

Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Çizgisel Mühendislik Yapılarında Güzergâh Optimizasyonu: Doğalgaz İletim Hattı Örneği

Volkan YILDIRIM¹, Tahsin YOMRALIOĞLU²

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Trabzon.

²İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

Geliş Tarihi:20.03.2013; Kabul Tarihi:06.05.2013

Özet

Güzergâh belirleme işlemi, birçok değişkenin aynı anda analiz edilmesini gerektiren karmaşık bir süreçtir ve bütün Çizgisel Mühendislik Yapısı (ÇMY) projeleri için önemli işlem adımlarından biridir. ÇMY'lerin optimum şekilde tesis edilebilmesi, güzergâhın en uygun şekilde belirlenebilmesine bağlıdır. Bunun için öncelikle ÇMY güzergâhına etki eden temel faktörlerin tespit edilmesi gerekmektedir. Her bir faktörün güzergâha etki derecesi bir ağırlık katsayısı olarak belirlenmeli ve bunlar bir bütünlük içinde değerlendirilip konumsal bazda analiz edilmelidir. Bu çalışmada öncelikle Doğalgaz iletim hattı güzergâhlarına etki eden faktörler tespit edilmiş ve bu faktörlerin ağırlıkları Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) kullanılarak hesaplanmıştır. Çalışmanın sonucunda bir doğal gaz iletim hattı için optimum güzergâhın belirlenmesinde Coğrafi Bilgi Sistem desteği ile AHY'nin sağlayacağı avantajlar ortaya konulmuştur.

Anahtar kelimeler

Doğalgaz, İletim Hattı, Güzergâh, Analitik Hiyerarşi Yöntemi, Coğrafi Bilgi Sistemleri

Route Optimization in Linear Engineering Structures with Geographic Information Systems: The Case of Natural Gas Transmission Pipeline

Abstract

Route determination process is a complex process that requires analysis of many variables at the same time, and it is one of the important steps for all process in the Linear Engineering Structure (LES) projects. To promote LES optimally, the route should be identified in a most appropriate way. Firstly, the basic factors affecting the LES route should be determined. A degree of influence to route of each factor weights coefficient is determined, and they must be analyzed within the spatial basis. In this study, Natural Gas Transmission Pipeline routes have been determined and the weights of factors affect to route were calculated using Analytical Hierarchy Process (AHP). As a result of the study, benefits provided by Geographic Information System based AHP is evaluated for the determination of optimal routes determinations in the Natural Gas Transmission Pipeline works.

Key words

Natural Gas, Transmission Line, Route, Analytic Hierarchy Process, Geographical Information Systems

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Doğalgaz İletim Hatları (DGİH), Petrol boru hatları, karayolları, demiryolları, enerji nakil hatları, sulama ve kurutma kanalları gibi teknik altyapı tesisleri taşıma yöntemlerinden bazıları olup Çizgisel Mühendislik Yapıları (ÇMY) olarak adlandırılmaktadır (Glasgow, 2004). ÇMY'lerin uzun mesafelerde büyük bütçelerle inşa edilmesi, başlangıcından bitişine kadar uzun zaman ve yoğun işgücü gerektirmesi nedeniyle, stratejik olarak planlanması ve yönetilmesi gerekmektedir (Dey,

2003). Bu süreçte en önemli adımlardan biri uygulanabilir nitelikli bir güzergâh tespitidir (Ryan, 2001). Çünkü geleneksel yaklaşımlarla bir yüzey üzerinde en uygun güzergâhı bulmak çok karmaşık bir işlemdir. Belirlenen güzergâh söz konusu projeyi ekonomik, çevresel ve sosyolojik olarak her aşamada etkiler. Canlılar ve çevre açısından muhtemel olumsuz etkileri mümkün olduğunca azaltmak ve projeyi en az maliyetle tamamlayabilmek hattın etkinliğine bağlıdır.

Güzergâh seçimi, farklı kurum ve kuruluşların sorumluluğundaki mevcut grafik ve grafik olmayan verilerin elde edilmesini, mevcut olmayan verilerin yeterli hassasiyette ve hızda toplanmasını, depolanmasını, sorgulanmasını ve analiz edilmesini gerektirir. Yoğun veri setlerinin analiz edilerek, sonuçların hızlı bir şekilde alınabilmesi günümüzde ancak Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile mümkün olabilmektedir (Yomralıoğlu, 2009). CBS teknolojisi, güzergâh seçiminde, güzergâha etki eden faktörleri sistematik yapıda düzenleyen etkili bir mühendislik aracıdır. Projenin uzunluğuna bağlı olarak irdelenmesi gereken faktörlerin çok çeşitlilik göstereceği dikkate alındığında, bu faktörleri eş zamanlı olarak değerlendirebilmek için CBS'nin konumsal analiz yeteneklerinin kullanılması bir zorunluluktur (Rosado *et al.* 2005; Luettinger ve Clark 2005; Jozi and Irankhahi 2010).

Güzergâh seçimi problemlerinde ÇMY türüne göre birçok faktör birlikte irdelenmelidir. Bu faktörler mevcut durumda karmaşık ve dağınık bir yapıdadır, ancak genelde karar vericiler kullanacağı faktörleri ve bu faktörlerin güzergâha etki oranlarını tecrübelerine bağlı olarak rastgele belirlemektedir. Oysa güzergâh tespitinde kullanılması gerekli faktörlerin önem sırasına göre belirli bir sistematik yapıda organize edilmesi gerekmektedir. İstatistiksel irdelemeler sonucunda gerekli faktörler belirlenip faktör sayısı mümkün olduğunca minimuma indirgenmelidir. Ayrıca Çoklu Kriter Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri kullanılarak bu faktörlerin güzergâha etki oranları tespit edilebilir. Nitekim bu çalışmada DGİH güzergahına etki edecek faktörlerin, faktör ağırlıklarının ve faktör alt kriter ağırlıklarının ÇKKV yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) kullanılarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu süreçte AHY'nin DGİH güzergâhına etki edecek faktörlere ait ağırlıkların belirlenmesindeki etkinliği de irdelenecektir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Çoklu Kriter Karar Verme Yöntemi (ÇKKV)

ÇKKV yöntemleri farklı çevresel ve sosyo-ekonomik etkileri barındıran alternatifler arasındaki karmaşıklığın analiz edilmesinde etkileşimli ve esnek bir araçtır. CBS ile ÇKKV tekniklerinin

birleştirilmesi, çoklu ve karmaşık yapıya sahip kriter ve nesnelerin çeşitli alternatiflerinin değerlendirilmesinde kullanıcıya kolaylık sağlamaktadır. Bu yöntem, seçilen kriterler (faktörler ve limitler) doğrultusunda alternatiflerin oranlanıp karşılaştırılması ile bilgilerin entegrasyonunu sağlamaktadır. Bu durum, mekâna ve özniteliğe ilişkin pek çok kriter dolayısıyla, aynı anda analize tabi olacak çok sayıda değişkenin koordineli bir şekilde yönetilmesi anlamını taşır (Anavberokhai, 2008).

Çizgisel mühendislik yapıları için yer tespiti ya da güzergâh belirleme çalışmalarında kullanılan en etkin ÇKKV olarak AHY ve bu yöntem içinde de en etkin kriter ağırlıklandırma yöntemi olarak ikili karşılaştırmalar yöntemi (*pairwise comparison method*) kullanılmaktadır (Dey and Ramcharan 2007).

2.2. Analitik Hiyerarşi Yöntemi

Gruplara ve bireylere, karar verme sürecindeki nitel ve nicel faktörleri birleştirme olanağı veren güçlü ve kolay anlaşılır bir yöntemdir (Saaty, 1989). AHY her sorun için amaç, kriter, olası alt kriter seviyeleri ve seçeneklerden oluşan hiyerarşik bir model kullanır.

AHY, karar teorisinde yaygın uygulama alanı bulan bir yöntem olup birbiriyle çelişen ölçülebilir ve/veya soyut kriterleri dikkate alan bir ölçme yöntemidir. AHY'de, bir karar verme durumunda, veriler kadar değerli olan bilgi ve deneyimler de dikkate alınmaktadır. AHY, kişisel kararlardan karmaşık işletme kararlarına kadar geniş bir alanda kullanılabilen bir araçtır. Teorinin başarısı, basitliğinden ve değişik koşulların her birinde aynı şekilde kullanılabilme özelliğinden kaynaklanmaktadır.

AHY'nin karar verme uygulamaları, Hiyerarşi Tasarımı ve Değerlendirilmesi olarak iki aşamada gerçekleşir:

a) Hiyerarşi Tasarımı: Problem alanı ile ilgili bilgi ve deneyim gerektirir. İki karar verici, aynı probleme ilişkin iki ayrı tasarım geliştirebileceği gibi probleme ilişkin aynı hiyerarşiyi de geliştirebilir. Hiyerarşiler oluşturulurken hiyerarşiyi tasarlayan kişi/kişiler aşağıdaki hususları dikkate almalıdır.

- Problem tanımlanırken mümkün olduğunca öğelerde meydana gelen değişim dikkate alınmalı,
- Problem değerlendirilirken çevre etkileri göz önünde bulundurulmalı,
- Çözümde katkıda bulunacak nitelik ve katkıları belirlenmeli,
- Problemlerle ilişkili katılımcılar belirlenmelidir.

Hiyerarşi tasarımı, birbirini izlemeyen ama birbiriyle ilişkili üç süreçten oluşur: i) düzey ve öğelerin belirlenmesi, ii) kavramların tanımlanması ve iii) soruların formüle edilmesi.

İlk adımda düzey ve öğeler tanımlanır. Bu tanımlamalar soru formülasyonu aşamasında kullanılır. Eğer karar vericinin bu sorulara cevap vermede bir sorunu var ise, düzey ve öğe tanımlaması yenilenir. Hiyerarşi tasarımı bu şekilde kendini tekrarlayan bir süreçtir. Sorgulama sürecinde belirsizlik, karar vericiyi yanlış kriter ve alternatif seçimine götürür. Tüm sorular yanıtlanabilir nitelikte ve mevcut bilgilerle tutarlı olmalıdır. Hiyerarşi tasarımı sürecinde genel iş akışı Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Hiyerarşi tasarımı (Yalçın, 2005).

Hiyerarşide öğelerin her kümesi bir hiyerarşi düzeyini oluşturur. En üst düzeyde sadece genel amacı temsil eden bir öğe bulunur. Bundan sonra gelen düzeylerde farklı öğeler bulunabilir. Bir düzeydeki öğeler bir sonraki daha yüksek düzeydeki kriter çerçevesinde birbiriyle karşılaştırılır. Her düzeydeki öğeler aynı önem derecesine sahip olmalıdır. Öğeler aralarındaki çelişki büyük ise yani öğeler birbirinden çok farklı önem derecelerine sahip ise bu öğeler değişik düzeylerde yer almalıdır. Hiyerarşinin düzey sayısında bir sınırlama yoktur.

Hiyerarşiye yeni kriterler eklenip çıkarılabilir, kriterlerin göreceli önemleri hakkında değerlendirmeler değiştirilebilir, düzey sayısı arttırılabilir.

b) Hiyerarşi Değerlendirilmesi: AHY'nin uygulanmasında ikinci aşama, hiyerarşide yer alan iki öğe arasındaki ilişkilerin sayısal olarak temsil edilmesini sağlayan karşılaştırmanın ya da değerlendirmenin yapılmasıdır. Bu değerlendirme kümesi, bir kare matris şeklinde olan ikili karşılaştırmalar matrisi olarak ifade edilir. Her bir değerlendirme iki öğe arasında, bir üst düzeydeki kriterle bağlı olarak hangisinin daha önemli olduğunu ortaya koyar ve bu önemin derecesini yansıtır. Bu önem derecesini ifade etmek için sayılardan yararlanır. Bu sayıların tespitinde bir ölçeğin kullanılması gerekir.

2.3. İkili Karşılaştırma Matrisi

AHY'de ölçek tespiti çok önemlidir. AHY'de ölçeğin tespiti için öncelikle belli bir sayılar dizini alınır ve bu sayılar kullanılarak belirlenecek önceliklerin birbiriyle nasıl birleştirileceğine karar verilir. Bir ölçek; a) nesnel kümesi, b) sayılar kümesi ve c) nesnelere sayılar arasındaki karşılıklı ilişkilerin belirlenmesi olmak üzere üç temel elemandan oluşur.

Standart bir ölçekte ölçeğin değerlerini oluşturmak için bir birimin kullanılması gerekmektedir. Standart ölçek, belli bir özelliği ölçmek için geliştirilen bir birimi kullanarak, nesnelere ya da olayların ölçümünde kullanılır. Ölçekten elde edilen sayılar sadece insan zihni açısından bir uyarıcı işlev görür ve kendi başlarına bir değere sahip değildir (Yalçın, 2005).

Standart ölçekleri kullanmayan daha genel bir ölçüm yöntemi de bulunmaktadır. Bu yöntem standart ölçme ölçeği olmayan özellikler için kullanılabilen göreceli ölçüm yöntemidir. Bu gibi özellikler soyut, maddi olmayan özelliklerdir. Göreceli ölçeklerin çok önemli bir özelliği de ihtiyaç duyulduğunda standart ölçeklerden elde edilen bilgileri kullanabilmeleridir. Böyle bir durumda standart oran ölçeğinde elde edilen ölçümler normal hale getirilerek göreceli ölçekteki ölçümlere dönüştürülür. Bir özelliği ölçmek için kullanılan standart ölçeğin elde edilmesi her zaman mümkündür. Eğer ele alınmakta olan özelliğe ilişkin

doğrudan gözlemler ya da değerlendirmeler yapılıyorsa, önceliğin ya da önem derecesinin ifade edilmesi açısından göreceli bir ölçüğe ihtiyaç duyulur. Böyle bir ölçek, standart bir ölçekten elde edilen verilerin gerçekte neyi ifade ettiğini anlamada da çok yarar sağlar. Sübjektif değerlendirmelerin ifade edilmesi açısından da göreceli ölçeklere her zaman ihtiyaç duyulmaktadır (Yalcin, 2005). Tablo 1’de gösterilen bu ölçek AHY’nin temel ölçeğidir.

Tablo 1. AHY tercihleri için ikili karşılaştırma ölçeği (Eleren, 2007)

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit önemli	Her iki faaliyet de amaca eşit katkıdır
3	Orta önemli	Tecrübe ve değerlendirmeler sonucunda bir faaliyet diğerine göre biraz daha fazla tercih edilir
5	Güçlü önemli	Tecrübe ve değerlendirmeler sonucunda bir faaliyet diğerine göre çok daha fazla tercih edilir
7	Çok güçlü önemli	Bir faaliyet diğerine göre çok güçlü bir şekilde tercih edilmiştir. Uygulamada üstünlüğü ispatlanmıştır
9	Son derece önemli	Bir faaliyet diğerine göre mümkün olan en yüksek derecede tercih edilir.
2,4,6,8	Yukarıdaki değerler arasındaki ara değerler	Bir değerlendirmede, hangi değer olduğu noktasında tereddütler varsa, sayısal değerler ortasındaki bir değer verilir

Hiyerarşinin her düzeyindeki benzer öğeler, bir sonraki düzeydeki kriterler açısından karşılaştırılır. Bu karşılaştırmalardan elde edilecek sonuçlar yukarıdaki ölçekte yer alan sayılar cinsinden ifade edilir. Bu ölçek 1’den 9’a kadar olan değerlerin anlamlarını göstermektedir. Bu ölçekte yer alan değerler, öğeler arasındaki ilişkilerin yoğunluğunu belirtmektedir. Tüm öğelerin ikili karşılaştırılması sonucunda ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur. Bu matriste bir öğenin kendisiyle karşılaştırılması 1 sayısı ile ifade edileceğinden, matrisin köşegenlerine 1 değerleri yerleştirilir. “n” elemanlı bir matriste $(n(n-1)/2)$ adet karşılaştırma yapılır. Bunun nedeni, matrisin diyagonal köşegeninde öğelerin kendileriyle karşılaştırılmalarından dolayı 1 değerlerinin yer almasıdır. Matriste diyagonal köşegenin üst tarafındaki eleman sayısı kadar değerlendirme yapılması gereklidir. Bu durum, diyagonal köşegenin altında kalan değerlendirmelerin, köşegenin üstünde yer alan değerlerin tersi olmasından kaynaklanmaktadır.

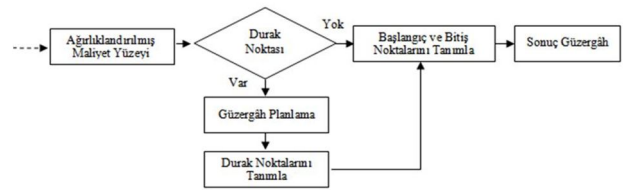
İkili karşılaştırma matrisinde öncelik vektörü elde edilir. Öncelik vektörü matrisin asıl özvektörüdür. Niteliksel özelliklere verilen ağırlıklar olarak ifade

edilen karar öncelikleri, ikili karşılaştırmalar matrisinin özvektörü olarak tanımlanır. Özvektör yardımıyla kriterin göreceli önemi en alt kriterden en üst kriterine kadar belirlenmektedir.

AHY’de bütün karar verme sürecinin ve hiyerarşinin tutarlılık derecesi de hesaplanabilmektedir. Bu oran bütün karar verme sürecinin tutarlılık ölçüsünü de verir. Bu orana bakarak hiyerarşinin geçerliliği hakkında bilgi edinmek mümkündür. AHY’nin sağladığı en önemli yararlarından birisi, bu yöntemin ikili karşılaştırmaların tutarlılık derecesini ölçebilmesidir. Tutarlılık Oranı (*consistency ratio*) (TO) adı verilen bu ölçü, ikili karşılaştırmalardaki yanlış değerlendirmelerin tespit edebilmesine olanak sağlar. TO için kabul edilebilir üst sınır değeri 0,10’dur. TO 0,10’dan büyükse karar vericinin karşılaştırmalarını tekrar gözden geçirmesi gerekmektedir (Yalçın, 2005).

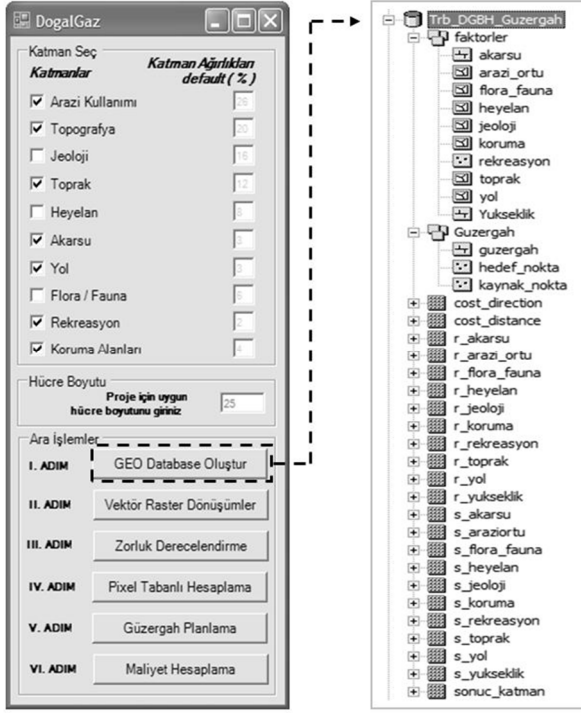
2.4. Güzergâh Planlama Modeli

Boru hatları çok uzun mesafelerde inşa edilmektedir. Mevcut kaynakları, ihtiyaçlar doğrultusunda kaynak noktasından hedef noktaya dağıtırlar. Çoğu durumda kaynak ve hedef noktası birden fazla olabilmektedir. Bu durumda güzergâh planlama için etkin bir dağıtım ağı modellemesi yapılması gerekmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Güzergâh planlama modeli

Önerilen bu raster tabanlı güzergâh planlaması modelinde (Şekil 3) bir maliyet katmanı ve bir yön katmanı oluşturulur. Güzergâh bu iki katman üzerinden belirlenir. Eğer başlangıç ve bitiş noktaları arasında birden fazla durak noktası varsa, her bir durak noktası hedef noktası olarak belirlenerek n-1 (n: durak noktası sayısı) adet farklı güzergâh tespit edilir. Son aşamada bu parçalı güzergâhlar birleştirilerek sonuç güzergâh elde edilir.

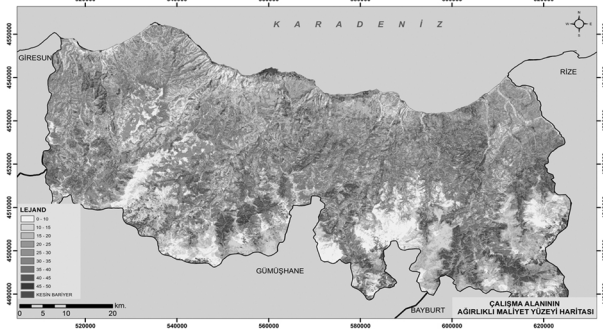


Şekil 3. Raster tabanlı güzergâh planlama modeli

2.5. Ağırlıklandırılmış Maliyet Yüzeyi

Boru hattı güzergâhına etki eden bütün faktörler son aşamada matematiksel işleme tabi tutularak (tematik anlamda her bir katman ağırlık değerleri ile çarpılır ve ağırlıklı sonuç katmanlar birbiri ile toplanır) ağırlıklı maliyet yüzeyi (*weighted cost surface*) elde edilir (Şekil 4).

Oluşturulan bu veri katmanı, çalışma alanının piksellerle temsilidir. Her bir piksel alt faktörlerin zorluk derecelerinin ve faktör ağırlıklarının hesaplanması ile oluşturulan geçiş maliyeti ya da sürtünme (direnç) değeri olarak ifade edilen sayılarla temsil edilmektedir. Rakamsal değerler arttıkça geçiş maliyeti de artar.



Şekil 4. Çalışma bölgesinin ağırlıklı maliyet yüzey haritası

3. Bulgular

3.1. Doğalgaz İletim Hattına Etki Eden Faktörlerin Tespiti

Güzergâh belirleme sürecinde, öncelikle güzergâha etki eden faktörlere karşılık gelen coğrafi bilgilerinin yeterli doğruluk ve hassasiyette sağlanması gerekmektedir. Bu bağlamda toplanan konumsal verilerin işlenmesi, sorgulanması, analiz edilip sunulmasında CBS en etkili araçlardan biridir (Nişancı, 2005). Dolayısı ile verilerin toplanması ve uygun formata dönüştürülmesi gerekmektedir. Türkiye bağlamında konumsal verilerin üretilmesinden paylaşılmasına kadar geçen süreçte birçok problem yaşandığı bir gerçektir (Reis, 2003). Mevcut olmayan konumsal verilerin yeniden üretilmesinde yaşanan zorluklar, konumsal olmayan bilgilerin dağınık bir yapıda olması ve mevcut olan verilerin istenilen kalitede olmaması, standardizasyon eksikliği bu sorunların en önemli nedenlerindedir. Zaman ve maliyet açısından bütün sistemin en önemli kısmını oluşturan veri toplama sürecinin tamamlanması ve buna bağlı olarak kullanılacak faktörlere ait veri katmanlarının oluşturulması gerekmektedir.

DGİH güzergâh planlamasında faktörler ve bu faktörlerin ağırlıkları projenin yapım, işletim ve bakım hassasiyetine göre değişir. Örneğin yoğun heyelan alanlarının bulunduğu bir alanda DGİH güzergâhı tespitinde, heyelan faktörü daha yüksek bir ağırlıkta hesaba katılmaktadır (Yeşilnacar and Topal 2005). Bu bağlamda genel itibariyle boru hattına etki eden faktörler üç ana başlık altında sınıflandırılmıştır. Bunlar; a) çevresel, b) ekonomik ve c) sosyolojik faktörlerdir (Tablo 2).

Tablo 2. DGİH güzergâhına etki eden faktörlerin genel sınıflandırması

Faktör	Ekonomik	Çevresel	Sosyolojik
Arazi Örtüsü	X	X	X
Yükseklik	X		
Jeoloji	X		
Toprak	X		X
Akarsu	X	X	
Yol	X	X	
Demiryolu	X		
Flora / Fauna		X	
Deprem/Fay	X		
Koruma Alanları		X	X
İdari Birim			X
Rekreasyon		X	X
Mülkiyet	X		X

3.2. Faktör Ağırlıklarının Belirlenmesi

İkili karşılaştırmalar, AHY'nin önemli bileşenlerinden birisidir. DGİH güzergâhının belirlenmesinde kullanılan parametrelerin ağırlıkları, parametrelerin ikiye karşılaştırılması ve bunların birbirine göre güzergâh tespitine yapacağı etki göz önüne alınarak hesaplanmıştır. Normal olarak, iki parametrenin birbirine göre alacağı değeri belirleme, karar vericinin tercihinine bağlı bir durumdur. Bu çalışmada, hem parametrelerin birbirine göre olan karşılaştırmalarında, hem de karar alternatiflerinin yani parametrelerin alt kriterlerinin etki değerlerinin (ağırlıklarının) belirlenmesinde mevcut uygulama çalışmaları, bilimsel araştırmalar ve boru hattı güzergâh belirleme çalışmalarında hazırlanan Çevre Etki Değerlendirme (ÇED) raporları irdelenmiştir. Ayrıca Türkiye'de boru hattı faaliyetleri gerçekleştiren BOTAŞ firmasındaki ilgili uzman kişilerle yapılan mülakatlar ve ÇMY faaliyetleri gerçekleştiren kurum ve kuruluşlardaki uzman ve tecrübeli kişilerle yapılan görüşmeler sonucu elde edilen bulgular bu süreçte esas alınmıştır. Ayrıca bugüne kadar gerçekleştirilen DGİH yapım faaliyetleri irdelenmiş ve bunun sonucunda faktörlerin birbirine göre önem derecesi belirlenmeye çalışılmıştır (Yıldırım, 2009).

Bu ağırlık değerlerinin doğru sonuç verip vermediği; gerçekleştirilen uygulama çalışmalarında konumsal analizler, sorgulamalar ve maliyet değerlendirmeleri yapılarak irdelenmiştir (Yıldırım et al. 2008; Yıldırım and Yomralıoğlu 2007). Güzergâhları klasik yöntemlerle belirlenmiş doğalgaz boru hatları, faktör ağırlıkları AHY ile hesaplanarak bulunan güzergâhlarla karşılaştırılarak optimize edilmiş ve çıkan sonuçlar arazi üzerindeki gerçek veriler ile kıyaslanarak ağırlık değerleri test edilmiştir (Yıldırım et al. 2008). Ortaya çıkan sonuçlar ve istatistiksel bulgular bu yöntemle belirlenen ağırlık değerlerinin gerçek arazi verileri ile uyumlu olduğunu göstermiştir.

Bu çalışmada boru hatları güzergâh planlaması için belirlenen faktör sayısı 10'dur. Bu faktörlerin yani sıra kesin engeller de güzergâh planlamasında sürece dahil edilmiştir.

İlk olarak DGİH güzergâhına etki eden temel faktörlerin birbirleriyle olan ilişkilerinin belirlenmesi gerekmektedir. Hangi veri katmanının ne kadar etki değerinin olduğunu belirlemek için veri katmanları arasında AHY'de ikili karşılaştırmalar matrisi oluşturulmuştur (Tablo 3).

Tablo 3. Veri katmanlarının DGİH güzergâh planlamasına etki değerleri

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	Ağırlıklar
A	1	1	2	3	4	7	8	5	6	9	0,256
B	1	1	1	2	3	6	7	4	5	8	0,205
C	1/2	1	1	1	2	5	6	3	4	7	0,156
D	1/3	1/2	1	1	1	4	5	2	3	6	0,116
E	1/4	1/3	1/2	1	1	3	4	1	2	5	0,084
F	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1	1	1/2	1	2	0,033
G	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1	1	1/3	1/2	1	0,025
H	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	1	1	4	0,061
I	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	1	1	3	0,044
K	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/2	1	1/4	1/3	1	0,020

TO: 0,0136 < 0,10

(A: Arazi Örtüsü, B:Eğim, C:Jeoloji, D:Toprak, E: Heyelan, F:Akarsu, G:Yol, H:Flora/Fauna, I:Koruma Alanı, K:Rekreasyon)

DGİH güzergâh planlamasında veri katmanlarına ait ağırlık değerleri incelendiğinde (Tablo 3), güzergâha etki eden faktörler arasında arazi örtüsü, eğim, jeoloji, toprak ve heyelan faktörlerinin daha etkin olduğu görülmektedir. Flora-fauna geçişleri, koruma alanı, akarsu ve yol geçişleri ile rekreasyon alanı geçişlerinin bu faktörlere göre etki değerleri daha alt düzeydedir. Bu etki değerlerinin doğruluğunu test etmek amacıyla tutarlılık oranı hesaplanmış ve TO=0,0136 değeri bulunmuştur. Bu değer, tutarlılık oranının kabul edilebilir üst sınırı olan 0,1 değerinden oldukça düşük olduğu için yapılan karşılaştırmanın tutarlı olduğu ve bulunan ağırlık değerlerinin kullanılabilirliği sonucuna ulaşılmıştır.

AHY' de ikili karşılaştırmalarla önceliklerin ortaya konulmasından sonra elde edilen sonuçların değerlendirilmesiyle yapılan işin niteliği de ortaya çıkmaktadır. Verilen hükümlerin birbirini destekleyip desteklemediği, yani anlamlı olup olmadığı belirlenebilmektedir. AHY' de bu işlem TO ile ortaya konmaktadır. TO'nun hesaplamasındaki işlem sırası aşağıda verilmiştir:

$$\lambda_{max}=(a_1+a_2+\dots+a_n)/n \quad (1)$$

λ_{max} : En büyük özdeğer

a_1, a_2, \dots, a_n : Ağırlıklandırılmış toplam vektörün öncelik değerlerine oranı

n : Eleman sayısı'dır.

En büyük özdeğer ve karşılaştırılan eleman sayısı değerleri kullanılarak tutarlılık göstergesi elde edilir.

$$TG=(\lambda_{max}-n)/(n-1) \quad (2)$$

TG: Tutarlılık göstergesi,

n: karşılaştırılan parametre sayısı'dır.

TO aşağıdaki eşitlikle tanımlanmaktadır:

$$TO=TG/RG \quad (3)$$

TO: Tutarlılık oranı,

R_i: Rastgele indeks değeri'dir.

Tablo 5. DGİH güzergâhına etki eden faktör ve alt kriter ağırlıkları (Yıldırım, 2009)

Katmanlar / Alt Kriterler	Ağırlıklar	Tutarlılık Oranı
ARAZİ ÖRTÜSÜ	0.256	0.0247
Orman	0.096	
Ekili Tarım	0.043	
Dikili Tarım	0.063	
Sulak Alanlar	0.134	∞
Kayalık Alanlar	0.226	
Mera	0.028	
Yerleşim	0.411	∞
EĞİM	0.205	0.0108
<10°	0.031	
10 - 20°	0.060	
20 - 30°	0.081	
30 - 40°	0.124	
40 - 50°	0.152	
50 - 60°	0.185	
>60°	0.367	
JEOLOJİ	0.156	0.0443
Asit - ortaç intruzifler	0.473	
Bazik – ultrabazikler	0.288	
Metamorfitletler	0.149	
Volkanitler	0.054	
Sedimanter kayalar	0.036	
TOPRAK	0.116	0.0278
I. Sınıf Topraklar	0.269	
II. Sınıf Topraklar	0.251	
III. Sınıf Topraklar	0.193	
IV. Sınıf Topraklar	0.104	
V. Sınıf Topraklar	0.081	
VI. Sınıf Topraklar	0.045	
VII. Sınıf Topraklar	0.037	
VIII. Sınıf Topraklar	0.020	
HEYELAN	0.084	0.0334
Aktif Heyelan	0.633	∞
Potansiyel Heyelan	0.260	
Eski Heyelan	0.106	
AKARSU	0.033	0.0063
Nehir	0.444	
Kanal	0.053	
İrmak	0.262	
Dere	0.153	
Çay	0.089	
YOL	0.025	0.0238
Otoyol	0.486	
Karayolu	0.222	
İlçe Yolu	0.121	
Köy Yolu (asflat/beton)	0.090	
Köy Yolu (stabilize)	0.044	
Sezonluk yol	0.037	
FLORA/FAUNA	0.061	0.0272
Özel Kuş Türleri Üreme Alanları	0.378	
Önemli Bitki Yetiştirme Alanları	0.275	
Yaban Hayatı Geliş. Alanları	0.122	
Milli Parklar	0.038	
Doğal Arboretum Alanları	0.072	
Tropik Alanlar	0.114	
KORUMA ALANI	0.044	0.0290
I. Derece Sit Alanı	0.407	
II. Derece Sit Alanı	0.129	
III. Derece Sit Alanı	0.079	
Kentsel Sit Alanı	0.052	
Tarihi Sit Alanı	0.333	
REKREASYON	0.020	0.0167
Yayla	0.039	
Turizm Merkezi	0.262	
Tarihi Eserler	0.492	
Piknik Alanları	0.069	
Mesire yerleri	0.138	
FAY HATLARI		∞

Rastgele indeks (R_i) değerleri, karşılaştırılan elemanların sayısına (n) bağlı olarak Tablo 4'deki değerleri alır (Yalçın, 2005). Üretilen ikili karşılaştırmalar matrisinin ağırlıklandırılmış toplam vektörünün öncelik değerlerine bölünmesiyle elde edilen sonuçların aritmetik ortalaması ile maksimum özdeğer bulunur (Saaty, 1989).

Tablo 4. Eleman sayısına göre rastgele indeks değeri

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R_i	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

DGİH güzergâhına etki eden her bir faktör için, alt kriter ağırlıkları sırayla hesaplanmıştır (Tablo 5).

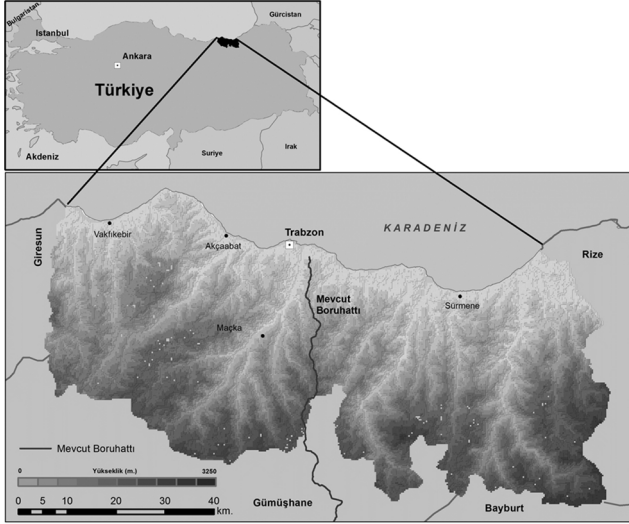
Çalışmada AHY ve ikili karşılaştırma matrislerinin çözümü ve tutarlılık oranlarının hesaplanabilmesi için excel tabanlı bir makro hazırlanmıştır. Bu makro ile bütün veri katmanları için alt faktör ağırlıkları hesaplanmıştır. Şekil 5. de arazi örtüsü katmanı için ağırlık değerlerinin hesaplandığı arayüz örnek olarak gösterilmektedir.

	orman	ekili tarım	dikili tarım	sulak	kayalık	mera	yerleşim	
orman	1	3	2	1/2	1/3	4	1/5	
ekili tarım	1/3	1	1/2	1/3	1/5	2	1/8	
dikili tarım	1/2	2	1	1/3	1/4	3	1/7	
sulak	2	3	3	1	1/2	5	1/5	
kayalık	3	5	4	2	1	7	1/2	
mera	1/4	1/2	1/3	1/5	1/7	1	1/9	
yerleşim	5	8	7	5	2	9	1	
	12.0833	22.5000	17.8333	9.3667	4.4262	31.0000	2.2790	Ağırlıklar
	0.0828	0.1333	0.1121	0.0534	0.0753	0.1290	0.0878	0.096 orman
	0.0276	0.0444	0.0280	0.0356	0.0452	0.0645	0.0548	0.043 ekili
	0.0414	0.0889	0.0561	0.0356	0.0365	0.0968	0.0627	0.063 dikili
	0.1655	0.1333	0.1682	0.1068	0.1130	0.1613	0.0878	0.134 sulak
	0.2483	0.2222	0.2243	0.2135	0.2259	0.2258	0.2194	0.226 kayalık
	0.0207	0.0222	0.0187	0.0214	0.0323	0.0323	0.0488	0.028 mera
	0.4138	0.3556	0.3925	0.5338	0.4519	0.2903	0.4388	0.411 yerleşim
			max	TI	TO			1.0000
	0.6864	7.1317	7.1957	0.0326	0.0247			
	0.3034	7.0739						
	0.4402	7.0378						
	0.9777	7.3129						
	1.6481	7.3044						
	0.1990	7.0592						
	3.0452	7.4101						
	4.2548	50.3700						

Şekil 5. Alt faktör ağırlıklarının hesaplanması için oluşturulan excel tabanlı arayüz

4. Uygulama

Uygulama bölgesi seçiminde, modelin etkinliğinin değerlendirilebilmesi için mevcut durumda bir boru hattının olması, kaliteli ve güncel veriye kolay erişimin sağlanabilmesi dikkate alınmıştır. Bu bağlamda Erzurum-Sivas doğalgaz ana iletim hattından alınan ve mevcut durumda tamamlanmış Trabzon DGİH'nin, Gümüşhane sınırından sonraki 46 km'lik kısmının optimizasyonu gerçekleştirilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Çalışma alanının coğrafi görünümü

Hattın geçtiği araziler genelde mera kullanımlı araziler olup bunun yanı sıra tarım ve orman arazileri de mevcuttur. Hattın Erzincan, Bayburt ve Gümüşhane illerinde kalan kısmında orman alanı bulunmamaktadır. Bu illerde boru hattı, mera ve tarım arazilerinden geçmektedir. Tarım arazileri ise ekili tarımın (arpa, buğday vb.) yapıldığı alanlardır. Akarsu kenarından geçişlerde kısmen dikili tarımın yapıldığı meyve bahçelerine rastlanmaktadır. Hattın Trabzon iline isabet eden kısmı ise orman vasıflı arazilerdir. Orman vasfında görünen arazilerde içerisinde yer yer tarım ve yerleşim yerleri bulunmaktadır. Orman vasıflı tarım arazileri içerisinde kalan tarım alanlarında çay ve fındık bahçeleri yer almaktadır.

Veri setlerinin toplanmasında öncelikle dikkat edilecek husus, bu verilerin istenen standart, doğruluk ve ölçeğe göre sınıflandırılmasıdır. Ülkemizde konumsal bilgilerin üretiminde kamu kurumları arasında yetki ve sorumluluk açısından belirli bir standart henüz oluşturulamadığından birçok veri farklı kurum tarafından aynı anda, değişik ölçek ve standartta toplanmıştır. Bu amaçla, çalışma için uygun olan değişik türdeki farklı kaynaklara ait bilgiler birbirleri ile entegre edilmiştir.

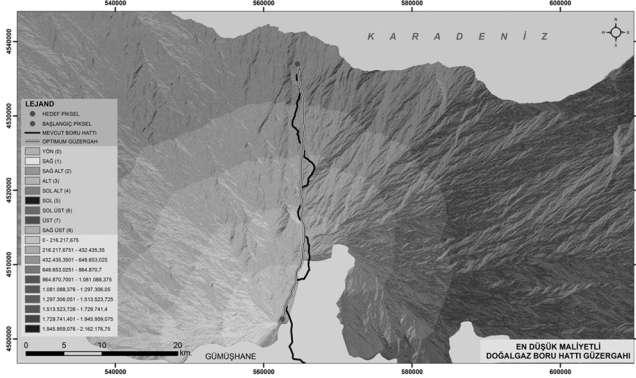
Tablo 6. Uygulama çalışmasında kullanılan veri katmanlarına ait bilgiler

Varlıklar	Varlık Tipi	Katman Adı	Veri Kaynağı	Edinme Tarihi	Ölçek
Yükseklik Eğrileri	Çizgi	EGIM	HGK-Topografik Haritalar	2008	1/25.000
Jeoloji Haritası	Alan	JEOLOJI	MTA Genel Müdürlüğü	2003	1/100.000
Arazi Örtüsü	Raster	AO	Landsat	2000	1/100.000
Arazi Örtüsü	Vektör	AO_KH	Köy Hizmetleri	2002	1/100.000
Heyelan Alanları	Alan	HEYELAN	MTA-Landsat	2002	1/100.000
Toprak Bilgileri	Alan	TOPRAK	Köy Hizmetleri	2003	1/100.000
Akarsular	Çizgi	AKARSU	MTA	2001	1/100.000
Karayolu	Çizgi	KARAYOLU	Landsat-HGK	2001	1/25.000
İdari Merkezler	Nokta	IDARIMER	Köy Hizmetleri	2000	1/100.000
Kültür Turizm	Nokta	KULTUR	Topografik Hrt, Turizm Md.,	2000	1/25.000
Koruma Alanı	Nokta	KORUMA	Mescere Haritaları	2004	1/25.000

4.1. En Uygun Güzergâhin Tespiti

Ağırlıklı maliyet yüzeyi bulunduktan sonra ki aşama verilen noktalar arasındaki en uygun güzergâhı belirlemektir. Bu aşamada seçilen algoritmanın önemi ortaya çıkmaktadır. Verilerin raster tabanlı tutulması ve büyük alanların irdelenmesinden kaynaklanan performans problemleri ve algoritmanın etkinliğinden kaynaklanan doğruluk problemlerinin bir bütün içinde irdelenerek uygun kararın verilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada kullanılan algoritma da (*cost distance algorithm*) temel yaklaşım, başlangıç ve bitiş piksellerine 0 değeri atanarak bütün yüzeye ait birikmiş toplam maliyet yüzeyinin (*accumulated cost surface*) ve bu değerler doğrultusunda hareket yönünü gösteren bir ara veri katmanının oluşturulmasıdır (Şekil 7).

Uygulamada birikmiş toplam maliyet yüzeyi üzerinden başlangıç ve bitiş noktalarına göre uygun güzergâh tespit edilmiştir.



Şekil 7. En uygun güzergâh

4.2. Güzergâhların Karşılaştırılması

Yapılan değerlendirmede raster tabanlı güzergâh planlama modeli ile belirlenen en Optimum Güzergâh (OG) ve Mevcut Güzergâh (MG) karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda; güzergâha etki eden faktör ağılıklarının AHY ile belirlendiği ve raster tabanlı model üzerinden coğrafi bilgi sistem teknikleri kullanılarak hesaplanan güzergâhın daha etkili sonuçlar verdiği görülmüştür (Tablo 7). Uzunluk olarak daha kısa, maliyeti arttıracak kayalık alan geçişi ve akarsu / yol geçişi sayısı daha azdır. Çevresel, sosyolojik, ekonomik ve sürdürülebilirlik anlamında OG'nin MG'den daha uygun olduğu görülmüştür. Boru hatları gibi oldukça sermaye gerektiren projelerin güzergâh seçiminde mevcut uygulamalar sadece en kısa güzergâhları belirlemek üzerine dayandırılmaktadır. Fakat bütüncül anlamda bir analiz yapılarak belirlenecek daha uzun güzergâhlar, kısa güzergâhlardan daha fazla fayda sunabilmektedir.

Tablo 7. Güzergâhlara ait karşılaştırma bilgileri

Faktörler	Alt Faktörler	MG	OG
Ekonomik	Akarsu Geçişi	9	6
	Yol Geçişi	13	11
	Kayalık Alan Geçişi	9,81 km.	2,62 km.
	Eğimli Alanlardan Geçiş	3,52 km.	3,12 km.
	Uzunluk	46,12 km.	44,74 km.
Çevresel	Ormanlık Alan Geçişi	11,20 km.	10,09 km.
	Flora Geçişi	-	-
	Fauna Geçişi	-	-
	Koruma Alanlarına Yakınlık	0,91 km.	0,82 km.
Sosyolojik	Yerleşim Birim. Yakınlık	0,47 km.	0,87 m.
	Ekili Tarım Alan Geçişi	4,72 km.	4,01 km.
	Dikili Tarım Alan Geçişi	7,70 km.	7,90 km.
	Rekreasyon Alan. Yakınlık	0,64 km.	1,43 km.
Sürdürülebilirlik	Yollara Yakınlık	0,30 km.	0,61 km.
	Erozyonlu Alan Geçişi	3	0
	Sulak Alan Geçişi	1	0

5. Tartışma ve Sonuç

Güzergâh tespiti yapılacak olan çizgisel mühendislik yapıları için temel işlem adımlarından biri de, güzergâha etki edecek faktörlerin belirlenmesidir. Yapılan bu çalışmada doğalgaz iletim hattı örneğinde güzergâha etki eden faktörler belirlenmiş ve bu faktörlere bağlı olarak ilgili veri setleri oluşturulmuştur.

Çizgisel mühendislik yapılarına ait güzergâhlara etki edecek faktörlerin tümü bir güzergâhı elbette eşit düzeyde etkilemeyecektir. Dolayısıyla bu değişkenliği dikkate alabilmek için faktör ağırlıkları ve alt kriter ağırlıklarının uygun yöntemlerle belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında ağırlık değerlerinin belirlenebilmesi için çoklu kriter karar verme yöntemlerinden biri olan AHY yönetimin kullanılmasının uygun olacağı ortaya konulmuş ve DGH için faktör ve alt kriter ağırlıkları belirlenmiştir.

Ağ analizi uygulamalarında kullanılan algoritmaların çeşitliliği, bu algoritmaların raster tabanlı veri modellerine uygulanma sınırlandırmaları ve CBS ile uyumları dikkate alındığında günümüzde doğalgaz iletim hatları için, dünyada halen en yaygın kullanım alanına sahip, "Dijkstra Algoritması"nın kullanılabilirliği gösterilmiştir.

Doğalgaz iletim hatları ve diğer ÇMY'ler uzunluk olarak genelde büyük alanları kapsamaktadır. Bu alanlara ait verilerin uygun ölçekte ve yeterli kalitede elde edilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda inşaat faaliyetlerinin yürütüleceği koridor genişliğine göre uygun piksel boyutunun belirlenmesi daha gerçekçi olacaktır. Doğalgaz iletim hattı güzergâhlarının belirlenmesinde, 1/25.000 ölçekli verilerin kullanılması durumunda, piksel boyutunun 30 m olarak seçilmesi uygun görülmektedir. Bunun yanında daha küçük ölçekli verilerde piksel boyutu artırılmalı ve bu şekilde belirlenecek güzergâh bir koridor şeklinde tanımlanmalıdır. Bu koridor bir sonraki aşamada daha detaylı veriler ile inşaat koridoru genişliğine kadar indirgenmelidir.

Teşekkür

Bu çalışma, 111Y041 nolu ve Doğalgaz İletim Hattı Güzergâhlarının Belirlenmesi İçin Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve Coğrafi Bilgi Sistemi Teknolojilerini Kullanarak bir Karar-Destek Modelinin Geliştirilmesi başlıklı TÜBİTAK projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Kaynaklar

- Anavberokhai, I.O., 2008. Introducing GIS and Multi-Criteria analysis in road path planning process in Nigeria. MSc Thesis, University of Gavle, Department of Technology and Built Environment, Nigeria, 36.
- Dey, P.K., 2003. Analytic Hierarchy Process Analyzes Risk of Operating Cross-Country Petroleum in India. *Natural Hazards Review*, 4(4), 213-221.
- Dey, P.K. and Ramcharan E.K., 2007. Analytic Hierarchy Process Helps Select Site for Limestone Quarry Expansion in Barbados. *Journal of Environmental Management*, 88(4), 1384-1395.
- Eleren, A., 2007. Markaların Tüketici Tercih Kriterlerine Göre Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi ile Değerlendirilmesi Beyaz Eşya Sektöründe Bir Uygulama. *Celal Bayar Üniversitesi Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, 14(2), 47-64, 2007.
- Glasgow, F.J., 2004. Siting Linear Facilities with Geographic Information Systems. Geospatial Information & Technology Association (GITA) <http://www.gisdevelopment.net/proceedings/gita/2004/papers/092.pdf> (20.02.2012)
- Jozı, S.A and Irankhahi, M., 2010. Environmental Risk Assessment of Gas Pipelines by Using of AHP Combined Method. *Journal of Environmental Studies*, 36(53), 34-36.
- Keshkamat, S.S., Looijen, J.M. and Zuidgeest, M.H.P., 2009. The Formulation and Evaluation of Transport Route Planning Alternatives A Spatial Decision Support System for the Via Baltica Project, Poland. *Journal of Transport Geography*, 17(1), 54-64.
- Luettinger, J. and Clark T., 2005. Geographic information system-based pipeline route selection process. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 131(3), 193-200.
- Nışancı, R., 2005. Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Nominal Değerleme Yöntemine Dayalı Piksel Tabanlı Kentsel Taşınmaz Değer Haritalarının Üretilmesi. Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 217.
- Reis, S., 2003. Çevresel Planlamalara Altlık Bir Coğrafi Bilgi Sistemi Tasarımı ve Uygulaması Trabzon İl Bilgi Sistemi (TİBİS) Modeli. Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 180.
- Rosado, R.I.J., Fernandez, J.L.A., Garcia, G.E., and Zorzano, S.P., 2005. Advanced Model for Expansion of Natural Gas Distribution Networks Based on Geographic Information Systems. Proceedings of the Fifth IASTED International Conference Power and Energy Systems, Spain.
- Ryan, K.P., 2001. A Versatile Route Selection Process, Pipeline 2001 Advances in Pipelines Engineering & Construction. Conference Proceeding Paper.
- Saaty, T.L., 1989. Hierarchical-Multiobjective Systems, *Control-Theory and Advanced Technology*, 5(4), 485-489
- Yalçın, A., 2005. Ardeşen (Rize) Yöresinin Heyelan Duyarlılığı Açısından İrdelenmesi, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2005.
- Yeşilnacar, E. and Topal, T., 2005. Landslide Susceptibility Mapping A Comparison of Logistic Regression and Neural Networks Methods in a Medium Scale Study, Hendek Region (Turkey). *Engineering Geology*, 79(3), 251-266.
- Yıldırım, V., 2009. Doğalgaz İletim Hatlarının Belirlenmesi İçin Coğrafi Bilgi Sistemleri İle Raster Tabanlı Dinamik Bir Modelin Geliştirilmesi. Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 168.
- Yıldırım, V., Nisancı, R., Yomralioğlu, T. and Uzun, B., 2008. Raster-based GIS data guide economic pipeline construction. *Oil & Gas Journal*, 106(13), 62-68.
- Yıldırım, V. and Yomralioğlu, T., 2007. GIS Based Pipeline Route Selection by ArcGIS, ESRI Users Group Conference, USA, 2007.
- Yomralioğlu, T., 2009. Coğrafi Bilgi Sistemleri Temel Kavramlar ve Uygulamalar. Birinci Baskı, Seçil Ofset, İstanbul, 1- 479.