

RESEARCH ON ENVIRONMENTAL IMPACTS OF HIGHWAY CONSTRUCTION PROJECTS USING SPATIAL ANALYSIS

BERNA ÇALIŞKAN

ABSTRACT

Environmental impact assessment (EIA) is an important planning tool that evaluates alternatives in terms of the technology to be used in highway projects and the spatial area where the project will be implemented and analyzes the negative environmental impacts that may arise during the project cycle. Environmental impact assessment of highway projects is a very complex and difficult subject as it requires the examination of a large amount of data. For this reason, it is inevitable to benefit from Geographic Information Systems (GIS) with appropriate spatial analysis methods that allow the evaluation of many parameters together, both during the development of highway route alternatives and the environmental impact assessment studies of these alternatives. In this study, the 'Spatial analysis methods', 'Multi-criteria decision making methods' (MCDM) and the relationship between GIS and 'Smart transportation systems' recommended for use in the GIS-based EIA process of highway projects are explained with the support of literature review. In addition, geographical information systems are used effectively in highway planning, design, construction management, road safety analysis, in the construction and effective management of smart transportation systems in order to reduce traffic density and regulate traffic flow, and in optimum route planning. It is aimed to examine a comprehensive study including the use of GIS components and MCDM methods in the spatial analysis of air, noise, water and socio-economic impacts, especially during the EIA process for infrastructure projects, and to draw attention to the importance of the subject in terms of conveying the process and to summarize the analyses in general terms.

Keywords: Environmental Impact Assessment, Geographic Information Systems, Highway Projects, Intelligent Transportation System

Dr., T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı

Mail: berna.caliskan@uab.gov.tr,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9625-3237>

Makale Atıf Bilgisi:	Çalışkan, B. (2025). "Karayolu Projelerinin Çevresel Etkilerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri İle Mekânsal Analizinin Araştırılması". <i>Ulaştırma ve Altyapı</i> , Yıl: 2, Sayı: 2, s. (144-164)
Makale Türü:	Araştırma
Geliş Tarihi:	21.04.2025
Kabul Tarihi:	04.06.2025
Yayın Tarihi:	25.06.2025
Yayın Sezonu:	Ocak-Haziran 2025

KARAYOLU PROJELERİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ İLE MEKÂNSAL ANALİZİNİN ARAŞTIRILMASI

BERNA ÇALIŞKAN

Öz

Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED), karayolu projelerinde kullanılacak teknoloji ve projenin uygulanacağı mekânsal alan açısından alternatifleri değerlendiren ve proje döngüsü sürecinde ortaya çıkabilecek negatif çevresel etkileri analiz eden bir planlama aracı olması bakımından önem taşımaktadır. Karayolu projelerinin çevresel etki değerlendirmesi çok sayıda verinin incelenmesini gerektirdiğinden oldukça karmaşık ve güç bir çalışmadır. Bu nedenle gerek karayolu güzergahı ile ilgili alternatiflerin geliştirilmesi gerekse bu alternatiflerin çevresel etki değerlendirmesi çalışmaları sırasında çok sayıda parametrenin bir arada değerlendirilmesine olanak sağlayan uygun mekânsal analiz yöntemleri ile Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)'den yararlanmak kaçınılmazdır. Bu çalışmada, karayolu projelerinin CBS tabanlı ÇED gerçekleştirilmesi sürecinde kullanılması önerilen 'Mekânsal analiz yöntemleri', 'Çok kriterli karar verme yöntemleri' (ÇKKV), CBS ile 'Akıllı ulaşım sistemleri' ilişkisi literatür taramaları ile desteklenerek açıklanmaktadır. Buna ek olarak, CBS, karayollarının planlanmasında, tasarımı, yapım yönetiminde, yol güvenlik analizlerinde, trafik yoğunluğunu azaltmak ve trafik akışını düzenlemek amacıyla akıllı ulaşım sistemlerinin kurgulanmasında ve etkili bir şekilde yönetilmesinde, optimum güzergâh planlamasında etkin biçimde kullanılmaktadır. Altyapı projelerine yönelik ÇED süreci gerçekleştirilirken özellikle hava, gürültü, su ve sosyo-ekonomik etkilerinin mekânsal analizine yönelik çalışmaların yapılmasında CBS bileşenlerinin kullanımı ve ÇKKV metodlarının kullanımını da içeren kapsamlı bir çalışmanın incelenmesi ve sürecin aktarılması bakımından konunun önemine dikkat çekilmesi ve analizlerin genel hatlarıyla özetlenmesi amaçlanmıştır.

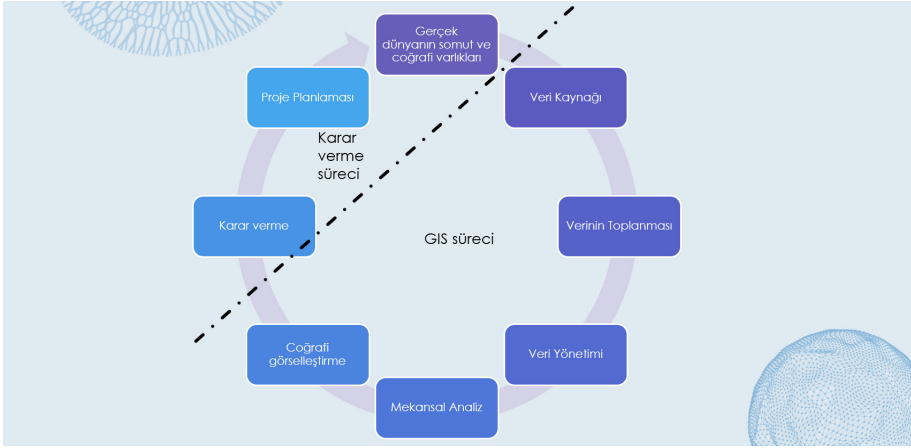
Anahtar Kelimeler: Çevresel Etki Değerlendirmesi, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Karayolu Projeleri, Akıllı Ulaşım Sistemi Uygulamaları

1. Giriş

Altyapı yatırımları, uzun dönem ekonomik politikaların önemli bir aracı olarak öne çıkmaktadır ve özellikle ulaşım altyapısının geliştirilmesine yönelik ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Bu artışın başlıca nedeni, ulaşım altyapısının sağladığı zaman tasarrufu ve erişim kolaylığı gibi avantajlarının yanı sıra, ekonomik büyümeye de önemli katkılarda bulunmasıdır. Dünya ticaretinde belirleyici rol oynayan ülkelerin ulaşım altyapısını incelediğimizde, karayolu ağlarının oldukça gelişmiş olduğu göze çarpmaktadır. Karayolu altyapısı, ekonomik gelişmenin ana belirleyicilerinden biri haline gelmektedir (Kara vd., 2018). Ancak çevre açısından bakıldığında karayollarının genişletilmesi, karayolu trafiğinin artması, arazi kullanımını değişikliği, hava ve gürültü kirliliği, sosyo-ekonomik değişiklikler ve biyolojik çeşitlilik kaybı nedeniyle çevre kirliliği yaratmaktadır. Bu çevresel etkilerin anlaşılması, devlet kurumlarının bu tür kalkınma projelerinin uygulanabilirliği konusunda tarafsız ve çevreye uygun kararlar alması bakımından önem taşımaktadır.

ÇED, çeşitli kurum ve kuruluşların planlandığı bazı faaliyetlerin çevre üzerinde meydana getirebileceği olumlu ve olumsuz etkilerin belirlenmesini gerektiren bir süreçtir. Bu yöntem, olası olumsuz etkileri en aza indirmeyi hedefler ve faaliyetlerin yapım aşamasından sonuçlanacağı nihai duruma kadar izleme ve denetleme mekanizmaları oluşturmayı amaçlar (Bayram, 2022). CBS, geleneksel ÇED sınırlamalarının üstesinden gelerek tarafsız ve kolay yorumlanabilir bir ÇED yapılabilmesini sağlar. CBS, coğrafi olarak yönlendirilen verileri yakalamak, depolamak, sorgulamak, analiz etmek ve görüntülemek için kullanılan bilgisayar tabanlı bir sistemdir (Chang, 2008). Karayolu projelerinin yeniden yapım inşaatı ve genişletilmesi gibi çevreye duyarlı kalkınma projelerinin sağlıklı yönetimi için bu tür projelerin uzun vadeli etkilerinin öngörülebilmesi önem taşımaktadır. CBS tabanlı çevresel modelleme, projelerin çevresel nitelikler üzerindeki olası etkilerinin tahmin edilmesini ve simülasyonunu sağlar. CBS bize her seviyede ve ölçekte gelişmiş planlama ve karar verme için basit ve tarafsız bir şekilde mekânsal bilgi ve haritalar sağlamaktadır (Skidmore, 2002).

CBS süreci birkaç aşamadan oluşur. Şematik olarak anlatmak gerekirse Şekil.1.1'de gösterildiği gibi, gerçek dünyanın somut ve coğrafi verilerinin dijital sisteme kodlanması veya girilmesi gibi veri elde etmeyi içerir (Banerjee vd., 2016). Veri elde etmeye yönelik çeşitli veri kaynakları arasında geleneksel analog harita kaynakları, raporlar ve yayınlar, havadan ve uydudan uzaktan algılama, sahadan elde edilen veri kaynakları ve mevcut dijital harita kaynakları yer alır. Bunu, tarımsal veri kodlama, coğrafi referanslama, projeksiyon, renk ayrımı, vektör veri kodlaması, nitelik veri kodlaması, mekânsal ve nitelik verilerinin düzenlenmesi ve bağlanması gibi veri kodlama ve veri yönetimi biçimindeki veri tabanı yönetimi takip eder. Daha sonra, Mekânsal analiz için coğrafi olarak yönlendirilen veriler üzerinde veri tabanı sorgulama, coğrafi ölçümler, katmanlama analizi, ağ analizi, yüzey analizi ve jeoistatistiksel analiz gibi yöntemler kullanılır. Mekânsal analizlerden elde edilen çıkarımlar CBS sürecinin son aşamasında Coğrafi Görselleştirme olarak sunulmaktadır. Mekânsal analizlerin harita, çizelge, rapor, harita düzeni ve üç boyutlu (3D) görselleştirme şeklinde sunulması sürecidir.



Şekil 1.1: Coğrafi bilgi süreci (GIS) ile karar verme süreci ilişkisi

Karayolu projelerinin çevresel etki değerlendirmesi, çok sayıda verinin titizlikle incelenmesini gerektirdiğinden son derece karmaşık ve zorlu bir süreçtir. Bu zorluk, karayolunun çizgisel yapısıyla birlikte farklı doğal ve sosyo-kültürel peyzajları geçerek ikiye ayıran veya parçalayan bir mühendislik çalışması olmasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, karayolu güzergahı için alternatiflerin geliştirilmesi ve bunların çevresel etki değerlendirmesi sırasında, birçok parametrenin bir arada değerlendirilmesine olanak tanıyan CBS'nin sunduğu olanaklar arasında şu maddeler yer almaktadır: 1. Ekolojik olarak hassas bölgelerin tespiti, 2. Güzergah seçim süreci, 3. Alternatif güzergahların karşılaştırılması, 4. Güzergah boyunca etki alanlarının belirlenmesi (su, hava, görsel, gürültü kirliliği zonlamaları ile habitat parçalanması gibi), 5. Karayolu inşaatı ve sonrasındaki etki önlemlerinin etkinliğinin izlenmesi ve denetlenmesi (Şahin vd., 1998).

Karayolu projeleri için ÇED'in mekânsal analizi kapsamında çok çeşitli çevresel özellikler incelenmiştir. Ancak bu çalışmaların çoğu engebeli, dağlık olmayan arazilerde yapılmıştır. Hava kalitesinin mekânsal analizi, bilgisayar tabanlı matematiksel modeller kullanılarak karayolunun etki alanındaki trafikten kaynaklanan hava kirlleticilerin konsantrasyonunun tahmin edilmesini içerir. Bu modeller, hava kirliliğinin tahmini için trafik parametreleri, yol koşulları, meteorolojik koşullar, emisyon oranı ve alıcı konumu gibi girdilere dayalı hesaplamalar yapar. Benzer bir yöntem, çeşitli lokasyonlardaki gürültü seviyesinin hesaplanması için trafik gürültüsü tahmin modelleri tarafından da kullanılmaktadır. Bu modellerden elde edilen veri çıktısı mekânsal olarak enterpole edilmiştir. Hava kirleticili konsantrasyonunun ve gürültü seviyesinin enterpole edilmiş yüzeyi daha sonra etkiyi değerlendirmek için belirli kriterlere göre (devletin çevre politikaları tarafından ortam hava kalitesine dayalı arazi kullanımı sınıflandırması gibi) yeniden sınıflandırılır. Matematiksel modeller trafikten kaynaklanan su kalitesi etki değerlendirmesinde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Karayolu trafiğinden kaynaklanan su kirliliğinin mekânsal analizi ve karayolu projesi nedeniyle su kalitesindeki mekânsal-zamansal değişime ilişkin çok sınırlı çalışma mevcuttur.

Toprak erozyonu etki değerlendirmesinin mekânsal analizi, matematiksel tahmin modellerinin kullanımını içerir. CBS ortamında bu modellere girdi verileri oluşturmak için uydu görüntüleri, sayısal yükseklik modeli (DEM), arazi kullanım haritası ve yağış verileri kullanılmaktadır. Heyelan duyarlılığı etki değerlendirilmesi, bölgenin toprak özellikleri, drenaj ağı, yol ağı, arazi kullanım düzeni, bitki örtüsü türü, hidrolojik ve jeolojik özelliklerini kapsayan çok çeşitli girdileri içerir. Normalleştirilmiş diferansiyel bitki örtüsü indeksi (NDVI), DEM, heyelan envanterinin geçmiş verileri ve yağış gibi uydu görüntüleri, heyelan envanter haritaları oluşturmak için CBS çerçevesinde kullanılmaktadır. Çalışmalar, iklim, arazi kullanımı ve jeolojik faktörlerin ve bölgeye özgü koşullandırıcı ve tetikleyici faktörlerin, bir bölgedeki heyelan için kendine özgü bir dizi kriter oluşturduğunu göstermektedir. Karayolu projesi nedeniyle bölgenin arazi kullanımı ve jeomorfik özelliklerinde meydana gelen değişiklik, yol inşaatı veya genişletmenin heyelan duyarlılığı ve toprak erozyonu üzerindeki etkisini ölçmenin temelini oluşturur.

Karayolu projelerinde sosyo-ekonomik etki değerlendirmesinde maliyet-me-safe analizi, mekânsal enterpolasyon, katmanlama analizi ve cebirsel harita da uygulanmıştır. Ancak karayolu projelerinde sosyo-ekonomik etki değerlendirmesi konusunda sınırlı sayıda çalışmanın yapıldığını belirtmekte fayda vardır (Geurs vd., 2009). CBS tabanlı çalışmalar, karayolu projelerinin özellikle engebeli bölgelerdeki sosyo-ekonomik özellikler üzerinde kayda değer, anlamlı etkileri olduğunu göstermiştir (Brown, 2003).

Bu çalışmada karayolu projelerinin etki değerlendirmesinde CBS ve mekânsal analizin rolünü detaylandırmak konusuna dikkat çekmek hedeflenmektedir. İkinci bölüm, karayolu projelerinin çevresel etkilerinin CBS tabanlı mekânsal analizin rolünü detaylandırmaktadır. Altındaki alt bölümlerde gerekli veriler, kullanılan belirleyiciler, teknikler ve modeller ile bireysel çevresel özelliklerin (hava ve su kalitesi gibi) etki değerlendirmesinin mekânsal analizi değerlendirilmektedir. Çalışma, CBS tabanlı mekânsal analizin, arazi, hava durumu ve insan yerleşimlerinin uzaklığının karmaşıklığının üstesinden gelerek, engebeli, dağlık alanlarda ÇED'nin çeşitli aşamalarında etkili bir araç olabileceğini göstermektedir.

1.1. ÇED'in Mekânsal Analizinde Çok Kriterli Karar Verme Süreci

Karayolu projelerinin çevresel etkilerinin mekânsal analizi için çok çeşitli fiziksel, biyolojik ve sosyo-ekonomik özelliklerin dikkate alınması gerekmektedir. Dolayısıyla bu niteliklerin ağırlıklandırılması için Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) süreci kullanılmaktadır. ÇED'in mekânsal analizinde, problemin yeri ve doğasına bağlı olarak geniş bir yelpazede ÇKKV süreci kullanılmaktadır. Üst üste bindirme analizi ile bağlantılı ÇKKV bazlı öznetelik ağırlığı, karayolu projeleri için alternatif senaryoların sıralanmasında kullanılır (Effat ve Hassan, 2013, Faisal vd., 2017, Sameer vd., 2021, Zaoui vd., 2020). Mekânsal modellerin belirsizlik ve hassasiyet analizinin ÇED'e uygulanmasını araştıran ÇKKV tabanlı CBS çalışmalarında giderek artan bir literatür bulunmaktadır (Kiker vd., 2005).

Karayolu projelerine yönelik ÇED'in mekânsal analizine yönelik çalışmaların çoğu eğimli olmayan araziye sahip kentsel alanlarla sınırlıdır. Tam tersine, ekolojik

açıdan hassas ve kültürel açıdan eşsiz alanların önemli bir kısmı dünyanın engebeli bölgelerinde bulunmaktadır. Bu alanların doğasından gelen karmaşıklığı ve uzaklığı, ÇED'in sınırlı ve yüzeysel düzeyde olmasına yol açmaktadır. Zorlu şartlardaki arazi, öngörülemeyen hava koşulları ve zayıf ölçekteki lojistik, mevcut durum veri tabanının hazırlanması ve ÇED'in etki tahmin aşamaları sırasında numune alma noktalarının sınırlı sayıda olmasına yol açmaktadır. CBS tabanlı mekânsal analiz, mekânsal enterpolasyon gibi, örnek noktaları kullanarak çevresel öznetiliğin enterpolasyonlu yüzeylerinin oluşturulmasına yardımcı olur. Ayrıca, katmanlama analizi, CBS tabanlı istatistiksel modelleme, süreç modelleme ve indeks modelleme, çevresel etkilerin geleneksel ÇED'in vurgulamakta başarısız olduğu mekânsal boyutunu ortaya çıkarmaktadır. CBS, verilerin yorumlanması için haritalar, çizelgeler, 3 boyutlu simülasyon ve uzaysal-zamansal simülasyon kullanır. Böylelikle ÇED'in yorumlanmasında CBS'nin kullanılması, karar vericiler ve paydaşlar için CBS'yi çok daha anlaşılır kılmakta ve sonuçta daha bilinçli karar alınmasına yol açmaktadır.

Bir altyapı projesinin çevresel etkilerinin değerlendirilmesi veya derecelendirilmesi bir ÇKKV sürecinin gerçekleştirilmesini ifade eder. ÇKKV, karar vericinin birden fazla kriter şeklinde bir dizi olasılığa dayalı olarak karar almasını kolaylaştıran bir dizi prosedürdür. ÇKKV'nin sonucu, seçilen alternatiflerin sıralanmış düzeni şeklindedir (Malczewski, 1999). CBS-ÇKKV tabanlı ÇED çalışmalarından bazıları arasında genetik algoritma, matematiksel programlama, istatistiksel modelleme, Monte Carlo simülasyonu, hücresel otomata simülasyonu, ajan tabanlı simülasyon, süreç simülasyonu, ideal noktaya benzerliğe göre sıra tercihi tekniği, basit ilaveli ağırlıklandırma, doğrusal programlama, bulanık mantık, Tabu arama, gerçeklere dayalı akıl yürütme ve AHP yer almaktadır. ÇKKV yönteminin seçimi araştırma probleminin niteliğine bağlıdır (Wang vd., 2006, Zhu, 2011, Zolfani vd., 2011). Ayrıca ÇKKV, karar sürecinin nihai yanıtı olarak değil, doğru ağırlığa yönelik bir gösterge olarak değerlendirilmelidir (Tablo 1.1).

Tablo 1.1: Çok kriterli karar verme yöntemlerinin tanımlamaları

Yöntem	Tanımlama
Ajan Bazlı Modelleme (ABP)	Ajanların (bireyler, organizasyonlar veya gruplar) sistem üzerindeki etkisini bir bütün olarak değerlendirmek için kullanılır. (Delcea ve Chirita, 2023)
Hücresel otomasyon	Belirli durumlarda bulunan hücrelerin düzenli bir izgarasından oluşan ayrık bir zaman modelidir. Her hücrenin komşu hücrelerle özel bir ilişkisi vardır. Belirli sabit kurallara dayanarak, durumları değiştirilmiş yeni nesil hücreler oluşturulur. (Pinto vd., 2021)
Gerçeklere dayalı akıl yürütme	Çözümüne ulaşmak için hem niteliksel hem de niceliksel kriterleri olan problemler için karar vermede bilgisizliği ve rastlantısallığı dikkate alan bir inanç yapısı kullanır. (Ayati vd., 2019)
Bulanık mantık	Kesin olmayan ve belirsiz veri girişi olan problemler için uygundur. En iyi alternatifi belirlemek için yetersiz bilgiden ve mevcut bilginin gelişmesinden yararlanır. (Akkerman, 2016)

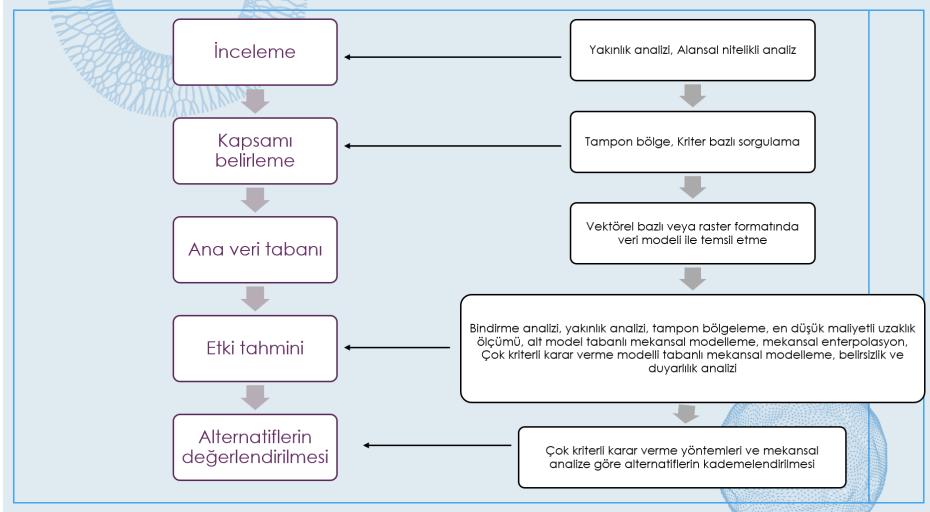
Tablo 1.1: (devam)

Yöntem	Tanımlama
Genetik algoritma	En iyi alternatifi seçmek için doğal seçim sürecini taklit eden buluşsal bir yöntemdir. (Albalawneh, 2016)
Matematiksel programlama	Doğrusal programlama gibi belirli kısıtlamalara tabi olarak amaç fonksiyonunun maksimizasyonunu veya minimizasyonunu içeren geniş bir optimizasyon yöntemleri koleksiyonudur. (Janosikova vd., 2012)
Monte Carlo simülasyonu	Bu süreçte bazı fenomenlerin özelliklerini belirlemek için tekrarlanan örnekleme kullanılır. (Jecan vd., 2019)
Basit ilaveli ağırlıklandırma (SAW)	En iyi alternatifi bulmak için verilen alternatifler ve kriterler kümesine tabi olan bir doğrusal denklemin maksimizasyon problemidir. (Gardziejczyk vd., 2014)
Tabu araştırma metodu	Sorunun çözümünü iyileştirmek için potansiyel çözümü ve bir dizi benzer çözümü (potansiyel çözüme göre) içeren yerel bir arama yöntemi. Daha önce ziyaret edilen çözümlerin tekrar tekrar aranmasını önlemek için 'tabu'yu yasaklar veya işaretler. (Banyal vd., 2019)
İdeal çözüm için benzerliğe göre sıralama tercihi (TOPSIS)	Alternatif ve kriterlerin öklit uzayında ideal çözüme en kısa mesafeyi ve negatif ideal çözüme en uzak mesafeyi seçerek en iyi alternatifi bulur. (Padash, 2014)

2. Karayolu Projelerinin Çevresel Etkilerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Mekânsal Analizi

CBS ÇED'in çeşitli aşamalarında kullanılmaktadır. Ön inceleme aşamasında CBS, verilerin ÇED sorgusu için içe aktarılabilceği, dışa aktarılabilceği ve saklanabilceği mekânsal bir veritabanı yönetim aracı olarak görev yapabilmektedir. Ayrıca mevcut durum haritalarının hazırlanması ve görüntülenmesi amacıyla da kullanılabilir. CBS, mekânsal analiz, katman analizi, tamponlama, koridor analizi, kümülatif etki analizi ve etki tahmini için görüş alanı analizi yoluyla ÇED'in işlem aşamasına katkıda bulunabilir. Diğer istatistiksel, matematiksel ve bilgisayar tabanlı simülasyon alt modelleriyle birlikte kullanılabilir. Ayrıca proje alternatiflerinin sıralanması için ÇKKV'yi desteklemek üzere uzman sistemle de entegre edilebilir. İşlem sonrası aşamada CBS, ÇED sonuçlarının iletilmesi için kolay ve etkili bir görselleştirme aracı görevi görür (Bachiller ve Wood, 2001, Eedy, 1995, Yadav ve Mishra, 2014).

CBS çeşitli karayolu projelerinin ÇED'inde kullanılmıştır. CBS, yol planlama sürecinde esnek ve etkili bir bilgi teknolojisi aracı olarak çalışmaktadır. Yol planlama aşamasında bir iyileştirme yöntemi olarak çeşitli yol koridorlarının önerilmesinde kullanılmıştır Moskvitina, 1999 ve Vij ve Agrawal, 2013 çalışmalarında, ÇED hazırlamak için CBS tabanlı bir metodoloji sunmaktadır. Çevresel niteliklerin çoğunun doğası gereği mekânsal olduğunu ve CBS'nin ÇED sürecine uygun bir mekânsal veri tabanı sistemi olarak dahil edilmesinin gereğini vurgulamaktadır. CBS'nin ÇED'deki olası rolüne ilişkin özet diyagram Şekil 2.1'de gösterilmektedir (Banerje ve Ghose, 2016).



Şekil 2.1: Çevresel Etki Değerlendirilmesinde mekânsal analiz ve GIS'in kullanımı

Bir ÇKKV türü olan CBS ve Analitik Hiyerarşik Süreç (AHP), ılıman orman dağ ortamlarında yol ağı planlamasında eğim, toprak tipi, jeoloji, hidrografik ağı, yönler, ağaç hacmi, ağaç türü ve yükseklik haritaları dikkate alınarak kullanılmıştır. Çalışma orman yolu ağı planlamasında AHP ve CBS'nin uygun bir yöntem olarak kullanımını ortaya koymaktadır (Samani vd., 2010). Karar verme problemlerinde insan yargılarının kullanımı oldukça önemli bir konudur. AHP ile karar vericilere, farklı psikolojik ve sosyolojik durumlardaki gözlemleri de dikkate alınarak kendi karar verme mekanizmalarını tanıma imkânı sağlanmaktadır. Bu teknikle karar vericilerin daha etkin karar vermeleri amaçlanmaktadır. AHP bir yapılandırma, ölçme ve sentez metodolojisidir. AHP temel olarak, çok kriterli bir ortamda, alternatifler arasından seçim yapılması gereken problemlerin çözümünde kullanılmaktadır (Öztürk, 2011). Geleneksel ÇKKV analizinin aksine, mekânsal çok kriterli analiz karar vericilerin tercihlerine göre belirli bir değerlendirme setine bağlı olarak kriter değerleri ve alternatiflerin coğrafi konumlarına ihtiyaç duyar. Bu, analiz sonuçlarının yalnızca niteliklerin coğrafi dağılımına bağlı olmadığı, aynı zamanda karar verme sürecine değer yargılarının da dahil edildiği anlamına gelir. Bu nedenle mekânsal çok kriterli karar analizi için iki husus çok önemli-

dir. Birinci husus CBS bileşenleri (veri toplama, saklama, geri alma, işleme ve analiz yeteneği), ikinci husus ise ÇKKV analizidir (mekânsal verilerin toplanması ve karar vericilerin tercihlerinin ayırık karar alternatiflerinin toplulaştırılması). (Jakimavicius, 2008) Tablo 2.1’de Banerje and Ghose (2016) çalışmasında verilen mekânsal analiz yöntemlerinin açıklamaları görülmektedir.

Tablo 2.1: Mekânsal analiz yöntemlerinin tanımlamaları

Yöntem	Tanımlama
Tampon bölgeleme	Seçilen özelliğe belirli bir mesafeyle tanımlanan bir harita özelliği çevresinde bir alan oluşturma işlemi
Koridor analizi	Belirli kriterlere tabi olarak bir raster haritada kaynak ve çevredeki hücreler arasındaki en uygun yolu bulma yöntemi
Maliyet mesafesi analizi	Raster haritada her bir hücrenin maliyetini belirleme süreci (yükseklik, zaman veya harcanan yakıt vb. gibi faktörlere dayalı olarak) ve ardından bir konumdan diğerine taşınmanın toplam maliyetini hesaplama
Kümülatif etki analizi	Bindirme analizi kullanarak bir zaman dilimi boyunca bir alandaki bir dizi değiş-kendeki kümülatif değişimi değerlendirme süreci
Veri yeniden sınıflandırma	Yeni bir tarama haritası oluşturmak için belirli kriterlere dayalı olarak bir tarama haritasındaki hücre değerlerinin yeniden sınıflandırılması işlemi

Tablo 2.1: (devam)

Yöntem	Tanımlama
Dijital Yükseklik Modeli (DEM)	Bir arazinin düzgün dağılmış yükseklik verilerinin veri modeli
Ters Mesafe Ağırlıklı Yöntem (IDW)	Bir konumdaki değer tahmininin, yakın çevredeki noktalardan uzaktaki noktalardan daha fazla etkilenmesi ilkesine dayanan deterministik bir uzaysal interpolasyon yöntemi
Kriging Tekniği	Bir niteliğin mekânsal değişiminin mekânsal olarak ilişkili bir bileşene sahip olduğu olasılıksal varsayımına dayanan bir mekânsal interpolasyon yöntemi. Sıradan kriging ve evrensel kriging gibi çeşitli değişkenleri vardır.
Cebirsel Harita	Yeni bir taramalı harita oluşturmak için taramalı haritalar üzerinde cebirsel operatörleri kullanma süreci

En Yakın Komşu Yöntemi	Her noktanın en yakın komşu noktasıyla arasındaki mesafeyi ortalama bir mesafeyle karşılaştıran istatistiksel bir yöntem
Bindirme Analizi	Yeni bir harita oluşturmak için iki haritanın konumsal ve nitelik verilerini birleştirme süreci
Yakınlık Analizi	Bir haritadaki özelliklerin veya hücrelerin mesafeye dayalı seçim süreci
Duyarlılık Analizi	Parametrelerdeki değişimin sistem üzerindeki etkisini analiz etmeye yönelik bir süreç
Mekânsal Entropolasyon	Örneklenmiş noktaların değerlerini kullanarak bir alanın örneklenmemiş noktalarının değerini tahmin etmeye yönelik yöntemler topluluğu
Spline (İnce plaka spline)	Yüzeyin eğiminde mümkün olan en az değişiklik ile bilinen noktaların üzerinden geçen bir yüzey üreten deterministik bir uzaysal entropolasyon yöntemi
Üçgenleştirilmiş Düzensiz Ağ (TIN)	Örtüşmeyen üçgenler kullanarak bir araziye yaklaşan bir veri modeli
Belirsizlik Analizi	Karar vermedeki belirsizliği veya riski ölçme süreci
Görüş Analizi	Bir arazinin bir veya daha fazla bakış açısından görülebilen kısmını analiz etmek için kullanılan yöntemler topluluğu

2.1. Hava Kalitesi Etki Değerlendirmesinin Mekânsal Analizi

Karayollarındaki trafikten kaynaklanan araç emisyonları, hava kalitesinin bozulmasının önemli bir nedenidir. Hava kirliliğinin sağlık üzerindeki zararlı etkileri, kirlenici kaynağın türüne, kaynağın gücüne ve potansiyel olarak maruz kalan bireyin davranışına bağlıdır (Litchfield vd., 2010). Tahmin kolaylığı sağlamak amacıyla karayolu trafiğinin neden olduğu çeşitli hava kirlenici dağılım modelleri geliştirilmiştir. Bu hava dağılım modelleri, projeden etkilenen bölgedeki hava kirliliğinin konumsal ve zamansal etkilerinin mekânsal analizi ve görselleştirilmesi için CBS'yle birlikte yaygın olarak kullanılmaktadır (Banerje ve Ghose, 2016).

CBS, özellikle yüksek mekânsal çözünürlüklü emisyon envanterlerinin hazırlanması, hava kalitesi modellenmesi ve hava kirliliği haritalarının oluşturulmasında önemli bir rol oynamaktadır. Hava kalitesi modellemesi, kaynaklardan salınan kirliliğin atmosfer koşulları ve topografyaya bağlı olarak nasıl dağıldığını tahmin etmek için etkili bir araçtır. Bu modellemelerin girdi verileri arasında emisyon envanterleri, meteorolojik veriler ve topoğrafik bilgiler yer almaktadır (Zeydan vd., 2014).

2.2. Gürültü Kalitesi Etki Değerlendirmesinin Mekânsal Analizi

Yeni altyapı projeleri planlanırken, çevre üzerindeki olası yan etkilerin incelenmesi büyük bir önem taşımaktadır. Bu etki analizleri, karar verme sürecine önemli katkılarda bulunmaktadır. Bu çalışmalara dayanarak, çevre üzerinde en az etkiye sahip tasarımlar seçilebilir ve çevresel etkilerin azaltılmasına yönelik önlemler alınabilir. Planlanan altyapının potansiyel yan etkilerine ilişkin yapılan çalışmalarda CBS giderek daha fazla önem kazanmaktadır. CBS'nin coğrafi verileri analiz etme ve sunma yetenekleri, bu tür çalışmaları geliştirmektedir. Özellikle gürültü kirliliği üzerine yapılan incelemelerde bu durum belirginleşmektedir, zira gürültü iletimi ve gürültünün çevre üzerindeki etkisi birçok mekânsal faktörle ilişkilidir. Gürültü kirliliği, yeni altyapı projelerinde dikkate alınması gereken en kritik unsurlardan biridir.

CBS, gerçek dünyadan elde edilen uzamsal verileri belirli bir amaçla saklamak, almak, dönüştürmek ve görüntülemek için güçlü bir araç seti sunmaktadır. Bu süreçte, veri manipülasyonunu her aşamada izlemek için bir CBS kataloglama ve meta veri yönetim sistemi kullanılabilir. Bu sistem; girdi verilerindeki değişiklikler, veri sadeleştirmeleri, enterpolasyon yöntemleri, hesaplama teknikleri, hesaplama ayarları ve sonuçların doğruluğunu etkileyen diğer faktörleri takip etme imkânı sağlar. Bu nedenle, CBS, gürültü kirliliğinin olası etkilerinin araştırılması konusunda giderek daha fazla önem kazanıyor. Ayrıca, CBS, gürültü etkilerinin görsel olarak sunulmasını ve sonuçların analiz edilmesini kolaylaştırmaktadır. Gürültü tahmin modellerinin CBS ile entegrasyonu, gürültünün çevresel etkilerinin hızlı ve doğru bir biçimde değerlendirilmesine olanak tanır (Al-Qershi, 2019).

Gürültü değerlendirmesinin mekânsal analizi, çalışma alanının örnekleme olmayan alanındaki gürültü seviyesini tahmin etmek için uzaysal enterpolasyon ile elde edilmesini içerir. Uzamsal enterpolasyon yöntemleri arasında kriging, ters mesafe ağırlıklandırma, Üçgenleştirilmiş Düzensiz Ağ (TIN) ve en yakın komşu yöntemi yer almaktadır.

Hava kalitesi tahmini gibi mekânsal gürültü kalitesi etki değerlendirmesi de çoğunlukla basit araziye sahip kentsel alanlarla sınırlıdır. Ayrıca neredeyse tüm modeller, ekolojik açıdan hassas alanlar için bu tür modellerin geliştirilmesine olan ihtiyacı büyük ölçüde göz ardı ederek, insan gürültüsüne maruz kalma sorununu ele alacak şekilde geliştirilmiştir. Trafik kaynaklı gürültüdeki hızlı artışın kırsal toplumu, yaban hayatını ve bitki örtüsünü mekânsal ve zamansal ölçeklerde nasıl etkilediğine dair daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır.

2.3. Sosyo-Ekonomik Etki Değerlendirmesinin Mekânsal Analizi

Karayolu projeleri, kent sakinlerinin yer değiştirmesi, iş ve toplum hizmetlerinin yer değiştirmesi, bölge sakinlerine olan etkiler, kesintiye uğrayan ve uygunsuz sapmalar, yerel yol kapanmaları, seyahat süresi üzerindeki etki, olumsuz sağlık etkileri, iş ve toplum hizmetleri üzerindeki etkileri gibi sosyo-ekonomik etkilere neden olur (Stevenson, 1995). Geurs vd., (2009), ulaşırmayla ilgili etki değerlendirmelerinde sosyo-ekonomik etki değerlendirmesinin (SED) yeterince

ele alınmadığını gözlemlemiştir. Ulaşımla ilgili geçici etkilerin, sağlık üzerindeki etkilerin, sosyal uyumun, etkilerin nüfus grupları arasındaki dağılımı ve birikiminin ve sosyal adaletin değerlendirilmesine ihtiyaç vardır.

Karayolu projelerinin SED'inde istihdam olanakları, eğitim tesisleri, sağlık tesisleri, demografik profil, kişi başına düşen gelir, endüstriyel faaliyetler ve turizm ile ilgili verileri toplamak için anket yöntemi ve doğrudan görüşme kullanılmıştır. Bu sosyo-ekonomik özellikler verileri CBS'de sosyal etkilerin mekânsal analizi için kullanılmıştır (Banerje ve Ghose, 2016).

Ulaştırma ile ilgili projelerin sosyo-ekonomik etki değerlendirmesi az sayıdadır ve derinliği yüzeyseldir. Ayrıca, nüfus yoğunluğu ve bileşimindeki karayolu gelişimiyle bağlantılı değişiklikler ve bunların istihdam fırsatları, gelir, etnik yapı, suç oranı vb. gibi sosyo-ekonomik özellikler üzerindeki etkisi henüz keşfedilmemiştir. Ayrıca, topoğrafik zorluklar nedeniyle, yoğun bitki örtüsü ve dağlık alanların sınırlı ekilebilir arazileri, karayolu projelerinin sosyo-ekonomik etkisinin araştırılması için yeni senaryolar oluşturmaktadır.

2.4. Biyolojik Çeşitlilik Etki Değerlendirilmesinin (BIA) Mekânsal Analizi

Yol projeleri için BIA'nın mekânsal analizi, ekosistemde beklenen kayıpların değerlendirilmesine yardımcı olur (Geneletti, 2003). Habitatın çekirdek alanı, izolasyon ve bozulma seviyesi gibi mekânsal göstergeler ile uzman bazlı değer fonksiyonu, karayolu projelerinin habitat parçalanması üzerindeki etkilerini değerlendirmek için CBS çerçevesinde kullanılmıştır (Geneletti 2004 a).Yol alternatifleri için CBS tabanlı BIA, bazı durumlarda önerilen yolun mevcut yola göre daha fazla ekosistem kaybına ve parçalanmaya yol açtığını göstermiştir (Monavari ve Momen, 2010). Karayolu projesinin biyolojik özellikler üzerindeki etkileri konusunda halkın algısına ilişkin veri toplamak için anket yöntemi kullanılmıştır. CBS çerçevesinde, projenin biyolojik özellikleri üzerindeki mekânsal dağılımını ve etki yoğunluğunu değerlendirmek için kullanılmıştır (Banerje ve Ghose, 2016).

2.5. Heyelan Duyarlılığı Etki Değerlendirmesinin Mekânsal Analizi

Heyelanların ekonomik kayıplara ve can mal kaybına yol açması, bu doğal afetlerin zararlarını azaltılma ve arazi kullanım planlamalarına yönelik heyelan duyarlılık çalışmaları konusunu hem bilim insanları hem de kamu kurumları açısından son derece önemli hale getirmiştir. Heyelanların neden olduğu zararları önleyebilmek veya en azından azaltabilmek için, öncelikle heyelan envanterinin belirlenmesi ve duyarlılık analizi gerçekleştirilerek risk haritalarının oluşturulması gerekmektedir. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile bilişim teknolojileri ve yazılımlarındaki gelişmeler; veri depolama, istatistiksel analiz yapma ve makine öğrenmesi ile yapay zekâ yöntemlerinin heyelan duyarlılık analizlerinde kullanımını mümkün kılmaktadır. Heyelan envanter haritaları; heyelan duyarlılık, tehlike ve risk haritalarının üretilmesi için temel veri tabanları olarak işlev görmektedir (Aydinoğlu vd., 2021).

Heyelan envanter haritası, toprak derinliği, sertlik, hidrolik iletkenlik, toprak drenaj davranışı, toprak eğimi, toprak tipi, toprak erozyonu, yüzey dokusu, iç doku, litoloji drenaj yaşı ağı, yol ağı, arazi kullanım düzeni, bölgenin DEM'i ve jeolojisi gibi parametreler kullanılarak hazırlanır (Sharma vd., 2009, Dhakal vd., 2000). Karayolu projesi kaynaklı heyelan duyarlılık haritalamasının mekânsal analizinde doğru koşullandırıcı ve tetikleyici faktörlerin ve ÇKKV yönteminin seçilmesi çok önemlidir.

2.6. Toprak Kalitesi Etki Değerlendirmesinin Mekânsal Analizi

Erozyonun en önemli sebebi şiddetli yağışların gerçekleşmesidir. Su erozyonu varlığını ve şiddetini etkileyen beş temel etken vardır ve bunlar; yağış, topoğrafya, toprak özellikleri, bitki örtüsü, arazi kullanımıdır (Gökçe, 2019). Eğim, bitki örtüsü yoğunluğu ve taş örtüsü toprak erozyonunun önlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Yolun özellikleri, yani yol geometrisi, eğim, uzunluk, genişlik, yüzey ve bakımın yanı sıra toprak özellikleri ve bitki örtüsü sediman veriminin ana belirleyicileridir. Yolun yüzeyi, yarmalar, dolgu şevleri, köprüler ve menfez sahaları ve hendekler çökeltinin ana kaynaklarıdır. Artan su akışı ve açıktaki toprak yüzeyi, en yüksek erozyona ve tortu verimine neden olur (Forman ve Alexander, 1998).

Sayısal uydu verileri ve coğrafi bilgi sistemleri, toprak erozyonu haritalama çalışmalarında başarıyla kullanılmaktadır. Özellikle toprak erozyonu araştırmalarında, sayısal uydu verileri genellikle erozyon yüzeylerinin görsel yorumlanması ve arazi örtüsü ile kullanım türlerinin belirlenmesi için temel kartoğrafik materyal olarak rol oynamaktadır. Coğrafi bilgi sistemleri ise, geçmişte oluşturulmuş veya gelecekte üretilecek harita ve raporların bilgisayar ortamında paylaşımını, yeniden sınıflandırılmasını ve hem sayısal ve hem de basılı formatlarda saklanmasını sağlayan veri tabanı ortamları olarak kullanılmaktadır. Uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri teknikleri sayesinde gerçekleştirilen çalışmalar, doğruluk, hız ve maliyet açısından birçok avantaj sunmaktadır.

Uzaktan algılama ve CBS teknikleri erozyon modelleri için önemli rol oynayan dört temel indeksin hesaplanması ve belirlenmesinde büyük katkı sağlamaktadır. Bu indeksler şunlardır; • Aylık Yağış Miktarı: Meteoroloji istasyonlarından elde edilen aylık verilerle oluşturulan veri bankasından elde edilen Yağış Faktörü (R) • Toprak Özellikleri: Sayısal toprak haritaları ve büyük toprak gruplarının arazi çalışmalarından elde edilen önemli karakteristiklerin yorumlanmasıyla hesaplanan Toprağın aşınabilirlik faktörü (K) • Eğim: Yükseklik Modeli (DEM) kullanılarak belirlenen Eğim Derecesi ve Eğim Uzunluğu Faktörü (LS) • Bitki Yoğunluğu ve Arazi Örtü/kullanım Türleri: Uydu verileri ve arazi çalışmaları sayesinde saptanan vejetasyon faktörü (C) • Toprak ve su koruma önlemleri faktörü (P) (Özsoy, 2007). Bu indeksler, erozyon süreçlerinin ekili bir şekilde analiz edilmesi ve yönetilmesi için kritik öneme sahiptir.

2.7. Su Kalitesi Etki Değerlendirmesinin Mekânsal Analizi

Karayolları noktasal olmayan bir su kirliliği kaynağıdır. Karayollarının inşaatı ve inşaat sonrası koşulları, su kalitesini bozan ve yakındaki akarsuların mikro faunasının habitatını etkileyen kirleticiler üretir (Chen vd., 2009, Wu vd., 1998).

Yollarda toprak erozyonunun ve toz birikiminin en aza indirilmesi ve yolun coğrafi ve yüzey özelliklerinin dikkate alınması, yol akışından kaynaklanan su kirliliğinin azaltılmasına yönelik en iyi yönetim uygulamalarıdır (Abdewickrema vd., 2013).

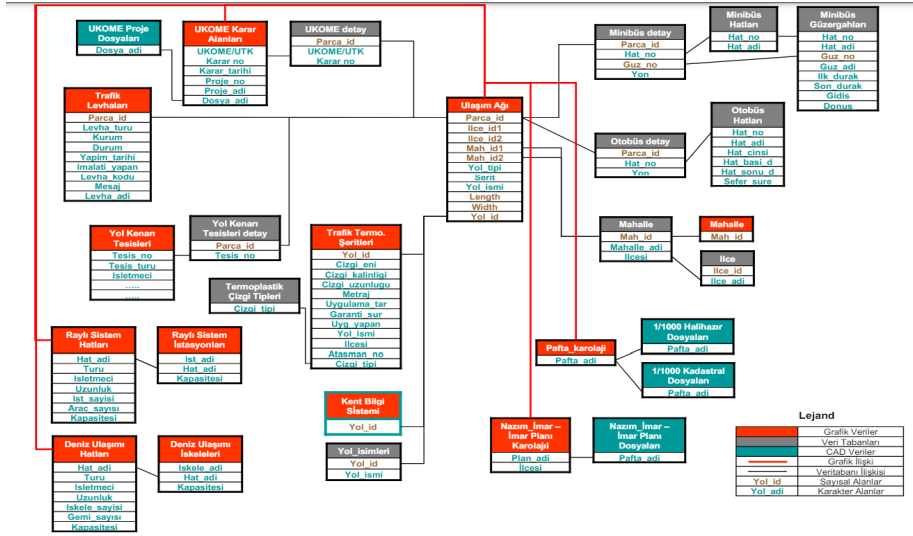
Planlanan altyapı projelerinin akarsu, göl, deniz gibi alıcı ortamlarda ve yer altı suyunda oluşturmaları beklenen etkilerin ayrıntılı bir şekilde hesaplanması gerekir. Etkiler bozunabilen (genellikle organik) ve bozunamayan (genellikle inorganik ve kalıcı) kirleticiler, çözünmüş oksijen, sıcaklık, toksik unsurlar ve bakteri konsantrasyonları için ayrı ayrı hesaplanmalıdır. Son yıllarda bu amaç için kullanılan bilgisayar modelleri geliştirilmiştir. Su kirliliği kontrolünde kullanılan matematiksel modellerin amacı; noktasal ve yaygın kaynaklardan alıcı ortamlara verilen kirleticilerin bu ortamların her noktasında oluşturdıkları konsantrasyon dağılımlarının hesaplanmasını sağlamaktır (Yıldız, ders notları).

3. Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Akıllı Ulaşım Sistemleri İlişkisi

Ulaşım, metropollerde Kent Bilgi Sistemleri (KBS) ile çözülmesi hedeflenen en önemli sorunlardan biridir. Ulaşım sorunlarının üstesinden gelmeden önce, mevcut yol ağları ve ulaşım sistemlerine dair verilerin tek bir merkezde toplanması şarttır. Bu veriler, gerektiğinde analiz ve sorgulama yapılabilmesi için bir veri tabanında güvenli bir şekilde saklanmalıdır. Ulaşım ve trafik projeleri için anlık bilgilere Ulaşım Bilgi Sistemi (UBS) aracılığıyla erişilebilmekte; elde edilen mekânsal veriler veri tabanında tutularak diğer yazılımlarla ilişkilendirilebilmektedir. Toplanan ve kullanılan konumsal ulaşım ile trafik verileri de Kent Bilgi Sistemleri ile entegre edilerek çeşitli sorgulama ve analiz süreçlerine tabi tutulmaktadır. Ayrıca, Akıllı Ulaşım Sistemleri (ITS) bileşenlerinin konum bilgilerini kaydetmek ya da yeni yerler tespit etmek amacıyla Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı Ulaşım Bilgi Sistemleri, bir karar destek aracı olarak kullanılmaktadır.

İstanbul Ulaşım Bilgisi Sistemi, İstanbul'un ulaşımına dair tüm verilerin toplanmasını, CBS formatına dönüştürülmesini, sınıflandırılmasını ve hızlı, kolay bir şekilde erişilebilir bir biçimde depolanmasını amaçlayan bir yazılım uygulamasıdır. UBS, ekonomik canlılığı desteklemek, yaya ve sürücü güvenliğini artırmak, çevre korumasını sağlamak, taşımacılık sistemleri arasında etkileşim oluşturmak ve ulaştırma yönetimi ile planlaması gibi önemli işlevleri yerine getirebilmek için CBS tabanlı olarak inşa edilmektedir. UBS'ne kaydedilen verilerin birbiriyle ilişkilendirilerek aktarılması, etkili bir veri modelinin tasarımı ve uygulanmasıyla mümkün olur. Bu sayede, grafik olarak ifade edilebilecek pek çok veri, veri tabanı ortamında güvenli bir şekilde saklanabilir hale gelmiştir.

Şekil.3.1'de görülen modelde İstanbul'un yol ağına ait geometri ve öznitelik bilgisini içeren "Ulaşım Ağı" katmanı sistemin merkezinde yer almış ve Yol_id, Parca_id gibi anahtarlar ile diğer katmanlara bağlanmıştır. Bu sayede birbirleriyle ilişkilendirilen ulaşım sisteminin verileri sorgulanabilir ve analiz edilebilir formatta depolanmıştır.



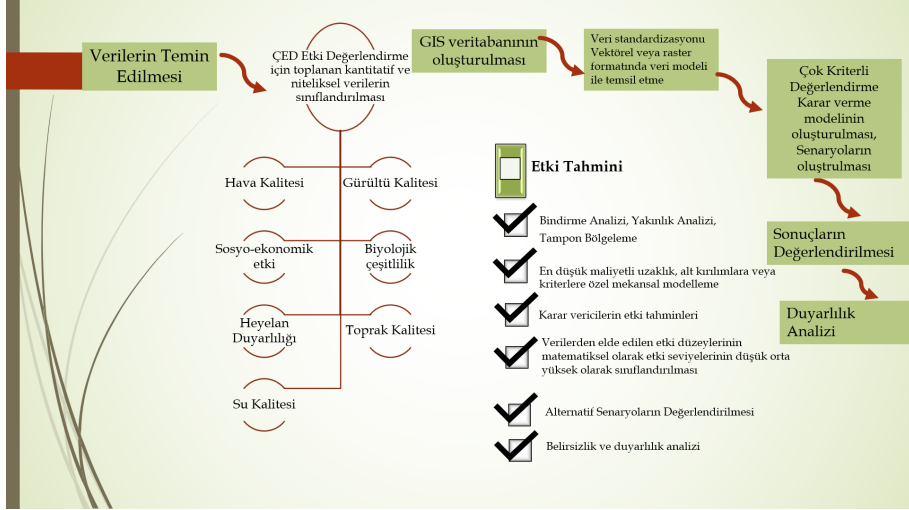
Şekil 3.1: Ulaşım Bilgi Sistemi Veri Modeli (Eğri vd., 2014)

AUS uygulamaları kapsamında gereksinim duyulan veriler, farklı kaynaklardan toplanarak bir araya getirilir, tek bir merkezde işlenir ve elde edilen sonuçlar üçüncü parti uygulamalara iletilir. Veri toplama, veri işleme, karar merkezi ve bilgi paylaşımı olarak üç ana bölümden oluşan bu sistemlerde CBS teknolojisinin faydalanılmaktadır. AUS kapsamında yer alan veriler, birbirlerinden farklı niteliklere sahiptirler. Bu verilerin bir kısmı statik olarak nitelendirilen coğrafi nitelikte harita verisi, bir kısmı söz konusu coğrafi veriler ile ilişkili olan sözel nitelikte veya topolojik nitelikte veriler, bir kısmı ise değişken ve dinamik nitelikte verilerdir. Statik coğrafi nitelikte olan harita verileri, bilinen sayısal harita teknikleri ve altlıkları kullanılarak barındırılmakta ve yönetilmektedir. Coğrafi verilere ilişkin olan sözel ve topolojik nitelikte veriler, CBS katmanlarında barındırılmakta ve yönetilmektedir. Değişken ve dinamik nitelikte olan ve yeni olarak nitelendirilebilecek veriler ise Yerel Dinamik Harita (YDH) katmanlarında barındırılmaktadır. Sistemlerin karmaşıklaşması, sistemlerden beklenen performansın artması, sistemde yer alan veri miktarlarındaki artışlar, daha uygun çözümler oluşturulması konusunda araştırmacıları zorlamaktadır. YDH yöntemi, karmaşık bir CBS içerisinde, daha etkin ve efektif bir şekilde veri erişimini, güncellemesini ve sorgulamasını sağlayan bir yöntem olarak kabul edilebilir (Çavdaroğlu, 2016).

4. Değerlendirme ve Sonuç

Bu çalışmada, Karayolu Projelerinin Çevresel Etkilerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Mekânsal analizi kapsamında, Hava kalitesi, Gürültü kalitesi, Sosyo-ekonomik etki değerlendirmesi, Biyolojik çeşitlilik, Heyelan duyarlılığı, toprak ve su kalitesi etki değerlendirmesinin mekânsal analizi ve Çevresel Etki

Değerlendirmesi'nin mekânsal analizinde Çok Kriterli Karar Verme süreci değerlendirilmiştir. Şekil 4.1'de ise bu değerlendirme sürecini temsil eden bir akış diyagramı oluşturulmuştur.



Şekil 4.1: Süreç Diyagramı

Çevresel Etki Değerlendirme (ÇED) raporları, planlanan faaliyetlerin çevre üzerinde yaratabileceği olumlu ve olumsuz etkilerin belirlenmesini sağlamak amacıyla yapılan kapsamlı çalışmalardır. Bu raporlar, olumsuz etkilerin önlenmesi veya en aza indirilmesi için alınacak önlemleri de içerir. Ayrıca, seçilen yer ve teknoloji alternatiflerinin değerlendirilmesi ile faaliyetlerin uygulanmasının izlenmesi ve denetlenmesi süreçlerini de kapsar. ÇED, ülkemizde sıkça başvuru alan önemli bir karar verme aracıdır. Herhangi bir altyapı projesinin çevresel etkilerinin değerlendirilmesi veya derecelendirilmesi bir ÇKKV sürecinin gerçekleştirilmesi bu çalışma ile önerilmektedir. CBS de, mekânsal analiz, katman analizi, tamponlama, koridor analizi, kümülatif etki analizi ve etki tahmini için görüş alanı analizi yoluyla ÇED'in işlem aşamasına katkıda bulunabilmektedir.

Projelerin çevresel etkilerinin değerlendirilmesi yapılırken, Mekânsal Çok Kriterli Karar Verme yöntemleri entegre edilmelidir. Karayolu projelerinin çevresel etkilerinin CBS tabanlı mekânsal analizi, CBS entegreli alt modellerin kullanımını içerir. Bu tür modeller, çevresel nitelikler üzerindeki etkilerin mekânsal ve zamansal dağılımını tahmin etmek için matematiksel, istatistiksel ve algoritmik yöntemler kullanır. Etkilerin mekânsal ve zamansal simülasyonunda CBS tabanlı teknikler, yani katman analizi, tamponlama, yakınlık analizi, mekânsal enterpolasyon, en az maliyetli yol, jeo istatistiksel yöntemler, belirsizlik analizi ve hassasiyet analizi kullanılır. ÇKKV, CBS ile birlikte çevresel özelliklerin ağırlıklandırılmasında ve alternatif senaryoların sıralanmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda çok çeşitli ÇKKV yöntemleri mevcuttur; ancak çalışmanın doğası, ÇKKV yönteminin seçiminde baskın kriterdir. ÇED raporlarının oluşturulmasında ve

karar alınmasında 3 boyutlu görselleştirme şeklindeki veri görselleştirme, TIN, tematik haritalar, sembolik haritalar, tablolar ve grafikler kullanılmaktadır.

Buna ek olarak, CBS, karayollarının planlanmasında, tasarımı, yapım yönetiminde, yol güvenlik analizlerinde, trafik yoğunluğunu azaltmak ve trafik akışını düzenlemek amacıyla akıllı ulaşım sistemlerinin kurgulanmasında ve etkili bir şekilde yönetilmesinde, optimum güzergâh planlamasında etkin biçimde kullanılmaktadır. Akıllı şehirlerin yönetimi ve geliştirilmesi, CBS ile sağlanmalıdır. Örneğin, rüzgâr enerji santralleri, katı atık depolama alanları ve akıllı kavşaklar gibi akıllı şehir uygulamalarının yer seçiminde CBS analizleri ve ÇKKV teknikleri kullanılarak en uygun lokasyonlar tespit edilebilmektedir.

Altyapı projelerine yönelik ÇED süreci gerçekleştirilirken mekânsal analize yönelik çalışmaların yapılmasında CBS bileşenlerinin kullanımı ve herhangi bir altyapı projesinin çevresel etkilerinin değerlendirilmesi veya derecelendirilmesi bakımından ÇKKV metotlarının kullanımı incelenen başlıkların çok disiplinli olmasından ötürü çok sayıda parametrenin bir arada değerlendirilmesine olanak sağlayan kapsamlı bir çalışmanın yapılmasına fayda sağlayacaktır.

Doğal kaynakların yönetimi ve korunması, Arazi yönetimi ve rekreasyon, Ekosistem restorasyonu, Türler ve habitat haritalaması/korunması, Hava, su kalitesi, arazi izinleri, Tesis/ varlık denetimleri ve bakımı, Özel araziler/irtifak envanteri/izleme, Halkın katılımı vb. başlıklarını, Çevresel etki değerlendirmesi yapılırken CBS uygulamalarının önemli bir rol oynayabileceği birçok farklı kullanım alanı olarak örneklendirebiliriz. Arazilerin mülkiyeti ve yönetimi, habitat ve ekosisteminin korunması, restorasyonu ve yönetimi ile ilgili yönetim ve geliştirme stratejilerinin değerlendirilmesi ve belirlenmesi için tüm kritik bilgilerin mevcut olması, saha projelerinin inşaat süreci ve sonrasında çevreye olacak potansiyel etkisinin değerlendirilmesi kritik öneme sahiptir. Projenin planlama aşamasında diğer kurumlardan görüş alınarak izin alınması gerekmektedir. Düzenleyici kurumlar özellikle kara, hava ve su kaynaklarının korunmasından sorumludur ve kurumların kendi veri tabanları vasıtasıyla, bu kritik tesislerin konumlarını tespitini yanı sıra, bu tesisleri çeşitli uyum kriterlerine karşı düzenli olarak denetlemek için bir araca sahip olmayı da içerir. Çevresel etki değerlendirmesi ile yetkili olan kuruluşların tamamı aynı zamanda bu iş akışları için de kritik olan özel saha koordinasyonu ve yönetimiyle de ilgilenmektedir.

CBS Çevresel ve doğal kaynakların korunması ve farklı türdeki projelerin çevresel etki değerlendirmesini desteklemek açısından kritik bir öneme sahiptir. Çevresel etki değerlendirmeleri ile gerekli izinlerin hayati rol oynadığı durumlar için, doğru bilgiye sahip olma veya doğru bilgiyi kullanma açısından, gelişmiş karar verme sürecini desteklemektedir. Bu bağlamda, 'Karayolu Projelerinin Çevresel Etkilerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Mekânsal analizi' konusunda karar verme sürecini desteklemek, arazi çalışmalarını kolaylaştırmak, analitik kabiliyetleri geliştirmek, operasyonel farkındalığı artırmak, iş akışlarını hızlandırmak, bütçe idaresini kontrollü olarak denetlemek ve bütçeyi doğru, verimli kullanabilmek gibi büyük ölçekli altyapı projelerinin planlama ve uygulama

aşamaları için bir karar destek mekanizması olarak sürecin yönetilmesine katkı sağlaması konusu bu çalışma özelinde araştırılmıştır. Ayrıca, teknolojik gelişmelere karşı uyumlu, akıllı ulaşım sistemleri ile entegre edilebilen bir sistemin kurgulanmasının faydaları üzerinde durarak söz konusu analizlerin yöntemleri, farklı türdeki etki değerlendirmelerin mekânsal analizlerine değinilerek sürecin nasıl geliştirilebileceği konusunda bir yol haritası oluşturulması bakımından yapılan değerlendirmeler bu türdeki çalışmaların yaygınlaştırılması bakımından önemli bir katkı sunmaktadır.

Çıkar çatışması bulunmamaktadır.

2-4 Mayıs 2024 tarihlerinde Türkiye’de düzenlenen SUMMITS24-4.Uluslararası Akıllı Ulaşım Sistemleri Zirvesi’ne sözlü sunum ile katılım sağlanmıştır.

Kaynaklar

Abewickrema AWn, Amanthika rWM, Abeysinghe ALTM, Tennakoon AH, Caldera HMM, Safnas M, Miguntanna nP. (2013). Assessment of water quality impacts of highway and road construction projects. *SAITM research Symposium on Engineering Advancements* – ; 2013 ; Available from: www.saitm.edu.lk/fac-of-eng/RSEA/SAITM_RSEA.

Akkerman, S. (2016). *Alt Yüklenicilerin İnşaat Projelerinde En Uygun Şekilde Atanmasına Yönelik Bir Karar Destek Sistemi*, ODTÜ , Y. Lisans Tezi.

Albalawneh, D.A., Mohamed, M.A. (2022) Evaluation of Using Genetic Algorithm and ArcGIS for Determining the Optimal-Time Path in the Optimization of Vehicle Routing Applications, *Mathematical Problems in Engineering*, Volume 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/7769951>

Al-Qershi, A. (2019). *Aliğa Bölgesinde Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Gürültü Kirliliğinin Haritalandırılması*, T.C. Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Y. Lisans Tezi.

Ayati, E., Neghab, M.P., Sadeghi, A., Moghaddam, A.M. (2019). Introducing roadside hazard severity indicator based on evidential reasoning approach, *Safety Science*, Volume 50, Issue 7, August 2012, Pages 1618-1626 , <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2012.03.023>

Aydinoğlu, A.Ç., Altürk, G. (2021). Heyelan Duyarlılık Haritalarının İstatistik ve Makine Öğrenmesi Teknikleri Kullanılarak Üretilmesi: Taşlıdere Havzası Örneği (Rize). *Coğrafya Dergisi*, DOI: 10.26650/JGEOG2021-814561.

Bachiller Ar, Wood G. (2001). *Geographic information systems (GIS) and EIA. In: Morris P, Therivel r, editors. Methods of environmental impact assessment*. 2nd ed. London: Taylor and Francis; p. 381–401.

Banyal, S., Aggarwal, RK., Bhardwaj, SK. (2019). A review on methodologies adopted during environmental impact assessment of development projects, *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, <https://doi.org/10.22271/phyto.2019.v8.i4aj.9273>

Banerjee, P., Ghose M.K. (2016). Spatial analysis of environmental impacts of highway projects with special emphasis on mountainous area: an overview ; *Impact assessment and project appraisal*, Vol. 34, no. 4, 279–293 ; <http://dx.doi.org/10.1080/14615517.2016.1176403>

Bayram, M. (2022). *Türkiye'deki Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) Süreçlerinin Karar Alma Süreçlerine Etkisinin Atık Yönetim Projeleri Özelinde Araştırılması*, Uludağ Üniversitesi, Y.Lisans Tezi.

Brown S. (2003). Spatial analysis of socioeconomic issues: gender and GIS in Nepal. *Mountain research and Development*. 23:338–344.

Chang KT. (2008). *Introduction to geographic information systems. 4th ed. new Delhi*: McGraw Hill Education. ISBN: 987-0-07-065898-1.

Chen Y, Viadero rC jr, Wei X, Fortney r, Hedrick LB, Welsh SA, Anderson jT, Lin LS. (2009). Effects of highway construction on stream water quality and macroinvertebrate condition in a mid-Atlantic highlands watershed, USA. *j Environ Qual*. 38:1672–1682.

Çavdaroglu, G.Ç. (2016). CBS'de Yeni Bir Katman: Yerel Dinamik Harita, 6.Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu.

Delcea, C., Chirita, N. (2023). Exploring the Applications of Agent-Based Modeling in Transportation; *Applied Sciences*; 13, 9815. <https://doi.org/10.3390/app13179815>

Dhakal AS, Amada T, Aniya M. (2000). Landslide hazard mapping and its evaluation using GIS: an investigation of sampling schemes for grid-cell based quantitative method. *Photogrammetric Eng remote Sens*. 66:981–989.

Eedy W. (1995). The use of GIS in environmental assessment. *Impact Assess*. 13:199–206.

Effat, H.A., Hassan, O.A. (2013) Designing and evaluation of three alternatives highway routes using the Analytical Hierarchy Process and the least-cost path analysis, application in Sinai Peninsula, Egypt, *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, Volume 16, Issue 2, December 2013, Pages 141-151; <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2013.08.001>

Eğri A., Kurşun, H., Harman M.M., Gündoğan F. (2014). CBS Tabanlı Ulaşım Bilgi Sisteminin Güncellenmesinde 360 Derece Panoramik Görüntülerin Öznitelik Verisi Toplanması Amacıyla Kullanımı: İstanbul Örneği. 5.Uzaktan Algılama ve CBS Sempozyumu.

Forman RTT, Alexander LE. (1998). Roads and their major ecological effects. *Annu rev Ecol Syst*. 29:207–231.

Gardziejczyk, W., Zabicki, P. (2014). The influence of the scenario and assessment method on the choice of road alignment variants, *Transport Policy*, <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2014.10.001>

Geneletti D. (2003). Biodiversity impact assessment of roads: an approach based on ecosystem rarity. *Environment Impact Assess rev*. 23:343–365.

Geneletti D. (2004a). A GIS-based decision support system to identify nature conservation priorities in an alpine valley. *Land Use Policy*. 21:149–160.

Geurs KT, Boon W, Wee BV. (2009). Social impacts of transport: literature review and the state of the practice of transport appraisal in the netherlands and the United Kingdom. *Transportation rev*. 29:69–90.

Gökçe, O. (2019) *Malatya Şiro Çayı Alt Havzası Erozyon Riskinin Yenilenmiş Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği (YETKE) ile Tespit Edilmesi*, T.C. İnönü Üniversitesi, Y. Lisans tezi.

Faisal, K., Shaker, A. (2017). An Investigation of GIS Overlay and PCA Techniques for Urban Environmental Quality Assessment: A Case Study in Toronto, Ontario, Canada, *Sustainability* <https://doi.org/10.3390/su9030380>

Jakimavicius, M. (2008) *Multi-Criteria Assessment of Urban Areas Transport Systems Development According to Sustainability, Technological Sciences*, Doktora Tezi.

Janosikova, L., Kohani, M., Blaton, M., Teichmann, D. (2012). Optimization of the Urban Line Network using a Mathematical Programming Approach, *Int. J. Sus. Dev. Plann.* Vol. 7, No. 3, DOI: 10.2495/SDP-V7-N3-288-301

Jecan, S., Arba, R., Rusu, L., Sitar-Taut, D. (2019). Monte Carlo Simulation Method For Risk Management in Road Pavement Maintenance Projects, *Environmental Engineering and Management Journal*, "Gheorghe Asachi" Technical University of Iasi, Romania.

Kara, M. A., Çiğertlioğlu, O. (2018). Türkiye Ekonomisinde Ulaşım Altyapısının Ekonomik Büyümeye Etkisi, *Gaziantep University Journal of Social Sciences*, 17 (2), 577-591, Submission Date: 24-01-2018, Acceptance Date: 28-03-2018.

Kiker, G.A., Bridges, T.S., Varghese, A., Seager T.P., Linkov, I. (2005). Application of Multicriteria Decision Analysis in Environmental Decision Making, *Integrated Environmental Assessment and Management* — Volume 1, Number 2 — pp. 95–108.

Litchfield I, Dockery DW, Ayres jG. (2010). Health effects of air pollution: acute and chronic. In: Harrison rM, nichols GL, Maynard rL, editors. *Environmental medicine*. London: Hodder Arnold, CrC Press. ISBN: 13 978-0-340-94656-5.

Malczewski j. (2006). A GIS based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. *Int j Geog Inf Syst.* 20:703–726.

Monavari SM, Momen Bellah Fard S. (2010). A GIS based assessment tool for biodiversity conservation. *Int j Environ res.* 4:701–712.

Moskvitina M. (1999). *GIS as a tool for environmental impact assessment: a case study of EIA implementation for the road building project in Stromstad, Sweden* (PhD thesis). Sweden: Dept. of Physical Geography, Lund University.

Özsoy, G. (2007). *Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) Teknikleri Kullanılarak Erozyon Riskinin Belirlenmesi*, T.C. Uludağ Üniversitesi, Toprak Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi.

Öztürk, B. (2011). *Çok Kriterli Karar Verme Tekniklerinden Bulanık TOPSIS ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci*, T.C. Uludağ Üniversitesi, İşletme Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi.

Padash, A. (2014). Modeling of Environmental Impact Assessment Based on RIAM and TOPSIS for Desalination and Operating Units, *Environmental Energy and Economics International Research*, ISSN: 2345-5772.

Pinto, N., Antunes, A.P., Roca, J. (2021). A Cellular Automata Model for Integrated Simulation of Land Use and Transport Interactions; *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 2021, 10(3), 149; <https://doi.org/10.3390/ijgi10030149>

Samani KM, Hosseiny SA, Lotfalian M, Najafi L. (2010). Planning road network in mountain forests using GIS and Analytic Hierarchical Process (AHP). *Caspian j Environ Sci.* 8:151–162.

Sameer, Y. M., Abed, A.N., Sayl, K. N. (2021). Highway route selection using GIS and analytical hierarchy process case study Ramadi Heet rural highway, IICESAT Conference, College of Material Engineering, University of Babylon, Iraq, *Journal of Physics: Conference Series* doi:10.1088/1742-6596/1973/1/012060

Sharma LP, Patel n, Ghosh MK, Debnath P. (2009). Geographic information system based landslide probabilistic model with trivariate approach – a case study in Sikkim Himalayas. 8th United nations regional Cartographic Conference for Asia and the Pacific; 2009 oct 26–29; Bangkok.

Skidmore A. (2002). *Environmental modelling with GIS and remote sensing 1/e*. London: Taylor and Francis.

Stevenson M. (1995). Social impact assessment of major roads. 20th World road Congress; 1995 Sep; Montreal, Quebec.

Şahin, Ş. ve Çabuk, A. (1998). Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Çevresel Etki Değerlendirmesinde Kullanımı. Ulaşılabilir GIS Semineri.

Yadav SK, Mishra GC. (2014). GIS in EIA for environmental management. *Int j Appl Eng res.* 9:335–340.

Vij, G. S., & Agrawal, M. L. (2013). A review paper on R&D efforts in assessing the traffic noise on highways. *Recent Research in Science and Technology*, 5(5), 54–58. <https://updatepublishing.com/journal/index.php/rrst/article/view/1064/1048>

Wang YM, Yang jB, Xu DL. (2006). Environmental impact assessment using the evidential reasoning approach. *Eur j oper res.* 174:1885–1913.

Wu JS, Allan Cj, Saunders WL, Evett jB. (1998). Characterization and pollutant loading estimation for highway runoff. *j Environment Eng.* 124:584–592.

Yıldız, B. Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, *Mühendislik Fakültesi ders notları*.

Zaoui, M., Himouri, S., Kadri, T., Benaouina, C. (2020). Selection of the best alternative for a road project to replace a section in a flood-prone area using GIS and AMC tools, *Journal of Materials and Engineering Structures* 7 (2020) 307–324. [21] Zeydan, Ö., Yıldırım, Y., Karademir, A., Durmuşoğlu, E. ; 2014 ; 5. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu.

Zhu, X. (2011). *GIS and spatial decision support*. In: Dawsen Cj, editor. *Environmental science, engineering and technology: geographic information system*. new York, nY: nova Scientific; p. 1–33. ISBN: 978-1-61209-925-5.

Zolfani SH, Rezaeiniya n, Zavadskas EK, Turskin Z. (2011). *Forest roads locating based on AHP and CoPrAS-G method: an empirical study based on Iran*. *Ekonomie.* 4:6–21.