In the last part of this study, it is shown that, how decision makers could evaluate alternative solutions by using Analytical Hierarchy Process.

***Key Words:** Median Shortest Path Problem, K-th Shortest Path, Double Sweep Method, Dominated and Nondominated Solutions, Analytical Hierarchy Process.*

1. GİRİŞ

Şebeke tasarım ve rota belirleme problemleri yapıları gereğince çok amaçlıdır. Yakın zamana kadar tek amaçlı olarak ifade edilerek çözülen Taşımacılık Problemlerinde (TP) sadece taşıma süresinin (veya maliyetin) dikkate alınması yeterli değildir. Kapasite, getiri, çevre koruma, potansiyel ulaşım talebinin karşılanması gibi farklı birçok kriter birarada gözönüne alınması gerektiğinden, TP bir çok amaçlı programlama problemi olarak ele alınmaktadır. Medyan en kısa yol problemi (MEKYP) taşımacılık problemlerinin özel bir uygulamasıdır. MEKYP'nde amaç; başlangıç ve varış noktaları arasındaki bağlantı maliyetini minimize etmek, aynı zamanda civar merkezlerdeki potansiyel talebin bu bağlantıya en düşük maliyetle erişebilmelerini sağlamaktır. MEKYP'nin potansiyel uygulama alanları; yeni demiryolu, çevreyolu, metro güzergahları ile havayolunda rota belirleme problemlerini kapsamaktadır. MEKYP'nde biri işletme, diğeri kullanıcı maliyeti olmak üzere iki önemli maliyet unsuru bulunmaktadır. Bu çalışmada birbiri ile çelişen ilgili maliyet unsurları arasında bir denge bulabilmek için MEKYP çok amaçlı programlama tekniği içinde ele alınmıştır. Ayrıca, MEKYP çözümünden elde edilen alternatif güzergahların; ekonomik faktörler, güzergah fizibilite etütleri, diğer ulaşım kanalları ile bağlantılar, tarihi ve doğal çevreyi koruma gibi farklı faktörler açısından karşılaştırılması ve en uygun çözümün belirlenmesi amacıyla bir çok amaçlı karar verme yöntemi olan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) kullanılmıştır.

2. MODEL ve FORMÜLASYON

Taşımacılık problemleri (TP) konusundaki bilinen ilk çalışma 1736'da Euler'in Königsberg Köprüsü olarak bilinen çalışmasıdır (Phillips ve Garcia-Diaz, 1981, s: 3'de aktarılan: Euler, L., 1953, "The Königsberg Bridges", *Scientific American*, Vol. 189, s: 66-70). Yaygın bir uygulama alanına sahip olan TP'nin en kısa yol, gezen satıcı, minimum maliyetli ağaç gibi çeşitli uygulamaları mevcuttur. TP'lerinin yapıları gereğince çok amaçlı olduğu bilinmektedir. Çok amaçlı taşımacılık problemleri 1970'lerden itibaren günümüze dek giderek gelişmekte olan bir uygulama alanına sahiptir. Bu konuda çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Tablo-1).

Yazar	Yıl	Konu
SHIER	1976	K-Adet En Kısa Yol Algoritması
SHIER	1979	K-Adet En Kısa Yol Algoritmasının Geliştirilmesi
HALDER ve MAJUMDER	1981	Metro Güzergahında Optimal İstasyon Sayısının Belirlenmesi
PRIESZ ve HARKER	1983	Çok Amaçlı Şebeke Tasarımı
DEO ve PANG	1984	"En Kısa Yol Algoritmaları" hakkındaki çalışmalar
CURRENT, REVELLE ve COHON	1985	Çok Amaçlı Taşımacılık Problemlerinin Tasarım Modelleri
CURRENT ve MIN	1986	"Çok Amaçlı Taşımacılık Şebekeleri" hakkında yapılan çalışmalar
CURRENT, REVELLE ve COHON	1987	Medyan En Kısa Yol Problemi
CURRENT	1993	Çok Amaçlı Taşımacılık Şebekelerinde Tasarım ve Rota Belirlenmesi
CURRENT ve MARSH	1993	"Çok Amaçlı Taşımacılık Şebekelerinde Tasarım ve Rota Belirleme Problemleri" hakkındaki çalışmalar
WEIWI ve JUN	1994	Otoyol taşımacılığında AHP ile kapsamlı değerlendirme
KARAKUŞ	1995	Kentçi Toplu Taşım Sistemlerinde Güzergah Elemleri
RINK, RODIN, ve SUNDARAPANDIAN	2000	K-Adet En Kısa Yol Algoritmasının Düzenlenmesi
FERRARI	2003	AHP ile otoyol alternatif projelerin değerlemesi

Tablo 1: Şebeke Tasarımı ve Çözüm Algoritmaları hakkındaki çalışmalar

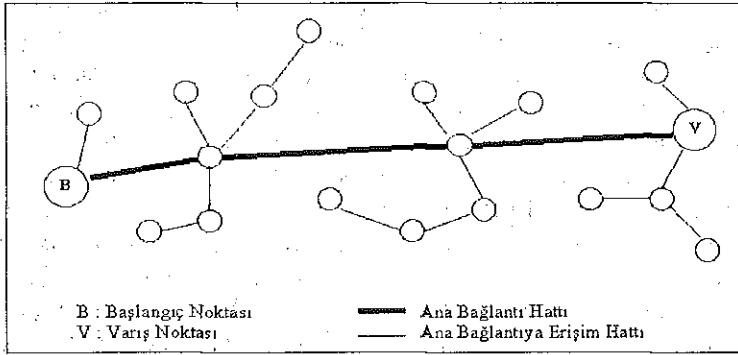
Taşıma şebekelerinin planlanması ve güzergah analizleri Current ve Min'in çalışması ile (Current ve Min, 1986, s:187-201) Current ve Marsh'in çalışmalarında (Current ve Marsh , 1993, s: 4-19) ele alınmıştır. Yapısı gereği çok amaçlı olan taşımacılık problemlerinde aynı anda yerine getirilmesi gereken çeşitli amaçlar bulunabileceği belirtilerek, sözkonusu olabilecek amaçlar Current'in çalışmasında (Current, 1993, s: 1), "taşıma maliyeti", "hat inşa maliyeti", "uzaklık", "seyahat süresi", "güvenlik", "ulaşım talebinin karşılanması", "erişilebilirlik", "kalite", "servisin esneklik ve güvenilirliği", "çevresel faktörler" olarak sıralanmaktadır. Taşımacılık şebekelerinde çok amaçlı uygulamalar hakkında geniş bir yelpazeyi kapsayan bir diğer çalışma Current, ReVelle ve Cohon tarafından gerçekleştirilmiş olup (Current, Revelle ve Cohon, 1985, s: 1-20), ilgili çalışmada özellikle "Çok Amaçlı Taşımacılık Problemlerinin Tasarım Modelleri" üzerinde durulmaktadır. Current ve diğerlerinin adı geçen

çalışmasında, “Medyan En Kısa Yol Problemi” (Median Shortest Path Problem) bir çok amaçlı taşımacılık problemi olarak ele alınmıştır (1985, s: 12-14). TP’lerinin özel bir uygulaması olan ve bir çok amaçlı TP olarak ifade edilen MEKYP, ana hat ile bu hatta erişilebilirlik arasındaki tercih olarak ifade edilmekte olup, bu konuda “şebeke maliyeti ve erişilebilirlik”le ilgili olarak gerçekleştirilen Friesz ve Harker’ın çalışmasında (Friesz ve Harker, 1983, s: 411-426), ana hat ile düğümler arasındaki erişilebilirliğin dikkate alınması yerine, düğüm çiftleri arasındaki erişilebilirlik incelenmektedir. Halder ve Majumder’in çalışmasında ise, mevcut bir metro güzergahı (ana bağlantı hattı) veri olarak alınarak, potansiyel talebin ana hatta erişilebilirlik için kateteceği toplam erişim mesafesi ve istasyonlar arasındaki optimal mesafelerin belirlenmesi problemi ele alınmıştır (Halder ve Majumder, 1981, s:97-108). Halder ve Majumder’in çalışması (1981) güzergahı belirlenmiş olan taşımacılık problemlerinde uygulanabilir. Oysa, TP’lerinde güzergahın belirlenmesi başlıbaşına bir problemdir. Özel olarak MEKYP’nde “ana bağlantı hattı”nın belirlenmesi esas problemlerden biridir. MEKYP’nin tipik bir uygulaması Current, ReVelle ve Cohon’un çalışmasında yer almaktadır (Current, ReVelle ve Cohon, 1987, s: 188-197). İlgili çalışmada, şebeke, ana bağlantı hattı (en kısa yol alternatifleri) ve erişilebilirlik açısından dikkate alınarak, bir çok amaçlı problem olarak incelenmiştir.

Bu çalışmada, MEKYP’nin bir uygulaması olarak, biri başlangıç diğeri varış olmak üzere, önceden belirlenmiş olan iki ana merkez arasında kurulacak bağlantı hattı için en kısa yolun belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu amaca ilave olarak, aynı zamanda diğeri merkezlerden ana bağlantı hattına erişimin de en kısa mesafe ile gerçekleştirilebilmesi amaçlanmıştır. MEKYP’lerinin planlamasında işletme ve kullanıcı maliyetlerinin iki önemli faktör olduğu belirtilmektedir (Current ve diğeri, 1987, 188-189). İşletme maliyeti, biri başlangıç diğeri hedef-nokta olan iki merkez arasındaki ana bağlantı üzerinde ortaya çıkmaktadır. Bu merkezler arasında kurulacak hat ne kadar kısa olursa işletme maliyeti de o kadar düşük olacaktır. Kullanıcı maliyeti ise, ana bağlantı hattına ulaşmaya çalışan potansiyel seyahat talebi sonucu ortaya çıkan maliyettir. Ana bağlantı hattının en kısa yol olması durumunda, potansiyel talep bu hatta erişmek için daha uzun mesafe (süre) seyahat etmek zorunda kalacak; böylelikle kullanıcı maliyeti yükselecektir. Ana bağlantı hattı seçilirken, en kısa yoldan vazgeçilerek, rotanın bir miktar değiştirilmesi ile biraz daha uzun bir hat kurulacak olursa işletme maliyetinin bir miktar yükseleceği açıktır. Buna karşılık kullanıcıların (potansiyel talebin) ana bağlantıya erişimi kolaylaşacağından kullanıcı maliyeti düşecektir. Bir taraftan ana bağlantı hattını minimize etmek (en kısa

yolu belirlemek) hedeflenirken, diğer taraftan potansiyel seyahat talebini karşılama (talebin hatta en kısa mesafe -veya süre- ile erişilebilir olması) hedefleri birbiriyle çelişmektedir. Bu nedenle ilgili problem bir "Çok Amaçlı Programlama Problemi" şeklinde ele alınmıştır. Çok amaçlı programlama problemlerine ait, model ve çözüm yöntemleri ile ilgili ayrıntılar Cohon'un kitabında yer almaktadır (Cohon, 1978, s: 13-26 ve 68-97).

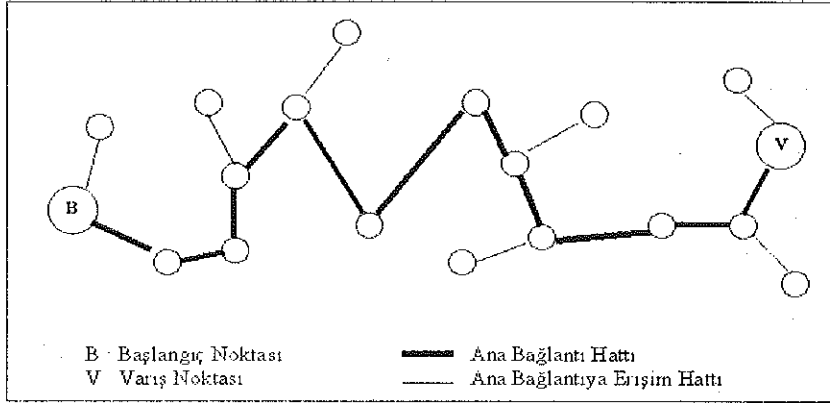
MEKYP'inde, bir başlangıç noktasından hedef noktaya en kısa yolla erişim ve tali merkezlerin bu bağlantıya minimum mesafeyle erişebilir olması hedefleri dikkate alınmaktadır. Bu amaçla, MEKYP'nde, önceden tanımlanmış olan bir **başlangıç** ve **varış noktası** için, ilgili merkezler arasında **en kısa bağlantı** hattı kurularak, diğer merkezlerin, kurulan bu hatta **en kısa mesafe ile erişilebilmelerinin** sağlanmasına çalışılacaktır. MEKYP'ne ait ana hat ve tali bağlantıları gösteren bir örnek aşağıda verilmiştir (Şekil-1).



Şekil-1: Bir MEKYP örneği

Özellikle demiryolu/metro hatları için uygun bir örnek oluşturan bu problem için, ana bağlantı hattı dışında kalan, civar merkezlerdeki nüfusun, ana bağlantı hattına karayolu vb. gibi çeşitli yollarla erişebileceği varsayılmıştır. Ana bağlantı üzerindeki merkezlerde yer alan nüfusun, bağlantı hattına yürüme mesafesinde olduğu varsayılmaktadır.

MEKYP'nde, birbiriyle çelişen maliyet unsurlarını daha iyi vurgulayabilmek ve ana bağlantı hattının değişmesinin çözüme etkisini göstermek üzere, yukarıdaki şebeke için bir diğer çözüm alternatifi aşağıda verilmiştir (Şekil-2).



Şekil - 2: MEKYP için bir diğer bağlantı hattı örneği

Ana bağlantı hattı, en kısa yol yerine, biraz fedakarlıkla diğer merkezlerden de geçecek şekilde değiştirilebilir. Böylelikle ana bağlantıya civar merkezlerin erişme maliyetinin düşeceği açıktır. Ana bağlantı hattı uzatıldıkça tali merkezlerdeki talep (potansiyel ulaşım talebi) rahatlıkla karşılanmış olacaktır. Esasen ana bağlantı hattı ilgili merkezlerin tamamından geçecek şekilde de tasarlanabilirdi. Ancak, hattın uzamasına paralel olarak işletme maliyetleri de yükselecektir. İşletme yöneticilerinin yüksek işletme maliyeti ile çalışmak istemeyeceği açıktır. Ancak yöneticiler, hattın kullanıcıları (müşterileri) tarafından erişebilir olmasına da dikkat etmek zorundadır. Bu çalışmada, birbiri ile çelişen bu iki unsuru bulunduran MEKYP bir çok amaçlı problem olarak dikkate alınmıştır. Bu nedenle, MEKYP'nin çözümünde öncelikle en kısa yol algoritmaları kullanılarak ana hat için çeşitli alternatifler belirlenmiş, daha sonra ilgili alternatifler erişilebilirlik kriteri açısından incelenmiştir. Sonuçta, karar vericilere alternatif güzergahları gösteren çözümler sunulmaktadır. MEKYP sonucu belirlenen alternatif güzergahların ne şekilde değerlendirilebileceğini göstermek üzere, 5-nci bölümde Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yardımı ile çözüm incelenmektedir.

3. DOUBLE SWEEP YÖNTEMİ (DSY) İLE ÇÖZÜM

En kısa yol problemi taşımacılık problemleri içinde önemli bir yere sahiptir. En kısa yol probleminde, amaç, bir başlangıç noktası ile bir varış noktası arasındaki en kısa rotayı belirlemektir. Bu amaçla geliştirilen algoritma ve uygulamalar Deo ve Pang'in çalışmasında yer almaktadır (Deo

ve Pang, 1984, s: 275-323). TP'nin özel bir uygulaması olan MEKYP'nin çözümü için öncelikle en kısa yolun belirlenmesi gerekmektedir. MEKYP'nin çözümünde, tüm alternatif bağlantı hatlarını dikkate alan bir çözüm algoritması kullanılmıştır. MEKYP'nin çözümünde, tek bir "En Kısa Yol"un hesaplanması yerine, "k Adet En Kısa Yol"un hesaplanması esasına dayanan "Double Sweep Yöntemi" (Phillips ve Garcia-Diaz, 1981, s:72-90) kullanılmıştır. Shier tarafından 1974'da geliştirilen DSY , 1976 yılında yine Shier tarafından gözden geçirilerek düzenlenmiştir. (Shier, 1976, s: 205-229). "k" adet en kısa yolun belirlenmesi için geliştirilmiş standart algoritmalarda bir veya daha fazla başlangıç ve bir veya daha fazla varış noktası dikkate alınmaktadır. Bu amaçla geliştirilmiş olan bütün algoritmalarda, toplama ve minimizasyondan oluşan ardışık aritmetik işlemler dizisi uygulanmaktadır (Rink, Rodin ve Sundarapandian, 2000, s: 77-85). En kısa yolun hesaplanması için geliştirilen birçok algoritma (Deo ve Pang, 1984, s: 275-323) bulunmasına karşılık, bu çalışmada 10 veya daha fazla düğüm/hat bulunan, yoğun şebekelerde etkin olduğu belirtilen (Shier, 1979, s: 207) Double Sweep Yöntemi (DSY) kullanılmıştır. DSY ile en kısa yol problemine ait çözüm aşamaları aşağıda verilmiştir.

DSY'nde, düğüm sayısı (n) olmak üzere, şebeke üzerindeki düğümler, ileriye ve geriye doğru iterasyonlarla incelenmektedir. İleriye doğru uygulanan iterasyonda, düğümler (1, 2, ..., n) sırasında incelenirken, geriye doğru iterasyonda düğümler (n, ..., 2, 1) sırasında ele alınmaktadır. İleriye doğru iterasyonda, (j) düğümü incelenirken, sadece (i, j) hattı $i < j$ ise dikkate alınmaktadır. Benzer şekilde, geriye doğru iterasyonda (i, j) hattı $i > j$ olduğunda dikkate alınmaktadır. İşlemler, ileriye ve geriye doğru iterasyonlar şeklinde, daha fazla gelişme kaydedilemeyen bir noktaya erişilinceye kadar sürdürülmektedir. DSY'nin adımları aşağıda verilmiştir (Shier, 1979, s: 202).

1. $x(1) = (0, \infty, \dots, \infty)$ ve $J \neq 1$ olmak üzere $x(J) = (\infty, \infty, \dots, \infty)$ ataması yapılır,
2. DÜĞÜM = 2, ..., N için ; DÜĞÜM'e komşu olmak üzere, bütün $I < \text{DÜĞÜM}$ 'ler için, (I, DÜĞÜM) hatları dikkate alınır,
3. 2-nci adım sırasında x (J) etiketlerinde bir değişiklik olup-olmadığı kontrol edilir, hiçbir etikette değişiklik yoksa algoritma sona erdirilir.
4. DÜĞÜM = N-1, ..., 1 için, DÜĞÜM'e komşu olmak üzere, bütün $I > \text{DÜĞÜM}$ 'ler için (I, DÜĞÜM) hatları dikkate alınır,

5. 4-ncü adım sırasında x (J) etiketlerinde bir değişiklik olup-olunmadığı kontrol edilir, hiçbir etikette değişiklik yoksa algoritma sona erdirilir. Aksi takdirde 2-nci adıma dönülerek işlemler sürdürülür.

* (Yöntemle ilgili ayrıntılı bilgi, örnek problem çözümü ve algoritmaya ait bilgisayar kodları için Shier'in (1979) makalesinin yanısıra bkz. Phillips ve Garcia-Diaz, 1981, s: 77-83).

MEKYP'nin çözümünde DSY kullanılmıştır. DSY'nde, önceden belirlenen bir başlangıç noktasından hedefe ulaşan k adet en kısa yol tespit edilmektedir. DSY sonucunda elde edilen k adet en kısa yoi, erişilebilirlik açısından gözden geçirilerek, herbir alternatif yol için erişim mesafeleri hesaplanmaktadır. Bulunan çözümler içinde, göreceli olarak baskın (üstün) çözümler dışında kalan çözümler elenmektedir. Elde edilen çözüm değerleri listesi, uygun çözüm alternatiflerini gösterecektir. İçlerinden herhangi birinin tercih edilebileceği bu çözümler baskın olmayan (nondominated) çözüm değerlerini teşkil etmektedir (Baskın ve baskın olmayan çözümler hakkında ayrıntılı bilgi için bkz. Cohon, 1978, s: 69-72 ve 98-162).

MEKYP'nde her merkezin potansiyel seyahat talebine sahip olduğu ve bu talebin mutlaka karşılanması gerektiği varsayılmaktadır. Kurulacak olan hatlar, başlangıçta kapasite kısıtı verilmeden dikkate alınmakta, problem çözümü sonunda elde edilen; herbir hat için ortaya çıkan akış miktarlarının hat kapasitelerini oluşturduğu kabul edilmektedir. Başlangıç-hedef düğümleri arasında en kısa bağlantı kurulduktan sonra, bu hatta erişimin, talebin mevcut hattaki en yakın merkeze akışı şeklinde gerçekleşeceği varsayılmaktadır. Hesaplamalarda, ana hatta erişecek olan toplam potansiyel ulaşım talebi (kişi sayısı), kat edilecek mesafe ile ağırlıklandırılmıştır.

4. UYGULAMA ve BULGULAR

MEKYP'nın bir uygulaması olarak, bir demiryolu/metro hattının hangi güzergahı izlemesi gerektiği ve civardaki yerleşim merkezlerinin bu hatta ne şekilde erişilebileceği, aşağıdaki verilen merkezleri içeren bir şebeke problemi üzerinde dikkate alınmıştır. Ele alınan problemde, MEKY oluşturulacak olan şebeke, 10 düğüm ve 19 yönlü olmayan hattan oluşmaktadır. Herbir hat için mesafeleri -dolayısıyla hesaplanabilecek olan maliyetleri- (c_{ij}) gösteren tablo aşağıda verilmiştir (Tablo 1).

Tablo 2: Hat Mesafeleri Tablosu

Hat	c_{ij}	Hat	c_{ji}
(1, 2)	10	(5, 7)	8
(1, 4)	6	(5, 8)	14
(1, 5)	7	(6, 7)	6
(2, 3)	8	(6, 9)	3
(2, 5)	3	(7, 8)	8
(3, 5)	12	(7, 9)	7
(3, 6)	9	(7, 10)	2
(4, 5)	15	(8, 10)	15
(4, 8)	7	(9, 10)	9
(5, 6)	10		

Mevcut şebekede yer alan her bir merkezin potansiyel talep miktarları aşağıda verilmiştir (Tablo 2).

Tablo3 : Potansiyel Talep Miktarları Tablosu

Merkez	Nüfus (000)	Merkez	Nüfus (000)
1	250	6	25
2	80	7	500
3	120	8	12
4	90	9	60
5	130	10	370

Yukarıda verilen şebekeye ait, MEKYP kapsamı içinde ele alınacak olan problem, FORTAN 77 ile yazılan bir program yardımı ile çözülmüştür. Problem çözümünde, tek bir en kısa yol yerine, k adet en kısa yolun hesaplanmasında "Double Sweep Yöntemi" kullanılmıştır. Problem DSY ile çözümlenerek 150 farklı çözüm değeri elde edilmiştir.

Tablo 4: Güzergah Alternatiflerine Ait Çözüm Değerleri Tablosu

k-ncı Yol	Güzergah	En Kısa Yol Değeri (EKY)	Potansiyel Talebin Erişim Maliyeti (Nüfus * Mesafe)
1.	1-5-7-10	17	2766
2.	1-2-5-7-10	23	2166
3.	1-4-8-7-10	23	4080
.....
6.	1-5-6-7-10	25	2136
.....
16.	1-5-6-9-7-10	29	1956
.....
20.	1-2-5-6-7-10	31	1776
.....
60.	1-5-2-3-6-7-10	35	816
.....
149.	1-2-5-7-6-9-10	39	1596
150.	1-4-5-6-7-10	39	1584

Yukarıdaki tablodan izleneceği gibi (Tablo 3), birçok farklı yol ve bunlara ait güzergahlar ile, farklı toplam "En Kısa Yol" değerleri elde edilmiştir. En kısa yol, 17 km. ile 1-nci güzergah olan (1-5-7-10) hattına aittir. En kısa yol verisi olarak hesaplamalar sonucu elde edilen bu hatta (1-5-7-10) erişebilmek için 2,3,4,6,8 ve 9 merkezlerindeki sırasıyla 80.000 kişi 3 km. (2 no. için), 120.000 kişi 11km. (3 için), 90.000 kişi 6 km.(4 için), 25.000 kişi 6 km.(6), 12.000 kişi 8 km. (8) ve 60.000 kişi 7 km. (9) yol kat etmek zorunda kalacaktır. Potansiyel talebin erişim maliyeti bu değerlerin çarpımları toplamı olarak hesaplandığında 2.766(000) elde edilmektedir. Tablo 3'te, bütün güzergah alternatifleri için, toplam erişim maliyetleri 1-nci güzergahtakine benzer şekilde hesaplanmıştır.

Elde edilen farklı ulaşım güzergahları incelendiğinde (Tablo 3), EKY değerlerinin gittikçe artmakta olduğu, buna karşılık potansiyel talebin erişim maliyetinin bazı güzergahlar için artarak, bazıları için ise azalarak devam ettiği görülmektedir. Hem ana hat uzunluğunu (dolayısıyla işletme maliyetini) artıran, hem de erişilebilirlik açısından uygun olmayan çözümlerin elenmesi gerekecektir. MEKYP bir çok amaçlı programlama problemi olduğundan, çözüm değerleri birbirleri ile karşılaştırılarak, bir çözümden daha iyi bir alternatif çözüm elde edilip edilmediği kontrol

edilerek çözümler listesi oluşturulacaktır. Bu amaçla, ilk çözüm olan [EKY (1), Erişilebilirlik (1)] = { 17 ; 2766 } bilgisi ile daha sonraki çözümdeki değerler birbiriyle karşılaştırılacaktır.

$$\begin{aligned} & [EKY(1), Erişilebilirlik (1)] = \{17 ; 2766\} \\ & [EKY(2), Erişilebilirlik (2)] = \{23 ; 2166\} \end{aligned}$$

Yukarıdaki iki çözüm değeri, bulundurduğu iki farklı elemanı açısından karşılaştırıldığında, ilk çözüm hat mesafesi (EKY) açısından daha uygun iken, ikinci çözüm erişilebilirlik açısından daha uygundur. Buna göre başlangıç aşamasında iki farklı alternatif çözüm elde edilmiştir. Güzergahların hat mesafeleri (EKY) artarak (veya eşit olarak) gittiği için, izleyen aşamalarda, bir alternatif ile sonrakinin sadece erişilebilirlik açısından karşılaştırılması yeterli olacaktır.

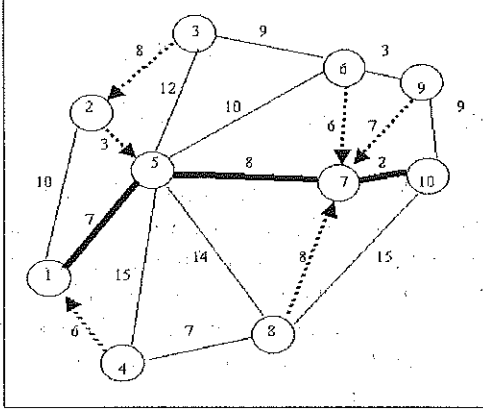
$$\begin{aligned} & [EKY(2), Erişilebilirlik (2)] = \{23 ; 2166\} \\ & [EKY(3), Erişilebilirlik (3)] = \{23 ; 4080\} \end{aligned}$$

İkinci ve üçüncü çözümler karşılaştırıldığında, hat avantajı olmadığı gibi erişilebilirlik açısından da baskın (üstün) olan 2-nci çözüm 3-ncü çözümü eleyecektir. Tüm çözümlerin karşılaştırılması için, Fortran 77 ile yazılan bir program kullanılmış ve bu program yardımıyla Tablo 3'te bir kesiti verilen çözüm değerlerinden uygun olmayanlar elenerek 6 farklı çözüm elde edilmiştir. Elde edilen çözüm değerleri (Tablo 4) ve bu değerlere ilişkin grafikler (Şekil 3 - 8) aşağıda verilmiştir:

Tablo 5 : MEKYP'ne Ait Alternatif Çözümler Tablosu

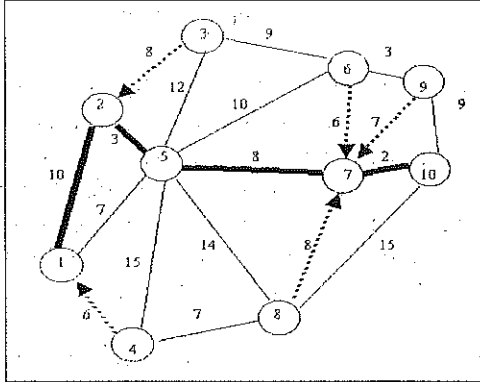
ÇÖZÜM	En Kısa Yol Değeri (EKY)	Potansiyel Talebin Erişim Maliyeti
1	17	2766
2	23	2166
3	25	2136
4	29	1956
5	31	1776
6	35	816

Mümkün çözüm alternatiflerine ilişkin şebeke diyagramları aşağıda verilmiştir (Şekil 3-8) :

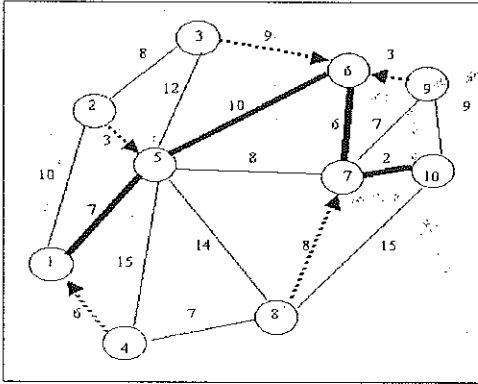


K(1)
En Kısa Yol = 17
Erişim = 2766

Şekil - 3 : K(1) Güzergahı
Şekil - 4 : K(2) Güzergahı

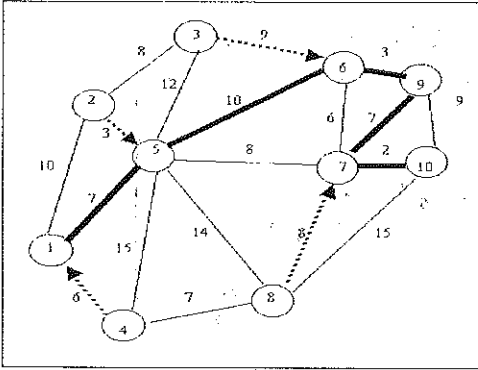


K(2)
En Kısa Yol = 23
Erişim = 2166



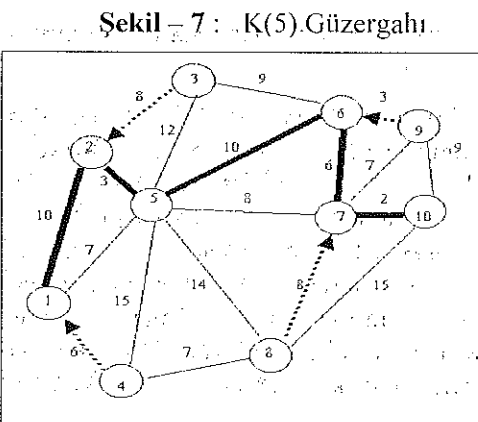
Şekil - 5 : K(3) Güzergahı

K(3)
En Kısa Yol = 25
Erişim = 2136



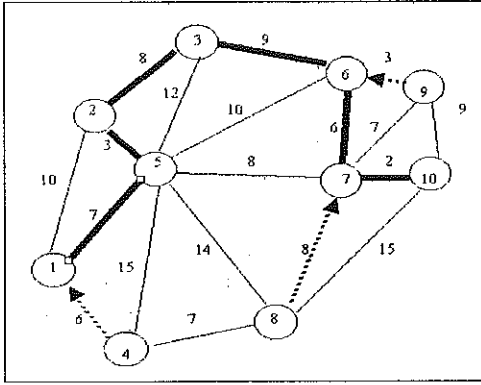
Şekil - 6 : K(4) Güzergahı

K(4)
En Kısa Yol = 29
Erişim = 1956



Şekil - 7 : K(5) Güzergahı

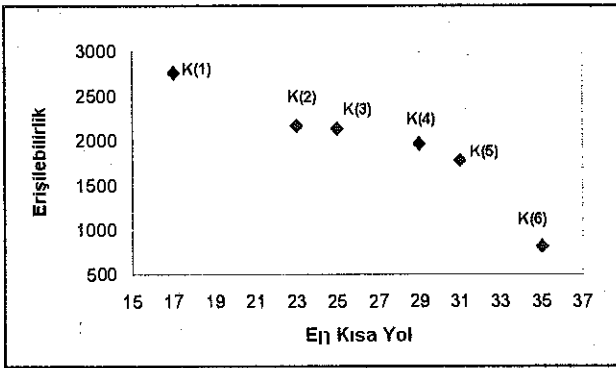
K(5)
En Kısa Yol = 31
Erişim = 1776



Şekil - 8 : K(6) Güzergahı

K(6)	
En Kısa Yol =	35
Erişim =	806

Şekil - 9 : MEKYP Çözümler Grafiği



Yukarıdaki şekillerde gösterilen çözümler, aşağıda bir grafik üzerinde toplu olarak ele alınmıştır (Şekil 9).

Yukarıdaki şekilden görüldüğü üzere (Şekil-9), ilk çözümde K(1) = (17;2766) iken, ikinci çözümde K(2) = (23;2166) 'dır. Birinci çözümden ikinciye geçildiğinde, en kısa yol % 35,29 artarak 17'den 23'e çıkmaktadır. Hattın uzamasına karşılık erişim kolaylaşmakta, 2766 olan erişim değeri %21,69 azalarak 2166'ya inmektedir. Elde edilen diğer çözümlerde de benzer biçimde hat mesafesi uzamakta, buna karşılık erişim değeri azalmaktadır. Toplam 6 farklı "baskın olmayan çözüm değeri" hakkında karar verilebilmesi için, alternatiflerin farklı bir yöntem ile karşılaştırılmaları gerekecektir. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), objektif ve

subjektif karar unsurları bulunduran problemlerde, karar vericiye, karar unsurlarına ait faktörleri karşılaştırarak değerlendirme imkanı sunan bir tekniktir. Bu nedenle, bir sonraki bölümde (Bölüm 5) alternatifleri değerlendirmede AHP'nin ne şekilde kullanılabileceği ele alınmıştır.

5. ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ (AHP)

Analitik Hiyerarşi Prosesi 1980'lerde T. Saaty tarafından geliştirilmiş bir teknik olup, bu teknik sayesinde hem objektif hem de subjektif karar kriterleri karşılaştırılabilmekte ve böylelikle birbirinden farklı karar kriterlerine dayanan bir ağırlıklama sonucu bir sıralama elde edilmektedir. Bu konudaki uygulamalar Vargas'ın çalışmasında geniş bir yelpaze içinde ele alınmıştır (Vargas, 1990, s: 2-8). Literatürde, AHP'nin "Tedarikçi Firma Seçimi" (Tam ve Tummala, 2001, s: 171-182) , "Depo Yeri Seçimi" (Korpela ve Tuominen, 1996, s: 169-180), "Makine Tercih" (Lin ve Yang, 1996, s: 253-258) ve "Yazılım Seçimi" (Lai, Trueblood ve Woug, 1999, s: 221-232) olmak üzere çeşitli uygulamaları mevcuttur. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), karmaşık karar problemlerinde, karar alternatif ve kriterlerine göreceli önem değerleri verilmek suretiyle yönetsel karar mekanizmasının çalıştırılması esasına dayanan bir karar verme işlemidir. AHP ile problem çözümünde, öncelikle problem (hedef) belirlenmekte, daha sonra hedeften yola çıkılarak Analitik Hiyerarşi Prosesi ile problem çözme adımları uygulanmaktadır. AHP ile problem çözme adımları aşağıda verilmiştir:

1. Hedeflerin listesinin çıkarılması,
2. Hedefleri gerçekleştirmek için gerekli kriterlerin listelenmesi,
3. Herbir kriter için (n) muhtemel karar alternatifinin belirlenmesi,
4. Hiyerarşik Modelin belirlenmesi.

Hiyerarşik modelde, en üstte amaç (hedef) yer almaktadır, hedeften sonra hiyerarşik yapıda karar alternatiflerine ait kriterler yer almaktadır. Hiyerarşik yapının en alt düzeyinde ise karar alternatifleri bulunmaktadır.

6. AHP İLE PROBLEM ÇÖZME AŞAMALARI

AHP'ndeki işlemleri gerçekleştirmek için öncelikle bir **karşılaştırma matrisi**'nin oluşturulması gerekmektedir. Karşılaştırma matrisindeki elemanlarının göreceli olarak değerlerinin belirlenmesinde aşağıda verilen "Önem Dereceleri Tablosu" (Tablo 5) kullanılmaktadır.

Tablo 6: Karşılaştırmada Kullanılan Önem Dereceleri Tablosu (*)

Önem Derecesi	Tamam	Açıklama
i	Eşit Derecede Önemli	Her iki faktör aynı öneme sahiptir.
3	Orta Derecede Önemli	Tecrübe ve yargılara göre bir faktör diğerine göre biraz daha önemlidir.
5	Kuvvetli Derecede Önemli	Bir faktör diğerinden kuvvetle daha önemlidir.
7	Çok Kuvvetli Derecede Önemli	Bir faktör diğerine göre yüksek derecede kuvvette tercih edilmektedir.
9	Mutlak Derecede Önemli	Faktörlerden biri diğerinden çok yüksek derecede önemlidir.
2,4,6,8	Ara Değerleri Temsil Etmektedir	İki faktör arasındaki tercihte küçük farklar olduğunda kullanılır.
Karşılıklı Değerler		i, j ile karşılaştırılırken bir değer (x) atanmış ise, j, i ile karşılaştırılırken atılacak değer (1/x) olacaktır.

(*) Kaynak: Saaty T.L., 1982, **Decision Making for Leaders**, USA, Wadsworth Inc., S. 78.

Karşılaştırmalar sonucu elde edilen matris daha sonra bir **öncelikler vektörüne** dönüştürülmektedir. Öncelikler matrisi; satırlarında alternatifler, sütunlarında ise karar kriterleri olacak şekilde birleştirilerek bir **Tüm Öncelikler Matrisi** oluşturulur. Karşılaştırmalardaki **Uyum Oranı**'nın (CR) 0.10'dan küçük olması gerekmektedir. Uyum Oranının 0.10'dan büyük olması halinde, karşılaştırmalarda çelişme vardır ve uyumu sağlayacak şekilde yeniden değerlendirme yapılmalıdır. CR uyum oranını göstermek üzere;

$CR = CI / RI$ formülü yardımıyla hesaplanmaktadır.

RI : Rastgele Değer İndeksini temsil etmekte ve aşağıda verilen tabloda (Tablo 6) yer alan değerlerden (n) 'ye karşılık gelen değer seçilerek işlemlerde kullanılmaktadır.

CI : Uyum İndeksi olup aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmaktadır. (Tüm Öncelikler Matrisi ve Uyum Oranı hesaplamalarına ilişkin ayrıntılı bilgi için bkz. Saaty, 1982, 79-85).

$$CI = (\lambda_{maks} - n) / (n - 1)$$

Tablo 7 - Rastgele Değer İndeksi Tablosu (*)

Karar Alternatifleri Sayısı (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rastgele Değer İndeksi	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

(*) Kaynak: Saaty T.L., 1982, **Decision Making for Leaders**, USA, Wadsworth Inc., S. 84.

AHP’de bütün bu işlemler Excel yardımı ile veya doğrudan Expert Choice – EC (www.expertchoice.com) paket programı kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir.

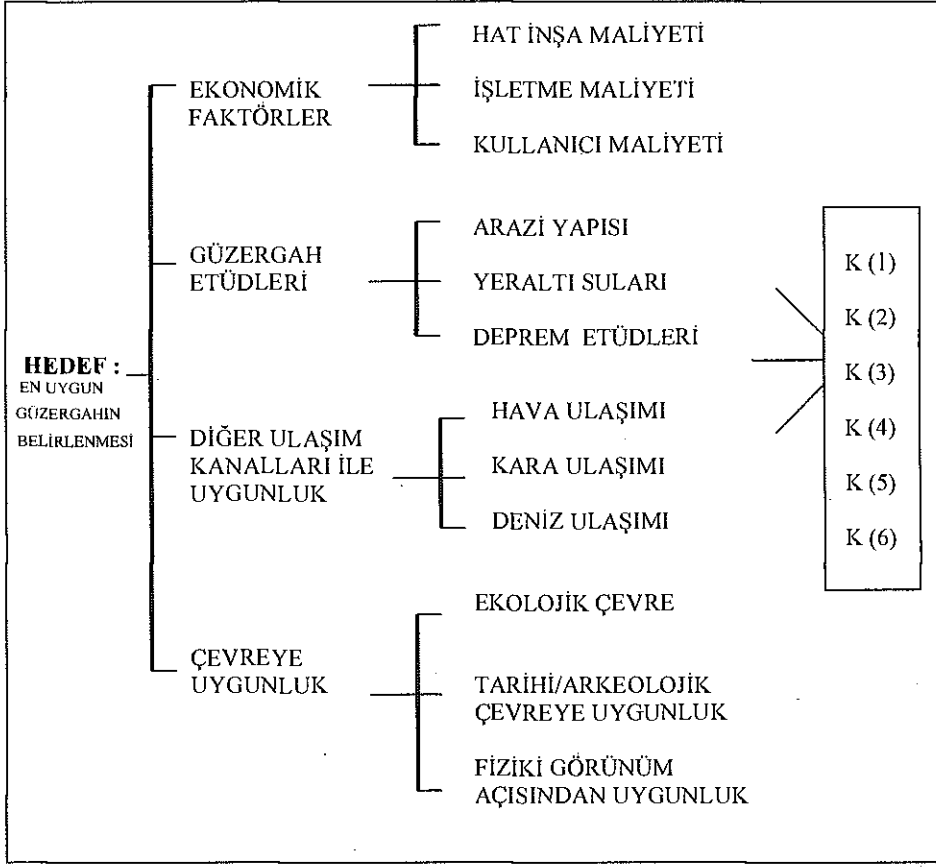
7. AHP YARDIMI İLE “MEKYP” ALTERNATİFLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

AHP yardımıyla en uygun güzergahın belirlenebilmesi için, öncelikle karar problemine ait “Hiyerarşik Yapı”nın belirlenmesi gerekmektedir. Bu konuda daha önce yapılan çalışmalardan biri olan Ferrari’nin çalışmasında “AHP ile otoyol alternatif projelerin değerlendirilmesi” ele alınmıştır (Ferrari, 2003, 194-203). Ferrari’nin çalışmasında, alternatif projelerin herbirinin farklı “inşa maliyeti”, “yaratacağı hava kirliliği”, “otoyol güzergahına ait yüzey (arazi) özellikleri”, “çevredeki yerleşim ve tarım alanlarına otoyol güzergahının tesiri” gibi farklı özellikler açısından AHP ile ne şekilde değerlendirilebileceği ele alınmaktadır. Yine Weiwu ve Jun’un çalışmasında “otoyol taşımacılığında AHP ile kapsamlı değerlendirme” ele alınmıştır (Weiwu ve Jun, 1994, s: 257-259). Weiwu ve Jun’un çalışması otoyollarla ilgili olmakla birlikte, genel anlamda bir taşımacılık uygulamasında önemi olan faktörler “hat uzunluğu”, “hat yerleşim düzeni”, “taşınabilecek araç, yük ve yolcu sayısı (kapasite)” ve “taşımacılık yönetimi” olarak sıralanmaktadır. Adı geçen her iki çalışma da “otoyol projelerinin değerlendirilmesi”ne ilişkindir. Raylı taşımacılıkla ilgili olarak gerçekleştirilen bir çalışma Karakuş tarafından gerçekleştirilmiş olup, Karakuş’un tez çalışmasında “Kentçi Toplu Taşım Sistemlerinde Güzergah Etütlerinin Önemi” vurgulanmaktadır (Karakuş, 1995, s: 14-21). Karakuş’un çalışmasında, özel olarak demiryolu/metro gibi toplu taşımacılık sistemlerinde, güzergahlar için, “teknik” olarak, sırasıyla hangi çalışmaların yapılması gerektiği sırasıyla incelenmektedir.

Toplu taşımacılık sistemlerinde, özellikle raylı sistemli taşımacılıkta, karar verici / yöneticiler, “teknik” kriterlerin yanı sıra, “tarihi ve doğal çevreyi koruma” ve “işletmenin diğer hedefleri ile uygunluk” gibi diğer birçok farklı karar kriterini dikkate almak zorundadır. Bu nedenle, güzergah alternatiflerini değerlendirmede, Karakuş’un çalışmasında ele alınan “teknik” faktörlerin yanı sıra, diğer faktörler (ekonomik, diğer ulaştırma kanalları ile bağlantılar, çevre değerleri ile uyum) birarada ele alınmak suretiyle aşağıda verilen hiyerarşik yapı belirlenmiştir (Şekil 10). AHP kullanılarak güzergah alternatiflerinin ne şekilde değerlendirilebileceğini göstermek üzere, aşağıda bir örnek problem üzerinde faktör karşılaştırmaları yapılmış ve EC paket

programı (www.expertchoice.com) yardımıyla faktör ağırlıkları hesaplanmıştır. Bu amaçla, AHP prosedürü gereğince, 4-ncü bölümde Tablo 4'te yer alan güzergahlar öncelikle bir hiyerarşik yapı içinde ele alınmıştır. Alternatifler, hiyerarşik yapı içinde yer alan karar kriterleri açısından karşılaştırılarak her bir güzergahın ağırlığı (önem derecesi) belirlenecektir. Aşağıda probleme ait hiyerarşik yapı verilmiştir (Şekil 10).

- MEKY prosedürü gereğince belirlenen ve Bölüm 4, Tablo 4'te yer alan 6 farklı güzergahın her biri yukarıdaki kriterlerden bazıları açısından üstün olabileceği halde, bazı kriterler açısından ise dezavantaja sahip olabilir. Hangi alternatifin tercih edilmesi gerektiğini belirlemek üzere, AHP uyarınca yapılacak karşılaştırmalardan bir kesit ve EC yardımıyla belirlenen ağırlıklar aşağıda verilmiştir. Böylelikle, hem kriterlerin önem dereceleri, hem de güzergahların ilgili kriterler açısından ne durumda oldukları saptanarak en uygun güzergahın belirlenmesi mümkündür.
- Uygulamada, karşılaştırmaların konu ile ilgili uzmanlarca yapılması gerekir. Karar kriterlerinin ve alternatiflerin şekilde değerlendirilebileceğine bir örnek teşkil etmek üzere, aşağıda ilk düzeyde yer alan karar faktörlerine ait bir karşılaştırma matrisi verilmiştir (Şekil 11). Bu matriste yer alan değerlerden yararlanılarak, EC paket programı yardımı ile faktörlerin önem dereceleri belirlenmektedir. (Ağırlıklar ve Uyum Oranı hesaplamalarına ilişkin ayrıntılı bilgi için bkz. Saaty, 1982, S: 79-85 ve Timor, 2001, s: 218-223).



Şekil - 10 : MEKYP'ne ait Hiyerarşik Yapı

Öncelikle hiyerarşik yapının ilk düzeyinde yer alan faktörler karşılaştırılmalıdır (Şekil 11). EC paket programında, aynı satırda yer alan iki faktör arasındaki tercihi göstermek üzere, tercih edilen faktöre yakın olan değer seçilerek işaretlenecektir.

Questionnaire

File Edit Assessment Go Help

Compare the relative importance

EKONOMİK vs GÜZERGAH

with respect to Goal

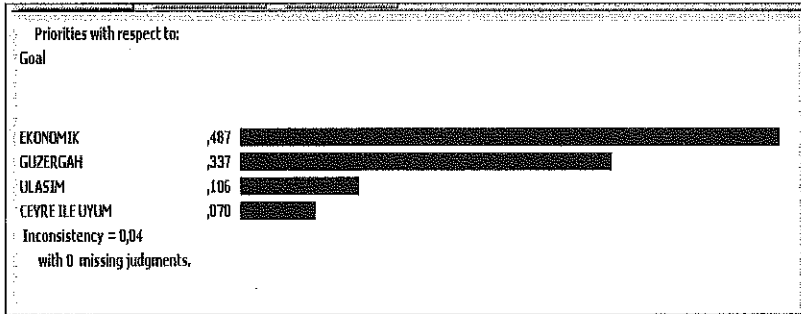
1 EKONOMİK	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	GÜZERGAH
2 EKONOMİK	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ULASIM
3 EKONOMİK	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	CEVRE ILE UYUM
4 GÜZERGAH	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ULASIM
5 GÜZERGAH	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	CEVRE ILE UYUM
6 ULASIM	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	CEVRE ILE UYUM

1 - Equal 3 - Moderate 5 - Strong 7 - Very Strong 9 - Extreme

Invert Calculate Close Cancel

Şekil - 11 : EC Paket Programı Yardımı ile Faktör Karşılaştırmaları

Karşılaştırmalar sonucu, EC ile elde edilecek ağırlıklar tablosu aşağıda verilmiştir (Şekil 12). Uyum oranı ≤ 0.10 (inconsistency=0.04) olduğundan karşılaştırmalarda çelişki mevcut değildir.



Şekil - 12 : MEKYP Faktör Ağırlıkları

İlk düzeydeki faktörlerin karşılaştırmalarından sonra, hiyerarşik yapının ikinci düzeyinde yer alan alt faktörlerin birbirleri ile karşılaştırılması (Şekil 13) sonucu faktör ağırlıkları (Şekil 14) benzer şekilde saptanmalıdır.

Questionnaire

File Edit Assessment Go Help

Compare the relative importance

HAT INSA MALİYETİ *VERSUS* İŞLETME MALİYETİ

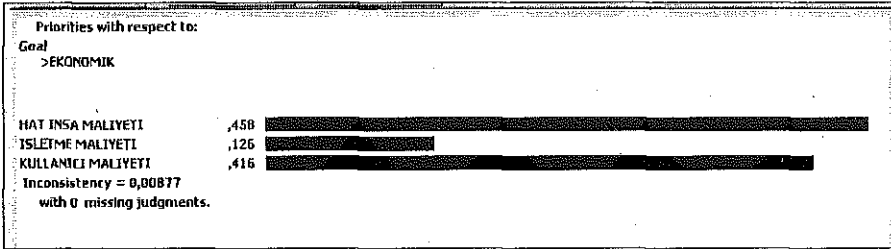
with respect to: EKONOMİK (L: ,487)

1	HAT INSA MALİYETİ	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	İŞLETME MALİYETİ
2	HAT INSA MALİYETİ	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	KULLANICI MALİYETİ
3	İŞLETME MALİYETİ	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	KULLANICI MALİYETİ

1 = Equal | 3 = Moderate | 5 = Strong | 7 = Very Strong | 9 = Extreme

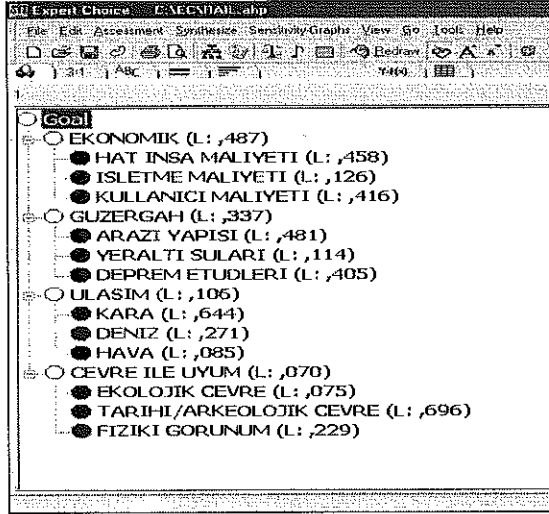
Invert Calculate Close Cancel

Şekil – 13 : Ekonomik Faktörlere Ait Karşılaştırmalar



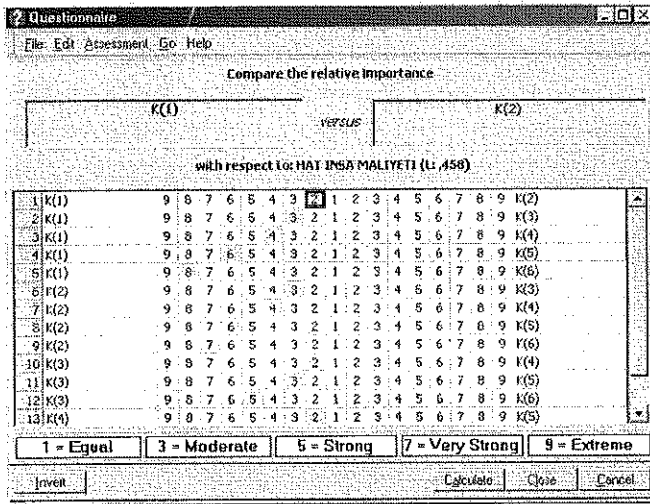
Şekil – 14 : Ekonomik Faktörlerin Alt Faktör Grubuna Ait Karşılaştırmalar

Bütün alt faktörler karşılaştırıldığında, tüm düzeylerdeki ağırlıklar aşağıdaki şekilde verildiği gibi saptanmış olacaktır (Şekil 15).

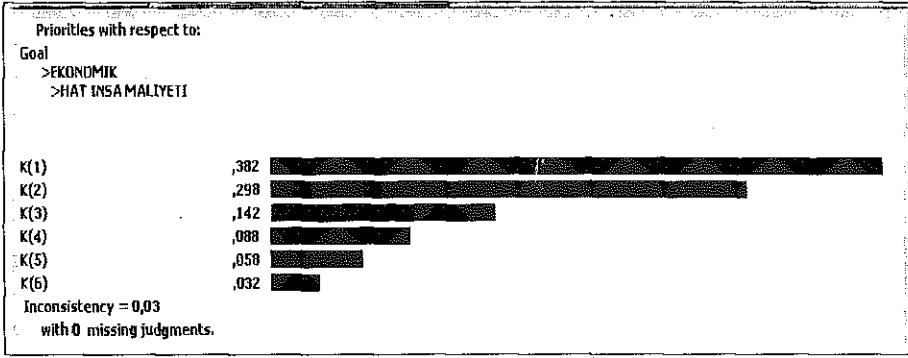


Şekil – 15 : MEKYP’ne Ait Faktörler ve EC ile Belirlenen Ağırlıklar

Bir sonraki aşamada, alternatif güzergahların, herbir faktör açısından ne durumda olduğunu belirlemek üzere karşılaştırmalar yapılmalıdır. Bu karşılaştırmalardan biri (Şekil 16) ve hesaplanan ağırlık değerleri (Şekil 17) aşağıda verilmiştir.

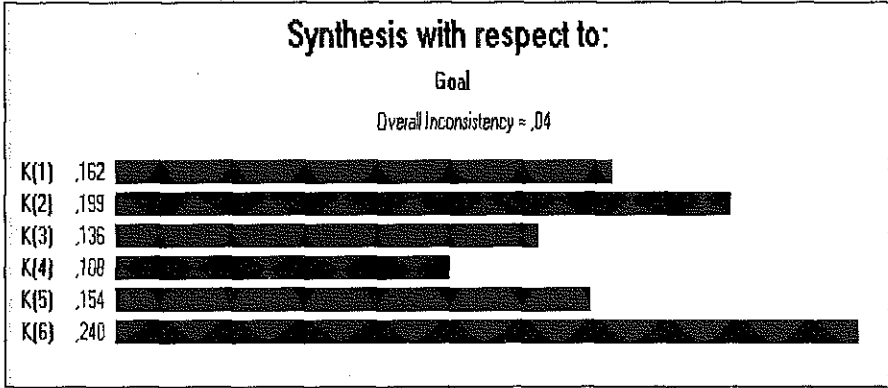


Şekii – 16 : Güzergahların Hat Maliyeti Açısından Karşılaştırılması



Şekil – 17 : Güzergahların Hat Maliyetleri Açısından Ağırlıkları

Örnek problemdeki tüm alt faktörler ve alternatiflerin karşılaştırılması sonucu elde edilen tüm ağırlık değerleri aşağıda bir tablo halinde verilmiştir (Tablo 7). Bütün güzergah alternatifleri, herbir faktör açısından karşılaştırıldıktan sonra, alternatifler arasındaki en uygun güzergahın seçimi, herbir alternatifin ağırlığının genel ve alt faktör ağırlıkları ile çarpımları toplamı sonucu hesaplanmaktadır.



Şekil - 18 : Güzergah Alternatiflerine Ait Ağırlıklar

Yukarıda bir tablo şeklinde verilen ağırlık değerleri EC yardımıyla grafik oluşturacak şekilde karar vericiye sunulmaktadır (Şekil 18).

Tablo 8 : MEKYP'ne Ait Ağırlıklar Tablosu

KARAR FAKTÖRLERİ	0,487				0,337				0,106				0,070				TOPLAM AĞIRLIK
	EKONOMİK				GÜZERGAH ETÜDLERİ				DİĞER ULAŞIM KANALLARI İLE BAĞLANTI				ÇEVRE İLE UYUM				
	0,458	0,126	0,416	0,481	0,114	0,405	0,644	0,271	0,085	0,075	0,696	0,229					
ALTERNATİF	HAT İNŞA MALİYE	İŞLETME MALİYE	KULLANIM MALİYETİ	ARAZI VAPISI	YER ALTI SULARI	DEPREM ETÜDLERİ	KARA ULAŞIMI	DENİZ ULAŞIMI	HAVA ULAŞIMI	EKOLOJİK ÇEVRE	TARİHİ / ARKEOLOJİK YAPI	FİZİKİ GÖRÜNÜM					
K(1)	0,382	0,292	0,028	0,098	0,219	0,063	0,168	0,064	0,157	0,388	0,067	0,039				0,162	
K(2)	0,298	0,263	0,050	0,213	0,093	0,379	0,098	0,157	0,061	0,041	0,067	0,091				0,199	
K(3)	0,142	0,239	0,069	0,078	0,171	0,104	0,407	0,096	0,099	0,256	0,178	0,058				0,136	
K(4)	0,088	0,116	0,139	0,031	0,061	0,036	0,231	0,394	0,041	0,156	0,183	0,247				0,108	
K(5)	0,058	0,054	0,252	0,250	0,037	0,156	0,060	0,247	0,395	0,064	0,071	0,295				0,154	
K(6)	0,032	0,035	0,463	0,330	0,418	0,262	0,036	0,043	0,247	0,095	0,433	0,271				0,240	

Tablo 7'de ayrıntılı faktör ağırlıkları verilen karşılaştırmalara bakıldığında, en önemli (0,487) faktör olan ekonomik faktörlerden, hat maliyeti (0,458) açısından K(1)avantajlı iken, kullanıcı maliyeti (0,416) açısından K(6) avantajlı durumdadır. Güzergah fizibilite etütleri açısından (0,337) K(6) birçok alternatife göre avantajlı durumdadır. Tarihi yapıyı koruma açısından da avantaj sağlayan K(6) alternatifini toplam puan (ağırlık) açısından öne çıkarmaktadır(0,240). K(6)'yı, önemli faktörleri ağırlıkla üzerinde bulunduran K(2) ve K(1) alternatifleri takip etmektedir. Güzergah seçimi kararını verecek olan yöneticiler politik ve diğer öncelikleri de dikkate alarak nihai karara varabileceklerdir.

SONUÇ

Bu makalede bir MEKYP uygulaması olarak iki ana merkez arasında kurulacak olan bir demiryolu/metro hattında, en uygun maliyetli bağlantı ile civar merkezlerdeki nüfusun hatta en uygun erişimi belirlenmeye çalışılmaktadır. İşletme ve kullanıcı maliyeti olarak birbirleriyle çelişen iki unsur bulunduran bu problem, bir çok amaçlı programlama problemi şeklinde ele alınmıştır. MEKYP çözümünde elde edilen bilgisayar çıktıları, şebekeye ait uygun alternatif çözümleri göstermektedir. Alternatif çözümlerden yola çıkarak, yöneticiler, topografik ve sismik açıdan uygunluk, tarihi ve doğal çevreyi bozmama ve işletmenin diğer hedefleri ile uygunluk gibi diğer birçok farklı karar kriterini dikkate almak suretiyle hangi rotanın daha uygun olduğu hakkında bir yargıya varabileceklerdir. Bu amaçla, MEKYP çözümünden elde edilen alternatif güzergahların uzmanlarca ne şekilde değerlendirilebileceğini göstermek üzere, bir çok amaçlı karar verme yöntemi olan ve hem objektif, hem de subjektif yargıların birarada kullanılabilirdiği AHP alternatif güzergahların karşılaştırılması ve değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Bu çalışmada, "farklı güzergahların MEKYP kullanılarak belirlenmesi" esas alınmıştır. Bununla birlikte, uygulamada, güzergah alternatiflerinin farklı yöntemlerle belirlenmesi durumunda da, alternatiflerin değerlendirilmesi gerektiğinde, bir çok amaçlı karar verme yöntemi olan AHP, karar vericilere değerlemede kullanılabilecek bir araç sunmaktadır.

KAYNAKLAR:

- CURRENT, J., 1993, "Multiple Objectives in Transportation Network Design and Routing", *European Journal of Operational Research*, Vol. 65, s: 1-3.
- CURRENT, J., MARSH, M., 1993, "Multiobjective Transportation Network Design and Routing Problems: Taxonomy and annotations", *European Journal of Operational Research*, Vol. 65, s: 4-19.
- CURRENT, J., MIN, H., 1986, "Multiobjective Design of Transportation Networks: Taxonomy and Annotation", *European Journal of Operational Research*, Vol.26, s: 187-201.

- CURRENT, J., REVELLE, C., COHON, J., March 1985, "The Application of Location Models to the Multiobjective Design of Transportation Networks", The Ohio State University, College of Administrative Science, Working Paper Series, No: 85-38, s: 1-20.
- CURRENT, J.R., REVELLE, C.S., COHON, J.L., August 1987, "The Median Shortest Path Problem: A Multiobjective Approach to Analyze Cost vs. Accessibility in the Design of Transportation Networks", *Transportation Science*, Vol.21, No: 3, s: 188-197.
- COHON, J.L., 1978, **Multiobjective Programming and Planning**, Academic Press, New York.
- DEO, N., PANG, C., 1984, "Shortest-Path Algorithms: Taxonomy and Annotation", *Networks*, Vol: 14, s: 275-323.
- FRIESZ, T.L., HARKER, P.T., 1983, "Multicriteria Spatial Price Equilibrium Network Design: Theory and Computational Results", *Transportation Research*, Vol. 17B, s: 411-426.
- FERRARI, P., 2003, "A Method for Choosing From Among Alternative Transportation Projects", *European Journal of Operational Research*, Vol.150, s: 194-203.
- HALDER, D.K., MAJUMDER, A., 1981, "A Method for Selecting Optimum Number of Stations for a Rapid Transit Line: An Application in Calcutta Tube Rail", *Scientific Management of Transport Systems*, s: 97-108.
- KARAKUŞ, N., 1995, "Kentçi Toplu Taşım Sistemlerinde Güzergah Etüdlerinin Önemi", Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Ankara, s: 1 - 66.
- KORPELA, J., TUOMINEN, M., 1996, "A Decision Aid in Warehouse Site Selection", *International Journal of Production Economics*, Vol. 45, s: 169-180.
- LAI, V.S., TRUEBLOOD, R.P., WONG, B.K., 1999, "Software Selection: A Case Study of the Application of the Analytical Hierarchical Process to the Selection of a multimedia Authoring System", *Information & Management*, Vol. 36, s: 221-232.
- LIN, Z., YANG, C., 1996, "Evaluation of Machine Selection by the AHP Method", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 57, s: 253-258.
- PHILLIPS, D.T., GARCIA-DIAZ, A., 1981, **Fundamentals of Network Analysis**, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- RINK, K.A., RODIN, E.Y., SUNDARAPANDIAN, V., 2000, "A Simplification of the Double-Sweep Algorithm to Solve the k-Shortest Path Problem", *Applied Mathematics Letters*, Vol. 13, Issue. 8, s: 77-85.
- SAATY, T.L., 1982, **Decision Making for Leaders**, USA, Wadsworth Inc.
- SHIER, D.R., 1976, "Iterative Methods for Determining the K Shortest Paths in a Network", *Networks*, Vol.6, s: 205-229.
- SHIER, D.R., 1979, "On Algorithms for Finding the K Shortest Paths in a Network", *Networks*, Vol. 9, s: 195-214.
- TAM, M.C.Y., TUMMALA, V.M.R., 2001, "An Application of the AHP in Vendor Selection of a Telecommunications System", *Omega*, Vol. 29, s: 171-182.
- TİMOR, M., 2001, **Yöneylem Araştırması ve İşletmecilik Uygulamaları**, İstanbul Üniversitesi, Yayın No: 4271/280, İstanbul.
- VARGAS, L.G., 1990, "An Overview of the Analytic Hierarchy Process and its Applications", *European Journal of Operational Research*, Vol. 48, s: 2-8.
- WEIWU, W., JUN, K., 1994, "Highway transportation comprehensive evaluation", *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 27, Issue: 1-4, s: 257-260.
- ExpertChoice - EC < www.expertchoice.com , 3.5.2004 >