

**MUSTAFAKEMALPAŞA OVASI (BURSA)
TOPRAKLARI BOR İÇERİĞİNİN CBS İÇİNDE
KONUMSAL ANALİZİ**

Berkay CÜRE



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MUSTAFAKEMALPAŞA OVASI (BURSA) TOPRAKLARI BOR İÇERİĞİNİN CBS
İÇİNDE KONUMSAL ANALİZİ**

Berkay CÜRE
0000-0001-5008-6533

Doç. Dr. Gökhan ÖZSOY
(Danışman)
0000-0002-4421-7936

YÜKSEK LİSANS TEZİ
TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

BURSA – 2023
Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Berkay CÜRE tarafından hazırlanan “MUSTAFAKEMALPAŞA OVASI (BURSA) TOPRAKLARI BOR İÇERİĞİNİN CBS İÇİNDE KONUMSAL ANALİZİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Gökhan ÖZSOY

Başkan	:	Prof. Dr. Ertuğrul AKSOY 0000-0003-4443-3652 Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı	İmza
Üye	:	Prof. Dr. Hüseyin EKİNCİ 0000-0002-5872-0655 Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı	İmza
Üye	:	Doç. Dr. Gökhan ÖZSOY 0000-0002-4421-7936 Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı	İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Ali KARA
Enstitü Müdürü
.././2023

B.U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

26/07/2023

Berkay CÜRE

**TEZ YAYINLANMA
FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI**

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezin/raporun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kâğıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma izni Bursa Uludağ Üniversitesi'ne aittir. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet hakları ile tezin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları tarafımıza ait olacaktır. Tezde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığını ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederiz.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**” kapsamında, yönerge tarafından belirtilen kısıtlamalar olmadığı takdirde tezin YÖK Ulusal Tez Merkezi / B.U.Ü. Kütüphanesi Açık Erişim Sistemi ve üye olunan diğer veri tabanlarının (Proquest veri tabanı gibi) erişimine açılması uygundur.

Doç. Dr. Gökhan Özsoy
26/07/2023

Berkay Cüre
26/07/2023

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MUSTAFAKEMALPAŞA OVASI (BURSA) TOPRAKLARI BOR İÇERİĞİNİN CBS İÇİNDE KONUMSAL ANALİZİ

Berkay CÜRE

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Gökhan ÖZSOY

Bu araştırmada Türkiye ve Bursa için önemli bir tarım potansiyeline sahip Mustafakemalpaşa ovası topraklarının güncel bor içeriğinin belirlenmesi ve coğrafi bilgi sistemi teknikleri kullanılarak ova topraklarının Bor içeriği dağılım haritasının üretilmesi amaçlanmıştır. Çalışma alanı 1,5x1,5 km gridlere bölünerek yüzey (0-30 cm) ve yüzey altı (30-60 cm) toprak örneklenmiştir. Her bir toprak örneğine ait laboratuvar analizi verileri değerlendirilerek jeoistatistik yöntemlerle ova topraklarının Bor içeriği konumsal dağılımı haritaları üretilmiştir. Ek olarak, ova toprakları Bor içeriği toprak verimliliği açısından yorumlanmış ve Bor içeriği sınır değerlerine göre veriler tekrar sınıflandırılmış ve alansal bilgiler hesaplanmıştır. Sonuçlara göre; Mustafakemalpaşa ovası yüzey topraklarının yaklaşık % 55 gibi büyük bir kısmında bor içeriği yüksek (2,5-5,0 mg kg⁻¹) sınıfta yer almıştır. Yüzey topraklarının yaklaşık % 40'lık kısmında bor seviyesi verimlilik açısından orta sınıfta (1,0-2,5 mg kg⁻¹), % 1,5'lük kısmında ise çok yüksek (> 5,0 mg kg⁻¹) sınıfta bulunduğu tespit edilmiştir. Alt toprağın Bor içeriği değerlendirildiğinde yüzey altı topraklarının %56,6'sında Bor içeriği orta-yeterli seviyede ve %32'lik kısmında ise yüksek sınıfta olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak ova topraklarında büyük ölçüde sulama kaynaklı bor birikiminin kritik seviyelere yükseldiği ve alt toprakta sulama-yıkanma etkisiyle Bor'un önemli seviyelerde biriktiği belirlenmiştir. Bu durum Mustafakemalpaşa ovası topraklarının verimlilik durumunu ve tarımsal üretimi tehdit etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Jeoistatistik, CBS, kriging, bor, mekansal analiz
2023, xii + 47 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

SPATIAL ANALYSIS OF BORON CONTENT OF MUSTAFAKEMALPAŞA PLAIN (BURSA) SOILS IN GIS

Berkay CÜRE

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Soil Science and Plant Nutrition

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Gökhan ÖZSOY

In this research, it is aimed to determine the current boron content of Mustafakemalpaşa plain soils, which have an important agricultural potential for Turkey and Bursa, and to produce a boron content distribution map of the plain soils by using geographic information system techniques. The study area was divided into 1.5x1.5 km grids and surface (0-30 cm) and subsurface (30-60 cm) soils were sampled. By evaluating the laboratory analysis data of each soil sample, spatial distribution maps of the boron content of the plain soils were produced using geostatistical methods. In addition, the boron content of the plain soils was interpreted in terms of soil fertility, and the data were reclassified according to the Boron content limit values and the areal information was calculated. According to the results; In most of the surface soils of Mustafakemalpaşa plain, about 55%, of boron content was in the high (2.5-5.0 mg kg⁻¹) class. In approximately 40% of the surface soils, the boron level was in the moderate class (1.0-2.5 mg kg⁻¹) and 1.5% was determined as in the very high (> 5.0 mg kg⁻¹) class in terms of soil fertility. When the Boron content of the subsoil was evaluated, it was determined that the Boron content of 56.6% of the sub-surface soils was at a moderate-sufficient level and 32% of it was in the high class. As a result, it has been determined that the boron accumulation due to irrigation in the plain soils has increased to critical levels and that Boron has accumulated at significant levels in the subsoil with the effect of irrigation-leaching. This situation threatens the productivity of Mustafakemalpaşa plain soils and agricultural production.

Key words: Geostatistics, GIS, kriging, boron, spatial analysis
2023, xii + 47 pages.

TEŞEKKÜR

Çalıőmamın her aşamasında yardım ve desteklerini esirgemeyen, çalıőmalarımnda beni en iyi Şekilde yönlendiren danışman hocam Doç. Dr. Gökhan ÖZSOY'a teőekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalıőmalarımnda yanımda bulunan ve bana destek olan arkadaşlarım Burcu TATAR ve Enes PAK' a teőekkürlerimi sunarım.

Berkay CÜRE
26/07/2023

İçindekiler

	Sayfa
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
TEŞEKKÜR.....	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
2.1. Bitkilerde Besin Elementi Olarak Bor	5
2.2. Bitkilerde Bor Alımı	6
2.3. Borun Bitkiler Üzerindeki Etkisi	7
2.4. Bitkilerde Bor Alımını Etkileyen Etmenler	7
2.4.1. Ana materyal	7
2.4.2. PH	7
2.5. Toprakta Bor	8
2.6. Bitkilerde Bor Noksanlığı	9
2.7. Bitkilerde Bor Fazlalığı ve Bitkilerde Bor'a Tolerans Durumu.....	9
2.8. Jeostatistik.....	12
2.8.1. Semiveriogram	13
2.8.2. Enterpolasyon.....	14
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	18
3.1. Materyal	18
3.1.1. Konum.....	18
3.1.2. İklim.....	19
3.1.3. Jeoloji ve jeomorfoloji	19
3.1.4. Temel toprak özellikleri ve bitki örtüsü	20
3.2. Yöntem.....	22
3.2.1. Toprak örnekleme ve toprak analizi	22
3.2.2. Coğrafi Bilgi Sisteminde konumsal analizler ve haritalama metodolojisi.....	24
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	28
4.1. Verilerin İstatistiksel (Tanımsal) ve Jeostatistiksel Yorumu	28
4.2. Toprakların Kimi Özellikleri ile Bor İçeriği	29
4.3. Toprakların Bor İçeriğinin Değerlendirilmesi	30
4.4. Arazi Kullanım/Örtü Durumu ve Bor İçeriği.....	33
5. SONUÇ.....	38
KAYNAKLAR	41
ÖZGEÇMİŞ.....	47

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
$\mu\text{s cm}^{-1}$	Mikrosiemens
Qy	Halojen yeni alüviyon

Kısaltmalar	Açıklama
AKK	Arazi kullanım kabiliyeti
CBS	Coğrafi bilgi sistemleri
Cm	Santimetre
Gr	Gram
Ha	Hektar
M	Metre
Mm	Milimetre
Nm	Nanometre
PPM	Milyonda bir birim (Parts per million)
UA	Uzaktan algılama

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Mustafakemalpaşa ovası konumu	18
Şekil 3.2. Mustafakemalpaşa ovası arazilerinin 1:100000 ölçekli toprak haritası...	21
Şekil 3.3. Mustafakemalpaşa ovası arazilerinin arazi kullanım kabiliyet sınıfı haritası.....	22
Şekil 3.4. Çalışma için alınan toprak örneklerinin konumu.....	23
Şekil 4.1. Mustafakemalpaşa ovası topraklarının bor dağılımı haritası.....	32
Şekil 4.2. Mustafakemalpaşa ovası topraklarının bor dağılımı ve arazi kullanım/örtü durumu ilişkisi.....	36

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Bazı Tarla Bitkileri İle Bazı Sebzelerin Bor İstekleri, Optimum Yetiştirme İçin Toprakların Elverişli Bor Kapsamları.....	11
Çizelge 3.1. Toprak verimliliği açısından toprakta bulunan Bor miktarının sınır değerleri.....	26
Çizelge 4.1. Toprakların tanımlayıcı istatistik verileri.....	28
Çizelge 4.2. Toprakların kimi jeostatistik verileri.....	29
Çizelge 4.3. Çalışma alanı topraklarının genel özellikleri.....	29
Çizelge 4.4. Yüzey ve yüzey altı topraklarının Bor yeterlilik sınıfları ve alansal bilgileri.....	30
Çizelge 4.5. Çalışma alanı yüzey topraklarının (0-30 cm) arazi kullanım/örtü durumuna göre Bor içerikleri.....	33
Çizelge 4.6. Çalışma alanı yüzey altı topraklarının (30-60 cm) arazi kullanım/örtü durumuna göre Bor içerikleri.....	35

1. GİRİŞ

Özellikle gelişmekte olan ülkelerde olmak üzere Dünya genelinde nüfus artışı, kentsel genişleme, arazi tahribatı, yoğun işlemeli tarımın sebep olduğu erozyon ve kimyasal kirlenme gibi çeşitli etkilerden kaynaklı olarak toprak bozulumu artmaktadır. Toprak kaynakları her geçen gün azalmakta ve toprağa duyulan ihtiyaç her geçen gün daha da artmaktadır. Bu yüzden günümüzde toprağın sürdürülebilirliği tüm canlılar için önem arz etmektedir.

Toprak arazide süreklilik göstermektedir ve toprak özellikleri mesafeye göre çok değişkenlik göstermektedir. Toprak özellikleri incelenecek olan arazilerden örnekler alınmakta ve ölçülme şansı olmayan yerlerin toprak özellikleri temsilen değerlendirilmektedir (Öztaş 1995). Bilgisayar teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak, uzaktan algılama (UA) ve coğrafi bilgi sistemlerinin (CBS) gelişmesi sonucu toprak özelliklerinin dağılımının haritalanması, ürün desenlerinin belirlenmesi ve erozyona hassas alanların haritalanması gibi konuların daha hızlı ve ekonomik olarak yapılabilmesini sağlamaktadır (Ozsoy ve ark. 2012; Ozsoy ve Aksoy 2015a,b; Karaca ve ark. 2019). Haritalama çalışmalarında toprak özelliklerinin konumsal değişiklikleri jeostatistiksel yöntemler ile açıklanabilmektedir. Jeostatistiksel yöntem istatistiğin bir alt dalıdır ve toprakların özellikleri ve durumu ile ilgili çalışmalarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Burrough ve McDonnel (1998)'e göre uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri teknolojileri doğal kaynakların takip edilmesi ve modellenmesinde çok kullanışlı, zaman ve işçilikten tasarruf sağlayan bir teknolojidir. Toprak biliminin geleceğinde de CBS'nin harita üretimi ve modellemede daha etkin kullanımı yer almaktadır.

Bitkilerin sağlıklı bir şekilde gelişimlerini sürdürebilmeleri için gerekli olan azot, fosfor, potasyum gibi makro elementlerin yanında mikro besin elementleri dediğimiz bor, molibden, çinko, magnezyum, kobalt, bakır gibi iz elementlere de ihtiyaç duymaktadır. Bu iz elementlerinin çok az miktarı bile optimum etki sağlamak için yeterlidir. Bitkilerin gelişimi için önemli olan bir mikro besin elementi de Bor'dur.

Topraklarda ana materyallerin parçalanmasından kaynaklı olarak bor miktarı genellikle 20 ile 200 ppm arasında bulunmaktadır (Sezen 1988). Topraktaki bor elementinin önemli bir kısmı organik maddeye bağlı şekilde bulunmaktadır.

Tarımsal üretimin yoğun yapıldığı alanlarda besin elementi ihtiyacı da artmaktadır. Bor elementi değişken miktarlarla çoğu bitki için gereklidir. Diğer yandan Bor topraklarda düşük konsantrasyonlarda dahi toksisiteye sebep olabilmektedir. Bor'un topraktaki fazlalığı da noksanlığı gibi bitki için tehlikelidir.

Taşıdığı ve biriktirdiği alüvyonlarla Mustafakemalpaşa ovasının oluşumunda rol oynamış olan Mustafakemalpaşa Çayı tüm ovayı güneyden kuzeye geçerek Uluabat Gölü'ne akmaktadır. EİE ve DSİ verilerine göre üst havzalarda geçmişten günümüze var olan bor madeni işletmeciliği nedeniyle Mustafakemalpaşa çayı suları yüksek miktarda Bor minerali içerdiği bildirilmiştir (Anonim 2003). Ülkemizim en önemli tarımsal üretim alanlarından birisi olmasına rağmen Mustafakemalpaşa ovası topraklarının verimlilikleri ve sürdürülebilir kullanımı açısından güncel araştırmalar ya çok yetersiz ya da bulunmamaktadır. Özellikle ova topraklarının Bor içeriklerinin yüksek olduğu söylenmekte ancak detaylı incelemeye ait bilgi edinilememektedir. Ova topraklarında Bor dağılımını gösteren haritasal bilgi de bulunmamaktadır.

Bu çalışmada, Bursa İli sınırları içinde yer alan Mustafakemalpaşa Ovası toprakları 1,5 km x 1,5 km grid sistemine göre örneklenmiştir. Toprak üstü (0-30cm) ve toprak altı (30-60cm) olmak üzere iki farklı derinlikten alınan toprak örneklerinin Bor kapsamı belirlenmiş ve jeostatistiksel olarak CBS ortamında ova topraklarının Bor dağılımı haritaları üretilmiştir. ArcGIS yazılımı ile çalışma alanına ait laboratuvar verilerini de içeren bir veri tabanı oluşturulmuş. Üretilen veriler toprak verimliliği açısından Bor'un topraktaki sınır değerlerine göre değerlendirilmiş ve bu sınır değerlere göre sınıflandırılarak haritaları üretilmiştir. Çalışma sonucunda bu haritalardan üretilen değerlendirme ve yorumlar ile toprak yönetimiyle ilgili öneriler sunulmuştur. Çalışmanın temel amacını Mustafakemalpaşa Ovası topraklarının Bor içeriği durumu ve toprak verimliliği açısından çalışma alanı topraklarındaki Bor seviyesinin dağılımının haritalandırılması oluşturmaktadır. Böylelikle arazi gereksinimleri açısından Bor'a

hassas veya Bor'a toleranslı bitkilerin hangi bölgelere önerilebileceği ortaya konulabilecektir. Ayrıca sürdürülebilir tarım açısından bölgede alınması gereken önlemler de tartışılmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

Toprak atmosfer ile litosfer, hidrosferi birbirinde ayıran bir katmandır. Bitkiler ve hayvanlar için yaşam alanı olan biyosferin bir parçasıdır ve dünyanın yaşayan nefes alan derisidir (White 2003). Toprak, gıda üretiminde ve farklı ekosistemler için temel bir yapı taşıdır. 1879 yılında Rusya’da Dokuchaev toprak üzerine ilk bilimsel yaklaşımı ortaya koymuştur (Buol ve ark. 1973). Topraklar uzun sürede oluşmaktadır ancak çok kısa bir süre içinde kullanım dışına çıkabilmektedir. Dolayısıyla insan ve diğer canlıların ihtiyaçlarını karşılayabilmek amacıyla toprağın sürdürülebilir kullanımı önemlidir. Toprakta sürdürülebilirlik gıda üretiminin artmasına ve aynı zamanda sağlıklı topraklarda üretim yapıldığından gıdaların besin içeriğinin de artmasını sağlamaktadır. Toprakta sürdürülebilirliği toprakların özelliklerinin iyi anlaşılması ve genetik yapılarının incelenmesi ile mümkün olmaktadır. Toprak, her yerde farklı kimyasal, fiziksel ve biyolojik özellik gösterdiğinden klasik istatistik yöntemler toprak özelliklerinin konumsal dağılımının gösterilmesinde yetersiz kalmaktadır (Turgut ve Öztaş 2012). Toprak özelliklerinin konumsal dağılımının bilinmesi üretkenliğin fiziksel ve kimyasal dengesini anlamak için önemlidir.

Tarımda sürdürülebilirlik için gereken verilerin sağlanmasında, işlenmesinde, analiz edilmesinde ve haritalanmasında coğrafi bilgi sistemleri önemli bir yere sahiptir. CBS ile bu uygulamalar daha kısa sürede, daha az iş gücü ve düşük maliyete yapılabilmektedir (Aksoy ve Özsoy 2004; Özsoy 2007; Özsoy ve ark. 2012; Özsoy ve Aksoy 2015a,b). Coğrafi bilgi sistemleriyle yapılan toprak haritaları amenajman uygulamalarının etkinliğini artırmakta ve toprağın niteliklerinin değerlendirilmesinde kolaylık sağlamaktadır,

Bor, bitkilerin optimum düzeyde gelişimi için ihtiyaç duydukları mikro elementlerden birisidir. Bununla beraber, toksik etki ve noksanlığı en fazla görülen mikro elementlerden biridir (Shorrocks 1997; Yau ve Ryan 2008). Bitkilerde toksik ve optimum seviye arasındaki fark nispeten az olduğundan bitkilerde bor toksisitesi ve etkinliğini ayarlamak zordur. Bu yüzden Bor bitkilerde toksisite ve noksanlık belirtileri en çok karşılaşılan

mikro besin elementlerinin başında gelmektedir (Sakal ve Singh 1985). Bitkiler için topraktaki bor içeriği 1 mg kg⁻¹'dan az ise bor eksikliği, 5 mg kg⁻¹ üzerinde ise bor fazlalığı oluşmakta ve bor toksisitesi görülmektedir (Kelling 2010). Bor, toprak çözeltisinde farklı bileşenler içinde dağınık bir şekilde bulunmaktadır. Toprak çözeltisinde bulunan ve bitki için yararlı olan bor, toprakta toplam olarak bulunan bor elementinin %3'ünden azına denk gelmektedir. Kültür bitkilerinde bor miktarının 5 mg kg⁻¹ düzeyine ulaşması bitkilerde bor toksisitesi meydana getirmektedir (Mengel ve Kirkby 1987).

Topraklarda ana materyalin dağılıp parçalanma derecesine göre bor miktarı 20 ile 200 ppm arasında değişiklik göstermektedir. Killi ve organik madde miktarı yüksek olan topraklardaki bor miktarı kumlu topraklara kıyasla daha fazla görülebilmektedir. Topraklarda bor konsantrasyonuna etki eden çeşitli faktörler bulunmaktadır. Bunlar; kil minerallerinin çeşidi (Su ve Suarez 2004), organik madde miktarı (Havlin ve ark. 2005), toprak reaksiyonu, toprak tekstürü (Elrashidi ve O'Connor 1982; Shorrocks 1997; Xu ve ark. 2001), toprak sıcaklığı ve toprak nemi (Fleming, 1980; Xu ve ark. 2001) gibi faktörlerdir.

Toprakların özellikleri heterojen bir şekilde dağılım gösterdiği için arazide uygulanacak amenajmanın etkinliğine önemli seviyede etki etmektedir (van Es ve ark. 1989). Bundan dolayı toprak özellikleri ve çevresel şartlar arasındaki ilişkilerin anlaşılması önemlidir (Goovaerts 1998). Toprağın heterojen yapıda olmasından kaynaklı kimyasal ve fiziksel özellikleri mesafeye bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu değişimlerin arasındaki ilişkiyi kurmak için çoğunlukla kullanılan yöntem jeostatistiksel metotlardır (Webster ve Oliver 2001).

2.1. Bitkilerde Besin Elementi Olarak Bor

Bitkilerde az veya fazla miktarda bulunan ve bitkilerin yaşamlarını devam ettirmesini sağlayan besin elementlerine ek olarak minimal düzeyde kimi başka elementlere de ihtiyaç vardır. Bu elementler bor, vanadyum, manganez, molibden, çinko, kobalt, bakır,

volfram gibi iz elementlerdir. Makro besinlere olan ihtiyaçtan farklı olarak bu elementler çok düşük düzeyde dahi optimum etkiyi sağlamak için yeterlidirler.

Bitkilerde borun etkileri üzerine çok sayıda araştırma yapılmıştır ancak bitki üzerindeki etkileri tam olarak anlayamamıştır. Parr ve Loughman (1938)'e göre bitkilerde bor:

- a) Karbonhidrat metabolizmasında,
- b) İndol asetikasit (IAA) metabolizmasında,
- c) Şekerlerin taşınmasında,
- d) Lignifikasyon olgusunda,
- e) Fenol metabolizmasında,
- f) Solunumda,
- g) Şekerlerin taşınmasında,
- h) RNA metabolizmasında,
- ı) Hücre duvarı sentezinde,
- i) Biyolojik membranların yapısal ve fonksiyonel özellikleri üzerinde önemli düzeyde etkileri bulunmaktadır.

2.2. Bitkilerde Bor Alımı

Bor, bitkilerce pasif absorpsiyon ile dissosiyeye olmamış H_3BO_3 (borik asit) şeklinde alındığı düşünülmektedir. Ancak bitkilerde bor aktif absorpsiyon ile azda da olsa $B(OH)_4^-$ (borat) iyonları şeklinde de alınmaktadır. Bor, transpirasyona bağlı olarak bitkide ksilem boruları içinde tepe noktalarına doğru taşınabilmektedir. Bitkilerce bor alımı ve taşınması, bitkilerde su alımı ile yakından ilişkilidir. Bu sebeple bitkilerde bor alımı kapasiteleri arasında önemli miktarda farklar bulunmaktadır (Marschner 1976). Genelde çift çenekli bitkilerin tek çenekli bitkilere kıyasla bor alımı kapasitesi daha fazladır (Tanaka 1967). Bitki kökleri ile alınan bor miktarı difüzyon ile %32, kitle akımı %65 olarak saptanmıştır (Bergmann 1992).

2.3. Borun Bitkiler Üzerindeki Etkisi

Bitkilerde hücre duvarı ve hücre zarı üzerinde borun önemli yapısal etkileri bulunmaktadır. Hücrelerde zar bütünlüğünün korunmasında, hücre zarı geçirgenliğinde önemli etkileri bulunur. Bitkilerde Bor'un büyük çoğunluğunun karbonhidratlar ile hücre çeperinde bulunduğu bilinmektedir. Bitkiler diğer element eksikliklerinde olduğu gibi stres ile başa çıkmak için mekanizmalar oluşturmaktadır (Seçkin 2005).

Bor mineralleri dane ağırlığına etki etmektedir ve dane iriliğini etkilemektedir. Bor bitkide, bitki metabolizmasında hücre uzamasına, hücre bölünmesine, karbonhidrat ve protein sentezine etkisi olduğu saptanmıştır (Rerkasem ve Jamjod 1997).

2.4. Bitkilerde Bor Alımını Etkileyen Etmenler

2.4.1. Ana materyal

Topraklarda bor elementinin konsantrasyonu 20-200 ppm aralığında değişiklik göstermektedir (Kaçar ve Katkat 2009). Kumlu topraklarda bor 5-20 ppm, killi ve humuslu topraklarda ise 30-80 ppm aralığında bor ihtiva etmektedir (Schachtschabel ve Brümmer 1995)

2.4.2. PH

Bitkilerde bor alımı, toprağın pH'sındaki artış ve gereğinden fazla kireçleme yapılmasından dolayı azalmaktadır (Bartleta ve Picarelli 1973). Topraktaki pH değeri 6 ile 8 arasında alüminyum oksitler, pH 7 ile 9 arasında ise demir oksitler bor adsorpsiyonunun en üst düzeyde gerçekleşmesine sebep olmaktadır (Su ve Suarez 1995). Bor alımı toprakta pH düzeyi 6.3-6.5 olduğunda en üst seviyeye çıkmakta ve alımı daha sonra büyük bir hızla düşmektedir. Mikrobiyolojik parçalanma sonucu ortaya çıkan bor bitki tarafından kolaylıkla alınmaktadır. Organik maddenin fazla uygulandığı topraklarda bor alımı artmakta ve bitkilerde zaman zaman fitotoksik etkiler yapmaktadır (Purves ve McKenzie 1974).

2.5. Toprakta Bor

Bor, düşük düzeyde organik madde bulunduran ve kumlu bünyeye sahip topraklarda kolaylıkla yıkanabilmektedir. Yağış düzeyi yüksek olan bölgelerde, çok sık sulama yapılan, asit karakterli ve kumlu arazilerde bor yıkanmasının meydana geldiğini gösteren çeşitli araştırmalar bulunmaktadır (Reid ve Fitzpatrick 2009). Bir başka deyişle toprakta yıkanma olayı ne kadar artarsa bor noksanlığının meydana gelme ihtimali de o kadar artmaktadır.

Topraklarda bor konsantrasyonu genelinde 20 ile 200 ppm aralığında bulunmaktadır. Toprakta bulunan borun %5'ten azı bitkiler için faydalı formda bulunmaktadır (Gupta 1968). Toprakta bor dört farklı şekilde bulunmaktadır: 1). Toprak çözeltisinde borik asit (H_3BO_3) ve $B(OH)_4^-$ iyonları şeklinde, 2). Kaya ve mineraller içinde, 3). Killerin ve demir ile alüminyumun yüzeylerinde absorbe olmuş biçimde, 4). Organik maddede bağlı olarak bulunmaktadır.

Organik madde içeriği yüksek, ince bünyeli ve alkalın pH'ya sahip toprakların adsorbe edilmiş bor içerikleri yüksektir. Genelde toprak pH'sı 8-10 değerlerinde olduğunda B adsorpsiyonu artmaktadır (Singh 1964; Sims ve Bingham 1968). Kil mineralleri tarafından adsorbe edilen bor miktarı birim kil ağırlığına göre kaolinit <montmorillonit<illit şeklinde bir sıra göstermektedir (Keren ve Mezuman 1981).

Toprakta Bor Birikmesinin Sebepleri:

- 1). Fazla gübreleme ile toprakta bor birikmesi,
- 2). Kullanılan sulama sularında bor içeriği fazla ise,
- 3). Bor toprakta doğal olarak bulunabilir ve birikme meydana gelebilir,
- 4). Enerji üretiminde ortaya çıkan radyoaktif toz etkisinde olan topraklarda bor birikmesi görülebilmektedir,
- 5). Yanan fosillerden ve madenlerden uçan küllerin etkisinde kalan topraklarda bor birikmesi meydana gelebilmektedir,
- 6). İçerdiği bor oranı fazla olan atıkların depolandığı topraklarda bor birikmesi meydana gelmektedir (Soy 2002).

2.6. Bitkilerde Bor Noksanlığı

Kültür bitkilerinde bor eksikliği başka iz elementlerin noksanlık göstermesine göre daha yaygın gözükmetedir. Bor noksanlığı bitkilerde büyümeyi yavaşlatmaktadır. Genç yapraklarda büzülüp kıvrılma ve genellikle kalınlaşma meydana gelmektedir. Yapraklar koyu mavi-yeşil renk almaktadır. Boğum aralıkları kısalmakta, bodurlaşma görülmekte ve bitkide çalı görünümü meydana gelmektedir. Noksanlığın ilerleyen aşamalarında büyüme durumu olumsuz şekilde etkilenmektedir. Tomurcuk, meyve ve çiçek oluşumu azalır ya da tamamen durur. Olgun yapraklarda, damarlar arası kloroz oluşur ve yaprak ayasında şekil bozuklukları meydana gelmektedir. Bor eksikliğinde ilk olarak bitkilerde büyüme yavaşlamaktadır. Bor bitkide tek başına yavaş hareket ettiği için yaşlı dokulardan bor ihtiyacının olduğu yerlere taşınmaz. Bor noksanlığının diğer belirtilerinden biri ise bitkinin yaşına ve cinsine bağlı olarak sürgün ve tomurcukların ölmesidir. İlerleyen safhalarda eğer yan tomurcuklar oluşursa onlarda ölmektedir. Ancak noksanlık düzeyi fazla değil ise üst kısımlarda solgunlaşma meydana gelmektedir. (Kaçar ve Katkat 2009).

Bor elementinin bitkiler için vejetatif gelişime göre generatif gelişim için daha önemli olduğu, gelişim ortamında gerekli miktarda bor bulunmadığında bitkinin kök ucunda hücre büyümesi ve de hücre bölünmesinin engellendiği, kök uzamasında gerileme ve kök sisteminin bodur ve çalı görünümü oluştuğu bilinmektedir. Bor eksikliğinde, bitkide kök ucunun gövdeye oranla gelişmesinin gerilediği, bu nedenle gövde kök oranının artması sebebiyle bitkilerin stres koşullarında hassasiyetinin önemli ölçüde arttığını belirtilmektedir (Dell ve Huang 1997). Ayrıca bor elementi eksikliği DNA sentezinde, RNA miktarında, kök uzaması ve hücre bölünmesinde de olumsuz etkisi büyüktür (Moore ve Hirsch 1983).

2.7. Bitkilerde Bor Fazlalığı ve Bitkilerde Bor'a Tolerans Durumu

Borun bitkilerde toksisite ve optimum düzeyleri arasındaki fark olduğunca düşük olduğu için borun etkinliği ve toksisite etkisini ayarlamak oldukça zordur. Bitkilerde bor durumu gerekli miktar ve toksisite düzeyi arasında çok minimal bir sınır bulunmaktadır. Bundan

dolayı bu sınır bitki türleri arasında farklıdır (Keren ve Bingham 1985; Sakal ve Singh 1985; Goldberg 1997).

Bitkilerde bor alımında, bor miktarı 5 ppm değerinden fazla olduğu durumlarda bitkide toksik etkiye neden olabilmektedir. Bitkilerde bor elementinin miktarı 10 ppm seviyesinin üzerine çıktığında ise toksisite net şekilde görülür (Boşgelmez ve ark. 2001).

Bitkilerde bor istekleri şu durumlara göre sınıflandırılabilir:

- 1). Bor noksanlığı belirtileri bitkilerde baş göstermeye başladığı bölgeye göre sınıflandırılmaktadır.
- 2). Yeterli düzeyde bor bulunduran toprakta yetiştirilen bitkilerin bünyesinde buldukları bor düzeyi önemlidir. Bünyelerinde yüksek düzeyde bor içeren bitkiler bora dayanıklı bitkiler olarak kabul edilmektedir. Örneğin pancarda 75 ppm, arpada 2,3 ppm, şalgamda 49 ppm'dir (Berger 1949).
- 3). Bitkiler normal verim elde ettikleri topraklardaki bor düzeyine kıyasla sınıflandırılır. Bitkiler 0,1 ppm'den daha az bor içeren topraklarda 0,1-0,5 ppm bor içeren topraklar ve 0,5'den fazla bor içeren topraklarda yetişen bitkiler olmak üzere 3 gruba ayrılmaktadır (Berger 1949).
- 4). Bor, toprağa genellikle su ile taşındığında sulamada kullanılan suyun bor miktarına göre sular ve bitkiler gruplandırılmaktadır. 0,3-1,0 ppm düzeyinde bor içeren bitkiler bora hassas bitkiler, 1,0-2,0 ppm düzeyinde bor içeren bitkiler bora orta hassas bitkiler, 2,0-4,0 ppm düzeyinde bor içeren bitkiler bora dayanıklı bitkiler olarak sınıflandırılmaktadır (Eaton 1940).

Bor elementinin toprakta düşük konsantrasyonda olması dahi bitkide toksik etkilere neden olabilmektedir. Kesin olmamakla birlikte yarı kurak ve kurak bölgelerde bor toksisitesinin yaşanma ihtimali daha yüksektir. Bazı tarla bitkileri ile bazı sebzelerin bor istekleri, optimum yetişme için toprakların elverişli bor düzeyleri Çizelge 2.1'de sunulmuştur (Berger 1949).

Çizelge 2.1 Bazı tarla bitkileri ile bazı sebzelerin bor istekleri, optimum yetiştirme için toprakların elverişli bor düzeyleri (Berger 1949).

Fazla bor isteyen bitkiler (>0.5 ppm)	Orta düzeyde bor isteyen bitkiler (0.1-0.5 ppm)	Az düzeyde bor isteyen bitkiler (<0.1 ppm)
Lahana	Pamuk	Arpa
Yonca	Ceviz	Mısır
Turp	Havuç	Fasulye
Kara Lahana	Soğan	Çilek
Çayır Üçgülü	Domates	Çavdar
Ayçiçeği	Yerfıstığı	Bezelye
Şeker Pancarı	Şeftali	

Bor, toprak çözeltisine etki etmektedir. Toprakların saturasyon ekstraktında 0,7 ppm bor içeriği ve daha altındaysa bora hassas olan bitkiler için normal tolere edilebilir limit olarak kabul edilebilmektedir (Sezen 1988). Saturasyon ekstraktında izin verilen sınırlar şöyledir; 0,7 ppm'e düzeyine kadar hassas bitkiler zarar görmez, 0,7-1,5 ppm düzeyi kabul edilebilir konsantrasyondur, 1,5 ppm'den yukarıda ise bor seviyesi tehlikelidir. Fakat bor toleransı gösteren bitkiler zarar görmemektedir. Kültür bitkilerinin bora karşı dirençleriyle ilgili kesin olarak bir sınırlama getirmek zordur. Kültür bitkilerinin bor elementine karşı dirençleri farklıdır.

Bor toksisitesi görünümü bitkilerde şu şekilde meydana gelebilmektedir:

- 1). Uç yanmaları: Yapraklarda uç kısımlarda sararma olur ve daha sonra kahverengine döner ve kurur. Toksikite durumu çok fazla ise şiddetli yanmalar meydana gelmektedir. Bu tip hasarlar greyfurt, limon, portakalda meydana gelmektedir.
- 2). Uç ve kenar yanmaları: Bu tarz yanmalar çim ve hububat yapraklarında görülmektedir. Uç bölgeler yanmakta ve kenarlar sararmaktadır.
- 3). Kenar yanmaları: Toksikitenin şiddetine bağlı olarak yaprak kenarlarındaki yanma hızlı veya yavaş meydana gelmektedir. Kenar kısımların geri bölgelerinde büyüme devam ettiği takdirde yapraklarda karakteristik olan büzülme ve büyümeler olur.
- 4). Belirsiz sahalar: Kimi bitkiler bor toksisitesi için karakteristik özellikler göstermemektedir.
- 5). Damarlar arası ölü alanlar: Bitkilerde kahverengileşme ilk olarak kenarlarda görülmektedir ve daha sonra damarlar arasına yayılmaktadır.

2.8. Jeostatistik

Jeostatistik kavramı, Matheron (1963) ve Krige (1966) tarafından geliştirilmiş olan bölgesel değişkenler kuramına dayanmaktadır. Toprak süreklilik gösteren, heterojen yapıya sahip olan ve birçok fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olmasından dolayı her noktada özellik ölçme olanağı bulunmamaktadır. Bu durumdan dolayı toprak özelliklerini tahminde bulunabilmek için birçok farklı metot kullanılmaktadır. Kullanılan metotlardan bazıları jeostatistik, matematiksel metotlar ve uzaktan algılamadır.

Jeostatistik, klasik istatistik metotlarından ayrı olarak, örnekler arasındaki durumu, örneklerin alınmış oldukları koordinatları da hesaplamalara dahil ederek değerlendiren ve temelleri fonksiyonlar teorisindeki durağan rastlantı teorisine dayanan istatistiksel bir hesaplama yöntemidir. Bu hesaplama metodu, yapılan hata düzeyinin kabul edilebilir düzeyde belirlenebilmesi açısından önemli avantajları bulunmaktadır. Toprak ve madenlere ait özelliklerin konumsal dağılımları için jeostatistiksel yöntemler kullanımıyla ilgilenilen alanların erozyon risk haritaları, verimlilik haritaları vb. çıkartılarak bölge için yapılacak yatırım ve çeşitli planlamalar için yararlı veri tabanları oluşturulmaktadır (McGrath ve ark. 2004; Özsoy 2007; Aksakal ve Öztas 2010; Turgut ve Öztas 2012; Özsoy ve ark. 2012; Özsoy ve Aksoy 2015a,b; Hatipoğlu 2019; Özsoy 2019).

Topraklar heterojen bir yapıya sahip farklı noktalarda farklı özellikler bulundurabileceğinden dolayı klasik istatistik metotları yeterli olmamaktadır. Klasik istatistikte, belirlenen temsili noktaların birbirlerine bağımlı olmadıkları ve örnekleme ortalamasının popülasyon ortalamasını en doğru düzeyde ifade ettiği varsayılmaktadır. Konumsal verilerin analizinde komşu veriler aralarında bağlantılı oldukları düşünöldüğünde, klasik istatistikteki temel varsayımları sağlanmaz durumdadır (Mardia ve Marshall 1984).

Konumsal analizler için kullanılmakta olan iki metot bulunmaktadır. Bunlar konumsal regresyon analizi ve jeostatistiksel analizdir. Bunlar için benzer iki aşama uygulanmaktadır. Aşamalardan birincisi, araştırmada kullanılan toprak için, incelenmiş

olan toprak özelliklerinin örnekleme noktaları ile aralarındaki konumsal bağımlılıkları tanımlayan modeller saptanır. İkinci olarak ise belirlenmiş olan modeller temel olarak alınarak ileri enterpolasyon metotları kullanılması ile incelenmekte olan toprak özelliklerinin örneklenmemiş noktalardaki değerleri tahmin ederek dağılım desenleri belirlenmektedir. Toprak özelliklerinin yersel değişkenliklerinin sayısallaştırılması, zaman ve uzaya bağlı olarak tanımlanmasında kullanılmaktadır. Sınırlı örneklemenin yapıldığı alanlarda toprakların özelliklerinin tahmin edilmesinde ve ortaya çıkan sorunların çözümlenmesinde yaygın kullanılan bir yöntemdir (Goovaerts 1999; Bocchi ve ark. 2000; Webster ve Oliver 2001).

Jeoistatistiksel olarak toprak özelliklerinin uzaklığa bağlı değişkenliğinin yapısını tahmin edilmesinde semivariogram, örnekleme yapılan noktaların saptanmasında semivariogram modelinin desteği ile örnekleme yapılmayan noktalar için tahmin edilme durumunda krigleme metodu kullanılmaktadır. Toprak biliminde jeoistatistiksel yöntemlerin uygulamalarında çeşitli kriging yöntemleri kullanılmaktadır.

Jeoistatistik ile ilgilenen araştırmacılar çok fazla veri bağımlılığı ve yakın aralıklı fazla miktarda veri noktası gerekliliğinden kaynaklı olarak fazla eleştiri almıştır. Webster ve Oliver (1992)'a göre bazı alanların yüksek mekansal değişiklik sebebiyle saha ölçeğinde jeoistatistiği kullanmak için yüzden fazla örneğe gerek duyulmaktadır.

2.8.1. Semivariogram

Semivariogram, sürekli olarak değişiklik gösteren konumsal bağımlılığın ölçülmesini sağlayan bölgesel değişiklik teorisi, jeoistatistik için önemli bir araçtır ve uzaktan algılamadan alınmış veriler içinde uygundur. Bölgesel değişkenler teorisinde semivariogram çok önemli bir bileşendir ve görüntüler üzerindeki konumsal değişimlerin ölçülmesinde birinci sırada kullanılan araçtır (Goovaerts 1999). Semivariogram UA'da ilk olarak Curran (1988) ve Woodcock ve ark. (1988)'de kullanılmıştır. Semivariogram kullanım alanları başında toprak çalışmaları, sınıflandırma, hata belirleme ve enterpolasyon gibi farklı uygulamalar gelmektedir.

2.8.2. Enterpolasyon

Konumsal (mekansal, uzaysal) enterpolasyon sayısal değerleri bilinen noktaların kullanılması ile değerleri bilinmeyen nokta verilerin tahmin edilmesini sağlamaktadır. Sayısal değerleri bilinen değerler örnek noktası, kontrol noktası veya gözlem noktası olarak adlandırılmaktadır. Kontrol noktaları matematiksel bir eşitlik olup konumsal enterpolasyonda bir enterpolün geliştirilmesini sağlamaktadır. Kontrol noktalarının sayısı ve dağılımsal durumları enterpolasyon doğruluk durumunu önemli düzeyde etkilemektedir (Robinson ve ark. 1995).

Konumsal enterpolasyon yöntemleri farklı başlıklar altında sınıflandırılmaktadır. Birinci sırada yerel ve genel yöntemler olarak sınıflandırılabilir. Genel enterpolasyon metodu, bilinmeyen bir noktada tahmin türetmek için mevcut olan tüm uygun noktaları kullanmaktadır. Yerel enterpolasyon metodu ise küçük bir alanda çalışmaktadır. Bilinmeyen bir nokta tahmini için etrafındaki nokta demetlerinden faydalanılarak kullanılmaktadır (Burrough ve McDonnell 1998). Bu iki metot arasındaki temel fark kullanılan gözlem noktaları sayısından kaynaklanmaktadır. Yerel metodun seçilmesinin sebepleri; ilk olarak yerel metot genel metoda kıyasla daha az hesaplama yapılmaktadır, ikinci olarak tahmin yapılan nokta için uzaktaki bilinen noktaların etkisi az olduğundan dolayı enterpolasyonda komşu noktalar kullanılır (Chang 2004). İkinci olarak mekanla enterpolasyon metotları stokastik ve deterministik olarak sınıflandırılabilir. Stokastik enterpolasyon yöntemi ile hesaplanmış varyanslar ile tahmin hatalarının değerlendirilmesi yapılır. Deterministik yöntem ile tahmin edilen değerler ile hata değerlendirilmesi yapılamaz. Üçüncü olarak ise konumsal enterpolasyon kesin ve kesin olmayan enterpolasyon olmak üzere sınıflandırılabilir. Kesin enterpolasyon gözlem noktalarından geçen bir yüzey oluşturmaktadır. Yani noktasal konumu bilinen bir değer ile aynı olan değeri tahmin etmektedir. Kesin olmayan enterpolasyonda ise noktasal konumdaki bilinmekte olan değerden başka bir değeri tahmin etmektedir (Chang 2004; Hatipoğlu 2019).

Yer biliminde genellikle yerel enterpolasyon metodu önerilmektedir. Yerel metot küçük bir alan için çalışmaktadır bundan dolayı nokta demetleri kullanılmaktadır bunun için

örneklerin nasıl seçildiğini bilmek önemlidir. Örneklemede ilk aşama tahmin metodlarında kullanılacak örnek noktalarının sayısıdır. Coğrafi bilgi sistemleri yazılımları kullanıcılara noktaların sayısının belirtilmesi veya varsayılan değerleri kullandırır (Yang ve Hodler 2000). Nokta sayıları belirlendikten sonra, noktaların aranma işlemi gelir. Kullanılabilecek ilk işlem olarak kullanılan örnekleme noktasına yakın olan noktaların kullanılmasıdır. Diğer seçenekler ise kullanılacak olan noktaların dağılımlarına göre boyutu belirlenecek bir yarıçapta bulunan ve bilinen noktalardan seçilmektedir (Davis 1986).

Yapılan toprak analizlerinden elde edilmiş olan noktasal veriler ile noktasal verilerin alansal dağılımlarını belirlemek için çeşitli enterpolasyon yöntemleri vardır. Bunlar; IDW (Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon), RBF (Radyal Tabanlı Fonksiyon), Simple Kriging, Ordinary Kriging, Co-kriging ve Universal Kriging metodlarıdır.

IDW (Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon): Noktalara ait olan değerlerden faydalanarak örnekleme yapılmamış noktalara ait değerlerin tahmininde kullanılmaktadır. Tahminde bulunulan noktanın çevresindeki noktaların büyüklük ve uzaklığının fonksiyonudur. Tahminde bulunulacak olan noktanın doğruluk durumu mesafenin artması ile azalmaktadır. Deterministik bir yöntem olup, veriler sadece değerlendirilir karşılaştırma yapılmaz (Chang 2004).

RBF (Radyal Tabanlı Fonksiyon): Tahminlenmesi zor olan noktaların veya noktalarla ilgili sınırlı düzeyde veri olduğu durumlarda noktaların tahmininde kullanılan bir metottur. Çok boyutlu bir enterpolasyon yöntemidir. Radyal tabanlı fonksiyonun en önemli avantajı kısıtlamaların az olmasından dolayı herhangi bir boyutta kolaylıkla kullanılmaktadır (Chang 2004).

Kriging: Bu çalışmada Kriging metodu kullanıldığından bu metot daha ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır. Kriging metodu konumsal yapıların tahmininde ve haritalama işlemi faktöriyel kriging veya kriging metodlarının varyasyonları ile yapılmaktadır (Matheron 1982; Goovaerts 1992). Temel olarak bilinmeyen noktaların değerlerinin bilinen diğer noktalardan faydalanarak tahmin edilmesinde kullanılan yöntemdir.

Kriging, maden başta olmak üzere inşaat, meteoroloji, jeoloji ve çevre başta olmak üzere birçok farklı alanda kullanılmaktadır. Kriging ismi, jeostatistiksel tahmin metodunu ilk olarak kullanan D.G Krige'den almaktadır (Journel ve Huijbregts 1978). Kriging yöntemi, bilenen yakın noktalardan alınan verilerden faydalanarak diğer noktalar için optimum değer tahmin edilmesinde kullanılmaktadır. Kriging metodu örnek değişkenler ile bilinmeyen değişkenlerin tahmin edilmesini amaçlayan yöntemdir (Krige 1951, 1966). Kriging metodu maden cevherindeki kalite farklılığı gibi özellikte mekansal değişimi ne determinist nede stokastik olmadığını kabul etmektedir. Bunun yerine uzamsal varyasyon üç unsurdan oluşmaktadır: uzamsal olarak ilişkili varyasyonu temsil etmekte olan mekansal korelasyonu yapılmış bölgeselleştirilmiş değişken, bir eğilimi temsil etmekte olan yapı veya sapmadır. Rastgele bir hata terimidir (Chang 2004).

Kriging Formülü:

$$N_p = \sum_{i=1}^n P_i \times N_i \quad (1)$$

Burada;

P_i : N ' nin hesaplanmasında kullanılmakta olan her N_i değeri için karşılık olan ağırlık değeridir.

N_p : Ondülasyon değeri.

N_i : N_p değerinin hesaplanmasında kullanılan noktaların geoit ondülasyon değerleri.

n : Nokta sayısı.

Kriging metodu, diğer tahmin metodlarına kıyasla daha tarafsız olup minimum varyans ile tahmine ait olan standart sapmanın hesaplanmasını sağlayan metottur (Deutsch ve Journel 1992; Abwet ve ark. 1993). Kriging, doğal özelliklerin sürekli değiştiği ve sürekliliği değişim sebebiyle, birbirine yakın olan noktaların daha uzakta olan noktalara kıyasla birbirine benzemesi daha olasıdır (Webster ve Oliver 1990).

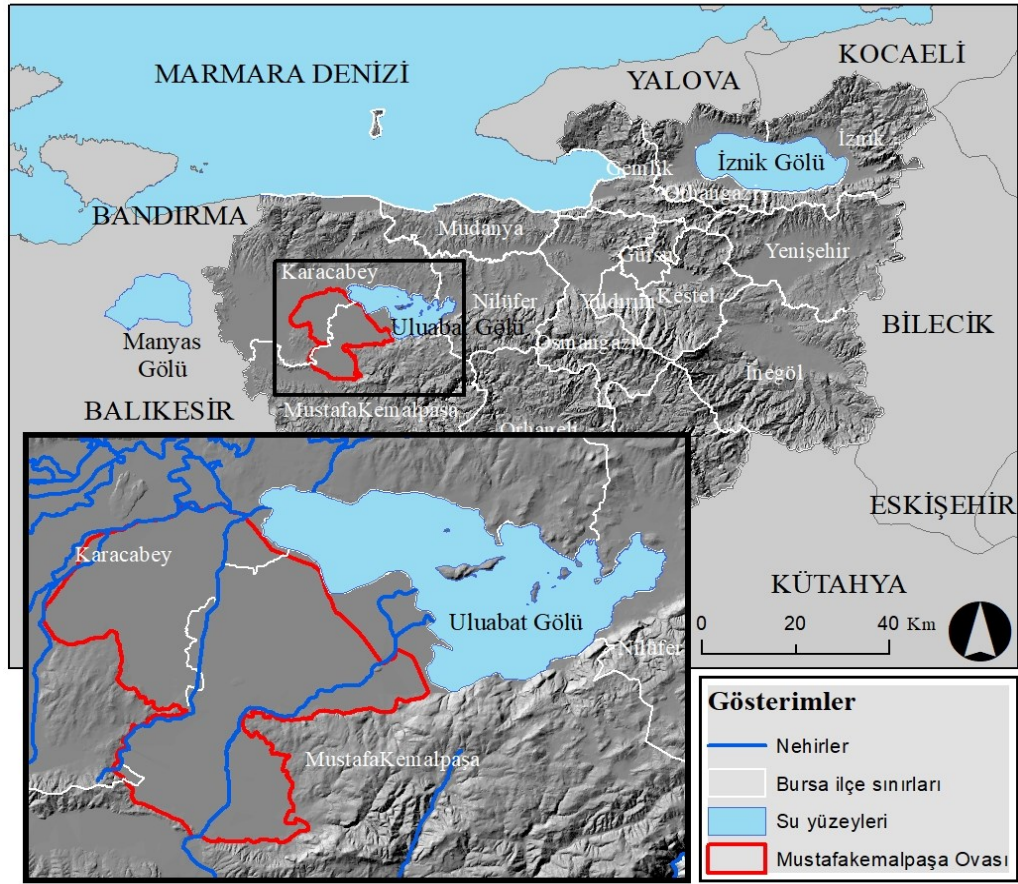
Kriging genel olarak farklı tahmin modellemelerine benzer bir şekilde, bir değişkenin bilinmeyen noktadaki değeri tahmin etmek için, değeri bilinen noktalardan yola çıkılarak bilinmeyen noktanın değerinin tahmin edilmesidir. Simple (basit) kriging metodunda kovaryans fonksiyonuna dayalı olarak rastgele alana dağılıma dayanmaktadır (Li ve Heap 2008). Ordinary (normal) kriging, simple kriging metoduna benzerlik göstermektedir farklı olarak lokal ortalama kullanmaktadır. Tahmin yaparken sadece bilinen örnek konumla bu noktalardaki özellik değerleri aralarındaki uzaklığı kullanmaktadır. Ordinary kriging toprak haritalamasında en sık kullanılan metotlardan biridir ve stokastik bir yöntemdir (McBratney ve ark. 2000). Universal (evrensel) kriging çalışma yapılan alanda veya uzayda belirli doğrultuda artan uzaklığa bağlı değişken değerlerinde devamlı artış durumunda ordinary kriging kullanılmamaktadır. Sınırlı mesafelerde değişken değerlerinin lineer bir artış göstermediği durumda kalıntı yarıvaryogramlar kullanılması ile trendler giderilmekte ve krigleme işlemi ile tahminler yapılmaktadır (Christensen 1990; Brus ve Heuvelink 2007). Co-kriging (ortak) geleneksel modeller yalnızca hedef noktada ikinci verinin olmasıyla birlikte sağlıklı tahminler ortaya çıkmamaktadır. Co-kriging metodunu diğer metotlardan farklı olarak iki veya daha çok değişkenin birbirleri ile olan ilişkisini araştırmada, veri sayısına ve kalitesine bağlı olarak diğer metotlara göre daha iyi tahminler ortaya çıkarmaktadır (Brus ve Heuvelink 2007).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Konum

Bursa ili sınırları içinde bulunan Mustafakemalpaşa Ovası, 611000-633500 m doğu boylamları ile 4452500-4431500 m kuzey enlemleri arasında yer almakta olup 22620 ha alan kaplamaktadır. Söz konusu ova Bursa ve Türkiye için önemli bir tarımsal üretim alanıdır. Mustafakemalpaşa ovasının konumu Şekil 3.1’de sunulan haritada görülebilir.



Şekil 3.1. Mustafakemalpaşa ovası konumu.

Ova kuzey-doğu kesiminde Uluabat Gölü yer almaktadır. Batısında Karacabey Ovası ile güneyinde yer alan Güllüce Ovası ile birleşmiş (sınır komşusu) durumdadır. Ova topraklarının oluşumunda Mustafakemalpaşa çayının getirdiği verimli alüvyonlar ana

rolü oynamıştır. Mustafakemalpaşa Çayı Döllük bölgesinde Orhaneli ve Emet çaylarının birleşimi sonucu isim almıştır (Ozsoy 2012).

3.1.2. İklim

Bölge iklimi, Akdeniz iklimi özelliklerini taşımaktadır. Bölgede ılıman ve nemli iklim karakterleri görülmektedir. Mustafakemalpaşa meteoroloji istasyonu uzun yıllık verilerine göre bölgenin sıcaklık ortalaması 14 °C, nem ortalaması ise %71,6'dır. Bölgeye düşen uzun yıllar ortalama yağış miktarı ise 698 mm'dir. Bölgedeki en yüksek hava sıcaklıklarının görüldüğü aylar haziran, temmuz ve ağustos, en düşük sıcaklıkların yaşandığı aylar ise aralık, ocak ve şubat'tır. İlçede en fazla yağış aralık ve ocak aylarında düşmektedir (Ozsoy 2012).

3.1.3. Jeoloji ve jeomorfoloji

Bölgenin jeoloji haritasına göre ovanın büyük bir kısmı Holosen yeni alüvyon (Qy) olarak belirtilmektedir. Hacıali ve Kestelek köyü dolaylarında yer yer sıkı tutturulmuş kum ve çakıldan oluşmuş eski alüvyonlara da rastlanmaktadır. Yeni alüvyonlar ovanın batısında, kuzeyinde ve güneyinde geniş alan kaplamaktadır. Alanı güney ve batıdan çevrelemektedir. Yeni alüvyonlar tutturulmamış kil ve çakıldan ibaret olup Mustafakemalpaşa Çayının birikintisinden oluşmuştur.

Mustafakemalpaşa Çayı Adranos Çayının Çamandar köyü civarında Emet Çayı ile birleşmesinden meydana gelmektedir. Mustafakemalpaşa Çayı farklı doğrultuda uzanan kollardan meydana gelmiştir. Bu vadi, Mustafakemalpaşa güneyinde, güneydoğudaki büyük kolların kavşak sahasına denk gelen kısımda kuzeybatı-güneydoğu doğrultusunda uzanmaktadır. Ovanın güneyindeki eşiği yardığı boğaz kısmında bir dirsek teşkil ederek kuzeydoğu doğrultusu alır. Ovada 10 km kadar bu doğrultuyu takip eden çay Yamanlı mevkiinde doğuya doğru dönerek Uluabat Gölüne akmaktadır. Çamandardan Uluabat gölüne kadar çayın boyu yaklaşık 43 km kadardır. Çay adını aldığı kavşaktan Mustafakemalpaşa'ya kadar yol aldığı 23 km'lik vadisi boyunca menderesler çizerek akmaktadır. Buralardaki yamaçlardaki kayaların aşınma dirençleri farklı olduğundan vadi

asimetriktir. Akarsu çevresindeki yüksek kısımlardan inen bir takım tabii yer üstü suları ile beslenmektedir (Şeker 1982). Mustafakemalpaşa Çayı Bor minerallerince de zengin olduğu bilinmektedir.

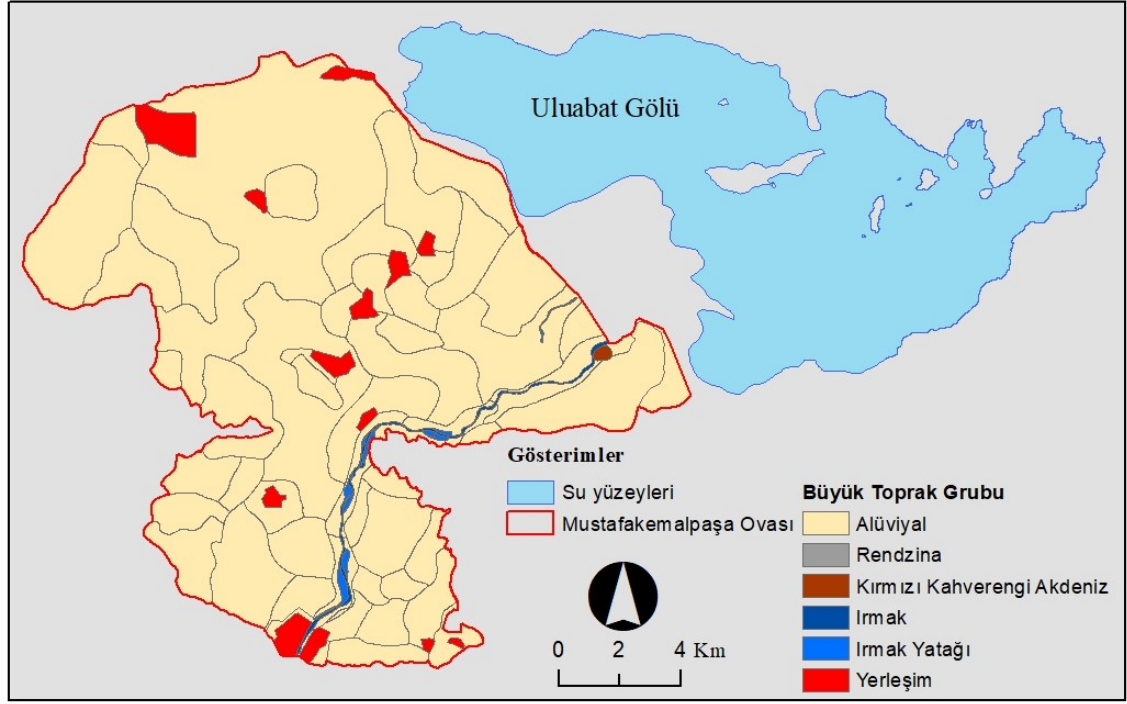
Mustafakemalpaşa Ovası güneye doğru daralarak Mustafakemalpaşa'da doğu-batı doğrultulu dar bir boğazla Güllüce ovasından ayrılır. Bu boğaz Mustafakemalpaşa çayı tarafından oluşturulmuş ve iki ova birleşmiş görünümündedir. Burada oluşmuş olan vadinin her iki yamacında 50 m'lik yükseklik farkı gözlemlenmektedir ve bu kısımda vadi geniş tabanlı görünümündedir. Buradaki yamaçlar litolojik bakımdan incelenirse üstte karstik materyaller tabana yakın yerlerde ise kil ve silt gibi tabakalar yer almaktadır. Ovanın kuzey-güney doğrultusundaki uzunluğu yaklaşık 24 km olup doğu-batı doğrultusunda ise yaklaşık 10-14 km'dir. Ova genelinde sulamaya engel olacak herhangi bir topoğrafik eğim bulunmamaktadır (Şeker 1982).

3.1.4. Temel toprak özellikleri ve bitki örtüsü

Mustafakemalpaşa Ovası arazilerinin toprak haritası Şekil 3.2'de, arazi kullanım kabiliyet (yetenek sınıfı) haritası ise Şekil 3.3'de verilmiştir.

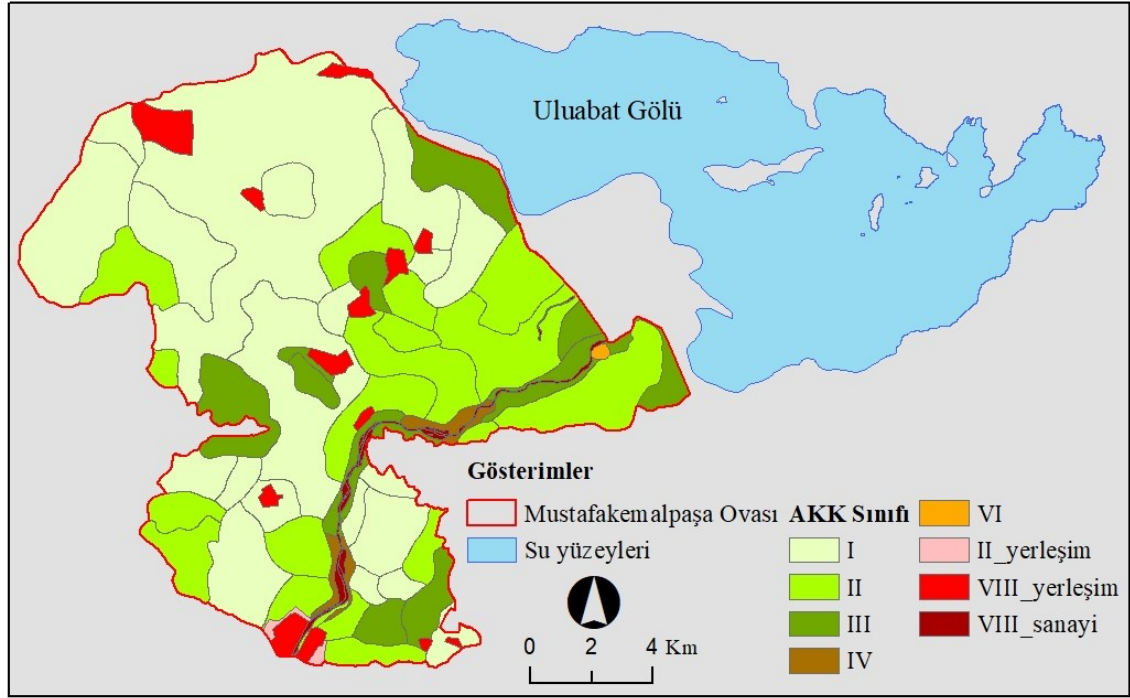
Şekil 3.2'de verilen harita incelendiğinde çalışma alanı topraklarının tamamına yakın kısmının Alüviyal Büyük Toprak Grubu topraklarından oluştuğu görülmektedir. Bundan başka Mustafakemalpaşa Çayı boyunca yer yer ve ufak lokal alanlarda Rendzina ve Kırmızı Kahverengi Akdeniz topraklarına da rastlanmaktadır.

Mustafakemalpaşa ovasını oluşturan genç alüviyal topraklar, akarsular tarafından taşınarak depolanan materyaller üzerinde oluşmuş A(C) profilli topraklardır. Mineralojik bileşimleri akarsu havzasının karakterine, erozyon ve birikme devrelerine bağlı olarak heterojendir. Profilde horizonlaşma genelde yoktur ancak değişik özelliklerde katlar mevcuttur. Çoğu kireçli materyallerden taşındığı ve yeni depolandığı için kireççe zengindir. İnce bünyeli ve taban suyu nispeten yüksek alanlarda geçirgenlik zayıftır. Ancak ova arazileri genelinde drenaj, tuzluluk ve alkalilik problemi görülmemektedir. İklim ve toprak özelliklerinin elverdiği ölçüde her türlü ürün yetiştirilebilir (Ozsoy 2007).



Şekil 3.2. Mustafakemalpaşa ovası arazilerinin 1:100000 ölçekli toprak haritası.

Arazi kullanım kabiliyet sınıfı dağılımına göre çalışma alanı topraklarının büyük kısmı I. ve II. sınıf araziler oluşturmaktadır (Şekil 3.3). I. Sınıf araziler işlemeli tarıma uygun mutlak tarımsal üretime ayrılması gereken arazilerdir. Özel tedbir olmadan ve işlemler uygulama yapılmadan tarım yapılabilir. Topraklar derin ve kolay işlenebilir. Verimlidirler, düz-düze yakın eğime sahiptirler ve erozyon tehlikesi bulunmaz. II. Sınıf araziler de tarımsal açıdan verimli topraklardır ancak I. Sınıf arazilere göre belirli bazı üretimi kısıtlayıcı faktörlere sahiptir. I. Sınıf topraklara kıyasla hafif eğimli, orta derinlikte, hafif yüzeysel akış ve erozyon etkisinde kalabilen, hafif drenaj problemleri olabilen, az yüzey taşlılığı görülebilen arazilerdir.



Şekil 3.3. Mustafakemalpaşa ovası arazilerinin arazi kullanım kabiliyeti sınıfı haritası.

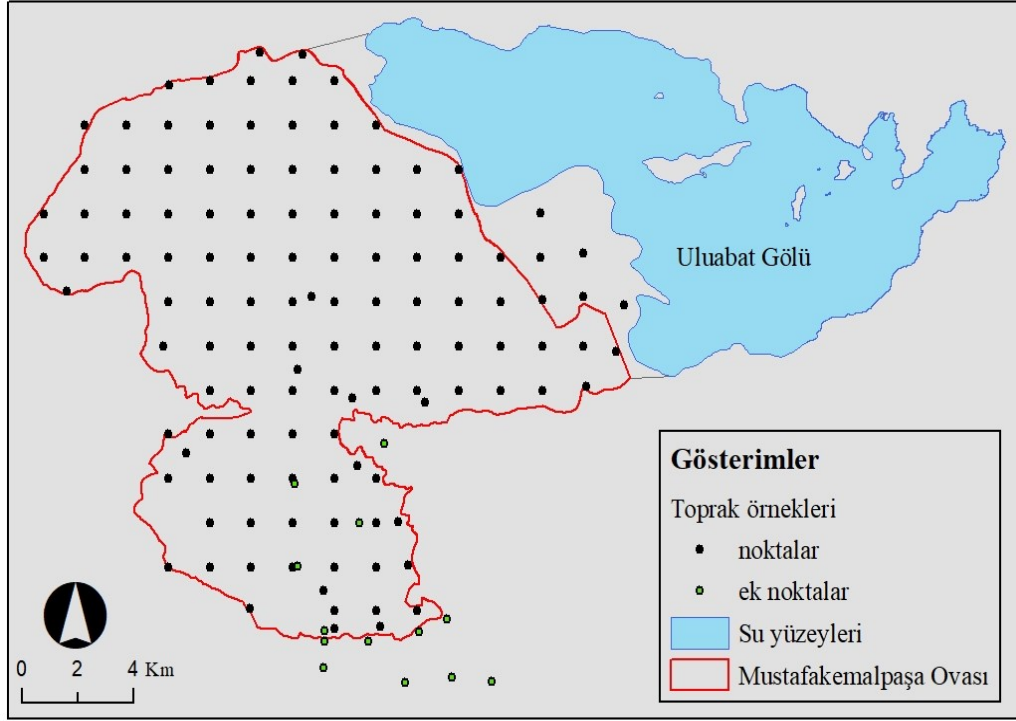
Mustafakemalpaşa Ovasında tarla bitkilerinden başta buğday olmak üzere mısır, soğan, yonca, ayçiçeği, arpa ve patates bitkileri ağırlıklı olarak yetiştirilmektedir. Sanayiye yönelik domates yetiştiriciliğinde yaklaşık 680.000 ton ile ülkemizde ilk sırada yer almaktadır. Bölgede biber, kavun, karpuz, şekerpancarı ve fasulye yetiştiriciliği yapılmakta olan diğer kültür bitkilerindedir. Ovada meyve yetiştiriciliğinde şeftali başta olmak üzere zeytin, çilek, armut, ahududu, elma ve ayva yetiştiriciliği yoğun bir şekilde yapılmaktadır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Toprak örnekleme ve toprak analizi

Mustafakemalpaşa Ovası kapsamında örnek alınacak noktalar CBS tekniklerine uygun olarak ArcGIS yazılımı kullanılarak 1,5 km x 1,5 km'lik grid sisteminde belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında alınan toprak örneklerinin konumsal dağılımı Şekil 3.4'de verilmiştir. Bilgisayar ortamında belirlenen gridlerin orta noktaları Mustafakemalpaşa ovası sayısal Büyük Toprak Grupları haritasının da birlikte değerlendirilmesi yoluyla

kesinleştirilerek coğrafik koordinatları CBS ortamında kaydedilmiş ve toprak örnek noktalarına ait nokta veri seti oluşturulmuştur. Ayrıca her bir toprak örnek noktasının koordinatları el GPS'sine kaydedilmiş, GPS'in konum bulma özelliği ile arazide örnek noktalarının konumlarına gidilmiş ve toprak örnekleri bu noktalardan usulüne uygun olarak alınmıştır.



Şekil 3.4. Çalışma için alınan toprak örneklerinin konumu. Örnek noktaları 1,5 km x 1,5 km'lik grid sisteminde belirlenmiştir.

Her bir örnekleme noktasından yüzey (0-30 cm) ve yüzey altı (30-60 cm) olmak üzere iki derinlikten toprak örnekleri alınmıştır. 1,5 km x 1,5 km'lik grid sistemi ile belirlenmiş olan 137 örnek noktasından toplamda yüzey üstü ve yüzey altı olarak toplamda 274 adet toprak örneği alınmıştır. Toprak örnekleri arazide usulüne uygun olarak özel alet ve ekipmanlar ile alınmış ve etiketlenmiştir. Laboratuvar çalışmasında toprak örnekleri ilk olarak hava kurusu haline gelene kadar gölgede kurutulmuş, tahta tokmaklar ile dövülmüş, daha sonra 2mm'lik eleklerden geçirilerek topraklar analizler için hazır duruma getirilmiştir.

Toprak örneklerinde yapılan Bor analizi: Toprak örneklerinde yapılan Bor analizi Wolf (1971)'de açıklandığı şekilde gerçekleştirilmiştir. Buna göre; 12.5 gr toprak tartılarak üzerine aktif kömür ve 25ml Morgan çözeltilisi eklenerek elde edilen toprak çözeltilisi 5 dakika çalkalanmış ve filtre kağıtları ile süzümüştür. Elde edilen süzükten 4ml alınarak üzerine 1ml buffer ve 1ml azametine-H çözeltilisi koyularak 10ml tüpte yeni karışım hazırlanmış ve hemen vortex'de çalkalamaya geçilmiştir. 1 saat renklenmesi için beklenen çözeltiler bekleme süresi sonunda 420 nm dalga boyundaki spektrometrede okunmuştur. Standart seri borik asitle hazırlanmıştır (Wolf 1971).

3.2.2. Coğrafi Bilgi Sisteminde konumsal analizler ve haritalama metodolojisi

Bu çalışmanın yürütülmesinde Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü UA ve CBS alt yapısı, donanım ve yazılımları kullanılarak yürütülmüştür. Mustafakemalpaşa Ovasında yürütülen çalışmanın CBS ortamında başarılı ve sağlıklı bir biçimde yürütülebilmesi için 1:25000 ölçekli topoğrafik haritalar altlık veri olarak kullanılmıştır. Mustafakemalpaşa Ovası için ArcGIS yazılımında bir veri tabanı hazırlanmıştır. Daha sonra bölgenin 1:100000 ölçekli toprak haritası ve Mustafakemalpaşa ovası sınır haritası veri tabanına alınarak tüm haritalar aynı projeksiyon ve koordinat sisteminde kaydedilmiştir.

Ova topraklarını kapsayan 1,5 x 1,5 km gridlerin çizilmesi ve dolayısıyla toprak örnek noktalarının konumunun belirlenebilmesi için ArcGIS yazılımı kullanılmıştır. Belirlenen gridlerin orta noktaları Mustafakemalpaşa ovası sayısal Büyük Toprak Grupları haritası üzerine aktarılmış ve toprak örneklerinin olabildiğince farklı haritalama gruplarına denk gelmesi sağlanmıştır. Ayrıca çalışma alanı güncel görünümü GoogleEarthPro yazılımı ile incelenerek örnek noktalarına ulaşılabilirlik durumu da noktaların son konumlarının belirlenmesinde sorgulanmıştır. Coğrafi koordinatları kesinleştirilen toprak örnek noktaları CBS ortamında kaydedilmiş ve nokta veri seti oluşturulmuştur. Arazi çalışmasında kullanılmak üzere örnek noktalarının konumsal bilgileri el tipi GPS içine aktarılmış ve gezi rotası oluşturulmuştur. GPS'in konum bulma özelliği ile arazide örnek noktalarının konumlarına gidilmiş ve toprak örnekleri bu noktalardan usulüne uygun

olarak alınmıştır. Örnek noktasının yeri değişmesi gerektiği durumlarda (noktaya ulaşamama) yeni koordinatlar kaydedilmiştir.

Toprak örneklerinde yapılan tüm laboratuvar analiz sonuçları MS Excel yazılımında tablo veriler şeklinde düzenlenerek, ArcGIS yazılımı ortamında daha önce oluşturulan nokta verilerinin öznelik tabloları ile birleştirilmiş ve iki farklı derinlik için veri tabanı güncellenmiştir. Her bir toprak örneğine ait Bor analizi sonuç değerine dayanarak Mustafakemalpaşa Ovası topraklarının Bor miktarı konumsal dağılımı jeostatistiksel yöntemlerle belirlenmiştir.

Jeostatistiksel analizlerde her bir toprak numune noktasının Bor değeri semivariogram analizleri ile belirlenmiştir. Veriler ArcGIS yazılımı jeostatistik sihirbazı (geostatistic wizard) modülünde incelenmiş ve en uygun model olarak belirlenmiştir. İncelenmiş tüm modeller içerisinde en yüksek doğruluk değerine sahip olan model dağılım haritalarının oluşturulması için en uygun model olarak seçilmiştir. ArcGIS yazılımı jeostatistik analisti (geostatistical analyst) modülü altında bulunan veri keşfi (explore data) alt sekmesinde yer alan histogram ve yarıvariogram/kovaryans (semivariogram/covariance cloud) kullanılarak tüm veriler analiz edilmiştir. Histogram sekmesi ile veri kümelerinin dağılımını ve özet istatistikleri incelenmiştir. Yarıvariogram/kovaryans bulutu sekmesi ile veri kümesindeki uzamsal bağımlılık (yarıvariogram ve kovaryans) değerlendirilmiştir. Yarıvariogram/kovaryans modelleme, mekansal tanımlama ve mekansal tahmin arasında önemli bir adımdır. Jeostatistiğin ana uygulaması, örneklenmemiş konumlardaki veri değerlerinin tahminidir.

Deneysel yarıvariogram ve kovaryans (empirical semivariogram and covariance), veri kümelerinin uzamsal otokorelasyonları hakkında bilgi sağlar. Ancak, olası tüm yönler ve mesafeler için bilgi sağlamazlar. Bu nedenle ve kriging tahminlerinin pozitif kriging varyanslarına sahip olmasını sağlamak için deneysel yarıvariogram/kovaryans bir model (başka bir deyişle sürekli bir fonksiyon veya eğri) uydurmak gerekmektedir.

Jeostatistik sihirbazı, deneysel yarıvariogram değerlerinin üç farklı görünümünü sağlar. Verilere bir model uydurmanıza yardımcı olması için bunlardan birini, ikisini veya üçünü

birden kullanılabilir. Varsayılan görünüm, gruplandırılmış ve ortalama deneysel yarıvარიogram/kovaryans değerlerini göstermektedir. Gruplandırılmış değerler kırmızı noktalar olarak gösterilir ve deneysel yarıvარიogram/kovaryans noktalarının bir gecikme genişliğinde kare hücreler kullanılarak gruplandırılması (binlenmesi) ile oluşturulur.

Verilerin analizinde açısız sektörler içinde yer alan deneysel yarıvარიogram/kovaryans noktalarının gruplanmasıyla üretilen veri ortalamaları yorumlanmıştır. Ortalama değerler düzgün yarıvარიogram/kovaryans değeri varyasyonunu göstermektedir. Çoğu durumda, bir modeli ortalama değerlere uydurmak daha kolaydır, çünkü bunlar verilerdeki uzamsal otokorelasyona ilişkin daha az karmaşık bir görünüm sunar ve yarıvარიogram değerlerinde ikili noktalardan daha yumuşak değişiklikler gösterir.

Bu çalışma için ordinary kriging enterpolasyon tekniğinin kullanılmasındaki ana sebep bu tekniğin yer bilimleri çalışmalarında başarı sağlaması ve özellikle toprak, madencilik ve diğer yer bilimleri çalışmalarında yüksek doğruluk vermesidir. Ayrıca toprak örnekleme sisteminin grid sistemine göre yapılması da bu tekniğin seçilmesindeki diğer nedeni oluşturmaktadır (Chang 2004).

Ordinary kriging enterpolasyon modeli ile oluşturulan konumsal dağılım haritaları (üst ve alt toprak) Wolf (1971)'de verilen toprak verimliliği açısından Bor sınır değerlerine göre tekrar sınıflandırılmıştır. Bu çalışmada toprakların Bor içeriklerinin toprak verimliliği açısından değerlendirilmesinde kullanılan sınır değerler Çizelge 3.1'de sunulmuştur.

Çizelge 3.1. Toprak verimliliği açısından toprakta bulunan Bor miktarının sınır değerleri (Wolf 1971).

Toprakta B Miktarı (mg kg⁻¹)	
Sınır Değer	Sınıf
< 0,5	Çok düşük
0,5 - 1,0	Düşük
1,0 - 2,5	Orta
2,5 - 5,0	Yüksek
> 5,0	Çok yüksek

Toprakta bulunan bitki besin elementlerinin yeterli-yetersiz durumunu belirten sınır değerleri bitkisel üretim için önemlidir. Toprakta bulunan bir elementin noksanlığı bitkiler için verim düşüklüğüne, fazlalığı ise toksik etki oluşmasına sebep olabilmektedir.

Toprak örnekleri alınırken toprak örneğinin konumsal bilgileri yanında güncel arazi kullanım/örtü durumu da veri tabanına kaydedilmiştir. Çalışma alanı topraklarının Bor miktarının azlığı veya fazlalığı arazi kullanım/örtü tipine göre de kıyaslanmış ve yorumlanmıştır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Verilerin İstatistiksel (Tanımsal) ve Jeostatistiksel Yorumu

Çalışma kapsamında alınmış olan toprak örneklerinde yapılan Bor analizi sonuçlarının daha iyi yorumlanabilmesi için tanımlayıcı istatistik verilerine bakılmıştır. Toprakların bazı tanımlayıcı istatistik bilgileri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Toprakların tanımlayıcı istatistik verileri.

Topraktaki miktar	N	Range	Min.	Max.	Ort.	Std. Sapma	Çarpıklık	Basıklık	Varyans	Var.K. (%)
Üst Toprak										
Bor, mg kg ⁻¹	137	10,50	0,10	10,60	2,56	1,90	1,18	1,94	3,61	74,25
Alt Toprak										
Bor, mg kg ⁻¹	137	6,10	0,10	6,20	2,13	1,51	0,68	-0,33	2,28	70,80

Tanımlayıcı istatistiklerde hesaplanan varyasyon katsayısı veriler arasındaki farklılığın bir değerlendirmesidir. Varyasyon katsayısı yüzdesine göre toprak verilerinin gösterdiği değişkenlik üç gruba ayrılmaktadır. Bu katsayı <15 ise düşük değişken, katsayı 16-35 arasında ise orta değişken ve katsayı >36 ise yüksek değişkendir (Mulla ve McBratney 2000).

Verilerin tanımlayıcı istatistik sonuçlarına göre yüzey ve yüzey altı topraklarını temsilen elde edilen veriler yüksek değişken bulunmuştur. Değerlerin pozitif çarpıklık değeri eğrinin sola eğik olduğunu, negatif değer ise eğrinin sağa eğik olduğunu göstermektedir. Eğrinin merkeze olan uzaklığı çarpıklığın şiddetini belirtmektedir. Basıklık değeri ise normal dağılıma göre değişkenin basıklık durumunu göstermekte olup pozitif değerler normal dağılıma göre daha sivri, negatif değerler ise normal dağılıma göre daha basıktır. Analiz sonuçlarına göre yüzey toprakları Bor içeriği değerleri pozitif ve yüzey altı toprakları Bor içeriği değerleri ise negatif basıklığa sahiptir.

Verilerin jeoistatistiksel analizinde toprakların Bor içeriği, her bir noktanın birbiriyle olan konumsal ilişkisi yarıvariogram analizleri ile belirlenmiştir. İnceleme yapılan her bir toprak karakterine ait elde edilen kimi Jeoistatistiksel veriler ile incelenen veri setleri için en uygun model Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Toprakların kimi jeoistatistik verileri.

Bor	Range	Nugget	Sill	Lag	Lag Uzaklığı*	r²	Model	Enterpolasyon
Üst Toprak	4243,87	1,84	1,58	12	1204	0,87	Küresel	Kriging, Ordinary
Alt Toprak	4249,59	1,29	0,91	12	1204	0,85	Küresel	Kriging, Ordinary

* adım uzaklığı

Bu çalışmada toprak örnekleme 1,5 x 1,5 km grid sistemine göre yapılmıştır. Lag uzaklığı olarak bu mesafe alınabilir. Ancak gerçek lag uzaklığının belirlenmesi için ArcGIS yazılımı konumsal istatistik araçlarında veri kalıpları analiz edilmiştir. Bu araç kutusu ile ortalama en yakın komşu mesafesi hesaplatılmıştır ve 1204 m değeri bulunmuştur. Bu değer jeoistatistiksel analizlerde lag uzaklığı değeri olarak kullanılmıştır.

4.2. Toprakların Kimi Özellikleri ile Bor İçeriği

Çalışma alanı topraklarının kimi genel özellikleri Çizelge 4.3’de sunulmuştur. Araştırma toprakları (üst ve alt toprak) hafif alkalin toprak reaksiyonuna sahip, büyük çoğunluğu orta bünyeli, geneli tuzsuz ancak yer yer hafif tuzlu, az kireçli veya çok az kireçli özelliklerdedir.

Çizelge 4.3. Çalışma alanı topraklarının genel özellikleri.

Toprak		pH	Kireç (%)	EC ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Bünye	Bor (mg kg^{-1})
Üst Toprak	Min.	6,10	0,01	74	orta	0,4
	Mak.	8,70	0,49	1526		10,6
	Ort.	8,06	0,14	415		2,6
Alt Toprak	Min	6,14	0,01	44	orta ağır	0,1
	Mak	8,76	0,32	1598		6,2
	Ort.	8,30	0,15	316		2,1

Toprakların Bor içeriği üst toprakta en az 0,4 ppm ve en fazla 10,6 ppm (ortalama 2,6 ppm), alt toprakta ise en az 0,1 ppm en fazla 6,2 ppm (ortalama 2,1 ppm) olarak tespit edilmiştir.

4.3. Toprakların Bor İçeriğinin Değerlendirilmesi

Bitkilerin ihtiyaç duyduğu bitki besin elementlerinin toprakta bulunma düzeylerine bağlı olarak toprak verimliliği olumlu veya olumsuz olarak etkilenebilmektedir. Bazı elementlerin toprakta fazla bulunması diğer başka besin elementlerinin bitkiye alımını olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Ayrıca bir elementin toprakta fazla bulunması toksik etkilere de yol açabilmektedir. Toprak verimliliği açısından değerlendirildiğinde bitki besin elementlerinin toprakta az ya da fazla bulunması, bitkiler için yeterli veya yetersiz düzeyde olup olmadıklarının bilinmesi gerekmektedir. Wolf (1971) yaptığı çalışmada toprakların Bor içeriğinin tespiti üzerine çalışmış ve Bor konsantrasyonunun bitkiler için topraktaki yeterlilik seviyelerini belirlemiştir (Çizelge 3.1).

Bu çalışma kapsamında analiz edilen toprakların Bor miktarlarının yeterli veya yetersizlik durumu çalışılmış ve her bir sınıfın alansal dağılımı hesaplanmıştır. Yüzey ve yüzey-altı topraklarının Bor yeterlilik sınıfları ve alansal bilgiler Çizelge 4.4’de, topraklarının Bor miktarı dağılımları haritası ise Şekil 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Yüzey ve yüzey altı topraklarının Bor yeterlilik sınıfları ve alansal bilgileri.

Sınıf	Bor (mg kg ⁻¹)	Üst Toprak		Alt Toprak	
		Alan (ha)	Alan (%)	Alan (ha)	Alan (%)
Çok az	< 0,5	-	-	120,42	0,53
Düşük	0,5 - 1,0	836,28	3,70	2365,92	10,46
Orta (yeterli)	1,0 - 2,5	8997,39	39,78	12802,68	56,60
Yüksek	2,5 - 5,0	12439,44	54,98	7331,58	32,41
Çok yüksek	> 5,0	347,49	1,54	-	-
	<i>Toplam</i>	22620,60	100,00	22620,60	100,00

Çalışma alanı topraklarının Bor içerikleri yüzey ve yüzey altı topraklar için farklılıklar göstermektedir. Bu çalışma ile yüzey topraklarının alansal olarak yaklaşık %55’inin Bor

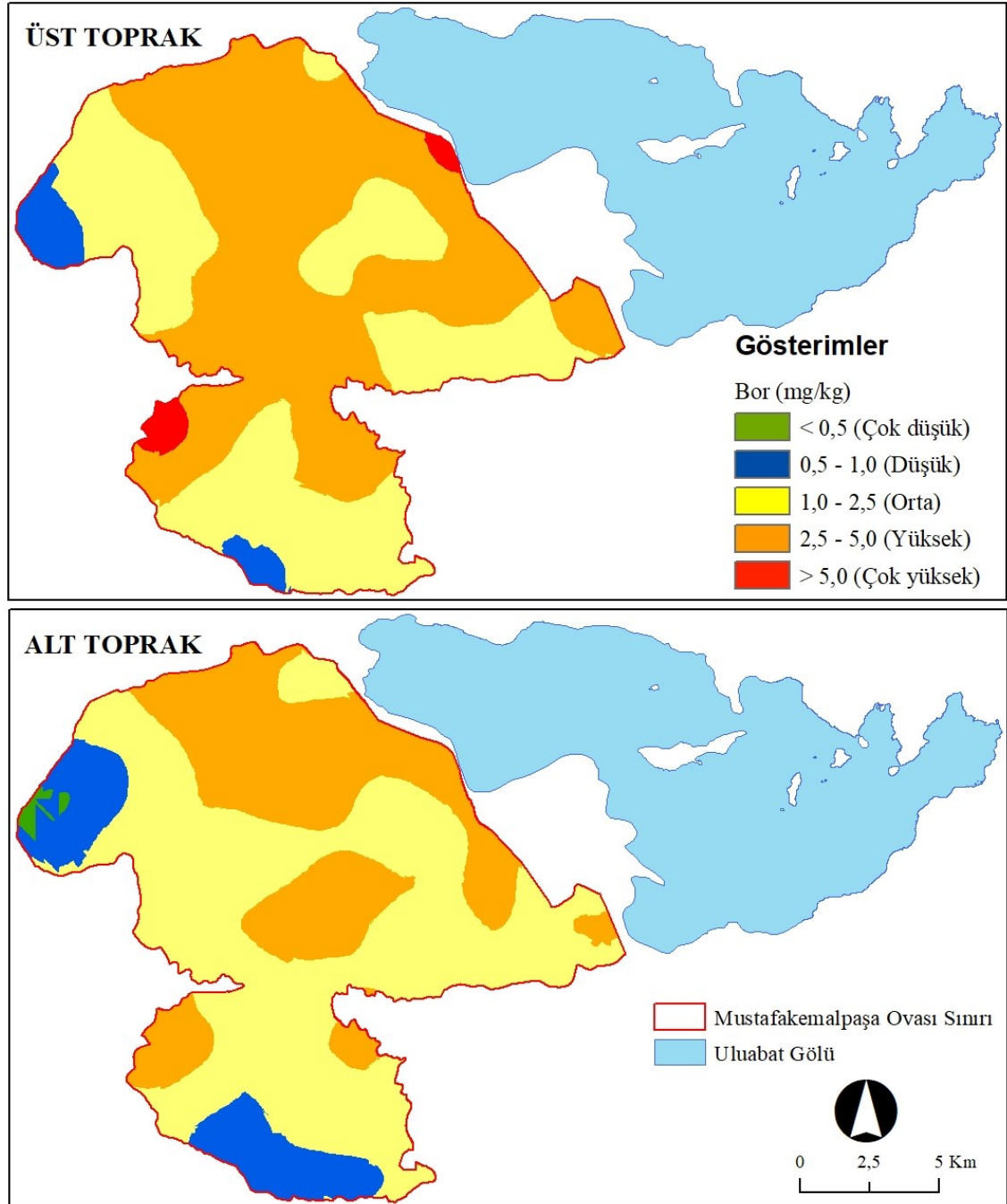
içeriğinin yüksek sınıfta (2,5-5,0 mg kg⁻¹) olduğu, yaklaşık %40'lık kısmının ise orta-yeterli sınıfta yer aldığı ortaya çıkmıştır. Yüzey topraklarında Bor içermeyen alan bulunmamaktadır veya yüzey topraklarının hepsinde Bor 0,5 mg kg⁻¹ üstünde düşük-çok yüksek sınıfları arasında mevcuttur. Çalışma alanı yüzey topraklarının yaklaşık 347 ha (%1,54) kısmında ise Bor toksik etki yaratacak düzeyde çok yüksek derecede sınıflanmıştır. Kısaca, bu çalışma ile Mustafakemalpaşa ovası yüzey topraklarının Bor kapsamının dikkat edilmesi gereken seviyede yüksek olduğu söylenebilir. Tarımsal açıdan ova topraklarının Bor kapsamının fazla oluşu bazı kültür bitkilerinin ekonomik yetiştiriciliğinde sorun yaratabilir.

Yüzey altı topraklarının %56,6'sında Bor içeriği orta-yeterli seviyede olduğu tespit edilmiştir. Söz konusu orta-yeterli sınıfın alansal dağılımı yaklaşık 12802 ha alandır. Yüzey altı topraklarının Bor içerikleri değerlendirildiğinde bir başka önemli nokta, alanın yaklaşık %32'lik (7331,58 ha) kısmında Bor içeriğinin yüksek sınıfta bulunmuş olmasıdır. Bu durum ova topraklarında yıkanma ile beraber üst toprağa bir şekilde sulama suyu veya yüzey akışı ile gelen Bor'un alt horizona yıkanmakta olduğunun da bir göstergesidir. Bununla beraber yüzey altı topraklarının yaklaşık %11'lik kısmında Bor düşük ve çok az düzeyde sınıflanmıştır.

Şekil 4.1'de verilen Bor düzeyi dağılımı haritası incelendiğinde özellikle Mustafakemalpaşa Çayının etkili olduğu bölgelerin genelinde Bor yüksek seviyede sınıflandırılmıştır. Özellikle Uluabat Gölüne komşu bazı drenaj problemi yaşayan sulak alanlarda (hidromorfik alüviyal) ve ova içinde yoğun sulama yapılan bazı lokal alanlarda Bor miktarı çok yüksek çıkmaktadır. Özellikle ovanın kuzey ve kuzey-doğu kısımlarında ve orta bölgesinde Bor miktarları hem üst hem de alt toprak için yüksek sınıfta haritalanmıştır. Bu bölgelerde toprak yönetimine daha dikkat edilmelidir.

Bor elementi bitkilerde toksik etki ve noksanlığı en fazla görülen mikro elementlerden biridir (Shorrocks 1997; Yau ve Ryan 2008). Bitkiler için topraktaki bor içeriği 1 mg kg⁻¹'dan az ise bor eksikliği, 5 mg kg⁻¹ üzerinde ise bor fazlalığı oluşmakta ve bor toksisitesi görülmektedir (Kelling 2010). Topraktaki bor miktarı 5 ppm değerinden fazla olduğu

durumlarda bitkide toksik etkiye neden olabilmektedir. Toprakta Bor 10 ppm seviyesinin üzerine çıktığında ise toksisite net şekilde görülmektedir (Boşgelmez ve ark. 2001).



Şekil 4.1. Mustafakemalpaşa ovası topraklarının bor dağılımı haritası.

Çalışma alanında Bor üst toprakta 10,6 ppm, alt toprakta ise 6,2 ppm gibi yüksek değerler tespit edilmiştir (Çizelge 4.3 ve Şekil 4.1). Ova genelinde toprakların Bor içerikleri genelde orta (1,0-2,5 mg kg⁻¹) ve yüksek (2,5-5,0 mg kg⁻¹) seviyede sınıflandırıldığından ve Bor içermeyen veya az içeren alanların ya olmaması veya çok az alan kaplamaları ova bütününde uygun toprak yönetimi yanında özellikle toprakların Bor miktarları devamlı kontrol edilmelidir. Ayrıca Bor'a dayanıklı ve topraktan diğer bitkilere oranla daha fazla Bor kaldıran kültür bitkilerinin üretimine önem verilmelidir.

4.4. Arazi Kullanım/Örtü Durumu ve Bor İçeriği

Mustafakemalpaşa ovası topraklarının Bor içeriklerinin yüksek veya daha az oluşu ovanın arazi kullanım/örtü durumu ile de karşılaştırılmıştır. Arazi çalışması sırasında toprak örnekleri alınırken her bir örnek noktasına ait tespit edilen arazi kullanım/örtü tipi ve yüzey topraklarının (0-30 cm) Bor içerikleri Çizelge 4.5.'de verilmiştir. Ek olarak, Mustafakemalpaşa ovası topraklarının bor dağılımı ve arazi kullanım/örtü durumu ilişkisini gösteren harita da Şekil 4.2.'de sunulmuştur.

Çizelge 4.5. Çalışma alanı yüzey topraklarını (0-30 cm) arazi kullanım/örtü durumuna göre Bor içerikleri.

Arazi Kullanım Türü	Örnek Sayısı	Üst Toprak Bünye	pH	EC (µS cm ⁻¹)	Kireç (%)	Bor (mg kg ⁻¹)
Tarım	Min.	119	C, SiC, SiCL, SCL,	6,10	74	0,01
	Mak.		CL, L, SL, LS	8,70	1526	0,49
	Ort.		orta	8,10	414	0,14
Mera	Min.	9	C, CL, L, SL	7,52	158	0,07
	Mak.			8,27	663	0,20
	Ort.		orta ağır	8,02	378	0,14
Boş Arazi*	Min.	2	L, C	7,49	347	0,15
	Mak.			8,11	557	0,30
	Ort.		orta	7,80	452	0,28
Sazlık**		1	SCL, orta ağır	8,70	610	0,22
Yerleşim	Min.	5	L, SCL, CL	7,78	219	0,13
	Mak.			8,33	704	0,25
	Ort.		orta ağır	8,11	464	0,19
Sanayi		1	CL, orta ağır	7,83	273	0,06

* dere, yol kenarı

** göl kenarı

Bu çalışma kapsamında ova topraklarının örnekleme için oluşturulan 1,5 km x 1,5 km grid noktalarından alınan toplam 137 toprak örneklerinin sahip olduğu arazi kullanım/örtü durumuna göre en fazla toprak örneği tarım alanlarından (119 adet) toplanmıştır. Bunu sırasıyla mera alanları (9 adet), yerleşim bölgeleri (5 adet), dere ve yol kenarlarına denk gelen boş araziler (2 adet) ve 1'er örnek ile sanayi ve sazlık alanlar izlemektedir. Mustafakemalpaşa ovası yüzey toprakları Bor içerikleri arazi kullanım/örtü durumuna göre değerlendirildiğinde en fazla Bor içeriği 10,6 mg kg⁻¹ ile sazlık arazi örtü tipine sahip toprak örnek noktasında tespit edilmiştir. Bunu 3,0 mg kg⁻¹ ile düz eğimde tarım arazisine kurulu sanayi alanı ve 2,7 mg kg⁻¹ ortalama değere sahip tarım alanları izlemektedir. Boş arazi olarak belirtilen arazi kullanım/örtü tipine sahip alanların dahi Bor içeriği ortalaması yüzey topraklar için 1,5 mg kg⁻¹ olarak tespit edilmiştir.

Tarım yapılan alanlarda Bor içeriği ortalama olarak yüksek sınıfta olduğu söylenebilir. Tarım alanları içinde en yüksek Bor değeri yüzey toprakları için 7,9 mg kg⁻¹ olarak tespit edilmiştir. İncelenen toprak örneklerinin mera arazi örtüsüne sahip yüzey topraklarında Bor ortalaması düşük sınıfta bulunmuştur. İncelenen mera yüzey topraklarında en yüksek Bor değeri 1,8 mg kg⁻¹ olarak (orta sınıf) tespit edilmiştir (Çizelge 4.5). Tarım alanlarına kıyaslandığında incelenen mera yüzey topraklarının Bor içerikleri oldukça düşüktür. Tarım arazilerinin yüzey topraklarının Bor içeriğinin incelenen mera yüzey topraklarına göre daha fazla çıkması büyük ölçüde tarım alanlarında yapılan sulama ile toprağa Bor katılmasından kaynaklı olabilir.

Mustafakemalpaşa Çayı, Mustafakemalpaşa Ovasında ihtiyaç duyulan sulama suyunun önemli bir miktarını karşılamaktadır. Tarımsal üretim için kullanılan bu akarsuyun kalitesinin devamlı izlenmesi gerekmektedir. Mustafakemalpaşa çayının, Uluabat Gölü'ne bağlandığı kısımda bor miktarı 8,715 ppm olarak ölçülmüştür. Bu ölçülen değer bora dayanıklı bitkiler için dahi çok fazla bir değer olup toksik etki meydana getirme potansiyeli yüksektir (Anonim 2023).

Mustafakemalpaşa Ovası yüzey altı topraklarının (30-60 cm) arazi kullanım/örtü tipine göre içerdikleri Bor miktarları Çizelge 4.6'de verilmiştir.

Çizelge 4.6. Çalışma alanı yüzey altı topraklarının (30-60 cm) arazi kullanım/örtü durumuna göre Bor içerikleri.

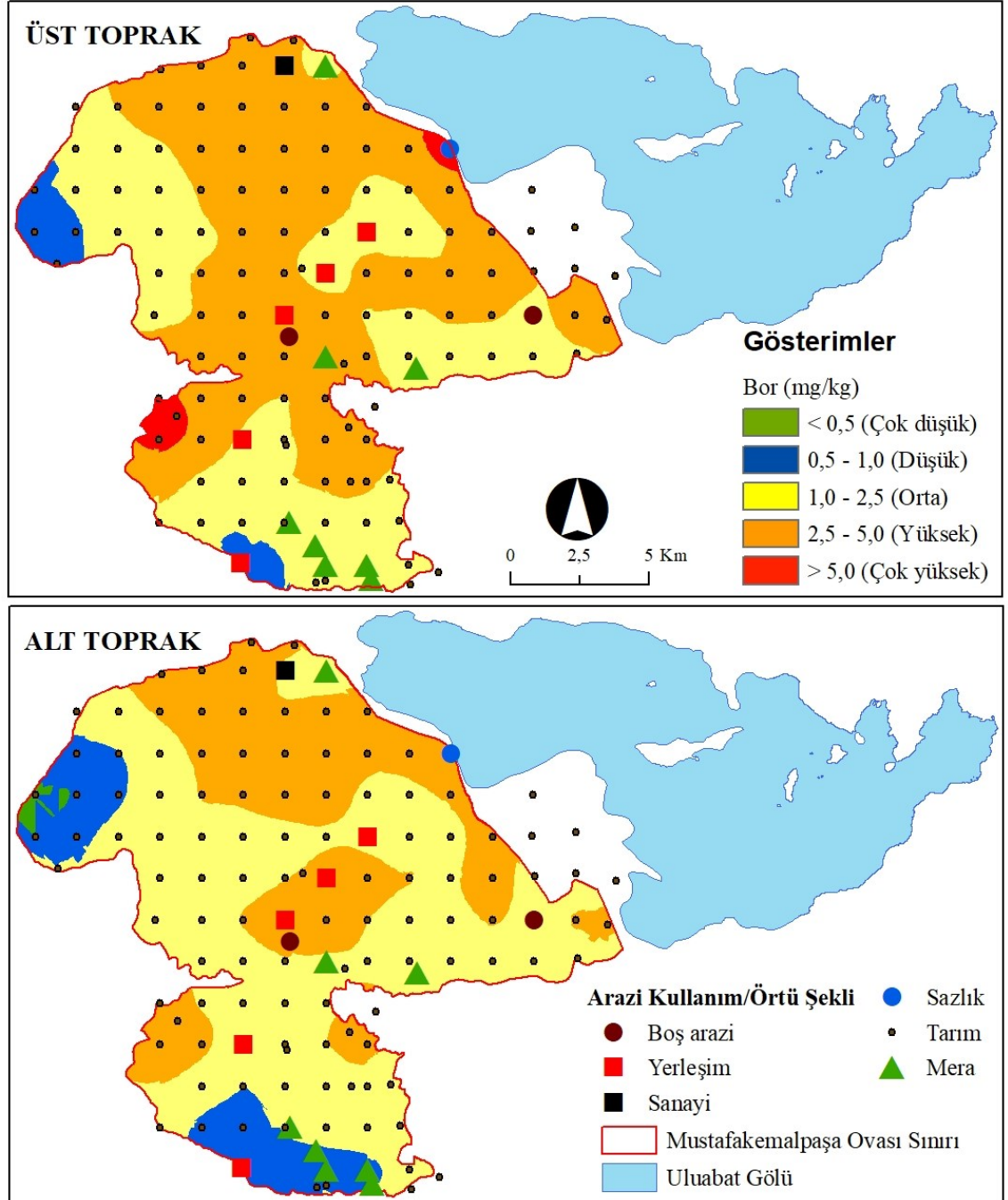
Arazi Kullanım Türü	Örnek Sayısı	Alt Toprak Bünye	pH	EC ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Kireç (%)	Bor (mg kg^{-1})
Tarım	Min.	119	C, CL, L, LS, SCL,	6,14	44	0,01
	Mak.		SiC, SiCL, SL	8,76	1598	0,28
	Ort.		orta ağır	8,28	323	0,15
Mera	Min.	9	SL, SiC, SiCL, C,	8,22	103	0,13
	Mak.		L	8,74	352	0,21
	Ort.		orta ağır	8,54	195	0,16
Boş Arazi*	Min.	2	L, CL	7,62	327	0,13
	Mak.			8,49	559	0,32
	Ort.		orta	8,06	443	0,23
Sazlık**	1		SCL, orta ağır	8,60	371	0,21
Yerleşim	Min.	5	CL, SCL	8,18	189	0,12
	Mak.			8,75	538	0,21
	Ort.		orta ağır	8,41	299	0,17
Sanayi	1		CL, orta ağır	8,15	281	0,04

* dere, yol kenarı

** göl kenarı

Mustafakemalpaşa Ovası yüzey altı toprakları Bor içerikleri arazi kullanım/örtü durumuna göre değerlendirildiğinde en fazla Bor içeriği $6,2 \text{ mg kg}^{-1}$ ile tarım arazisi kullanım tipine sahip toprak örnek noktasında tespit edilmiştir. Bunu $5,8 \text{ mg kg}^{-1}$ ile sazlık ve $4,7 \text{ mg kg}^{-1}$ değer ile yerleşim olarak kullanılan araziler izlemektedir. Tarım yapılan alanların yüzey topraklarında olduğu gibi yüzey altı topraklarının da Bor konsantrasyonu ortalama olarak yüksek sınıfta tespit edilmiştir. Tarım yapılan yüzey altı toprakların Bor içeriği ortalama $2,2 \text{ mg kg}^{-1}$ sahip olup yeterli düzeydedir. Mera olarak kullanılan alanlarda durum yüzey topraklarının sonuçlarına benzemekle beraber Bor içerikleri ortalaması düşük sınıfta yer almaktadır. Dere, yol kenarı alanlara denk gelen yüzey altı örnek noktalarının Bor içerikleri ortalaması $1,3 \text{ mg kg}^{-1}$, yerleşim alanları yüzey altı topraklarında ise $2,4 \text{ mg kg}^{-1}$ olarak tespit edilmiş olup orta-yeterli sınıftadır (Çizelge 4.6). Özellikle tarım alanları yüzey altı topraklarında dahi Bor konsantrasyonunun orta-yüksek sınıfta yer alması, Bor'un üst horizontan alt horizonlara doğru yıkandığını doğrular niteliktedir. Çalışma alanı toprakları Mustafakemalpaşa Çayı alüvyonlarından oluştuğu düşünülürse üst havzalardan taşınan ve Bor içeren sedimentler alt toprakta da Bor'un orta-yüksek seviyelerde olmasının bir başka nedeni olabilir. Zira, Anonim (2003)

verilerine göre Mustafakemalpaşa Çayında kurulu Döllük istasyonu tarafından ölçülen uzun yıllar (1995-2002) su analizlerine göre çayın taşıdığı ortalama Bor miktarı $0,87 \text{ mg kg}^{-1}$ olduğu belirtilmiştir.



Şekil 4.2. Mustafakemalpaşa Ovası topraklarının bor dağılım ve arazi kullanım/örtü durumu ilişkisi

Mustafakemalpaşa Ovası topraklarının bor dağılımı ve arazi kullanım/örtü durumu ilişkisinin verildiği Şekil 4.2’de verilen harita incelendiğinde özellikle tarımsal sulama yapılmayan ve çayır mera olarak kullanılan otlak alanlarının Bor kapsamı yüzey ve yüzey altı toprakta orta sınıfta haritalandırılmıştır. Hem çay suyu hem de yeraltı suyu ile sulamanın yapıldığı tarım alanlarının Bor içerikleri ise yüzey ve yüzey altı topraklarda yüksek sınıfta haritalanmıştır. Bu durum özellikle ova kuzeyinde yer alan mera ve güneyde yer alan geniş mera alanları için çok belirgin olarak haritalardan gözlenebilmektedir.

5. SONUÇ

Bu çalışma ile Mustafakemalpaşa Ovası toprakları ayrıntılı bir şekilde 1,5 km x 1,5 km gridlere bölünerek örneklenmiş ve ova topraklarının Bor içerikleri iki farklı derinlikte tespit edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre tüm ova genelinde yüzey toprağın Bor bakımından yüksek ve orta seviyelerde olduğu, özellikle tarım yapılan alanlar için Bor toksik etkilerinin görülmeye başlandığı aşamasında veya toksisite sınırında bulunduğu saptanmıştır. Çalışma kapsamında 30-60 cm derinlikten alınan yüzey altı toprak örneklerinde de benzer sonuçlar bulunmuştur. Ova yüzey topraklarının (0-30 cm) yaklaşık %55'inin Bor içeriklerinin yüksek (2,5-5,0 mg kg⁻¹) sınıfta olduğu tespit edilmiştir. Yaklaşık %40'ında ise orta sınıfta (1,0-2,5 mg kg⁻¹) yani toprak verimliliği açısından yeterli seviyede bulunduğu tespit edilmiştir. Ova yüzey altı topraklarının %56,60'ında Bor orta sınıfta (1,0-2,5 mg kg⁻¹), %32,41'inde ise yüksek (2,5-5,0 mg kg⁻¹) sınıfta bulunmuştur.

Ova toprakları Mustafakemalpaşa Çayı alüvyonlarından oluşmuştur. Bor ana kaynağını bu çayın getirdiği alüvyonlar oluşturmaktadır. Üst havzada yer alan Bor madeni işletmeleri ve havzanın Bor elementince zengin oluşu akarsu ile gelen ve ova şekillenmesinde rol oynayan alüvyonların da Bor bakımından zengin olduğunu bilinmektedir. Yüzey altı topraklarının Bor içeriğinin orta-yüksek sınıfta bulunması Bor'un daha alt katmanlarda da fazla miktarlarda bulunabileceğini düşündürmektedir. Ova topraklarında Bor geçmişten günümüze doğal olarak birikmiştir. Yüksek miktarda bor içeren sularla yapılan sulu tarım topraklardaki bor birikiminin önemli nedendir.

Çalışma kapsamında alınan toprak örneklerinde tespit edilen Bor miktarları numune noktalarının arazi kullanım/örtü durumu ile de karşılaştırılmıştır. Buna göre tarım alanlarının Bor kapsamının özellikle mera alanlarınınkine göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu durum yüzey altı toprakları için de benzerdir. Tarım alanlarının Bor miktarlarının mera alanlarına göre daha fazla olması tarımsal sulamanın ova topraklarının Bor kapsamını yükselttiğini göstermektedir. Üst havzalarda geçmişten günümüze artarak sürdürülen madencilik (Bor) faaliyetleri nedeniyle Mustafakemalpaşa Çayı

sularının bor elementince zenginleştirildiği başka bir anlatımla Bor elementi konsantrasyonlarının arttığı bilinen bir gerçektir. Özellikle geçmişte yapılan vahşi sulama (karık sulama) sonucu Bor fazlaca alt toprağa da yıkanmış olabilir.

Arazi çalışması sırasında çiftçiler ile yapılan bazı görüşmelerde özellikle yörede yoğun tarımı yapılan domates ve biber yetiştiriciliğince Bor toksisitesine bağlı verim düşüklüğü görüldüğü hatta bazı alanlarda çimlenme sorunlarının tespit edildiği bildirilmektedir. Mustafakemalpaşa ovasında yoğun sulu tarımsal üretim gerçekleştirilmektedir. Sulama suyu kaynağı olarak kullanılan Mustafakemalpaşa Çayı ve çoğu yeraltı kuyularının Bor içerikleri mevsimsel olarak değişmekle beraber ortalamanın üzerinde bulunabilmektedir. Ova topraklarının Bor'dan kaynaklı daha fazla kirlenmemesi için güçlü ve sürdürülebilir bir toprak yönetimine ihtiyacı vardır.

Bu çalışma sonuçlarına göre ova topraklarının iyi yönetimi için gerekli olabilecek bazı öneri ve tavsiyeler aşağıda sıralanmıştır;

1. Ova topraklarının ve bölge su kaynaklarının Bor düzeyleri devamlı gözlemlenmelidir. Yüksek düzeyde Bor içeren sular tarımsal ve evsel kullanıma yasaklanmalıdır.
2. Sulama teknikleri gözden geçirilmeli ve sulama yapılan kesimler mutlaka damla sulama sistemine alınmalıdır. Ayrıca sulama döneminde suların bor konsantrasyonları sürekli olarak izlenmeli ve yüksek bor konsantrasyonlarının belirlendiği dönemlerde söz konusu suların sulamada kullanılmasının önlenmesi amacıyla bir uyarı sistemi geliştirilmelidir.
3. Ürün rotasyonu mutlaka yapılmalıdır. Rotasyonda kullanılacak bitkiler Bor'a diğerlerine göre bor toksisitesine dayanıklı bitkiler pancar, ayçiçeği, kışlık sebzeler gibi bitkiler olmalıdır.
4. Ova bitki üretim desenine mutlaka yonca, üçgül gibi yem bitkilerinin eklenmesi, özellikle Bor düzeyi yüksek ve çok yüksek kesimlerde uzun yıllar sulama yapılmadan yem bitkisi yetiştiriciliği teşvik edilmelidir.
5. Toprakların organik madde seviyeleri yükseltilmelidir.
6. Üretiminde veya içeriğinde Bor içeren gübre veya ilaçların kullanılması yasaklanmalıdır.

7. Yöre çiftçilere tarımda Bor toksisitesi ve alınacak önlemler konusunda eğitim verilmelidir.
8. Mera topraklarında Bor tarım alanlarına kıyasla daha azdır. Ancak yine de orta yani verimlilik açısından yeterli seviyededir. Meraların yönetimine de önem verilmeli, ot verimliliği arttırılmalı ve Bor düzeyleri gözlemlenmelidir. Mera alanları bor konsantrasyonu yüksek sularla kesinlikle sulanmamalı, hiçbir nedenle sulama yapılamamalı, kiraya verilerek sula tarıma hayvancılık gereksinimleri nedeniyle bile açılmamalıdır ve daraltılmamalıdır.
9. Çalışma alanı topraklarının pH düzeyi ortalaması üst toprakta 8,06 alt toprakta 8,30 olarak tespit edilmiştir. Toprakta Bor adsorpsiyonu genelde toprak pH'sı 8-10'a yükseldikçe artmaktadır.
10. Toprakların pH ortalamasının 8 olmasına rağmen ortamda kireç çok az bulunmuştur. Özellikle bazı noktalarda pH değeri 8,50 üzerinde tespit edildiğinden söz konusu topraklar için mutlaka toprak alkaliliği de sorgulanmalıdır. Bu kapsamda ova toprakları ve hatta suları için SAR, %Na analizlerinin de yapılması yerinde olacaktır.
11. Çalışma alanı topraklarında tespit edilen yüksek Bor içeriğinin ana kaynağını Mustafakemalpaşa (MKP) Çayı alüvyonları oluşturmuştur. Üst havzada yer alan Bor madeni işletmelerinin geçmişten günümüze hatalı uygulamaları veya aşırı yağmur sonucu oluşan sel gibi doğal felaketlerin yol açtığı yoğun Bor içeren sedimentler Mustafakemalpaşa Çayına ulaşmış olabilir. Geçmişte ovayı şekillendiren Mustafakemalpaşa nehri beraberinde topraklarda Bor birikimini de sağlamıştır. Tarımsal sulama amacıyla yoğun bir şekilde kullanılan MKP Çayı suları ile topraktaki Bor miktarı devamlı artmıştır. Yüzey altı topraklarının Bor içeriğinin de fazla olması söz konusu bu toprakların Bor seviyesi yüksek MKP Çayı ile sulanmaması gerektiğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

- Aksoy, E. ve Özsoy, G. 2004. Uzaktan algılama ve CBS teknikleri kullanılarak Uludağ Üniversitesi yerleşkesi arazilerinde arazi kullanım haritalaması. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 18(1):57-68
- Anonim, 2003. Susurluk Havzası, M.Kemalpaşa C- Döllük istasyonu ölçüm verileri. Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü. s.37-40.
- Anonim, 2023 <https://www.buski.gov.tr/KirlilikDegerleri/KirlilikDegerleri/9054>
Ulaşım tarihi: 17.06.2023
- Aksakal, E.L. and Öztaş, T. 2010. Changes in distribution patterns of soil penetration resistance within a silage-corn field following the use of heavy harvesting equipments. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 34:173-179.
- Bartleta, R.J., Picarelli, C.J. 1973. Availability of boron and phosphorus as affected by liming on acid potata soil. Soil Sci. 116:77-83.
- Berger, K.C. 1949. Has complied tables of the boron content and requirements of various Crops. Avdan, Argon., 1,321.
- Bergmann, W. 1992. Nutritional disorders of plants. p.1-741. Gustav Fischer Verlag Jena, Stuttgart. Germany.
- Bocchi, S., Castrignano, A., Fornaro, F. and Maggiore, T. 2000. Application of factorial kriging for mapping soil variation at field scale. European Journal of Agronomy 13:295-308.
- Boşgelmez, A., Boşgelmez, İ.İ., Savaşçı, S., Paslı, N. 2001. Ekoloji II. Toprak, Başkent Klişe matbaacılık, Ankara, 675pp.
- Brus, D.J., Heuvelink, G.B.M. 2007. Optimization of sample patterns for universal kriging of environmental variables. Geoderma, 138:89-95.
- Burrough, P.A. and McDonnell, R.A. 1998. Principles of geographical information systems. Oxford University Press, Oxford, 333pp.
- Chang, K. 2004. Introduction to geographic information systems, 2nd ed. McGraw Hill, New York, 400pp.
- Christensen, R. 1990. Linear models for multivariate, time, and spatial data. Springer, New York.
- Curran, P.J. 1988. The semivariogram in remote sensing: An introduction, Remote Sensing of Environment, 24:493-507.

- Davis, J.C. 1986. Statistics and data analysis in geology, 2nd edition. Wiley Press, New York, 656pp.
- Dell, B., Huang, L. 1997. Physiologocal response of plants to law boran. Plant and Soil, 193(1-2):103-120.
- Deutsch, C.V., Journel, A.G. 1992. GSLIB Geostatistical software library and user's guide. New York, New York: Oxford University Press.
- Eaton, F.M. 1940. İnterrelations in the effects o boran and indoleacetic acid in plant growth. Botanical Gazete, 101:700-705.
- Elrashidi, M.A., O'Connor, G.A. 1982. Boron sorption and desorption in soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 46:27-31.
- Fleming, G.A. 1980. Essential Micronutrients. I: Boron and molybdenum. In applied soil trace elements. Ed. B.E. Davies. pp.155-197. John Willey and Sons, New York.
- Goovaerts, P. 1992. Factorial kriging analysis: A useful tool for exploring the structure of multivariate spatial soil information. Journal of Soil Science, 43:597-619.
- Goovaerts, P. 1998. Geostatistical tools for characterizing the spatial variability of microbiological and physico-chemical soil properties. Biology and Fertility of Soils, 27:315-334.
- Goovaerts, P. 1999. Geostatistics in soil science: state of the art and perspectives. Geoderma, 89(12):1-45
- Gupta, U.C. 1968. Relation ship of total and hotwater soluble boron, and fixation of added boron, to properties of podzol soils. Soil Sci. Soc. Am. J. Proc. 32:45-48.
- Hatipoğlu, E. 2019. Bazı toprak özelliklerinin yersel değişimlerinin jeoistatistiksel yöntemler kullanılarak belirlenmesi. Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme ABD, Yüksek Lisans Tezi. 73s.
- Havlin, J.L., Beaton, J.D., Tisdale S.L. and Nelson, W.L. 2005. Soil Fertility and Fertilizers, 7th ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.
- Journel, A.G., Huijbregts, C.J. 1978. Mining geostatistics. Academic press.
- Kacar, B. ve Katkat, B. 2009. Bitki besleme. (4.Basım). Nobel Yayın No:849, 535s.
- Karaca, S., Sargın, B., Türkmen, F. 2019. Bazı arazi ve toprak niteliklerinin coğrafi bilgi sistem analizleriyle incelenmesi: Van ili arazi ve toprak özellikleri. Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 6(2):199-205.

Kelling, K.A. 2010. Soil and applied boron. From: [http://corn.agronomy.wisc.edu/Management/pdfs/a 2522.pdf](http://corn.agronomy.wisc.edu/Management/pdfs/a%20222.pdf)

Keren, R., Mezuman, U. 1981. Boron adsorption by clay minerals using a phenomenological equation. *Clays*, 29:198-204

Keren, R., Bingham, F.T. 1985. Boron in water, soils and plants. In *Adv. In Soil Sci.* (Ed. By B.A. Stewart) Vol.1: 229-276. Springer-Verlag.

Krige, D.G. 1951. A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 52(6):119-139.

Krige, D.G. 1966. Two-dimensional weighted moving average trend surfaces for ore evaluation. *J. S. Afr. Inst. Min. Metall.*, 66:13-38.

Krige, D.G. 1976. Some basic considerations in the application of geostatistics to the valuation of ore in South African gold mines. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 76(9):383-391.

Li, J., Heap, A.D. 2008. A Review of spatial interpolation methods for environmental scientists. *Geoscience Australia, Record 2008/23*, 137pp.

Mardia, K.V., Marshall, R.J. 1984. Maximum Likelihood Estimation of Models for Residual Covariance in Spatial Regression. *Biometrika*, 71(1):135-146.

Marschner, H. 1976. Mineral metabolism: short and long distance transport. *Progress in Botany/Fortschritte der Botanik*, 38:71-80

Matheron, G. 1963. Principles of geostatistics. *Economic Geology*, 58:1246-1266.

Matheron, G. 1982. Pour une analyse krigéante de données régionalisées, Centre de Géostatistique, Ecole des Mines de Paris, Report N- 732, Fontainebleau.

McBratney, A.B., Odeh, I.O.A., Bishop, T.F.A., Dunbar, M.S., Shatar, T.M. 2000. An overview of pedometric techniques for use in soil survey. *Geoderma*, 97(3-4):293-327.

McGrath, D., C. Zhang, and O.T. Carton, 2004. Geostatistical analyses and hazard assessment on soil lead in silvermines area, Ireland. *Environmental Pollution*, 127(2):239-248.

Mengel, K., Kirkby, E.A. 1987. Principles of plant nutrition. 4th ed. pp.559-572. International Potash Institute, Bern, Switzerland.

Moore, H.M., Hirsch, A.M. 1983. Effect of boron deficiency on mitosis and incorporation of tritiated thymidine into nucleic acid of sunflower root tips. *Am. J. Bot.*, 70:165-172.

Mulla, D.J., McBratney, A.B. 2000. Soil spatial variability, pp.A321-A352. In: Summer, M.E. (ed), *Handbook of soil sciences*, CRC press, USA.

Özsoy, G. 2007. Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) teknikleri kullanılarak erozyon riskinin belirlenmesi. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim Dalı (Doktora Tezi), Bursa. 140s.

Ozsoy, G., Aksoy, E., Dirim, M.S., Tumsavas, Z. 2012. Determination of Soil Erosion Risk in the Mustafakemalpaşa River Basin, Turkey, Using the Revised Universal Soil Loss Equation, Geographic Information System, and Remote Sensing. *Environmental Management*, 50(4): 679-694.

Ozsoy, G., Aksoy, E. 2015a. Prediction of soil loss differences and sediment accumulation at the Nilüfer creek watershed, Turkey, using multiyear satellite data in a GIS, *Geocarto International*, 30(8):843-857.

Ozsoy, G. and Aksoy, E. 2015b. Estimation of soil erosion risk within an important agricultural sub-watershed in Bursa, Turkey, in relation to rapid urbanization. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187:419

Özsoy, D. 2019. Nilüfer Çayı ile sulanan alanların bazı önemli toprak özellikleri ve ağır metal içeriklerinin konumsal analizi ile güncel arazi kullanım türlerinin belirlenmesi. Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme ABD, Yüksek Lisans Tezi. 84s.

Reid, R., Fitzpatrick K. 2009. Influence of leaf tolerance mechanisms and rain on boron toxicity in barley and wheat, *Plant Physiol.*, 151:413-420.

Rerkasem, B., Jamjod, S. 1997. Genotypic variation in plant response to low boron and implications for plant breeding. *Plant and Soil*, 193:169-180.

Robinson, A.H., Morrison, J.L., Muehrcke, P.C., Kimerling, A.J., Guptill, S.C. 1995. *Elements of cartography*, 6th ed. Wiley Press, New York, USA, 674pp.

Sakal, R, Singh, AP. 1995. Boron research and agricultural production. In *micronutrients res. Agric. Prod.* (ed. Tandon, Hls) p1-31. Fert Dev. And Cons. Org., New Delhi, India.

Schachtschabel P., Brümmer, G. 1995. *Toprak Bilimi*. Çev.: Özbek, H., Kaya, Z. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın Yayınevi, Adana. 12. Baskı, 73.

Seçkin, B. 2005. Mannitolün tuz stresine maruz bırakılan buğday fidelerinin antioksidant enzim düzeyleri üzerindeki etkilerinin araştırılması. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.

Sezen, Y. 1988. Suların genel özellikleri ve kalitesi. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Erzurum.

Shorrocks, V.M. 1997. The occurrence and correction of boron deficiency. *Plant and Soil* 193:121-148.

Sims J.R., Bingham, F.T. 1968. Retention of boron by layer silicates, sesquioxides, and soil materials: III. Iron-and aluminium-coated layer silicates and soil materials. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 32:369-373.

Singh, S.S. 1964. Boron adsorption equilibrium in soils. *Soil Sci.* 98:383-387.

Soy, M. 2002. Fosforun domates bitkisinde bor toksisitesine etkisi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi, 76, Ankara.

Su, C., Suarez, D.L. 1995. Coordination of adsorbed boron: A FTIR spectroscopic study. *Environ. Sci. Technol.* 29:302-311.

Su, C. and Suarez D.L. 2004. Boron release from weathering of illites, serpentines, shales, and illitic/palygorskitic soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68:96-105.

Şeker, H. 1982. Mustafakemalpaşa doğusunda jeomorfolojik etüd. İstanbul Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, jeomorfoloji Anabilim Dalı, Mezuniyet Tezi, İstanbul. 23s.

Tanaka, H. 1967. Boron adsorption by plant roots, *Plant and Soil*, 27:300-302.

Turgut, B. ve Öztaş, T. 2012. Bazı Toprak Özelliklerine Ait Yersel Değişimin Jeostatistiksel Yöntemlerle Belirlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 7(2):10-22

van Es, H.M., van Es, C.L., Cassel, D.K. 1989. Application of regionalized variable theory to large-plot field experiments. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53:1178-1183.

Webster, R., Oliver, M.A. 1990. *Statistical methods in soil and land resource survey.* Oxford University Press, Oxford, UK, 328pp.

Webster, R., Oliver, M.A. 1992. Sample adequately to estimate variograms of soil properties. *European Journal of Soil Science*, 43(1):177-192.

Webster, R. and Oliver, M.A. 2001. *Geostatistics for environmental scientists. Statistics in practice.* John Wiley and Sons, Chichester, p.265.

Woodcock, C.E., Strahler, A.H, Jupp, D.L.B. 1988. The use of variograms in remote sensing: I. Scene models and simulated images. *Remote Sensing of Environment*, 25(3):323-348.

Xu, J.M., Wang, K., Bell, R.W., Yang Y.A., Huang, L.B. 2001. Soil boron fractions and their relationships to soil properties. *Soil Science Society of America Journal*, 65:133-138.

Yau, S.K., Ryan, J. 2008. Boron toxicity tolerance in crops: A viable alternative to soil amelioration. *Crop Science*, 48:854-865.

Yang, X., Hodler, T. 2000. Visual and statistical comparisons of surface modeling techniques for point-based environmental data. *Cartography and Geographic Information Science*, 17(2):165-175.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Berkay CÜRE
Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa / 1997
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Ali Karasu Anadolu Lisesi 2011 – 2015

Lisans : Uludağ Üniversitesi
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme 2015 – 2020

Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme 2020 - 2023

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : 2022 - / İz Grup Madencilik Taahhüt İnşaat Makina Proje
İth. İhr. San. Tic. Ltd. Şti

İletişim (e-posta) : berkaycure@gmail.com

Yayınları : Cüre B. Kimyasal ve Organik Gübrelerin Çevre Üzerine
Etkisi. Uluslararası Biyosistem Mühendisliği Dergisi.
2022; 3(2): 98-107