

**KIVAM LİMİTLERİ VE PENETRASYON DİRENCİ ÜZERİNDE ETKİLİ OLAN
BAZI TOPRAK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ VE DERİNLİKLE
DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ**

Aktan HANGİŞİ

**Yüksek Lisans
Orman Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman
Doç. Dr. Bülent TURGUT**

19.06.2019

Artvin

**T.C.
ARTVİN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KIVAM LİMİTLERİ VE PENETRASYON DİRENCİ ÜZERİNDE ETKİLİ OLAN
BAZI TOPRAK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ VE DERİNLİKLE
DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aktan HANGİŞİ

**Danışman
Doç. Dr. Bülent TURGUT**

Artvin 2019

TEZ BEYANNAMESİ

Artvin oruh Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Kıvam Limitleri ve Penetrasyon Direnci Üzerinde Etkili Olan Bazı Toprak Özelliklerinin Belirlenmesi ve Derinlikle Değişiminin İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Bülent TURGUT’un sorumluluğunda tamamladığımı, örnekleri kendim topladığımı, analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 19/06/2019

Aktan HANGİŞİ

T.C.
ARTVİN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KIVAM LİMİTLERİ VE PENETRASYON DİRENCİ ÜZERİNDE ETKİLİ
OLAN BAZI TOPRAK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ VE
DERİNLİKLE DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ**

Aktan HANGİŞİ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih :19/06/2019

Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 17/07/2019

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Bülent TURGUT

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Taşkın ÖZTAŞ

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Mehmet ÖZALP

ONAY:

Bu Yüksek Lisans Tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri üyeleri tarafından .../.../..... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu'nun .../.../..... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

.../.../.....

Doç. Dr. Hilal TURGUT
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

“Kıvam Limitleri ve Penetrasyon Direnci” konusunda yapılan bu çalışma; Artvin Çoruh Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Doç. Dr. Bülent TURGUT 'a teşekkürlerimi sunarım. Literatür araştırmalarımnda yardımcı olan değerli hocam Doç. Dr. Mehmet ÖZALP' e teşekkür ederim

Elde edilen verilerinin analiz edilmesinde ve tezin yazım aşamasında yardımlarını esirgemeyen hocam Doç. Dr. Ayşe YAVUZ ÖZALP' e, arazi çalışmalarımnda yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarım Orman Mühendisi Şahin AYDEMİR, Orman Mühendisi Ozan USTA, Orman Mühendisi Emre YILDIZ, Orman Mühendisi Ramazan ÇAKIR, Orman Mühendisi Feyyaz AYIK, Ufuk GÜRDAL, Özgür BOYRAZ, Orman Mühendisi Sümeyye GÜLER, Peyzaj Mimarı Belgin YILMAM' a teşekkür ederim.

Eğitim Öğretim hayatım boyunca maddi ve manevi desteğini esirgemeyen haklarını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim annem Zübeyde HANGİŞİ' ye, babam Asım HANGİŞİ' kardeşlerim Gökçen HANGİŞİ, Sumru HANGİŞİ, Ertan HANGİŞİ, Elçin Melike HANGİŞİ' ye ve varlıklarıyla her zaman yanımda olan yeğenlerim Bilge Naz HANGİŞİ ve Gökhan HANGİŞİ' ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Araştırmanın bilimsel ve teknik açıdan uygulayıcılara faydalı olmasını dilerim.

Aktan HANGİŞİ

Artvin – 2019

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
TEZ BEYANNAMESİ.....	1
ÖNSÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET.....	IV
SUMMARY.....	V
TABLOLAR DİZİNİ.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
1 GİRİŞ.....	1
1.1 Genel Bilgiler.....	1
1.2 Literatür Çalışması.....	7
2 MATERYAL VE YÖNTEM.....	11
2.1 Materyal.....	11
2.1.1 Çalışma Alanının Coğrafik Konumu.....	11
2.1.2 İklim.....	11
2.1.3 Bitki Örtüsü.....	12
2.2 Yöntem.....	12
2.2.1 Toprak Örneklerinin Alınması ve Analizlere Hazırlanması.....	12
2.2.2 Yapılan Analizler.....	13
2.2.3 İstatistik Analizler.....	16
3 BULGULAR VE TARTIŞMA.....	17
3.1 İncelenen Özelliklere Ait Tanımlayıcı İstatistikler.....	17
3.2 İncelenen Özellikler Bakımından Çalışma Alanının Genel Değerlendirmesi.....	19
3.3 Ölçüm Noktalarına Ait Penetrasyon Direnç Değerleri.....	21
3.4 İncelenen Toprak Özellikleri Bakımından Tabakaların Karşılaştırılması.....	22
3.4.1 Kil İçeriğinin Örneklem Tabakalarındaki Değişimi.....	22
3.4.2 Kum İçeriğinin Örneklem Tabakalarındaki Değişimi.....	23
3.4.3 Silt İçeriğinin Örneklem Tabakalarındaki Değişimi.....	24
3.4.4 Toprak Nem İçeriğinin Örneklem Tabakalarındaki Değişimi.....	24
3.4.5 Organik Madde İçeriğinin Örneklem Tabakalarındaki Değişimi.....	25
3.4.6 Agregatlaşma Oranı Değerlerinin Örneklem Tabakalarındaki Değişimi.....	26
3.4.7 Agregat Stabilesi Değerlerinin Örneklem Tabakalarındaki Değişimi.....	27

3.4.8	Penetrasyon Direnç Değerlerinin Örnekleme Tabakalarındaki Değişimi	28
3.4.9	Kil Aktivite İndeksinin Örnekleme Tabakalarındaki Değişimi	29
3.4.10	Likit Limit Değerinin Örnekleme Tabakalarındaki Değişimi	30
3.4.11	Plastik Limit Değerinin Örnekleme Tabakalarındaki Değişimi	30
3.4.12	Plastiklik İndeksi Değerinin Örnekleme Tabakalarındaki Değişimi	31
3.5	İncelenen Toprak Özellikleri Arasındaki İlişkiler	32
3.5.1	Agregatlaşma Oranı Üzerinde Etkili Olan Toprak Özellikleri	32
3.5.2	Agregat Stabilitesi Üzerinde Etkili Olan Toprak Özellikleri	33
3.5.3	Penetrasyon Direnci Üzerinde Etkili Olan Toprak Özellikleri	34
3.5.4	Plastik Limit Üzerinde Etkili Olan Toprak Özellikleri	38
3.5.5	Likit Limit Üzerinde Etkili Olan Toprak Özellikleri	41
3.5.6	Plastiklik İndeksi Üzerinde Etkili Olan Toprak Özellikleri	43
4	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	47
	KAYNAKLAR	50
	EKLER	56
	Ek 1. Örnekleme Noktalarına Ait Penetrologer Grafikleri	56
	ÖZGEÇMİŞ	67

ÖZET

KIVAM LİMİTLERİ VE PENETRASYON DİRENCİ ÜZERİNDE ETKİLİ OLAN BAZI TOPRAK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ VE DERİNLİKLE DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ

Bu çalışma, toprakların likit limit, plastik limit ve plastiklik indeksi ile penetrasyon direncini etkileyen toprak özelliklerinin doğrudan ve dolaylı etkilerinin belirlenmesi ve incelenen tüm özelliklerin örnekleme tabakaları boyunca değişiminin ortaya konulması amacıyla yürütülmüştür. Çalışma alanı olarak seçilen 5da büyüklüğündeki merada şansa bağlı olarak 20 örnekleme noktası belirlenmiş ve bu noktalarda penetrasyon direnç değerleri okunduktan sonra 0-25cm (K₁), 25-50cm (K₂) ve 50-75cm (K₃) derinlik kademelerinden bozulmuş toprak örnekleri alınmıştır. Alınan toprak örneklerinde gerekli analizler yapılarak likit limit, plastik limit, plastiklik indeksi, nem içeriği, tane büyüklük dağılımı, organik madde içeriği, agregatlaşma oranı, agregat stabilitesi ve kil aktivite indeksi değerleri belirlenmiştir. İncelenen özellikler bakımından tabakalar arasındaki farklılığın belirlenmesinde tek yönlü varyans analizi (ANOVA), penetrasyon direnci, plastik limit ve likit limit değerleri üzerinde etkili olan özelliklerin doğrudan-dolaylı etkilerinin ve etki katsayılarının belirlenmesinde ise Path analizi kullanılmıştır. Toprakların kil içeriği ve penetrasyon direnci değerlerinin derinlik boyunca artış eğiliminde olduğu ancak kum, silt, nem ve organik madde içerikleri ile agregatlaşma oranı, agregat stabilitesi, kil aktivite indeksi, likit limit ve plastik limit değerlerinin azalma eğilimi gösterdiği, örnekleme tabakaları boyunca gözlenen bu farklılığın istatistiki anlamda önemli olduğu belirlenmiştir. Path analizi sonucunda penetrasyon direnci üzerinde en yüksek doğrudan etki katsayısına sahip özelliğin kil içeriği, plastik limit üzerinde organik madde içeriği ve likit limit üzerinde ise yine kil içeriği olduğu belirlenmiştir. Araştırmada kıvam limitleri ile penetrasyon direnci arasındaki ilişkiler, ölçümlerin farklı nem koşullarında yapılamamış olmasından dolayı beklenen düzeyde gerçekleşmemiştir. Ayrıca toprakların sıkışma ve kıvam limitleri üzerinde etkili olan özelliklerin daha sağlıklı bir şekilde belirlenebilmesi için hacim ağırlığı ve boşluk oranı gibi özelliklerin de modellere dahil edilmesinin gerekli olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Likit limit, plastiklik limiti, plastiklik indeksi, sıkışma, mera

SUMMARY

DETERMINATION OF SOME SOIL PROPERTIES ON CONSISTENCY LIMITS AND PENETRATION RESISTANCE AND INVESTIGATION THE CHANGING OF THIS PROPERTIES ALONG WITH DEPTH

The aim of this study was to determine the direct and indirect effects of soil properties affecting the liquid limit, plastic limit, plasticity index, and penetration resistance and to reveal the change of all investigated properties along the sample layers. In the 5 da pasture selected as the study area, 20 sampling points were determined randomly, penetration resistance values were read these points, then the soil samples were taken from 0-25cm (K_1), 25-50cm (K_2), and 50-75cm (K_3) depths. The analyzes were carried out to determine the plastic limit, liquid limit, plasticity index, moisture content, grain size distribution, organic matter content, aggregation rate, aggregate stability and clay activity index. One-way variance analysis (ANOVA) was used to determine the differences between the layers in terms of the studied properties, and path analysis was used to determine the direct-indirect effects of the properties affecting the penetration resistance, liquid limit, plastic limit, and plasticity index. The clay content and penetration resistance increased, but sand, silt, moisture and organic matter content, aggregation rate, aggregate stability, clay activity index, liquid limit, and plastic limit decreased along the soil depth. It was determined that these differences observed throughout sampling layers were significant statically. As a result of path analysis, it was determined that the property with the highest direct effect coefficient on penetration resistance and liquid limit is clay content, on plastic limit is organic matter content. The relationships between consistency limits and penetration resistance was not occurred at the expected level due to the fact that measurements could not be performed under different humidity conditions. In addition, it is concluded that some properties such as bulk density and void ratio should be included in the models in order to determine the properties that affect the compaction and consistency limits of soils more accurately.

Keywords: Liquid limit, plastic limit, plasticity index, compaction, pasture

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Likit limit tayininde kullanılan $(N/25)^{0,12}$ değerleri.....	14
Tablo 2. İncelenen özelliklere ait tanımlayıcı istatistikler	18
Tablo 3. Örnekleme noktalarına ait penetrasyon direnç değerleri.....	22
Tablo 4. Penetrasyon direnci için standardize edilmiş toplam etkiler	36
Tablo 5. İncelenen özelliklerin penetrasyon direnci üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkileri	38
Tablo 6. Plastik limit değeri ve nem içeriği için standardize edilmiş toplam etkiler	39
Tablo 7. İncelenen özelliklerin plastik limit değerleri üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkileri.....	41
Tablo 8. Plastik limit değeri ve nem içeriği için standardize edilmiş toplam etkiler	42
Tablo 9. İncelenen özelliklerin plastik limit değerleri üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkileri.....	43
Tablo 10. Plastiklik indeks değeri ve nem içeriği için standardize edilmiş toplam etkiler ..	45
Tablo 11. İncelenen özelliklerin plastiklik indeksi üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkileri	46

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Toprak sıkışmasının şematik gösterimi	3
Şekil 2. Dijital penetrologger	4
Şekil 3. Atterberg limitleri.....	5
Şekil 4. Nem içeriği ile penetrasyon direnci arasındaki ilişki	6
Şekil 5. Artvin'in coğrafi konumu	11
Şekil 6. Sıcaklık-Yağış Grafiği.....	12
Şekil 7. Dijital penetrologger	13
Şekil 8. Casagrande aleti	15
Şekil 9. Plastik limit belirleme yöntemi.....	15
Şekil 10. İncelenen özelliklere ait normal dağılım grafikleri (a. Kil, b. Kum, c. Silt, d. Nem, e. Organik madde, f. Agregatlaşma oranı, g. Agregat stabilitesi, h. Penetrasyon direnci, i. Kil aktivite indeksi, j. Plastik limit, k. Likit limit, l. Plastiklik indeksi .	18
Şekil 11. Çalışma alanı topraklarının tesktürel dağılımları.....	19
Şekil 12. Farklı tekstür sınıflarında yarayışlı nem oranları	20
Şekil 13. Casagrande plastiklik grafiği	21
Şekil 14. Kil içeriğinin derinlik kademeleri boyunca gösterdiği farklılık	23
Şekil 15. Kum içeriğinin derinlik kademeleri boyunca gösterdiği farklılık.....	24
Şekil 16. Silt içeriğinin derinlik kademeleri boyunca gösterdiği farklılık	24
Şekil 17. Nem içeriğinin derinlik kademeleri boyunca gösterdiği farklılık	25
Şekil 18. Organik madde içeriğinin derinlik kademeleri boyunca gösterdiği farklılık	26
Şekil 19. Agregatlaşma oranı değerlerinin derinlik kademeleri boyunca gösterdiği farklılık	27
Şekil 20. Agregat stabilitesi değerlerinin derinlik kademeleri boyunca gösterdiği farklılık	28
Şekil 21. Penetrasyon direnç değerlerinin derinlik kademeleri boyunca gösterdiği farklılık	29
Şekil 22. Kil aktivite indeksi değerlerinin derinlik kademeleri boyunca gösterdiği farklılık	29
Şekil 23. Likit limit değerlerinin derinlik kademeleri boyunca gösterdiği farklılık	30
Şekil 24. Plastik limit değerini derinlik kademeleri boyunca gösterdiği farklılık	31
Şekil 25. Plastiklik indeksi değerlerinin derinlik kademeleri boyunca gösterdiği farklılık	32

Şekil 26. Agregatlaşma oranına etki eden toprak özellikleri ve etki katsayıları	33
Şekil 27. Agregat stabilitesine etki eden toprak özellikleri ve etki katsayıları	34
Şekil 28. Penetrasyon direncine etki eden toprak özellikleri ve etki katsayıları	35
Şekil 29. Plastik limit değerlerine etki eden toprak özellikleri ve etki katsayıları	38
Şekil 30. Likit limit değerlerine etki eden toprak özellikleri ve aralarındaki etki katsayıları	42
Şekil 31. Plastiklik indeksi değerlerine etki eden toprak özellikleri etki katsayıları	44



1 GİRİŞ

1.1 Genel Bilgiler

Toprak; yerkabuğunu oluşturan kayaların fiziksel parçalanması ve kimyasal ayrışmaya uğraması sonucu oluşan, bünyesinde canlı ve cansız varlıkları barındıran, bitkilere yaşam kaynağı olan, içerisinde katı, sıvı ve gaz fazlarını bir arada bulduran canlı dinamik bir varlıktır. Toprak yeryüzündeki hidroloji, erozyon, biyokimyasal ve biyolojik döngüler gibi önemli süreçleri kontrol ettiği için ekosistemin en temel bileşenlerinden biridir. Toprak litosfer, biyosfer ve atmosferin kesiştiği noktada olduğundan çok küçük mesafelerde bile değişkenlik gösterebilen bir ortamdır.

Herhangi bir insan müdahalesinin olmadığı doğal koşullarda, topraklar oluştukları çevre ile denge halindedir. Toprakların tane büyüklük dağılımları, bu taneciklerin yatay ve dikey doğrultuda dizilmeleri ile oluşan toprak matrisi, horizonlar ve diğer birçok özellik bu dengenin sonucunda karşımıza çıkan toprak davranışlarına örnek olarak verilebilir. Bu dengenin doğal veya antropojenik etkilerle bozulması, toprak özelliklerinde ve davranışlarında da değişimlere neden olmaktadır. Bu değişimler olumsuz yönde gerçekleştiğinde toprak bozulması adı verilen bir süreç başlamakta ve topraktan yararlanan tüm canlı sistemleri olumsuz yönde etkilemektedir. Bu temel olgudan yola çıkarak toprak bozulması için farklı tanımlamalar geliştirilmesine rağmen FAO (2015) ekosistemi bütüncül olarak değerlendirerek toprak bozulmasını; “toprakların paydaşları tarafından arzulanan ekosistem malları ve hizmetleri sunma konusundaki azalan kapasiteleri” olarak tanımlamıştır.

Bozulma süreci toprakların üç temel özelliğinde görüldüğünden, kimyasal bozulma, biyolojik bozulma ve fiziksel bozulma olarak isimlendirilmektedir. Kimyasal bozulma, toprakların kimyasal özelliklerinde meydana gelen olumsuz değişiklikler olarak tanımlanmakta ve esas olarak toprak kirliliği, asitleşme, zararlı element/bileşiklerin mobilizasyonu, tuzluluk veya sodyum fazlalığı, besin maddesi içeriğinde dengesizlik ve ani pH değişimlerine karşı toprağın tamponlama

kapasitesinin azalması gibi sonuçları içermektedir (Verdoodt and Gabriels, 2012). Biyolojik bozulma ise toprak organik madde miktarındaki azalma ve biyolojik faaliyetlerin gerçekleşmesindeki dengesizlik olarak tanımlanmaktadır (Verdoodt and Gabriels, 2012). Dünyada en yaygın görülen toprak bozulması türü olan fiziksel bozulma ise toprakların tane büyüklük dağılımı, strüktürü, su tutma kapasitesi ve havalanma gibi fiziksel özelliklerinde meydana gelen olumsuzluklar olarak tanımlanmaktadır (Aydinalp, 1998). Toprakların fiziksel özellikleri, 30 yılı aşkın bir süredir yoğun tarım uygulamalarına bağlı olarak artan mekanizasyon, organik kaynaklı gübre yerine mineral gübrelerin kullanılması, aşırı otlatma, ormansızlaşma, orman yangınları, ormancılık faaliyetlerindeki ağır makine kullanımı ve inşaat mühendisliği çalışmalarından dolayı bozulmaktadır (Varela De Blas and Benito, 2001).

Toprak sisteminin doğal durumdaki strüktürel yapısının yağış ve mekaniksel dış kuvvetlerin etkisi altında bozulması, buna bağlı olarak toprak parçacıklarının daha sıkı bir şekilde yeniden dizilmesi sonucu hacim ağırlığındaki artış toprak sıkışması olarak tanımlanmaktadır (Turgut, 2012). Bu süreç sonunda topraktaki makro gözeneklilik bozulmakta, hidrolik iletkenlik ile hava geçirgenliği azalmakta ve bitki kökleri daha yüksek bir mekanik dirençle karşılaşmaktadır (Şekil 1) (Turgut, 2012). Toprak sıkışmasının neden olduğu olumsuz koşullar, toprağı yaşam ortamı olarak kullanan canlıları da olumsuz yönde etkilemektedir. Örneğin, toprakta penetrasyon direnç değerinin 2MPa'nın üzerinde olması bitki kök gelişimini, buna bağlı olarak bitki büyümesini (Sivarajan et al., 2018) ve mikroorganizma faaliyetlerini (Cressey et al., 2018) engellemektedir.



Şekil 1. Toprak sıkışmasının şematik gösterimi

Alan kullanım farklılıklarına bağlı olarak toprak sıkışmasına neden olan faktörler de değişkenlik göstermektedir. Tarımsal üretim alanlarında toprak sıkışmasına neden olan en önemli etken tarla trafiği ve alet-makinelerin ağırlıkları iken (Bodies, 1994), mera alanlarında otlama yoğunluğu ve hayvan sayısıdır (Bayat et al., 2017; Rakkar and Blanco-Canqui, 2018). Toprak sıkışmasının derecesi toprak tekstürüne, toprak nem içeriğine ve organik madde içeriğine bağlı olarak değişkenlik gösterir (Van den Akker and Schjonning, 2004; Cambi et al., 2017).

Toprak sıkışması, kütle yoğunluğu, makro porozite ve iletkenlik ölçümleri gibi dolaylı yöntemlerle belirlenebildiği gibi penetrasyon direnci ölçümleri ile de doğrudan belirlenebilmektedir (Turgut, 2012). Penetrasyon direnci özel şekilli bir cismin toprak içerisine girişi sırasında toprağın gösterdiği karşı direnç olarak tanımlanır (Bodies, 1994). Bir toprağın penetrasyon direnci toprak tipine, parçacık büyüklüklerinin ve şeklinin dağılımına, kil mineralojisine, amorf oksit içeriğine, organik madde durumuna, su içeriğine, matrik potansiyeline ve hacim ağırlığına bağlı olarak değişiklik gösterebilir (Van den Akker and Schjonning, 2004).

Penetrasyon direnci toprak sıkışmasını ifade etmek için kullanılan bir terimdir ve ölçü birimi de kPa veya MPa'dır. Penetrasyon direnci aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanmaktadır;

$$F_{ortlama} = \frac{\sum F_i}{N}$$

Burada, $F_{ortalama}$, uygulanan kuvvetlerin ortalaması, F_i , her bir ölçüm noktasında uygulanan kuvvet ve N , ölçüm noktası sayısı.

$$PD = \frac{F_{ortalama}}{A_{cone}}$$

Burada; PD , penetrasyon direnci, A_{cone} ise penetrasyon direnci ölçen aletin koni temel alanıdır.

Toprakların penetrasyon dirençlerinin ölçülmesinde penetrologger adı verilen bir aletten yararlanılır. Penetrologger, farklı çaplardaki koni uçlu bir metal çubuğun toprak içerisinde ilerlerken karşılaştığı direnci ölçebilen ve son zamanlarda dijital modelleri de üretilmiş bir alettir (Şekil 2).



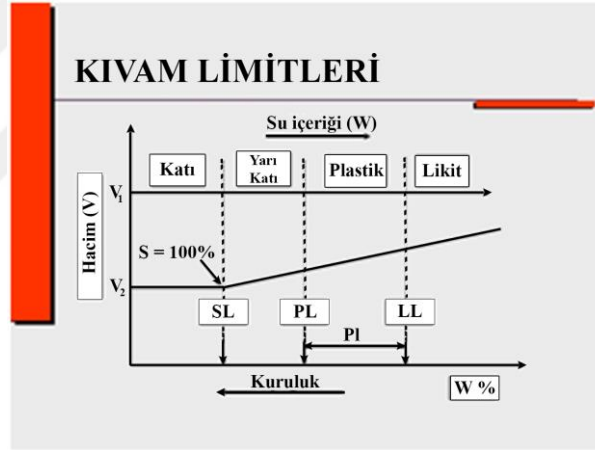
Şekil 2. Dijital penetrologger

Toprak sistemine giren su, toprağın tane büyüklük dağılımına ve özellikle kil içeriğine bağlı olarak toprağın mekaniksel davranışlarında değişikliklere neden olur. Bu değişikliklerin temel nedeni toprak tanecikleri tarafından absorbe edilen suyun oluşturduğu film tabakasıdır. Su içeriğindeki artışa bağlı olarak kalınlığı artan film tabakası, toprak taneciklerinin birbirleri içerisine geçmesini kolaylaştırmakta ve toprağın mekaniksel davranışlarını etkilemektedir. Yaklaşık 60 yıl önce A. Atterberg toprak sistemindeki suyun toprak davranışlarına etkisinde aşağıdaki limitleri tanımlamıştır;

- Likit Limit: Toprağın likit ve plastik durumu arasındaki sınırdır.
- Plastik Limit: Toprağın plastik ve yarı katı durumu arasındaki sınırdır.
- Büzülme Limit: Toprağın yarı katı ve katı durumu arasındaki sınırdır.

Bu limitler, daha sonra A. Casagrande tarafından mevcut su içeriği göz önünde bulundurularak (Şekil 3) daha kesin sınırlarla aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

- Likit limit, toprağa uygulanan standart genişlikteki bir oluğu dolduracak düzeyde akışkanlığa ulaşmış toprağın sahip olduğu nem içeriği olarak tanımlanır.
- Plastik limit bir topraktan elde edilen macunun kırılmadan 3mm çapında iplik oluşturacak nem içeriği olarak tanımlanır.

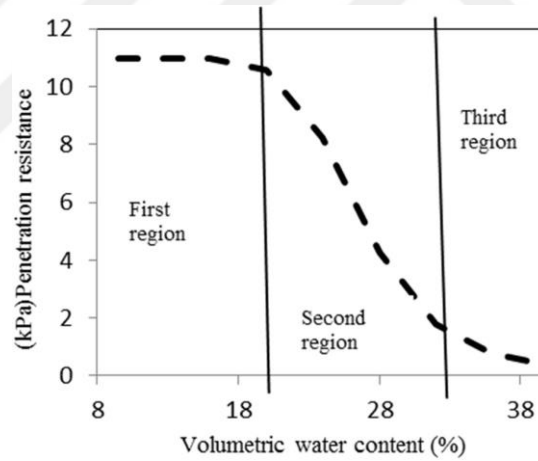


Şekil 3. Atterberg limitleri

Atterberg limitleri, mühendislik çalışmalarında toprak hacmindeki değişimin belirlenmesinde kullanılırken doğa bilimlerinde toprağın işleme aletlerine, bitki kök büyümesine, sıkışmaya karşı gösterebileceği direncin belirlenmesinde ve toprakların erozyona karşı duyarlılığının belirlenmesinde kullanılan mekanik parametrelerdendir. Plastik limit ve likit limit değerlerinin yüksek olması toprakların yağışların neden olduğu fazla su karşısında hareket etme olasılığını azaltmakta diğer bir deyişle toprakların erozyona karşı dayanıklılığının yüksek olması anlamına gelmektedir (Stanchi et al., 2016). Bu nedenle Atterberg limitleri toprak bilimcileri tarafından temel toprak özelliği olarak da kabul edilmektedir. Örneğin Seybold et al. (2008) ve

Keller and Dexter (2012), Atterberg limitlerini (özellikle likit limit ve plastik limiti), sıkışma ile yakından ilişkili olan toprakların mekanik davranışlarının anlaşılmasında son derece önemli bir özellik olarak belirtmişlerdir. Benzer olarak (Stanchi et al., 2016), toprak kıvamının toprak fiziksel kalitesinin uygun bir göstergesi olduğunu bildirmiştir.

Toprakların penetrasyon direnci ile nem içeriği arasındaki ilişkiler uzun zamandan beri incelenmiş ve genel olarak nem içeriğindeki artışa bağlı olarak penetrasyon direncinin düşme eğilimi gösterdiği bildirilmiştir (Bayat et al., 2017) (Şekil 4). Toprak nem içeriği ile penetrasyon direnci arasındaki yakın ilişki, elbette toprak tane büyüklük dağılımı ve özellikle kil içeriği ile yakından ilişkilidir (Van den Akker and Schjonning, 2004). Toprak nem içeriğinin kil tipi ve oransal miktarı üzerinden toprak mekanik davranışlarını etkilemesi, kıvam limitleri ile penetrasyon direnci arasındaki ilişkileri de araştırma gerekliliği sonucunu doğurmuştur.



Şekil 4. Nem içeriği ile penetrasyon direnci arasındaki ilişki

İki veya daha fazla değişkenin birbirleri arasındaki ilişkileri doğrudan ve dolaylı şekilde görmemizi sağlayan analize path analizi denilmektedir. Bir toprak özelliği üzerinde etkili olan parametrelerin birbirlerini de etkileyebileceği göz önünde bulundurulduğunda path analizinin toprak özellikleri arasındaki ilişkilerin doğru bir şekilde belirlenmesinde uygun bir yöntem olduğu düşünülmektedir. Söz konusu yöntemin toprak biliminde kullanıldığı çalışmalarda, Turgut, B., (2010) toprak penetrasyon direncinde etkili olan özelliklerin doğrudan ve dolaylı etkilerini belirlerken, Gonzales et al., (2019) toprağın fosfor içeriğinde etkili olan toprak

özelliklerinin ve Dong et al, (2019) toprağın su tutma kapasitesi üzerinde etkili olan toprak özelliklerinin doğrudan ve dolaylı etkilerini belirlemişlerdir.

Bu çalışma, toprakların penetrasyon direnç değeri, Atterberg limitleri, tane büyüklük dağılımı, agregat stabilitesi, agregatlaşma oranı, nem içeriği ve organik madde içeriği gibi temel özelliklerin toprak derinliğine bağlı olarak değişiminin belirlenmesi, bu özellikler arasındaki ilgisimlerin ortaya konulması, penetrasyon direnç değerlerinde ve Atterberg limitlerinde etkili olduğu düşünülen toprak özelliklerinin doğrudan ve dolaylı etki katsayılarının hesaplanması amacıyla yürütülmüştür.

1.2 Literatür Çalışması

Toprak üç boyutlu bir sistem olduğundan düşey doğrultuda da değişkenlik göstermektedir. Başta toprak oluş süreçleri ile erozyon ve yıkanma, gibi dış etmenler toprak özelliklerinin profil boyunca değişkenlik göstermesine neden olmaktadır. Bu konuda yapılmış olan çalışmalar ağırlıklı olarak tane büyüklük dağılımı, organik madde ve toprağın strüktürel yapısını konu etmektedir. Tane büyüklük dağılımının toprak derinliği boyunca değişiminin incelendiği çalışmalarda iklim ve topografyaya bağlı olarak genellikle yüzey tabakasındaki kil içeriğinin alt toprak tabakalarından daha düşük olduğu ve birikim zonu olan B horizonunda daha yüksek değerler aldığı bildirilmiştir (Gürsoy ve Dengiz, 2018; Öztaş ve Canpolat, 1997; Aydın ve Kayam, 2014).

Toprak organik maddesinin temel kaynağının vejetasyon örtüsü oluşturmaktadır (Baldock and Nelson, 2000; Karaman vd., 2012). Bitki kalıntıları ağırlıklı olarak toprakların yüzey tabakasında bulunmaktadırlar. Bu durum orman ve mera alanlarında toprak organik madde içeriğinin yüzey tabakalarında daha yüksek değerler almasına neden olmaktadır (Maillard et al., 2019, Ghimire et al., 2019). Toprak işlemeli tarım yapılan alanlarda ise organik maddenin hızlı ayrışması sonucu genellikle üst toprak tabakasındaki organik madde içeriği daha düşük olmaktadır.

Toprak derinliği boyunca değişiklik gösteren bir diğer özellik ise strüktürdür. Toprağın strüktürel durumunun ifade edilmesinde kullanılan agregatlaşma ve stabil agregatların oranı gibi özellikler tane büyüklük dağılımı ve organik madde ile yakından ilişkilidir (Duiker et al., 2003; Bronick and Lal, 2005). Toprak derinliği

boyunca bu özelliklerde meydana gelen değişimler, yıkanma-birikme süreçleri, ıslanma-kuruma ve donma-çözölme döngülerindeki farklılıklar strüktürel değerlendirme kriterlerinin derinlik kademeleri boyunca değişiklik göstermesine neden olmaktadır.

Toprak sıkışması hem tarımsal üretim alanlarında ürün kaybına neden olduğu için ve hem de toprağın ekosistem içerisindeki fonksiyonlarını olumsuz yönde etkilediği için son zamanlarda yaygın olarak çalışılmaktadır. Bu çalışmaların bir kısmı toprak sıkışmasına neden olan etkenleri konu ederken diğer bir kısmı ise toprak sıkışmasında etkili olan toprak özelliklerini incelemiştir.

Toprak sıkışmasında etkili olan dış etkenleri konu eden çalışmalar genellikle tarım, mera ve orman alanlarında yürütölmüştür. Tarım alanlarında yapılan çalışmalarda ağırlıklı olarak tarla trafiğinin etkileri incelenirken (Lima et al., 2017; Barik vd., 2014; Chan et al. 2006), mera alanlarında otlatma sayısı ve yoğunluğunun (Rakkar and Blanco-Canqui 2018; Pulido et al. 2017; Li et al., 2008) ve orman alanlarında ise üretim ve bölmeden çıkarma işlemlerinin etkileri (Picchio et al., 2012) araştırılmıştır.

Tarla trafiğinin toprak sıkışmasına etkisinin incelendiği bir araştırmada, tüm tekstür sınıflarında penetrasyon direncinin geçiş sayısına bağlı olarak artış gösterdiği ve artış oranının kil tekstür sınıfında daha yüksek olduğu ortaya konulmuştur (de Lima et al., 2017). Bu konuda yapılmış diğer bir çalışmada ise tarla trafiğine bağlı olarak penetrasyon direncinin arttığı ve artış oranının 0-10cm derinlikte daha fazla meydana geldiği belirlenmiştir (Barik vd., 2014). Bunlara benzer yapılan bir diğer çalışmada ise Chan et al. (2006) tarım alanlarındaki traktör trafiğine bağlı olarak 0.05-0.10 cm lik toprak profilinde penetrasyon direncinin 2000 kPa' dan büyük olduğunu bildirmişlerdir (Chan et al., 2006).

Otlatma yoğunluğunun toprak sıkışmasına etkilerinin incelendiği çalışmalarda toprağın 0-25cm'lik üst tabakasının otlatma sürecinden daha fazla etkilendiği (Rakkar and Blanco-Canqui, 2018), otlatma yoğunluğunun penetrasyon direnç değerlerini arttırdığı ve bitki kök gelişimini engellediği (du Toit et al., 2009) bildirilmiştir.

Ormancılık üretim uygulamalarındaki en önemli işlemlerden biri olan bölmeden çıkarma uygulamasının toprak özellikleri üzerine etkilerinin incelendiği bir çalışmada, penetrasyon direncinin ve hacim ağırlığının söz konusu uygulamadan sonra %147 oranında artış gösterdiği belirlenmiştir (Perugini et al., 2016). Bu konuda yapılmış diğer çalışmada ise hasat işlemlerinde kullanılan ağır ekipmanların killi tekstür sınıfındaki orman topraklarının penetrasyon direnç değerlerinde önemli oranda artışa neden olduğu belirlenmiştir (Ampoorter et al. 2010), Araştırmacılar hasat işlemlerinin yanı sıra silvikültürel uygulamaların da toprak sıkışmasında etkili olduğu ve söz konusu uygulamaların penetrasyon direncini %50 oranında arttırdığını bildirmişlerdir (Picchio et al., 2012).

Toprak penetrasyon direnci ile diğer toprak özellikleri arasındaki ilişkilerin incelendiği çalışmalarda, ağırlıklı olarak tane büyüklük dağılımı, organik madde içeriği, nem içeriği ve toprak derinliği ile penetrasyon direnci arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Tane büyüklük dağılımı ve toprak derinliğinin penetrasyon direnci üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada killi tınlı ve tınlı topraklarda derinlik kademesindeki artışa bağlı olarak penetrasyon direncinde de bir artış olduğu belirlenmiştir (Kilic vd., 2004). Tane büyüklük dağılımının penetrasyon direnci üzerine etkisinin araştırıldığı diğer bir çalışmada, nem içeriği aynı olmak koşuluyla kil içeriğindeki artışa bağlı olarak penetrasyon direncinin de arttığı gözlemlenmiştir (Vaz et al., 2011).

Organik madde içeriği ile penetrasyon direnci arasındaki ilişkinin incelendiği çalışmalarda, topraklara kademeli olarak ilave edilen organik maddenin toprakların penetrasyon direncinde ve kütle yoğunluğunda azalmaya neden olduğu görülmüştür (Stock and Downes, 2008; Celik vd., 2010).

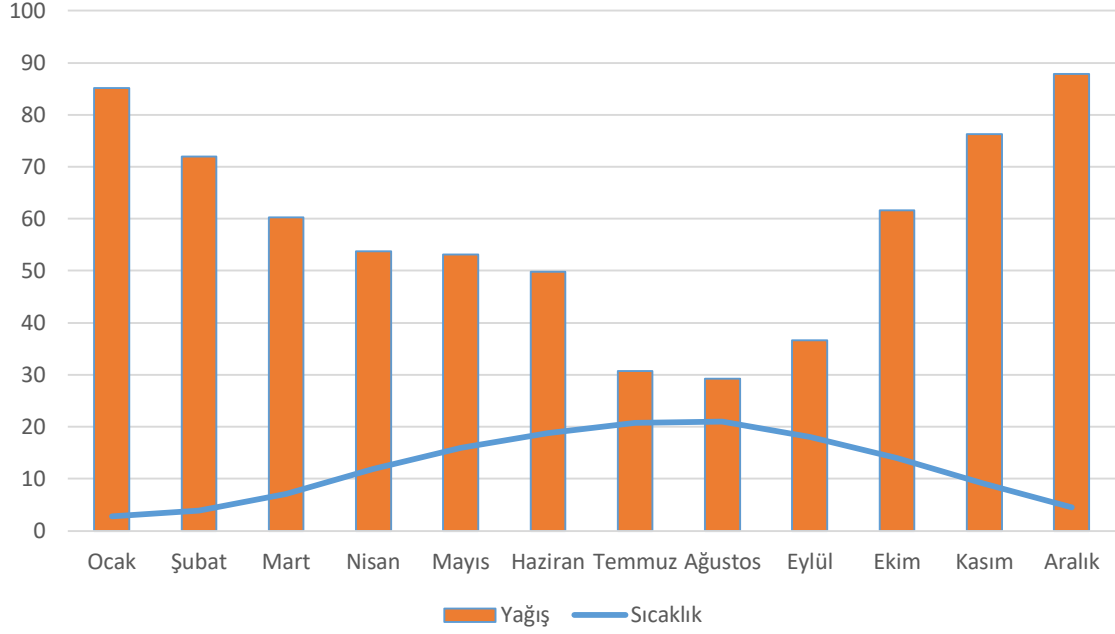
Penetrasyon direnci ile agregat stabilitesi arasındaki ilişkilerin incelendiği çalışmalarda agregat stabilitesi ile penetrasyon direnci arasında negatif korelasyon olduğu (Turgut ve Öztaş, 2012) ve tarla trafiği uygulamalarından sonra agregat stabilitesi değerindeki azalmaya bağlı olarak penetrasyon direncinde de artış görüldüğü belirlenmiştir (Barik vd., 2014).

Toprak neminin penetrasyon direnci üzerindeki etkilerinin belirlendiği çalışmalarda toprak nemindeki azalmaya bağlı olarak penetrasyon direnç değerlerinin 491 kPa'

dan 3370 kPa yükseldiği (Lin, He and Chen, 2016), (toprakların nem içeriğindeki artışa bağlı olarak penetrasyon direnç değerlerinin azaldığı (Şeker, 1999) ve benzer olarak toprakların gravimetrik nem içeriği ile penetrasyon direnci arasında negatif korelasyon olduğu (Gülser ve Candemir, 2012) belirlenmiştir

Toprakların kıvam limitlerini konu alan çalışmalarda genellikle tane büyüklük dağılımı ve organik maddenin etkileri incelenmiştir. Tane büyüklük dağılımı ile kıvam limitleri arasındaki ilişkilerin incelendiği bir çalışmada, toprakların likit limit ve plastik limit ile kil içeriği arasında pozitif, kum içeriği ile negatif bir ilişki olduğu belirlenmiştir (Aksakal, vd., 2013) Akay ve Gundogan, 2015 ise yaptıkları çalışmada toprakların kil minerallerindeki artışa bağlı olarak likit limit ve plastik limit değerlerinin de artış gösterdiğini belirlemişlerdir. Yapılan başka bir çalışmada araştırmacılar toprakların kil içerikleri ile kıvam limitleri arasında pozitif korelasyon olduğunu belirtmişlerdir (Spagnoli et al., 2018). Kıvam limitleri ile organik madde içeriği arasındaki ilişkilerin incelendiği çalışmalarda Gülser ve Candemir, (2006) toprakların organik madde içeriğindeki artışı bağlı olarak likit limit ve plastik limit değerlerinin de artış gösterdiğini belirlemişlerdir, benzer olarak Öztaş ve Canpolat (1997) organik madde ile kıvam limitleri arasında pozitif ilişki olduğu belirlemişlerdir. Organik maddenin kıvam limitlerine etkisinin araştırıldığı bir diğer çalışmada farklı yöntemlerle organik maddenin uzaklaştırılmasıyla plastiklik indeksi değerlerinin düştüğü görülmüştür (Zentar et al., 2009). Stanchi et al. (2017) organik maddenin ve buna bağlı olarak agregatlaşmanın kıvam limitleri üzerine etkisini incelediği çalışmada topraktaki agregat oranının artmasına bağlı olarak likit limit ve plastiklik indeksi değerlerinde de artış olduğunu görmüştür. Organik madde ilavesinin kıvam limitlerine etkilerinin incelendiği bir çalışmada diyatomin ilavesinin likit limit ve plastik limit değerlerini önemli seviyede arttırdığı belirlenmiştir (Aksakal vd., 2013), benzer bir çalışmada ise toprağa farklı dozlarda pirinç kabuğu külünün uygulanması sonucu likit limit ve plastik limit değerlerinde istatistik anlamında önemli derecede artış meydana geldiği bildirilmiştir (Qu et al., 2014). Kıvam limitlerinin toprak profili boyunca değişiminin incelendiği bir çalışmada, üst toprak horizonlarında likit limit ve plastik limit değerlerinin daha yüksek değerler aldığı ve alt horizonlara doğru gidildikçe bu değerlerin azaldığı belirlenmiştir (Stanchi et al., 2016).

yağışın en fazla olduğu ay 87,9 mm ile aralık ayında en düşük yağışın yaşandığı ay ise 29,3 mm ile ağustos ayıdır (Şekil 6).



Şekil 6. Sıcaklık-Yağış Grafiği

2.1.3 Bitki Örtüsü

Yaklaşık on yıl öncesine kadar tarımsal üretim alanı olarak kullanılan çalışma alanı şuanda çayır bitki örtüsü ile kaplıdır. Eğimi 0-2,5 % arasında olan alanda bitki kompozisyonunu ağırlıklı olarak çayır üçgülü (*Trifolium pratense* L), kılçıksız brom (*Bromus İnermis*) ve yonca (*Oxalis Acetosella*) bulunmaktadır.

2.2 Yöntem

2.2.1 Toprak Örneklerinin Alınması ve Analizlere Hazırlanması

Çalışma alanı olarak belirlenen mera alanında tesadüfi olarak seçilen 20 noktanın 0-25cm (K_1), 25-50cm (K_2) ve 50-75cm (K_3) derinliklerinden toprak örnekleri alınmıştır. Alınan bu toprak örneklerinin bir kısmı laboratuvara getirilerek nem tayinleri gerçekleştirilmiş, kalan toprak örnekleri ise hava kurusu ortamda kurutulmaya bırakılmıştır. Kuruma işlemi gerçekleştirildikten sonra kesekler kırılmış ve 2 mm elekten geçirilerek analizlere hazır hale gelmiştir.

2.2.2 Yapılan Analizler

Penetrasyon direnç değeri

Toprakların penetrasyon direnç değeri Eijkelkamp tarafından üretilen dijital penetrolger yardımıyla arazide ölçülmüştür (Şekil 7).



Şekil 7. Dijital penetrolger

Nem İçeriği

Çalışma alanından alınan toprakların nem içerikleri fırında kurutma yöntemi ile 105 °C' de kurutularak elde edilmiş ve (1) deki formül ile hesaplanmıştır.

$$P_w = (B - C)100 / (C - A) \quad (1)$$

Burada;

P_w : fırın kuru toprak ağırlığının yüzdesi olarak toprak su miktarı

A: toprak kabının darası

B: dara + ıslak toprak ağırlığı

C: dara + fırın kuru toprak ağırlığı

Tane büyüklük dağılımı

Mera alanından alınan örneklerin tane büyüklük dağılımları (kum, kil, silt,) Bouyoucos hidrometre yöntemi ile belirlenmiştir (Gee and Bauder 1986).

Likit limit

Toprakların likit limit değerlerinin belirlenmesinde Casagrande akışkanlık limit aleti ve 0.42 mm'lik elekten geçirilmiş topraklar kullanılmıştır (Şekil 8). Casagrande aletinde örneklerin akışa geçmeye başladıkları darbe sayısı ve nem içeriğinden yola çıkarak likit limit nem içeriği belirlenmiştir (Demiralay İ., 2011) (Eşitlik 2).

$$LL = w_N (N/25)^{0,12} \quad (2)$$

Burada;

N: tayinde tespit edilen darbe sayısı

w_N tayinde tespit edilen darbe sayısına tekabül eden nem miktarı (sayısal)

$(N/25)^{0,12}$ değerleri tablo 1 de verilmiştir

Tablo 1. Likit limit tayininde kullanılan $(N/25)^{0,12}$ değerleri

N	$(N/25)^{0,12}$	N	$(N/25)^{0,12}$
18	0,961	26	1,005
19	0,968	27	1,0095
20	0,974	28	1,014
21	0,9795	29	1,018
22	0,985	30	1,022
23	0,99		
24	0,995	32	1,030
25	1,000		



Şekil 8. Casagrande aleti

Plastik limit

Toprak örnekleri 0,42 mm elekten geçirildikten sonra düz cam bir levha üzerinde 3mm çapında iplik şekline gelinceye kadar yuvarlayarak plastiklik limit analizi gerçekleştirilmiştir (Demiralay İ., 2011) (Şekil 9).



Şekil 9. Plastik limit belirleme yöntemi

Organik madde içeriği

Toprakların organik madde içerikleri Walkley-Black metodu kullanılarak belirlenmiştir (Schnitzer, 1982).

Agregat stabilitesi

Toprakların agregat stabilitesi değerleri (1-2mm) Yoder tipi ıslak eleme aletiyle belirlenmiştir (Kemper and Rosenau, 1986).

Ageatlaşma oranı

Toprakların ageatlaşma oranları aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (Turgut ve Ateş, 2017).

$$AO = \frac{A_I}{T}$$

Burada: AO , ageatlaşma oranı; A_I ıslak elemde elde edilen toplam ageat miktarı (g); T , ıslak elemde kullanılan toplam toprak miktarı (g)

Kil aktivite indeksi

Toprakların kil aktivite indeksi aşağıdaki eşitlik yardımıyla belirlenmiştir (Wagner, 2013).

$$a_c = \frac{I_p}{CC}$$

Burada; a_c , kil aktivite indeksi; I_p , plastiklik indeksi ve CC kil içeriği

2.2.3 İstatistik Analizler

Araştırmada incelenen toprak özellikleri bakımından tabakalar arasındaki farklılığın belirlenmesinde tek yönlü varyans analizi (ANOVA), farklılıkların tabakalar boyunca dağılımının belirlenmesinde ise Tukey çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır. Araştırmada incelenen özellikler arasındaki doğrusal ilişkilerin belirlenmesinde ilgileşim (korelasyon) analizi kullanılmıştır. Toprakların penetrasyon direnci, plastik limit ve likit limit değerleri üzerinde etkili olan özelliklerin ve bunların etki oranlarının belirlenmesi amacıyla yol (path) analizi uygulanmıştır. Ayrıca teze konu olan söz konusu özelliklerin davranışlarını yakından ilgilendiren ageatlaşma oranı ve ageat stabilitesi üzerinde etkili olan özellikler de yine path analizi yardımıyla belirlenmiştir. Varyans analizi ve ilgileşim analizlerinin yapılmasında SPSS, path analizinin yapılmasında ise AMOS programı kullanılmıştır.

3 BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 İncelenen Özelliklere Ait Tanımlayıcı İstatistikler

Çalışmada incelenen özelliklere ait tanımlayıcı istatistik sonuçları Tablo 2’de verilmiştir. Toprakların kil, kum ve silt içeriklerine ait en düşük değerler sırasıyla %10.15, %13.25, %33.33, en yüksek değerler %51.71, %35.20, %64.88, ortalama değerler ise %23.53, %23.44 ve %53.03 olmuştur. Tane büyüklük dağılımı bakımından değerlendirildiğinde kil içeriği en yüksek değişkenlik katsayısı ile arazideki en heterojen özellik olmuştur.

Toprakların nem içeriklerinin %20.61 ile %46.42 arasında değiştiği ve %28.70’lik bir ortalamaya sahip olduğu belirlenmiştir. Nem içeriğinin standart sapma değeri 4.75 ve değişkenlik katsayısı değeri ise %16.55 olarak hesaplanmıştır.

Organik madde içeriğinin aldığı en düşük değer %0.72 ve en yüksek değer de %4.25 olmuştur, %1.99’luk bir ortalamaya sahip olan organik madde içeriğinin değişkenlik katsayısı ise %52.36 hesaplanmıştır.

Agregatlaşma oranı %55.75 ile %92 arasında bir değişim göstermiş ve %80.20’lik bir ortalamaya sahip olmuştur, agregatlaşma oranının değişim katsayısı %8.10 olarak hesaplanmıştır. Agregat stabilitesi değerleri de %57.60 ile %85.75 arasında değişim göstererek %72.90’lık bir ortalamaya sahip olmuştur, agregat stabilitesi değerlerinin değişim katsayısı ise %8.68 olmuştur.

Çalışma alanındaki penetrasyon direnç değerleri 0.81 ile 2.48 MPa arasında değişmiş, 1.46 MPa ortalamaya ve %29.74 değişkenlik katsayısına sahip olmuştur.

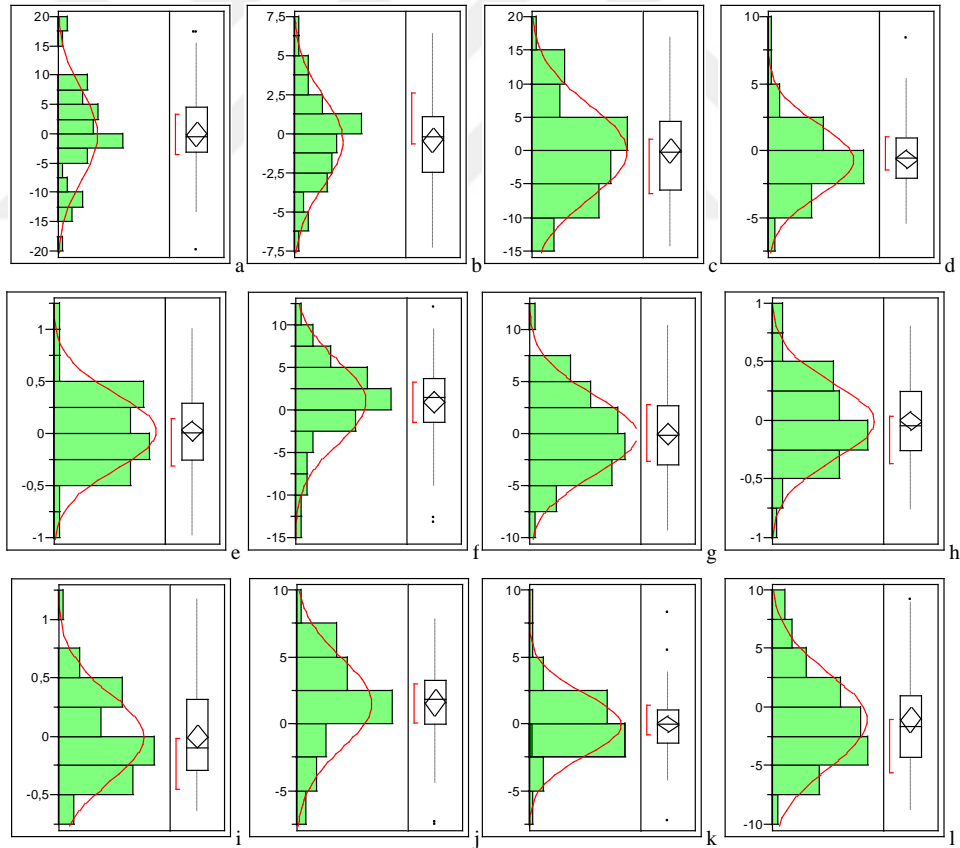
Toprakların kil aktivite indeksi için hesaplanan en düşük değer 0.39 ve en yüksek değer ise 2.87 olmuştur, söz konusu özelliğin değişkenlik katsayısı ise %47.41 olarak hesaplanmıştır.

Plastik limit, likit limit ve plastiklik indeksine ait en düşük değerler sırasıyla 18.52, 49.33 ve 13.80, en yüksek değerler 46.15, 66.76 ve 35.17, ortalama değerler ise 33.88, 56.05 ve 22.17 olarak hesaplanmıştır. Söz konusu özelliklere ait değişim

katsayısı değerleri ise sırasıyla %18.55, %6.98 ve %23.14 olmuştur. Yapılan analiz sonucunda İncelenen özelliklerin tamamı normal dağılım göstermiştir (Şekil 10).

Tablo 2. İncelenen özelliklere ait tanımlayıcı istatistikler

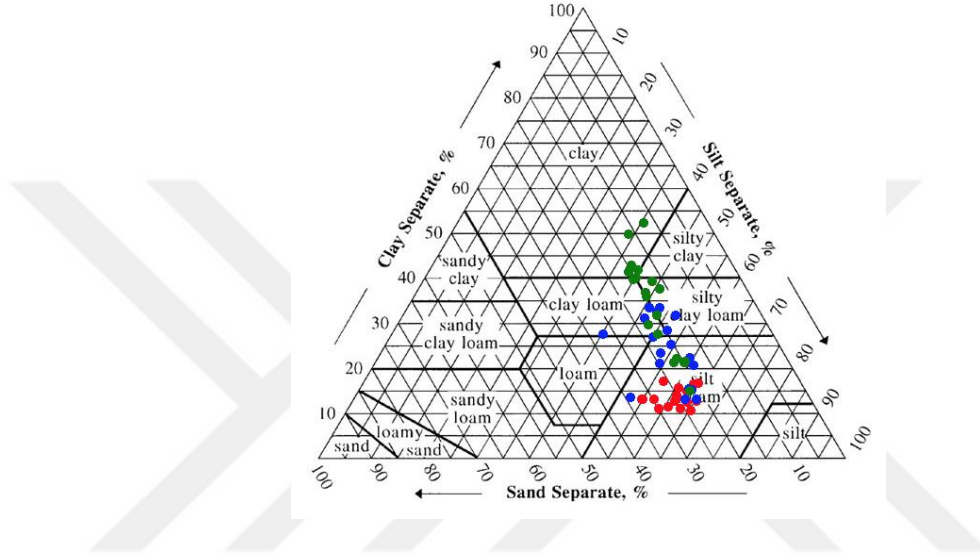
Toprak özelliği	Min	Max	Ort	St. Sap	VK
Kil	10.15	51.71	23.53	11.54	49.06
Silt	33.33	64.88	53.03	9.22	17.39
Kum	13.25	35.20	23.44	4.35	18.57
OM	0.72	4.25	1.99	1.04	52.36
Agregatlaşma oranı	55.75	92.00	80.20	6.49	8.10
Agregat stabilitesi	57.60	85.57	72.90	6.33	8.68
Penetrasyon direnci	0.81	2.48	1.46	0.43	29.74
Kil aktivite indeksi	0.39	2.87	1.16	0.55	47.41
Plastik Limit	18.52	46.15	33.88	6.28	18.55
Likit Limit	49.33	66.76	56.05	3.91	6.98
Plastiklik İndeksi	13.80	35.17	22.17	5.13	23.14



Şekil 10. İncelenen özelliklere ait normal dağılım grafikleri (a. Kil, b. Kum, c. Silt, d. Nem, e. Organik madde, f. Agregatlaşma oranı, g. Agregat stabilitesi, h. Penetrasyon direnci, i. Kil aktivite indeksi, j. Plastik limit, k. Likit limit, l. Plastiklik indeksi

3.2 İncelenen Özellikler Bakımından Çalışma Alanının Genel Değerlendirmesi

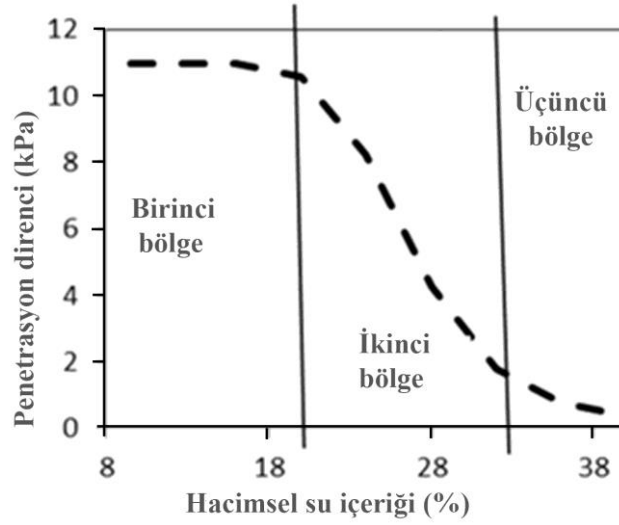
Tane büyüklük dağılımı, toprak fraksiyonlarının (kil, silt, kum) birim toprak kütlesi içerisindeki nispi dağılımı olarak tanımlanmaktadır (Scott, 2000). Her bir örnekleme noktasındaki tane büyüklük dağılımları üzerinden yapılan değerlendirmede çalışma alanındaki hakim tekstür sınıflarının siltli tın, killi tın, siltli killi tın ve kil olduğu görülmüştür (Şekil 11).



Şekil 11. Çalışma alanı topraklarının tekstürel dağılımları

Penetrasyon direnç değeri toprak sıkışma derecesinin ifade edilmesinde kullanılan bir terimdir ve toprağın kendisine karşı uygulanan kuvvete karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanmaktadır (Hillel, 2003). Çalışma alanındaki penetrasyon direnç ölçümleri, alanda şiddetli bir sıkışma sorununun olmadığını göstermiştir.

Toprak nemi toprak tanecikleri arasındaki boşluklarda bulunan nem miktarı olarak tanımlanmaktadır (Kar and Kar, 2016). Çalışma alanındaki toprakların nem içeriklerinin genel olarak yarıyışlılık sınırları içerisinde yer aldığı ve organik madde içeriğinin ise düşük sınıfta yer aldığı belirlenmiştir (Şekil 12).



Şekil 12. Farklı tekstür sınıflarında yarayışlı nem oranları

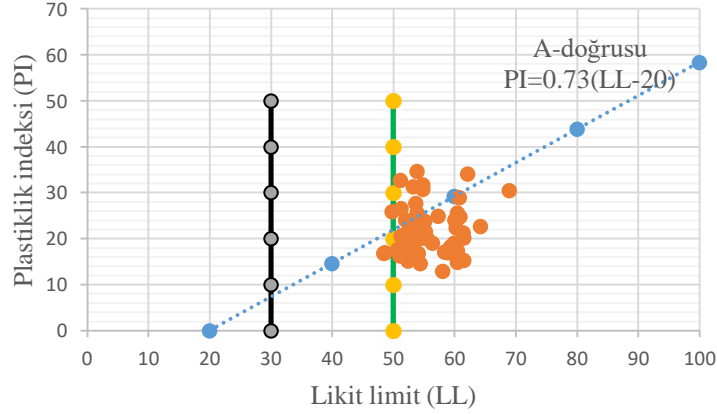
Toprak organik madde içeriği toprak üzerinde veya içinde yaşıyan biyotanın biriken veya ayrışan kalıntıları olarak tanımlanmaktadır (Jat et al., 2018). Çalışma alanındaki toprakların organik madde içeriği bakımından “düşük” sınıfta yer aldığı belirlenmiştir.

Birincil toprak taneciklerinin (kum, kil, silt) birleşmeleri sonucu meydana gelen strüktürel ünitelere “agregat” adı verilmektedir (Karaman vd., 2007). Agregat stabilitesi suyun dispers edici etkisine karşı dayanıklı olan agregatların toplam agregat miktarına oranı olarak tanımlanmaktadır (Karaman vd., 2007), agregatlaşma oranı ise agregatların birim toprak kütlesi içerisindeki oranı olarak tanımlanabilir (Turgut ve Ateş, 2017). Strüktürel değerlendirmede toprakların agregatlaşma oranının ve agregatların suyun dispers edici etkisine karşı direncinin yüksek olduğu görülmüştür.

Kil aktivite indeksi topraktaki kil minerallerinin tipi hakkında bilgi vermektedir. Aktivite indeksi 0.75’in altında olan killer aktif olmayan olarak tanımlanır, indeks değeri 0.75 ile 1.25 arasında olanlar normal ve 1.25’in üzerinde olanlar ise aktif kil olarak tanımlanmaktadır (Wagner, 2013). Genel ortalamalar üzerinden bir değerlendirme yapıldığında 1.16’lık ortalamayla çalışma alanındaki killerin normal aktif sınıfta yer aldığı tespit edilmiştir.

Casagrande’nin oluşturduğu plastiklik grafiğinde örneklerin önemli bir kısmı A-doğrusunun altındaki “yüksek derecede sıkışabilir silt ve organik madde” bölgesinde,

küçük bir kısmı ise A-doğrusunun üstündeki “yüksek derecede plastik kil” bölgesinde yer almıştır (Şekil 13). Dahms and Fritz (1998)’in oluşturduğu referans değerler göz önünde bulundurularak yapılan değerlendirmede çalışma alanı topraklarının “killi yüksek derecede plastik” sınıfında yer almıştır.



Şekil 13. Casagrande plastiklik grafiği

3.3 Ölçüm Noktalarına Ait Penetrasyon Direnç Değerleri

Toprak sıkışma derecesini ifade etmek için kullanılan penetrasyon direnci değerleri penetrologger yardımıyla her bir noktada 80cm’lik toprak profili boyunca 1cm’lik aralıklarla ölçülmüştür. Tablo 3’de her bir örnekleme noktasına ait penetrasyon direnç değerlerinin ortalama, en düşük ve en yüksek değerleri verilmiştir.

Tüm alanda penetrasyon direncinin ilk 50cm’lik derinlikte bitki kök gelişimini olumsuz etkileme düzeyi olan 2 MPa’nın altında olduğu ancak en alt tabakasında penetrasyon direncinin 2 MPa’nın üzerinde değerler aldığı görülmüştür. Diğer bir ifadeyle çalışma alanı topraklarının ilk 50cm’lik derinliğinde bitki kök gelişimini etkileyecek düzeyde bir sıkışma söz konusu değildir.

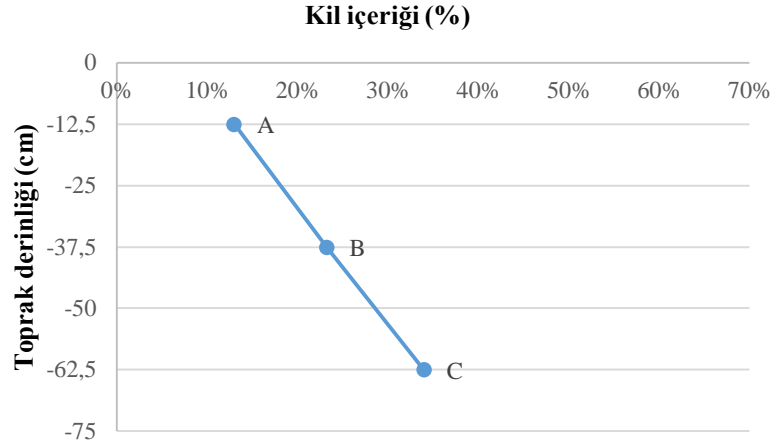
Tablo 3. Örnekleme noktalarına ait penetrasyon direnç değerleri

Örnek No	En düşük (MPa)	En yüksek (MPa)	Cone index değeri
1	0.74	2.22 (K ₃)	1.2
2	0.74	2.87 (K ₃)	0.9
3	1.01	1.58 (K ₃)	1.3
4	0.50	3.02 (K ₃)	1.3
5	0.92	2.56 (K ₃)	1.1
6	0.75	1.95 (K ₃)	1.0
7	0.81	2.51 (K ₃)	1.4
8	0.99	3.17 (K ₂)	1.8
9	0.78	2.96 (K ₃)	1.1
10	0.94	2.60 (K ₃)	1.4
11	0.91	2.96 (K ₂)	1.7
12	1.01	3.19 (K ₃)	1.3
13	0.96	2.98 (K ₃)	1.5
14	0.83	2.04 (K ₃)	1.2
15	0.88	2.79 (K ₃)	1.2
16	0.81	2.96 (K ₃)	1.3
17	0.71	1.88 (K ₃)	1.1
18	0.82	2.15 (K ₃)	1.1
19	0.80	2.62 (K ₃)	1.1
20	0.72	3.0 (K ₃)	1.4

3.4 İncelenen Toprak Özellikleri Bakımından Tabakaların Karşılaştırılması

3.4.1 Kil İçeriğinin Örnekleme Tabakalarındaki Değişimi

Çalışma alanındaki toprakların kil içeriklerinin derinlik kademeleri boyunca artış gösterdiği belirlenmiştir. Bu anlamda en düşük kil içeriğine K₁ tabakasında (%12.98) ve en yüksek kil içeriğine ise K₃ tabakasında (%33.98) rastlanmıştır. Yapılan varyans analizi sonucunda tabakalar arasındaki farklılığın istatistiksel anlamda önemli olduğu (F:36,48; p<0,01) görülmüştür. Çoklu karşılaştırma testi kullanılarak yapılan değerlendirmede kil içeriği bakımından tüm tabakaların farklı gruplarda yer aldığı belirlenmiştir (Şekil 14).



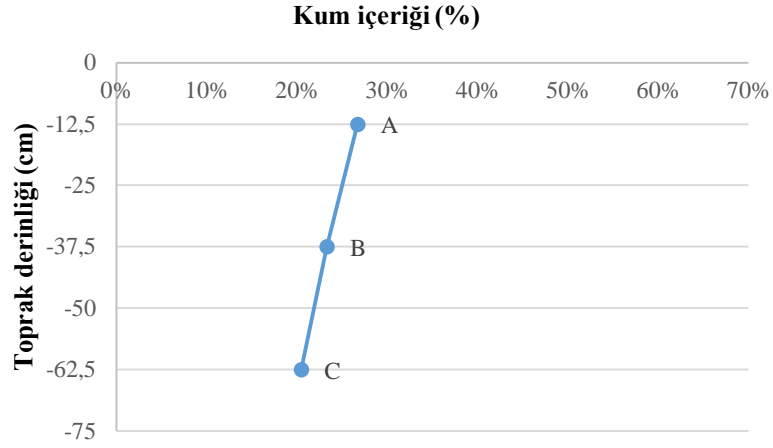
Şekil 14. Kil içeriğinin derinlik kademeleri boyunca gösterdiği farklılık

Bilindiği gibi Fe, Al, organik madde ve kil A horizonundan yıkanarak toprak profilinin daha alt kısımlarında birikim tabakaları oluşturmaktadır (Hillel, 2003). Yıllık yağış miktarının 1000 mm olduğu bir bölgede kil içeriğinin toprak derinliğine bağlı olarak artması beklenen bir durumdur. Tane büyüklük dağılımının toprak profili boyunca değişiminin incelendiği çalışmalarda çalışma bulgularımıza benzer olarak kil içeriğinin toprak derinlik kademelerine bağlı olarak artma eğiliminde olduğu görülmüştür (Gürsoy ve Dengiz, 2018; Öztaş ve Canpolat, 1997; Aydın ve Kayam, 2014).

3.4.2 Kum İçeriğinin Örnekleme Tabakalarındaki Değişimi

Toprakların kum içeriklerinin derinlik kademeleri boyunca farklılık gösterdiği ve bu farklılığın ise istatistiki anlamda önemli olduğu belirlenmiştir (F:26,22; $p < 0,01$). Çoklu karşılaştırma testi sonucunda K_1 tabakası en yüksek kum içeriği ile A gurubunda yer alırken (%27) K_2 tabakası B gurubunda ve K_3 tabakası ise en düşük kum içeriği ile (%20) C gurubunda yer almıştır (Şekil 15).

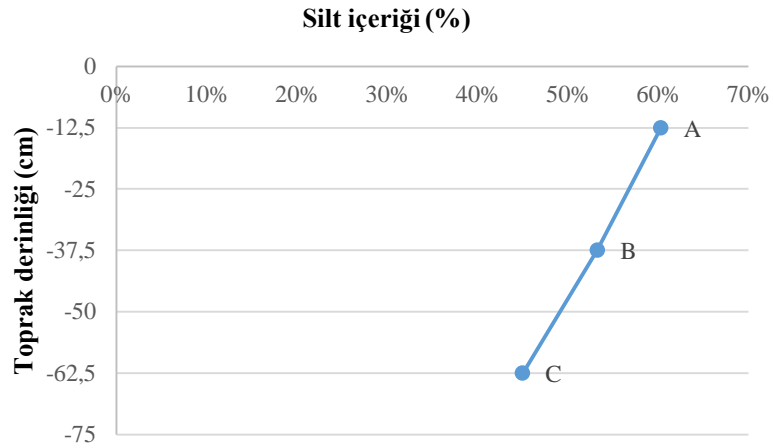
Birim toprak kütlesi içerisinde kil içeriğindeki oransal artışın kum içeriğinde azalmaya neden olacağı bilinmektedir. Bu çalışmada da kil içeriğinin düşük olduğu tabakada kum içeriği yüksek ve kil içeriğinin yüksek olduğu tabakada ise kum içeriği düşük değerler almıştır. Daha önceki yürütülen araştırma sonuçlarında da çalışma bulgularımıza benzer olarak profil boyunca toprakların kum içeriklerinin azalma eğilimi gösterdiği görülmüştür (Aydın ve Kayam, 2014; Öztaş and Canpolat, 1997).



Şekil 15. Kum içeriğinin derinlik kademeleri boyunca gösterdiği farklılık

3.4.3 Silt içeriğinin Örnekleme Tabakalarındaki Değişimi

Çalışma alanı topraklarının silt içerikleri de kum içeriğine benzer bir davranış sergileyerek profil boyunca azalma eğilimi göstermiştir. K_1 tabakasındaki silt içeriği %60.30 ile en yüksek değeri alırken K_3 tabakası %45.54 ile en düşük değeri almıştır. Örnekleme tabakaları arasındaki bu farklılığın istatistiki anlamda önemli olduğu ($F:21,87$; $p<0,01$) ve her bir tabakanın birbirinden farklılık göstererek ayrı guruplarda yer aldığı belirlenmiştir (Şekil 16).

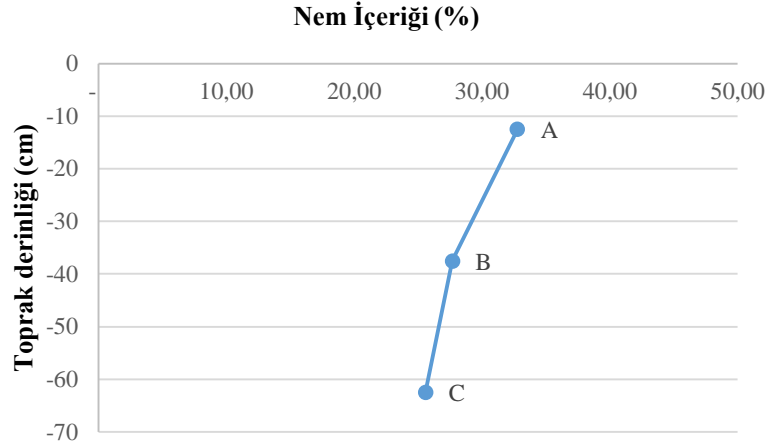


Şekil 16. Silt içeriğinin derinlik kademeleri boyunca gösterdiği farklılık

3.4.4 Toprak Nem İçeriğinin Örnekleme Tabakalarındaki Değişimi

Toprak nem içeriğinin üst toprak tabakasından (K_1) en yüksek değeri aldığı (%30,57), K_2 tabakasından %27,71'e düştüğü ve K_3 tabakasından ise en düşük değeri aldığı

(%25.63) belirlenmiştir. Yapılan varyans analizi sonucunda derinlik kademeleri arasındaki bu farklılığın istatistiki anlamda önemli olduğu (F: 17,39; $p<0.01$) belirlenmiştir. Yapılan çoklu karşılaştırma testi sonucunda nem içeriği bakımından her bir tabakanın farklı guruplarda yer aldığı görülmüştür (Şekil 17).

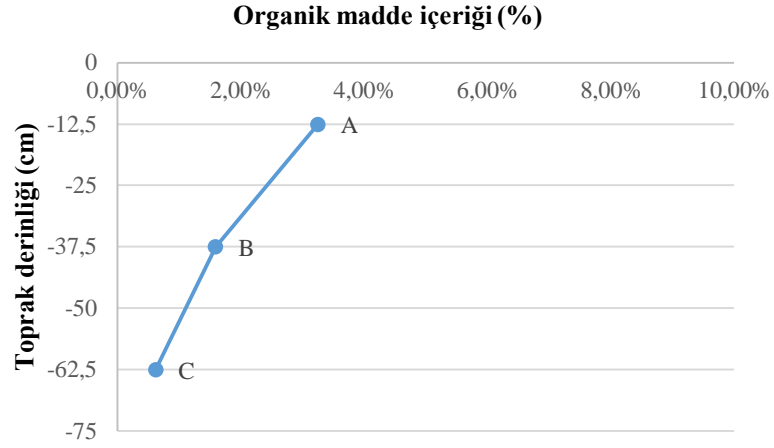


Şekil 17. Nem içeriğinin derinlik kademeleri boyunca gösterdiği farklılık

Nemin toprak profili boyunca değişiminin incelendiği çalışmalarda, derinlik artışına bağlı olarak nem içeriğinin de artış gösterdiği araştırmacılar tarafından bildirilmektedir (Korucu vd., 2007). Bunun en önemli nedeni ise üst tabakaların güneş ışığına maruz kalmasıdır. Ancak örnekleme zamanının bölgedeki yoğun yağışlardan hemen sonraya rastlaması, bu çalışmada üst toprak tabakasındaki nem içeriğinin daha yüksek çıkmasına neden olmuştur.

3.4.5 Organik Madde İçeriğinin Örnekleme Tabakalarındaki Değişimi

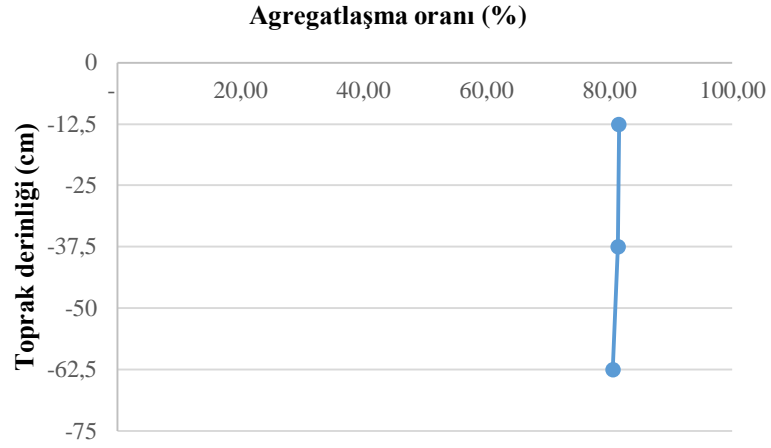
Araştırma alanı topraklarının organik madde içeriklerinin örnekleme tabakalarında farklılık gösterdiği görülmüştür. Organik madde içerikleri üst tabakadan alt tabakaya doğru azalarak sırasıyla %3.25, %1.59 ve %0.62 olmuştur. Organik madde içeriği bakımından örnekleme tabakaları arasındaki bu farklılığın istatistiki anlamda önemli olduğu (F:128,98; $p<0,01$) ve her bir tabakanın diğerlerinden farklılık göstererek ayrı guruplarda yer aldığı belirlenmiştir (Şekil 18).



Şekil 18. Organik madde içeriğinin derinlik kademeleri boyunca gösterdiği farklılık Organik madde içeriğinin üst toprak tabakasında daha yüksek değerler alması genel geçerliliği olan bir durumdur. Bilindiği gibi bitkiler toprak organik maddesinin en önemli kaynağını oluşturmaktadır (Baldock and Nelson, 2000; Karaman vd., 2012). Özellikle mera topraklarında yoğun bitki örtüsünden dolayı bu durum daha belirgin olarak karşımıza çıkmaktadır (Benbi et al., 2015). Çalışma bulgularımıza benzer olarak araştırmacılar, organik madde içeriğinin üst toprak tabakalarında en yüksek değerler aldığını ve toprak profili boyunca azalma eğilimi gösterdiğini bildirmişlerdir (Aydın vd., 1997; Maillard et al., 2019; Demir vd., 2013).

3.4.6 Agregatlaşma Oranı Değerlerinin Örnekleme Tabakalarındaki Değişimi

Araştırma alanındaki toprakların agregatlaşma oranı değerleri derinlik kademesi boyunca azalma eğilimi göstermiştir. K_1 'de en yüksek değer alan (%81.57) agregatlaşma oranı, K_2 'de %81.43'e düşmüş ve K_3 ' te ise en düşük değer (%80.58) almıştır. Yapılan istatistiksel değerlendirmeler sonucunda agregatlaşma oranı bakımından tabakalar arasındaki bu farklılığın istatistiki anlamda önemli olmadığı ($F:0.22$; $p>0.05$) belirlenmiştir (Şekil 19).



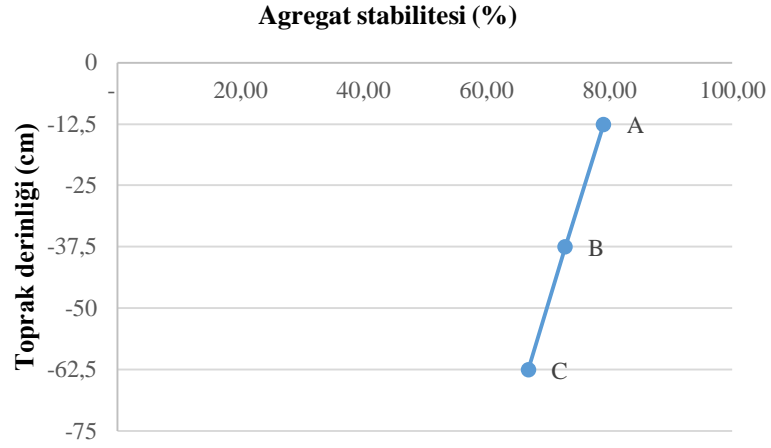
Şekil 19. Agregatlaşma oranı değerlerinin derinlik kademeleri boyunca gösterdiği farklılık

Topraklarda agregat oluşumunda etkili olan iki temel özellik kil içeriği ve organik maddedir (Duiker et al., 2003; Bronick and Lal, 2005). Kil ve organik madde içeriklerinin artmasına bağlı olarak agregatlaşma oranının da artması beklenir ancak araştırma alanında toprak derinliği boyunca kil içeriğinin artma organik madde içeriğinin ise azalma eğiliminde olması agregatlaşma oranının tabakalar boyunca değişimini engellemiştir.

3.4.7 Agregat Stabilitesi Değerlerinin Örnekleme Tabakalarındaki Değişimi

Yapılan analizler sonucunda agregat stabilitesi değerlerinin derinlik kademeleri boyunca azalma eğilimi gösterdiği belirlenmiştir. En yüksek değeri (%79.07) K₁'de alan agregat stabilitesi, K₂'de %72.79'a ve K₃'te ise %66.83'e düşmüştür. agregat stabilitesi bakımından örnekleme tabakaları arasındaki bu farklılığın istatistiki anlamda önemli olduğu (F:49.19; p<0.01) tespit edilmiştir. Çoklu karşılaştırma testi sonucunda her bir tabakanın birbirlerinden farklılık göstererek farklı guruplarda yer aldığı görülmüştür (Şekil 20).

Toprakların strüktürel özelliklerinin toprak organik maddesi ile yakın ilişkili olduğu düşünüldüğünde (Karaman vd., 2007) derinlik kademeleri boyunca organik madde içeriğindeki azalmanın agregat stabilitesi değerlerine yansması beklenen bir durumdur. Araştırmacılar topraklardaki organik madde içeriğinin artmasına bağlı olarak agregat stabilitesi değerlerinin de artma eğilimi gösterdiğini bildirmişlerdir (Mangalassery et al., 2019; Šimanský et al., 2019).

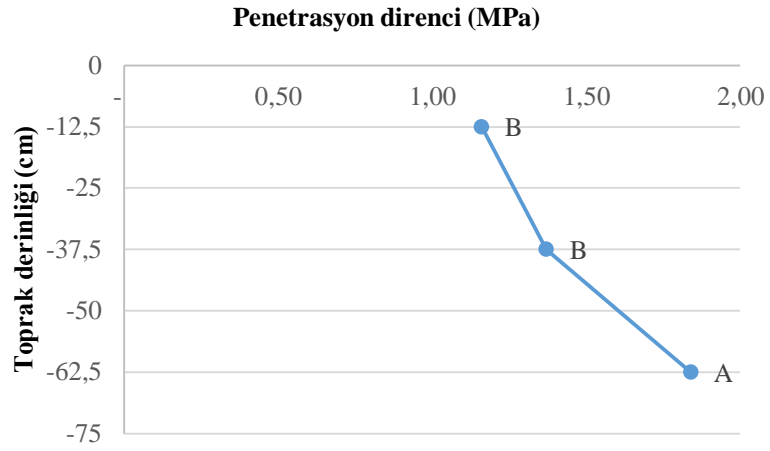


Şekil 20. Agregat stabilitesi değerlerinin derinlik kademeleri boyunca gösterdiği farklılık

3.4.8 Penetrasyon Direnç Değerlerinin Örnekleme Tabakalarındaki Değişimi

Çalışma alanındaki penetrasyon direnç değerlerinin örnekleme tabakaları boyunca değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. Yüzey toprak tabakasında (K_1) penetrasyon direnci'nin en düşük değer aldığı görülmüştür (1.159), derinlik kademesindeki artışa bağlı olarak penetrasyon direnci artmış ve en alt örnekleme tabakasında (K_3) en yüksek değere ulaşmıştır (1.84). Varyans analiz sonuçları penetrasyon direnci bakımından toprak tabakaları arasındaki farklılığın istatistiki anlamda önemli olduğunu ($F:22.7$; $p<0.01$) göstermiştir. Söz konusu farklılığın tabakalar boyunca dağılımının belirlenebilmesi amacıyla yapılan çoklu karşılaştırma testi sonucunda ise penetrasyon direnci bakımından K_1 ve K_2 tabakalarının aynı grupta (B) yer aldığı ancak K_3 tabakasının farklılık göstererek A gurubunda yer aldığı belirlenmiştir (Şekil 21).

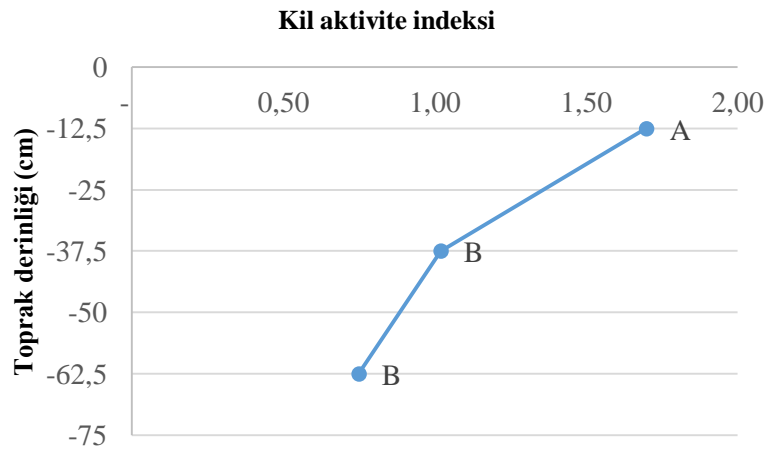
Alt toprak tabakasının sıkışmasında toprak işleme aletlerinin etkisi oldukça önemlidir. Araştırmacılar toprak işleme aletlerinin toprak profilinin 20-50cm'lik tabakasında bir sıkışmış tabaka oluşumuna neden olduğunu bildirmektedirler (Barik vd., 2014). Ancak çalışma alanımızda toprak işleme uygulamalarının uzun zamandır yapılmamış olması alt tabakasındaki sıkışmaya toprağın kendi ağırlığının neden olduğu düşünülmektedir. Araştırmacılar toprak işleme uygulamalarının olmadığı alanlarda penetrasyon direnç değerlerinin profil boyunca artış gösterdiğini bildirmişlerdir (Turgut vd., 2015).



Şekil 21. Penetrasyon direnç değerlerinin derinlik kademeleri boyunca gösterdiği farklılık

3.4.9 Kil Aktivite İndeksinin Örnekleme Tabakalarındaki Değişimi

Toprakların kil aktivite indeksleri örnekleme tabakalarında farklılık göstermiştir. K_1 'de en yüksek değeri alan indeks (1.70) K_2 'de 1.02'ye ve K_3 'te ise 0.75'e düşmüştür. Kil aktivite indeksi bakımından örnekleme tabakaları arasındaki bu farklılık istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur. Söz konusu farklılığın tabakalar boyunca değişimi incelendiğinde ise K_1 'in diğer iki tabakadan farklı olarak A gurubunda K_2 ve K_3 'ün ise B gurubunda yer aldığı görülmüştür.

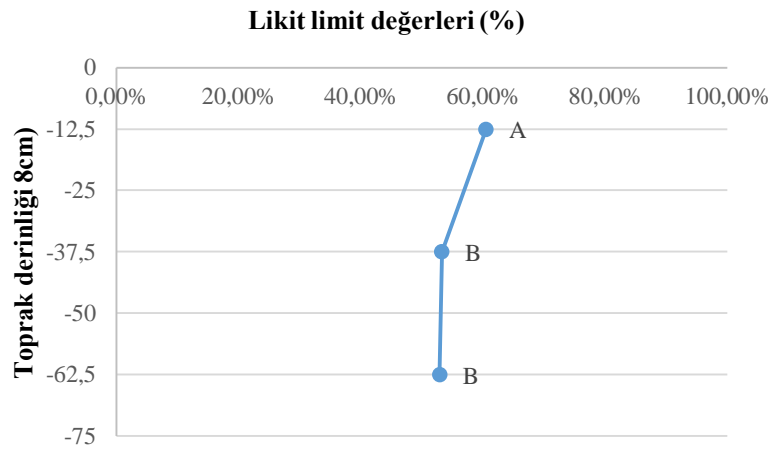


Şekil 22. Kil aktivite indeksi değerlerinin derinlik kademeleri boyunca gösterdiği farklılık

Aktivite indeksi hesaplamasında kullanılan formülde paydayı oluşturan kil içeriğinin derinlik kademeleri boyunca yükselme eğilimi göstermesi kil aktivite indeksinin düşmesine neden olmuştur.

3.4.10 Likit Limit Değerinin Örnekleme Tabakalarındaki Değişimi

Çalışma alanında incelenen diğer toprak özellikleri gibi likit değerleri bakımından örnekleme tabakaları farklı değerlere sahip olmuştur. Likit limit değerleri K₁ tabakasında en yüksek değeri almış (%60,52) düşme eğilimi göstererek K₂ tabakasında %53,28 ve K₃ tabakasında ise %52,63 olmuştur. Yapılan varyans analizi sonucunda likit limit değerleri bakımından örnekleme tabakaları arasındaki farklılığın istatistiksel anlamda önemli olduğu belirlenmiştir (F:68,33; p<0,01). Çoklu karşılaştırma testi sonucunda ise K₁ tabakasının diğer tabakalardan farklı olduğu, K₂ ve K₃ tabakaları arasında ise farklılık olmadığı belirlenmiştir (Şekil 23). Çalışma bulgularımıza benzer olarak Stanchi et al (2017) plastik limit ve likit limit değerlerinin üst toprak tabakalarında yüksek değerler aldığı ve derinlik artışına bağlı olarak azalma eğiliminde olduğunu bildirmiştir.

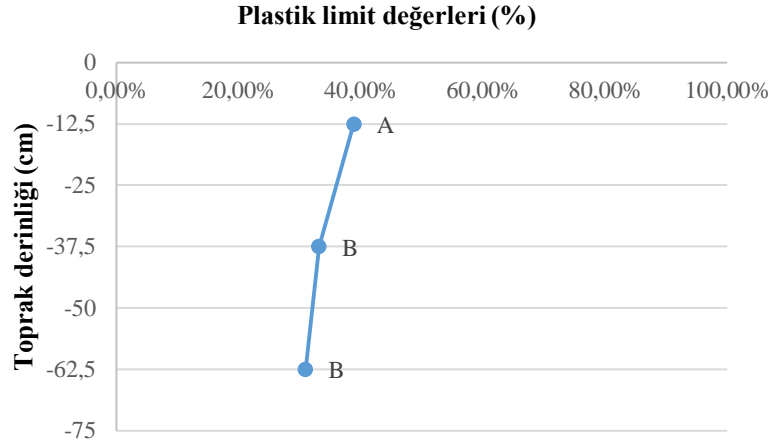


Şekil 23. Likit limit değerlerinin derinlik kademeleri boyunca gösterdiği farklılık

3.4.11 Plastik Limit Değerinin Örnekleme Tabakalarındaki Değişimi

Plastik limit değeri de likit limit değerine benzer olarak K₁ tabakasında en yüksek değeri almış (%38,85) ve düşme eğilimi göstererek sırasıyla K₂'de %33,17 ve K₃'te ise %30,95 olmuştur. Plastik limit değerlerinin örnekleme tabakaları boyunca göstermiş olduğu bu farklılık istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur (F:14,75;

$p < 0,01$). Çoklu karşılaştırma testi sonucunda K_1 tabakasının diğer tabakalardan önemli seviyede farklılık göstererek A gurubunda yer aldığı, K_2 ve K_3 tabakalarının ise benzer değerler alarak B gurubunda yer aldığı görülmüştür (Şekil 24).

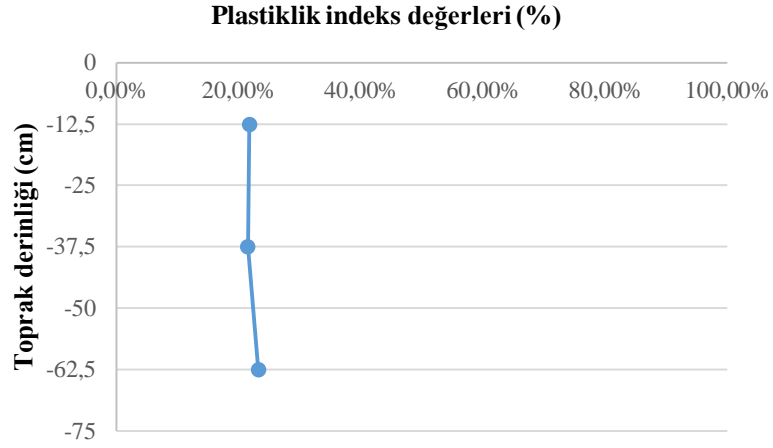


Şekil 24. Plastik limit değerini derinlik kademeleri boyunca gösterdiği farklılık

Atterberg limitleri, tane büyüklük dağılımı, toprak nemi, agregatlaşma ve organik madde içeriği gibi toprakların temel fiziksel ve kimyasal özelliklerinden etkilenen bir mekaniksel davranış ölçütüdür (Scott, 2000). Söz konusu toprak özelliklerinin derinlik kademelerinde farklılık göstermesi plastik limit değerlerinin de bu tabakalarda farklı değerler almasına neden olmuştur.

3.4.12 Plastiklik İndeksi Değerinin Örnekleme Tabakalarındaki Değişimi

Plastiklik indeksi değerlerinin örnekleme tabakaları boyunca gösterdiği farklılık istatistiki anlamda önemli olmamıştır ($F:0.64$; $p > 0.05$). En yüksek plastiklik indeksi değeri K_3 tabakasında (23.22) ve en düşük ise K_2 tabakasında (21.49) hesaplanmıştır (Şekil 25).



Şekil 25. Plastiklik indeksi değerlerinin derinlik kademeleri boyunca gösterdiği farklılık

3.5 İncelenen Toprak Özellikleri Arasındaki İlişkiler

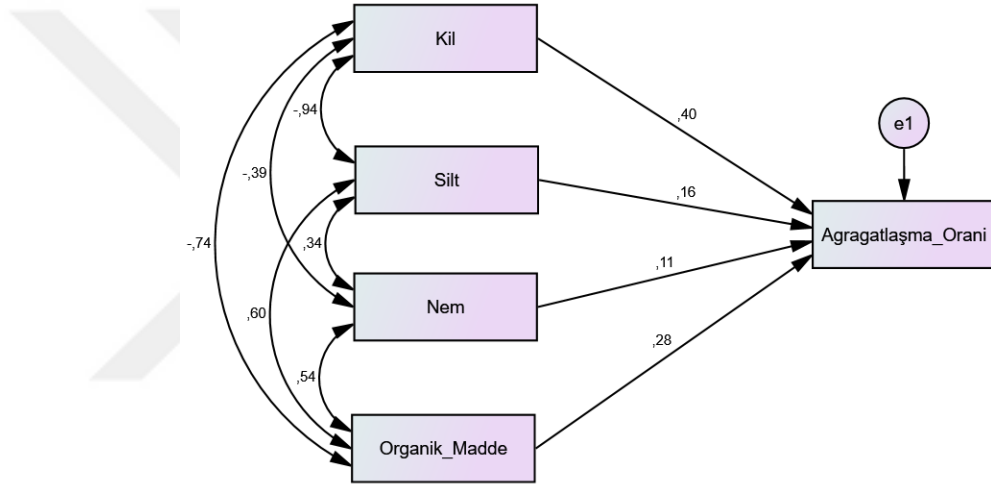
Araştırmada incelenen toprak özellikleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesinde kullanılan ilgileşim analizi ve path analizi sonuçları aşağıda sıralanmıştır. Yapılan değerlendirmelerde ilgileşim analizi sonucunda elde edilen doğrusal ilişkiler ile path analizinde elde edilen ilişkilerin farklılık gösterdiği görülmüştür. Path analizinde değişkenlerin birbiri üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkileri ilişkilerin açıklanması ve anlaşılması noktasında çok önemli bir avantaj sağlamaktadır.

3.5.1 Agregatlaşma Oranı Üzerinde Etkili Olan Toprak Özellikleri

Path analizi sonucunda iki temel sonuç elde edilir, bunlardan birincisi bağımlı değişken üzerinde etkili olan bağımsız değişkenler arasındaki ilgileşim (korelasyon) analizi sonuçları ve ikincisi ise bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etki oranlarıdır. Bu çalışmada Path analizi sonucunda karşımıza çıkan ilk önemli sonuç incelenen özellikler arasındaki korelasyonlar olmuştur. Analizdeki en yüksek korelasyon katsayısı beklenildiği gibi kil içeriği ile silt içeriği arasından elde edilmiştir (-0.94). Kil içeriği ile organik madde içeriği arasındaki korelasyon katsayısı -0.74 olmuştur, diğer bir deyişle torakların kil içeriğindeki artışına bağlı olarak organik madde içeriğinin azalma eğiliminde olduğu görülmüştür. Diğer bir önemli korelasyon silt içeriği ile organik madde içeriği arasında gerçekleşmiştir, kil içeriğinin tersi olarak silt içeriğindeki artış organik madde içeriğinde de artışa neden

olmuş ve ikinci en yüksek korelasyon katsayısına sahip olmuştur (0.60). Toprakların organik madde içeriği ile nem içeriği arasındaki olumlu korelasyon ise göze çarpan bir diğer ilişkidir. Organik madde içeriğindeki artışa bağlı olarak nem içeriği de artmış ve 0.54'lük bir katsayıya sahip olmuştur.

Path analizinden elde edilen ikinci sonuç ise agregatlaşma oranını etkileyen özelliklerin etki oranlarıdır. Araştırma alanı topraklarının agregatlaşma oranı üzerinde etkili olan en önemli özelliğin kil içeriği olduğu belirlenmiştir (0.40). Agregatlaşma oranını olumlu yönde etkileyen kil içeriğini sırasıyla silt içeriği (0.16) ve nem takip etmiştir (0.11) (Şekil 26).

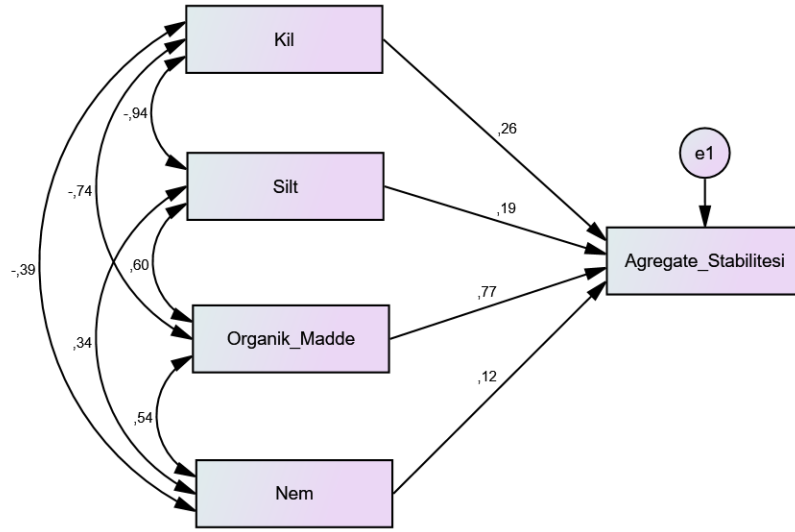


Şekil 26. Agregatlaşma oranına etki eden toprak özellikleri ve etki katsayıları

3.5.2 Agregat Stabilitesi Üzerinde Etkili Olan Toprak Özellikleri

Toprakların agregat stabilitesi üzerinde etkili olan parametrelerin etki oranlarının belirlenmesinde de agregatlaşma oranındaki özellikler kullanıldığından söz konusu bağımsız değişkenlerin kendi içlerindeki ilişki katsayıları aynı olmuştur. O yüzden bu bölümde yeniden korelasyon analizi sonuçları verilmemiştir.

Path analizi sonucunda toprakların agregatlaşma stabilitesindeki en etkili parametrenin organik madde içeriği (0.77) olduğu belirlenmiştir. Bunu sırasıyla kil içeriği (0.26), silt içeriği (0.19) ve nem içeriği (0.12) takip etmiştir (Şekil 27).

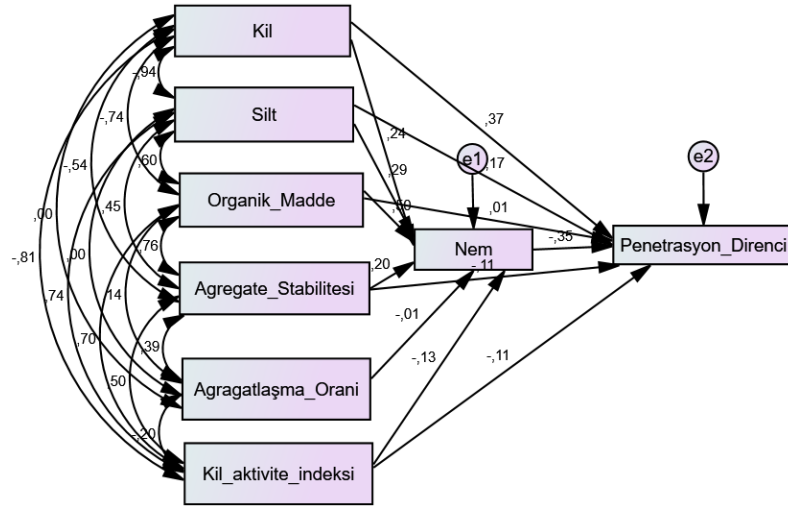


Şekil 27. Agregat stabilitesine etki eden toprak özellikleri ve etki katsayıları

Agregat oluşumunda kil içeriği etkili olurken agregatların suyun dispers edici etkisine karşı direncini organik madde sağlamıştır. Korelasyon analizlerinde agregatlaşma oranı ile ilişkisi çıkmayan kil içeriği, path analizinde agregatlaşma üzerinde en etkili özellik olarak karşımıza çıkmıştır.

3.5.3 Penetrasyon Direnci Üzerinde Etkili Olan Toprak Özellikleri

Toprakların penetrasyon direnci üzerinde etkili olan parametrelerin etki oranları belirlenirken yukarıda yapılan uygulamalardan farklı olarak bağımsız değişkenlerin standardize edilmiş toplam, doğrudan ve dolaylı etkileri belirlenmiştir. Toprak neminin penetrasyon direnci üzerindeki etkisi iyi bilindiğinden diğer özelliklerin nem içeriğinde değişikliğe neden olarak penetrasyon direncini etkileyebileceği düşünülmüş ve model bu öngörüye göre kurgulanmıştır (Şekil 28). Modelde her bir parametrenin penetrasyon direncine doğrudan etkisi ve nem içeriği üzerinden dolaylı etkisi hesaplanmıştır. Path analizinde modelin tutarlılığı Chi-square analizi ile test edilmekte ve olasılık seviyesi (probability level) 0.05'in üzerinde olduğunda modelin tutarlı olduğu sonucuna varılmaktadır. Bu modeldeki olasılık seviyesi 0.244 olarak hesaplanmış ve modelin tutarlı olduğuna karar verilmiştir.



Şekil 28. Penetrasyon direncine etki eden toprak özellikleri ve etki katsayıları

Toprak neminin birçok fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliği etkilediği bilinmektedir (Karaman vd., 2007; Kar and Kar, 2016; Lvova and Nadporozhskaya, 2017), bu çalışmada da penetrasyon direncinin toprak nemi tarafından önemli seviyede etkilendiği path analizi sonucunda görülmüştür. Kuru topraklar, parçacık-parçacık bağlarının kuvvetli olması nedeniyle sıkışmaya karşı daha şiddetli direnç göstermektedirler, nem içeriğindeki artışla birlikte toprak parçacıkları arasındaki bağlar zayıflamakta, dahili sürtünme azalmakta ve böylece topraklar sıkışmaya karşı daha az direnç göstermektedirler (Turgut, 2008). Çalışma bulgularımıza benzer olarak araştırmacılar toprakların nem içerikleri ile penetrasyon direnç değerleri arasında negatif ilişkiler bulmuşlardır (Turgut ve Öztaş, 2012; Bayat et al., 2017; Bayat and Ebrahim Zadeh, 2018; Miller et al., 2018).

Path analizi sonucunda elde edilen toplam etkiler incelendiğinde kil içeriğinin hem nem içeriğini (0.24) hem de penetrasyon direnç değerlerini (0.28) olumlu etkilediği ancak penetrasyon direnç değeri üzerindeki etkisinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Silt içeriği de her iki özellik üzerinde olumlu etkiye neden olurken kil içeriğinden farklı olarak nem içeriği üzerindeki (0.29) etkisi penetrasyon direncine etkisinden (0.07) daha fazla olmuştur. Organik madde içeriğinin nem içeriğinde artışa neden olduğu ve penetrasyon direncinde ise azalmaya neden olduğu ancak toplamda nem içeriği üzerindeki etkisinin (0.50) penetrasyon direncinden (-0.16) daha büyük olduğu görülmüştür. Standardize edilmiş toplam etkiler incelendiğinde agregatlaşma oranının hem nem içeriği hem de penetrasyon direnci üzerindeki

etkilerinin oldukça düşük olduğu görülmüştür. Bunun yanında penetrasyon agregat stabilitesi değerleri ise nem içeriği üzerinde olumlu penetrasyon direnci üzerinde ise olumsuz etkiye sahip olmuştur: Etki katsayıları incelendiğinde ise söz konusu özelliğin nem içeriğine etkisinin (0.20) penetrasyon direncine (-0.18) daha yüksek olduğu görülmüştür. Kil aktivite indeksinin hem nem içeriği hem de penetrasyon direnci üzerindeki etkisinin olumsuz olduğu ve nem içeriği etki katsayısının (-0.14) penetrasyon direncinden büyük olduğu (-0.06) bulunmuştur (Tablo 4).

Tablo 4. Penetrasyon direnci için standardize edilmiş toplam etkiler

	Kil (%)	Silt (%)	Organik madde (%)	Agregatlaşma oranı (%)	Agregat stabilitesi (%)	Kil aktivite indeksi (%)	Nem (%)
Nem	0.24	0.29	0.47	-0.01	0.20	-0.14	-
PD	0.28	0.07	-0.18	0.03	-0.18	-0.06	-0.35

Path analizi sonucunda kil içeriğinin doğrudan penetrasyon direncini artırıcı etkiye sahip olduğu ancak dolaylı olarak da nem içeriğinde artışa neden olarak penetrasyon direncinde azalmaya neden olduğu belirlenmiştir. Modelde kil içeriğinin penetrasyon direnci üzerindeki doğrudan etkisinin (0.37) dolaylı etkisinden (-0.08) daha büyük olduğu belirlenmiştir (Tablo 5). Diğer bir ifadeyle kil içeriğindeki artışın penetrasyon direncini doğrudan arttırması, nem içeriğinde artışa neden olarak penetrasyon direncini dolaylı azaltmasından daha güçlüdür. Path analizi sonucunda silt içeriğinin penetrasyon direncine doğrudan etkisinin (0.17) dolaylı etkisinden (-0.10) daha önemli olduğu belirlenmiştir. Toprağın nem içeriğindeki artışın bir yandan kil minerallerinin şişmesine neden olarak toprağa uygulanan kuvvete karşı göstereceği direnci arttırdığı diğer yandan kum ve silt tanecikleri arasındaki sürtünmeyi en aza indirerek söz konusu direnci azalttığı düşünülmektedir. Çalışma bulgularımıza benzer olarak araştırmacılar toprakların kil içeriğindeki artışa bağlı olarak penetrasyon direnç değerlerinin de artma eğiliminde olduğunu bildirmişlerdir (Lipiec et al., 2018).

Başta toprak taneciklerinin agregatlaşması, gözenek oluşumu ve sürekliliği gibi birçok strüktürel özelliği yakından etkileyen toprak organik maddesi (Bullock, 2005) bu çalışmada da penetrasyon direncini önemli seviyede etkilemiştir. Toprak organik

maddesinin penetrasyon direncini hem doğrudan hem de nem içeriği üzerinden dolaylı olarak düşürdüğü path analizi sonucunda görülmüştür. Ancak organik maddenin dolaylı etkisi (-0.17) doğrudan etkisinden (-0.01) daha yüksek seviyede gerçekleşmiştir (Tablo 5). Toprak organik maddesinin penetrasyon direncine doğrudan etkisinin nedeni onun topraktaki gözenekliliği ve gözeneklerin sürekliliğini arttırmasıdır. Çalışma sonuçlarımıza benzer olarak araştırmacılar penetrasyon direnci ile organik madde içeriği arasında negatif ilişkiler olduğunu tespit etmişlerdir (Stock and Downes, 2008; Turgut, 2008; Celik vd., 2010). Organik maddenin penetrasyon direncini nem içeriği üzerinden dolaylı düşürmesi de beklenen bir sonuçtur. Bilindiği gibi toprak organik maddesi hem kütlesinin 6-7 katı kadar su tutması (Karaman vd., 2007) hem de toprağın strüktürel yapısını iyileştirmesinden dolayı toprağın nem içeriğini arttırmaktadır (Scott, 2000).

Toprakların agregatlaşma oranlarının penetrasyon direncine hem doğrudan hem de dolaylı etkisi çok düşük katsayılarla gerçekleşmiştir. Ancak agregat stabilitesi değerleri farklı bir davranış sergilemiştir. Doğrudan ve dolaylı olarak penetrasyon direncini olumsuz etkileyen AS'nin doğrudan etki katsayısının (-0.11) dolaylı etki katsayısından (-0.07) daha büyük olduğu saptanmıştır (Tablo 5). Toprağın strüktürel durumundaki iyileşmenin penetrasyon direncinde azalmaya neden olması beklenen bir durumdur. Birim toprak kütlesi içerisinde agregatların fazla miktarda olması toprak taneciklerinin daha sıkı bir biçimde paketlenerek sıkışmasına engel olmaktadır (Turgut, 2008). Çalışma bulgularımıza benzer olarak araştırmacılar, toprakların agregatlaşmasına bağlı olarak penetrasyon direnç değerlerinde azalma meydana geldiğini bildirmişlerdir (Barik vd., 2014; Turgut ve Öztaş, 2012).

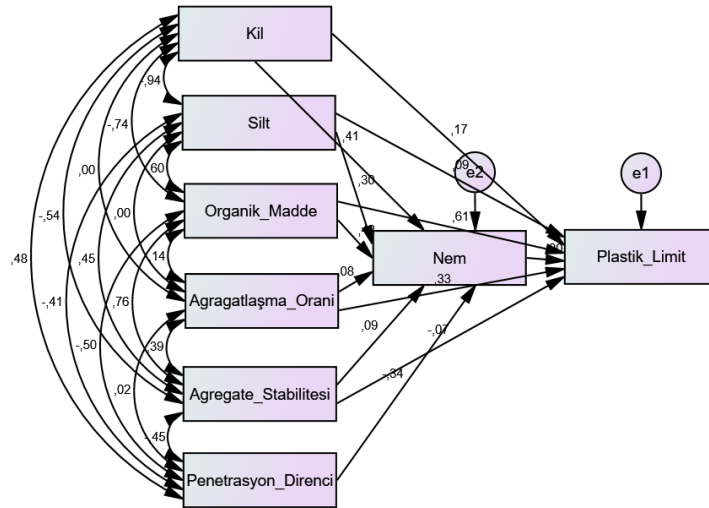
Kil aktivite indeks değerlerinin PD üzerine doğrudan etkisi olumsuz olmuştur (-0.11) ancak nem içeriğinde azalmaya neden olduğundan dolaylı etkisi (0.05) olumlu bulunmuştur (Tablo 5). Kil aktivite indeksinin yüksek olması şişme özelliği gösteren kil tiplerinin varlığına işaret eder (Wagner, 2013). Şişme özelliği gösteren killerin boşluk hacimlerinin fazla olması söz konusu killerin penetrasyon direncinin düşük olmasına neden olmaktadır. Bu nedenle kil aktivite indeks değerinin penetrasyon direnç değerine olumsuz etkisi beklenen bir durumdur.

Tablo 5. İncelenen özelliklerin penetrasyon direnci üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkileri

Standardize edilmiş etkiler	Penetrasyon direnci üzerinde etkili olan bağımsız değişkenler						
	Kil (%)	Silt (%)	Organik madde (%)	Agregatlaşma oranı (%)	Agregat stabilitesi (%)	Kil aktivite indeksi (%)	Nem (%)
Doğrudan etki katsayısı	0.37	0.17	-0.01	0.00	-0.11	-0.11	-0.35
Dolaylı etki katsayısı	-0.08	-0.10	-0.17	0.00	-0.07	0.05	-

3.5.4 Plastik Limit Üzerinde Etkili Olan Toprak Özellikleri

Çalışmada, plastik limit üzerinde etkili olan toprak özelliklerinin etkileri belirlenirken toplam, doğrudan ve dolaylı etkileri ile bir değerlendirme yapılmıştır. Nem içeriğinin hem plastik limit ve hem de diğer özellikler ile önemli seviyede ilişki içerisinde olması, plastik limit üzerindeki dolaylı etkilerin belirlenmesinde nem içeriği değişken olarak kullanılmış ve model buna göre kurgulanmıştır (Şekil 29). Modelde her bir parametrenin penetrasyon direncine doğrudan etkisi ve nem içeriği üzerinden dolaylı etkisi hesaplanmıştır. Modelin Chi-square olasılık seviyesi 0.698 olarak hesaplanmış ve modelin tutarlı olduğuna karar verilmiştir.



Şekil 29. Plastik limit değerlerine etki eden toprak özellikleri ve etki katsayıları

Yapılan path analizi sonucunda belirlenen toplam etki katsayıları incelendiğinde kil ve silt içeriğinin hem nem içeriğini (etki katsayıları sırasıyla 0.41 ve 0.30) hem de plastik limit değerini (etki katsayıları sırasıyla 0.25 ve 0.15) olumlu yönde

etkiledikleri ancak her iki parametrenin de nem içeriği üzerinde daha etkili olduğu belirlenmiştir.

Organik madde ve agregatlaşma oranı ise yine hem nem içeriğini (etki katsayıları sırasıyla 0.42 ve 0.08) hem de plastik limit değerini (etki katsayıları sırasıyla 0.69 ve 0.35) olumlu yönde etkilemiş ancak bu etkiler plastik limit değeri üzerinde daha büyük olmuştur. Agregat stabilitesi değeri nem içeriğini olumlu (0.09) plastik limit değerini (-0.05) ise olumsuz etkilemiş ve etki katsayısı nem içeriğinde daha büyük olmuştur. Penetrasyon direnci değerleri ise hem nem içeriğini (-0.34) hem de plastiklik limit değerlerini (-0.07) olumsuz yönde etkilemiş ve yine etki katsayısı nem içeriğinde daha yüksek olmuştur (Tablo 6).

Tablo 6. Plastik limit değeri ve nem içeriği için standardize edilmiş toplam etkiler

	Kil (%)	Silt (%)	Organik madde (%)	Agregatlaşma oranı (%)	Agregat stabilitesi (%)	Penetrasyon direnci (MPa)	Nem (%)
Nem	0.41	0.30	0.42	0.08	0.09	-0.34	-
Plastik limit	0.25	0.15	0.69	0.35	-0.05	-0.07	0.20

Yapılan path analizi sonucunda toprakların kil içeriklerinin hem doğrudan hem de nem içeriği üzerinden dolaylı olarak plastik limit değerini arttırıcı yönde etki yaptığı görülmüştür. Etki katsayıları incelendiğinde kil içeriğinin doğrudan etkisinin (0.17) dolaylı etkisinden (0.08) daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Silt içeriği de benzer bir davranış göstermiş ve yine plastik limit değerlerine doğrudan ve dolaylı etkileri olumlu olmuştur. Silt içeriğinin doğrudan etki katsayısının (0.09) dolaylı etki katsayısından (0.06) daha yüksek olduğu görülmüştür (Tablo 7). İnce bünyeli toprakların temel fiziksel özelliklerinden biri plastiklik özelliği göstermesidir (Scott, 2000). Genellikle optimum su kapasitesi (en yüksek kuru yoğunluğun elde edildiği nem içeriği) nem içeriğinde killi topraklar kırılmalı bir davranış sergilerler, bunun yanında nem içeriğinin yükselmesiyle plastik bir materyal gibi davranırlar (Hoek and Brown, 1980). Bu nedenle toprağın kil ve silt içeriğinin plastik limit üzerine olumlu etkisi beklenen bir durumdur. Çalışma bulgularımıza benzer olarak araştırmacılar kil içeriğinin plastik limit değerini arttırıcı yönde etki yaptığını belirlemişlerdir (Yakupoglu ve Özdemir, 2006; Stanchi et al., 2017).

Organik madde içeriği, plastiklik limit değeri üzerine doğrudan etki katsayısı en yüksek olan toprak özelliği olmuştur. Doğrudan etki katsayısı 0.61 ve dolaylı etki katsayısı 0.08 olan organik madde içeriği hem doğrudan hem de nem içeriği üzerinden dolaylı olarak plastik limit değerlerini olumlu etkilemiştir (Tablo 7). Toprak organik maddesi toprak içerisinde cereyan eden bir çok fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçte oldukça etkili görevler almaktadır (Rowel, 1993). Özellikle toprakların su tutma kapasitesinin artmasında hem doğrudan hem de agregatlaşma yoluyla dolaylı olarak etkili olmaktadır (Scott, 2000). Casagrande (1948), topraklarda organik madde içeriğindeki artışın plastiklik limit ve likit limit değerlerinde de artışa neden olduğunu öne sürmüştür. Çalışma sonuçlarımıza benzer olarak araştırmacılar organik madde içeriğindeki artışın plastik limit ve likit limit değerlerini olumlu yönde etkilediğini bildirmişlerdir (Yakupoğlu ve Özdemir, 2006; Stanchi et al., 2016; Zentar et al., 2009).

Doğrudan etki katsayısı (0.33) dolaylı etki katsayısından (0.02) belirgin olarak daha yüksek olan bir diğer özellik ise agregatlaşma oranıdır. Agregatlaşma oranı hem dolaylı hem de doğrudan plastik limit değerlerini arttırıcı yönde etkiye sahip olmuştur (Tablo 7). Strüktürel gelişim bakımından toprakların iyi durumda olması, onların su tutma ve havalanma gibi birçok fiziksel özelliğinin de istenilen düzeylerde olması anlamına gelmektedir (Rowel, 1993). Yapışkan toprakların davranışları birçok faktöre bağlıdır ancak en önemlileri onun mineral kompozisyonu, strüktürü ve nem içeriğidir (Jianqiao et al., 2012). Agregat oranının yüksek olması toprakların strüktürel gelişimlerinin de iyi olduğu anlamına gelmektedir. Bu nedenle agregatlaşma oranının plastik limit değerlerini olumlu etkilemesi beklenen bir durumdur. Araştırmacılar çeşitli çimentolayıcılarla güçlü bir strüktürel gelişim gösteren toprakların plastik limit değerlerinin yüksek değerler aldığını bildirmişlerdir (Stanchi et al., 2016).

Agregat stabilitesi ve penetrasyon direncinin plastik limit değerleri üzerindeki etki katsayıları oldukça düşük değerler almıştır (Tablo 7).

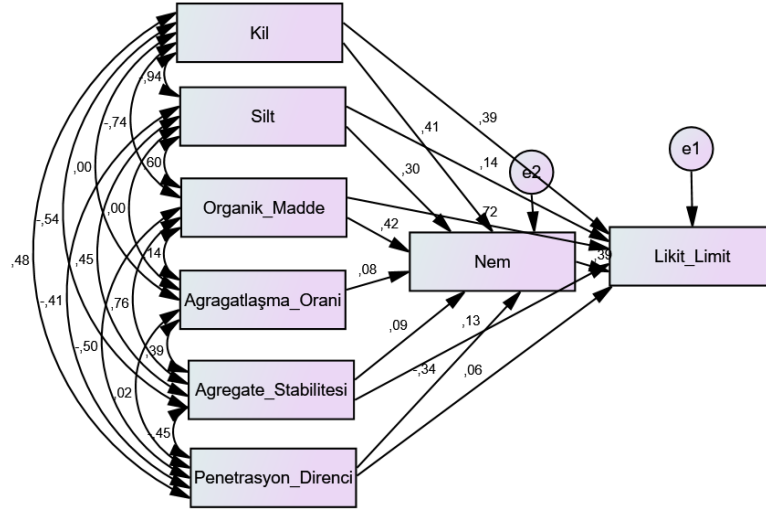
Tablo 7. İncelenen özelliklerin plastik limit değerleri üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkileri

Standardize edilmiş etkiler	Plastik limit üzerinde etkili olan bağımsız değişkenler					
	Kil (%)	Silt (%)	Organik madde (%)	Agregatlaşma oranı (%)	Agregat stabilitesi (%)	Penetrasyon direnci (%)
Doğrudan etki katsayısı	0.17	0.09	0.61	0.33	-0.07	-
Dolaylı etki katsayısı	0.08	0.06	0.08	0.02	0.02	-0.07

3.5.5 Likit Limit Üzerinde Etkili Olan Toprak Özellikleri

Toprakların likit limit değerleri üzerinde etkili olan bağımsız değişkenlerin toplam, doğrudan ve dolaylı etkileri belirlenmiş ve plastik limit modelinde olduğu gibi likit limit modelinde de nem içeriği dolaylı etki değişkeni olarak modelde yer almıştır. Likit limit değeri ile en düşük regresyon katsayısına sahip olan agregatlaşma oranının doğrudan etkisi modelin tutarlılığının hesaplanabilmesi için ihmal edilmiştir. Modelin Chi-square olasılık seviyesi 1.266 olarak hesaplanmış ve modelin tutarlı olduğuna karar verilmiştir (Şekil 30).

Path analizi sonuçları incelendiğinde kil içeriğinin hem likit limit hem de nem içeriğini olumlu yönde etkilediği görülmüştür. Ancak kil içeriği plastik limit modelinden farklı olarak likit limit değerleri üzerinde (0.55) nem içeriğinden (0.41) daha etkili olmuştur. Diğer bir deyişle kil içeriği likit limit değerinde plastik limit değerinden daha etkili olmuştur. Silt içeriğinin nem içeriğine ve likit limit değerlerine etkisi olumlu olmuştur, ancak silt içeriğinin nem içeriğine etki katsayısının (0.30) likit limit değerinden (0.25) daha yüksek olduğu görülmüştür. Toprakların organik madde içerikleri de kil içeriğine benzer bir davranış göstererek hem nem içeriğini ve hem de likit limit değerlerini olumlu yönde etkilemiştir ve yine kil içeriğine benzer olarak bu etki likit limit değeri üzerinde (0.88) nem içeriğinden (0.42) daha yüksek olmuştur.



Şekil 30. Likit limit değerlerine etki eden toprak özellikleri ve aralarındaki etki katsayıları

Plastik limit modelindeki davranışından farklı olarak agregatlaşma oranının nem içeriğine toplam etki katsayısı (0.08) likit limitten (0.03) daha yüksek olmuştur. Diğer bir deyişle agregatlaşma oranı likit limit üzerinde plastik limitten daha az etkilidir. Yine plastik limit modelinden farklı olarak agregat stabilitesi likit limiti olumlu ve nem içeriğinden daha yüksek bir katsayı (0.16) ile etkilemiştir. Penetrasyon direnç değerleri ise diğer özelliklerden farklı olarak hem nem içeriğini hem de likit limit değerlerini olumsuz etkilemiş ve toplam etki katsayıları incelendiğinde nem içeriği üzerindeki olumsuz etkisinin daha yüksek olduğu (-0.34) belirlenmiştir (Tablo 8).

Tablo 8. Plastik limit değeri ve nem içeriği için standardize edilmiş toplam etkiler

	Kil (%)	Silt (%)	Organik madde (%)	Agregatlaşma oranı (%)	Agregat stabilitesi (%)	Penetrasyon direnci (%)	Nem (%)
Nem	0.41	0.30	0.42	0.08	0.09	-0.34	-
LL	0.55	0.25	0.88	0.03	0.16	-0.07	0.39

Likit limit değerini hem doğrudan hem de dolaylı olarak olumlu etkileyen kil içeriğinin doğrudan etki katsayısının (0.41) dolaylı etki katsayısından (0.16) daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Silt içeriği de benzer bir davranış sergilemiş daha küçük etki katsayıları ile hem doğrudan (0.30) hem de dolaylı (0.12) olarak likit limit değerini olumlu etkilemiştir (Tablo 9). Çalışma bulgularımıza benzer olarak araştırmacılar toprakların kil içeriklerinin likit limit değerleri üzerinde etkili

olduğunu bildirmişlerdir (Ball et al., 2000; Stanchi et al., 2016). Plastik limit modelinde olduğu gibi likit limit modelinde de en yüksek etki katsayısına sahip toprak özelliği organik madde içeriği olmuştur. Hem doğrudan hem de dolaylı olarak likit limit değerlerini olumlu etkileyen organik madde içeriğinin doğrudan etki katsayısının (0.72) dolaylı etki katsayısından (0.16) daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Tablo 9). Araştırmacılar organik madde içeriğinin toprakların likit limit değerleri üzerinde etkili olduğunu bildirmişlerdir (Hemmat et al., 2010; Stanchi et al., 2016).

Model oluşturulurken agregatlaşma oranının likit limit üzerine doğrudan etkisi ihmal edilirken dolaylı etkisinin (0.03) olumlu olduğu belirlenmiştir. Agregat stabilitesi değerlerinin likit limit üzerine doğrudan ve dolaylı etkileri olumlu olmuştur, ancak doğrudan etki katsayısının (0.13) dolaylı etki katsayısından (0.03) daha yüksek olduğu path analizi sonucunda saptanmıştır (Tablo 9). Stanchi et al (2016) zayıf strüktürel gelişim gösteren topraklarda likit limit değerlerinin de düşük değerler aldığını bildirmiştir. Toprakların penetrasyon direnç değerlerinin likit limit üzerindeki doğrudan etkisi olumlu iken dolaylı etkisi olumsuz olmuştur. Dolaylı etki katsayısı doğrudan etki katsayısından daha büyük olan penetrasyon direnci likit limitte plastik limitten daha etkili olmuştur (Tablo 9). Ball et al (2000) plastik limit değerleri ile karşılaştırıldığında likit limit değerinin toprakların sıkışabilirlik değerleri ile daha yüksek etkileşim katsayısına sahip olduğunu bildirmiştir.

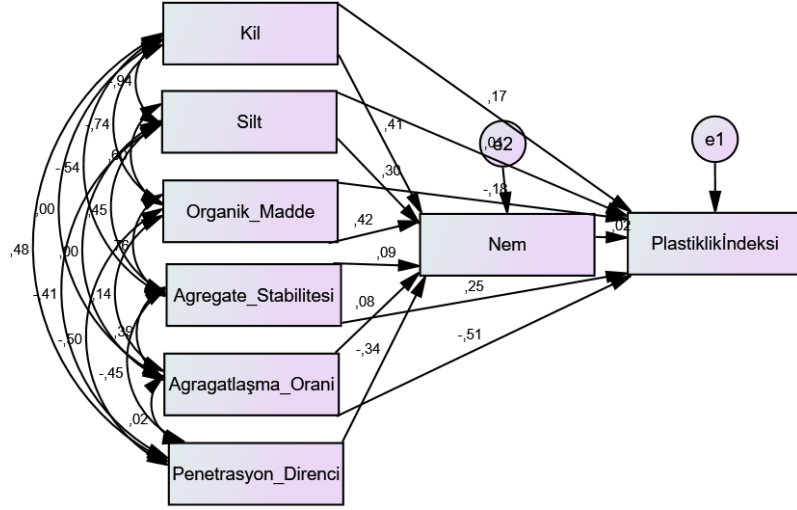
Tablo 9. İncelenen özelliklerin plastik limit değerleri üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkileri

Standardize edilmiş etkiler	Likit limit üzerinde etkili olan bağımsız değişkenler					
	Kil (%)	Silt (%)	Organik madde (%)	Agregatlaşma oranı (%)	Gregat stabilitesi (%)S	Penetrasyon direnci (%)
Doğrudan etki katsayısı	0.39	0.14	0.72	-	0.13	0.06
Dolaylı etki katsayısı	0.16	0.12	0.17	0.03	0.03	-0.13

3.5.6 Plastiklik İndeksi Üzerinde Etkili Olan Toprak Özellikleri

Plastiklik indeksi üzerinde etkili olduğu düşünülen toprak özelliklerinin doğrudan ve dolaylı etkilerinin belirlenmesi için oluşturulan path analizi modellemesinde, diğer

kıvam limitlerinde olduğu gibi nem içeriği dolaylı etki parametresi olarak kullanılmıştır. Diğer modellerde olduğu gibi bu modelde de penetrasyon direncinin plastiklik indeksine doğrudan etkisi düşük regresyon katsayısından dolayı ihmal edilmiş ve chi-square analiz sonucunda (0.936; $p>0.05$) modelin tutarlı olduğu görülmüştür (Şekil 30).



Şekil 31. Plastiklik indeksi değerlerine etki eden toprak özellikleri etki katsayıları

Modelde yer alan özelliklerin hem plastiklik indeksi hem de dolaylı etki parametresi olan nem içeriğine toplam etkileri incelendiğinde kil içeriğinin plastiklik indeksi ve nem içeriği üzerinde olumlu etkileri olduğu ancak nem içeriği üzerindeki etkisinin (0.41) PI'den daha yüksek olduğu (0.18) görülmüştür. Silt içeriği de benzer bir davranış sergilemiş ve nem içeriği üzerindeki etki katsayısı (0.30) PI'den daha yüksek olmuştur (0.02). Organik madde içeriği nem içeriğini olumlu (0.42) etkilerken PI'ni olumsuz etkilemiştir (-0.18) ve yine etki katsayısı nem içeriğinde daha yüksek değer almıştır. Agregatlaşma oranının nem içeriğine etkisi olumlu olurken (0.08) PI'ne etkisi olumsuz olmuştur (-0.50), agregat stabilitesi ise hem nem içeriğini (0.09) hem de PI'ni (0.26) olumlu etkilemiştir. Penetrasyon direnci nem içeriğini (-0.34) ve PI'ni (-0.07) olumsuz etkilemiş ancak nem içeriği ile olan etki katsayısı daha yüksek olmuştur (Tablo 10).

Tablo 10. Plastiklik indeks değeri ve nem içeriği için standardize edilmiş toplam etkiler

	Kil (%)	Silt (%)	Organik madde (%)	Agregatlaşma oranı (%)	Agregat stabilitesi (%)	Penetrasyon direnci (%)	Nem (%)
Nem	0.41	0.30	0.42	0.08	0.09	-0.34	-
PI	0.18	0.02	-0.18	-0.50	0.26	-0.07	0.02

Plastiklik indeksi üzerinde etkili olan bağımsız değışkenlerin doğrudan ve dolaylı etkileri incelendiğinde kil içeriğinin hem doğrudan hem de nem içeriği üzerinden dolaylı olarak Pİ üzerinde olumlu etkiye sahip olduğu ancak doğrudan etki katsayısının (0.17) dolaylı etki katsayısından daha yüksek olduğu görülmüştür. Silt içeriğinin en düşük etki katsayısı ile doğrudan ve dolaylı etkilediği kıvam limiti plastiklik indeksi olmuştur (0.01). Bilindiği gibi toprakların plastiklik indeksi arttıkça plastiklik özelliği de artmaktadır ve bu özellik kil içeriği ile doğrudan ilgilidir (Bleam, 2017). Araştırmacılar toprakların kil içeriğindeki artışa bağlı olarak PI değeri de artma eğilimi gösterdiğini bildirmişleridir (Winterwerp and van Kesteren, 2004).

Toprakların organik madde içeriğinin Pİ üzerindeki doğrudan etkisi olumsuz iken dolaylı etkisi oldukça düşük bir katsayıya sahip olmuştur. Organik maddenin koloidal özellik göstermesi nedeniyle genellikle plastiklik indeksi üzerindeki etkisinin olumlu olduğu bilinmektedir (Stanchi et al., 2017; Zentar et al., 2009), ancak bu çalışmada düşük bir katsayı ile olsa da PI değeri olumsuz etkilemesinin kil mineralojisinden kaynaklanabileceği tahmin edilmektedir.

Pİ değeri en yüksek kat sayı ile olumsuz etkileyen toprak özelliği (-0.51) agregatlaşma oranı olmuştur. Doğrudan etki katsayısı -0.51 olan agregatlaşma oranının dolaylı etkisinin ihmal edilebilecek düzeyde olduğu görülmüştür. Agregatlaşma oranının plastiklik indeksi değeri üzerindeki etkilerini araştıran çalışmalara rastlanılmamıştır ancak agregatlaşmanın serbest kil minerallerinin miktarında azalmaya neden olarak Pİ değeri düşürebileceği düşünülmektedir. Agregat stabilitesi ise plastiklik indeksini olumlu etkilemiş ve doğrudan etki katsayısı 0.25 olarak hesaplanmıştır. Penetrasyon direnç değeri ise hem doğrudan hem de dolaylı etkisi olumsuz olurken doğrudan etki katsayısı daha yüksek çıkmıştır (-0.08) (Tablo 11). Çalışma bulgularımıza benzer olarak Wagner et al., (2013),

toprakların Pİ değerlerinin yüksek olmasının toprağın kendisine uygulanan kuvvete karşı gösterdiği direncin düşük olmasına neden olduğunu bildirmiştir.

Tablo 11. İncelenen özelliklerin plastiklik indeksi üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkileri

Standardize edilmiş etkiler	Plastiklik indeksi üzerinde etkili olan bağımsız değişkenler					
	Kil (%)	Silt (%)	Organik madde (%)	Agregatlaşma oranı (%)	Agregat stabilitesi (%)	Penetrasyon direnci (%)
Doğrudan etki katsayısı	0.17	0.01	-0.18	-0.51	0.25	-0.08
Dolaylı etki katsayısı	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	-0.01

4 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışma konusu özelliklerin ortalama değerleri üzerinden yapılan değerlendirmelerde çalışma alanı topraklarının;

- i. yaygın toprak fraksiyonun “silt” ve tekstür sınıfının ise “siltli tın” olduğu,
- ii. nem içeriklerinin mevcut tekstür sınıfı (siltli tın) için ön görülen tarla kapasitesi sınır değerleri arasında yer aldığı,
- iii. organik madde içeriği bakımından “düşük” sınıfında yer aldığı,
- iv. strüktürel gelişiminin iyi seviyede olduğu,
- v. bitki kök büyümesini engelleyecek düzeyde (2MPa) bir sıkışma sorununun görülmediği,
- vi. kil minerallerinin “normal aktivite” sınıfında yer aldığı,
- vii. “killi yüksek derecede plastik” sınıfında yer aldığı belirlenmiştir.

Toprak özelliklerinin örnekleme tabakalarında gösterdikleri farklılıkları belirleyebilmek amacıyla yapılan varyans analizi sonucunda;

- i. Agregatlaşma oranı ve plastiklik indeks değerleri dışındaki tüm özelliklerin örnekleme tabakalarında önemli seviyede farklılık gösterdiği,
- ii. Kil içeriğinin derinlik kademeleri boyunca arttığı,
- iii. Kum ve silt içeriklerinin ise azaldığı,
- iv. yoğun yağışlardan sonra toprak örnekleri alındığından nem içeriğinin üst toprak tabakasında yüksek olduğu ve derinlik boyunca azalma eğilimi gösterdiği,
- v. organik madde kaynaklarının azalması nedeniyle derinlik boyunca organik madde içeriğinin azalma eğiliminde olduğu,
- vi. organik madde içeriğinin davranışına benzer olarak agregatlaşma oranı ve agregat stabilitesi değerlerinin de düşme eğiliminde olduğu,
- vii. genel geçerlere uygun olarak derinlik boyunca penetrasyon direnç değerlerinin artma eğilimi gösterdiği,
- viii. kil aktivite indeksinin toprak derinliğine bağlı olarak azaldığı,

- ix. Atterberg limitleri üzerinde etkili olan toprak özelliklerindeki değişime bağlı olarak plastik limit ve likit limit değerlerinin de örnekleme tabakaları boyunca değişkenlik gösterdiği,
- x. Likit limit değeri ile plastik limit değeri arasındaki farkın üst toprak tabakalarında daha yüksek olması plastiklik indeks değerlerinin de üst tabakalarda daha yüksek olmasına ve derinlik kademeleri boyunca azalmasına neden olduğu belirlenmiştir.

Çalışma konusunu oluşturan özelliklerin birbirleriyle olan ilişkilerinin belirlenmesi amacıyla yapılan ilişki analizi sonucunda elde edilen bazı sonuçların çelişkili olduğu belirlenmiş ve bu çelişkilerin temel kaynağının incelenen özellikler arasındaki ilişkilerin üçüncü bir özellik tarafından etkilenebileceği ortaya konulmuştur.

Birden fazla bağımsız değişken tarafından etkilenen toprak özelliklerinin bu değişkenler tarafından nasıl etkilendiğini (doğrudan veya başka bir özellik üzerinden dolaylı) belirlemek amacıyla yapılan path analizi sonucunda;

- i. Agregatlaşma oranı üzerinde en fazla etkisi olan toprak özelliğinin kil içeriği olduğu,
- ii. Organik maddenin ise agregat stabilitesi üzerinde en fazla etkiye sahip özellik olduğu,
- iii. Penetrasyon direnci üzerinde kil ve silt içeriği ile AS, KAI ve nem içeriğinin doğrudan etkili olduğu, organik madde içeriğinin ise nem içeriğini etkileyerek penetrasyon direncini dolaylı etkilediği,
- iv. Atterberg limitlerinde en etkili toprak özelliklerinin organik madde ve kil olduğu,
- v. Kil içeriğinin likit limit değeri üzerine etkisinin plastik limitten daha yüksek olduğu,
- vi. Organik madde içeriğinin her iki modelde de en yüksek etki katsayısına sahip olduğu,
- vii. Agregatlaşma oranının hem plastik limit üzerinde hem de plastiklik indeksi üzerinde agregat stabilitesinin ise likit limit üzerinde daha etkili olduğu belirlenmiştir.

Toprakların kıvam limitleri ile bozulmuş toprak örnekleri üzerinden yapılan analizler sonucu belirlenen bazı fiziksel özellikler (tane büyüklük dağılımı, nem, organik madde içeriği, agregatlaşma oranı, agregat stabilitesi) arasındaki ilişkiler genel literatür ile uyum içindedir. Kıvam limitlerinin arazi koşullarında bozulmamış topraklarla belirlenen penetrasyon direnci değerleri ile olan ilişkileri beklenen düzeyde gerçekleşmemiştir, bunun temel sebebinin söz

Kıvam limitleri ile penetrasyon direnci arasındaki ilişki ölçümlerin farklı nem koşullarında gerçekleştirilmemiş olmasından dolayı beklenen düzeyde gerçekleşmemiştir.

konusu ölçümlerin farklı nem koşullarında gerçekleştirilememiş olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Toprakların sıkışabilirlikleri ile kıvam limitleri arasındaki ilişkilerin daha sağlıklı bir şekilde belirlenebilmesi için hacim ağırlığı ve boşluk oranı gibi özelliklerinde modellere dahil edilmesinin gerekli olduğu sonucuna varılmıştır.

Kıvam limitlerinin arazi koşullarında bozulmamış topraklarla belirlenen penetrasyon direnci değerleri ile olan ilişkileri beklenen düzeyde gerçekleşmemiştir,

KAYNAKLAR

- Akay, A. E., Gundogan, R., 2015. Toprakların bazı mekanik özelliklerinin (atterberg limitleri) ormancılık faaliyetlerinin planlanmasında kullanılabilirliği. Üretim işlerinde hassas ormancılık sempozyumu, 4-6 Haziran, Ilgaz.
- Van den Akker, J. J. H., Schjonning, P., 2004. Subsoil compaction and ways to prevent it, *Managing Soil Quality: Challenges in Modern Agriculture*, pp. 163–184.
- Aksakal, E. L., Angin, İ., Oztas, T., 2013. Effects of diatomite on soil consistency limits and soil compactibility, *Catena*, 101, 157–163. doi: 10.1016/j.catena.2012.09.001.
- Ampoorter, E., Van Nevel, L., De Vos, B., Hermy, M., Verheyen, K., 2010. Assessing the effects of initial soil characteristics, machine mass and traffic intensity on forest soil compaction. *Forest Ecology and Management*, 260(10), 1664–1676. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.08.002>
- Aydinalp, C., 1998. The effects and causes of the soil degradation. *Anadolu*, 8(2), 51–54.
- Aydın, A., Öztaş, T., Canpolat, M. Y., 1997. ‘Atatürk Üniversitesi Çiftliği Topraklarının Genel Özelliklerinin İrdelenmesi İi. Kimyasal ÖzellikleR’, 28(1), pp. 49–60.
- Aydın, G., Kayam, Y., 2014. ‘İklim değişikliğine bağlı toprak nemindeki değişimin aydın ’ da örnek bir alanda pamuk’.
- B.C. Ball, D.J., Campbell, E.A., HunterSoil compactability in relation to physical and organic properties at 156 sites in UK *Soil Till. Res.*, 57 2000, pp. 83-91
- Baldock, J. A., Nelson, P., Soil organic matter, in: *Handbook of Soil Science*, edited by: Sumner, M. E., CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 2000.
- Barik, K., Aksakal E., Islam K., Sarı S., Angin İ., 2014 Spatial variability in soil compaction properties associated with field traffic operations, *Catena*, 120, pp. 122–133. doi: 10.1016/j.catena.2014.04.013.
- Bayat, H., Sheklabadi M., Moradhaseli M., Ebrahimi E., 2017. Effects of slope aspect, grazing, and sampling position on the soil penetration resistance curve, *Geoderma. Elsevier*, 303(May), pp. 150–164. doi: 10.1016/j.geoderma.2017.05.003.
- Bayat, H., Ebrahim Zadeh, G., 2018. Estimation of the soil water retention curve using penetration resistance curve models, *Computers and Electronics in Agriculture.*, 144(April 2017), pp. 329–343. doi: 10.1016/j.compag.2017.10.015.
- Bodies, O. F. S., 1994 of *Soil Bodies*, 1967.
- Bronick, C. J., Lal, R., Soil structure and management: a review, *Geoderma*, 124, 3–22, doi:10.1016/j.geoderma.2004.03.005, 2005.
- Bullock, P., 2005. Climate Change Impacts, *Encyclopedia of Soils in the Environment.* , pp. 254–262. doi: 10.1016/B0-12-348530-4/00089-8.
- C. Gülser F., Candemir 2006. Some mechanical properties and workability of ondokuz mayis university kurupelit campus soils, 21(2), pp. 213–217.

- Cambi, M., Hoshika, Y., Mariotti, B., Paoletti, E., Picchio, R., Venanzi, R., Marchi, E., 2017. Compaction by a forest machine affects soil quality and *Quercus robur* L. seedling performance in an experimental field, *Forest Ecology and Management*. B.V., 384, pp. 406–414. doi: 10.1016/j.foreco.2016.10.045.
- Casagrande, 1948. Casagrande A. Classification and identification of soils Transaction, ASCE, paper 2351, Vol. 113 (1948), pp. 901-930
- Casagrande, 1948.. Casagrande A. Classification and identification of soils Transaction, ASCE, paper 2351, Vol. 113 (1948), pp. 901-930
- Celik, I., Gunal, H., Budak, M., Akpınar, C., 2010. Effects of long-term organic and mineral fertilizers on bulk density and penetration resistance in semi-arid Mediterranean soil conditions, *Geoderma*., 160(2), pp. 236–243. doi: 10.1016/J.Geoderma.2010.09.028.
- Chan, K. Y., Oates, A., Swan, A.D., Hayes, R.C., Dear, B.S., Peoples, M.S., 2006. Agronomic consequences of tractor wheel compaction on a clay soil, *Soil and Tillage Research*, 89(1), pp. 13–21. doi: 10.1016/j.still.2005.06.007.
- Cressey, E. L., Dungait, J.A.J., Jones, D.L., Nicholas, A.P., Quine, T.A., 2018. Soil microbial populations in deep floodplain soils are adapted to infrequent but regular carbon substrate addition, *Soil Biology and Biochemistry*., 122, pp. 60–70. doi: 10.1016/J.SOILBIO.2018.04.001.
- Demir, S., Kiliç, K., Aydın, M., 2013. Farklı Kullanım Altındaki Toprakların Kıvam Limitleriyle Bazı Toprak Özellikleri Arasındaki İlişki The Relationship between Viscosity Limits and Some Soil Properties of Soil under Different Soil Use, 29(2), pp. 63–71.
- Demiralay, İ., 2011. Toprak fiziksel analizleri Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi yayınları No: 143
- Dong, Z., Zhang, X., Li, J., Zhang, C., Wei, T., Yang, Z., Cai, T., Zhang, P., Ding, R., Jia, Z., 2019. Photosynthetic characteristics and grain yield of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in response to fertilizer, precipitation, and soil water storage before sowing under the ridge and furrow system: A path analysis, *Agricultural and Forest Meteorology*., 272–273, pp. 12–19. doi: 10.1016/J.AGRFORMET.2019.03.015.
- Duiker, S. W., Rhoton, F. E., Torrent, J., Smeck, N. E., Lal, R., 2003. Iron (hydr)oxide crystallinity effects on soil aggregation, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 67, 606–611.
- Ebeling, C., Lang, F., Gaertig, T., 2016. Structural recovery in three selected forest soils after compaction by forest machines in Lower Saxony, Germany, *Forest Ecology and Management*. B.V., 359, pp. 74–82. doi: 10.1016/j.foreco.2015.09.045.
- Gee, G. W., Bauder, J. W., Klute, A., Particle-Size Analysis, Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods, Soil Science Society of America, Inc., Madison, WIS, USA, 1986.
- González Jiménez, J. L., Healy, M. G., Daly, K., 2019. Effects of fertiliser on phosphorus pools in soils with contrasting organic matter content: A fractionation and path analysis study, *Geoderma*., 338, pp. 128–135. doi: 10.1016/J.Geoderma.2018.11.049.
- Gülser, C., Candemir, F., 2012. Changes in penetration resistance of a clay field with organic waste applications, *Eurasian Journal of Soil Science*, 1 (April), 16–21.

- Gürsoy, F.E., Dengiz, O., 2018. Farklı iki anamateryal üzerinde oluşmuş vertisol toprakların morfolojisi, minerolojik özellikleri ve sınıflaması, *Anadolu Journal of Agricultural Sciences*, 33, pp. 162–169. doi: 10.7161/omuanajas.329810.
- Hemmat, A., Aghilinategh, N., Rezainejad, Y., Sadeghi, M., 2010. Long-term impacts of municipal solid waste compost, sewage sludge and farmyard manure application on organic carbon, bulk density and consistency limits of a calcareous soil in central Iran. *Soil and Tillage Research* 108, 43-50.
- Hillel, Daniel. Introduction to Environmental Soil Physics, Elsevier Science Technology, 2003. ProQuest Ebook Central, <https://ebookcentral.proquest.com/lib/artvin/detail.action?docID=297052>.
- Hoek E., Brown E.T., 1980. Underground Excavations in Rock . *London: Institution of Mining and Metallurgy* 527 pages
- Jat, M. L., Bijay, S., Stirling, Clare M., Jat, Hanuman S., Tetarwal, Jagdish P., Jat, Raj K., Singh, R., Lopez, R.S., Shirsath, Paresh B., 2018. Soil Processes and Wheat Cropping Under Emerging Climate Change Scenarios in South Asia, *Advances in Agronomy. Academic Press*, 148, pp. 111–171. doi: 10.1016/BS.AGRON.2017.11.006.
- Jianqiao, L., 2012 Soil Liquid Limit and Plastic Limit Treating System Based on Analytic Method, *Procedia Earth and Planetary Science.*, 5, 175–179. doi: 10.1016/J.PROEPS.2012.01.031.
- Kar, D., Kar, D., 2016. Methodologies of Different Types of Studies, *Epizootic Ulcerative Fish Disease Syndrome.*, 187–221. doi: 10.1016/B978-0-12-802504-8.00008-0.
- Karaman, M. R., Brohi, A. R., Müftüoğlu, N. M., Öztaş, T., Zengin, M., 2007 *Sürdürülebilir Toprak Verimliliği*. Ankara.
- Karaman, M., Plant Nutrition, Gubretas Guide Book Series No. 2, Ankara, Turkey, 2012.
- T. Keller, A., Dexter R., 2012. Plastic limits of agricultural soils as functions of soil texture and organic matter content *Soil Res.*, 50, 7-17
- Kemper, W., Rosenau, R., 1986. Aggregate Stability and Size Distribution, in: *Methods of Soil Analysis: Part I: Physical and Minerological Methods*, edited by: Black, C. A., Evans, D. D., and Dinauer, R. C., American Society of Agronomy, USA.,
- Kiliç, K., Özgöz, E., Akbaş, F., 2004. Assessment of spatial variability in penetration resistance as related to some soil physical properties of two fluvents in Turkey, *Soil and Tillage Research*, 76(1), 1–11. doi: 10.1016/j.still.2003.08.009.
- Korucu, T., Arslan, S., Dikici, H., 2007. Hasat Sonrası Dönemin ve Anız Yakmanın Toprak Penetrasyonu ve Nem içeriği Değişimine Etkisi, 3(1), 41–49.
- de Lima, R. P., da Silva, A.P., Giarola, Neyde F.B., da Silva, Anderson R., Rolim, Mário M., 2017. Changes in soil compaction indicators in response to agricultural field traffic, *Biosystems Engineering.*, 162, 1–10. doi: 10.1016/J.Biosystemseng.2017.07.002.
- Li, C., Hao, X., Zhao, M., Han, G., Willms, W. D., 2008. Influence of historic sheep grazing on vegetation and soil properties of a Desert Steppe in Inner Mongolia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 128 (1–2), 109–116. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.05.008>

- Lin, L. R., He, Y. B., Chen, J. Z., 2016. The influence of soil drying- and tillage-induced penetration resistance on maize root growth in a clayey soil, *Journal of Integrative Agriculture. Chinese Academy of Agricultural Sciences*, 15(5), 1112–1120. doi: 10.1016/S2095-3119(15)61204-7.
- Lipiec, J., Czyż, Ewa A., Dexter, Anthony R., Siczek, A., 2018. Effects of soil deformation on clay dispersion in loess soil, *Soil and Tillage Research*, 184(May), 203–206. doi: 10.1016/j.still.2018.08.005.
- Lvova, L., Nadporozhskaya, M., 2017. Chemical sensors for soil analysis: principles and applications, *New Pesticides and Soil Sensors. Academic Press*, 637–678. doi: 10.1016/B978-0-12-804299-1.00018-7.
- Maillard, F., Leduc, V., Bach, C., Reichard, A., Fauchery, L., Saint-André, L., Zeller, B., Buée, M., 2019. Soil microbial functions are affected by organic matter removal in temperate deciduous forest, *Soil Biology and Biochemistry*. 133(February), 28–36. doi: 10.1016/j.soilbio.2019.02.015.
- Mangalassery, S., Kalaivanan, D., Philip, P. S., 2019. Effect of inorganic fertilisers and organic amendments on soil aggregation and biochemical characteristics in a weathered tropical soil, *Soil and Tillage Research.*, 187(December 2018), 144–151. doi: 10.1016/j.still.2018.12.008.
- Meyer, C., Lüscher, P., Schulin, R., 2014. Recovery of forest soil from compaction in skid tracks planted with black alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.), *Soil and Tillage Research*, 143, 7–16. doi: 10.1016/j.still.2014.05.006.
- Öztaş, T., Canpolat, M., 1997. Toprağın Kıvam Limitleri Üzerine Etki Eden Bazı Faktörler ve Kıvam Limitlerinin Tarımsal Yönden Değerlendirilmesi, 28(1), 120–126.
- Perugini, M., Marchi, E., Picchio, R., Mederski, Piotr S., Vusi, D., Venanzi, R., 2016. Impact of silvicultural treatment and forest operation on soil and regeneration in Mediterranean Turkey oak (*Quercus cerris* L.) coppice with standards, 95, 475–484. doi: 10.1016/j.ecoleng.2016.06.084.
- Picchio, R., Neri, F., Petrini, E., Verani, S., Marchi, E., Certini, G., 2012. 'Machinery-induced soil compaction in thinning two pine stands in central Italy', *Forest Ecology and Management. B.V.*, 285, 38–43. doi: 10.1016/j.foreco.2012.08.008.
- Pulido, M., Schnabel, S., Lavado Contador, J. F., Lozano-Parra, J., Gómez-Gutiérrez, Á., Brevik, Eric C., Cerdà, A., 2017. Reduction of the frequency of herbaceous roots as an effect of soil compaction induced by heavy grazing in rangelands of SW Spain, *Catena.*, 158December 2016, 381–389. doi: 10.1016/j.catena.2017.07.019.
- Qu, J., Li, B., Wei, T., Li, C., Liu, B., 2014. Effects of rice-husk ash on soil consistency and compactibility, *Catena. B.V.*, 122, 54–60. doi: 10.1016/j.catena.2014.05.016.
- Rakkar, M. K., Blanco-Canqui, H., 2018. Grazing of crop residues: Impacts on soils and crop production, *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 258(November 2017), 71–90. doi: 10.1016/j.agee.2017.11.018.
- Rowel, D. L., 1993. Soil Science.
- Scott, H. D., 2000. Soil Physics.
- Seybold et al., 2008 C.A. Seybold, M.A. Elrashidi, R.J. Engel Linear regression models to estimate soil liquid limit and plasticity index from basic soil properties *Soil Sci.*, 173 2008, 25-34.

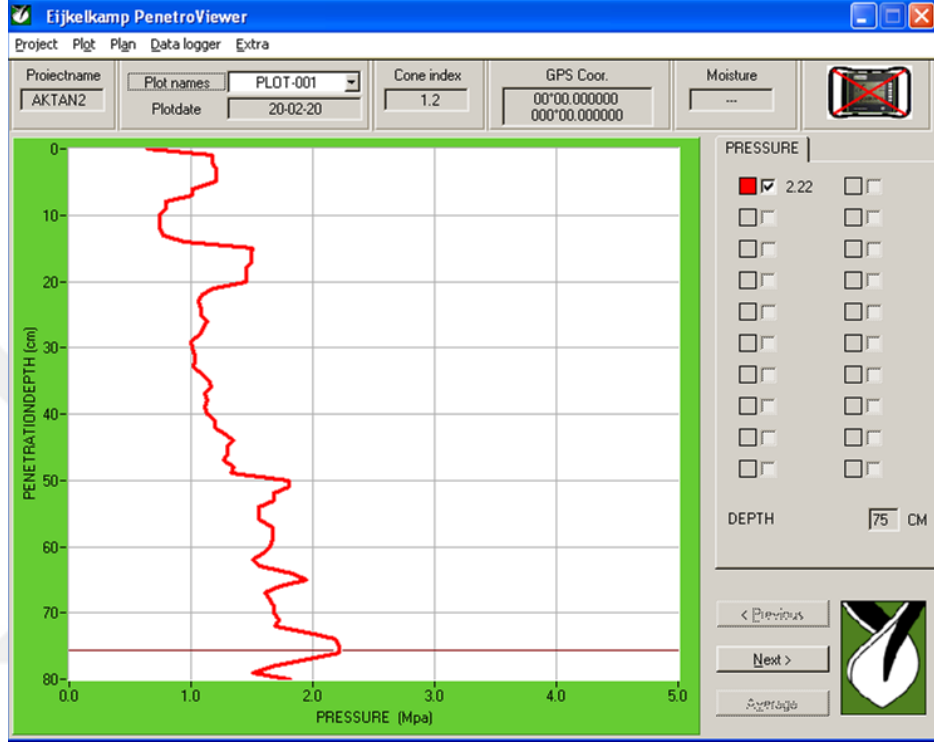
- Spagnoli, G., Sridharan, A., Oreste, P., Bellato, D., Di Matteo, L., 2018. Statistical variability of the correlation plasticity index versus liquid limit for smectite and kaolinite *Applied Clay Science*, 156 (November 2017), 152–159. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2018.02.001>
- Stock, O., Downes, N. K., 2008. Effects of additions of organic matter on the penetration resistance of glacial till for the entire water tension range. *Soil and Tillage Research*, 99(2), 191–201. <https://doi.org/10.1016/J.STILL.2008.02.002>
- Şeker, C., 1999. Penetrasyon direnci ile bazı toprak özellikleri arasındaki ilişkiler, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 23, 583–588.
- Šimanský, V., Juriga, M., Jonczak, J., Uzarowicz, Ł., Stępień, W., 2019. How relationships between soil organic matter parameters and soil structure characteristics are affected by the long-term fertilization of a sandy soil, *Geoderma*, 342(February), 75–84. doi: 10.1016/j.geoderma.2019.02.020.
- Sivarajan, S., Maharlooei, M., Bajwa, S. G., Nowatzki, J., 2018. Impact of soil compaction due to wheel traffic on corn and soybean growth, development and yield, *Soil and Tillage Research*. 175(May 2017), 234–243. doi: 10.1016/j.still.2017.09.001.
- Stanchi, S., D'Amico, M., Zanini, E., Freppaz, M., 2016. Liquid and plastic limits of mountain soils as a function of the soil and horizon type, *Catena*. Elsevier B.V., 135, 114–121. doi: 10.1016/j.catena.2015.07.021.
- Stanchi, S. et al. 2017. Liquid and plastic limits of clayey, organic C-rich mountain soils: Role of organic matter and mineralogy, *CATENA*. Elsevier, 151, 238–246. doi: 10.1016/J.CATENA.2016.12.021.
- du Toit, G. N., Snyman, H. A., Malan, P. J., 2009. Physical impact of grazing by sheep on soil parameters in the Nama Karoo subshrub/grass rangeland of South Africa, *Journal of Arid Environments*. 73(9), 804–810. doi: 10.1016/j.jaridenv.2009.03.013.
- Turgut, B., 2008. Toprak Sıkışması ve Sıkışmaya Etki Eden Toprak Özelliklerinin Yersel Değişim Paternlerinin Jeostatistiksel Yöntemlerle Belirlenmesi.
- Turgut, B., 2010. Bazı Toprak Özelliklerinin Penetrasyon Direnç Değerlerine Doğrudan ve Dolaylı Etkileri, 5(2), 45–53.
- Turgut, B., 2012. Soil compaction in forest soils, *SDU Faculty of Forestry Journal*, 13, 66–73.
- Turgut, B., Öztaş, T., 2012. Penetrasyon Direncini Etkileyen Bazı Toprak Özelliklerinin Yersel Değişiminin Belirlenmesi, *Tarım Bilimleri Dergisi*, 18, 115–125.
- Turgut, B., Özalp, M., Öztaş, T., 2015. Borçka barajı rezervuarında yeni oluşmuş bir sediment birikim sahasındaki penetrasyon direnç değerlerinin uzaysal dağılımı, *Tarım Bilimleri Dergisi*, 23, 298-308.
- Turgut, B., Ateş, M., 2017. Factors of soil diversity in the Batumi delta (Georgia). *Solid Earth*, 8(1), 1–12. <https://doi.org/10.5194/se-8-1-2017>
- Varela, M. E., De Blas, E., Benito, E., 2001, Physical soil degradation induced by deforestation and slope modification in a temperature-humid environment, *Land Degradation and Development*, 12(5), 477–484. doi: 10.1002/ldr.456.
- Vaz, C. M. P., Manieri, J. M., de Maria, Í. C., Tuller, M., 2011. Modeling and correction of soil penetration resistance for varying soil water content, *Geoderma*, 166(1), 92–101. doi: 10.1016/j.geoderma.2011.07.016.

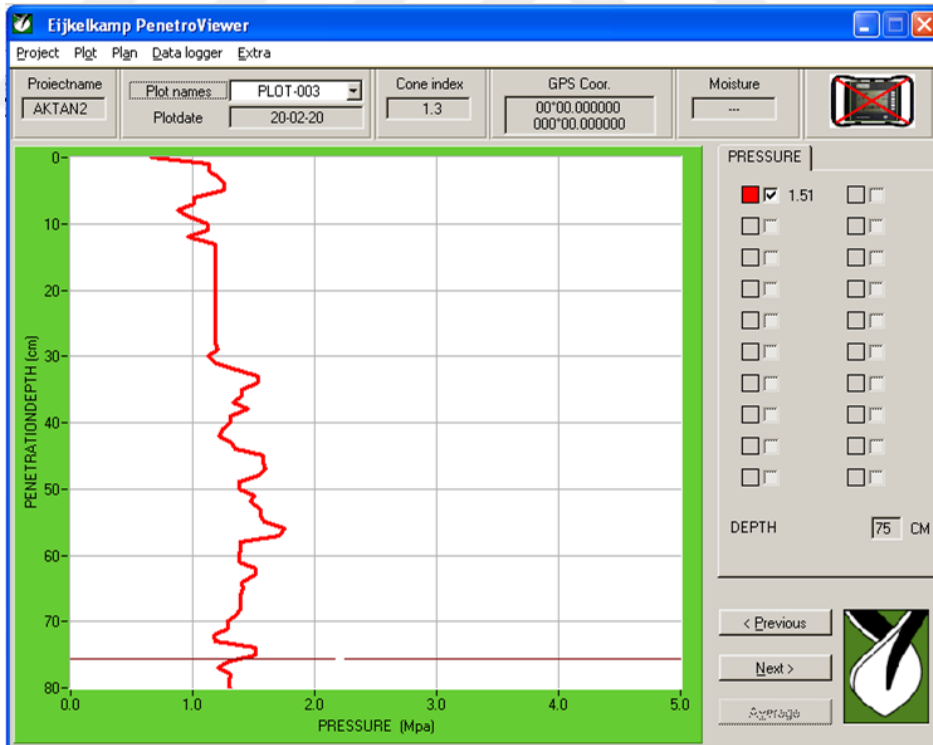
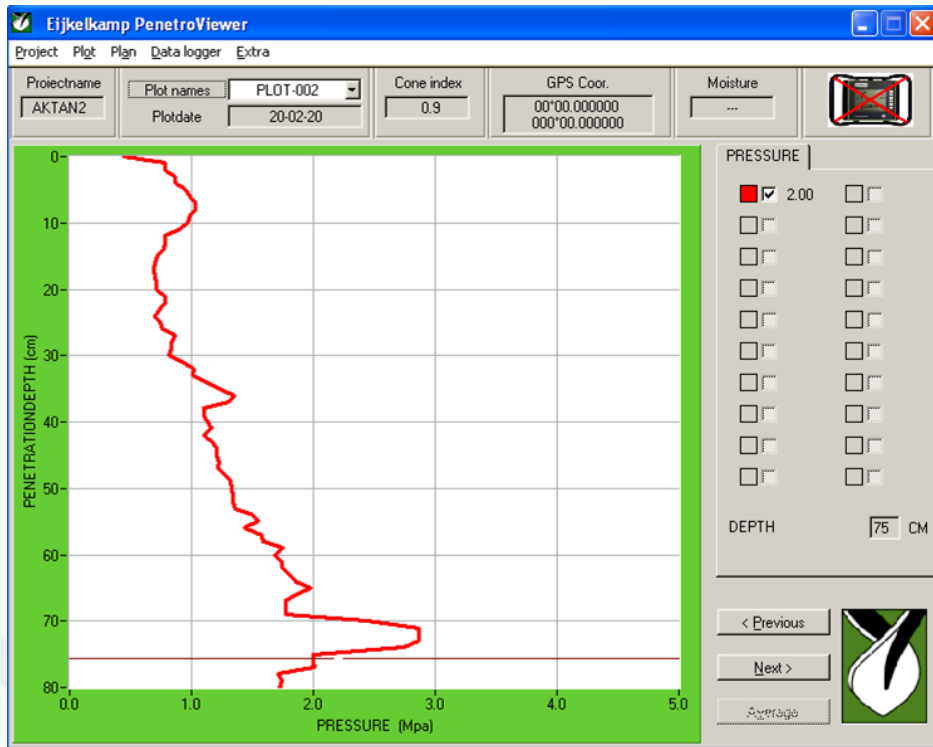
- Verdoodt, A., Gabriels, D., 2012. Soil Degradation, p. 265. doi: 10.1097/00010694-199102000-00011.
- Yakupoğlu, T., Özdemir, N., 2006. Effect of organic waste applications on some mechanical properties of eroded soils, 21(2), 173–178.
- Wagner, J.-F., 2013. Mechanical Properties of Clays and Clay Minerals, *Developments in Clay Science*. 5, 347–381. doi: 10.1016/B978-0-08-098258-8.00011-0.
- Winterwerp, J.C., van Kesteren W.G.M., 2004. Introduction to the physics of cohesive sediment in the marine environment *Developments in Sedimentology*, vol. 56, Amsterdam, The Netherlands.
- Zentar, R., Abriak, N.-E., Dubois, V., 2009. Effects of salts and organic matter on Atterberg limits of dredged marine sediments, *Applied Clay Science*. 42(3–4), 391–397. doi: 10.1016/J.Clay.2008.04.003.

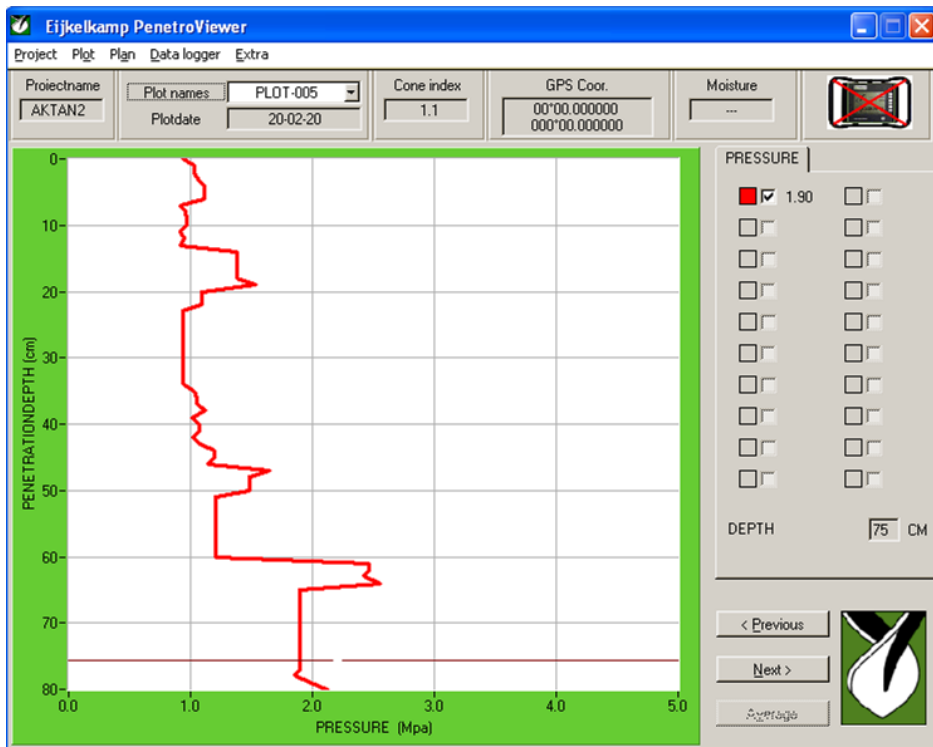
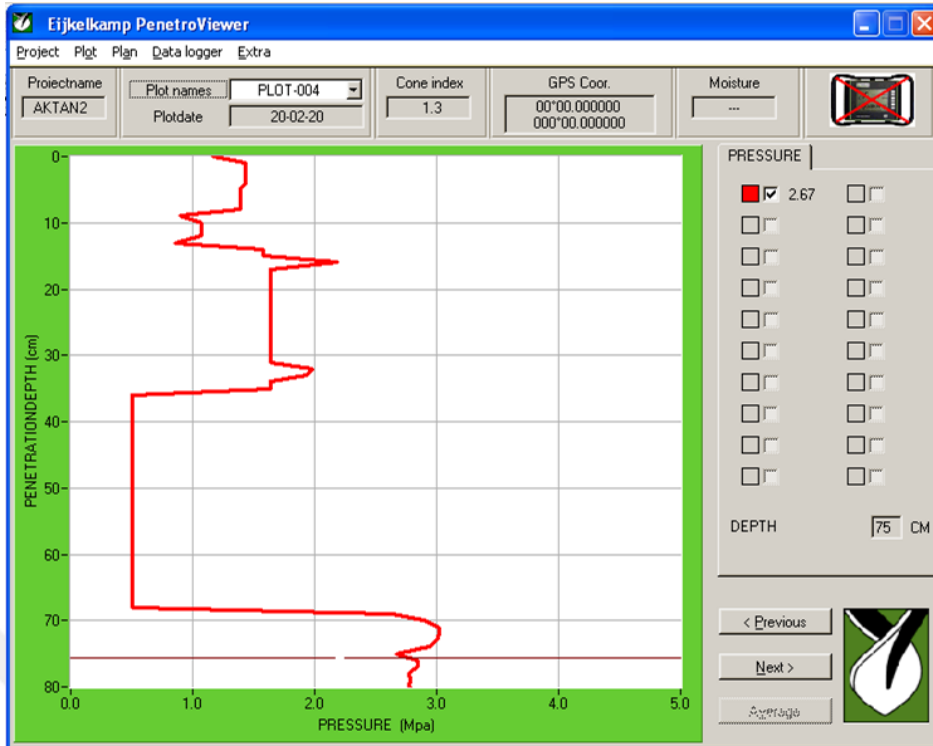


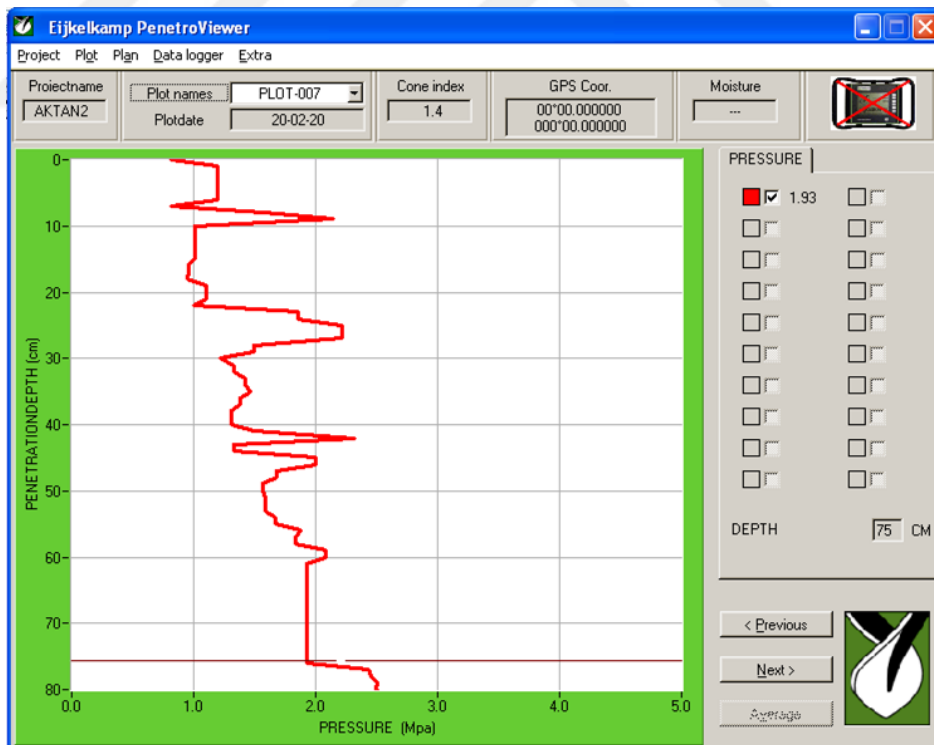
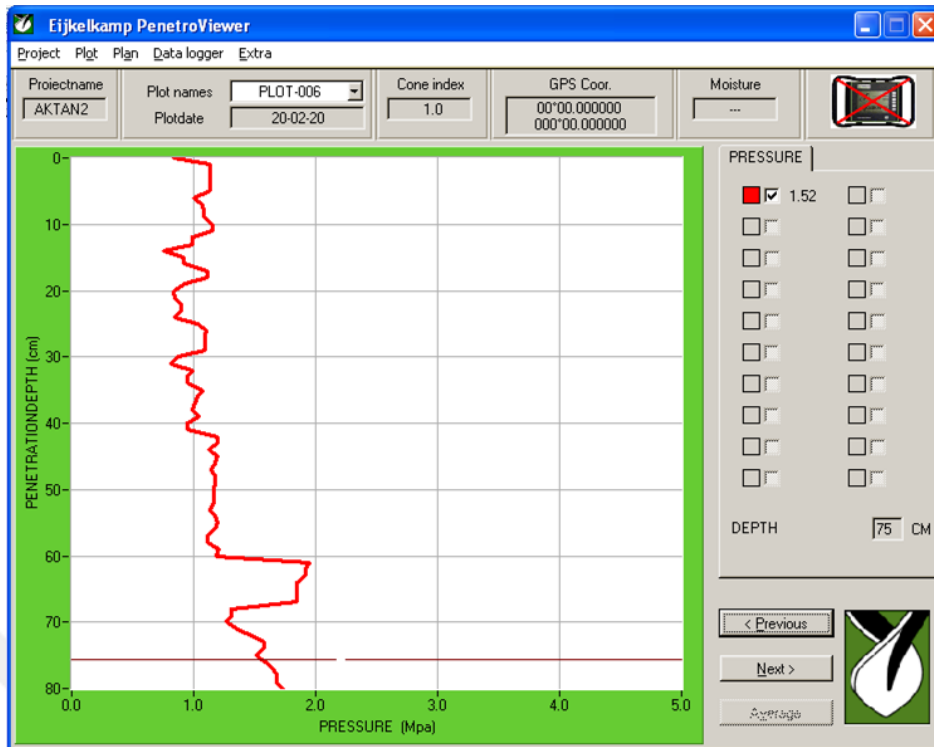
EKLER

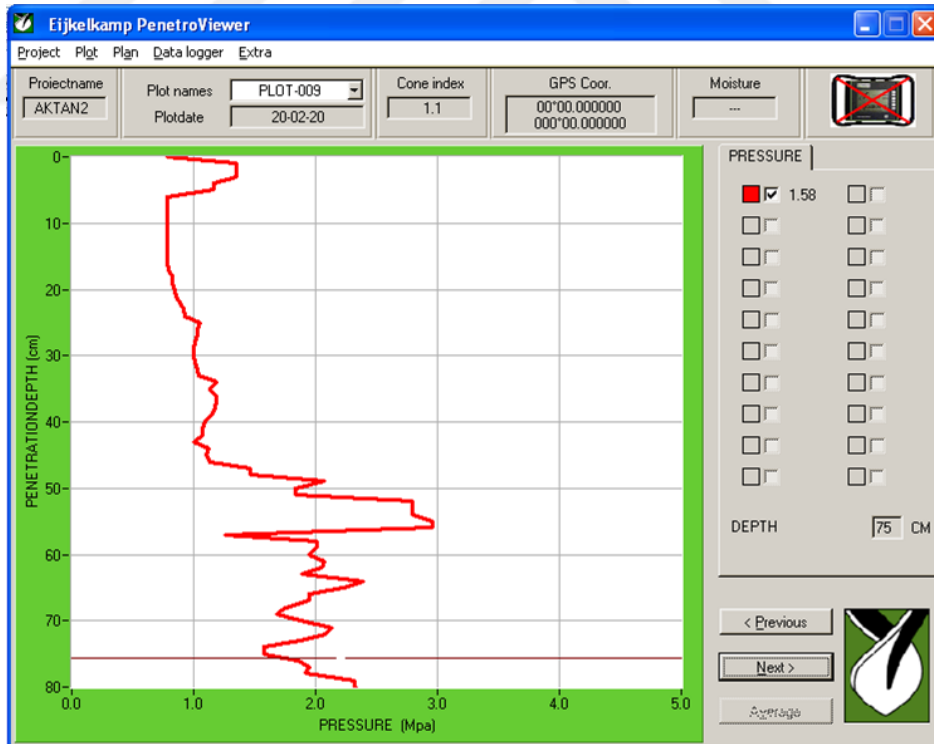
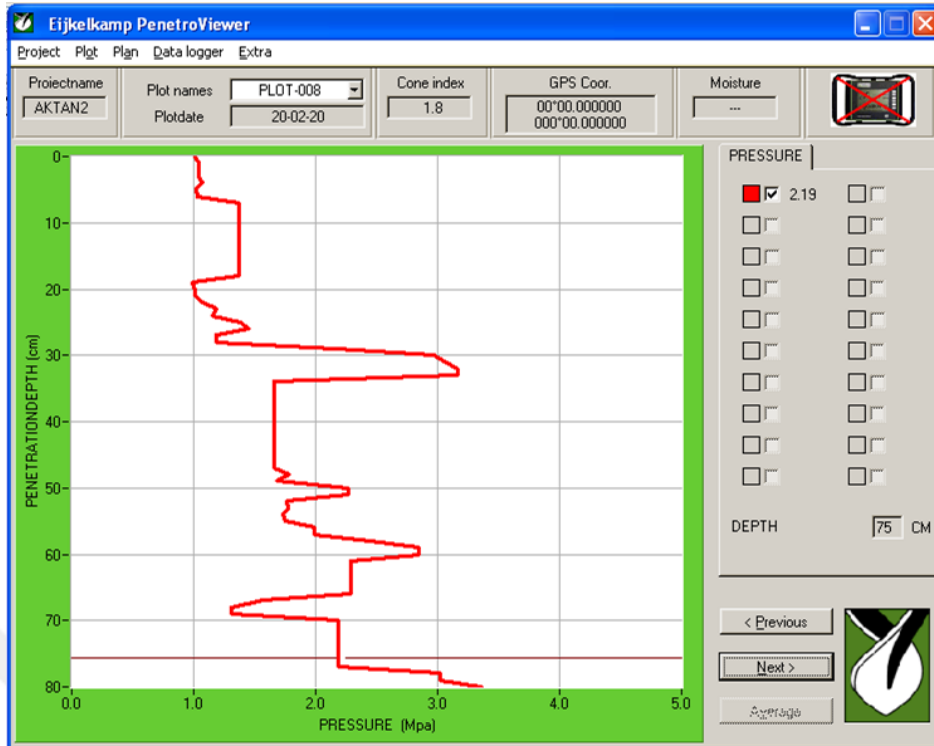
Ek 1. Örnekleme Noktalarına Ait Penetrologer Grafikleri

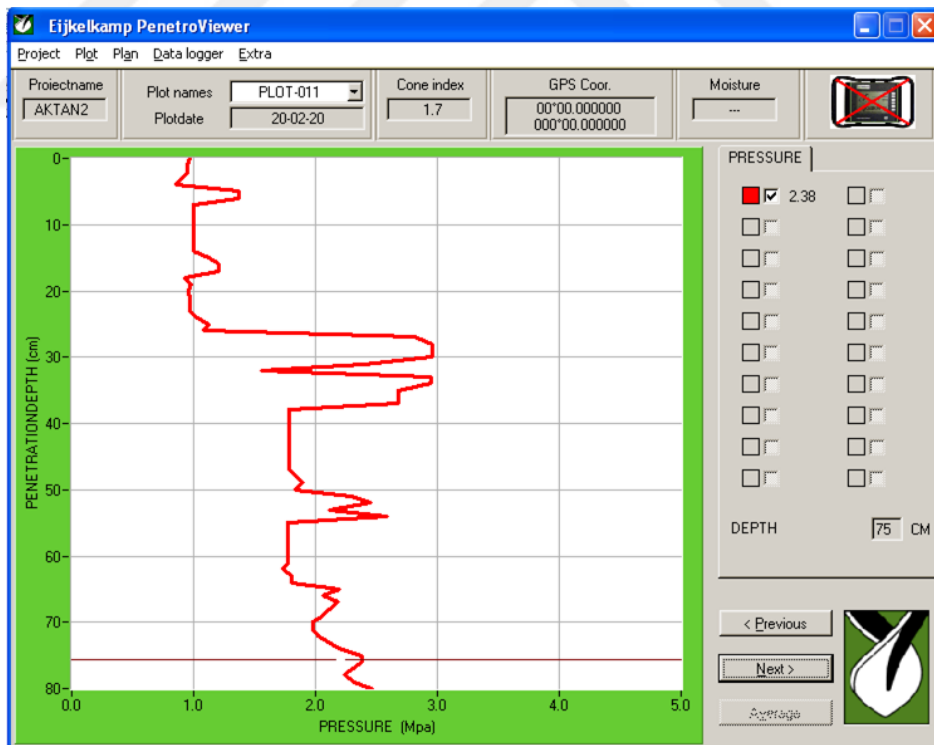
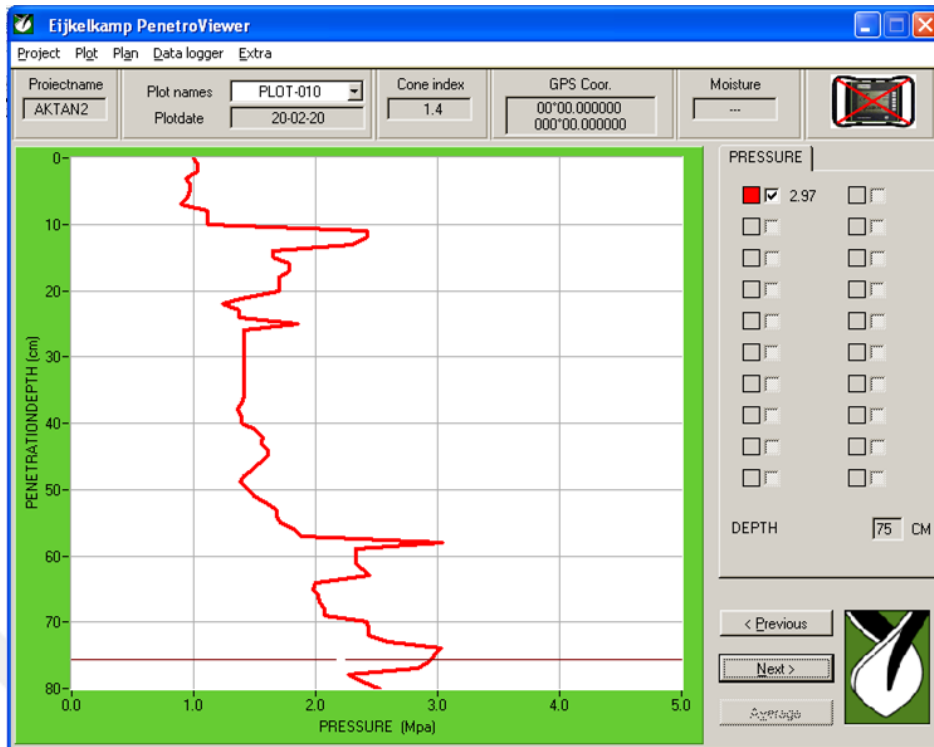


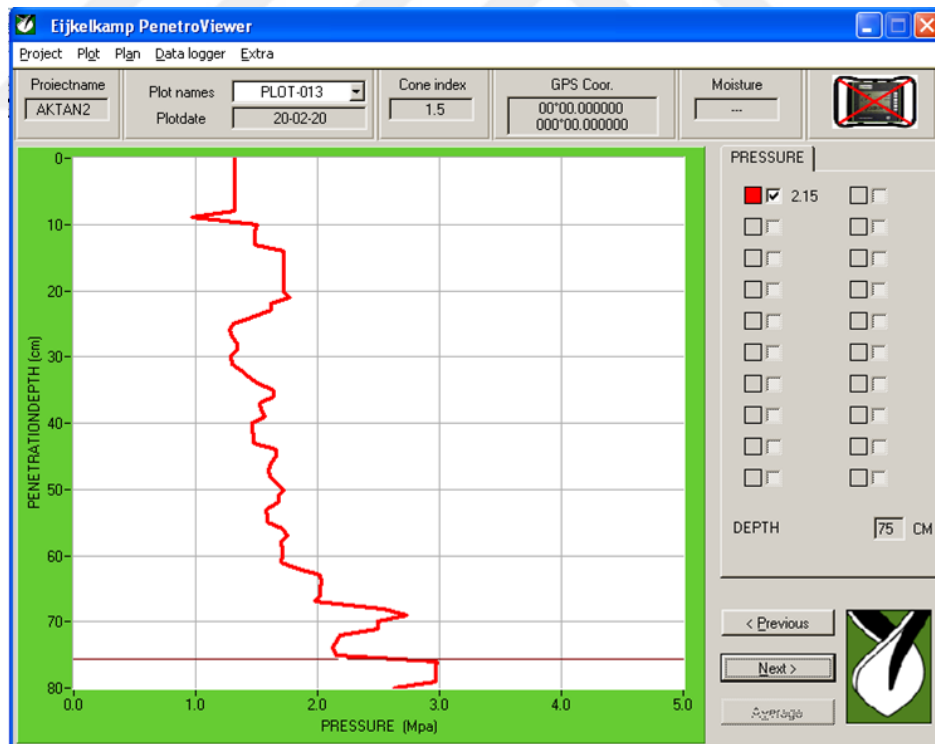
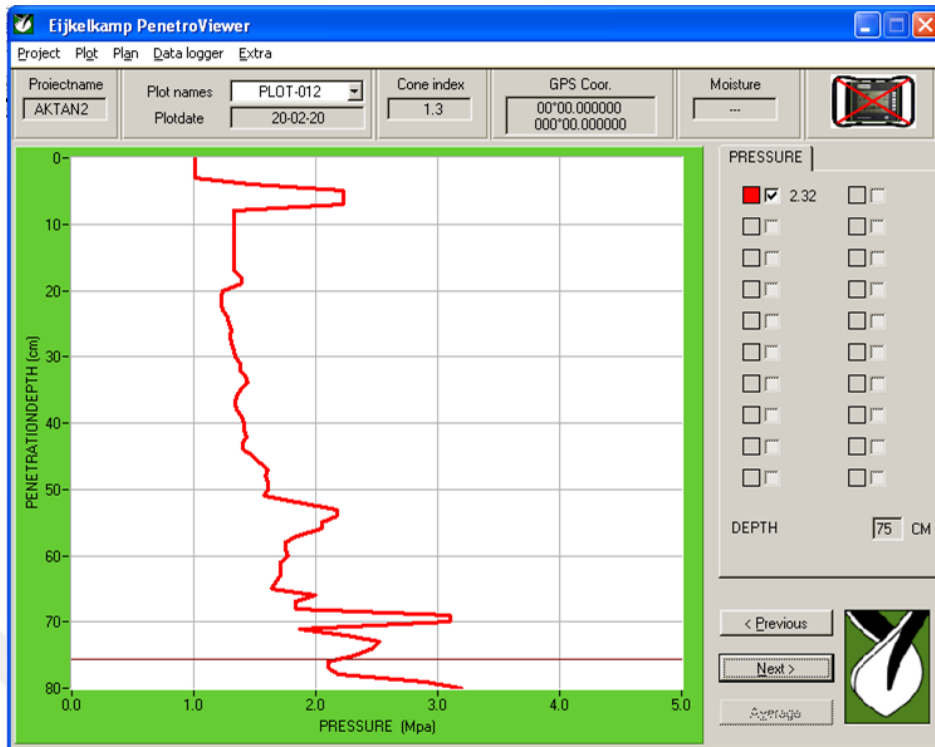


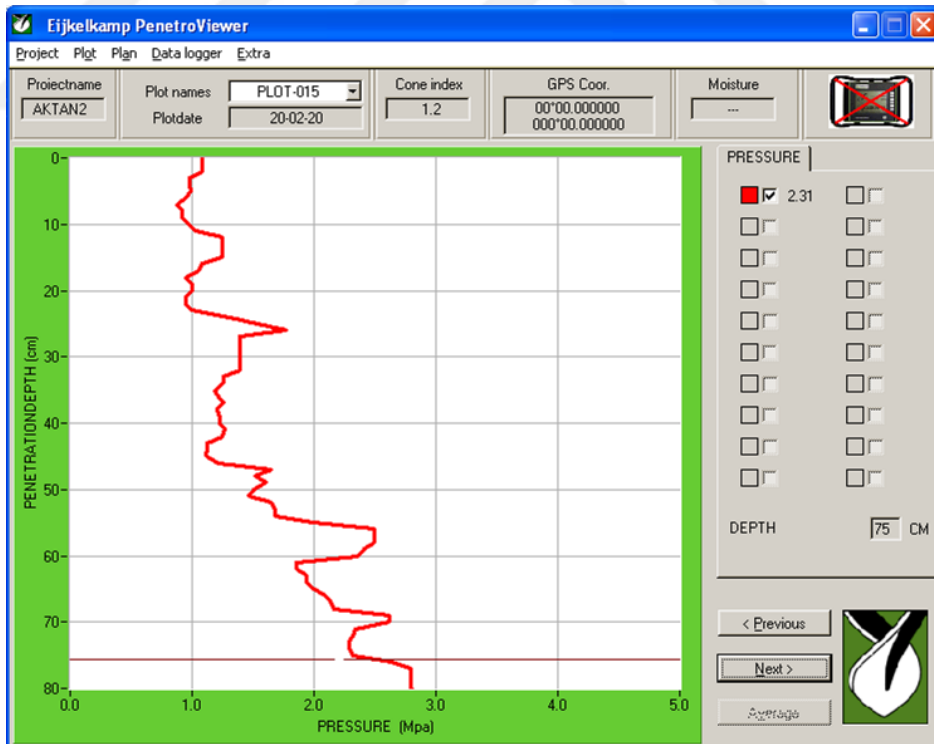
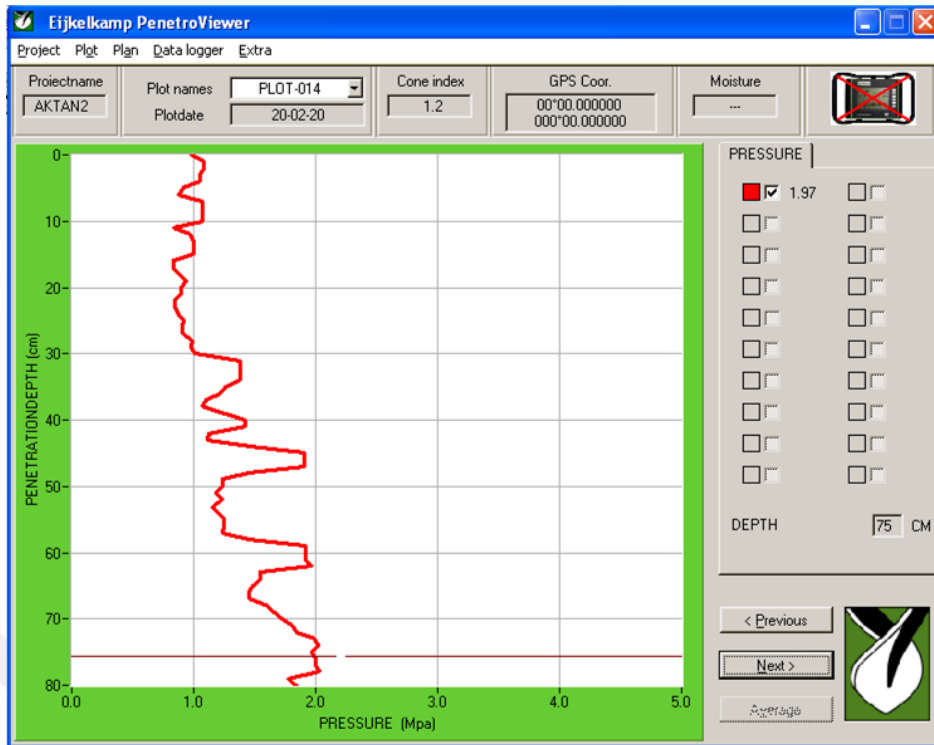


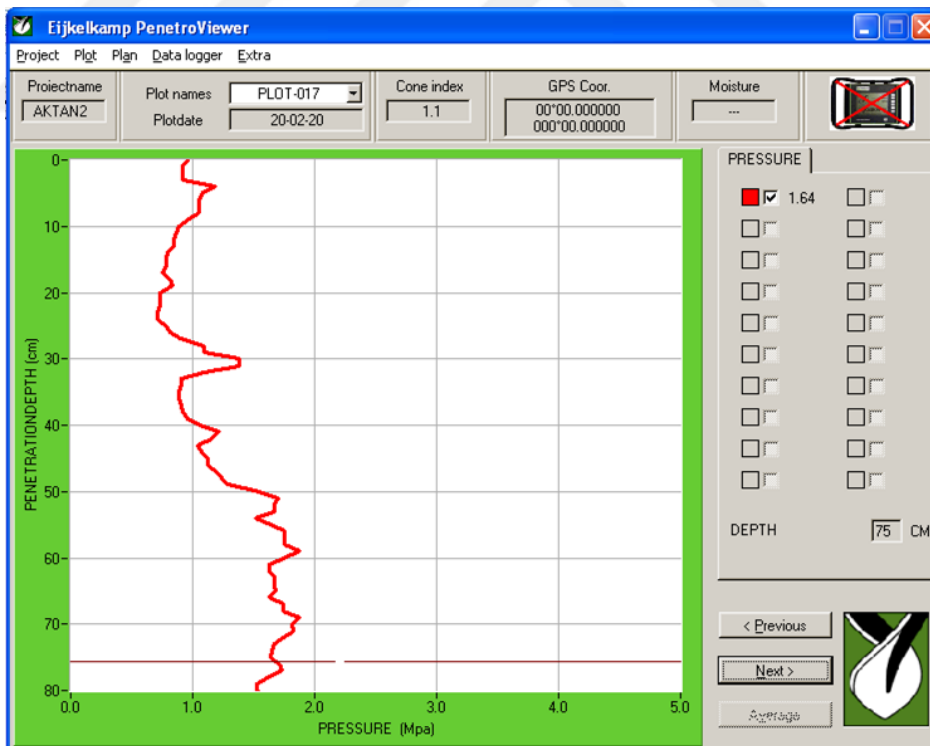
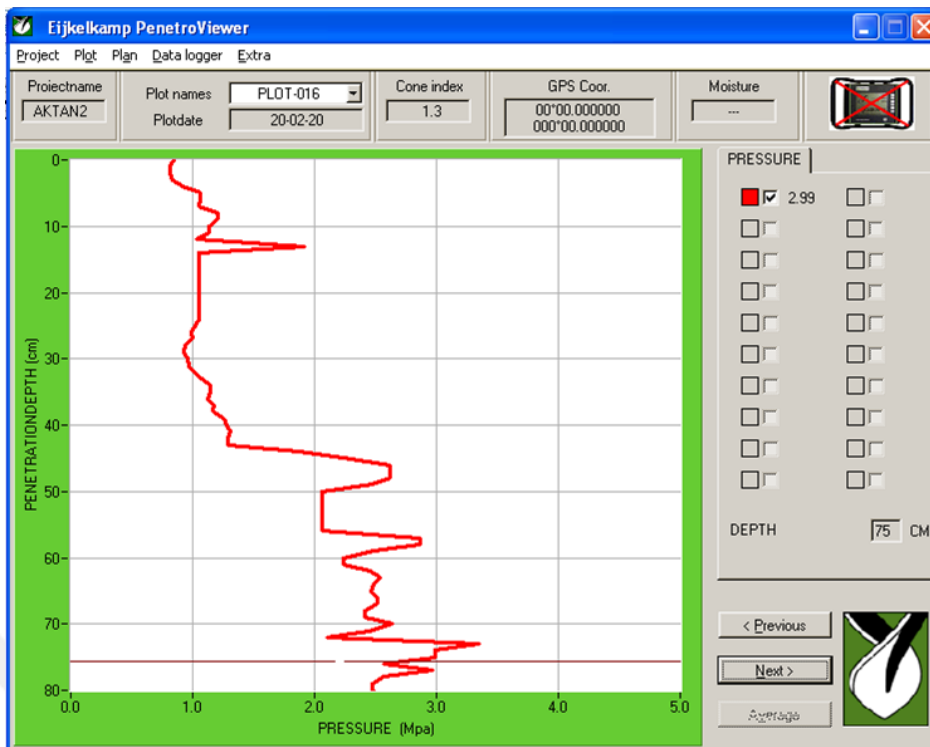


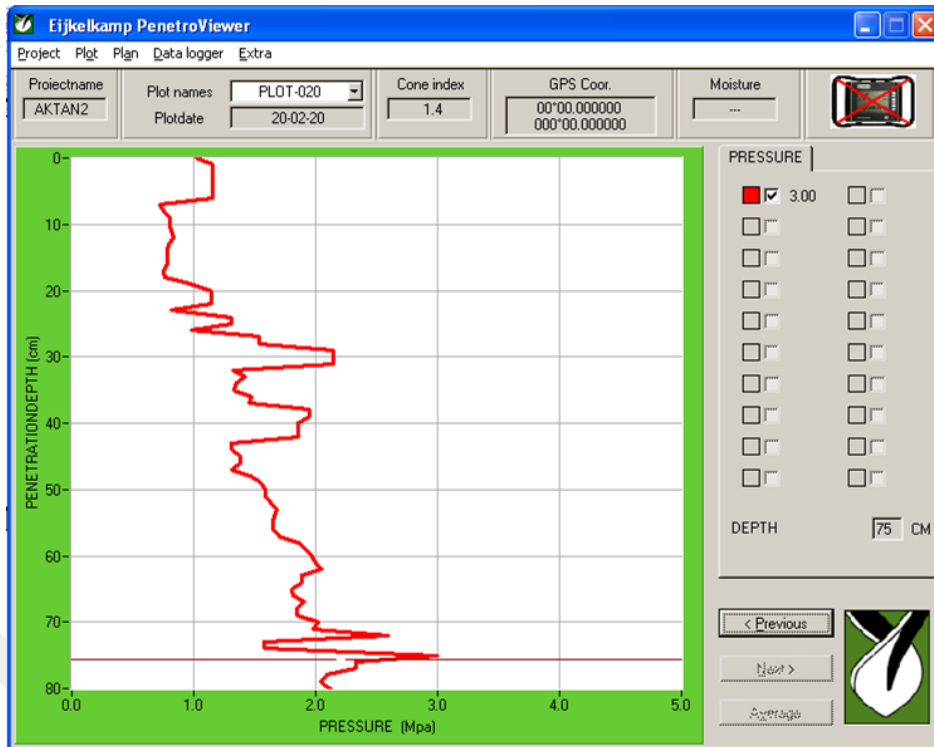












ÖZGEÇMİŞ

Fotoğraf

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı: HANGİŞİ Aktan
Uyuşu: T.C
Doğum Tarihi ve Yeri: 23/11/1993, SİVAS
Medeni Hali: Bekar
Telefon: 0 (507) 011 59 09
e-mail: aktanhnagishi@hotmail.com

Eğitim

Derece:	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	AÇÜ/Orman Mühendisliği Anabilim Dalı	2019
Lisans	AÇÜ/Orman Mühendisliği Bölümü	2016
Lise	Hacı Mehmet Sabancı Lisesi	2011
İş Deneyimi	-	
Yabancı Dil	İngilizce	