



Topografik harita üretim tekniklerine ilişkin yükseklik hassasiyetlerinin arazi örtüsü tipi bağlamında karşılaştırılması

Arif Oğuz Altunel^{1*}, Oytun Emre Sakıcı¹

¹Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, 37150, Kastamonu

MAKALE KÜNYESİ

Geliş Tarihi: 04/10/2023

Kabul Tarihi: 02/11/2023

<https://doi.org/10.53516/ajfr.1371189>

* Sorumlu yazar:

aoaltunel@kastamonu.edu.tr

ÖZ

Araştırma Makalesi

Ülkemizde, teknolojik gelişmelere bağlı olarak 1950'lerin sonlarından günümüze kadar farklı ölçeklerde birçok topografik harita üretilmiş ve hizmete sunulmuştur. Bu çalışmada, 1992-1993 yıllarında analog imkanlar çerçevesinde üretilmiş 1:25.000 ölçekli topografik haritalardan elde edilen yükseklik değerleri ile haritacılık sektöründeki teknolojik gelişmelere paralel olarak yakın geçmişte (2009-2010) dijital imkanlarla üretilen topografik haritalardan elde edilen yükseklik değerleri üç farklı arazi örtüsü tipi (ziraat, parçalı orman ve orman) üzerinden CORS-GPS kullanılarak elde edilmiş yersel referans verilerine (ziraat formundaki çalışma sahasında 615 adet, parçalı orman formundaki sahada 3688 adet ve orman sahasında 1739 adet) dayalı olarak karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalarda, raster verilerin doğrudan kullanıldığı iki yöntem (Kesilmiş pafta (KP) ve Tam pafta (TP) yöntemleri) ve yeniden örnekleme ile elde edilen raster verilerin kullanıldığı iki yöntem (10 m mekansal çözünürlükle yeniden örnekleme (R10) ve 30 m mekansal çözünürlükle yeniden örnekleme (R30) yöntemleri) olmak üzere dört farklı raster yüzey modelinden elde edilen yükseklik değerlerinden yararlanılmıştır. Çalışma sonuçları, dijitalleşmenin topografik haritaların yükseklik hassasiyetleri üzerinde olumlu katkılar sağladığını göstermiştir. Analog ve dijital teknikte üretilen haritalar arasındaki yükseklik hassasiyetlerindeki farklılık ziraat arazi örtüsü tipinde oldukça belirgin iken, parçalı orman ve orman alanlarında dijitalleşme ile hassasiyet artışının daha düşük seviyelerde kaldığı belirlenmiştir. Ayrıca, raster veri üretiminde yeniden örnekleme yoluna gidilerek yükseklik değerleri tahmininde daha başarılı sonuçlar elde edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Arazi örtüsü/kullanımı, harita üretimi, raster yüzey modeli, yeniden örnekleme

Comparison of the elevation accuracies of different period topographic maps under various land cover types

ABSTRACT

Depending upon the technological advancements, many differently scaled topographical maps were manufactured and put into service in Türkiye. In this particular study, the elevation values of 1:25.000 scaled topographic maps produced with analogue means in 1992-1993 period were compared to later produced, digital means integrated 2009-2010 period maps through precisely measured CORS-GPS ground control points over three different land cover types (agriculture, partial-forest, and forest). 615, 3688 and 1739 systematic ground control points were respectively used inside, agriculture, partial forest and forest designated study sites. Comparisons were made over four different surface models produced from the same topographic maps: purpose-cut topographic sheets (KS), entire topographic sheets (TP), 10 m and 30 m resampled entire topographic sheets (R10 and R30). The results showed that digitizing the map production means and techniques really improved the elevation accuracies of 1:25.000 scaled topographic maps. Elevation accuracies between analogue and digital means produced maps were distinct in agriculture-designated site however, they were not as easily identifiable in partial-forest and forest designated sites. Besides, it was obvious that a resampling algorithm applied to the raster surface models produced using these maps would certainly improve their elevation accuracies.

Key Words: Land cover/land use, map making, raster surface models, resampling

Bu makaleye atıf:

Altunel, A.O., Sakıcı, O.E., 2023. Topografik harita üretim tekniklerine ilişkin yükseklik hassasiyetlerinin arazi örtüsü tipi bağlamında karşılaştırılması. Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi, 9(2), 22-32.



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution NonCommercial 4.0 International Licence.

1. Giriř

Asli amaçlarından birisi de yükseltinin doğru olarak ortaya konulması olan topografik harita üretimi gerek ülkemizde gerekse dünyanın birçok ülkesinde öncelikle savunma ve ayrıca çok sayıda sivil uygulamalara (tarım, ormancılık, meteoroloji, hidroloji, vb.) hizmet edecek biçimde yaygın ve güvenilir topografik verilerin temini amacıyla sürekli gündemdedir (Clark ve Lee, 1998; Swann, 1999; Karabulut ve Küçükönder, 2008; Gençer ve ark., 2015; Yıldırım ve ark., 2016). Topografik haritalar birçok farklı ölçekte üretiliyor olsa da 1:24.000 ya da 1:25.000 ölçekli haritalar birçok ülkede benimsenmiş ve yaygın olarak kullanılmaktadır ve ülke coğrafyalarının her köşesini oldukça ayrıntılı arazi örtüsü ve kullanım tercihlerini gösterebilecek şekilde betimlemektedirler (Wichmann ve ark., 2015; Kaim ve ark., 2016).

Ülkemizde, topografik nitelikli olmasa da, erken tarihli (1927 ve öncesi) ilk haritalar arazi örtüsünü ve özellikle orman varlığını göstermek üzere üretilmişlerdir (Dağdaş ve Bilge, 2015; Şahin ve ark., 2022). İkinci Dünya Savaşının ardından, ülkemizin ilk tam kapsamlı topografik haritaları, 1950'li yılların başlarında yapılan stereo hava fotoğrafı alımlarına dayalı olarak fotogrametrik yöntemler yardımıyla 1959-1960 yıllarında üretilmiştir. Devam eden süreçte, yine tüm ülke coğrafyasına hitap eden ikinci dönem 1992-1993 ve son dönem ise 2009-2010 yıllarında üretilen haritaları kapsamaktadır. 1959-2010 yılları arasındaki söz konusu süreçte, Türkiye gibi geniş coğrafyaya yayılmış bir ülke için az sayıda topografik harita üretilmiş olduğu akla gelebilir, ancak arazi örtüsü ve kullanım tercihlerinin kısa sürelerde önemli ölçüde değiştiği popüler ve hassas bölgeler (büyük şehirler, doğal afet sahaları, kıyılar, vb.) için daha sık aralıklarla topografik haritalar üretildiği bilinmektedir (Musaoglu ve ark., 2006).

Ulusal pafta gridine göre üretilen haritalar; ilk iki dönemde (1959-1960 ve 1992-1993) European Datum 1950 (ED50) yatay datumu üzerinde tanımlı Universal Transverse Mercator (UTM) projeksiyonu kullanılarak analog imkanlar vasıtası ile konumlandırılmışken, son dönemde (2009-2010) World Geodetic System 1984 (WGS84) yatay datumu üzerine yine UTM projeksiyonu kullanılarak dijital imkanlar vasıtası ile konumlandırılmışlardır. Topografyaya uyumlu yerleştirilmiş eşyükselti eğrileri ile betimlenen yükseklik değerleri ise, ortalama deniz seviyesi referans alınarak her 10 m'lik yükseklik kazanımını göstermektedirler. 2000'li yılların başlarında Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) C-band ve X-band SAR görüntü alımları ardından üretilen küresel iki Sayısal Yüzey Modeli (SYM) sivil kullanıma açılıncaya kadar, ihtiyaç duyulan tüm bilimsel ve mühendislik çalışmalarında, bu topografik haritalar 1980'lerden bu yana gelişmekte olan haritacılık ve Coğrafi Bilgi Sistemleri yazılımları kullanılarak SYM'lere dönüştürülmüş ve hesaplamalarda kullanılmışlardır (Jaiswal ve ark., 1999; Tekle ve Hedlund, 2000; Sarkar ve Kanungo, 2004; Çelik ve ark., 2012). Bu haritalar birçok çalışmada doğrudan kullanılmış ve eğim, bakı, yükseklik, engebelik ve hidroloji gibi asli topografik değişkenlerin belirlenmesi için temel topografik veri kaynağını teşkil etmiş olmalarına rağmen, söz konusu değişkenlerin ölçüm hassasiyetini etkileyen en önemli bileşenleri olan yüksekliğe ilişkin hassasiyetlerin tespit edilmesine yönelik çalışmalar kısıtlı sayıdadır. Öztürk ve Koçak (2007), 1:16.000 ölçekli stereo hava fotoğrafları üzerinden

oluşturdukları bir doğrulama seti vasıtasıyla, 1:25.000 ölçekli topografik haritaların ± 2 m'lik hassasiyetle beklenenin üzerinde bir yükseklik hassasiyeti sağlayabildiklerini belirtmişlerdir. Bildirici ve ark. (2009) da 3 arc-second'lık (90 m) SRTM C-band SYM'nin yükseklik hassasiyetinin, misyon raporunda belirtilen 16 m'den daha iyi olduğunu 1:25.000 ölçekli topografik haritaları referans olarak ortaya koymuşlardır. Yılmaz ve Erdoğan (2018), Uşak, Aksaray ve Doğu Beyazıt'ta stereo hava fotoğrafları üzerinden yürüttükleri çalışmada 45 cm mekansal çözünürlüğe sahip raster verilerin üretilmediğini ve bu sayede de ülke çapında yüksek çözünürlüklü 5 m'lik bir ülke raster yüzey modelinin üretilmediğini ortaya koymuş ve bu çalışmada önerilen yöntem Harita Genel Müdürlüğü (HGM) tarafından kabul edilerek hayata geçirilmiş ve kullanıma sunulmuştur. Bir diğer çalışmada ise Altunel ve Sakıcı (2022), 10 m'den daha yüksek bir yükseklik hassasiyetinin elde edilebileceğini ancak bunun her türlü arazi formu için aynı ölçüde geçerli olamayacağını 2010 yılında üretilmiş topografik haritalar üzerinden belirlemişlerdir.

Topografik haritalar, ormancılığın hemen hemen tüm alt disiplinlerinde birçok topografik parametrenin üretilmesinde temel veri kaynağı olarak kullanılmış ve kullanılmaya devam etmektedir. Özdemir ve Asan (2004), meşcere haritalarına, topografik haritalar yardımı ile eklenen eşyükselti eğrilerinin ormancılığın farklı alanlarında uygulamaya sağlayacağı avantajlardan bahsederken, Duran (2014), 1:100.000 ölçekli topografik haritalar yardımıyla gerçekleştirdiği orman yangını mekansal dağılım modellemesi çalışmalarında 1:25.000 ölçekli haritaları da destekleyici veri olarak kullanmıştır. Ertuğrul ve ark. (2017) Burdur Gölü havzasında yaban hayvanlarının habitat uygunluk modellemesi çalışmalarında 1:25.000 ölçekli haritalardan modellemeye katkı yapacak birçok parametre elde etmişlerdir. Güvendi ve Kahyaoglu (2019) ise, saf doğu kayını meşcerelerinin ekolojik tabanlı mutlak idare sürelerini belirlerken yine 1:25.000 ölçekli topografik haritaları araştırma materyali olarak kullanmışlardır. Ancak, sayısı daha da artırılabilir olan bu örneklerin tamamında 1:25.000 ölçekli haritalarının yükseklik hassasiyetleri sorgulanmadan yükseklik değerleri olduğu gibi kullanılmıştır. Genel kabul görmüş bu uygulamanın ne kadar doğru sonuç ürettiği, topografik haritaların sağladığı yükseklik değerlerinin ne kadar hassas olduğuna bağlıdır. Altunel ve Sakıcı (2022) tarafından yapılan çalışmanın bir devamı niteliğinde olan bu çalışmada; ikinci (1992-1993) ve üçüncü dönem (2009-2010) topografik haritaların yükseklik hassasiyetlerinin orman, parçalı orman ve ziraat olmak üzere üç farklı arazi örtüsü formu ve haritalardan üretilen dört farklı raster yüzey modeli üzerinden karşılaştırılması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1 Çalışma sahası

Çalışma, Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisinde yürütülmüş olup orman, parçalı orman ve ziraat arazisi şeklinde üç farklı arazi örtüsü şekline sahip çalışma alanları seçilmiştir (Şekil 1). Taşköprü Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisinde yer alan çalışmaya konu orman arazisi sahaya ait 2010 tarihli topografik harita üretimine yönelik halihazır kayıtların alındığı esnada tamamıyla %70'in

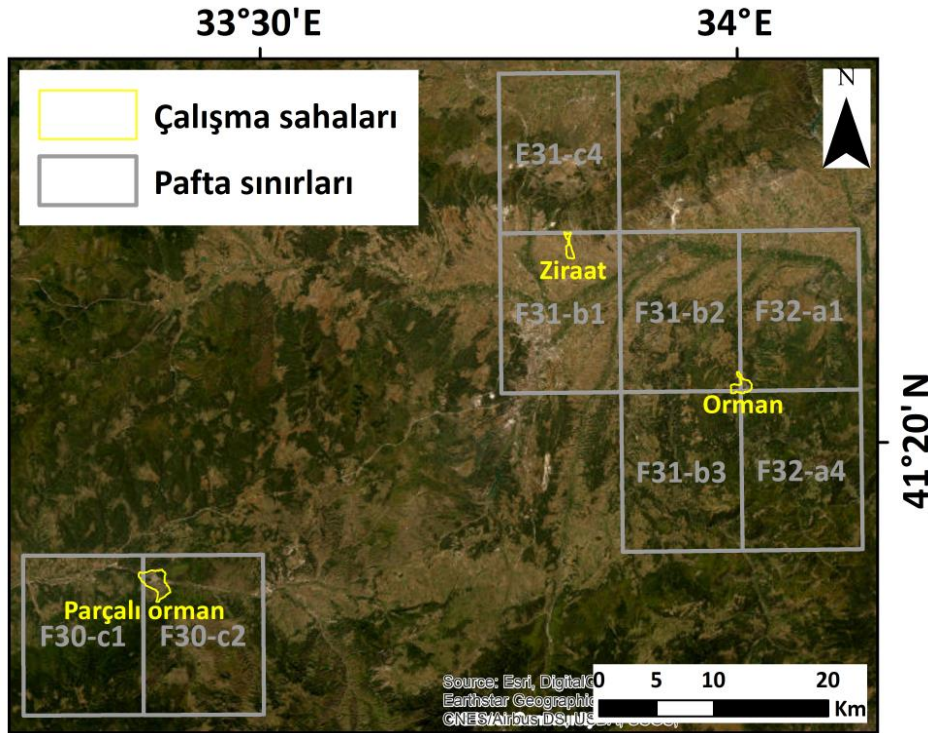
üzerinde kapalılığa sahip ormanlarla kaplıyken, Araç Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisindeki parçalı orman arazisi ise ilgili tarihte kısmen %30 kapalılığa sahip ormanlar ve kısmen de tarım arazileri ile kaplı parçalı bir yapıya sahiptir. Ziraat arazisi formundaki saha ise Kastamonu Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisinde yer almakta olup halihazır kayıtlarda tamamıyla tarım alanlarıyla kaplıdır. Orman, parçalı orman ve tarım arazisi formundaki çalışma sahalarının yükseltmeleri halihazır kayıtlara göre sırasıyla 720-920 m, 680-800 m ve 760-855 m arasındadır.

2.2 Materyal

Çalışma materyalinin temelini, çalışmaya konu üç farklı arazi örtüsü şeklinin örneklendiği çalışma sahalarının yer aldığı 1:25.000 ölçekli topografik haritaların (paftaların) 1993 yılında ED50 matematik modeli (yatay datum) üzerine 6 derecelik UTM projeksiyonu uygulanarak analog imkanlarla üretilen ve 2010 yılında WGS84 modeline dayalı olarak dijital imkanlar ile üretilen ikişer farklı versiyonu oluşturmaktadır. Her iki dönemde de haritalardaki eşyükselti eğrilerine gömülü yükseklikler ortalama deniz seviyesi düşey datum referansı üzerinden hesaplanarak haritalara işlenmişlerdir. Söz konusu paftalar; Taşköprü Orman İşletme Müdürlüğü sınırları

içerisindeki orman arazisi için F31b2, F31b3, F32a1 ve F32a4 paftaları, Araç Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisindeki parçalı orman arazisi için F30c1 ve F30c2 paftaları ve Kastamonu Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisindeki ziraat arazisi için de E31c4 ve F31b1 paftalarıdır. Bu sekiz paftanın 1993 ve 2010 yılı üretimi versiyonları kullanıldığından toplamda 16 paftadan yararlanılmış ve her iki dönem haritaların HGM tarafından sağlanan vektöre dönüştürülmüş formları kullanılmıştır.

Çalışma kapsamında; 1993 ve 2010 yıllarında iki farklı teknik ile üretilen topografik haritaların yükseklik hassasiyetlerinin arazi örtüsü şekilleri bağlamında karşılaştırılması amaçlandığından, gerçek yükseklik değerlerini içeren referans verilerine ihtiyaç duyulmuştur. Bu veriler, her üç çalışma alanının içerisinde tesis edilmesi planlanan baraj rezervuarlarına yönelik mühendislik hesapları için Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) tarafından 2014 ve 2015 yıllarında CORS-GPS ile alınmış olan halihazır ölçüm kayıtlarından sağlanmıştır. Bu kayıtlar, baraj rezervuarları dahilinde rastgele yöntemle alınmış yer kontrol noktalarının koordinatlarını ve yüksekliklerini içermektedir. Çalışma için; orman formundaki çalışma sahası için 26.176 adet, parçalı orman sahası için 41.181 adet ve ziraat sahası için de 11.226 adet yer kontrol nokta verisi temin edilmiştir.



Şekil 1. Çalışma sahaları

2.3 Yöntem

Demirkol ve ark. (2002), ED50 yatay datumundan WGS84'e konum, obje ve koordinat bazlı dönüşümlerin nasıl yapılabileceğini ve bu işlemler sırasında nelere dikkat edilmesi gerektiğini açıklamışlardır. Bu çalışmada ise, iki farklı teknik ile üretilen 1993 ve 2010 tarihli topografik haritalara ilişkin yükseklik değerlerinin ortometrik düzeye indirgenmiş CORS-

GPS yer kontrol noktalarından elde edilen gerçek yüksekliklere göre hassasiyetlerinin üç farklı arazi örtüsü tipi (orman, parçalı orman ve ziraat) bağlamında karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, 1993 ve 2010 tarihli paftalar (8'er pafta) ayrı ayrı olmak üzere, kendi dönemlerinde kullanılan yatay datumlar (ED50 ve WGS84) üzerinden 36. dilim UTM projeksiyonu kullanılarak konumlandırılmışlardır.

Raster verilerin düşük ya da yüksek mekânsal çözünürlükte

tekrardan üretilmeleri “yeniden örnekleme” olarak tanımlanmaktadır (Mitas ve Mitsova, 1999). Yeniden örnekleme, tasarlanan amaca yönelik sonucu iyileştirebileceği gibi beklenen katkıyı sağlamayabilir (Grohmann ve ark., 2010; Arnone ve ark., 2016; Altunel, 2021). Çalışma kapsamında raster yüzey modellerinin üretiminde; ikisi raster verilerin doğrudan kullanıldığı (Kesilmiş pafta (KP) ve Tam pafta (TP) yöntemleri) ve ikisi de yeniden örnekleme ile elde edilen raster verilerin kullanıldığı (10 m mekansal çözünürlükle yeniden örnekleme (R10) ve 30 m mekansal çözünürlükle yeniden örnekleme (R30) yöntemleri) dört yöntem uygulanmıştır. Bu yöntemlerde, ArcGIS 10.8 yazılımı yardımıyla raster veri üretimi için izlenen yollar aşağıda açıklanmıştır:

• **KP Yöntemi:** Çalışma sahalarının dahil olduğu paftalar içerisinde çalışma sahası poligonu kesilerek TIN ara yüzeyleri oluşturulmuş ve analizlerde kullanılmak üzere varsayılan mekansal çözünürlüğe sahip raster verilere dönüştürülmüştür.

• **TP Yöntemi:** Çalışma sahalarının dahil olduğu paftalar bir bütün olarak dikkate alınıp TIN ara yüzeyleri oluşturulmuş ve bütüncül mekansal çözünürlüğe sahip raster verilere dönüştürülmüştür.

• **R10 Yöntemi:** Çalışma sahalarının dahil olduğu paftalar bir bütün olarak dikkate alınıp TIN ara yüzeyleri oluşturulmuş ve 10 m mekansal çözünürlüğe sahip raster verilere dönüştürülmüştür.

• **R30 Yöntemi:** Çalışma sahalarının dahil olduğu paftalar bir bütün olarak dikkate alınıp TIN ara yüzeyleri oluşturulmuş ve 30 m mekansal çözünürlüğe sahip raster verilere dönüştürülmüştür.

Raster yüzey modelleri oluşturulurken ister paftalar çalışma sahalarına göre kesilmiş olsun (KP yöntemi) isterse çalışma sahalarını içeren paftalar tam olarak kullanılsın (TP, R10 ve R30 yöntemleri), Montealegre ve ark. (2015) tarafından önerilen TIN ara yüzeyi üzerinden dönüştürme yöntemi izlenmiştir. Böylelikle hem kesilmiş hem de tam kullanımda vektöre dönüştürülmüş topografik haritaların, resmettikleri topografya ölçeğinde optimal mekansal çözünürlükte bir raster yüzey modeli oluşturabildikleri ortaya konulmaya çalışılmıştır. Ancak, paftaların çalışma sahalarına göre kesilmesi sonucunda çözünürlüğü yüksek raster veriler elde edileceğinden tam kullanıma göre çok daha yüksek mekansal çözünürlüğe sahip yüzey modellerinin oluşturulabileceği dikkatten kaçırılmamalıdır (Çizelge 1).

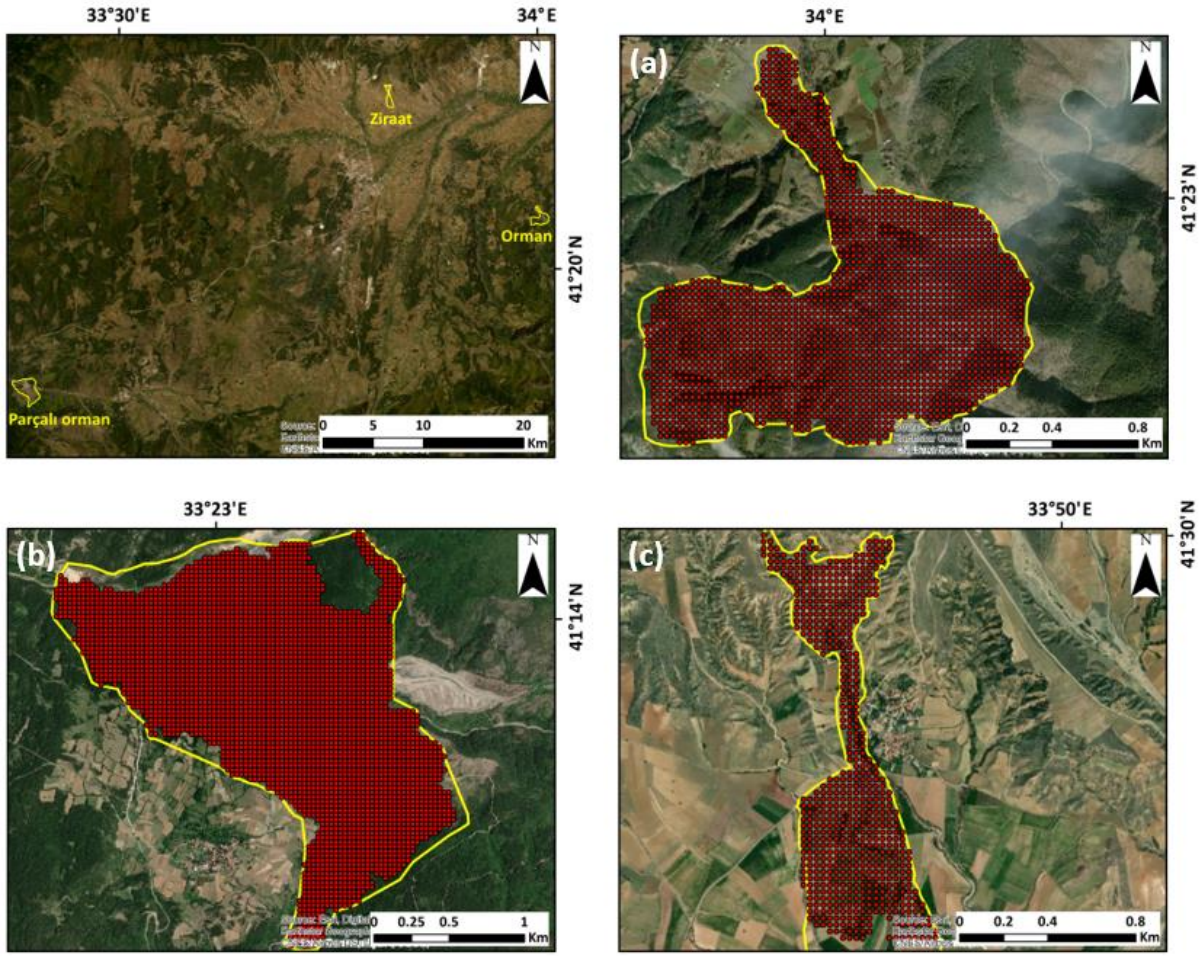
Çizelge 1. Raster veri üretim yöntemlerine ilişkin yersel çözünürlük değerleri ve çalışma sahası verileri

Topografik Harita Üretim Tekniği	Raster Veri Üretim Yöntemi	Arazi Örtüsü Tipi		
		Orman	Parçalı Orman	Ziraat
Analog (1993 haritası) (m)	KP	7,5	11,2	9,2
	TP	112,4	84,5	111,8
	R10	10	10	10
	R30	30	30	30
Dijital (2010 haritası) (m)	KP	7,5	11,2	7,5
	TP	112,4	84,4	111,8
	R10	10	10	10
	R30	30	30	30
Alan (ha)		165,5	388,3	83,8
Pafta Sayısı		4	2	2
Sistemik Yer Kontrol Noktası Sayısı		1739	3688	615

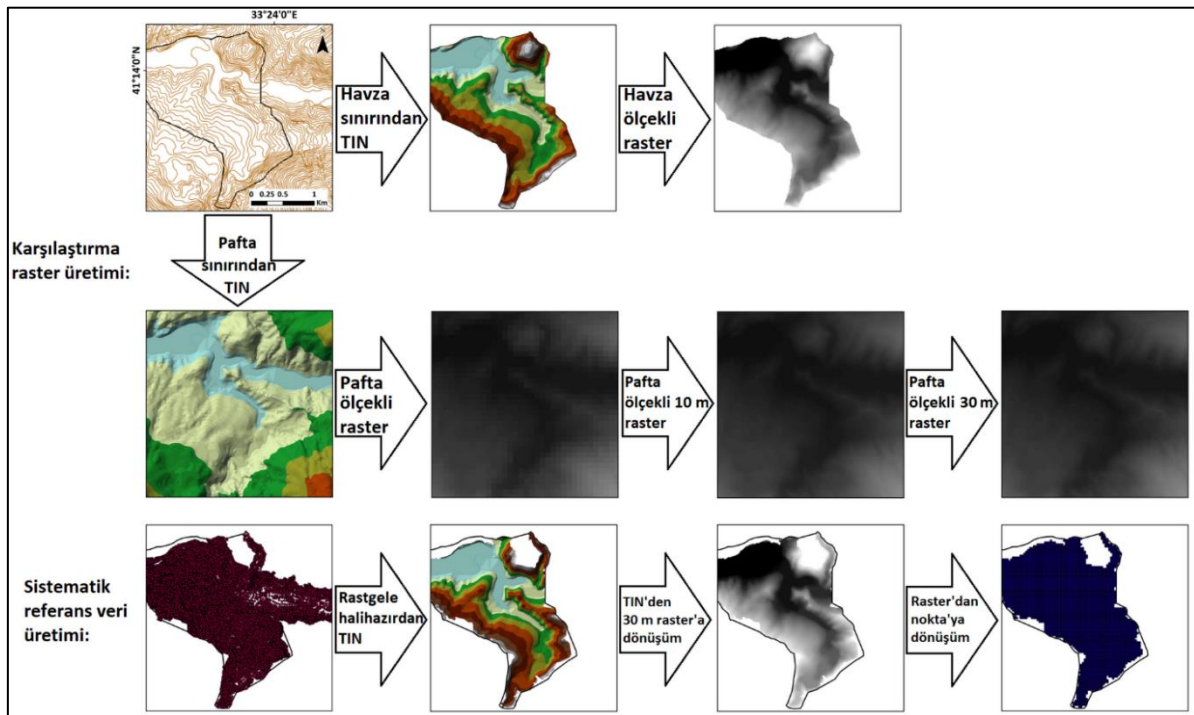
Açıklanan dört yöntemle elde edilen raster yüzey modellerinin hassasiyetlerinin tespit edilebilmesi için ihtiyaç duyulan referans verilerinin elde edilmesinde DSİ’den ITRF96 (Transverse Mercator, 3°, WGS-84 ellipsoid) referansı ile temin edilen basit rastgele örnekleme ve ortometrik seviyeye indirgenmiş halihazır yer kontrol noktalarından yararlanılmıştır. Stehman (1992), uzaktan algılama çalışmalarında rastgele örnekleme ile yapılan yer kontrol noktası seçimlerinde kabul edilebilir sınırların üzerinde varyans değerleri ile karşılaşılabileceğini belirtmiştir. Benzer şekilde, Elsayir (2014) de yersel örneklemeyle elde edilen yüksekliklerin ortalamasının hassas bir şekilde hesaplanabilmesi için sistematik örneklemeyle basit rastgele örneklemeyle göre daha isabetli bir tercih olduğunu ifade etmiştir. Plourde ve Congalton (2003) tarafından yürütülen bir diğer çalışmada ise uzaktan algılamada sınıflandırma başarısının önde gelen ölçütlerinden birisi olan Kappa değerinin sistematik örnekleme ile istenilen düzeylere getirilebildiği açıklanmıştır. Açıklanan bu çalışmalardan elde edilen bilgilere dayalı olarak bu çalışmada da

referans verisi olarak kullanılacak yersel kontrol noktalarının seçiminde sistematik örnekleme yönteminin kullanılması tercih edilmiş ve 6°’liğe dönüştürülen halihazır yer kontrol noktalarından yararlanılarak 30x30 m’lik yer kontrol noktaları türetilmiştir. Böylelikle, orman formundaki çalışma sahasında 1739 adet, parçalı orman formundaki sahada 3688 adet ve ziraat sahasında ise 615 adet referans yer kontrol noktası elde edilmiştir (Şekil 2).

Çalışma kapsamında kullanılan referans ve karşılaştırma verilerinin üretimine ilişkin akış diyagramı Şekil 3’te verilmiştir. Bu bağlamda, her bir harita üretim tekniği için üç farklı arazi örtüsü tipinin örneklendiği çalışma sahalarına ilişkin birer adet referans veri seti üretilmiştir. Karşılaştırma verisi olarak ise, her bir çalışma alanı için 2 farklı dönem topografik harita (1993 ve 2010) için ayrı ayrı olacak şekilde, referans verileri ile aynı koordinatlardan 4 farklı yöntemle elde edilen toplam 8 adet karşılaştırma veri seti (raster yüzey modelleri) oluşturulmuştur. Böylelikle çalışma 6 adet referans ve 24 adet karşılaştırma veri seti ile yürütülmüştür.



Şekil 2. Çalışma sahalarına ilişkin sistematik yer kontrol noktalarının konumsal dağılımı; (a) orman, (b) parçalı orman, (c) ziraat



Şekil 3. Referans ve karşılaştırma veri setleri üretim döngüsü

Üretilen yükseklik verilerinin üç farklı arazi örtüsü tipi, iki farklı topografik harita üretim tekniği ve dört farklı raster yüzey modeli üretme yöntemine göre hassasiyetlerinin belirlenmesinde Ortalama Mutlak Hata (MAE), Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (RMSE), Standart Sapma (STD) ve %95 güven düzeyinde Doğrusal Hata (LE95) olmak üzere dört farklı istatistiksel ölçütten yararlanılmıştır (Grohmann, 2018; Wessel ve ark., 2018). İstatistiksel ölçütlerin hesaplanmasında aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır:

$$MAE = \frac{\sum(|h_i - h_r|)}{n} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(h_i - h_r)^2}{n}} \quad (2)$$

$$STD = \sqrt{\frac{\sum\left((h_i - h_r) - \frac{\sum(h_i - h_r)}{n}\right)^2}{n - 1}} \quad (3)$$

$$LE95 = 1,96 * \sqrt{\frac{\sum(h_i - h_r)^2}{n - 1}} \quad (4)$$

Bu eşitliklerde; h_i : farklı yöntemlerle hesaplanan yükseklik değerlerini (m), h_r : referans yükseklikleri (m), n : veri sayısını ifade etmektedir.

Yükseklik hassasiyetlerinin karşılaştırma verilerinin elde edilme yöntemleri ve arazi örtüsü tipleri bakımından karşılaştırılmasında Poudel ve Cao (2013) tarafından önerilen rölatif sıralama yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle karşılaştırma verilerinin elde edildiği yöntemlerin rölatif sıralamaları aşağıda verilen denklem yardımıyla her bir

istatistiksel ölçüt için ayrı ayrı belirlenmiş ve yöntemlere ilişkin istatistiksel ölçütlerin rölatif sıralamaları toplanarak da her bir yöntem için toplam rölatif sıralama değeri hesaplanmıştır. Toplam rölatif sıralama değerlerine yönelik son rölatif sıralama ile de yöntemlere ilişkin genel sıralamalar elde edilmiştir.

$$R_i = 1 + \frac{(m - 1)(S_i - S_{min})}{(S_{max} - S_{min})} \quad (5)$$

Bu eşitlikte; R_i : i . yöntemin rölatif sıralamasını ($i = 1, 2, \dots, m$), S_i : i . yöntemin ilgilenilen istatistiksel ölçüte ilişkin değerini, S_{min} : İlgilenilen istatistiksel ölçüt için en küçük S_i değerini ve S_{max} : İlgilenilen istatistiksel ölçüt için en büyük S_i değerini ve m : karşılaştırılan yöntem sayısını ifade etmektedir.

3. Bulgular ve Tartışma

Hangi yöntemle üretilmiş oldukları fark etmeksizin tüm raster yüzey modellerinin yükseklik hassasiyetini etkileyen en önemli unsurlar, verinin alındığı mevkiinin topografik yapısı ve arazi örtüsü tipidir (Shortridge, 2006; Wechsler ve Kroll, 2006; Hebeler ve Purves, 2009; Altunel, 2018; Gonzalez ve Rizzoli, 2018). Bu çalışmada, stereo hava fotoğraflarına dayalı olarak farklı zamanlarda (1993 ve 2010) ve farklı tekniklerle (analog ve dijital) üretilen topografik haritaların yükseklik hassasiyetleri üç farklı arazi örtüsü tipi (orman, parçalı orman ve ziraat) ve haritalardan farklı yöntemlerle üretilen dört farklı raster yüzey modeli üzerinden karşılaştırılmış ve elde edilen istatistiksel sonuçlar Çizelge 2’de verilmiştir. Dijital olarak üretilen 2010 tarihli ve analog olarak üretilen 1993 tarihli topografik haritalardan dört farklı yöntemle (KP, TP, R10, R30) üretilen raster yüzey modelleri karşılaştırıldığında, dijital olarak üretilen haritalardan elde edilen tüm raster veri tiplerinin nokta bazlı yükseklik hassasiyetleri her üç arazi örtüsü tipi için de daha yüksek bulunmuştur.

Çizelge 2. İstatistiksel ölçütlere ilişkin sonuçlar

Arazi Örtüsü Tipi	Raster Veri Üretim Yöntemi	Topografik Harita Üretim Tekniği							
		Analog (1993 haritası)				Dijital (2010 haritası)			
		MAE (m)	RMSE (m)	STD (m)	LE95 (m)	MAE (m)	RMSE (m)	STD (m)	LE95 (m)
Orman	KP	5,31	7,04	7,05	13,83	5,04	6,76	6,77	13,26
	TP	7,69	9,71	9,75	19,11	7,38	9,46	9,45	18,56
	R10	5,28	7,00	7,01	13,74	5,04	6,75	6,75	13,24
	R30	5,29	6,97	6,98	13,69	5,07	6,72	6,72	13,18
Parçalı Orman	KP	3,94	5,37	5,11	10,52	3,81	5,20	4,96	10,19
	TP	5,98	8,23	7,96	16,12	4,30	6,05	5,68	11,85
	R10	3,86	5,27	4,97	10,32	3,79	5,16	4,92	10,12
	R30	4,39	6,02	5,72	11,79	3,79	5,19	4,91	10,17
Ziraat	KP	8,54	11,67	8,17	22,90	1,80	2,27	2,06	4,46
	TP	7,74	10,74	7,66	21,06	2,27	3,09	3,09	6,07
	R10	8,53	11,65	8,15	22,86	1,77	2,25	2,09	4,42
	R30	8,48	11,57	8,09	22,70	1,77	2,25	2,10	4,42

Çizelge 2’de verilen istatistiksel sonuçlar öncelikle harita üretim teknikleri bakımından karşılaştırılacak olursa; her üç arazi örtüsü tipi için de analog teknikle üretilen haritalardan elde edilen verilere ilişkin tüm istatistiksel hata ölçütleri dijital teknikle üretilen haritalardan elde edilen verilerin hata ölçütlerine göre daha yüksektir ve her iki harita arasındaki

yükseklik hassasiyeti farklılığı herhangi bir orman örtüsü ile kaplı olmayan ziraat arazisinde daha belirgindir. Ziraat arazisinde ilişkin analog teknikle üretilen haritadan elde edilen yükseklik verilerine ilişkin istatistiksel hata değerleri (MAE, RMSE, STD, LE95) dijital teknikle üretilen haritaya göre 4-5 kat daha yüksektir ve dolayısıyla ziraat arazi örtüsü için dijital teknikle

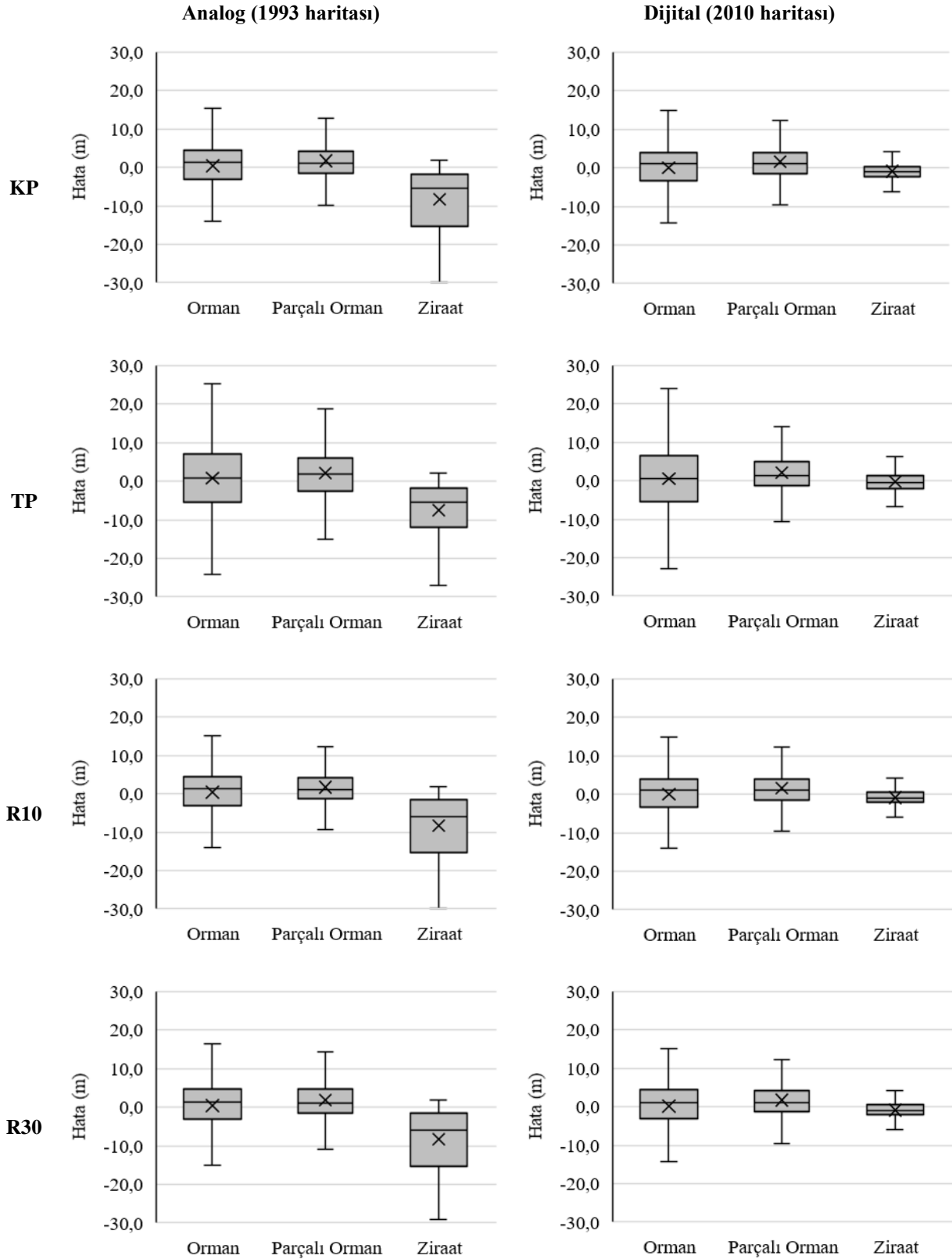
üretilen haritaların çok daha hassas yükseklik verisi sağladığı söylenebilir. Parçalı orman arazisinde, analog teknikle üretilen haritalara ilişkin istatistiksel hata değerlerinin dijital teknikle üretilen haritalarla elde edilen hata değerlerinden ortalama 1,2 kat daha yüksek olduğu belirlenmiş olup, bu bulguya bağlı olarak bu arazi örtüsü tipi için yükseklik verisi üretiminde dijital teknikle üretilen haritaların analog teknikle üretilenlere nazaran yaklaşık %20 daha hassas olduğu ifade edilebilir. Orman arazisinde ise söz konusu hassasiyet daha da düşmüş olup, analog teknikle üretilen haritalarla elde edilen istatistiksel hata değerleri dijital teknikle üretilenlerden ortalama 1,04 kat yüksek bulunmuştur. Bu sonuca bağlı olarak orman arazisi için yükseklik verisi üretiminde dijital teknikle üretilen haritaların %4'lük bir hassasiyet artışı sağladığı söylenebilir. Açıklanan sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde; arazi örtüsündeki orman alanının artışına bağlı olarak analog ve dijital teknikle üretilen haritalar arasındaki hassasiyet farklılığının düştüğü görülmüştür. SYM'ler söz konusu olduğunda, bu çalışmada da test edilen arazi örtüsü tiplerinin SYM'lerin yükseklik hassasiyetlerini etkileyen önemli unsurlar oldukları yapılan çalışmalarla belirlenmiştir (Fahsi ve ark., 2000; Hale ve Rock, 2003). Bu çalışmada karşılaştırmak üzere topografik haritalardan üretilen raster yüzey modelleri, farklı bir tür uzaktan algılama verisi olan stereo hava fotoğrafları enterpole edilerek üretilmişlerdir. Hem uydu hem hava platformlarından görüntü ya da fotoğraf kaydı yapılırken algılama yapılan arazi üzerindeki örtü, arazinin gerçek yükseklik değerinin kayıt edilmesine ya da layıkıyla türetilmesine engel olur (Fisher ve ark., 2018). Çalışma kapsamında kullanılan her iki harita üretim tekniği için de yükseklik hassasiyetlerinin ziraat sahasından orman sahasına düşüyor olması bu şekilde açıklanabilir.

Elde edilen sonuçlar raster veri üretim yöntemleri bakımından karşılaştırıldığında; yeniden örneklemeyle dayanan yöntemlerin (R10 ve R30) özellikle birçok çalışmanın veri kaynağını oluşturan tam paftaya dayalı diğer yöntemle (TP) göre çok daha başarılı sonuçlar verdiği belirlenmiştir (Çizelge 2). 10 m ve 30 m'lik mekansal çözünürlüğe sahip yeniden örneklenmiş yüzey modelleri (R10 ve R30), tam paftalardan üretilen TIN ara yüzeylerinden söz konusu çözünürlükler (10 m ve 30 m) dikkate alınarak oluşturulmuşlardır. Bu şekilde, düşük çözünürlüklü yüzey verilerinden çözünürlüğü daha yüksek yüzey verilerinin üretilebileceği ortaya konmuştur. Juel ve ark. (2015) tarafından yapılan çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmiştir. Kesilmiş paftaya dayalı KP yöntemi de her ne kadar yeniden örnekleme temelli olmasa da yeniden örneklemeyle dayanan yöntemlere yakın sonuçlar vermiştir.

Raster veri yöntemlerinin birbirleri ile kıyaslanabilmesi için her bir arazi örtüsü tipi özelinde rölatif sıralamaları yapılmıştır (Çizelge 3). Bu sıralamalara göre; ziraat arazi örtüsü için en başarılı yükseklik tahminlerinin dijital teknikle üretilen haritalardan R10, R30 ve KP yöntemleri ile elde edilen verilerle yapılabileceği anlaşılmıştır. Orman ve parçalı orman arazilerinde de yine dijital teknikle üretilen haritalara uygulanan R10, R30 ve KP yöntemleri üst sıraları paylaşmıştır. Bu yöntemler arasında başarı bakımından belirgin bir farklılık bulunmamaktadır. Ancak, her iki arazi örtüsü tipinde de TP yönteminin dijital teknikle üretilen haritalara uygulanmasına ilişkin sıralama değeri R10 ve KP yöntemlerinin analog teknikle üretilen haritalara uygulanmasına ilişkin sıralamaların dahi gerisinde kalmıştır.

Çizelge 3. Arazi örtüsü tiplerine göre rölatif sıralama

Arazi Örtüsü Tipi	Harita Üretim Tekniği	Raster Veri Üretim Yöntemi	RMAE	RRMSE	RSTD	RLE95	Toplam	Genel Sıralama
Orman	Analog (1993 haritası)	KP	1,73	1,75	1,76	1,76	7,00	1,73
		TP	8,00	8,00	8,00	8,00	32,00	8,00
		R10	1,65	1,64	1,66	1,66	6,61	1,63
		R30	1,67	1,58	1,60	1,60	6,44	1,59
	Dijital (2010 haritası)	KP	1,02	1,09	1,09	1,09	4,29	1,05
		TP	7,18	7,42	7,32	7,35	29,27	7,32
		R10	1,00	1,07	1,07	1,07	4,20	1,03
		R30	1,08	1,00	1,00	1,00	4,08	1,00
Parçalı Orman	Analog (1993 haritası)	KP	1,47	1,47	1,45	1,47	5,86	1,46
		TP	8,00	8,00	8,00	8,00	32,00	8,00
		R10	1,22	1,24	1,13	1,24	4,83	1,21
		R30	2,93	2,95	2,87	2,95	11,70	2,92
	Dijital (2010 haritası)	KP	1,06	1,04	1,05	1,04	4,18	1,04
		TP	2,64	1,87	1,75	1,87	8,12	2,03
		R10	1,00	1,00	1,01	1,00	4,01	1,00
		R30	1,00	1,02	1,00	1,02	4,05	1,01
Ziraat	Analog (1993 haritası)	KP	8,00	8,00	8,00	8,00	32,00	8,00
		TP	7,18	7,30	7,42	7,30	29,21	7,30
		R10	8,00	7,98	7,98	7,98	31,95	7,99
		R30	7,95	7,92	7,90	7,92	31,70	7,92
	Dijital (2010 haritası)	KP	1,03	1,01	1,00	1,01	4,06	1,01
		TP	1,52	1,62	2,18	1,62	6,95	1,73
		R10	1,00	1,00	1,03	1,00	4,03	1,00
		R30	1,00	1,00	1,04	1,00	4,04	1,00



Şekil 4. Arazi örtüsü tiplerine göre hata dağılımları

Raster veri üretim yöntemlerinin her iki harita üretim tekniği için arazi örtüsü tipleri bakımından hata dağılımları Şekil 4'te grafikler halinde verilmiştir. Raster veri üretim yöntemlerinin her bir arazi örtüsü tipi içerisindeki hata dağılımları incelendiğinde; her üç arazi örtüsü tipinde de analog teknikle

üretilen haritalara ilişkin hataların dijital teknikle üretilen haritalarınkine göre daha geniş bir dağılıma sahip olduğu belirlenmiş ve böylelikle dijital teknik yardımıyla yükseklik hassasiyetlerinin artırılabilirdiği bir kez daha ortaya konmuştur. Raster veri üretim yöntemleri özelinde yapılan

karşılaştırmalarda ise KP, R10 ve R30 yöntemlerinin daha düşük hatalara sahip oldukları ve TP yöntemine ilişkin hataların ise daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Raster veri üretim yöntemlerinin arazi örtüsü tipleri arasındaki hata dağılımları incelendiğinde, analog teknikle üretilen haritalar için en yüksek hatalar ziraat arazisinde görülmüştür. Bu sonucun aksine, dijital teknikle üretilen haritalara uygulanan tüm veri üretim yöntemleri için en yüksek hatalar orman arazisinde ve en düşük hatalar da ziraat arazisinde elde edilmiştir.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Raster veriler, 1970'lerin başından itibaren uydu sensörlerinden veya sonrasında da gelişen teknoloji yardımıyla eski doküman, harita ve fotoğrafların taranması neticesinde elde edildiği şekliyle arazi örtüsü/kullanımı hakkında önemli bir bilgi kaynağı olmuştur. Aynı boyuttaki hücrelere gömülü yüzey yansıma değerleri veya bu değerler kullanılarak elde edilen yükseklik değerleri raster verilerin önemini ortaya koymaktadır. Hem arazi örtüsü/kullanımı hem de topografik yükseklikler söz konusu olduğunda, yansıma veya yükseklik değerlerinin elde edildiği kaynağın (hava fotoğrafı ve uydu görüntüsü) çözünürlüğü raster verinin kalitesini etkileyen en önemli unsurdur.

İkinci Dünya Savaşı sonrasında günümüze kadar ülke çapında üretilmiş önemli miktarda topografik haritaya birçok farklı amaçla erişim sağlanabilmektedir. Topografik haritaların sahip olduğu iki boyutlu düzlemde, eşyükselti eğrilerinin de bulunması 1980'lerden itibaren gelişen haritacılık yazılımları ile bu haritalar kullanılarak neler yapılabileceğini ortaya koymuş ve 2.5 boyutlu yüzeyler oluşturulmaya başlanmıştır. 1:25.000'lik topografik haritaların yükseklik hassasiyetlerinin sorgulandığı bu çalışmada, ikinci (1993) ve üçüncü (2010) dönem haritalar arasındaki farklılıklar üç farklı arazi örtüsü tipi bağlamında sorgulanmış ve yatay datum hariç diğer koordinatlandırma parametreleri ile bu haritaların sağladığı yükseklik hassasiyetleri arasında kısmi farklılıklar bulunmuştur. WGS84 datumu kullanılarak üretilen 2010 haritalarının sağladığı yükseklik değerlerinin, aynı yatay datum ve elipsoid kullanılarak alınmış referans yer kontrol noktalarından türetilmiş sistematik veri setinin yükseklik değerleri ile oldukça uyumlu sonuçlar ürettiği ortaya konmuştur.

Topografik haritalar birer yüzey modeli değil yükseklik modeli gibi algılanıyor olsalar da bu haritalardan sağlanan yükseklikler, tıpkı küresel SYM'lerin alt yapısını oluşturan aktif/pasif uzaktan algılama verilerinin etkilendiği gibi stereo hava fotoğrafı verilerinin de arazi örtüsünden etkileniyor olması nedeniyle üzeri açık ziraat alanlarında gerçek yüksekliklere çok yakın bulunmuştur. Bununla birlikte, yüzey kapandıkça yükseklik hassasiyetlerinin azaldığı görülmüştür.

Yükseklik, yüzey yansıma veya yürütülen çalışmaya özgün farklı değerleri barındıran raster verilerden yeniden örnekleme tekniği ile aynı kapsamın alternatif gösterim şekillerini oluşturmak uzaktan algılama biliminde yaygın kabul görmüş bir uygulamadır. Bu çalışma sonucunda da 10 m ve 30 m'lik mekansal çözünürlükler uygulanarak yapılan yeniden örnekleme ile üretilen yüzey modelleri ile yükseklik tahminlerinin önemli ölçüde iyileştiği ortaya konmuştur. Bu çalışma kapsamında mekansal çözünürlük 10 m ve 30 m şeklinde iki farklı boyutta değerlendirilmiş ve önemli

kazanımlar elde edilmiş olmakla birlikte, daha düşük ya da yüksek boyutlarda mekansal çözünürlükler ile yeniden örnekleme yapılması da mümkündür. Ayrıca, çalışma kapsamında elde edilen sonuçlara dayalı olarak, bu çalışmada olduğu gibi küçük sahalar üzerinde yapılacak hesaplamalarda çalışma sahalarını çevreleyecek bir saha poligonu kullanılarak altlık topografik haritaların kesilmesi ve hesaplamaların topografik haritanın tamamı yerine kesilen kısmı üzerinde yürütülmesinin işlem hassasiyetini artırabileceği söylenebilir.

Teşekkür

Çalışmada kullanılan paftaların teminindeki katkılarından dolayı Harita Genel Müdürlüğü'ne ve referans verisi olarak kullanılan halihazır kayıtları için Devlet Su İşleri 23. Bölge Müdürlüğü'ne teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Altunel, A.O., 2018. Suitability of open-access elevation models for micro-scale watershed planning. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(9), 512.
- Altunel, A.O., 2021. Questioning the effects of raster-resampling and slope on the precision of TanDEM-X 90 m digital elevation model. *Geocarto International*, 36(20), 2366-2382.
- Altunel, A.O., Sakıcı, O.E., 2022. The ultimate vertical accuracy assessment of the third generation Turkish 1: 25000 quad maps; under canopy vs. no canopy. *5th Intercontinental Geoinformation Days, New Delhi, India*, 136-140.
- Arnone, E., Francipane, A., Scarbaci, A., Puglisi, C., Noto, L.V., 2016. Effect of raster resolution and polygon-conversion algorithm on landslide susceptibility mapping. *Environmental Modelling & Software*, 84, 467-481.
- Bildirici, O. I., Ustun, A., Selvi, Z. H., Abbak, A. R., Bugdayci, I., 2009. Assessment of shuttle radar topography mission elevation data based on topographic maps in Turkey. *Cartography and Geographic Information Science*, 36(1), 95-104.
- Clark, R.L., Lee, R., 1998. Development of topographic maps for precision farming with kinematic GPS. *Transactions of the ASAE*, 41(4), 909-916.
- Çelik, H., Şengönül, K., Akyüz, F., Altunel, O., Dağcı, M., Esin, A.İ., 2012. İstanbul'un içme suyu barajlarının sedimentasyon problemi ve çözüm önerileri: Alibey Barajı örneği. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 62(2), 113-127.
- Dağdaş, S., Bilge, S., 2015. Türkiye Cumhuriyeti'nin orman alanlarını gösteren ilk haritası ve orman varlığımız üzerine. *Orman Mühendisliği Dergisi*, 52, 28-36.
- Demirkol, E. Ö., Yıldırım, A., Gürdal, M. A., 2002. Avrupa Datumu 1950 (ED-50) ile Dünya Jeodezik Sistemi 1984 (World Geodetic System 1984: WGS84) arasında datum dönüşümü ve askeri uygulamaları. <https://docplayer.biz.tr/11138694-E-omur-demirkol-mehmet-ali-gurdal-abdullah-yildirim.html> (Erişim tarihi: 07/09/2023).
- Duran, C., 2014. Mersin ilindeki orman yangınlarının başlangıç noktalarına göre mekansal analizi (2001-2013). *Ormancılık Araştırma Dergisi*, 1(1), 38-49.

- Elsayir, H.A., 2014. Comparison of precision of systematic sampling with some other probability samplings. *American Journal of Theoretical and Applied Statistics*, 3(4), 111-116.
- Ertuğrul, E.T., Mert, A., Oğurlu, İ., 2017. Burdur Gölü Havzasında bazı yaban hayvanlarının habitat uygunluk haritalaması. *Türkiye Ormanlık Dergisi*, 18(2), 149-154.
- Fahsi, A., Tsegaye, T., Tadesse, W., Coleman, T., 2000. Incorporation of digital elevation models with Landsat-TM data to improve land cover classification accuracy. *Forest Ecology and Management*, 128(1-2), 57-64.
- Fisher, J.R., Acosta, E.A., Dennedy-Frank, P.J., Kroeger, T., Boucher, T.M., 2018. Impact of satellite imagery spatial resolution on land use classification accuracy and modeled water quality. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 4(2), 137-149.
- Gençer, M., Başayığıt, L., Akgül, M., 2015. Eğirdir Gölü koruma zonları CORINE arazi kullanım sınıflaması. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 21(1), 26-38.
- Gonzalez, C., Rizzoli, P., 2018. Landcover-dependent assessment of the relative height accuracy in TanDEM-X DEM products. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 15(12), 1892-1896.
- Grohmann, C.H., Smith, M.J., Riccomini, C., 2010. Multiscale analysis of topographic surface roughness in the Midland Valley, Scotland. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 49(4), 1200-1213.
- Grohmann, C.H., 2018. Evaluation of TanDEM-X DEMs on selected Brazilian sites: Comparison with SRTM, ASTER GDEM and ALOS AW3D30. *Remote Sensing of Environment*, 212, 121-133.
- Güvendi, E., Kahyaoglu, N., 2019. Saf Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.) ormanlarının ekolojik tabanlı idare sürelerinin belirlenmesi (Sinop örneği). *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 5(2), 136-145.
- Hebeler, F., Purves, R.S., 2009. The influence of elevation uncertainty on derivation of topographic indices. *Geomorphology*, 111(1-2), 4-16.
- Hale, S.R., Rock, B.N., 2003. Impact of topographic normalization on land-cover classification accuracy. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 69(7), 785-791.
- Jaiswal, R.K., Saxena, R., Mukherjee, S., 1999. Application of remote sensing technology for land use/land cover change analysis. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 27, 123-128.
- Juel, A., Groom, G.B., Svenning, J.C., Ejrnaes, R., 2015. Spatial application of Random Forest models for fine-scale coastal vegetation classification using object based analysis of aerial orthophoto and DEM data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 42, 106-114.
- Kaim, D., Kozak, J., Kolecka, N., Ziolkowska, E., Ostafin, K., Ostapowicz, K., Gimmi, U., Munteanu, C., Radeloff, V.C., 2016. Broad scale forest cover reconstruction from historical topographic maps. *Applied Geography*, 67, 39-48.
- Karabulut, M., Küçükönder, M., 2008. Kahramanmaraş ovası ve çevresinde CBS kullanılarak erozyon alanlarının tespiti. *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 11(2), 14-22.
- Mitas, L., Mitasova, H., (1999). Spatial Interpolation. In: Longley, P., Goodchild, M.F., Maguire, D.J., Rhind, D.W. (Eds.), *Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications*, Wiley, New York, pp. 481-492.
- Montealegre, A.L., Lamelas, M.T., De La Riva, J., 2015. Interpolation routines assessment in ALS-derived digital elevation models for forestry applications. *Remote Sensing*, 7(7), 8631-8654.
- Musaoglu, N., Gurel, M., Ulugtekin, N., Tanik, A., Seker, D.Z. (2006). Use of remotely sensed data for analysis of land-use change in a highly urbanized district of mega city, Istanbul. *Journal of Environmental Science and Health Part A*, 41(9), 2057-2069.
- Özdemir, İ., Asan, Ü., 2009. Topografik haritalara oturtulmuş meşcere haritalarının arazi oryantasyonunda sağladığı kolaylıklar ve ormancılık pratiğine katkıları. *Turkish Journal of Forestry*, 5(2), 73-82.
- Öztürk, E., Koçak, E., 2007. Farklı kaynaklardan değişik yöntem ve ölçeklerde üretilen sayısal yükseklik modellerinin doğruluk araştırması. *Harita Dergisi*, 73(137), 25-41.
- Plourde, L., Congalton, R.G., 2003. Sampling method and sample placement. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 69(3), 289-297.
- Poudel, K.P., Cao, Q.V., 2013. Evaluation of methods to predict Weibull parameters for characterizing diameter distributions. *Forest Science*, 59(2), 243-252.
- Sarkar, S., Kanungo, D.P., 2004. An integrated approach for landslide susceptibility mapping using remote sensing and GIS. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 70(5), 617-625.
- Shortridge, A., 2006. Shuttle Radar Topography Mission elevation data error and its relationship to land cover. *Cartography and Geographic Information Science*, 33(1), 65-75.
- Stehman, S.V., 1992. Comparison of systematic and random sampling for estimating the accuracy of maps generated from remotely sensed data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 58(9), 1343-1350.
- Swann, D., 1999. Military applications of GIS. *International Journal of Geographical Information Systems*, 2(2), 889-899.
- Şahin, A., Çağlayan, İ., Büyük, H., Karademir, H., Aksu, A., Şahin, H., 2022. Türkiye'nin ilk orman planlama ünitesindeki teknik ve yapısal değişimlerin 100 yıllık değerlendirilmesi. *Ormancılık Araştırma Dergisi*, 9(1), 12-34.
- Tekle, K., Hedlund, L., 2000. Land cover changes between 1958 and 1986 in Kalu District, southern Wello, Ethiopia. *Mountain Research and Development*, 20(1), 42-51.
- Wechsler, S.P., Kroll, C.N., 2006. Quantifying DEM uncertainty and its effect on topographic parameters. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 72(9), 1081-1090.
- Wessel, B., Huber, M., Wohlfart, C., Marschalk, U., Kosmann, D., Roth, A., 2018. Accuracy assessment of the global TanDEM-X Digital Elevation Model with GPS data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 139, 171-182.
- Wichmann, V., Bremer, M., Lindenberger, J., Rutzinger, M., Georges, C., Petrini-Monteferrri, F., 2015. Evaluating the potential of multispectral airborne lidar for topographic mapping and land cover classification. *ISPRS Annals of the*

Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2, 113-119.

Yıldırım, S., Özalp, M., Yüksel Erdoğan, E., 2016. SRTM ve topografik harita verileri kullanılarak Artvin ilindeki yağış havzalarının fiziksel özelliklerinin belirlenmesi. *Journal of Natural Hazards and Environment*, 2(2), 71-80.

Yılmaz, A., Erdoğan, M., 2018. Designing high resolution countrywide DEM for Turkey. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3(3), 98-107.