ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YARI-KURAK BİR TARIM ARAZİSİNDE TOPRAK KALİTESİNİN UZAYSAL DEĞİŞKENLİĞİ

Saada Hamad Mohamed

ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇANKIRI

2020

Her hakkı saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YARI-KURAK BİR TARIM ARAZİSİNDE TOPRAK KALİTESİNİN UZAYSAL DEĞİŞKENLİĞİ

Saada Hamad Mohamed

Çankırı Karatekin Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Sabit ERŞAHİN

Tarımda sürdürülebilirlik, toprağın korunması, çevre sağlığı ve gıda güvenliği açısından toprak kalitesinin izlenmesi son derece önemlidir. Bu tez çalışması ile 12 ha genişliğinde, yarı-kurak, eğimli ve kuru buğday tarımı altındaki bir arazide toprakların kalite indeksinin uzysal değişkenliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çankırı merkeze 20 km mesafedeki çalışma alanında 100 adet toprak örneği gelişigüzel alınarak laboratuvarlarda analiz edilmiştir. Toprak özelliklerine ilişkin değerler kullanılarak toprak kalite indeksi (TKİ) hesaplanmıştır. Toprak kalitesinin hesaplanmasında geometrik ortalama (GO) ve temel bileşenler (PCA) yöntemi kullanılmıştır. PCA yöntemi ile hesaplanan TKİ (TKI_{PCA}) değerlerinin GO ile hesaplanan TKİ (TKI_{GO}) değelerine göre daha yüksek ve daha değişken olduğu görülmüştür. Jeoistatistiksel modelleme TKI_{PCA} ve TKI_{GO} değerlerinin orta düzeyde uzaysal bağımlı olduğunu göstermiştir. TKİ değerlerinin uzysal değişkenliğinin alanın topografik yapısına göre farklılaştığı ve özellikle arazide eğimin yüksek olduğu üst bölgelerde toprak kalitesinin daha düşük olduğu belirlenmiştir. Toprak kalitesinin uzaysal değişim deseni ile pulluk altı katmanın (A_d horizonu) hacim ağırlığı, üst toprak derinliği, $CaCO_3$ içeriği ve pH'sının uzaysal değişim desenlerinin benzer olduğu görülmüştür. TKI_{PCA} ve TKI_{GO} yüzey haritaları ve semivaryomları TKİ değerlerinin arazide genel trend gösterdiğine işaret etmekte olup, ileride yapılacak benzer çalışmalarda bu husus dikkate alınarak çalışma alanı daha geniş tutulmalıdır.

2020, 70 sayfa

ANAHTAR KELİMELER: Toprak kalitesi, Jeoistatistik, Minimum veri seti, Uzaysal değişkenlik, Yarı-kurak

ABSTRACT

Master Thesis

SPATIAL VARIATION OF SOIL QUALITY INDEX IN A SEMI-ARID AGRICULTURAL LAND

Saada Hamad Mohamed

Çankırı Karatekin University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Forest Engineering

Supervisor: Professor Sabit ERŞAHİN

Soil quality monitoring is vital for agricultural sustainability, soil protection, envirnmental healt, and foot security. This study aimed at analyzing spatial variability of soil quality index (SQI) on a 12-ha semi-arid sloping landscape under rainfed agriculture. One hundred soil samples were taken randomly in the study area located at 20 km southwest of Çankırı city center. The soil samples were transported to a laboratory and analyzed for some soil physical and chemical properties. Soil quality was calculated using pricipal component analysis (PCA) and geometric mean (GM) methods. The SQI-values calculated by PCA (SQI_{PCA}) were generally higher and more variable than SQI-values calculted by GM (SQI_{GM}). Results of geostatistical modeling showed that both of SQI_{PCA} and SQI_{GM} were moderately spatially dependent. A consistent ralationsip was observed between spatial pattern of SQI and slope in the study area. SQI was generally lower on localities with high slope. Spatial pattern of SQI-values were similar to those of $CaCO_3$ content, pH, bulk density of plow pan (A_d horizon), and thickness of plow layer. Surface maps and semivarograms of SQI_{GM} and SQI_{PCA} evidenced presence of a global trend, suggesting that a greater study area is needed in future studies for safely evaluating spatial variation of SQI in study conditions.

2020, 70 pages

Key words: Soil quality, Geoistatistics, Minimum data set, spatial variability, Semi-arid

TEŞEKKÜR

Öncelikle tez çalışmam sırasında yoğun gündemine rağmen vakit ayıran; bilgi, fikir ve literatür temini konusunda her türlü desteği sağlayan; arazi çalışmalarımda bana yardımcı olan; yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Sabit ERŞAHİN'e teşekkür ederim.

Yapıcı eleştirileri ile bana yön veren, katkılarda bulunan Çankırı Karatekin Üniversitesi Orman Fakültesi Toprak İlmi ve Ekoloji Anabilim Dalı öğretim üyesi Dr. Öğretim Üyesi Ebru GÜL ve Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme bölümü öğretim üyesi Prof. Dr. Hikmet GÜNAL'a teşekkürlerimi sunarım. Çankırı Karatekin Üniversitesi Orman Fakültesi Dr. Arş. Gör. Seval SÜNAL KAVAKLIGİL ve Arş. Gör. Ülkü YILMAZ'a laboratuar çalışmalarındaki muazzam yardımları için teşekkür ederim. Tezimi yazarken bana destek olmak için her zaman yanımda oldular. Çankırı Karatekin Üniversitesi Orman Fakültesi ve Fen Bilimleri Enstitüsü akademik ve idari personeline çalışmam boyunca bana gösterdikleri ilgi, maddi ve manevi destekleri için teşekkür ederim. Son olarak babama, kardeşlerime ve arkadaşlarıma sürekli destekleri ve teşvikleri için teşekkür ederim.

Saada Hamad Mohamed

Çankırı, Kasım 2020

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **i**
ABSTRACT ..... **ii**
TEŞEKKÜR ..... **iii**
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ..... **vi**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **vii**
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **ix**
1. GİRİŞ **1**
2. LİTERATÜR ÖZETİ **4**
2.1 Toprak Kalitesi **4**
2.2 Toprak Kalitesinin Değerlendirilmesi **6**
2.3 Toprak Kalitesinin Belirlenmesi **10**
2.3.1 Minimum veri setinin oluşturulması (MVS) **10**
2.4 Jeoistatistiksel Modelleme **11**
3. MATERYAL VE YÖNTEM **15**
3.1 Materyal **15**
3.1.1 Çalışma alanının tanımı **15**
3.2 Yöntemler **18**
3.2.1 Toprak örnekleme ve örneklerin analize hazırlanması **18**
3.2.2 Toprak analizleri **19**
3.2.3 Skorlama **22**
3.2.3 Kalite indeksinin hesaplanmasında kullanılan toprak özelliklerinin skorlanması **22**
3.2.4 Minimum veri setinin oluşturulmasında temel bileşenler analizi (PCA) **25**
3.2.5 Toprak kalite indeksinin belirlenmesi için tanımlanan değişkenlerin ağırlıklandırılması **27**
3.2.6 Toprak kalite indeksinin hesaplanması **28**
3.2.7 Toprak özellikleri ve toprak kalite indeksi değerlerinin uzaysal değişkenliğinin analizi **29**
4. BULGULAR VE TARTIŞMA **30**
4.1 Toprak Özelliklerine İlişkin Tanımsal İstatistikler **30**

4.2 Toprak Özelliklerinin Uzaysal Değişimi 33
4.3 Krigleme 40
4.4 Toprak Kalite İndeksinin Belirlenmesi ve Uzaysal Değişim Deseni 52
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 62
KAYNAKLAR 63
ÖZGEÇMİŞ 70

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

VK	: Varyasyon Katsayısı
UB	: Uzaysal Bağımlılık
$TKİ_{PCA}$	: Temel bileşenler yöntemi kullanılarak hesaplanan kalite indeksi
$TKİ_{GO}$	: Geometrik ortalama ile hesaplanan toprak kalite indeksi
TKI	:Toprak Kalite İndeksi
TK	: Tarla Kapasitesi
SN	: Solma Noktası
SMAF	: Soil Management Assessment Framework (Toprak Amenajmanı Değerlendirme Çerçevesi)
pH	: Toprak reaksiyonu
PCA	: Principal Components Analysis (Temel Bileşenler Analizi)
OM	: Organik Madde
MVS	: Minimum Veri Seti
MEDALUS	: Mediterranean Desertification and Land Use (Akdeniz Çölleşme ve Arazi Kullanımı)
m	: Metre
cm	: Santimetre
mm	: Milimetre
Km	: Kilometre
Ha	: Hacim Ağırlığı
ha	: Hektar
EC	: Elektiriksel İletkenlik
dS	: Desisiemens
BYS	: Bitkiye Yarayışlı Su içeriği
ASİ	: Agregat Stabilitesi İndeksi
ark.	: Arkadaşları
%	: Yüzde
>	: Büyüktür
<	: Küçüktür

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2. 1 Tipik bir semivariograma ilişkin parametreler (Bohling 2005)..... 13
Şekil 3. 1 Çalışma alanının konumu, örnekleme noktaları ve topografik haritası……16
Şekil 3. 2 Çalışma alanından bir görüntü..... 17
Şekil 3. 3 Çalışma alanın güney kısmından bir görüntü..... 17
Şekil 3. 4 Arazide örnek alınması ve laboratuvar çalışmasından görüntüler..... 19
Şekil 4. 1 Toprak tekstürü göstergeleri kum, kil ve silt için semivariogram modelleri ve çapraz değerlendirme grafikleri……..……..……36
Şekil 4. 2 Hacim ağırlığı, agregat sabilitesi ve üst toprak derinliği için semivariogram modelleri ve çapraz değerlendirme grafikleri…….37
Şekil 4. 3 Tarla kapasitesi (TK), solma noktası (SN)ve bitkiye yarayışlı su(BYS) için semivariogram modelleri ve çapraz değerlendirme grafikleri..... 38
Şekil 4. 4 OM ve $CaCO_3$ içeriği ile pH ve EC için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri..... 39
Şekil 4. 5 $TKİ_{GO}$ ve TKİpca için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri..... 40
Şekil 4. 6 Kum içeriğinin çalışma alanında uzaysal değişim deseni..... 42
Şekil 4. 7 Kil içeriğinin çalışma alanında uzaysal değişim deseni..... 42
Şekil 4. 8 Silt içeriğinin çalışma alanında uzaysal değişim deseni..... 43
Şekil 4. 9 Hacim ağırlığı değerlerinin çalışma alanında uzaysal değişim deseni..... 44
Şekil 4. 10 pH'nın çalışma alanında uzaysal değişim deseni..... 45
Şekil 4. 11 EC değerlerinin çalışma alanında uzaysal değişim deseni..... 46
Şekil 4. 12 Agregat stabilitesinin çalışma alanında uzaysal değişim deseni..... 47
Şekil 4. 13 Organik Madde içeriğinin çalışma alanında uzaysal değişim deseni..... 48
Şekil 4. 14 CaCO3 içeriğinin çalışma alanında uzaysal değişim deseni..... 49
Şekil 4. 15 Tarla kapasitesi değerlerinin çalışma alanında uzaysal değişim deseni..... 50
Şekil 4. 16 Solma noktası değerlerinin çalışma alanında uzaysal değişim deseni..... 50
Şekil 4. 17 Bitkiye yarayışlı su içeriğinin çalışma alanında uzaysal değişim deseni..... 51
Şekil 4. 18 Üst toprak derinliğinin çalışma alanında uzaysal değişim deseni..... 52
Şekil 4. 19 TKI_{GO} değerlerinin çalışma alanında uzaysal değişim deseni..... 54
Şekil 4. 20 TKİpca değerlerinin çalışma alanında uzaysal değişim deseni..... 54
Şekil 4. 21 Tekstür skorlarının çalışma alanında uzaysal değişim deseni..... 55
Şekil 4. 22 Hacim ağırlığı skorlarının çalışma alanında uzaysal değişim deseni..... 56
Şekil 4. 23 Agregat stabilitesinin skorlarının çalışma alanında uzaysal değişim deseni..... 57
Şekil 4. 24 Bitkiye yarayıslı su içeriği (BYS) skorlarının çalışma alanında uzaysal değişim deseni..... 57
Şekil 4. 25 Organik madde skorlarının çalışma alanında uzaysal değişim deseni..... 58
Şekil 4. 26 EC skorların çalışma alanında uzaysal değişim deseni..... 59

Şekil 4. 27 Üst toprak derinliğinin skorlarının çalışma alanında uzaysal değişim deseni... 60
Şekil 4. 28 CaCO3 skorlarının çalışma alanında uzaysal değişim deseni 61
Şekil 4. 29 pH skorlarının çalışma alanında uzaysal değişim deseni. 61

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2. 1 Toprak kalite göstergesi olarak kullanılacak listede yer alması önerilen toprak fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri (Doran and Parkin 1994)..... 8
Çizelge 3. 1 Toprak kalitesi indeksi altında tanımlanan değişkenlere ilişkin indeks değerleri ve yararlanılan kaynaklar (Avci, 2019)'dan uyarlanmıştır…..……..……..23
Çizelge 3. 2 PCA analizi yapılmadan önce yapılan KMO test analiz değerleri 25
Çizelge 3. 3 Minimum veri setinin oluşturulmasına yönekik PCA sonuçları..... 26
Çizelge 3. 4 Toprak kalitesi indeksi altındaki parametrelere ait korelasyon katsayıları 27
Çizelge 3. 5 PCA yöntemi ile MVS'ne dahil edilen değişkenler ve ağırlıkları 28
Çizelge 4. 1 Çalışma alanı toprak özelliklerine ilişkin tanımsal istatistikler.....31
Çizelge 4. 2 Toprak Fiziksel ve kimyasal özelliklerine ilişkin semivariogram modelleri ve model parametreleri 34
Çizelge 4. 3 Toprak özelliklerine ilişkin krigleme sonuçları ve krigleme tahmin başarı göstergeleri..... 41
Çizelge 4. 4 Toprak Kalite indeksleri ($TKİ_{GO}$ ve $TKİ_{PCA}$) altında tanımlanan parametrelere ait skorlar ve PCA yöntem ile elde edilen ağırlık değerleri..... 53

1. GİRİŞ

Toprak, insanların temel ihtiyaçlarını karşılayan önemli bir doğal kaynak olup, hava ve su gibi, insan yaşamının temelini oluşturmaktadır. Toprak kalitesi "Doğal veya amenajman ekosistemleri sınırları içerisinde yer alan belirli bir toprağın, bitki ve hayvan üretimini devam ettirebilmesi, su ve havanın kalitesini koruması ve iyileştirmesi, insan sağlığı ve diğer canlıların yaşamlarını desteklemesi gibi işlevselliği" olarak tanımlamıştır (SSSA, 1997). Toprak kalitesinin bilinmesi toprağın durumunu, sürdürülebilirliğini değerlendirmek ve araştırma, planlama ve toprak koruma politikasına rehberlik etmek için son derece önemlidir (Doran and Parkin 1994; Karlen *et al.* 1997).

Karlen *et al.* (1997)'a göre toprak kalitesi ile ilgili iki kavram bulunmaktadır: Birincisi toprağın kendi özelliklerine bağlı kapasitesidir (Doran and Parkin 1994). Bu kavram iklim, topoğrafya, bitki örtüsü ve ana materyal gibi toprak oluşum faktörlerine bağlıdır. İkincisi ise toprağın belirli bir amaca yönelik kullanıma uygunluğudur (Larson and Pierce 1994). Kullanım uygunluğu insan faaliyetlerinden ve yönetiminden etkilenen dinamik bir kavramdır. Bu kavram genellikle toprak sağlığı olarak da adlandırılır. Toprak özellikleri toprak kalitesini tanımlarken, toprağın sürdürülebilir bitki ve hayvan üretimini sağlayabilme kapasitesi onun sağlığını tanımlar (Karlen *et al.* 1997).

Farklı alanlarda da kullanılan toprak tarımsal üretimin en önemli bileşenidir. Bu nedenle, insan yaşamı için gerekli tarımsal üretimi artırmak toprakların kalitesinin muhafazası ve iyileştirilmesi ile mümkün olabilir. Toprak kalitesi tarımın sürdürülebilirliğinin de önemli bir faktörüdür. Hava ve su kalitesi gibi, toprak kalitesi de ekosistemin sağlığını etkiler ve çevrenin sağlığından etkilenir (Doran and Parkin 1994). İnsan yaşamının sürdürülebilirliği, gıda tedariki, suyun toprakta depolanması, kirleticilerin filtrelenmesi, bozulmaya karşı direnç, biyolojik çeşitliliğe katkısı ve diğer birçok hayati fonksiyonların devamı için toprak, özellikle kurak ve yarı kurak alanlarda korunmalıdır ve toprakların bozulumundan

kaçınılmalıdır. Sanayileşmeden kaynaklanan iklim dalgalanmaları ve artan nüfusun ihtiyacını kaşılamak için birim alan başına daha fazla verim elde etme arzusu, tarımsal üretimde vr toprak kalitesinde azalmaya ve hatta bazı durumlarda tahribata yol açmıştır. Tarımsal alanlarda ürünün miktarını ve kalitesini arttırmak için kimyasal gübreler, pestisitler, toprak düzenleyiciler, endüstriyel ve evsel atıklardan kaynaklanan çamur ve kalitesiz sulama suyu kullanılmaktadır. Bilinçsizce kullanılan tüm bu maddeler toprakta birikmekte, bitkilerin gelişimine zarar vermekte ve yeraltı suyu kaynaklarını kirletmektedir (Acir 2014). Tarımsal alanlarda tarımsal üretimin sürekliliği, uygulanan tarımsal faaliyetlerle yakından bağlantılıdır. Zaman içinde değişen tarım uygulamaları toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinde değişikliklere neden olur. Doğal bir kaynak olan toprağın bu değişim karşısında sonsuza dek üretmesi mümkün değildir. Toprakların özelliklerine göre dengeli ve planlı kullanımı ve yönetimi ile korunmasını sağlamak için, organik madde içeriği gibi temel özelliklerin izlenmesi ve gerektiğinde farklı amenajman alternatiflerinin devreye sokulması gerekir (Acir 2014).

Toprak kalitesi doğrudan ölçülemez, bu nedenle toprak kalitesini belirli göstergeleri kullanarak değerlendirmek gerekir. Kullanılacak göstergeler toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri olabilir. Toprak kalitesini değerlendirken toprakların tüm özelliklerini kullanmak imkansızdır, bu yüzden toprağın işlevselliği ile ilişkili olan ve arazi uygulamalarına hızlı tepki vermesi beklenen özellikleri ölçülür ve kullanılır. Ayrıca, bu göstergeler kolayca ölçülebilir olmalı toprak fonksiyonlarını yansıtmalıdır (Özulu ve ark., 2006). Toprak kalitesinin belirlenmesinde kullanılan toprak özelliklerini içeren veri seti "minimum veri seti" olarak adlandırılır.

Toprak özelliklerinin arazi üzerindeki mesafeye bağlı farklılaşmasının analizinde klasik istatistik yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, klasik istatistik, arazi üzerindeki her bir noktadan alınan örneklerin birbirinden bağımsız olduğunu ve ilgili değişkenin ortalamasının arazinin her yerinde aynı olduğunu kabul eder. Diğer taraftan, yapılan birçok

çalışma bir toprak özelliğinin (örneğin, toprak organik madde içeriği) arazi üzerinde birbirlerine daha yakın iki noktadaki değerleri arasındaki farkın, daha uzak iki noktadaki değerleri arasındaki farktan daha düşük olduğunu, yani birbirine yakın noktalardaki değerlerin birbirlerine daha benzer olduğunu göstermektedir. Bu olay otokorelasyon olarak adlandırılır. Otokorelasyonun derecesi, artan mesafe ile giderek azalır ve belirli bir mesafeden sonra tamamen yok olur. Bu mesafe ise otokorelasyon mesafesi olarak adlandırılmaktadır. Otokorelasyonun söz konusu olduğu durumlarda ilgili değişkenin uzaysal değişkenliğinin analizinde jeoistatistiksel yöntemlerin kullanımı önerilmektedir (Erşahin 2001).

Jeoistatistik, ölçülmüş bir özelliğin uzaysal yapısını ve uzaysal bağımlılığını sayısallaştıran ve elde edilen ilişkiyi kullanarak ilgili özelliğin örneklenmemiş noktadaki değerini tahmin eden uygulamalı istatistik olup; tanımsal istatistik, uzaysal modelleme (variogram) ve uzaysal enterpolasyon (krigleme) olmak üzere üç safhada gerçekleştirilir (Isaaks and Srivastava 1989, Mulla and McBratney 2001). Jeoistatistik, toprak özelliklerinin uzaysal bağımlılığının modellenmesi ve kullanımı için yöntemler sağlamaktadır. Bu sayede toprak özelliklerinin uzaysal yapısı hem araştırma hem de haritalama amaçlı kullanılabilmektedir. Yapılan çok sayıdaki jeoistatistiksel çalışma (Trangmar *et al.*1985; Warrick*et al.* 1986; Akbaş 2012; Erşahin ve Gül 2017), toprak özelliklerinin uzaysal olarak otokorele olduğunu ve jeoistatistiksel yöntemlerin bu özelliklerinin uzaysal analizinde başarıyla kullanıldığını göstermektedir. Bu tez çalışması ile Çankırı koşullarında yarı kurak engebeli tarım alanlarını temsilen belirlenen bir arazide toprak verimliliğinin önemli bir göstergesi olan toprak kalitesinin uzaysal değişkenliğinin jeoistatistiksel yöntemlerle analizi hedeflenmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1 Toprak Kalitesi

Toprak kalitesinin farklı tanımları yapılmıştır (Arshad and Martin 2002). Buradaki farklılığın nedeni arazi yapısı, arazi kullanımı, sosyal çevre ve diğer birçok faktörden kaynaklanmaktadır (Acir 2014). En temel ifade ile toprak kalitesi toprağın fonksiyonlarını yerine getirme kapasitesi olarak tarif edilebilir. Toprak fonksiyonlarına dayanarak, bu tanım toprağın canlı ve dinamik yapısını yansımaktadır (Karlen *et al*. 1997). Seybold *et al*. (1998) toprak dinamik kalitesi kavramını önermiştir. Toprak kalitesi bazıları için sadece üretimle (Hornick 1992, Karlen *et al*. 1997) ve diğerleri için ise çevre ile ilişkilendirilmiştir (Warkentin 1995, Doran and Parkin (1994) her iki bileşeni de kapsayan bir tanım geliştirmiştir; bu tanıma göre toprak kalitesi *"toprağın işlevlerini yerine getirriken bir taraftan da toprağın biyolojik verimliliği, çevresel kaliteyi ve bitki ve hayvanların sağlığını koruyabilme kapasitesidir"*. Bu tanım bugün en çok alıntı yapılanıdır. Bu tanım daha sonra sürdürülebilirlik kavramının eklenmesi (Doran and Zeiss 2000) ve toprağın kalitesini belirli bir bağlamda (Doran and Parkin 1996) ve belirli bir kullanım için değerlendirmenin önemi gibi diğer ayrıntılar ile zenginleştirilmiştir *(*Martin *et al*. 1999).

Toprak kalitesi terimini yeterince açıklamak için toprağın işlevlerini bilmek ve tarımsal faaliyet ile toprak kalitesi arasındaki ilişkiyi anlamak önemlidir (Acir 2014). Toprak bilimcilere göre, toprak fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerin etkisi altındaki ve atmosferle temas halindeki anakayanın dönüşümünden kaynaklanmıştır. Toprağın binlerce yıl süren bir sürecin ürünü olduğunu hatırlamak gerekir. Cildimiz gibi toprak da canlıdır, çünkü mikroorganizmalar gibi milyonlarca farklı varlığa ev sahipliği yapar. Topraktaki böcekler, solucanlar ve mikroorganizmalar bitki ve hayvan kalıntılarını dönüştürme görevini üstlenmişlerdir. Hava olmadan böyle bir döngü olamazdı; toprağın da oksijene ihtiyacı vardır ve onu, içinde yaşayan böceklerin inşa ettiği galeriler ve bitkilerin kökleri aracılığıyla alır (Anonymous 2020). Toprak, besin döngüsü, karbon tutma, gıda ve yakıt sağlama, kültürel

miras, birçok organizmanın yaşam alanı ve diğer fonksiyonlar gibi çeşitli işlevler sunar. Topraklar, dünyadaki yaşamı destekleyen ekosistem hizmetleri sunmaktadır (FAO 1990). Toprak kalitesi sürdürülebilir tarımın önemli bir bileşenidir, çünkü toprak kalitesi toprakların bitki büyümesini destekleme yeteneği olarak tanımlanır. Tarımsal üretime katkısından dolayı toprak kalitesi hem ekosistem sağlığını hem de toprak verimliliğini değerlendirmede önemli bir kriterdir (Wali and Miller 1995,Warkentin 1995, Subbian *et al*. 2000).

Toprağın kalitesi toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine bağlıdır. Bu nedenle, toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirerek toprak kalitesinin iyileştirilmesi ve korunması mümkündür (Sağlam 2008). Son yıllarda toprak kalitesinden bahsedildiğinde toprağın bitki üretimindeki yeri ve çevre sağlığındaki rolü akla gelmektedir (Cebel 2011). "Toprak sağlığı" terimi "toprak kalitesi" yerine kullanılabilir (Romig *et al.* 1995). Bu nedenle, bugün toprak sağlığı kavramı sıklıkla toprak kalitesiyle birlikte kullanılmaktadır. Toprak kalitesi ve toprak sağlığı terimleri aynı kapsamıtanımlamak için kullanılsa da, toprak sağlığı genellikle üreticiler ve tarım danışmanları tarafından özellikletoprak yönetimi bağlamında tercih edilmektedir.

Toprağı fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikler açısından optimize etmek için Idowu *et al.* (2008) ekonomik ve tarımsal üretimin sürdürülebilirliğinin bir parçası olarak verimliliği arttırmak için toprak sağlığını kullanmıştır. Çiftçiler toprağı sağlıklı ve sağlıksız olarak nitelendirir ve "sağlıklı" terimini "kaliteli" teriminden daha fazla kullanırlar. Bilim insanları toprağın kantitatif ve analitik özellikleri ile toprağın farklı özellikleri arasında sayısal bir bağlantı kurmaya çalışırken, toprak kalitesi kavramını kullanmayı tercih ederler (Acir 2014). Toprak sağlığı ve kalitesi arasındaki sınır net olmasa da toprak kalitesi, toprağın sahip olduğu özelliklerin bir fonksiyonunu, toprak sağlığı ise bu kavramlara ek olarak sürdürülebilir bitkisel ve hayvansal üretim, su ve hava kalitesini koruyan ve geliştiren insan ve hayvan sağlığını destekleyen ortamı dikkate almaktadır."*Toprak kalitesi toprak özelliklerinin bir fonksiyonudur, toprak sağlığı ise sürdürülebilir bitki ve hayvan üretimini, su ve hava*

kalitesini koruyan ve geliştiren insan ve hayvan sağlığını destekleyen çevreyi göz önünde bulundurur. Bu tanımlar bu iki terim arasında hala net bir sınır olmadığını göstermektedir" (Cebel 2011). Karlen *et al.* (1997) toprak kalitesini "toprağın hayvanların ve insanların yaşamı için gerekli bitkilerin büyümesi için doğal bir ortam olarak hizmet edebilme yeteneği" olarak tanımlamıştır. Tanımlarından anlaşılacağı üzere toprak kalitesi, toprakların uzun vadeli verimliliği koruma ve çevreyi korumadaki rolüne dayanmaktadır.

Doran and Parkin (1994) çalışmalarında toprağın kalitesinin toprak fonksiyonlarına göre değerlendirilmesi gerektiğini göstermiştir. Yani toprağın kalitesi, değerlendirilecek toprağın bulunduğu ortamda değerlendirilir (Larson and Pierce 1994). Toprağın kalitesini belirlemek, mevcut arazi yönetiminin sürdürülebilirliğini değerlendirmek için oldukçayararlıdır. Amenajman uygulamalarının çevresel etkilerinin değerlendirilmesinde toprak kalitesindeki değişim önemli bir kıstastır. Toprak kalitesinin değerlendirilmesi, ilgili biyolojik, fiziksel ve kimyasal göstergelerin kullanılmasını gerektirir. Bu göstergeler bir toprağın mevcut kalitesini değil, aynı zamanda bu kalitenin zaman içindeki değişimini de değerlendirmeyi mümkün kılmalıdır (Larson and Pierce 1994).

2.2 Toprak Kalitesinin Değerlendirilmesi

Toprak kalitesini değerlendirmek için toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri kullanılmaktadır. Toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikler iyi durumdaysa toprak kalitesi de yüksektir. Örneğin, yüksek bir organik madde içeriği iyi bir toprak kalitesine işaret eder. Elbetteki sadece organik maddenin yüksek olması yetmez. Diğer toprak özelliklerinin de optimum ya da iyi olması gerekir. Toprak kalitesinin değerlendirilmesinde yaygın olarak tercih edilen toprak özellikleri Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Toprak fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri ve bu özellikler arasındaki karmaşık etkileşimler toprağın fonksiyonlarını yerine getirebilme potansiyelinin bir göstergesi olarak

toprak kalitesinin belirlenmesinde önemlidir. Toprak kalite göstergeleri, toprağın bitki ve biyolojik verimlilik, çevre kalitesi ve insan ve hayvan sağlığı açısından işlev görme yeteneği hakkında fikir verir. Toprağın kalite ve sağlığının değerlendirilmesi ile bir insanın sağlığının değerlendirilmesi arasında benzerlikler vardır. Toprak kalitesinin değerlendirilmesinde de insan sağlığının değerlendirilmesinde olduğu gibi (örneğin, tansiyon, kan şekeri gibi) belli kriterler (örneğin, OM içeriği, tekstür, strüktür) kullanılır. Toprak kalitesinin değerlendirilmesinde toprak özelliklerindeki zamansal ve mekansal değişimler de dikkate alınmalıdır (Larson and Pierce 1994). Toprak kalitesinin belirlenmesi, mevcut arazi yönetiminin sürdürülebilirliğinin değerlendirilmesinde son derece faydalıdır (Erşahin 2001).

Toprak kalitesinin kavramsal tanımı ne olursa olsun, bu kalitenin birçok faktöre bağlı olduğu açıktır. Bu faktörler farklı toprak özellikleri ve iklim gibi diğer dış faktörlerdir. Toprak kalite göstergeleri, topraktaki değişimleri izlemek için ölçülebilen fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellik ve süreçlerdir. Bu göstergeler, toprak fonksiyonun birer göstergesi olarak toprakların veya bitkilerin ölçülebilir özellikleridir. Fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerin kalitesi toprağın kalitesini tanımlar. Tarımsal sürdürülebilirlik büyük ölçüde toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine uyarlanmış toprak, bitki ve arazi yönetimine bağlıdır (Schachtschabel *et al.* 2007).

Çizelge 2. 1 Toprak kalite göstergesi olarak kullanılacak listede yer alması önerilen toprak fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri (Doran and Parkin 1994)

Toprak Özelliği	**Yöntem**
Fiziksel	
Toprak tekstürü	Hidrometre
Toprak derinliği ve kök salma derinliği	Arazide şerit metre ile ya da daha ileri teknolojiler kullanılarak
Toprak hacim ağırlığı ve infitrasyon	Bozulmamış toprak örnekleri, tarlada infiltrometreler kullanılarak
Toprak su tutma karakteristikleri	pF seti
Toprak sıcaklığı	Toprak termometresi
Rutubet İçeriği	Direk ve endirek ölçüm yöntemleri kullanılarak
Kimyasal	
Toplam organik karbon ve azot	Islak ve kuru yakma, hacim üzerinden
pH	pH metre
Elektriksel iletkenlik	EC metre
Mineral N (NH_4 ve NO_3), P, K	Fotometrik yöntem
Biyolojik	
Mikrobiyal biyokütle C ve N	Kloroform fumigasyonu / inkübasyon
Toprak respirasyonu	Biyomass esseyleri
Biyomas C/toplam organik C	Ölçülen diğer değerler kullanarak hesaplama
Respirasyon/biyomas oranı	Diğer değerlerden hesaplama

Karlen *et al.* (1997) ve Sağlam (2008) bu göstergelerin seçiminaşağıdaki faktörlerin dikkate alınması gerektiğini bildirmişlerdir:

- Arazinin kullanım şekli,
- Bir gösterge ile incelenen toprağın işlevi arasındaki ilişki,
- Ölçümlerin kolaylığı ve güvenilirliği,
- Zaman ve örnekleme yüzeyinin değişkenliği,
- Ölçümün iklim ve arazi kullanımındaki değişikliklere duyarlılığı,
- Rutin örnekler alma ve analiz yapma imkanı,

- Yöntemleri kullanma ve sonuçları analiz etme becerisi.
- Toprak sadece tarımda değil diğer ekosistemlerde de önemli bir yer tutar ve dolayısıyla insan, hayvan ve bitki yaşamında önemli bir yere sahiptir. Bu nedenle de toprak sağlığı dünyadaki tüm yaşamın sağlığını ilgilendirir. Toprak kalitesini değerlendirirken, *minimum veri setinin oluşturulması* önemli bir süreçtir. Bu set kolayca ölçülebilen farklı göstergelerden oluşmalıdır. Yani toprak kalite göstergeleri kolayca ölçülebilir toprak özellikleri olmalı ve toprak fonksiyonlarının nasıl iyileştirileceği konusunda fikir vermelidir (Doran and Safley 1996). Bu bağlamda toprak kalitesi değerlendirilmesinde kullanılması hedeflenen toprak özellikleri:
- Kolayca ölçülebilir olmalı,
- Toprağın fonksiyonlarını yansıtmalı,
- Herkes için kabul edilebilir olmalı ve arazi koşullarında kolayca uygulanabilir olmalı,
- İklim ve arazi yönetimindeki değişikliklere duyarlı olmalıdır (Doran and Safley 1996).

Gösterge olarak seçilen özellikler nicel ve nitel olarak değerlendirilebilir. Toplanan ölçümlerin dağılımı değerlendirilerek ve farklı alanlardan veya farklı zamanlarda yapılan ölçümler karşılaştırılarak bir toprak kalite değerlendirmesi yapılabilir (Özulu ve ark. 2006).

Toprak verimliliğinin azalması, genelde toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinde olumsuz değişikliklere yol açan uygun olmayan tarımsal yönetimden kaynaklanmaktadır (Caravaca *et al*. 2002).Toprak kalitesinin belirlenmesi, uzun vadede toprak kalitesinin gelişimini izleme imkanı sağlayan gerekli bir işlemdir. Laboratuvarda ve toprakta belirlenecek belirli toprak özellikleri toprak kalitesi hakkında ön bilgi sağlayabilir. Ancak, toprağın tek bir özelliği toprak kalitesini belirlemede yeterli değildir. Toprağın kalitesi hakkında daha güvenilir yorumlar yapabilmek için toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin birlikte değerlendirilmesi gereklidir (Öztaş 2002)

2.3 Toprak Kalitesinin Belirlenmesi

Toprak kalitesinin hesaplanmasında, çok sayıda yöntem geliştirilmiştir. ABD Tarım Bakanlığı tarafından geliştirilen **"Toprak Amenajmanı Değerlendirme Çerçevesi"** (SMAF) de yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntemde, her bir kalite göstergesinin değerlendirilmesinde iklim, topografya, ana materyal gibi temel toprak oluşum faktörlerini yansıtılmakta ve uygulanan toprak yönetimi de dikkate alınmaktadır. Bu nedenle, SMAF toprağın genetik kalitesinden ziyade dinamik kalitesini yansıtan bir yöntemdir. Toprak fonksiyonlarının tanımlanması amacıyla seçilen göstergelerin skorlanmasında kullanılan çeşitli faktörler çalışma alanının özelliklerine göre değiştirilebilmektedir. Toprak kalite göstergelerinin yorumlanmasında organik madde içeriği, toprağın tekstürü, yağış miktarı, sıcaklık, toprağın eğimi, ekili ürünün tipi, örnekleme zamanı ve yöntemi ile kullanılan toprağın analizi dikkate alınan faktörlerdir (Karlen *et al.* 2008).

Toprak kalitesinin belirlenmesi, kullanıcıların toprak kalitesindeki uzun vadeli değişiklikleri izlemesini ve sürdürülebilirliğini sağlar. Bugüne kadar yapılan çoğu çalışmada toprak kalitesiyle ilgili göstergeler belirlenmiş ve incelenen alanlara özgü veri setleri oluşturulmuştur (Kosmas *et al*. 1999, Andrews *et al*. 2004, Coscarelli *et al.* 2016, Budak *et al*. 2018).

2.3.1 Minimum veri setinin oluşturulması (MVS)

Toprak kalitesinin belirlenmesinde, çalışma toprağının kalitesini yansıtması beklenen minimum sayıdaki toprak özelliklerini içeren " minimum veri seti (MVS)" kullanılmaktadır (Andrews *et al*. 2004, Lima *et al*. 2013, Mukherjee and Lal 2014, Vasu *et al*. 2017, Budak *et al*. 2018). Minimum veri seti, toprağın farklı işlevlerini yansıtan kapasitesini belirlemek için kullanılan yeterli sayıda göstergeden oluşan bir veri seti olarak tanımlanmıştır. MVS

oluşturmanın temel amacı, birbirine bağlı çok sayıda toprak fiziksel, kimyasal ve biyolojik kalite parametresinden oluşan veri kümesini en aza indirmektir, böylece toprak kalitesi kolay ve hızlı bir şekilde belirlenebilir (Acir 2014). Minimum veri setini belirlemek için uzman tavsiyesi ve başlıca bileşenler analizi (PCA) yaygın olarak kullanılmaktadır. Göstergelerin seçimi, MVS oluşturmada önemli bir aşamadır. Doğru gösterge seçimi yapıldığında, bir işin nihai sonuçlarına ulaşmak için yorum daha basit ve daha açık hale gelir.

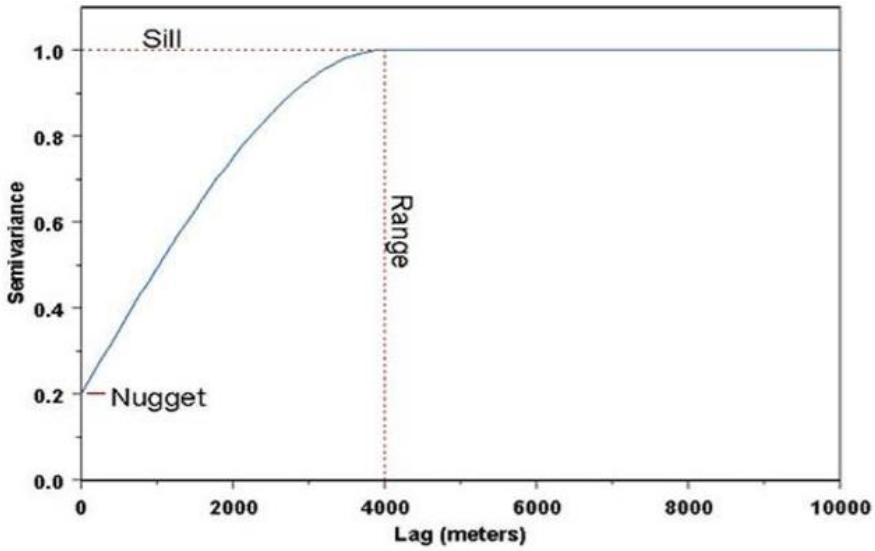
Minimum veri seti oluşturarak değerlendirme sadece incelenen alanlarla sınırlı olmayıp, neredeyse tüm disiplinlerde kullanılan bir yöntemdir. Örneğin, Amerika Birleşik Devletleri'nde, ülke çapında Medicare ve Medicaid (Sağlık Yardımı) programlarına kayıtlı kişilerin koşullarını değerlendirmek ve gerekli göstergeleri tanımlamak için minimum sayıda göstergeye sahip bir çekirdek set (veri seti) oluşturulmuştur (Hawes *et al.* 1995). Minimum veri setinin oluşturulmasında PCA toprak kalitesinin değerlendirmesinde en uygun göstergeleri seçmek için kullanılan bir değişken azaltma aracıdır. PCA'nın kaynağı *Karl Pearson* tarafından 1901'de yayınlanan bir makalede bulunmaktadır. *Karhunen-Loève* dönüşümü veya Hotelling dönüşümü olarak da bilinen ACP, 1930'larda *Harold Hotelling* tarafından tekrar geliştirilmiş olup en eski ve en iyi bilinen çok değişkenli analiz tekniğidir (Jolliffe 2002, Filiz 2000, Ersungur *et al.* 2007). MVS'nin oluşturulmasında kullanılan bir diğer yöntem ise "uzman görüşü" olup, PCA'a göre nispeten daha az kullanılmaktır.

2.4 Jeoistatistiksel Modelleme

Ana materyal, topografya, iklim ve canlılar yanı sıra toprak işleme, sulama, gübreleme ve hasat gibi antropojenik etkiler de toprak farklılaşmasına yol açar. Genetik ve antropojenik etkiler birçok toprak özelliğinin çok kısa mesafelerden (mm veya cm gibi) çok uzun mesafelere (km gibi) kadar değişmesine neden olur (Webster and Oliver 2008). Tarım arazilerinde toprak fiziksel, byolojik ve kimyasal özelliklerinin mesafe ile değişimi tarla ölçeğinde bile hissedilebilir (Cambardella *et al.* 1994, Budak 2012). Toprağın fiziksel,

kimyasal ve biyolojik özellikleri çok kısa aralıklarla değişebilir. Jeoistatistik yaklaşık 40 yıldır toprak uzaysal değişkenliğinin analizinde kullanılmaktadır (Budak 2012). Jeoistatistiksel araçlar ve coğrafi bilgi sistemlerindeki gelişemeler, toprak özelliklerinin değişkenliği üzerine yapılan araştırmaları güçlendirmiştir (Gallardo and Paramá 2007). Jeoistatistik, bir özelliğin mesafe ile kendine benzerliğini tanımlamak, modellemek ve haritalamak için kullanılan yöntemler bütünüdür (Isaaks and Srivastava 1989, Webster 2001). Jeoistatistik iki aşamadan oluşur: semivariyogramın modellenmesi ve uzaysal enterpolasyon (kriging). İlk aşama, ölçülen noktalar arasındaki otokorelasyonun, yani toprak özelliklerinin mesafe ile kendine benzerlik veya farkın derecesinin belirlenmesini hedefleyen semivaryogramın modellenmesi aşamasıdır. İkinci aşama ise ilgili özelliğin arazide ölçülmemiş noktalardaki değerinin tahmin edilmesi, yani kriglemedir (Trangmar *et al.* 1986). Semivaryogram, toprak özelliklerinin uzysal bağımlılığının modellenmesinde ve uzaysal enterpolasyonunda yaygın olarak kullanılmaktadır (Erşahin vd. 2015). Jeoistatistik toprak özelliklerinin range, sill ve nugget değerlerininin tanımlanması ve örneklenmemiş alanlardaki değerlerinin krigleme ile tahmin edilerekuzaysal yapılarının incelenmesini konu alan uygulamalı istatistik olarak tanımlamaktadır. Jeoistatistiksel çalışmalarda başlıca konu incelenen toprak özelliklerinin uzaysalbağımlılığıdır (Zhou *et al.* 2010, Günal *et al.* 2015)

Birçok araştırmacı yaptıkları çalışmalarda örnekler arası mesafe azaldıkça benzerliğin arttığı bunun aksine mesafe artıkça da benzerliğin azaldığı ve belirli bir mesafeden sonra bu benzerliğin değişmediğini semivariogramlar ileortaya koymuşlardır. Semivariogramlar oluşturularak elde edilen değişkenlikler "sill", "nugget" ve "range" parametreleriyle ifade edilmektedir. Range (A), ilgili özelliğin uzaysal olarak ilişkili olduğu maksimum mesafeyi gösterir. Nugget varyans (Co), kısa mesafelerde mevcut örnekleme deseni ile açıklanamayan uzaysal varyansı ve ölçüm hatalarından kaynaklanan varyansı temsil eder. Teorik anlamda nugget 0 olmalıdır, ancak özellikle toprak analizlerinde yapılan hatalar ve kısa mesafelerdeki uzaysal değişkenliğin yeterince temsil edilememesi nedeniyle pratikte Co genellikle sıfırdan farklı bir değer alır. Sill değeri (C) ise grafiğin range (jeoistatistiksel aralık) değerine karşılık y-ekseninde almış olduğu değerdir (Deutsch and Journel 1998, Bohling 2005) (Şekil 2.1).



Şekil 2. 1 Tipik bir semivariograma ilişkin parametreler (Bohling 2005)

Nugget (Co)/Sill (C) oranı uzaysal bağımlılık derecesini vermektedir (Cambardella *et al*. 1994, Li and Reynolds 1995). Bu değerin %25'in altında olması durumunda uzaysal bağımlılık kuvvetli, %25-75 arasında olması durumunda orta ve %75'in üzerinde olması durumunda ise zayıf olduğuna karar verilir(Cambardella *et al*. 1994). Genel olarak bir semivaryogramda örnekleme çiftleri arasındaki mesafe (h) arttıkça semivaryans değeri de artar ve belli bir noktadan sonra sabit ya da sabit kabul edilebilecek bir değere ulaşır (Şekil 2.1). Bu noktadan sonra semivaryans değerleri örnek çiftleri arasındaki mesafe artışından etkilenmez. Semivaryans Eşitlik (1)'de olduğu gibi ifade edilir:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2. \qquad (1)$$

Eşitlik (1)'de:

h;x_i ilex_i+h arasındaki ayırma mesafesi (lag),

$N(h)$;h mesafesi ile birbirinden ayrılan örnek çifti sayısı,

$z(x_i)$, $z(x_i + h)$; h mesafesi aralığı ile ayrılmış iki noktanın örnek değeri (Budak 2012).

Elde edilen semivariogramlar linear (doğrusal) model, exponential (üssel) model, Gausian (kuramsal) model ve spherical (küresel) modellerden birisi veya bunları bir kombinasyonu ile ifade edilebilir (Şekil 2.1) (Bohling, 2005). Jeoistatistiğin en önemli aşamalarından birisi de uzaysal enterpolasyon (krigleme) dur. Krigleme, ilgili değişkenin örneklenmiş noktalardaki değerlerinin kullanılması ile örneklenememiş noktalardaki değerlerinin tahmin edilmesinde kullanılan bir jeoistatistiksel enterpolasyon yöntemindir (Budak 2012). Arazide, herhangi bit toprak özelliğinin (örneğin, organik madde içeriği) belirli sayıda toprak örneği alınmış noktalardaki değeri semivaryogram parametreleri (nugget, sill, range, model tipi) ile kullanılarak örnek alınmamış bir alan ya da noktadaki değeri krigleme ile kolayca hesaplanabilir. Krigleme için genel bağntı Eşitlik 2'de verilmiştir (Isaaks and Srivastava 1989).

$$z^*(x_0) = \sum_i^n w_i z(x_i) \qquad (2)$$

Eşitlik 2'de: z^* (x_0) ilgili özelliğin (değişkenin) ölçülmemiş noktada (x_0) ki tahmin edilen değeri, *i* tahminde kullanılan komşu değer, *n* tahminde kullanılan komşu değer sayası ve$w_i$ise ilgili değişkenin *i* noktasındaki ölçülmüş değerine verilen ağırlıktır. Ağırlıkların hesaplanmasında tahmin varyansının en küçük olması sağlanır-ki krigleme bu özelliği ile diğer benzer enterpolasyon yöntemlerine üstünlük sağlar (Isaaks and Srivastava 1989).

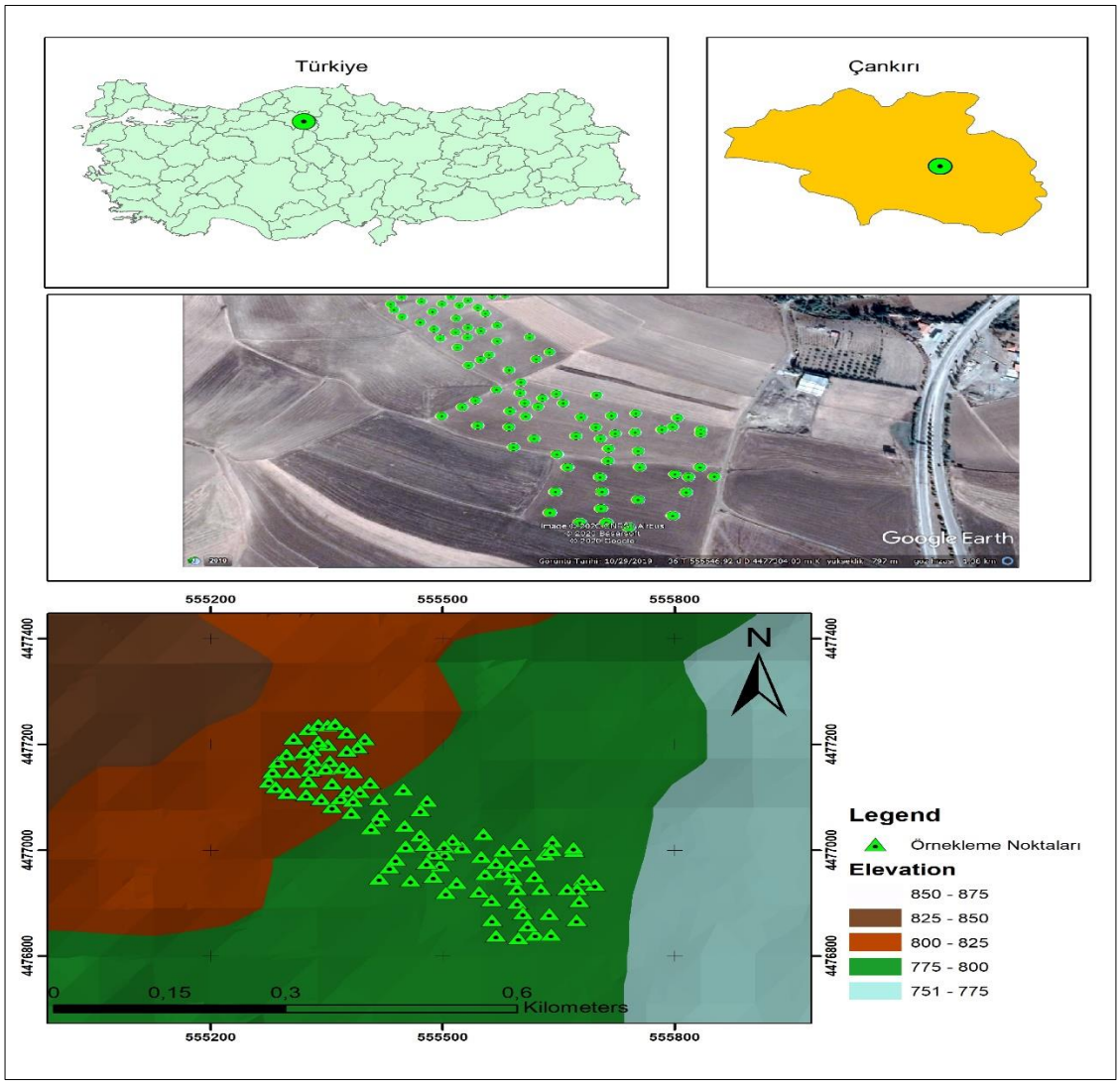
3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

3.1.1 Çalışma alanının tanımı

Araştırma Çankırı-Ankara Karayolu üzerinde Çankırı şehir merkezine 20 km mesafede bulunan Aşağı Pelitözü köyü tarım arazilerinde yürütülmüştür (Şekil 3.1). Örnekleme yapılan araziler üzerinde 50 yılı aşkın süredir geleneksel toprak işleme yöntemi ile kuru buğday tarımı yapılmaktadır. Çalışma alanı Bozkır formasyonu içerisinde yer almaktadır. Bozkır formasyonunun Aşağı pelitözü köyleri çevresinde çok geniş yayılım alanı bulunmaktadır. Formasyon sıcak iklim altında lagüner ortamda çökelmiştir (Sarp 2010).

Çalışma alanının jeolojisi genel itibariyle jips olup, tabanda kum taşı, silt taşı, üste doğru kil taşı, ve marn ara bantlarını yer almaktadır. Çalışma alanı yarı-kurak iklime sahiptirr. Yarı-kurak bölgelerdedeki engebeli arazilerde, bitki örtüsü bulunmadığında yağmur sularının önemli bir kısmı yüzey akışa geçer. Çalışma alanı ve çevresi Türkiye'de özellikle Oligo-Miosen jipsli serileri olarak bilinen formasyonların yaygın olarak bulunduğu sahalardandır. Buradaki jips karstına ait şekilleri genellikle dolinler (çukur)'dir. Bu bölgeye ait topografik haritalar incelendiğinde, jipsli alanlar üzerinde bazı yerlerde seyrek olarak dağılmış, içlerinde geçici göllerin olduğu, irili ufaklı dolinler (çukurlar) dikkati çekmektedir (Sünal 2018).



Şekil 3. 1 Çalışma alanının konumu, örnekleme noktaları ve topografik haritası

Çalışma alanı tipik karasal iklim özelliği göstermektedir (Birgili 2015). Çalışma alanına en yakın meteoroloji istasyonu Çankırı il merkezinde olup (731 m a.s.l), bu istasyonundan alınan verilere göre bölgede yıllık ortalama hava sıcaklığı 11.3^{o}C'dir. Bölgenin vejetasyon süresi Nisan ve Ekim ayları arasındadır (7 ay). Yıllık ortalama yağış miktarı 412.3 mm olup, vejetasyon süresi içindeki yağış miktarı 245.0 mm'dir. Yıllık ortalama bağıl nem %67, vejetasyon süresinde ise %62'dir. Çalışma alanı topraklarının nem rejimi Xeric'dir. Çankırı merkezde 50 cm toprak derinliğindeki ortalama sıcaklık 14,7 °C olduğundan sıcaklık rejimi de Mesic olarak sınıflandırılmıştır (Sünal 2018).



Şekil 3. 2 Çalışma alanından bir görüntü



Şekil 3. 3 Çalışma alanın güney kısmından bir görüntü

3.2 Yöntemler

3.2.1 Toprak örnekleme ve örneklerin analize hazırlanması

Çalışma alanı yaklaşık 12 hektardır.Toprak işleme derinliğinden (ortalama 0-20 cm) rastgele örnekleme yöntemi ile toplam 100 adet örnek alınmıştır (Şekil 3.1 ve 3.2). Çalışma alanında örnkeleme yapılan her noktanın koordinatı bir GPS ile kaydedilmiştir. Toprak örneklemesi sırasında, her bir örnekleme noktasının toprak işleme derinliği (üst toprak derinliği) ölçülmüştür. Toprak örnekleri daha sonra oda şartlarında kurutulup, 2 mm'lik elekten geçirilmiş ve analize hazır hale getirilmiştir (Şekil 3.2). Alınan toprak örneklerinde toprak tekstürü, agregat stabilitesi, pH, elektriksel iletkenlik, organik madde içeriği, kireç içeriği, tarla kapasitesi ve solma noktası tayin edilmiştir. Ayrıca, örnekleme esmasında alınan bozulmamış toprak örnekleri ile de alt toprak hacim ağırlığı belirlenmiştir.



Şekil 3. 4 Arazide örnek alınması ve laboratuvar çalışmasından görüntüler

3.2.2 Toprak analizleri

Çalışma alanından alınan toprak örneklerine ilişkin analizler ve yöntemleri aşağıda verilmiştir.

Toprak fiziksel özellikleri

Tekstür:Toprak tekstürü toprağı oluşturan mineral parçacıkların büyüklüğünü ve oranını, toprakta bulunan kum, silt ve kil oranını ifade eder. Kısa zamanda değişmesi mümkün olmayan bir özelliktir. Toprakların %kil, %silt ve %kum içeriklerini belirlemek için "Bouyoucos Hidrometresi" metodu kullanılmıştır (Gee and Bouder 1986).

Hacim Ağırlığı: Hacim ağırlığı, 100 cm^3'lük çelik silindirlerle alınan bozulmamış toprak örnekleri kurutma fırınında 105°C'de sabit ağırlığa ulaşıncaya değin kurutlduktan sonra geriye kalan net ağırlık silindirin hacmine bölünerek hesaplanmıştır (Blake and Hardge, 1986).

Agregat Stabilitesi: Islak eleme yöntemine göre belirlenmiştir (Kemper and Rosenau 1986).

Tarla Kapasitesi: (Caravaca *et al.* 2002)'e göre basınçlı plaka setlerinde belirlenmiştir. Tarla kapasitesi 100 cm^3'lük silindirlerle alınan bozulmamış toprak örnekleri laboratuar ortamında doygun hale getirilmiş ve 1 atm basınca dayanıklı plakalar üzerine yerleştirilmiştir. Doygun hale gelen toprakların 1/3 atm basınç altında tuttuğu nem miktarının hesaplanmasıyla belirlenmiştir.

Solma Noktası: Cassel and Nielsen (1986)'e tarafından belirtildiği şekliyle, araziden alınmış ve 2 mm'lik elekten geçirilmiş bozulmuş toprak örnekleri bilezik halkalar yardımıyla 15 atm basınca dayanıklı plakalar üzerinde saf su ile doygun hale getirilmiştir. Daya sonra toprak örneklerinin 15 atm basınç altında tuttuğu su miktarı hesaplanrak solma noktası belirlenmiştir.

Yarayışlı Nem İçeriği: Tarla kapasitesindeki toprağın nem içeriğinden solma noktasındaki nem içeriğinin çıkarılması ile hesaplanmıştır.

Üst toprak derinliği: Toprak yüzeyinden itibaren pulluk tabanı olarak adlandırılan sert katmana kadar olan derinlik bir cetvel ile ölçülerek belirlenmiştir.

Toprak kimyasal özellikleri

Toprak Reaksiyonu (pH):1/2,5 toprak-su süspansiyonunda pH elektrodu ile ölçülmüştür (Rhoades *et al.* 1999).

Elektriksel İletkenlik (EC):1/2,5 toprak-su süspansiyonunda EC elektrodu ile ölçülmüştür (Rhoades *et al.* 1999).

Organik Madde: Nelson and Sommers (1982) tarafından belirtilen "Modifiye Edilmiş Walkey-Black" metoduna göre yapılmıştır. Bu yönteme göre; 0,5 g toprak örneği 500 ml'lik erlenmayere konulmuş ve üzerine önce 10 ml potasyum dikromat ve daha sonra 20 ml sülfürik asit çözeltisi eklenmiş ve karışım başlangıçta yavaş daha sonra hızlı bir şekilde 1 dk çalkalanmıştır. Oda sıcaklığına gelen örneklere 200 ml saf su eklenmiş ve üzerine 5-6 damla o- fenantrolin eklenmiştir. Demir sülfat heptahidrat çözeltisiyle titre edilerek kırmızı rengin yeşil renge dönmesi için harcanan demir sülfat miktarından organik madde miktarı belirlenmiştir.

$CaCO_3$: Scheibler kalsimetresinde 0,5 gram toprak örneği %10'luk hidroklorik asit ile muamele edilmiş, çıkan $CaCO_3$ hacminden toprağın $CaCO_3$içeriği hesaplanmıştır (Kacar 1994).

3.2.3 Skorlama

Akdeniz Çölleşme ve Arazi Kullanımı modelinde, toprak kalitesi altında tanımlanan parametrelerin arazi bozulması ile ilişki düzeyine bağlı olarak 1,0 ile 2,0 arasında skorlar verildiği, tanımlanan parametrelerin çalışma yapılan bölgelere göre değerlendirilebileceği ve skorlamanın çalışılan bölgeye göre düzenlenebileceği rapor edilmiştir (Kosmas *et al.* 2006). Toprak kalitesinin belirlenmesinde ise ilk kez Karlen and Stott (1994), doğrusal olmayan skorlama eğrilerini kullanarak bir yöntem geliştirmişlerdir. Araştırmacılar toprak kalite indeksini belirlemek için tanımladıkları değişkenleri skorlarken üç ana skorlama fonksiyonu (eğrilerini) kullanmışlardır. Bu skorlama eğrileri;***"daha fazla daha iyidir", "daha az daha iyidir"*** ve ***"optimum daha iyidir"*** şeklinde tanımlanmıştır. "Daha yüksek daha iyidir" ile skorlamada, göstergenin yüksek skor elde etmesi, toprak kalitesi ile arasında pozitif ilişki olduğunu, "daha düşük daha iyidir" ile skorlamada, göstergenin düşük skor elde etmesi, toprak kalitesi ile arasında negatif bir ilişki olduğunu,. "orta nokta optimumdur" ile skorlamada ise bazı göstergeler için eşik değerleri belirlenip birimsiz hale dönüştürülmektedir. "Daha fazla daha iyidir" algoritması ile organik madde, kil ve bitkiye yarayışlı su içeriği değerleri skorlanırken, "daha az daha iyidir" ile EC, $CaCO_3$, hacim ağırlığı, silt ve kum değerleri skorlanmaktadır. pH skorlanırken "orta nokta optimumdur" fonksiyonunun kullanımı tercih edilmektedir (Andrews *et al.* 2004). Bu nedenle, 1,0 skoru en kötüyü ve 2,0 ise en iyiyi ifade etmektedir.

3.2.3 Kalite indeksinin hesaplanmasında kullanılan toprak özelliklerinin skorlanması

Toprak kalitesinin hesaplanmasında kullanılan değişkenlere ilişkin skorların belirlenmesinde literatürde kullanılan yaklaşımlar dikkate alınmıştır. Skorlamada kullanılan kriterler ve yararlanılan kaynaklar Çizelge 3.1'de verilmiştir. Kosmas *et al.* (1999)'a göre toprak kalitesi, TKİ <1,13 ise yüksek; 1,13-1,46 ise orta; TKİ >1,46 ise düşük olarak sınıflandırılmaktadır. Ancak, Kosmas *et al.* (1999) çalışmalarında "en düşük en iyidir" seçeneğini kullanmışlardır. Bizim çalışmamızda ise "en yüksek en iyidir" seçeneği kullanılmıştır. Bu durumda, Kosmas *et al*. (1999) tarafından önerilen eşik değerleri "en yüksek en iyidir" yaklaşımına

uyarlandığında; TKİ>1,77 ise yüksek kalite, 1,37<TKİ<1,77 orta kalite ve TKİ<1,37 düşük kalite olarak sınıflandırılmaktadır. Bu bağlamda parametrelerin skorları ve referans alınan kaynaklar çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3. 1 Toprak kalitesi indeksi altında tanımlanan değişkenlere ilişkin indeks değerleri ve yararlanılan kaynaklar (Avci, 2019)'dan uyarlanmıştır

Toprak özellikleri	Sınıf	Değerlendirme	Tanım	Skor	Kaynak
Tekstür	1	Çok İyi	L	2,0	(Kosmas *et al*. 1999)
	2	İyi	SCL, SiCL, CL	1,7	
	3	Orta	SL, SiL, LS, SC	1,3	
	4	Kötü	SiC, C,	1,2	
	5	Çok kötü	S, Si ve %60 dan fazla kil	1,0	
pH	1	Aşırı asit	<4,5	1,0	(ÇEM 2017)
	2	Çok kuvvetli asit	4,5-5,0	1,1	
	3	Kuvvetli asit	5,1-5,5	1,2	
	4	Orta Asit	5,6-6,0	1,4	
	5	Hafif Asit	6,1-6,5	1,7	
	6	Nötr	6,6-7,3	2,0	
	7	Hafif alkalin	7,4-8,0	1,7	
	8	Orta alkalin	8,1-8,5	1,3	
	9	Kuvvetli Alkalin	8,6-9,0	1,1	
	10	Çok kuvvetli alkalin	>9,0	1,0	
EC (dS/m)	1	İyi	<1,2	2,0	(ÇEM 2017)
	2	Hafif	1,2-2,0	1,7	
	3	Orta	2,0-4,0	1,3	
	4	Tuzlu	4,0-8,0	1,2	
	5	Çok tuzlu	>8,0	1,0	
OM (%)	1	Çok yüksek	>4,0	2,0	ÇEM 2017ve uzman görüşüne göre modifiye edilmiştir.
	2	Yüksek	3,0-4,0	1,7	
	3	Orta	2,0-3,0	1,4	
	4	Düşük	1,0-2,0	1,2	
	5	Çok düşük	0,5-1,0	1,1	
	6	Aşırı düşük	<0,5	1,0	
$CaCO_3$ %	1	Çok az kireçli	0-2	1.4	(ÇEM 2017)
	2	Az kireçli	2-4	1,7	
	3	Orta kireçli	4-8	2,0	
	4	Kireçli	8-15	1,7	
	5	Çok kireçli	15-30	1,4	
	6	Aşırı kireçli	30-50	1,1	
	7	Kireç toprağı	>50	1,0	
Agregat stabilitesi, (%)	1	Zayıf	<25	1,0	(Mutlu, 2015)ve uzman görüşüne göre modifiye edilmiştir.
	2	Orta	25-50	1,2	
	3	İyi	50-75	1,7	
	4	Çok iyi	>75	2,0	

Çizelge 3.1'nin devamı

Toprak özellikler	Sınıf	Değerlendirme	Tanım	Skor	Kaynak
HA (g/cm^3)	1	Kumlu	<1,40 İyi	2,0	(Andrews *et al.* 2004) ve uzman görüşüne göre modifiye edilmiştir
			1,40-1,6 Normal	1,5	
			1,6-1,8 Kötü	1,2	
			>1,80 Çok kötü	1,0	
	2	Siltli	<1,20 İyi	2,0	
			1,2-1,5 Normal	1,5	
			1,5-1,6 Kötü	1,2	
			>1,60 Çok kötü	1,0	
	3	Killi	<1,10 İyi	2,0	
			1,10-1,3 Normal	1,5	
			1,3-1,5 Kötü	1,2	
			>1,5 Çok kötü	1,0	
BYSİ (%)	1	Kum	<4	1,0	(Andrews *et al.* 2004) ve uzman görüşüne göre modifiye edilmiştir.
	2	Silt	4-8	1,1	
	3	Tınlı kum	8-12	1,3	
	4	Kumlu tın	12-16	1,4	
	5	Siltli tın	16-20	1,7	
	6	Kil içeriği <%8	>20	2	
	1	Kumlu killi tın	<5	1,0	
	2	Kumlu kil	5-10	1,1	
	3	Killi tın	10-15	1,3	
	4	Tınlı	15-20	1,4	
	5	Siltli killi tın	20-25	1,7	
	6	Siltli kil/ Kil (<%60)	>25	2,0	
	1	Kil >%60	<6	1,0	
	2		6-12	1,1	
	3		12-18	1,3	
	4		18-24	1,4	
	5		24-30	1,7	
	6		>30	2,0	
ÜTD (cm)	1	Sığ	<20	1,4	(ÇEM, 2017)
	2	Orta sığ	20-10	1,2	
	3	Çok Sığ	>10	1,0	
TKİ	1	Yüksek kalite		>1,77	(Kosmas *et al*. 1999)
	2	Orta kalite		1,77-1,37	
	3	Düşük kalite		<1,37	

HA: Hacim ağırlığı (alt toprak HA), BYSİ: Bitkiye yarayışlı su içeriği, ÜTD: Üst toprak derinliği, TKİ: Toprak kalite indeksi

3.2.4 Minimum veri setinin oluşturulmasında temel bileşenler analizi (PCA)

Çalışma alanı topraklarının toprak kalite indeksinin belirlenmesinde gerekli minimum veri setinin (MVS) elde edilmesi için bir veri indirgeme yöntemi olan temel bileşenler analizi (PCA) kullanılmıştır. Analizden önce elde edilen sonuçların istatistiksel olarak önemli olup olmadığına bakmak için küresellik testi (Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)) kullanılmıştır. Bu yönteme göre KMO testi faktörü >0,5 olduğu durumlarda PCA analizi yapılabilmektedir (Field, 2013). Diğer taraftan zamanda KMO testi faktörü <0,5 olduğunda verilerin PCA için uygun olmadığı, değerin 0,5-0,69 arasında olduğu durumlarda dikkatli davranılarak analizin yapılabileceği ve KMO test faktörü >0,7 olduğu durumlarda ise analizin rahatlıkla yapılabileceği bildirilmiştir (Solgi *et al*. 2017).

Çizelge 3. 2 PCA analizi yapılmadan önce yapılan KMO test analiz sonuçları

Toprak Kalite İndeksi		
KMO test değeri		0,579
Bartlett Küresellik testi	Ki kare değeri	204,072
	Df	36
	Sig.	0

PCA ile yapılan değerlendirmede değişkenlerin minimum veri setine dahil edilmesinde eigen değeri >1,0 olan PC'ler altındaki değişkenler dikkate alınmıştır.Ancak aynı PC'ye 0,60 ve üzerinde bir değerle yüklenen değişkenlerde MVS'ne dahil edilmiştir. Bu değişkenlerin dahil edilmesinde en yüksek yüklenme değerine sahip değişken ile aralarındaki farkın %10 ve altında olması dikkate alınmıştır (Andrews and Carroll 2001).

Çizelge 3. 3 Minimum veri setinin oluşturulmasına yönelik PCA analizi sonuçları

Değişkenler	Temel Bileşenler (PC)		
	1	2	3
Tekstür (%)	-0,050	**0,599**	0,501
pH	0,787	-0,249	-0,033
EC	**-0,790**	0,202	-0,169
HA	**0,717**	0,470	-0,225
OM	-0,217	0,369	-0,316
ASİ	0,147	0,061	**-0,531**
$CaCO_3$	0,674	0,552	-0,133
BYS	-0,130	0,459	**0,567**
UTD	0,485	-0,398	**0,519**

EC: Elektriksel İletkenlik (ds/m), HA: Hacim Ağırlığı (g/cm^3), OM: Organik Madde (%), ASI:Agregat stabilitesi (%), BYS: Bitkiye Yarayışlı Su İçeriği (%), ÜTD: Üst Toprak Derinliği (cm).

Çizelge 3.3. incelendiğinde, ilk vektöre $CaCO_3$, EC, pH ve HA yüklenmiştir. Çizelge 3.4 incelendiğinde ise HA ile $CaCO_3$ arasında %0,73'lük bir korelasyonun olduğu görülmektedir. Dolaysıyla HA daha yüksek bir dolum değerine sahip olduğundan HA veri setinde tutulmuş, $CaCO_3$ ise MVS'den çıkarılmıştır. Aynı şekilde, pH ve EC arasındaki korelasyon katsayısı %61'dır. EC daha yüksek bir mutlak dolum değerine sahip olduğundan EC veri setine dahil edilmiş ve pH ise MVS'den çıkarılmıştır. PC1 altında EC en yüksek dolum değeri ile yüklenmiştir. Dolayısıyla EC minimum veri setinde olmalıdır. Ancak HA ile EC'nin yüklenme değerleri arasındaki farkın %10> olması nedeniyle HA da minimum veri setine dahil edilmelidir. PC2 altında tekstür ve $CaCO_3$ değişkenleri bulunmaktadır. $CaCO_3$ zaten PC1'de veri setinden çıkarıldığından, burada dikkat alınmayacaktır. Dolayısıyla, PC2 altında sadece tekstür minimum veri setine dahil edilmiştir. Aynı şekilde, PC3 altında, ASİ, BYS ve UTD yer almıştır. Yapılan korelasyon analizine göre bu değişkenlerin arasındaki korelasyon katsayısı <0,60 olduğundan ve mutlak dolum değeri arasındaki fark %10'dan düşük olduğundan ASİ, BYS ve UTD değişkenler veri setinde tutulmuştur. Bu durumda MVS 6 değişkeni içermektedir (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.4 Toprak kalitesi indeksi altındaki parametrelere ilişkin korelasyon katsayıları

Değişkenler	Tekstür	pH	EC	HA	OM	ASİ	$CaCO_3$	BYS	TG
pH	-0,166								
EC	0,035	**-0,614**							
HA	0,098	0,327	-0,333						
OM	0,073	-0,156	0,150	-0,017					
ASİ	-0,050	0,137	-0,099	0,154	0,065				
$CaCO_3$	0,088	0,352	-0,311	**0,732**	0,002	-0,007			
BYS	0,311	-0,126	0,050	-0,087	0,007	-0,065	0,059		
ÜTD	0,029	0,355	-0,469	0,109	-0,176	-0,129	0,000	-0,025	-0,108

EC: Elektriksel İletkenlik (ds/m) , HA: Hacim Ağırlığı (g/cm^3), OM: Organik Madde (%), ASI:Agregat stabilitesi (%), BYS: Bitkiye Yarayışlı Su İçeriği (%), ÜTD: Üst Toprak Derinliği (cm)

3.2.5 Toprak kalite indeksinin belirlenmesi için tanımlanan değişkenlerin ağırlıklandırılması

Minimum veri setine dahil edilen toprak fiziksel ve kimyasal özellikleri için ağırlıkların belirlenmesinde PCA analizi kullanılmıştır. Bu bağlamda, her bir değişkenin içinde yer aldığı temel bileşen (PC) tarafından tanımlanan yüzde varyans analizde kullanılan PC'ler tarafından tanımlanan toplam yüzde varyansa bölünerek ilgili değişken için ağırlık hesaplanmıştır. Ancak şayet aynı PC altında MVS'ye dahil edilen birden fazla değişken var ise, elde edilen ağırlık değeri o değişkenler arasında eşit değerde paylaştırılmıştır (Mukherjee and Lal, 2014). MVS'yi oluşturan fiziksel ve kimyasal parametreler HA, EC, tekstür, ASİ, BYS ve ÜTD'dir. Değişkenler ve ağırlıkları Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3. 5 PCA yöntemi ile MVS'ne dahil edilen değişkenler ve ağırlıkları

Temel Bileşen (PC)	% Varyans	PC altında tanımlanan parametre sayısı	Her bir PC altında MVS'ne dahil edilen değişkenler
1	28,162	2	HA ve EC
2	16,629	1	Tekstür
3	14,689	3	ASİ, BYS ve UTD
Toplam % Varyans =((28,162 *2)+(16,629*1)+(14,689*3))=117,02			
Toprak değişkenlerine verilen ağırlık değerlerinin hesaplanması			Ağırlık değeri
HA		28,162/117,02	0,24
EC		28,162/117,02	0,24
Tekstür		16,629/117,02	0,14
ASİ		14,689/117,02	0,12
BYS		14,689/117,02	0,12
UTD		14,689/117,02	0,12

3.2.6 Toprak kalite indeksinin hesaplanması

Toprak kalite indeksi (TKİ) iki farklı yönteme göre hesaplanmıştır. İlki, TKI tekstür, ASİ, OM, $CaCO_3$, pH, EC, HA, BYS ve üst toprak derinliğine ilişkin skor değerlerinin geometrik ortalaması alınarak hesaplanmıştır (Eşitlik 3).

$$TKİ_{GO} = (T1xT2xT3\ldots..Tn)^{1/n} \quad (3)$$

Eşitlik 3'de; **T;** Toprak kalitesi altında tanımlanan değişken, **n ise** değişken sayısıdır.

İkinci yöntem, temel bileşenler analizi (PCA) dir. PCA sonucu minimum veri setine dahil edilen parametrelerin skorları ile yine PCA ile elde edilen parametrelerin ağırlık değerleri çarpılıp toplamı alınarak (Eşitlik 4) toprak kalite indeksi belirlenmiştir (Andrew *et al.* 2002).

$$TKİ_{PCA} = ((T1xX1)+(T2xX2)+(T3xX3)\ldots\ldots.(TnxXn)) \quad (4)$$

Eşitlik 4'de T, MVS'ne dahil edilen değişken; **X**; Her değişkeniçin PCA ile elde edilen ağırlık değeri ve **n** ise değişken sayısıdır.

3.2.7 Toprak özellikleri ve toprak kalite indeksi değerlerinin uzaysal değişkenliğinin analizi

Toprak özellikleri ve toprak kalitesi indeksinin uzaysal değişkenliğinin analizinde jeoistatistiksel yöntemler kullanılmıştır. Tipik bir jeoistatistiksel analiz üç aşamadan oluşmaktadır: 1. Verilerin tanımsal istatistiği, 2. Değişkenlerin uzaysal değişkenliğinin modellenmesi, 3. Değişkenlerin uzaysal enterpolasyonu (krigleme) (Isaaks and Srivastava 1989). Bu çalışmada bu aşamalar aynen takip edilmiştir. Önce değişkenlerin tanımsal istatistiği yapılmıştır. İkinci aşamada semivaryogramlarlar kullanılarak toprak değişkenleri ve toprak kalitesi değerlerinin uzaysal yapısı modellenmiştir. Bu amaçla, önce değişkenlere ilişkin deneysel semivaryogramlar elde edilmiş ve daha sonra uygun modeller kullanılarak teorik parametreler (sill, nugget ve range) hesaplanmıştır (Isaaks and Srivastava 1989). En uygun modelin belirlenmesinde determinasyon katsayısı, en düşük hata kareler toplamı ve en yüksek çapraz değerlendirme-korelasyon katsayısı ölçüt alınmıştır. Üçüncü aşamada ise ordinary (bayağı) nokta krigleme yöntemi ile değişkenlerin uzaysal enterpolasyonu yapılmıştır. Kriglemede en az 10 en fazla 15 komşu nokta kullanılmıştır. Tahminlerin performansının değerlendirilmesinde, model performansı, nispi hata ve çapraz değerlendirme-korelasyon katsayısı kuallnılmıştır. Semivaryogram analizinden önce verilerin normal dağılım gösterip göstermediği kontrol edilmiştir. Bu bağlamda, çarpıklık katsayısı mutlak değer olarak 0,5-1,0 arasında değişkenlerekarekök dönüşümü, 1'den büyük olanlara ise logaritmik dönüşüm uygulanmıştır (Ersahin *et al.* 2017). Jeoistatistiksel analizlerin tamamı GS+ (versiyon 7) ile yapılmıştır.

Toprak özelliklerinin tanımlayıcı istatistik parametreleri; minimum, maksimum, ortalama, standart sapma, varyasyon katsayısı, çarpıklık ve basıklık katsayısı SPSS programı (SPSS 21) kullanılarak hesaplanmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Toprak Özelliklerine İlişkinTanımsal İstatistikler

Çalışma alanına ilişkin toprak özelliklerinin tanımsal istatistikleri Çizelge 4.1'de verilmiştir. Çalışma alanı topraklarının parçacık büyüklük dağılım kil ağırlıklıdır. Toprakların kum içeriği %12,5 ve %49,19 arasında olup ortalama %34,28'dir. Kil içeriği %35,9 ve %55,9 arasında değişmektedir ve ortalama %47,2'dir Silt içeriği ise ortalama %18,51 olup bu değer kil ve kuma göre çok daha düşüktür (Çizelge 4.1).

Topraklarının toplam $CaCO_3$ içeriği ortalama %38,2'dir ve %10,34 ile %72,36 arasında değişmektedir (Çizelge 4.1). Ülgen ve Yurtsever (1974), toprakların Scheibler kalsimetresine ile belirlenen kireç içeriklerini %0-1,0 az kireçli, %1-5 hafif kireçli, %5-15 orta kireçli, %15-25 fazla kireçli ve >%25 çok fazla kireçli olmak üzere beş sınıfa ayırmıştır. Buna göre çalışma alanı toprakları aşırı kireçlidir ve bunun büyük ölçüde ana materyalden kaynaklandığı düşünülmektedir. Kireç taşı tortul bir kayaçtır ve esas olarak denizlerin dibinde, bazen de bir göl ortamında, mikro alg ve deniz hayvanlarının kabukları ve iskeletlerinin ve suda bulunan karbonat ve kalsiyum iyonlarının sentezi ile oluşurlar.

Yarı kurak bir iklime sahip çalışma alanı toprakların OM içeriği genel olarak düşüktür. Bu çalışmada toprakların organik madde içerikleri %0,16 ile %2,72 arasında değişmekte ve ortalaması %1,44'tür. Ülgen ve Yurtsever (1974), toprakların Walkey-Black metoduna göre belirlenen organik madde içeriklerini %0-1 çok düşük, %1-2 düşük, %2-3 orta, %3-4 yüksek ve >%4 çok yüksek olmak üzere beş sınıfa ayırmıştır. Bu sınıflandırmaya göre; organik madde içeriğinin düşük olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 4. 1 Çalışma alanı toprak özelliklerine ilişkin tanımsal istatistikler

Toprak özellikleri	En küçük	En büyük	AO	SS	Varyans	Çarpıklık	Basıklık	VK (%)
HA (g/cm^3)	1,01	1,80	1,34	0,20	0,04	0,21	-0,74	14,93
Kum (%)	12,5	49,1	34,28	6,23	38,82	-0,39	0,61	18,17
Kil (%)	35,9	55,9	47,2	4,87	23,72	-0,52	-0,83	10,31
Silt (%)	8,40	39,1	18,5	4,57	20,88	1,35	3,77	24,6
pH	7,17	7,84	7,71	0,10	0,01	-2,61	10,00	1,30
EC (ds/m)	0.10	1.31	0,25	0,18	0.03	3,10	13,34	72,0
OM (%)	0,16	2,72	1,44	0,59	0,35	-0,08	-0,36	40,9
ASI (%)	0,37	0,58	0,48	0,04	0,00	-0,48	0,64	8,33
CaCO3 (%)	10,34	72,36	38,2	18,75	351,51	0,27	-1,37	49,0
TK (%)	20,02	49,41	36,86	8,68	75,32	-0,26	-1,18	23,5
SN (%)	2,36	33,14	16,93	5,99	35,92	0,48	0,41	35,3
BYS (%)	7,00	42,95	19,92	7,60	57,77	0,71	0,25	38,1
ÜTD (cm)	5,00	25,00	14,25	4,26	18,11	0,52	-0,41	29,8

AO: Aritmetik ortalama, SS: Standart sapma, VK: Varyasyon Katsayısı, HA: Hacim Ağırlığı, EC: Elektriksel İletkenlik, OM: Organik Madde, ASI: Agregat stabilite indeksi, TK: Tarla Kapasitesi Su Miktarı, SN: Solma Noktası Su Miktarı, BYS: Bitkiye Yarayışlı Su İçeriği, ÜTD: Üst Toprak Derinliği,

Çalışma alanındaki hacim ağırlığı değerleri 1,01 ile 1,8 gcm^{-3} arasında değişmekte olup ortalama 1,34 gcm^{-3} olarak bulunmuştur. Pierce *et al.* 1983, >%45 kil içeren topraklarda hacim ağırlığının 1,39 gcm^{-3}'den yüksek olduğu koşullarda kök gelişiminin olumsuz etkilendiğini ve bu değerin 1,47 gcm^{-3}'den yüksek olduğu durumlarda ise kök gelişiminin önemli düzeyde sınırlandığını belirtmiştir. Aynı çalışmada araştırmacılar, kumlu topraklarda hacim ağırlığının 1,40 gcm^{-3}'a kadar yükselmesinin bitki üretimi için bir sorun oluşturmadığını belirtmektedirler. Bu çalışmada ise ortalama hacim ağırlığının 1,34 gcm^{-3} olması kök gelişiminin genel olarak olumsuz etkilenmediğini göstermektedir. Ancak bizim çalışmamızda alt toprakların hacim ağırlığı belirlenmiştir.

Agregat stabilitesi, agregatların suyun parçalayıcı etkisine ve mekanik faktörlere karşı olan direnci olarak tanımlanır. Agregat stabilitesi değeri %37 ve %58 arasında değişmekte olup ortalama %48'dir (Çizelge 4.1). Çalışma alanında, ortalama agregat stabilitenin %48 olması,

toprakların erozyon direncinin orta düzeyde olduğunu göstermektedir. Yarı kurak bir iklime sahip olan çalışma alanı topraklarının pH değerleri 7,17 ve 7,84 arasında değişmekte olup, ortalaması 7,71, yani topraklar genelde alkalindir. Elektriksel iletkenlik (EC) değeri 0,1 ve 1,31 dS/m arasında değişmekte olup ortalama 0,25 dS/m'dır. Bu değerlere bakarak toprak tuzluluğunun çalışma alanında bir sorun teşkil etmediği söylenebilir.

Toprakların tarla kapasitesi %20,02 ile %49,41 arasında değişmekte olup, ortalama %36,86'dir. Kil içeriğinin yüksek olduğu yerlerde hem tarla kapasitesi hem de solma noktası değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Toprağın tekstürü, bitkilerin ihtiyaç duyduğu suyun tutulması üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir (Hillel 1998). Solma noktası %2,36 ile %33,14 aralığında olup ortalama %16,93'dir. Solma noktasının en düşük olduğu noktalar organik madde içeriğinin yüksek olduğu yerlere denk gelmektedir. Tarla kapasitesi ile solma noktası arasında tutulan nem bitkiye yarayışlı su içeriğidir ve toprak kalitesinin önemli göstergelerinden biridir (Andrews *et al.* 2004). Yarayışlı su içeriği %7 ve %42,95 arasında değişmektedir. Ortalama yarayışlı su içeriği %19 olup bu değer oldukça yüksek olarak nitelendirilebilir. Literatürde kil içeriği yüksek toprakların faydalı su içeriğinin ortalama %12,0 olduğu belirtilmiştir (Hillel 1998). Üst toprak derinliği 5 ve 25 cm arasında değişmekte olup, ortalamsı 14,25 cm'dir çalışma alanının üst toprak derinliği genelde yetersizdir.

Değişkenlik katsayısı (VK) esas alınarak toprak özelliklerinin çalışma alanı içerisindeki değişkenliği nitelendirilebilir. Şayet VK <15 ise ilgili değişkenin "az değişken", 16-35 arasında ise "orta değişken" ve 36< ise "çok değişken" olduğu varsayılmaktadır (Mulla ve McBratney 2001). Bu değerlendirmeye göre çalışma alanında EC (%72), $CaCO_3$ (%49,08) ve organik madde (%40,97) fazla değişkendirler. Çalışmalar pH'nın genelde az değişken olduğunu göstermiştir. Nitekim bizim çalışmamızda da pH az değişkendir (%VK=1,30). Diğer toprak özelliklerinden hacim ağırlığı, kil ve agregat sabilitesi düşük derecede değişkenlik gösterirken; örnekleme anında toprak su içeriği, kum, silt, tarla kapasitesi ve üst toprak derinliği orta derecede değişkenlik göstermektedir (Çizelge 4.1).

Çarpıklık ve basıklık katsayıları veri setlerinin dağılımının belielenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Çarpıklık katsayısı mutlak değer 0-0,5 arasında ise dağılımın hafif çarpık, 0,5-1,0 arasında orta düzeyde çarpık ve 1,0> ise şiddetli çarpık olduğu varsayılmıştır (Webster 2001). Çarpıklık katsayısına bakıldığında OM, kum, kil, TK, SN, UTD ve ASI normal dağılım gösterdiği varsayılabilir. BYS ve silt içeriğinin orta düzeyde; pH'nın şiddetli sola çarpık ve EC'nin ise şiddetli sağa çarpık bir dağılım gösterdiği görülmektedir. Sağa çarpıklık gösteren özelliklerin bazı noktalarda aşırı yüksek değerler aldığı ve sola çarpık gösteren özelliklerin ise bazı noktalarda aşırı düşük değeri aldığı söylenebilir. Basıklık katsayısı, veri setlerinin değerlerinin ortalamaya göre nasıl dağıldığını gösterir. Basıklık katsayısına göre verilerin dağılımı üç farklı şekilde olabilir: basıklık sıfıra eşit olduğunda, verilerin dağılımı normaldir; basıklık sıfırdan küçükse veriler sivri, sıfırdan büyükse yayvan bir dağılıma sahiptir (Webster 2001). Diğer bir ifadeyle yayvan dağılımda değerler ortalamadan uzaklaşmakta, sivri dağılımda ise değerler ortalama çevresinde toplanmaktadır. EC, pH, silt içeriği yayvan bir dağılım gösterirken diğer toprak özellikleri ise sivri bir dağılım göstermektedir (Çizelge 4.1).

4.2 Toprak Özelliklerinin Uzaysal Değişimi

Toprak özellikleri için elde edilen semivariogram modellerinin parametreleri Çizelge 4.2'de ve grafikleri ise şekil 4’3, 4.4, 4.5’te verilmiştir. Toprak özelliklerinden OM, TK, SN ve BYS saf nugget model ile modellenmiştir. Diğer toprak özellikleri ise küresel, üssel ya da Gausiyan modellerden birisi ile modellenmiştir. Hacim ağırlığı, $CaCO_3$, $TKİ_{GO}$ ve $TKİ_{PCA}$ için semivaryogralara bakıldığında, bu semivaryogramların bir platoya ulaşmadığı, yani üçüncü derece (içsel hipotezi) durağanlığın oluşmadığı anlaşılmaktadır. Üçüncü derece durağanlığın oluşmaması ilgili değişkenin uzaysal yapısında bir global trendin olduğuna işaret eder. Global trendin olması ise bu dört özelliğin uzaysal değişkenliğinin emniyetle modellenebilmesi için daha geniş bir alana ihtiyaç olduğu anlamına gelmektedir.

Çizelge 4. 2 Toprak fiziksel ve kimyasal özelliklerine ilişkin semivariogram modelleri ve model parametreleri

Toprak özelliği	Model Tipi	Nugget (Co)	Sill (Co+C)	UB (%)	Range (m)	RSS	R^2	$r_{ÇD}$
Kum	Üssel	4,50	39,97	11,26	78,30	238,00	0,47	0,49
Kil	Küresel	4,29	24,95	17,20	41,74	89,2	0,38	0,45
Silt #	Küresel	0,10	0,23	43,50	149,30	$2,7\times10^{-3}$	0,84	0,59
HA	Gaussian	0,014	0,239	5,86	1123,75	$5,4\times10^{-5}$	0,97	0,74
pH##	Üssel	$5,7\times10^{-5}$	$2,2\times10^{-4}$	25,91	169,50	$3,1\times10^{-9}$	0,83	0,43
EC##	Küresel	0,02	0,34	5,88	217,20	0,02	0,84	0,77
ASI	Nugget	0,0015	0,0015	100	225,02	$2,9\times10^{-7}$	0,63	0,04
OM	Üssel	0,22	0,36	61,11	27,90	$5,5\times10^{-3}$	0,20	0,10
$CaCO_3$	Gaussian	19,00	448,90	4,23	374,64	11548,00	0,91	0,94
TK	Nugget	74,39	74,39	100	242,36	1272,00	0,36	0
SN	Nugget	33,86	33,86	100	242,36	362,00	0,28	0,34
BYS#	Nugget	0,69	0,69	100	242,36	0,379	0,31	0,03
UTD	Gaussian	8,27	22,67	36,50	176,15	29,10	0,80	0,59
$TKİ_{GO}$	Gaussian	0,003	0,016	18,75	745,65	$2,60\times10^{-6}$	0,88	0,64
$TKİ_{PCA}$ #	Üssel	$7,64\times10^{-4}$	$3,12\times10^{-3}$	24,50	1832,70	$3,82\times10^{-8}$	0,92	0,53

#:Karekök transformasyonu uygulanmıştır,##:log transformasyonu uygulanmıştır,UB:Uzaysal bağımlılık, RSS:Hata Kareler Toplamı, HA: Hacim Ağırlığı(g/cm^3), EC: Elektriksel İletkenlik(ds/m), OM: Organik Madde(%), ASI:Agregat stabilite indeksi (%), TK: Tarla Kapasitesi Su Miktarı (%)o, SN: Solma Noktası Su Miktarı (%), BYS: Bitkiye Yarayışlı Su İçeriği (%), ÜTD: Üst Toprak Derinliği(cm).

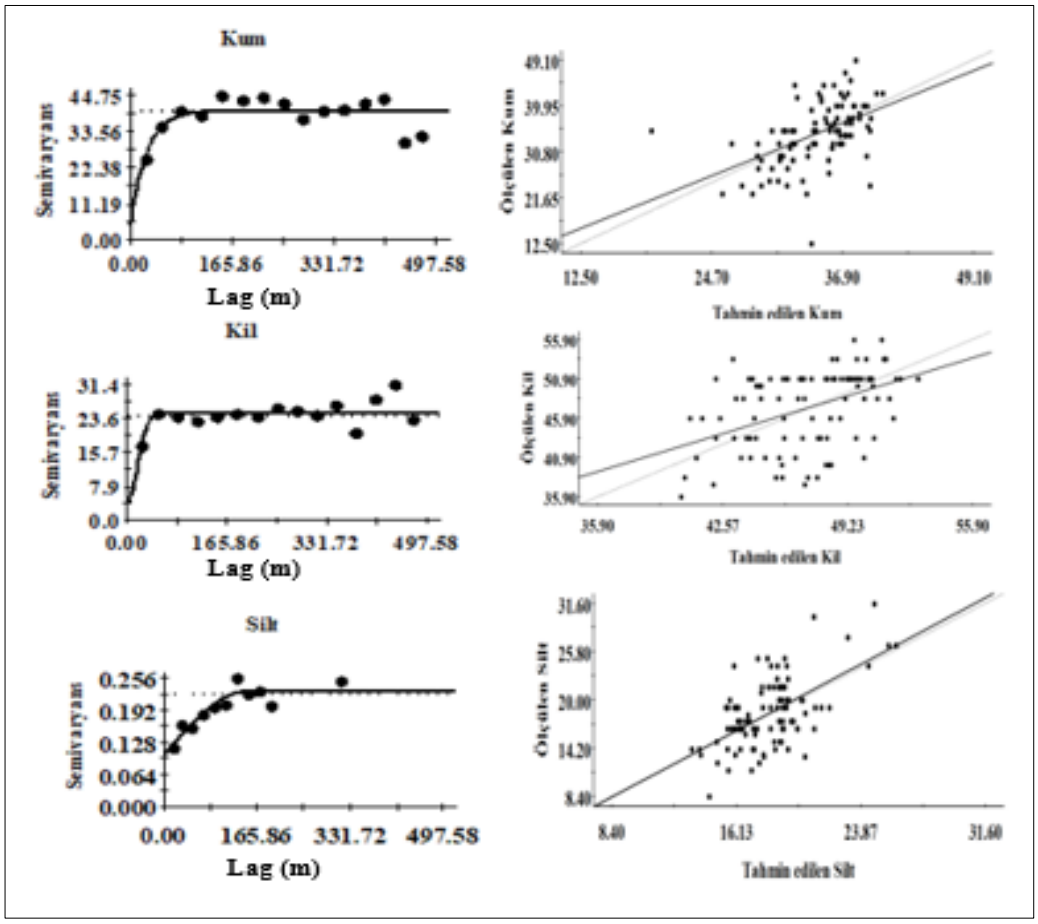
Jeoistatikte, uzaysal bağımlılık en çok kullanılan kriterlerden biridir (Wang and Shao, 2013). Uzaysal bağımlılık, nugget semivaryansın toplam semivaryansa oranının (Co/Co+C) yüzde olarak ifadesidir. Bu değerin %25'in altında olması ilgili değişkenin kuvvetli uzaysal bağımlılı, %25 ile %75 arasında olmasıorta uzaysal bağımlı ve %75'ten büyük olması ise zayıf uzaysal bağımlı olduğuna işaret eder (Cambardella *et al.* 1994, Trangmar *et al.* 1985). Bu kriterlere göre $CaCO_3$ (%4,23), HA (%5,86), EC (%5,88), kum (%11,26), kil (%17,20) ve pH (25,91) kuvvetli uzaysal bağımlıdır. OM (%61,11), UTD (%36,50) ve silt içeriği (%43,50) için uzaysal bağımlılık orta düzeydedir. Agregat satbilitesi, TK, SN ve BYS ise zayıf uzaysal bağımlıdır (Çizelge 4.2).

Range (A) çalışma alanında ilgili özelliğin uzaysal olarak bağımlı olduğu yani otokorele olduğu maksimum mesafeyi bildirir. Çalışma alanında, en yüksek A değeri 1123,75 m ile alt toprak hacim ağırlığı için, en A değeri ise 27,90 m ile organik madde için bulunmuştur. Organik madde içeriği ve kil içeriği sill değerine diğer özelliklere nazaran çok daha kısa

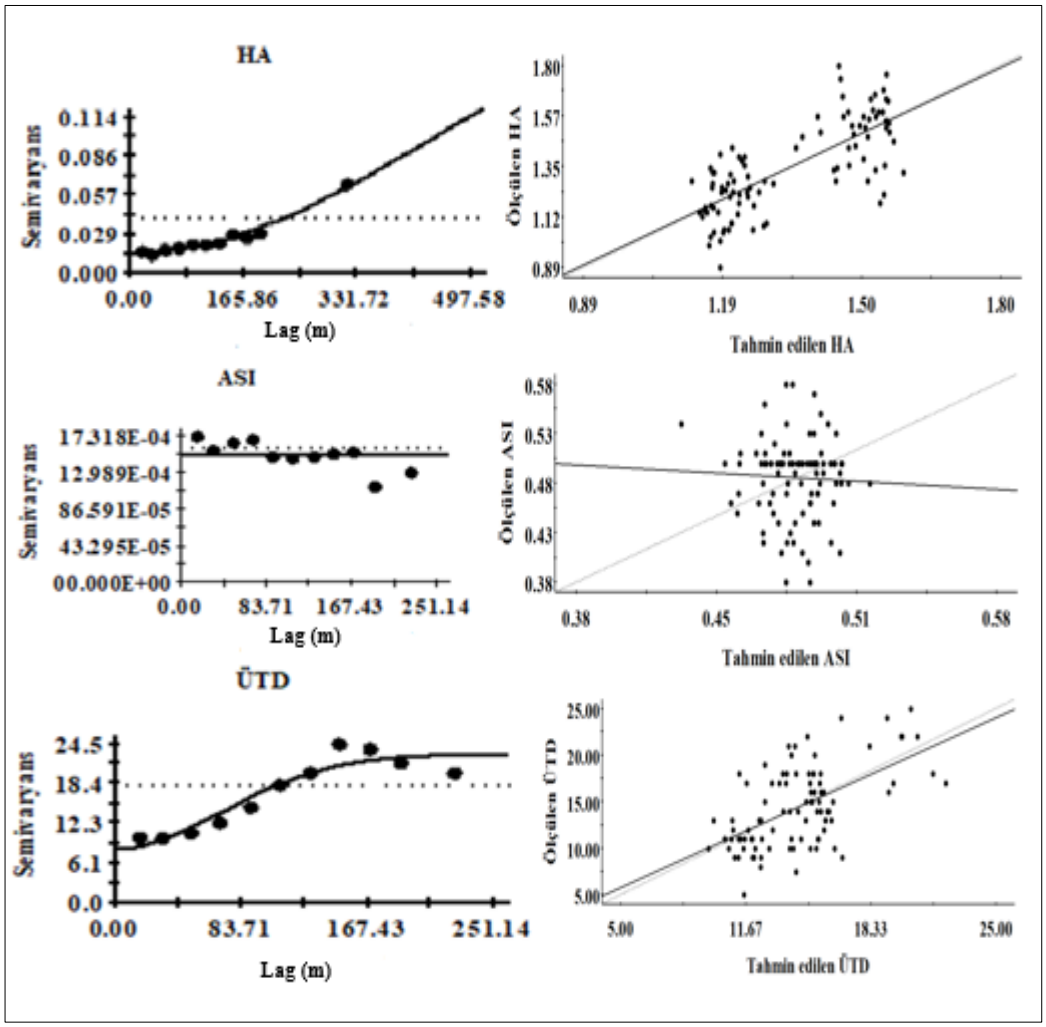
mesafelerde ulaşmışlardır (Çizelge 4.2). Daha önce yapılmış çalışmalarda oldukça farklı A değerleri rapor edilmiştir. Örneğin, Vasu *et al.* (2017) 215 km^2'lik bir alanda toprak organik madde içeriği için range değerini 1,54 km, Avcı (2019) ise 10000 km^2'lik bir alanda hacim ağırlığı için range değerini 13,5 km ve pH için 49,8 km olarak rapor etmişlerdir. Bizim çalışmamızdaki değerler ile bu rapor edilen değerler arasındaki farklılıkların büyük ölçüde çalışma alanının genişliği ve örnekleme desenindeki faklılıklardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Roger *et al.* (2014), ana materyalin, arazi kullanımlarının ve arazi özelliklerinin toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin mesafe ile değişkenliği üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğunu bildirlermiştir.

Nugget değerinin yüksek olması ilgili özelliğin kısa mesafelerde aşırı değişkenliğine işaret eder. Agregat stabilitesi, solma noktası, tarla kapasitesi ve bitkiye yaraşlı su içeriği özellikleri saf nugget özelliği göstermektedir. Mevcut örnekleme aralıkları bu özellikler için uzaysal yapının modellenmesinde yeterince kısa değildir. Dolayısıyla, bu özellikler için uzaysal değişkenliğin modellenebilmesi için çok daha kısa aralıklarla örnekleme yapılması gerekmektedir. Bu özellikler için uzaysal otokorelasyon oluşmadığından, bunların enterpolasyonunda ters mesafe yöntemi kullanılmıştır.

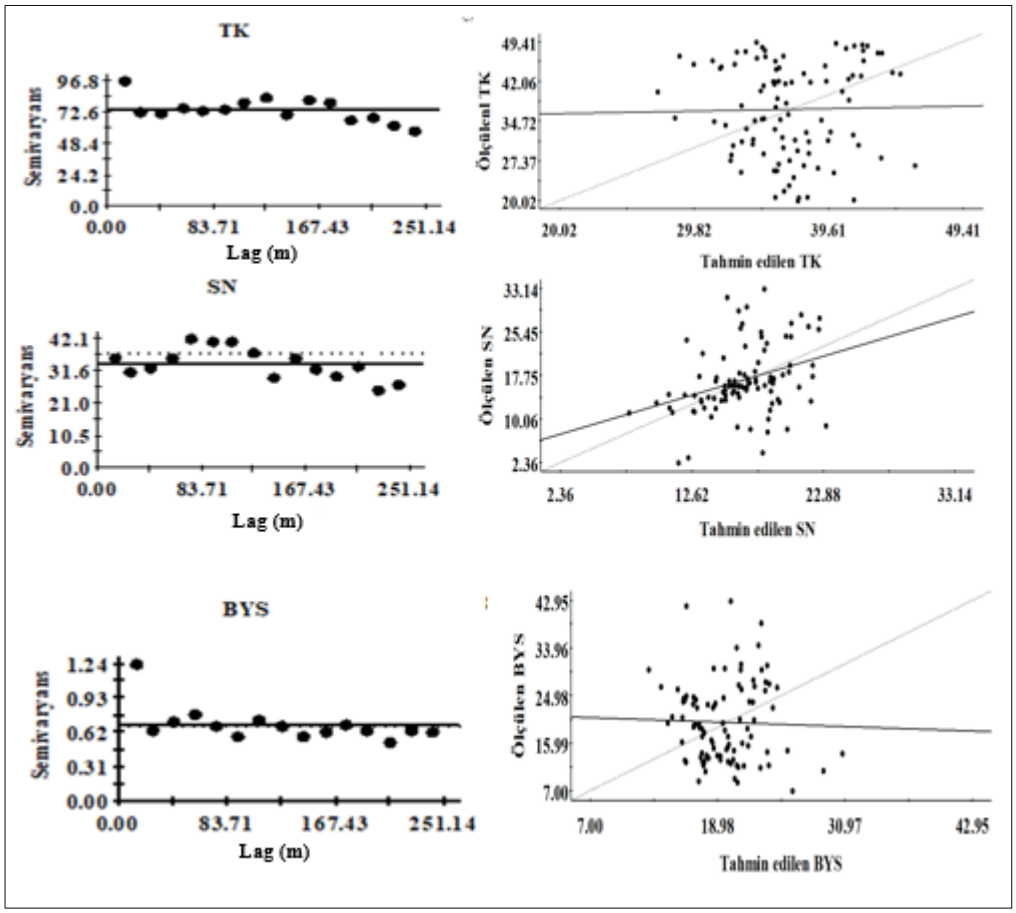
Çapraz değerlendirmede, korelasyon katsayısı ölçülen değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki benzerliğin bir ölçüsüdür. Bu değer 1'e ne kadar yakınsa, teorik semivaryogram deneysel semivaryogramı o kadar iyi temsil ediyor demektir. Çizelge 4.2 incelendiğinde bazı toprak değişkenlerine ilişkin r değerleri (örneğin, $CaCO_3$) yüksek iken diğer bazıları için (örneğin, TK) oldukça düşük, hatta sıfır olduğu görülmektedir. Uzaysal bağımlılığın bir göstergesi olan nugget etkisinin çapraz değerlendirme koralasyon katsayısının düşük çıkmasında önemli bir faktör olduğu söylenebilir. Nitekim çizelge 4.2 incelendiğinde nugget etkisinin yüksek olduğu semivaryogramlara ilişkin r değerlerinin düşük olduğu görülmektedir. Nugget etkisi uzaysal enterpolasyonda başarıyı etkileyen en önemli faktörler arasında gösterilmektedir (Isaaks and Srivastava 1989).



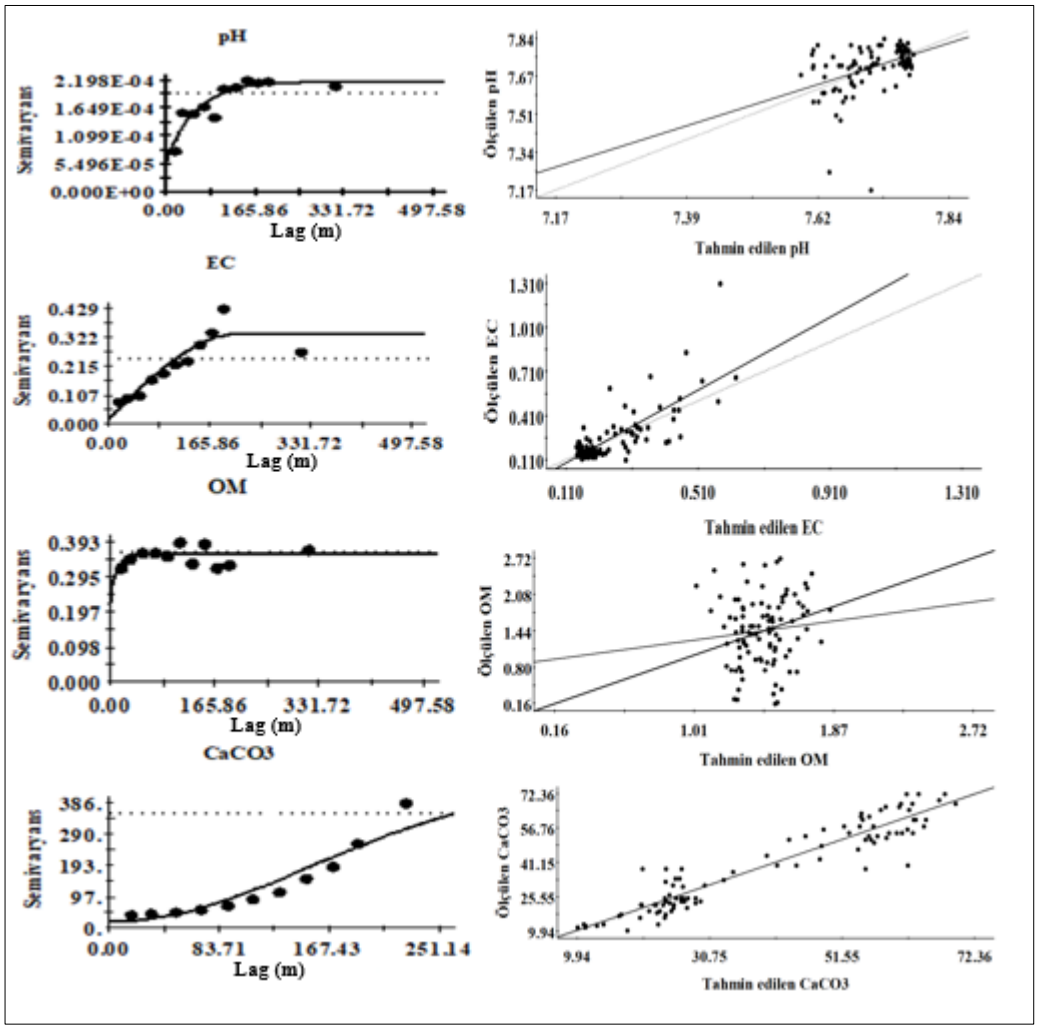
Şekil 4. 1 Toprak tekstürü göstergeleri kum, kil ve silt için semivariogram modelleri ve çapraz değerlendirme grafikleri



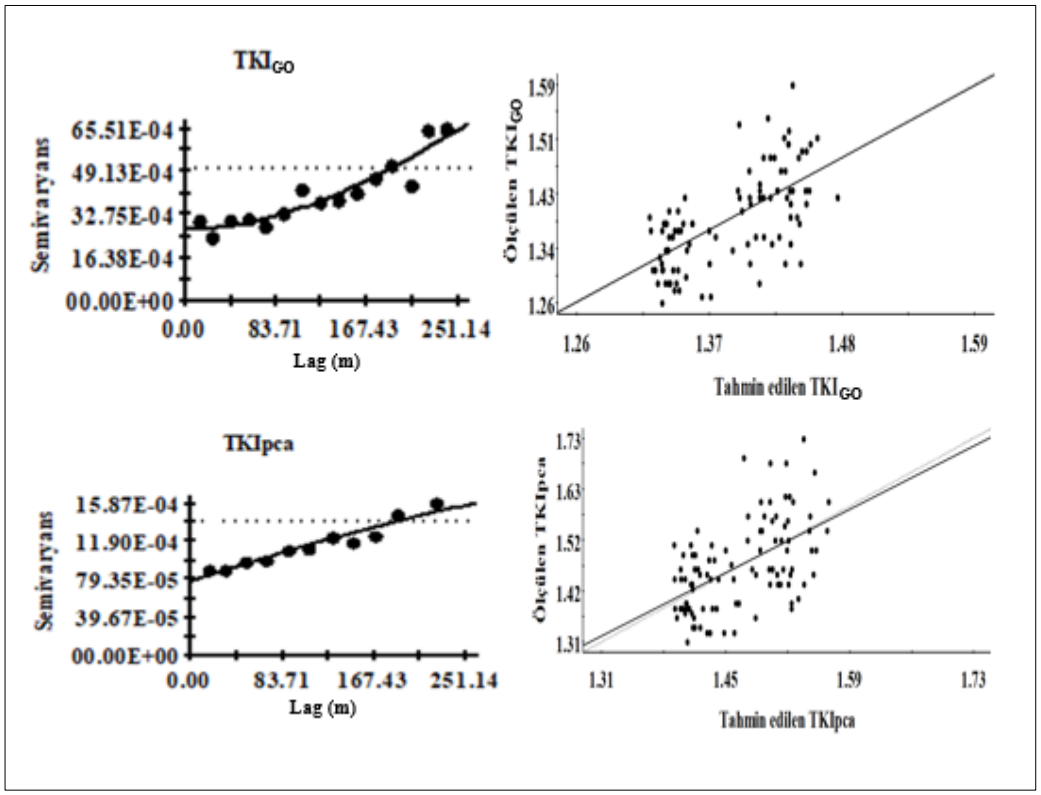
Şekil 4. 2 Hacim ağırlığı, agregat sabilitesi ve üst toprak derinliği için semivariogram modelleri ve çapraz değerlendirme grafikleri



Şekil 4. 3 Tarla kapasitesi (TK), solma noktası (SN) ve bitkiye yarayışlı su (BYS) için semivariogram modelleri ve çapraz değerlendirme grafikleri



Şekil 4. 4 OM ve $CaCO_3$ içeriği ile pH ve EC için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri



Şekil 4. 5 TKİ$_{GO}$ ve TKİ$_{PCA}$ için semivariogram ve çapraz değerlendirme grafikleri

4.3 Krigleme

Toprak özelliklerinin teorik modellerine ilişkin parametreler (sill, nugget, range) ordinary (bayağı) krigleme (OK) ile kullanılarak oluşturulan yüzey haritaları Şekil 4.5-4.19'da, krigleme perfomans göstergeleri ise Çizelge 4.3'de verilmiştir. Ölçülen değerler ve tahmin edilen değerlerin ortalaması birbirine yakındır, ancak tahmin edilen değerlerin standart sapması ile ölçülen değerlerin standart sapması oldukça farklıdır (Çizelge 4.3). Buradan, krigleme yönteminin toprak özelliklerinin çalışma alanındaki aritmetik ortalamasını başarıyla tahmin ederken, noktasal değerlerin tahmininde yeterince başarılı olmadığı anlaşılmaktadır. Hata karelarinin nispi ortalaması (RMSSE) ve çapraz değerlendirme korelasyon katsayısı ($r_{ÇD}$) krigleme başarısının değelendirilmesinde yaygın olarak

kullanılmaktadır. Çizelge 4.3 incelendiğinde HA, $TKİ_{GO}$ ve $TKİ_{PCA}$ için $r_{ÇD}$ değerleri 0,50'den büyük ve RMSSE değerleri ise %10'dan küçüktür. Dolasıyla HA, $TKİ_{PCA}$ ve TKI_{GO} tahminlerinin başarılı olduğu kabul edilebilir. Her nekadar $r_{ÇD}$ kriglemede bir başarı kriteri olarak kullanılsa da, bu kriter tek başına krigleme başarısını ölçmek için yeterli olmayabilir (Isaaks and Srivastava, 1989). Nitekim, $CaCO_3$ için $r_{ÇD}$ oldukça yüksek olmasına rağmen RMSSE değerinin de nispeten yüksek olduğu görülmektedir (Çizelge 4.3). Bu durumda kriglemin $CaCO_3$'ın uzaysal enterpolasyonudaki başarısı sorgulanabilir. Benzer durum EC ve silt için de geçerlidir.

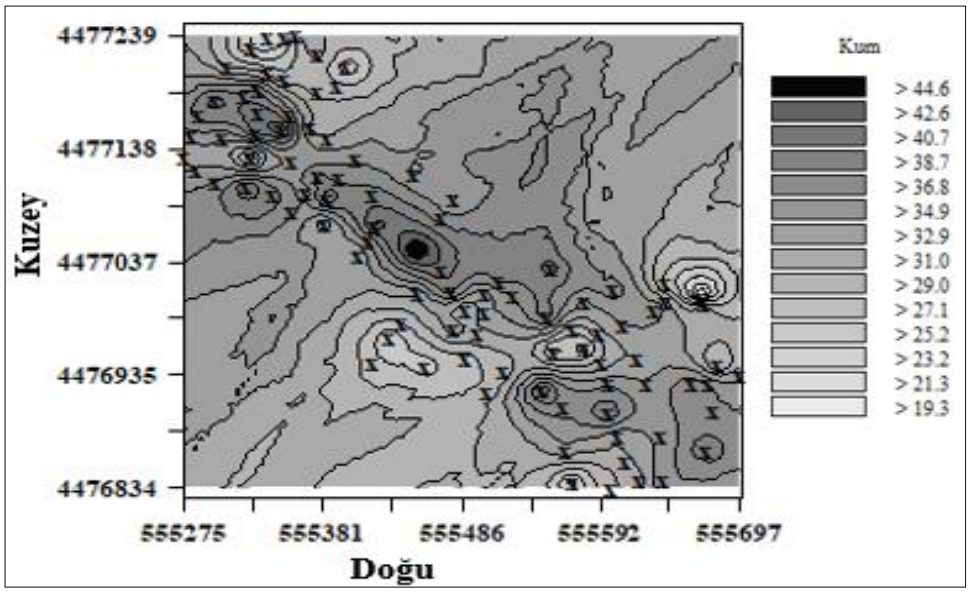
Çizelge 4. 3 Toprak özelliklerine ilişkin krigleme sonuçları ve krigleme tahmin başarı göstergeleri

Toprak özellikleri	Aritmetik ortalama		Standart Sapma		Varyasyon katsayısı		RMSSE	$r_{ÇD}$
	Ölçülen	Tahmin edilen	Ölçülen	Tahmin edilen	Ölçülen	Tahmin edilen		
Kum	34,30	34,11	6,23	10,84	18,20	31,80	0,13	0,49
Kil	47,20	47,11	4,87	8,89	10,32	18,87	0,08	0,45
Silt	18,51	18,39	4,57	3,51	24,69	19,09	0,15	0,59
HA	1,34	1,30	0,20	0,02	14,93	1,54	0,08	0,74
pH	7,71	7,69	0,10	$3,22\times10^{-3}$	1,30	$4,19\times10^{-4}$	0,01	0,43
EC	0,25	0,32	0,18	0,03	72,00	9,37	0,23	0,77
ASI	0,48	0,49	0,04	0,0002	8,33	0,04	0,07	0,04
OM	1,44	1,49	0,59	0,034	40,97	2,28	0,63	0,10
CaCO3	38,2	33,18	18,75	266,32	49,08	802.6	0,14	0,94
TK	36,86	36,79	8,68	13,30	23,55	36,15	0,24	0
SN	16,93	17,19	5,99	7,05	35,38	41,01	0,34	0,34
BYS	16,92	19,09	7,60	9,85	44,92	51,60	0,39	0,03
UTD	14,92	13,29	4,26	6,28	28,55	47,25	0,23	0,59
$TKİ_{GO}$	1,39	1,40	0,07	0,002	5,04	0,14	0,03	0,64
$TKİ_{PCA}$	1,47	1,48	0,09	$2,88\times10^{-3}$	6,12	0,19	0,04	0,53

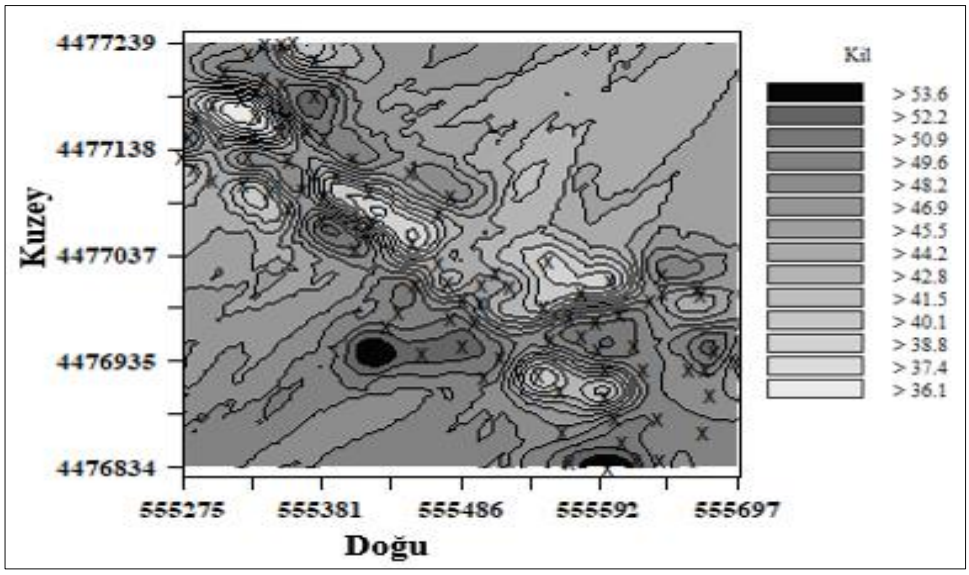
RMSSE: Nispi hata kareler ortalaması, HA: Hacim Ağırlığı, EC: Elektriksel İletkenlik, OM: Organik Madde, ASI:Agregat stabilite indeksi, TK: Tarla Kapasitesi Su Miktarı, SN: Solma Noktası Su Miktarı, BYS: Bitkiye Yarayışlı Su İçeriği, ÜTD: Üst Toprak Derinliği, TKİ: Toprak Kalite indeksi,

Toprak tekstürü, toprağın bir çok fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliğini etkiler (Arshad and Coen 1992, Dexter 2004). Şekiller 4.6, 4.7 ve 4.8 incelendiğinde toprak kil ve kum içeriğine ilişkin uzaysal değişim deseninin birbirinin tersi ve benzer olduğu ancak silt içeriğine ilişkin değişim deseninin arazi boyunca daha farklı davrandığı görülmektedir. Şekil

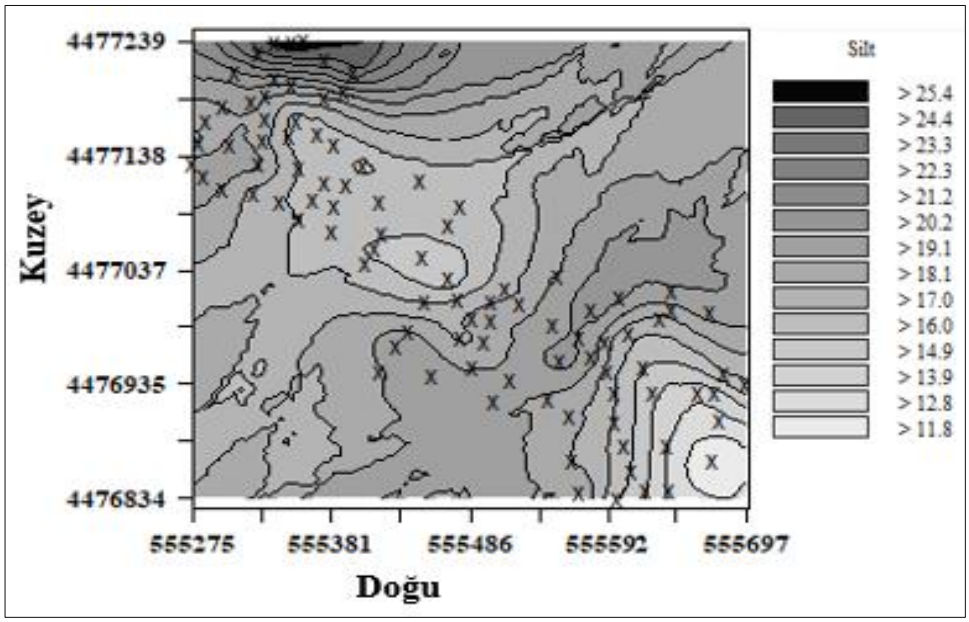
3.1 ile şekiller 4.6, 4.7 ve 4.8 kıyaslandığında ise toprak tekstür bileşenleri ile eğim ve yükselti arasında belirli bir ilişkinin olmadığı anlaşılmaktadır. Diğer taraftan, kil içeriğinin kum ve kil içeriğine nazaran arazi izerinde çok daha sık değiştiği söylenebilir (Şekil 3.7).



Şekil 4. 6 Kum içeriğinin çalışma alanında uzaysal değişim deseni



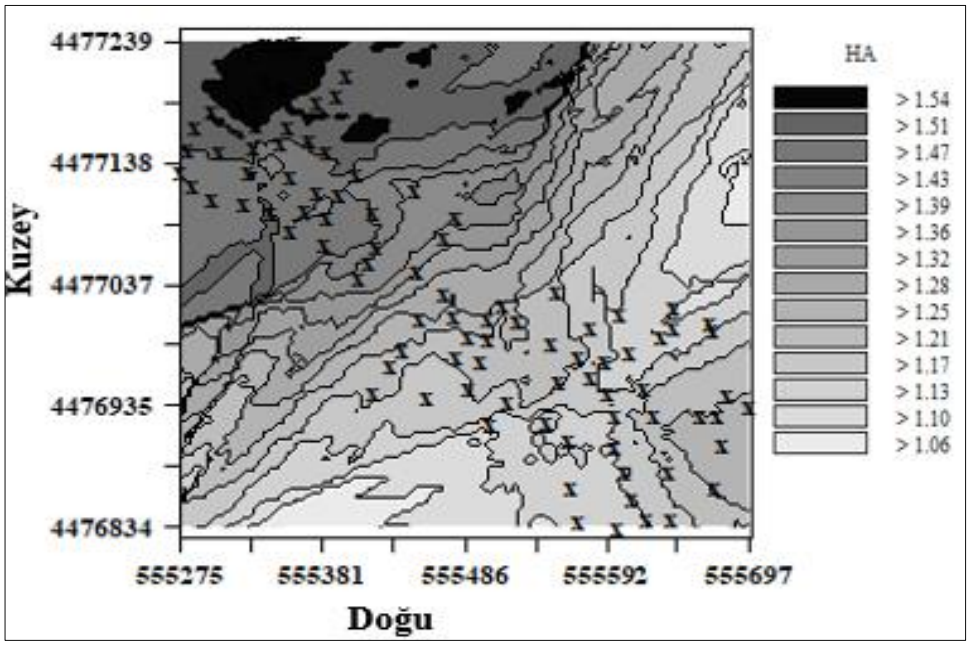
Şekil 4. 7 Kil içeriğinin çalışma alanında uzaysal değişim deseni



Şekil 4. 8 Silt içeriğinin çalışma alanında uzaysal değişim deseni

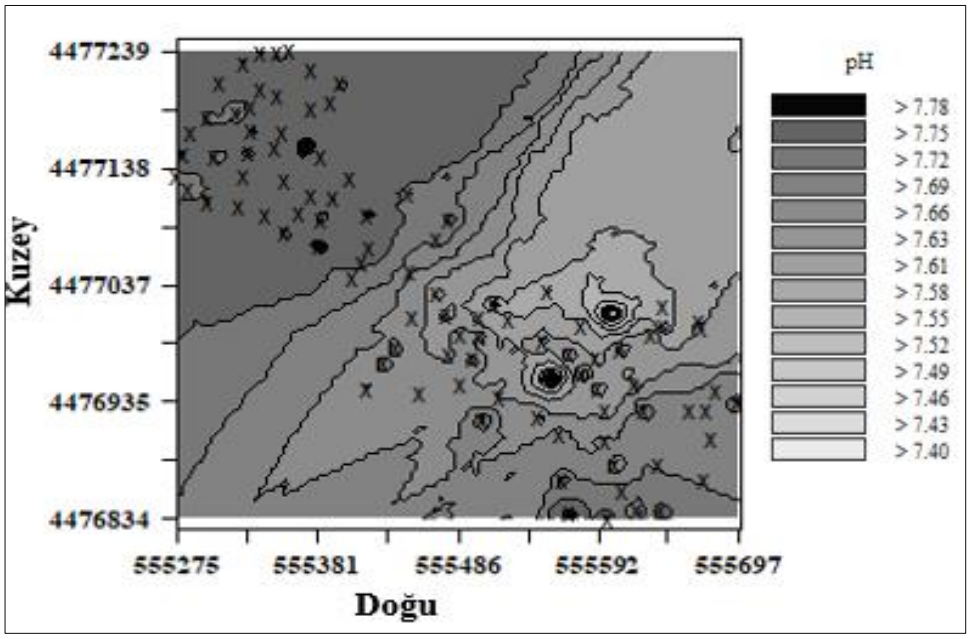
Şekil 3.1'deki Google haritasından arazide üç ana eğim olduğu sölenebilir: en yüksek eğimin olduğu üst bölge, en düşük eğimin olduğu orta bölge ve ikinci en yüksek eğimin olduğu alt bölge. HA, pH, EC, BYS ve $CaCO_3$ içeriğinin uzaysal değişim deseninin eğimden etkilendiği söylenebilir (Şekil 3.1 ve Şekil 4.9-4.14). Bu özellikler eğimin yüksek olduğu yerlerde daha yüsek değerler alma eğilimindedirler. Bunun başlıca nedeni, arazi boyunca eğimin yüksek olduğu yerlerden aşınan toprakların taşınarak eğimin daha düşük olduğu bölgelerde birikmesi olabilir. Diğer toprak özellikleri ise eğim veya yüksekliğe bağlı kalmaksızın yamalı bir uzaysal değişim deseni göstermektedirler.

Hacim ağırlığı eğimin fazla olduğu üst bölgelerde çok daha yüksek değerler almıştır. Ancak HA'nın eğimin nispeten daha düşük olduğu en alt bölgede orta bölgeye nazaran fazla değişmediği anlaşılmaktadır. Arazi gözlemleri hacim ağırlığının aşırı yüksek olduğu üst bölgede, üst toprak derinliğinin sıklıkla oldukça yetersiz olduğu ve 20 cm civarındaki bir derinlikten sonra hemen C horizonun başladığını göstermiştir.



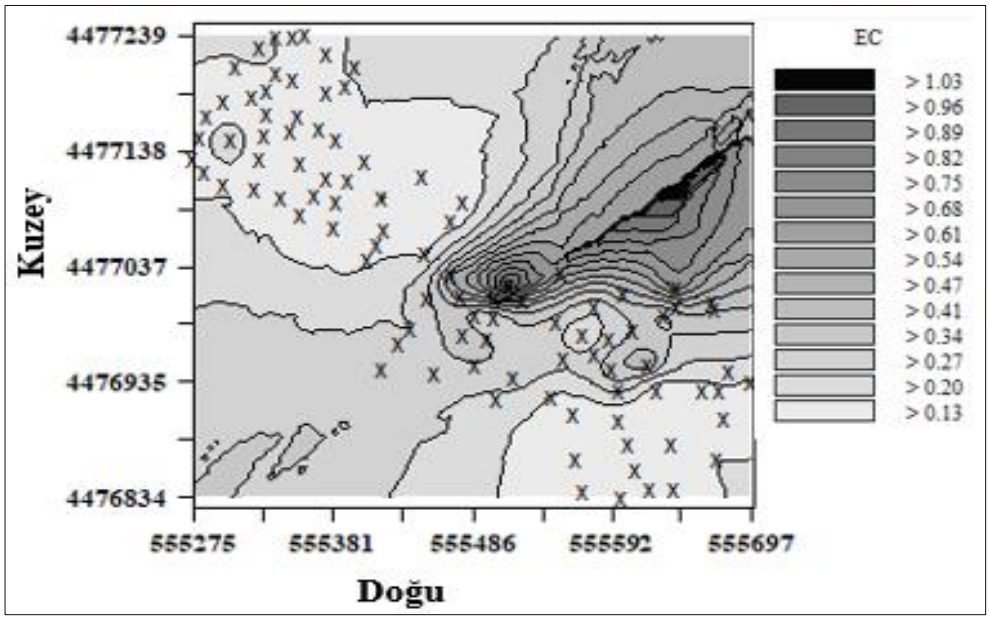
Şekil 4. 9 Hacim ağırlığı değerlerinin çalışma alanında uzaysal değişim deseni

Toprak pH'sı arazinin üst bölgesinde, orta ve alt bölgelerine nazaran çok daha yavaş bir değişim göstermektedir. Şekil 4.10 pH'nın genelde eğimle birlikte bir artma eğiliminde olduğunu göstermektedir. Şekil 4.10 ile şekiller 4.11 ve 4.14 karşılaştırıldığında, pH ile EC ve $CaCO_3$ içeriğinin uzysal değişim desenlerinin benzer oldukları, dolayısıyla pH'nın uzaysal değişkenliğinin belirli bir derecede EC ve $CaCO_3$ tarafından etkilendiği söylenebilir.



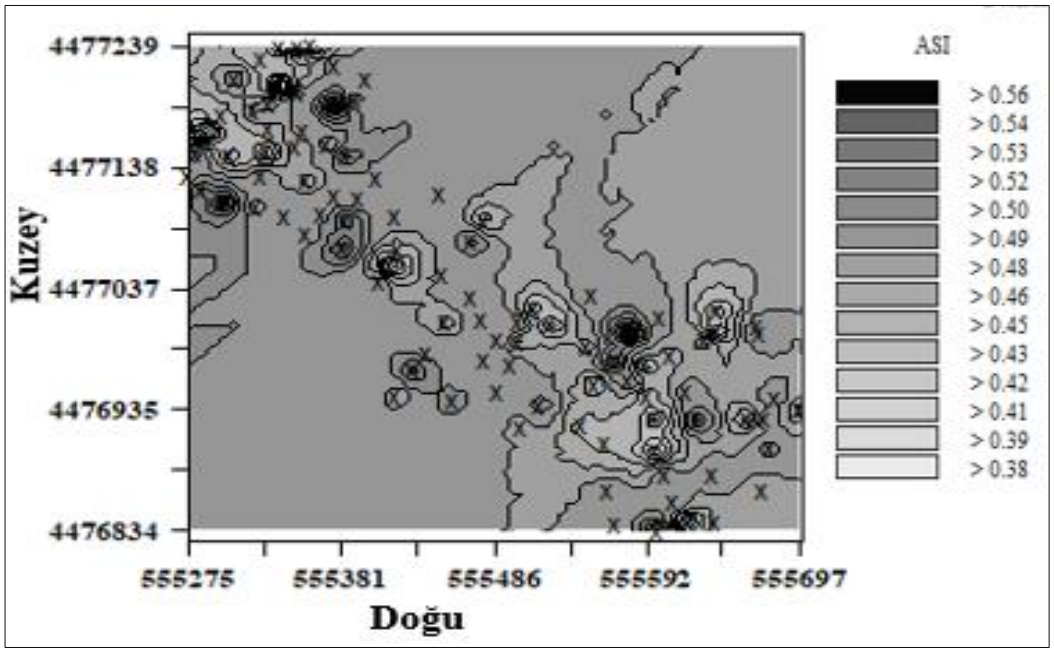
Şekil 4. 10 pH'nın çalışma alanında uzaysal değişim deseni

Toprak EC'si bitki gelişimini etkiler ve kendisi de birçok faktör tarafından etkilenir. EC üst yamaç bölgede fazla değişmemekte, ancak orta bölgede genelde artan bir değişim göstermektedir. Diğer taraftan arazinin orta bölgelerinde EC'nin hızla değiştiği (arttığı) bir lokal bölge dikkat çekmektedir. EC'nin arazideki bu uzaysal değişim deseninin daha çok arazide su hareketi ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Üst bölgeden yüzey üstü ve yüzey altı su hareketi ile taşınan kimyasallar, özellikle gübre ve ilaçlar ve onların türevleri, bu bölgelerde gelişigüzel birikerek EC'nin buradaki bu uzysal değişim desenine neden olmuş olabilirler.



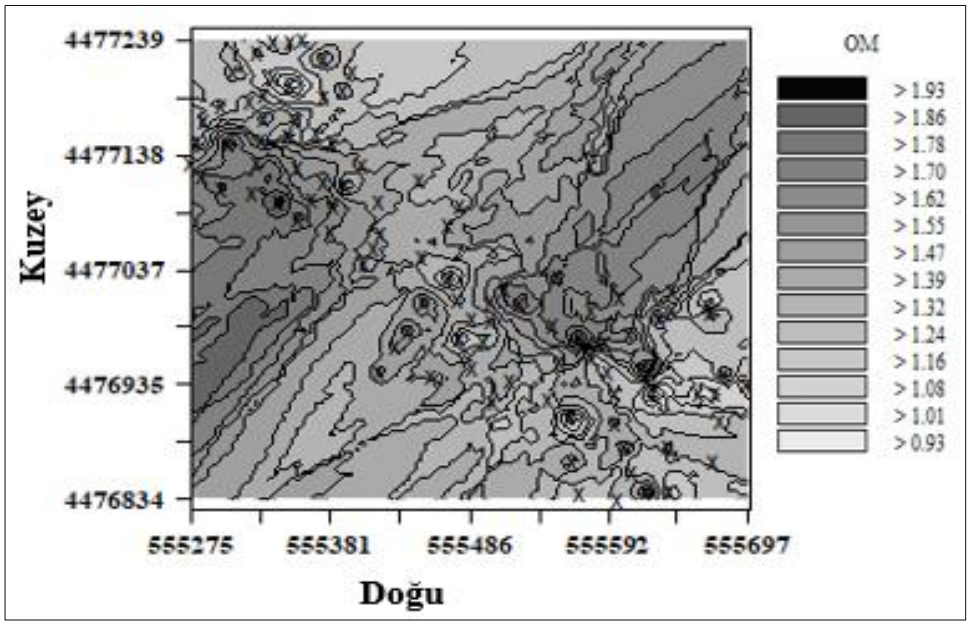
Şekil 4. 11 EC değerlerinin çalışma alanında uzaysal değişim deseni

Agreagat stabilite indeksi arazi boyunca yamalı bir değişim deseni sergilemektedir. Agregat stabilite indeksi, toprak stürktür dayanıklılığının bir göstergesi olup, özellikle toprak kil içeriği, organik madde içeriği ve $CaCO_3$ içeriği tarafından etkilenmektedir. Ancak, ASİ'nin uzaysal değişim deseni ile organik madde içeriği ve $CaCO_3$'ın uzaysal değişim desenleri arasında bir benzerlik olduğu söylenemez. Kil içeriği ile ASİ arasında ise azda olsa bir uzaysal ilişkinin olduğu düşünülebilir.



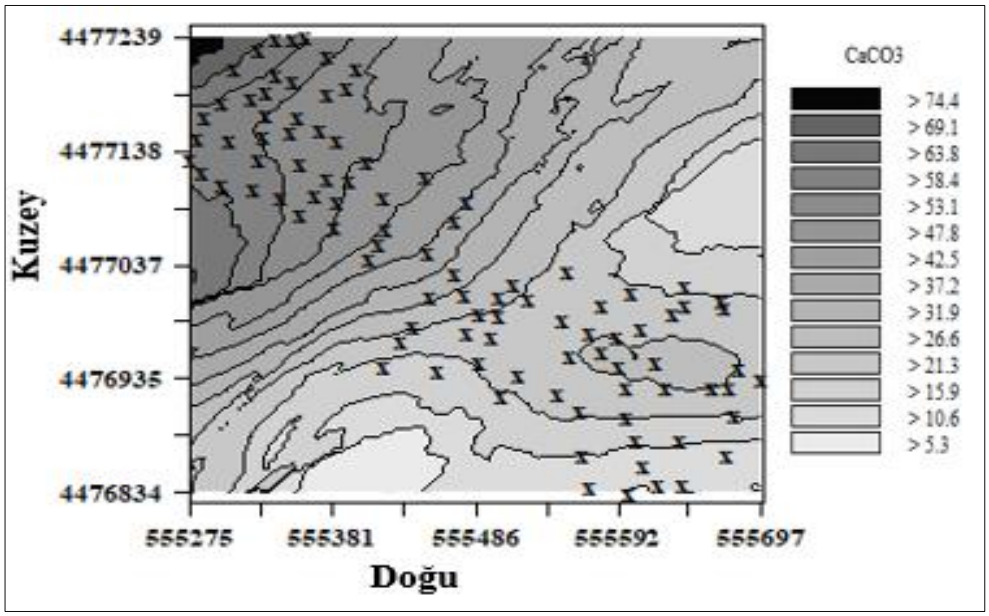
Şekil 4. 12 Agregat stabilitesinin çalışma alanında uzaysal değişim deseni

Toprakların organik madde içeriğinin uzaysal değişiminde yamalı bir yapı dikkat çekmektedir. Yani organik madde eğimle ya da yükselti ile düzenli bir değişim göstermemektedir. Buradan OM içeriğinin arazi üzerinde bu çalışmada yer verilen toprak özellikleri dışında diğer bazı faktöreler tarafından da kontrol edildiği düşünülebilir. Bu faktörler arasında toprak işleme, gübreleme ve hasat uygulamalarındaki lokal farklılıkların etkisi olabilir. Diğer taraftan toprak derinliği ve su tutma özelliklerinin toprak organik maddesi ile uzaysal ilişkili olduğu da düşünülmektedir. Çünkü bu özellikler, yanızla birlikte toprağa dönen organik madde miktarını etkilemektedir.



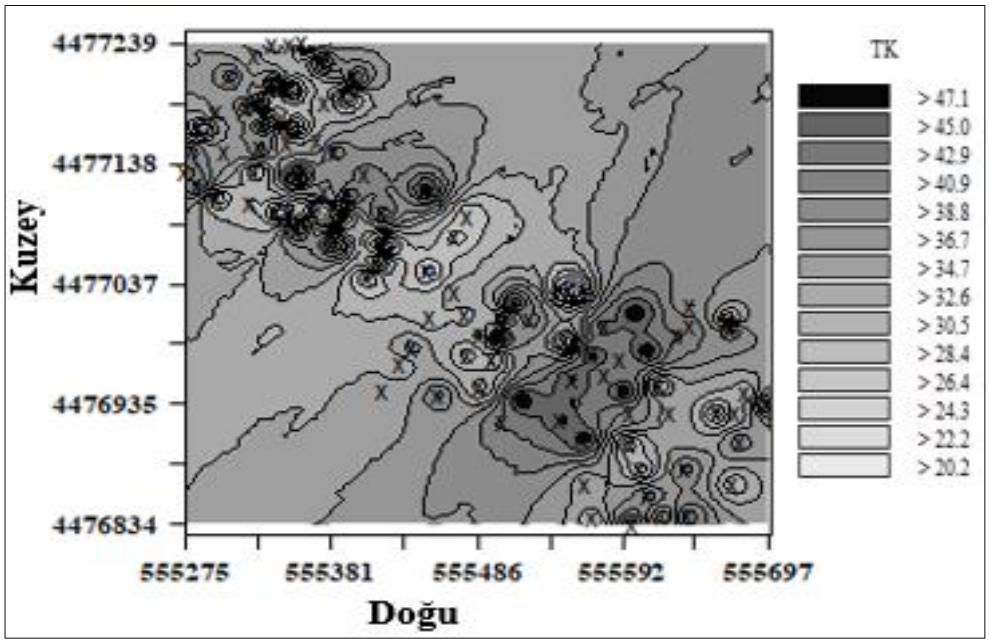
Şekil 4. 13 Organik Madde içeriğinin çalışma alanında uzaysal değişim deseni

Toprakların $CaCO_3$ içeriği yükselti ile birlikte düzenli olarak artmaktadır (Şekil 4.14). $CaCO_3$ içeriğin arazinin üst bölgelerinde daha fazla olması, $CaCO_3$'ın önemli ölçüde ana materyaldeki kirecin çözünmesinde kaynaklandığını düşündürmektedir. $CaCO_3$ birikimi veya $CaCO_3$ eksikliği bitkiler üzerinde olumsuz etkiler yaratır. Örneğin, bazik topraklarda $CaCO_3$ fosfor yarayışlılığını kontrol eden yegane faktörler arasındadır (Sposito 2008).

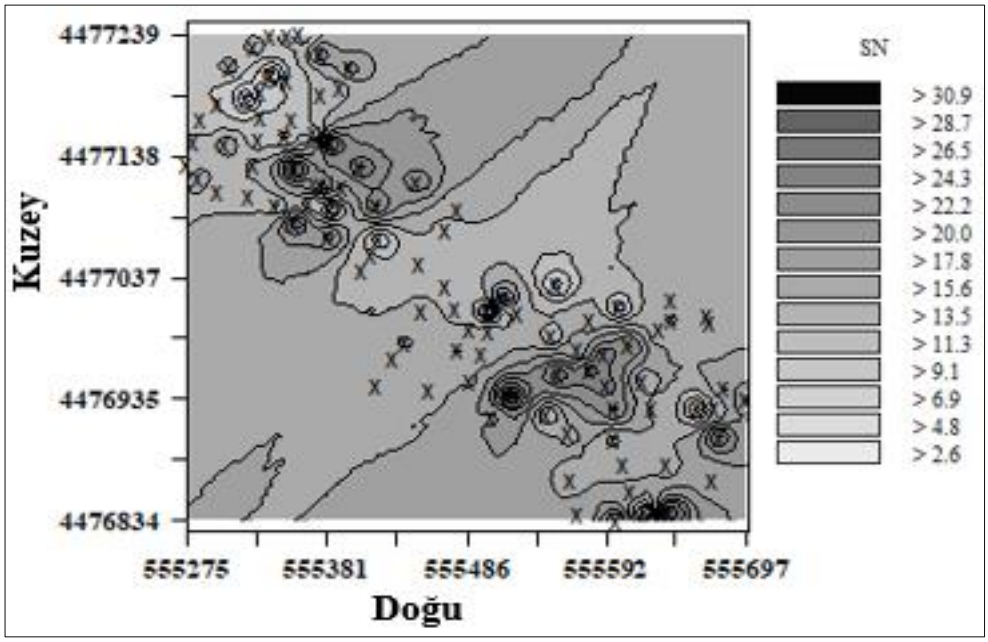


Şekil 4. 14 $CaCO_3$ içeriğinin çalışma alanında uzaysal değişim deseni

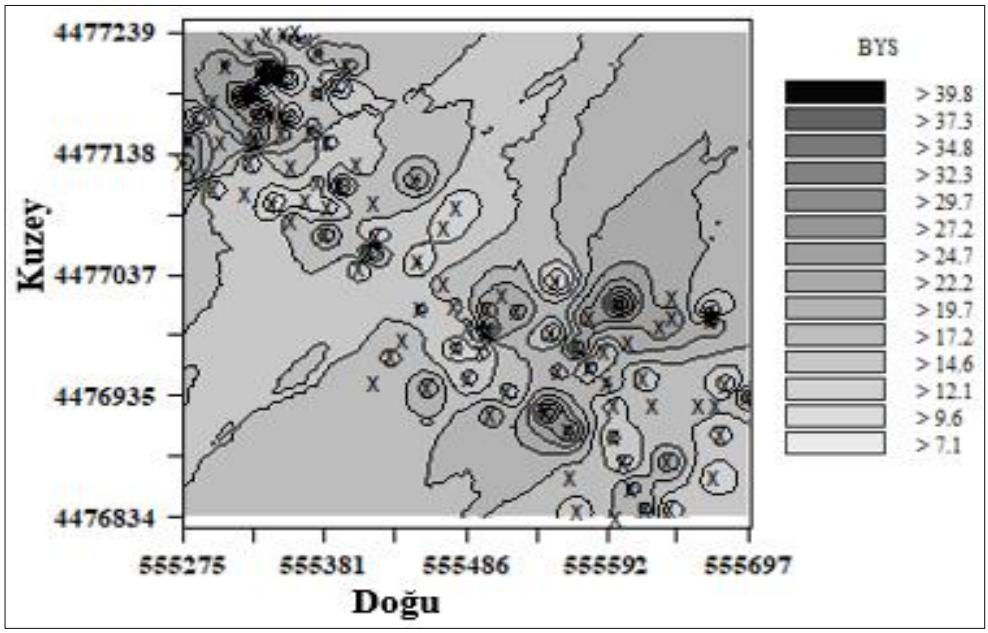
Toprak su tutma karakteristikleri (TK, SN, BYS) verimi etkileyen en önemli faktörler arasında gösterilmektedir. Toprakta tutulan su miktarı esas olarak toprağın, tekstürüne, yapısına ve derinliğine bağlıdır. Tarla kapasitesi (Şekil 4.14), solma noktası (Şekil 4.15) ve bitkiye yarayışlı su içeriğinin (Şekil 4.16) yüzey haritalari incelendiğinde, her üçünün de yamalı bir yapı gösterdiği görülmektedir. Toprak tekstürü, toprak strüktürü ve OM içeriği toprağın TK'sini etkileyen en önemli faktörlerdir. Diğer taraftan toprak tekstürü ve OM içerği SN'nı bariz olarak etkiler. Her üç özelliğin de arazi boyunca düzenli değişimi bariz olarak görülmemektedir. Yani değişimi kontrol başlıca faktör söz konusu değildir. Yamalı lokal alanlardaki ani artış ve düşüşler, toprak su tutma karakteristiklerinin birden fazla faktör ve bu faktörlerin çoklu etkileşimi tarafından kontrol edildiğini düşündürmektedir. Toprak suyunun tutlması ve toprakta suyun akışı ile özelliklerinin (TK, SN, Ks, vs) uzysal yapısı toprak tekstürü, toprak strüktürü, HA, OM içeriği ve daha bir çok toprak özelliğinin karşılıklı etkileşimi tarafıdan kontrol edilmektedir (Trangmar *et al.* 1985, Ersahin and Brohi 2006).



Şekil 4. 15 Tarla kapasitesi değerlerinin çalışma alanında uzaysal değişim deseni

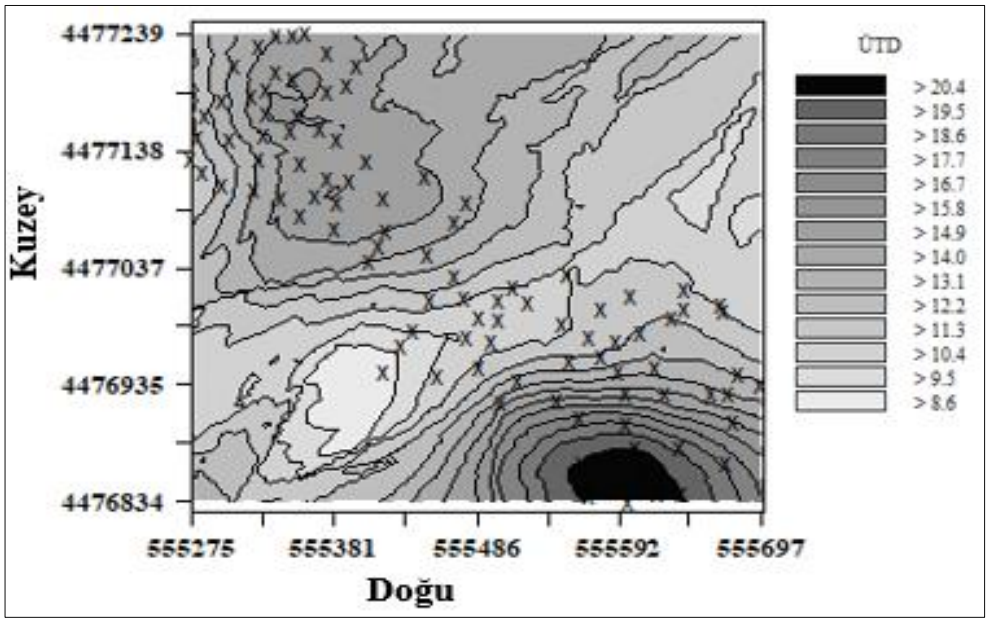


Şekil 4. 16 Solma noktası değerlerinin çalışma alanında uzaysal değişim deseni



Şekil 4. 17 Bitkiye yarayışlı su içeriğinin çalışma alanında uzaysal değişim deseni

Üst toprak derinliğine (cm) ilişkin yuzey haritası Şekil 4.17'de görülmektedir. Üst toprağın derinliği toprak tekstürü, toprak işleme (Sağlam 2008), toprak erozyonu ve arazi topografyasından doğrudan etkilenebilir. Şekil 3.1 ve 4.18 karşılaştırıldığında ÜTD'nin uzaysal yapısının eğimle belirgin bir ilşikisin olmadığı görülmektedir. Hatta, beklenmedik bir şekilde eğimin düşük olduğu, arazinin orta bölgelerinde ÜTD'nin daha düşük olduğu ve eğimin nispeten daha yüksek olduğu alt bölgelerde ise aniden arttığı dikkat çekmektedir. Bu durumun ana materyalin çalışma alanındadaki tipi ve uzysal dağılımı ile ilgili olduğu düşünülmektedir. Nitekim, çalışma esanasında gözlemlediğimiz ana materyaldeki ani ve sık değişim bu savı doğrular niteliktedir.



Şekil 4. 18 Üst toprak derinliğinin çalışma alanında uzaysal değişim deseni

4.4 Toprak Kalite İndeksinin Belirlenmesi ve Uzaysal Değişim Deseni

Bu çalışmda toprak kalite indeksi iki şekilde hesaplanmıştır: 1) geometrik ortalama kullanılarak ($TKİ_{GO}$) ve 2) PCA ile hasaplanan ağırlıklar kullanılarak ($TKİ_{PCA}$). Her iki yöntemde kullanılan skorlara ve hesaplanan toprak kalited indeksi için tanımsal istatistikler Çizelge 4.1'de verilmiştir. MEDALUS modeli olarak da bilinen $TKİ_{GO}$ Çizelge 3.1'deki ağırlıklar ve toprak özellikleri Eşitlik 3 ile kullanılarak hesaplanmıştır. $TKİ_{PCA}$ ise Çizelge 4.4'deki PCA ile elde edilen ağırlıklar ilgili toprak özellikleri ile kullanılarak hesaplanmıştır. Her iki değerin hesaplanmasında kullanılan skorlamada "daha yüksek olan daha iyidir" stratejisi benimsenmiştir.

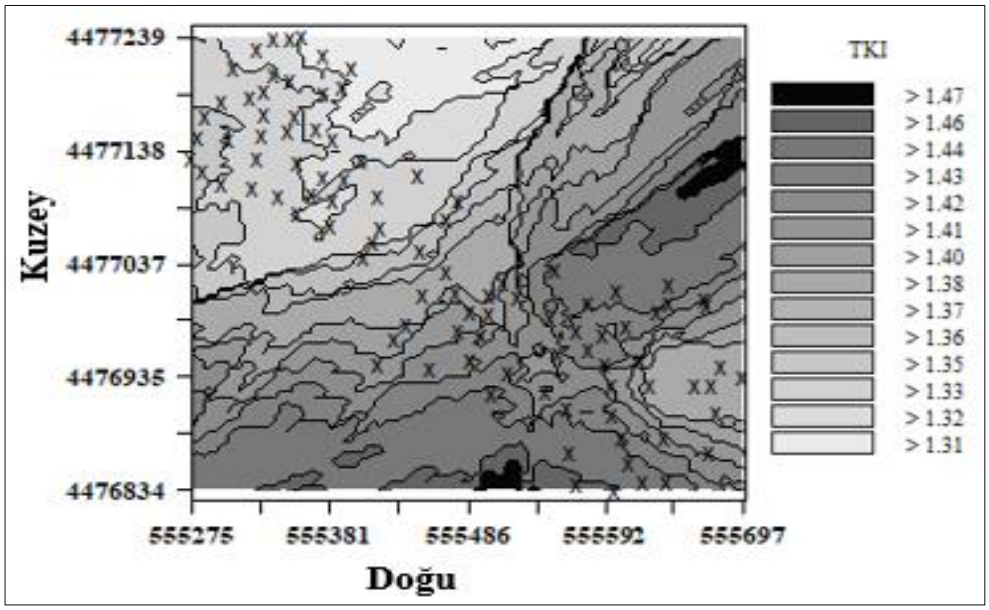
$TKİ_{GO}$ değerleri 1,26 ile 1,59 arasında değişmekte olup, ortalaması 1,39' dır. $TKİ_{PCA}$ değerleri ise 1,31 ile 1,73 arasında değişmekte olup ortalaması 1,47 'dır. Bu çalışmada TKİ değerleri; TKİ>1,77 ise yüksek kalite, 1,36<TKİ<1,77 orta kalite ve TKİ<1,36 şeklinde gruplandırılmıştır. Bu bağlamda, her iki yöntemle elde edilen ortalama değerler "orta" kalite

sınıfna girmektedir. Ancak, $TKİ_{GO}$ değerlerinin daha dar bir alanda toplandığı ve $TKİ_{PCA}$ değerlerinin ise ortalamasının daha yüksek olduğu görülmektedir (Çizelge 4.1). $TKİ_{GO}$ değerlerinin hesaplanmasında dokuz toprak özelliğinin tamamı kullanılrken, $TKİ_{PCA}$'nın hesaplanmasında altı toprak özelliği kullanılmıştır (Çizelge 4.4). Dolayısıyla, pH ve OM'den kaynaklanan olumsuzluklar TKI_{PCA}'nin hesaplamasına yansımadığından, TKI_{PCA} değerleri TKI_{GO} değerlerine nazaran daha yüksek çıktığı düşünülmektedir. TKI_{PCA} daha yüksek olmasının bir nedeni de, arazide genelde bir sorun teşkil etmeyen EC için en yüksek skor değerinin verilmiş olmasıdır. Dolayısıyla, EC'ni bu etkisi nedeniyle TKI_{PCA} değerleri belkide olması gerekenden daha yüksek çıkmıştır.

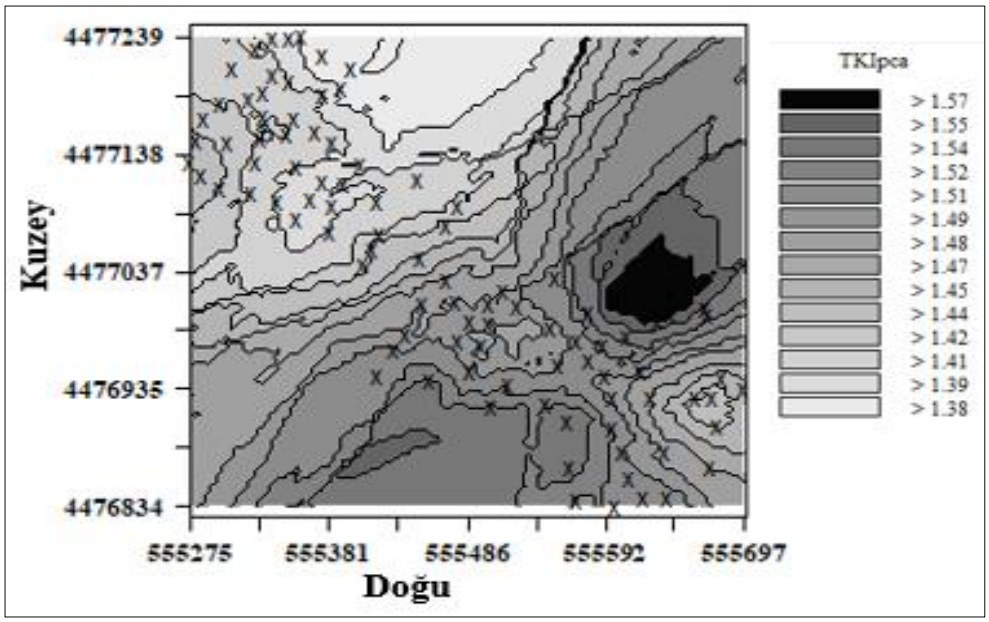
Çizelge 4. 4 Toprak kalite indeksleri ($TKİ_{GO}$ ve $TKİ_{PCA}$) altında tanımlanan parametrelere ait skorlar ve PCA yöntem ile elde edilen ağırlık değerleri

Toprak özellikleri	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Standart Sapma	PCA Ağırlık
Tekstür	1,20	1,70	1,24	0,13	0,14
HA (g/cm^3)	1,00	2,00	1,37	0,32	0,24
EC (dS/m)	1,70	2,00	2,00	0,03	0,24
ASI (%)	1,20	1,70	1,30	0,20	0,12
BYS (%)	1,10	2,00	1,55	0,29	0,12
UTD (cm)	1,00	1,40	1,20	0,09	0,12
pH	1,70	2,00	1,71	0,04	
OM (%)	1,00	1,40	1,20	0,11	
CaCO3 (%)	1,00	1,70	1,22	0,22	
$TKİ_{GO}$	1,26	1,59	1,39	0,07	
$TKİ_{PCA}$	1,31	1,73	1,47	0,09	

TKI_{GO} ve TKI_{PCA} değerlerinin arazideki uzaysal değişim desenleri büyük ölçüde benzerdir (Şekil 4.19 ve 4.20). Ancak, arazi üzerinde lokal bazı farklılıklar dikkat çekmektedir. Buradaki faklılığın yukarıda belirtildiği gibi iki yöntem arasındaki hesaplama farklılığından kaynaklandığı açıktır. Her iki yöntemle hesaplanan TKİ değerleri arazide eğime bağlı olarak bariz bir değişme göstermektedir. Şekil 3.1 ile şekiller 4.19 ve 4.20 kaşılaştırıldığında, beklendiği üzere eğimin yüksek olduğu üst bölgede TKİ değerlerinin genelde daha düşükolduğu dikkat çekmektedir.

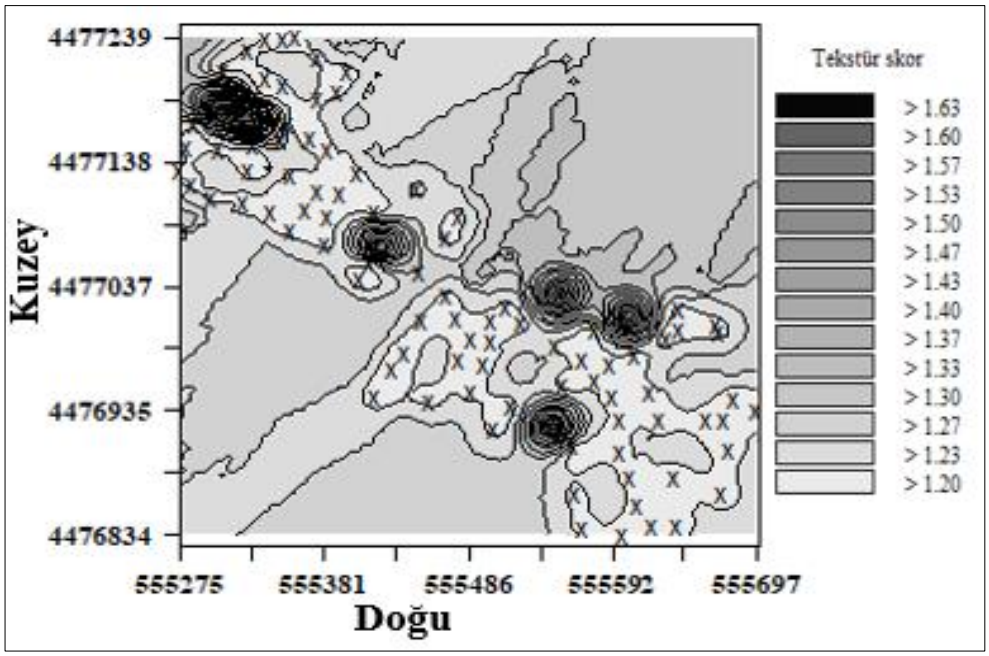


Şekil 4. 19 TKI_{GO} değerlerinin çalışma alanında uzaysal değişim deseni

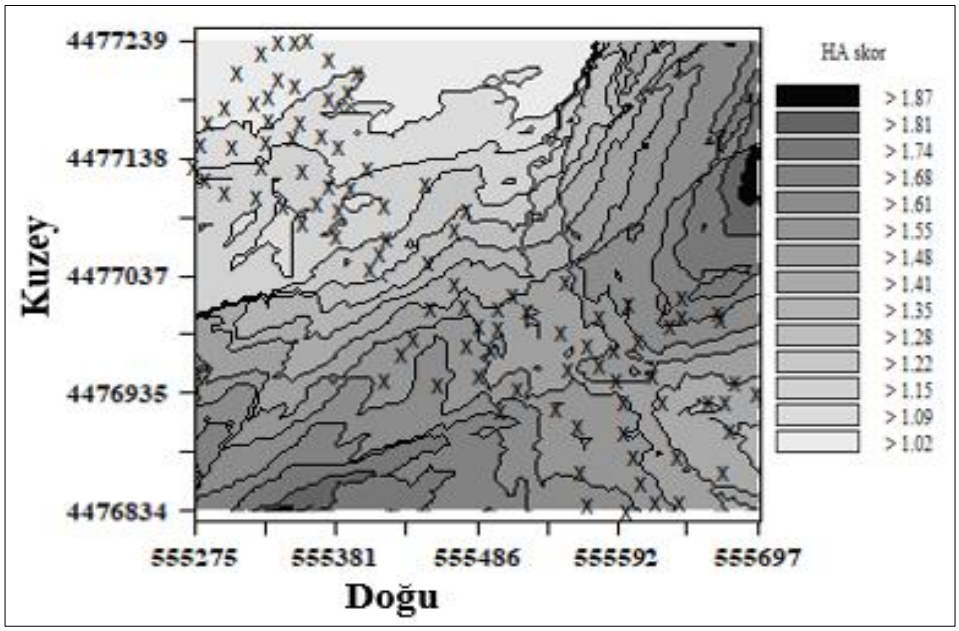


Şekil 4. 20 $TKİ_{PCA}$ değerlerinin çalışma alanında uzaysal değişim deseni

Şekiller 4.19 ve 4.20 şekiller 4.21-4.29 ile karşılaştırıldığında, HA ile TKİ arasında bariz bir uzaysal ilişkinin olduğu görülmektedir. TKI_{PCA}'nin hesaplanmasında HA ve EC en yüksek ağırlığa sahiptir (Çizelge 4.4). Dolayısıla TKI_{PCA} için böyle bir uzaysal ilişkinin çıkması normaldir. Ancak, aynı ilişkinin TKI_{GO} için de bulunmuş olması oldukça ilginçtir. Dolayısıyla, genellikle A_d olarak da nitelendirilen pulluk altı katmanın hacim ağırlığı çalışma alanında TKİ'nin uzaysal deseninde belirleyici bir etkiye sahiptir. Toprak suyu ve suda çözünmüş maddelerin hareketini ve toprağın havalanmasını etkilemesi nedeniyle HA toprak kalitesinin önemli göstergelerinden biridir (Chaudhari *et al.* 2013). Ancak, şekiller 4.19 ve 4.20 Şekil 4.21 ile karşılaştırıldığında toprak tekstürü ile TKİ arasında belirgin bir uzaysal ilişkinin olduğu söylenemez. Bunun nedeni ise toprak tekstürü skorlarının nispeten dar bir aralıkta değişmesi olabilir (Çizelge 4.4 ve Şekil 4.21).

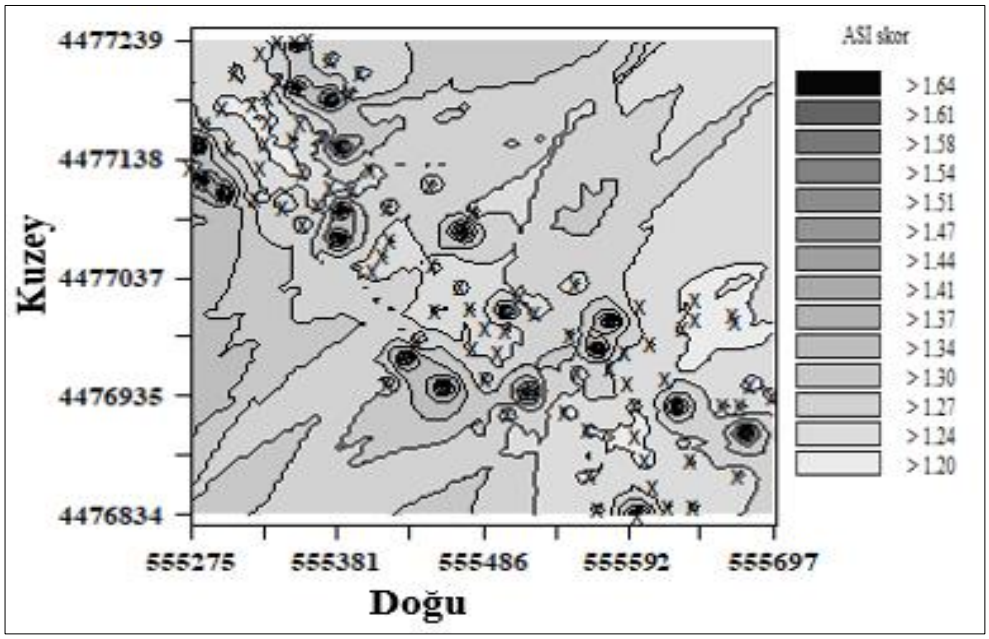


Şekil 4. 21 Tekstür skorlarının çalışma alanında uzaysal değişim deseni

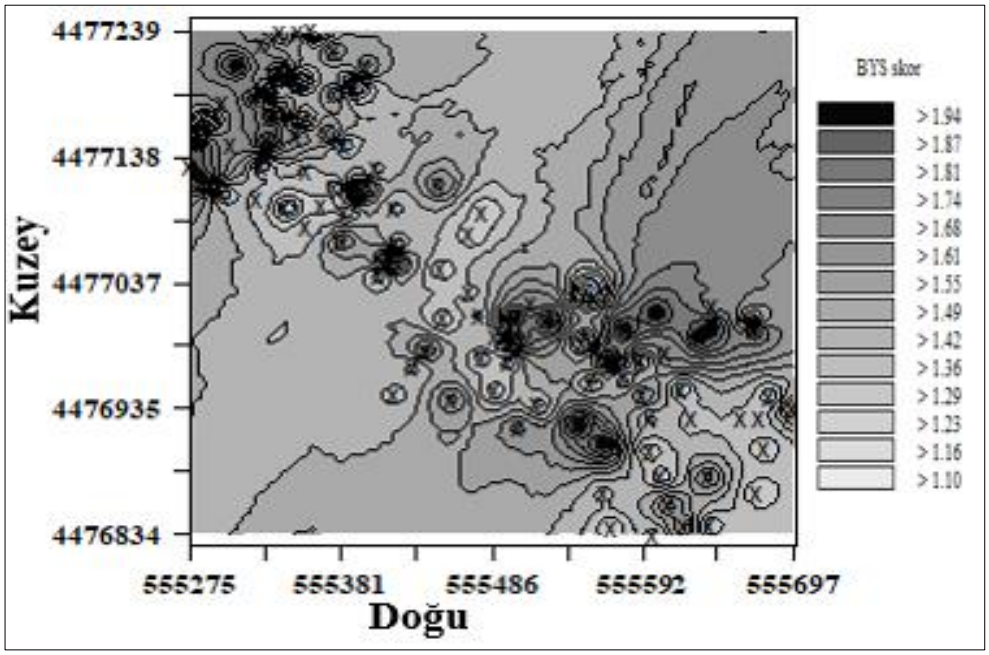


Şekil 4. 22 Hacim ağırlığı skorlarının çalışma alanında uzaysal değişim deseni

Agregat stabilite indeksi (ASİ), toprağın su ve rüzgar erozyonuna karşı dayanıklılığı açısından önemli bir faktördür (Zhu *et al.* 2016). ASİ skorları 1,2 – 1,7 arasında değişmekte olup ortalama 1,30'dur (Çizelge 4.4). Ancak ASİ'nin uzysal değişim deseni ile TKİ'nin uzaysal değişim deseni arasında belirgin bir ilişki olduğu söylenemez. Şekile 3.1 ile Şekil 4.23 kaşılışatırıldığında, ASİ skorlarının uzaysal değişimi ile arazinin topografyası arasında önemli bir ilişkinin olmadığı görülmektedir. Ancak, BYS ile TKİ arasında az olsada bir uzaysal ilişki vardır. BYS'nin yüzey haritası (Şekil 4.24) dikkatlice incelendiğinde, iki farklı uzaysal yapı dikkat çekmektedir: 1) arazinin en üst bölgesi hariç, eğim ile düzenli olarak değişen ana yapı ve 2) düşük ve yüksek değerli lokal alanların arazi üzerinde gelişigüzel dağıldığı yamalı (patchy) yapı. Ana yapının TKİ'nin uzaysal deseni ile benzerlik gösterdiği söylenebilir (Şekiller 4.19, 4.20 ve 4.24).

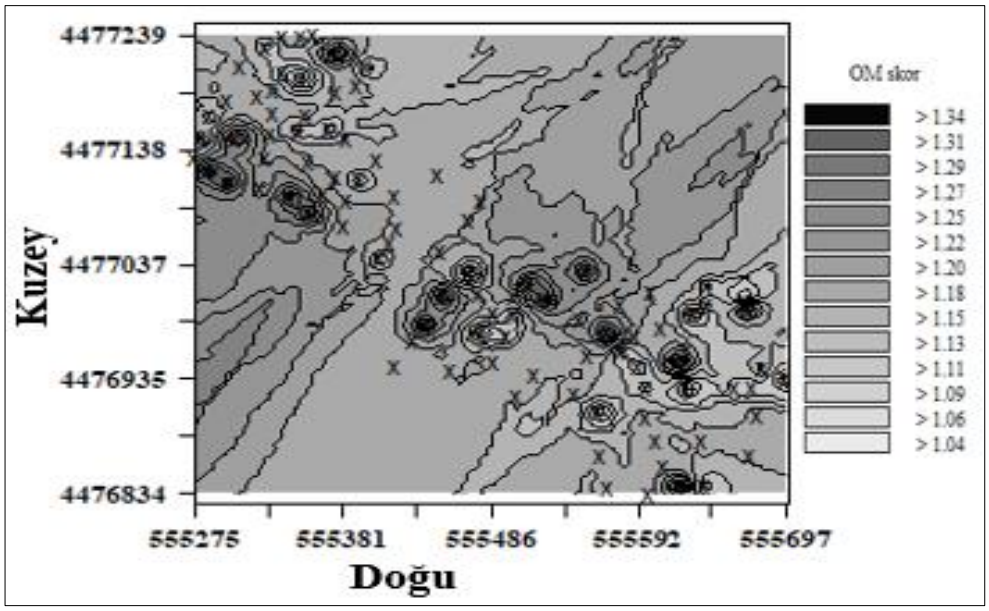


Şekil 4. 23 Agregat stabilitesinin skorlarının çalışma alanında uzaysal değişim deseni



Şekil 4. 24 Bitkiye yarayıslı su içeriği (BYS) skorlarının çalışma alanında uzaysal değişim deseni

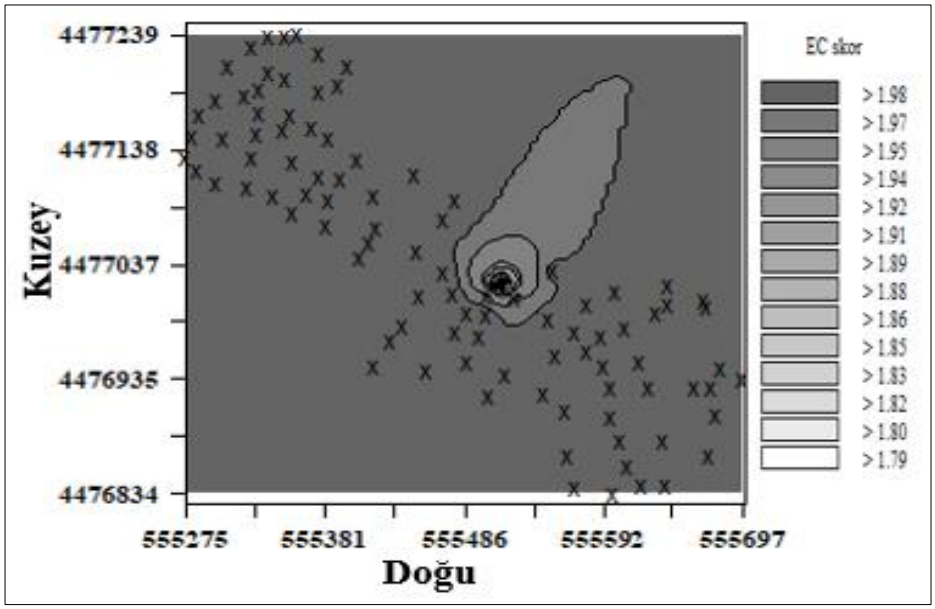
Toprak OM içeriğinin skor değerleri 1,0 ve 1,4 arasında değişmektedir (Çizelge 4.4). Çalışma alanında organik madde içeriği düşüktür. OM'nin skor değerlerinin uzaysal değişim deseni ile TKİ'nin uzaysal değişim deseni arasında da bariz ilişki oluşmamış olup, bu durumun organik madde skorlarının dar bir alanda toplanmış olmasına bağlanabilir (Şekil 5.25). Toprak OM içeriğinin toprak kalitesinin en önemli göstergelerinden biri olduğu yaygın olarak kabül edilmektedir. Ancak, bizim çalışmamızda organik madde içeriğinin TKİ'nin uzaysal değişkenliği üzerine belirgin etkisi belirlenmemiştir.



Şekil 4. 25 Organik madde skorlarının çalışma alanında uzaysal değişim deseni

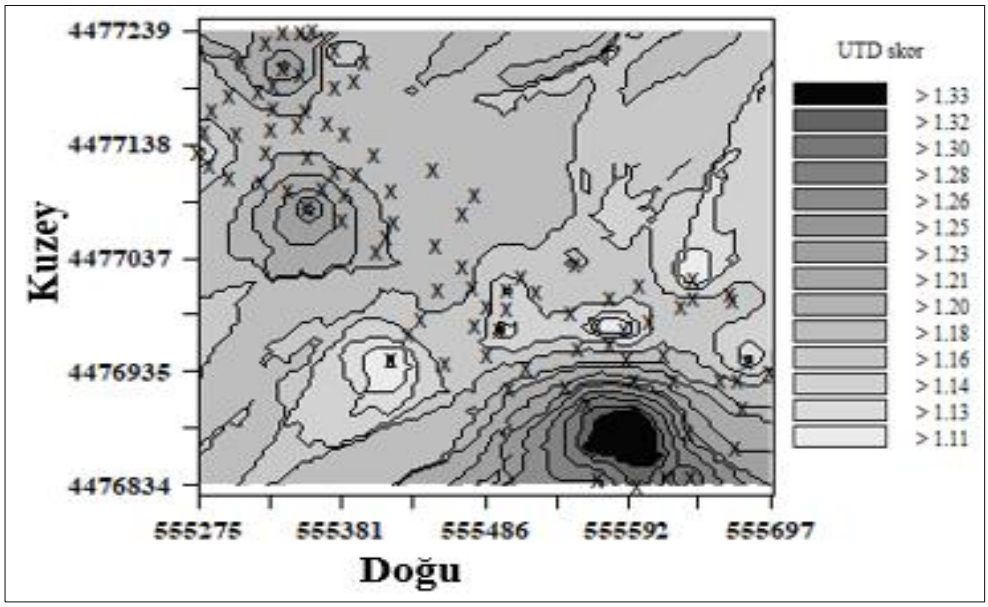
Çalışma alnında EC değerleri 1,79 ve 1,97 arasında değişmektedir. Ancak EC skorları bir lokal bölge dışında arazi boyunca aynı kalmaktadır (Şekil 4.25). Dolayısıyla, çalışma alanı topraklarında EC toprak kalitesini çok az etkilemektedir. Ancak, $TKİ_{PCA}$ değerlerinin hesaplanmasında EC'nin en yüksek ağırlığı alan iki özellikten birisi olduğu düşünüldüğünde,

EC'nin daha önce de belirtildiği gibi TKI_{PCA} değerlerini şişirdiği söylenebilir-ki bu belki de PCA yöntemi ile TKİ hesaplanmasının en zayıf yönünü oluşturabilir.



Şekil 4. 26 EC skorların çalışma alanında uzaysal değişim deseni

Üst toprak derinliği (ÜTD) toprak kalitesinin önemli bir göstergesi olup, çalışma alanında 1,0 ve 1,4 arasında değişen değerler almıştır (Çizelge 4.4). Tıpkı HA'da olduğu gibi UTD de TKİ'nin uzaysal değişim desenine benzer bir uzaysal yapı göstermektedir ve yinetıpkı TKİ değerlerinde olduğu gibi ÜTD değerlerinin de arazide yükselti ve eğim ile düzenli olarak değiştiği söylenebilir. Diğer taraftan, ÜTD'de de tıpkı BTY'de olduğu gibi iki ayrı uzaysal yapının olduğu dikkat çekmektedir ve ÜTD'de de ana yapıdaki değişim deseni TKİ'deki değişim desenine benzerdir. Dolayısıyla tıpkı HA'da olduğu gibi, ÜTD'de çalışma alanında TKİ'nin uzysal değişim desinini belirgin bir şekilde etkilemiştir.

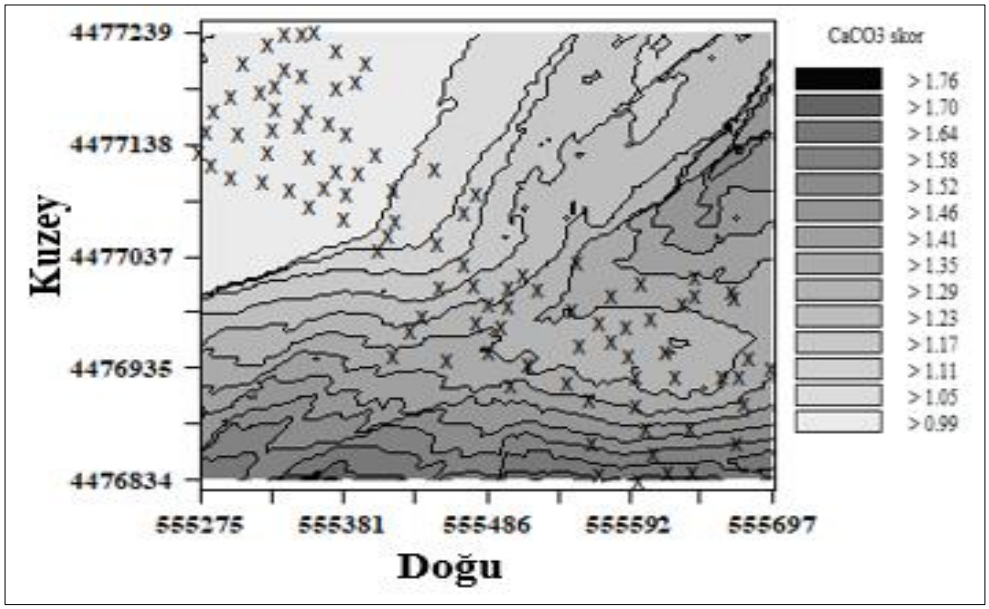


Şekil 4. 27 Üst toprak derinliğinin skorlarının çalışma alanında uzaysal değişim deseni

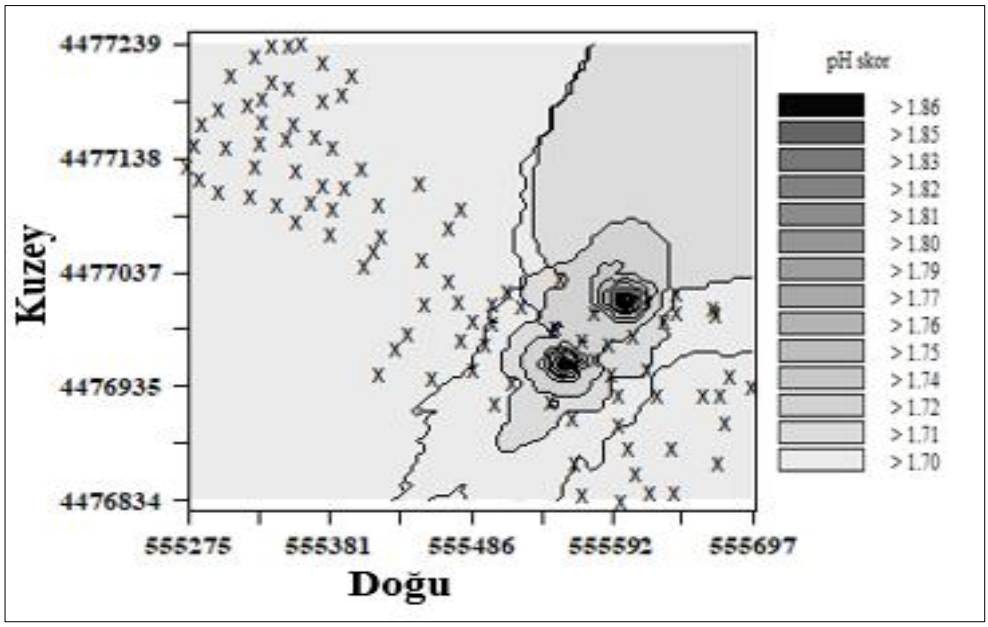
Toprakların $CaCO_3$ içeriği için elde edilen skorlara ilişkin uzaysal değişim deseni Şekil 4.27'de verilmiştir.$CaCO_3$ skorlarının haritası (Şekil 4.28) incelendiğinde buradaki uzaysal değişim deseninin TKİ için elde edilen uzysal değişim desenleri (Şekil 4.19 ve 4.20) ile oldukça benzer olduğu dikkat çekmektedir. Çalışma alanı topraklarının $CaCO_3$ içeriği toprak kalitesini önemli ölçüde sınırlanırabilcek niteliktedir. Çalışma alanının $CaCO_3$ içeriğine ilişkin kirgleme haritasi (Şekil 4.14) ile $CaCO_3$ içeriğine ilişkin skorların krigleme haritası (Şekil 4.28) birbirlerinin tamamen tersidir, çünkü $CaCO_3$ için skorlamda "daha düşük daha iyidir" stratejsi kullanılmıştır.

Toprak pH'sı toprak verimliliğini etkileyen önemli toprak değişkenleri arasındadır. Çalışma alanı topraklarının pH'sına ilişkin skorlar 1,70 ve 1,86 arasında değişmektedir. Buradan çalışma alanında pH'nın toprak kalitesi üzerine önemli bir sınırlayıcı etkisinin olduğu söylenemez. Ancak, Şekil 4.29 incelendiğinde, pH'nın arazinin büyük bir kısmında 1,7'li,

küçük bir kısmında ise 1,8'li değerler aldığı görülmektedir. pH skorlarındaki ana değişim deseni, az da olsa TKİ ile benzerlik göstermektedir.



Şekil 4. 28 CaCO3 skorlarının çalışma alanında uzaysal değişim deseni



Şekil 4. 29 pH skorlarının çalışma alanında uzaysal değişim deseni

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması Çankırı şehir merkezine yaklaşık 20 km mesafede, Aşağı Pelitözü köyü arazilerinde yürütülmüştür. Çalışma ile toprakların kalite indeksi geometrik ortalama (GO) ve başlıca bileşenler yöntemi (PCA) ne göre hesaplanmış ve daha sonra hesaplanan değerlerin uzaysal değişkenliği jeoistatistiksel yöntemler ile modellenmiştir. Geometrik ortalama ile hesaplanan kalite indeksi ($TKİ_{GO}$) değerleri başlıca bileşenler yöntemi ile hesaplanan kalite indeksi ($TKİ_{PCA}$) değerlerine göre hem daha düşük hem de daha az değişkendir. Bunun nedeni PCA yönteminde toprakların EC'sine fazla ağrılık verilmiş olmasına bağlanmıştır. Ancak, topraklarının her iki yönteme göre hesaplanan kalite indeksi "orta" dır. Eğim, alt toprak hacim ağırlığı, $CaCO_3$ içeriği, pH ve üst toprak kalınlığının çalışma alanı topraklarının kalite indeksinin uzysal değişkenliğini etkileyen önemli değişkenler olduğu belirlenmiştir.

$TKİ_{PCA}$ ve $TKİ_{GO}$ için semivaryogramlar ve yüzey haritalarına bakıldığında her iki yönteme göre hesaplanan TKİ değerlerinin genel trend sergilediği anlaşılmaktadır. Bunun nedeninin eğimle ters yönde artan alt toprağın hacim ağırlığı, üst toprak kalınlığı ve $CaCO_3$ içeriği ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Nitekim bu toprak özelliklerinin yüzey haritaları ile TKİ değerlerinin yüzey haritalarındaki benzerlik bu savı doğrulamaktadır. Özellikle eğimli alanlarda yapılcak benzer çalışmalarda TKİ değerlerinin genel eğim (trend) gösterebileceği varsayılarak, çalışma alanının daha geniş turulmasında fayda vardır.

Bu tez çalışmasını en önemli iki sonucu: 1) TKİ değerlerinin, hesaplamada kullanılan yöntemlere hassas olduğu ve PCA yönteminin bazı değişkenlere verdiği ağırlığın, sonucu önemli şekilde etkilediği, 2) TKİ değerlerinin hesaplanmasında kullanılan bazı toprak özelliklerinin uzaysal yapısının TKİ değerlerinin uzaysal yapısının şekillenmesinde belirleyici etkisinin olduğu, bu etkinin ise toprak-topografya ilişkisi tarafından belirlendiğidir.

KAYNAKLAR

Acir, N. 2014. Kurak Ve Yarı-Kurak Bölge Topraklarının Toprak Kalitesinin Belirlenmesinde Kullanılacak Minimum Veri Setlerinin Hazırlanması, Doktora Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,Tokat.

Akbaş, F. 2012. Tokat Kazova topraklarının yarayışlı fosfor düzeyinin jeoistatistik tahmin ve simulasyon metodlarıyla modellenmesi ve haritalanması. Tarım Bilimleri Dergisi **18** : 63–76. DOI: 10.1501/Tarimbil_0000001193

Andrews, S.S., Karlen, D.L., and Cambardella CA. 2004. The Soil Management Assessment Framework. Soil Science Society of America Journal : 68(6), 1945-1962. DOI: 10.2136/sssaj2004.1945.

Andrews, S.S., Karlen, D.L., and Mitchell, J.P. 2002. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. Agriculture, Ecosystems & Environment, : 90(1), 25–45.

Andrews, S., Karlen, D., and Cambardella, C. 2004. The Soil Management Assessment Framework: A Quantitative Soil Quality Evaluation Method. Soil Science Society of America Journal DOI: 10.2136/sssaj2004.1945.

Andrews, S.S., and Carroll, C.R. 2001. Designing a soil quality assessment tool for sustainable agroecosystem management. Ecological Applications **11(6),** : 1573-1585. DOI: 10.1890/1051-0761(2001)011[1573:DASQAT]2.0.CO;2

Andrews, S.S., Karlen, D.L., and Cambardella, C.A. 2010. The Soil Management Assessment Framework. Soil Science Society of America Journal **68** : 1945. DOI: 10.2136/sssaj2004.1945

Anonim. 2020. Sol. https://definition-simple.com/sol/ (erişim tarihi: 20/09/2020).

Arshad, M.A., and Coen G. 1992. Characterization of soil quality: physical and chemical criteria. American Journal of Alternative Agriculture : 7(1-2): 25-31.

Arshad, M.A, and Martin, S. 2002. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. Agriculture, Ecosystems and Environment **88** : 153–160. DOI: 10.1016/S0167-8809(01)00252-3

Avcı, S.A. 2019. Yoğun Tarımsal Üretimin Yapıldığı Yukarı Dicle Havzasında Toprak Kalitesinin Farklı Yöntemlerle Değerlendirilmesi, Yüksek lisans tezi, Siirt Üniversitesi.

Birgili, S.R.Y. 2015. Çankırı–Çorum havzasinin jeolojisi ve petrol olanaklari. MTA Raporu.

Blake, G.R., and Hardge, K.H. 1986. Bulk Density. In Methods of Soil Analysis: Part 1. Physical and Mineralogical Methods , Klute. A (ed). American Society of Agronomy-Soil Science Society of America: Madison; 363–375.

Bohling, G. 2005. Introduction to Geostatistics and Variogram Analysis. In Kansas Geological Survey, 864-2093.

Budak, M., Gunal, H., Celik, I., Yildiz H., Acir, N., and Acar M. 2018. Soil quality assesment of upper Tigris basin. Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences : 13(1), 301-316. DOI: 10.26471/cjees/2018/013/026.

Budak, M. 2012. Tuzlu alkali toprakların oluşumu, sınıflandırılması ve klasik toprak etüd ve jeoistatistik yöntemlerle haritalanması, Doktora tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi

Cambardella, C.A., Moorman, T.B., Parkin, T.B., Karlen, D.L., Novak, J.M., Turco, R.F., and Konopka AE. 1994a. Field-Scale Variability of Soil Properties in Central Iowa Soils. Soil Science Society of America Journal **58 (5):** : 1501-1511. DOI: 10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x

Cambardella, C.A., Moorman, T.B., Parkin, T.B., Karlen, D.L., Novak, J.M., Turco, R.F., and Konopka AE. 1994b. Field-Scale Variabillity of soil properties in Central Iowa Soils. Soil Sci. Soc. Am. J., : 58 (5): 1501-1511.

Caravaca, F., Masciandaro, G., and Ceccanti, B. 2002. Land use in relation to soil chemical and biochemical properties in a semiarid Mediterranean environment. Soil and Tillage Research **68** : 23–30. DOI: 10.1016/S0167-1987(02)00080-6.

Cassel, D., and Nielsen, D. 1986. Field capacity and available water capacity. In Methods of Soil Analysis: Part 1—Physical and Mineralogical Methods , Klute A (ed). American Society of Agronomy and Soil Science Society of America: Modsion; 901–926.

Cebel, N. 2011. Toprak Kalitesinin Korunması ve Geliştirilmesi. Bilim ve Aklın Aydınlığında Eğitim, 34-38.

ÇEM. 2017. Türkiye Çölleşme Modeli Teknik Özet . ÇEM. 2017: Ankara, Türkiye.

Chaudhari, P. R., Ahire, D. V., Ahire, V. D., Chkravarty, M., and Maity S. 2013. Soil Bulk Density as related to Soil Texture, Organic Matter Content and available total Nutrients of Coimbatore Soil. International Journal of Scientific and Research Publications **3(2).**

Coscarelli, R., Caloiero, T., Minervino, I., and Sorriso-Valvo M. 2016. Sensitivity to desertification of a high productivity area in Southern Italy. Journal of Maps, 12(3), 573-581. DOI: 10.1080/17445647.2015.1054904

Deutsch, V., and Journel, A.G. 1998. GSLIB: geostatistical software library and user's guide. Second edition. Oxford University Press, New York.

Dexter, A.R. 2004. Soil physical quality Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. Geoderma **120** : 201–214.

Doran, J.W., and PT., Safley M. 1996. Defining and assessing soil health and sustainable productivity. In Methods for Assessing Soil Quality , . In J.W. Doran and A.J. Jones,;

Doran, J.W., and Zeiss M.R. 2000. Soil health and sustainability: Managing the biotic component of soil quality. Applied Soil Ecology Elsevier, 3. DOI: 10.1016/S0929-1393(00)00067-6.

Doran, J.W., and Parkin T.B. 1994. Defining and assessing soil quality. Defining soil quality for a sustainable environment. Proc. symposium, Minneapolis, MN, 1992 DOI: 10.2136/sssaspecpub35.c1

Erşahin, S., ve Karahan, G. 2015. Toprak Değişkenliği ve Analizi. Toprak amenajmanı. Editörler: S. Erşahin, T.Öztaş, A.Namli ve G. Karahan.

Erşahin, S. 2001. Toprak Amenajmanı. Tarımda Sürdürelebilirlik ve Çevre Kalitesi . Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Notları Serisi. Tokat

Ersahin, S., Aşkın., T, Taarakçıoğlu, C., Özenç, D.B., Korkmaz., K., Kutlu, T., Sünal, S., and Bilgili, B.C. 2017. Spatial variation in the solute transport attributes of adjacent Typic Haplusteps, Mollic Ustifluvents, and Lithic Ustipsamments. Geoderma **289** : 107–116. DOI: org/10.1016/j.geoderma.2016.11.035.

Ersahin, S., and Brohi, A. 2006. Spatial variation of soil water content in topsoil and subsoil of a Typic Ustifluvent. agricultural water management **83** : 79–86. DOI: 10.1016/j.agwat.2005.09.002.

Erşahin, S., and Gül, E. 2017. Yarı-Kurak Doğal Çam Ormanlarında Çölleşme Riskinin Modellenmesi. Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi **3** : 39–49.

Ersungur, Ş.M., and Kızıltan, A. P. 2007. Türkiye'de Bölgelerin Sosyo-Ekonomik Gelişmişlik Sıralaması: Temel Bileşenler Analizi. Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi Cilt:21 Haziran 2007 Sayı: 2. **21** : 55–66. DOI: 10.16951/iibd.71357.

FAO. 1990. Micronutrient assessment at the country level: An international study.FAO Soil Bulletin by Sillanpaa. Rome. The Government of Finland (FINNDA). Food and Agriculture Organizations of the United Nations.

Field, A. 2013. Discovering statistics using IBM SPSS statistics : and sex and drugs and rock "n" roll ; 4th edition.

Filiz, Z. 2003. Güvenilirlik Çözümlemesi, Temel Bileşenler ve Faktör Çözümlemesi. Üniversitesi Bilim Anadolu ve Teknoloji Dergisi **4** : 211–222.

Gallardo, A., and Paramá, R. 2007. Spatial variability of soil elements in two plant communities of NW Spain. Geoderma, **139(1);**199–208. DOI: 10.1016/j.geoderma.2007.01.022

Gee, G.W, and Bauder, J.W. 1986. Particle-size analysis. In Methods of Soil Analysis: Part 1. Physical and Mineralogical Methods , A.Klute (ed). American Society of Agronomy and Soil Science Society of America: Madison; 383–411.

Günal, H., Özgöz, E., Çelik, İ., and Acir, N. 2015. Toprak Kalitesi. In Toprak Amenajmanı. Editörler: S. Erşahin, T. Öztaş, A. Namlı, G. Karahan. Gazi Kitabevi: Ankara.

Hawes, C., Morris, J., Phillips, C.D., Mor, V., and Fries, B.E., Nonemaker S. 1995. Reliability estimates for the minimum data set for nursing home resident assessment and care screening (MDS). Gerontologist, 35[2]; 172–178. DOI: 10.1093/geront/35.2.172

Hillel, D. 1998. Environmental Soil Physics: Fundamentals, Applications, and Environmental Considerations.

Hornick, S.B. 1992. Factors affecting the nutritional quality of crops. American Journal of Alternative Agriculture DOI: 10.1017/S0889189300004471

Idowu, O. J., van Es, H. M., Abawi, G. S., Wolfe, D. W., Ball, J. I., Gugino, B. K., and Bilgili, A.V. 2008. Farmer-oriented assessment of soil quality using field, laboratory, and VNIR spectroscopy methods. Plant and Soil **307(1**–**2),** : 243–253. DOI: 10.1007/s11104-007-9521-0

Isaaks, H., and Srivastava, E. 1989. An introduction to applied geostatistics. Oxfort University Press, N. Y, 10016. . Oxford university

Jolliffe, I.T. 2002. Principal Component Analysis, Springer-Verlag, New-York. Encyclopedia of Statistics in Behavioral Science DOI: 10.2307/1270093

Kacar B. 1994. Bitki ve Toprağın Kimyasal Analizleri III Toprak Analizleri . Ankara Üni. Zir. Fak. Eğitim Araştırma Geliştirme Vakfı Yayınları

Karlen, D.L., Mausbach, M.J., Doran, J.W., Cline, R.G., Harris, R.F., and Schuman, G.E. 1997. Soil Quality: A Concept, Definition, and Framework for Evaluation (A Guest Editorial). Soil Science Society of America Journal, 61; 4–10. DOI: 10.2136/sssaj1997.03615995006100010001x

Karlen, D.L, and Stott, D.E. 1994. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. Defining soil quality for a sustainable environment. Proc. symposium, Minneapolis, MN, 1992 DOI: 10.2136/sssaspecpub35.c4

Karlen, D.L, Tomer, M.D., Neppel, J., and Cambardella, C.A. 2008. A preliminary watershed scale soil quality assessment in north central Iowa, USA. Soil and Tillage Research DOI: 10.1016/j.still.2008.03.002

Kemper, W.D., and Rosenau, R.C. 1986. Aggregate Stability and Size Distribution. In Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical ve Mineralogical Methods , Klute A (ed). Agronomy. ASA. SSSA, Madison, WI.; 425–442.

Kosmas, C., Ferrara, A., Briasouli, H., and Imeson, A. 1999. Defining and assessing soil quality. In: Kosmas, C., Kirkby, M., Geeson N (Eds.). The Medalus Project: Mediterranean Desertification and Land Use. Manual on Key Indicators of Desertification and Mapping Envi. sensitive areas to desertification. European Union 18882. : p11-30. DOI: LIRIAS1737296

Kosmas, C., Tsara, M., Moustakas, N., Kosmas, D., Yassoglou N. 2006. Environmentally sensitive areas and indicators of desertification. In Desertification in the Mediterranean Region. A Security Issue.

Larson, W.E., and Pierce, F.J. 1994. The dynamics of soil qulity as a measure of sustainable management In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F., Stewart, B.A. (Eds.), Defining soil quality for a sustainable environment. SSSA Special Publication No. 35, Madison, WI, USA. 37–51.

Li, H.B., and Reynolds, J.F. 1995. 1995. On Definition and Quantification of Heterogeneity. Oikos, 73; 280–284. DOI: 10.2307/3545921.

Lima, A., Brussaard, L., Totola, M., Hoogmoed, W., and de Goede R. 2013. A functional evaluation of three indicator sets for assessing soil quality. Applied Soil Ecology, **64**; 194–200. DOI: 10.1016/j.apsoil.2012.12.009 [online] Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2012.12.009.

Martin, S., Baize, D., Bonneau, M., Chaussod, R., Ciesielski, Hç, Gaultier, J.P, Lavelle, P., Legros, J.P., Lepêtre, A., and Sterckeman, T. 1999. Le suivi de la qualité des sols en France, la contribution de l'Observatoire de la Qualité des Sols. Etude et Gestion des sols, **6;** 26-45.

Mukherjee A., and Lal, R. 2014. Comparison of soil quality index using three methods. PLoS ONE, **9(8);** 1-15. DOI: 10.1371/journal.pone.0105981

Mulla, D.J., and Mc Bratney, A.B. 2001. Soil spatial variability. Handbook of Soil Science CRS Pres,. In A.W. Warrick (ed.), Soil Physics Companion . 321-352.

Mutlu, N. 2015. Yarı Kurak Bir Bölgede Çölleşmenin İzlenmesini Sağlayacak Göstergelerinin Belirlenmesi ve Haritalanması. Doktora Tezi, Gaziosmanpaşa Universitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı. Tokat.

Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Page AL, Miller R, and Keeney D (eds). American Society of Agronomy and Soil Science Society of America: Madison; 539–579.

Öztaş T. 2002. Assessment of Soil Quality. International Conference on Sustainable Land Use and Management, Çanakkale, 484-485.

Özulu, M.H., Özaytekin H., ve Uyanöz, R. 2006. Toprak Kalitesinin Değerlendirilmesinde Farklı Yaklaşimlar. Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 20 (40); (2006) 1-8 : 8.

Pierce, F.J., and Larson, W.E, Dowdy, R.H., and Graham, W.A.P. 1983. Productivity of soils: assessing long-term changes due to erosion. Journal of Soil & Water Conservation, 38(1); 39-44.

Rhoades, J.D, Chanduvi, F., and Lesch, S. 1999. Soil salinity assessment: methods and interpretation of electrical conductivity measurements. Irrigation and Drainage Paper, FAO.

Roger, A., Libohova, Z., Rossier, N., Joost, S., and Maltas, A., Frossard, E., Sinaj, S. 2014. Spatial variability of soil phosphorus in the Fribourg canton, Switzerland. Geoderma, 217-218; 26–36. DOI: 10.1016/j.geoderma.2013.11.001.

Romig, D.E., Garlynd, M.J., Harris, R.F., McSweeney, and K. 1995. How farmers assess soil health and quality. Journal of soil & water conservation, 50; 229–236.

Rutter C.M., Isaaks, E.H, and Srivastava, R.M. 1991. An Introduction to Applied Geostatistics. Oxfort University Press: N. Y, 10016.

Sağlam, M. 2008. Gökhöyük Tarım İşletmesinde Yaygın Toprak Serilerinde Bazı Kalite Göstergelerinin Uzaysal Değişkenliğinin Jeoistatistiksel Yöntemlerle İncelenmesi, Doktora tezi, Ankara Üniversitesi. Ankara.

Schachtschabel, P, Blume, H.P, Brümmer, G.B., Hartge, K.H., and Schwertmann, U. 2007. Soil Science. Çeviren: Özbek H, Gök M, and Kaptan H. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No: 73: Adana

Seybold, C.A., Mausbach, M.J., Karlen, D.L., and Rogers H.H. 1998. Quantification of Soil Quality. Soil processes and the carbon cycle. CRC Press, Boca Raton, FL.

Solgi, A., Pourhaghi, A., Bahmani, R., and Zarei, H. 2017. Improving SVR and ANFIS performance using wavelet transform and PCA algorithm for modeling and predicting biochemical oxygen demand (BOD). Ecohydrology and Hydrobiology, 17(2); 164-175. DOI: 10.1016/j.ecohyd.2017.02.002

Sposito, G. 2008. The chemistry of soils . Oxford University Press: New York.

SSSA. 1997. Glossary of soil science terms. SSSA, Madison, WI.

Sünal, S. 2018. Yarı-Kurak Orta Anadolu Koşullarında Tepe-eğim hidropedolojisi, Doktora tezi, Çankırı Karatekin Üniversitesi. Çankırı.

Trangmar, B.B., Yost, R.S., and Uehara, G. 1985. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. Advances in Agronomy, 38; 45-91. DOI: 10.1016/S0065-2113(08)60673-2

Ülgen, N., ve Yurtsever, N. 1974. Türkiye Gübre ve Gübreleme Rehberi . 28. baskı. Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Teknik Yayın. Ankara.

Vasu, D., Singh, S.K., Sahu, N., Tiwary, P., Chandran, P., Duraisami, V.P., Ramamurthy, V., Lalitha, M., and Kalaiselvi, B. 2017. Assessment of spatial variability of soil properties using geospatial techniques for farm level nutrient management. Soil and Tillage Research, **169;** 25–34. DOI: 10.1016/j.still.2017.01.006

Wali, F.P.M., and Miller, M.K. 1995. Soils, land use and sustainable agriculture: A review. Canadian Journal of Soil Science, 75(4); 413–422.

Wang Y.Q, and Shao M.A. 2013. Spatial variability of soil physical properties in a region of the loess plateau of PR China subject to wind and water erosion. Land Degradation and Development, 24; 296-304. DOI: 10.1002/ldr.1128

Warkentin, B.P. 1995. The Changing Concept of Soil Quality. J. Soil Water Conserv., 50; 226-228.

Warrick, A., Myers, D., Nielsen, D. 1986. Geoistatistical Methods Applied To Soil Sciences. Methods of Soil Analysis, Part I. Physical and Mineralogical methods. Agronomy Monograph.

Webster, R. 2001. Statistics to support soil research and their presentation. European Journal of Soil Science, **52**; 330–340. DOI: 10.1046/j.1365-2389.2001.00383.x

Webster, R., and Oliver, M.A. 2008. Geostatistics for Environmental Scientists. Second Edition. John Willey and Sons Ltd. West Sussex.

Zhou H.H., Chen, Y.N., and Li, W.H. 2010. Soil properties and their spatial pattern in an oasis on the lower reaches of the Tarim River, northwest China. Agricultural Water Management, 97(1); 1915-1922. DOI: 10.1016/j.agwat.2010.07.004

Zhu, F., Zhou, J., Xue, S., Hartley, W., Wu, C., and Guo, Y. 2016. Aging of bauxite residue in association of regeneration: A comparison of methods to determine aggregate stability & erosion resistance. Ecological Engineering, 92; 47-54. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2016.03.025.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Saada Hamad Mohamed

Doğum Yeri : Cibuti

Doğum Tarihi : 03.06.1994

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : Fransızca

Adres : Çankırı/Merkez, Buğday Pazarı Mahallesi Atatürk Bulvarı Caddesi, Sultan Sitesi B blok daire 2

Tel : 553 072 28 75

E-posta : saadahamad094@hotmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl):

Lisans : Cibuti Cumhuriyeti Üniversitesi (2015-2017).

Yüksek Lisans hazırlık : Türkçe dil eğitimi (2017-2018)

Yüksek Lisans : Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı (2018-2020).