



**TOPRAK İŞLEMEDE KIVAM
LİMİTLERİ VE MAKSİMUM
TOPRAK SUYU İÇERİĞİNİN TAHMİNİ**

Suat CENGİZ

**Yüksek Lisans Tezi
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı
Toprak Bilimi Bilim Dalı
Prof. Dr. Mustafa Y. CANBOLAT
2017
Her hakkı saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TOPRAK İŞLEMEDE KIVAM LİMİTLERİ VE MAKSİMUM
TOPRAK SUYU İÇERİĞİNİN TAHMİNİ**



Suat CENGİZ

**TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI
Toprak Bilimi Bilim Dalı**

**ERZURUM
2017**

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü
TEZ ONAY FORMU



TOPRAK İŞLEMEDE KIVAM LİMİTLERİ VE MAKSİMUM TOPRAK SUYU İÇERİĞİNİN
TAHMİNİ

Prof.Dr. Mustafa Y. CANBOLAT danışmanlığında, Suat CENGİZ tarafından hazırlanan bu çalışma 22/06/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı Toprak Bilimi Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **oybirliği / oy çokluğu (.../...)** ile kabul edilmiştir.

Başkan: Prof.Dr. Mustafa Y. CANBOLAT

Üye : Prof.Dr. Taşkın ÖZTAŞ

Üye : Yrd.Doç.Dr. Yasin DEMİR

İmza :

İmza :

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu'nun 27.07/2017 tarih ve 30..../32.... nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Cavit KAZAZ
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı. 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TOPRAK İŞLEMEDE KIVAM LİMİTLERİ VE MAKSİMUM TOPRAK SUYU İÇERİĞİNİN TAHMİNİ

Suat CENGİZ

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı
Toprak Bilimi Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mustafa Y. CANBOLAT

Toprak işleme, tarım alet ve makinalarının mekanik etkileri ile tekstür, nem içeriği ve organik madde gibi toprak özelliklerinin toprak strüktürü üzerindeki kombine etkisi altında ortaya çıkan toprak tavrını yansıtır. İşleme yapılacak tarım alanlarında risklerin değerlendirmesi, sürdürülebilir toprak yönetimi için önemlidir. Bu araştırmanın amacı, toprak fiziksel ve mekaniksel özellikler arasındaki ilişkileri değerlendirmek ve toprak işlenebilirliği için gerekli nem içeriğinin tahmininde literatürde önerilen modelleri çalışarak, maksimum su içeriğini değerlendirmektir. Bu çalışmada, Erzurum Daphan ovasında yirmi farklı noktada 0-20 cm derinlikten alınan bozulmuş toprak örnekleri kullanılmıştır. Toprak örneklerinin tekstür, organik madde, toprak reaksiyonu, kireç, kıvam limitleri ve toprak nem karakteristikleri belirlenmiştir. Araştırmada çalışmaya konu toprak özellikleri arasındaki ilişkiler, toprakların plastiklik durumu ve plastik deformasyonları, uygun işlenebilirlik için maksimum su içeriğinin tahmininde değerlendirilen metotlar çalışılmıştır. Toprak örneklerinden 11'i kil, 7'si killi tın ve 2'si kumlu killi tın tekstür sınıfında yer almıştır. Toprak örnekleri organik madde içeriği bakımından orta, reaksiyonları bakımından hafif alkalidir. Plastik deformasyon bakımından örneklerin hem su karşısında hemde mekaniksel kuvvetlere karşı karşı dirençlerinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Uygun toprak işlenebilirliği için maksimum su içeriğinin, 0,9 PL nem içeriği veya 1,15 kıvam indeksi civarında olmasının toprak strüktürünün sürdürülebilirliği açısından önemli olacağı vurgulanmıştır.

2017, 50 sayfa

Anahtar Kelimeler: Kıvam limitleri, plastiklik, toprak işleme, maksimum su içeriği

ABSTRACT

MS Thesis

ESTIMATING CONSISTENCY LIMITS AND MAXIMUM SOIL WATER CONTENT FOR SOIL TILLAGE

Suat CENGİZ

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Soil Science and Plant Nutrition
Department of Earth Science

Supervisor: Prof. Dr. Mustafa Y. CANBOLAT

Soil tillage is a reflectance of combine effects of mechanical effects of agricultural machineries and soil structure as affected by soil texture, moisture content and organic matter. Evaluating negative effects of soil tillage practices is important for sustainable soil management. The main goals of this study were to evaluate physical and mechanical properties of soils and to estimate optimum soil water content for cultivation using the preferred models in literature. For this purpose disturbed soil samples collected from 0-20 cm soil depth at 20 different locations were used. Soil texture, organic matter, soil reaction, lime content, consistency limits and soil moisture characteristics were determined. The relationships among the studied soil characteristics, plasticity and the plastic deformation as well as the methods used for prediction of maximum water content for soil cultivation were studied. Eleven out of 20 soil samples used in this study had clay, 7 clay loam and 2 sand clay loam texture. Soils had moderate amounts of organic matter with slightly alkaline soil reaction. It was obtained that soils had high resistance against water and mechanical forces in regarding with plastic deformation. It was suggested that soil moisture content at 0,9PL or near to 1,15 of consistency index should be considered as the maximum water content for appropriate soil tillage practices in order for sustainability of soil structure.

2017, 50 pages

Keywords: Consistent limits, plasticity, soil tillage, maximum water content territory, soil properties, spatial variability

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca bilgi ve tecrübeleri ile desteklerini esirgemeyen saygı değer hocam Prof. Dr. Mustafa Y. CANBOLAT'a, bölüm hocalarıma ve çalışanlarına, laboratuvar ve arazi çalışmalarımnda emeği geçen tüm arkadaşlarıma, çalışma arkadaşım ziraat yüksek mühendisi Zakir TAŞCI'ya, her zaman yanımda olan ve çalışmalarımnda beni özveri ile destekleyen değerli aileme teşekkür ederim.

Suat CENGİZ

Haziran, 2017

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	5
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	13
3.1. Materyal.....	13
3.1.1. Örnekleme alanının tanımı ve toprak özellikleri.....	13
3.1.2. İklim özellikleri	13
3.1.3. Toprak örneklerinin alınması ve analize hazırlanması.....	14
3.2. Yöntemler.....	16
3.2.1. Tane büyüklük dağılımı.....	16
3.2.2. Toprak reaksiyonu ve elektriksel iletkenlik	16
3.2.3. Kireç	16
3.2.4. Organik madde	16
3.2.5. Nem tansiyon eğrisi.....	17
3.2.6. Likit limit, plastik limit ve büzülme limiti	18
3.2.7. Plastiklik, büzülme ve kıvam indeksleri.....	18
3.2.8. Toprak strüktürünün plastik deformasyonu	18
3.2.9. Toprak işlemede varsayımsal su içerikleri	19
3.2.10. İstatistiksel değerlendirmeler	20
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	21
4.1. Toprakların Pedolojik Özellikleri.....	21
4.2. Toprak Nem Karakteristikleri	22
4.3. Toprakların Kıvam Limitleri ve Plastiklik Durumları	25
4.3.1. Toprakların kıvam limitleri	25
4.3.2. Toprakların plastiklik durumları	28

4.4. Toprakların Pedolojik Özellikleri İle Mekaniksel Özellikleri Arasındaki İlişkiler	30
4.5. Kıvam Limitlerinin Toprak Strüktürünün Plastik Deformasyonu Üzerine Etkisi.....	32
4.6. Uygun Toprak İşlenebilirliği İçin Maksimum Su İçeriği	34
4.6.1. Uygun işlenebilirlik için maksimum su içeriğinin tahmininde kullanılan metotlar.....	34
4.6.2. Maksimum su içeriğinde gelişen tansiyonlar	37
4.6.3. Maksimum su içeriklerinde kıvam indeksi	38
5. SONUÇLAR.....	43
KAYNAKLAR	47
ÖZGEÇMİŞ	51

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Kil içeriğinin fonksiyonu olarak üst işleme limiti, optimum işleme nem içeriği (nem tansiyon eğrisi büküm noktası) ve alt toprak işleme limiti	11
Şekil 3.1. Erzurum ili iklim verilerine ait yağış, sıcaklık ve buharlaşma grafiği	14
Şekil 3.2. Toprak örneklemesinin yapıldığı noktalar	15
Şekil 3.3. Nem tansiyon eğrisi ve karakteristik noktalar	17
Şekil 4.1. Araştırma konusu toprak örneklerinin tekstür üçgeni üzerindeki konumları.....	22
Şekil 4.2. Toprak örneklerinin tekstür sınıflarına göre nem tansiyon eğrileri	24
Şekil 4.3. Toprak örneklerinin plastiklik kartı üzerinde dağılımı	29
Şekil 4.4. Uygun işlenebilirlik için maksimum su içeriğinin topraklar arasındaki ortalama ve %95 güven aralığı	36
Şekil 4.5. Toprak işlemede farklı yöntemlere göre belirlenen maksimum su içeriği değerlerinin tekstür sınıflarına göre dağılımı	37
Şekil 4.6. Maksimum su içeriklerindeki (W) kıvam indeksleri $CI=(LL-W)/(LL-PL)$...	40
Şekil 4.7. Maksimum su içeriklerinde belirlenen kıvam indekslerinin tekstür sınıflarındaki dağılımı	41

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Toprak örneklerinin alındığı koordinatlar	15
Çizelge 3.2. Plastik deformasyonun değerlendirilmesinde oran değerleri	19
Çizelge 4.1. Araştırmada kullanılan toprak örneklerinin bazı pedolojik özellikleri.....	21
Çizelge 4.2. Araştırma konusu toprakların farklı tansiyonlardaki nem içerikleri.....	23
Çizelge 4.3. Araştırma toprakları için van Genuchten eşitliğine ait parametreler ve nem tansiyon eğrisinin büküm noktası nem içeriği	24
Çizelge 4.4. Toprak örneklerinin bazı mekaniksel özellikleri	27
Çizelge 4.5. Araştırmada ölçümlenen pedolojik ve mekaniksel özellikler arasındaki ilişkilere ait regresyon modelleri	31
Çizelge 4.6. Plastik ve likit limitin pF 2 nem yüzdesine oran değerleri	32
Çizelge 4.7. Uygun işlenebilirlik için maksimum su içeriği değerleri	35
Çizelge 4.8. Toprak tekstür sınıflarına göre ortalama su içeriği ve eşdeğeri tansiyonlar.....	38
Çizelge 4.9. Maksimum su içeriğine eşdeğer kıvam indeksleri.....	38
. Çizelge 4.10. Toprağın farklı kıvam durumlarında tavrı	40

1. GİRİŞ

Tarım ve mühendislik amaçlı olarak toprağa uygulanan kuvvetlere karşı toprak tavrının değerlendirilmesinde toprak fiziksel ve mekaniksel özellikleri içerisinde kıvam limitleri önemli parametrelerdir.

Toprak yönetim uygulamalarından olan toprak işleme faaliyetlerinde toprağın mekaniksel davranışlarının toprak tavrı üzerine olan etkilerinin tahmini ve tarımsal faaliyetler için gerekli önlemlerin alınması önemlidir. Toprakların mekaniksel davranışlarının değerlendirilmesinde, farklı nem sınırları içerisinde gelişen toprak kıvam durumlarından yararlanılmaktadır.

Kıvam kavramının esas amacı, tarladaki toprak davranışını güvenilir bir şekilde kontrol edebilmek için sağladığı fırsatlardır (AG Boden 1994). Ancak bu durum Atterberg testlerinin uygulanamadığı plastikliği düşük kohezyonsuz topraklarda uygulanabilirliği zayıftır (Kezdi 1969; Mapfumo and Chanasyk 1998; Dexter and Bird 2001). Toprak kıvam durumu, tarla içi değerlendirmelerde toprakların sahip olduğu nem içeriği ile işlenebilirliği arasındaki ilişkileri açıklaması bakımından da önemlidir (Mueller ve ark., 2003). Ancak, söz konusu ilişki plastik olmayan veya yüksek seviyede sıkışmış kohezif olmayan topraklarda uygulanamamaktadır (Dexter and Bird 2001).

Toprak kıvamı, toprağın su karşısında ortaya koyduğu durum olup, likit limit (LL), plastik limit (PL) ve büzülme limiti (BL) gibi kohezyonlu toprakların tarımsal veya mühendislik amaçlı kullanımında farklı fiziksel ve mekaniksel davranışları açıklayan nem parametrelerini içerir. Bu parametreler, toprak yönetiminde önemli olup, arazi kullanımında toprak fiziksel kalitesi için bir indeks olarak kullanılırlar.

Kıvam limitleri, başta toprak nem içeriği olmak üzere, toprağın tane büyüklük dağılımına, hakim kil minerali çeşidine, değişebilir katyonların cinsine ve organik

madde içeriğine bağılı olarak farklılıklar gösterir (Farrar and Coleman 1967; Canbolat ve Öztaş 1997).

Likit limit, toprağın sahip olduğı nem içeriğinden dolayı akmaya başladığı andaki nem içeriğidir. Likit limit, toprağın mineral bileşimine, yüzeydeki yüklerin yoğunluğuna, adsorbe edilen suyun kalınlığına ve tanelerin şekline bağılı olarak gelişir (Munsuz 1985). Bundan dolayı, likit limit değerleri ortamın fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağılı olarak topraklar arasında farklılık gösterebilmektedirler.

Plastik limit, uygulanan kuvvet karşısında bir keseğı oluşturan strüktür ünitelerinin ayırım yüzeyleri boyunca birbirinden ayrılma başladığı andaki nem içeriğidir. Plastik limit, toprağın plastiklik gösterdiği minimum nem içeriğı olduğundan, toprağın işleme ile çamurlaşma tehlikesinde olduğu minimum nem içeriğı olarak kabul edilmektedir. Toprak işleme zamanı için bir ölçüt olarak kabul edilen plastik limit, optimum toprak işleme için maksimum su içeriğini tahmin etmedeki en hassas parametrelerden birisi olarak değerlendirilmiştir. Toprağın işlenebilirlik durumu PL nem içeriğı ile yakın bir ilişki içerisindedir (Mueller 1985; Smedema 1993; Mueller and Schindler 1998b; Dexter and Bird 2001). Buna göre, plastik limitin toprağın işlemeye en uygun olduğu nem aralığının üst sınırı olarak kabul edilebileceğı ve toprak işleme için uygun maksimum su içeriğı tayin metotlarının çoğunun, plastik limite benzer değerler vermeye eğilimli olduğu farklı araştırmacılar tarafından vurgulanmıştır (Larney *et al.* 1988; Terzaghi *et al.* 1988; Mueller *et al.* 2003).

Likit ve plastik limit arasındaki farkın ifadesi olan plastiklik indeksi, plastik bölgenin bir ölçüsü olup toprağın işlenmeye uygunluk nemini belirlemede kullanılan bir ölçüttür. Bu indeksin küçük veya büyük olması toprağın dağılıbilirlik hassasiyetini etkilemesi bakımından toprak işleme üzerinde önemli etkilere sahiptir. Büzölme limiti ise, nemini kaybeden bir toprakta hacim azalmasının durduğu andaki nem içeridir (Dexter and Bird 2001; Baumgarti 2002; SSSA 2010).

Toprak kıvam karakteristiklerini dikkate almayarak yapılan toprak işleme, toprağın sahip olduğu başta gözenek geometrisi olmak üzere strüktürel özellikleri önemli ölçüde değiştirilebilir (Adam and Erbach 1992; Barzegar 2004). Toprağın maksimum kütle yoğunluğunun gelişmesine neden olan nem içeriğinde işlenmesi, toprak işlemede gerekli kurallara uyulmaması, dünya çevresinde birçok ekosistemi tehdit eden toprağın sıkışmasına ve süreç içerisinde işlemeye karşı direncin artmasına neden olur. Sıkışma, toprakların fiziksel degradasyonunun bir çeşidi olup, bütün toprak fonksiyonları üzerine negatif etkilere sahiptir. Bundan dolayı toprağın nem içeriği ile işlenebilirliği arasında gelişebilecek olumsuz durumun önlenmesi, hem toprak strüktürünün korunmasını sağlarken hem de toprağın tarım alet ve makinalarına karşı göstereceği direncin düşürülmesine hizmet eder.

Toprak işleme, ekim, gübreleme ve hasat gibi bitkisel üretimle ilgili toprak yönetim uygulamalarının gerçekleştirildiği süreçlerde, toprak yapısı üzerine uygulanan mekanik etkiler söz konusudur. Mekanik olarak toprağa uygulanan kuvvetler, toprak yapısında pozitif etkileri sağlayabilmek veya farklı işlemleri gerçekleştirmek amacıyla yıl içerisindeki dönem veya dönemlerde yapılan faaliyetlerdir (Droogers *et al.* 1996). Bu faaliyetler içerisinde toprak işleme, tarım alet ve makinalarının mekanik etkileri ile tekstür, nem içeriği ve organik madde gibi toprak özelliklerinin kombine etkisi altında ortaya çıkan toprak tavrını yansıtır. Optimum toprak koşullarını geliştirmek amacıyla uygun şartlarda yapılan bu faaliyetler istenilen ortam koşullarını sağlarken, işleme ve tarla trafiği için uygun olmayan başta toprak nem içeriği olmak üzere bazı toprak özellikleri, olumsuz koşulların ortaya çıkmasına neden olabilir.

Toprak işleme faaliyetlerinde dikkate alınması gerekli önemli hususlar 10 başlıkta vurgulanabilir. Bunlar, (1) İşleme yapılacak tarım alanlarında risklerin değerlendirmesi, (2) İklimsel faktörlerden kaynaklanan olumsuz durumların önlenmesi veya en aza indirilmesi (sıkışma, toprağın pülverize olması gibi), (3) Optimal toprak fiziksel ve biyolojik durumun ve verimliliğin sürdürülmesi, (4) Toprak yapısını korumaya ilişkin önlemlerin alınması, (5) Toprak yüzeyini malçlı bırakılması, (6) Karbon muhafazası ile ilgili olarak toprağa organik mateyal ilavesinin artırılması, (7) Anızın rasyonel olarak

kullanılması, (8) Toprağın strüktürünün geliştirilmesiyle topraklarda optimal bir su yönetiminin sürdürülmesi, (9) Toprak işleme operasyonlarında su kaybının en az olmasını sağlayacak bir yüzey oluşturulması ve (10) Toprağın bitkisel üretim gücünün geliştirilmesi ve sürdürülmesidir (Birkas *et al.* (2008).

Bu araştırmanın amacı, toprakların fiziksel ve mekaniksel özellikler arasındaki ilişkileri değerlendirmek ve toprak işlenebilirliği için gerekli nem içeriğinin tahmininde literatürde önerilen modelleri çalışarak, maksimum su içeriğini değerlendirmektir.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

Toprakların uygulanan kuvvetlere karşı ortaya koyabileceği mekaniksel davranışların bilinmesi, tarımsal yönetim uygulamalarında gerekli önlemlerin alınması bakımından önemlidir.

Canbolat ve Öztaş (1997), toprağın kıvam limitleri ile bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri arasındaki ilişkileri belirlemek ve toprak strüktürüne en az zararla, toprak işleme için en uygun nem aralığını saptamak amacıyla yaptıkları bir çalışmada; kil içeriği, organik madde miktarı, kireç içeriği, katyon değişim kapasitesi ile likit limit ve plastik limit arasında önemli pozitif ve kum içeriği ile önemli negatif ilişkiler tespit etmişlerdir. Çalışma alanı topraklarının yaklaşık %90'ının orta plastiklik durumu göstermesi; toprak işleme faaliyetlerinin, plastik limit nem sınırında yapılması gerektiğini vurgulamışlardır

Canbolat vd (1999), araştırmalarında, farklı ana materyaller üzerinde oluşmuş toprakların pedolojik özellikleri ile kıvam limitleri ve şişme-büzülme karakteristiklerinin toprak profil derinliğindeki değişimini incelemişlerdir. Toprak örneklerinin pedolojik özelliklerden; tane büyüklük dağılımı, katyon değişim kapasitesi, organik madde ve kireç içeriği, mekaniksel özelliklerinden ise; kıvam limitleri, şişme ve büzülme karakteristiklerini belirlemişlerdir. Toprak örneklerinin kıvam limitleri, şişme ve büzülme karakteristikleri ile pedolojik özelliklerden, kum, silt ve kireç içeriği arasında negatif, kil içeriği ve katyon değişim kapasitesi arasında da pozitif ilişkiler olduğunu saptamışlardır.

Adekalu *et al.* (2007), üç farklı toprağın fiziksel ve mukavemet özellikleri üzerine farklı nem içeriklerinde sıkıştırma uygulamalarının etkilerini ve toprakların tarım alet ve makine trafiğine uygunluğu için en iyi nem içeriğini belirlemek amacıyla araştırmalarını yürütmüşlerdir. Kuru yoğunluk ve kesme mukavemetine karşılık nem içeriğinin grafik edilmesiyle sağlanan eğrilerin toprağın tarım alet makine trafiği için en uygun nem

içeriğini belirlemede etkili olduğu ve toprağın tarım alet makine trafiği için nem aralığının, toprağın kolloidal içeriği ile birlikte arttığını belirlemişlerdir.

Sönmez ve Öztaş (1988), Iğdır ovası yüzey topraklarının çeşitli fiziksel ve kimyasal özellikleri ile mekaniksel özellikleri arasındaki ilişkileri incelemiş, toprakların kil içeriği ve katyon değişim kapasitesi ile likit limit, plastik limit, doğrusal uzama katsayısı, yüzde büzülme, büzülme oranı, hacimsel büzülme ve doğrusal büzülme, değerleri arasında önemli pozitif, büzülme sınırı değerleri ile önemli negatif ilişkiler saptamışlardır. Organik madde içeriği yüksek olan toprakların özgül yüzey alanı ve su tutma kapasitelerindeki artışa bağlı olarak toprağın kıvam limit değerlerinin de artış gösterdiğini ifade etmişlerdir

Canbolat ve ark. (1998), Erzurum-Daphan ovası topraklarının mekaniksel özellikleri ile pedolojik özellikleri arasındaki ilişkileri belirlemek ve toprağın mekaniksel özelliklerinin tarımsal yönden önemini değerlendirmek amacıyla yürüttükleri araştırmalarında, ova topraklarının yüksek plastiklik gösterdiğini, mekaniksel kuvvetlere ve suyun gevşetici-dispersleştirici etkisine karşı dirençli olduğunu saptamışlardır.

Yakupoğlu ve Özdemir (2006) toprağa biyokatı ve çay atığı uygulamasının toprağın bazı mekaniksel özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla yürüttükleri araştırmalarında, toprağa organik materyal ilavesinin toprakların likit limit (LL) ve plastik limit (PL) değerlerini önemli ölçüde artırdığı, doğrusal uzama katsayısı (COLE) ve hacimsel büzülme (SV) değerlerini ise önemli ölçüde düşürdüğü, etkinin uygulama dozu ve organik materyalin çeşidine bağlı olarak değiştiğini belirlemişlerdir.

Demir vd (2012), araştırmalarında, aynı iklim koşulları altında, farklı arazi kullanımı altındaki toprakların likit limit, plastik limit ve plastiklik indeks özellikleri ile fiziksel ve kimyasal özellikleri arasındaki ilişkileri incelemişlerdir. Araştırmada toprakların kil içeriği, organik madde, kireç içeriği ve hacim ağırlıkları ile kıvam limitleri arasında önemli pozitif ilişkiler bulunmuştur. Arazi kullanım şekline bağlı olarak likit ve plastik

limiti etkileyen en önemli toprak özelliklerinin kireç ve organik madde olduğu vurgulanmıştır.

Dexter and Bird (2001), optimum koşullarda toprak işleme için toprağın su içeriğini tahmin etmek amacıyla bir yöntem geliştirmeyi ayrıca, toprak işleme için su içeriği aralığını tahmin etmek için yöntemler geliştirmeyi hedeflemişlerdir. Çalışmalarında van Genuchten (1980) eşitliğinde tanımlandığı üzere toprağın nem tansiyon eğrisini ve toprak kompozisyonunu esas alınarak gerekli parametreleri hesaplamışlardır. Çalışmalarında alt (kuru) sınır, optimum su içeriği ve üst (ıslak) sınır olarak üç su içeriği tanımlanmış ve söz konusu sınırların tahmin edilmesi için yeni yöntemler geliştirmişlerdir. Araştırmacılar elde edilen sonuçların, (1) toprak organik maddesinin kaybı veya toprak sıkışması gibi toprak bozulmasının etkilerinin amaçlandığı çalışmalarda ve (2) farklı iklim değişikliği senaryolarının etkilerinin amaçlandığı çalışmalarda kullanılabileceğini vurgulamışlardır.

Mueller *et al.* (2003), toprak işlemede toprak su içeriğini tahmin etmek amacıyla beş yöntemi karşılaştırmışlardır. Çalışmada, mevcut su tansiyon verilerinden, Atterberg limitlerinden ve Proctor sıkıştırma testleri verilerinden faydalanmıştır. Kohezif toprakların işlenmesinde mak toprak su içeriğinin kıvam indeksinin 1,15 olduğu koşullarda veya plastik limitin %90'na eşdeğer su içeriğinde yapılmasının uygun olacağı ifade edilmiştir. Su tansiyon eğrisine ait dönüm noktasındaki su içeriğinde toprak işlemenin toprağın çok fazla ıslak olacağından dolayı uygun olmayacağını vurgulamışlardır.

Gülser ve Candemir (2006), araştırma konusu toprak örnekleri üzerinde belirlenen Atterberg limitleri, doğrusal uzama katsayıları, kıvam indeksleri, hacimsel büzülme değerleri ve doğrusal büzülme katsayıları gibi mekaniksel özellikleri, toprak işleme açısından değerlendirmişlerdir. Topraklarda en uygun işlemenin kıvam indeksinin yaklaşık 1.0'e eşit olmasını sağlayan tarla kapasitesindeki nem değerlerinde veya PL'in %90'ındaki nem değerlerinde olacağını ifade etmişlerdir. Tarla kapasitesi değerlerinin üstünde yapılan işlemlerin balçıklaşmaya neden olabileceği, altındaki nem

değerlerinde yapılacak işlemlerde ise daha fazla enerji gerektireceğini vurgulamışlardır.

Polidori (2007) araştırmasında, inorganik topraklarda kil içeriğinin bir fonksiyonu olarak likit limit ve plastik limitin nasıl etkilendiğini kil minerallerinin tipi ve miktarı açısından araştırmıştır. Kil içeriği ile likit limit ve plastik limit arasında doğrusal bir ilişkinin geliştiğini test etmiştir.

Farklı araştırmacılar standart toprak test yöntemlerinden elde edilen verileri kullanarak en uygun toprak işleme için bazı su içeriği tahmin yöntemlerini çalışmışlardır. Petelkau (1984) ve Dexter and Bird (2001) su tansiyon verilerini kullanmışlardır. Bhushan and Ghildyal (1972), Ojeniyi and Dexter (1979), Mueller (1985), Mueller *et al.* (1990), Smedema (1993), Kretschmer (1996), Dexter and Bird (2001) kohezyonlu toprakların kıvam durumlarını; Wagner *et al.* (1992) Proctor kompaksiyon testi verilerini toprak işlemeyle ilişkilendirmişlerdir.

Bhushan and Ghildyal (1972) tarafından lateritik kumlu tın tekstürüne sahip toprak için toprak işlemede optimum su içeriği tanımlanmıştır. Araştırmacılar toprağın 0,77 PL civarındaki nemde işlendiğinde çok fazla küçük agregatların oluştuğunu vurgulamışlardır. Benzer olarak Ojeniyi ve Dexter (1979), 0,90 PL nem civarında yapılan toprak işleminin kumlu tın tekstüründeki toprakta maksimum seviyede küçük agregatların oluşturulabilmesi için uygun nem içeriği olduğunu vurgulamışlardır.

Kretschmer (1996), toprak kıvamının değerlendirilmesinde iki temel parametre olarak PL ve LL esas alarak geliştirdiği eşitlikle yarı katı kıvam aralığındaki su içeriğinde toprak işlemeyi önermiştir.

Dexter ve Bird (2001), toprak işlemedeki optimum su içeriğini, işleme sırasında küçük agregatların büyük bir kısmının oluştuğu su içeriği" olarak tanımlamışlardır. Araştırmacılar optimum su içeriğinden daha yüksek nem içeriğinde toprak işlendiğinde daha büyük keseklerin meydana gelebileceğini, optimum su içeriğinden daha düşük

nem içeriğine sahip toprakta ise işleme sırasında aşırı enerjiye ihtiyaç duyularak daha büyük keseklerin oluşabileceğini bu durumda toprak strüktürüne zarar vereceğini vurgulamışlardır.

Toprağın işlenebilirlik durumunun toprak su içeriği ile ilişkili olarak değerlendirilmesinde, nem-tansiyon eğrilerinin kullanılmasına ait farklı araştırmalar yürütülmüştür.

Petelkau (1984) -5kPa tansiyondaki su içeriğini optimum çalışabilirlikteki su içeriği ile ilişkilendirmiştir. Bu bulgulara göre, -5 kPa daki su içeriğinin, kil tekstür sınıfındaki topraklar için %50–65, tın tekstürlü topraklar için %40–75 ve tınlı kum tektüründeki topraklar için %20–85 aralığında işlenebilirliğe uygun olduğu vurgulanmıştır.

Dexter and Bird (2001), su tansiyon eğrisinin büküm noktasındaki su içeriğinin, hava kapasitesindeki tansiyona eşdeğer su içeriği olarak yorumlanabileceğini ve bu su içeriğininde PL'in %90'nı civarlarında olduğunu vurgulamışlardır. Araştırmacılar bu değeri toprağın işlenmesi için ihtiyaç duyulan optimum su içeriği olarak önermişlerdir

Toprak işlenebilirliğini değerlendiren diğer bir standart toprak mühendisliği işlemi, farklı su içeriklerinde belli bir enerji ve sıkıştırma işlemi altında toprak yoğunluğundaki değişimleri ortaya koyan Proctor sıkıştırma testidir (Mueller *et al.* 2003).

Keller *et al.* (2007a) su tansiyon eğrisinin dönüm noktasındaki su içeriğini tarla denemelerinde bir işlenebilirlik kriteri olarak vurgulamışlardır. Ancak su tansiyon eğrisinin dönüm noktasının mevcut verilerden hesaplanması durumunda oldukça yüksek nem içeriğinin elde edileceğini bu durumda söz konusu değerin 0,8 faktörüyle çarpılmasını önermişlerdir.

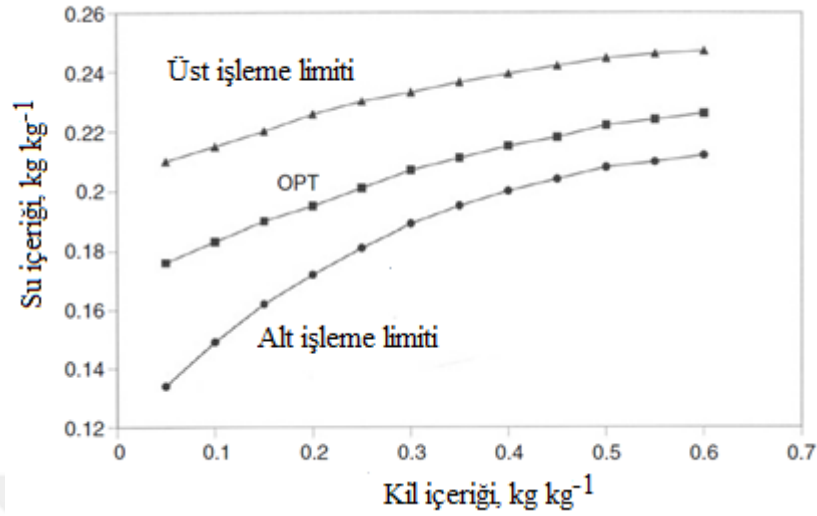
Terzaghi *et al.* (1988), kil içeriği %18 ile %41 ve organik madde içeriği %1,9 ile %7,3 arasında değişen 13 toprak örneği üzerinde toprak işlemede maksimum nem içeriğini ortaya koymak amacıyla yaptıkları çalışmalarında bir regresyon eşitliği ($=0,0775+34$

Kil+191 Org. Md., kg kg⁻¹) geliştirmişlerdir. Bu sonuçlar Koenigs (1976) tarafından geliştirilen regresyon eşitliği (=34Kil+155 Org. Md., kg kg⁻¹) ile uyumluluk göstermiştir.

Agregatların dayanıklılığı ve mekanik davranışları etkileyen toprak nem durumu toprak işlemesini etkileyen en önemli faktördür (Mosaddeghi ve diğerleri, 2009). İşlenebilirlik kavramı içinde hem çok ıslak hemde çok kuru nem durumları önemli problemler olarak ortaya çıkar (Canarache and Dumitru 2000). Toprak kuruduğunda agregatların direnci artar, bu durumda onları daha küçük boyutlarda parçalamak güçleşir.

Hasat sırasında veya sonrasında toprağın oldukça kuru olması veya yüksek toprak yoğunluğu toprak işlemeyi sınırlandırırken, ıslak ve kuru koşullarda toprak işleme için optimum toprak durumunu sağlayamaz. Aynı durum toprak derinliği için de söz konusu olup, İlkbahar peryodunda toprak yüzeyi tohum yatağı hazırlığı için uygun bir ortamı sağlarken, alt katman tarla trafiğini taşımayacak kadar ıslak olabilir (Lipiec ve Simota, 1994). Toprak ıslandığında agregatlar gevşeyip, zayıflar ve mekanik bir kuvvet uygulanması sonrasında yapılarını değiştirerek sıkışmaya karşı hassaslığı artar (Dexter and Bird 2001). Toprak yüzeyinin ıslaklığı artıran zayıf drenaj, işlenebilirliği etkileyen önemli bir toprak parametresidir (Chamen *et al.* 2003). Nemli ortamlarda, toprak su içeriği genellikle tarla kapasitesi üzerinde olacağından, işlenebilirlik aşırı toprak neminden dolayı güçleşecektir.

Araştırmacılar, toprak hidrolik özellikleri için van Genuchten eşitliğinin parametrelerinin tahmininde pedotransfer fonksiyonlarının kullanımı ile kombine olabilen st ve alt işleme limitlerini de içeren optimum su içeriğinin tahmininde eşitlikler geliştirmişlerdir. Toprak işleme ile ilgili limitlerin (st ve alt işleme limitleri) kil içeriğine olan ilişkisi değerlendirildiğinde, kil içeriğinin artmasına bağlı olarak toprak işlemede ihtiyaç duyulan su içeriği aralığının azaldığı belirlenmiştir (Dexter and Bird 2001).



Şekil 2.1. Kıl içeriğinin fonksiyonu olarak üst işleme limiti, optimum işleme nem içeriği (nem tansiyon eğrisi büküm noktası) ve alt toprak işleme limiti (Dexter and Bird 2001)

Cadena Zapata *et al.* (2002), toprak işlemede işlenebilirlik sınırlarının değerlendirilmesi için nem ve işleme enerjisini belirlemek amacıyla araştırmalarını yürütmüşlerdir. Traktör ve tarım alet makine kombinasyonu ile uygulanan enerjinin ölçülmesi ve toprak strüktürü üzerine uygulanan etkilerin değerlendirilmesinde büzülme ve plastik limit nem içeriklerinde toprakların işleme aralığı nicel olarak belirlenmeye çalışılmıştır. Araştırmalarında toprak su potansiyeli açısından, optimum toprak işleme nemini, kumlu topraklar için pF 1.9 ve 3.1 arasında ve killi topraklar için pF 2.1 ile 3.4 arasında değiştiğini kaydetmişlerdir. Bu aralıklarda uygun bir tohum yatağı hazırlamak için toprak işlemede ihtiyaç duyulan enerjinin minimum seviyede gerçekleştiği vurgulanmıştır. Toprak işlemede, enerji kaybı, operasyonel gecikmeler, toprağın strüktürel bozulmalarla karşı karşıya kalması sıklıkla karşılaşılan durumlardır.

Toprak yönetiminde toprak işleme uygulamalarının, planlanması, toprak strüktürünün korunmasını sağlayıp, toprak kalitesinin sürdürülebilirliğine yardımcı olur. Toprak işlemede başta toprağın nem içeriği olmak üzere toprağın temel özellikleri ile birlikte mekaniksel ve hidrolojik verilere ihtiyaç duyulur.

Müller *et al.* (2011), toprak işleme üzerine toprak tekstüründeki farklılığın önemini vurguladıkları araştırmalarında, kumlu toprakların hemen hemen her su içeriğinde işlenebilir olmasına rağmen, killi toprakların optimum su içeriğinde işleyebilmenin zorluklarına dikkat çekmişlerdir. Bu topraklarda optimum su içeriğine ulaşma daha uzun bir süre gerektirdiğinden ve bu su içeriğinden uzaklaşma da kısa sürede gerçekleştiğinden dolayı zorlukların ortaya çıkabileceğini ifade etmişlerdir. Kumlu topraklar serbest drenaj koşulları sağlandığında her hangi bir nem seviyesinde işlenmeye uygun olacağını, ince tekstürlü toprakların ise ıslak veya kuru durumda işlenmelerinin söz konusu olacağını belirtmişlerdir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Örnekleme alanının tanımı ve toprak özellikleri

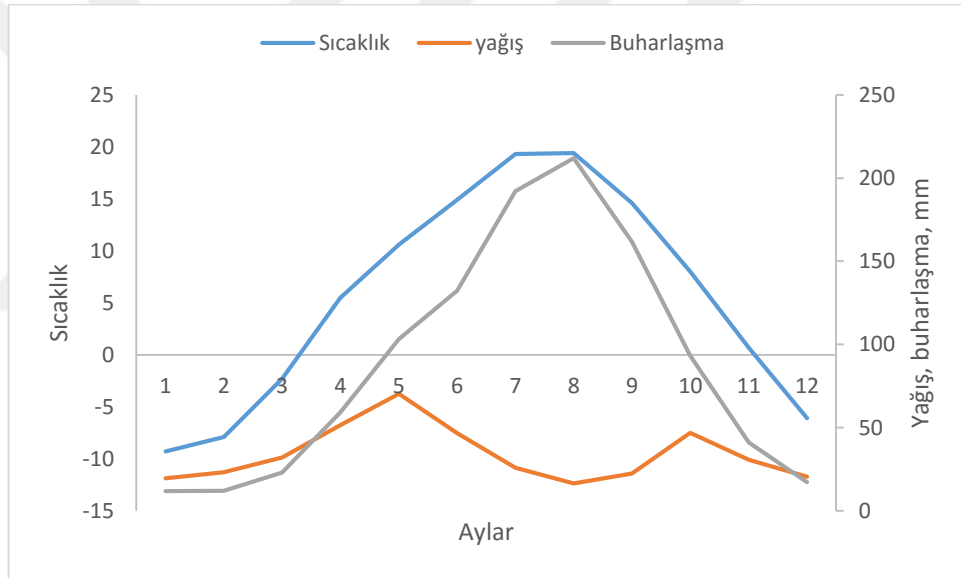
Araştırma alanı, Erzurum ili Daphan ovasında yer alan Çiğdemli ve Paşayurdu köyleri arasında yer alan $39^{\circ} 58' 14,75''$ kuzey enlemleri ve $40^{\circ} 58' 18,36''$ doğu boylamları arasındaki tarım alanlarıdır. Daphan ovası, Erzurum kent merkezinin 25 km batısında, Erzurum – Erzincan karayolu üzerinde yer almakta ve izdüşüm alanı olarak 108234,9 da'lık bir alanı kaplamaktadır. Ova, doğuda birbirini takip eden Körpınarlar, Karababa çayırı ve Çubuklu dereleri, batıda Serçeme deresinin doğu terası yamaçları, kuzeyde, doğu-batı istikametinde yer alan kumlu tepe ve Deve Oturağı tepelerinin güney yamaçları ve güneyde ise Daphan düzlüğünün Karasu çayına bakan yamaçları ile sınırlandırılmıştır. Araştırma alanından örneklenen topraklar, toprak taksonomisine göre alt grup düzeyinde “Paleustolik Chromustert” olarak sınıflandırılmıştır (Anon. 2010).

Ovada, genel olarak üç farklı fizyografik ünite göze çarpar. Kuzeydeki tepelerin eteklerinde, fazla derin olmayan kuru dereler ile yarılmış, oldukça homojen meyilli bir kesim, orta kısımda hemen hemen düz bir kesim, güneyde ise yer yer oldukça derin vadiler ile parçalanmış, kompleks eğimli bir kesim bulunur. Ovanın büyük bölümü, gölsel üst miosen depozitleri üzerinde yer alan, üst pliosen yaşlı aglomera, bazalt, tüfit, killi kireç taşı, kumtaşı ve çakıltası bileşimli alüviyal ve kuzey kesimler ise benzer bileşimli koluluviyal materyallerden oluşmuştur (Altınlı 1963).

3.1.2. İklim özellikleri

Bölgenin iklimi, kışları çok soğuk ve uzun, yazları serin ve kısa geçen karasal bir iklimdir (Anonim 1979a). Bölgenin iklim verilerine göre, yıllık ortalama sıcaklık $5,9^{\circ}\text{C}$, yıllık yağış 446,2 mm, ortalama yıllık buharlaşma 1059 mm ve yıllık ortalama nispi

nem %63'tür. Ortalama yıllık toprak sıcaklığı 5 cm derinlikte 8,7°C, 20 cm derinlikte 8,5°C ve 50 cm derinlikte 8,0°C ve 100 cm derinlikte 8,5°C'dir (Anon. 1990). Bölgeye en fazla yağış Mayıs ayında (73,8 mm) ve en az yağış ise Ağustos ayında (18,6 mm) düşmektedir. Topraktaki nem miktarını önemli ölçüde etkileyen yağış ve buharlaşma miktarları birlikte incelendiğinde yılın 8 ayında (Nisan Kasım) buharlaşmanın, yağıştan fazla olduğu görülmektedir (Şekil 3.1). Yağışın yaklaşık %40'ı Nisan-Mayıs ve Haziran aylarında düştüğünden, bu üç aylık dönemde toprak sürekli nemli kalmakta, bu dönemi takip eden üç ay içerisinde de (Temmuz-Ağustos-Eylül) ise oldukça kurak bir dönem yer almaktadır.



Şekil 3.1. Erzurum ili iklim verilerine ait yağış, sıcaklık ve buharlaşma grafiği

3.1.3. Toprak örneklerinin alınması ve analize hazırlanması

Araştırma alanında yirmi farklı noktada 0-20 cm derinlikten bozulmuş toprak örnekleri alınmıştır (Çizelge 3.1 ve Şekil 3.2). Arazi çalışmasından sonra laboratuvara getirilen toprak örnekleri oda sıcaklığında havada kurutulup 2 mm'lik elekten elenmiş ve analizler yapılmak üzere plastik kutularda muhafaza edilmiştir.

Çizelge 3.1. Toprak örneklerinin alındığı koordinatlar

Örnek no	Enlem	Boylam
1	39° 58' 14.84" K	41° 03' 37.41" D
2	39° 58' 14.75" K	41° 03' 33.40" D
3	39° 58' 16.02" K	41° 03' 21.71" D
4	39° 58' 16.12" K	41° 03' 15.38" D
5	39° 58' 16.40" K	41° 03' 10.45" D
6	39° 58' 17.72" K	41° 03' 05.40" D
7	39° 58' 17.72" K	41° 03' 05.40" D
8	39° 58' 18.20" K	41° 02' 54.05" D
9	39° 58' 29.75" K	41° 02' 03.79" D
10	39° 58' 30.37" K	41° 01' 59.88" D
11	39° 58' 31.52" K	41° 01' 57.36" D
12	39° 59' 01.27" K	40° 59' 43.14" D
13	39° 59' 01.27" K	40° 59' 43.14" D
14	39° 59' 01.30" K	40° 59' 36.74" D
15	39° 59' 01.30" K	40° 59' 36.74" D
16	39° 58' 59.76" K	40° 59' 08.32" D
17	39° 58' 59.59" K	40° 58' 51.58" D
18	39° 58' 59.59" K	40° 58' 51.58" D
19	39° 59' 07.22" K	40° 58' 18.36" D
20	39° 59' 07.22" K	40° 58' 18.36" D

**Şekil 3.2.** Toprak örneklemesinin yapıldığı noktalar

3.2. Yöntemler

Analize hazırlanan toprak örneklerinde yapılan toprak testleri ve istatistiksel değerlendirmelerde aşağıda belirtilen analiz yöntemleri uygulanmıştır.

3.2.1. Tane büyüklük dağılımı

Toprakların tane büyüklük dağılımı, Bouyoucos hidrometre yöntemi ile tayin edilmiştir (Demiralay 1993).

3.2.2. Toprak reaksiyonu ve elektriksel iletkenlik

Toprak örneklerinin toprak reaksiyonu ve elektriksel iletkenliği 1:1 oranında hazırlanan toprak:su süspansiyonunda bir pH metre ve elektriksel kondaktivite ölçüm aletiyle (Bayraklı 1987) belirlenmiştir.

3.2.3. Kireç

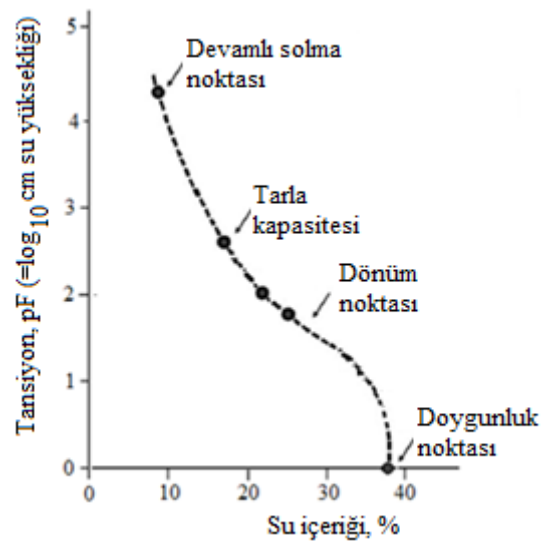
Kireç içerikleri Scheibler kalsimetresiyle CaCO_3 'ın hidroklorik asitle nötralizasyonundan açığa çıkan CO_2 gazının hacminin ölçülmesiyle belirlenmiştir (Hızalan ve Ünal 1966).

3.2.4. Organik madde

Toprak organik madde içeriği, Smith-Weldon yöntemiyle belirlenmiştir (Aydın ve Sezen 1995).

3.2.5. Nem tansiyon eğrisi

Toprak örnekleri 1 bar lık seramik tabla üzerinde pirinç silindirler (5cm x 5cm) içerisine yerleştirilmiş ve kapillar ıslanma ile tabla ve örnekler doygun duruma getirilmiştir. Silindir içerisindeki örneklerin doygun durumda ağırlığı belirlendikten sonra, seramik tabla silindirlerle birlikte basınç ekstraktörüne alınmıştır. Ekstraktör içerisine uygulanan 5, 10 ve 33 kPa (tarla kapasitesi) hava basınçlarında örnekler üzerinde hidrolik denge durumu sağlandığında, örneklerin nemli ağırlıkları, fırında kurutma (105°C) işleminden sonra örneklerin kuru ağırlığı belirlenmiş ve nem içerikleri hesaplanmıştır. Devamlı solma noktası (1500 kPa) basınçlı membran aleti kullanılarak, aletin tablası üzerinde yerleştirilen selüloz membran ve üzerindeki lastik halkalar (1cm x 4cm) içerisine toprak örnekleri istiflenmiş, örnekler doygun duruma getirildikten sonra basınç kabine alınıp üzerine 1500 kPa basınçlı hava uygulanmış, örneklerin hidrolik denge durumuna gelmeleri sağlandıktan sonra bir önceki işlemde olduğu gibi nem içerikleri tayin edilmiştir. (Demiralay 1993). Toplanan veriler bir grafik kağıdına, nem içeriği (%) yatay eksen ve tansiyon (pF) değerleri dikey eksende işlenerek nem tansiyon eğrileri hazırlanmıştır. Nem tansiyon eğrisi ve karakteristik noktalar Şekil 3.3’de verilen örnek bir grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Nem tansiyon eğrisi ve karakteristik noktalar

3.2.6. Likit limit, plastik limit ve büzülme limiti

Toprakların likit limit (LL) değerleri Casagrande ve Cone penetrometre yöntemleri ile tespit edilmiştir. Araştırma sonuçlarının değerlendirilmesinde Cone penetrometre yöntemi değerleri kullanılmış, yöntemde hazırlanan grafik üzerinde batma eğrisinden yararlanılarak 20 mm batma derinliğine karşılık gelen değer örneğin likit limit değeri olarak alınmıştır.

Plastik limit (PL) değeri, toprak örneklerinden hazırlanan toprak macununun düz bir yüzey üzerinde yaklaşık 3 mm çapında çubuk oluşturabilme yeteneğini kaybederek çatlamaların meydana geldiği andaki nem içeriklerinin ağırlık esasından belirlenmesi ile saptanmıştır

Toprakların büzülme limiti değerleri, havada kurutulmuş, ezilmiş 0,42mm'lik elekten geçirilmiş toprak örnekleri üzerinde cıva yöntemi ile belirlenmiştir (Head 1984).

3.2.7. Plastiklik, büzülme ve kıvam indeksleri

Toprağın fiziksel ve mekaniksel özellikleri ile ilgili indeksler, su içeriğine bağlı olarak toprağın davranışını açıklar. Plastiklik indeksi (PI), likit limit ile plastik limit arasındaki farktan; büzülme indeksi (BI), PL ile BL arasındaki farktan ve kıvam indeksi (CI), likit limit ile toprak nem içeriği (W) arasındaki farkın plastiklik indeksine oranlanmasıyla aşağıdaki eşitlikten bulunmuştur (Baumgarti 2002).

$$CI = (LL - W) (LL - PL)^{-1}$$

3.2.8. Toprak strüktürünün plastik deformasyonu

Toprak örneklerine ait kil agregatlarının suda dağılma ve mekaniksel kuvvetlere karşı direncini belirlemede sırasıyla LL/pF 2 ve PL/pF 2 eşitlikleri kullanılarak plastik

deformasyon değerlendirilmiştir (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2. Plastik deformasyonun değerlendirilmesinde oran değerleri

Oran	Oran	Plastik deformasyon
LL/pF 2	>1	Az
	<1	Fazla
PL/pF 2	>1	Az
	<1	Fazla

3.2.9. Toprak işlemede varsayımsal su içerikleri

Toprak işlemede uygun varsayımsal su içeriğini belirlemek için literatürden seçilen altı farklı model kullanılarak toprağın gravimetrik su içeriği hesaplanmıştır. Bu modellere ait eşitlikler aşağıda verilmiştir.

$W_1 = 0,9 \text{ PL}$ (Dexter and Bird 2001).

$W_2 = 0,77 \text{ PL}$ (Bhushau and Ghildyal 1972)

$W_3 = \text{PL} - 0,15 (\text{LL} - \text{PL})$ (Kretschmer 1996).

$W_4 = W_{\text{dnm.}}$ (Dexter and Bird 2001).

$W_{\text{dnm.}} = (W_{\text{sat}} - W_{\text{res}}) (1 + m^{-1})^{-m} + W_{\text{res}}$

$W_{\text{res}} = 0,015 + 0,005 * \text{Kil} + 0,014 * \text{Organik karbon}$

$m = 1 - (1/n)$

Burada, $W_{\text{dnm.}}$, nem tansiyon eğrisinin dönüm noktasına karşılık gelen nem içeriği (%);

W_{sat} : doymun durumda su içeriği (%); W_{res} : kalıntı su içeriği, %; m : van Genuchten eşitliğine ait parametre.

$W_5 = 0,6$ (5kPa'da su içeriği) (Petelkau 1984)

$W_6 = W_{\text{Proct}}$ (Wagner *et al.* 1992).

$W_{\text{Proct.}} = 7,5 + 0,271 * \text{Kil} + 0,096 * \text{Silt} + 0,749 * \text{Organik madde}$

Bu eşitliklerde, W_1 , plastik limitteki su içeriğinin %90 nını; W_2 , plastik limitteki su içeriğinin %77'sini; W_3 , yarı katı kıvam aralığındaki su içeriğini; W_4 , su tansiyon

eğrisinin dönüm noktasındaki su içeriğini; W5, 5 kPa'daki su içeriğinin %60'nı; W6, maksimum Proctor yoğunluğundaki su içeriğini ifade etmektedir.

3.2.10. İstatistiksel değerlendirmeler

Toprak örneklerinin bağımlı bağımsız değişkenler arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesinde, Statistica 6 paket programı kullanılarak korelasyon ve regresyon analizleri uygulanmıştır (Dowdy and Weardin 1983).



4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Toprakların Pedolojik Özellikleri

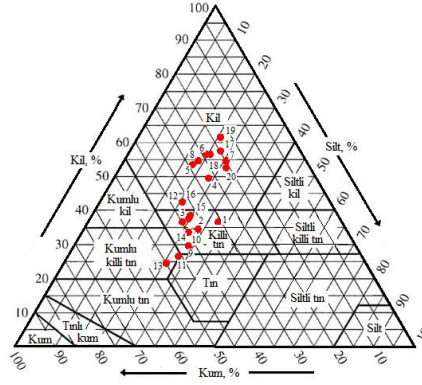
Araştırma konusu toprak örneklerinin karakteristik pedolojik özellikleri tekstürlerine göre Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Araştırmada kullanılan toprak örneklerinin bazı pedolojik özellikleri

Toprak no	Kil, %	Silt, %	Kum, %	Tekstür sınıfı	Organik madde, %	pH	Kireç, %
4	49	23	28	C	2,0	7,81	1,1
5	53	16	30	C	1,5	7,28	1,0
6	56	19	25	C	1,3	7,81	0,3
7	54	25	21	C	1,7	7,92	1,0
8	54	18	28	C	1,1	7,25	0,5
12	43	19	38	C	1,8	7,88	1,8
16	42	20	38	C	4,8	7,80	3,2
17	57	22	21	C	1,6	8,02	6,5
18	56	20	24	C	4,3	7,44	1,0
19	61	20	19	C	1,2	7,85	1,0
20	52	25	23	C	1,9	8,04	18,5
<i>Ort.</i>	<i>53</i>	<i>21</i>	<i>27</i>		<i>2,1</i>	<i>7,73</i>	<i>3,3</i>
1	36	32	32	CL	3,4	7,97	46,6
2	34	29	37	CL	5,0	7,98	31,8
3	38	24	38	CL	2,2	7,95	31,5
9	29	28	43	CL	2,1	7,13	1,1
10	33	26	41	CL	1,9	7,49	0,5
14	36	23	41	CL	2,4	7,90	3,0
15	37	24	39	CL	1,6	7,48	0,5
<i>Ort.</i>	<i>35</i>	<i>27</i>	<i>39</i>		<i>2,7</i>	<i>7,70</i>	<i>16,4</i>
11	26	27	47	SCL	2,1	7,31	0,5
13	24	25	51	SCL	2,0	7,44	1,1
<i>Ort.</i>	<i>25</i>	<i>26</i>	<i>49</i>		<i>2,1</i>	<i>7,37</i>	<i>0,8</i>

Çizelge 4.1’den görüleceği gibi, araştırma konusu toprakların, kil içeriği %24 - %61; kum içeriği %19-%51 arasında olup toprak örneklerinden 11’i kil (C), 7’si killi tın (CL)

ve 2'si kumlu killi tın (SCL) tekstür sınıfında yer almıştır (Şekil 4.1). Kil, killi tın ve kumlu killi tın tekstüründeki toprakların ortalama kil içerikleri sırasıyla %53, %35 ve %25 olup, kum içerikleri de %27, %39 ve %49'dur. Örneklerin organik madde içeriği %1,1-%5 arasında olup, en düşük değer 8 nolu toprakta ve en yüksek değer de 2 nolu toprakta bulunmuştur. Tekstürlerine göre toprakların ortalama organik madde içerikleri kil ve kumlu killi tın topraklarda %2,1 ve killi tın tekstüründeki topraklarda 2,7'dir. Örneklerin reaksiyonu (pH) 7,13- 8,04 ve kireç içeriği de %0,3-%46,6 arasındadır. Toprak örnekleri organik madde içeriği bakımından orta, reaksiyonları bakımından hafif alkalidir.



Şekil 4.1. Araştırma konusu toprak örneklerinin tekstür üçgeni üzerindeki konumları

4.2. Toprak Nem Karakteristikleri

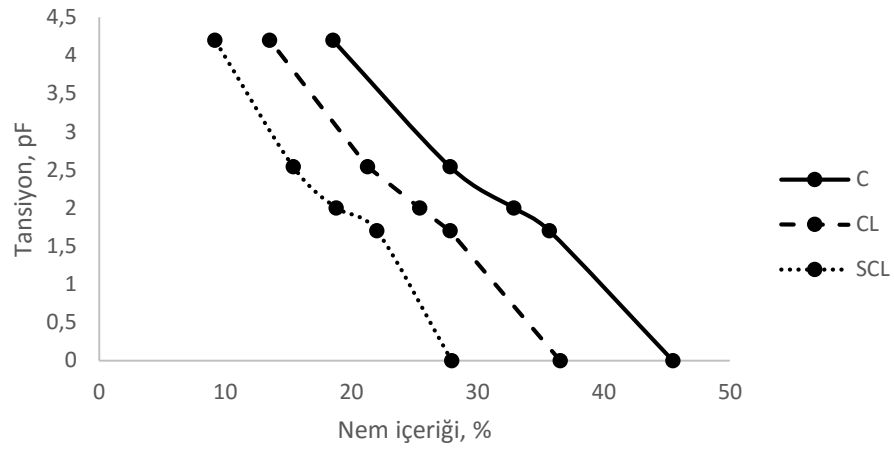
Araştırma konusu toprakların farklı tansiyonlarda sahip olduğu nem içerikleri Çizelge 4.2'de verilmiştir. Çizelge 4.2'den görüleceği gibi, toprak örneklerinden kil içeriği % 24 ve organik madde içeriği %2 olan 13 nolu örnek en düşük ve kil içeriği % 56 ve organik madde içeriği %4,3 olan 18 nolu örnek en yüksek nem karakteristik değerlerini vermiştir.

Kil, killi tın ve kumlu killi tın tekstür sınıfındaki örnekler, farklı tansiyonlarda ortalama nem içerikleri bakımından kil> killi tın>kumlu killi tın olarak belirlenmiş ve bu tekstür

sınıflarına ait nem tansiyon eğrileri de grafik üzerinde söz konusu sıralamaya benzer bir durum ortaya koymuşlardır (Çizelge 4.2, Şekil 4.2).

Çizelge 4.2. Araştırma konusu toprakların farklı tansiyonlardaki nem içerikleri

Tekstür sınıfı	Toprak no	Tansiyon, kPa				
		0	5	10	33	1500
C	4	44,0	34,2	31,1	26,3	16,9
	5	42,2	32,0	29,4	24,8	16,8
	6	46,2	34,2	32,9	27,7	18,5
	7	47,3	37,9	34,7	29,8	19,6
	8	41,8	32,2	29,4	25,1	17,0
	12	36,7	27,5	24,6	20,8	13,8
	16	45,2	35,5	32,5	27,4	17,5
	17	48,1	38,6	35,5	30,1	20,1
	18	51,1	42,6	40,0	33,6	22,9
	19	49,2	40,0	36,5	30,8	20,9
	20	48,3	37,9	34,9	29,7	19,8
Ort.		45,5	35,7	32,9	27,8	18,5
CL	1	41,6	32,5	29,9	25,0	15,5
	2	44,4	33,7	31,3	26,3	17,1
	3	35,3	26,3	24,3	20,7	12,8
	9	30,8	24,0	21,9	17,8	10,8
	10	33,0	25,1	22,6	18,9	11,9
	14	35,3	27,0	24,6	20,5	13,6
	15	35,4	25,9	23,1	19,9	12,8
Ort.		36,5	27,8	25,4	21,3	13,5
SCL	11	29,1	23,4	19,5	16,4	9,8
	13	26,8	20,7	18,1	14,4	8,5
Ort.		27,9	22,0	18,8	15,4	9,2



Şekil 4.2. Toprak örneklerinin tekstür sınıflarına göre nem tansiyon eğrileri

Çizelge 4.3. Araştırma toprakları için van Genuchten eşitliğine ait parametreler ve nem tansiyon eğrisinin büküm noktası nem içeriği

Tekstür sınıfı	Toprak	W _{Sat.} , %	W _{Res.} , %	m	n	W _{dnm.} , %
C	4	44	0,276	0,074	1,08	36,2
	5	42,2	0,294	0,074	1,079	34,7
	6	46,2	0,308	0,073	1,079	38
	7	47,3	0,298	0,073	1,079	38,9
	8	41,8	0,292	0,074	1,079	34,4
	12	36,7	0,242	0,075	1,081	30,1
	16	45,2	0,266	0,075	1,081	37,1
	17	48,1	0,312	0,073	1,079	39,6
	18	51,1	0,332	0,073	1,079	42
	19	49,2	0,331	0,073	1,079	40,5
	20	48,3	0,291	0,074	1,08	39,7
Ort.		45,5	0,293	0,0737	1,079	37,4
CL	1	41,6	0,220	0,076	1,082	34,1
	2	44,4	0,224	0,087	1,095	35,7
	3	35,3	0,222	0,076	1,082	29
	9	30,8	0,175	0,078	1,084	25,2
	10	33	0,196	0,077	1,083	27
	14	35,3	0,212	0,076	1,082	28,9
	15	35,4	0,215	0,076	1,082	29
Ort.		36,5	0,209	0,078	1,084	29,8
SCL	11	29,1	0,163	0,079	1,085	23,7
	13	26,8	0,151	0,08	1,086	21,8
Ort.		28	0,157	0,079	1,085	22,8

Nem tansiyon eğrilerinin doygunluk noktası nem içeriği ($W_{sat.}$), kalıntı su içeriği ($W_{Res.}$), m ve n parametreleri yardımıyla nem tansiyon eğrisinin büküm noktası nem içeriği değerleri hesaplanmıştır. Kil, killi tın ve kumlu killi tın tekstür sınıflarında büküm noktasına karşılık gelen nem içeriklerinin sırasıyla %37,4; %29,8 ve %22,8 olduğu tespit edilmiştir.

4.3. Toprakların Kıvam Limitleri ve Plastiklik Durumları

4.3.1. Toprakların kıvam limitleri

Araştırma konusu toprakların mekaniksel özelliklerinden likit limit, plastik limit, büzülme limiti ile plastiklik ve büzülme indeksi değerleri Çizelge 4.4’de verilmiştir. Çizelge 4.4’den görüleceği gibi, toprak örneklerinin plastik limit değerleri %19,1-%39,9 (ortalama, %29,5) ve likit limit değerleri %29,4-%73,5 (ortalama, %52,4) arasında olup, en yüksek plastik limit 7 nolu ve LL 18 nolu örneklerde, en düşük plastik limit ve likit limit 13 nolu toprak örneğinde tespit edilmiştir. Plastiklik indeksi değerleri de %10,3-%35,9 (ortalama, %22,9) arasında olup, en yüksek Pİ değeri 7 nolu toprak örneğinde en düşük Pİ değeri ise 13 nolu toprak örneğinde bulunmuştur.

Toprak örneklerinin büzülme limiti %9,4 ile %18 (ortalama 12,8) arasında olup, büzülme indeksi %1,6 ile %30 (ortalama %16,7) arasında değişmiştir. En yüksek büzülme indeksi 7 nolu toprak örneğinde, en düşük büzülme indeksi ise 13 nolu toprak örneğinde belirlenmiştir.

Kil, killi tın ve kumlu killi tın tekstüründeki toprakların ortalama plastik limit değerleri sırasıyla %34, %25,2 ve %19,5; ortalama likit limit değerleri sırasıyla %61,2, %44,4 ve %31,6; ortalama plastiklik indeksi değerleri de sırasıyla %27,3, %19,1 ve 12,1’dir.

Her üç tekstür sınıfında yer alan toprakların ortalama büzülme limiti değerleri kil tekstür sınıfındaki topraklarda %10,9, killi tın topraklarda %14,7 ve kumlu killi tın topraklarda %16,6 olup, ortalama büzülme indeksi değerleri de %23,1, %10,6 ve %2,9 olarak tespit

edilmiştir (Çizelge 4.4). Tekstürün kabalaşmasına bağlı olarak plastik ve likit limit ile plastiklik indeksi değerlerinde bir azalma ortaya çıkmıştır. Ancak bu durum büzülme limiti ve büzülme indeksinde artan yönde olmuştur.

Toprak tekstürü içerisinde ince fraksiyonların kaba fraksiyonlara göre artması ortamda daha fazla suyun adsorbe edilmesine neden olarak kıvam limitlerinden plastik ve likit limit değerlerinin de artmasını sağlamıştır. Bu artış kil tekstürlü topraklarda likit limit açısından daha belirgin olmuştur.

LL ile PL arasındaki fark olarak tanımlanan plastiklik indeksi, toprağın plastiklik gösterdiği nem aralığının bir ölçüsü olup, kil tekstür sınıfındaki topraklarda kumlu killi tın topraklara göre daha yüksek değerler vermiştir. Buna göre killi toprakların toprak işleme esnasında balçıklaşma tehlikesinin diğer topraklara göre daha fazla olduğu ve bu nedenle uygun nem düzeylerinde işlenmelerinin toprak strüktürel özelliklerinin korunması bakımından önemli olduğu ifade edilebilir.

Büzülme limitinde ise ince tekstürlü topraklar kaba tekstürlü topraklara göre daha fazla hacim azalması gösterdiklerinden dolayı toprak tekstürünün kabalaşması büzülme limiti değerinin artmasına neden olmuştur.

Plastik limit ve büzülme limitleri arasındaki farkla ifade edilen büzülme indeksinde de toprak tekstürünün kabalaşması hem plastik limit değerinde bir azalmaya yol açmış hemde büzülme limitinde bir artışa neden olmuş bu durumda kaba tekstürlü topraklarda ince tekstürlü topraklara göre daha düşük değerlerin ortaya çıkmasını sağlamıştır.

Çizelge 4.4. Toprak örneklerinin bazı mekaniksel özellikleri

Tekstür sınıfı	Toprak no	Plastik limit, %	Likit limit, %	Plastiklik indeksi, %	Büzülme limiti, %	Büzülme indeksi, %
C	4	34,5	58,0	23,5	12,0	22,5
	5	37,4	55,0	17,6	9,4	28,0
	6	29,9	61,0	31,1	9,9	20,0
	7	39,9	62,3	22,4	9,9	30,0
	8	29,3	59,2	29,9	10,2	19,2
	12	25,7	49,1	23,4	13,2	12,5
	16	32,1	62,9	30,8	11,8	20,3
	17	37,3	64,1	26,8	9,4	27,8
	18	37,6	73,5	35,9	12,9	24,7
	19	37,2	69,8	32,6	9,8	27,4
	20	33,0	58,9	25,9	11,3	21,8
Ort.		34	61,2	27,3	10,9	23,1
CL	1	31,1	45,4	14,4	15,6	15,5
	2	32,2	55,5	23,2	18,0	14,3
	3	24,4	38,6	14,2	15,1	9,2
	9	19,2	37,8	18,6	15,6	3,6
	10	20,6	41,5	20,9	12,6	8,0
	14	26,4	49,0	22,6	13,5	12,9
	15	22,9	42,9	20,0	12,3	10,6
Ort.		25,2	44,4	19,1	14,7	10,6
SCL	11	20,0	33,8	13,9	15,8	4,2
	13	19,1	29,4	10,3	17,5	1,6
Ort.		19,5	31,6	12,1	16,6	2,9

Plastik limit toprağın plastiklik gösterdiği minimum nem içeriği olduğundan toprağın işleme ile çamurlaşma tehlikesinde olduğu minimum nem içeriği olarak değerlendirilmektedir. Buradan plastik limitin toprağın işlemeye en uygun olduğu nem aralığının üst sınırı olarak kabul edilebileceği ortaya çıkmaktadır.

Arvidsson *et al.* (2004), plastik limit değerine yakınında bir su içeriğinde yapılan toprak işlemenin, küçük agregaların en büyük kısmının oluşabildiğini vurgulamışlardır. Diğer bir araştırmada, plastik limit tekabül eden toprak nem içeriği, işlenebilirlik eşiği olarak kullanılmıştır (Thomasson 1982). Bu limit, toprağın strüktürüne zarar vermeden çalışılabilecek bir nem içeriği olarak dikkate alınmıştır (Tisdall and Adem 1986).

Plastiklik indeksi ise, toprağın işlenme tavında yakalanmasının niteliğini belirlemede kullanılan bir ölçüt olup, plastiklik indeksi dar olan özellikle kaba tekstürlü topraklarda toprağın çamurlaşmasına sebep olmaksızın toprak işleme mümkündür (Demiralay ve Güresinli 1979). Diğer bir ifade ile toprağın işlenme tavında yakalanma güçlüğü yoktur. Killi topraklarda olduğu gibi plastiklik indeksi büyükse toprağın işlenmeye uygun nem koşulunda yakalanabilmesi güçtür. Toprağın henüz ıslakken veya uygun nem koşulu kaçırılmış olarak işlenme ihtimali yüksektir. Birinci durumda toprak işleme, toprağın çamurlaşmasına, İkinci durumda ise kesek ve toz oluşumuna sebep olur Her iki durumda toprak strüktürünü olumsuz yönde etkiler. Killi toprakların bu özelliğinden dolayı işlenmeye uygun zaman diliminin oldukça sınırlıdır (Demiralay ve Güresinli 1979; Mueller *et al.* 2003).

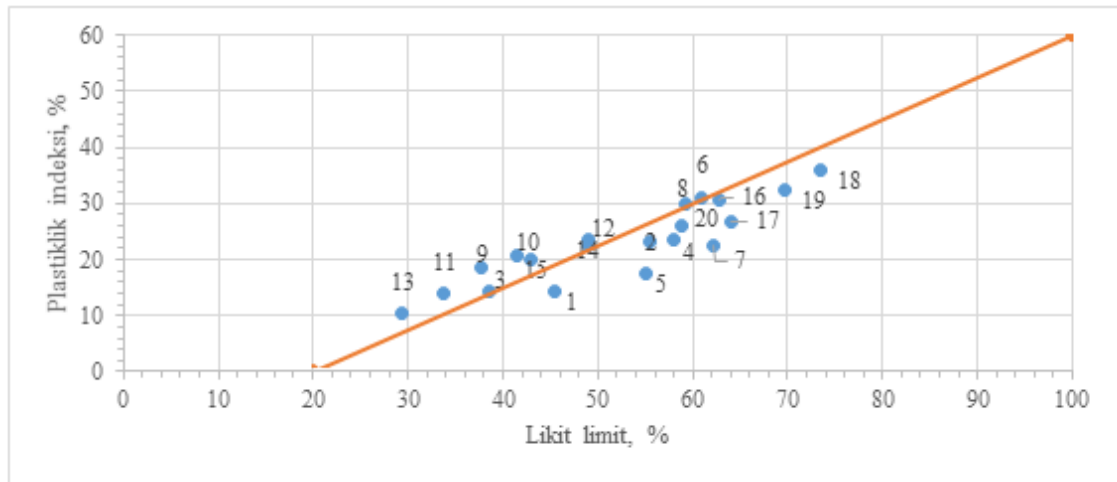
Toprak işleme için ihtiyaç duyulan su içeriği aralığı konusunda yapılan çalışmalara göre, kil içeriği yüksek topraklar için bu aralığın genellikle dar olduğu ve kil içeriği daha düşük olan topraklar için daha geniş olduğu vurgulanmıştır (Hoogmoed 1985). Toprak bozulmasını engellemek ve kalitesinin sürdürülebilirliğini sağlamak amacıyla uygun su içeriğinde toprak işlemeyi gerçekleştirmek önemlidir. Toprak bozulması da hem işleme aralığını hem de işleme uygunluğunu azaltır. Bu nedenle, işleme için uygun su içeriğini ortaya koymak ve toprak işleme için su içeriği aralığını tahmin etmek toprak kalitesinin sürdürülebilirliği yönünden önemlidir. Yakın zamanda yapılan toprak işleme çalışmaları, plastik limite yakın bir su içeriğindeki toprak işleminin, toprak parçalanması için en düşük enerji kullanımını sağladığını göstermiştir (Arvidsson *et al.* 2004).

4.3.2. Toprakların plastiklik durumları

Toprak örneklerinin plastiklik durumları, Şekil 4.3 verilen plastiklik kartı üzerinde belirlenmiştir. Toprağın plastiklik durumunun belirlenmesinde ve sınıflandırılmasında yararlanılan plastiklik kartı, likit limitin yatay ekseninde ve plastiklik indeksinin düşey ekseninde yer aldığı bir grafiktir. Bu grafikte A doğrusu ($PI=0,73(LL-20)$), grafik alanını ikiye böler. Üst kısım inorganik kil ve alt kısım ise silt bölgesidir. Likit limitin %30 ve

%50 değerlerinden çizilen dik doğrularda grafik alanını üç bölgeye ayırır. Buna göre, grafik alanında soldan sağa olmak üzere A doğrusunun üzerinde düşük, orta ve yüksek plastiklikte kil ve altında ise az sıkışabilir silt, orta derecede sıkışabilir silt veya organik silt ve yüksek derecede sıkışabilir silt veya organik kil olmak üzere toplam 6 bölge bulunur. Bir toprağın plastiklik özelliğinin düşük veya yüksek olması sahip olduğu killerin plastisite özelliğinin bir ölçüsü olmaktadır. Killi toprakların sınıflandırılması ve plastiklik durumlarının değerlendirilmesinde, mekanik analiz sonuçları, tek başına yeterli bir ölçüt olmayıp, böyle topraklar için likit limit ve plastiklik indeksi ilave bilgi olarak değerlendirilmektedir (Mithchell 1976; Demirbaş 1978).

Bu karttan yararlanılarak likit limit değerlerine göre yapılan plastiklik derecesi sınıflamasına göre, düşük plastik özellik gösteren bölgede 13 nolu örnek, orta plastik bölgede 3, 9, 10, 11, 12, 14 ve 15 nolu örnekler, yüksek plastik bölgede 6 ve 8, orta derecede sıkışabilir silt bölgesinde 1 ve yüksek derecede sıkışabilir silt veya organik kil bölgesinde 2, 4, 5, 7, 16, 17, 18, 19 ve 20 nolu örnekler yer almıştır.



Şekil 4.3. Toprak örneklerinin plastiklik kartı üzerinde dağılımı

Bu duruma göre, düşük plastik bölgede yer alan topraklar hariç diğer örneklere ait toprakların, toprak strüktürüne zarar verilmeksizin toprak tav neminde veya plastik limitteki nem içeriği civarında işlenmesi uygundur (Demiralay ve Güresinli 1979).

Farklı araştırmacılar tarafından ifade edildiği gibi, kil, toprakların plastikliğine en büyük katkıyı yapan bir fraksiyon olup, kil minerali tipine göre bu etkinin derecesi değişebilmektedir (Mitchell 1976; De Jong *et al.* 1990; Mbagwu and Abbeh 1998).

4.4. Toprakların Pedolojik Özellikleri İle Mekaniksel Özellikleri Arasındaki İlişkiler

Araştırmada toprak örneklerinin pedolojik özellikleri ile mekaniksel özellikleri arasındaki ilişkiler basit ve çoklu regresyon analizleri ile değerlendirilmiştir. Pedolojik özelliklerden kil, silt, kum ve organik madde bağımsız değişken, mekaniksel özelliklerden plastik limit, likit limit, büzülme limiti, plastiklik indeksi ve büzülme indeksi bağımlı değişken olarak seçilmiştir (Çizelge 4.5).

Basit regresyon modellerinde, toprak örneklerinin kil içeriği ile likit limit, plastik limit ve plastiklik ve büzülme indeksi arasında önemli pozitif ve büzülme limiti ile önemli negatif ilişkiler bulunmuştur. Kum ve silt içeriği ile likit limit, plastik limit, plastiklik ve büzülme indeksi arasında negatif ilişkiler kaydedilmiştir.

Çoklu regresyon modellerinde kil, silt, kum ve organik madde değişkenlerinin birlikte likit limit, plastik limit ve plastiklik indeksi üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Çoklu regresyon modellerinde basit regresyon değerlerine göre daha yüksek katsayılar kaydedilmiştir.

Çizelge 4.5. Araştırmada ölçümlenen pedolojik ve mekaniksel özellikler arasındaki ilişkilere ait regresyon modelleri

Bağımsız değişken	Basit linear regresyon			Çoklu regresyon		
Bağımlı değişken: Plastik limit (PL)						
	a	b	r ²	a	b	R ²
C	7,69	0,501	0,707**		-7,38**	
Si	43,86	-0,618	0,135 ^{ns}	785,46	-7,43**	R ² =0,920
S	50,77	-0,641	0,769**		-8,04**	
OM	27,71	0,775	0,017 ^{ns}		2,05**	
Bağımlı değişken: Likit limit (LL)						
C	10,75	0,957	0,799**		6,25	
Si	88,92	-1,571	0,270*	-519,29	5,07	R ² =0,960
S	90,34	-1,143	0,760**		5,19	
OM	48,75	1,584	0,022 ^{ns}		4,25*	
Bağımlı değişken: Büzülme limiti (BL)						
C	21,61	-0,203	0,736**		0,539	
Si	1,96	0,466	0,487**	-52,94	0,788	R ² =0,836
S	5,52	0,219	0,572**		0,691	
OM	10,12	1,162	0,244*		0,620*	
Bağımlı değişken: Plastiklik indeksi (PI)						
C	3,08	0,456	0,567**		13,61**	
Si	45,01	-0,951	0,310*	-1303,7	12,50**	R ² =0,853
S	39,56	-0,502	0,458**		13,22**	
OM	21,06	0,802	0,018 ^{ns}		2,19**	
Bağımlı değişken: Büzülme indeksi (Bİ)						
C	-13,92	0,704	0,848**		-7,91**	
Si	41,89	-1,083	0,252*	838,91	-8,23**	R ² =0,934
S	45,26	-0,860	0,843**		-8,74**	
OM	17,57	-0,379	0,003 ^{ns}		1,44*	

Araştırmanın sonuçlarına benzer olarak, Canbolat ve Öztaş (1997) kil içeriği, organik madde miktarı, kireç içeriği, katyon değişim kapasitesi ile likit limit ve plastik limit arasında önemli pozitif ve kum içeriği ile önemli negatif ilişkiler tespit etmişlerdir. Farklı bir araştırmada, toprak örneklerinin kıvam limitleri, şişme ve büzülme karakteristikleri ile pedolojik özelliklerden, kum, silt ve kireç içeriği arasında negatif, kil içeriği ve katyon değişim kapasitesi arasında da pozitif ilişkiler olduğu saptanmıştır (Canbolat vd 1999). Sönmez ve Öztaş (1988), toprakların kil içeriği ve katyon değişim kapasitesi ile likit limit, plastik limit, doğrusal uzama katsayısı, yüzde büzülme, büzülme oranı, hacimsel büzülme ve doğrusal büzülme, değerleri arasında önemli

pozitif, büzülme sınırı değerleri ile önemli negatif ilişkiler saptamışlardır. Yakupoğlu ve  zdemir (2006) toprağa organik materyal ilavesinin toprakların likit limit (LL) ve plastik limit (PL) değerlerini önemli ölçüde artırdığı, söz konusu etkinin, uygulama dozu ve organik materyalin çeşidine bağlı olarak değiştiğini belirlemişlerdir.

4.5. Kıvam Limitlerinin Toprak Strüktürünün Plastik Deformasyonu  zerine Etkisi

Toprak örneklerine ait plastik limitin pF 2 nem yüzdesine oran değerleri ile likit limitin pF 2 nem yüzdesine oran değerleri  izelge 4.6'de verilmiştir. Kil agregatlarının mekaniksel kuvvetlere karşı direncini belirlemede plastik limitin pF 2 nem yüzdesine oran değerleri araştırma konusu toprak örneklerinde 0,9-1,3 arasında bulunmuştur. Kil agregatlarının suda dağılma ihtimalini açıklayan likit limitin pF 2 nem yüzdesine oran değeri ise 1,5-2 arasında olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.6. Plastik ve likit limitin pF 2 nem yüzdesine oran değerleri

Tekstür sınıfı	T. No	PL/pF2	LL/pF2
C	4	1,11	1,87
	5	1,27	1,87
	6	0,91	1,85
	7	1,15	1,79
	8	1,00	2,01
	12	1,04	2,00
	16	0,99	1,93
	17	1,05	1,81
	18	0,94	1,84
	19	1,02	1,91
	20	0,95	1,69
<i>Ort.</i>		<i>1,04</i>	<i>1,87</i>
CL	1	1,04	1,52
	2	1,03	1,77
	3	1,00	1,59
	9	0,87	1,72
	10	0,91	1,83
	14	1,07	1,99
	15	0,99	1,85
<i>Ort.</i>		<i>0,99</i>	<i>1,75</i>
SCL	11	1,02	1,73
	13	1,06	1,63
<i>Ort.</i>		<i>1,04</i>	<i>1,68</i>

Kil agregatlarının suda dağılma ihtimalini açıklayan likit limitin $pF\ 2$ nem yüzdesine oran değeri 1'den büyük olması durumunda, toprak agregatlarının ıslanma sonrasında dispersiyon yolu ile strüktürün bozulma tehlikesinin olmadığı, ancak oran değerinin 1'den küçük olması durumunda, toprağın ıslanmasının kolaylıkla dispersiyona neden olacağı ifade edilebilir. Kil agregatlarının mekaniksel kuvvetlere karşı direncini belirlemede plastik limitin $pF\ 2$ nem yüzdesine oran değeri 1'den büyük olduğu ölçüde toprak agregatlarının mekaniksel etkiler altında plastik deformasyonu yolu ile strüktürün bozulması için bir tehlike söz konusu olmadığı, bu oranın 1'den küçük olduğu ölçüde toprağın plastik deformasyona uğrama eğiliminin artacağı Boekel (1959) tarafından vurgulanmıştır.

Buna göre araştırma konusu toprak örneklerinin hem su karşısında hemde mekaniksel kuvvetlere karşı direncinin elde edilen sonuçlara göre yüksek olduğu ifade edilebilir.

Kıvam limitlerinin $pF\ 2$ 'deki nem yüzdesine oranı, toprak strüktürünün mekaniksel kuvvetlere ve suyun gevşetici-dispersleştirici etkisine karşı gösterdiği davranışın dolaylı olarak değerlendirilmesinde bir ölçüt olarak kullanılmaktadır (Demiralay, 1993). Toprak işlemede toprağın kesikleşmesine ve çamurlaşmasına yol açan toprağın plastik deformasyonundan kaçınılmalıdır.

Toprak strüktürü sabit olmayıp zamanla büyük ölçüde değişmelere uğramaktadır. Onun için, porozite ve agregat ölçümleri gibi strüktür ölçümleri toprak strüktürünün değerlendirilmesinde yeterli değildir. Özellikle killi topraklarda strüktür bozucu kuvvetlerin tabiatına uygun ilave ölçüm değerlerine ihtiyaç vardır. Kumlu killi topraklarda, toprak strüktürünün bozulmasında en önemli faktörün suyun dispers etme etkisi olduğu halde, ağır killi topraklarda genellikle strüktürdeki bozulmanın esas sebebini mekaniksel etkiler altında toprak agregatlarının plastik deformasyona uğraması meydana getirmektedir. Plastik deformasyon veya toprağın çamurlaşması, toprağın ıslakken işlenmesi veya diğer tarım trafiğine maruz kalmasının bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Buradan killi toprakların strüktürünün değerlendirilmesinde, kıvam limitlerinin kullanılması söz konusu olmaktadır. Kıvam limitleri, toprak strüktür

stabilitesi ile ilişkilendirilebilen önemli parametrelerinden olup (Marinissen 1994), toprağın mukavemet durumunu ifade etmede değerlendirilirler. (Kretschmer, 1996). Toprakta yoğun tarımsal aktiviteleri dikkate alındığında toprağın kil minerallerinin düzeyi büyük oranda strüktürel davranışları etkiler. Neaman and Singer (2000), toprakların kil mineral içeriğinin yüksek olduğu yoğun kültivasyon altındaki topraklarda reolojik özelliklerin daha az etkilendiğini vurgulamışlardır.

4.6. Uygun Toprak İşlenebilirliği İçin Maksimum Su İçeriği

4.6.1. Uygun işlenebilirlik için maksimum su içeriğinin tahmininde kullanılan metotlar

Araştırma konusu toprak örneklerinin uygun işlenebilirlik için farklı metotlarla hesaplanan maksimum su içeriği değerleri ($W1 = 0,9PL$; $W2 = 0,77PL$; $W3 = PL - 0,15(LL - PL)$; $W4 = W_{dnm.} = (W_{sat} - W_{res}) (1 + m^{-1})^{-m} + W_{res}$; $W5 = 0,6(5 \text{ kPa'da su içeriği})$; $W6 = W_{Proct.} = 7,5 + 0,271Kil + 0,096Silt + 0,749OM$) Çizelge 4.5'de verilmiştir. Çizelge 4.7'den görüleceği gibi araştırma konusu toprak örnekleri için farklı altı metotla belirlenen ortalama maksimum su içeriği değerleri $W1$ 26,5; $W2$ 22,7; $W3$ 26,1; $W4$ 33,3; $W5$ 18,9 ve $W6$ 24,0 olarak bulunmuştur. Söz konusu metotların varyasyon katsayıları da $W1$ ve $W2$ için %23,2 olup diğer metotlar için %24,1; %18,1; %19,8 ve %20,7 olarak tespit edilmiştir.

Araştırma konusu toprak örnekleri için $W1$ 'den $W6$ 'ya kadar uygun işlenebilirlik için hesaplanan ortalama maksimum su içeriği verileri Şekil 4.4'teki grafikte verilmiştir. Grafikte yer alan semboller, aritmetik ortalamayı ve metotlar arasındaki değişkenlikten kaynaklanan güven aralığını göstermektedir. $W1$ ile $W6$ metotlarının güven aralıkları çakışmadığından, tahminler önemli ölçüde birbirlerinden farklı bulunmuştur. $W4$ 'ün su içeriği, diğer metotların su içeriklerinden daha yüksek olmuştur. Metotlardan $W1$, $W2$, $W3$ veya $W6$ maksimum su içeriği bakımından önemli ölçüde farklılık göstermezken, $W5$ ile tahmin edilen uygun işlenebilirlik için maksimum su içeriği metotlar arasında en düşük su içeriğini ortaya koymuştur.

Çizelge 4.7’den görüleceği gibi kil tekstür sınıfında yer alan toprakların farklı metotlara göre belirlenen ortalama maksimum su içeriği değerleri W1 30,6; W2 26,2; W3 29,9; W4 37,4; W5 21,4 ve W6 27,1 olarak bulunmuştur. Bu metotlara ait varyasyon katsayıları en düşük W4 metodunda % 9,1 ve en yüksek W3 metodunda %15, 1 olarak tespit edilmiş, diğer W1, W2, metotlarında %12,9 olup, W5 ve W6’da sırasıyla %12,0 ve %12,7 olmuştur. Killi tın tekstür sınıfında yer alan topraklarda söz konusu metotlar için ortalama maksimum su içeriği değerleri W1 22,7; W2 19,4; W3 22,4; W4 29,8; W5 16,7 ve W6 21,0 olarak tespit edilmiştir. Kil tekstür sınıfında olduğu gibi en yüksek (%22,3) ve en düşük (%12,6) varyasyon katsayısı değerleri W3 ve W4 metotlarında belirlenmiştir. Diğer W1,W2, W5 ve W6’da sırası ile %19,7; %19,6; %13,4 ve %16,9 olarak varyasyon katsayısı değerleri hesaplanmıştır. Kumlu killi tın tekstür sınıfında yer alan topraklar için farklı metotlarla belirlenen maksimum su içeriği değerleri altı farklı metot için sırasıyla 17,6; 15,0; 17,7; 22,8; 13,2 ve 16,8 olarak bulunmuş ilgili metotlara ait varyasyon katsayıları da %3,2; %3,3; %1,6; %5,9; %8,6 ve %4,2 olarak hesaplanmıştır. En düşük varyasyon katsayısı W3 metodu için ve en yüksek varyasyon katsayısı da W5 metodu için bulunmuştur.

Çizelge 4.7. Uygun işlenebilirlik için maksimum su içeriği değerleri

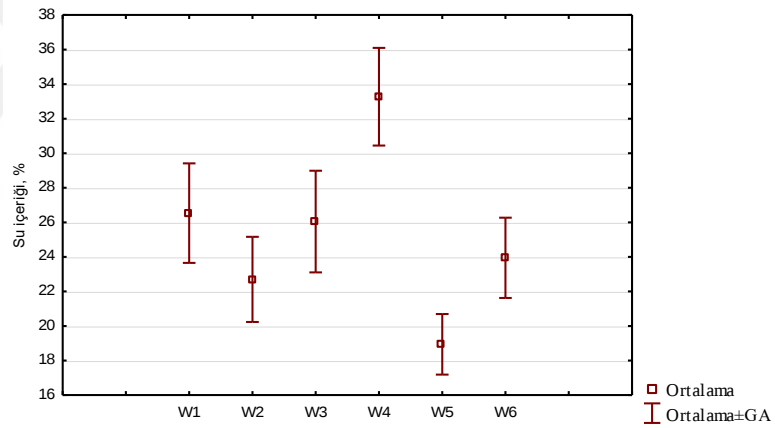
Tekstür sınıfı	T. No	W1	W2	W3	W4	W5	W6
C	4	31,1	26,6	31,0	36,2	20,5	24,5
	5	33,7	28,8	34,8	34,7	19,2	25,5
	6	26,9	23,0	25,3	38,0	20,5	27,3
	7	35,9	30,7	36,5	38,9	22,7	26,7
	8	26,4	22,6	24,8	34,4	19,3	25,3
	12	23,1	19,8	22,1	30,1	16,5	21,0
	16	28,9	24,7	27,5	37,1	21,3	29,3
	17	33,5	28,7	33,2	39,6	23,2	28,0
	18	33,8	29,0	32,2	42,0	25,6	34,4
	19	33,5	28,6	32,3	40,5	24,0	30,1
	20	29,7	25,4	29,2	39,7	22,7	26,1
Ort.		30,6	26,2	29,9	37,4	21,4	27,1
VC, %		12,9	12,9	15,1	9,1	12,0	12,7

Çizelge 4.7. (devam)

	1	28,0	23,9	28,9	34,1	19,5	23,3
	2	29,0	24,8	28,8	35,7	20,2	28,1
	3	21,9	18,8	22,2	29,0	15,8	20,3
CL	9	17,3	14,8	16,4	25,2	14,4	18,0
	10	18,5	15,9	17,5	27,0	15,1	18,6
	14	23,8	20,3	23,0	28,9	16,2	19,8
	15	20,6	17,6	19,9	29,0	15,6	19,2
Ort.		22,7	19,4	22,4	29,8	16,7	21,0
VC, %		19,7	19,6	22,3	12,6	13,4	16,9
SCL	11	18,0	15,4	17,9	21,8	14,0	17,3
	13	17,2	14,7	17,5	23,7	12,4	16,3
Ort.		17,6	15,0	17,7	22,8	13,2	16,8
VC, %		3,2	3,3	1,6	5,9	8,6	4,2

$W1=0.9(PL)$, $W2=0,77(PL)$, $W3=PL - 0,15(LL - PL)$, $W4=W_{dnm.}$, $W5=0,6(5 \text{ kPa'da su içeriği})$

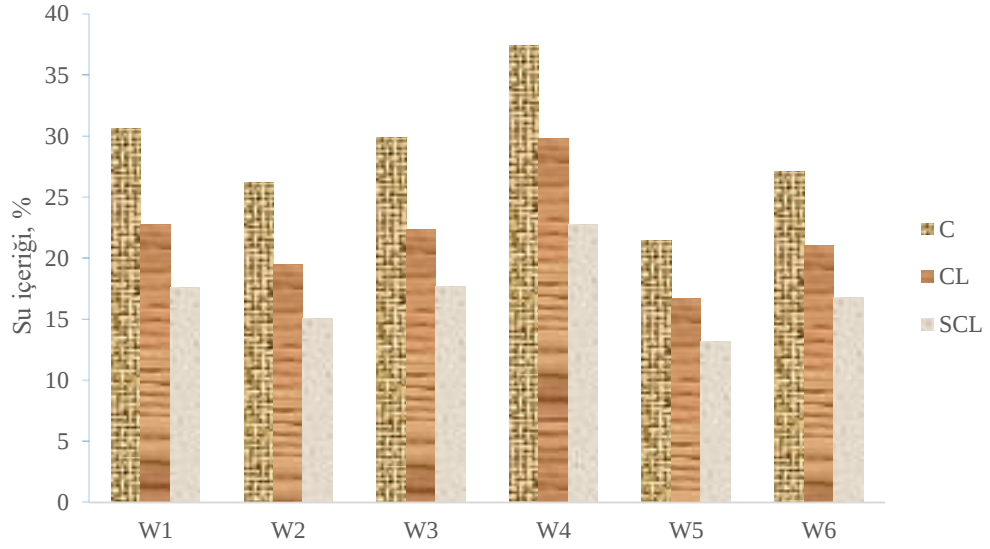
$W6=W_{Proct.}$



Şekil 4.4. Uygun işlenebilirlik için maksimum su içeriğinin topraklar arasındaki ortalama ve %95 güven aralığı

$W1 = 0.9LPL$, $W2=0,77PL$, $W3 = LPL - 0.15(UPL - LPL)$, $W4 = W_{dnm.}$, $W5 = 0,6 (5 \text{ kPa'da su içeriği})$, $W6 = W_{Proct.}$

Veriler, tekstür sınıflarına göre kil, killi tın ve kumlu killi tın olarak gruplandırıldıklarında, bütün metotlar için hesaplanan su içeriği değerleri kil>killi tın > kumlu killi tın tekstür sınıfı sıralamasına göre su içeriğine sahip olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Toprak işlemede farklı yöntemlere göre belirlenen maksimum su içeriği değerlerinin tekstür sınıflarına göre dağılımı

W4 ve diğerleri arasındaki en önemli ayırt edici farklılığın kil içeriğinden kaynaklandığı ifade edilebilir. Kil içeriği, hem gözenek büyüklük dağılımını hem de su tutma kapasitesini etkilediğinden, toprak işleme için maksimum su içeriklerinin bulunmasında, W4 için gözenek büyüklük dağılımı ile birlikte su tutma kapasitesinin yüksekliği etkili olurken, W1, W2, W3 ve W6 için su tutma kapasitesinin etkili olduğu ifade edilebilir.

4.6.2. Maksimum su içeriğinde gelişen tansiyonlar

Toprak tekstür sınıflarına göre kil, killi tın ve kumlu killi tın tekstür sınıflarında farklı yöntemlere göre belirlenen ortalama su içeriği değerleri $W4 > W1 > W3 > W6 > W2 > W5$ olarak sıralanmıştır. Bu sıralamaya göre tansiyon değerleri 1,5 ile 3,6 arasında değişmiştir. Farklı yöntemlerle bulunan su içeriği değerlerine eşdeğer tansiyonların, toprak tekstürleri bakımından yaklaşık olarak eşit oldukları Çizelge 4.8'dan görülmektedir.

Çizelge 4.8. Toprak tekstür sınıflarına göre ortalama su içeriği ve eşdeğeri tansiyonlar

Tekstür sınıfı	Kil, % (ort.)	W1 (=pF)	W2 (=pF)	W3 (=pF)	W4 (=pF)	W5 (=pF)	W6 (=pF)
C	53	30,6 (2,2)	26,2 (2,8)	29,9 (2,3)	37,4 (1,5)	21,4 (3,6)	27,1 (2,6)
CL	35	22,7 (2,3)	19,4 (2,9)	22,4 (2,3)	29,8 (1,5)	16,7 (3,5)	21,0 (2,6)
SCL	25	17,7 (2,2)	15,0 (2,6)	17,6 (2,2)	22,8 (1,6)	13,2 (3,1)	16,8 (2,3)

W1=0,9(PL); W2=0,77(PL); W3=PL – 0,15(LL – PL); W4=W_{dnm.}; W5=0,6(5 kPa’da su içeriği); W6=W_{Proct.}

4.6.3. Maksimum su içeriklerinde kıvam indeksi

Araştırma konusu toprak örneklerinin tekstürlerine göre uygun işlenebilirlik için hesaplanan maksimum su içeriği değerlerine eşdeğer kıvam indeksleri Çizelge 4.9’da verilmiştir. Araştırmada uygun toprak işleme için maksimum su içeriği değerlerinin ortaya konulmasında altı farklı yaklaşım çalışıldığından, bu yaklaşımların ortaya koyduğu maksimum su içeriği değerlerine eşdeğer kıvam indeksleri hesaplanarak bir değerlendirme yapılmıştır.

Çizelge 4.9. Maksimum su içeriğine eşdeğer kıvam indeksleri

Tekstür sınıfı	T. No	CI-1	CI-2	CI-3	CI-4	CI-5	CI-6
C	4	1,15	1,34	1,15	0,93	1,60	1,42
	5	1,21	1,49	1,15	1,15	2,04	1,68
	6	1,10	1,22	1,15	0,74	1,30	1,08
	7	1,18	1,41	1,15	1,04	1,77	1,59
	8	1,10	1,23	1,15	0,83	1,33	1,13
	12	1,11	1,25	1,15	0,81	1,39	1,20
	16	1,10	1,24	1,15	0,84	1,35	1,09
	17	1,14	1,32	1,15	0,91	1,52	1,34
	18	1,10	1,24	1,15	0,88	1,34	1,09
	19	1,11	1,26	1,15	0,90	1,41	1,22
	20	1,13	1,29	1,15	0,74	1,40	1,27
Ort.		1,13	1,29	1,15	0,89	1,49	1,28
CL	1	1,22	1,50	1,15	0,79	1,80	1,54
	2	1,14	1,32	1,15	0,85	1,52	1,18
	3	1,17	1,39	1,15	0,68	1,60	1,29
	9	1,10	1,24	1,15	0,68	1,26	1,07
	10	1,10	1,23	1,15	0,70	1,27	1,10
	14	1,12	1,27	1,15	0,89	1,45	1,29
	15	1,11	1,26	1,15	0,70	1,36	1,19
Ort.		1,14	1,30	1,15	0,75	1,47	1,23
SCL	11	1,14	1,33	1,15	0,73	1,43	1,19
	13	1,19	1,43	1,15	0,74	1,65	1,27

Ort.	1,16	1,37	1,15	0,73	1,54	1,23
------	------	------	------	------	------	------

Çizelge 4.9'den görüleceği gibi araştırma konusu toprak örnekleri için farklı metotlarla belirlenen ortalama kıvam indeksi değerleri CI-1: 1,14; CI-2: 1,31; CI-3: 1,15; CI-4: 0,83; CI-5: 1,49 ve CI-1,26 olup, söz konusu kıvam indekslerinin varyasyon katsayıları %3,4; %6,7; %0,0; %14,9; %13,6 ve %13,9'dur.

Çizelge 4.7'den görüleceği gibi farklı metotlara göre belirlenen su içeriği eşdeğeri ortalama kıvam indeksi değerleri, kil tekstür sınıfı için CI-1: 1,13; CI-2: 1,29; CI-3: 1,15; CI-4: 0,89; CI-5: 1,49 ve CI-6 1,28 olup, varyasyon katsayıları sırasıyla %3,3; %6,6; %0,0; %13,8; %15,3 ve %16,1'dir.

Killi tın tekstür sınıfında yer alan topraklarda söz konusu metotlar için ortalama maksimum su içeriği değerlerine eşdeğer kıvam indeksi değerleri CI-1:1,14; CI-2:1,32; CI-3: 1,15; CI-4:0,76; CI-5: 1,47ve CI-6 1,24 olup varyasyon katsayıları sırasıyla %3,9; %7,5; %0,0; %11,6; %13,2 ve %12,8 bulunmuştur. Kumlu killi tın tekstür sınıfında yer alan topraklar için farklı metotlarla belirlenen kıvam indeksi değerleri altı farklı metot için sırasıyla CI-1:1,17; CI-2: 1,38; 1,15; CI-3: 0,74; CI-4: 1,54; CI-5: 1,23 ve CI-6: 1,20 olarak bulunmuş ilgili metotlara ait varyasyon katsayıları da %3,0; %5,1; %0,0; %1,0; %10,1 ve %4,6 olarak hesaplanmıştır. Her üç tekstür sınıfında da W5 metodu ile bulunan kıvam indeksleri yüksek varyasyon katsayılarına sahip olurken, W3 metodu yardımıyla bulunan kıvam indeksleri için herhangi bir varyasyon katsayısı hesaplanamamıştır.

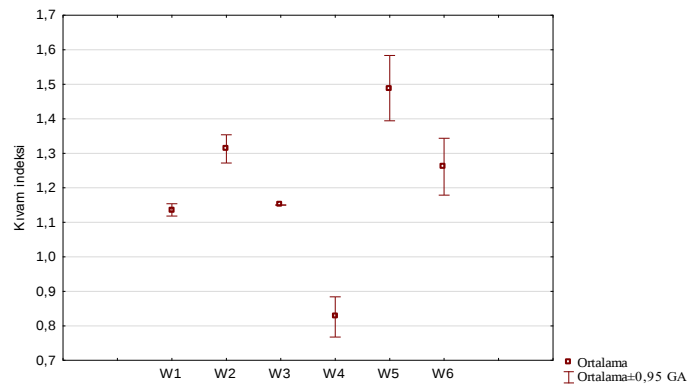
Kıvam indeksi (CI), nispi toprak direncinin önemli bir ölçüm parametresi olup, toprağın herhangi bir nem değerindeki kıvam durumunu ifade eder. Kıvam indeksinin 1'e yaklaşması toprağın plastik (CI=1; PL) ve 0 değerine yaklaşması ise toprağın akışkan (CI=0; LL) özelliğe sahip olduğunun göstergesidir (Baumgarti 2002). Kıvam indeksleri katı (CI>1,3); yarı katı (1<CI<1,3); plastik (CI<1) olarak üç aralıkta değerlendirilebilir (Çizelge 4.10). Katı kıvamda toprak tavrı sert ve katı olup işlemeye uygun değildir. Yarı katı kıvamda toprak işlemeye uygun bir toprak tavrı sergiler. Yapışkanlık limitinin

geliştiği ve kıvam indeksinin 0.75 olarak ortaya çıktığı sınıra kadar toprak işlemeye müsaade edilebilir (Baumgarte 2002; Gülser ve Candemir 2006). Kıvam indeksinin 0.75’den daha az olduğu anda işleme yapılması durumunda toprak strüktüründe gelişen bozulmalar, toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini doğrudan ve dolaylı olarak etkileyerek toprak kalitesinin zayıflamasına neden olabilir.

Çizelge 4.10. Toprağın farklı kıvam durumlarında tavrı

Toprak kıvamı	Katı	Yarı katı	Plastik			Likit	Süspanse
Nem içeriği ve hacim değişimi	Hacim sabit		Nem içeriği ve hacimde azalma				
Kıvam limitleri		BL	PL	YL		LL	
Kıvam indeksi, Ic		1,30	1	0,75	0,50	0,25	0
Sıkışma direnci, kPa	>400	200-400	100-200	50-100	25-50	<25	
Toprak tavrı	Sert katı	ve	İşlenebilir	Yapışkan		Akışkan	

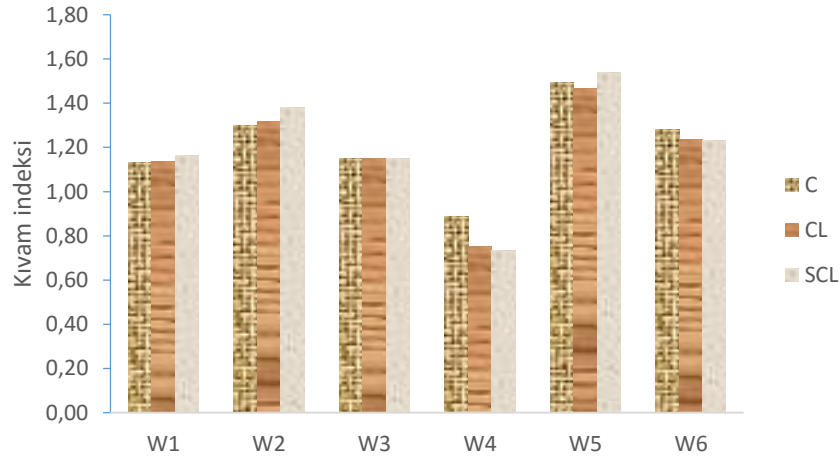
Farklı metotlarla uygun işleme için maksimum su içeriklerine eşdeğer kıvam indekslerinin ortalama değerleri ve varyansları Şekil 4.6’da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Maksimum su içeriklerindeki (W) kıvam indeksleri $CI=(LL-W)/(LL-PL)$

Şekil 4.6 incelendiğinde, araştırma konusu 20 toprak örneğinin farklı metotlar için belirlenen ortalama kıvam indeksi değerlerine göre, kıvam indeksleri W1, W2 ve W3 metotları için 1,14-1,26 arasında olduğundan bu metotların ortaya koyduğu nem içeriklerinde toprakların işlenebilir durumda bir toprak tavrı sergileyebilecekleri ifade edilebilir. Şekil 4.6'ten görüleceği gibi, W5 katı ve W1, W3, ve W6 yarı katı aralığında konumlanmıştır. W2 kıvam indeksi 1,15 olarak tanımlandığından herhangi bir varyans göstermemiştir. W4 plastik kıvam aralığında yer almıştır. Bu aralıkta toprağın kesekleşmesi ve tarım alet makinaları tarafından deforme olabileceği söz konusu olduğundan işleme için uygun olamayacağı ifade edilebilir.

Kıvam indeksi değerleri, tekstür sınıflarına göre kil, killi tın ve kumlu killi tın olarak gruplandırıldıklarında, kıvam indekslerinin farklı tekstür sınıfları için yaklaşık birbirlerine yakın değerler vermişlerdir. W4 yönteminde kil tekstür sınıfındaki toprağın kıvam indeksi diğer iki tekstür sınıfına göre daha yüksek bulunmuştur (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Maksimum su içeriklerinde belirlenen kıvam indekslerinin tekstür sınıflarındaki dağılımı

Toprağın farklı kıvam durumlarında sergilediği tavır Çizelge 4.10'de verilmiştir. Kil, killi tın ve kumlu killi tın topraklarda işlenmeleri için uygun nem düzeyinin üst sınırı olan 0,75 kıvam indeksinde sırası ile %40,8, %30 ve %22,5 olduğu, PL'in %90'ını oluşturan alt sınırın ise sırası ile %30,6, %22,7 ve %17,6 arasında değişmiştir. Özellikle

kil içeriği yüksek olan toprağın fazla kuru olması işlemeyi güçleştirecek, enerji girdisini artıracaktır. Dexter and Bird (2001) ise toprak işlenebilirliği için optimum nemin, toprak işleme sonucunda en fazla sayıda küçük agregatların elde edilebildiği nem içeriği olduğunu ve bu değerinde plastik limitteki nem düzeyinin yaklaşık %90'ına eşit olduğunu belirtmişlerdir. Mueller *et al.* (2003) ise yapışkan özellik gösteren topraklarda en uygun işleme için maksimum nem içeriğinin kıvam indeksin 1,15'indeki nem ve PL'deki nemin %90'ı olduğunu bildirmişlerdir. Mühendislik verileri bakımından uygun toprak işlenebilirliği için maksimum su içeriği, 0,9PL nem içeriği veya 1,15 kıvam indeksi civarında olup, bu koşullar toprak strüktürünün sürdürülebilirliği açısından önemli olacaktır. Ancak su tutma eğrisinin dönüm noktasında toprak, oldukça ıslak koşulları içereceğinden birçok tarımsal faaliyet açısından olumsuz bir ortam oluşturacaktır.

5. SONUÇLAR

Bu araştırma, toprak fiziksel ve mekaniksel özellikler arasındaki ilişkileri değerlendirmek ve toprak işlenebilirliği için gerekli nem içeriğinin tahmininde literatürde önerilen modelleri çalışarak, optimum su içeriğini ortaya koymak amacıyla yürütülmüştür.

Araştırma konusu toprakların, kil içeriği %24 - %61; kum içeriği %19-%51 arasında olup toprak örneklerinden 11'i kil (C), 7'si killi tın (CL) ve 2'si kumlu killi tın (SCL) tekstür sınıfında yer almıştır. Örneklerin organik madde içeriği %1,1-%5 arasında olup, en düşük değer 8 nolu toprakta ve en yüksek değer de 2 nolu toprakta bulunmuştur. Tekstürlerine göre toprakların ortalama organik madde içerikleri kil ve kumlu killi tın topraklarda %2,1 ve killi tın tekstüründeki topraklarda 2,7'dir. Örneklerin reaksiyonu (pH) 7,13- 8,04 ve kireç içeriği de %0,3-%46,6 arasındadır. Toprak örnekleri organik madde içeriği bakımından orta, reaksiyonları bakımından hafif alkalidir.

Toprak örneklerinin plastik limit değerleri %19,1-%39,9 ve likit limit değerleri %29,4-%73,5 arasında olup, en yüksek plastik limit 7 nolu ve LL 18 nolu örneklerde, en düşük plastik limit ve likit limit 13 nolu toprak örneğinde tespit edilmiştir. Plastiklik indeksi değerleri de %10,3-%35,9 arasında olup, en yüksek Pİ değeri 7 nolu toprak örneğinde en düşük Pİ değeri ise 13 nolu toprak örneğinde bulunmuştur.

Toprak örneklerinin büzülme limiti %9,4 ile %18 arasında olup, büzülme indeksi %1,6 ile %30 arasında değişmiştir. En yüksek büzülme indeksi 7 nolu toprak örneğinde, en düşük büzülme indeksi ise 13 nolu toprak örneğinde belirlenmiştir.

Kil, killi tın ve kumlu killi tın tekstüründeki toprakların ortalama plastik limit değerleri sırasıyla %34, %25,2 ve %19,5; ortalama likit limit değerleri sırasıyla %61,2, %44,4 ve %31,6; ortalama plastiklik indeksi değerleri de sırasıyla %27,3, %19,1 ve 12,1'dir.

Her üç tekstür sınıfında yer alan toprakların ortalama büzülme limiti değerleri kil tekstür sınıfındaki topraklarda %10,9, killi tın topraklarda %14,7 ve kumlu killi tın topraklarda %16,6 olup, ortalama büzülme indeksi değerleri de %23,1, %10,6 ve %2,9 olarak tespit edilmiştir. Tekstürün kabalaşmasına bağlı olarak plastik ve likit limit ile plastiklik indeksi değerlerinde bir azalma ortaya çıkmıştır. Ancak bu durum büzülme limiti ve büzülme indeksinde artan yönde olmuştur.

LL ile PL arasındaki fark olarak tanımlanan plastiklik indeksi, toprağın plastiklik gösterdiği nem aralığının bir ölçüsü olup, kil tekstür sınıfındaki topraklarda kumlu killi tın topraklara göre daha yüksek değerler vermiştir.

Plastik limit ve büzülme limitleri arasındaki farkla ifade edilen büzülme indeksinde de toprak tekstürünün kabalaşması hem plastik limit değerinde bir azalmaya yol açmış hemde büzülme limitinde bir artışa neden olmuş bu durumda kaba tekstürlü topraklarda ince tekstürlü topraklara göre daha düşük değerlerin ortaya çıkmasını sağlamıştır.

Plastik limit toprağın plastiklik gösterdiği minimum nem içeriği olduğundan toprağın işleme ile çamurlaşma tehlikesinde olduğu minimum nem içeriği olarak değerlendirilmektedir. Buradan plastik limitin toprağın işlemeye en uygun olduğu nem aralığının üst sınırı olarak kabul edilebileceği ortaya çıkmaktadır.

Toprak bozulmasını engellemek ve kalitesinin sürdürülebilirliğini sağlamak amacıyla uygun su içeriğinde toprak işlemeyi gerçekleştirmek önemlidir. Toprak bozulması da hem işleme aralığını hem de işleme uygunluğunu azaltır. Bu nedenle, işleme için uygun su içeriğini ortaya koymak ve toprak işleme için su içeriği aralığını tahmin etmek toprak kalitesinin sürdürülebilirliği yönünden önemlidir.

Örneklerin plastiklik derecesi sınıflamasına göre, düşük plastik özellik gösteren bölgede 13 nolu örnek, orta plastik bölgede 3, 9, 10, 11, 12, 14 ve 15 nolu örnekler, yüksek plastik bölgede 6 ve 8, orta derecede sıkışabilir silt bölgesinde 1 ve yüksek derecede

sıkışabilir silt veya organik kil bölgesinde 2, 4, 5, 7, 16, 17, 18, 19 ve 20 nolu örnekler yer almıştır.

Bu duruma göre, düşük plastik bölgede yer alan topraklar hariç diğer örneklerle ait toprakların, toprak strüktürüne zarar verilmeksizin toprak tav neminde veya plastik limitteki nem içeriği civarında işlenmesi uygundur.

Toprak örneklerinin kil içeriği ile likit limit, plastik limit ve plastiklik ve büzülme indeksi arasında önemli pozitif ve büzülme limiti ile önemli negatif ilişkiler bulunmuştur. Kum ve silt içeriği ile likit limit, plastik limit, plastiklik ve büzülme indeksi arasında negatif ilişkiler kaydedilmiştir.

Çoklu regresyon modellerinde kil, silt, kum ve organik madde değişkenleri kullanılarak likit limit, plastik limit ve plastiklik indeksi üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Çoklu regresyon modellerinde basit regresyon değerlerine göre daha yüksek katsayılar kaydedilmiştir.

Kıvam limitlerinin toprak strüktürünün plastik deformasyonu üzerine etkisini belirlemede plastik limitin pF 2 nem yüzdesine oran değerleri araştırma konusu toprak örneklerinde 0,9-1,3 arasında bulunmuştur. Kil agregatlarının suda dağılma ihtimalini açıklayan likit limitin pF 2 nem yüzdesine oran değeri ise 1,5-2 arasında olduğu tespit edilmiştir. Buna göre araştırma konusu toprak örneklerinin hem su karşısında hemde mekaniksel kuvvetlere karşı direncinin elde edilen sonuçlara göre yüksek olduğu ifade edilebilir.

Toprak işlemede uygun nem içeriğini tahmin etmek amacıyla farklı yöntemlerle ($W1 = 0.9LPL$, $W2=0,77PL$, $W3 = LPL - 0.15(UPL - LPL)$, $W4 = W_{dnm.}$, $W5 = 0,6$ (5 kPa'da su içeriği), $W6 = W_{Proct.}$) hesaplanan su içeriği değerlerinin ($W1$ ile $W6$) güven aralıkları çakışmadığından dolayı tahminler arasında önemli seviyede farklılık bulunmuştur. $W1$, $W2$, $W3$ ve $W6$ 'ne ait ortalama su içeriği değerleri önemli ölçüde

farklılık göstermezken, W4 su içeriği, diğerlerinden önemli derecede yüksek bulunmuştur. W5 eşitliği ile tahmin edilen optimum işlenebilirlik için maksimum su içeriği değeri diğer yöntemlere göre daha düşük bulunmuştur.

Veriler, tekstür sınıflarına göre kil, killi tın ve kumlu killi tın olarak gruplandırıldıklarında, bütün metotlar için hesaplanan su içeriği değerleri kil>killi tın > kumlu killi tın tekstür sınıfı sıralamasına göre su içeriğine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Araştırma konusu 20 toprak örneğinin ortalama kıvam indeks değerleri W1: 1,14; W2 1,31; W3: 1,15; W4: 0,83; W5: 1,49 ve W6: 1,26 olarak bulunmuştur Bu duruma göre kıvam indeksleri W1, W2 ve W3 nem içeriklerinde 1,14-1,26 arasında olduğundan işlenebilir durumda bir toprak tavrını ortaya koymuşlardır.

Kil, killi tın ve kumlu killi tın bünyeli topraklarda işlenmeleri için uygun nem düzeyinin üst sınırı olan 0,75 kıvam indeksinde sırası ile %40,8, %30 ve %22,5 olduğu, PL'in %90'ını oluşturan alt sınırın ise sırası ile %30,6, %22,7 ve %17,6 arasında değişmiştir.

Uygun toprak işlenebilirliği için maksimum su içeriğinin, 0,9 PL nem içeriği veya 1,15 kıvam indeksi civarında olması, güz sürümlerinden daha çok ilkbahar toprak işleminde toprak strüktürünün sürdürülebilirliği açısından önemli olacaktır. Ancak su tutma eğrisinin dönüm noktasında toprak, oldukça ıslak koşulları içereceğinden birçok tarımsal faaliyet açısından olumsuz bir ortam oluşturacaktır.

KAYNAKLAR

- Adam, K. M., and Erbach, D. C., 1992. Secondary tillage tool effect on soil aggregation. Transactions of the ASAE, 35(6), 1771-1776.
- Adekalu, K.O., Okunade, D. A. and Osunbitan, J.A., 2007. Estimating trafficability of three Nigerian agricultural soils from shear strength-density-moisture relations. Int. Agrophysics, 21, 1-5.
- Altınlı, İ.E., 1963. Explanatory text of the Geological Map of Turkey of 1:500 000 scale; Erzurum sheet. Publ. M.T.A. Inst., Ankara.
- Anonim, 1979a. Erzurum Projesi Yapılabilirlik Raporu. DSİ Gen. Md. VIII. B. Md. Erzurum.
- Anonim, 1990. Erzurum İli Rasat Raporları. DMİ Genel Müdürlüğü
- Anonymous, 2010. Keys to Soil Taxonomy(eleventh ed.), Soil Survey Staff. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
- Arvidsson, J., Keller, T., and Gustafsson, K., 2004. Specific draught for mouldboard plough, chisel plough and disc harrow at different water contents. Soil and Tillage Research, 79(2), 221-231.
- Aydın, A., ve Sezen, Y., 1995. Toprak Kimyası Laboratuar Kitabı. Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Ders Yayınları 174, 140-144.
- Barzegar, A. R., Hashemi, A. M., Herbert, S. J., and Asoodar, M. A., 2004. Interactive effects of tillage system and soil water content on aggregate size distribution for seedbed preparation in Fluvisols in southwest Iran. Soil and Tillage Research, 78(1), 45-52.
- Baumgarti, T., 2002. Atterberg limits. Encyc.of Soil Sci., Volum 2, 2nd ed., Ed: R. Lal. Taylor and Francis G. 270 Madison Avenue New York.,135-138.
- Bayraklı, F., 1987. Toprak ve bitki analizleri. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Yayınları, Yayın No: 17.
- Bhushan, L. S., and Ghildyal, B. P., 1972. Influence of radius of curvature of mouldboard on soil structure. Indian J Agr Sci.
- Birkás M., Jolánkai M. and Schmidt R., 2008. Environmentally-sound adaptable tillage-Solutions from Hungary. 1st Scientific Agronomic Days, 13-14 November, Nitra, Slovakia. Proc. of reviewed sci. papers (Eds. Hrubá, M., *et al.*), ISBN-978-80-552-0125, pp. 191-194
- Boden, A. G., 1994. Bodenkundliche Kartieranleitung. 4. Auflage, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und Geologische Landesämter, Hannover.
- Boekel, P., 1959. Evaluation of the structure of clay soil by means of soil consistency. Meded. Landbouwhogeschool. Opzoekingsstn. Staat Gent XXIV, 363-367.
- Cadena-Zapata, M., Hoogmoed, W. B., and Perdok, U. D., 2002. Field studies to assess the workable range of soils in the tropical zone of Veracruz, Mexico. Soil and Tillage research, 68(2), 83-92.
- Canarache, A., and Dumitru, S., 2000. Estimating workability and trafficability in Romania. In Proc. of the 15th International Conference of the International Soil Tillage research Organization, "ISTRO-2000", Temple, Texas, USA.
- Canbolat, M. Y., Öztaş, T., Akgül, M., ve Barik, K., 1998. Erzurum Daphan ovası topraklarının mekaniksel özellikleri. Doğu Anadolu Tarım Kongresi, 14-18.

- Canbolat, M.Y. ve Öztaş T., 1997. Toprağın kıvam limitleri üzerine etki eden bazı faktörler ve kıvam limitlerinin tarımsal yönden değerlendirilmesi Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg. 28 (1), 120-129
- Canbolat, M.Y., Barik, K., ve Özgül, M., 1999. Erzurum yöresinde farklı ana materyaller üzerinde oluşmuş üç toprak profilinin kıvam limitleri ve şişme-büzülme karakteristikleri. Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg., 30 (2), 121-129.
- Chamen, T., Alakukku, L., Pires, S., Sommer, C., Spoor, G., Tijink, F., and Weiskopf, P., 2003. Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: a review: Part 2. Equipment and field practices. Soil and tillage research, 73(1), 161-174.
- Demir, S., Kılıç, K. ve Aydın, M., 2012. Farklı kullanım altındaki toprakların kıvam limitleriyle bazı toprak özellikleri arasındaki ilişki. GOÜ. Ziraat Fakültesi Dergisi, 29 (2), 63-71.
- Demiralay, İ., 1993. Toprak fiziksel analizleri. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 143, 13-19.
- Demiralay, İ., ve Güresinli, Y. Z., 1979. Erzurum Ovası topraklarının kıvam limitleri ve sıkışabilirliği üzerinde bir araştırma. Atatürk Ün. Zir. Fak., Der 10.(1-2), 77-93.
- Demirbaş, S., 1978. Mühendislik Yönünden Toprağın İndeks Özellikleri. Tarım Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü. Genel Yayın No,59. Teknik Yayın No, 30. s, 89
- Dexter, A. R., 1988. Advances in characterization of soil structure. Soil and tillage research, 11(3-4), 199-238.
- Dexter, A.R. and Bird, N.R.A., 2001. Methods for predicting the optimum and the range of soil water contents for tillage based on the water retention curve. Soil & Tillage Research, 57, 203-212.
- Dowdy, S. and Wearden, S., 1983. Statistics for Research. John Wiley and Sons, Inc. USA.
- Droogers, P., Fermont A. and..Bouma J., 1996. Effects of ecological soil management on workability and trafficability of a loamy soil in the Netherlands. Geoderma, 73(3-4), 131-145.
- E. Rübensam, Rauhe K., 1968. Ackerbau, VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin (1968)
- Farrar, D. M., and Coleman, J. D., 1967. The correlation of surface area with other properties of nineteen British clay soils. Journal of Soil Science, 18(1), 118-124.
- Gülser, C. ve Candemir, F., 2006. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Kurupelit kampüs topraklarının bazı mekaniksel özellikleri ve işlenebilirlikleri. OMÜ Ziraat Fak. Dergisi, 21(2), 213-217.
- Head, K.H., 1984. Manual of Soil Laboratory Testing. Volum1: Soil Classification and Compaction Tests. ISBN, 0-7273-1302-9. Biddles Ltd, Guildford, Surrey.
- Hızalan, E., ve Ünal, H., 1966. Topraklarda önemli kimyasal analizler. AÜ Ziraat Fakültesi Yayınları, 278.
- Hoogmoed, W.B., 1985. Soil tillage at the tropical agricultural day. Soil Till. Res. 5, 315-316.
- Jong, E. D., Acton, D. F., and Stonehouse, H. B., 1990. Estimating the Atterberg limits of southern Saskatchewan soils from texture and carbon contents. Canadian Journal of Soil Science, 70(4), 543-554.

- Keller, T., Arvidsson, J., and Dexter, A. R., 2007. Soil structures produced by tillage as affected by soil water content and the physical quality of soil. *Soil and Tillage Research*, 92(1), 45-52.
- Kézdi, Á., 1969. *Handbuch der Bodenmechanik: Bodenphysik* (Vol. 1). Verlag für Bauwesen.
- Koenigs, F.F.R., 1976. Determination of the upper tillage limit for spring tillage by a laboratory test. In: *Proceedings of the Seventh Conference of ISTRO*, Uppsala, Sweden, pp. 19:1-19:6.
- Kretschmer, H., 1996. Koernung und Konsistenz. In: Blume, H.-P., Felix-Henningsen, P., Fischer, W.R., Frede, H.G., Horn, R., Stahr, K. (Eds.), *Handbuch der Bodenkunde*, vol. I, Ecomed, 1st ed., Chapter 2.6.1.1.
- Larney, F. J., Fortune, R. A., and Collins, J. F., 1988. Intrinsic soil physical parameters influencing intensity of cultivation procedures for sugar beet seedbed preparation. *Soil and Tillage Research*, 12(3), 253-267.
- Lipiec, J., and Simota, C., 1994. Role of soil and climate factors influencing crop responses to soil compaction in central and eastern Europe. *Soil compaction in crop production*. Elsevier Sci., Amsterdam. Role of soil and climate factors influencing crop responses to soil compaction in Central and Eastern Europe, 365-390.
- Mapfumo, E., and Chanasyk, D. S., 1998. Guidelines for safe trafficking and cultivation, and resistance–density–moisture relations of three disturbed soils from Alberta. *Soil and tillage research*, 46(3), 193-202.
- Marinissen, J. C. Y., 1994. Earthworm populations and stability of soil structure in a silt loam soil of a recently reclaimed polder in the Netherlands. *Agriculture, ecosystems & environment*, 51(1-2), 75-87.
- Mbagwu, J. S. C., and Abeh, O. G., 1998. Prediction of engineering properties of tropical soils using intrinsic pedological parameters. *Soil science*, 163(2), 93-102.
- Moncada, M. P., Gabriels, D., Lobo, D., De Beuf, K., Figueroa, R., and Cornelis, W. M. (2014). A comparison of methods to assess susceptibility to soil sealing. *Geoderma*, 226, 397-404.
- Mosaddeghi, M. R., Morshedizad, M., Mahboubi, A. A., Dexter, A. R., and Schulin, R., 2009. Laboratory evaluation of a model for soil crumbling for prediction of the optimum soil water content for tillage. *Soil and Tillage Research*, 105(2), 242-250.
- Mueller, L., Schindler, U., 1998b. Wetness criteria for modelling trafficability and workability of cohesive arable soils. In: *Proceedings of the Seventh Annual Drainage Symposium on Drainage in the 21st Century: Food Production and the Environment*, Orlando, FL, March 8–10, 1998, 472–479.
- Mueller, L., Schindler, U., Fausey, N. R. and Lal R., 2003. Comparison of methods for estimating maximum soil water content for optimum workability. *Soil & Tillage Research*, 72, 9–20.
- Mueller, L., Tille, P., Kretschmer, H., 1990. Trafficability and workability of alluvial clay soils in response to drainage status. *Soil Till. Res.* 16, 273–287.
- Mueller, W., 1985. Standortkundliche Voraussetzungen fuer die Gefuegemelioration durch Tieflockerung im humiden Klima. In: *Die Gefuegemelioration durch Tieflockerung—Bisherige Erfahrungen und Ergebnisse* Schriftenreihe des

- Deutschen Verbandes fuer Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (DVWK) Heft 70. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, 1–34.
- Munsuz, N. (1985). Toprak mekaniği ve teknolojisi. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları. Ders Kitabı, 260.
- Müller, L., Lipiec, J., Kornecki, T. S., and Gebhardt, S., 2011. Trafficability and workability of soils. In *Encyclopedia of Agrophysics*, 912-924).
- Neaman, A., and Singer, A., 2000. Kinetics of hydrolysis of some palygorskite-containing soil clays in dilute salt solutions. *Clays and clay minerals*, 48(6), 708-712.
- Nweke, I. A., 2014. Changes in rheological properties of four contrasting as induced by cultivation soils. *International Journal of Agriculture Innovations and Research*. 3(1), 373-378.
- Ojeniyi, S.O., and Dexter, A.R., 1979. Soil factors affecting the macrostructures produced by tillage. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 22, 339-343.
- Petelkau, H., 1984. Auswirkungen von Schadverdichtungen auf Bodeneigenschaften und Pflanzenenertrag sowie Massnahmen zu ihrer Minderung. In: *Grundlagen und Verfahren der rationellen Bodenbearbeitung und Erschliessung des Unterbodens fuer Pflanzen*. Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR, Tagungsbericht Nr. 227, 25–34.
- Polidori, E., 2007. Relationship between the atterberg limit and clay content. *Soils and Foundations*, 47, 887-896.
- Smedema, L. K., 1993. Drainage performance and soil management. *Soil technology*, 6(2), 183-189.
- Soil Survey Staff *Soil survey Manual*. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook, vol. 18 (1993)
- Sönmez, K., ve Öztaş, T. 1988. Iğdır Ovası yüzey topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri ile mekaniksel özellikleri arasındaki ilişkiler. *Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19(1-4), 145-153.
- Terzaghi, A., Hoogmoed, W.B., Miedema, R., 1988. The use of the 'wet workability limit' to predict the land quality 'workability' for some Uruguayan soils. *Neth. J. Agric. Sci.* 36, 91-103.
- Thomasson, A. J., 1982. Soil and climatic aspects of workability and trafficability. In *Proceedings of the 9th Conference of the International Soil Tillage Research Organization, ISTRO*. Osijek, Yugoslavia.
- Tisdall, J.M., Adem, H.H., 1986. Effect of water content at tillage on size-distribution of aggregates and infiltration. *Aust. J. Exp. Agric.* 26, 193-195.
- Wagner, L.E., Ambe, N.M., Barnes, P., 1992. Tillage-induced soil aggregate status as influenced by water content. *Trans. ASAE* 35 (2), 499–504.
- Yakupoğlu, T. ve Özdemir, N., 2006. Erozyona uğramış topraklarda organik atık uygulamalarının bazı mekaniksel özelliklere etkisi. *OMÜ Zir. Fak. Dergisi*, 21(2), 173-178

ÖZGEÇMİŞ

Erzurum'da 1973 yılında doğdu. İlk ve orta öğrenimini Erzurum'da tamamladı. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü'ne 1995 yılında kayıt yaptırdı ve 2003 yılında mezun oldu. Aynı üniversitenin Açıköğretim Fakültesi Halkla İlişkiler ve Tanıtım Bölümünü 2015 yılında bitirdi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalında 2011 yılında yüksek lisansa başladı.

Halen Erzurum ili Aziziye İlçe Gıda Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü'nde Ziraat Mühendisi olarak görev yapmaktadır. Evli olup, iki çocuk babasıdır.