



Ilgaz Ormanlarında Saf Uludağ Göknaarı ve Saf Uludağ Göknaarı-Sarıçam Meşcerelerinde Bazı Toprak Özelliklerinin Uzaysal Değişkenliği

Fatih GÜREL^{1*}, Sabit ERŞAHİN²

¹ Kastamonu İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, 37100, KASTAMONU

² Çankırı Karatekin Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Toprak İlmi ve Ekoloji Anabilim Dalı, 18200, ÇANKIRI

Öz

Toprak değişkenliğinin sistematik bir yapı göstermesi halinde jeostatistiksel yöntemlerle analiz edilmesi klasik istatistiksel yöntemlere göre önemli avantajlar sağlamaktadır. Bu çalışmada Ilgaz Dağı doğal orman alanlarında birebirine bitişik saf Uludağ Göknaarı (*Abies nordmanniana* subsp. *Bormülleriana*) ve Sarıçam (*Pinus sylvestris*) – Saf Uludağ Göknaarı karışımı iki meşcerede 0-15 ve 15-30 cm toprak derinliklerinde bazı toprak özelliklerinin uzaysal değişkenliğinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Toprak özelliklerinin deneysel semivaryogramları modellendikten sonra, bayağı (ordinary) krigeleme yöntemi ile yüzey haritaları oluşturulmuştur. Karışık meşcerede üssel modelin saf meşcerede ise küresel modelin genellikle toprak özelliklerinin uzaysal yapısını daha iyi tanımladığı belirlenmiştir. Nugget etkisi %0,03 ve %100 arasında değişen değerler almış olup, genelde her iki meşcerede de yüksek olması, toprakların kısa mesafelerde oldukça değişken olduğunu göstermektedir. Jeostatistiksel range (Ao) 4,38 ve 167,03 m arasında değişen değerler almıştır. Ancak, Ao değerleri bakımından meşcere tipi ve toprak derinlikleri arasında sistematik bir farklılık bulunamamıştır. Her iki meşcerede de toprak özelliklerinin uzaysal bağımlılığı 0-15 cm derinlikte daha düşük bulunmuştur. Toprak özelliklerinin kısa mesafelerde aşırı değişken olması nedeniyle krigeleme entepolasyonundan başarılı sonuçlar alınamamıştır. İleride yapılacak benzer çalışmalarda bu hususun özellikle dikkate alınarak örnekleme aralıklarının daha kısa tutulması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bayağı krigeleme, küresel model, nugget etkisi, semivaryogram, üssel model.

Spatial variation of some soil properties on pure *Abies* and *Abies-Pinus sylvestris* stands in Ilgaz Mountain forests

Abstract

Use of geostatistical methods to analyze soil variation when systematic variability is the case provides great advantages over classical statistical techniques. In this study, spatial variability of some soil properties were compared in 0-15 and 15-30 cm depth of soils on a pure stand of *Abies* (*Abies nordmanniana* subsp. *Bormülleriana*) and on a mixed stand of *Abies* and *Pinus sylvestris*. Experimental semivariograms for soil properties were modelled and surface maps were built by ordinary kriging technique. In general, exponential model described the experimental semivariograms for soil attributes most properly on the mixed stand and spherical model on the pure stand. Nugget effect ranged from 0.03% to 100% and generally high in both of the stands, indicating high short-range variability of soil attributes. Geostatistical range was between 4.30 m and 167.03 m and no consistent differences occurred in Ao neither between stands nor soil depths. Spatial dependency was greater in 0-15 cm depth in both of the stands. Performance of kriging interpolations was generally poor due to high short-range variation of soil properties, and this should be considered in determination of sampling intervals in similar prospective studies.

Keywords: Ordinary kriging, exponential model, nugget effect, semivariogram, spherical model.

Bu makale Fatih GÜREL'in Doktora çalışmasından üretilmiştir.

***Sorumlu Yazar (Corresponding Author):**

Fatih GÜREL; Kastamonu Tarım ve Orman İl Müdürlüğü Kastamonu-Türkiye.

Tel: +90 (366) 214 2236, E-mail: fatih_gurel@hotmail.com

ORCID: 0000-0001-9839-8106

Geliş (Received) : 17.02.2020

Kabul (Accepted) : 11.05.2020

Basım (Published) : 15.08.2020

1. Giriş

Topraklar, ana materyal, iklim, topografya ve canlılar arasındaki etkileşimin bir sonucu olarak oluşmuşlardır. Farklı koşullarda, her bir faktörün toprak özelliklerinin şekillenmesindeki etkisi farklı olduğundan, toprak özellikleri uzaysal ve zamansal olarak değişkenlik göstermektedir. Dikey yönde toprak değişkenliğinin başlıca nedeni toprak oluşumunun bir sonucu olarak ortaya çıkan toprak horizonlarıdır. Topraklar, bu horizonların organik madde içeriği, hacim ağırlığı, renk, tekstür, strüktür, baz doygunluğu, toprak reaksiyonu (pH) ve elektriksel iletkenlik (EC) gibi fiziksel ve kimyasal özellikler bakımından farklılık göstermesine bağlı olarak dikey yönde değişkenlik göstermektedirler (Trangmar et al., 1985).

Topraklar arazide yatay yönde gelişigüzel (random) veya sistematik olmak üzere iki şekilde değişkenlik gösterebilirler. Toprak özelliklerinin arazide mesafeye bağlı olarak kendine benzemesi, yani mesafe ile otokorele olması, sistematik değişkenlik olarak adlandırılır. Random değişkenlik göstermesi halinde, toprak özelliklerinin değişkenliği klasik istatistiksel yöntemler kullanılarak analiz edilebilir. Ancak, toprak özelliklerinin sistematik değişkenlik göstermesi halinde klasik istatistiksel yöntemler başarısız kalır ve bu durumda jeostatistiksel yöntemlerin kullanılması tavsiye edilmektedir (Nielsen et al., 1973; Journel and Huijbregts, 1978; Trangmar et al., 1985; Warrick and Webster and Oliver, 2001). Çok sayıda araştırmacı toprak özelliklerinin sistematik uzaysal değişkenlik sergilemesi nedeniyle, bu topraklara ilişkin uzaysal bağımlılığın analizinde jeostatistiksel yöntemlerin kullanılmasının oldukça faydalı sonuçlar verdiğini rapor etmişlerdir. Jeostatistiğin bir diğer önemli avantajı ise, ilgili değişkenin uzaysal yapısına ilişkin parametrelerin örnekleme yapılan noktalardaki değerleri ile kullanarak, örnekleme yapılamayan noktalardaki değerlerinin tahminine olanak sağlamasıdır (Webster and Oliver, 2007; Webster, 2008).

Jeostatistik, tanımsal istatistiksel analiz, uzaysal modelleme ve uzaysal enterpolasyon olmak üzere üç aşamada tamamlanır (Isaaks and Srivastava, 1989). İlk aşamada ilgili özelliğin dağılımı incelenir. İkinci aşamada uzaysal yapı modellenir ve üçüncü aşamada ise eğer uzaysal yapı uygunsa krigleme enterpolasyonu ile ilgili değişkenin yüzey haritası oluşturulur (Çetin ve Tütüncü, 1998; Mulla and McBratney, 2000).

Orman topraklarının uzaysal değişkenliğinin jeostatistiksel yöntemlerle analizi üzerine diğer ülkelerde çok sayıda araştırma yapılmıştır (Ovalles and Collins, 1988; Geypens et al., 1999; Camberdella and Karlen, 1999; Castrignano et al., 2000; Needelman et al., 2001; Wu et al., 2002; Payn et al., 1999; Gallardo, 2003; Sun et al., 2003; Jennifer et al., 2005; Boruvka et al., 2007; Gallardo and Parama, (2007).

Yapılan bu çalışmalarda toprakların sistematik değişkenlik gösterdikleri rapor edilmiştir. Ancak, ülkemizde orman topraklarının jeostatistiksel yöntemlerle uzaysal değişkenliğinin analizine ilişkin çalışma sayısı oldukça sınırlıdır (Başaran, 2005; Gül, 2015). Farklı ölçek, topografya ve meşcerelerde çalışmalar yapılarak bu alanda ulusal ve uluslararası bilgi ve veri tabanına destek verilmelidir.

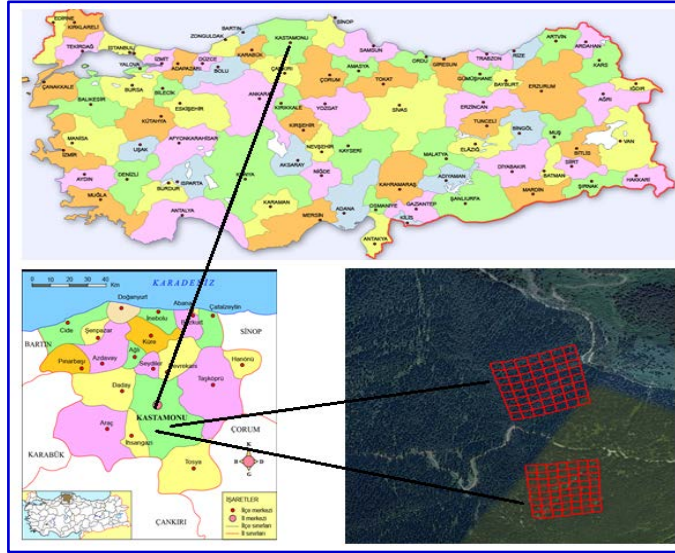
Bu çalışma ile Kastamonu iline bağlı Ilgaz dağı doğal orman alanlarındaki yaklaşık 10 hektarlık bir sahada (birbirine bitişik yaklaşık 5 ha göknar ve 5 ha göknar-sarıçam karışık meşceresinde) 0-15 ve 15-30 cm toprak derinliklerinde temel toprak özelliklerinin uzaysal değişkenliği jeostatistiksel yöntemlerde analizi edilerek karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar ve deneyimlerin ileride yapılacak benzer çalışmalarda özellikle örnekleme deseninin ve yoğunluğunun belirlenmesinde yol gösterici olacağı düşünülmektedir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1 Materyal

2.1.1 Çalışma Alanının Tanımı

Çalışma alanı, Kastamonu iline yaklaşık 30 km mesafedeki Ilgaz dağında Bostan İşletme Şefliği sorumluluğuna giren bölgede, 33°49'40" – 33°50'02" doğu boylamları ile 41°09'01"- 41°09'23" kuzey paralelleri arasında (Şekil 1) yer almaktadır. Çalışma alanı, Ilgaz dağının kuzeye bakan yamacında yer almakta olup, denizden yüksekliği 1284-1560 m arasında değişmektedir, arazi yapısı ise engebeli ve yer yer aşırı eğimlidir.

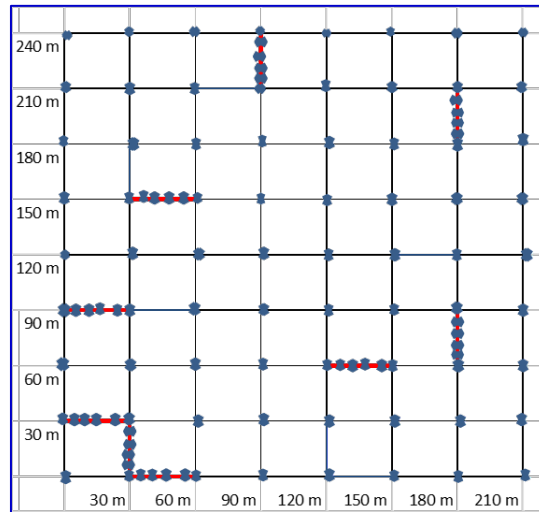


Şekil 1. Çalışma alanının konumu (üstte) ve örnekleme noktalarının çalışma alanındaki konumları (altta sağda).

2.2. Yöntemler

2.2.1 Toprak örnekleme

Çalışma alanında birbirine bitişik 5 ha göknar ve 5 ha göknar-sarıçam karışık meşceresinde eğim, bakı ve yükseklik yönünden benzer iki alan seçilmiştir (Şekil 1). Çalışma alanları 30 x 30 m kare ızgaralara ayrılıp, ızgaraların köşelerinde belirlenen örnekleme noktalarında 0-15 cm ve 15-30 cm derinliklerden toprak örnekleri alınmıştır. Otuz metreden daha kısa mesafelerdeki değişkenliği analiz edebilmek için (semivaryogramların kısa mesafelerdeki davranışlarının modellenenebilmesi için) birbirine dik yönlerde gelişigüzel seçilen bazı ızgaraların üzerinde ara hatlar oluşturulmuştur (sık örnekleme hatları) (Şekil 2). Bu şekilde her iki meşcerede de oluşturulan 9 ar adet ara hat üzerinde başlangıç noktasından itibaren 5, 15, 20 ve 25. m’de 0-15 ve 15-30 cm derinliklerden toprak örnekleri alınmıştır. Örnekleme şekli, ara hatlar da dikkate alındığında düzensiz ızgaralar (irregular grids) yöntemi olarak nitelendirilebilir.



Şekil 2. Saf (sarıçam) ve karışık (göknar- sarıçam) meşcerelerinde örnekleme noktalarının çalışma alanında dağılımını gösteren örnekleme planı.

Çalışma alanında alınan toplam 428 toprak örneği laboratuvara nakledilerek hava kuru hale getirildikten sonra 2 mm’lik eleklerden elenerek analize hazır hale getirilmiştir. Daha sonra toprak örneklerinde kireç (Kacar, 1996), organik madde (Nelson and Sommers, 1982), alınabilir fosfor (Kacar ve Kovancı, 1982), tarla kapasitesi, solma noktası ve yarayışlı su içeriği (Cassel and Nielsen, 1986), hacim ağırlığı (Blake and Hartage, 1986), toprak tekstürü (Gee and Bauder, 1986), elektriksel iletkenlik (EC) ve toprak reaksiyonu (pH) (Janzen, 1993) analizleri

yapılmıştır. Örnekleme noktalarının koordinatları örnekleme esnasında bir Küresel Konumlama Sistemi (GPS) ile belirlenerek kaydedilmiştir.

2.2.1 Jeostatistiksel Modelleme

Jeostatistiksel analizlerde, ilk olarak toprak özelliklerinin tanımsal istatistikleri hesaplanmıştır (Isaaks and Srivastava, 1989). Webster (2001) tarafından tavsiye edilen kriterlere göre normal dağılım göstermeyen özelliklere ilişkin veri setleri semivaryogram analizinden önce logaritmik ya da karekök dönüşümüne tabi tutularak dağılım normal dağılıma yaklaştırılmıştır. Dönüşümlere rağmen normal dağılıma yaklaşmayan veri setlerinden ise uç değerlerden bazıları çıkarılarak verinin normal dağılıma yaklaşması sağlanmıştır (Ersahin et al., 2017). Daha sonra toprak değişkenlerinin uzaysal yapısı modellenmiş ve son olarak teorik semivaryogramlara ilişkin parametreler kullanılarak (nugget, sill, range) bayağı (ordinary) nokta krigleme yöntemi ile değişkenlerin uzaysal enterpolasyonu yapılmış ve yüzey haritaları oluşturulmuştur (Isaaks and Srivastava, 1989).

Toprak değişkenleri için en uygun semivaryogramın elde edilmesinde değişken lag aralıkları kullanılmış, aktif lag mesafesi olarak çalışma alanlarının en kısa ekseninin yarısı olan mesafeler alınmıştır. Bu bağlamda karışık meşcere için 105 m saf meşcere için ise 120 m aktif lag mesafesi olarak alınmıştır. Semivaryogramın modellenmesinde modelin uygunluğu ve başarısı determinasyon katsayısı (R^2), hata kareler toplamı (RSS) ve çapraz değerlendirme korelasyon katsayısı (r) ile kontrol edilmiştir (Isaaks and Srivastava, 1989). Bu bağlamda, en yüksek R^2 ve r ile en düşük RSS değerlerini veren model tipi ve lag aralıkları tercih edilmiştir.

Değişkenler için hesaplanan nugget (C_0), range ve sill (C_s) değerleri kullanılarak nispi (yüzde) nugget etkisi ($(C_0/C_s) \times 100$) hesaplanmış ve daha sonra bu değer ilgili değişkenlerin uzaysal bağımlılık derecesinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Şayet nugget etkisi %25 ve altında ise değişken kuvvetli uzaysal bağımlı, %25-75 arasında orta derecede uzaysal bağımlı ve %75 ve üzerinde ise zayıf uzaysal bağımlı olarak nitelendirilmiştir (Cambardella et al., 1994).

Toprak değişkenleri için elde edilen teorik semivaryogramlara ilişkin parametreler (nugget, sill ve range) kullanılarak bayağı nokta krigleme (ordinary point kriging) yöntemiyle toprak özelliklerinin çalışma alanındaki yüzey haritaları oluşturulmuştur. Krigleme haritalarının güvenilirliğinin değerlendirilmesinde çapraz değerlendirme korelasyon katsayısı (r), nispi ortalama mutlak hata (relative mean absolute error: RMAE) ve nispi hata kareleri karekök ortalaması (relative root mean square error: RRMSE) ile kontrol edilmiştir (Li and Heap, 2011). Kriglemede semivaryogramın range mesafesi de dikkate alınarak hesaplamalarda minimum 10 ve maksimum 16 komşu kullanılmıştır (Isaaks and Srivastava, 1989).

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Toprak Özelliklerinin Tanımsal İstatistikleri

Çalışma alanının genelinde toprak özelliklerine ilişkin tanımsal istatistikler incelendiğinde, en yüksek değişkenliğin alınabilir fosforda en düşük değişkenliğin ise toprak pH'sında olduğu görülmektedir (Tablo 1). Toprak tekstüründeki değişkenlik hem meşcere hem de derinlikler arasında fazla bir farklılık göstermemiştir (Tablo 1). Tablo 1'den toprak özelliklerinin büyük bir kısmına ilişkin değişkenliğin de tıpkı toprak tekstür bileşenlerinde olduğu gibi toprak derinlikleri ve meşcere arasında benzer davrandığı görülmektedir. Ancak, genellikle toprak özelliklerinin her iki meşcere de 0-15 cm derinlikte daha değişken olduğu söylenebilir. Burada bitki örtüsünden kaynaklanan değişkenliğin ve mikro topografyanın neden olduğu taşınma-birikme süreçlerinin üst topraklarda alt topraklara göre daha etkili olduğu düşünülmektedir. Nitekim arazi çalışması esnasında, mikro topografyanın etkisinin, özellikle ölü örtü ayrışması ve taşınma-birikme olaylarının neden olduğu heterojenliğin derinlikle azaldığının tarafımızdan gözlenmiş olması bu görüşü desteklemektedir. Gül and Erşahin (2019) tarafından çam ormanı, meşe ormanı ve tarım alanlarının bulunduğu 1000 ha'lık alanda yapılan bir çalışmada özellikle meşe ve çam alanlarında organik madde değişkenliğinin yüksek olmasında ölü örtü tabakasının kalınlığı ve yüksekliği, ölü örtünün ayrışma derecesi, örnekleme noktalarının bulunduğu meşcere tipi, meşcere kapalılığı ve topografyanın etkili olduğu belirtilmiştir. Üst toprağın daha değişken olması, özellikle orman ve mera alanlarına özgü olup tarım alanlarında toprak işlemenin etkisi nedeniyle tersi bir durum gözlenebilir. Örneğin, Ersahin and Brohi (2006) Kazova'da (Tokat) işlenen bir tarım arazisinde yapmış oldukları bir çalışmada toprak özelliklerinin 30-60 cm derinliğindeki değişkenliğinin 0-30 cm toprak derinliğindeki değişkenliğe kıyasla daha fazla olduğunu rapor etmişlerdir. Benzer durum Ongun (2008) tarafından Menemen (İzmir) ovasında yapılan bir çalışma sonucunda da rapor edilmiştir.

Varyasyon katsayısının tersine, önemli bir dağılım ölçüsü olarak kabul edilen çarpıklığın (Ott, 1993) meşcere ve derinlikleri bakımından farklı değerler aldığı görülmektedir (Tablo 1). Örneğin, saf meşcerede 0-15 cm derinlikte hacim ağırlığı şiddetli sola çarpık ve yayvan (Webster, 2001) iken, diğer üç veri setinde normale yakın bir dağılım göstermektedir (Tablo 1). Benzer durum silt, OM, TK ve YSİ için de söylenebilir. Bu durumun saf ve karışık secerelerdeki mikro topografyadaki farklılıktan ileri geldiği düşünülmektedir.

Tablo 1. Karışık ve saf meşcerede 0-15 ve 15-30 cm derinlikler için toprak özelliklerinin tanımlayıcı istatistikleri.

Özellik	MT	EK	EB	AO	SS	Çarpıklık	Basıklık	VK (%)
HA g/cm ³	KM (0-15 cm)	0,70	1,70	1,14	0,21	0,23	-0,14	18,42
	KM (15-30 cm)	0,80	1,81	1,34	0,19	-0,05	0,37	14,18
	SM (0-15 cm)	0,28	1,37	1,04	0,17	-1,05	2,54	16,35
	SM (15-30 cm)	0,75	1,65	1,18	0,17	-0,09	-0,05	14,41
pH	KM (0-15 cm)	4,49	7,21	5,48	0,58	0,85	0,89	10,58
	KM (15-30 cm)	4,36	7,16	5,36	0,57	0,94	0,95	10,63
	SM (0-15 cm)	4,53	7,08	5,52	0,54	0,27	-0,46	9,78
	SM (15-30 cm)	4,57	6,86	5,40	0,50	0,49	-0,30	9,26
EC (µs/cm)	KM (0-15 cm)	73,70	437,00	163,36	69,70	1,75	3,23	42,67
	KM (15-30 cm)	12,00	354,00	108,49	59,14	2,31	5,99	54,51
	SM (0-15 cm)	76,80	509,00	181,40	70,83	1,43	3,75	39,05
	SM (15-30 cm)	58,60	350,00	146,04	63,24	1,15	1,01	43,30
Kum (%)	KM (0-15 cm)	25,50	63,00	43,34	7,12	0,47	0,20	16,43
	KM (15-30 cm)	25,50	58,00	38,71	6,32	0,60	0,52	16,33
	SM (0-15 cm)	28,90	65,50	47,80	6,35	-0,14	0,23	13,28
	SM (15-30 cm)	13,00	60,50	45,30	6,95	-0,82	3,47	15,34
Kil (%)	KM (0-15 cm)	24,05	54,75	36,46	5,19	0,44	0,78	14,23
	KM (15-30 cm)	6,10	52,50	39,50	5,60	-0,80	8,43	14,18
	SM (0-15 cm)	18,60	52,00	33,38	4,79	0,30	1,87	14,35
	SM (15-30 cm)	21,10	45,00	35,15	4,76	-0,28	0,28	13,54
Silt (%)	KM (0-15 cm)	8,85	35,45	20,18	4,45	-0,03	3,71	22,05
	KM (15-30 cm)	9,50	58,40	21,77	6,02	2,09	11,74	27,65
	SM (0-15 cm)	9,55	31,80	18,82	4,06	0,29	0,58	21,57
	SM (15-30 cm)	7,50	45,45	19,54	4,82	0,81	6,65	24,67
CaCO ₃ (%)	KM (0-15 cm)	1,40	4,40	2,17	0,43	2,48	8,45	19,82
	KM (15-30 cm)	1,60	4,00	2,15	0,29	2,96	16,35	13,49
	SM (0-15 cm)	1,30	3,80	2,39	0,39	1,17	3,09	16,32
	SM (15-30 cm)	1,80	4,30	2,36	0,39	1,69	5,34	16,53
OM (%)	KM (0-15 cm)	3,27	13,33	9,68	2,20	-0,36	-0,05	22,73
	KM (15-30 cm)	2,60	12,71	6,48	1,94	0,76	1,06	29,94
	SM (0-15 cm)	1,53	13,45	10,90	2,74	-1,58	2,41	25,14
	SM (15-30 cm)	2,76	13,45	8,86	2,53	-0,24	-0,48	28,56
P (cmolk ⁻¹)	KM (0-15 cm)	0,03	0,46	0,15	0,08	1,53	3,14	53,33
	KM (15-30 cm)	0,02	0,53	0,10	0,07	2,91	12,63	70,00
	SM (0-15 cm)	0,03	0,93	0,16	0,11	3,83	23,35	68,75
	SM (15-30 cm)	0,04	0,48	0,13	0,08	1,96	4,83	61,54
TK (%)	KM (0-15 cm)	16,45	47,30	28,80	7,27	0,28	-0,48	25,24
	KM (15-30 cm)	14,36	46,62	25,88	6,14	0,62	0,54	23,72
	SM (0-15 cm)	11,92	56,98	29,41	8,78	0,68	0,51	29,85
	SM (15-30 cm)	10,16	55,71	26,12	6,76	1,15	3,27	25,88
SN (%)	KM (0-15 cm)	3,37	29,42	15,75	4,48	0,08	0,71	28,44
	KM (15-30 cm)	4,04	27,32	13,78	4,05	0,55	0,89	29,39
	SM (0-15 cm)	0,90	28,31	17,76	5,07	-0,51	0,59	28,55
	SM (15-30 cm)	0,80	34,29	15,22	4,96	-0,04	2,49	32,59
YSİ (%)	KM (0-15 cm)	1,88	29,36	13,04	5,77	0,29	-0,11	44,25
	KM (15-30 cm)	1,69	25,08	12,10	5,31	0,29	-0,41	43,88
	SM (0-15 cm)	2,16	38,83	11,65	6,68	1,39	2,84	57,34
	SM (15-30 cm)	1,71	31,85	10,90	5,07	0,98	2,02	46,51

MT: Meşcere tipi, AO: Aritmetik ortalama, SS: Standart sapma, EK: En küçük, EB: en büyük, SM: Saf meşcere, KM: Karışık meşcere, HA: Hacim ağırlığı (g/cm³), EC: elektriksel iletkenlik (µs/cm) OM: Organik madde (%), P: Alınabilir Fosfor (cmolk⁻¹), TK: Tarla kapasitesi (%), SN: Solma noktasi (%), YSİ: Yarayışlı su içeriği (%), VK: Varyasyon katsayısı.

3.2. Toprak Özelliklerinin Uzaysal Yapısı

Çalışma alanında toprak özelliklerine ilişkin toplam 48 adet deneysel semivaryogramın modellenmesinde üssel (exponential), küresel (spherical), Gaussian ve nugget modeller kullanılmıştır. Küresel model orijin yakınlarında doğrusal (linear) davranır daha sonra hızla yükselir ve bir sill değerine ulaşır. Üssel model de aynı şekilde orijin yakınlarında linear davranır ve daha sonra hızla yükselir ancak sill değerine çok daha yavaş, asimptotik olarak yaklaşır. Gaussian model orijin yakınlarında parabolik davranır, daha sonra hızla yükselerek tıpkı üssel modelde

olduğu gibi asimptotik olarak bir sill değerine yaklaşır. Saf nugget model için ise bir sill ve range değeri geçerli değildir (Isaaks and Srivastava, 1989). Toprak özelliklerinin uzaysal yapısını karakterize etmeleri açısından model tipi önemlidir.

Toprak özelliklerinin uzaysal yapısı her iki alan ve derinlikte de farklılık göstermektedir. Karışık meşcerede toprak özelliklerinin deneysel semivaryogramlarının modellenmesinde üssel model daha iyi uyum gösterirken, saf meşcerede küresel modelin daha uygun olduğu görülmüştür. Karışık meşceredeki 24 deneysel semivaryogramdan 8'i küresel, 9'u üssel, 5'i Gaussian ve 2'si de saf nugget model ile modellenirken; saf meşcerede 10'u küresel, 9'u üssel, 4'ü Gaussian ve 1'i de saf nugget model ile modellenmiştir. Diğer taraftan, 0-15 cm toprak derinliğinde üssel model deneysel semivaryogramların %50'sinin, 15-30 cm derinliğinde ise küresel model %59'unun modellenmesinde kullanılmıştır. Gaussian model ise daha az sayıda deneysel semivaryograma uyumlu bulunmuştur (Tablo 2).

Jeostatistiksel range mesafesi (Ao) bir değişkenin uzaysal olarak otokorele olduğu maksimum mesafeyi bildirir. Genellikle her iki meşcerede de Ao 0-15 cm derinlikte, 15-30 cm derinlikte olduğundan daha yüksektir. Benzer örnekleme deseni ve sıklığı kullanılarak yapılan diğer çalışmalarla (Erşahin, 1999; Akbaş, 2004; Sağlam, 2008; Gül, 2015) karşılaştırıldığında bu çalışmada elde edilen Ao değerlerinin genellikle çok daha düşük olduğu görülmekte olup, bunun nedeni diğer çalışmaların düz veya düze yakın tarım alanlarında, bu çalışmanın ise engebeli orman alanında yapılmış olmasına bağlanabilir. Nitekim Gül (2015) tarafından çam, meşe ve tarım alanlarının bulunduğu 1000 ha'lık alanda yapılan bir çalışmada, benzer örnekleme deseni ve sıklığında çölleşme riski (environmental sensitivity index) için Ao tarım arazisinde 666 m, meşe ormanlarında 75 m ve çam ormanlarında ise 96 m bulunmuştur. Kuzeybatı İspanya'da farklı toprak özelliklerinin uzaysal değişkenliğinin araştırıldığı ormanlık bir alanda, Ao'nun kısa olup, 3,86 m ile 18,51 m arasında değiştiği rapor edilmiştir (Gallardo, 2003). Fundalık ve mera bitki topluluklarının karşılaştırıldığı bir çalışmada iki farklı bitki topluluğu altındaki arazilerde 0-10 cm toprak derinliğinden alınan fosfor için Ao'nun 20,91 m olduğu belirtilmiştir (Gallardo and Parama, 2007). Buradan hareketle toprak özellikleri için Ao'nun bitki örtüsü, topografya ve arazi kullanımı tarafından oldukça etkilendiği düşünülebilir. Diğer taraftan, yapılacak karşılaştırmalarda örnekleme deseni ve sıklığının Ao üzerine etkisi de mutlaka dikkate alınmalıdır.

Tablo 2. Toprak özelliklerine ilişkin semivaryogram modeli, model parametreleri ve çapraz değerlendirme sonuçları.

Özellik	Meşcere Tipi	Model	Co (Nugget)	Co+C (Sill)	Ao (m) (Range)	Co/(Co+C) x 100	R ²	r	RSS
HA g/cm ³	KM (0-15 cm)	Exponential	0,02321	0,04652	25,50	49,89	0,608	0,23	8,51x10 ⁻⁵
	KM (15-30 cm)	Guassian	0,0020	0,359	8,31	0,56	0,732	0,08	6,61 x10 ⁻⁵
	SM (0-15 cm)	Spherical	0,0001	0,0474	8,00	0,21	0,268	0,25	8,61 x10 ⁻⁴
	SM (15-30 cm)	Spherical	0,01064	0,02928	16,20	36,34	0,674	0,09	5,64 x10 ⁻⁵
pH	KM (0-15 cm)	Exponential	0,00718	0,01446	29,70	49,65	0,744	0,10	5,62 x10 ⁻⁶
	KM (15-30 cm)	Guassian	0,00001	0,01482	5,60	0,07	0,584	0,10	8,09 x10 ⁻⁵
	SM (0-15 cm)	Exponential	0,1372	0,2754	47,10	49,82	0,674	0,18	3,65 x10 ⁻³
	SM (15-30 cm)	Guassian	0,0001	0,2432	7,62	0,04	0,136	0,002	7,62 x10 ⁻³
EC (µs/cm)	KM (0-15 cm)	Saf nugget	14,231	14,231	135,45	100	0,415	0,05	2,88 x10 ⁻³
	KM (15-30 cm)	Guassian	0,0001	0,2012	7,96	0,05	0,377	0,19	0,0181
	SM (0-15 cm)	Exponential	0,0548	0,1386	7,20	39,54	0,711	0,10	4,63 x10 ⁻⁵
	SM (15-30 cm)	Spherical	0,0001	0,1752	8,70	0,06	0,670	0,16	1,59 x10 ⁻³
Kum (%)	KM (0-15 cm)	Guassian	16,28	47,01	37,58	34,63	0,959	0,26	47,2
	KM (15-30 cm)	Exponential	6,78	38,03	68,40	17,83	0,913	0,46	67,8
	SM (0-15 cm)	Exponential	18,46	42,27	109,5	43,67	0,955	0,32	17,6
	SM (15-30 cm)	Spherical	0,90	37,29	13,60	2,41	0,735	0,32	134,

Tablo 2. devam ediyor.

Özellik	Meşcere Tipi	Model	Co (Nugget)	Co+C (Sill)	Ao (m) (Range)	Co/(Co+C) x 100	R ²	r	RSS
---------	--------------	-------	-------------	-------------	----------------	-----------------	----------------	---	-----

Kil (%)	KM (0-15 cm)	Guassian	6,54	28,32	17,49	23,09	0,788	0,25	84,1
	KM (15-30 cm)	Spherical	0,01	30,77	8,60	0,03	0,340	0,03	6,63
	SM (0-15 cm)	Guassian	0,01	23,25	9,17	0,04	0,652	0,08	85,2
	SM (15-30 cm)	Spherical	14,95	31,80	25,0	47,01	0,684	0,27	81,4
Silt (%)	KM (0-15 cm)	Exponential	7,93	17,98	60,60	44,10	0,629	0,03	32,0
	KM (15-30 cm)	Spherical	0,0001	0,0912	8,40	0,11	0,291	0,18	8,23 x10 ⁻³
	SM (0-15 cm)	Exponential	7,89	15,79	89,4	49,97	0,688	0,44	25,6
	SM (15-30 cm)	Spherical	0,10	18,970	9,87	0,53	0,608	0,002	86
CaCO ₃ (%)	KM (0-15 cm)	Saf nugget	0,36924	0,3694	135,45	99,96	0,254	0,03	1,81 x10 ⁻³
	KM (15-30 cm)	Spherical	0,0342	0,0763	24,20	44,82	0,738	0,06	3,77 x10 ⁻⁴
	SM (0-15 cm)	Exponential	0,01111	0,02232	27,0	49,78	0,488	0,37	3,51 x10 ⁻⁵
	SM (15-30 cm)	Spherical	0,00001	0,02492	8,00	0,04	0,230	0,23	4,94 x10 ⁻⁴
OM (%)	KM (0-15 cm)	Spherical	0,30000	4,63100	10,10	6,48	0,841	0,16	0,419
	KM (15-30 cm)	Guassian	0,0001	0,1352	10,21	0,07	0,605	0,05	6,25 x10 ⁻³
	SM (0-15 cm)	Exponential	1,480	6,712	4,38	22,05	0,838	0,24	3,40
	SM (15-30 cm)	Spherical	0,84	6,34	11,90	13,25	0,828	0,18	1,13
P (cmol kg ⁻¹)	KM (0-15 cm)	Guassian	0,0631	0,2392	16,62	26,37	0,751	0,23	6,54 x10 ⁻³
	KM (15-30 cm)	Exponential	0,0855	0,3540	48,30	24,15	0,879	0,18	6,16 x10 ⁻³
	SM (0-15 cm)	Spherical	0,1239	0,2928	46,70	42,32	0,949	0,25	1,42 x10 ⁻³
	SM (15-30 cm)	Guassian	0,001	0,318	9,87	0,31	0,723	0,42	0,0143
TK (%)	KM (0-15 cm)	Exponential	7,00	46,69	16,50	14,99	0,742	0,31	84,2
	KM (15-30 cm)	Spherical	0,001	0,323	8,50	0,31	0,374	0,07	0,0332
	SM (0-15 cm)	Exponential	18,90	70,69	30,9	26,74	0,812	0,27	268
	SM (15-30 cm)	Guassian	0,0001	0,0766	8,31	0,13	0,487	0,11	1,66 x10 ⁻³
SN (%)	KM (0-15 cm)	Spherical	3,260000	19,00	9,10	17,16	0,237	0,028	57,01
	KM (15-30 cm)	Spherical	0,01000	13,96	8,30	0,07	0,306	0,039	94,6
	SM (0-15 cm)	Spherical	0,010	27,21	8,40	0,04	0,493	0,036	138
	SM (15-30 cm)	Spherical	0,01	30,090	80,10	0,03	0,242	0,009	1314,
YSİ (%)	KM (0-15 cm)	Exponential	6,96	32,41	10,10	21,7	0,839	0,39	48,9
	KM (15-30 cm)	Exponential	12,48	26,23	46,50	47,58	0,743	0,3	41,7
	SM (0-15 cm)	Guassian	0,0001	0,2922	8,66	0,03	0,756	0,15	5,29 x10 ⁻³
	SM (15-30 cm)	Saf nugget	0,6281	0,6281	167,03	100	0,667	0,76	0,0104

SM: Saf meşçere, KM: Karışık meşçere, HA: Hacim ağırlığı (g/cm³), EC: elektriksel iletkenlik (µs/cm), OM: Organik madde (%), P: Alınabilir fosfor (cmol kg⁻¹), TK: Tarla kapasitesi (%), SN: Solma noktası (%), YSİ: Yarayışlı su içeriği (%), VK: Varyasyon katsayısı, A: Range (m), C: Yapısal semivaryans, Co: Külçe (nugget) varyans, R²=Regresyon determinasyon Katsayısı, r = Çapraz değerlendirme korelasyon katsayısı, RSS: Hata kareler toplamı, SM: Saf meşçere, KM: Karışık meşçere, Co/(Co+C)x100=Nugget etkisi

Nugget varyans (C₀), mevcut örnekleme sıklığı ve deseninde mesafeye bağlı olarak açıklanamayan varyans olarak tanımlanmıştır (Isaaks and Srivastava, 1989). Nugget varyans, örnekleme aralıklarının yeterince kısa tutulmaması, mikro topoğrafyadaki sık ve ani değişiklikler, örneklerin laboratuvar analizinde yapılan hatalar ve GPS koordinatlarının alınmasında yapılan kaydırmalar da dahil olmak üzere birçok faktörden kaynaklanabilir (Mualla and McBratney, 2000; Gregory et al., 2006). Nugget etkisi nugget varyansın silt (C_s)'e oranı olup, yüzde olarak ifade edilir. Bizim çalışmamızda, toprak özelliklerine ilişkin nugget etkisi genelde yüksek olup, bunun nedeni mikro topoğrafyanın son derece değişken olması ve buna bağlı olarak orman altı bitki örtüsünün kısa mesafelerde aşırı değişken olmasına bağlanabilir. Özellikle nugget etkisinin her iki meşçerede de 0-15 cm derinlikte pH, EC, kum, silt, CaCO₃, P ve TK için çok daha yüksek olması bu tezimizi desteklemektedir. Ancak nugget etkisi bakımından meşçereler arasında sistematik bir farklılık gözlenmemiştir.

Semivaryogramın A_0 değerine karşılık aldığı değer sill (C_s) olarak adlandırılır. Sill, tıpkı A_0 değerlerinde olduğu gibi 0-15 cm'de genellikle yüksek değerler almıştır. Ancak, toprak özelliklerine ilişkin C_s değerlerinin genel varyans değerinin altında olması, toprak özellikleri için uzaysal yapıda global (genel) bir trend olmadığını göstermektedir (Trangmar et al., 1985; Erşahin et al., 2017). Diğer taraftan, toprak özelliklerine ilişkin izotropik semivaryogramlar için hesaplanan A_0 değerlerinin çalışma alanlarının en kısa eksenini olan, karışık meşcerede 105 m ve saf meşcerede 120 m'den daha kısa olması, seçilen çalışma alanının hedeflenen çalışma için yeterince geniş olduğunu göstermektedir.

Nugget etkisi aynı zamanda ilgili özelliğin uzaysal bağımlılık şiddetinin belirlenmesinde de kullanılmaktadır (Cambardella et al., 1994). Cambardella et al. (1994) tarafından önerilen sınıflamaya göre, şayet nugget etkisi $< \%25$ ise ilgili özelliğin kuvvetli uzaysal bağımlı, $\%25$ ve $\%75$ arasında ise orta uzaysal bağımlı ve $\%75$ ve üzerinde ise zayıf uzaysal bağımlı olduğuna karar verilir. Bu bağlamda, toprak özelliklerinin üst topraklarda (0-15 cm) genellikle orta ve zayıf uzaysal bağımlı, 15-30 cm derinlikte ise kuvvetli ve orta uzaysal bağımlı olduğu anlaşılmaktadır (Tablo 2). Üst toprakta (0-15 cm) uzaysal bağımlılığın daha düşük olmasının ise vejetasyon ile mikro topografya etkileşiminin 0-15 cm toprak derinliğinde daha belirleyici olmasına bağlanabilir. Nitekim bitki örtüsünün türü, yaşı ve sıklığı, toprağa giren organik maddenin miktarını ve niteliğini; toprakların ana materyal farklılıkları ve toprak taşınmasının şiddetinin ise toprak tekstür bileşenlerinin değişkenliğini önemli derecede etkilediği belirtilmiştir (Charles and Garten, 2002). Uzaysal bağımlılığın şiddeti açısından meşcereler arasında ise bir genelleme yapmak zordur.

Modelleme çalışmalarında en başarılı modelin elde edilmesine yönelik birçok alternatif denenmesine karşın, toprak özelliklerinin birçoğu için deneysel semivaryogramların modellenmesinde yeterince başarı elde edilememiştir. Tablo 2'de modelleme performans ölçütleri (R^2 , r ve RSS) birlikte değerlendirildiğinde, çapraz değerlendirme korelasyon katsayısı (r) ve determinasyon katsayısı (R^2) nın genelde düşük olduğu görülmektedir. Buradan, teorik semivaryogramların ilgili deneysel semivaryogramları yeterince temsil edemediği söylenebilir. Bunun başlıca iki nedeninin olduğu düşünülmektedir: verinin fazla değişken ve nugget etkisinin yüksek olması. Nitekim Li and Heap (2011) ilgili özelliğin değişkenliği ve örnekleme yoğunluğu ile örnekleme deseninin tahmin başarısını etkileyen en önemli faktörler olduğunu belirtmişlerdir. Daha önce de belirtildiği üzere, nugget etkisinin yüksek olması bu alanda daha sık bir örnekleme yapılmasını gerekli kılmaktadır.

3.3. Uzaysal Enterpolasyon (Krigleme)

Uzaysal enterpolasyon, yani krigleme (kriging), jeostatistiksel çalışmalarda önemli bir yere sahiptir. Krigleme ile ilgili değişkenin örneklenmeyen noktadaki değerleri hesaplanarak yüzey haritası oluşturulur ve uzaysal değişim deseni analiz edilir. Uzaysal enterpolasyonda krigleme tahmin başarısının belirlenmesinde birçok farklı ölçüt kullanılmaktadır. Bunlar arasında aynı değişkene ilişkin ölçülen ve tahmin edilen verilerin dağılım ölçütlerinin karşılaştırılması (Isaaks and Srivastava, 1989) ve nispi mutlak hatalar ortalaması (RMAE), nispi mutlak hatalar karekökleri ortalaması (RRMSE) ve çapraz değerlendirme korelasyon katsayısı (r) yaygın olarak kullanılmaktadır (Li and Heap, 2011). Tıpkı semivaryogramın modellenmesinde olduğu gibi krigleme tahmininde de genellikle yeterince başarı elde edilememiştir. Tablo 3 incelendiğinde, toprak özelliklerine ilişkin ortalamaların tahmininde bayağı (ordinary) kriglemenin oldukça başarılı olduğu, ancak diğer dağılım ölçütlerine (standart sapma ve varyasyon katsayısı) bakıldığında buradaki başarının aslında yanıltıcı olduğu görülmektedir. Başarılı bir tahmin için sadece ölçülen ve tahmin edilen değerlerin ortalamalarının benzer olması yetmez, diğer dağılım ölçütlerinin de benzer olması gerekir. Tablo 3'den toprak özelliklerine ilişkin ölçülen ve tahmin edilen veri setlerinde standart sapma ve buna bağlı olarak hesaplanan değişkenlik katsayısı (VK) değerlerinin oldukça farklı olduğu dikkat çekmektedir. Değişkenlere ilişkin ortalamaların benzer olması krigleme yönteminin yüksek değerleri düşük, düşük değerleri de yüksek tahmin etme eğiliminden ileri gelmektedir (Isaaks and Srivastava, 1989). Tahmin edilen ve ölçülen değerlerin ilişkisinin bir ölçüsü olan çapraz değerlendirme korelasyon katsayısı (r) değerlerinin oldukça düşük olması bunun bir göstergesidir.

Özellikle, RMAE'nin $\%10$ 'un altına düştüğü tahminler başarılı sayıldığında (Li and Heap, 2011), Tablo 3'den az sayıda toprak özelliğinin krigleme tahmininin başarılı sayılabileceği anlaşılmaktadır. Bunun nedeni ise daha önce de değinildiği gibi, değişkenlere ilişkin nugget varyans değerlerinin yüksek olmasıdır (Isaaks and Srivastava, 1989; Li and Heap, 2011). Kaldı ki, krigleme başarı ölçütü olarak kabul edilen çapraz değerlendirme korelasyon katsayısı (r) değerlerinin de oldukça düşük değerler aldığı dikkat çekmektedir. Aslında, r değerlerinin yorumlanmasında oldukça temkinli davranılmalıdır. Çünkü r , veri setleri arasındaki benzerlikten ziyade ilişkiyi ölçmektedir. Yani, x değişkeninin yüksek değerlerine karşı y değeri de yüksek değerler alıyorsa aradaki ilişki pozitif ve yüksek düzeyde ilişkili demektir (Ott, 1993). Burada x ve y değişkenleri arasındaki doğrunun eğimi 1'den çok daha farklı olsa bile ilişki kuvvetli olabilir. Yine de bir genelleme yapıldığında, kriglemenin az da olsa

15-30 cm derinlikte daha başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir.

Tablo 3. Saf ve karışık meşcerede toprak özelliklerine ilişkin krigleme performans göstergeleri.

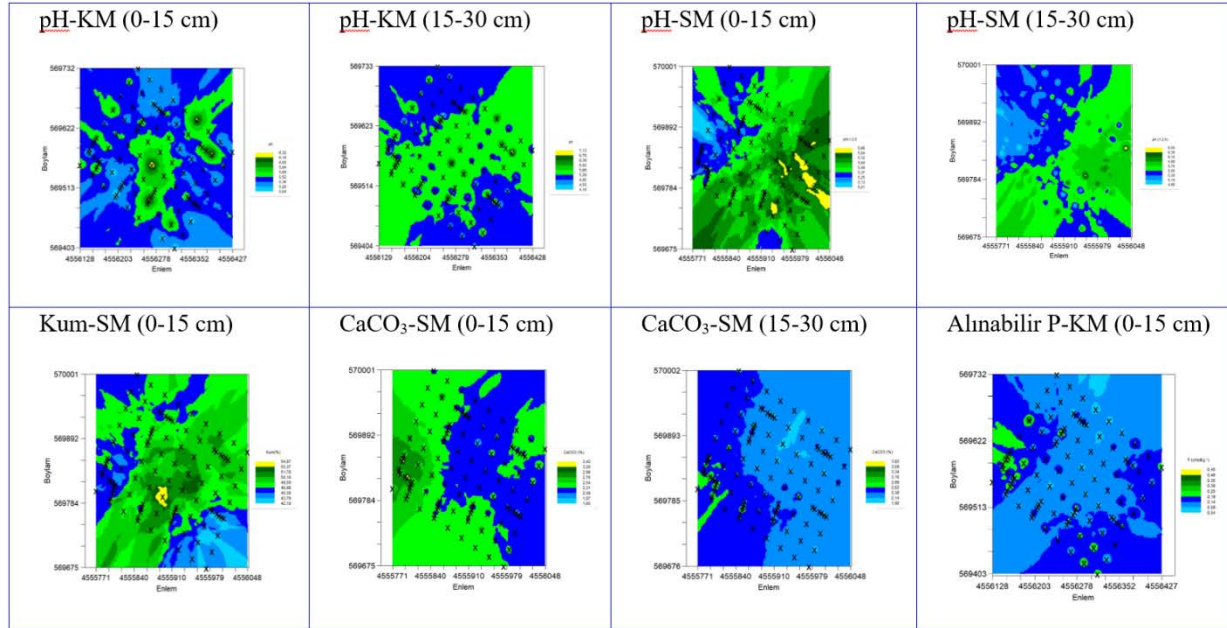
Toprak özelliği	Meşcere tipi	Aritmetik ortalama		Standart sapma		Varyasyon katsayısı		Krigleme başarı ölçütleri		
		Ölçülen	Tahmin edilen	Ölçülen	Tahmin edilen	Ölçülen	Tahmin edilen	r	RMAE	RRMSE
HA	1	1,14	1,14	0,21	0,0028	18,42	0,24	0,23	30,86	48,56
	2	1,34	1,33	0,19	0,0034	14,18	0,26	0,08	3,92	19,42
	3	1,04	1,03	0,17	0,0019	16,35	0,19	0,25	65,33	67,35
	4	1,18	1,18	0,17	0,0021	14,41	0,18	0,09	19,31	40,43
pH	1	5,48	5,45	0,58	0,1893	10,58	3,47	0,10	8,31	68,64
	2	5,36	5,34	0,57	0,0290	10,63	0,54	0,10	7,84	63,61
	3	5,52	5,53	0,54	0,0439	9,78	1,79	0,18	7,73	63,69
	4	5,40	5,94	0,50	0,0207	9,26	0,35	0,02	7,03	58,55
EC	1	163,36	164,18	69,70	219,7783	42,67	133,86	0,05	5487,06	4593805,3
	2	108,49	108,98	59,14	252,4711	54,51	231,67	0,19	37,91	5932,09
	3	181,40	182,34	70,83	344,1896	39,05	188,76	0,10	30,68	7084,18
	4	146,04	146,67	63,24	315,4562	43,30	215,08	0,16	33,91	6274,40
Kum (%)	1	43,34	43,01	7,12	12,1629	16,43	28,28	0,26	12,09	674,94
	2	38,71	38,53	6,32	14,2664	16,33	37,03	0,46	10,94	57,21
	3	47,80	47,45	6,35	10,5068	13,28	22,14	0,32	6,34	609,67
	4	45,30	45,37	6,95	6,0524	15,34	13,34	0,32	11,86	645,20
Kil (%)	1	36,46	36,85	5,19	4,2482	14,23	11,53	0,25	10,94	513,54
	2	39,50	39,49	5,60	2,8345	14,88	7,18	0,03	10,62	615,96
	3	33,38	33,44	4,79	3,3126	14,35	9,91	0,08	12,30	511,10
	4	35,15	35,26	4,76	3,1021	13,54	8,80	0,27	10,95	526,73
Silt (%)	1	20,18	20,12	4,45	2,9572	22,05	14,70	0,03	17,39	453,03
	2	21,77	21,58	6,02	4,9015	27,65	22,71	0,18	18,77	641,34
	3	18,82	18,86	4,06	4,6140	21,57	24,46	0,44	15,35	359,12
	4	19,54	19,20	4,82	2,8383	24,67	14,78	0,02	18,20	479,88
CaCO ₃ (%)	1	2,17	2,16	0,43	0,0094	19,82	0,44	0,03	4325,8	47579,2
	2	2,15	2,15	0,29	0,0019	13,49	0,55	0,06	11,94	49,52
	3	2,39	2,37	0,39	0,0248	16,32	1,05	0,37	6,36	36,34
	4	2,36	2,35	0,39	0,0218	16,53	0,93	0,23	4,47	41,01
OM	1	9,68	9,51	2,0	0,5958	22,73	6,26	0,16	18,99	218,50
	2	6,48	6,53	1,94	0,4266	29,94	6,53	0,05	26,55	211,78
	3	10,90	10,98	2,74	1,9472	25,14	17,74	0,24	18,29	255,77
	4	8,86	8,81	2,53	0,8306	28,56	9,43	0,18	24,80	256,45
P	1	0,15	0,14	0,08	0,0009	53,33	0,67	0,23	30,86	48,56
	2	0,10	0,10	0,07	0,0004	70,00	0,47	0,18	3,92	19,42
	3	0,16	0,17	0,11	0,0046	68,75	2,73	0,25	65,33	67,35
	4	0,13	0,13	0,08	0,0010	61,54	0,78	0,42	19,31	40,43

Tablo 3. Devam ediyor.

Toprak özelliği	Meşcere tipi	Aritmetik ortalama		Standart sapma		Varyasyon katsayısı		Krigleme başarı ölçütleri		
		Ölçülen	Tahmin edilen	Ölçülen	Tahmin edilen	Ölçülen	Tahmin edilen	r	RMAE	RRMSE
TK	1	28,80	28,43	7,27	4,8564	25,24	17,08	0,31	19,71	673,73
	2	25,88	25,52	6,14	3,6524	23,72	14,31	0,07	17,76	579,13
	3	29,41	29,96	8,78	11,9049	29,85	39,73	0,27	23,53	855,33
	4	26,12	26,39	6,76	4,5399	25,88	17,20	0,11	20,68	722,44
SN	1	15,75	15,60	4,48	3,0097	28,44	19,30	0,03	21,45	419,21
	2	13,78	13,75	4,05	1,6468	29,39	11,98	0,04	22,20	375,21
	3	17,76	18,09	5,07	2,8712	28,55	15,87	0,04	23,11	510,45
	4	15,22	15,50	4,96	2,2058	32,59	14,23	0,01	24,91	508,01
YSİ	1	13,04	12,41	5,77	5,2391	44,25	44,22	0,39	35,38	530,04
	2	12,10	11,38	5,31	3,5554	43,88	31,25	0,30	33,87	492,19
	3	11,65	11,90	6,68	7,0554	57,34	59,31	0,15	44,69	671,60
	4	10,90	10,84	5,07	0,9070	46,51	8,37	0,76	4672,76	145033,10

HA: Hacim ağırlığı (g/cm^3), EC: elektriksel iletkenlik ($\mu s/cm$) OM: Organik madde (%), P: Fosfor ($cmol\ kg^{-1}$), TK: Tarla kapasitesi (%), SN: Solma noktası (%), YSİ: Yarayışlı su içeriği (%), VK: Varyasyon katsayısı, 1: Karışık meşcere (0-15 cm), 2: Karışık meşcere (15-30 cm), 3: Saf meşcere (0-15 cm), 4: Saf meşcere (15-30 cm).

Tablo 3’de RMAE değeri %10 ve altında olan toprak özellikleri için bayağı (ordinary) krigleme ile elde edilen haritalar Şekil 2’de toplu olarak verilmiştir. Şekil 2 incelendiğinde, pH değerlerinin her dört durumda da meşcerelerin ortalarında yüksek değerler aldığı gözlenmektedir. Aynı durum, saf meşcerede 0-15 cm derinlikte kum için de geçerlidir. Kireç ise çalışma alanının batı kenarında daha yüksek değerler almıştır.



Şekil 2. Çalışma alanında bazı toprak özelliklerinin karışık (KM) ve saf meşcerede (SM) 0-15 ve 15-30 cm derinliklerde uzaysal dağılım deseni.

4. Sonuç ve Öneriler

Kastamonu ili Ilgaz doğal orman alanı içinde yaklaşık 5 er ha genişliğinde, saf göknar ve saf göknar – sarıçam karışık meşcerede 0-15 ve 15-30 cm derinliklerdeki toprakların uzaysal değişkenliklerinin gerek meşcere tipi bakımından gerek toprak derinliği bakımında farklı olduğu belirlenmiştir. Uzaysal bağımlılık 0-15 cm’de, 15-30 cm’de olduğundan daha düşük olup, bu farklılığın mikro topografya ve orman altı bitki örtüsü etkileşiminin 0-15 cm’de daha etkili olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ancak toprak derinliği ile karşılaştırıldığında, meşcere tipinden kaynaklanan farkın daha düşük olduğu görülmektedir. Toprak özelliklerinin uzaysal değişkenliği

arasında meşcere tipine bağlı olarak sistematik bir farkın daha düşük olması, 0-15 cm için topografya ve özellikle de mikro topografyadaki farklılığın meşcere tipinden kaynaklanan değişkenliği baskıladığını düşündürmektedir. Arazi çalışması esnasında, toprağın orman ağaçları altında ve ağaçlar arasında sık sık değiştiği, ayrıca çalışma alanının mikro topoğrafyası ve orman altı bitki örtüsünün çok sık değiştiği gözlenmiştir. Çalışma alanının eğimli olması ve taşınma birikme olaylarının sürekliliği dikkate alındığında, 15-30 cm derinlikte de, 0-15 cm deki kadar olmasa bile, yine topografyanın etkisinin bitki örtüsüne (meşcere tipi) göre daha baskın olduğu söylenebilir. Uzaysal enterpolasyonda istenen başarının elde edilememiş olması, toprakların kısa mesafelerde aşırı değişken olması ve mevcut örnekleme deseni ve sıklığı ile bu değişkenliğin yakalanamamasına bağlanmıştır. İleride yapılacak benzer çalışmalarda bu hususa özellikle dikkat edilmelidir.

Teşekkür

Bu çalışmaya verilen destek için Çankırı Karatekin Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimine (ÇAKÜ-BAP) teşekkür ederiz. Proje No: OF061218D06

Kaynaklar

1. Akbaş, F., (2004). Entisol Ordosuna Ait Bir Arazide Bazı Toprak Özelliklerinin Değişiminin Geleneksel ve Jeostatistiksel Yöntemlerle Belirlenmesi. Doktora Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Anabilim Dalı, Tokat, 52-78 s.
2. Başaran, M., Özcan M. U., Erpul G., Çanga, M. (2005). Çankırı-İndağı Karaçam (*Pinus nigra* Arnold.) plantasyon alanında mineral üst toprağın organik madde kapsamı ve bazı özelliklerinin konumsal değişimleri. Gazi Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi. Kastamonu, Cilt:5 No:2 Kasım 2005.
3. Blake, G. R., Hartge, K. H. (1986). Methods of soil analysis. Bulk Density, Part 1. 2nd Ed. Agronomy 9. ASA and SSSA, 363-375.
4. Boruvka, L., Mladkova, L., Penizek, V., Drabek, O., Vasat, R. (2007). Forest soil acidification assesment using principal component analysis and geostatistics. *Geoderma* 2007(140), 374-382.
5. Cambardella, C. A., Moorman, T. B., Novak, J. M., Parkin, T. B., Karlen, D. L., Turco, R. F., Konopka, A. E. (1994). Field-scale variability of central Iowa soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58, 1501–1511. <https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>.
6. Camberdella, C. A., and Karlen I. D. (1999). Spatial analysis of soil fertility parameters. *Precision Agriculture*, 1, 5-14.
7. Cassel, D. K., Nielsen, D. R. (1986). Methods of soil analysis. Part 1, Physical and Mineralogical Methods-Agronomy Monograph No:9 American Society Of Agronomy-Soil Science Society of America, Madison, USA.
8. Castrignano, A. L., Giugliarini, R., Risaliti and Martinelli, N. (2000). Stuy of sparial relationships among some soil physico- chemical properties of a field in central İtaly using multi variate geotattistics. *Geoderma* 97, 39-60.
9. Charles, T., Garten, Jr. (2002). Soil carbon storage beneath recently established tree plantations in Tennessee and South Colorina, USA, *Biomass and Bioenergy*, 23, 93-102.
10. Çetin, M., Tütüncü, K. (1998). Doğu akdeniz bölgesinde aylık yağışların yersel değişimlerinin jeostatistik yöntemle incelenmesi. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Science*, 22, 279-288.
11. Erşahin, S., (1999). Alivuyal bir tarlada bazı fiziksel ve kimyasal toprak özelliklerinin uzaysal (spatial) değişkenliğinin belirlenmesi. S.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi. 13(19), 34-41.
12. Ersahin, S., Brohi, A. (2006). Spatial variation of soil water content in topsoil and subsoil of a Typic Ustifluent. *Agric. water Manag.* 83, 79–86. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.09.002>.
13. Ersahin, S., Aşkın, T., Tarakçıoğlu, C., Özenç, D. B., Korkmaz, K., Kutlu, T., Sünal, S., Bilgili, B. C. (2017). Spatial variation in the solute transport attributes of adjacent Typic Haplusteps, Mollic Ustifluvents, and Lithic Ustipsamments. *Geoderma* 289, 107–116. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.11.035>.
14. Gallardo, A., (2003). Spatial variability of soil properties in a floodplain forest in northwest Spain. *Ecosystems* 2003(6), 564-576.
15. Gallardo, A., Parama, R. (2007). Spatial variability of soil elements in two plant communities of NW Spain. *Geoderma*, 139(1-2), 199-208.
16. Gee, G. W., Bauder, J. V. (1986). Particle-size Analysis. Methods of soil analysis, Part1, Physical and mineralogical methods. Second Edition, Agronomy Monograph 9, American Society of Agronomy, Madison, In A.L. Page (ed.). WI. P. 383 - 411.
17. Geypens, M., Vanongeval, L., Vogels, N., Meykens, J. (1999). Spatial variability of agricultural soil fertility parameters in a gleyic podzol of belgium. *Precision Acriculture* 1, 319-326.

18. **Gregory, J. H, Dukes, M. D, Jones P. H, Miller, G. L. (2006).** Effect of urban soil compaction on infiltration rate. *Journal of Soil Water Conservation* 61(3), 117-124.
19. **Gül, E. (2015).** Yarı-Kurak Alanlarda Çölleşme Risk Haritasının Oluşturulması: Sarıkaya Örneği. Doktora Tezi, Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Çankırı, 108-118 s.
20. **Gül, E., Erşahin, S. (2019).** Evaluating the desertification vulnerability of a semiarid landscape under different land uses with the environmental sensitivity index. *Land Degradation & Development* 30, 811-823.
21. **Isaaks, H., Srivastava, R. (1989).** An introduction to Applied Geostatistics. Oxford University Press, New York. 210-255 pages.
22. **Janzen, H. H. (1993).** Soluble salts in soil sampling and methods of analysis. Carter M.R. (ed) Canadian Society of Soil Science, CRC Pres Inc. Boca Raton, Florida. USA.
23. **Jennifer, M., Turner, G. M., Person, M. G., Dixon, P. (2005).** Effects of past land use on spatial heterogeneity of soil nutrients in southern Appalachian forests. *Ecological Monographs* 75(2), 215-230.
24. **Journel, A., Huijbregts, Ch. J. (1978).** Mining geostatistics. Academic press. 600 s.
25. **Kacar, B., Kovanci, İ. (1982).** Bitki, toprak ve gübrelerde kimyasal fosfor analizleri ve değerlendirilmesi. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No: 354.
26. **Kacar, B. (1996).** Bitki ve Toprak Analizleri. 3. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Eğitim, Araştırma ve Geliştirme Vakfı Yayınları, No: 3.
27. **Li, J., Heap, A. D. (2011).** A review of comparative studies of spatial interpolation methods in environmental sciences: Performance and impact factors. *Ecological Informatics*, 6(3-4), 228-241. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2010.12.003>.
28. **Mualla, D. J., McBratney, A. B. (2000).** Soil Spatial Variability, A-321-A351, İn: handbook of soil science, malcom e. Summer (ed. İn chief) CRS press, 321-352 pages.
29. **Needelman, B. A., Guburek, W. J., Sharpley A. N., Petersen, G. W. (2001).** Environmental Management of Soil Phosphorus. *Soil Science Society of America Journal*, 65(5), 1516-1522.
30. **Nelson, D. W., Sommers, L. E. (1982).** Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter. İn: Page, A.L. (ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 2, 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA. Madison, WI, 539-579.*
31. **Nielsen, D. R., Biggar, J. W., Erh, T. H. (1973).** Spatial variability of field measured soil-water properties. *Hilgarda* 42(7), 214-259.
32. **Ongun, R., (2008).** Toprakların Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Jeostatistiksel Yöntemlerle Uzaysal Değişkenliğinin Saptanması. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Anabilim Dalı, İzmir, 70-117 s.
33. **Ott, R. L. (1993).** An introduction to statistical methods and data analysis. Fourt Edition, Duxbury Press, Belmont, California.
34. **Ovalles, F. A., Collings, M. A. (1988).** Soil- lands cape relationships and soil variability in north central florida. *Soil Science Society of America Journal* 50, 401-408.
35. **Payn, W. T., Hill, B. R., Höck, K. B., Skinner, F. M., Thorn, J. A., Rijkse. C. W. (1999).** Potential for the use of gis and spatial analysis techniques as tools for monitoring changes in forest productivity and nutrition a new zealand example. 122, 187-196.
36. **Sağlam, M. (2008).** Gökhöyük Tarım İşletmesinde Yaygın Toprak Serilerinde Bazı Kalite Göstergelerinin Uzaysal Değişkenliğinin Jeostatistiksel Yöntemlerle Belirlenmesi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Anabilim Dalı, Ankara, 32-79 s.
37. **Sun, B., Zhou, S., Zho, Q. (2003).** Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical china. 115, 85-99.
38. **Trangmar, B. B., Yost, R. S., Uehara, G. (1985).** Application of geostatistic to spatial studies of soil properties. *Advances in Argon* (38), 45-94.
39. **Warrick, A., Nielsen W. (1980).** Warrick, A. W., & Nielsen, D. R. (1980). Spatial variability of soil physical properties in the field. İn D. Hillel (Ed.), *Applications of soil physics* (pp. 319-344). New York: Academic Press.
40. **Webster, R. (2001).** Statistics to support soil research and their presentation. *Eur. J. Soil Sci.* 52, 330-340. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2389.2001.00383.x>
41. **Webster, R. (2008).** Sil science and geostatistics. 1-11. Soil geography and geostatistics-european commission, krasilnikov, P, Carre, F and Montanarella, L. Eds), european commission, joint research centre, institute for environmental and sustainability.
42. **Webster, R., Oliver, M. A. (2001).** Geostatistics for environmental scientists (Statistics in practice).
43. **Webster, R., and Oliver, M. A. (2007).** Geostatistics for environmental scientists. John Wiley&Sons. *European Journal Of Soil Science*, June 2001(52), 331-340.
44. **Wu, J., Norvell, W. A., Hopkings, D. G., Welch, R. M. (2002).** Spatial variability of grain cadmium and soil characteristics in a durum wheat field. *Soil Science Society of America Journal* 66(1), 268-275.