

# Mühendislik Uygulamalarında Yöneylem Araştırması Tekniklerinin Kullanımı

Ömür DEMİRER<sup>1</sup> ve Reha Metin ALKAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Hitit Üniversitesi, Çorum  
<sup>2</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

## Özet

*Bu çalışmada, yöneylem araştırması teknikleri, uygulama alanları, avantaj ve dezavantajları, gerçek dünyadan çeşitli meslek disiplinlerindeki uygulama örnekleri verildikten sonra, mühendislik uygulamalarındaki kullanımı literatür taraması eşliğinde ele alınmıştır. Yapılan çalışma, birçok mühendislik alanında Yöneylem Araştırması Tekniklerinin uygulanabileceğini göstermiştir. Çalışmada, bazı spesifik Yöneylem Araştırma metod ve algoritmalarının bazı mühendislik problemlerinin çözümünde diğerlerine göre daha uygun olabileceği sonucuna varılmıştır. Bunun iki temel nedeni olduğu görülmüştür. Bunlardan ilki farklı mühendislik disiplinlerinin benzersiz özellik ve problemlere sahip olması; ikincisi ise Yöneylem Araştırmasının, her biri özel bir duruma uygun farklı metod ve algoritmalara sahip olan bir disiplin olmasıdır. Bu sebeple bir mühendislik probleminin çözümü için kullanılacak olan uygun yöneylem tekniğinin seçimi büyük önem taşımaktadır. Bu durumda farklı uzmanlık alanlarına sahip bir ekiple problemlerin çözümüne yaklaşılmasının daha uygun olduğu, diğer bir ifadeyle disiplinlerarası bir çalışmanın yürütülmesinin daha yararlı olacağı ve başarılı sonuçlara ulaşılabilmesini sağlayacağı sonucuna ulaşılmıştır.*

## Anahtar Sözcükler

Yöneylem Araştırması, Proje Planlaması, Mühendislik Uygulamaları

## 1. Giriş

Farklı pek çok amacı yerine getirmek üzere hazırlanan projelerin, belirlenmiş olan hedefine, öngörülen süre ve maliyet ile ulaşım tamamlanabilmesi son derece önemli hale gelmiştir. Bu konuda çok basitinden, sofistike yöntemlere varıncaya kadar pek çok yaklaşım uygulanmış olmakla birlikte, günümüzde Yöneylem Araştırması adı altında proje yönetimi bir bilim haline gelmiştir. Bu teknikler sayesinde, projelerin daha kısa sürede daha az iş gücü ile ama daha ekonomik olarak tamamlanabilmesi mümkün olabilmektedir.

Yöneylem Araştırması bir organizasyonun veya sistemin tasarımında kuruluşunda veya işletilmesinde yer alan faaliyetlerin nasıl yürütüleceğine veya koordine edileceğine ilişkin problemlere uygulanan karar verme teknikleridir. Yöneylem Araştırması'nın doğuşu II. Dünya Savaşı yıllarına dayanmaktadır. O yıllarda, İngiliz askeri birimlerinin karşılaştığı bazı problemlerin (radarların etkili kullanımı, denizaltıların yerlerinin belirlenmesi gibi) çözümünde farklı bilim dallarından oluşan ekiplerle çalışılmıştır (Taha, 2006; Sağır vd., 2012). Sonraki yıllarda bazı ekonomik modellerin geliştirilmesinde de yine birden fazla araştırmacıdan oluşan bir ekip oluşturulmuş ve bu ekipte yer alan George B. Dantzig bu tür problemlerde, tanımlanan bir amaç fonksiyonu ile en iyi programların yapılabileceği düşüncesini savunmuş ve ayrıca doğrusal programlama problemleri için bilinen Simpleks Algoritması'nı geliştirmiştir (Hillier ve Lieberman, 2010; Sağır vd., 2012). Yukarıdaki açıklamalardan anlaşılacağı üzere, bu bilim dalı disiplinler arası çalışmalara sahne olmuştur. Bu durum yöneylem araştırmasının üç temel özelliğinden biri olan “*disiplinlerarası yaklaşım*” özelliğinin gereğidir. Bunun dışında yöneylem araştırmasının “*bütünleşik yaklaşım*” ve “*bilimsel yaklaşım*” olmak üzere iki özelliği daha vardır. Bu iki özellik yöneylem araştırmasının “*disiplinlerarası yaklaşım*” özelliğini de beslemektedir.

Bilimsel yöntem, basitçe, problemlerin çözümünde bilimsel bir yaklaşımın izlenmesini ifade eder. Bu anlamda bilimsel yöntem; incelenen problem veya olayla ilgili önce gözlem yapılmasını, sonra bir hipotezin geliştirilmesini, ardından bu hipotezin deneylerle sınanmasını ve son adım olarak da genellenmesini içerir. Ardından geri bildirimler ve gerekiye kontrollemlerle sistem üzerinde geliştirmeler devam edebilir. Bütünleşik yaklaşım, ele alınan problemin, içerisinde yer aldığı sistem ile birlikte tüm bileşenleri ve boyutlarıyla incelenmesidir. Birden fazla ve karşılıklı ilişki içinde bulunan ve belirli bir amaca yönelik olarak bir arada bulunan oluşumlar (sistemler) ile karşılaşıldığından, bu özellik sistem yaklaşımı olarak da ifade edilebilmektedir. Son olarak disiplinlerarası yaklaşım ise, Yöneylem Araştırması kapsamındaki problemlerin, farklı disiplinlerde yer alan uzmanlardan oluşan bir ekiple çözülmesi anlamına gelmektedir (Taha, 2006; Hillier ve Lieberman, 2010; Sağır vd., 2012).

Yöneylem araştırması dünya çapında sayısız kuruluşun etkinliğini geliştirmede ve pek çok ülkenin ekonomik verimliliğini arttırmada önemli katkılar sağlamıştır. Pek çok ülke kendi ulusal Yöneylem Araştırması Derneklerini kurmuş ve bu ülkeler ayrıca Uluslararası Yöneylem Araştırması Dernekleri Federasyonuna da üye olmuştur. Bu organizasyonlar uluslararası konferanslar düzenlemekte ve bu konuda pek çok dergi çıkartmaktadır. Tüm bu çabalar Yöneylem Araştırması disiplininin ne derece önemsendiğine dair ipuçları sunmakta olup, bu disiplinin gelecekte de gelişmeye devam edeceğini göstermektedir.

Bu çalışmada, yöneylem araştırma teknikleri ile ilgili genel bilgiler verildikten sonra, mühendislik uygulamalarındaki kullanımı, literatür taraması eşliğinde ele alınmıştır.

## 2. Yöneylem Araştırmasında Kullanılan Teknikler ve Uygulama Alanları

Yöneylem araştırmasının kullandığı teknikler ve yaklaşımlar model yapılarına göre genel olarak deterministik ve olasılıklı modeller olmak üzere iki ana grup halinde incelemek mümkündür (Taha, 2006). Bu teknikler ve amaçsal tanımlamaları Tablo 1’de gösterilmektedir (Taha, 2006; Esin ve Şahin, 2012; Öztürk, 2014). Yöneylem araştırması kapsamına giren konulara bakıldığında; üretim planlama ve envanter yönetimi, ulaştırma ve atama problemleri, proje yönetimi, iş çizelgeleme, tahminleme, karar analizi, kalite kontrolü, şebeke modelleme, kuyruk analizi ve simülasyon gibi pek çok konuyu kapsadığı görülmektedir. Bu problemlerin çözümünde ise;

Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Programlama,  
Macar Algoritması,  
PERT/CPM,  
Markov Zincirleri,  
Karar Ağaçları,  
Simplex Algoritması,  
Analitik Hiyerarşi Süreci vb.  
pek çok tekniğin kullanıldığı görülmektedir.

Tablo 1: Yöneylem teknikleri ve tanımlamalar

Model Tipi	Yöntem
Deterministik	Doğrusal Programlama
	Tamsayı Programlama
	Hedef Programlama
	Analitik Hiyerarşi Süreci
	Ulaştırma ve Atama Modelleri
	Doğrusal Olmayan Programlama
	Deterministik Dinamik Programlama
	Deterministik Stok Modelleri
	Şebeke (Ağ) Analizi
Olasılıklı	Markov Zincirleri
	Kuyruk Teorisi (Bekleme hattı modelleri)
	Karar Analizi
	Oyun Teorisi
	Simülasyon
	Tahmin Modelleri
	Olasılıklı Stok Modelleri
Olasılıklı Dinamik Programlama	

Yöneylem araştırması teknikleri pek çok alanda uygulama olanağı olan teknikleri olup, yaygın olarak kullanılan bazı uygulama alanları Tablo 2’de verilmiştir (Taha, 2006; Cinemre, 2011; Esin ve Şahin, 2012; Öztürk, 2014).

Tablo 2: Yöneylem araştırmasının bazı uygulama alanları

Üretim planlama	Malzeme ve envanter yönetimi
Üretim çizelgeleme	Tahmin ve kestirme yöntemleri
Verimlilik analizi	Esnek imalat sistemleri
Toplam kalite yönetimi	Karar modelleri
Proje yönetimi	Finansal planlama
Taşıma/ulaşım	Bakım planlaması
Stratejik planlama	Maliyet analizi
Kent hizmetleri yönetimi	İnsan gücü planlaması
Yatırım planlama	Bütçe planlama ve kontrol
Savunma uygulamaları	Reorganizasyon
Optimizasyon	Yönetim bilişim sistemleri
Benzetim	Rassal süreçler
Bilgisayarla bütünsel imalat	Tesis yer seçimi ve dağıtım
Tam zamanında üretim	Enerji planlaması
Karar destek ve uzman sistemler	Performans ölçümü

### 3. Literatür İncelemesi

Son 30-40 yıldır çeşitli endüstrilerde çok başarılı uygulamaları olan Yöneylem Araştırması teknikleri her sektörden uygulayıcı kuruluşa milyarlarca USD tasarruf sağlamıştır (Ulucan, 2007). Pfizer Şirketi stok modellerini kullanarak, entegre stok yönetim programı geliştirmiş ve üç yıllık planlama döneminde stok maliyetleri 23.9 milyon USD gerilemiş ve karşılanamayan talepler de %95 oranında azaltılmıştır. San Fransisco Polis Departmanı devriye polis sayısını azaltmak için optimizasyon tabanlı karar destek sistemi geliştirmiştir. Tamsayıli arama prosedürü ortalama %25 daha fazla devriye bulunduğu sonucunu üretirken, yaklaşık 200 personele eşdeğer olan bu fazlalığın azaltılması sonucunda yıllık 11 milyon USD tasarruf sağlamıştır. Ayrıca bu sistemin kullanılmasıyla müdahale süreleri %20 kısalmış ve trafik suçlarından elde edilen gelirler 3 milyon USD artmıştır. Montreal Toplu Taşıma Kurumu üniversite ile işbirliği yaparak 1980-90 arasında 10 yıl boyunca HASTUS adlı taşıma çizelgeleri üreten kapsamlı bir bilgisayar sistemi geliştirmiştir. Bu sistem doğrusal programlama modelleri kullanarak servis düzeyi ve bakım sözleşmelerindeki değişikliklerin maliyetini bulmakta, şebeke akış modelleri ile de optimal araç çizelgelerini oluşturmaktadır. Ayrıca sezgisel algoritmalar yardımıyla sürücülerin araçlara tahsisini gerçekleştirmektedir. Tüm bu uygulamalar ile işgücü planlamasında yıllık 3 milyon USD, araç planlamasından da yıllık 1 milyon USD tasarruf sağlamıştır. Sistemin bu başarısı dünyada yaklaşık 40 büyük metropolde kullanılmaya başlamasına yol açmıştır (Ulucan, 2007).

Citgo Petrol Şirketi üretim süreçlerine, arıtma, tedarik ve dağıtım, stratejik ve işlemsel pazar planlaması, alacak verecek hesapları, envanter kontrolü ve bireysel performans amaçlarını ortaya koyma gibi işlemlere yöneylem araştırması tekniklerini uygulayarak 1984 yılındaki 50 milyon USD olan işletme zararını, 1985 yılında 70 milyon USD işletme karına dönüştürmüştür. Şebeke akış modellerinin Agrico Şirketine uygulandığında bu şirketin net çalışma sermaye gereksinimini %10 azalttığı ve 5 yılın sonunda 43 milyon USD tasarruf sağladığı görülmüştür. Hiper kübik bekleme hattı modeli ve şebeke bekleme modelleri acil servis yayılım hizmetlerine, iletişim şebekesindeki mesaj akışına ve fabrikadaki iş merkezleri arasında ürün akışına uygulandığında ise %10-15 arasında verimlilik artışı sağlandığı görülmektedir (Öztürk, 2014). Uygulamada bu tür gerçek dünyadan örneklere rastlamak mümkündür.

Mühendislik disiplini ile ilgili yapılan pek çok bilimsel çalışmada da Yöneylem tekniklerinin yoğun biçimde ele alındığı görülmektedir. Mastroeni ve Pappalardo (2004) bir trafik şebekesi dengeleme problemi için doğrusal programlama ve şebeke modelleme tekniklerini birlikte kullanırken, Garcia-Ortiz vd., (1999) ise karayollarında yol kapasitesini belirli bir hacimde tutmak için trafik miktarını ve bir sonraki trafik dağılımını tahminleme problemine, yapay sinir ağları ile birlikte şebeke modelleme tekniklerinden en kısa yol algoritmasını uygulamışlardır. Aynı şekilde Güven (2011) trafik ağı üzerindeki araçların başlangıç noktasından başlayarak bitiş noktasına gelene kadar geçirdikleri toplam seyahat süresini en aza indirmek için bir karelik programlama modeli önermiştir. Price ve Ostfeld (2013) çevre ve inşaat mühendisliğinin konusu olan su dağıtım sistemlerinin tasarımında doğrusal olmayan programlama tekniğini uygulayarak hidrolik kısıtlar altında yıllık elektrik işletme maliyetlerinin minimum düzeye çekilebileceğini göstermişlerdir. Bunların dışında yapı mühendisliği, haberleşme sistemleri mühendisliği, elektrik-elektronik mühendisliği, bilgisayar mühendisliği, uzay mühendisliği ve kimya mühendisliği alanlarında pek çok çalışmaya rastlamak mümkündür (Levary, 2001). Bu çalışmalar ve detayları Tablo 3'de özetlenmiştir. Bunların dışında tarım, balıkçılık, ormancılık ve madencilik gibi endüstrilerde de yöneylem araştırması tekniklerinin geniş uygulama alanları olduğu görülmektedir (Daşdemir ve Güngör, 2002; Björndal vd., 2011; Carravilla ve Oliveira, 2013).

Tablo 3: Yöneylem araştırması tekniklerinin çeşitli mühendislik disiplinlerindeki uygulamaları

Mühendislik Alanı	Uygulama Niteliği	Kullanılan Teknik
Haberleşme Sistemleri Mühendisliği	Filtre tasarımı	Oyun Teorisi
	Bilgisayar iletişim ağlarının tasarımı ve analizi	Simülasyon
	Bilgisayar iletişim ağlarının tasarımı ve analizi	Kuyruk Teorisi ve Rassal Süreçler
	Çoklu erişim protokol sorunu	Dinamik Programlama
İnşaat Mühendisliği	Betonarme yapıların optimal tasarımı	Matematiksel programlama
	Çelik donatı miktarının optimizasyonu	Doğrusal programlama
	Sürekli titreşen yapılar için optimal giriş tasarımı	Doğrusal programlama
Kimya Mühendisliği	Tek bileşenli soğutucu tasarımı	Karma tamsayı doğrusal olmayan programlama
Uzay Mühendisliği	Uzay yapılarının tasarımı	Doğrusal olmayan programlama
Elektrik- Elektronik Mühendisliği	Elektrik devrelerinde filtre tasarımı	Doğrusal olmayan programlama
	Termik santrallerde yakıt maliyetlerinin minimizasyonu	Doğrusal olmayan programlama
Bilgisayar Mühendisliği	Hata Toleranslı Bilgisayar Sistemleri Tasarımı	Markov zincirleri

Kaynak: Levary (2001)'den uyarlanmıştır.

Yukarıda yöneylem araştırması tekniklerinin çok farklı mühendislik disiplinlerinde uygulama olanağı bulunduğu dair gerçek iş dünyasından ve akademik literatürden çeşitli örnekler sunulmuştur. Bu uygulamalarda benzer yöneylem araştırması tekniğinin kullanıldığı göze çarpmaktadır. Söz konusu teknikler, mal üretiminden başka hizmet üretiminde de çok yaygın olarak olmasa da uygulanmakta olup, Harita Mühendisliği alanında da ilgi çektiği literatürden anlaşılmaktadır. Hizmete dönük olarak gerçekleştirilen projelerin planlama yapılarak, tüm kaynakların etkin ve verimli kullanılması sayesinde daha kısa sürede optimum maliyetlerle proje yöneticisinin tamamen kontrolü altında, hem çalışmayı yapan taraf, hem de çalışmanın yapıldığı tarafın istediği şekilde gerçekleştirilebileceğini söylemek mümkündür. Ceylan vd., (2006) yaptıkları çalışmada PERT/CPM tekniklerini kullanarak, Sivas-Kızılcakışla bölgesinde yapılacak sayısal halihazır harita alımı uygulamasında, planlama ile ne gibi avantajların sağlanacağını göstermeye çalışmışlardır. Öztürk ve Batuk (2010) ise bir konumsal karar probleminde Analitik Hiyerarşi Yöntemini uygulamışlardır. Dinçerler vd., (2004) Bilkent Üniversitesi personel taşıma sistemi için etkin ve ekonomik bir taşıma sistemi oluşturmak amacıyla bir model önerisinde bulunmuşlardır. Çalışmada Coğrafi Bilgi Sistemleri ile sezgisel yöneylem teknikleri birlikte uygulanmıştır. Vahidnia vd., (2010) heyelan duyarlılık haritalarında bilgi ve veri entegrasyonu için bir CBS tabanlı yapay sinir ağı ile kombine edilmiş bulanık mantık algoritmaları uygulayarak, etkin bir çözüm önermişlerdir. Bıyık ve Uzun (1992); harita projelerinin süre ve maliyet analizleri için PERT/CPM tekniklerini uygulamışlardır. Şimşek (2008) yaptığı lisansüstü tez çalışmasında jeodezik ağların dengelenmesinde hedef programlama tekniğini uygulamıştır. Diğer taraftan Alkan (1993) bir halihazır harita yapım projesine PERT/CPM tekniği uygulayarak proje maliyetlerinde %38, sürede ise %22'lik tasarruf sağlanabileceğini göstermiştir. Zoraster (1990) harita etiket yerleştirme probleminde 0-1 tamsayı doğrusal programlama modeli uygulamış ve bu model yardımıyla otomatik etiketleme yapan bir yazılım geliştirmiştir. Bir başka çalışmada ise Mullarkey vd., (2007) arazide sismik ölçmelerin yürütülmesinde ve ihalesinde simülasyon tekniği kullanmış ve dört ölçmede yaklaşık 2 milyon USD maliyet avantajı sağlamışlardır. Pek çok yöneylem araştırma modeli olmakla birlikte, yukarıdaki literatür örnekleri dikkatle incelendiğinde harita projelerine en uygun olanının kritik yol modelleri olduğu konusunda fikir birliği bulunmaktadır (Bıyık ve Tüdeş, 2001).

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada özellikle farklı mühendislik disiplinlerinde yöneylem araştırması tekniklerinin kullanılabilmesine dikkat çekilmesi ve bir farkındalık oluşturulması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda profesyonel iş yaşamından ve akademik alandan örneklere yer verilmiştir. Çalışmada da ifade edildiği üzere, yöneylem teknik ve algoritmaları pek çok alanda uygulama imkânına sahip olup, projelerin hayata geçirilmesinde etkin çözümler üretme kabiliyeti ile kullanıcılarına büyük kolaylıklar sağlayabilmektedir. Söz konusu bu teknikler aracılığıyla, projeleri yönetenler tüm kaynakları en etkin ve verimli bir şekilde kullanarak, olabilecek en kısa sürede ve en ekonomik şekilde çalışmalarını hayata geçirebilmektedir. Bu çalışmada da ifade edilen pek çok farklı spektrumda uygulama alanı bulan yöntemler, sadece üretim sektöründe değil, harita mühendisliği uygulamaları gibi hizmet sektöründe de (kısıtlı da olsa) uygulanmıştır. Bilindiği üzere dış etkenlere oldukça açık olan ve doğası gereği pek çok öngörülme problemi içinde barındıran harita mühendisliği uygulamalarında işlerin öngörülen zamanında yetiştirilmesi kimi durumda oldukça güç olabilmekte, bu da projeyi alan tarafı zor durumda bırakabilmektedir. Çoğu kez büyük kırımlarla alınan bu tür projelerde de, gerek çalışmayı tüm kaynakları en etkin kullanarak yapmak ve gerekse de süreç içerisinde ortaya çıkan çeşitli nedenlerden doğabilecek gecikmeleri tolere edebilmek için yöneylem araştırma tekniklerinin kullanılması büyük bir kolaylık sağlayacaktır.

#### Kaynaklar

- Alkan, R. M., (1993), *Harita projelerinin CPM-PERT yöntemleri ile programlanması*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bıyık, C., Uzun, B., (1992), *3194/18. madde uygulamalarında süre-maliyet analizlerinin somut bir örnek üzerinde incelenmesi*, İmar Planlarının Uygulanması Semineri, 29 Haziran-4 Temmuz, KTÜ-Trabzon.
- Bıyık, C., Tüdeş, T., (2001), *Harita çalışmalarında proje planlaması ve yönetimi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi Basımevi, Trabzon, 167 sayfa.
- Bjørndal, T., Herrero, I., Newman A., Romero, C., Weintraub, A., (2011), *Operations research in the natural resource industry*, International Transactions in Operational Research, 19(1-2), 39-62.
- Carravilla, M. A., Oliveira, J. F., (2013), *Operations research in agriculture: better decisions for a scarce and uncertain world*, The Journal of Agris on-line Papers in Economics and Informatics, V(2), 37-46.
- Ceylan, A., Çay, T., Uyan, M., (2006), *Sayısal harita üretiminde proje planlaması ve yönetimi*, HKM Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 1(94), 11-18.
- Cinemre, N., (2011), *Yöneylem araştırması*, Evrim Yayınevi, İstanbul, 2. Basım, 726 sayfa
- Daşdemir, İ., Güngör, E., (2002), *Çok boyutlu karar verme metotları ve ormancılıkta uygulama alanları*, ZKÜ Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 4(4), 1-19.
- Diñcerler, A., Güven, N.E., Tanrıku, M.M., Temel, M., Yitmen, M., Yaman, H., (2004), *Bilkent üniversitesi personel taşıma sistemi için etkin ve ekonomik çözüm*, Endüstri Mühendisliği Dergisi, 15(2), 2-14.
- Esin, A., Şahin, S.T., (2012), *Yöneylem araştırmasında yararlanılan karar yöntemleri*, Gazi Kitabevi, Ankara, 5. Basım, 467 sayfa.
- García-Ortiz, G., Amin, S.M., Wootton, J.R., (1999), *Operations research and semantic control: application to advanced traffic management*, International Transactions in Operational Research, 6(1), 5-20.
- Güven, A., (2011), *Trafik yönetiminde kuadratik programlama uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Hillier, F.S., Lieberman, G.J., (2010), *Introduction to operations research*, New York: McGraw-Hill, Inc, 1214 pages.
- Levary, R.R., (2001), *Engineering applications*, in Encyclopedia of Operation Research and Management Sciences, (S.I. Gass and C.M. Harris, Ed.), Second Edition, Kluwer Academic Publishers, Boston, pp. 249-255.
- Mastroeni, G., Pappalardo, M., (2004), *A variational model for equilibrium problems in a traffic network*, RAIRO Operations Research, 38, 3-12.

- Mullarkey, P., Butler, G., Gavirneni, S., Morrice, D., (2007), *Schlumberger uses simulation in bidding and executing land seismic surveys*, Interfaces, 37(2), 120-132.
- Öztürk, A., (2014), *Yöneylem araştırması*, Ekin Basım-Yayın Dağıtım, Bursa, 15. Basım, 820 sayfa.
- Öztürk, D., Batuk, F., (2010), *Konumsal karar problemlerinde analitik hiyerarşi yönteminin kullanılması*, Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 28(2), 124–137.
- Price, E., Ostfeld, A., (2013), *Iterative linearization scheme for convex nonlinear equations: application to optimal operation of water distribution systems*, Journal of Water Resources Planning and Management, 139(3), 299-312.
- Sağır, M., Atlas, M., Aras, N., Kamışlı Öztürk, Z., (2012), *Yöneylem araştırması-I*, (Editör Prof.Dr. B. Fethi Şeniş), Anadolu Üniversitesi Yayını No: 2528, Eskişehir, 209 sayfa.
- Şimşek, M., (2008), *Jeodezik ağların dengelenmesinde hedef programlama tekniği*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Taha, H. A., (2006), *Yöneylem araştırması*, (Çeviri: Alp Baray, Şakir Esnaf), Literatür Yayıncılık, İstanbul, 3. Basım, 910 sayfa.
- Ulucan, A., (2007), *Yöneylem araştırması: işletmecilik uygulamalı bilgisayar destekli modelleme*, Siyasal Kitabevi, Ankara, 2. Baskı, 522 sayfa.
- Vahidnia, M.H., Alesheikh, A.A., Alimohammadi, A., Hosseinali, F. (2010), *A GIS-based neuro-fuzzy procedure for integrating knowledge and data in landslide susceptibility mapping*, Computers and Geosciences, 36(9), 1101–1114.
- Zoraster, S., (1990), *The solution of large 0-1 integer programming problems encountered in automated cartography*, Operations Research, 38(5), 752-759.