

Açık Kaynak Kodlu Ağ Analiz Algoritmaları ve Arazi Örtüsü/Kullanımı Simülatörü

Open Source Toolboxes for Network Analysis and Land Cover/Land Use Simulation

Ömer AKIN , Ahmet EROĞLU , Hande DEMİREL 

İTÜ, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 34469 Maslak İstanbul, Türkiye
akinom@itu.edu.tr, eroglu18@itu.edu.tr, hande.demirel@itu.edu.tr

Geliş Tarihi (Received): 21.10.2019

Kabul Tarihi (Accepted): 07.01.2020

ÖZ

Açık kaynak kodlu yazılım, geliştiriciler ve kullanıcılar tarafından lisanslama ücreti olmadan kullanılabilen, değiştirilebilen ve paylaşılabilen yazılım çeşididir. Bu tür yazılımlar, seçilen alan ile ilgili yapılabilecek analizlerde özgürlük sağlayabilmesi, üretim maliyetinin düşük olması ve herhangi bir yazılıma bağlı kalmadan çalışabilmesi açısından oldukça faydalıdır ve gittikçe yaygınlaşmaktadır. Bu çalışma kapsamında, arazi örtüsü/kullanımı ve ulaştırma ilişkisini analiz eden, mevcut Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yazılımlarında bulunmayan algoritmalar, açık kaynak kodlu programlama dili olan Python programlama dili kullanılarak programlanmıştır. Geliştirilen algoritmalar, kullanılan yazılıma araç olarak eklenmiş ve CBS platformunda analiz yapılabilecek duruma getirilmiştir. Çalışma kapsamında geliştirilen araçlar; erişilebilirlik analizleri, ağ bütünlüğü analizleri ve geleceğe yönelik arazi örtüsü/kullanımı simülasyonlarıdır. Bu analizlerden erişilebilirlik; bir konumdan fırsatlara, istenilen bir ulaştırma sistemi kullanılarak ulaşılabilirlik kolaylığıdır. Ağ bütünlüğü, ulaştırma yatırımlarının yıllara bağlı performansının ölçülebilmesi için hesaplanır, ayrıca ağ bileşenlerinin kendi içinde kıyaslanabilmesine imkan verir. Arazi kullanımı simülasyonları ise mevcut arazi örtüsü/kullanımı haritalarından yararlanarak geleceğe yönelik tahminde bulunabilmek için yapılmaktadır. Analizler başarı ile bir CBS yazılımının içinde çalışacak hale getirilmiş ve Türkçe bir arayüz ile son kullanıcıya sunulmuştur. Hazırlanan arayüzler, proje kapsamında üretilmiş 1997, 2007 ve 2014 yıllarına ait çalışma bölgesi verileri ile test edilmiş ve sonuçlar tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Coğrafi Bilgi Sistemleri, Açık kaynak kodlu yazılım, Erişilebilirlik, Ağ Bütünlüğü, Arazi örtüsü/kullanımı simülasyonları.

ABSTRACT

Open source software is a type of software that can be used, modified and shared by developers and users without licensing fees. They are very useful and becoming more widespread in terms of providing freedom in analyzing the selected area of interest, having low production cost and working without being dependent on any software. In this study, algorithms that analyze the relationship between land cover / use and transportation that do not exist in current Geographical Information Systems (GIS) software were programmed by using open source programming

language Python. Developed tools were added to the used software as tools and made available to perform analyzes on GIS platform. Tools developed within the scope of the study are; accessibility analyzes, connectivity analyzes and future land cover/use simulations. Accessibility is the ease of access from one location to another, using the desired transportation system. Connectivity is calculated in order to measure the performance of transportation investments over the years and allows the comparison of network components. Land use simulations are made to make predictions for the future by using the existing land cover/use maps. Analyzes were successfully made to work in a GIS software and presented to the end user with a Turkish interface. Developed interfaces were tested with the data of 1997, 2007 and 2014 produced for the study area within the scope of the project, and the results were discussed.

Keywords: Geographic Information Systems, Open source software, Accessibility, Connectivity, Land use simulations.

1. GİRİŞ

Açık kaynak kodlu yazılımlar, genellikle gönüllülük esasına dayalı, geliştiriciler ya da kullanıcılar tarafından erişilebilir, değiştirilebilir ve geliştirilebilir ücretsiz lisanslı yazılımlardır. Açık kaynak kodlu bir yazılımın; herhangi bir amaç için kullanılabilirliği, çalışma prensiplerine ve gereksinimlere göre uyarlanabilirliği, kopyaların yeniden dağıtılabilirliği, iyileştirilebilir/geliştirilebilir olması ve toplumun/kullanıcı gruplarının yararına iyileştirmeler yapılabilirliği, özgür yazılım kriterlerince kullanıcılar tarafından beklenen özellikleridir.

Friedrich'e (2014) göre, açık kaynak kodlu yazılımların karşılanması gereken kriterler; serbest yeniden dağıtılabilirlik, kaynak kodun yazılıma dahil edilmesi, kaynak kod tabanının değiştirilmesine izin verilmesi, bireylere veya gruplara ayrımcılık yapılmaması, dağıtılmış lisansın olması ve bu lisansın bir ürüne özgü olmaması, lisansın diğer yazılımları kısıtlamaması ve lisansın teknolojiye bağımsız olması gerekmektedir.

Açık kaynak kodlu Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yazılımlarının da bu özgür yazılım özelliklerini taşıması gereklidir. Açık kaynak kodlu CBS yazılımları; basit masaüstü CBS, uzaktan algılamaya yönelik CBS, üç boyutlu CBS görselleştirme araçları ve diğer araçlar (CBS web haritalama, araçlar ve programlama kütüphaneleri, mekansal veri tabanları) olmak üzere dört farklı kategoride incelenebilir (Tsou ve Smith, 2011; Demirel ve Şeker, 2015).

CBS alanında, içlerinde birçok farklı analiz yöntemleri bulunan Quantum GIS, Grass gibi açık kaynak kodlu yazılımların yanı sıra, bu çalışmada olduğu gibi, mevcut yazılımlara arayüz geliştirme yöntemiyle, yapılabilecek analizlerin çeşitliliği arttırılmaktadır (Lee, An, Yu ve Oh, 2014; Ford, Barr, Dawson ve James, 2015; Nyberg, Nixon ve Sanderson, 2018). Mevcut CBS yazılımlarında uygulama geliştirmek veya bağımsız CBS araçları geliştirmek için, mevcut programlama dillerinden açık kaynak kodlu programlama dili Python, zengin kütüphaneleri, mekansal analizlere uygunluğu ve kolay anlaşılabilirliği nedeniyle tercih edilmektedir. Çalışma kapsamında mevcut CBS yazılımlarında bulunmayan analiz yöntemlerinden erişilebilirlik, ağ bütünlüğü analizleri ve arazi örtüsü/kullanımı simülasyonlarına yönelik araçlar, Python dili kullanılarak CBS ortamında çalışacak şekilde geliştirilmiştir. Bu araçlar, TÜBİTAK-1001 araştırma-geliştirme projesi olan ve Ağustos 2018'de tamamlanan ÇAYDAG-115Y692 projesi kapsamında geliştirilmiştir. Tasarlanan araçların kodlaması, Python 2.7 versiyonu ile yapılmıştır. Hazırlanan bu Türkçe arayüzler, çalışma bölgesi için proje kapsamında üretilmiş, 1997, 2007, 2014 yılları verileri ile test edilmiş ve başarılı bir şekilde çalıştığı gözlemlenmiştir (Akın, Eroğlu ve Demirel, 2019).

2. ÇALIŞMA ALANI VE VERİLER

a. Çalışma Alanı

Çalışma bölgesi, İstanbul ili Avrupa Yakası'ndaki 19 ilçeyi, bu bölgede bulunan karayollarını (E-5, TEM ve bağlantı yolları) ve metrobüs hattının bir bölümünü kapsamaktadır. Çalışma bölgesinin toplam alanı yaklaşık 642 km² ve nüfusu 5.424.562'dir (TÜİK, 2019). Çalışma bölgesi, Şekil 1'de sunulmaktadır. Seçilen çalışma alanı, ulusal ve uluslararası yük taşımacılığında ana arter durumunda bulunan bir çekim merkezidir. Alan; kuzeyde Çatalca, doğuda Eyüpsultan, batıda Büyükçekmece ve güneyde

Bakırköy ilçeleriyle çevrili olup, İstanbul Avrupa yakasında Metrobüs hattının ulaştırmayı etkilediği 19 ilçe olarak belirlenmiştir. Bu ilçeler: Bakırköy, Beylikdüzü, Fatih, Bahçelievler, Zeytinburnu, Güngören, Küçükçekmece, Bağcılar, Bayrampaşa, Gaziosmanpaşa, Esenyurt, Esenler, Avcılar, Çatalca, Büyükçekmece, Sultangazi, Başakşehir, Arnavutköy ve Eyüpsultan'dır.

b. Veriler

Geliştirilen araçların test edilmesi adına, proje kapsamında üretilmiş 1997, 2007 ve 2014 yılları için çalışma bölgesine ait arazi örtüsü/kullanımı haritaları, ulaşım ağı, hastahane, üniversite gibi çekim merkezleri ve ilgili yıllara ait mekansal değişkenler olan eğim, sayısal yükseklik modeli haritaları, girdi veriler olarak kullanılmıştır.

Arazi örtüsü/kullanımı haritaları üretmek için kullanılan uydu görüntüleri, TÜBİTAK-1001 projesi (Proje No:115Y692) kapsamında 1997, 2007 ve 2014 yılları için sırasıyla, 20*20m, 20*20m ve 1,5*1,5m çözünürlüklü Spot 2, 4 ve 6 uydularından elde edilmiştir. Elde edilen görüntülerden, kontrollü sınıflandırma yöntemi kullanılarak, uluslararası bir sınıflandırma standardı olan CORINE standartlarına göre arazi örtüsü/kullanımı haritaları üretilmiştir (EEA, 2000). Sınıflandırma işlemi için piksel tabanlı "En yakın benzerlik" algoritması kullanılmıştır ve sırasıyla 4, 6 ve 0.5m karesel ortalama hata ile arazi örtüsü/kullanımı haritaları üretilmiştir. Ulaşım ağı, hastane ve üniversite gibi çekim merkezleri verileri uluslararası açık veri kaynağı Openstreetmap veri tabanından alınmış ve ilgili yıllara ait uydu görüntüleri yardımıyla geriye dönük seneler için düzenlenmiştir. Sayısal yükseklik modeli, 30m * 30m çözünürlükte, açık veri platformu USGS Earth Explorer platformundan elde edilmiş, eğim haritası ise bu veri kullanılarak yapılan mekansal analiz sonucu oluşturulmuştur.

3. YÖNTEM

a. Erişilebilirlik

Erişilebilirlik, insanların ve/veya ticari faaliyetlerin istenilen mallara, tesislere ve etkinliklere ulaşabilme kolaylığı olarak tanımlanmakta olup, sürdürülebilir ulaştırmanın temelini oluşturmaktadır.



Şekil 1. Çalışma Alanı

Çalışma kapsamında, literatürde mevcut erişilebilirlik göstergelerinden, çekim yasasına benzeyen, bir çekim veya olanak faktörünün yanısıra maliyet faktörü de içeren potansiyel ve günlük erişilebilirlik göstergeleri kullanılmıştır. Bu göstergelerden Eşitlik 1'de gösterilen potansiyel erişilebilirlik, herhangi bir başlangıç noktasından, fırsatlara belirli bir ulaştırma sistemi üzerinden potansiyel erişilebilirlik kolaylığı şeklinde tanımlanmaktadır (Hansen, 1959; Dalvi ve Martin, 1976; Geurs ve van Wee, 2004).

$$A_p = \sum_j \frac{w_j}{C_{ij}} \quad (1)$$

Bu eşitlikte w_j ağırlığı, gayri safi yurt içi hasıla ve nüfus gibi ekonomik veya çekim potansiyelini tanımlamaktadır. j hedef noktayı, C_{ij} ise başlangıç noktası i ve hedef noktası j arasındaki mesafeyi, ulaştırma süresini veya maliyeti tanımlamaktadır (Dundon-Smith ve Gibb, 1994).

Günlük erişilebilirlik ise potansiyel erişilebilirliğe benzerdir, fakat ulaştırma zamanı/mesafesi yönünden hesaplamaları kısıtlamaktadır. Bireyin veya yükün gün içinde ulaşabileceği fırsatlar, etkinlikler olarak düşünülür ve sadece bir bölge ve o bölgeye komşu olan diğer alanlar içerisindeki erişilebilirliğin hesaplanması için kullanılmaktadır (Lutter, Putz ve Spangenberg, 1992; Geurs, 2006).

Günlük erişilebilirlik, literatürde daha çok yürüme veya toplu taşıma ulaştırma türleri için kullanılmaktadır. Iacono, Krizek ve El-Geneidy (2008), günlük erişilebilirlik için 3km yürüme mesafesini, insanların gün içinde gidebileceği yerler için sınır olarak tanımlamıştır.

$$A_d = \sum_j \frac{\delta_{ij} w_j}{(C_{ij})^\beta} \quad (2)$$

2 numaralı eşitlikte, β mesafeye karşı direnç (distance decay parameter), δ_{ij} ise ikili (binary) günlük erişilebilirlik değişkenidir. Formülde yer almayan C_{max} değişkeni, günlük erişilebilecek komşuluk eşik değeridir. $C_{ij} \leq C_{max}$ olduğu durumlarda δ_{ij} bire eşit, olmadığı durumlarda ise sıfıra eşittir. Çalışma kapsamında, C_{max} değeri 3 kilometre, β direnç değeri ve hedef noktaların ağırlıkları w_j , 1 olarak kabul edilmiştir.

b. Ağ Bütünlüğü

Ulaştırma yatırımlarının yıllara bağlı performanslarının ölçülebilmesi için erişilebilirliğe ek olarak ağ bütünlüğü analizlerinin de yapılması gerekmektedir (Demirel, Kompil ve Nemry, 2015). Ulaştırma çalışmalarında, ağ bütünlüğü göstergeleri, bir ulaşım ağının hizmet seviyesini değerlendirmek için kullanılan göstergelerdir. Çalışma kapsamında, literatürde mevcut göstergelerden; çekim, arasındalık, doğrusallık, ağ yoğunluğu ve jeodezik mesafe göstergeleri kullanılmıştır. Bu göstergelerden çekim, arasındalık ve doğrusallık göstergeleri, ulaşım ağındaki elemanların önem derecesini belirten düğüm bazlı göstergelerdir (Freeman, 1978; Crucitti, Latora ve Porta, 2006). Bu elemanların bulunması karar vericilere ağdaki kritik noktaları tespit edip, alternatifler geliştirme veya yatırımlarını yönlendirme imkanı sağlar.

Çalışmada kullanılan düğüm bazlı göstergelerden çekim göstergesi, ağdaki düğüm noktalarının birbirlerine ulaşılma ölçütü olarak değerlendirilir ve 3 numaralı eşitlikte gösterilmiştir.

$$C_i^R = \sum_{i,j \in G} \frac{w_j}{(e)^{\beta * d_{ij}}} \quad (3)$$

w_j düğüm noktalarının ağırlığını, d_{ij} başlangıç düğümü olan i 'nin hedef düğümü j ile arasındaki ağ uzaklığını, β ise mesafe direncini gösterir.

Arasındalık göstergesi, ağ üzerinde en kısa yollardan kaç tanesinin ilgili düğüm üzerinden geçtiğini öğrenmek adına geliştirilmiş bir göstergedir. Bu sayede ağ üzerinde köprü görevi gören kritik düğüm noktaları bulunabilir ve yatırımlar bu noktaları rahatlatmak adına kurgulanabilir.

$$C_i^B = \sum_{s,t \in G} \frac{\sigma_{st}(i)}{\sigma_{st}} \quad (4)$$

Denklemden σ_{st} , s ve t noktaları arasındaki toplam en kısa yol sayısı, $\sigma_{st}(i)$ ise bu en kısa yollardan, i düğüm noktasının üzerinden geçenlerin sayısı olarak ifade edilir.

5 numaralı denklemde gösterilen doğrusallık göstergesi, başlangıç-hedef çiftleri arasındaki toplam Öklid mesafeler ile toplam jeodezik mesafeler arasındaki orandır. Ağ üzerindeki gerçek yollar ile düğüm noktaları arasında harita üzerinde çizilebilecek en kısa Öklid yollarının yakınlığı değerlendirilir.

$$C_i^S = \sum_{i,j \in G} \frac{\delta_{ij}}{d_{ij}} \quad (5)$$

Eşitlikte, δ_{ij} , i ve j düğümleri arasındaki Öklid mesafesini, d_{ij} ise, ağ üzerindeki en kısa mesafeyi göstermektedir.

Çalışma kapsamında incelenmiş kenar bazlı göstergelerden, Ağ Yoğunluğu göstergesi, 1 km² alan içerisine düşen toplam ulaşım ağı uzunluğudur. Oranın yüksek olması, ağın daha gelişmiş ve karmaşık olduğunun göstergesidir. Jeodezik mesafe göstergesi ise, iki düğüm arasında, onları birbirine bağlayan en kısa yolların ortalaması şeklinde tanımlanmıştır (Bouttier, Francesco ve Gutter, 2003).

c. Arazi Kullanımı Simülasyonu

Çalışma kapsamında, simülasyon yapılacak ilgili yıllara ait yollara olan yakınlık, yerleşim yerlerine ve endüstri merkezlerine olan yakınlık, hastane ve okullara yakınlık, sayısal yükseklik

modeli ve eğim mekansal değişkenlerin değişimleri sonucu gerçekleşen arazi örtüsü/kullanımı, üç farklı yöntemle analiz edilmiştir. Denklemi etkileyen mekansal değişkenlerden, yollara olan yakınlık parametresi denklemi etkileyen önemli faktörlerdendir. Eğer değişime uğrayacak hücre yollara yakınsa, bu hücrenin kentleşme ihtimali yüksektir. Aynı şekilde mevcut yerleşim yerlerine ve endüstriyel bölgelere yakın olan hücrelerde de kentleşme artma ihtimali diğer bölgelere göre fazladır. Bölgenin topografik yapısını gösteren eğim ve yükseklik parametreleri ise uygun kentleşme altyapısının sağlanabilmesi açısından önemlidir. Eğimi yüksek olan hücrelerde kentleşme ihtimali düşük, daha normal eğime sahip hücrelerde ise yüksektir. Aynı şekilde hastane ve okullar, etrafındaki arazi kullanımını etkileyen dinamikler olduğundan, bu merkezlere yakınlık, arazi kullanımı değişimi incelenirken sıklıkla kullanılan değişkenlerdir. Çalışma kapsamında arazi kullanımı değişimi için incelenen yöntemler, lineer regresyon, mantıksal regresyon, yapay sinir ağlarıdır.

Kurulan modellerin doğruluğu, 6 numaralı denklemde verilen Kappa doğrulama yöntemi kullanılarak, bilinen harita ile simülasyon haritası arasındaki farktan yararlanılarak incelenmiştir (Cohen, 1960).

$$Kappa = \frac{p_o - p_c}{1 - p_c} \quad (6)$$

Denklemden, p_o model sonucunun doğru yüzdesi iken, p_c beklenen doğru yüzdesidir.

Kullanılan yöntemlerden lineer regresyon yöntemi, bağımlı değişken ile bağımsız değişkenlerin arasındaki ilişkinin belirlenmesinde kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. 7 numaralı eşitlikte gösterilen yöntemde, x olarak gösterilen tahmin edici değişken, bağımsız değişken; y olarak gösterilen tahmin edilen çıktı ise bağımlı değişken olarak isimlendirilir.

$$y = \beta x + \varepsilon \quad (7)$$

8 numaralı denklemde gösterilen mantıksal regresyon, birden fazla bağımsız değişkenden bağımlı değişkeni, 1 ya da 0 şeklinde ikili sonuca vararak tahmin etme prensibiyle çalışır. Arazi kullanımı için düşünüldüğünde, bir pikseldeki arazi kullanımının, ilgili mekansal faktörlere bağlı olarak değişebileceğini veya değişmeyeceğini saptamaya yarar. Yöntemin 1 ya da 0 sonucuyla

çalışması bu yöntemin bir sınıflandırma algoritması olarak kullanılmasına olanak tanır.

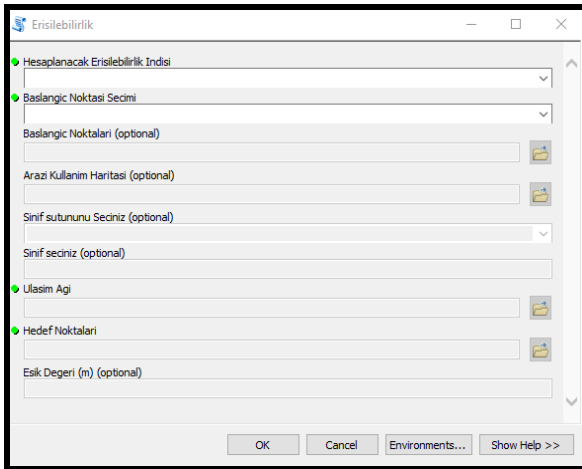
$$\log\left(\frac{p_{ij}^i}{1-p_{ij}^i}\right) = \beta_0 + \beta_1 x_{ij,1}^i + \beta_2 x_{ij,2}^i + \dots + \beta_n x_{ij,k}^i \quad (8)$$

Eşitlikte, ij hücresindeki kentleşmenin gelişim olasılığı eşitliğinin sol tarafında yer alırken, β değerleri, x mekansal faktörlerin katsayılarıdır.

Yöntemlerden sonucusu olan yapay sinir ağları modelleri, arazi kullanımı simülasyonlarında lineer olmayan problemlerin çözümünde sıklıkla kullanılmaktadır (Qiang ve Lam, 2015; Liu ve diğerleri, 2017; Omrani, Tayyebi ve Pijanowski, 2017). Simülasyon modellerinde kullanılan en popüler yapay sinir ağları yöntemi, geri beslemeli yapay sinir ağları modelidir. Girdi veri setindeki değerler rastgele ağırlıklarla değerlendirilerek ara katmanlara gider ve sonra çıktı katmanı ile karşılaştırılır. Karşılaştırmalar sonrasında ağırlıklar, geri beslemeli şekilde katsayılara düzeltme getirilerek değişir.

4. SONUÇLAR

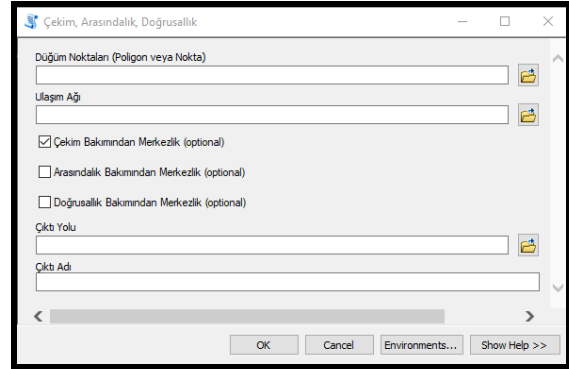
Mevcut CBS yazılımlarında bulunmayan bu analizleri gerçekleştirebilmek adına 4 farklı araç geliştirilmiştir. Bu araçlardan Şekil 2'de gösterilen erişilebilirlik arayüzünde potansiyel ve günlük erişilebilirlik hesaplama seçenekleri bulunmaktadır. Sınıflandırılmış arazi örtüsü/kullanımı haritası ya da ilgi noktaları girdi olacak şekilde tanımlanarak başlangıç noktalarının ve hedef noktalarının toplam erişilebilirlik değerleri hesaplanabilmektedir.



Şekil 2. Erişilebilirlik hesabı arayüzü

Bu hesaplamada, başlangıç girdi verisi olarak arazi kullanımı haritası seçildiğinde, seçilen arazi örtüsü/kullanımı sınıfı üzerinde 1km * 1km gridler oluşturulup, grid orta noktaları, analizde ihtiyaç duyulan başlangıç noktaları olarak üretilir. Bu yöntem, literatürde bulunan trafik bölgelerinin (zonlarının) ya da ilçe merkezlerinin orta noktalarını kullanarak hazır yazılım paketleri çözümlerine kıyasla, içerdiği hassasiyet ve mekansal çözünürlük dolayısıyla büyük avantaj sağlamaktadır (Shoman ve Demirel, 2018). Başlangıç noktalarının yanı sıra hedef noktaları ve ilgili yıla ait ulaşım ağı seçilerek, toplam erişilebilirlik, veri tabanına kayıt edilir.

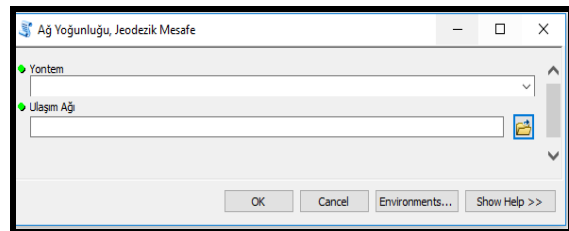
Ağ bütünlüğü analizleri için 2 farklı arayüz geliştirilmiştir. Şekil 3'de gösterilen ilk arayüzde düğüm bazlı analizler olan çekim, arasındalık ve doğrusallık analizleri yer almaktadır.



Şekil 3. Çekim, arasındalık ve doğrusallık hesabı için arayüz

Bu arayüzde girdi olarak ulaşım ağı elemanlarından düğüm noktaları ve ağın kendisi girilir. Üzerlerine ilgili analiz sonucu işlenmiş şekilde ağ elemanları, analizin sonucu olarak veritabanına kaydedilir.

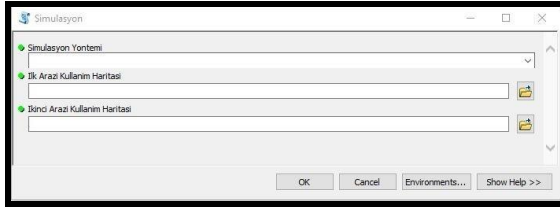
Kenar bazlı göstergeler olan, ağ yoğunluğu ve jeodezik mesafe göstergelerinin hesaplanması için Şekil 4'de gösterilen arayüz geliştirilmiştir.



Şekil 4. Ağ yoğunluğu ve jeodezik mesafe hesaplama arayüzü

Hazırlanan arayüzde ağ yoğunluğu ve jeodezik mesafe göstergeleri hesaplanmaktadır. Ağ yoğunluğu ve jeodezik mesafe için ilgili yıla ait ulaşım ağı verisi girdi olarak tanımlanmaktadır. Ağ yoğunluğu hesabında, girdi ulaşım ağı verisinin sınırları içerisinde 1km*1km gridler oluşturularak, grid başına düşen toplam yol uzunluklarının ortalaması hesaplanır ve sonuç, harita ve tablo şeklinde sayısal olarak kayıt edilir.

Arazi kullanımı simülasyonu yöntemleri için Şekil 5'de gösterilen arayüz tasarlanmıştır.



Şekil 5. Arazi simülasyonu arayüzü

Lineer regresyon yönteminde çıktı olarak görsel bir sonuç verilememekte, ancak tahmin edilen yılın arazi kullanımı sınıflarına ait sayısal alan değerleri veri tabanına kaydedilebilmektedir. Mantıksal regresyon ve yapay sinir ağları yöntemleri ise hem görsel bir harita şeklinde, hem de tablo olarak arazi kullanım sınıflarının değişimini ve değişim değerlerini başarılı bir şekilde gösterebilmektedir.

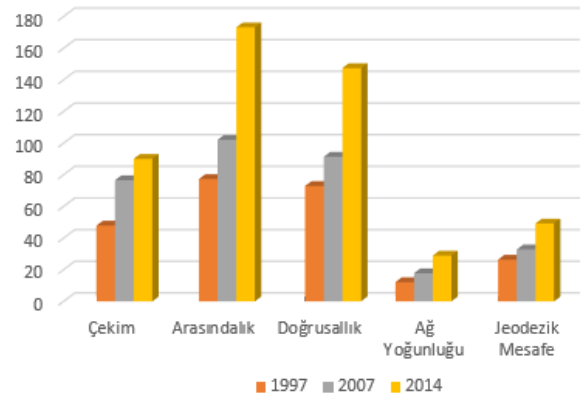
Arayüzlerin kodlanması sürecinde açık kaynak kodlu Python 2.7 programlama dili kullanılmıştır. Erişilebilirlik ve kenar bazlı ağ bütünlüğü arayüzlerinin kodlanma sürecinde, ArcMap üzerinde işlem yapmayı sağlayan arcpy kütüphanesi haricinde, matris işlemleri için numpy kütüphanesi kullanılmıştır. Çekim, arasındalık ve doğrusalılık değerlerinin hesaplanması için Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nün hazırlanmış olduğu, Andres Sevtsuk, Michael Mekonnen, Raul Kalvo tarafından yazılan açık kaynak kodlu "Urban Network Analysis Toolbox" arayüzünün kaynak kodlarından faydalanılmıştır (Sevtsuk ve Mekonnen, 2012). Simülasyon yöntemleri için ise raster veri analizi için GDAL, matris işlemleri için numpy, mantıksal regresyon ve yapay sinir ağları modeli oluşturabilmek adına ise scikit-learn ve keras kütüphaneleri kullanılmıştır.

Tasarlanan arayüzler, proje taahhütüne uygun olarak ArcMap yazılımına entegre edilmiş ve farklı yıllara ait veri setleri ile test edilmiştir. Çalışma kapsamında, 2007 ve 2014 yılları için, arazi kullanım haritalarından üretilmiş kentin ikamet edilen bölgelerinden, eğitim ve sağlık

merkezlerine erişilebilirlik analizleri, 1997, 2007 ve 2014 yılları için ağ bütünlüğü testleri ve 2023 yılına yönelik arazi kullanım simülasyonları, ilgili arayüzler kullanılarak yapılmıştır.

Çalışma alanı için 2007 ve 2014 yıllarında, yerleşim sınıfından eğitim merkezlerine olan potansiyel toplam erişilebilirliğin %21,31, sağlık merkezlerine olan potansiyel toplam erişilebilirliğin ise %38,46 artış gösterdiği, erişilebilirlik arayüzü üzerinden hesaplanmıştır. Günlük erişilebilirlikte bu değerler sırasıyla %16,8 ve %31,12 olarak hesaplanmıştır. Bu süreçte yapılan ulaştırma yatırımları, insanların ikamet ettiği bölgelerden, özellikle sağlık merkezlerine olan mesafeyi kısaltarak, erişimi verimli bir şekilde arttırmıştır.

Ağ bütünlüğü analizleri, beş farklı gösterge kullanılarak, 1997, 2007 ve 2014 yılları için, geliştirilen arayüzler aracılığıyla yapılmıştır ve sonuçlar Şekil 6'da sunulmaktadır.



Şekil 6. Ağ Bütünlüğü Analizi Sonuçları

Sonuçlar karşılaştırmalı olarak incelendiğinde, özellikle arasındalık ve doğrusalılık göstergelerinde metrobüsün açıldığı tarihten sonra, diğer döneme göre daha fazla artış gözlemlenmiştir. Bu sonuç, 2007-2014 yılları arasında gerçekleştirilen yatırımların, en kısa yol mesafelerini kısalttığı ve ağıdaki kilit noktaları üzerindeki stresi azalttığı anlamına gelmektedir. Diğer göstergeler çekim, ağ yoğunluğu ve jeodezik mesafe göstergeleri de ağın performansının devamlı arttığına bir göstergedir. Elde edilen bu sonuçların, çeşitli CBS analiz yöntemleri bir arada kullanılarak kontrolü yapılmış ve arayüzlerin beklenen doğrulukta çalıştığı gözlemlenmiştir.

Arazi kullanımı simülasyonu için ise ilk olarak 1997 yılından 2007 yılına olan arazi kullanımı ve mekânsal değişkenler değişimi referans alınarak

önce 2014 yılı arazi kullanımı simüle edilmiş ve bu yıla ait gerçek arazi kullanımı haritasıyla karşılaştırılarak model doğruluğu test edilmiştir. Bu doğrulama kappa doğrulama yöntemi kullanılarak yapılmış ve kappa doğruluğu, mantıksal regresyon için %88, yapay sinir ağı yöntemi için %83 olarak bulunmuştur. Mekansal değişkenler olarak mevcut vektör verilerden (yollar, hastane ve okullar, endüstri bölgeleri, yerleşim yerleri), raster tabanlı “yakınlık” haritaları, öklid mesafe yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Ayrıca sayısal yükseklik modeli ve bu modelden üretilmiş eğim haritası da girdi veriler olarak kullanılmıştır. Arayüz, girdi verileri kullanarak, ilgili matematiksel eşitlikleri oluşturup, lineer regresyon için simülasyon yılına ait alan değerlerini, mantıksal regresyon ve yapay sinir ağı için ise sonuç haritaları üretmiştir.

Lineer ve mantıksal regresyon yöntemleri yalnızca yerleşim sınıfındaki değişimi gözlemlemek için kullanılmıştır. Lineer regresyon için istatistiksel doğruluk değeri olarak R^2 değeri 0,77 bulunmuştur. İstatistiksel sonuçlar detaylı bir şekilde incelendiğinde, şehirdeki kentsel bölge değişiminin doğrusal bir trend izlemediği sonucuna varılmıştır. Bu yöntemler sonucu elde edilmiş yerleşim sınıfına ait alan bilgileri Tablo 1’de verilmiştir (Aldoğan, Akın, Eroğlu ve Demirel, 2018).

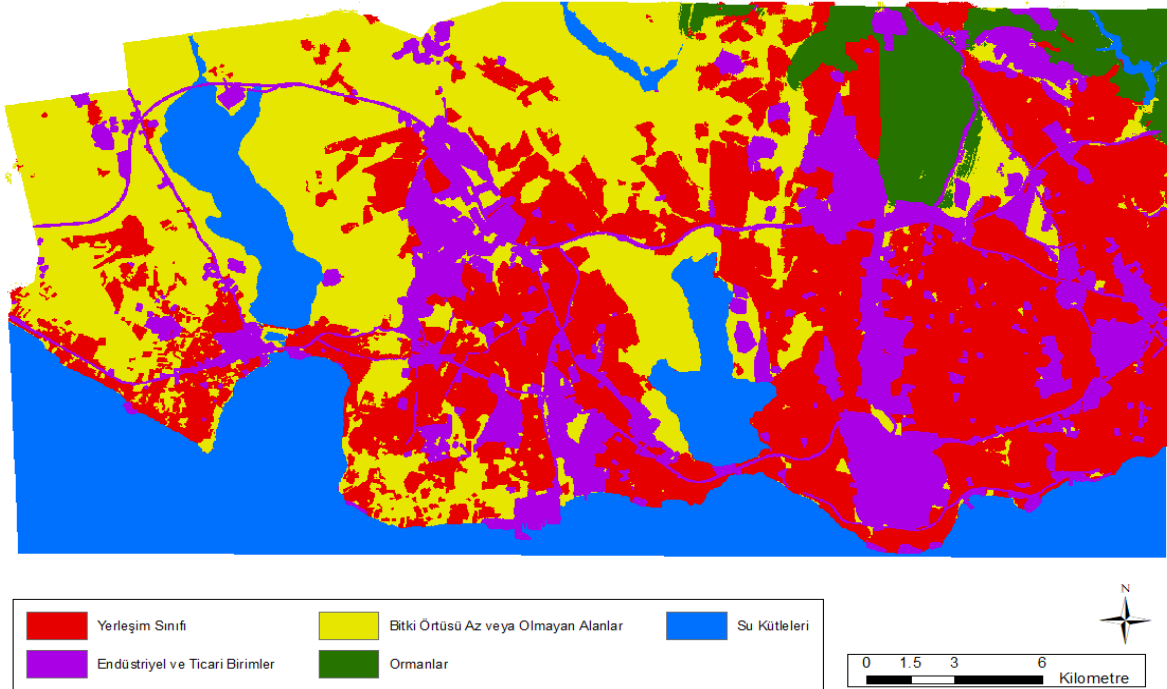
Yapay sinir ağı modeli oluşturulurken sisteme girdi nöronları olarak, yollara yakınlık, endüstri bölgelerine ve yerleşim yerlerine yakınlık, dijital yükseklik modeli ve eğim haritaları girilmiştir.

Arayüzde kullanılan yapay sinir ağı mimarisinde, sistemi kalibre etmek adına 20 adet gizli katman yaratılmış, ayrıca aktivasyon fonksiyonu olarak girdi ve gizli nöronlarda “Rectified Linear Unit”, çıktı nöronunda ise “Softmax” fonksiyonu kullanılmıştır.

Tablo 1. Lineer ve mantıksal regresyon sonuçları

	Yerleşim Sınıfı Alanı (km ²)
1997	157,30
2007	190,50
2014	237,65
2023 LR	262,02
2023 MR	286,96

1982x1022 çözünürlüğe sahip olan raster veriler, 2025604x1’lik bir matris formuna dönüştürülmüş ve sistem her 10.000 satırdan sonra geri beslemeli şekilde denklemleri düzelterek şekilde kurgulanmıştır. Simülasyon %81 eğitim doğruluğu ile gerçekleştirilmiş ve sonuç harita Şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 7. Yapay sinir ağı ile 2023 yılı arazi kullanımı haritası simülasyonu


Yapay sinir ağları kullanılarak yapılan simülasyonda, yerleşim sınıfı alanı 292.54 km² bulunmuştur. Tüm sınıflar arası ilişkiyi gösterebilmesi ve İstanbul gibi ilişkinin matematiksel ifadelerle açıklaması güç olan bölgeleri açıklayabilmesi sebebiyle, yapay sinir ağları, kullanılan yöntemlerden en verimli sonucun sağlandığı yöntemdir. Yapılan çalışma doğrultusunda yıllara bağlı yerleşim sınıfı alanı değişimi ile ulaşım ağına yapılan yatırımlar arasında pozitif bir korelasyon olduğu sonucuna varılmış ve bu korelasyon sayısal ifadelerle ortaya konmuştur.

Uygulaması ve kontrolleri yapılan arayüzler, CBS alanında açık kaynak kodlu yazılımların işlevsel ve kullanışlı olduğunu göstermektedir. Mevcut yazılım paketlerinin içinde bulunmayan analiz yöntemleri ve algoritmalar, bu sayede kullanılan yazılımlara entegre edilebilir ve sonuçlar bu sayede görselleştirip yaygınlaştırılabilir. Bu yazılımlara olan ilginin artması CBS'nin gelişiminde sürükleyici bir rol oynamaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK ARDEB-1001 programı çerçevesinde 115Y692 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. Projeye katkı veren İETT'ye teşekkür ederiz.

ORCID

Ömer AKIN  <https://orcid.org/0000-0002-8109-0313>

Ahmet EROĞLU  <https://orcid.org/0000-0002-8478-4900>

Hande DEMİREL  <https://orcid.org/0000-0003-0338-791X>

KAYNAKLAR

Akın, Ö., Eroğlu, A. ve Demirel, H. (2019, Mayıs). Açık kaynak kodlu ağ analiz algoritmaları ve arazi Örtüsü/kullanımı simülasyonu. *Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği Teknik Sempozyumu*, Aksaray.

Aldoğan, C. F., Akın, Ö., Eroğlu, A. ve Demirel, H. (2018). Modeling land use simulation of Istanbul for 2023 with logistic regression. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 9(3), 349-354.

Bouttier, J., Francesco, P.D. ve Guitter, E. (2003). Geodesic distance in planar graphs. *Nuclear Physics B*, 663(3), 535-567. Doi: 10.1016/S0550-3213(03)00355-9

Cohen, J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20, 37-46. Doi: 10.1177/001316446002000104

Crucitti, P., Latora, V. ve Porta, S. (2006). Centrality measures in spatial networks of urban streets. *Physical Review E*, 73(3), 036125. Doi: 10.1103/PhysRevE.73.036125

Dalvi, M. Q. ve Martin, K. M. (1976). The measurement of accessibility: Some preliminary results. *Transportation*, 5, 17-42. Doi: 10.1007/BF00165245

Demirel, H., Kompil, M. ve Nemry, F. (2015). A framework to analyze the vulnerability of European road networks due to Sea-Level Rise (SLR) and sea storm surges. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 81, 62-76. Doi: 10.1016/j.tra.2015.05.002

Demirel, H. ve Şeker, D. Z. (2015, Mayıs). Fotogrametrik Açık Kaynak Kodlu Yazılımlar: Yeni Bir Dönem. *Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği Teknik Sempozyumu*, Konya.

Dundon-Smith, D. M. ve Gibb, R. A. (1994). The Channel Tunnel and regional economic development. *Journal of Transport Geography*, 2(3), 178-189. Doi: 10.1016/0966-6923(94)90003-5

European Environment Agency (EEA). (2000). *CORINE land cover technical guide-Addendum 2000*. Erişim Adresi: <http://citeseeerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.517.9145&rep=rep1&type=pdf>

Ford, A., Barr, S., Dawson, R. ve James, P. (2015). Transport accessibility analysis using GIS: Assessing sustainable transport in London. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 4(1), 124-149. Doi: 10.3390/ijgi4010124

Freeman, L. C. (1978). Centrality in social networks conceptual clarification. *Social networks*, 1(3), 215-239. Doi: 10.1016/0378-8733(78)90021-7

- Friedrich, C. (2014). *Comparison of ArcGIS and QGIS for applications in sustainable spatial planning* (Yüksek lisans tezi). Viyana Üniversitesi.
- Geurs, K. T. ve van Wee, B. (2004). Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions. *Journal of Transport Geography*, 12(2), 127–140. Doi: 10.1016/j.jtrangeo.2003.10.005
- Geurs, K. T. (2006). *Accessibility, Land Use and Transport: Accessibility Evaluation of Land Use and Transport Developments and Policy Strategy* (1. Baskı). Rotterdam: Eburon.
- Hansen, W. G. (1959). How accessibility shapes land use. *Journal of American Institute of Planners*, 25(1), 73–76. Doi: 10.1080/01944365908978307
- Nyberg, B., Nixon, C. W. ve Sanderson, D. J. (2018). NetworkGT: A GIS tool for geometric and topological analysis of two-dimensional fracture networks. *Geosphere*. 14(4), 1618-1634. Doi: 10.1130/GES01595.1
- Omranı H., Tayyebi A. ve Pijanowski B. (2017). Integrating the multi-label land-use concept and cellular automata with the artificial neural network-based Land Transformation Model: an integrated ML-CA-LTM modeling framework. *GIScience & Remote Sensing*, 54:3, 283-304. Doi: 10.1080/15481603.2016.1265706
- Iacono, M., Krizek, K. ve El-Geneidy, A. (2008). *Access to Destinations: How Close is Close Enough? Estimating accurate distance decay functions for multiple modes and different purposes* (MN/RC 2008-11). Minnesota Üniversitesi.
- Liu, X., Liang, X., Li, X., Xu, X., Ou, J., Chen, Y., Li, S., Wang, S. ve Pei, F. (2017). A future land use simulation model (FLUS) for simulating multiple land use scenarios by coupling human and natural effects. *Landscape and Urban Planning*, 168, 94-116. Doi: 10.1016/j.landurbplan.2017.09.019
- Lee, S., An, H., Yu, S. ve Oh, J. J. (2014). Creating an advanced backpropagation neural network toolbox within GIS software. *Environmental earth sciences*, 72(8), 3111-3128. Doi: 10.1007/s12665-014-3216-7
- Lutter, H., Putz, T. ve Spangenberg, M. (1992). *Accessibility and peripherality of community regions: The Role of Road, Long-distance Railways and Airport Networks*.
- Qiang, Y. ve Lam, N. S. (2015). Modeling land use and land cover changes in a vulnerable coastal region using artificial neural networks and cellular automata. *Environmental monitoring and assessment*, 187(3), 57. Doi: 10.1007/s10661-015-4298-8
- Sevtsuk, A. ve Mekonnen, M. (2012). Urban network analysis. *Revue internationale de géomatique-n*, 22, 287–305. Doi: 10.3166/RIG.22.287-305
- Shoman, W. ve Demirel, H. (2018). Spatio-temporal evaluation of transport accessibility of the istanbul metrobus line. *Geocarto International*. Doi: 10.1080/10106049.2018.1524515
- Tsou, M. H. ve Smith, J. (2011). *Free and Open Source software for GIS education*. San Diego.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (2019). *İl ve İlçe Nüfusları*. Erişim Adresi: <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr>