

T.C.
ARTVİN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ
KOORDİNATÖRLÜĞÜ (AÇÜBAP)

BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJESİ
SONUÇ RAPORU

PROJE NO : 2016-F10.01.03
PROJE TÜRÜ : Lisansüstü Tez Projesi
PROJE ADI : Ağaçlandırma Çalışmalarının
Toprak Kalite İndeks Değeri Üzerine
Etkilerinin Belirlenmesi

PROJE YÜRÜTÜCÜSÜ :
Doç. Dr. Bülent TURGUT

ARAŞTIRMACI :
Emre ÇOMAKLI

ARTVİN - 2019

T.C.
ARTVİN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ
KOORDİNATÖRLÜĞÜ (AÇÜBAP)

BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJESİ

SONUÇ RAPORU

PROJE NO : 2016-F10.01.03
PROJE TİPİ : Lisansüstü Tez Projesi
PROJE ADI : Ağaçlandırma Çalışmalarının
Toprak Kalite İndeks Değeri Üzerine
Etkilerinin Belirlenmesi

PROJE YÜRÜTÜCÜSÜ :
Doç. Dr. Bülent TURGUT

ARAŞTIRMACI :
Emre ÇOMAKLI

ARTVİN - 2019

ÖNSÖZ

“Ağaçlandırma Çalışmalarının Toprak Kalite İndeks Değeri Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi” başlıklı bu çalışma Artvin Çoruh Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğünün desteği ile (Proje No: 2016-F10.01.03) “Lisansüstü Tez Projesi” olarak gerçekleştirilmiştir. Desteklerinden dolayı Artvin Çoruh Üniversitesi’nin Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü’ne teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmanın bilimsel literatüre faydalı olmasını dilerim.

Doç. Dr. Bülent TURGUT

Proje Yürütücüsü

Artvin-2019

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET	V
SUMMARY.....	VI
TABLolar DİZİNİ	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
KISALTMALAR DİZİNİ.....	X
1 GİRİŞ.....	1
2 MATERYAL VE YÖNTEM.....	13
2.1 Materyal.....	13
2.1.1 Araştırma Alanı Genel Özellikleri	13
2.2 Yöntem	14
2.2.1 Toprak Örneklerinin Alınması ve Analize Hazırlanması	14
2.1.2 Yapılan Analizler	15
2.1.3 İstatistiksel Değerlendirme	16
2.1.4 Toprak Kalitesi İndeksi Değerlendirme Yöntemleri.....	16
3 BULGULAR VE TARTIŞMA	18
3.1 İncelenen Özelliklere Ait Tanımlayıcı İstatistikler	18
3.2 İncelenen Özellikler Bakımından Çalışma Alanının Genel Değerlendirilmesi.....	19
3.3 İncelenen Toprak Özellikleri Bakımından Örnekleme Tabakalarının Karşılaştırılması	19
3.3.1 Kil İçeriğinin Örnekleme Tabakalarındaki Değişimi.....	19
3.3.2 Silt İçeriğinin Örnekleme Tabakalarındaki Değişimi	19
3.3.3 Kum İçeriğinin Örnekleme Tabakalarındaki Değişimi.....	20
3.3.4 Ortalama Ağırlık Çap Değerlerinin Örnekleme Tabakalarındaki Değişimi...20	
3.3.5 Agregatlaşma Oranı Değerlerinin Örnekleme Tabakalarındaki Değişimi	20
3.3.6 Agregat Stabilitesi Değerlerinin Örnekleme Tabakalarındaki Değişimi	20
3.3.7 pH Değerlerinin Örnekleme Tabakalarındaki Değişimi	20

3.3.8	Elektriksel İletkenlik Değerlerinin Örneklem Tabakalarındaki Değişimi....	20
3.3.9	Toplam Azot Değerlerinin Örneklem Tabakalarındaki Değişimi.....	21
3.3.10	Toplam Karbon Değerlerinin Örneklem Tabakalarındaki Değişimi.....	21
3.3.11	Toplam Kükürt Değerlerinin Örneklem Tabakalarındaki Değişimi	21
3.4	İncelenen Toprak Özellikleri Bakımından Ağaçlandırma Alanlarının Karşılaştırılması	21
3.4.1	Kil İçeriğinin Ağaçlandırma Alanlarındaki Değişimi.....	21
3.4.2	Kum İçeriğinin Ağaçlandırma Alanlarındaki Değişimi	22
3.4.3	Silt İçeriğinin Ağaçlandırma Alanlarındaki Değişimi	22
3.4.4	Ortalama Ağırlık Çap Değerlerinin Ağaçlandırma Alanlarındaki Değişimi..	23
3.4.5	Agregat Stabilitesi Değerlerinin Ağaçlandırma Alanlarındaki Değişimi.....	24
3.4.6	Agregatlaşma Oranı Değerlerinin Ağaçlandırma Alanlarındaki Değişimi	25
3.4.7	pH Değerlerinin Ağaçlandırma Alanlarındaki Değişimi.....	26
3.4.8	Elektriksel İletkenlik Değerlerinin Ağaçlandırma Alanlarındaki Değişimi...	26
3.4.9	Toplam Azot Değerlerinin Ağaçlandırma Alanlarındaki Değişimi	27
3.4.10	Toplam Karbon Değerlerinin Ağaçlandırma Alanlarındaki Değişimi.....	27
3.4.11	Toplam Kükürt Değerlerinin Ağaçlandırma Alanlarındaki Değişimi.....	28
3.5	İncelenen Özellikler Arasındaki Korelasyonlar	29
3.6	Toprak Kalite İndeksi	30
3.6.1	Gösterge Özellikler	30
3.6.2	Gösterge Özelliklerin Ağırlıklandırılması.....	31
3.6.2.1	Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) Yöntemiyle Ağırlıklandırma.....	31
3.6.2.2	Temel Bileşenler Analizi (Principle Component) Yöntemiyle Ağırlıklandırma.....	32
3.6.2.3	Ağırlık katsayılarının karşılaştırılması.....	32
3.6.3	Gösterge Özelliklerin Puanları	33
3.6.3.1	Uzman görüşleri Alınarak Elde Edilen Puanlar.....	33
3.6.3.2	Doğrusal Puanlama Fonksiyonları Kullanılarak Elde Edilen Puanlar	34
3.6.4	Toprak Kalite İndeks Değerleri	36
3.6.4.1	Eklemeli Toprak Kalite İndeks Değerleri	36
3.6.4.2	Temel Bileşenler Analizi Kalite İndeks Değeri (TKİ _{TBA}).....	37
3.6.4.3	Analitik Hiyerarşi Modeli Kalite İndeks Değeri (TKİ _{AHP})	38
3.6.4.4	Yöntemlerin Karşılaştırılması.....	39

4	SONUÇ VE ÖNERİLER	41
	KAYNAKLAR	43

ÖZET

AĞAÇLANDIRMA ÇALIŞMALARININ TOPRAK KALİTE İNDEKS DEĞERİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ

Bu çalışmada, Erzurum İli Palandöken dağında erozyon kontrolü amacıyla farklı zamanlarda tesis edilen ağaçlandırma sahalarındaki toprak kalite endeksinin (TKİ) belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, ağaçlandırma zamanlarına dikkate alınarak belirlenen (> 40 yaş, $10-40$ yaş ve <10 yaş) üç ağaçlandırma alanının her birinden 30 adet olmak üzere toplam 90 adet toprak örneği alınmıştır. Alınan toprak örneklerinde gerekli analizler yapılarak; kil içeriği (CC), silt içeriği (SC), kum içeriği (SaC), ortalama ağırlık çapı (MWD), agregat stabilitesi (AS), pH, elektriksel iletkenlik (EC), toplam azot (TN), toplam karbon (TC) ve toplam kükürt (TS) belirlenmiştir. Bu gösterge özelliklerin ağırlıklandırılmasında uzman görüşü ve temel bileşenler analizi kullanılırken puanlanmasında yine uzman görüşü ve doğrusal puanlama fonksiyonları kullanılmıştır. TKİ' nin belirlenmesi için, Eklemeli Toprak Kalitesi İndeksi (TKİ_E) yöntemi, Analitik Hiyerarşi Süreci (TKİ_{AHP}) ve Temel Bileşenler Analizi (TKİ_{TBA}) yöntemi kullanılmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda farklı zamanlarda tesis edilen ağaçlandırma sahalarında TKİ değerinin önemli farklılıklar gösterdiği, ilk tesis edilen ağaçlandırma sahasından son yapılamaya doğru TKİ değerlerinin azalma eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Toprak kalitesi, erozyon, toprak bozulması, temel bileşenler analizi, analitik hiyerarşi süreci

SUMMARY

DETERMINATION OF THE EFFECTS OF AFFORESTATION STUDIES ON SOIL QUALITY INDEX

The aim of this study was to determine soil quality index (SQI) in the afforestation areas established in different times for erosion control in Erzurum, Turkey. For this purpose, three afforestation areas were selected as plots due to their establishing times (>40 years old, 10-40 years old, and <10 years old) and 30 soil samples were taken in each plots. A total of 90 soil samples were taken and analysed for clay content (CC), silt content (SC), sand content (SaC), mean weight diameter (MWD), aggregate stability (AS), pH, electrical conductivity (EC), total nitrogen (TN), total carbon (TC), and total sulphur (TS). These properties were used as indicators, and the expert opinion and principle component analysis were used for weighting the indicators. Indicators were scored using the linear score functions and expert opinion. For determining SQI, the additive method (SQI_A), the weighted method with AHP (SQI_{AHP}), and the weighted method with principle component (SQI_{FA}) were used. The SQI scores of the plots showed statistically significant differences.

Keywords: Soil quality, erosion, soil degradation, principle component analysis, analytic hierarchical process

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. 1928-2018 yılları arasına ait bazı iklim verileri.....	14
Tablo 2. Örnek alanlarının konumları.....	14
Tablo 3. Gösterge ve fonksiyon tipleri.....	17
Tablo 4. İncelenen özelliklere ait tanımlayıcı istatistikler	18
Tablo 5. İncelenen özellikler arasındaki korelasyon analizleri	30
Tablo 6. Pairwise karşılaştırma matrisi.....	31
Tablo 7. Temel bileşenler analizine ait ağırlık değerleri.....	32
Tablo 8. Gösterge özelliklerin alt sınıflarına ait puanlar.....	33

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Toprak kalite göstergelerine etki eden bazı toprak özellikleri ve yönetim uygulamaları ile etkileşimleri.....	6
Şekil 2. Tarımsal ekosistemlerin sürdürülebilirliği ile toprak kalitesi arasındaki hiyerarşik ilişki	7
Şekil 3. Farklı genetik özelliklere sahip toprakların toprak kalitesi ile ilişkilendirilmesi	8
Şekil 4. Dinamik toprak kalitesinin zamana bağlı değişim eğilimi.....	9
Şekil 5. Çalışma alanının lokasyon haritası	13
Şekil 6. Çalışma alanı topraklarına ait tane büyüklük dağılımları	19
Şekil 7. Kil içeriğinde ağaçlandırma alanlarına bağlı olarak meydana gelen değişim	22
Şekil 8. Kum içeriğinde ağaçlandırma alanlarına bağlı olarak meydana gelen değişim	22
Şekil 9. Silt içeriğinde ağaçlandırma alanlarına bağlı olarak meydana gelen değişim	23
Şekil 10. Ortalama ağırlık çap değerlerinde ağaçlandırma alanlarına bağlı olarak meydana gelen değişim.....	24
Şekil 11. Agregat stabilitesi değerlerinde ağaçlandırma alanlarına bağlı olarak meydana gelen değişim.....	25
Şekil 12. Agregatlaşma oranı değerlerinde ağaçlandırma alanlarına bağlı olarak meydana gelen değişim.....	26
Şekil 13. Toprakların pH değerlerinde ağaçlandırma alanlarına bağlı olarak meydana gelen değişim.....	26
Şekil 14. Toprakların elektriksel iletkenlik değerlerinde ağaçlandırma alanlarına bağlı olarak meydana gelen değişim.....	27
Şekil 15. Toplam azot içeriği değerlerinde ağaçlandırma alanlarına bağlı olarak meydana gelen değişim.....	27
Şekil 16. Toplam karbon içeriği değerlerinde ağaçlandırma alanlarına bağlı olarak meydana gelen değişim.....	28
Şekil 17. Toplam kükürt içeriği değerlerinde ağaçlandırma alanlarına bağlı olarak	

meydana gelen değişim.....	29
Şekil 18. AHP ve TBA yöntemlerinden elde edilen ağırlık katsayıları	33
Şekil 19. Kil içeriği, kum içeriği, silt içeriği, ortalama ağırlık çap, elektriksel iletkenlik, agregat stabilitesi, agregatlaşma oranı, toplam azot ve toplam karbon içeriğine ait puanlar	35
Şekil 20. $TKİ_E$ değerlerinin örneklem alanlarındaki dağılımı.....	36
Şekil 21. $TKİ_E$ için ağaçlandırma alanlarındaki gösterge özelliklerin sınırlayıcı etkileri	37
Şekil 22. $TKİ_{TBA}$ değerlerinin ağaçlandırma alanlarında aldığı değerler.....	37
Şekil 23. $TKİ_{TBA}$ için ağaçlandırma alanlarındaki gösterge özelliklerin sınırlayıcı etkileri	38
Şekil 24. $TKİ_{AHP}$ değerlerinin ağaçlandırma alanlarında aldığı değerler	39
Şekil 25. $TKİ_{AHP}$ için ağaçlandırma alanlarındaki gösterge özelliklerin sınırlayıcı etkileri	39
Şekil 26. $TKİ$ değerlerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması.....	40

KISALTMALAR DİZİNİ

AHP	Analitik Hiyerarşi Süreci
SOC	Toprak Organik Karbonu
TBA	Temel Bileşenler Analizi
TC	Toplam Karbon
TKİ	Toprak Kalite İndeksi
TN	Toplam Azot
TS	Toplam Kükürt

1 GİRİŞ

XXI. yüzyılın küresel sorunu olan toprak bozulması; toprağın, paydaşlarının istediği şekilde ekosistem ve hizmetler sağlamadaki azalan kapasitesi olarak tanımlanmaktadır (Da Silva ve ark., 2019). Bozulma, erozyonla toprağın taşınmasından, toprağın kimyasal ve biyolojik ortamındaki değişikliklerden, hızlı besin kaybından, toprak gözenekliliğinin azalmasından ve toprağın sızdırmazlığı gibi nedenlerden kaynaklanabilmektedir (Krasilnikov ve ark., 2016). Toprağın çevresel düzenleyici fonksiyonları da üretkenliğiyle yakından ilişkilidir ve bunların ikisi de toprak kalitesine göre belirlenmektedir (Lal ve ark., 1998). Bir bölgenin verimliliğinin sürdürülebilirliği için toprak kalitesini koruyan ve erozyonu azaltan en iyi yönetim uygulamaları geliştirilmelidir (An ve ark., 2008).

Arazi kullanımlarının bölgesel olarak farklılıklar göstermesi ve arazi çeşitliliği gibi nedenlerden dolayı toprak kalitesi ile ilgili birçok tanımlama yapılmıştır. (Parr ve ark., 1992) Toprak kalitesini, toprakların çevreye ve doğal kaynaklara zarar vermeden, insan ve hayvan sağlığını geliştirme ve sürdürülebilir güvenli gıda maddeleri sağlama kabiliyeti olarak tanımlamışlardır. Tarımsal açıdan bakıldığında; toprakta bozulmanın olması veya ürün gelişimini sürdürülebilir bir şekilde destekleme kapasitesi de toprak kalitesi olarak ifade edilmektedir (Acton ve Gregorich, 1995). Amerika Toprak Bilimi Derneği ise; toprak kalitesini, “doğal veya amenajman ekosistem sınırları içerisindeki bir toprağın, bitki ve hayvan üretiminin sürdürülebilir olmasına katkı sağlaması, su ve hava kalitesini koruması ve iyileştirmesi, insanların sağlığını ve diğer canlıların yaşamlarını desteklemesi şeklindeki işlevselliği” olarak tanımlamıştır (Mutlu, 2015).

Toprak kalitesi konusunda yapılan çalışmalar iki görüşü ön plana çıkarmaktadır. Bu görüşler; toprağın sahip olduğu özelliklerinden gelen kapasitesi (Doran ve Parkin, 1994; Karlen ve ark., 1997) ve insan müdahalelerinin etkisinde bulunan toprak sağlığı olarak da adlandırılan kullanıma uygunluğudur (Acton ve Gregorich, 1995; Özulu ve ark., 2006).

Romig ve ark. (1996) ise “toprak kalitesi” ve ”toprak sağlığının” birinin yerine kullanabileceğini belirtmişlerdir. Doran ve Zeiss, (2000) toprak sağlığını bitki ve hayvanların üretkenliğini sürdürmek, su ve hava kalitesini korumak veya geliştirmek ve bitki ve hayvan sağlığını arttırmak için ekosistem ve arazi kullanım sınırları içinde hayati bir yaşamsal sistem olarak işlev gören toprak kapasitesi olarak ele almıştır. Günümüzde yapılan çalışmalarda toprak kalitesi kavramı toprak sağlığı kavramı ile birlikte kullanılmaya başlamıştır. Toprak sağlığı kavramı daha çok üreticiler ve tarım danışmanları tarafından toprak amenajmanını tanımlamada tercih edilmektedir (Acir, 2014). Bu kavramlar arasındaki net bir ayrım bulunmamakla birlikte toprak kalitesi, toprak özelliklerinin bir fonksiyonu olarak tanımlanmakta iken toprak sağlığı bu özelliklerin yanında; bitkisel ve hayvansal üretimin sürdürülebilirliğini sağlayan, su ve hava kalitesinin korunmasını ve gelişimini sağlayan ve insan ve hayvan sağlığını destekleyen ortam olarak dikkate alınmaktadır (Cebel, 2011).

Toprak kalitesi kavramını detaylı olarak açıklayabilmek için toprağın sahip olduğu çoklu işlevleri bilmek ve tarımsal faaliyetler ile toprak kalitesi arasındaki derin ilişkiyi iyi anlamak gerekir. Son yıllarda toprak kalitesi kavramı, beraberinde toprağın bitkisel üretimdeki yerini ve çevre sağlığı açısından rolünü akla getirmiştir. Toprak kalitesi agroklmatik faktörler, hidrojeoloji ve üretim tekniklerinin bir fonksiyonudur. Toprak derinliği, su tutma kapasitesi, hacim ağırlığı, bitki için yarayışlı besin maddesi miktarı, organik madde miktarı, mikrobiyal kütle, karbon ve azot içeriği, toprak yapısı, infiltrasyon hızı ve ürün verimi gibi birçok özellik tarafından belirlenmektedir (Cebel, 2011; Canbolat, 2006; Öztaş, 1997).

Toprak kalitesi, arazi kullanımlarını sürdürülebilir kılmak için belirlenen yönetim uygulamalarının ve arazi bozulmasının değerlendirilebilmesi için önemli bir göstergedir. Toprak kalitesi, kullanım ve yönetim uygulamalarına, ekosisteme, çevre koşullarına ve sosyoekonomik gibi koşullara bağlı olmasından dolayı toprağın şemsiye karakteristiği taşımaktadır (Kadioğlu ve Canbolat, 2014; Cebel, 2011; Doran ve Parkin, 1994).

Bilim insanlarının bir kısmı toprak kaynaklarının karmaşıklığından dolayı toprak kalitesi değerlendirme yöntemlerini anlamsız bulurken bir kısmı da toprak kaynaklarının önemli özelliklerinin biliniyor olmasının toprak kalitesini tanımlamaya

ve değerlendirmeye yeteceği kanaatini taşıtmaktadır (Karlen ve ark., 2008). Avrupa Birliği Komisyonu, farklı ekolojik koşullarda sũrdũrũlebilir tarım sistemlerinin sağlanması için toprak kalitesinin korunmasını ön koşul olarak ifade etmiştir (Audsley ve ark., 1997). Doğal kaynakları; ũretkenliklerinin ve verimliliklerinin sũrdũrũlebilirlięini sağlamak için kapasitesine uygun olarak kullanmak ve doğru yönetmek gerekmektedir (zbek, 2004).

Teknolojik gelişmelere paralel olarak değişen uygulamalar, toprağın fiziksel özelliklerini etkilemek suretiyle kimyasal özelliklerinin de değişmesine etki ederek toprağın kalitesini yönlendirmektedir. Toprak kalitesi arazi kullanımının sũrdũrũlebilirlięinin sağlanması için uygulanan yönetim tarzının ve arazi degradasyonunun veya ıslahının değerlendirilebilmesi için önemli bir lũttũr (Kadioğlu ve Canbolat, 2014).

Karlen ve ark. (2008), toprak kalitesi çalışmalarında genel amacı, toprak amenajman uygulamalarının toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri ũzerine olan etkilerinin izlenmesi ve değerlendirmesini kullanarak, toprakların mevcut durumunu inceleyerek gelecekteki potansiyelleri hakkında tahminde bulunmak olarak ifade etmiştir.

Son yıllarda; pek çok ũlke tarafından toprak kalitesi değerlendirme yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır (Nortcliff, 2002). İlk zamanlarda toprak kalitesini belirlemek ve sũrdũrũlebilirlięini sağlamak için kullanılan yöntemler sadece toprağın sahip olduğu fiziksel ve kimyasal özellikleri içermekteydi. Ancak sadece fiziksel ve kimyasal özellikler toprak kalitesini yansıtmada her zaman sağlıklı veriler vermemektedir. ũnkũ toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerinden bazıları arazi kullanımı, ağır metal kirliliği, amenajman pratikleri gibi çeşitli faktörler tarafından az etkilenmekte veya hiç etkilenmemektedir. Aynı şekilde çok farklı metodolojik yaklaşımların bulunması, genel kabul grmũř standart analiz, örnek toplama ve depolama metotlarının bulunmaması ve biyokimyasal özelliklerin mevsimsel ve yerel olarak bũyũk oranda değişikler göstermesi toprak kalitesinin tahmininde sağlıklı bilgiler vermemektedir. Bu sebeplerle sadece fiziksel ve kimyasal özelliklerin veya biyokimyasal toprak özelliklerinin tek başına kullanılmaları yerine bunların kombine edildiği Kompleks indekslerin kullanımı ile toprak kalitesi daha sağlıklı ve doğru bir

şekilde ortaya konabilecektir (Özulu ve ark., 2006). Ayrıca toprak kalitesinin değerlendirilmesinde; arazi yönetim uygulamalarını doğru analiz edebilmek için multidisipliner çalışmalar yapmak gerekmektedir.

Farklı özelliklere sahip (topoğrafya, iklim vb.) ve birbirinden farklı bölgelerde uygulanmış toprak kalitesi değerlendirme yöntemi mevcuttur. Bu yöntemlerden ilk kullanılanı skor kartları kullanılarak değerlendirilen karşılaştırmalı değerlendirme metodudur (Shepherd, 2000). Bu yöntemlerde toprağın fiziksel, kimyasal, biyolojik özelliklerindeki zamansal değişimlerin bölgeden bölgeye nasıl değiştiğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bir diğer değerlendirme yöntemi ise bir alandaki toprak organik maddesinin durumu üzerindeki hasat ve toprak işleme uygulamalarının sonuçlarını tahmin eden nispeten basit bir model olan Toprak Şartlandırma İndeksi (SCI) dir. Ancak bu indeks, sadece nemli, ılıman ve tınlı topraklarda yapılan araştırmalara dayanılarak geliştirildiği için diğer durumlar için test edilmemiştir. Bu indeks Amerika Birleşik Devletleri Doğal Kaynakları Koruma Servisi (USDA-NRCS) tarafından erozyon kayıpları, arazi bilgileri ve organik madde girdileri bilgilerine bağlı olarak toprak organik maddesindeki olumlu veya olumsuz eğilimi tahmin etmek için kullanılmaktadır. Toprak organik karbon (SOC) dinamiklerini etkileyebilecek uzun vadeli yönetim koşullarına karşı yeterince test edilmemiş olmasına rağmen USDA-NRSC, toprak organik karbon (SOC) durumu üzerindeki yönetim faaliyetlerinin sonuçlarını tahmin etmek için Toprak Şartlandırma İndeksi'ni (SCI) önermiştir (Abrahamson ve ark., 2009; Zobeck ve ark., 2007).

Fakat günümüzde, sistemin sürdürülebilirliği için bir ölçü oluşturmak için direk karşılaştırarak yapılan değerlendirme yerine daha dinamik bir yaklaşım kullanılmaktadır. Karşılaştırmalı yaklaşımda, bir sistemin değerlendirilmesi alternatif sistemin özellikleri ve çıktıları, biyotik ve abiyotik toprak sisteminin nitelikleri ile karşılaştırılarak yapılmaktadır. Daha sonra sistemlerin sürdürülebilirliği hakkında ölçülen parametrelerin değerleri arasındaki farka bakılarak yorumlama yapılmaktadır (Bayram, 2015). Toprak kalitesinin değerlendirilmesinde kullanılan yaygın yöntem ise USDA-NRSC tarafından geliştirilen “Toprak Amenajmanı Değerlendirme Çerçevesi” (SMAF) dir. Bu yöntemde toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik indikatörleri kullanılarak toprağın dinamik kalitesinin değerlendirilmesi yapılmaktadır. Bu seçilen indikatörlerin skorlanmasında kullanılan çeşitli faktörler, çalışma alanının

özelliklerine göre değiştirilebildiği için yere özgü yorumlama yapılabilmesini sağlamaktadır. Böylece istenilen arazi kullanım amacı için toprağın fonksiyonlarını yerine getirme yeteneği hakkında bilgi vermektedir.(Acir, 2014).

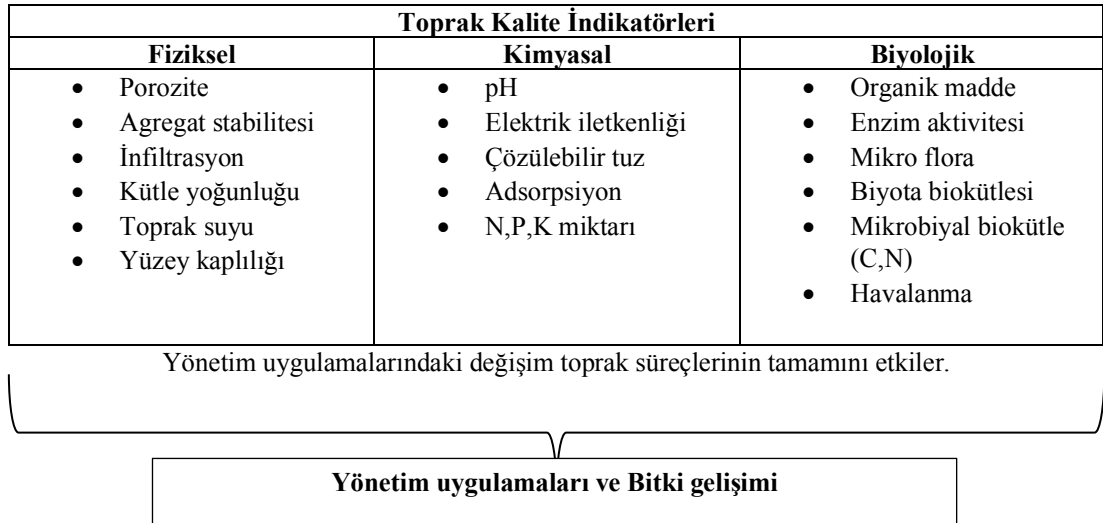
Toprak kalitesi indekslerinin hesaplandığı çalışmaların çoğunda doğrusal olmayan skorlama fonksiyonları kullanılmaktadır. Bu fonksiyonlar; indikatörlerle, toprak veya ekosistem fonksiyonları arasındaki ilişkileri sayısallaştırmakta ve toprak tipi, iklim ve yetiştirilen bitkilere göre göstergeler için öngörülen aralıkları tanımlamaktadır. Anlamlı bir toprak kalitesi indeksi elde edebilmek için bölgesel koşulların dikkate alınması ve göstergelerin eşik değerlerinin o bölgeye göre tespit edilmesi gerekmektedir (Acir, 2014). Toprağı tanımlayabilecek özellikleri sayısal bir ortamda değerlendirmek toprak kaynaklarının durumunu tanımlama bakımından son derece önemli olmaktadır.

Ancak skorlamada her indikatör bağımsız olarak değerlendirilmekte ve toprak kalitesine ne derecede etki ettiği hakkında yeterli bilgi vermemektedir. Toprak kaynaklarının karmaşıklığından dolayı toprak kalitesi değerlendirmesinde; toprak kalitesine etki eden faktörlerin hangi ağırlıkta etki ettiğinin belirlenmesi faydalı olmaktadır. Bu ağırlıkların hesaplamasında ise çok kriterli karar verme yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasında; karar verme sürecinde hem objektif ve hem subjektif faktörlerin bir arada değerlendirilmesine imkân sağlayan, uzman görüşlerini dikkate alan ve kolay anlaşılır birçok kriterli karar verme tekniği olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) metodolojisi yaygın olarak kullanılmaktadır (Daşdemir ve Güngör, 2002; Mendoza, 1997; Salehpour Jam ve ark., 2017). AHP, esasında indikatörlerin ikili karşılaştırılmasından elde edilen öncelikleri temel alan bir ölçüm teorisidir. AHP uygulaması hiyerarşi modeli kurulmasıyla başlamaktadır AHP’de teknik olarak en üst düzeyde bir amaç ve bu amacın altında sırasıyla kriterler, alt-kriterler ve seçeneklerden oluşan hiyerarşik bir model kullanılmaktadır (Daşdemir ve Güngör, 2002). En üst düzeyde problemin amacı, alt düzeyde ise problemle ilgili ana kriterler, ana kriterlerin bir alt düzeyinde ise ilgili kriterin alt kriterleri yer almaktadır. Hiyerarşi modeli bu şekilde oluşturulduktan sonraki aynı önem derecesine sahip kriterlerin birbirine göre ağırlıkları belirlenmektedir.

Schmoldt ve ark., (1995) yapmış oldukları çalışmada AHP'nin karar verme senaryolarında sahip olduğu esneklik ve farklı ilgi gruplarının katılımlarını adil ve objektif olarak sağlanması yönünde, oldukça faydalı bir teknik olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Kuusipalo ve ark., (1997) tarafından Endonezya Borneo yağmur ormanlarının sürdürülebilirliğin sağlanması amacıyla çevresel değerlendirmeler ve ekonomik analizler içeren katılımcı bir planlama yaklaşımı sağlamak için yaptıkları bir çalışmada AHP tekniği kullanılmış ve AHP tekniğinin planlama yaklaşımı için uygun olduğu sonucuna varmışlardır.

Toprak kalitesini doğrudan ölçebilmemiz mümkün olmadığı için toprak kalitesinin göstergeler üzerinden değerlendirilmesi en sağlıklı yoldur. Bu göstergelerin toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik toprak özelliklerinden olması ve arazi kullanımındaki değişimleri yansıtır nitelikte olması gerekmektedir. Dolayısıyla toprak kalitesi bazı indikatörlerin değerlendirilmesi sonucunda yorumlanabilir (Şekil 1.).

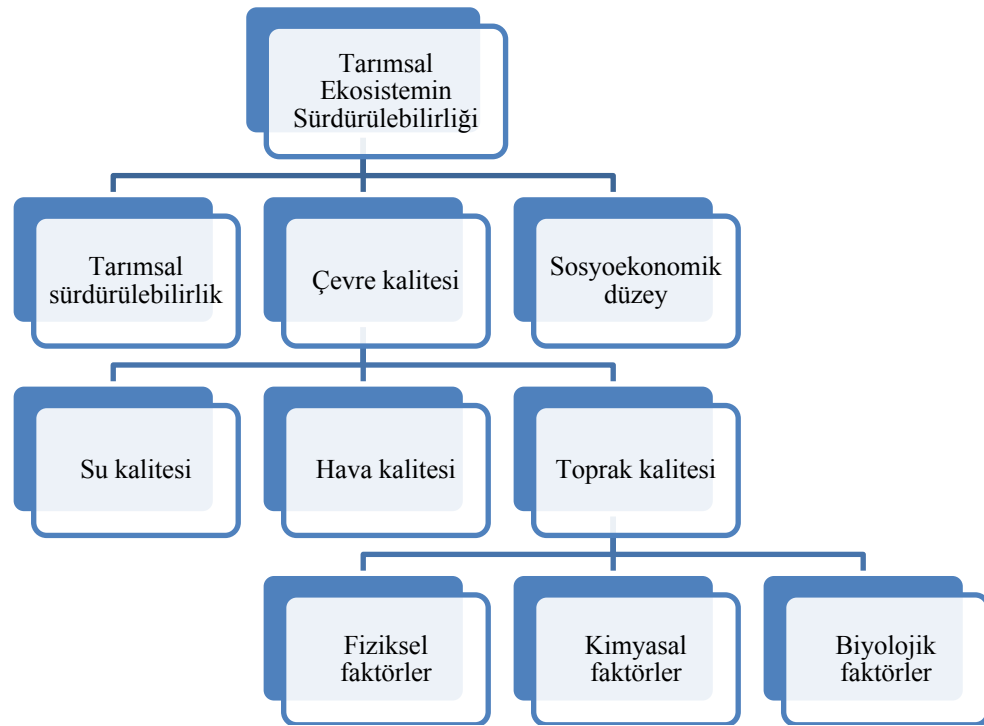


Şekil 1. Toprak kalite göstergelerine etki eden bazı toprak özellikleri ve yönetim uygulamaları ile etkileşimleri (Ernest ve ark., 2015).

Toprak kalitesinin değerlendirilmesinde kullanılacak indikatörler kolay ölçülebilen toprak ve/veya bitki özellikleri olmalı, toprak fonksiyonlarına bağlı değişim göstermeli, arazi koşullarına kolay uygulanabilir olmalı ve ilkim ve arazi yönetimi değişimlerine duyarlı olmalıdır (Özulu ve ark., 2006).

Ölçülebilir parametrelerle toprak fonksiyonları arasındaki ilişkilerin sayısallaştırılması ile toprak kalitesi değerlendirilebilir (Karlen ve ark., 1997). Fakat toprak kalitesi; toprak derinliği, su tutma kapasitesi, hacim ağırlığı, yararlı besin maddesi miktarı, organik madde miktarı, mikrobiyal kütle, karbon ve azot içeriği, toprak yapısı gibi birçok özellik tarafından belirlenebilmektedir. Bu özellikler arasındaki korelasyon nedeniyle bu güne kadar yapılan çalışmalar toprak kalitesini ölçme ve sayısal olarak ifade etme açısından yetersiz kalmıştır (Özulu ve ark., 2006).

Yapılan çalışmaların birçoğunda toprak kalitesi ile ilişkili göstergeler belirlenmiş ve çalışılan alanlar için çoğunlukla fiziksel, kimyasal ve biyolojik toprak özelliklerinden minimum veri setleri oluşturulmuştur (Acir, 2014). Bu veri setleri çoğunlukla fiziksel, kimyasal ve biyolojik toprak özelliklerinden oluşturulmuştur (Şekil 2).



Şekil 2. Tarımsal ekosistemlerin sürdürülebilirliği ile toprak kalitesi arasındaki hiyerarşik ilişki (Andrews ve ark., 2002)

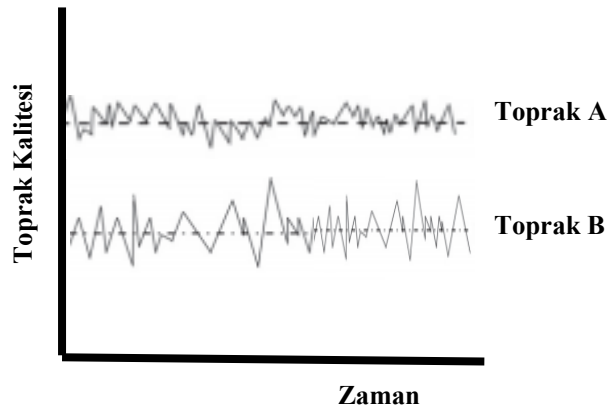
Arazilerin sürdürülebilirliğinin sağlanmasında önemli bir yeri olan toprak kalitesinin değerlendirilmesi çiftçilere, arazide uyguladıkları ve/veya uygulayacakları yöntemlerin toprak kalitesinde meydana getirdiği/getireceği değişikliklerin yönünü tayin edebilme imkânı sağlamaktadır (Karlen ve ark., 1997).

Toprak kalitesini sürdürmenin anahtarı ise alana özgü yönetim uygulamasıdır. Alana özgü yönetim, arazide meydana gelen değişimlerin ve toprakların verimi etkileyen fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin ayrıntılı bir şekilde bilinmesini gerektirir (Jones, 1994).

Toprak özellikleri, hem ana materyal gibi genetik özelliklerden hem de gübreleme ve toprak işleme gibi amenajman uygulamalarından etkilenmektedir. Toprak özelliklerindeki değişkenliklerin izlenmesi ve sayısallaştırılması, uygulanan amenajman tekniklerinin etkilerinin daha iyi anlaşılabilmesi ve daha etkin tarımsal uygulamaların planlanabilmesi için gereklidir (Sun ve ark., 2003).

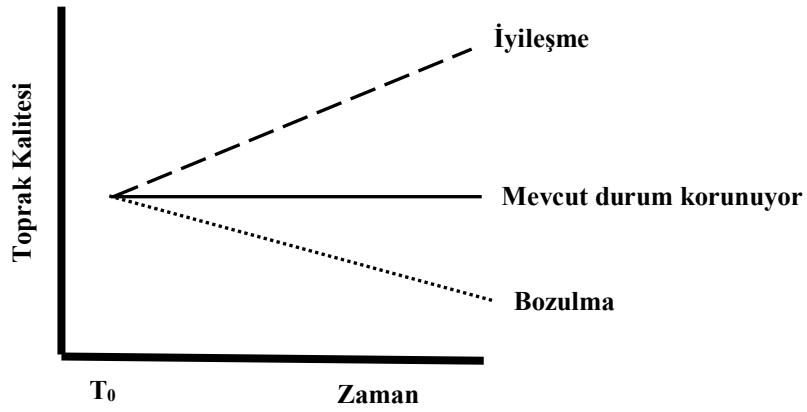
Toprağın mesafeye bağlı değişkenliğinin belirlenmesi; toprak özellikleri ile çevresel faktörler arasındaki karmaşık ve derin ilişkilerin anlaşılması bakımından oldukça önemlidir (Acir, 2014). Ancak toprağın özelliklerinin mesafeye bağlı değişkenliğinin yüksek olmasından dolayı bir bölge için hazırlanan minimum veri setleri farklı bölgelerdeki topraklar için kullanılamazlar. Bu nedenle seçilen göstergelerin hedeflenen toprak kalitesi fonksiyonlarına ve bölgeye uygun olarak seçilmesi gerekmektedir (Nortcliff, 2002).

Farklı toprak oluşum faktörlerinin etkisinde oluşan farklı toprakların karşılaştırılmaları ancak eğim ve yüzey özellikleri gibi doğal farklılıkları üzerinden yapılabilir. Bu özellikler üzerinden yapılacak değerlendirmeler sadece iklim, ana materyal, bitki örtüsü gibi özellikleri karşılaştırmadan öteye gitmeyecektir. (Şekil 3).



Şekil 3. Farklı genetik özelliklere sahip toprakların toprak kalitesi ile ilişkilendirilmesi (Karlen ve ark., 2011)

Değerlendirme yapılması gereken konu toprak kaynaklarının yönetim uygulamalarına bağlı olarak (iyileştirilmekte, bozulmakta veya mevcut durumunu korunmakta) değişimlerini ortaya koymaktır (Şekil 4). Bu değişimler aynı indikatörleri aynı toprak özelliklerine sahip fakat farklı amenajman uygulamalarının yapıldığı alanlarda izlenerek ortaya koymak suretiyle sağlıklı değerlendirilebilmektedir. Böylece uzun süreli ölçüm ve gözlemlerle toprak yönetim uygulamalarının toprak kalitesi üzerine etkisi belirlenmiş olacaktır.



Şekil 4. Dinamik toprak kalitesinin zamana bağlı değişim eğilimi (Karlen ve ark., 2011)

Toprak kalitesinde zamanla meydana gelen değişimlerin izlenmesi sürdürülebilir amenajman uygulamasının belirlenmesinde önemli bir etki yapmaktadır (Tugel ve ark., 2005).

Toprak kalitesinin arazi yönetim uygulamalarından ne kadar etkilendiğini anlayabilmek ve olumsuz değişimlere zamanında müdahale edebilmek için belirli zamanlarda toprak kalitesi ölçülmesi gerekmektedir. Toprak kalitesi değerlendirme sistemi çevre üzerindeki antropojenik etkinin izlenmesi için önemli ve potansiyel orman toprağı verimliliğinin değerlendirilmesi için de faydalıdır. Ayrıca bu indeksler sürdürülebilir orman yönetimi ve ekosistemin istikrarı açısından da önem arz etmektedir (Pietrzykowski, 2014). Orman ekosistemlerinin işlevinin ve uzun vadeli sürdürülebilirliğinin izlenmesi çeşitli göstergelerin kullanımına dayanmaktadır. Bu durumda, bir gösterge, bir toprağın ne kadar iyi durumda olduğunu belirleyen toprak özelliğinin ölçülebilir bir temsilcisi olmaktadır. Bu nedenle alanlar için önemli olan toprak özellikleri bir toprak kalitesi göstergesi olarak ölçülmeli ve yönetime bağlı değişiklikleri tespit edilmelidir (Burger ve Kelting, 1999; Schoenholtz ve ark., 2000).

Dindaroğlu ve Canbolat (2011), Kuzgun Baraj Gölü su üretim havzasını toprak kalitesi bakımından değerlendirmek ve orman-toprak-su yönetim sistemlerinin sürdürülebilirliğine katkı sağlamak amacıyla bir çalışma yürütmüşlerdir. Çalışmada kullanım durumlarına göre (orman, çayır ve mera) farklı eğim gruplarından alınan 60 adet üst toprak örneği (0-20 cm) alınarak toprak örnekleri arazi kalite indeks değerlerinin belirlenmesinde kullanılan fiziksel ve kimyasal analizlere tabi tutulmuştur. Çalışma sonucuna göre orman alanlarının %75'inin, mera alanlarının %66'sının ve çayır alalarının %50'sinin iyi kalite sınıfına sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Burger ve Kelting (1999), ormanların sürdürülebilirliğinin sağlanması için alanların izlenmesi, verimliliklerini korumak için gerekli toprak özelliklerinin tanımlanması gerektiğini bildirmişlerdir. Ayrıca belirli bir arazi tipine özgü belirlenmiş bir referans koşulu ile toprak kalitesi üzerindeki yönetim etkilerini karşılaştırma yeteneği sağlayan bir toprak verimliliği endeksi kullanılmasını önermişlerdir.

Zhang ve ark. (2015), Güney Çin'deki Çam plantasyonlarının Okaliptus plantasyonlarına dönüştürdükten sonra toprak kalitesindeki değişiklikleri inceledikleri çalışmada; organik karbon, toplam azot, sellobiyosidaz, fenol oksidaz, peroksidaz ve asit fosfataz aktiviteleri, birinci ve ikinci nesil Okaliptus plantasyonlarında Çam plantasyonuna kıyasla anlamlı derecede düşük çıktığını tespit etmişlerdir. Ayrıca toprak kalite indeksinin Çam plantasyonunda en yüksek (0.92) ve birinci ve ikinci Okaliptus plantasyonlarında (0.24 ve 0.13) en düşük seviyede olduğunu belirtmişler ve uzun vadeli toprak kalitesi izlemenin önemini vurgulamışlardır.

Capó-Bauçà ve ark. (2019), uzun süreli doğal yeşil örtü oluşturulmasının, Akdeniz asma bahçelerinde ki killi bir toprağın biyolojik ve fizikokimyasal özellikleri üzerindeki uzun vadeli etkilerini araştırmışlardır. Araştırma sonucunda yeşil örtünün organik karbon muhtevasını %1 arttırdığını, kuru agrega boyutunun arttığını ve kütle yoğunluğunun azaldığını ve uzun süreli yeşil örtünün toprak kalitesini arttığını tespit etmişlerdir.

Kara ve Bolat (2008), Bartın'da yaptıkları bir çalışmada; aynı yetiştirme ortamı koşulları altında, arazi kullanım şekillerinin toprak özelliklerini değiştirdiğini ve böylece toprakların mikrobiyal biokütle C ve N içeriklerini etkilediğini belirtmişlerdir. Toprak

yüzeyinde otsu veya odunsu bir türün gelişmesine olanak veren arazi kullanım türlerinin toprak kalitelerinin çıplak bırakılan arazi türlerine göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca nadasa bırakılan bir alanda bitki örtüsünün tekrar oluşumuna bağlı olarak toprak kalitesinde de artış gözlemlenmiştir. (Marzaioli ve ark., 2010).

Ormancılık faaliyetlerinin üst toprakları stabilize ederek toprak erozyonunu kontrol etmedeki, toprağı humus ile zenginleştirmesindeki ve karmaşık ortam için uygun bir nem rejimi sağlamasındaki rolü uzun zamandır bilinmektedir (Siyag, 2013). Ağaçlandırma çalışmaları, erozyona uğramış topraklarda ekosistem fonksiyonlarının restorasyonu için yaygın olarak kullanılmaktadır (Zhao ve ark., 2018). Yapılan birçok çalışmada, tek tür veya karışık ağaç türleriyle yapılan ağaçlandırmaların toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirdiğı tespit edilmiştir (Li ve ark., 2018).

Hinge ve ark. (2019), Hindistan, Meghalaya'da beş farklı arazi kullanımı ve toprak yönetimi türünün toprak kalitesi üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Araştırmada sık orman alanı (DF), terasta bulunan tarım alanı (BC), çam ormanı (PF), nöbetleşe ekim yapılan alan (SC) ve terk edilmiş arazilerden (AS) toplam doksan üç toprak örneğı olarak analiz edilmişler ve toprak kalitesi endekslerini: $0.91(DF) > 0.69(SC) > 0.63(PF) > 0.57(BC) > 0.37(AS)$ şeklinde bulmuşlardır. Sonuç olarak, toprakların kalite bozulmasının antropojenik faaliyetlerden kaynaklandığını bildirmişlerdir.

Marinari ve ark. (2006), İtalya'da biri organik, diğeri geleneksel yöntemlerle değerlendirilen iki tarım arazisinde, yönetim uygulamalarının toprak kalite indikatörlerine etkilerini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada; organik yöntemlerle değerlendirilen tarım arazilerinde önemli oranda daha iyi toprak besin içeriğı ve mikrobiyolojik ortamına sahip olduğunu ve toprak kalite göstergelerinin de önemli ölçüde etkilendiğini belirlemişlerdir.

Ağaçlandırma çalışmaları, bozulmuş toprakların verimliliğini geri kazanmanın en iyi yolu olarak kabul edilmektedir. Yer üstü biyokütlelerinin artması, ölü örtünün artması ve kök sistemi gelişiminin birleşik etkileri ile çoğı durumda toprak kalitesi ve saha verimliliğı dolaylı olarak artacaktır. Orman toprakları, ormancılık uygulamalarından büyük ölçüde etkilenmektedir. Bu etkilerin tanımlanması ve orman topraklarının işlevinin sürdürülebilmesi sürdürülebilir orman yönetiminin çok önemli bir parçasıdır.

Orman ekosistemlerinin uzun vadeli sürdürülebilirliğini değerlendirirken toprak kalitesinin dikkate alınması üzerinde önemle durulması gereken bir konudur.

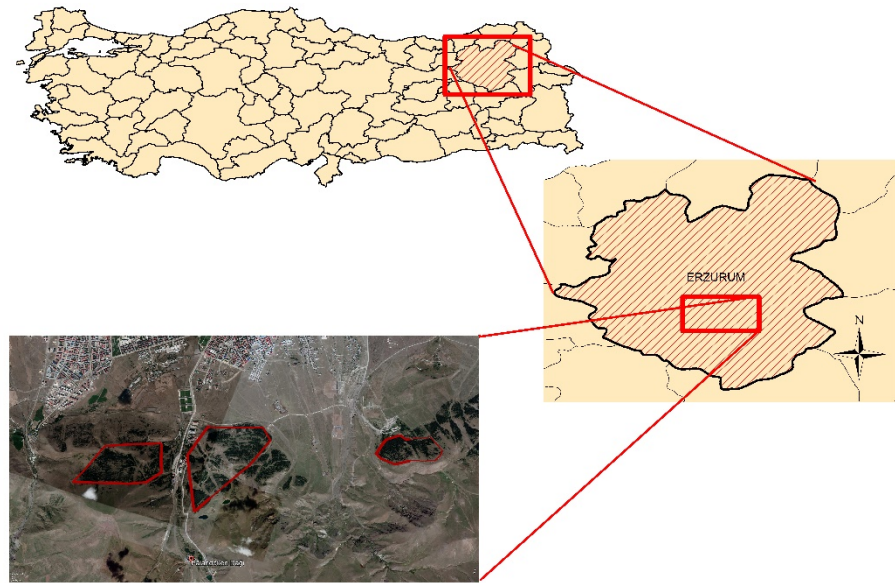
Bu araştırma çalışmasında, Erzurum Palandöken dağında bulunan farklı yaşlardaki sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) plantasyonlarında toprak kalite indeks değerinin zamana bağlı değişiminin karşılaştırılması hedeflenmiştir. Bu yönüyle çalışma sonuçları, ağaçlandırma alanlarında yaşa bağlı olarak toprak kalitesindeki değişimleri belirlemesi ve ağaçlandırmaların toprak özellikleri ve toprak C ve N depoları üzerindeki etkilerini tespit ederek bölgede ve/veya benze koşullarda yapılacak ağaçlandırma çalışmalarına yol göstermesi açısından önemlidir.

2 MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Materyal

2.1.1 Araştırma Alanı Genel Özellikleri

Bu çalışma; Türkiye'nin kuzeydoğusundan Erzurum ilinin yaklaşık 10 km güneyinde bulunan Palandöken Dağları'ndaki ağaçlandırma sahalarında gerçekleştirilmiştir. Araştırma sahası; 37S 695410 doğu boylamları ve 4415330 kuzey enlemleri arasında yer almaktadır (Şekil 5).



Şekil 5. Çalışma alanının lokasyon haritası

Örnek alınan noktaların rakımları ise 2000 m ile 2200 m arasında değişmektedir. Ana kaya andezit (Akbaş ve ark., 2011) ve doğal bitki örtüsü mera ve otlardan oluşmaktadır (Çomaklı ve ark., 2013). Bu sahalar 1970'li yıllardan günümüze kadar çeşitli zamanlarda ağaçlandırılan alanlardır. Ağaçlandırma çalışmalarında ağırlıklı olarak Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) kullanılmıştır. Ağaçlandırma sahalarının boşluklarında ve bitişik boş arazilerde; Nisan'da itibaren yeşillenmeye başlayan, Mayıs'ta çiçek açarak tohum bağladıktan sonra Temmuz ayından itibaren de sararmaya başlayarak tohumlarını bıraktıktan sonra kuruyan ot toplulukları yaygındır. Kuzey yamaçlarında yayılış gösteren

step formasyonunun başlıca türlerini ise geven (*Astragalus eriocephalus*), brom (*Bromus tectorum*, *Bromus tomentellus*), koyun yumağı (*Festuca ovina*), kekik (*Thymus sp.*) oluşturmaktadır (Günel, 2013; Çomaklı ve ark., 2012)

Bölgenin yıllık ortalama sıcaklığı 5,7 C° ve yıllık ortalama yağıışı ise 432 mm dir (Tablo 1). İklim tipi Erinç'in iklim sınıflandırmasına göre yarı nemli iklim olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca çalışma alanının eğimi, % 20-%25 arasında değişmektedir.

Tablo 1. 1928-2018 yılları arasına ait bazı iklim verileri (MGM)

	Ocak	Şub.	Mart	Nisan	May.	Haz.	Tem.	Ağus.	Eylül	Ekim	Kas.	Ara.	Yıllık
Ort. Sıcaklık (°C)	-9,2	-7,7	-2,4	5,4	10,7	14,9	19,3	19,5	14,7	8,1	1,0	-5,9	5,7
Ort. En Yüksek Sıc. (°C)	-4,0	-2,4	2,6	10,9	16,8	21,7	26,5	27,2	22,6	15,1	6,8	-1,0	11,9
Ort. En Düşük Sıc. (°C)	-14,0	-12,6	-7,1	0,0	4,4	7,3	11,2	11,2	6,5	1,8	-3,7	-10,3	-0,4
Ort. Güneş. Sür. (saat)	3,2	4,4	5,1	6,3	7,9	10,2	11,2	10,7	9,0	6,8	4,8	3,1	82,7
Ort. Yağ. Gün Say.	11,3	11,1	12,4	13,7	16,2	11,0	6,7	5,2	5,2	9,7	9,3	10,7	122,5
Ayl. Top Yağ. Mik. Ort. (mm)	22,5	26,8	34,9	53,0	73,8	49,0	26,6	17,7	23,5	48,3	33,1	22,8	432,0
En Yüksek Sıc. (°C)	8,0	10,6	21,4	26,5	29,6	32,2	35,6	36,5	33,3	27,0	20,7	14,0	36,5
En Düşük Sıc. (°C)	-36,0	-37,0	-33,2	-22,4	-7,1	-5,6	-1,8	-1,1	-6,8	-14,1	-34,3	-37,2	-37,2

2.2 Yöntem

2.2.1 Toprak Örneklerinin Alınması ve Analize Hazırlanması

Çalışma alanı genelinden ağaçlandırma zamanları göz önüne alınarak 10 yaş altında ($AA_{<10}$), 10-40 yaş aralığında (AA_{10-40}) ve 40 yaş ve üzeri ($AA_{>40}$) olmak üzere üç örnek alan belirlenmiştir (Tablo 2). Belirlenen her alan içerisinde, 0-15 cm ve 15-30 cm derinliklerden 30 adet toprak örneği alınmıştır. Alınan toprak örnekleri laboratuvar ortamında hava kurusu nem içeriğine ginceye kadar serilerek kurutulmuştur. Daha sonra kurutulan toprak örnekleri 2 mm'lik elekten geçirilmiştir.

Tablo 2. Örnek alanlarının konumları

$AA_{<10}$	AA_{10-40}	$AA_{>40}$
X: 698153	X: 695268	X: 694746
Y: 4416892	Y: 4415820	Y: 4415017

2.1.2 Yapılan Analizler

Tane büyüklük dağılımı

Toprak örnekleri için tane büyüklük dağılımı analizi yapılmıştır. Tane büyüklük dağılımı Bouyoucos hidrometre yöntemi ile belirlenmiştir (Gee ve Bauder, 1986).

Agregat stabilitesi (AS)

Toprakların agregat stabilitesi değerleri hava kurusu 4 g. 1-2 mm büyüklüğündeki agregat fraksiyonunun 0.25 mm elek açıklığında, 12.7 mm darbe uzunluğu ve 42 devir/dak. darbe frekansına sahip Yoder tipi ıslak eleme aleti kullanılarak belirlenmiştir (Kemper ve Rosenau, 1986).

Toplam karbon, azot ve kükürt içerikleri

Toprakların toplam karbon (TC), toplam azot (TN) ve toplam kükürt (TS) içerikleri Vario MACRO Cube Makro Elementel Analiz Cihazı ile belirlenmiştir.

Toprak reaksiyonu (pH)

Toprakların pH'ları 1:2,5'luk toprak-su süspansiyonunda cam elektrotlu pH metre ile ölçülmüştür (Conklin, 2013).

Elektriksel iletkenlik (EC)

Toprak örneklerinden hazırlanan saturasyon macunlarından elde edilen ekstraksiyon süzüklerinde elektriki kondüktivite aleti ile $\mu\text{mhos/cm}$ olarak belirlenmiştir (Rhoades, 1982).

Ortalama ağırlık çap (OAÇ)

Ortalama ağırlık çap aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır (Van Bavel, 1950).

$$MWD = \sum_{i=1}^n x_i y_i$$

Denklemde y_i her bir büyüklük sınıfının toplam numuneye göre ağırlıkça oranı ve, x_i büyüklük sınıflarının ortalama çapıdır (mm).

2.1.3 İstatistiksel Değerlendirme

Tüm toprak özellikleri için ortalamalar, standart sapma, minimum ve maksimum değerler ve varyasyon katsayısı dahil olmak üzere tanımlayıcı istatistikler belirlenmiştir. Toprak özelliklerinin normal dağılıma uygun olup olmadığını belirlemek için Shapiro-Wilk W test yöntemi uygulanmıştır. Ayrıca, ağaçlandırma sahaları ile toprak tabakaları arasındaki farkın belirlenmesinde toprak özellikleri açısından varyans analizi uygulanmıştır. İstatistiksel analizlerin yapılmasında JMP 5.0 paket programı kullanılmıştır (JMP, 2007).

2.1.4 Toprak Kalitesi İndeksi Değerlendirme Yöntemleri

Ağaçlandırma çalışmalarının toprak özelliklerine etkisi arasındaki kapsamlı karşılaştırma için toprak kalite indeksi (TKİ) kullanılmıştır. Toprak kalitesi indeksi (TKİ) hesaplanmasında, Eklemeli Toprak Kalitesi İndeksi (TKİ_E) yöntemi, Analitik hiyerarşi süreci (TKİ_{AHP}) ve Faktör Analizi (TKİ_{FA}) yöntemi kullanılmıştır. TKİ' nin hesaplanmasında sırasıyla; göstergelerin seçimi, ağırlık göstergeleri ve puanlama göstergeleri adımları takip edilmiştir (Karlen ve ark., 1997). Ağaçlandırma zamanları boyunca önemli ölçüde farklılık gösteren toprak özellikleri, kil (CC), silt (SC) ve kum içeriği (SaC), ortalama ağırlık çapı (MWD), pH, elektriksel iletkenlik (EC), agregat stabilitesi (AS), agregasyon hızı (AR), toplam karbon (TC), toplam azot (TN) ve toplam kükürt (TS) gibi göstergeler seçilmiştir.

AHP ve TBA için iki farklı ağırlıklandırma yöntemi kullanılmıştır. AHP metodolojisine göre göstergelerin ağırlıklarını belirlemek için ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur. İkili karşılaştırma matrisindeki kararlar (parametrelerin önem dereceleri) Ziraat Fakültelerinde Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümlerinde çalışan tarım uzmanlarının ve öğretim üyelerinin görüşleri alınarak belirlenmiştir. TBA yönteminde, her bir parametrenin ağırlığı, faktör analizi ile elde edilen topluluk değerinin toplam ortaklık değerine bölünmesiyle hesaplanmıştır (Johnson ve Wichern, 1992).

TKİ_{AHP} yönteminde göstergeler 0-1 ölçeği kullanılarak uzman görüşüne göre puanlanmıştır. Toprak verimliliği için en uygun aralık olan % 30-35 aralığında ki CC, SC ve SaC için 1 değeri verilirken, bu aralığın altındaki ve üzerindeki değerler kademeli olarak daha düşük puan almıştır. Diğer göstergeler ise veri setindeki minimum ve maksimum değerler dikkate

alınarak puanlanmıştır. Minimum değer 0,1 ve maksimum değer 1 geriye kalan değerler ise kademeli olarak değerlendirilmiştir.

TKİ_{FA} için göstergeler, ‘arttıkça iyi’ (more is better), ‘optimal aralık’ (optimal range) ve ‘azaldıkça iyi’ (less is better) gibi doğrusal puanlama fonksiyonlarıyla puanlanmıştır (Qi ve ark., 2009). MWD, AS, AR, TC, TN ve TS için ‘arttıkça iyi’ fonksiyonlar kullanılırken EC için ‘azaldıkça iyi’ fonksiyon kullanılmıştır. CC, SC, SaC ve pH için optimum aralık fonksiyonu kullanılmıştır. Gösterge ve fonksiyon tipleri Tablo 3’te sunulmuştur.

Tablo 3. Gösterge ve fonksiyon tipleri

Gösterge	Fonksiyon	x ₁	r ₁	r ₂	x ₂	Denklem
MWD	Arttıkça iyi	0.44			1.09	
AS		60.11			96.34	
AR		27.50			95.50	$f(x) = \frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)}$
TC		2.15			9.47	
TN		0.28			0.80	
TS		0,036			0,124	
CC	Optimal aralık	2,83	30	35	76.17	$f(x) = \frac{(x - x_1)}{(r_1 - x_1)}; x_1 < x < x_2$
SaC		2.83	30	35	76.17	
SC		2.83	30	35	76.17	$f(x) = 1; r_1 < x < r_2$
pH		6.4	6.8	7.2	8.77	$f(x) = \frac{(x - r_2)}{(x_2 - r_2)}; r_2 < x < x_2$
EC		42			562	$f(x) = 1 - \frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)}$

Burada x, göstergenin ölçülen değeri; x₁ ve x₂, göstergenin sırasıyla minimum ve maksimum değerleri; r₁ ve r₂ ise sırasıyla optimum aralığın alt ve üst değerlerini göstermektedir.

TKİ_{AHP} ve TKİ_{TBA} için toprak kalite endeksi, aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$SQI = \sum_{i=1}^n (a_i x b_i)$$

a_i, ith parametresinin ağırlığı ve b_i, ith parametresinin puanıdır.

3 BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 İncelenen Özelliklere Ait Tanımlayıcı İstatistikler

Çalışma alanındaki toprakların tane büyüklük dağılımları incelendiğinde kil, silt ve kum içeriklerinin sırasıyla %2.83-%56.25, %16.67-%76.17 ve %2.08-%60.42 aralıklarında değişiklik göstererek %24.08, %45.57 ve %30.72'lik ortalamalara sahip oldukları görülmüştür. Tane büyüklük dağılımı bakımından en değişken özellik kil içeriği (VK:%43.23) olmuştur (**Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**).

Toprak strüktürü bakımından değerlendirildiğinde OAÇ değerlerinin 0.44mm ile 1.09 mm arasında değiştiği ve 0.78'lik ortalamaya sahip olduğu görülmüştür. OAÇ değerlerinin değişim katsayısı ise %15.38 olmuştur. AO %20.33 ile %96.33 arasında değişim göstererek %72.69 ortalamaya sahip olmuştur, AO değerleri çalışma alanında %20.33-%96.33 aralığında yer alırken AS %60.11-%96.34 aralığında değerler almıştır, ayrıca AO'nın ortalaması %72.69 ve AS'nin ortalaması ise %86.35 olmuştur. Toprakların pH değerleri 6.40-8.77 aralığında yer alarak 7.82'lik bir ortalamaya sahip olmuş ve EC ise 42-623 arasında değerler alarak 175.32 ortalamaya sahip olmuştur (Tablo 4).

Çalışma alanındaki TN değerleri %0.22-%0.80, TC değerleri %2.07-%9.47 ve TS değerleri ise %0.04-%0.12 aralığında yer almış ve ortalama değerleri sırasıyla %0.46, %4.45 ve %0.06 olmuştur (Tablo 4).

Tablo 4. İncelenen özelliklere ait tanımlayıcı istatistikler

Toprak özelliği	En düşük	En yüksek	Ortalama	Standart sapma	Değişkenlik katsayısı (%)
Kil	2.83	56.25	24.08	10.41	43.23
Silt	2.08	60.42	30.72	7.91	25.75
Kum	16.67	76.17	45.57	11.07	24.29
OAÇ	0.44	1.09	0.78	0.12	15.38
AO	20.33	96.33	72.69	17.78	24.46
AS	60.11	96.34	86.35	6.87	7.96
pH	6.40	8.77	7.82	0.38	4.86
EC	42	623	175.32	93.01	53.05
TN	0.22	0.80	0.46	0.12	26.09
TC	2.07	9.47	4.45	1.43	32.13
TS	0.04	0.12	0.06	0.02	25.44

3.3.3 Kum İçeriğinin rneklem Tabakalarındaki Değışimi

Araştırmada st toprak tabakasındaki kum içeriğinin (%45.54) alt toprak tabakasından (%45.44) daha yüksek olduğu ancak bu farklılığın istatistiki anlamda önemli olmadığı belirlenmiştir (F: 0.04; $p>0.05$).

3.3.4 Ortalama Ağırlık ap Değerlerinin rneklem Tabakalarındaki Değışimi

Çalışma alanı topraklarının ortalama ağırlık çap değerleri st toprak tabakasinda 0.76mm iken alt toprak tabakasindada 0.79mm olmuştur. Tabakalar arasındaki söz konusu farklılığın istatistiki anlamda önemli olmadığı belirlenmiştir (F: 3.67; $p>0.05$).

3.3.5 Agregatlaşma Oranı Değerlerinin rneklem Tabakalarındaki Değışimi

Toprakların agregatlaşma oranları st toprak tabakasinda %72.35 ve alt toprak tabakasinda ise %71.61 olmuştur. Ancak bu farklılığın istatistiki anlamda önemli olmadığı görülmüştür (F:0.07 $p>0.05$).

3.3.6 Agregat Stabilesi Değerlerinin rneklem Tabakalarındaki Değışimi

Agregat stabilesi değeri alt toprak tabakasinda %87.09 iken st toprak tabakasinda azalmış ve %85.12 olmuştur. Agregat stabilesi değeri bakımından tabakalar arasındaki farklılığın istatistiki anlamda önemli olmadığı tespit edilmiştir (F:3.10; $p>0.05$).

3.3.7 pH Değerlerinin rneklem Tabakalarındaki Değışimi

Toprakların pH değeri st tabakada 7.78 ve alt tabakada ise 7.84 olarak ölçülmüştür. pH değeri bakımından örneklem tabakaları arasında istatistiki anlamda bir farklılık görülmemiştir (F: 1.14; $p>0.05$).

3.3.8 Elektriksel İletkenlik Değerlerinin rneklem Tabakalarındaki Değışimi

Araştırma alanındaki st toprak tabakasının elektriksel iletkenlik değeri her ne kadar alt toprak tabakasından yüksek olsa da bu farklılık istatistiki anlamda önemli olmamıştır (F: 3.76; $p>0.05$).

3.3.9 Toplam Azot Değerlerinin Örnekleme Tabakalarındaki Değişimi

Çalışma alanı topraklarının toplam azot içerikleri üst toprak tabakasında (%0.48) alt toprak tabakasından (%0.45) bir miktar yüksek olmasına rağmen bu farklılığın istatistiki anlamda önemli olmadığı görülmüştür (F:1.47; $p>0.05$).

3.3.10 Toplam Karbon Değerlerinin Örnekleme Tabakalarındaki Değişimi

Toprakların toplam karbon içerikleri üst toprak tabakasında %4.80 ve alt toprak tabakasında ise %4.35 olmuştur. Toplam azot içeriği bakımından tabakalar arasındaki bu farklılığın istatistiki anlamda önemli olmadığı belirlenmiştir (F:1.64; $p>0.05$).

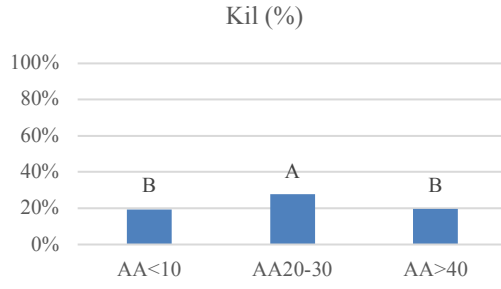
3.3.11 Toplam Kükürt Değerlerinin Örnekleme Tabakalarındaki Değişimi

Çalışma alanındaki toprakların toplam kükürt içerikleri alt toprak tabakasında (%0.065) üst toprak tabakasından (%0.058) daha yüksek olmuştur. Söz konusu özellik bakımından örnekleme tabakaları arasındaki bu farklılığın %5 seviyesinde önemli olduğu görülmüştür (F:4.28; $p<0.05$).

3.4 İncelenen Toprak Özellikleri Bakımından Ağaçlandırma Alanlarının Karşılaştırılması

3.4.1 Kil İçeriğinin Ağaçlandırma Alanlarındaki Değişimi

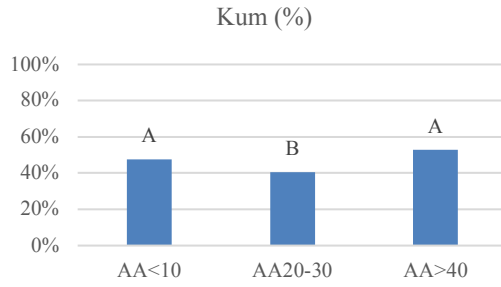
Toprakların kil içerikleri farklı zamanlarda tesis edilen ağaçlandırma sahalarında değişiklik göstermiştir. En yüksek kil içeriğine AA₁₀₋₄₀ (%27.68) alanında rastlanılmıştır, bunu sırasıyla AA_{>40} (%19.57) ve AA_{<10} (%19.48) ağaçlandırma sahaları takip etmiştir. Ağaçlandırma alanları bakımından toprakların kil içerikleri arasındaki bu farklılık istatistiki anlamda önemli bulunmuştur (F:16.37; $p<0.01$) (Şekil 7).



Şekil 7. Kil içeriğinde ağaçlandırma alanlarına bağlı olarak meydana gelen değişim

3.4.2 Kum İçeriğinin Ağaçlandırma Alanlarındaki Değişimi

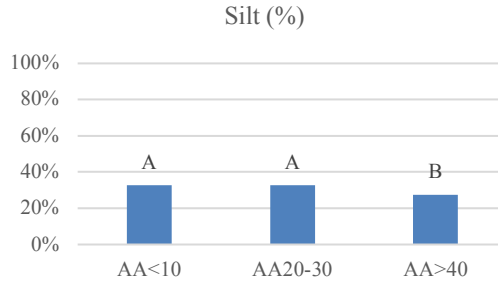
Çalışma alanındaki toprakların kum içerikleri örnekleme alanlarında farklılık göstermiştir. En yüksek kum içeriğinin AA10-40 alanında (%27.68), en düşük kum içeriğinin ise AA<10 alanında (%19.48) olduğu tespit edilmiştir. Kum içeriği bakımından örnekleme alanları arasındaki farklılık istatistiki anlamda önemli bulunmuştur (F: 22.28; $p<0.01$) (Şekil 8).



Şekil 8. Kum içeriğinde ağaçlandırma alanlarına bağlı olarak meydana gelen değişim

3.4.3 Silt İçeriğinin Ağaçlandırma Alanlarındaki Değişimi

Kum ve kil içeriğine benzer olarak silt içeriği de ağaçlandırma sahalarında farklılık göstermiştir, en yüksek silt içeriğine AA<10 alanında rastlanırken en düşüğüne ise AA>40 alanında rastlanılmıştır. Silt içeriği bakımından ağaçlandırma sahalarındaki bu farklılık istatistiki anlamda önemli bulunmuştur (F: 7.26; $p<0.01$) (Şekil 9)



Şekil 9. Silt içeriğinde ağaçlandırma alanlarına bağlı olarak meydana gelen değişim

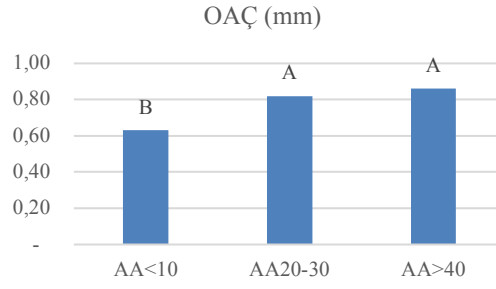
Bilindiği gibi tane büyüklük dağılımı alan yönetim uygulamalarından en az etkilenen toprak özelliğidir. Bu nedenle kil, silt ve kum, içeriğinin ağaçlandırma sahalarındaki değişiminin ana kaya ve topoğrafya gibi toprak oluş süreçlerinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

3.4.4 Ortalama Ağırlık Çap Değerlerinin Ağaçlandırma Alanlarındaki Değişimi

Toprakların strüktürel değerlendirmesinde kullanılan ortalama ağırlık çap değerleri ağaçlandırma tesis zamanı en eski olandan en yeni olana doğru azalma eğilimi göstermiştir. Ortalama ağırlık çapı (MWD), agregasyon oranı (AR) ve agregat stabilitesi (AS); geçirgenlik, havalanma ve su tutma kapasitesi gibi toprak fonksiyonlarını etkileyen önemli özelliklerdir.

Turgut vd. (2010), yapmış oldukları çalışmada; ortalama ağırlık çap, organik madde miktarı, kireç içeriğinin sıkışmış toprak tabakalarında daha yüksek seviyelerde olduğunu, sıkışmış toprak tabakasındaki agregat stabilitesinin ise üst toprak tabakasından daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir. Toprak strüktüründe meydana gelen değişiklikler agregat stabilitesinde azalmasına neden olmaktadır (Petersen vd., 1996).

En yüksek OAÇ değerleri AA>40 alanında (0.86mm) belirlenirken bunu sırasıyla AA10-40 (0.82mm) ve AA<10 alanları takip etmiştir (0.63mm). OAÇ değerleri bakımından ağaçlandırma sahaları arasındaki bu farklılık istatistiki anlamda önemli bulunmuştur (F:96.24; p<0.01) (Şekil 10).

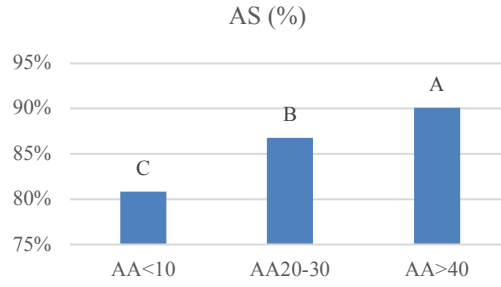


Şekil 10. Ortalama ağırlık çap değerlerinde ağaçlandırma alanlarına bağlı olarak meydana gelen değişim

3.4.5 Agregat Stabilitesi Değerlerinin Ağaçlandırma Alanlarındaki Değişimi

Suyun dispers edici etkisine karşı direnç gösteren agregatların oranı olarak tanımlanan agregat stabilitesi değerlerinin en yüksek olduğu alan AA>40 olurken (%90) bunu AA10-40 (%87) ve AA<10 takip etmiştir (%81) (Şekil 11). AS değerleri bakımından ağaçlandırma alanlarında görülen farklılık istatistiki anlamda önemli olmuştur (F: 22.30; P<0.01).

Toprakta agregasyon ve strüktür stabilitesi, toprakların verimlilik potansiyellerini etkilemektedir. Topraktaki agregatlaşma bitkinin gelişimi açısından önemli bir rol oynamaktadır Ayrıca suya dayanıklı agrega miktarının fazla olması toprak bozulmasının ana faktörlerinden olan toprak erozyonunu engellemektedir (Yılmaz vd., 2005). Stabil agregat yüzdesinin artışı ile toprakların erozyona karşı olan hassasiyeti de azalmaktadır (Tate, 1995). Ormanlarda toprak organik maddesinin önemli bir kısmı ağaç yaprakları ve bunlara ait kozalak, kabuk ve dallardır. Ağaçlarla kaplı alanlarda topraklar organik madde bakımından zenginleşmekte ve toprakların erozyona karşı dirençleri de artmaktadır (Tüfekçioğlu vd., 2002). Organik madde miktarındaki artış ise toprağın agregat stabilitesini arttırarak erozyonu azaltmaktadır. Organik madde toprağın üst kısmında agregat oluşum ve stabilitesi üzerine kuvvetli bir etkiye sahiptir. Bu durum stabil agregatların toprağın diğer kısımlarına oranla daha yüksek karbon içeriğine sahip olması ile açıklanmaktadır (Çetin ve Kemal, 2011).



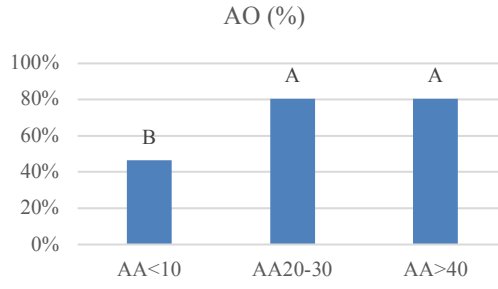
Şekil 11. Agregat stabilitesi değerlerinde ağaçlandırma alanlarına bağlı olarak meydana gelen değişim

Ortalama ağırlık çap, agregatlaşma oranı ve agregat stabilitesi toprakların strüktürel durumunun değerlendirilmesinde kullanılan en önemli parametrelerdir. Söz konusu özellikler toprakların su tutma kapasitesi, geçirgenlik ve havalanması gibi birçok özelliği yakından etkilemektedir. Alan yönetim uygulamalarından önemli seviyede etkilendiği bilinen strüktürel özelliklerin bu çalışmada da ağaçlandırma sürelerinden etkilenmesi beklenen bir durumdur. Ağaçlandırma tesis yılının en eski olduğu AA>40 alanında, bitki örtüsünün toprakların strüktürel gelişimine etki etme süresi daha fazla olmuştur.

Toprakta agregasyon ve strüktür stabilitesi, toprakların verimlilik potansiyellerini etkilemektedir. Topraktaki agregatlaşma bitkinin gelişimi açısından önemli bir rol oynamaktadır Ayrıca suya dayanıklı agrega miktarının fazla olması toprak bozulmasının ana faktörlerinden olan toprak erozyonunu engellemektedir. (Yılmaz ve ark., 2005). Stabil agregat yüzdesinin artışı ile toprakların erozyona karşı olan hassasiyeti de azalmaktadır (Tate, 1995).

3.4.6 Agregatlaşma Oranı Değerlerinin Ağaçlandırma Alanlarındaki Değişimi

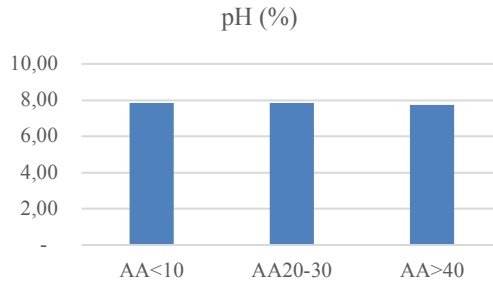
Birim toprak kütlesi içindeki agregatların nispi oranını ifade eden (Turgut and Ates, 2017) agregatlaşma oranı değerleri AA>40 ve AA10-40 alanlarında %80 olurken ağaçlandırma uygulamasının en yeni olduğu AA<10 alanında %47'ye düşmüştür (Şekil 12). AO bakımından örnekleme alanları arasındaki bu farklılık istatistiki anlamda önemli olmuştur (F: 208.58, P<0.01).



Şekil 12. Agregatlaşma oranı değerlerinde ağaçlandırma alanlarına bağlı olarak meydana gelen değişim

3.4.7 pH Değerlerinin Ağaçlandırma Alanlarındaki Değişimi

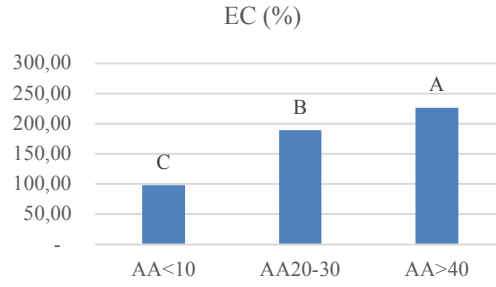
Ağaçlandırma alanlarındaki toprak reaksiyonu değerleri birbirlerine yakın değerler almıştır. AA_{>40} alanında 7.72 olan pH değerleri AA_{<10} ve AA₁₀₋₄₀ alanlarında 7.84'e yükselmiştir (Şekil 13). Toprak pH'sı bakımından ağaçlandırma alanları arasındaki bu farklılık istatistiki olarak önemli bulunmamıştır (F. 1.40; p>0.05). İğne yapraklı ormanların topraklarında düşük pH'ın olması nedeniyle oranı ya çok düşük ya da nitrat üretimi gerçekleşmemektedir. Bu nedenle orman topraklarında alınabilir azotun en büyük kaynağını organik maddenin parçalanmasıyla serbest kalan amonyum oluşturmaktadır (Vitousek ve Matson, 1985).



Şekil 13. Toprakların pH değerlerinde ağaçlandırma alanlarına bağlı olarak meydana gelen değişim

3.4.8 Elektriksel İletkenlik Değerlerinin Ağaçlandırma Alanlarındaki Değişimi

Toprak tuzluluğunun ifade edilmesinde kullanılan elektriksel iletkenlik değerleri AA_{>40} alanında en yüksek değeri almış (226.53 $\mu\text{S cm}^{-1}$) ve kademeli bir şekilde azalarak AA₁₀₋₄₀ alanında 189.48 $\mu\text{S cm}^{-1}$ ve AA_{<10} alanında ise 97.98 $\mu\text{S cm}^{-1}$ olmuştur (Şekil 14). Elektriksel iletkenlik değerleri bakımından ağaçlandırma alanlarındaki farklılığın istatistiki anlamda önemli olduğu belirlenmiştir (F: 29.19; p<0.01).

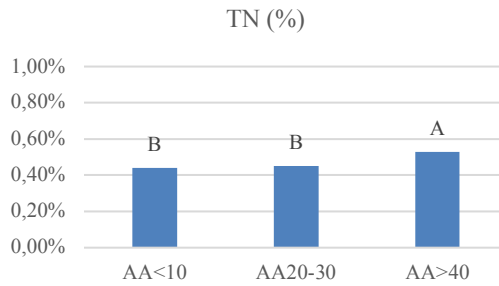


Şekil 14. Toprakların elektriksel iletkenlik değerlerinde ağaçlandırma alanlarına bağlı olarak meydana gelen değişim

Elektriksel iletkenlik değerlerinin, bitki örtüsü ile kaplı olma süresi daha uzun ve buna bağlı olarak erozyona uğrama süresi ise diğer alanlara nazaran daha kısa olan AA>40 alanında daha yüksek olması beklenen bir durumdur. Toprakların erozyona uğrama süresinin daha kısa olması daha az miktarda yıkanmanın gerçekleştiği anlamına gelmektedir.

3.4.9 Toplam Azot Değerlerinin Ağaçlandırma Alanlarındaki Değişimi

Bitkiler azot ihtiyaçlarını topraktaki azottan karşıladığı için topraklarda bitkilerin yararlanabileceği miktarda azot bulunup bulunmaması çok büyük önem taşımaktadır (Müftüoğlu ve Demirer, 1998). Kaynağını topraktaki organik materyalin oluşturduğu toplam azot içeriğinin en yüksek değer aldığı alan AA>40 olmuştur (%0.53), bunu sırasıyla AA₁₀₋₄₀ (%0.45) ve AA<10 (%0.44) alanları takip etmiştir (Şekil 15). Söz konusu özellik bakımından örnekleme alanları arasındaki farklılık istatistiki anlamda önemli olmuştur (F: 4.13; p<0.05).

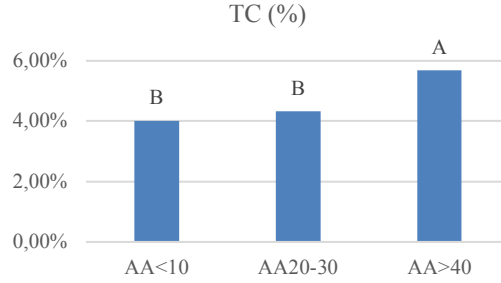


Şekil 15. Toplam azot içeriği değerlerinde ağaçlandırma alanlarına bağlı olarak meydana gelen değişim

3.4.10 Toplam Karbon Değerlerinin Ağaçlandırma Alanlarındaki Değişimi

Toplam azot içeriğine benzer olarak toplam karbon içerikleri de ağaçlandırma alanlarında farklılık göstermiş, en yüksek değere AA>40 alanında ulaşırken AA<10 alanında en düşük

değeri almıştır (Şekil 16). Toplam karbon içeriği bakımından örnekleme alanları arasındaki farklılık istatistiki anlamda önemli bulunmuştur (F: 7.98; $p>0.01$).



Şekil 16. Toplam karbon içeriği değerlerinde ağaçlandırma alanlarına bağlı olarak meydana gelen değişim

Ormanlar dünyada toprak altı karbonun % 40'ını, toprak üstü karbon stoklarının % 80' ini oluşturmaktadır (Dixon vd., 1994). Ormanlık alan miktarının artırılması karbon (C) depolama kapasitesini arttırmak için etkili bir yöntem olarak önerilmektedir (Cairns vd., 1997).

Plantasyonların kurulmasıyla birlikte gelişen kök sistemi toprak kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Kökler topraktaki karbon miktarını doğrudan arttırmaktadır (Pritchett, 1980). Yanai ve ark. (2006) yaptıkları bir çalışmada 56-69 yaşları arasındaki meşçere, 19-27 yaşları arasındaki meşçereye nazaran % 53 daha fazla ince köklü biyokütle tespit etmişlerdir. Bu durum kök biyokütlelerinin ilk birkaç on yıllık orman gelişiminin ötesinde meşçere yaşının ilerlemesine bağlı olarak artmaya devam ettiğini göstermektedir.

Millikin ve ark. (1997) değişik yaşlardaki mavi meşe (*Quercus douglasii* Hook. And Arn.); kök kütlelerinin ağacın yaşı ile ilişkili olduğunu bildirmişler ve yaşlı meşcereler ile genç meşcereler kalın kök kütleleri açısından karşılaştırıldığında, kalın kök kütlelerinin yaşlı meşcerelerde 2,2 kat daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir.

3.4.11 Toplam Kükürt Değerlerinin Ağaçlandırma Alanlarındaki Değişimi

Çalışma alanı topraklarının toplam kükürt içerikleri birbirlerine yakın değerler olarak (Şekil 17) ağaçlandırma alanları boyunca istatistiki anlamda önemli seviyede farklılık göstermemişlerdir (F: 1.05; $p>0.05$).



Şekil 17. Toplam kükürt içeriği değerlerinde ağaçlandırma alanlarına bağlı olarak meydana gelen değişim

Toprakların toplam azot, toplam karbon ve toplam kükürt içerikleri en eski ağaçlandırma sahasında en yüksek değerler vermesi, bu alanın daha uzun süre vejetasyon örtüsü ile kaplı olması ile açıklanabilir. Bilindiği üzere toprakların azot ve karbon içeriklerinin çok önemli bir kısmı organik maddenin ayrışması sonucunda ortaya çıkmaktadır.

Yapılan araştırmalar, yaprak ve kök sisteminin ağaçlandırılan alandaki organik madde içeriğini artırabileceğini belirtmektedir. Nitekim sarıçam sığ kireçli topraklarda, iri kum taneli toprakları ile turbalıklarda sığ kök sistemi geliştirmesine rağmen, genelde kazık kök yapmaktadır (Çepel, 1977).

Güney Amerika'da eski bir tarım arazisinin loblolly çamı (*Pinus taeda*) plantasyonuna dönüştürülmesiyle birlikte yapılan otuz yıllık ölçümler neticesinde toprak organik maddesinde uzun süreli artış gözlemlendiği tespit edilmiştir (Fox, 2000).

Özalp vd. (2015) yalancı akasya ve sarıçam fidanları ile ağaçlandırılmış iki erozyon kontrol alanı ile müdahale görmemiş ormanlık alandan alınan toplam 45 toprak örneği üzerinde yaptıkları toprak analizleri sonucunda organik madde miktarını en fazla orman topraklarında, daha sonra yalancı akasya ve sarıçam teraslarındaki topraklarda tespit etmişlerdir. Bu durumun orman örtüsü altın bitki örtüsünün ve topraktaki organizma faaliyetinin diğer iki sahaya nazaran daha fazla korunmuş olması ile açıklanmaktadır.

3.5 İncelenen Özellikler Arasındaki Korelasyonlar

Çalışmada incelenen toprak özellikleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesi amacıyla yapılan korelasyon analizi sonucunda kil içeriğinin kum ve silt içeriği ile toplam azot ve toplam karbon içeriği arasında negatif korelasyon olduğu belirlenmiştir. Toprakların kum içerikleri silt içeriği ile negatif, toplam azot ve toplam karbon içeriği ile pozitif korelasyon gösterirken

silt içeriği yalnızca elektriksel iletkenlik değeri ile negatif korelasyon göstermiştir. Ortalama çap değerleri ile elektriksel iletkenlik değerleri, agregat stabilitesi ve agregatlaşma oranı arasında pozitif korelasyon tespit edilmiştir. Toprakların elektriksel iletkenlik değerleri agregatlaşma oranı, toplam azot ve toplam karbon içeriği ile pozitif korelasyon göstermiştir. Agregat stabilitesi değerleri agregatlaşma oranı, toplam azot ve toplam karbon içeriği ile, benzer olarak agregatlaşma oranı da toplam azot ve toplan karbon içeriği ile pozitif korelasyon göstermiştir. Toplam azot içeriği ile toplam karbon içeriği arasında da pozitif korelasyon tespit edilmiştir (Tablo 5).

Tablo 5. İncelenen özellikler arasındaki korelasyon analizleri

	Kil	Kum	Silt	OAÇ	EC	AS	AO	TN	TC
Kil	1								
Kum	-0.705**	1							
Silt	-0.2552*	-0.4733*	1						
OAÇ	0.2547	-0.0694	-0.2187	1					
EC	0.0327	0.1649	-0.2885*	0.4389*	1				
AS	0.0792	0.0198	-0.1260	0.3809*	0.3370	1			
AO	0.2639	-0.0976	-0.1519	0.6791**	0.4911*	0.4849*	1		
TN	-0.3596*	0.4599*	-0.2243	0.2141	0.5065*	0.3636*	0.3785*	1	
TC	-0.3573*	0.5147*	-0.2905	0.3163	0.5400*	0.3471*	0.4246*	0.9723**	1

3.6 Toprak Kalite İndeksi

3.6.1 Gösterge Özellikler

Toprak kalite indeksinin belirlenmesindeki ilk aşamada gösterge toprak özellikleri belirlenmiştir. Ağaçlandırma alanlarında istatistiki anlamda önemli seviyede farklılık gösteren kil içeriği, silt içeriği, kum içeriği, ortalama ağırlık çap, elektriksel iletkenlik, agregat stabilitesi, agregatlaşma oranı, toplam azot ve toplam karbon kalite indeksinin belirlenmesinde kullanılan üç yöntem için de (TKI_{AHP} , TKI_{TBA} , TKI_E) gösterge özellik olarak kabul edilmiştir. Toprak pH'sı ve toplam kükürt içeriği ise söz konusu farklılığı gösteremediğinden kalite indeks değeri veri setinden çıkarılmışlardır. Kalite indeks değeri belirleme çalışmalarında gösterge özelliklerin belirlenmesinde göz önünde bulundurulacak en önemli husus, seçilecek özelliğin doğal değişkenlere veya yönetim uygulamalarına tepki gösteriyor olmasıdır.

Plantasyon sahalarında büyüme oranlarının artmasıyla, kaba kök üretiminin artmasına bağlı olarak organik madde artmakta dolaylı olarak toprak kalitesi de iyileşmektedir. Özellikle

birçok orman plantasyonunun kurulu olduğu bozulmuş topraklarda, toprak kalitesinde ve arazi verimliliğinde uzun vadeli iyileşmelere yol açmaktadır. Kök kanallarının ve ayrışan köklerin varlığı, özellikle kaba bünyeli topraklarda toprak kalitesini önemli ölçüde arttırabilmektedir (Fox, 2000).

3.6.2 Gösterge Özelliklerin Ağırlıklandırılması

Kalite indeks değerinin belirlenmesindeki ikinci aşamada gösterge özelliklerin ağırlıklandırılması gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada elde edilen bulgular aşağıda alt başlıklar halinde verilmiştir.

3.6.2.1 Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) Yöntemiyle Ağırlıklandırma

Veri setinde yer alan toprak özellikleri içerisinde ağaçlandırma alanlarında istatistiki anlamda farklılık gösteren özellikler (kil içeriği, silt içeriği, kum içeriği, ortalama ağırlık çap, agregat stabilitesi, agregatlaşma oranı, elektriksel iletkenlik, toplam azot ve toplam karbon) gösterge özellik olarak kabul edilmiştir. Uzman görüşleri alınarak oluşturulan Pairwise karşılaştırma matrisinde her bir gösterge özellik için hesaplanan ağırlık katsayısı Tablo 6’da verilmiştir. Oluşturulan matrisin tutarlılık oranı 0.035 olarak hesaplanmıştır, söz konusu oran 0.10’nun altında olduğu için herhangi bir müdahaleye gerek duyulmadan kullanılmıştır (H. Zhang vd., 2004). Gösterge özellikler içerisinde en yüksek ağırlık katsayısına sahip özelliğin toplam karbon olduğu bunu sırasıyla toplam azot, agregatlaşma oranı, kil içeriği, agregat stabilitesi, kum içeriği, ortalama ağırlık çap değerleri, elektriksel iletkenlik ve silt içeriğinin takip ettiği belirlenmiştir.

Tablo 6. Pairwise karşılaştırma matrisi

	Kil	Silt	Kum	OAC	AS	AO	EC	TN	TC	Ağırlık
CC	1	4	2	1/2	1/4	1/3	3	1/6	1/5	0.122
SC	1/4	1	1/3	1/5	1/7	1/6	1/2	1/9	1/8	0.022
SaC	1/2	3	1	1/3	1/5	1/4	2	1/7	1/6	0.060
MWD	2	5	3	1	1/3	1/2	4	1/5	1/4	0.052
AS	4	7	5	3	1	2	6	1/3	1/2	0.106
AR	3	6	4	2	1/2	1	5	1/4	1/3	0.147
EC	1/3	2	1/2	1/4	1/6	1/5	1	1/8	1/7	0.029
TN	6	9	7	5	3	4	8	1	2	0.227
TC	5	8	6	4	2	3	7	1/2	1	0.232

Maximum eigenvalue (λ_{max})= 9.40

n=9

Consistency index (CI)=(λ_{max} -n)/(n-1)= 0.0509

Random Index (RI)= 1.45

Consistency Ratio (CR)= CI/RI= 0.035

3.6.2.2 Temel Bileşenler Analizi (Principle Component) Yöntemiyle Ağırlıklandırma

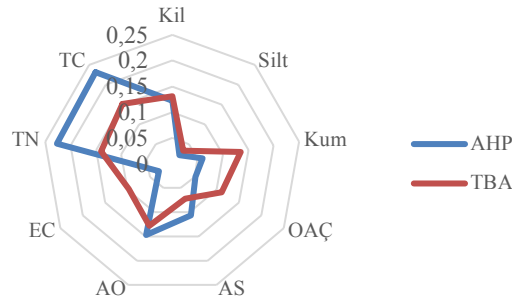
Temel bileşenler analizinde özellikler için oransal ortak etken varyans (communality) değerleri hesaplanmış ve her bir özelliğin değeri toplam değere bölünerek ağırlık katsayıları belirlenmiştir. Özelliklere ait oransal ortak etken varyans değerleri ve ağırlık değerleri Tablo 7’de verilmiştir. Bu yöntemde de toplam karbon ve toplam azot içerikleri en yüksek ağırlık katsayılarına sahip olurken en düşük ağırlık katsayısı silt içeriğinden elde edilmiştir.

Tablo 7. Temel bileşenler analizine ait ağırlık değerleri

Gösterge özellik	Ortak etken varyans değeri	Ağırlık
Kil	0.76508	0.131
Silt	0.19378	0.033
Kum	0.78752	0.135
OAÇ	0.6445	0.111
AS	0.42017	0.072
AO	0.74818	0.128
EC	0.56577	0.097
TN	0.81667	0.140
TC	0.88215	0.151
Toplam	5.82382	1

3.6.2.3 Ağırlık katsayılarının karşılaştırılması

Genel olarak AHP ve TBA yöntemleriyle elde edilen ağırlık katsayıları farklılık göstermiştir. Toprakların kil ve silt içerikleri her iki yöntemde de benzer değerler alırken kum içeriği, OAÇ ve EC ağırlık katsayıları TBA yönteminde, AS, AO, TN ve TC ağırlık katsayıları ise AHP yönteminde daha yüksek değerler almışlardır. Ağırlık katsayılarının incelenmesinde görülen bir durum ise her iki yöntemde de TN ve TC en yüksek ağırlık katsayılarına sahip olmasıdır (Şekil 18). Çalışma bulgularımıza benzer olarak araştırmacılar AHP ve TBA analizleri ile elde edilen ağırlık katsayılarının farklılık gösterdiğini bildirmişlerdir (Qi *et al.*, 2009; Liu *et al.*, 2017). Tutarlılık katsayısı sadece AHP yönteminde test edilebilmektedir, bu durumun ağırlıklandırma yöntemi seçiminde AHP’nin göz önünde bulundurulmasında etkili olacağı düşünülmektedir.



Şekil 18. AHP ve TBA yöntemlerinden elde edilen ağırlık katsayıları

3.6.3 Gösterge Özelliklerin Puanları

Gösterge özelliklerin alt sınıflarının puanları, TKI_{AHP} ve TKI_{TBA} için farklı yöntemlerle hesaplanmıştır. TKI_{AHP} için uzman görüşleri alınarak puanlama yapılmışken TKI_{TBA} için doğrusal puanlama fonksiyonları kullanılmıştır. Söz konusu yöntemlere ait bulgular alt başlıklar halinde aşağıda verilmiştir.

3.6.3.1 Uzman görüşleri Alınarak Elde Edilen Puanlar

Bu puanlama yönteminde 0-1 skalası kullanılmıştır. Kil, silt ve kum içerikleri için uzmanlar %30-35 aralığına 1 tam puan vermiş, bu aralığın altındaki ve üstündeki değerlerin puanlarını ise kademeli olarak düşürmüşlerdir. Uzmanlar OAÇ, AR, AS, TN ve TC değerlerindeki artışa bağlı olarak en düşük 0.1 ve en yüksek 1.0 olmak üzere kademeli artan puanlar vermişlerdir. Ancak diğerlerinden farklı olarak EC değerinin artışına bağlı olarak verilen puanlar 1.0'dan başlayarak kademeli olarak azaltılmıştır. TKI_{AHP} yöntemi için oluşturulan puanlar Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. Gösterge özelliklerin alt sınıflarına ait puanlar

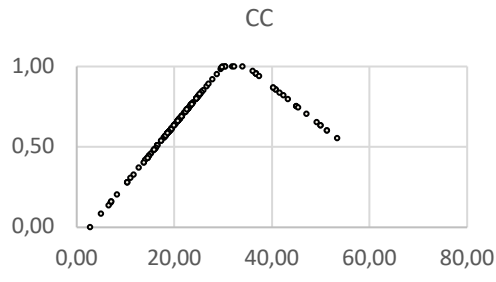
Gösterge özellik	Sınıflar	Puanlar	Gösterge özellik	Sınıflar	Puanlar
Kil içeriği	<10%	0.1	AO	0-20%	0.2
	10-15%	0.3		20-40%	0.4
	15-20%	0.4		40-60%	0.6
	20-25%	0.5		60-80%	0.8
	25-30%	0.7		80-100%	1.0
	35-40%	0.9	AS	<50%	0.1
	40-45%	0.7		50-60%	0.3
	45-50%	0.3		60-70%	0.5
	>50%	0.1		70-80%	0.7
Silt içeriği	<10%	0.1		80-90%	0.9
	10-15%	0.3		90-100%	1

	15-20%	0.4	EC	0-100	1
	20-25%	0.5		10-200	0.9
	25-30%	0.7		200-300	0.7
	30-35%	1		300-400	0.5
	35-40%	0.9		400-500	0.3
	40-45%	0.7		500-600	0.1
	45-50%	0.3	TN	0-0.15	0.1
	>50%	0.1		0.15-0.30	0.3
Kum içeriği	<10%	0.1		0.30-0.45	0.5
	10-15%	0.3		0.45-0.60	0.7
	15-20%	0.4		0.75-0.90	1
	20-25%	0.5	TC	0-2	0.2
	25-30%	0.7		2-4	0.4
	30-35%	1		4-6	0.6
	35-40%	0.9		6-8	0.8
	40-45%	0.7		8-10	1
	>50%	0.1			
OAC	<0,125mm	0.1			
	0,125-0,250mm	0.3			
	0,25-0,50mm	0.5			
	0,50-0,75mm	0.7			
	0,75-1,00mm	0.9			
	>1mm	1			

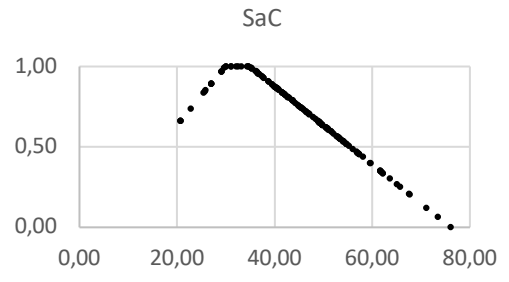
MWD-Mean weight diameter (mm), AS-Aggregate stability (%), AO-Aggregation rate (%), EC-Electrical conductivity, TN-Total nitrogen (%), TC-Total carbon (%)

3.6.3.2 Doğrusal Puanlama Fonksiyonları Kullanılarak Elde Edilen Puanlar

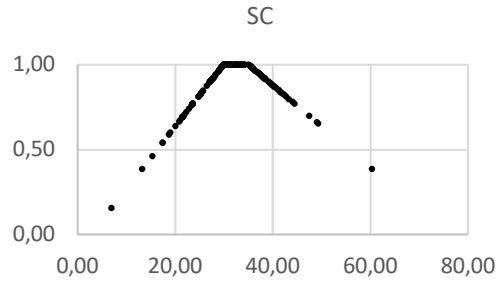
Doğrusal puanlama fonksiyonlarında üç temel fonksiyon tipi kullanılmıştır; optimum aralık, arttıkça daha iyi ve azaldıkça daha iyi. “Optimum aralık” fonksiyonu kil içeriği, silt içeriği ve kum içeriği için kullanılmıştır. Söz konusu özelliklerin %30-35 aralığına 1 tam puan verilirken bu aralığın üstündeki ve altındaki değerlere fonksiyon denklemi ile hesaplanan puanlar verilmiştir. “Arttıkça daha iyi” fonksiyonu MWD, AS, AO, TN ve TC için kullanılmıştır, bu özelliklerin aldıkları değerler fonksiyon denklemi yardımıyla puanlara dönüştürülmüştür. “Azaldıkça daha iyi” fonksiyonu ise yalnızca EC için kullanılmış ve yine puanlar fonksiyon denklemi yardımıyla belirlenmiştir. Her bir gösterge özelliğe ait ölçüm değerleri ve bunlara karşılık gelen puanlar aşağıdaki grafiklerde sunulmuştur (Şekil 19).



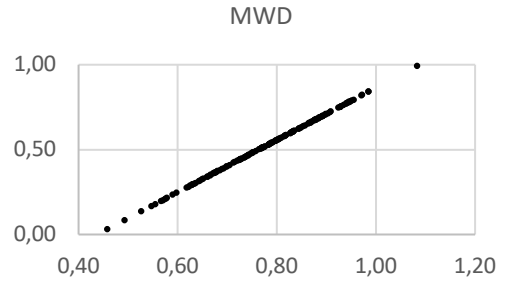
a



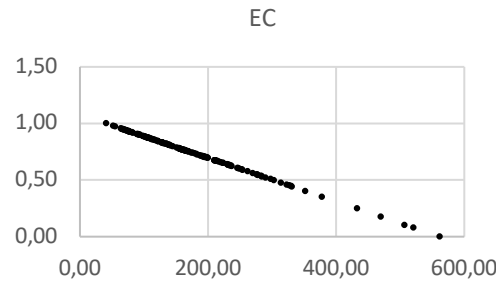
b



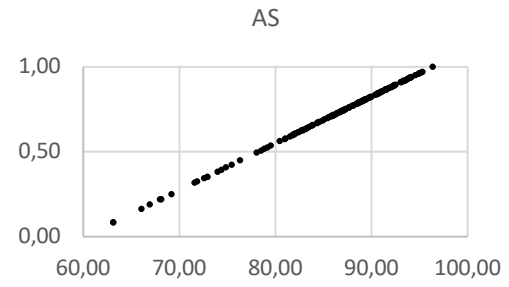
c



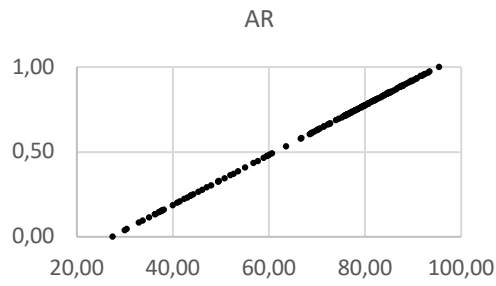
d



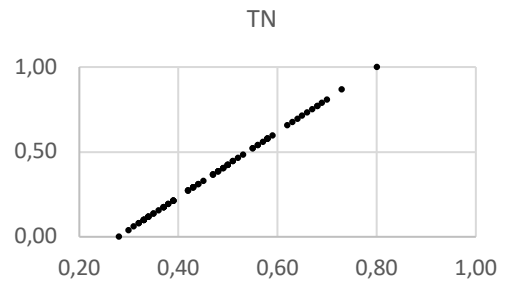
e



f

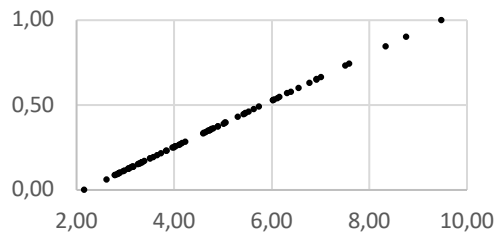


g



h

TC



i

Şekil 19. Kıl içeriği (a), kum içeriği (b), silt içeriği (c), ortalama ağırlık çap (d), elektriksel iletkenlik (e), agregat stabilitesi (f), agregatlaşma oranı (g), toplam azot (h) ve toplam karbon (i) içeriğine ait puanlar

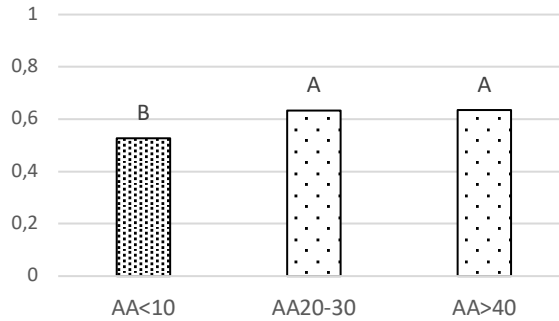
3.6.4 Toprak Kalite İndeks Değerleri

3.6.4.1 Eklemeli Toprak Kalite İndeks Değerleri (TKİ_E)

Yapılan değerlendirmeler sonucunda TKİ_E değerlerinin 0.35 ile 0.83 aralığında değiştiği ve ortalama değerinin 0.61 olduğu belirlenmiştir. Ayrıca TKİ_E değerlerinin standart sapma değeri 0.08 ve değişkenlik katsayısı ise %12.90 olmuştur.

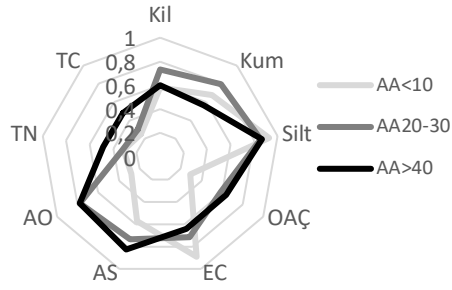
TKİ_E değerleri üst toprak tabakasında 0.60 alt toprak tabakasında ise 0.61 olmuştur . Yapılan varyans analizi sonucunda örnekleme tabakaları arasındaki bu farklılığın istatistiki anlamda önemli olmadığı belirlenmiştir (F:0.148; p>0.05).

TKİ_E, ağaçlandırma faaliyetlerinin en erken başladığı AA_{>40} alanında en yüksek değeri almış (0.64), AA₁₀₋₄₀ alanında azalarak 0.63'e düşmüş ve AA_{<10} alanında ise en düşük değeri (0.53) almıştır. TKİ_E bakımından ağaçlandırma alanları arasındaki bu farklılığın istatistiki anlamda önemli olduğu belirlenmiştir (F:17.91; p<0.01). Söz konusu farklılığın ağaçlandırma alanları boyunca dağılımının belirlenebilmesi amacıyla yapılan çoklu karşılaştırma testi sonucunda AA_{>40} ve AA₁₀₋₄₀ tabakaları arasında önemli seviyede farklılığın olmadığı ve bu nedenle aynı grupta yer aldığı (A), AA_{<10} alanının ise diğer alanlar önemli seviyede farklılık göstererek B grubunda yer aldığı görülmüştür (Şekil 20).



Şekil 20. TKİ_E değerlerinin örnekleme alanlarındaki dağılımı

TKİ_E değerlerini her bir ağaçlandırma alanında sınırlandıran özellikler incelendiğinde OAÇ ve AO'nun AA_{<10} alanında, TN ve TC'un AA₁₀₋₄₀ alanında ve kum içeriğinin ise AA_{>40} alanında sınırlayıcı gösterge özellik olduğu görülmüştür (Şekil 21).



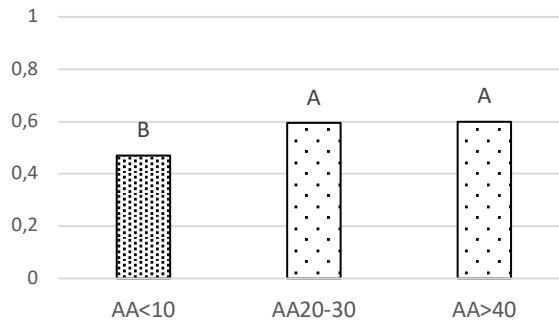
Şekil 21. TKİ_E için ağaçlandırma alanlarındaki gösterge özelliklerin sınırlayıcı etkileri

3.6.4.2 Temel Bileşenler Analizi Kalite İndeks Değeri (TKİ_{TBA})

Temel bileşenler analizi yöntemi kullanılarak hesaplanan TKİ değerleri 0.31 ile 0.81 arasında değişmiş ve 0.57 ortalamaya sahip olmuştur. TKİ_{TBA} değerlerinin standart sapması 0.09 ve değişkenlik katsayısı ise %15.79 olarak hesaplanmıştır.

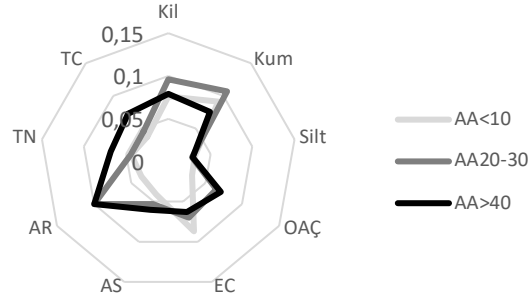
Toprak derinliği boyunca TKİ_{TBA} değerleri arasında istatistiki anlamda önemli seviyede bir farklılık belirlenememiştir (F:0.0004, p>0.05). Üst toprak tabakasında 0.57 olan TKİ_{TBA} değeri alt toprak tabakasında 0.56 olmuştur.

TKİ_{TBA} değerleri ağaçlandırma alanlarının tesis zamanlarına bağlı olarak farklılık göstermiştir. AA_{>40} ve AA₁₀₋₄₀ alanlarında en yüksek değeri alan TKİ_{TBA} (0.60) düşme eğilimi göstererek AA_{<10} alanında 0.47 olmuştur (Şekil 22). TKİ_{TBA} bakımından ağaçlandırma alanları arasındaki bu farklılık istatistiki anlamda önemli bulunmuştur (F:22.46, p<0.01). Çoklu karşılaştırma testi sonucu da AA_{>40} ve AA₁₀₋₄₀ alanları aynı grupta (A) yer alırken AA_{<10} diğer alanlardan farklı göstererek B gurubunda yer almıştır



Şekil 22. TKİ_{TBA} değerlerinin ağaçlandırma alanlarında aldığı değerler.

AA_{<10} alanında TKİ_{TBA} değerlerini sınırlandıran özellikler silt içeriği, AO ve AS, AA₁₀₋₄₀ alanında TN ve TC, AA_{>40} alanında ise silt içeriği olmuştur (Şekil 23)

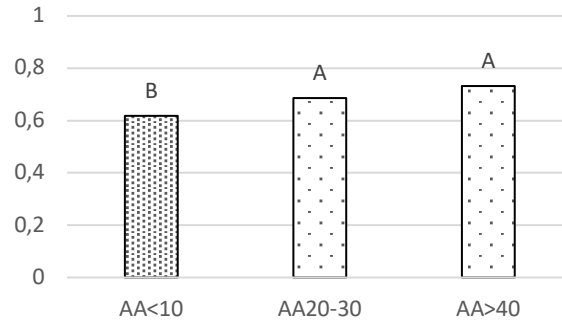


Şekil 23. TKİ_{TBA} için ağaçlandırma alanlarındaki gösterge özelliklerin sınırlayıcı etkileri

3.6.4.3 Analitik Hiyerarşi Modeli Kalite İndeks Değeri (TKİ_{AHP})

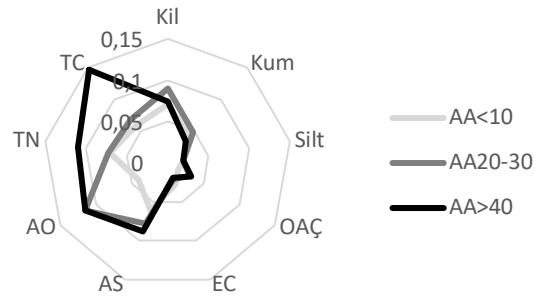
Analitik hiyerarşi modeli ile belirlenen kalite indeks değerleri 0.25 ile 0.81 arasında değişmiş ve ortalama 0.52 olmuştur, söz konusu özelliğin standart sapma değeri 0.12 ve değişkenlik katsayısı ise %23.08 olarak hesaplanmıştır. TKİ_{AHP} değerleri üst toprak tabakasında 0.53 ve alt toprak tabakasında ise 0.51 olmuştur, örnekleme tabakaları arasındaki bu farklılığın istatistiki anlamda önemli olmadığı belirlenmiştir (F:0.31; p>0.05).

TKİ_{AHP} değerleri ağaçlandırma zamanı yeni olandan eski olana doğru artma eğilimi göstererek AA_{<10} alanında 0.41, AA₁₀₋₄₀ alanında 0.54 ve AA_{>40} alanında 0.59 değerlerini almıştır (Şekil 24). TKİ_{AHP} bakımından ağaçlandırma alanları arasındaki bu farklılık istatistiki anlamda önemli bulunmuştur (F:16.96; p<0.01). Çoklu karşılaştırma testi sonucunda AA_{>40} ve AA₁₀₋₄₀ alanlarının istatistiki anlamda farklılık göstermeyerek aynı grupta yer aldığı (A) ancak AA_{<10} alanının önemli seviyede farklılık göstererek B gurubunda yer aldığı belirlenmiştir.



Şekil 24. TKİ_{AHP} değerlerinin ağaçlandırma alanlarında aldığı değerler

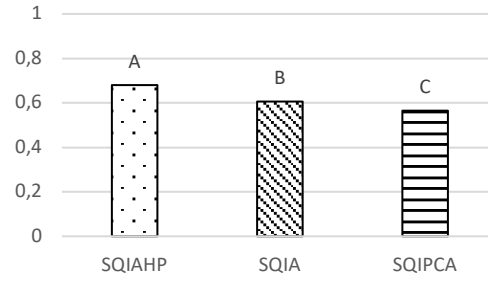
TKİ_{AHP} değerlerini AA<10 alanında sınırlandıran özellikler AO ve OAÇ iken AA₁₀₋₄₀ alanında TN ve TC, AA>40 alanında ise tane büyüklük dağılımı olmuştur (Şekil 25).



Şekil 25. TKİ_{AHP} için ağaçlandırma alanlarındaki gösterge özelliklerin sınırlayıcı etkileri

3.6.4.4 Yöntemlerin Karşılaştırılması

TKİ değerlerinin belirlenebilmesi için kullanılan üç yöntemin de farklı değerler vermesi, yöntemlerin karşılaştırılmasını zorunlu kılmıştır. Ağırlık katsayıları olmaksızın yalnızca skor değerlerini kullanan eklemeli yöntemde TKİ değeri en yüksek değeri almıştır (0.61), bunu sırasıyla TKİ_{TBA} (0.57) ve TKİ_{AHP} (0.52) takip etmiştir. Yöntemler bakımından TKİ değerleri arasındaki bu farklılığın istatistiki anlamda önemli olduğu belirlenmiştir (F:16.10; p<0.01). Çoklu karşılaştırma analizi sonucunda ise her bir yöntemin birbirinden önemli seviyede farklılık göstererek ayrı gruplarda yer aldığı görülmüştür (Şekil 26).



Şekil 26. TKİ değerlerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması

4 SONUÇ VE ÖNERİLER

Erozyonla mücadele için farklı zamanlarda yapılan ağaçlandırma uygulamalarının toprakların özelliklerinde ve kalite indeks değerlerinde ne ölçüde iyileşme sağladığını tespit etmek amacıyla yürütülen çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır. Buna göre araştırmada incelenen özellikler için genel bir değerlendirme yapıldığında;

1. Çalışma alanı topraklarının ağırlıklı olarak tın tekstür sınıfında yer aldığı,
2. Strüktürel anlamda iyi durumda olduğu,
3. Toprak reaksiyonunun hafif alkaline olduğu,
4. Tuzluluk sınıfının düşük olduğu,
5. Toplam karbon ve azot bakımından düşük, kükürt bakımından ise orta sınıfında yer aldığı belirlenmiştir.

Toprak özelliklerinin örnekleme derinliklerinde farklılık gösterip göstermediğini belirlemek amacıyla yapılan varyans analizi sonucunda toplam kükürt dışında incelenen tüm özellikler (kil, silt ve kum içeriği, ortalama ağırlık çap değeri, agregatlaşma oranı, agregat stabilitesi değeri, pH, elektriksel iletkenlik, toplam azot ve toplam karbon) bakımından örnekleme tabakaları arasında önemli seviyede bir farklılığın olmadığı belirlenmiştir.

Ağaçlandırılmış alanların tesis süreleri bakımından karşılaştırmaları yapıldığında

1. Toplam kükürt ve pH dışındaki özelliklerin önemli seviyede farklılık gösterdiği,
2. Tane büyüklük dağılımının süreçten etkilenmediği,
3. Ancak diğer özelliklerin toprağın vejetasyonla kaplı olduğu süreden etkilendiği ve
4. Bu sürenin artmasına bağlı olarak strüktürel ve kimyasal özelliklerin gelişim gösterdiği belirlenmiştir.

Toprakların kalite indeks değerinin belirlenmesi için yapılan çalışmalarda;

1. pH ve toplam kükürt dışındaki özellikler gösterge özellik olarak kabul edilmiştir.
2. Gösterge özelliklerin ağırlıklandırılmasında temel bileşenler analizi ve uzman görüşleri ile Pairwise karşılaştırma matrisi oluşturulması yöntemleri kullanılmış, her

iki yöntemde de toplam azot ve toplam karbon içerikleri en yüksek ağırlık katsayısına sahip özellik olduğu görülmüştür,

3. Gösterge özelliklerin alt kategorilerinin puanlanmasında yine uzman görüşü ve doğrusal puanlama fonksiyonları kullanılmıştır,
4. Kalite indeks değerleri bir eklemeli ve iki ağırlıklandırılmalı yöntemle (temel bileşenler analizi ve analitik hiyerarşi süreci) belirlenmiştir.
5. Her üç yöntemle elde edilen kalite indeks değerleri örnekleme tabakalarında farklılık göstermemiştir.
6. Her üç yöntemle elde edilen kalite indeks değerleri daha uzun zaman önce ağaçlandırma uygulamasının yapıldığı alanlarda daha yüksek olurken, sürenin azalmasına bağlı olarak düşme eğilimi göstermiştir.
7. Kalite indeks değerini sınırlandıran faktörler en genç ağaçlandırma sahasında toplam karbon, toplam azot ve strüktürel parametreler iken daha yaşlı alanlarda tane büyüklük dağılımı olmuştur.
8. Yöntemler karşılaştırıldığında AHP yöntemi ile elde edilen kalite indeks değerlerinin daha yüksek olduğu bunu eklemeli yöntemin ve temel bileşenler analizi yöntemi ile elde edilen kalite indeks değerlerinin takip ettiği belirlenmiştir.

Erozyonla mücadele çalışmalarında kullanılan ağaçlandırma yönteminin toprak özelliklerinde ve kalite indeks değerlerinde iyileşmeye neden olduğu bu çalışma ile net bir şekilde ortaya konulmuştur. Kalite indeks değerlerinde gelişme elde edilebilmesi için en az yirmi yıllık bir süreye ihtiyaç duyulduğu da bu çalışma ile görülmüştür.

Toprak bozulmasının önlenmesi ya da bozulmuş alanların rehabilite edilmesi için uygulanan yöntemlerin başarı durumlarının değerlendirmelerinde toprak kalite indeks değerinin kullanılabileceği düşünülmektedir. Ancak toprakların biyolojik özelliklerinin de kalite indeks değerlerinin belirlenmesinde göz önünde bulundurulmasının, karar verme sürecinin daha sağlıklı yürütülebilmesi için gerekli olduğu da çalışma sonucunda anlaşılmıştır.

Bu çalışmanın farklı ekolojik koşullarda tekrar edilmesiyle erozyonla mücadele çalışmalarında yeni stratejilerin belirlenebileceği düşüncesinden yola çıkarak doktora çalışmasının bu konuda yürütülmesi planlanmıştır.

KAYNAKLAR

- Abrahamson, D., Causarano, H., Williams, J., Norfleet, M., ve Franzluebbers, A. (2009). Predicting soil organic carbon sequestration in the southeastern United States with EPIC and the soil conditioning index. *Journal of soil and water conservation*, 64(2), 134-144.
- Acir, N. (2014). *Kurak ve yarı-kurak bölge topraklarının toprak kalitesinin belirlenmesinde kullanılacak minimum veri setlerinin hazırlanması*. Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Ana Bilim Dalı, Tokat. (Doktora Tezi).
- Acton, D., ve Gregorich, L. (1995). "Understanding Soil Health," The Health of Our Soils: Toward Sustainable Agriculture in Canada, Acton and Gregorich (eds.). *Centre for Land and Biological Resources Research, Branch, Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa, Ontario*.
- Akbaş, B., Akdeniz, N., Aksay, A., Altun, İ., Balcı, V., Bilginer, E., Bilgiç, T., Duru, M., Ercan, T., ve Gedik, İ. (2011). diğerleri, Türkiye Jeoloji Haritası. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara, Türkiye*.
- An, S., Zheng, F., Zhang, F., Van Pelt, S., Hamer, U., ve Makeshin, F. (2008). Soil quality degradation processes along a deforestation chronosequence in the Ziowuling area, China. *Catena*, 75(3), 248-256.
- Andrews, S. S., Karlen, D., ve Mitchell, J. (2002). A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 90(1), 25-45.
- Audsley, E., Alber, S., Clift, R., Cowell, S., Crettaz, P., Gaillard, G., Hausheer, J., Jolliet, O., Kleijn, R., ve Mortensen, B. (1997). Harmonisation of environmental life cycle assessment for agriculture. *Final Report, Concerted Action AIR3-CT94-2028. European Commission, DG VI Agriculture*, 139.
- Bayram, M. (2015). *Yarı Kurak Bir Bölgede Sürdürülebilir Toprak İşleme Yöntemlerinin Toprak Kalitesinin Değerlendirilmesi Yoluyla Belirlenmesi*. Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makineleri Anabilim Dalı, (Doktora Tezi).
- Burger, J. A., ve Kelting, D. L. (1999). Using soil quality indicators to assess forest stand management. *Forest ecology and management*, 122(1-2), 155-166.
- Cairns, M. A., Brown, S., Helmer, E. H., ve Baumgardner, G. A. (1997). Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia*, 111(1), 1-11.
- Canbolat, M. (2006). Toprak kalite yönetimi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi basılmamış ders notu*.
- Capó-Bauçà, S., Marqués, A., Llopis-Vidal, N., Bota, J., ve Baraza, E. (2019). Long-term establishment of natural green cover provides agroecosystem services by improving soil quality in a Mediterranean vineyard. *Ecological Engineering*, 127, 285-291.
- Cebel, N. (2011). Toprak Kalitesinin Korunması Ve Geliştirilmesi. *Bilim ve Aklın Aydınlightında Eğitim*, 134, 34.
- Conklin, A. R. (2013). *Introduction to soil chemistry: Analysis and instrumentation*: John Wiley & Sons.

- Çepel, N. (1977). Türkiye'nin önemli yetişme bölgelerindeki saf sarıçam ormanlarının gelişimi ile bazı edafik ve fizyografik etkenler arasındaki ilişkiler. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 26(2), 25-64.
- Çetin, Ü., ve Kemal, G. (2011). Çeşitli organik atıkların toprağın bazı fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri üzerine etkisi. *Selçuk Tarım Bilimleri Dergisi*, 25(3), 9-16.
- Çomaklı, B., Fayetörbay, D., ve Daşçı, M. (2013). Farklı Rakıma Sahip Meralarda Botanik Kompozisyon ve Toprağı Kaplama Oranının Değişimi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 43(1), 17-21.
- Çomaklı, B., Tuncay, Ö., ve DAŞCI, M. (2012). Farklı kullanım geçmişine sahip mera alanlarında bitki örtüsünün değişimi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2(2), 75-82.
- Da Silva, A. S., Seliger, R., Sattler, D., ve Heinrich, J. (2019). Soil degradation in Southeast Brazil: a challenge for restoration and rehabilitation. In *Strategies and Tools for a Sustainable Rural Rio de Janeiro* (pp. 377-389): Springer.
- Daşdemir, İ., ve Güngör, E. (2002). Çok boyutlu karar verme metotları ve ormancılıkta uygulama alanları. *Journal of Bartın Faculty of Forestry*, 4(4).
- Dindaroğlu, T., ve Canbolat, M. (2011). Kuzgun baraj gölü su üretim havzasının toprak kalitesi bakımından değerlendirilmesi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 42(2), 145-151.
- Dixon, R. K., Solomon, A., Brown, S., Houghton, R., Trexler, M., ve Wisniewski, J. (1994). Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science*, 263(5144), 185-190.
- Doran, J. W., ve Parkin, T. B. (1994). Defining and assessing soil quality. *Defining soil quality for a sustainable environment*(definingsoilqua), 1-21.
- Doran, J. W., ve Zeiss, M. R. (2000). Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied soil ecology*, 15(1), 3-11.
- Ernest, H., Kumar, A., Bhople, B. S., Srivastava, P. K., Singh, R. D., ve Sahu, S. K. (2015). Soil quality and health management through farming practices: to ensure agricultural sustainability. *RESEARCH JOURNAL OF PHARMACEUTICAL BIOLOGICAL AND CHEMICAL SCIENCES*, 6(4), 1983-1992.
- Fox, T. R. (2000). Sustained productivity in intensively managed forest plantations. *Forest ecology and management*, 138(1-3), 187-202.
- Gee, G. W., ve Bauder, J. W. (1986). *Particle-size analysis I*: Soil Science Society of America, American Society of Agronomy.
- Günel, N. (2013). Türkiye’de iklimin doğal bitki örtüsü üzerindeki etkileri. *Acta Turcica Çevrimiçi Tematik Türkoloji Dergisi, Online Thematic Journal of Turkic Studies, Yıl V, 1*, 1-22.
- Hinge, G., Surampalli, R. Y., ve Goyal, M. K. (2019). Effects of Land Use and Soil Management on Soil Quality in India’s Northeastern Himalayas. *Journal of Environmental Engineering*, 145(4), 04019007.
- Javed, S. A., ve Liu, S. (2017). *Evaluation of project management knowledge areas using grey incidence model and AHP*. Paper presented at the 2017 International Conference on Grey Systems and Intelligent Services (GSIS).
- Johnson, R. A., ve Wichern, D. W. (1992). Discrimination and classification. In *Applied multivariate statistical analysis* (Vol. 4): Prentice-Hall.

- Jones, R. (1994). Site classification: its role in predicting forestland responses to management practices. In *Impacts of Forest Harvesting on Long-term Site Productivity* (pp. 187-218): Springer.
- Kadioğlu, B., ve Canbolat, M. Y. (2014). Toprak kalite indeks parametrelerinin tarım ve mera alanlarında farklı topoğrafik pozisyonlara bağlı olarak değişimi. *Alinteri Ziraat Bilimler Dergisi*, 26(1), 1-8.
- Kara, Ö., ve Bolat, İ. (2008). The effect of different land uses on soil microbial biomass carbon and nitrogen in Bartın Province. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 32(4), 281-288.
- Karlen, D. L., Mausbach, M., Doran, J., Cline, R., Harris, R., ve Schuman, G. (1997). Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). *Soil Science Society of America Journal*, 61(1), 4-10.
- Karlen, D. L., Tomer, M. D., Neppel, J., ve Cambardella, C. A. (2008). A preliminary watershed scale soil quality assessment in north central Iowa, USA. *Soil and Tillage Research*, 99(2), 291-299.
- Karlen, D. L., Wienhold, B. J., Kang, S., Zobeck, T. M., ve Andrews, S. S. (2011). Indices for soil management decisions.
- Kemper, W., ve Rosenau, R. (1986). Aggregate stability and size distribution.
- Krasilnikov, P., Makarov, O., Alyabina, I., ve Nachtergaele, F. (2016). Assessing soil degradation in northern Eurasia. *Geoderma Regional*, 7(1), 1-10.
- Kuusipalo, J., Kangas, J., ve Vesa, L. (1997). Sustainable forest management in tropical rain forests: a planning approach and case study from Indonesian Borneo. *Journal of Sustainable Forestry*, 5(3-4), 93-118.
- Lal, R., Mokma, D., ve Lowery, B. (1998). 14 Relation Between Soil Quality and Erosion. *Soil quality and soil erosion*, 237.
- Li, X., Yang, H., Shi, W., Li, Y., ve Guo, Q. (2018). Afforestation with xerophytic shrubs accelerates soil net nitrogen nitrification and mineralization in the Tengger Desert, Northern China. *Catena*, 169, 11-20.
- Marinari, S., Mancinelli, R., Campiglia, E., ve Grego, S. (2006). Chemical and biological indicators of soil quality in organic and conventional farming systems in Central Italy. *Ecological Indicators*, 6(4), 701-711.
- Marzaioli, R., d'Ascoli, R., De Pascale, R., ve Rutigliano, F. (2010). Soil quality in a Mediterranean area of Southern Italy as related to different land use types. *Applied soil ecology*, 44(3), 205-212.
- Mendoza, G. A. (1997). *Introduction to analytic hierarchy process: theory and applications to natural resources management*. Paper presented at the Proceedings of.
- Millikin, C. S., Bledsoe, C. S., ve Tecklin, J. (1997). *Woody root biomass of 40-to 90-year-old blue oaks (Quercus douglasii) in western Sierra Nevada foothills*. Paper presented at the In: Pillsbury, Norman H.; Verner, Jared; Tietje, William D., technical coordinators. 1997. Proceedings of a symposium on oak woodlands: ecology, management, and urban interface issues; 19–22 March 1996; San Luis Obispo, CA. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-160. Albany, CA: Pacific Southwest Research Station, Forest Service, US Department of Agriculture; p. 83-90.
- Mutlu, N. (2015). *Yarı Kurak Bir Bölgede Çölleşmenin İzlenmesini Sağlayacak Göstergelerinin Belirlenmesi Ve Haritalanması*. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Toprak Bilimi Ve Bitki Besleme Ana Bilim Dalı, Tokat. (Doktora Tezi).

- Müftüoğlu, N. M., ve Demirer, T. (1998). Toprakta azot bilançosu. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 29(1).
- Nortcliff, S. (2002). Standardisation of soil quality attributes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 88(2), 161-168.
- Özalp, M., Dehşet, F., Turgut, B., Yıldırım, S., ve İnanlı, E. (2015). Tahrip edilmiş eğimli arazilerde teraslama ve ağaçlandırma çalışmalarının toprak özelliklerini iyileştirmedeki rolü.
- Özbek, A. K. (2004). Aşağı Pasinler ovası topraklarının toprak kalite indeks parametreleri bakımından değerlendirilmesi. *Ekoloji*, 13(51), 39-44.
- Öztaş, T. (1997). Toprak degradasyonu. *Ekoloji*, 22, 31-33.
- Özulu, M., Özaytekin, H. H., ve Uyangöz, R. (2006). Toprak Kalitesinin Değerlendirilmesinde Farklı Yaklaşımlar. *Selçuk Tarım Bilimleri Dergisi*, 20(40), 1-8.
- Parr, J., Papendick, R., Hornick, S., ve Meyer, R. (1992). Soil quality: attributes and relationship to alternative and sustainable agriculture. *American Journal of Alternative Agriculture*, 7(1-2), 5-11.
- Petersen, M., Ayers, P., ve Westfall, D. (1996). Managing soil compaction. *Crop series. Soil*; no. 0.519.
- Pietrzykowski, M. (2014). Soil quality index as a tool for Scots pine (*Pinus sylvestris*) monoculture conversion planning on afforested, reclaimed mine land. *Journal of Forestry Research*, 25(1), 63-74.
- Pritchett, W. L. (1980). Properties and management of forest soils. *Soil science*, 129(6), 389.
- Qi, Y., Darilek, J. L., Huang, B., Zhao, Y., Sun, W., ve Gu, Z. (2009). Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China. *Geoderma*, 149(3-4), 325-334.
- Rhoades, J. (1982). Soluble salts. *Methods of soil analysis. Part*, 2(2), 167-178.
- Romig, D. E., Garlynd, M. J., ve Harris, R. F. (1996). Farmer-Based Assessment of Soil Quality: A Soil Health Scorecard 1. *Methods for assessing soil quality*(methodsforasses), 39-60.
- Salehpour Jam, A., Tabatabaei, M., ve Sarreshtehdari, A. (2017). Pedological Criterion Affecting Desertification in Alluvial Fans Using AHP-ELECTRE I Technique (Case Study: Southeast of Rude-Shoor Watershed Area). *ECOPERSIA*, 5(1), 1711-1729.
- Schmoldt, D. L., Peterson, D. L., ve Smith, R. L. (1995). The analytic hierarchy process and participatory decisionmaking. *Proceedings, Decision Support-2001. pp.* 129-143.
- Schoenholtz, S. H., Van Miegroet, H., ve Burger, J. (2000). A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. *Forest ecology and management*, 138(1-3), 335-356.
- Shepherd, G. (2000). Visual soil assessment: field guide for cropping.
- Sivrikaya, F., ve Bozali, N. (2012). Karbon Depolama Kapasitesinin Belirlenmesi: Türkoğlu Planlama Birimi Örneği. *Journal of Bartın Faculty of Forestry*, 14(1. Special Issue), 69-76.
- Siyag, P. R. (2013). *Afforestation, Reforestation and Forest Restoration in Arid and Semi-arid Tropics: A Manual of Technology & Management*. Springer Science & Business Media.

- Sun, B., Zhou, S., ve Zhao, Q. (2003). Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical China. *Geoderma*, 115(1-2), 85-99.
- Tate, R. L. (1995). *Soil microbiology*. New York: John Wiley and Sons.
- Tugel, A., Herrick, J., Brown, J., Mausbach, M., Puckett, W., ve Hipple, K. (2005). Soil change, soil survey, and natural resources decision making. *Soil Science Society of America Journal*, 69(3), 738-747.
- Turgut, B., Aksakal, E. L., ve Öztaş, T. (2010). Toprak sıkışmasına bağlı fiziksel ortam özelliklerindeki etkileşimler.
- Van Bavel, C. (1950). Mean Weight-Diameter of Soil Aggregates as a Statistical Index of Aggregation 1. *Soil Science Society of America Journal*, 14(C), 20-23.
- Vitousek, P. M., ve Matson, P. A. (1985). Disturbance, nitrogen availability, and nitrogen losses in an intensively managed loblolly pine plantation. *Ecology*, 66(4), 1360-1376.
- Yanai, R. D., Park, B. B., ve Hamburg, S. P. (2006). The vertical and horizontal distribution of roots in northern hardwood stands of varying age. *Canadian journal of forest research*, 36(2), 450-459.
- Yılmaz, E., Alagöz, Z., ve Öktüren, F. (2005). Toprakta agregat oluşumu ve stabilitesi. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 19(36), 78-86.
- Zhang, H., Teng, M., Niu, L., Wang, Y., Liu, Q., Huang, Q., Hao, Q., Dong, Y., ve Liu, P. (2004). Purification, partial characterization, crystallization and structural determination of AHP-LAAO, a novel L-amino-acid oxidase with cell apoptosis-inducing activity from *Agkistrodon halys pallas* venom. *Acta Crystallographica Section D: Biological Crystallography*, 60(5), 974-977.
- Zhang, K., Zheng, H., Chen, F., Ouyang, Z., Wang, Y., Wu, Y., Lan, J., Fu, M., ve Xiang, X. (2015). Changes in soil quality after converting *Pinus* to *Eucalyptus* plantations in southern China. *Solid Earth*, 6(1), 115-123.
- Zhao, F., Fan, X., Ren, C., Zhang, L., Han, X., Yang, G., Wang, J., ve Doughty, R. (2018). Changes of the organic carbon content and stability of soil aggregates affected by soil bacterial community after afforestation. *Catena*, 171, 622-631.
- Zobeck, T. M., Crownover, J., Dollar, M., Van Pelt, R. S., Acosta-Martinez, V., Bronson, K. F., ve Upchurch, D. R. (2007). Investigation of soil conditioning index values for southern high plains agroecosystems. *Journal of soil and water conservation*, 62(6), 433-442.