

## Enerji İletim Hatlarının Optimal Güzergah Seçiminde Coğrafi Bilgi Sistemlerinin (CBS) Kullanımı

**Nihat Pamuk**

Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ), 5. İletim Tesis ve İşletme Grup Müdürlüğü, Sakarya  
nihatpamuk@gmail.com.tr

**Özet:** Dünyada ekonomik ve sosyal kalkınmanın en temel verilerinden birisi elektrik enerjisidir. Enerji İletim Hatlarının (EİH) artan güç talebini karşılayabilmesi için hızlı bir şekilde gelişmesi gerekmektedir. Günümüzde elektrik iletim sistemleri, şehirleşme ve enerji üretim santrallerinin sayısının artmasından dolayı önemli bir çalışma alanı oluşturmaktadır. EİH güzergah seçimi; ekonomik, çevresel ve toplumsal faktörler göz önüne alındığında sadece en kısa güzergah seçiminin yeterli olmadığı aynı zamanda farklı katmanların ve farklı ölçütlerin bir araya getirilerek gerçekleştirilmesi gereken bir maliyet çalışmasıdır. Bu çalışmada Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak EİH güzergah seçimi için çoklu kriterli karar verme analizi ve en düşük maliyet analizi ile birlikte hassasiyet analizi kullanılarak optimum güzergah tespiti yapılmıştır. Sonuç olarak, optimum güzergah çalışmalarında iletim hattına ait yükseklik, eğim, erozyon, buz yükü, yerleşim, koruma alanı, jeolojik toprak yapısı gibi verilerden faydalanılmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Enerji İletim Hatları, Optimizasyon, Coğrafi Bilgi Sistemleri.

### The Selection of Optimal Route in Energy Transmission Lines Using Geographical Information Systems

**Abstract:** Electric energy is one of the most basic data of economic and social development in the world. The energy transmission lines are developing rapidly in order to fulfill the increase of energy requirement. Nowadays, because of the increase of urbanization and the number of power plants, electric transmission systems become an important study area. While selecting the site of energy transmission line, it is essential to avoid costly and unsuitable regions. It needs to have the least cost planning, minimum altitude changing and easy accessing besides it is sited in economically, environmentally and socially appropriate areas. Aim of the study is route selection and optimization of energy transmission line by using GIS. A model is generated in order to make decision making in multi criteria subject and to make route analysis. For this study GIS is used for storing of data, querying of data, making spatial analysis on data and monitoring the results. Finally, in the route optimization process, cost of all applications and cost of the terrain according to elevation, slope, soil feature, protected-zones, water resources, roads, ice load are included in this study.

**Keywords:** Energy Transmission Lines, Optimization, Geographical Information Systems.

#### 1. Giriş

Elektrik enerjisi, üretim santrallerinden enerji iletim hatları ile dağıtım merkezlerine, oradan da dağıtım hatları ile tüketicilere sunulurlar. Termik, doğalgaz, nükleer rüzgar ve hidroelektrik santrallerinden üretilen elektrik enerjisi 380kV ve 154 kV EİH ile sisteme bağlanırlar. Üretilen elektrik enerjisi belirli noktalardaki ototrafolar ile 154 kV gerilim seviyesinden tüketim merkezlerine daha yakın trafo merkezlerine iletilir. Trafo merkezlerinde 34.5 kV, 31.5 kV ve 15 kV gerilim seviyelerine düşürülür ve dağıtım hatları ile tüketim noktalarına ulaştırılır. Buralarda 34.5/6.3 kV ve 34.5/0.4 kV'luk dağıtım trafoları yardımı ile gerilim seviyeleri tekrar düşürülerek fabrika, işyeri, ticarethane ve evlerde kullanılır [1].

EİH' da manüel olarak yapılan güzergah seçme çalışmaları iş yükü ve maliyet açısından masraflıdır. Güzergah seçiminin başarısı seçimi yapan mühendisin tecrübesiyle, elde edilecek olan verilerin işlenmesi ve detaylı şekilde yorumlanmasıyla doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle güzergah seçimi işlemleri genellikle

1/25.000 ölçekli topografya haritaları üzerinden en kısa güzergah hedef alınarak gerçekleştirilir [2].

Ancak bu tür çalışmalarda güzergah tespitindeki işlem maliyetinin boyutu hesaba katılmamaktadır. Bir EİH'nın maliyetinin düşük olması sadece iletim hattının uzunluğunun az veya fazla olmasına göre değil, aynı zamanda çevresel, sosyal ve teknik koşullara göre sağlanır. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) birçok farklı tipteki ve farklı boyutlardaki veriyi işleme ve çeşitli analizler yapmak için oldukça uygundur.

CBS tabanlı çoklu kriterli karar verme analizi, arazi kullanımı, planlama ve çevresel bazlı karar verme işlemleri çok etkili sistemlerdir [3-4]. Optimum güzergah seçilebilmesi için farklı kriterler çevresel, ekonomik ve toplumsal ölçütlere göre hesaba katılması gerekmektedir. Bu çalışmada güzergah bölgesi için belirlenen kriterler doğrultusunda, katmanlar uygunluklarına göre sınıflandırılıp farklı ağırlıklarla üst üste çakıştırılarak, maliyet yüzeyi oluşturulmuştur. Elde edilen yüzey Sakarya ve Kocaeli illeri için belirlenen noktalar arasında en uygun düşük maliyetli güzergahın tespitinde kullanılmıştır.

## 2. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)

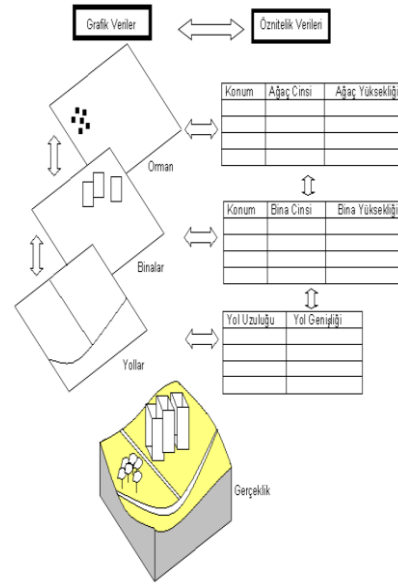
CBS, mekansal kökenli bilgilerin bilgisayar ortamında toplanması, girilmesi, saklanması, sorgulanması, mekansal analizlerinin yapılması, görüntülenmesi ve farklı formatlarda çıktı alınması için oluşturulan bir bilgi sistemidir [5]. Geçmişi çok fazla olmayan fakat dünyada oldukça hızlı bir şekilde gelişen ve yeni bir bilgisayar teknolojisi olan CBS birçok alanda karar vericilere destek olan bir sistemdir. CBS' nin orijini farklı bilimlere dayanmaktadır. Bu bilimler; bilgisayar, coğrafya, matematik, karar verme, istatistik, uzaktan algılama, mühendislik, veri işleme, planlama, çevre bilimi, araştırma, peyzaj mimarlığı, modelleme, harita ve kadastro bilimleridir.

Veri ve bilgilerin sistemli şekilde toplanıp depolanması, işlenmesi ve anlamlı hale dönüştürülmesi için oluşturulmuş sistemlere bilgi sistemi denir [6]. Veri ve bilginin hızla arttığı günümüzde, bilginin etkin, kolay ve verimli kullanılmasına duyulan ihtiyaç bilgi sistemlerinin geliştirilmesini kaçınılmaz hale getirmiştir. Bilgi sistemlerinin temel fonksiyonu karar verme işlemini kolaylaştırmak ve bu süreci kısaltmaktır [7]. CBS' nin bilgi sistemlerinden farkı; sistemin değişik nesnelere ait öznitelik bilgilerine ilave olarak konum bilgilerini de içermesidir [8-9].

CBS' nin temel çalışma prensibi belli bir coğrafi bölge için grafik ve öznitelik verilerinin ilişkilendirilerek farklı katmanlar halinde saklanması ve bu katmanları kullanarak istenilen analizlerin yapılmasına dayanmaktadır. Öznitelik bilgileri ilişkisel bir veri tabanı yönetim sistemi ile tablosal veriler olarak sistemde saklanırken aynı zamanda ilgili grafik veri katmanı ile bağlantılıdır. Grafik veriler genellikle haritalar iken, öznitelik verileri haritalara ait bilgilerin çizelgeleridir. CBS teknolojisi, mekansal verinin tüm şekilleri için veri analizine, gösterimine ve modellenmesine bir çatı oluşturur. Bu anlamda CBS haritanın icadından bu yana coğrafik bilgi kullanımında ileri doğru atılan en büyük adımdır [10-11].

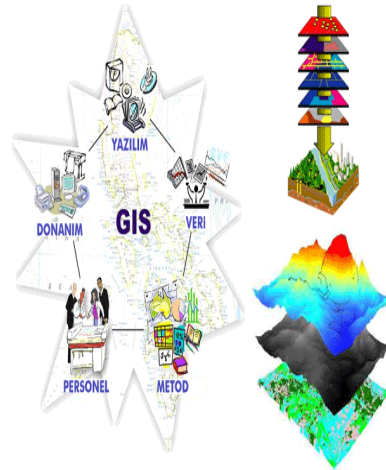
Harita üzerindeki bilgiler grafiksel olarak ifade edilebildiğinden, konuma dayalı grafik ve grafik olmayan nitelikleri açıklayabilen bilgilerin, bir bütün içinde aynı sistemde toplanıp analiz edilmesi gereği CBS' nin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bilgilerin tek bir sistem içerisinde toplanıp, depolanması, modellenerek analiz edilmesi, eldeki bilgilere hızlı ve güvenli bir ulaşımı sağlayacağından sistemin etkinliği ve güvenilirliği daha fazla olacaktır. Yeryüzü referanslı verileri analiz etme ve saklama, CBS tanımlamalarının temel karakteristiğini oluşturmaktadır [12].

Harita üzerindeki bilgiler grafiksel olarak ifade edilebildiğinden, konuma dayalı grafik ve grafik olmayan nitelikleri açıklayabilen bilgilerin, bir bütün içinde aynı sistemde toplanıp analiz edilmesi gereği CBS' nin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bilgilerin tek bir sistem içerisinde toplanıp, depolanması, modellenerek analiz edilmesi, eldeki bilgilere hızlı ve güvenli bir ulaşımı sağlayacağından sistemin etkinliği ve güvenilirliği daha fazla olacaktır. Yeryüzü referanslı verileri analiz etme ve saklama, CBS tanımlamalarının temel karakteristiğini oluşturmaktadır [12].



**Şekil 2.** CBS' nin Temel Çalışma Prensibi

Genellikle, standart koordinat sisteminin üzerine, kayıtlı olan mekansal veri elemanları, haritaların üzerine, noktalar, çizgiler ve alanlar olarak kaydedilir [13]. Haritalar şeklindeki grafikler kayıtları saklamak, kavramları analiz etmek ve kavramları geliştirmek ve sonuçta mekansal kavramların diğer kavramlarla iletişimini sağlamaktadır [14]. Şekil 2' de sayısal verinin elde edilmesi, düzeltilmesi, genelleştirilmesi ve tabakalaştırılması aşamalarının gösterildiği bütünleşmiş CBS veri tabanı gösterilmiştir.



**Şekil 3.** Bütünleşmiş CBS Veri Tabanı

Bilgisayar destekli çizim (CAD) ve tasarım ile uydu görüntü analiz sistemleri, CBS sistemlerinin gelişmesine oldukça önemli katkı sağlamışlardır. CBS, konuma ait olan tüm konularda uygulama alanı bulmaktadır, bu nedenle CBS Konumsal Bilgi Sistemleri olarak da adlandırılmaktadır. Burada önemle vurgulanması gereken nokta CBS sadece

konuma ait bilgileri değil, konumsal olmayan bilgileri de alıp konum ile ilişkilendirerek analize tabi tutmaktadır. Mantıksal kısıtlarla poligonların birleştirilmesi, vektör haritaların da belirlenen oranda koruma alanlarının belirlenmesi, sınırlarının oluşturulması ve ağ analizi gibi fonksiyonlar CBS' nin analitik kapasitesini ortaya koymaktadır [15].

### 3. Optimal Güzergah Seçimi

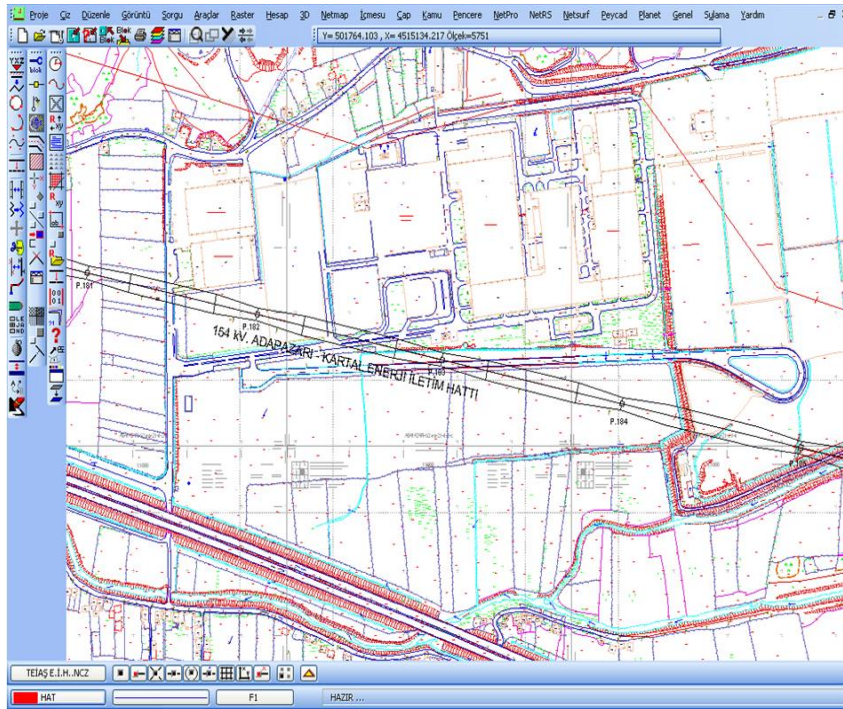
Optimal güzergah seçimi Sakarya ve Kocaeli illerinden geçen 154 kV Adapazarı - Kartal ve 380 kV Adapazarı - Tepeören EİH' ları için gerçekleştirilmiştir. Katmanların birçoğu analiz için hazır olduğundan ve mevcut EİH' ları ile kıyaslama yapılabilmesi açısından bu iletim hatları seçilmiştir. Sayısal yükseklik modeli güzergah seçimlerinde maliyet açısından kritik bir katmandır. Sayısal yükseklik verileri kullanılarak buz yükü ve eğim bölgesi katmanları üretilmiştir.

Eğim katmanı sayısal yükseklik modelinin kullanılması ile üretilmiş ve eğim yüzdelerine göre sınıflandırılmıştır. Optimal güzergah seçiminde eğimin az olduğu yüzeyler maliyet ve ulaşım açısından tercih edilerek puanlanmıştır. Yerleşim bölgeleri katmanı ise,

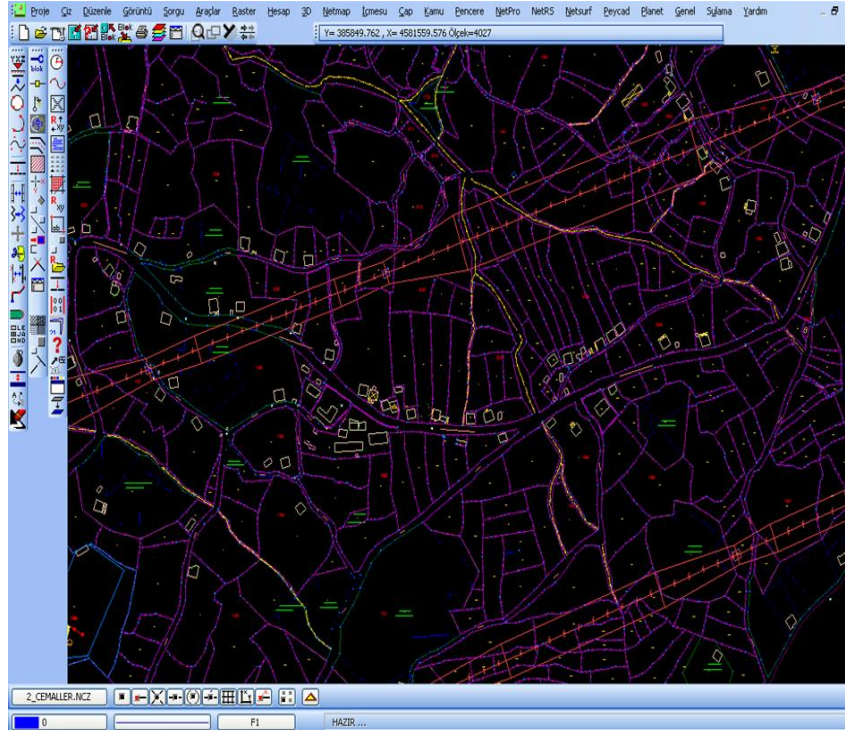
yerleşim yerlerinde yaşayan insanların olumsuz etkilenmesinden ve yerleşim bölgelerindeki kamulaştırma maliyetlerinden kaçınmak için kullanılmıştır. Arazi kullanım kabiliyeti, arazinin verimliliğine göre sınıflandırılmış ve verimli arazilerden geçmeyi tercih etmeyecek şekilde puanlanmıştır.

Büyük toprak grupları, erozyon, diğer toprak özellikleri haritaları, toprak özelliklerine göre sınıflandırılmış ve puanlanmıştır. Koruma alanı ve su kaynakları katmanları bu bölgelerden kaçınmak için kullanılmıştır. Türkiye buz yükü haritası sayısallaştırılmış ve yükseklik değerleriyle birleştirilerek buz yükü katmanı oluşturulmuştur. Buz yükü katmanı EİH' de kullanılan direk tiplerini izolator sayılarını ve tiplerini doğrudan etkilediği için maliyet açısından oldukça belirleyicidir [16].

Optimal güzergah seçimi Model Builder ve ArcPy modülleri kullanılarak ArcMap 10.0 programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Şekil 3'de 154 kV Adapazarı Kartal EİH' a ait ArcPy modülünün program görüntüsü verilmiştir. Şekil 4' de ise 380 kV Adapazarı Tepeören EİH' na ait Model Builder programının görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3. ArcPy Modülü Program Görüntüsü



**Şekil 4.** Model Builder Program Görüntüsü

Bu çalışmada sahanın 1/25.000 ölçekli topografya haritalarından sayısallaştırılarak oluşturulan sayısal arazi modeli, altlık olarak kullanılmıştır. Buna ek olarak yine 1/25.000 ölçekli meşçere haritaları sayısallaştırılarak veri tabanı oluşturulmuştur ve iletim hattı katmanı olarak kullanılmıştır. Kullanılan diğer bir katmanda sahadaki ulaşım durumunu gösteren yol katmanıdır. Sayısallaştırma işlemi bittikten sonra görünürlük analizi sorgulamalarına geçilmiş ve sorgulamalar sonucunda elde edilen poligonlar da ayrı katmanlar olarak saklanmıştır. Optimal güzergah tespitinde uygulanan işlem adımları aşağıda verilmiştir [17]. Bu adımlar;

- Some noktalarından ileriye ve geriye konabilecek olan direk yerlerine dikkat edilmesi, gerekirse alternatif some noktalarının tespit edilmesi,
- Demiryolu, karayolu, su kanalı, enerji ve haberleşme hatlarının kesilmemesi (Kesmeler olacaksa bile dik olarak kesilmesi),
- EİH' nin nehir, vadi, sel yatağı, çeltik tarlası, bataklık, heyelan, çığ veya kaya döküntülerine maruz kalan alanlardan geçirilmemesi (etüt sırasında güzergah ta bu tip zeminlere kısa aralıklarla rastlanması halinde bu hususların plan ve profillerin üzerinde belirtilmesi),
- EİH' nin meskun yerlerden, meskun olmamasına rağmen imar planına dahil mücavir sahalardan, orman, zeytin ve meyve ağaçları, kavaklık gibi kıymetli ağaçlarla örtülü alanlardan, askeri birliklerin bulunduğu alanlardan geçirilmemesi,
- EİH' na dik doğrultuda yükselme özelliği gösteren zeminlerden (yan profilden) kaçınılması,
- Gaz ve petrol boru hattı ile yan yana veya paralel geçişlerde en yakın iletkenin izdüşümü ile boru

ekseni arasında minimum 10 metre olması veya kesişme halinde ise direk ayağına minimum 10 metrelik mesafenin olması.

#### 4. Uygulanan Yöntem

Çalışma için temin edilen tüm veriler raster veri tipine dönüştürülmüş ve dönüşümden kaynaklanan hata oranını minimize etmek için verinin hassasiyetine bağlı olarak raster veriler için hücre boyutu 30 metre olarak belirlenmiştir. Analitik hiyerarşi işlemi CBS tabanlı karar matrisindeki ağırlıkların belirlenmesinde yardımcı olur, kriterleri kendi aralarında kıyaslamayı sağlar ve çok sayıda heterojen veri ile karar verme problemlerinde kullanılır [18]. Hassasiyet analizi girdiler ile çıktılar arasındaki ilişkiyi nümerik modelin doğruluğu ile sınar ve belirsizliği azaltmaya yardımcı olur. Eşitlik 1' de çalışmadaki kriterlerin ağırlığını tespit etmek için kullanılan  $\lambda_{max}$  verilmiştir.

$$\sum_i^n = 1w_i = 1 \quad (1)$$

$$C_{xw} = \lambda_{xw} \quad (2)$$

Eşitlik 2' deki C kriterin ikili kıyaslama matrisini, w ağırlıkların vektörünü ve  $\lambda$  ise öz değerleri göstermektedir. Sistemin tutarlılık indeksi eşitlik 3 ile hesaplanır.

$$CI = \frac{\lambda \max - n}{n - 1} \quad (3)$$

Eşitlik 3’de tutarlılık indeksi CI ile gösterilir ve n kriterlerin sayısını,  $\lambda \max$  ise en büyük öz değeri ifade etmektedir. Sistemin tutarlılık indeksi eşitlik 4 ile hesaplanır.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4)$$

Eşitlik 4’ de tutarlılık oranı CR ile gösterilir. CI tutarlılık indeksini, RI ise rastgele indeks oranını ifade etmektedir. CR değerinin 0.10’den küçük olduğu durumlarda kriter kıyaslamasının tutarlı olduğu kabul edilir. Kendi içlerinde sınıflandırılmış rastır verilerin etki katsayılarıyla çarpılıp toplanmasıyla maliyetli yüzey oluşturulur. Minimum toplam maliyetli yolu bulmak için tüm coğrafi katmanların ağırlıklarıyla çakıştırılması sonrası komşu hücreler birbirleri ile bağlanırlar. Bu kodlama ile merkez hücre etrafındaki en düşük maliyetli hücrenin bitiş noktasına olan uzaklığı belirlenir.

## 5. Sonuçlar

Son on yıllık süreçte bilgisayarlar yaşamın birçok alanında çok yoğun kullanılmaya başlanmıştır. Bilgi sistemlerinin planlamaya yönelik olarak kullanıldığı alanlardan biriside enerji sistemleridir. Enerji sistemleri için çok farklı veri kaynaklarını bir arada tutmak ve değerlendirmek gerekmektedir. Bu nedenle enerji sistemleri için CBS kullanımı büyük önem taşımaktadır. Bu tür bir projede temel amaç, verilerin bir sistem bünyesinde toplanması ve çok hızlı bir şekilde sorgulanmasıdır. Bu sayede enerji sistemleri yatırımlarının planlanması ile ilgili bilgi edinmenin hızlandırılması sağlanmaktadır. Bu çalışmada 380 ve 154 kV EİH’ ları için CBS kullanılarak en düşük maliyetli optimal güzergah seçimi yapılmıştır. Kullanılan katmanların daha fazla çeşitlendirilmesi karar verme aşamasında daha verimli sonuçlar verecektir. Ayrıca vektör veriden rastır veriye dönüşümde hata oranını azaltmak için karar kısmında kriterler arası tutarlılığı arttırmak için daha gelişmiş modeller kullanılabilir.

## 6. Kaynaklar

[1] Pamuk, N., “Sakarya İli Elektrik İletim Şebekesinin Matlab/Simulink Programı Kullanılarak Modellenmesi ve Analiz Edilmesi”, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 27(1): 19–39 (2011).

[2] Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi., “Güzergah Etüdü, Plan – Profil Çizimi ve Direk Tevziati”, *Direk Aplikasyonu Şartnamesi*, 13–21 (2011).

[3] Joerin, F., Theriault, M., Musy, A., “Using GIS and Outranking Multicriteria Analysis for Land – Use Suitability Assessment”, *International Journal of Geographical Information Science*, 15(2): 153–174 (2001).

[4] Chen, Y., Khan, S., Paydar, Z., “Irrigation Intensification or Extensification Assessment Using Spatial Modelling in GIS”, *International Confress on Modelling and Simulation MODSIM 2007*, 1321–1327, Australia and New Zealand, (2007).

[5] Aranoff, S., “Geographical Information Systems: A Management Perspective”, *WDL Publications*, Ottawa, Canada, (1989).

[6] Uluğtekin, N., Bildirici, Ö., “Coğrafi Bilgi Sistemi ve Harita”, *6. Harita Kurultayı*, 85–95, Ankara, (1997).

[7] Yomralıoğlu, T., “Coğrafi Bilgi Sistemleri Temel Kavramlar ve Uygulamalar”, *Akademi Kitabevi*, 479, (2000).

[8] Sağlam, A., Düzgün, H.S.B., Usul, N., “Çanakkale Savaşlarına Farklı Bir Yaklaşım: Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Gelibolu 1915”, *Çanakkale Araştırmaları Türk Yıllığı*, 2(1): 117–133 (2004).

[9] Mengenli, E.O., “Assesment and Monitoring of Environmental Impacts in Eynez Surface Coal Mine by Using Remote Sensing”, *Yüksek Lisans Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2001).

[10] Dangermond, J., “A Classification of Software Components Commonly Used in Geographic Information Systems”, *Taylor and Francis*, 71, (1990).

[11] Tecim, V., “A Geographical Information Systems Based Decision Support System for Tourism Planning and Development”, *Proceedings of the International Conference on Information and Communications Technologies in Tourism 1997*, 10–19, Springer – Verlag, Wien, (1997).

[12] Star, J., Estes, J., “Geographical Information Systems: An Introduction”, *Prentice – Hall*, New Jersey, (1990).

[13] Marble, D.F., “Geographic Information Systems: An Overview”, *Taylor and Francis*, 93, (1990).

[14] Maguire, D.J., Goodchild, M.F., Rhind, D.W., “Geographical Information Systems, Principles and Applications”, *John Wiley and Sons, Inc.*, New York, (1991).

[15] Tecim, V., “Coğrafi Bilgi Sistemleri: Temel Kavramlar, Uygulama Alanları”, *İlkem Ofset Yayın*, İzmir, (2001).

- [16] Carver, S.J., “Integrating Multi-criteria Evaluation with Geographical Information Systems”, *International Journal of Geographical Information System*, 5(3): 321 – 339 (1991).
- [17] Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi., “Enerji İletim Hatları Proje ve Dokümanları”, *Teiaş Genel Müdürlüğü Çevre Dairesi Başkanlığı*, 3(1): 51–54 (2003).
- [18] Chen, Y., Yu, J., Khan, S., “Spatial Sensitivity Analysis of Multi-criteria Weights in GIS Based Land Suitability Evaluation”, *Environmental Modelling and Software*, 25(1): 1582–1591 (2010)