

# Elma Tarım Alanlarında Yüzey Toprakların Sınırlandırılmış Su Aralığının Belirlenmesi

Pelin ALABOZ<sup>1,\*</sup> Sinan DEMİR<sup>1</sup> Ahmet Ali İŞILDAR<sup>1</sup> Levent BAŞAYİĞİT<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Isparta

\*Sorumlu yazar e-mail (Corresponding author e-mail): pelinalaboz@isparta.edu.tr

Geliş tarihi (Received) : 12.06.2020

Kabul tarihi (Accepted): 19.10.2020

DOI:10.21657/topraksu.752137

## Öz

Son yıllarda küresel ısınmaya bağlı kuraklığın artması ve su kaynaklarının azalması ile toprağa uygulanan sulama suyundan bitkinin optimum yarar sağlanması beklenmektedir. Bu kapsamda toprağın strüktür kalitesinin bir indeksi olarak bilinen sınırlandırılmış su aralığı (SSA) oldukça dikkat çekmekte ve kök gelişmesinin minimum düzeyde sınırlandırıldığı toprak su içeriği olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışmada; Isparta ili, Eğirdir ilçesi Boğazova çevresindeki yoğun elma üretimi yapılan bahçelerde, yüzey toprakların SSA değerleri, dağılımları ve SSA'nın bazı toprak özellikleri ile ilişkileri araştırılmıştır. Çalışmada orta-ince bünye grubu hakim olan toprakların SSA'ları % 6.59-19.27 arasında değişim göstermiştir. Sınırlandırılmış su aralığı özelliği; kil, organik madde ve CaCO<sub>3</sub> ile pozitif, hacim ağırlığı ile negatif yönlü istatistiksel olarak önemli (P<0.05; P<0.01) ilişkiler sergilemiştir. Ters mesafe komşuluk benzerliği (IDW) enterpolasyon yöntemi kullanılarak oluşturulan dağılım haritalarında hata kareler ortalaması karekökü % 0.98 olarak belirlenmiştir. % 15-20 aralıklarında SSA, çalışma alanının güneyinde ve Eğirdir gölünün güney batısında yer alırken, % 10-15 SSA ise genellikle kuzeyde, ağır bünyeli topraklarda belirlenmiştir. Söz konusu elma bahçelerinin % 80'inde havalanma ve/veya sıkışma problemleri sonucu SSA, optimum yarayı su içeriklerinden daha düşük seviyelerde bulunmuştur. Çalışma sonucunda hava dolu gözenek hacminin % 10 olduğu nem içeriği ile tarla kapasitesi nem içeriklerinin havalanma ve sıkışma problemlerinden oldukça fazla etkilendiği böylece SSA'nın önemli ölçüde değiştiği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Sınırlandırılmış su aralığı, konumsal dağılım, yarayı su içeriği, penetrasyon direnci

## Evaluation of Least Limiting Water Range of Surface Soils in Apple Agricultural Areas

### Abstract

The In recent years, it is expected that the plant obtains optimum benefit from irrigation applied to the soil since the increase of drought due to global warming and the decrease of water resources. That is why, The least limiting water range (LLWR) which is known as an index of the soil quality, draws considerable attention and is defined as the soil water content in which root development limited. In this study, LLWR values of surface soils of the orchards which intensive apple production was made in Boğazova plain, Eğirdir district Isparta province were determined. Spatial distribution of LLWR values, and relations of LLWR with some soil properties was investigated. The medium-fine texture group is dominant in the study and the SSA values of these soils varied between 6.59-19.27 %. LLWR values of soils; It showed statistically positive significant relationships with clay, organic matter and CaCO<sub>3</sub>, and negative with bulk density (P<0.05; P<0.01). The SSA distribution map created using the inverse distance weighting (IDW) spatial distribution method, the root mean square error (RMSE) was determined as 0.98 %. Soils, where LLWR is determined between 15-20 % range, are in the South

of the study area and in the southwest of Eğirdir lake. LLWR is determined between 10-15 % range, were generally determined in the North where there are fine textured soils. It was determined that 80 % of these apple orchards, LLWR values were determined at lower levels than optimum available water capacity as a result of aeration and/or compaction problems. As a result of the study, it was determined that the moisture content of the air filled pore volume is 10 % and the field capacity moisture contents are affected by the problems of aeration and compaction so that the LLWR changed significantly.

**Keywords:** Least limiting water range, spatial distribution, available water content, penetration resistance

## GİRİŞ

Son yıllarda küresel ısınmaya bağlı kullanılabilir su potansiyelindeki azalma, devam etmekte olan bilinçsiz su tüketimiyle birleşince özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde su ihtiyaçlarının karşılanmasında sorunlara yol açmaktadır. Türkiye’de tüketilen toplam su miktarı yıllık 44 milyar m<sup>3</sup>tür ve bu miktarın 32 milyar m<sup>3</sup>’ü sulamada kullanılmaktadır. Nüfus artışı ve gelişmeye bağlı olarak 2030 yılı için kişi başına düşen kullanılabilir su miktarının 1.120 m<sup>3</sup> yıl<sup>-1</sup> olarak öngörüldüğü göz önüne alındığında, su kaynaklarının kullanımı odaklı baskının artması kaçınılmazdır (Anonim, 2020). Bu nedenlerle tarımda su yönetimi, gelecekte bugün olduğundan çok daha spesifik ve özgün araştırmalara gereksinim gösteren bir konu olacaktır. Toprakta suyun daha fazla depolanması, evaporasyonun azaltılması, bitki su kullanım randımanının artırılması, bitki ıslahı ve genetik yapının değiştirilmesi gibi çalışmalar üzerine yoğunlaşılacaktır. Ancak etkin bir su yönetimi için öncelik, toprak-bitki-su ilişkilerinin iyi bilinmesi gerekmektedir.

Optimum verim için toprakta bitki besin elementlerinin yeterli düzeylerde bulunması yanında havalanma, gözeneklilik, kök penetrasyon direnci ve toprak su içeriği gibi dinamik fiziksel özelliklerin uygunluğu da gereklidir (Da Silva vd., 1994). Bitki kök bölgesindeki sıkışmanın neden olduğu toplam gözenek miktarındaki azalma ve gözenek büyüklük dağılımındaki değişim, su ve hava kapasitesi ile hareketini etkilemektedir. Bu durumda topraktaki su içeriğinin kullanılabilirliği, toprak kütle yoğunluğundan etkilenmektedir (Zou vd., 2000; Haghghi Fashi vd., 2017). Toprağın strüktür kalitesinin bir indeksi olarak kullanılan sınırlandırılmış su aralığı (SSA) (Leao vd., 2005), kök gelişmesinin minimum düzeyde sınırlandırıldığı toprak su içeriğidir ve suyun elverişliliği, havalanma ve penetrasyon direnci gibi fiziksel değişkenleri içerir. Dolayısıyla, toprak kütle yoğunluğunun bir fonksiyonu olarak değerlendirildiğinde toprak sıkışması doğrudan etkilidir (Keller vd., 2015).

Sınırlanmış su aralığı yaklaşımında, kök gelişmesi üzerine etkinin üst sınırı; % 10’luk hava dolu gözenek hacmi karşılığı nem düzeyi veya tarla kapasitesi nem düzeyi, alt sınır ise solma noktası veya 2 MPa’lık penetrasyon direnci karşılığı toprak nem düzeyi olarak değerlendirilmektedir (Da Silva vd., 1994).

Toprak yönetimine bağlı mekanik ve su dinamiği değişimleri SSA üzerinde etkilidir (Shaver vd. 2002). Toprak sıkışması, SSA değerinde azalmaya yol açmakta ve dolayısıyla bitki su kullanımı olumsuz yönde etkilenmektedir (Haghghi Fashi vd., 2017; De Vares Rossetti ve Centurion, 2017). Toprakların SSA değişim aralığının genişliği, çevresel stres altında olmadığından da bir göstergesidir (Da Silva ve Kay, 2004). Bitkinin yararlanabileceği su içeriğine yönelik belirlemeler, büyük çoğunlukla tarla kapasitesi ve solma noktası nem sabiteleri farkının alınması esasına dayalıdır (Pachepsky ve Rawls 2004; Gülser ve Candemir 2014; Mihalikova vd., 2015, Alaboz ve Işıldar, 2018). Fakat, 2 MPa’lık toprak penetrasyon direnci karşılığı toprak nem düzeyinin solma noktası nem düzeyinden daha yüksek olması durumunda, yararlanılabilir su miktarı için yapılan söz konusu belirlemede olması gerekenden daha yüksek değerler elde edilmektedir. Benzer durum % 10’luk hava dolu gözenek hacmi karşılığı nem düzeyinin tarla kapasitesi nem düzeyinden düşük olduğu koşullar için de geçerlidir. Bu durumda bitkinin yararlanabileceği su içeriği tarla kapasitesi ve solma noktası arasındaki nem içeriği olmamaktadır.

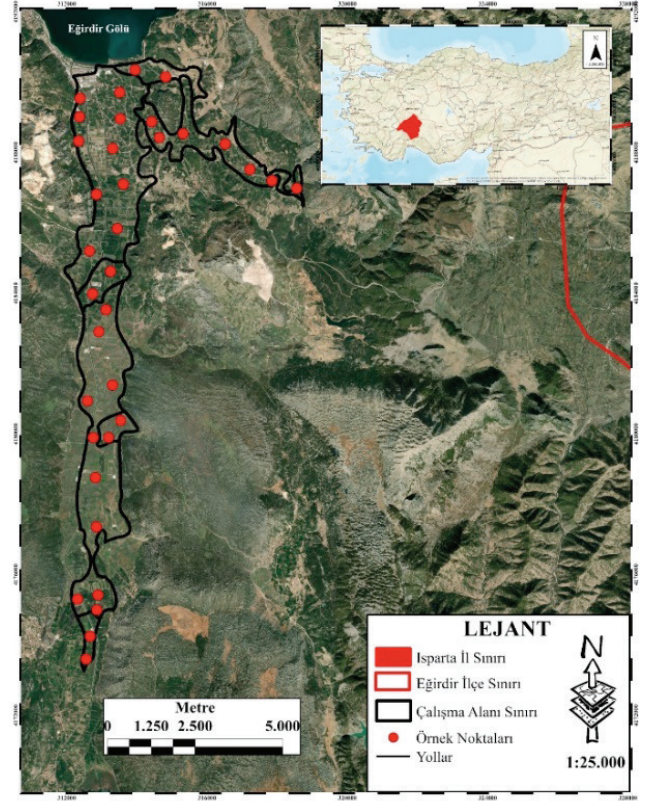
Bitkilerin kullanabileceği su içeriğindeki sınırlama tarımsal üretimi etkilemektedir. Özellikle yarı kurak ve kurak iklimlerde ki bitkisel üretim deseninde kısıtlı olan suyun optimum yararı göz önüne alındığında yaygın olarak üretimi yapılan ürünlerde toprak-bitki-su ilişkisinin ortaya konması oldukça önem arz etmektedir. Ülkemizde tarımı yaygın olarak yapılan elmanın TÜİK (2019) verilerine göre üretimi 3.618.752 ton’ dur. En yüksek üretim

potansiyeline sahip il Isparta, ilçe ise Eğirdir'dir. Elma ağaçlarında köklerin saçak yapılı ve ince köklerin nispeten yüzey derinliklerde bulunması nedeniyle su alımının yaklaşık % 70'inin 40 cm derinlikteki kökler vasıtasıyla gerçekleştiği belirtilmektedir (Green ve Clothier, 1999). Ayrıca, maksimum kök su alımının (15 ve 28 cm) daha yüzeysel derinliklerde gerçekleştiğine ilişkin araştırma bulgularına (Andreu vd., 1997 ve Vrugt vd., 2001) ve elma bahçelerinde sürüm uygulamalarının neden olduğu kök zararlanmalarının, su ve besin elementleri alımını olumsuz yönde etkilediğine yönelik değerlendirmelere de sıkça rastlanılmaktadır. Elma ağaçlarının kökleri, toprak içerisinde yüzeysel geliştiği için sürme derinliği 12-15 cm'yi geçmemelidir (Özçağırın vd., 2011). Kültürel uygulamalara ilişkin tarla trafiği yoğunluğu, sıkışma ve havalanma sorunlarının ortaya çıkmasına yol açabilmektedir (Ferree ve Warrington 2003). Bu çalışmada; Isparta İli, Eğirdir ilçesi Boğazova mevkiinde yoğun elma üretimi yapılan bahçelerde, yüzey topraklarının SSA'larının belirlenmesi ve tematik harita ile dağılımlarının değerlendirilmesi yanında diğer bazı toprak özellikleri ile ilişkilerinin ortaya konması amaçlanmıştır.

## MATERYAL VE YÖNTEM

### Çalışma alanı

Çalışma alanı, Isparta-Eğirdir ilçe merkezi ve Kovada gölü arasında yer alan Boğazova vadisi Holosen yaşlı alüvyonlardan oluşmuştur (Karabacak 2007). Çalışma bu Alüvyal topraklar üzerinde 2511.3 hektarlık bir alanda yürütülmüştür (Şekil 1). Karasal iklim ile Akdeniz ılıman iklimi arasında geçit bölgesinde yer alan ilde yarı kurak iklim tipi hakimdir. Bölgenin uzun yıllar meteorolojik verilerine göre yıllık ortalama sıcaklık 12.5°C, ortalama toplam yağış 466.8 mm ve evapotranspirasyon ise 724.58 mm'dir (MGM, 2020). Elma yetiştiriciliğinin yaygın olarak yapıldığı bölge, 1970'li yıllarda Eğirdir-Kovada gölleri etkisi altında olan ve bu nedenle V. sınıf iken daha sonra yapay drenaj kanalları ile taban suyunun düşürüldüğü ve I. sınıf arazi kullanım kabiliyet sınıfına dönüşen alanları kapsamaktadır (Derici, 2018). Çalışma alanını %14'lük kısmı I. sınıf, % 81.5'lik kısmı II. sınıf ve % 4.5'i III. sınıf arazi kullanım kabiliyet sınıfı (AKK) içerisinde yer alan arazilerden oluşmaktadır (KHGM, 1994). Çalışmada seçilen elma bahçeleri, çöğür anacı üzerine aşılı Scarlet Spur çeşidi (yarı bodur) ile kuruludur. Bahçeler ortalama 30 yaşındadır.



Şekil 1. Çalışma alanı  
Figure 1. Study area

### Toprak örnekleme ve temel toprak analizleri

Çalışma alanı içerisinde rastgele yöntemle 1:25.000 ölçekli Ulusal Toprak Veri Tabanı dikkate alınarak 35 noktada 0-25 cm derinlikten bozulmuş ve bozulmamış yüzey toprak örnekleme yapılmıştır. Sınırlandırılmış su aralığı içerikleri hacim ağırlığı ve toprak sıkışmasından etkilendiği için tarla trafiğinde en etkili sıkışmanın yüzey toprağından olması kaynaklı bu çalışmada 0-25 cm toprak derinliği ile çalışılmıştır. Söz konusu toprak derinliklerinde penetrasyon direnci ölçümleri yapılmış ve nem içeriği belirlemeleri için alınan örnekler yerinde tartılarak diğerleri ile birlikte laboratuvara nakledilmiştir. Bozulmuş toprak örnekleri bazı fiziksel ve kimyasal analizler için standart ön işlemlere tabi tutulmuştur. Nem içeriğine bağlı penetrasyon direnci ve kütle yoğunluğu değişimleri için belirli aralıklarla ölçüm ve örnekleme tekrarlanmıştır.

Toprakların mekanik analizi (% kum, silt, kil) Bouyoucos hidrometre yöntemiyle (Bouyoucos, 1962), Kütle yoğunluğu bozulmamış örnek alma silindirleri (100 cm<sup>3</sup>) kullanılarak belirlenmiştir. Toprakların elektriksel iletkenlik (EC) ve pH değerleri 1:1 toprak-su süspansiyonunda ölçülmüştür (Soil Survey Staff, 1992; Kacar, 2009). % CaCO<sub>3</sub> içeriği Volumetrik kalsimetre ve organik madde

içeriği değiştirilmiş Walkley-Black yöntemiyle belirlenmişlerdir (Soil Survey Staff, 1992). Nem karakteristik eğrisi seramik tablalı pF seti (U.S.A, Soil Moisture Equipment Corp.) yardımıyla bozulmamış örneklerde hacimsel olarak belirlenmiştir (Burt, 2014). Tane yoğunluğu piknometre yöntemine göre hesaplanmıştır (Demiralay, 1993). Penetrasyon direnci (PR) ölçümleri penetrologger (Eijkelkamp) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Söz konusu cihaz, her bir cm için 0-10 MPa arasında ölçüm yapabilen özelliğe sahiptir. Ölçümlerde cone, 60° (NEN 5140, 1996) ve 1 cm<sup>2</sup> taban alanına sahip koni şeklinde uç kullanılmıştır.

### Sınırlandırılmış su aralığı belirlemeleri

Sınırlandırılmış su aralığı, Wu vd. (2003) tarafından belirtilen olasılıklara göre hesaplanmıştır. Bunlar;

- ( $\theta_{HG} \geq \theta_{TK}$ ) ve ( $\theta_{PR} \leq \theta_{SN}$ ) ise  $SSA = \theta_{TK} - \theta_{SN}$
- ( $\theta_{HG} \geq \theta_{TK}$ ) ve ( $\theta_{PR} \geq \theta_{SN}$ ) ise  $SSA = \theta_{TK} - \theta_{PR}$
- ( $\theta_{HG} \leq \theta_{TK}$ ) ve ( $\theta_{PR} \leq \theta_{SN}$ ) ise  $SSA = \theta_{HG} - \theta_{SN}$
- ( $\theta_{HG} \leq \theta_{TK}$ ) ve ( $\theta_{PR} \geq \theta_{SN}$ ) ise  $SSA = \theta_{HG} - \theta_{PR}$

$\theta_{HG}$  : Hava dolu gözenek hacminin % 10 olduğu nem içeriği (% v/v)

$\theta_{TK}$  : Tarla kapasitesi (% v/v)

$\theta_{SN}$  : Solma noktası (% v/v)

$\theta_{PR}$  : 2MPa penetrasyon direncinde toprak nem içeriği (% v/v)

Toprakların  $\theta_{PR}$  içerikleri Busscher (1990) tarafından belirtilen eşitlik yardımıyla belirlenmiştir (Eşitlik 1).

$$PR = a\theta^c D_b^d$$

Hava dolu gözenekliğinin %10'a eşit olduğu (1) nem içeriği ( $\theta_{HG}$ ) ise aşağıdaki eşitlik yardımıyla belirlenmiştir (Eşitlik 2).

$$\theta_{HG} = \theta_s - 0.10$$

PR: penetrasyon direnci (MPa),  $\theta$ : Hacimsel (2) nem içeriği,  $D_b$ : kütle yoğunluğu (g cm<sup>-3</sup>),  $\theta_s$ : saturasyondaki su içeriği, a, c, d denklem parametreleri olup denklem parametreleri Excel'in denklem çözücü özelliği kullanılarak belirlenmiştir.

### İstatistik analizler ve tematik haritalama

İncelenen toprak özelliklerinin tanımlayıcı istatistikleri, değişkenler arasındaki ilişkinin incelendiği korelasyon analizi (Pearson), tekstür sınıfı dağılımları R studio ve Minitap 16 paket programları yardımıyla değerlendirilmiştir. Noktasal verilerden konumsal veriler üretmede kullanılan enterpolasyon

işlemi aşamasında ArcToolboxda Spatial Analiz Modülünde yer alan ters mesafe komşuluk benzerliği (IDW) yöntemi kullanılmıştır. Dağılım haritalarını değerlendirilmesinde hata kareler ortalaması karakökü (RMSE) dikkate alınmıştır (3).

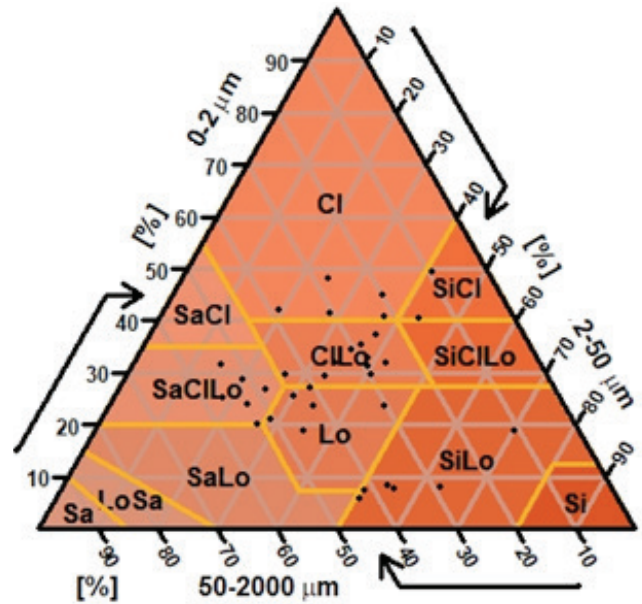
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (Xi-X)^2}{n}} \quad (3)$$

Xi: tahmin değeri, X: gerçek değer, n: gözlem sayısı

## BULGULAR VE TARTIŞMA

### Toprak özelliklerine göre dağılım

Çalışma alanı topraklarının %17.16'sı siltli tın (SiL), % 31.42'si killi tın (CL), % 17.16'sı kumlu killi tın (SCL), % 14.27'si tın (L), % 5.71'i siltli kil (SiC), % 14.28'i kil (C) bünyeye sahiptir (Şekil 2). Toprakların kütle yoğunluğu 1.12-1.62 gr cm<sup>-3</sup> ve tane yoğunluğu 2.55-2.75 g cm<sup>-3</sup> aralığında değişim göstermiştir. Topraklar EC değerleri bakımından Doran ve Jones (1996)'a göre 'tuzsuz', organik madde içerikleri bakımından Hazelton ve Murphy (2016)'a göre yeterli-yüksek sınıflara girdikleri bulunmuştur. Toprakların pH'ları hafif-orta alkalin karakterde, kireç içerikleri ise Kacar (2009)'a göre ise az kireçli (%54.28) ve çok kireçli (%17.15) sınıfları arasında belirlenmiştir. Genel toprak özelliklerine ilişkin veriler, Uçgun (2007) tarafından elde edilen bulgularla uyumludur. Toprak özelliklerinin tanımlayıcı istatistikleri Çizelge 1.'de verilmiştir.



Sa:kum, Si:silt, Cl: kil, Lo:tın

Şekil 2. Tekstür sınıfı dağılımı (RStudio, 2019)  
Figure 2. Texture class distribution (RStudio, 2019)

**Çizelge 1.** Toprak özelliklerinin tanımlayıcı istatistikleri**Table 1.** Descriptive statistics of soil properties

	SS	VK	Ort	Min	Max	Çrp	Bsk
Kil (%)	12.72	47.73	26.65	5.47	49.49	-0.21	-0.72
Silt (%)	13.41	37.43	35.83	9.93	70.41	0.49	0.36
Kum (%)	15.16	40.39	37.52	9.37	58.08	0.62	1.40
OM (%)	0.86	25.70	3.34	2.16	4.90	0.64	-1.24
D <sub>b</sub> (g cm <sup>-3</sup> )	0.13	10.06	11.38	1.12	1.62	-0.21	-0.45
D <sub>p</sub> (g cm <sup>-3</sup> )	0.08	3.26	2.59	2.55	2.75	0.89	1.39
pH	0.19	2.38	8.13	7.68	8.46	-0.22	-1.00
EC (µmhos cm <sup>-1</sup> )	155.8	38.40	405	214	798	1.39	1.63
CaCO <sub>3</sub> (%)	4.68	52.16	8.97	2.73	17.99	-0.38	-1.03
θ <sub>HG</sub> (%)	5.54	14.95	37.12	27.88	47.02	0.15	-0.57
θ <sub>TK</sub> (%)	5.83	15.85	36.18	25.92	48.93	0.47	0.37
θ <sub>SN</sub> (%)	4.65	18.09	25.21	18.33	35.13	0.41	-0.62
θ <sub>PR</sub> (%)	6.97	33.02	21.26	8.45	31.41	-0.33	-0.93
SSA (%)	2.94	24.44	12.03	6.59	19.27	0.50	0.22

OM: organik madde, D<sub>b</sub>: hacim ağırlığı, D<sub>p</sub>: tane yoğunluğu, EC: Elektriksel iletkenlik, CaCO<sub>3</sub>: Eşdeğer kireç içeriği, θ<sub>HG</sub>: Hava dolu gözenek hacminin % 10 olduğu nem içeriği, θ<sub>TK</sub>: tarla kapasitesi, θ<sub>SN</sub>: solma noktası, θ<sub>PR</sub>: 2MPa penetrasyon direncinde toprak nem içeriği, SSA: sınırlandırılmış su aralığı SS: standart sapma, Ort: ortalama, Min: Minimum, Max: Maksimum VK: varyasyon katsayısı, Çrp: çarpıklık katsayısı, Bsk: basıklık katsayısı

Kay ve Anger (2002) tarafından SSA, iyi (>0.2 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>), orta (0.15-0.2 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>) düşük, (0.10-0.15 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>) ve az (<0.10 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>) olarak gruplandırılmaktadır. Bu kapsamda toprakların SSA değerlerinin % 17.15'i orta, % 60'ı düşük, % 22.85'i az olarak belirlenmiştir. Genelde toprak çalışmaları kapsamında incelenen özelliklere ilişkin varyasyon, büyük değişiklikler gösterebilmektedir. Buna neden olarak, toprak özelliğinin niteliği, niceliği, örnekleme alanı ve derinliğinin, örnekleme grubu ve diğer bazı faktörlerin değişkenliği gösterilmektedir (Başayığı vd., 2008; Şenol vd., 2018).

Wilding (1985)'e göre varyasyon katsayısı düşük, orta ve yüksek olarak (<% 15, %15-35, > %35) gruplara ayrılmaktadır. Bu kapsamda çalışmada toprak reaksiyonu, Db, θ<sub>HG</sub>, ve Dp "düşük" OM, θ<sub>TK</sub>, θ<sub>SN</sub>, θ<sub>PR</sub> ve SSA "orta" kil, silt, kum, EC ve CaCO<sub>3</sub> özellikleri ortalamaya göre "yüksek" varyasyon sergilemiştir. Wilding vd. (1994), toprakların tekstürü, rengi, derinliği gibi daha stabil olan toprak özelliklerinin diğer dinamik özelliklere göre daha dar bir aralıkta değiştiğini belirtirken Başayığı vd., (2008) toprak pH'sındaki değişim aralığı darlığını toprağı oluşturan aktif faktörlerle ilişkilendirmiştir. Kil, Db, pH, CaCO<sub>3</sub> ve θ<sub>PR</sub> sola çarpık (-) diğer özelliklerde sağa çarpık (+) bir dağılım göstermektedir. Çarpıklık katsayısı

en yüksek normalden en uzak dağılım gösteren özellik EC olarak belirlenmiştir. Elektriksel iletkenlik özelliğinin sağa çarpık sola yığılımlı bir dağılım göstermesi toprakların EC içeriklerinin büyük bir kısmının ortalamadan (405 µmhos cm<sup>-1</sup>) daha düşük seviyede olduğunun bir sonucudur. Söz konusu bu toprakların % kum içerikleri diğer topraklara göre daha düşük seviyelerde belirlenmiştir. Su ve besin elementini tutma özelliği düşük olan kum fraksiyonunun toprak içerisindeki miktarının düşük seviyelerde olması tuz birikimi arttırabilmektedir. Yine bu toprakların pH seviyeleri diğer topraklara göre daha düşüktür. Bu durum düşük pH'da çözünebilir tuz miktarının artmasıyla ilişkilendirilebilmektedir (Mohd-Aizat vd., 2014; Budak vd., 2018). Silt, kum, Dp, EC ve SSA özelliklerinin eğrileri normale göre daha dik (+), diğer özellikler ise daha basık (-) olarak dağılım göstermektedir. Toprak özelliklerinin dinamik bir yapıda olması olası farklılıkların bir sebebidir.

### Sınırlandırılmış su aralığı ve konumsal dağılımı

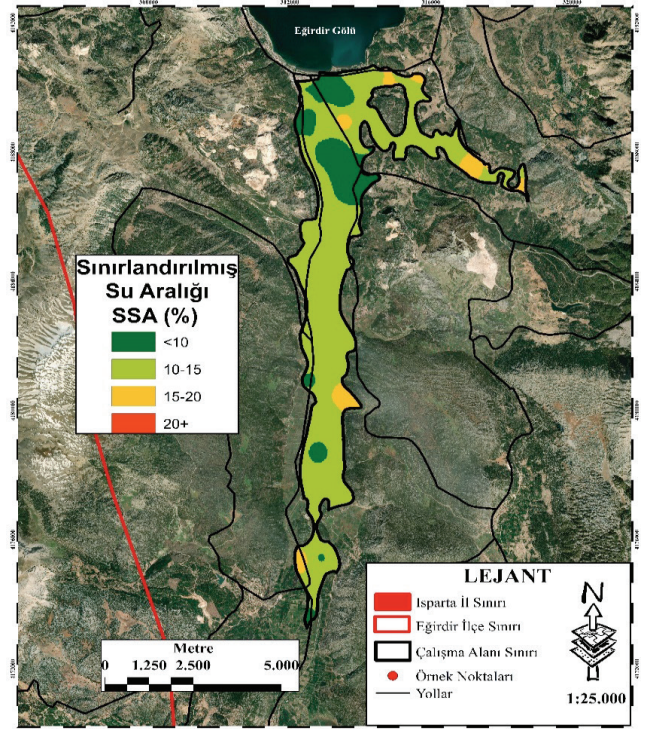
Toprakların θ<sub>HG</sub>, θ<sub>TK</sub>, θ<sub>SN</sub>, θ<sub>PR</sub> içerikleri sırasıyla % 27.88-47.02, % 25.92-48.93, % 18.33-35.13, % 8.45-31.41 arasında değişmektedir. Sınırlandırılmış su aralığı ise % 6.59- 19.27 (v/v) seviyelerinde bulunmuştur. Sınırlandırılmış su aralığı için

toprakların % 40'ında  $\theta_{TK}$  ve % 60'ında  $\theta_{HG}$  üst sınır olarak belirlenmiştir. Alt sınırları ise % 34.3'lük oranda  $\theta_{PR}$  ve % 65.7'lik oranda  $\theta_{SN}$  oluşturmaktadır. Üst sınırın  $\theta_{TK}$  ve alt sınırın  $\theta_{SN}$  olarak gerçekleşmesi durumunda, topraklarda SSA, optimum yarayışlı su içeriği karşılığıdır. Eğer alt sınır  $\theta_{PR}$  ise daha dar bir SSA ve dolayısıyla penetrasyon direncinin yüksekliği söz konusudur.

Üst sınırın  $\theta_{TK}$  yerine  $\theta_{HG}$  olması durumu, havalanma yetersizliğinin bir göstergesidir. Sorunun sadece havalanma yetersizliği olması durumunda alt sınır değişmeksizin  $\theta_{SN}$ 'dir. Alt sınır için  $\theta_{PR}$  durumu ise havalanma yetersizliği yanında penetrasyon direncinin yüksekliğine işaret etmektedir. Toprakların % 20'sinde optimum yarayışlı su içeriğinin (YSİ) SSA'ya eşit olduğu belirlenmiştir. Kök gelişim ve aktivitesi bakımından, penetrasyon direncinin toprakların % 20'sinde, havalanma yetersizliğinin % 45.7'sinde ve her ikisinin % 14.3'ünde sınırlayıcı rol oynadığı gözlenmiştir. Yarayışlı su içerikleri ile sınırlayıcı etkilerin hakim olduğu durumdaki SSA karşılaştırıldığında ortalama SSA değeri % 10.91 iken bu toprakların yarayışlı su içerikleri ortalama % 14.15 olarak belirlenmiştir. SSA ile YSİ arasındaki farkın en yüksek olduğu bazı topraklar için (% 7.50, 5.58, 4.98, 4.93, 4.73 ) hava dolu gözenek hacminin % 10 olduğu durumdaki nem seviyeleri (% 36, 38, 33, 32, 30 ), tarla kapasitesindeki nem seviyesinden (% 45, 46, 36, 37, 34) daha düşüktür. Farkın az olduğu bazı topraklar için (% 0.64, 0.86, 1.82, 1.96) ise solma noktasındaki nem içeriği (% 24, 27, 29, 24)  $\theta_{PR}$ 'den (% 25, 29, 31, 26) daha düşük seviyelerdedir. Çalışmada SSA'nın YSİ den farklı belirlenmesinde,  $\theta_{TK}$  ve  $\theta_{HG}$  diğer özelliklere göre daha etkili bulunmuştur. Söz konusu özellikler gözenek büyüklük dağılımından etkilenirken  $\theta_{SN}$  genellikle kil içeriğiyle ilişkili olarak değişkenlik göstermektedir. Bu sebepten sıkışma ve havalanma problemleri genellikle  $\theta_{TK}$  ve  $\theta_{HG}$  özellikleri üzerinde etki göstermektedir.

Çalışma alanı toprakları için SSA dağılım durumu Şekil 3'de gösterilmiştir. Ters mesafe komşuluk benzerliği (IDW) enterpolasyon yöntemiyle oluşturulan SSA dağılım haritalarının tahmin başarısında hata kareler ortalaması karakökü (RMSE) değeri % 0.98 olarak belirlenmiştir. Gerçek bir değer için modelin bu değer için öngörüsünde ne kadar saptığını belirlemek için kullanılan RMSE değerinin 0'a yakın olması tahmin ile gerçek arasındaki hata payının düşük seviyelerde

olduğunu göstermektedir. Sınırlandırılmış su aralığı % 15-20 olan toprakların, çalışma alanının güneyinde ve Eğirdir gölünün güney batısında yer aldığı belirlenmiştir. % 10'dan küçük olan SSA ise genellikle kuzeydeki ağır bünyeli topraklarda rastlanmaktadır. Bölgede genellikle orta-ince bünye grubu hakimdir ve toprakların % 80'inde havalanma ve/veya sıkışma sorunları söz konusudur. Elma bahçelerinde genellikle 4 farklı dönemde toprak işleme, 3 farklı dönemde gübreleme ve belirli aralıklarla hastalık ve zararlarla mücadele işlemleri uygulanmaktadır (Özçağırın vd., 2011) Çalışma alanındaki meyve bahçelerinde toprak işleme, yoğun gübreleme, ilaçlama ve diğer kültüvasyon uygulamaları gibi nedenlerle; bir taraftan zayıf strüktürel durum ve bünyesel özelliğin toprakları sıkışmaya duyarlı kılması ve diğer taraftan aşırı tarla trafiğinin böyle bir tablonun ortaya çıkmasında etkili olduğu değerlendirilmektedir.



Şekil 3. Sınırlandırılmış su aralığının dağılım haritası  
Figure 3. Distribution map of least limiting water range

### Sınırlandırılmış su aralığı ve diğer toprak özellikleri ilişkileri

Toprak özelliklerinin korelasyon ilişkileri Çizelge 2'de belirtilmiştir. Toprak özelliklerinin korelasyon matrisleri oluşturulması aşamasında, çarpıklık katsayısı 0.5'den büyük olan özellikler

için değerlerin log ve türev dönüşümleri (Şenol vd., 2018) kullanılarak normal dağılıma yaklaştırılmaya çalışılmıştır. Sınırlandırılmış su aralığı özelliği;  $C$ ,  $\theta_{HG}$ ,  $\theta_{TK}$ ,  $\theta_{SN}$ , OM ve  $CaCO_3$  ile pozitif,  $D_b$  ile negatif yönlü istatistiksel olarak önemli ( $P<0.05$ ;  $P<0.01$ ) ilişkiler sergilemiştir. Toprağın su tutma özellikleri ve kil arasında pozitif yönlü ilişkilerin varlığı (Gülser, 2004, Yakupoğlu vd. 2012; Tunçay vd., 2018; Şenol vd., 2018,) geçmişten bu yana pek çok çalışmada doğrulanmıştır. Toprağın iyi bir strüktür kazanması, agregatların dayanıklılıkları, su tutma kapasitesi, havalanması gibi fiziksel özellikleri, büyük ölçüde toprak organik maddesi ile ilgilidir (Aydemir vd., 2005). Tarla trafiğine bağlı toprak sıkışması, kök gelişimini etkilemekte, hacim ağırlığında artış, agregat stabilitesinde azalışlara neden olmaktadır (Aksakal ve Öztaş, 2010). Kireç içeriğinin artmasıyla agregatlaşma artmaktadır. Toprak tekstürü incelidikçe, organik madde, kireç ve suya dayanıklı agregatların miktarı arttıkça hacim ağırlığı azalmakta, gözeneklerde tutulan su miktarı artmaktadır (Yılmaz vd., 2005; Aksakal ve Öztaş, 2010). Dolayısıyla OM ve  $CaCO_3$  ile SSA arasındaki pozitif yönlü ilişkiler beklenen bir durumdur. Organik madde sağa çarpık sola yığılımlı bir dağılım göstermektedir ve topraklar genellikle ortalamadan (% 3.34) daha düşük değerlere sahiptir. Oysa, toprakların  $CaCO_3$  içeriklerinin büyük bir kısmı ortalamadan daha yüksek seviyelerde belirlenmiştir.  $\theta_{HG}$ ,  $\theta_{TK}$ ,  $\theta_{SN}$ ,  $\theta_{PR}$  değerleri ile OM ve  $CaCO_3$  arasındaki ilişkiler

birlikte değerlendirildiğinde  $CaCO_3$  lehine belirgin bir üstünlük olduğu gözlenmiştir (Çizelge 3).  $CaCO_3$ 'ün yüksek olduğu toprak gruplarının bazılarında kil içerikleri yüksek (% 49.49, 48,17, 40.80, 40.22), organik madde içerikleri düşük olan topraklarda ise kum içerikleri yüksek (% 58.08, 53,19, 48.36, 40.75) seviyelerdedir. Söz konusu bu durum  $CaCO_3$  'ün su tutma üzerine etkisini daha önemli kılmıştır.

Kütle yoğunluğu ile SSA arasında negatif yönlü önemli bir ilişki belirlenmiştir. Kütle yoğunluğunun artması diğer bir deyimle penetrasyon direnci değerinin 2 MPa'nın üzerine çıkmasıyla  $\theta_{SN}$ 'nin yerini  $\theta_{PR}$  aldığında,  $\theta_{TK}$ 'nin aynı kaldığı koşullarda SSA'da bir daralma söz konusudur. Haghghi Fashi vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada kontrol koşullarında %15 (v/v) olan SSA, sıkışmayla birlikte % 7(v/v) seviyelerinde belirlenmiştir. Mevcut çalışmamızda elde edilen, kütle yoğunluğu artışı  $\theta_{HG}$ 'yi azaltırken, TK ve SN'de artışlara yol açtığına ilişkin bulgularımız, Çetin (2018) tarafından bildirilen çalışma sonuçlarıyla uyumludur. Mikro gözeneklerde (< 0.2 mikron) tutulan su, bitkiler tarafından alınmaz. Orta gözeneklerde tutulan su ise bitkiler tarafından alınabilir. Makro gözeneklerde (> 50 mikron) ise genellikle su tutulamaz. Bu nedenle kaba gözeneklerin oranı, toprak havalanması için bir ölçü olmaktadır. Hacim ağırlığının artmasıyla makro gözenekler azalarak orta ve mikro gözeneklerde artış gerçekleşmektedir (Çepel 1988). Yine birçok çalışmada penetrasyon

**Çizelge 2.** Toprak özellikleri arasındaki pearson korelasyon katsayıları

**Table 2.** Pearson correlation coefficients between soil properties

	Kil	Silt	Kum	$D_b$	OM	$CaCO_3$	$\theta_{TK}$	$\theta_{HG}$	$\theta_{SN}$	$\theta_{PR}$
Kil	-									
Silt	-0.12	-								
Kum	-0.75**	-0.48**	-							
$D_b$	-0.36**	0.11	0.12	-						
OM	0.34	0.40**	-0.43**	-0.10	-					
$CaCO_3$	0.18	-0.19	-0.10	-0.30*	-0.30*	-				
$\theta_{TK}$	0.45**	-0.09	-0.22*	0.58**	0.23	0.44**	-			
$\theta_{HG}$	0.12	0.11	-0.11	-0.60**	-0.13	0.21*	0.54**	-		
$\theta_{SN}$	0.41**	0.09	-0.25*	0.45**	0.20	0.34*	0.65**	0.34**	-	
$\theta_{PR}$	0.25*	-0.12	-0.16	0.54**	0.09	0.36*	0.47**	0.48**	0.63**	-
SSA	0.38**	-0.17	-0.19	-0.43**	0.35*	0.31*	0.58**	0.34*	0.32*	0.20

OM: organik madde,  $D_b$ : hacim ağırlığı, EC:elektriksel iletkenlik,  $CaCO_3$ : eşdeğer kireç içeriği,  $\theta_{HG}$ : hava dolu gözenek hacminin % 10 olduğu nem içeriği,  $\theta_{TK}$ : tarla kapasitesi,  $\theta_{SN}$ : solma noktası,  $\theta_{PR}$ : 2MPa penetrasyon direncinde toprak nem içeriği, SSA:sınırlandırılmış su aralığı  
\* $P<0.05$ , \*\* $P<0.01$

direnci ile kütle yoğunluğu arasında pozitif, nem içeriğiyle ise negatif ilişkiler gözlenmiştir (Blainski vd., 2008; Ribon ve Tavares Filho, 2008).

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma sonucunda toprakların büyük bir kısmının SSA'ları düşük seviyelerde belirlenmiştir. Bölgede toprakların genelinde orta-ince bünye grubu hakimdir. Özellikle uygun olmayan nem koşullarında yoğun tarla trafiği, söz konusu bünye grubu için ciddi boyutta toprak sıkışmasına neden olmaktadır. Ayrıca uzun yıllar kapama elma tarımı yapılan bahçelerin arazi kullanımına bağlı olarak SSA'nın düşük seviyelerde belirlendiği düşünülmektedir. Toprakların % 20'lik kısmında YSİ, SSA'ya eşit belirlenirken, büyük bölümünde (% 80) havalanma ve/veya sıkışma problemleri tespit edilmiştir. Sınırlandırılmış su aralığının orta seviyede (%15-20) değişim gösterdiği topraklar, çalışma alanının güneyinde ve Eğirdir gölünün güney batısında yer alırken, düşük SSA ise genellikle kuzeyde ağır bünyeli topraklarda belirlenmiştir. Çalışma alanının güneyi ve Eğirdir gölünün güney batısında bulunan topraklarda koruyucu toprak işleme ve kültürel mücadele, kuzeydeki topraklarda ise tarla trafiğinin azaltılması, örtülü toprak işleme sistemine geçilmesi yüzey toprağının strüktürel yapısının iyileştirilmesine önemli katkı sağlayacaktır. Sınırlandırılmış su aralığı C, OM, CaCO<sub>3</sub> ve D<sub>b</sub> ile istatistiksel olarak önemli (P<0.05; P<0.01) ilişkiler sergilediği korelasyon analizi sonucunda belirlenmiştir. Özellikle agregasyon ile ilişkili bu parametrelerin SSR ile önemli korelasyonlar göstermesi bu özelliklerin strüktürel yapıyı etkilemesinin bir sonucudur. Sınırlandırılmış su aralığı, YSİ'den daha düşük seviyede görüldüğü topraklarda  $\theta_{SN}$  ve  $\theta_{PR}$  yerine  $\theta_{HG}$  ve  $\theta_{TK}$  özelliklerinin etkinliği daha yüksek belirlenmiştir.

Buna göre; bitkiler tarafından kullanılabilir yarayışlı su içeriğinin sıkışmaya bağlı olarak değiştiği, SSA'nın optimum su içeriği aralığından daha düşük seviyelerde belirleneceği sonucuna varılmıştır. Bu kapsamda, özellikle bitki köklerinin sudan faydalandığı etkili kök derinliğinde ortaya çıkacak herhangi bir sıkışma ve havalanma probleminin verim kaybına neden olacağı düşünülmektedir. Bitkinin sulamadan optimum yararı sağlayacağı koşulların elde edilebilmesi için etkili kök derinliğinde söz konusu bu özelliğin belirlenmesi önerilmektedir.

### KAYNAKLAR

- Aksakal EL, 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.
- Alaboz P, Işıldar AA (2018). Elma ve gül posası biyoçarlarının kumlu toprağın bazı fiziksel özellikleri üzerine etkileri. Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi, 6(2): 67-72.
- Andreu L, Hopmans JW, Schwankl LJ (1997). Spatial and temporal distribution of soil water balance for a drip-irrigated almond tree. Agric. Water Manage, 35:123-146.
- Anonim (2020). <http://www.dsi.gov.tr/toprak-ve-su-kaynaklari>. (Erişim Tarihi: 08.06.2020).
- Aydemir O, Akgül M, Canbolat MY, Işıldar AA (2005). Toprak bilgisi. Ziraat Fakültesi Yayın No:10, Ders Notu Yayın No:1, Isparta, p. 172.
- Başayığıt L, Şenol H, Müjdeci M (2008). Isparta ili meyve yetiştirme potansiyeli yüksek alanların bazı toprak özelliklerinin coğrafi bilgi sistemleri ile haritalanması. Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 9(2):1-10.
- Blainski É, Tormena CA, Fidalski J, Guimarães RML (2008). Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo à penetração. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 32(3): 975-983.
- Bouyoucos GJ (1962). Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. Agron. J., 54: 464-465.
- Budak M, Günel H, Çelik İ, Acır N, Sırrı M (2018). Dicle havzası toprak özelliklerinin yersel değişimlerinin jeostatistik ve coğrafi bilgi sistemleri ile belirlenmesi ve haritalanması. Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 5(2):103-115.
- Burt R (Ed.) (2014). Soil survey field and laboratory methods manual. United States department of agriculture, natural resources conservation service, national soil survey center, natural resources conservation service, kellog soil survey laboratory.
- Busscher WJ (1990). Adjustment of flat-tipped penetrometer resistance data to a common water content. <http://naldc.nal.usda.gov/download/18014/PDF>. (Erişim: 08.08.2019).
- Çepel N (1988). Toprak ilmi ders kitabı; orman topraklarının karakteristikleri, toprakların oluşumu, özellikleri ve ekolojik bakımdan değerlendirilmesi. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No: 3416, İstanbul (Çeviri), p. 276.
- Çetin A (2018). Toprak nemi ve hacim ağırlığının penetrasyon direncine etkisi. Yüksek lisans tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Basılmamış), Konya.
- Da Silva A, Kay B, Perfect E (1994). Characterization of the least limiting water range of soils. Soil Science Society of America Journal, 58 (6):1775-1781.
- Da Silva AP, Kay BD (2004). Linking process capability analysis and least limiting water range for assessing soil physical quality. Soil and Tillage Research, 79(2):167-174.



De Vares Rossetti K, Centurion JF (2017). Least limiting water range in Oxisols under different levels of machine traffic. *Comunicata Scientiae*, 8(2): 337-346.

Demiralay İ (1993). Toprak fiziksel analizleri. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Erzurum, p.143.

Derici B (2018). Bütünleşik kıyı alanları yönetimi'nin (bkay) göl kıyılarında uygulanabilirliği: Eğirdir gölü örneği. Yüksek lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü (Basılmamış), Isparta.

Doran JW, Jones AJ (1996). Methods for assessing soil quality. *Soil Science Society of America Special Publication* 49. SSSA. Madison, WI., USA.

Ferree DC, Warrington IJ (Eds.) (2003). Apples: botany, production, and uses. CABI.

Green S, Clothier B (1999). The root zone dynamics of water uptake by a mature apple tree. *Plant and Soil*, 206(1): 61-77.

Gülser C, Candemir F (2014). Using soil moisture constants and physical properties to predict saturated hydraulic conductivity. *Eurasian Journal of Soil Science*, 3: 77-81.

Gülser C (2004). Tarla kapasitesi ve devamlı solma noktası değerlerinin toprakların fiziksel ve kimyasal özellikleriyle ilişkili pedotransfer eşitliklerle belirlenmesi. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19(3):19-23.

Haghighi Fashi F, Gorji M, Sharifi F (2017). Least limiting water range for different soil management practices in dryland farming in Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 63(13):1814-1822.

Hazelton P, Murphy B (2016). Interpreting soil test results: What do all the numbers mean?. CSIRO publishing.

Kacar B (2009). Toprak analizleri. Nobel yayın dağıtım, Ankara, p.467.

Karabacak K (2007). Eğirdir ilçesi'nin coğrafi etüdü. Yüksek lisans tezi, Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya.

Kay BD, Anger DA (2002). Soil structure in soil physics companion (AWarrick, Ed) 249-296.

Keller T, Da Silva AP, Tormena CA, Giarola NFB, Cavalieri KMV, Stettler M, Arvidsson J (2015). SoilFlex-SSA: linking a soil compaction model with the least limiting water range concept. *Soil Use and Management*, 31(2):321-329.

KHGM (1994). Köy Hizmetleri genel Müdürlüğü Isparta İli Arazi Varlığı.

Leao TP, Da Silva AP, Perfect E, Tormena CA (2005). An algorithm for calculating the least limiting water range of soils. *Agronomy Journal*, 97(4): 1210-1215.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) (2020). <http://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/yillik-toplam-yagis-verileri.aspx#sfU>. [Erişim tarihi: 20.01.2020].

Mihalikova M, Başkan O, Dengiz O (2015). Capability of different interpolation models and pedotransfer functions to estimate soil hydraulic properties in Büyükçay Watershed. *Environmental Earth Sciences*, 74(3): 2425-2437.

Mohd-Aizat A, Mohamad-Roslan MK, Sulaiman WNA, Karam DS (2014). The relationship between soil ph and selected soil properties in 48 years logged-over forest. *International Journal of Environmental Sciences*, 4(6):1129.

Özçağiran R, Ünal A, Özeker E, İsfendiyaroğlu M (2011). İlman iklim meyve türleri. Yumuşak çekirdekli meyveler Cild-II, Ege Üniversitesi Basımevi, Bornova, İzmir.

Pachepsky Y, Rawls WJ (Eds.) (2004). Development of pedotransfer functions in soil hydrology. Elsevier.

Ribon AA, Tavares Filho J (2008). Estimativa da resistência mecânica à penetração de um latossolo vermelho sob cultura perene no norte do estado do Paraná. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32(5): 1817-1825.

RStudio (2019) Programs download. <https://rstudio.com/products/rstudio/download/>. [Erişim Tarihi:10.11.2019].

Shaver T M, Peterson GA, Ahuja LR, Westfall DG, Sherrod LA, Dunn G (2002). Surface soil physical properties after twelve years of dryland no-till management. *Soil Science Society of America Journal*, 66(4): 1296-1303.

Soil Survey Staff (1992). Soil survey manual. United States Department of Agronomy. Handbook No: 18. Washington, USA.

Şenol Ş, Alaboz P, Gülsoy S, Özkan G (2018). Boylu ardiç (*Juniperus excelsa* Bieb.) ormanları altındaki toprakların fizikokimyasal özellikleri. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 19(1): 1-10.

Tunçay T, Başkan O, Bayramın İ, Dengiz O, Kılıç Ş (2018). Geostatistical approach as a tool for estimation of field capacity and permanent wilting point in semiarid terrestrial ecosystem. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 64 (9): 1240-1253.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) (2019). <http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?method=temelist>. [Erişim Tarihi:10.04.2020].

Uçkun K (2007). Eğirdir-Boğazova topraklarının bazı fiziksel özelliklerinin belirlenmesi. Yüksek lisans tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Basılmamış), Konya.

Vrugt JA, Hopmans JW, Šimunek J (2001). Calibration of a two-dimensional root water uptake model. *Soil Science Society of America Journal*, 65(4): 1027-1037.

Wilding LP (1985). Spatial variability: Its documentation, accommodation and implication to soil surveys. 166-194p. In D.R. Nielsen and J. Bouma (eds.). *Soil Spatial Variability: Pudoc. Wageningen. Netherlands*.

Wilding LP, Bouma J, Goss DW (1994). Impact of Spatial Variability on Interpretative Modelling. In: *Quantitative Modelling of Soil Forming Processes* R.B. Bryant ve Arnold R.W. (Ed.) SSSA Special Publication Number 39, SSSA,Inc. Madison Wisconsin,USA.

Wu L, Feng G, Letey J, Ferguson L, Mitchell J, McCullough-Sanden B, Markegard, G (2003). Soil management effects on the nonlimiting water range. *Geoderma*, 114 (3-4): 401-414.

Yakupoğlu T, Saltalı K, Karagöktaş M (2012). Narlı Ovası'nda toprak aşınabilirliğinin pedotransfer yaklaşım ile tahminlenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Doğa Bilimleri Dergisi*, 15(2):59-67.

Yılmaz E, Alagöz Z, Öktüren F (2005). Aggregate formation and stability in soil. Selcuk Agriculture and Food Sciences Journal, 19(36):78-86 (In Turkish).

Zou C, Sands R, Buchan G, Hudson I (2000). Least limiting water range: a potential indicator of physical quality of forest soils. Soil Research, 38(5): 947-958.