



En az maliyetli yol analizine dayalı arkeolojik tahmin haritalarının kullanılabilirliğinin incelenmesi: Sivas merkez ilçesi örneği

Olca Zengin Koşan¹, Çağdaş Kuşçu Şimşek*²

¹ Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Arkeoloji Bölümü, Sivas, Türkiye

² Akdeniz Üniversitesi, Fen Fakültesi, Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Bölümü, Antalya, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Arkeolojik Tahmin Modeli
CBS
En Az Maliyetli Yol (LCP)
Dijital Arkeoloji
Demir Devri

Araştırma Makalesi

Geliş: 04.12.2022
Revize: 30.03.2023
Kabul: 06.04.2023
Yayınlanma: 19.04.2023



Öz

CBS temelli arkeolojik tahmin haritası, kültürel miras yönetimi alanında ve arkeolojik lokasyon analizlerinde kullanılan bir tekniktir. Özellikle belli bir bölgede yapılacak arkeolojik çalışmaların planlı olarak yürütülmesinin yanı sıra zaman ve maliyetin azaltılması gibi avantajları bulunmaktadır. Ayrıca, yapılacak yüzey araştırmalarında tahmin haritalarının kullanılması, son yıllarda kaçak kazılarla hızla tahrip edilen arkeolojik alanların tespitinin daha hızlı yapılmasını sağlayacaktır. Sivas ilinin zengin arkeolojik potansiyeli yapılan yüzey araştırmaları ile ortaya konulmuştur. Ancak yüzölçümü bakımından Türkiye'nin ikinci büyük ili olan Sivas'ın henüz tamamıyla araştırılmamış bölgeleri bulunmaktadır. Bu çalışmada, Sivas ili Merkez ilçesi için en az maliyetli yol analizi (LCPA) kullanılarak bir arkeolojik tahmin modeli oluşturulmuştur. Çalışma alanı sınırları içerisinde MÖ 2. Binyıl'a tarihlenen 23 ve Demir Çağı'na tarihlenen 30 arkeolojik alan girdi noktası olarak kullanılmıştır. MÖ 2. binyıl için daha sonraki dönemlerden 18 yerleşim yeri ve Demir Çağı için demir çağı sonrası dönemlerden 12 yerleşim ise kontrol noktası olarak seçilmiştir. Çalışma alanının topoğrafyası ve giriş noktası olarak seçilen farklı arkeolojik alanlar (höyük, yamaç yerleşimi, tepe yerleşimi, tümülüs) kullanılarak bu alanlar arasında En Az Maliyetli Yol (LCP) ağı oluşturulmuştur. Kontrol noktaları ile yol ağı arasındaki ilişki her iki dönem için ayrı ayrı incelenmiş ve kontrol noktalarının %90'ından fazlasının 1 km içinde olduğu tespit edilmiştir. Bu kontrol noktalarının %80'den fazlası ilk 500 m'deki, %20'den fazlası ise 50 m'deki alanda yer almaktadır. Elde edilen sonuçlar, LCPA kullanılarak etkili bir tahmine dayalı modelin oluşturulabileceğini göstermektedir.

Examining the usability of the archaeological predictive maps based on least cost path analysis: A case study of Sivas, Central District

Keywords

Archaeological Prediction Model
GIS
Least Cost Path (LCP)
Digital Archaeology
Iron Age

Research Article

Received: 04.12.2022
Revised: 30.03.2023
Accepted: 06.04.2023
Published: 19.04.2023

Abstract

GIS based archaeological predictive map is a technique used in the field of cultural heritage management and archaeological location analysis. In addition to time and cost management, it provides significant advantages in the planning and implementation of archaeological studies in a specific area. Also, the application of predictive maps in surveys will enable faster detection of archaeological sites that have been rapidly destroyed by illicit excavations in recent years. The rich archaeological potential of Sivas province has been revealed by surveys. The city, Turkey's second largest province in terms of surface area, has regions that have not yet been completely investigated. In this study, an archaeological predictive model was created using the least-cost path analysis (LCPA) for the central district of Sivas (Central Turkey). Within the boundaries of the study area, 23 archaeological sites dated to the 2nd Millenium BC and 30 dated to the Iron Age were used as input points. For the 2nd Millenium BC, 18 sites from the subsequent periods and for the Iron Age, 12 sites from the post-iron age periods were chosen as control points. A Least cost path (LCP) network between these sites was created by using the topography of the study area, and the archaeological sites (mound, slope settlement, hilltop settlement, tumulus) that were selected as the input points. The relationship between the control points and the path network is examined separately for both periods and it has been determined that more than 90% of the control points are within the 1 km. Periphery of this network, more than 80% are at the first 500 m. periphery and more than 20% are at 50 m. periphery. The results show that an effective predictive model can be created using LCPA.

*Sorumlu Yazar

(okosan@cumhuriyet.edu.tr) ORCID ID 0000-0003-0656-3093
(*cksimsek@akdeniz.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-3161-6508

Kaynak Göster (APA)

Koşan, O. Z. & Şimşek, Ç. K. (2023). En az maliyetli yol analizine dayalı arkeolojik tahmin haritalarının kullanılabilirliğinin incelenmesi: Sivas merkez ilçesi örneği. Geomatik, 8(3), 319-331

1. Giriş

Ingold'e (1993) göre peyzaj (Landscape), o peyzajın içerisinde ikamet edenlerin, yaşayanların ve onları birbirine bağlayan yollarda seyahat edenlerin bildiği bir dünyadır. Seyahat aracılığıyla, bu peyzaj içerisinde "yer"lerin oluşturulması, bu peyzajı orada yaşayanlar için gerçek kılar (Mlekuz, 2014). Dolayısıyla "bir peyzajda yaşayan insanlar, sıra dışı çatışmalar, kültürel tabular vb. sınırlandırıcı etmenler olmadıkça, birbirleri ile tamamlayıcı bir ilişki içerisindedirler. Bu ilişkiyi kurmak için de her bir yerleşimi ya da diğer insan yapısı oluşumları (tümülüs, nekropol, gözetleme kulesi vb.) diğerlerine bağlayan yollar oluşturulmuştur. Bu yollar daha sonra, insanların başka yerleşimlerine altyapı oluşturmuşlardır (Branting, 2004). Bu bilginin, arkeolojik bir tahmin verisi olarak kullanılabilmesine dair araştırmalar son yıllarda daha sık gündeme gelmeye başlamıştır (Nuninger ve ark., 2016; Verhagen ve ark., 2016). Özellikle coğrafi bilgi sistemlerindeki (CBS) gelişmeler ve sağladığı mekânsal analiz imkânları, daha kolay ve daha fazla araştırma yapılabilmesine de olanak tanımıştır.

Kökenleri 1960'lı yılların sonunda ortaya çıkan Yeni Arkeoloji akımına kadar uzanan arkeolojik tahmin modelleri, 1980'li yılların ortalarından itibaren CBS temelli uygulamalarda karşımıza çıkmaya başlamış (Judge ve Sebastian, 1988) ve son 20 yılda oldukça popüler hale gelmiştir (Verhagen ve Whitley, 2012; Magnini ve Bettineschi, 2019; Orengo ve Garcia-Molsosa, 2019). Van Leusen, (2002), Verhagen (2007) ve diğer araştırmacılar, arkeolojik alanların rastgele seçilmediğini, aksine geçmiş dönemlerde çevrenin spesifik özellikleri, insan aktivitesi ve insan davranış normları ile ilişkili olduğunu, bu nedenle arkeolojik tahmin haritaları oluşturulmasının avantajlar sağlayacağını vurgulamaktadırlar. Tahmin haritaları özellikle, zaman ve maliyet açısından sağladığı avantajlar nedeniyle kültürel miras yönetimi alanında (Judge ve Sebastian, 1988; Kamermans et al. 2009; Vaughn and Crawford, 2009; Danese et al., 2014) ve mekânsal analizleri yapmayı amaçlayan akademik alan araştırmalarında (Wescott & Brandon 2000; Verhagen-Whitley 2012; Verhagen, 2013; Caracausi et al 2018) kullanılmaktadır.

Günümüzde oldukça popüler hale gelmesine karşın tahmin haritalarının eleştirildiği önemli noktalar da bulunmaktadır (Van leusen 1996; Wheatley 2004; van Lausen and Kamermans 2005; Verhagen, 2013). Kamermans (2004) karşılaşılan problemleri arkeolojik girdi verisinin kalitesi ve sayısı, çevresel girdi verisinin birbiri ile ilişkisi, zamansal ve/veya mekânsal çözünürlüğü, mekânsal istatistiklerin kullanımı, tahmin modellerinin test edilmesi, sosyal ve kültürel girdi verilerinin analize dahil edilme ihtiyacı olarak sıralamıştır. Bunlar arasından, doğası gereği, sosyo-kültürel değişkenlerin saptanması, tahmin modellerine dahil edilmesi en zor olan alandır. Ancak bu sorunun aşılması için de çalışmalar yapılmaktadır (Verhagen, 2013; Nuninger ve ark., 2016). Bu eleştirilere karşın tahmin haritalarının arkeologların belli bir alanda yapacakları çalışmaları planlamak için

önemli bir araç olduğu, zaman ve maliyet açısından önemli avantajlar sağladığı unutulmamalıdır (Kamermans, 2004).

Arkeolojik alan tahmin haritalarının, son yıllarda dikkat çeken yöntemlerinden birisi, mekânsal analiz yöntemi olarak LCPA analizleridir (Egeland ve ark., 2010; Herzog & Posluschny, 2011; Kondo & Seino, 2011; Verhagen & Jeneson, 2012; Herzog, 2014a; Cet ve ark., 2015; Byrd ve ark., 2015; Rogers ve ark., 2015; Lewis, 2018; Hamer ve ark., 2019; Milheira ve ark., 2019). Temelleri Zipf (1949) tarafından atılan en az maliyet analizi, insanların pek çok davranışının en az maliyetle gerçekleştirilmek üzere şekillendiğini varsayar. Bu fikir üzerine temellenen LCPA (least cost path analizi) ise, bir noktadan diğerine ulaşmak için insanların en az maliyeti kullanacağı düşüncesine ve çalışmanın amacına göre ortaya çıkacak maliyetlerin göz önüne alınarak değerlendirildiği çoklu veri entegrasyonuna dayanmaktadır. Yani insanlar, bir noktadan diğerine en kısa zamanda ve en az enerji harcayacakları bir hat üzerinden ulaşmak istemektedirler (Surface-Evans ve White, 2012). Örneğin, bir insanın bulunduğu noktadan ulaşmak istediği hedefe doğru rota oluştururken göz önünde bulundurduğu enerji, zaman, mesafe, doğal ya da insan yapımı engeller, bitki örtüsü, zemin yapısı vb. gibi parametreler maliyet olarak ele alınmaktadır (Rivera, 2014). Bu faktörler; deneyimler, yetenekler, korkular, ihtiyaçlar, öngörüler ve kişisel öncelikler açısından ağırlıklandırılarak değerlendirilmektedir. Arkeolojide LCPA ise, insanların bir peyzaj boyunca nasıl hareket etmiş olabileceğini daha iyi anlamalarına yardımcı olmak için, coğrafyaya odaklanmış nicel bir yaklaşım olarak tanımlanmaktadır (White, 2015). Arkeolojik çalışmalarda insanın sosyokültürel seçimleri önemli bir parametre olduğundan, LCPA'da fiziki ve sosyal faktörlerin bir arada değerlendirilmesi gerekir. İnsanın içinde bulunduğu peyzajda 'en iyi' rota en düz ve kısa yol olmayabilir; navigasyon verimliliği, kaynak dağıtımı, algılanan güvenlik ve kümülatif hidro / aerodinamik verimlilik gibi faktörler yol seçiminde etkilidir (Berdahl ve ark., 2018). Tarih boyunca yerleşimler arası yol ağlarının meydana gelmesinde sosyal ve ekonomik ilişkilerin yanı sıra insanların ve coğrafyanın fiziksel özelliklerinin de bu yol ağlarının şekillenmesinde önemli rol oynadığı bilinmektedir (Herzog, 2013). Arkeolojik LCPA'nin temelinde, bölge hakkında tam bilgiye sahip kişilerin, bir yerden bir yere giderken rasyonel kararlar verdiği, böylece maliyetin en aza indirildiği varsayımı bulunmaktadır. Elde edilen sonuçlar mutlak kabul edilecek yol ağı olmasa da, arkeologların mevcut arkeolojik verilerle karşılaştırmalar yaparak, yorumlamalar yapmasına, yön gösterici tahmin verileri olarak kullanmasına olanak tanımaktadır (Branting, 2012; Kantner, 2012).

LCPA'de, en az maliyetli yol hatlarının oluşturulmasının ardından, bu yolların arkeolojik kanıtlarla karşılaştırılması yapılarak sonuçların güvenilirliği test edilmelidir. Geçmiş döneme ilişkin yol bölümleri biliniyorsa, belirlenen bu hatlar, bilinen (gerçek) yol konumlarıyla karşılaştırılmalıdır. Bu tür bir bilginin yokluğunda, belirlenen hatlar, bilinen arkeolojik alanların, ele alınan dönemin özelliklerinin veya

bulgularının dağılımı açısından analiz edilebilir (Herzog, 2013).

Bu çalışmada, yerleşimlere erişim ve bu yerleşimler arasındaki hareket kolaylığı sosyo-çevresel bir faktör olarak belirlenmiş (Verhagen ve ark., 2014a) ve arkeolojik alan tahmininde, arkeolojik noktalar arası LCP'lerin, bir tahmin modeli olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Örnek çalışma alanı olarak seçilen Sivas merkez ilçe sınırları içinde yer alan, MÖ 2. Bin ve Demir dönemine ait tescillenmiş arkeolojik sit alanları kullanılarak, her dönem kendi içinde olmak üzere, sit alanlarının birbirleri arasındaki LCP'leri oluşturulmuş; her dönemin kendinden sonraki dönemleri içeren tescilli kontrol noktalarının bu yol ağı ile yakınlık ilişkileri incelenmiştir. Seçilen her bir dönem için daha sonraki dönem arkeolojik sit alanlarının kontrol noktası olarak seçilmesi "peyzajın hafızası" kavramına dayanmaktadır. Bu kavram, önceki arkeolojik alanların daha sonraki insan grupları için bir çeşit yatırım olarak ele alınmasını öngörmektedir. Yani bir peyzaj içerisinde gerçekleştirilen parselleri sınırlandırmak, ağaçlık alanları temizlemek, bataklık vb. sulak alanları kurutmak gibi faaliyetler yeni insan grupları için bir avantaj oluşturduğundan, önceki arkeolojik alanların civarında yerleşmeyi ya da tümülüs gibi mezar anıtlarını inşa etmeyi tercih edebileceklerdir (Verhagen ve ark., 2016; Nuninger ve ark., 2016). Tüm bu ilişkilerden faydalanarak, LCP analizlerinin arkeolojik yüzey araştırmalarında bir tahmin modeli olarak kullanılıp kullanılamayacağı yorumlanmıştır.

2. Yöntem

2.1. Çalışma alanı

Çalışma alanı olarak seçilen Sivas ili Merkez ilçesi 2.768 km²'lik geniş bir coğrafi alanı kapsamaktadır (Şekil 1). Yapılan yüzey araştırmaları bölgenin büyük bir arkeolojik potansiyele sahip olduğunu göstermektedir (Osten, 1933; Meriggi, 1965; Yakar & Gürsan Salzman, 1979; Ökse, 1994, 1995, 1996, 1997, 1999, 2000, 2001, 2002; Engin, 2009, 2010, 2011; Engin ve ark., 2012; Engin et al. 2013; Engin ve ark., 2014; Engin ve ark., 2015). Bu zengin potansiyele rağmen kentteki arkeolojik kazı sayısı son derece azdır. İlk kez 1940'lı yıllarda Topraktepe, Maltepe ve Pılır höyüklerinde küçük çaplı kazılar yapılmıştır (Özgüç, 1947a; 1947b; Kökten, 1947). Kentin arkeolojik açıdan adını duyuran kazılar ise MÖ 2. Bine tarihlenen Kuşaklı ve Kayalıpınar yerleşimleri olmuştur.

Sivas ili, MÖ 2. binyılın ilk çeyreğinde (MÖ 1920-1740) İç Anadolu ile Assur arasındaki ticaret ağının kurulduğu bölgelerden biridir (Sagona & Zimansky, 2009). Eski Assur Koloni dönemi olarak bilinen bu tarihlerde günümüzde Irak'ta bulunan Assur kentinden İç Anadolu'ya gelen Assurlu tüccarlar bölgede karum veya wabartum adı verilen kendi yaşam alanlarını kurarak geniş çaplı bir ticaret ağı oluşturmuşlardır (Veenhof, 2010). Eski Assur Koloni Dönemi'ne tarihlenen çivi yazılı metinler (Barjamovic, 2011) ve yüzey araştırmaları, Sivas'ta söz konusu döneme tarihlenen çok sayıda yerleşim olduğunu göstermiştir (Ökse, 2014). Sivas, Hitit döneminde (MÖ 1650-1200) önemli bir

merkez olmaya devam etmiştir (Sagona & Zimansky, 2009). Sivas ilinde yapılan arkeolojik kazılarda MÖ 2. binyıla tarihlenen iki önemli yerleşim ortaya çıkarılmıştır: Altınyayla ilçesindeki Kuşaklı (Hitit döneminde Sarissa) (Müller-Karpe ve Müller-Karpe, 2013) ve Yıldızeli ilçesindeki Kayalıpınar (Eski Asur Koloni ve Hitit döneminde Samuha) (Müller-Karpe ve ark., 2014).

Yaklaşık 1000 yıllık bir dönemi kapsayan İç Anadolu Demir Çağı, erken (MÖ 1100-900), orta (MÖ 900-550) ve geç (MÖ 550-330) olmak üzere üç döneme ayrılır (Kealhofer ve Grave, 2011). Erken Demir Çağı'nda, İç Anadolu'nun büyük bir bölümünde olduğu gibi ağırlıklı olarak tarımla uğraşan köyler yaygındır (Genz, 2011). Orta Demir Çağı boyunca bölgede Frigler, Urartular, Kimmerler/İskitler ve Geç Hitit devletlerinin Tabal ve Melitene gibi kültürleri etkili olmuştur (Powroznik, 2010). Bölge Geç Demir Çağı'nda muhtemelen Med ve Akamenid imparatorluklarından etkilenmiştir (Genz, 2011).

Çalışmada örnek alan olarak Sivas merkez ilçe sınırları içerisinde yer alan tescilli arkeolojik sit alanlarından, MÖ 2. bine tarihlenen 23 adet ve Demir Çağ'a tarihlenen 30 adet sit alanı girdi noktası olarak kullanılmıştır. MÖ 2. bin için, sonraki dönemlere tarihlenen 18 sit alanı; Demir Çağı için ise demir çağı sonrası dönemlere tarihlenen 12 sit alanı kontrol noktası olarak kullanılmıştır. Bu veriler (Tablo 1 ve Tablo 2), bölgedeki tescilli tüm verileri temsil etmektedir. Çalışma alanı, bu noktaların çevrelediği alan ile sınırlandırılmıştır (Şekil 1).

2.2. Veri

Çalışmada arkeolojik siteler iki veri tipinde ele alınmıştır. Birinci grup LCP oluşturulmasında kullanılan "girdi veriler", ikinci grup ise LCP tahmini yol ağı ile ilişkisi incelenen kontrol verileridir. Kontrol verileri, daha sonraki dönem insan gruplarının ele alınan dönem sitelerinin civarında yeni yerleşimler, mezar anıtları vb. kurmayı seçebileceği varsayımından hareketle belirlenmiştir.

Kullanılan arkeolojik siteler "Sivas Kültür Envanteri" ve Koruma Kurulu web sayfalarından alınmıştır. Bu çerçevede, Sivas Merkez ilçe sınırları içerisinde kalan 37 adet kültür envanteri verisi, 11 adet Koruma Kurulu verisi kullanılmıştır. Tablo 1, Sivas Kültür Envanteri'nde 2011 yılına kadar Merkez ilçede tescillenmiş olan arkeolojik siteleri kapsamaktadır. Tablo 2, Koruma Kurulu web sayfasında Sivas Merkez ilçe sınırları içindeki tescillenmiş arkeolojik sitelerden coğrafi koordinatları belirlenebilen 11 adet siteyi kapsamaktadır.

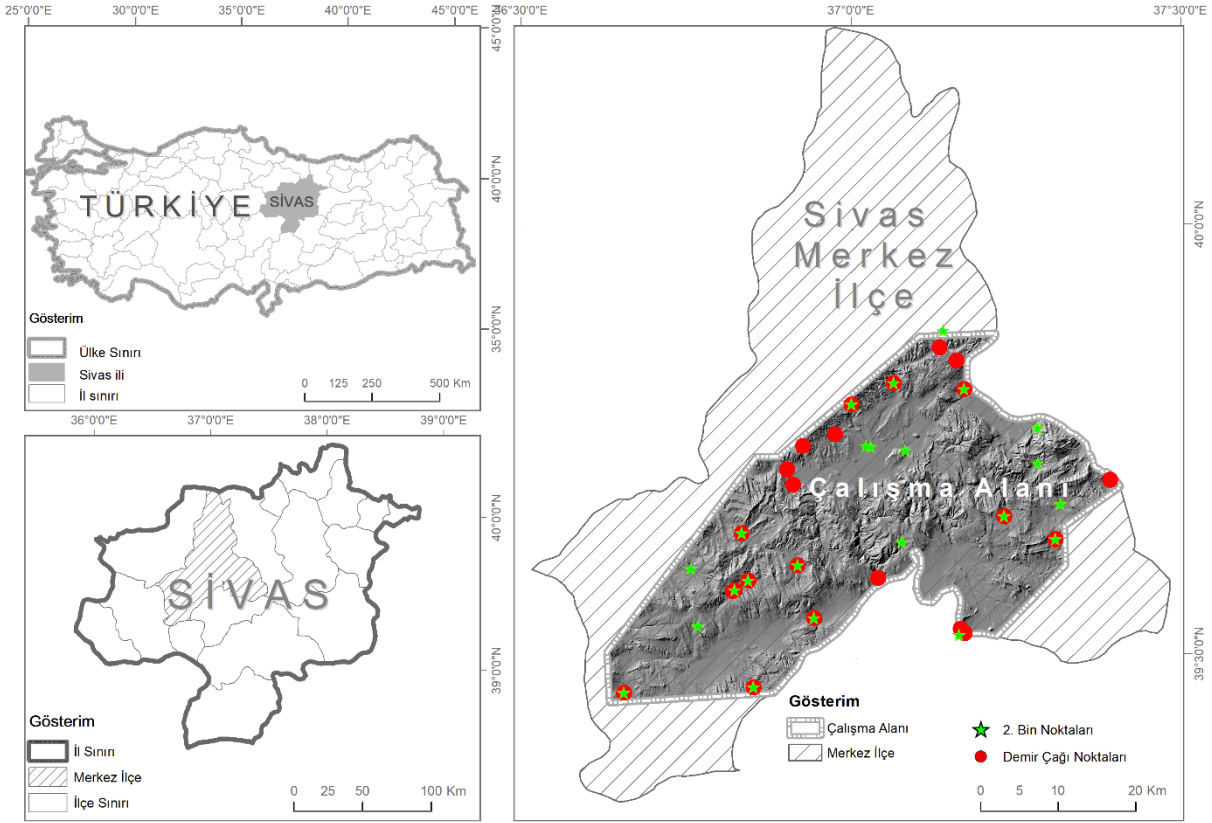
Çalışmada arazi örtüsü verisi olarak Corine 2012 verileri kullanılmıştır. 5m hassasiyetinde arazi yükseklik modeli kullanılarak da eğim verileri oluşturulmuştur.

2.3. Yöntem

Bu çalışmada, belirli bir döneme ait arkeolojik noktaların aralarında oluşturabileceği tahmini yol ağı, LCP analizi ile elde edilerek, kontrol noktası olarak

seçilen arkeolojik noktalar ile ilişkisi incelenmiştir. Bu şekilde, yerleşimlerin birbirleri ile coğrafi ilişkilerini temsil edebilecek LCP'e dayalı yol ağlarının, yeni

arkeolojik noktaların aranmasında yönlendirici olabilecek bir tahmin haritası niteliği taşıyıp taşımadığı test edilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanı

2.3.1. LCP Analizi

CBS temelli LCPA'de başlıca 3 veri setinden faydalanılmaktadır. İlki, çalışma alanının topografyasının temsilini sağlayan raster verilerdir, bunun için çoğunlukla DEM verilerinden faydalanılmaktadır. İkincisi, noktalar arası ilişki ağının başlangıç ve hedefini tanımlayan vektör (nokta, poligon) verileridir. Üçüncüsü, hareketin maliyetini temsil eden sürtünme yüzeyi verisidir ve "cost surface" ya da "friction surface" olarak tanımlanmaktadır. Bunun için genellikle topografik yüzeyi maliyetin bir ölçüsüne dönüştüren bir algoritma oluşturulmaktadır (Kantner, 2012). Maliyet verileri eğim, arazi kullanımı, arazi örtüsü verilerinden faydalanılarak üretilmektedir. Maliyet bileşenleri için sosyo-kültürel unsurlar da dikkate alınabilmektedir, ancak arkeolojik olarak sosyo-kültürel maliyet bileşenlerini belirlemek oldukça zordur (Herzog, 2014b; Murrieta-Flores, 2010). Sosyo-kültürel bileşenler arasında arkeolojik sit alanının lokasyonu, boyutu, işlevi ve iskân süresi, görünürlüğü vb. unsurlar kullanılmaktadır (Verhagen ve ark., 2010; Verhagen ve ark., 2014b). Piksel tabanlı olarak yürütülen LCPA'de, iki nokta arası en kısa hat, her bir piksel'in sürtünme verileri ile değerlendirilmesi sonucunda elde edilmektedir. Eğer çok noktalı bir çalışma yapılıyorsa, bu veri setleri hazırlandıktan sonra, seçilen bir yayılma algoritması üzerinden, her hücrenin başlangıç noktasından varış noktasına kümülatif maliyetlerini temsil eden yeni bir

yüzey oluşturulmaktadır. LCPA, insanın yokuş yukarı çıkarken ya da yokuş aşağı inerken harcadığı enerji farklılıklarının dikkate alındığı, kendi içerisinde (iniş/çıkış) dengelenmiş bir gidış geliş yürüme hattının tahmini için kullanılabilir. LCPA'de, izotropik ve anizotropik olmak üzere iki model öne çıkmaktadır. Bu modeller, her bir pikselin ve komşularının ayrı ayrı değerlendirilmesi üzerine kuruludur. Pikseli çevreleyen sekiz komşu piksel değerlendirilir ve yolu en düşük değere sahip hücre seçilir. Çıkış noktası ve hedef birbirine bağlanana kadar bu işlem tekrar etmektedir. Ortaya çıkan yol, iki nokta arasındaki hücre değerlerinin en küçük toplamını temsil etmektedir. İzotropik modeller, topografik ya da diğer açılardan (arazi kullanım / örtüsü vb.) herhangi bir engeli olmayan düz alanlar için kullanılmaktadır. Anizotropik model ise, eğim ve diğer maliyetleri göz önünde bulundurmaktadır. Arkeolojik LCPA'lerde büyük ölçüde anizotropik model tercih edilmektedir (Herzog, 2013). Anizotropik modeller için öncelikle, maliyet verileri yeniden sınıflandırılarak ağırlıklandırılmakta ve bu verilerin birleştirilmesiyle toplam maliyet yüzeyleri elde edilmektedir. Seçilen bir yayılma algoritmasıyla elde edilen kümülatif maliyet yüzeylerinin hesaplanmasında, bir başlangıç noktasından bir diğerine (one to one), bir noktadan birçok noktaya (one to many), birçok noktadan bir noktaya (many to one) ya da birçok noktadan birçok noktaya (many to many) yöntemleri kullanılmaktadır (White, 2007; White ve Barber, 2012). Bu şekilde elde

edilmiş toplam maliyet yüzeyleri kullanılarak mesafe ve yön yüzeyleri oluşturulmaktadır. Son aşamada da bu verilerden faydalanılarak LCP belirlenmektedir.

Anizotropik modelin kullanıldığı bu çalışmada, araştırma bölgesindeki tescilli tüm arkeolojik sit alanları

ele alındığı için birçok noktadan birçok noktaya olan yaklaşım tercih edilmiştir. Maliyet yüzeyi (sürtünme yüzeyi) için; sulak alanlar, bataklıklar ve eğim temel alınmıştır.

Tablo 1. Sivas Kültür Envanteri Merkez ilçeden seçilen arkeolojik sit alanları

Arkeolojik Siteler	Dönemler						
	Kalkolitik Dönem	Erken Tunç Çağ (ETÇ)	MÖ 2. bin	Demir Çağ	Helenistik Dönem	Roma Dönemi	Orta Çağ
Ağılkaya Höyüğü	+	+	+	+	-	-	-
Ahmet Ağa Çiftliği Höyüğü	+	+	-	+	-	-	-
Akpınar Höyüğü	-	-	-	+	-	+	+
Beypınarı Höyüğü	-	+	-	+	-	+	-
Büyük Eğrek Tepe Yerleşimi	-	+	+	+	+	+	+
Büyük Höyük	-	+	-	-	-	-	+
Doğanca Tümülüs	-	-	-	-	+	+	-
Esügün Höyüğü	-	-	-	-	-	+	+
Hanlı Höyüğü	+	+	+	+	+	+	-
Höllüktepe Höyüğü	-	+	-	+	+	+	+
Huykesen Höyüğü	-	+	-	+	+	+	+
İviktepe Höyüğü	-	+	+	+	+	+	+
Kara Gömlek Höyüğü	+	+	+	+	+	+	-
Karayün Höyüğü	-	+	+	+	+	+	-
Kavlak Höyüğü	-	+	-	-	+	+	+
Kayabaşı Höyüğü	-	+	-	+	+	+	+
Kayaönü Höyüğü	-	+	+	+	+	+	+
Kepez Yerleşimi	+	+	-	+	-	-	-
Kolluca Höyüğü	-	+	+	+	+	+	+
Kovalı Köyü Höyüğü	-	+	-	+	+	+	-
Koroğlu Mağaraları	-	+	+	+	+	+	+
Küçük Eğrek Tepesi Höyüğü	-	+	-	+	-	-	+
Küçük Kuşoturağı Tepesi Tümülüsü	-	-	-	+	-	-	-
Küllük Höyüğü	-	+	+	+	+	+	+
Kültepesi Höyüğü	-	+	-	-	+	+	+
Maltepe Höyüğü	-	+	-	-	-	-	-
Paşapınarı Mevki Höyüğü	-	-	-	-	+	+	+
Pulur Höyüğü	-	+	+	-	-	-	+
Seyfe Suyu Höyüğü	-	+	+	+	+	+	-
Seyfebeli Höyüğü	-	+	-	-	-	-	-
Sivas Kalesi	-	-	+	-	-	+	+
Tatlıcak Höyüğü	-	+	+	+	-	-	+
Tatlısu Yamaç Yerleşimi	+	+	-	-	+	+	-
Tuzlahan Höyüğü	+	+	-	-	-	-	-
Yamacın Büyüktepe Höyüğü	-	+	+	+	+	+	-
Yassitepe Yerleşimi	-	-	-	+	+	+	+
Ziyarettepe Yerleşimi	-	+	+	+	-	-	-

Tablo 2. Sivas Kültür Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu Müdürlüğü web sayfasından seçilen Merkez ilçe arkeolojik sit alanları

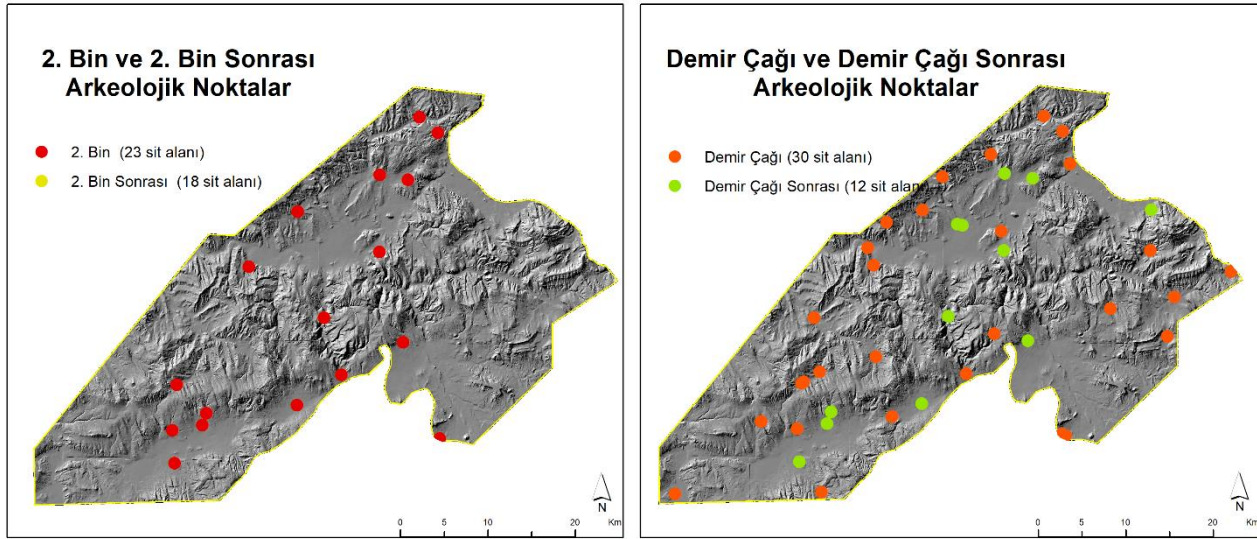
Arkeolojik Siteler	Dönemler						
	Kalkolitik Dönem	Erken Tunç Çağ (ETÇ)	MÖ 2. bin	Demir Çağ	Helenistik Dönem	Roma Dönemi	Orta Çağ
Alma Deresi Yerleşimi ve Tümülüsü	-	+	+	-	-	-	-
Çaygören Ören Mevkii Yerleşimi	-	+	+	-	-	-	+
Eğribucak Kale yazısı Yerleşimi	-	+	+	+	-	+	+
Eskiapardı Yerleşimi	+	+	+	+	-	-	+
Güllük Tümülüsü	-	+	-	-	-	-	-
İşhan Höyüğü	-	-	+	+	+	+	-
Ova Höyüğü	-	-	-	-	-	-	+
Sarıdemir Köyü İnardı Yerleşimi	-	-	-	+	-	+	+
Sırt Mevkii Yerleşimi ve Nekropolü	-	-	+	-	+	+	+
Taşlıdere Tümülüsü	-	-	-	-	-	+	-
Yassıcaabel Höyüğü	+	+	+	+	-	-	-

2.3.2. Uygulama

İnsanların tekrarlayan, plansız hareketleri sonucunda yollar oluştuğu varsayılmaktadır. Burada, insanlar tarafından oluşturulan ya da özel olarak inşa edilen yolları sınıflandıran Earle'ün, günlük yaşamda yerel ölçekte oluşturulan yollar (path) için yaptığı tanım temel alınmıştır: yollar, sarp kayalık alanlar veya sulak alanlar gibi zor araziler dışındaki alanlarda, özel olarak düzeltilmemiş ve belli bir işaret taşımayan, yerel ölçekte yayaların devamlı olarak evler, tarlalar ve diğer istikametler arasında yürümesiyle oluşan rotalardır (Earle, 2009). Bu tanım, çalışmada ele alınan höyük, yamaç yerleşimi, tepe üstü yerleşimi gibi kısa ya da uzun süreli yerleşimler ve tümülüs gibi anıtsal mezar yapıları

arasında, günlük olarak yapılabilecek zorunlu ya da ritüel ziyaretler olduğu düşünülerek tercih edilmiştir. Bu ziyaretler sonucunda zamanla tüm bu alanlar arasında “yollar” oluştuğu varsayımı üzerinden bir ilişki ağı kurulmaya çalışılmıştır.

Çalışmaya başlamadan önce seçilen sit alanlarının dönemsel bilgileri tablo üzerinde işlenerek (Tablo 1, ve Tablo 2), dönemlere ait veri sayıları elde edilmiştir. Girilen veriler ile kontrol noktaları arasında yeterli örneğin elde edildiği dönemler, her bir döneme ait arkeolojik sit alanı sayıları ile sonraki dönemler karşılaştırılarak belirlenmiştir. MÖ 2. Bin ve Demir Çağı sit alanları yeterli veri sayısına ulaşan iki dönem olduğundan, girdi verisi olarak kullanılmasına karar verilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. MÖ 2. Bin ve Demir Çağına ait girdi ve kontrol noktaları

Çalışma aşağıda verilmiş olan 2 senaryo üzerinden yürütülmüştür.

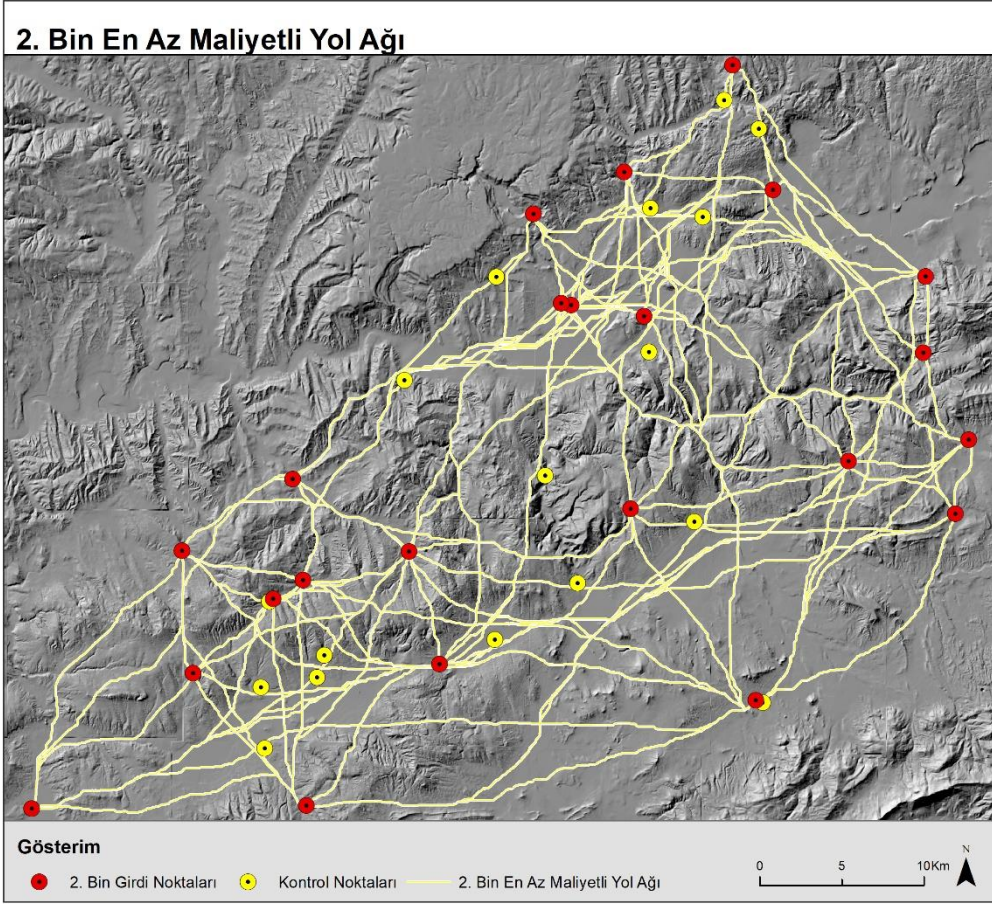
Senaryo 1: Sivas Kültür Envanteri ve Sivas Koruma Kurulu'ndan seçilen tüm noktalar birleştirilmiş, MÖ 2. Bin'e ait noktalar girdi verisi olarak ele alınmış, MÖ 2. Bin sonrası tüm noktalar ise kontrol noktası olarak ele alınmıştır.

Senaryo 2: Sivas Kültür Envanteri ve Sivas Koruma Kurulu'ndan seçilen tüm noktalar birleştirilmiş, Demir Çağına ait noktalar girdi verisi olarak ele alınmış, Demir Çağı sonrası tüm noktalar ise kontrol noktası olarak ele alınmıştır.

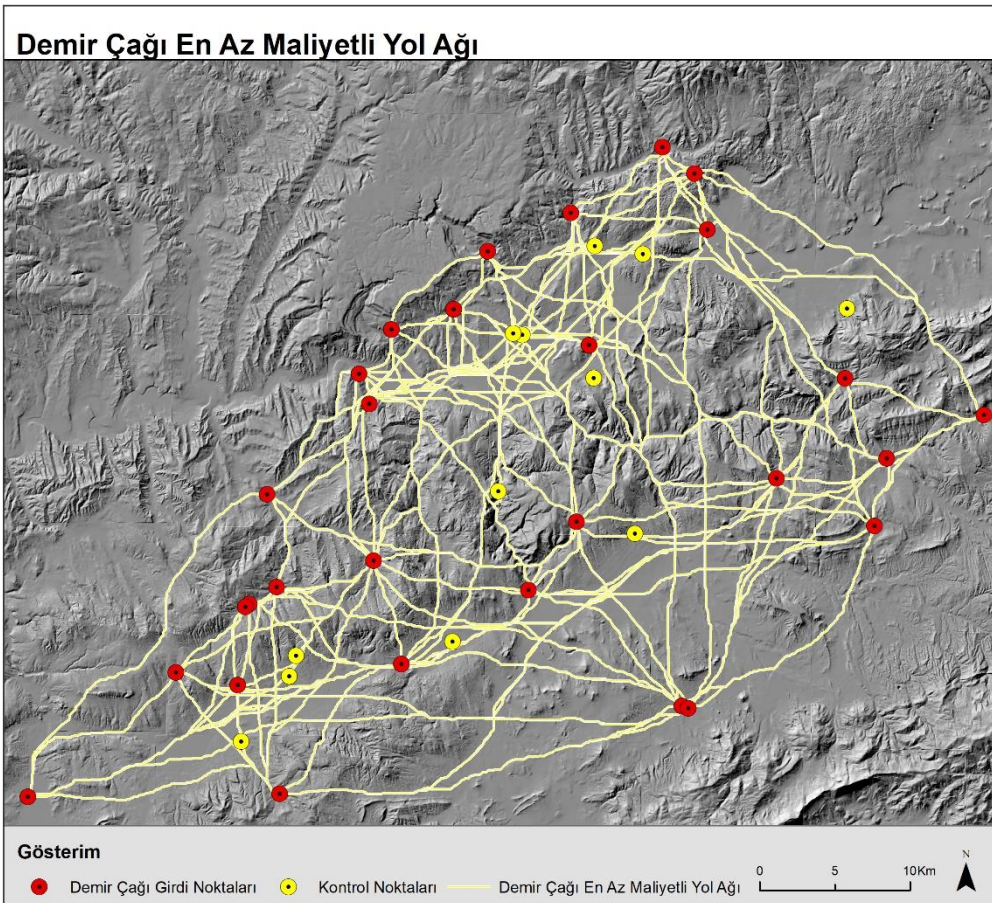
Bu konuda yapılmış olan çalışmalar incelendiğinde, bugünün arazi kullanım verilerine referansla ağırlıklandırılmalar yapılarak LCPA uygulandığı da görülmektedir (Milheira ve ark.,2019; White ve Barber, 2012). Ancak, geniş bir bozkır sahası olan Sivas merkez ilçesinde mevcut olan orman alanları genç orman alanlarıdır ve tarihi bir arazi kullanımını işaret etmemektedir. Bu nedenle çalışmada rota oluşturulurken, sulak alanlar ve bataklıklar Corine verilerinden temin edilerek kısıtlayıcı girdi olarak kullanılmış, diğer kısıtlayıcı arazi kullanım türleri kullanılmayarak göz ardı edilmiştir.

Eğim verileri, insanın yürüme tercihleri doğrultusunda 5m Dem verileri kullanılarak üretilmiştir (Kinsella-Shaw ve ark., 1992; Pingel, 2010; Scarf, 2007). Sınıflandırmada bir kişinin yürüyebileceği maksimum eğim derecesi 45 (NPS, 1996) olarak alınmış ve uygunluk 5 derecelik aralıklarla 9 sınıfta tanımlanmıştır. Aslında yokuş yukarı ve yokuş aşağı hareket maliyetleri eşit değildir (White, 2015; Kantner, 2012). 45 derecelik bir eğimde yokuş yukarı hareketin maliyeti, -45 derecelik bir eğimde yokuş aşağı hareketten daha maliyetlidir (Minetti ve ark., 2002). Ancak çalışmada ortaya çıkan güzergâhlar gidış-dönüş tek veri olarak kabul edildiği için performans maliyetleri dikkate alınmamıştır.

Daha sonra arazi kullanım ve eğim sınıfı verileri ağırlıklı olarak çakıştırılmış ve LCPA'de altlık olarak kullanılmıştır. Elde edilmiş LCP'ler çizgi verilere dönüştürülerek, her bir arkeolojik nokta arası kullanılabilir LCP MÖ 2. Bin (Şekil 3) ve Demir Çağı (Şekil 4) için ayrı ayrı oluşturulmuştur. Son aşamada elde edilmiş LCP'ler ile kontrol noktaları arasındaki yakınlık ilişkileri incelenerek, LCP verileri ile yerleşimlerin oluşması arasında bir ilişki olup olmadığı; ayrıca, LCPA'lerin arkeolojik tahmin modeli olarak kullanılıp kullanılmayacağı tartışılmıştır.



Şekil 3. MÖ 2. Bin sit alanlarına ilişkin LCPA



Şekil 4. Demir Çağ sit alanlarına ilişkin LCPA

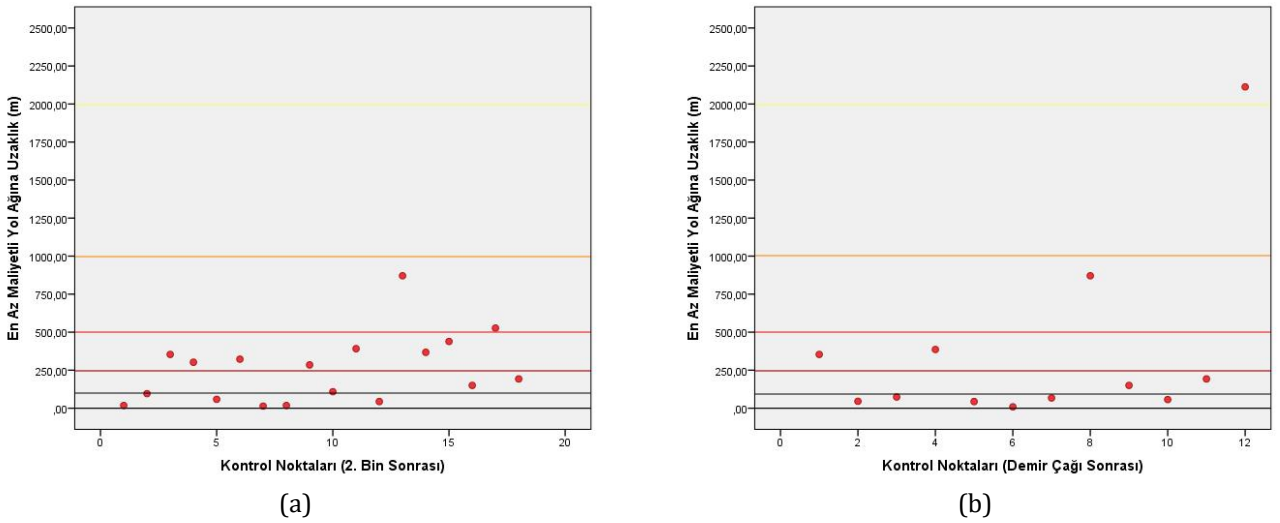
3. Bulgular

Çalışma sonucunda elde edilmiş olan LCP verileri, her bir dönem için ayrı olarak, kontrol noktaları üzerinden analiz edildiğinde; her iki dönemde de, ilk 1 km'lik çeperde yüksek ilişki olduğu sonucu ortaya çıkmıştır (Şekil 5). Kontrol noktaları arasındaki mesafe ilişkileri incelendiğinde, MÖ 2. Bine ait tüm sit alanlarının 1 km'lik çevre içerisinde, Demir Çağı'na ait sit alanlarının ise %92'sinin aynı çevre içinde olduğu tespit edilmiştir. Yine aynı analize göre kontrol noktalarının yaklaşık %80'inin ilk 500 m çevresinde, %50'den fazlasının ise ilk 250m çevresinde yer aldığı görülmüştür (Şekil 5, Tablo 3).

Tüm bulgular bir arada değerlendirildiğinde ise (Şekil 6), sadece tek bir noktanın 2 km dışında kaldığı, ancak onun dışındaki tüm noktaların ilk 1 km çeperinde kaldığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, LCPA'lerin 1 km'lik

hassasiyetle tahmin modeli olarak kullanılabilceği sonucu elde edilmiştir. Diğer yandan bu sonuç, 2 km dışında kalmış olan tek noktanın yakınından bir yol geçebileceğini de işaret etmektedir. Ancak, bu bulgunun kontrolü için daha sonra tespit edilecek yeni arkeolojik noktalar ve bunlara bağlı olarak oluşturulacak yol haritalarına bakmak gerekecektir.

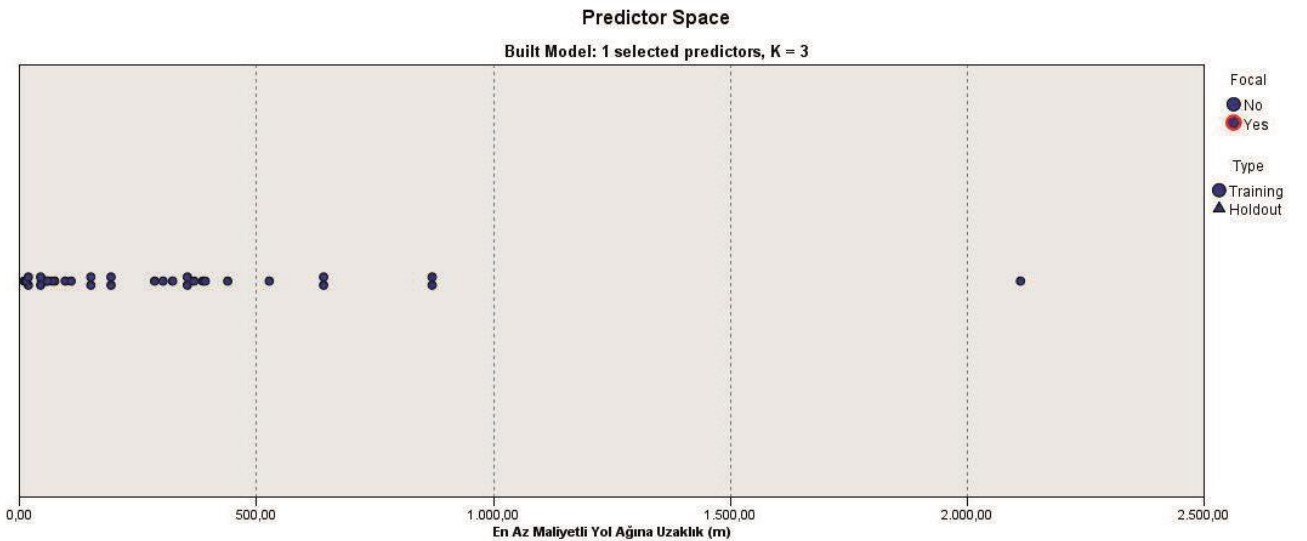
Ayrıca, Şekil 3 ve Şekil 4'te verilmiş olan haritalar görsel olarak yorumlandığında, her iki dönemde de kontrol noktalarının ağ üzerindeki iki veya daha fazla yolun kesişim noktalarına yakın olduğu gözlemlenmiştir. Bunun üzerine, kavşak noktası niteliği taşıyan bu kesişim noktaları ile kontrol noktalarının yakınlık ilişkileri incelenmiştir. Elde edilen bulgulara göre; MÖ 2. Bin verilerinin %68'inin, Demir Çağ verilerinin %84'ünün kavşak noktalarının 1500 m çeperinde yer aldığı tespit edilmiştir (Şekil 7).



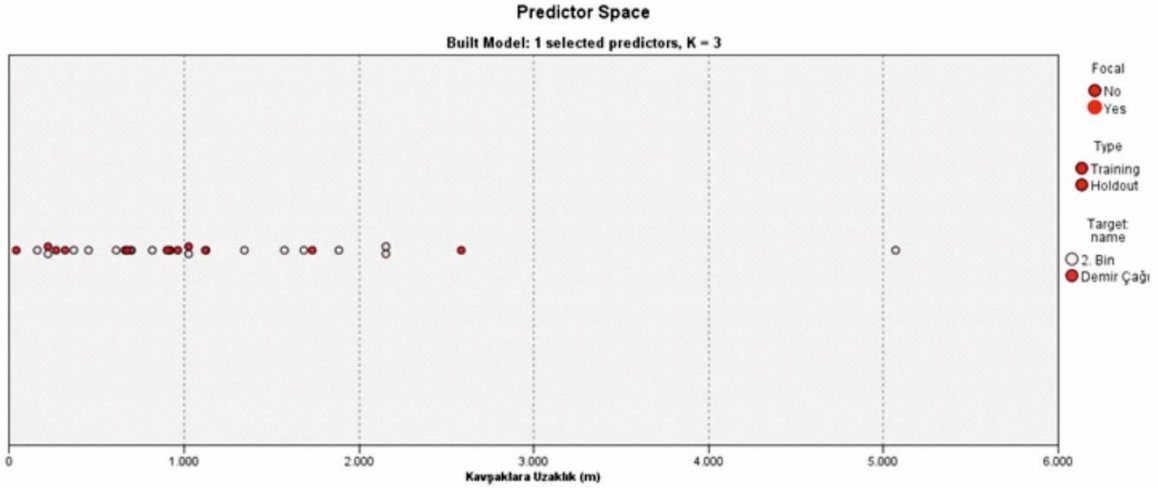
Şekil 5. a) Senaryo A, b) Senaryo B kontrol noktalarının LCP'e olan mesafelerinin dağılımı

Tablo 3. Belirli mesafe içerisinde bulunan noktaların yüzdeler dağılımı

Dönem	Girdi nokta sayısı	Kontrol noktası sayısı	0- 50 (m)	100 (m)	250 (m)	500 (m)	750 (m)	1000 (m)	2250 (m)
MÖ 2. Bin sonrası	23	18	22%	33%	50%	89%	94%	100%	100%
Demir Çağ sonrası	30	12	25%	50%	67%	83%	83%	92%	100%



Şekil 6. Tüm kontrol noktalarının LCP'lere olan mesafelerinin en yakın komşuluk kümeleme yöntemi ile gösterimi



Şekil 7. Tüm kontrol noktalarının kavşak noktalarına olan mesafelerinin en yakın komşuluk kümeleme yöntemi ile gösterimi

4. Sonuçlar

Bu çalışmada yapılan analizler, hem MÖ 2. Bine hem de Demir Çağı'na tarihlenen sit alanlarından birbirlerine giden LCP'ler üzerinde kendilerinden sonraya tarihlenen sit alanlarının yer aldığını göstermektedir. Bu durum, belli bir bölgedeki belli döneme ait yolların daha sonraki sit alanları ile bağlantılı olduğuna işaret etmektedir. Nitekim yayalar yeni yollar oluşturmaktansa var olan yolları tercih etmektedir. Yayaların zemin üzerinde bıraktıkları ayak izleri, yolların gelişmesine ve zaman içerisinde zeminin yalnızca bu kısımlarının kullanılmasına neden olmaktadır. Çok kullanılan yolların ise diğerlerinden daha fazla tercih edildiği bilinmektedir (Helbing ve ark., 1997). Böylece, daha çok hareket potansiyeli taşıyan bu yollara yakınlık önemli bir yerleşim faktörü olacağı için, bu alanlarda yeni arkeolojik sit alanlarının bulunma olasılığı da artacaktır (Nuninger, ve ark., 2016; Verhagen ve ark., 2016). Nitekim bu araştırmanın sonuçları da, arkeolojik siteleri birbirine bağladığı varsayılan LCP'lerin çevresinde daha sonraki dönemlere tarihlenen sit alanlarının bulunduğunu göstermiştir. Dolayısıyla, bu çalışmada kullanılan olan LCP analizlerinin, yeni arkeolojik alanların saptanmasında tahmin yöntemi olarak kullanılmasının, olumlu sonuçlar verebileceği düşünülmektedir.

Yöntemin, bir diğer avantajı, elde edilen haritaların dinamik yapıları olmasıdır. Yani, her yeni noktanın yeni ağlar oluşturması, tahmin haritalarının gelişmesini ve güçlenmesini sağlamaktadır. Dolayısıyla, harita bilgi birikimleri ile birlikte sürekli güncellenmiş olmaktadır. Ancak, bu haritalar gücünü bilinen nokta sayısından almaktadır. Bu tarz çalışmalarda geniş alanlar içerisinde çalışılması, hatta "çalışma alanı"larına komşu bölgelere ait sit alanlarının kullanılması veri kaybını engelleyecektir. Aslında coğrafya süreklidir ve sınırlar ilişkileri net bir şekilde kesememektedir, bu nedenle bütüncül yaklaşım önemlidir.

Çalışmada yapılan LCP analizleri sonucunda ortaya çıkan birden fazla yol hattının kesişmesi ile oluşan kavşak noktalarının 1500 m çeperinde kontrol için seçilen arkeolojik alanların yer alması, bu kavşak noktalarının tahmin haritalarında bir veri olarak kullanılabilmesine işaret etmektedir.

Son yıllarda Sivas kenti arkeolojik sit alanlarının definecilik, tarımsal, maden işletmeleri gibi faaliyetler nedeniyle hızla tahrip edildiği gözlenmektedir (Engin, 2019). Bu nedenle LCP ile CBS temelli tahmin haritaları üzerinden yüzey araştırması planları yapılmasının, araştırmacıların ekonomi ve zamandan tasarruf ederek yeni alanlar tespit etmesini kolaylaştıracağı düşünülmektedir. Bu şekilde daha fazla sayıda arkeolojik alan tespit edilip tescillenmesi, dolaylı da olsa arkeolojik alanların tahribatıyla mücadelede destek verecektir.

Türkiye arkeolojisinde uzaktan algılama ve CBS ile ilgili çalışmalar nispeten yenidir ve çalışmalar büyük ölçüde fotogrametrik modelleme üzerine yoğunlaşmıştır (Ulvi & Toprak 2016; Uslu & Uysal 2017; Yakar & Doğan 2017; Yakar & Doğan 2018; Şasi & Yakar 2018; Demir ve ark., 2018; Aşınmaz, A. 2021; Özendi, 2022). CBS tabanlı arkeolojik tahmin haritaları ile ilgili çalışmalar ise ülkemizde henüz yeterince araştırmayla doğrulanmamıştır. Ancak, bu konuda farklı bölgelerde uygulanacak CBS temelli çalışmaların artmasının, Türkiye'de yeni gelişmeye başlayan dijital arkeoloji alanına farklı dinamikler katacağı düşünülmektedir.

Araştırmacıların katkı oranı

Olcay Zengin Koşan: Literatür taraması, Verilerin temini, Verilerin yorumlanması, Makale yazımı
Çağdaş Kuşçu Şimşek: Literatür taraması, Modelleme, Verilerin yorumlanması, Makale yazımı;

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

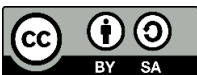
Aşınmaz, A. (2021). *Pamphylia'daki kırsal yerleşim dokusu ve bölgesel yerleşim trendlerinin CBS destekli analizi*. (Doktora tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Arkeoloji Ana Bilim dalı).

- Barjamovic, G. (2011). *A Historical Geography of Anatolia in the Old Assyrian Colony Period*. Copenhagen: Carsten Niebuhr Institute Publications.
- Berdahl, A. M., Kao, A. B., Flack, A., Westley, P. A. H., Codling, E. A., Couzin, I. D., Dell, A. I., & Biro, D. (2018). Collective animal navigation and migratory culture: from theoretical models to empirical evidence. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 373(1746), 20170009. <https://doi.org/10.1098/rstb.2017.0009>
- Branting, S. A. (2004). *Iron Age Pedestrians at Kerkenes Dag: An Archaeological GIS-T Approach to Movement and Transportation*. (Doktora tezi, State University of New York at Buffalo).
- Branting, S. A. (2012). Seven solutions for seven problems with least cost pathways. White, D. A. & Surface-Evans, S. L. (Eds.), *Least Cost Analysis of Social Landscapes: Archaeological Case Studies* (pp. 209-224). Salt Lake City: University of Utah Press.
- Byrd, B. F., Byrd, Garrard, A. N. & Brandy, P. (2015). Modeling foraging ranges and spatial organization of Late Pleistocene hunter-gatherers in the southern Levant - a least-cost GIS approach. *Quaternary International*, 396, 62-78. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.07.048>
- Caracausi, S., Berrutib, G. L. F., Daffaraa, S., Bertèc, D. & Borele, F. R. (2018). Use of a GIS predictive model for the identification of high altitude prehistoric human frequentations. Results of the Sessera valley Project (Piedmont, Italy). *Quaternary International*, 490, 10-20. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2018.05.038>
- Cet, M. de, Duttman, R., Lull, V. Micó, Müller, Rihuet Herrada, C., Risch, R. & Verhagen, P. (2015). Agricultural territories and GIS modelling: the long-term case study of Menorca. Traviglia, A. (Ed.), *Across Space and Time. Selected Papers from the 41st Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology Conference (Perth, WA, 25-28 March 2013)* (pp. 224-238). Amsterdam: Amsterdam University Press.
- Danese, M., Masini, N., Biscione, M. & Lasaponara, R. (2014). Predictive modeling for preventive Archaeology: overview and case study. *Central European Journal of Geosciences*, 6 (1), 42-55. <https://doi.org/10.2478/s13533-012-0160-5>
- Demir, N., İşkan Işık, H., Koçak, M., Sönmez, N. K., Bayram, B., Kuleli, E. et al (2018). Kültürel miras belgelemesinde çok disiplinli eğitim tasarımı ve sivil bilim yaklaşımı. Maktav, D. Ş Avdan, U. (Eds.), VII. Uzaktan Algılama CBS Sempozyumu, 18-21 Eylül 2018, Eskişehir, Türkiye, (pp. 45-50).
- Earle, T. (2009). Routes through the landscape: A comparative approach. Snead, J. L., Erickson, C. L. & Darling, J. A. (Eds.), *Landscape of Movement. Trails, Paths, and Roads in Anthropological Perspective* (pp. 253-270). Philadelphia: University of Pennsylvania Press. <https://doi.org/10.9783/978193456537>
- Egeland, C. P., Nicholson, C. M. & Gasparian, B. (2010). Using GIS and ecological variables to identify high potential areas for paleoanthropological survey: An example from Northern Armenia. *Journal of Ecological Anthropology*, 14(1), 89-98. <https://doi.org/10.5038/2162-4593.14.1.8>
- Engin, A. (2009). Sivas ili 2007 yılı yüzey araştırması. Bayram, F. & Özme, A. (Eds.), *26. Araştırma Sonuçları Toplantısı - 2* (pp. 73-94). Ankara: Kültür Bakanlığı Yayınları.
- Engin, A. (2010). Sivas ili 2008 yılı yüzey araştırması. Dönmez, H. & Keskin, C. (Eds.), *27. Araştırma Sonuçları Toplantısı-3*, (pp. 129-149). Ankara: Kültür Bakanlığı Yayınları.
- Engin, A. (2011). Sivas ili 2009 yılı yüzey araştırması. Toy, A. N. & Keskin, C. (Eds.), *28. Araştırma Sonuçları Toplantısı-2*, (pp. 81-101). Ankara: Kültür Bakanlığı Yayınları.
- Engin, A. (2019). Sivas ili arkeolojisi: yapılanlar ve yapılması gerekenler. Yekbaş, H. & Yüksel, A. (Eds.), *Her Yönüyle Sivas Uluslararası Sempozyumu*, vol. 3, (pp. 29-46). Sivas: Sivas Cumhuriyet University.
- Engin, A., Uysal, B., Ay-Şafak, F. & Bozkurt, A. (2012). Sivas ili 2010 yılı yüzey araştırması. Özme, A. (Ed.), *29. Araştırma Sonuçları Toplantısı-1*, (pp. 173-208). Ankara: Kültür Bakanlığı Yayınları.
- Engin, A., Uysal, B., Ay-Şafak, F. & Bozkurt, A. (2013). Sivas ili 2011 yılı yüzey araştırması. Özme, A. (Ed.), *30. Araştırma Sonuçları Toplantısı-2*, (pp. 13-38). Ankara: Kültür Bakanlığı Yayınları.
- Engin, A., Uysal, B., Zengin-Koşan, O., Ay-Şafak, F. & Bozkurt, A. (2014). Sivas ili 2012 yılı yüzey araştırması. Özme, A. (Ed.), *31. Araştırma Sonuçları Toplantısı-2*, (pp. 43-64). Ankara: Kültür Bakanlığı Yayınları.
- Engin, A., Zengin-Koşan, O., Ay-Şafak, F. & Bozkurt, A. (2015). Sivas ili 2013 yılı yüzey araştırması. Özme, A. (Ed.), *32. Araştırma Sonuçları Toplantısı-1*, (pp. 399-430). Ankara: Kültür Bakanlığı Yayınları.
- Genz, H. (2011). The Iron Age in Anatolia. Tsetsckhladze, G. R. (Ed.), *The Black Sea, Greece, Anatolia and Europe in the First Millennium BC* (pp. 331-368). Leuven: Peeters Publishers.
- Hamer, W.B., Knitter, D., Grimm, S.B., Serbe, B., Eriksen, B.V., Nakoinz, O. & Duttman, R. (2019). Location modeling of final Paleolithic Sites in Northern Germany. *Geosciences*, 9 (10), 430. <https://doi.org/10.3390/geosciences9100430>
- Helbing, D., Keltsch, J. & Molnar, P. (1997). Modelling the evolution of human trail systems. *Nature* 388, (6637), 47-50. <https://doi.org/10.1038/40353>
- Herzog, I. (2013). The potential and limits of optimal path analysis. Bevan, A. & Lake, M. (Eds.), *Computational Approaches to Archaeological Spaces* (pp. 179-211). Walnut Creek: Left Coast Press.
- Herzog, I. (2014a). Least cost networks. Earl, G., Sly, T., Chrysanthi, A., Murrieta-Flores, P.A., Papadopoulos, C., Romanowska, I. & Wheatley, D. (Eds.), *Archaeology in The Digital Era. Papers from the 40th Annual Conference of Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA), Southampton, 26-29 March 2012* (pp. 237-248). Amsterdam: Amsterdam University Press. <https://doi.org/10.1515/9789048519590-026>
- Herzog, I. (2014b). Least cost paths - some methodological issues. *Internet Archaeology* 36. <https://doi.org/10.11141/ia.36.5>
- Herzog, I. & Posluschny, A. (2011). Tilt - slope-dependent least cost path calculations revisited. Jerem, E., Redo,

- F. & Szeverényi, V. (Eds.), *On the Road to Reconstructing the Past* (pp. 212-218). Budapest.
- Ingold, T. (1993). The temporality of the landscape. *World Archaeology*, 25 (2), 152–174. <https://doi.org/10.1080/00438243.1993.9980235>
- Judge, W. J. & Sebastian, L. (1988). *Quantifying the Present and Predicting the Past: Theory, Method, and Application of Archaeological Predictive Modeling*. Denver: U.S. Department of the Interior, Bureau of Land Management Service Center.
- Kamermans, H. (2004). The application of predictive modelling in archaeology: Problems and possibilities. Niccolucci, F. & Hermon, S. (Eds.), *Beyond the Artifact: Digital Interpretation of the Past, Proceedings of CAA 2004, Prato 13-17 April 2004* (pp. 273-277). Budapest: Archaeolingua.
- Kamermans, H., M. van Leusen, & Verhagen, P. (2009). *Archaeological Prediction and Risk Assessment. Alternatives to Current Practice*. Leiden: Leiden University Press.
- Kantner, J. (2012). Realism, reality, and routes: Evaluating cost-surface and cost-path algorithms. White, D.A. & Surface-Evans, S.L. (Eds.), *Least Cost Analysis of Social Landscapes* (pp. 225–238). Utah: University of Utah Press, Salt Lake City.
- Kealhofer, L. & Grave, P. (2011). The iron age on the central anatolian plateau. Steadman, S. R. & McMahon, G. (Eds.), *The Oxford Handbook of Ancient Anatolia* (pp. 415-442). New York: Oxford University Press.
- Kinsella-Shaw, J. M., Shaw, B. & Turvey, M. T. (1992). Perceiving 'walk-on-able' slopes. *Ecological Psychology*, 4 (4), 2223-239. https://doi.org/10.1207/s15326969eco0404_2
- Kondo, Y. & Seino, Y. (2011). GPS-aided walking experiments and data-driven travel cost modeling on the historical road of Nakasendō-Kisoji (Central Highland Japan). Frischer, B., Crawford, J. W. & Koller, D. (Eds.), *Making History Interactive, Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology. Proceedings of the 37th International Conference, Williamsburg, Virginia, United States of America, March 2009* (pp. 158–165). Oxford: Archaeopress.
- Kökten, İ. K. (1947). 1945 yılında Türk Tarih Kurumu adına yapılan tarihöncesi araştırmaları. *Belleten*, XI (43), 431-472.
- Lewis, J. (2018). The suitability of using least cost path analysis in the prediction of Roman Roads in the Highland and Lowland Zones of Roman Britain. Paper presented at the 26th GIScience Research UK Conference, University of Leicester, 17-26 April 2018.
- Magnini, L. & Bettineschi, C. (2019). Theory and practice for an object-based approach in archaeological remote sensing. *Journal of Archaeological Science*, 107, 10–22. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2019.04.005>
- Meriggi, P. (1965). Qualio viaggio Anatolico. *Oriens Antiquus*, 4, 263-315.
- Milheira, R. G., De Souza, J. G. & Iriarte, J. (2019). Water, movement and landscape ordering: A GIS-based analysis for understanding the mobility system of late Holocene mound-builders in southern Brazil. *Journal of Archaeological Science*, 111, 105014. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2019.105014>
- Minetti, A. E., Moia, C., Roi, G. S., Susta, D. & Ferretti, G. (2002). Energy cost of walking and running at extreme uphill and downhill slopes. *Journal of Applied Physiology*, 93 (3), 1039–46. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01177.2001>
- Mlekuž, D. (2014). Exploring the topography of movement. Polla, S. & Verhagen, P. (Eds.), *Computational Approaches to the Study of Movement in Archaeology. Theory, Practice and Interpretation of Factors and Effects of Long Term Landscape Formation and Transformation* (pp. 5–22). Boston: De Gruyter.
- Murrieta-Flores, P. A. (2010). Traveling in a prehistoric landscape: Exploring the influences that shaped human movement. Frischer, B., Crawford, J. W. & Koller, D. (Eds.), *Making History Interactive. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA). Proceedings of the 37th International Conference, Williamsburg, Virginia, United States of America, March 22-26* (pp. 249-267). BAR International Series S2079. Oxford: Archaeopress.
- Müller-Karpe, A. & Müller-Karpe, V. (2013). Kuşaklı – Şarişša. Doğan-Alparslan, M. & Alparslan, M. (Eds.), *Hittites. An Anatolian Empire* (pp. 220-227). Istanbul: Yapı Kredi Yayınları.
- Müller-Karpe, A., V. Müller-Karpe, & Kryszat, G. (2014). Untersuchungen in Kayalıpınar 2013 und 2014. *Mitteilungen der Deutschen Orient-Gesellschaft zu Berlin*, 146, 11-41.
- NPS (National Park Service of U.S.) (1996). *A Handbook for Trail Design, Construction, and Maintenance*, <https://www.nps.gov/noco/learn/management/upload/Handbook-complete-2.pdf>
- Nuninger, L., Verhagen, P., Bertonecello, F. and Castorao Barba, A. (2016). Estimating “land use heritage” to model changes in archaeological settlement patterns. Burgers, G. L. M., Kluiving, S. J. & Hermans, R. A. E. (Eds.), *Multi-, Inter- and Transdisciplinary Research in Landscape Archaeology: Proceedings of the 3rd International Landscape Archaeology Conference in Rome, Italy* (pp. 12-21). Amsterdam: Vrije Universiteit Amsterdam. <https://doi.org/10.5463/lac.2014.60>
- Orengo, H. A. & Garcia-Molsosa, A. (2019). A brave new world for archaeological survey: Automated machine learning-based potsherd detection using high-resolution drone imagery. *Journal of Archaeological Science*, 112. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2019.105013>
- Osten, von der, H. H. (1933). *Discoveries in Anatolia 1930-31*. Chicago, Illinois: The University of Chicago Press.
- Ökse, T. A. (1994). Sivas ili 1992 yüzey araştırması. Bayram, F., Eren, H., Ülgen, N., Kaymaz, F. & Ergürer, A.H. (Eds.), *XI. Araştırma Sonuçları Toplantısı* (pp. 243-258). Ankara: Kültür Bakanlığı Yayınları.
- Ökse, T. A. (1995). Sivas ili 1993 yüzey araştırması. Eroğlu, İ., Bayram, F., Eren, H., Ülgen, N., Kaymaz, F. & Ergürer, A. H. (Eds.), *XII. Araştırma Sonuçları Toplantısı* (pp. 317-329). Ankara: Kültür Bakanlığı Yayınları.
- Ökse, T. A. (1996). Sivas ili 1994 yüzey araştırması. Eroğlu, İ., Ülgen, N., Eren, H., Bayram, F., Tarlan, N., Tatlıcan, N., Ergürer, A. H. & Morkaya, Y. (Eds.), *XIII. Araştırma Sonuçları Toplantısı-1* (pp. 205-228). Ankara: Kültür Bakanlığı Yayınları.

- Ökse, T. A. (1997). Sivas ili 1995 yüzey araştırması. Eroğlu, İ., Eren, H., Bayram, F., Kaymaz, F., Tarlan, N., & Ergürer, A.H. (Eds.), *XIV. Araştırma Sonuçları Toplantısı-2* (pp. 375-400). Ankara: Kültür Bakanlığı Yayınları.
- Ökse, T. A. (1999). Sivas ili 1997 yüzey araştırması. Olşen, K., Çakmak, H., Bayram, F., Kaymaz, F., Tarlan, N., Özme, A., Ataş, K. & Dönmez, H. (Eds.), *XVI. Araştırma Sonuçları Toplantısı-1* (pp. 467-490). Ankara: Kültür Bakanlığı Yayınları.
- Ökse, T. A. (2000). Sivas ili 1998 yüzey araştırması. Olşen, K., Bayram, F., Özme, A., Ataş, K., Kepenek, Y., Dönmez, H. & Süvari, C. (Eds.), *17. Araştırma Sonuçları Toplantısı-2* (pp. 11-24). Ankara: Kültür Bakanlığı Yayınları.
- Ökse, T. A. (2001). Sivas ili 1999 yüzey araştırması. Olşen, K., Bayram, F., Dönmez, H., Ataş, K., Güder, N. & Toy, N. (Eds.), *18. Araştırma Sonuçları Toplantısı-2* (pp. 89-100). Ankara: Kültür Bakanlığı Yayınları.
- Ökse, T. A. (2002). Sivas ili 2000 yüzey araştırması. Olşen, K., Bayram, F., Özme, A., Dönmez, H., Güder, N. & Toy, N. (Eds.), *19. Araştırma Sonuçları Toplantısı-2* (pp. 229-238). Ankara: Kültür Bakanlığı Yayınları.
- Ökse, T. A. (2014). Second millenium BC settlement patterns in the upper Kızılırmak region. Engin, A., Helwing, B. & Uysal, B. (Eds.), *Studies in Honor of Engin Özgen. Armizzi* (pp. 205-217). Ankara
- Özendi, M. (2022). Kültür varlıklarının yersel lazer tarama yöntemi ile dijital dokümantasyonu: Zonguldak Uzun Mehmet Anıtı örneği, *Geomatik*, 7(2), 139-148.
- Özgüç, T. (1947a). Türk Tarih Kurumu ve Sivas ili adına Topraktepe'de yapılan kazı. *In Memoriam Halil Edhem*, vol. I, 219-225. Ankara: Türk Tarih Kurumu.
- Özgüç, T. (1947b). Türk Tarih Kurumu adına yapılan Maltepe (Sivas yanında) kazısı. *Belleten*, XI (44), 641-655.
- Pingel, T. J. (2010). Modeling slope as a contributor to route selection in mountainous areas. *Cartography and Geographic Information Science*, 37 (2), 137-148. <https://doi.org/10.1559/152304010791232163>
- Powrozniak, K. J. (2010). *Die Eisenzeit in Kuşaklı*, Kuşaklı-Sarissa Band 5. Rahden/Westfalia: Vorgeschichtliches Seminar in Verbindung mit der Deutschen Orient-Gesellschaft, Verlag Marie Leidorf GmbH.
- Rivera, J. A. (2014). *A Threat-Based Least-Cost Path Decision Support Model for National Security Resource Allocation Along The Us-Mexico Border*. (Yüksek lisans tezi. Faculty of the Usc Graduate School University of Southern California, Geographic Information Science and Technology program).
- Rogers, S. R., Collet, C. & Lugon, R., (2015). Least cost path analysis for predicting glacial archaeological site potential in central Europe. Traviglia, A. (Ed.), *Across Time and Space: Selected Papers from the 41st Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology Conference, Perth 23–25 March 2013* (pp. 261–275). Amsterdam: Amsterdam University Press.
- Sagona, A. & Zimansky, P. (2009). *Ancient Turkey*. New York: Routledge.
- Scarf, P. (2007). Route choice in mountain navigation, Naismith's rule and the equivalence of distance and climb. *Journal of Sports Sciences*, 25 (6), 719-726. <https://doi.org/10.1080/02640410600874906>
- Surface-Evans, S. & White, D. (2012). An introduction to the least cost analysis of social landscapes. White, D. A. & Surface-Evans, S. L. (Eds.), *Least Cost Analysis of Social Landscapes: Archaeological Case Studies* (pp. 1-7). Salt Lake City: University of Utah Press.
- Şasi, A. & Yakar, M. (2018). Photogrammetric modelling of Hasbey Dar'ülhuffaz (Masjid) using an unmanned aerial vehicle. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3(1), 6-11.
- Van Leusen, P. M. & Kamermans, H. (2005). *Predictive Modelling for Archaeological Heritage Management: a Research Agenda*. (Nederlandse Archeologische Rapporten; Vol. 29). Amersfoort: Rijksdienst voor het Oudheidkundig Bodemonderzoek. <https://doi.org/10.17026/dans-zqq-b335>
- Ulvi, A. & Toprak, A. S. (2016). Investigation of three-dimensional modelling availability taken photograph of the unmanned aerial vehicle; sample of Kanlıdivane Church. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 1(1), 1-7.
- Uslu, A. & Uysal, M. (2017). Arkeolojik eserlerin fotogrametri yöntemi ile 3 boyutlu modellenmesi: Demeter Heykeli örneği, *Geomatik*, 2(2), 60-65.
- van Leusen, P. M (1996). Unbiasing the archaeological record. *Archaeologia e Calcolatori*, 7, 129-136.
- Van Leusen, P. M. (2002). Pattern to process: methodological investigations into the formation and interpretation of spatial patterns in archaeological landscapes (Doktora tezi, Rijkuniversiteit Groningen).
- Vaughn, S. & Crawford, T. (2009). A predictive model of archaeological potential: An example from Northwestern Belize. *Applied Geography*, 29 (4), 542-555. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2009.01.001>
- Veenhof, K. R. (2010). Ancient Assur: The city, its traders, and its commercial network. *Journal of the Economic and Social History of the Orient*, 53: 39-82. <https://doi.org/10.1163/002249910X12573963244205>
- Verhagen, P. (2007). Testing archaeological predictive models: a rough guide. Posluschny, A., Lambers, K. & Herzog, I. (Eds.), *Layers of Perception. Proceedings of the 35th International Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA), Berlin, Germany, April 2–6, 2007* (pp. 285-291). Bonn: Dr Rudolf Habelt GmbH.
- Verhagen, P. (2013). On the road to nowhere? Least cost paths, accessibility and the predictive modelling perspective. Contreras, F., Farjas, M. & Melero, F. J. (Eds.), *Fusion of Culture. Proceedings of the 38th Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology, 6-9 April 2010, Granada* (pp. 383–389). Oxford: Archaeopress.
- Verhagen, P., Kamermans, H., Van Leusen, M., Deeben, J., Hallewas, D. & Zoetbrood, P. (2010). First thoughts on the incorporation of cultural variables into predictive modelling. Niccolucci, F. & Hermon, S. (Eds.), *Beyond the Artefact: Digital Interpretation of the Past. Proceedings of CAA2004, Prato, 13-17 April 2004* (pp. 307-311). Budapest: Archaeolingua.

- Verhagen, P. & Jeneson, K. (2012). A Roman puzzle. Trying to find the Via Belgica with GIS. Chrysanthi, A., Murrieta-Flores, P. & Papadopoulus, C. (Eds.), *Thinking Beyond the Tool. Archaeological Computing and the Interpretive Process* (pp. 123-130). Oxford: Archaeopress.
- Verhagen, P. & Whitley, T. (2012). Integrating archaeological theory and predictive modeling: a live report from the scene. *Journal of Archaeological Method and Theory*, 19, 49–100. <https://doi.org/10.1007/s10816-011-9102-7>
- Verhagen, P., Brughmans, T., Nuninger, L. & Bertonecello, F. (2014a). The long and winding road: Combining least cost paths and network analysis techniques for settlement location analysis and predictive modelling. Earl, G., Sly, T., Chrysanthi, A., Murrieta-Flores, P. A, Papadopoulos, C., Romanowska, I. & Wheatley, D. (Eds.), *Archaeology in the Digital Era. Papers from the 40th Annual Conference of Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA), Southampton, 26–29 March 2012* (pp. 357–366). Amsterdam: Amsterdam University Press. <https://doi.org/10.2307/j.ctt6wp7kg.41>
- Verhagen, P., Nuninger, L., Tourneux, F. P., Bertonecello, F. & Jeneson, K. (2014b). Introducing the human factor in predictive modelling: A work in progress. Earl, G., Sly, T., Chrysanthi, A., Murrieta-Flores, P.A, Papadopoulos, C., Romanowska, I. & Wheatley, D. (Eds.), *Archaeology in the Digital Era. Papers from the 40th Annual Conference of Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA), Southampton, 26–29 March 2012* (pp. 379-388). Amsterdam: Amsterdam University Press. <https://doi:10.2307/j.ctt6wp7kg.43>
- Verhagen, P., Nuninger, L., Bertonecello, F. & Castrorao Barba, A. (2016). Estimating the “memory of landscape” to predict changes in archaeological settlement patterns. Campana, S., Scopigno, R., Carpentiero, G. & Cirillo, M. (Eds.), *CAA 2015. Keep the Revolution Going. Proceedings of the 43rd Annual Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology* (pp. 623–636). Oxford: Archaeopress.
- Wescott, K. L. & Brandon, R. J. (2000). *Practical Applications of GIS for Archaeologists: A Predictive Modeling Toolkit*. Taylor & Francis, London.
- Wheatley, D. (2004). Making space for an archaeology of place. *Internet Archaeology* 15. <https://doi.org/10.11141/ia.15.10>
- White, D. A. (2007). *Transportation, Integration, Facilitation: Prehistoric Trail Networks of the Western Papagueria*. (Doktora tezi. Department of Anthropology, University of Colorado at Boulder, Boulder).
- White, D. A. (2015). The basics of least cost analysis for archaeological applications. *Advances in Archaeological Practice*, 3 (04), 407–414. <https://doi.org/10.7183/2326-3768.3.4.407>
- White, D. A. & Barber, S. B. (2012). Geospatial modeling of pedestrian transportation networks: a case study from precolumbian Oaxaca, Mexico. *Journal of Archaeological Science*, 39 (8), 2684–2696. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2012.04.017>
- Yakar, J. & Gürsan-Salzmann, A. (1979). Archaeological survey in the Malatya and Sivas provinces-1977. *Tel Aviv*, 6 (1-2), 34-53. <https://doi.org/10.1179/033443579791130416>
- Yakar, M. & Doğan, Y. (2017). Mersin Silifke Mezgit Kale Anıt Mezarı fotogrametrik rölevo alımı ve üç boyutlu modelleme çalışması, *Geomatik*, 2(1), 11-17.
- Yakar, M. & Doğan, Y. (2018). GIS and three dimensional modeling for cultural heritages. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3(2), 50-55.
- Zipf, G. K. (1949). *Human Behavior and The Principle of Least Effort: An Introduction to Human Ecology*. Cambridge: Addison-Wesley.



© Author(s) 2023. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>