

## **SAYISAL YÜKSEKLİK MODELLERİNİN DOĞRULUĞUNU ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN VARYANS ANALİZİ İLE İSTATİKSEL OLARAK İNCELENMESİ**

**Kutalmış GÜMÜŞ<sup>1\*</sup>, Alper ŞEN<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Harita Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Ömer Halisdemir Üniversitesi, Niğde, Türkiye

<sup>2</sup>Harita Mühendisliği Bölümü, İnşaat Fakültesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

*Geliş / Received: 09.10.2016*

*Düzeltilmelerin gelişi / Received in revised form: 30.11.2016*

*Kabul / Accepted: 02.12.2016*

### **ÖZ**

Farklı parametrelere göre oluşturulan sayısal yükseklik modellerinin doğruluğu, birçok uygulama alanında mekânsal analiz ve arazi topografyasının gerçeğe yakın şekilde gösterimi açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmanın amacı, sayısal yükseklik modeli oluşturmada kullanılan farklı mekânsal enterpolasyon yöntemlerinin (Ters mesafe ağırlıklı (Inverse Distance Weighted-IDW), Normal Kriging (Ordinary Kriging-OK), Değiştirilmiş Shepard (Modified Shepard's-(MS), Çoklu kuadratik Radyal Tabanlı Fonksiyon (Multiquadric Radial Basis Function-MRBF) ve Doğrusal Üçgenleme ile enterpolasyon (Triangulation with Linear-(TWL)), farklı nokta yoğunlukları (tamamı (%100) ve yarısı (%50)), farklı nokta dağılımları (eğrisel (curvature), kareler ağı (grid), düzenli (uniform) ve rastgele (random)) ve farklı topografyaya sahip arazi tipleri (düzlük, engebeli, dağlık) açısından konumsal doğruluğunu istatistiksel olarak araştırmaktır. Bu amaçla varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. ANOVA ile enterpolasyon yöntemlerinden elde edilen konumsal doğruluklar arasında, nokta yoğunlukları, nokta dağılımları ve arazi tiplerine göre oluşturulan alt gruplar için istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığı bulunmaya çalışılmıştır. Özellikle dağlık ve engebeli arazilerde desimetrelerden metreye ulaşan doğruluklar elde edilmiştir. Arazinin topografyası, oluşturulan sayısal yükseklik modellerinin doğruluğunu etkilemektedir. Tüm (%100) veri setinden elde edilen sonuçlar, %50'lik veri setlerine göre her zaman daha iyi bulunmuştur. Genel ifadelerle, %50'lik farklı nokta dağılımlarında ise eğriselliğe göre ve düzenli dağılımlar için benzer özellik göstermiş ve diğer dağılımlara göre daha iyi doğruluklar elde edilmiştir. Grid dağılımı ise diğer dağılımlara göre daha zayıf sonuç vermiştir. OK ve MRBF enterpolasyon yöntemleri farklı arazi tipi ve nokta dağılımları için benzer özellikler göstermiştir. Bu yöntemlerin doğruluğu diğer yöntemlere göre daha iyi sonuç vermiştir. Her üç arazi tipi için IDW yönteminden elde edilen doğruluk, diğer yöntemlere göre daha azdır. MS ve TWL yöntemlerinden elde edilen doğruluklar birbirine benzerdir. Bu çalışmada kullanılan enterpolasyon yöntemleri elde edilen doğruluk açısından en iyiden en kötüye doğru MRBF, OK, MS, TWL ve IDW şeklinde sıralanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Sayısal yükseklik modeli, enterpolasyon yöntemleri, nokta dağılımı ve yoğunluğu, ANOVA, doğruluk

## **STATISTICAL EVALUATION OF THE FACTORS AFFECTING THE ACCURACY OF DIGITAL ELEVATION MODEL WITH VARIANCE ANALYSIS**

### **ABSTRACT**

The accuracy of digital elevation models which are constituted in accordance with different parameters, are quite important in terms of spatial analysis and representation of land topography familiar to reality. The purpose

\*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 388 225 2226; e-mail/e-posta: kgumus@ohu.edu.tr

*SAYISAL YÜKSEKLİK MODELLERİNİN DOĞRULUĞUNU ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN VARYANS ANALİZİ (ANOVA) İLE İSTATİKSEL OLARAK İNCELENMESİ*

of this study is to research the positional accuracy of different interpolation methods (Inverse Distance Weighted (IDW), Ordinary Kriging (OK), Modified Shepard's (MS), Multiquadric Radial Basis Function (MRBF) and Triangulation with Linear (TWL)) statistically which are used for forming digital elevation models in terms of different point densities (100% and 50%), different point distributions (curvature, grid, uniform and random), and land types with different topography (flat, hilly, mountainous). With this aim, analysis of variance (ANOVA) was implemented. For sub-groups obtained from point densities, point distributions and land types, it was sought statistically with ANOVA whether there was a significant difference amongst the positional accuracies obtained from interpolation methods. The accuracy reaching from decimeters to meters was obtained from especially mountainous and hilly land types. The land topography affects the accuracy of formed digital elevation models. The results obtained from all (100%) data sets were always found better than 50% data sets. Generally speaking, similar properties resulted for curvature and uniform distributions in different point distributions (50%), and better accuracies were obtained considering other distributions. Grid distribution resulted worse than other distributions. OK and MRBF interpolation methods showed similar properties for different land types and point distributions. The accuracy of these methods resulted better considering other methods. The accuracy obtained from IDW method for all three land types was less than other methods. The accuracy obtained from MS and TWL methods was similar. The interpolation methods used in this study were ordered in terms of obtained accuracy from the best to the worst as MRBF, OK, MS, TWL and IDW.

**Keywords:** Digital elevation model, interpolation methods, point distribution and density, ANOVA, accuracy

## 1. GİRİŞ

Günümüzdeki modern teknolojik gelişmeler sayesinde Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), fotogrametri (hava ve uydu görüntüleri), SAR interferometrik, radargrametri, LIDAR, yersel lazer tarama, kartografik sayısallaştırma ve ölçme teknikleri kullanılarak üretilmektedir. SYM oluşturmak için toplanan verinin kalitesi ve her bir veri noktası için yükseklik tahmin kalitesi uygulanan teknolojiye bağlıdır. SYM, yeryüzünün tamamı veya bir kısmının topografik yüzeyinin belirli sayıda noktalar ile matematiksel bir yüzey ile gösterilmeye çalışıldığı sayısal bir gösterimdir. Genellikle her birinin bir yükseklik değerinin olduğu ve birbirine eşit uzaklıkta grid hücrelerden oluşmaktadır [1]. Ayrıca bu yüzey, topografik yüzey üzerinde üç boyutlu koordinatları tanımlanmış dayanak noktalarına dayalı olarak matematiksel olarak temsil edilmeye çalışılmaktadır. Oluşturulan sayısal arazi modellerinin gerçeğe yakın topografik yüzeyi yansıtması, dayanak noktaların sayısına ve uygun dağılımına bağlıdır. Özellikle engebeli ve eğimin değiştiği yerleri temsil eden, su toplama ve su ayrımı çizgilerini belirleyen noktalar dayanak noktası olarak alınmalıdır. Bu noktalara dayalı olarak oluşturulan sayısal arazi modelleri, temsil ettiği gerçek topografik yüzeylerle daha uyumlu olacaktır [2].

Mekânsal enterpolasyonlar ise, sürekli bir yüzey oluşturmak için diğer bilinmeyen alanların değerlerini tahmin eder ve bir yüzeyin temsiline olanak tanımaktadır [3]. Bilgisayar teknolojisinin sağladığı kolaylıklar sayesinde birçok farklı mekânsal enterpolasyon algoritmaları; yağış, hava sıcaklığı, hava kirliliği, elektromanyetik güç ve buna benzer farklı alanlar için yapılan tahminlerde kullanılmaktadır. Bu enterpolasyon yöntemlerinin kullanımı ve doğruluğunun belirlenmesi jeodezik ve kartografik çalışmalar içinde gereklidir. Enterpolasyon yöntemleri, mevcut noktalara veya değişkenlere dayalı yeni nokta değerlerinin belirlenmesi, tahmini, kestirimi ve sayısal arazi modellerinin oluşturulmasında birçok CBS ve yüzey modelleme yazılımında kullanılmaktadır.

Günümüze kadar farklı amaçlar için enterpolasyon yöntemlerinin kullanıldığı ve doğruluklarının belirlendiği birçok çalışma yapılmıştır. Myers [4], 1994'de mekânsal enterpolasyon için kriging, radyal temelli fonksiyonlar ile ters mesafe ağırlıklı gibi çeşitli enterpolasyon yöntemleri gözden geçirilmiştir. Erxleben ve ark. [5] tarafından farklı değişkenlere göre kar derinliklerini tahmin etmek için farklı enterpolasyon yöntemleri kullanılmıştır. Chaplot ve ark. [1]'de sayısal yükseklik modeli oluşturulmasındaki doğruluk için, enterpolasyon yöntemlerinin, orijinal veri yoğunluğu ve farklı topografyaya sahip arazi türlerinin etkileri araştırılmıştır. Attorre ve ark. [6]'da enterpolasyon yöntemleri kullanarak iklim değişkenleri analiz edilmiştir. Şen ve ark. [7]'de üç boyutlu uzayda kapalı alan elektromanyetik alan ölçümlerinin kestirimi için yapay sinir ağları, kriging enterpolasyon yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Azpuru ve Ramos [8]'de ortalama elektromanyetik alan büyüklüğü tahmini amacıyla enterpolasyon yöntemleri incelenmiştir. Guo ve ark. [9]'da farklı mekânsal çözünürlükte çeşitli enterpolasyon yöntemlerinden türetilen SYM doğruluğu üzerinde farklı topografyaya sahip arazi türlerinin ve nokta yoğunluklarının etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Deligiorgi ve Philippopoulos [10]'da hava kirliliği modellemesi alanında kullanılan istatistiksel mekânsal enterpolasyon yöntemlerinden bahsedilmiştir. Gümüş ve Şen [11]'de engebeli arazi morfolojisine ait bir sayısal yükseklik modelinde farklı nokta yoğunlukları ve dağılımları gözetilerek yapay sinir ağları ve enterpolasyon yöntemleri karşılaştırılmıştır. Lee ve ark. [12]'de yapay sinir ağları, kriging ve ters mesafe ağırlıklı yöntemleri karşılaştırılmıştır. Borges ve ark. [13]'de yağış miktarı tahmini

K. GÜMÜŞ, A. ŞEN

için çeşitli enterpolasyon yöntemleri karşılaştırılmıştır. Harman ve ark. [14]'de gürültü haritalarının oluşturulmasında farklı enterpolasyon yöntemlerinin performans değerlendirmeleri yapılmıştır.

Sayısal Arazi Modelleri ve CBS uygulamaları açısından SYM kalitesinin değerlendirilmesi için çeşitli yöntemler vardır. Sayısal Yükseklik Modellerinden elde edilen doğruluk, topografik özelliklere, örnekleme yoğunluğuna, enterpolasyon yöntemleri ve mekânsal çözünürlük gibi çeşitli faktörlere bağlıdır [9, 15]. Farklı topografyaya sahip arazi türlerine, nokta dağılımı ve yoğunluğuna göre SYM'lerin üretimi için enterpolasyon teknikleri doğruluğu üzerinde birçok çalışma olmasına rağmen, bu tekniklerin performansını değerlendirmek hala bir ihtiyaçtır [1]. Farklı nokta dağılım ve yoğunluklarının, farklı arazi tiplerinin ve yükseklik kestiriminde kullanılan enterpolasyon yöntemlerinin SYM'lerin oluşturulmasında etkileri, elde edilen doğruluk açısından oldukça önemlidir.

Bu çalışmanın amacı, Tablo 1'de verilen sayısal yükseklik modeli oluşturmada kullanılan farklı mekânsal enterpolasyon yöntemlerinin, farklı nokta yoğunlukları, farklı nokta dağılımları ve farklı topografyaya sahip arazi tipleri açısından konumsal doğruluğunu istatistiksel olarak araştırmaktır.

**Tablo 1.** Konumsal doğruluğu araştırmak için kullanılan değişkenler

<b>Enterpolasyon yöntemleri:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inverse Distance Weighted (IDW): Ters Mesafe Ağırlıklı</li> <li>• Ordinary Kriging (OK): Normal Kriging</li> <li>• Modified Shepard's (MS): Değiştirilmiş Shepard</li> <li>• Multiquadric Radial Basis Function (MRBF): Çoklu Kuadratik Radyal Tabanlı Fonksiyon</li> <li>• Triangulation with Linear (TWL): Üçgenleme ile Doğrusal Enterpolasyon</li> </ul>		
<b>Farklı nokta dağılımları:</b>	<b>Farklı nokta yoğunlukları:</b>	<b>Farklı arazi tipleri:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eğrisel (curvature)</li> <li>• Kareler ağı (grid)</li> <li>• Düzenli (uniform)</li> <li>• Rastgele (random)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 50%</li> <li>• 100%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Düzlük</li> <li>• Engebeli</li> <li>• Dağlık</li> </ul>

Bu amaçla varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. Test amaçlı kullanılan noktaların yükseklik değerleri ile enterpolasyon yöntemleri, nokta yoğunlukları, dağılımları ve arazi tiplerine göre oluşturulan sayısal yükseklik modellerinden elde edilen yükseklik değerleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen farklardan her bir değişken için standart sapma değerleri bulunmuştur. Bu sonuçlara göre ANOVA ile enterpolasyon yöntemlerinden elde edilen konumsal doğruluklar arasında, nokta yoğunlukları, nokta dağılımları ve arazi tiplerine göre oluşturulan alt gruplarda istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığı bulunmaya çalışılmıştır. Sayısal yükseklik modellerin doğruluğunu etkileyen faktörler üzerine istatistiksel değerlendirmeler yapılmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Enterpolasyon Yöntemleri

Sayısal yükseklik modellerinin doğruluğunu etkileyen faktörlerden biri olan enterpolasyon yöntemlerine (IDW, OK, MS, MRBF ve TWL) ait matematiksel modelleri ve bu yöntemlerin avantaj ve dezavantajlarını açıklayan birçok kaynak bulunmaktadır. OK yöntemi, noktalar arasındaki varyans değişimleri ve mesafeyi dikkate alan geoistatistiksel bir yöntemdir [1]. Kestirim hatalarının minimize edilmesini, ordinary kriging sistemi olarak adlandırılan sistem sunar. Bu yöntemin avantajı, en iyi doğrusal kestirimin istatistiksel bir fonksiyonudur. Dezavantajı ise, yöntemde kullanılan ağırlıkların kareler ağına her bir düğümü için hesaplanmasıdır. Bu yüzden, bu yöntem küçük boyuttaki veri setleri için uygulanmalıdır. Bu yöntemle istenmeyen çukurlar ve dairesel eş yükseklik eğrileri üretilir [16].

IDW enterpolasyonunun basit formu Shepard yöntemi olarak adlandırılmaktadır [17]. Bu enterpolasyonda bilinen veri noktalarının etkisi, kestirilecek olan bilinmeyen noktalardan olan mesafeyle ters orantılıdır. IDW enterpolasyon tekniği pratik bir biçimde uygulanabilir olmasına rağmen, eğer nokta sayısı fazla ise mesafelerin hesaplanması için fazla zamana gerek duyulur. Bu yöntemde oluşturulan eş yükseklik eğrilerinde eş merkezli şekiller (bull's eye) oluşturmaktadır. MS, mesafenin tersine göre ağırlıklandırılan en küçük kareler yöntemini kullanır. Bu enterpolasyon yönteminin kestiriminde bir tür yumuşatma etkisi bulunur. Franke ve Nielson [18]'de,

*SAYISAL YÜKSEKLİK MODELLERİNİN DOĞRULUĞUNU ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN VARYANS ANALİZİ (ANOVA) İLE İSTATİKSEL OLARAK İNCELENMESİ*

eş merkezli şekillerin etkisini ve Shepard yönteminin yetersizliğini yok eden bir modifikasyon geliştirmiştir. TWL yönteminde noktalar yükseklikleri ile kaydedilir. Bu noktaların yoğunlukları değişebilir. Bu noktalar üzerinde delaunay üçgenlemesine dayalı olarak enterpolasyon yapılır. Etki alanındaki herhangi bir nokta üçgenin içinde, kenarı veya köşesi üzerinde olacaktır. Eğer nokta köşe üzerinde yoksa o zaman onun yüksekliği doğrusal enterpolasyon ile hesaplanır [19]. TWL enterpolasyon yöntemi çok hızlıdır. Fakat noktaların dışbükey yerleşimi sınırlandırılmıştır. Enterpolasyon sonucunda yumuşak olmayan yüzeyler elde edilir. Üçgenler dışındaki yüzeylerdeki sonuçlar için enterpolasyon yapılacak verideki nokta sayısı orta seviyelerde olması gerekir [16].

MRBF ile ilgili olarak, [20]'de yaygın olarak kullanılan radyal tabanlı fonksiyonlar, Tablo 2'de verilmiştir. Çoklu kuadratik radyal tabanlı fonksiyonda r noktadan düğüm noktasına olan anizotrop ölçeklenmiş bağlı mesafedir. C ise yumuşatma parametresidir. Bu yöntemin avantajları, doğrusal denklem sistemleri kriging yöntemine karşı sadece bir kez her bir grid düğümü için çözülebilir ve bir dizi kernel fonksiyonu kullanılır. Dezavantajları ise nokta sayısı fazla olursa doğrusal denklem sayısı da oldukça büyük olur. İlave olarak da, sistem matrisleri seyrek (aralıklı) değildir. Bu durum uzun hesaplama zamanına ve yuvarlatma hatasına yol açar [16].

**Tablo 2.** Radyal tabanlı fonksiyon çeşitleri [20]

Radyal Tabanlı Fonksiyon ( $\phi(r)$ )	Eşitlik
Multiquadric	$\sqrt{r^2 + c^2}$
Inverse Multiquadric	$1/\sqrt{r^2 + c^2}$
Multilog	$\log(r^2 + c^2)$
Natural Cubic Spline	$(r^2 + c^2)^{3/2}$
Thin Plate Spline	$(r^2 + c^2) \log(r^2 + c^2)$

Bu çalışmada, grid aralığı 10 metre olan 1/3 arc-saniyelik USGS Ulusal Yükseklik Veri setinin (NED) farklı yüksekliklere sahip sayısal yükseklik modelleri (SYM) kullanılmıştır. Bu veri setinin doğruluğu, gravite ve jeoid modellemeye kullanılan NED'in ulusal jeodezik ölçmelerindeki jeodezik kontrol noktalarının referans alındığı karşılaştırmalar yapılarak test edilmiştir. Her bir kontrol noktasına karşılık gelen NED değerleri bilinear enterpolasyon ile elde edilmiş ve hata istatistikleri hesaplanmıştır. Bilinear enterpolasyon, yeni noktayı çevreleyen komşu noktaların ağırlıklarından bu yeni noktanın değerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır [15]. Bu hesaplama yöntemi, "LineTrace+" (LT4X) olarak da bilinen geliştirilmiş eğri-grid enterplayonudur. Bu LT4X enterpolasyon yöntemi için RMSE olarak ifade edilen genel mutlak düşey doğruluğu 2,17 m'dir [21]. Veri seti olarak kullanılan çalışma alanı, Amerika Birleşik Devletlerindeki Colorado Eyaletinde bulunan Lower Beaver'i kapsamaktadır. Bu veri seti, 1983 Kuzey Amerika Datumunda ve UTM(12N) dilimindedir.

Yeryüzündeki arazilerin geometrik özelliklerinin niteliksel tanımı ve analizi, jeomorfometri (yer biçim ölçümü) olarak tanımlanır. Jeomorfometri genelde, SYM'den türetilen sayısal ölçüleri kullanarak arazinin niteliklerini ve yüzey parametrelerini çıkarmayı amaçlamaktadır. Morfometrik parametreler, yüzeylerin karşılaştırılması için yararlıdır. Yüzeyler basitçe, arazinin engebellelik ve eğimine göre, düzlük, engebeli ve dağlık olarak sınıflandırılabilir. Engebellenin boyutsuz indeksi 0 (düzlük)'den 1 (dağlık)'e değişir. Morfolojik parametreler ve açıklamalar Tablo 3'te verilmiştir [22].

Tablo 3'te verilen morfolojik parametrelere göre, çalışma bölgesi olarak seçilen Lower Beaver bölgesini kapsayan çevrede, 2 x2 km'lik 3 farklı alan değişen engebellelik ve eğim değerlerine göre seçilmiştir. Bu alanların morfolojik parametreleri Tablo 4'te hesaplanmıştır.

Bu alanların morfolojik açıdan eğim ve engebellelikleri çok yüksek olanı dağlık bölge, normal olanı engebeli ve çok az olanı ise düzlük olarak nitelendirilmiştir. Değişen morfolojik parametrelere bağlı olarak seçilen düzlük, engebeli ve dağlık çalışma alanlarının 3B modelleri Şekil 1'de gösterilmiştir.

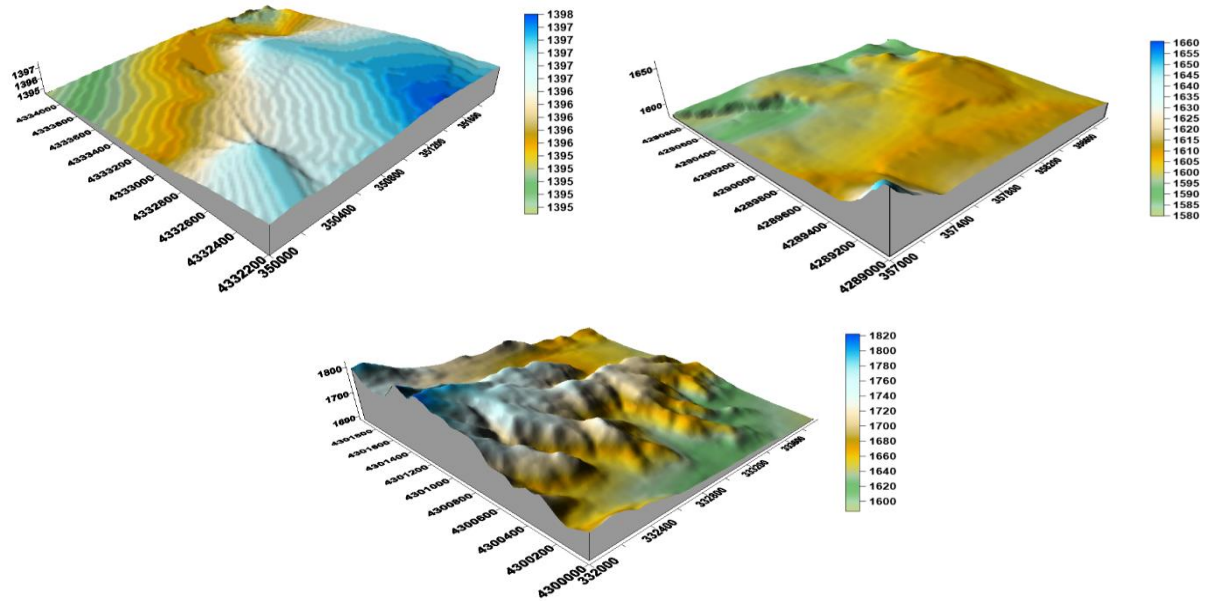
Bu çalışmada oluşturulan yüzey modellerinde oluşan yüzey çöküntüleri, ArcGIS 10 yazılımının hidroloji modülü kullanılarak ortadan kaldırılmıştır. Genellikle bu çöküntüler, SYM çözünürlüğündeki kısıtlamalar, yanlış veri girişi, enterpolasyon yöntemlerinden kaynaklanan yapay çöküntüler veya arazinin yapısından kaynaklı oluşmuş olabilir. Bu çöküntü noktalarının yükseklikleri, çöküntü kenarında bulunan en düşük yüksekliğe sahip noktanın yükseklik değerine getirilerek, çöküntüler ortadan kaldırılmıştır.

**Tablo 3.** Morfometrik parametreler ve açıklamaları [22]

	Morfolojik Parametreler	Sembol	Açıklama
1	Alan	A	km <sup>2</sup> 'de ölçülen
2	Bir 1 m aralıklı yükseklik eğrisi çizgilerin toplam uzunluğu	$\sum L_c$	km'de ölçülen
3	Kabartma	R	En yüksek ve en düşük yükseklikler arasındaki yükseklik farkı Rb=Zmax-Zmin, (m)
4	Melton's engebелilik sayısı	M	Arazinin engebелilik indeksi aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır. $M = R/\sqrt{A}$
5	Eğim	Sb	$Sb = e \sum L_c / A$ ( 'e' eş yükseklik değeri, bu çalışmada 1 m alınmıştır.)

Tablo 4. Lower Beaver için hesaplanan morfolojik parametreler

Morfolojik Parametreler	Düzlük	Engeli	Dağlık
Alan (km <sup>2</sup> )	4	4	4
1 m aralıklı yükseklik eğrisi çizgilerinin toplam uzunluğu (km)	21,489	133,993	976,09
Kabartma (m)	3,12	82,21	245,29
Melton's Engebелilik sayısı	0,0016	0,041	0,123
Eğim	5,37	33,5	244,02



Şekil 1. Çalışma alanlarının 3B modelleri (Sol üst: Düz, Sağ üst: Engeli, Alt: Dağlık)

## 2.2. Nokta Dağılımı ve Modelleme

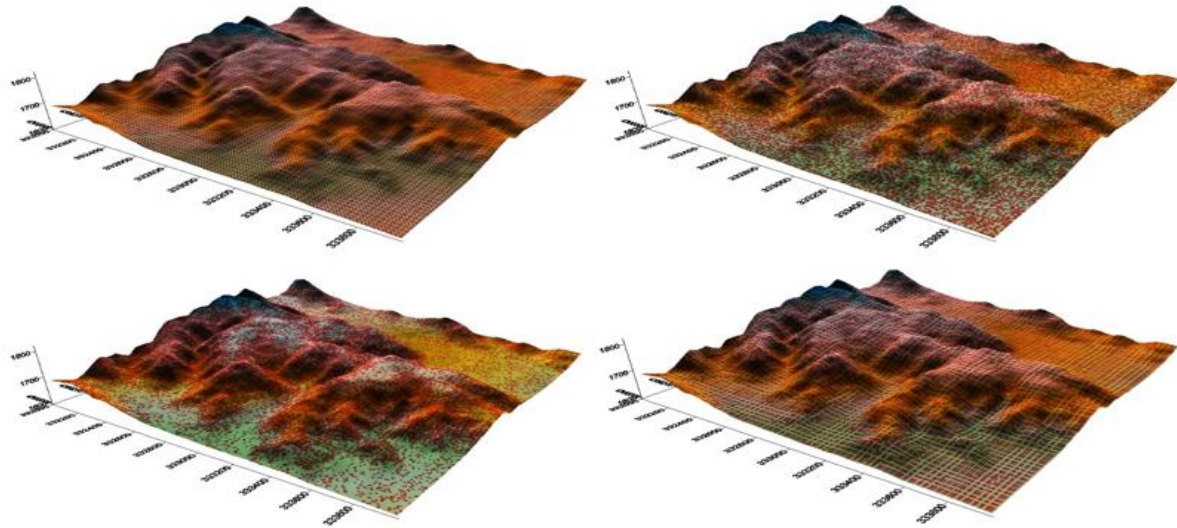
Sayısal arazi modellerin oluşmasında kullanılan noktaların dağılım ve yoğunlukları, doğruluğu etkileyen önemli faktörlerdendir. Farklı nokta dağılımları ile üretilen sayısal arazi modellerinden yükseklik belirlenmesinde, sayısal arazi modeli üzerinde noktaların eğriselliğe göre (curvature), kareler ağı (grid), rastgele (random) ve düzenli (uniform) dağılımlarının etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Kareler ağı (grid) dağılım, verinin orijinal yoğunluğunu ve ani yükselti değişimlerini dikkate almadan düzensiz noktaların sayısını azaltmaktadır. Grid dağılımlı noktaların mesafeleri, yatay ve düşey doğrultular boyunca eşit uzaklıktadır. Eğrisel

## SAYISAL YÜKSEKLİK MODELLERİNİN DOĞRULUĞUNU ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN VARYANS ANALİZİ (ANOVA) İLE İSTATİKSEL OLARAK İNCELENMESİ

(curvature) dağılım ise yükseklikleri birbirine çok yakın olan noktaların sayısını azaltırken, eğim ve engebenin değiştiği alanlarda nokta sayısını korumaktadır. Düzenli (uniform) dağılımda ise noktalar arası mesafe eşit olacak şekilde hem yükseklikleri birbirine yakın noktaların sayısı, hem de belli bir yoğunluğu olan eğim ve engebeleri bölgelerdeki noktaların sayısı azaltılmaktadır. Rastgele (random) dağılımda ise, bütün yüzey modelini kapsayacak düzensiz noktaların sayısı, rastgele ve bir oran dâhilinde azaltılmaktadır.

Bu enterpolasyon yöntemleri kullanılarak farklı arazi tiplerine göre, farklı nokta yoğunlukları ve dağılımında oluşturulan yüzey modellerinin doğruluğu test edilmiştir. Bu amaçla, bu çalışmada farklı nokta yoğunluklarının ve dağılımlarının etkilerini incelemek üzere farklı arazi morfolojisini yansıtan her bir veri seti, %80 ve %20 olarak ikiye ayrılmıştır. Bu veri setlerinin %20'lik kısmı, test noktaları olarak sayısal arazi modeli oluşturmada doğruluğa etki eden faktörlerin belirlenmesinde kullanılmıştır. Bu test noktaları, farklı enterpolasyon yöntemleri ile sayısal arazi modeli oluşturmada kullanılmamıştır. Bu veri setlerinin %80'lik kısmı ise, yüzey modellerinin oluşturulmasında, nokta yoğunluğu ve dağılımının etkisini belirlemek için dayanak noktaları olarak kullanılmıştır. Her bir arazi tipinin % 80'lik veri seti ise tamamı (%100) ve yarısı (%50) olacak şekilde nokta yoğunluğu ve dağılımı için iki parçaya ayrılmıştır. Bu veri setleri ile farklı enterpolasyon yöntemleri (OK, MS, IDW, MRBF, TWL), farklı nokta yoğunluğu ve dağılımı (tamamı (%100), eğrisel (%50), kareler ağı (%50), düzenli (%50), rastgele (%50)) ve farklı arazi tiplerine (düzlük, engebeli, dağlık) göre toplamda 75 adet sayısal arazi modeli oluşturulmuştur.

Bu çalışmada değişen morfolojik parametrelere bağlı olarak seçilen düzlük arazi için toplamda 47089 nokta, engebeli için 47306 nokta, dağlık içinde 47038 nokta kullanılmıştır. Örneğin dağlık arazi setinde %50 oranında azaltılmış eğrisel, kareler ağı, rastgele ve düzenli dağılımlı noktaların 3B model üzerindeki gösterimi Şekil 2'de verilmiştir.



**Şekil 2.** 3B modeli üzerindeki noktaların eğrisel, kareler ağı, rastgele ve düzenli dağılımları (Dağlık- %50) (Sol üst: Düzenli, Sağ üst: Rastgele, Sol alt: Eğrisel, Sağ alt: Kareler Ağı)

Bu farklı arazi tiplerine, farklı nokta yoğunlukları ve dağılımlarına göre yeni yüzey modellerinin oluşturulmasında Surfer 9.0 yazılımı kullanılmıştır. Ağırlıklı Ters Mesafe (IDW), Ordinary Kriging (OK), Modified Shepard's (MS), Çoklu Kuadratik Radyal Tabanlı Fonksiyon (MRBF) ve Üçgenleme ile Doğrusal (TWL) enterpolasyon yöntemleri ile yeni yüzey modelleri elde edilmiştir. Tablo 5'de farklı enterpolasyon yöntemlerinde kullanılan parametreler verilmiştir.

### 2.3. Varyans Analizi

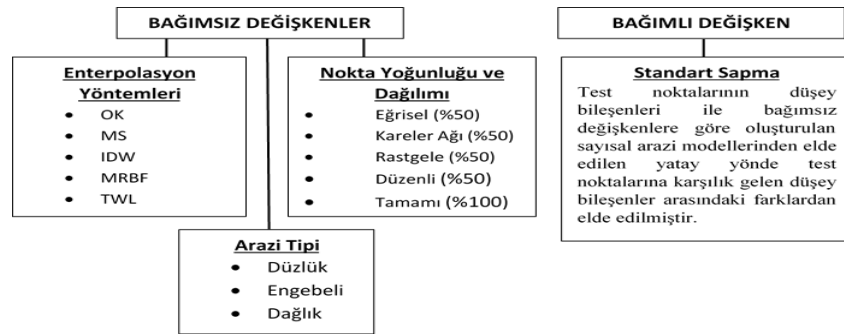
Farklı enterpolasyon yöntemleri kullanılarak, farklı arazi tipleri, nokta yoğunlukları ve dağılımlarına göre elde edilen sayısal arazi modelleri üzerinde bu değişkenlerin etkisini belirlemek için varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. Karşılaştırmada kullanılan test noktalarının düşey bileşenleri ile oluşturulan sayısal arazi modellerinden elde edilen yatay yönde test noktalarına karşılık gelen düşey bileşenler arasında bu değişkenlere göre istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığı belirlenmeye çalışılmıştır.

**Tablo 5.** Farklı enterpolasyon yöntemleri için kullanılan parametreler

Yöntem	Kullanılan Parametreler
Normal Kriging (OK)	Variogram Modeli= Doğrusal, Eğim = 1, Aniso = 1, Kriging Tipi = Nokta, Araştırma Elipsi (Yarıçap 1 = 70, Yarıçap 2 = 70, Aç1 = 0)
Ters Mesafe Ağırlıklı (IDW),	Güç (p)= 2, Yumuşatma = 0, Anistropy* (Oran =1, Aç1 = 0) Araştırma Elipsi (Yarıçap 1 = 70, Yarıçap 2 = 70, Aç1 = 0)
Değiştirilmiş Shepard (MS)	Yumuşatma faktörü: 0, Komşuluk: 13, Ağırlıklandırma: 19, Araştırma Elipsi (Rq: 70, Rw: 70, Aç1: 0)
Çoklu Kuadratik Radyal Tabanlı Fonksiyon (MRBF)	Temel Fonksiyon: Multiquadric, R2 Parametre: 6,8, Anistropy* (Oran =1, Aç1 = 0), Araştırma Elipsi (Yarıçap 1 = 70, Yarıçap 2 = 70, Aç1 = 0)
Üçgenleme ile Doğrusal Enterpolasyon Yöntemi (TWL)	Anistropy* (Oran =1, Aç1 = 0)

\*Üç temel yönde, üç boyutlu bir vektörün ortogonal yön ve dönüşümündeki aralıkları bulmak için kullanılır.

İstatistiksel analizlerde, ikiden fazla ortalama arasında fark olup olmadığını belirlemek için de varyans analizi kullanılır. Varyans analizinde genelde, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenler üzerindeki etkisi araştırılır. Bu makalede gerçekleştirilen varyans analizi ve değerlendirmeler SPSS yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Varyans analizinde (ANOVA) test edilecek grupların her biri normal dağılımlı ve grupların varyansları homojen olup olmadığı analiz yapılmadan önce test edilmesi gerekir. ANOVA tablosu, grupların ortalamaları arasında bir fark olup olmadığını genel olarak söylemektedir. Varyans analizi sonucunda eğer gruplar arasında bir fark bulunmuşsa, farklılığın hangi gruplardan kaynaklandığını görebilmek için Post Hoc testleri oldukça önemlidir. Bu çalışmada, varyans homojenliği sağlanmışsa Tukey testi ile varyans homojenliği sağlanmamışsa Tamhane's T2 ile gruplar arasındaki farklılıklara karar verilmiştir [23, 24]. Bunun için, istatistikte kullanılan F testinin tablo değerine bakmak gereklidir. SPSS yazılımı, F'nin %95 güven düzeyindeki tablo değeri olarak p değerini (Sig.) vermektedir. Eğer bu değer de 0,05'ten küçükse  $H_0$  hipotezi reddedilmektedir. Anlamlılık düzeyleri 0,05'in altında olan gruplar arasında anlamlı bir fark olduğu söylenebilir. Buna göre gruplar arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak hangi gruplar arasında bir farkın olup olmadığı belirlenmektedir [25, 26]. Bu çalışmada, Şekil 3'te verilen bağımlı ve bağımsız değişkenler ve alt gruplara göre varyans analizi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. Varyans Analizinde kullanılan bağımlı ve bağımsız değişkenler

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Değişkenlere göre oluşturulan her bir yüzey modelinde, %20'lik test noktalarının x ve y koordinatlarına denk gelen yükseklik değerleri oluşturulan model üzerinden kestirilmiştir. Test noktalarının sayısı kadar her bir yüzey modeli için yükseklik bileşeni elde edilmiştir. Bu şekilde her bir yüzey modelinde kestirilen yükseklikler ile test noktalarının yükseklikleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen farklar ve bulunan standart sapmalar, farklı değişkenlere göre elde edilen yüzey modellerinin gerçek yüzey modelini ne ölçüde ve hangi doğrulukta yansıttığını göstermektedir. Bu amaçla arazi tiplerine göre yeni yüzey modellerinin oluşturulmasında kullanılan enterpolasyon yöntemlerin, nokta dağılım ve yoğunluklarının performansını belirlemek için kestirilen

**SAYISAL YÜKSEKLİK MODELLERİNİN DOĞRULUĞUNU ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN VARYANS ANALİZİ (ANOVA) İLE İSTATİKSEL OLARAK İNCELENMESİ**

yükseklikler ile test noktalarından hesaplanan farkların istatistiksel değerleri Tablo 6’da, bu farklardan bulunan standart sapmalar ise Şekil 4’de verilmiştir.

**Tablo 6.** Kestirilen yükseklikler ile test noktalarından hesaplanan farkların istatistiksel değerleri (m)

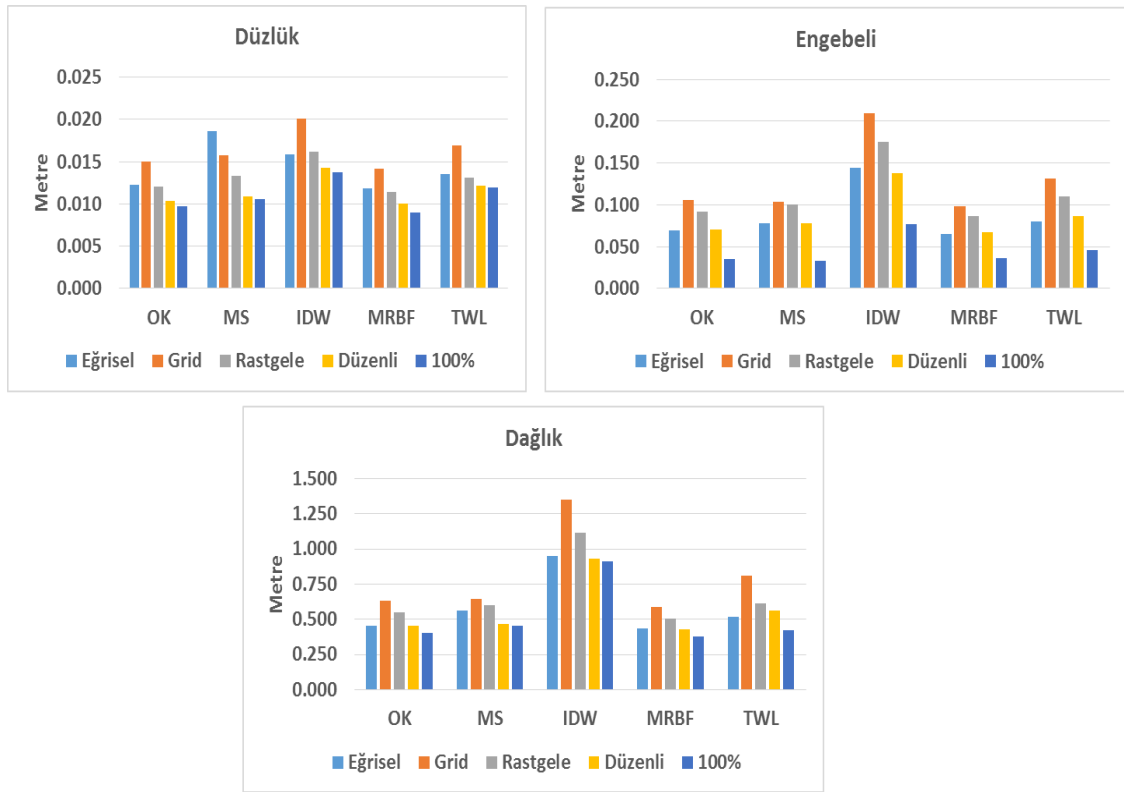
Yöntem	İstatistiksel Değerler	Düzlük					Engebeli					Dağlık				
		Eğrisel	Grid	Rastgele	Düzenli	Tamamı	Eğrisel	Grid	Rastgele	Düzenli	Tamamı	Eğrisel	Grid	Rastgele	Düzenli	Tamamı
OK	Min.	-0.096	-0.078	-0.116	-0.076	-0.068	-1.122	-2.049	-1.170	-1.078	-0.628	-3.628	-6.111	-5.678	-3.846	-3.078
	Maks.	0.125	0.096	0.087	0.084	0.087	0.816	1.096	1.608	0.950	1.324	3.938	4.482	5.388	3.627	4.289
	Ortalama	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.001	-0.001	0.001	-0.001	0.001	0.004	-0.002	0.011	0.004	0.005
	Medyan	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.003
	Std. Hata	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.001	0.001	0.000	0.007	0.009	0.008	0.006	0.005
	Ort. Spm.	0.006	0.010	0.006	0.005	0.008	0.034	0.056	0.037	0.030	0.012	0.220	0.376	0.263	0.214	0.290
MS	Min.	-0.155	-0.120	-0.154	-0.100	-0.250	-1.446	-2.010	-0.952	-1.622	-1.838	-9.086	-4.706	-10.010	-5.059	-3.967
	Maks.	0.265	0.130	0.119	0.114	0.563	1.079	1.023	2.091	1.064	1.355	5.976	4.749	6.591	4.596	4.798
	Ortalama	0.001	0.000	0.000	0.000	0.003	-0.002	-0.002	0.001	0.000	0.000	-0.014	-0.003	0.003	-0.001	-0.002
	Medyan	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.001
	Std. Hata	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.001	0.001	0.000	0.008	0.009	0.008	0.007	0.005
	Ort. Spm.	0.008	0.010	0.007	0.005	0.011	0.035	0.051	0.039	0.030	0.008	0.242	0.360	0.251	0.203	0.255
IDW	Min.	-0.098	-0.090	-0.117	-0.087	-0.086	-1.490	-2.856	-2.193	-2.225	-1.325	-6.619	-9.068	-7.673	-6.593	-6.027
	Maks.	0.178	0.149	0.112	0.122	0.128	1.524	1.712	2.955	1.440	2.580	8.168	6.783	9.019	6.180	7.731
	Ortalama	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.006	-0.002	-0.003	0.001	-0.023	-0.007	0.027	0.020	0.011
	Medyan	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.002	0.000	0.000	0.000	-0.002	-0.032	0.000	0.000	-0.026
	Std. Hata	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.003	0.003	0.002	0.000	0.014	0.019	0.016	0.013	0.012
	Ort. Spm.	0.009	0.014	0.009	0.008	0.014	0.069	0.116	0.074	0.060	0.020	0.517	0.907	0.581	0.493	0.767
MRBF	Min.	-0.095	-0.088	-0.112	-0.082	-0.067	-1.012	-1.925	-1.055	-1.064	-0.721	-3.541	-5.747	-5.757	-4.045	-3.307
	Maks.	0.117	0.102	0.084	0.080	0.082	0.779	1.022	1.560	0.948	1.246	3.909	4.100	4.189	3.523	4.340
	Ortalama	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.001	-0.001	0.001	0.000	0.000	0.005	-0.001	0.011	0.003	0.004
	Medyan	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.002
	Std. Hata	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.006	0.008	0.007	0.006	0.005
	Ort. Spm.	0.006	0.009	0.006	0.005	0.007	0.031	0.052	0.034	0.027	0.008	0.200	0.344	0.235	0.191	0.273
TWL	Min.	-0.093	-0.107	-0.122	-0.082	-0.091	-0.689	-1.925	-1.290	-1.448	-0.901	-5.463	-7.445	-6.315	-4.946	-4.118
	Maks.	0.100	0.117	0.092	0.081	0.096	1.436	1.851	1.920	0.974	1.489	4.384	6.753	5.207	4.065	4.344
	Ortalama	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	-0.002	-0.012	0.002	0.000	-0.002
	Medyan	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.004	0.000	0.000	-0.001
	Std. Hata	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.002	0.001	0.000	0.007	0.011	0.009	0.008	0.006
	Ort. Spm.	0.007	0.011	0.007	0.006	0.009	0.037	0.066	0.042	0.035	0.013	0.250	0.476	0.299	0.265	0.360

Tablo 6 ve Şekil 4’de verilen sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde kullanılan enterpolasyon yöntemlerinin, nokta sayısı ve dağılımının, arazinin eğimli ve engebeli oluşunun sonuçlar üzerindeki etkisi görülmektedir. Arazi tiplerinde özellikle dağlık ve engebeli arazilerde elde edilen sonuçlar arazi tipinde desimetrelere göre metreye ulaşan doğruluklar elde edilmiştir. Arazinin topografyası, oluşturulan sayısal arazi modellerin doğruluğunu etkilemektedir. Tüm (%100) veri setinden elde edilen sonuçlar, %50’lik veri setlerine göre her zaman daha iyi bulunmuştur. Genel ifadelerle, %50’lik farklı nokta dağılımlarında ise eğriselliğe (curvature) göre ve düzenli (uniform) dağılımlar benzer özellik göstermiş ve diğer dağılımlara göre daha iyi doğruluklar elde edilmiştir. Kareler ağı (grid) dağılımı ise diğer dağılımlara göre daha zayıf sonuç vermiştir. Arazi üzerindeki noktaların birbirine göre dağılımı ve arazi morfolojisini yansıtmaya özellikleri elde edilen doğruluğu etkilemektedir. Ayrıca farklı enterpolasyon yöntemlerine göre farklı nokta dağılımı ve arazi tipine göre oluşturulan sayısal arazi modellerinin doğruluğunu, kullanılan enterpolasyon yöntemlerinin etkilediği görülmüştür. OK ve MRBF farklı arazi tipi ve nokta dağılımları için benzer özellik göstermiştir. Bu yöntemlerin doğruluğu diğer yöntemlere göre daha iyidir. Her üç arazi tipi için IDW yönteminden elde edilen doğruluk, diğer yöntemlere göre daha azdır. MS ve TWL yöntemlerinden elde edilen doğruluklar birbirine benzerdir. Bu çalışmada kullanılan enterpolasyon yöntemleri elde edilen doğruluk açısından en iyiden en kötüye doğru MRBF, OK, MS, TWL ve IDW şeklinde sıralanmışlardır.

Bu çalışmada, varyans analizi için düşey bileşen farklarından elde edilen standart sapma değerleri bağımlı değişken olarak, enterpolasyon yöntemleri, arazi tipleri, nokta yoğunlukları ve dağılımları ise bağımsız değişken olarak tanımlanmıştır. Bu değişkenlerin oluşturulan sayısal arazi modellerinin doğruluğu üzerine etkilerini belirlemek ve aralarında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığını belirlemek için tek yönlü ANOVA gerçekleştirilmiştir. Bu bağımsız değişkenlere göre düşey bileşen farklarından elde edilen standart sapmalar gruplandırılmıştır. Tablo 7’de bağımsız değişkenlere ve alt kümelere göre gruplandırılan standart sapma değerlerinin istatistiksel değerleri verilmiştir.



K. GÜMÜŞ, A. ŞEN



Şekil 4. Farklı değişkenlere göre hesaplanan standart sapmalar (m)

Tablo 7. Farklı bağımsız değişkenlere göre elde edilen istatistiksel değerler (m)

Bağımsız Değişkenler		Ort.	Güven Aralığı		Min.	Maks.
			Alt Sınır	Üst Sınır		
Arazi Tipi	Düzlük	0,013	0,012	0,014	0,009	0,020
	Engebeli	0,093	0,075	0,110	0,033	0,209
	Dağlık	0,629	0,528	0,731	0,379	1,349
Enterpolasyon Yöntemi	OK	0,195	0,068	0,322	0,010	0,634
	MS	0,213	0,074	0,351	0,011	0,646
	IDW	0,405	0,136	0,675	0,014	1,349
	MRBF	0,183	0,064	0,302	0,009	0,590
	TWL	0,229	0,078	0,381	0,012	0,809
Nokta Dağılımı	Eğrisel (%50)	0,228	0,070	0,386	0,012	0,947
	Kareler Ağı (%50)	0,317	0,399	0,538	0,014	1,349
	Rastgele (%50)	0,268	0,084	0,451	0,011	1,115
	Düzenli (%50)	0,222	0,068	0,377	0,010	0,932
	Tamamı (%100)	0,190	0,043	0,338	0,009	0,912

Tablo 7 incelendiğinde arazi tiplerine göre elde edilen standart sapmaların dağlık alanlarda daha fazla olduğu görülmektedir. Arazi morfolojisinin eğim ve engebeli oluşu oluşturulan sayısal arazi modellerin birebir gerçeğe yakınlığını etkilemekte ve doğruluğunu azaltmaktadır. Düzlük alanlarda elde edilen doğruluk diğer arazi tiplerine göre daha iyidir. Enterpolasyon yöntemlerinde ise OK ve MRBF yöntemleri en iyi sonucu vermiştir. IDW enterpolasyon yönteminden elde edilen sonuçların doğruluğu diğer yöntemlere göre daha zayıftır. Sayısal arazi modellerinin oluşmasında kullanılan dayanak nokta sayısı, elde edilen doğruluğu etkilemektedir. Nokta sayısı azaldıkça elde edilen doğruluk azalmaktadır. Nokta dağılımlarında ise düzenli (uniform) ve eğriselliğe göre (curvature) dağılım en iyi sonucu vermiştir. Özellikle eğim değiştiği ve engebeli yerlerdeki nokta sayısı ve nokta dağılımların tüm yüzeyi yansıtmadaki önemi elde edilen doğrulukları etkilemektedir.

*SAYISAL YÜKSEKLİK MODELLERİNİN DOĞRULUĞUNU ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN VARYANS ANALİZİ (ANOVA) İLE İSTATİKSEL OLARAK İNCELENMESİ*

Ayrıca, varyans analizinde test edilecek grupların varyanslarının homojen olup olmadığı istatistiksel olarak belirlenmiştir. Bu durum hangi gruplar arasında farklılığın olduğuna karar verilmesi ve hangi testin kullanılması gerektiğinin belirlenmesi açısından önemlidir. Elde edilen sonuçlara göre, varyans homojenliği sağlanmışsa Tukey testi, varyans homojenliği sağlanmamışsa Tamhane's T2 testi kullanılmıştır. Tablo 8'de varyansların homojenliği testi sonuçları verilmiştir.

**Tablo 8.** Varyans homejenliği testi

Değişkenler	Levene İstatistik	df1	df2	Sig.
<b>Arazi Tipi</b>	27,630	2	72	0,000
<b>Enterpolasyon Yöntemi</b>	9,312	4	70	0,000
<b>Nokta Dağılımı</b>	1,051	4	70	0,388

Tablo 8'e göre gruplar arasındaki farklılıklara karar vermede, farklı arazi tipi ve enterpolasyon yöntemlerine göre elde edilen sonuçlarda varyans homejenliği sağlanamadığından Tamhane's T2 testi, nokta dağılımında ise Tukey testi kullanılmıştır. Tablo 9'daki ANOVA tablosunda, farklı bağımsız değişkenlere göre oluşturulan alt gruplar arasındaki bir farklılığın olup olmadığı test edilmiştir. Bu tabloda verilen Sig. değeri 0,05 ten küçükse, bu değer alt gruplar arasında bir farklılığın olduğunu göstermektedir. ANOVA değerleri incelendiğinde arazi tipine bağlı oluşturulan alt gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farkın olduğu, enterpolasyon yöntemleri ve nokta dağılımına göre oluşturulan alt gruplar arasında ise istatistiksel olarak anlamlı bir farkın olmadığı belirlenmiştir.

**Tablo 9.** Farklı bağımsız değişkenlere göre gerçekleştirilen ANOVA değerleri

Bağımlı Değişken: Standart Sapma		ANOVA				
Bağımsız Değişkenler	Değişimin Kaynağı	Kareler Top.	df	Kareler Ort.	F	Sig.
<b>Arazi Tipi</b>	<b>Gruplar Arası</b>	5.617	2	2.808	134.49	0.000
	<b>Gruplar İçi</b>	1.503	72	0.021		
	<b>Toplam</b>	7.120	74			
<b>Enterpolasyon Yöntemi</b>	<b>Gruplar Arası</b>	0.500	4	0.125	1.32	0.271
	<b>Gruplar İçi</b>	6.620	70	0.095		
	<b>Toplam</b>	7.120	74			
<b>Nokta Dağılımı</b>	<b>Gruplar Arası</b>	0.143	4	0.036	0.36	0.838
	<b>Gruplar İçi</b>	6.977	70	0.100		
	<b>Toplam</b>	7.120	74			

**df: Serbestlik derecesi, Sig.= p-değeri** **İstatistiksel bir fark vardır.**

Varyans analizi sonucunda bu farkın bağımsız değişkenlerin hangi alt grupları arasında olduğunu belirlemek için Post Hoc Testi uygulanmıştır. İstatistiksel olarak anlamlı bir fark olsun olmasın bütün bağımsız değişkenlerin alt grupları için ikili karşılaştırmalar da yapılmıştır. Tablolarda (10, 11 ve 12) verilen ikili karşılaştırmalar, bağımsız değişkenleri oluşturan alt grupların istatistiksel açıdan değerlendirilmesine katkı sağlamaktadır.

Tablo 10 incelendiğinde farklı arazi tiplerine göre oluşturulan dağlık, düzlük ve engebeli alt grupların istatistiksel olarak birbirinden farklı özellik gösterdiği belirlenmiştir. Arazi morfolojisi elde edilen doğruluğu etkilemektedir. Düzlük ve engebeli alt grupları birbirine yakınsa, dağlık alt grubunda diğerlerine göre desimetrelere düzeyinde farklar ortaya çıkmaktadır. Tablo 11'de enterpolasyon yöntemlerinden elde edilen sonuçlar arasında istatistiksel açıdan farklar yoktur. OK ve MRBF yönteminden elde edilen sonuçlar birbirine benzerdir. İkili karşılaştırmalarda en fazla fark, IDW yöntemiyle diğer yöntemlerin karşılaştırılmasında bulunmuştur. Tablo 12'de ise nokta dağılımları ve yoğunluğuna göre oluşturulan alt gruplar arasında istatistiksel açıdan bir farkın olmadığı görülmüştür. Yüzey modellerin oluşturulmasında nokta sayısı ve noktaların farklı konumlarda yüzey üzerindeki dağılımları sonuçları etkilemektedir. İkili karşılaştırmalar kıyaslandığında tüm veri seti kullanılarak elde edilen sonuçların en iyi olduğu görülmüştür. Veri setinin %50 azaltılması ve farklı dağılımlara göre elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında eğriselliğe göre (curvature) ve düzenli (uniform) sonuçların diğer dağılımlara göre iyi olduğu görülmüştür.

**Tablo 10.** Farklı arazi tipleri için ikili karşılaştırmalar (m) – (Tamhane’s T2)

<b>Bağımsız Değişken: Arazi Tipi</b>					
<b>Arazi Tipi</b>	<b>Arazi Tipi</b>	<b>Ort. Fark</b>	<b>Sig.</b>	<b>Güven Aralığı</b>	
<b>(I)</b>	<b>(J)</b>	<b>(I-J)</b>		<b>Alt Sınır</b>	<b>Üst Sınır</b>
<b>Düzlük</b>	<b>Engebeli</b>	-0,079	0,000	-0,101	-0,058
	<b>Dağlık</b>	-0,616	0,000	-0,743	-0,489
<b>Engebeli</b>	<b>Düzlük</b>	0,079	0,000	0,058	0,101
	<b>Dağlık</b>	-0,537	0,000	-0,665	-0,409
<b>Dağlık</b>	<b>Düzlük</b>	0,616	0,000	0,489	0,743
	<b>Engebeli</b>	0,537	0,000	0,409	0,665

**İstatiksel olarak anlamlı fark vardır. Sig.= P değeri**

**Tablo 11.** Farklı enterpolasyon yöntemleri için ikili karşılaştırmalar (m) – (Tamhane’s T2)

<b>Bağımsız Değişken: Enterpolasyon Yöntemi</b>					
<b>Yöntem</b>	<b>Yöntem</b>	<b>Ort. Fark</b>	<b>Sig.</b>	<b>Güven Aralığı</b>	
<b>(I)</b>	<b>(J)</b>	<b>(I-J)</b>		<b>Alt Sınır</b>	<b>Üst Sınır</b>
<b>OK</b>	<b>MS</b>	-0,018	1.000	-0.284	0.248
	<b>IDW</b>	-0,210	0.793	-0.647	0.227
	<b>MRBF</b>	0,012	1.000	-0.235	0.258
	<b>TWL</b>	-0,035	1.000	-0.315	0.246
<b>MS</b>	<b>OK</b>	0,018	1.000	-0.248	0.284
	<b>IDW</b>	-0,193	0.874	-0.634	0.249
	<b>MRBF</b>	0,030	1.000	-0.229	0.288
	<b>TWL</b>	-0,017	1.000	-0.307	0.274
<b>IDW</b>	<b>OK</b>	0,210	0.793	-0.227	0.647
	<b>MS</b>	0,193	0.874	-0.249	0.634
	<b>MRBF</b>	0,222	0.728	-0.212	0.656
	<b>TWL</b>	0,176	0.932	-0.272	0.624
<b>MRBF</b>	<b>OK</b>	-0,012	1.000	-0.258	0.235
	<b>MS</b>	-0,030	1.000	-0.288	0.229
	<b>IDW</b>	-0,222	0.728	-0.656	0.212
	<b>TWL</b>	-0,046	1.000	-0.320	0.228
<b>TWL</b>	<b>OK</b>	0,035	1.000	-0.246	0.315
	<b>MS</b>	0,017	1.000	-0.274	0.307
	<b>IDW</b>	-0,176	0.932	-0.624	0.272
	<b>MRBF</b>	0,046	1.000	-0.228	0.320

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmanın amacı, sayısal yükseklik modeli oluşturmada kullanılan farklı mekânsal enterpolasyon yöntemlerinin, farklı nokta yoğunlukları, farklı nokta dağılımları ve farklı topografyaya sahip arazi tipleri açısından konumsal doğruluğunu istatistiksel olarak araştırmaktır. Bu amaçla varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. ANOVA değerleri incelendiğinde arazi tipine bağlı oluşturulan alt gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farkın olduğu, enterpolasyon yöntemleri ve nokta dağılımına göre oluşturulan alt gruplar arasında ise istatistiksel olarak anlamlı bir farkın olmadığı belirlenmiştir.

Sayısal arazi modellerinin oluşmasında kullanılan dayanak nokta sayısı ve noktaların farklı açılardan yüzey üzerindeki dağılımları elde edilen doğruluğu etkilemektedir. Nokta sayısı azaldıkça elde edilen doğruluk azalmaktadır. Tüm veri setinden elde edilen sonuçlar, %50’lik veri setlerine göre her zaman daha iyi

*SAYISAL YÜKSEKLİK MODELLERİNİN DOĞRULUĞUNU ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN VARYANS ANALİZİ (ANOVA) İLE İSTATİKSEL OLARAK İNCELENMESİ*

bulunmuştur. Genel ifadelerle, % 50'lik farklı nokta dağılımlarında ise eğriselliğe göre ve düzenli dağılımlar benzer özellik göstermiştir ve diğer dağılımlara göre daha iyi doğruluklar elde edilmiştir. Kareler ağı dağılımı ise diğer dağılımlara göre daha zayıf sonuç vermiştir. Özellikle eğimin değiştiği ve engebeleri yerlerdeki nokta sayısı ve nokta dağılımlarının tüm yüzeyi yansıtmadaki önemi elde edilen doğrulukları etkilemiştir.

**Tablo 12.** Farklı nokta yoğunluk ve dağılımları için ikili karşılaştırmalar (m) – (Tukey HSD)

<b>Bağımsız Değişken: Nokta Dağılımı</b>					
<b>Dağılım (I)</b>	<b>Dağılım (J)</b>	<b>Ort. Fark (I-J)</b>	<b>Sig.</b>	<b>Güven Aralığı</b>	
				<b>Alt Sınır</b>	<b>Üst Sınır</b>
<b>Eğrisel (%50)</b>	<b>Kareler Ağı (%50)</b>	-0,089	0.938	-0.412	0.234
	<b>Rastgele (%50)</b>	-0,039	0.997	-0.362	0.283
	<b>Düzenli (%50)</b>	0,006	1.000	-0.317	0.329
	<b>Tamamı (%100)</b>	0,038	0.997	-0.285	0.361
<b>Kareler Ağı (%50)</b>	<b>Eğrisel (%50)</b>	0,089	0.938	-0.234	0.412
	<b>Rastgele (%50)</b>	0,050	0.993	-0.273	0.372
	<b>Düzenli (%50)</b>	0,095	0.923	-0.228	0.418
	<b>Tamamı (%100)</b>	0,127	0.806	-0.196	0.450
<b>Rastgele (%50)</b>	<b>Eğrisel (%50)</b>	0,039	0.997	-0.283	0.362
	<b>Kareler Ağı (%50)</b>	-0,050	0.993	-0.372	0.273
	<b>Düzenli (%50)</b>	0,045	0.995	-0.278	0.368
	<b>Tamamı (%100)</b>	0,077	0.962	-0.246	0.400
<b>Düzenli (%50)</b>	<b>Eğrisel (%50)</b>	-0,006	1.000	-0.329	0.317
	<b>Kareler Ağı (%50)</b>	-0,095	0.923	-0.418	0.228
	<b>Rastgele (%50)</b>	-0,045	0.995	-0.368	0.278
	<b>Tamamı (%100)</b>	0,032	0.999	-0.291	0.355
<b>Tamamı (%100)</b>	<b>Eğrisel (%50)</b>	-0,038	0.997	-0.361	0.285
	<b>Kareler Ağı (%50)</b>	-0,127	0.806	-0.450	0.196
	<b>Rastgele (%50)</b>	-0,077	0.962	-0.400	0.246
	<b>Uniform (%50)</b>	-0,032	0.999	-0.355	0.291

Arazi tiplerine göre elde edilen standart sapmaların dağlık alanlarda daha fazla olduğu görülmektedir. Arazi tiplerinde özellikle dağlık ve engebeleri arazilerde elde edilen sonuçlarda desimetrelere göre metreye ulaşan doğruluklar elde edilmiştir. Arazi morfolojisinin eğim ve engebeleri oluşu oluşturulan sayısal arazi modellerin birbirine yakınlığını etkilemekte ve doğruluğunu azaltmaktadır. Düzlük alanlarda elde edilen doğruluk diğer arazi tiplerine göre daha iyidir. Arazi morfolojisi elde edilen doğruluğu etkilemiştir. Düzlük ve engebeleri alt grupları birbirine yakınken, dağlık alt grubunda diğerlerine göre desimetrelere düzeyinde farklar ortaya çıkmıştır.

Enterpolasyon yöntemlerinde ise OK ve MRBF yöntemleri en iyi sonucu vermiştir. IDW enterpolasyon yönteminden elde edilen sonuçların doğruluğu diğer yöntemlere göre daha zayıftır. MS ve TWL yöntemlerinden elde edilen doğruluklarda birbirine benzerdir. Bu çalışmada kullanılan enterpolasyon yöntemleri elde edilen doğruluk açısından en iyiden en kötüye doğru MRBF, OK, MS, TWL ve IDW şeklinde sıralanmışlardır. Enterpolasyon yöntemlerinden elde edilen sonuçlar arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark bulunmamıştır. OK ve MRBF yönteminden elde edilen sonuçlar birbirine benzerdir. İkili karşılaştırmalarda en fazla fark, IDW yöntemiyle diğer yöntemlerin karşılaştırılmasında bulunmuştur.

## KAYNAKLAR

- [1] CHAPLOT, V., DARBOUX, F., BOURENNANE, H., LEGUÉDOIS, S., SILVERA, N., PHACHOMPHON, K., "Accuracy of Interpolation Techniques for the Derivation of Digital Elevation Models In Relation to Landform Types and Data Density", *Geomorphology*, 77(1-2), 126-141, 2006.

K. GÜMÜŞ, A. ŞEN

- [2] ÖZTÜRK, E., Farklı Kaynaklardan Değişik Yöntem ve Ölçeklerde Üretilen Sayısal Yükseklik Modellerinin Doğruluk Araştırması, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı, 2006.
- [3] LAM, N.S.N., “Spatial Interpolation Methods: A Review”, the American Cartographer, 10(2), 129-149, 1983.
- [4] MYERS, D. E., “Spatial interpolation: An overview”, Geoderma, 62, 17-28, 1994.
- [5] ERXLEBEN, J., ELDER, K., DAVIS, R., “Comparison of Spatial Interpolation Methods for Estimating Snow Distribution in the Colorado Rocky Mountains”, Hydrol. Processes, 3649, 3627–3649, 2002.
- [6] ATTORRE, F., ALFO, M., SANCTIS, M. D., FRANCESCONI, F., BRUNO, F., “Comparison of Interpolation Methods for Mapping Climatic and Bioclimatic Variables at Regional Scale”, International Journal of Climatology, 27 (13), 1825-1843, 2007.
- [7] SEN, A., GUMUSAY, M. U., KAVAS A., BULUCU, U., “Programming an Artificial Neural Network Tool for Spatial Interpolation in GIS - A Case Study for Indoor Radio Wave Propagation of WLAN”, Sensors, 8, 5996-6014, 2008.
- [8] AZPURUA, M., RAMOS, K.D., “A Comparison of Spatial Interpolation Methods for Estimation of Average Electromagnetic Field Magnitude”, Progress In Electromagnetics Research M, 14, 135-145, 2010.
- [9] GUO, Q., LI, W., YU, H., ALVAREZ, O., “Effects of Topographic Variability and Lidar Sampling Density on Several DEM Interpolation Methods”, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 76, (6), 1-12, 2010.
- [10] DELIGIORGI, D., PHILIPPOPOULOS K., Spatial Interpolation Methodologies in Urban Air Pollution Modelling: Application for the Greater Area of Metropolitan Athens, Greece, Advanced Air Pollution, Farhad Nejadkoorki (Ed.), 2011.
- [11] GUMUS, K., SEN, A., “Comparison of Spatial Interpolation Methods and Multi-Layer Neural Networks for Different Point Distributions on a Digital Elevation Model”, Geodetski Vestnik, 57(3), 523-543, 2013.
- [12] LEE, S., AN, H., YU, S., OH, J.J., “Creating an Advanced Backpropagation Neural Network Toolbox within GIS software”, Environ Earth Sci., 72, 3111–3128, 2014.
- [13] BORGES, P.A., FRANKE, J., ANUNCIAÇÃO, Y.M.T., WEISS, H., BERNHOFER, C., “Comparison of Spatial Interpolation Methods for the Estimation of Precipitation Distribution in Distrito Federal, Brazil”, Theor Appl. Climatol., 123, 335-348, 2015.
- [14] HARMAN, B.I., KOSEOGLU, H., YIGIT, C.O., “Performance Evaluation Of IDW, Kriging And Multiquadric Interpolation Methods in Producing Noise Mapping: A Case Study at the City of Isparta, Turkey”, Applied Acoustics, 112, 147-157, 2016.
- [15] HU, P., LIU, X., HU, H., “Accuracy Assessment of Digital Elevation Models based on Approximation Theory”, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 75(1), 49-56, 2009.
- [16] DRESSLER, M., Art of Surface Interpolation, e-book, <http://m.dressler.sweb.cz/AOSIM.pdf>, 2009.
- [17] SHEPARD, D., A Two Dimensional Interpolation Function for Irregularly Spaced Data, Proc. 23rd Nat. Conf. ACM, 517-523, 1968.
- [18] FRANKE, R., NIELSON, G., “Smooth Interpolation of Large Sets of Scattered Data”, International Journal for Numerical Methods in Engineering, 15, 1691-1704, 1980.
- [19] KREVELD, M., Digital Elevation Models and TIN Algorithms, Chap. 3 of Algorithmic Foundations of Geographic Information Systems, Kreveld, M., Nievergelt, J., Roos, T., Widmayer, P. (eds.), Springer, 2000.
- [20] HARDY, R.L., “Theory and Applications of the Multiquadric-biharmonic Method”, Computers Math. With Applic, 19(8/9), 163-208, 1990.
- [21] GESCH, D.B., The National Elevation Dataset, Digital Elevation Model Technologies and Applications: The DEM User’s Manual (2nd Edition), Maune, D. (ed.), American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda, Maryland, 2007.
- [22] FERENTINOU, M., KARYMBALIS, E., CHAROU, E., SAKELLARIOU, M., Using Self Organising Maps in Applied Geomorphology, Derleyen: MWASIAGI, J.I., Self Organizing Maps - Applications and Novel Algorithm Design, 2011.
- [23] TUKEY, J.W., “Comparing Individual Means in The Analysis Of Variance”, Biometrics, 1999, 99-114, 1949.
- [24] SPARKS, J.N., “Expository Notes on The Problem of Making Multiple Comparisons in A Completely Randomized Design”, The Journal of Experimental Education, 31, 343-349, 1963.
- [25] ELLIOTT, A.C., WOODWARD W.A., Statistical analysis quick reference guidebook: with SPSS examples, Sage, 2007.
- [26] KALAYCI, Ş., SPSS Applied Multivariate Statistical Techniques, Asil Ltd. Sti. 5th Press, Kızılay, Ankara, 2010.