



Derleme Makale

İklim Değişimlerinin ve Gıda Talebinin Tarımı Üzerinde Yaratacağı Olumsuz Etkileri Belirlemek İçin Çakılı Denemelerin Önemi

İbrahim ORTAŞ^{1*}

ÖZ

Uzun süreli tarla deneyleri tarımsal ekoloji verileri üretmek için vazgeçilmez bilgi kaynaklarıdır. Başta gübreleme olmak üzere uzun süreli tarım-teknik işlemler sonucunda toprak verimliliğinde meydana gelen değişikliklerin izlenmesi, anlaşılması ve kanıtlanması açısından uzun süreli çakılı denemeler hayati önem taşımaktadır. Arazi kullanımına ilişkin bilgiler başka yollarla kolay elde edilemez. Uzun ömürlü olmaları nedeniyle, onları korumak oldukça zor ve maliyetlidir.

Bununla birlikte, bilimsel ve pratik değerleri ölçülemez ve yaşlarıyla birlikte değerleri de büyümeye devam eder. İnsan, tarım ilişkisi, artan nüfus, gıda güvencesi, iklim değişimleri ve son olarak Covid-19 salgını ile tarım ve toprağın önemi yeniden güçlü bir şekilde hissedilir olmuştur. Çiftçiler ve bilim insanları için çakılı denemelerin önemi gün geçtikçe artmaktadır. Özellikle bazı kestirimlerin çıkarılması için çok yönlü veri setlerinin zamana bağlı olarak çıkarılması gerekmektedir.

Tarımın ve tarımsal uygulamaların uzun süreli etkilerinin bilinmesi gerekliliği günden güne artmaktadır. Ancak nasıl ve hangi mekanizma ile ölçülebilir? Uzun süreli olarak toprak kalitesi, verim ve iklim değişimlerine veri oluşturacak ölçü sistemlerini nasıl kurabiliriz? Bilimin ve bilim insanlarının karşılaştığı en ciddi sorulardan biri ölçme ve ölçülenleri amaca uygun olarak değerlendirebilmektir. Uzun süreli tarla denemeleri ile genelleştirilmiş bilgi üretmek zorundayız. Toprağın gıda-sağlık ve sürdürülebilirliği konusundaki kompleks ilişkilerini yeni öğreniyoruz. Dünyanın birçok ülkesinde uzun süreli çakılı denemelerin olduğu bilinmektedir. İngiltere’de 1853 yılında, çoğunluğu Avrupa’da olmak üzere 1900’li yıllardan sonra günümüze kadar 650 kadar uzun süreli çakılı tarla denemeleri kurulmuştur. Uzun süreli denemelerden elde edilen değişik tarım pratiklerinin toprak ve bitki gelişimi üzerine olan etkileri iklim değişimleri ile ilişkilendirilerek araştırılmaktadır. Organik madde ilavesi ve korumalı tarım uygulamaları sonucu toprak verimliliğinin iyileştirildiği. Mineral gübre uygulaması ve ağır toprak işleme koşulları altında ise toprak verimliliğinin düştüğü görülüyor.

Makalenin amacı çok yıllık tarla denemelerin Türkiye koşullarında sürdürülebilir tarım için gerekliliğine vurguda bulunmaktadır. Türkiye olarak halen işin başındayız. Ülkemizde de bu tür denemelerin yürütülmesi ülkemizin değişen iklim ve ekolojik değişkenliklere karşı veri üretmesi bakımından büyük önem kazanmaktadır.

Anahtar Kelime: Çakılı tarla denemeleri, İklim değişimleri, Toprakta karbon tutulması, Ekolojik tarım deneme modelleri

ORCID ID

0000-0003-4496-3960

Yayın Kuruluna Geliş Tarihi: 01.08.2022

Kabul Tarihi: 13.12.2022

¹Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Adana

*E-posta: iortas@cu.edu.tr

İklim Değişimlerinin ve Gıda Talebinin Tarımı Üzerinde Yaratacağı Olumsuz Etkileri Belirlemek İçin Çakılı Denemelerin Önemi

The Importance of Long-Term Field Experiments to Determine the Negative Impacts of Climate Changes and Food Demand on Agriculture Production

ABSTRACT

Long-term field experiments are essential for generating knowledge and data on agricultural ecology. Long-term field studies are crucial for tracking, understanding, and demonstrating how long-term agro-technical activities, particularly fertilization and soil tillage practices, lead to changes in soil fertility.

Information on land usage and readily accessible secure data are difficult to obtain. Due to the long-term experiment's durability, maintaining them is quite difficult and costly. They have an immeasurable worth for science and society, nevertheless, and that value only increases with the passage of time. The interdependence between humans and agriculture, rising population, food security, climate change, and the recent Covid-19 pandemic have all contributed to a renewed sense of the significance of agriculture and soil. Long-term field experiments are becoming more and more important for farmers and scientists. Multidimensional datasets must be retrieved depending on time, particularly in order to extract some estimations.

The need to understand how agriculture and agricultural activities affect the environment over the long-term of production is increasing day by day. How can we set up measuring systems that produce data on long-term soil quality, production, and climate change? Measuring and assessing secure data to determine its suitability for long-term uses is one of the most important issues facing research and scientists.

Long-term field experiments are important to generate generalized knowledge. We are still learning about the intricate connections between the sustainability of the soil and its potential to provide healthy food. Many countries around the world are known to conduct long-term field experiments. In 1853, the first long-term field experiment was started in England. Approximately total 650 long-term field experiments have been conducted since 1900, primarily in Europe, and continued up to date. By linking various agricultural techniques with climate change, the consequences of these activities on soil and plant development are examined. Soil fertility is improved as a result of organic fertilizers addition and protected farming practices. It is observed that soil fertility decreases under mineral fertilizer application and heavy soil tillage conditions.

The aim of the article is to emphasize the necessity of long-term field experiments for sustainable agriculture in Turkish conditions. Turkey is at the beginning of long-term field experiments. Conducting such long-term experiments in our country is of great importance in terms of producing data against the changing climate and ecological variability of our country.

Keywords: Long-Term Field Experiments, Climate Changes, Soil Carbon, Ecological Agriculture

İklim Değişimlerinin ve Gıda Talebinin Tarımı Üzerinde Yaratacağı Olumsuz Etkileri Belirlemek İçin Çakılı Denemelerin Önemi

Giriş

20. yüzyıl, teknoloji (makineler, aletler, aparatlar), kimya (sentetik malzemeler, yapay gübreler, bitki koruma kimyasalları, farmasötikler), biyoloji (genetik, biyoteknoloji, moleküler biyoloji), telekomünikasyon alanındaki başarılı çalışmalar göz kamaştırıcı bir şekilde insanlığı şaşırtmaktadır. Karayolu trafiği ve hava taşımacılığı, bilişim teknolojileri vb. beklenmedik gelişmeler hızlı bir şekilde gelişmektedir. Geçmişte insanların kazandığı tarım tekniklerini anlayarak geleceğe daha emin adımlarla gitmek için biraz daha metodolojik çalışılması ve güvenli bilgilerin elde edilmesi için sürekli denemeler çok büyük veri setleri oluşturacaklardır. Hızlı gelişme, hızlı ürün değişimi tarımı da etkilemiş, yeni üretim teknolojilerini ve teknolojik gelişmeleri zorunlu kılmıştır. Bu gelişmelerin başında doğal olarak Endüstri 4.0 ve tarımsal bilişim teknolojileri gelmektedir.

Günümüzde çevre bilinci oluşmuş herkesin mevcut tarım uygulamalarının uzun vadede ne getireceğini ve ne götüreceğini bilmek istemesi en doğal hakkıdır. Mevcut bitki ve toprak yönetimlerine alternatif yeni yönetim şekillerinin yaratacağı tepkilerin bilinmesi ise ayrı bir önem arz etmektedir. Toprak yalnız bir besin kaynağı olarak değil aynı zamanda temiz bir çevre için vazgeçilmez bir kaynaktır. Sürekli dengeli bir yaşam için toprak mutlak korunması ve uygun yöntemlerle yönetilip işlenmesi gereken bir ortam olarak önemini her geçen gün biraz daha etkili bir şekilde hissettirmektedir. Bu bilgilerin ışığında gelecekte iklim değişimlerini daha iyi anlamak ve toprakların verimliliğini optimum düzeylerde tutabilmek için çok yıllık çakılı denemelerle gelişen değişimlerin takip edilmesi bir zorunluluktur. Zamanla toprakta meydana gelen fiziksel, kimyasal ve biyolojik değişimlerin belirlenmesi ve ona göre stratejilerin oluşturulması bilim ve tarım çevrelerinin aydınlatılması son derece önemli bir yarar sağlayacaktır.

Bütün dünyada son yarım yüzyılda bitkisel üretimde aşırı gübre uygulamasına paralel olarak aşırı pestisit kullanılmaktadır. Katyon özelliği taşıyan organik ve inorganik bu bileşiklerin bir kısmı kil yüzeylerinde ve organik madde ortamında tutunurken bir kısmı da sulama suları ile taban suyuna katılmaktadırlar. Toprakta

değişik form ve ortamlarda tutulan pestisitlerin ne kadar tutunduğu ve ne oranda bitkiye geçtiği ise çok az bilinmektedir. Başta Batı Avrupa bölgelerinde olmak üzere, suni gübreler ve bitki koruma ilaçları (kimyasalları), başka yerlere göre çok daha erken ve daha yüksek miktarlarda kullanılmaktadır. Bu bölgelerde uygulanan suni kimyasalların toprak-kimyasal etkileşimlerden kaynaklanan ciddi yıkıcı çevresel etkileri kısa sürede görülmeye başlanmıştır. DDT ve diğer kimyasallar kullanıldıkça fiziksel, kimyasal ve biyolojik toprak özellikleri bozulmaya sebep olduğu çeşitli araştırmalarla ortaya konulmuştur (Ipsilantis ve ark., 2012; Wang ve ark., 2021). Toprak özelliklerinde (asitleşme, nitrat ve ağır metallerin birikmesi vb.) olumsuz değişimlerin oranı ve kimyasal girdilerin yıkama yolu yeraltı suyu kirliliği dikkatleri çekmiştir. Ek olarak, artan endüstriyel faaliyetler sonucu oluşan CO₂, SO₄²⁻, CH₄ ve diğer sera gazları atmosfer kirliliğine neden olmaktadır (Brandao ve ark., 2011). Söz konusu gazların atmosferde birikimi, ormanlardan ekilebilir tarım alanlarına kadar (Bandyopadhyay ve Lal, 2014) ve elde edilen ürünlere zarar veren asit yağmurlarına, ozon delinmesine ve sera gazlarının etkisi ile küresel ısınmaya neden olmaktadır. Endüstriyel atık ve ortak kanalizasyon suları yüzey sularını kirlettiği gibi biyolojik çeşitliğin yaşam alanlarını da daraltmıştır. Van Kernebeek ve ark. (2016) insanların sadece beslenmeyi veya yaşamayı kabul etmeleri halinde toprağı daha verimli kullanabilecekleri iddia etmiştir.

Toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik verimliliğinin sağlanması için çevre faktörlerinde içine kılacak bir tarım stratejisinin belirlenip uygulamaya alınması bir zorunluluktur. Bu açıklamalar ışığında toprak yönetiminin, insanlığın en büyük tecrübelerinden biri olduğu açıkça görülmektedir. Günümüze kadar yaşamış medeniyetlerde topraklarının düzenli ve dengeli kullanımını sağlayamadıkları andan itibaren medeniyetlerinin yıkıldığı ve büyük göçler yaşandığı görülmüştür. Anadolu'nun tarımsal geçmişinde yaşanan yanlış tarım-toprak yönetimlerinin özellikle yanlış sulama ve otlamalar ile bize iletmek istediği en önemli mesaj olan toprakların verimliliğini koruyan uygarlıkların varlıklarını sürdürdüğü, diğerlerinin is yıkılarak elemine oldukları yönündedir. Aynı

İklim Değişimlerinin ve Gıda Talebinin Tarımı Üzerinde Yaratacağı Olumsuz Etkileri Belirlemek İçin Çakılı Denemelerin Önemi

şekilde toprak kökenli ve bitkiden kaynaklanan hastalık ve zararlıların tespit ve işleyiş mekanizmalarının bilinmesi önem arz etmektedir.

Çok Yıllık Çakılı Denemeler ile Tarım Pratikerlerinin Etkilerinin Araştırılması

B. Lawes ve J. H. Gilbert tarafından İngiltere'de Londra'nın kuzeyindeki Rothamsted kasbasında 1843 yılında Rothamsted Araştırma İstasyonunda başlatılan uzun süreli tarla denemelerini halen devam ettirmektedir. Belirli aralıklarla yapılan akademik makale, rapor ve bilimsel toplantılar ile ilgili olarak toprakta meydana gelen değişimler, bitki verimi ve kalitesine ilişkin veriler bilim çevrelerinin istifadesine sunulmaktadır. Kuruluşlarından bu yana sürekli olarak yürütülen en eski uzun süreli denemeler şu anda 179 yaşındadır. Toprak verimliliğinin artması teorisini ortaya koyan Alman kimyager J. von Liebig'in bilimsel çalışmaları da uzun süreli çakılı denemelerin kurulmasına katkıda bulunmuştur. O günlerde besin elementlerinin geri dönüşümüyle ilgili hararetli tartışmaların etkisi ile Rothamsted klasik deneyler ve bilimsel araştırmaların yapılmasını teşvik etmiştir. İngiltere'deki tarımsal araştırma dikkatleri uzun vadeli tarla deneylerine odaklanmış ve bu tür deneyler kısa süre sonra diğer ülkelerde de ilham kaynağı olarak uzun süreli denemeler kurulmasına öncülük etmiştir. Söz konusu denemeler toprak bilimine önemli katkılarda bulunmuştur. Özellikle değişik uygulamaların sonucu uzun sürede toprak bileşenlerinde meydana gelen değişimler ve bu değişimlerin bitkisel üretime yansımalarının yanında hastalık ve zararlı kontrolündeki önemi konusunda önemli bilgiler sağlanmıştır. Hatta uzun süreli iklim değişimlerinin bitki verimleri üzerine olan etkilerini belirlemek içinde çakılı denemelerin kurulması gereklidir (Chmielewski ve Kohn, 1999). Bu bağlamda ülkemizde bu tür çok yıllık çakılı denemeler alanında araştırmalar teşvik edilmelidir. Ancak bu tür denemeler sonucunda toprakta meydana gelen değişimler ve bunların bitki gelişimine etkileri konusunda temel bilgi birikimi sağlanabilir. Aynı şekilde toprak kökenli ve bitkiden kaynaklanan hastalık ve zararlıların tespit ve işleyiş mekanizmalarının bilinmesi önem arz etmektedir.

Tarım sistemleri dünya ekosistemlerinin sağlıklı işleyişi için önemlidir (Lopez-Bellido ve ark.,

2010) ancak ekosistemin sağlığı ve gıda güvencesinin sağlanması içinde doğanın nasıl işlediğini bilmek daha da önemlidir. Sandén ve ark. (2018) Avrupa alanında 251 uzun dönemli tarla denemesinde ürün rotasyonu, örtü bitkileri/yeşil gübre, toprak işlemez, ağır toprak işleme ve organik gübreleme gibi alternatif yönetim uygulamalarının toprak gelişimi üzerine etkilerini karşılaştırmışlar ve sonunda tarımsal girdilerin uzun süreli pozitif ve negatif etkileri net olarak ortaya konmuştur.

Günümüz iklim değişimlerinin asıl kaynağı olarak gösterilen CO₂ emisyonlarını azaltmak için tarım sistemlerinin yönetilebilir olması hayati derecede önemlidir. Bu bağlamda dünya toprakları atmosferik CO₂'nin hem yutağı hem de kaynağı olabilir, ancak bu yavaş işleyen bir süreçtir. Doğrudan ve dolaylı yoldan C değişikliklerinin eksiksiz bir yaşam döngüsü analizi yoluyla toprak karbon (C) yutma kapasitesini değerlendirmek için uzun vadeli toprak-bitki yönetimi deneylerinden elde edilen sağlıklı verilere ihtiyaç duyulmaktadır.

Araştırma verilerinin uzun sürede araştırmacılara yorum yapma olanağı kazandırması için bilgisayar ortamında tutulması, depolanması ve kullanıcılara belirli bir formatta açılması son derece önemlidir.

Dünyadaki Uzun Süreli Tarla Denemeleri

Uzun süreli tarla denemeleri ile bitki gelişiminin toprak faktörleri ve oluşumu üzerindeki etkilerinin bilinmesi açısından toprak-bitki yönetimi denemelerin önemi yadsınamaz. Dünyanın birçok ülkesinde uzun süreli çakılı denemelerin olduğu bilinmektedir. Bunlardan çoğu maalesef düzenli bir analitik çalışmaya girememişlerdir. İngiltere'de Rothamsted Araştırma istasyonu 1843 yılında başlattığı denemelerini halen devam ettirmektedir ve belirli aralıklarla toprakta meydana gelen değişimler ile ilgili bilgiler bilim çevrelerinin istifadesine sunulmaktadır (Debreczeni ve Körschens, 2003; Grosse ve ark., 2021; Donmez ve ark., 2022). Benzer şekilde Avrupa'nın birçok ülkesinde Almanya, Rusya, İsviçre, Fransa, İtalya, Avusturya gibi ülkelerde Asya'da Hindistan'da ICRISAT, Suriye'de ICARDA' DA 1978 ve 1985 yıllarında iki farklı bölgede iki farklı uzun yıllık denemeler kurulmuştur. Bu denemelerde toprak organizma DNA'larının da saklanması dahil bir bilgi bankası oluşturularak değişik bitki ve toprak

İklim Değişimlerinin ve Gıda Talebinin Tarımı Üzerinde Yaratacağı Olumsuz Etkileri Belirlemek İçin Çakılı Denemelerin Önemi

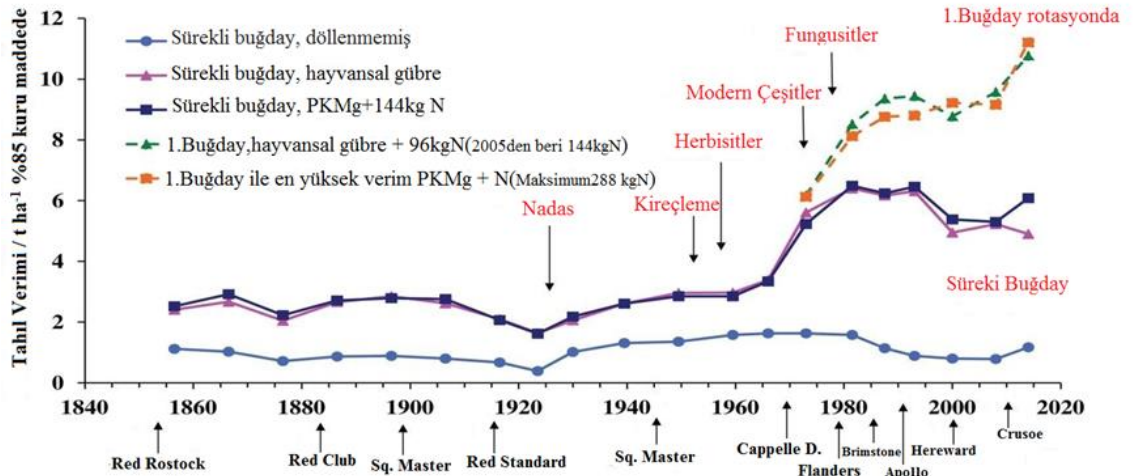
organizmalarının biyoçeşitliliğinde meydana gelen değişimleri de incelenmek istenmektedir. ICARDA'da yürütülen projeler bünyesinde "Sürdürülebilir Tarım Bölümü oluşturulmuştur. Sürdürülebilir Tarım Bölümünde yürütülen araştırmalar, Toprak, Tarla, Bahçe, Bitki Koruma, Hidroloji, Çevre, Sağlık ve Toplum Bilimi alanlarındaki araştırmacılar tarafından koordineli olarak yönetilmektedirler.

İngiltere Rothamsted Araştırma İstasyonu klasik deneme alanında yürütülen araştırmalar sonucunda yalnızca değişik uygulamaların bitki gelişimi üzerine olan etkileri değil aynı zamanda;

1. Toprakta karbon döngüsünün işleyişi ve bunun değişen sera gazları konsantrasyonu üzerine etkisi ile olan ilişkileri (Jenkinson ve ark., 1987),
2. Toprakta biriken ağır metallerin miktarı ve topraktaki davranışları (Wild ve ark., 1991),
3. Pestisit ve organik bileşiklerin topraktan hareketi ve taşınması (Jones ve De Voogt, 1999) konuları araştırılmıştır. Johnston (1997) Johnston ve Powlson (1992) ve Powlson ve Johnston (1992) İngiltere Rothamsted Araştırma İstasyonu koşullarında uzun süreli girdilere bağlı olarak yıllar içinde toprağın ve bitki gelişiminin daha iyi

anlaşılması konusunda son derece önemli veriler toplamışlardır.

Yüzyıldan fazla süren denemelerde değişik organik madde ve yüksek kimyasal gübreleme denemeleri sonucunda zamana bağlı olarak toprak özelliklerinin nasıl değiştiğini ve bunun bitki gelişimine olan etkileri incelenmiştir. Organik madde uygulaması yapılan parsellerde verimin üç kat daha fazla olduğu ve toprak gelişiminin mineral gübre gelişiminden daha fazla olduğu belirlenmiştir (Benzian ve Lane, 1986). Johnston ve ark. (2017), İngiltere'de 70 yıl aynı tarla koşullarında buğday ve ortalama koşulları altında toprak organik karbon içeriğinin çok az (%4) değiştiğini belirtmişlerdir. Aynı alanda yapılan bir başka uzun erimli deneme sistemi için, % organik karbonun denge değeri killi toprakta kumlu topraktakinden daha yüksek olduğu belirlenmiş, ayrıca herhangi bir toprak tipinde, sürekli ekilebilir tarla tarımına göre çim ekili alanda daha çok karbon bağlandığı ölçülmüştür (Johnston ve ark., 2009). Şekil 1'de de görüleceği gibi uygun toprak-bitki yönetimi atında organik ve inorganik gübre uygulamaları atında uzun sürede uygun verim alınabilmektedir (Johnston ve Poulton, 2018).



Şekil 1. İngiltere Rothamsted Araştırma İstasyonu çok yıllık araştırma alanında 1840-2020 yılları arasında mineral ve organik gübrelemenin buğday verimi üzerine olan etkisi (Johnston ve Poulton, 2018).

Rothamsted Araştırma İstasyonunda ve diğer yürütülen çok yıllık denemeler ile çevresel etkiler ve toprak koruma sorunları ile ilgili soruların

incelenmesine ve açıklığa kavuşturulmasına katkıda bulunan uzun vadeli veri setleri sağlamış ve sağlamaya devam etmektedirler (Powlson ve

İklim Değişimlerinin ve Gıda Talebinin Tarımı Üzerinde Yaratacağı Olumsuz Etkileri Belirlemek İçin Çakılı Denemelerin Önemi

Johnston, 1992; Johnston, 1997). Gözlemler, verim, toprak ve bitki analiz sonuçları kayıt altına alınarak bilim insanlarının toprağa uygulanan girdilerin etkileri hakkında geniş bir yorum yapma olanağı sunmaktadır. Uzun vadede çakılı denemeler bilim insanlarına geleceğe yönelik yeni uygulamalar ve hizmetlerde sunulmuştur. Arşivlenmiş ve günümüz örneklerinin analizinin yardımıyla, birçok durumda iklim değişimleri başta olmak üzere birçok çevresel etkinin tarımsal kaynaklı olup olmadığı kanıtlanmaya çalışılmaktadır. Belirli bir durumda olduğu gibi, büyük bir geçmişe sahip uzun süreli arazi deneyleri, tarım hayvancılığı ve çevre yönetimini yöneten kuruluşlara peyzaj, arazi koruma alanlarındaki toprak ve su kirliliğinin kaynakları hakkında çok önemli ve güvenilir bilgiler sağlamaları çakılı denemelerin önemi ve değerini daha da arttırmaktadır.

Dünyanın değişik bölgelerde belirli bir ekolojik toprak yapısına sahip küçük parsellerle yapılan uzun süreli tarla denemelerinde çoğunlukla toprak besin rezervlerinin takviyesi olarak ürün rotasyonları, mono-kültür çalışmaları, organik ve mineral gübreleme, mikro elementlerin uygulanmaları, asidik topraklara kireç

uygulanması, sulama şekli ve su miktarı, toprak işleme yöntemleri, bitki koruma, yeni bitki türleri ve mikoriza çeşit araştırmaları gibi bir dizi deneme alanları oluşturmuş durumdadır.

Günümüzde çoğunluğu batı ülkelerinde özellikle Avrupa'da olmak üzere 25 kadar 100 yılı aşkın süreli uzun vadeli çakılı tarla denemeleri bulunmaktadır (Debrecezi ve Körschens, 2003). Bu denemelerden on biri İngiltere'de, üçü Danimarka'da ikisi Fransa'da ikisi Almanya'da ikisi Ukrayna'da ve beşi de ABD'de bulunmaktadır. Çoğunluğu Avrupa'da 650 kadar uzun erimli denemeler 10 ile 100 yaş arasında bulunmaktadır (Tablo 1). Deneme sonuçları uzun süreli olarak kayıt altında tutulduğu için bitkilerin ve toprakların gübre uygulamalarına tepkileri yanında toprakta karbon tutulması çalışmaları (Ci ve ark., 2011) en çok ilgi çeken konuların başında gelmektedir. Çoğu tarla deneme verileri karşılaştırıldığında değişik toprak bitki yönetimlerine bağlı olarak iklim koşullarının etkisi ile çok faktörlü etkilerin ortaya çıktığı da görülmektedir. Şekil 2'de görüleceği gibi değişik bitki örtüsü desenleri ve uygulamaları daha geniş parsellerde yürütülmeye çalışılmaktadır.



Şekil 2. Dünyadaki farklı ülkelerinde yürütülen uzun dönemli tarla denemeleri (Kaynak, Anonymous)

İklim Değişimlerinin ve Gıda Talebinin Tarımı Üzerinde Yaratacağı Olumsuz Etkileri Belirlemek İçin Çakılı Denemelerin Önemi

Donmez ve ark. (2022) yaptıkları bir meta analiz çalışmasında Avrupa’da 616 adet uzun süreli tarla denemesi oluşunu rapor etmişlerdir. Çalışmada Avrupa kıtasında Almanya’da (299), İsveç’te (51), Avusturya’da (31), İngiltere’de (27). Akdeniz bölgesinde ise İtalya’da (18), Fransa’da (18), İspanya’da (14) ve Türkiye’de (3) adet çakılı deneme kayıt altına alınmıştır. Yapılan analizlerde Dünyadaki çakılı denemelerin 508 tanesi halen aktif olarak sürdürülmektedir. 82 tane çakılı deneme 20 yıl kadar sürdürüldükten sonra değişik nedenlerden dolayı sonlandırılmışlardır. İtalya’da Milli Eğitim, Üniversite ve Araştırma Bakanlığı (IC-FAR) tarafından 2013 yılında desteklenen 16 uzun erimli tarla denemeleri ile iklim değişikliklerinin İtalyan tarımsal sistemleri üzerindeki etkilerini ve uyum stratejileri ile daha iyi anlaşılması için uzun vadeli araştırmalar başlatmışlardır (Ginaldi ve ark., 2016). Denemelerde belirlenmiş olan birçok parametre

ölçülerek ürün sistemi modellemesiyle ilişkilendirilerek olası riskler ve önlemler belirlenmek istenmektedir. Son yıllarda, çakılı deneme verilerinin sonuçlarını kullanmak, saklamak ve profesyoneller için çeşitli konularda tartışma olanaklarını sunmak için yerel ve uluslararası düzeyde bazı girişimler başlatıldı. Değişik ülkelerdeki uzun süreli çakılı deneme merkezleri 1995 yılında COST (European Cooperation in Science and Technology) ve NATO (The North Atlantic Treaty Organization) tarafından da desteklenen uluslararası çalıştay İngiltere Rothamsted’de “Evaluation of Soil Organic Matter Models using Existing Long Term Datasets” başlığı ile düzenlediği Powelson ve ark. (2013) tarafından rapor edilmiştir. Özellikle karbon hesaplama modelleri konusu çok önemsendiği için çalışmaya ilgi çok yüksek düzeyde olmuştur (Debrezeni ve Körschens, 2003).

Tablo 1. Dünyadaki Çakılı Denemeler (Debrezeni ve Körschens, 2003)

Kıtalar, Ülkeler	10 – 20	20 – 50	50 – 100	>100 yıllık	Toplam
Avrupa					
Avusturya	1	6	2		9
Belarus	2				2
Belçika		3	2		5
Bulgaristan		6			6
Çek Cumhuriyeti	3	12			15
Danimarka		5		3	8
Estonya	1				1
Finlandiya		1			1
Fransa		3		2	5
Almanya	6	70	22	2	100
Büyük Britanya		6	2	11	19
Macaristan	5	75	2		83
İtalya	1	2			3
Moldova		4			4
Hollanda		8	7		15
Norveç			3		3
Polonya		11	5		16
Romanya	1	13			14
Rusya		32	30		62
Sırbistan	1		1		2
Slovakya		5			5
Slovenya	2				2
İspanya	1				1
İsveç		13	3		16
İsviçre		5	1		6
Ukrayna		12	1	2	15

İklim Değişimlerinin ve Gıda Talebinin Tarımı Üzerinde Yaratacağı Olumsuz Etkileri Belirlemek İçin Çakılı Denemelerin Önemi

Toplam:	24	292	81	20	417
Afrika		32	37		69
Asya		28	7		35
Avustralya		7	14		21
Kuzey Amerika					
Kanada	1	8	4		13
ABD		33	17	5	56
Güney Amerika		9	1		10
Dünya toplamı:	25	409	161	25	620

İklim Değişimleri ve Küresel Sıcaklık Tahmininde Çakılı Denemelerin Önemi

Toprak, insanın bundan yaklaşık 10 bin küsur yıl önce yani yerleşik tarımın başlangıcından beri insan faaliyetlerinin sonucu olan sera gazı (SG) kaynağı olmuştur. Küresel iklim değişimlerine doğrudan yer yüzeyinden endüstri, tarım paratikleri ve diğer etkinliklerden kaynaklanan karbon ayak izi etkileri sonucu atmosferde biriken sera gazları neden olmaktadır. Ancak karbonun tutulması çoğunlukla bitkilerin fotosentez mekanizmasına bağlı olarak değişmektedir. Bitkiler üzerinden tutulan ve toprağa aktarılan organik madde olarak tutulan karbon miktarının küresel olarak tahminleri, bunun atmosferde CO₂ olarak bulunan 750 Pg (10¹⁵)'nin yaklaşık iki katı olduğunu göstermekte, Eswaran ve ark. (1993) karasal sitemdeki toplam küresel karbon stoğunun 100 cm derinliğe kadar 1576 Pg olduğunu ve Post ve ark. (1982) ise yaptıkları tahminlerde 1394 Pg olarak belirtmişlerdir. Zamana bağlı olarak toprakta ne kadar organik karbonun tutulduğu veya atmosfere salındığının bilinmesi ancak uzun erimli tarla denemeleri verilerinin oluşturulması ile sağlanır. Korschens ve ark. (2013) Avrupadaki 20 kadar uzun erimli tarla denemesi sonuçlarını değerlendirdikleri veriler yayınlamışlardırlar. Benzer şekilde Korschens (1996) Almanya'daki 20 kadar uzun süreli tarla denemesi verilerin değerlendirilmesi sonucu, topraktaki mineralize edilebilir C ve N'nin tarla topraklarda nispeten dar bir ekolojik optimuma sahip olduğunu göstermekte olduğunu belirtmiştir. Bugün Almanyada yalnızca 168 tarla denemesi içinde 158 deneme alanında gübreleme çalışmaları ve etkileri çalışılmaktadır (Grosse ve ark., 2020). Her şeyden önce, çakılı denemeler genelde buldukları alanın toprak, iklim ve ekolojik verilerine bağlı olarak karakteristik sonuçlar sağlamaktadırlar. Çakılı

deneme sonuçları uzun erimli uygulamaların sonuçlarını, ekolojik ve ekonomik olarak bilgi birikiminin artmasına yol açmaktadır. Ayrıca uzun erimli tarla denemeleri verileri aynı zamanda çevre dostu besin arzı ve sürdürülebilir hayvancılıkla ilgilide gerçek soruları ve çözüm önerilerin netleştirilmesine yardımcı verilerde üretmektedir. Uzun süreli çakılı tarla denemelerinde üst toprak katmanında toprak C içeriğinin %0.2 ila %0.6 C ve N içeriğininde %0.02 ila %0.06 N arasında değiştiğini ve bu değerlerin altında toprak verimliliği, bitkisel verim ve atmosferdeki CO₂ bağlanmasının yetersiz olacağını; bu değerlerin üzerindeki konsantrasyonlarda ise çevre açısından tehlikeli kayıplar meydana gelebileceğini belirtiyor. Nerdeyse 1/10 olan N:C oranı bozulursa iklim değişimlerine neden olan sera gazı salınımda değişecektir.

Toprakta bulunan organik maddenin (OM) başka bir ifade ile toprak organik karbonu (TOK) birçok toprak özelliği üzerinde çok derin bir etkisinin olduğu son yıllarda daha iyi anlaşılmiş bulunmaktadır. OM'nin kaynağı olan TOK ve toprak inorganik karbonu (TİK) kaynakları karasal biyosferin en büyük rezervleri olan toplam toprak C stokunu oluşturuyor ki bu küresel C döngüsünün en kritik parçasını oluşturmaktadır (Schulz ve ark., 2011). Karasal ekosistemlerde genelde tropikal ve nemli iklimlerdeki topraklarda karbon, OC olarak depolanırken, kurak ve yarı kurak iklim koşulları altında hem OC hem de IC olarak depolanır (Lal ve ark., 2021). Toprak organik maddesinin toprağın kalitesini artırdığı çok uzun zaman önce fark edildi. Ancak OM'yi ölçecek yöntem ve araç olmadığı için etkileri çok ölçülemedi. OM'nin önemine verilecek örnekler arasında daha fazla agregat oluşumu veya stabilizasyonu, toprak işleme kolaylığı, sıkıştırma riskinin azalması veya diğer fiziksel hasarlar, erozyon riskinin azaltılması ve toprak su tutma kapasitesinin geliştirilmesi gibi fiziksel özellikler

İklim Değişimlerinin ve Gıda Talebinin Tarımı Üzerinde Yaratacağı Olumsuz Etkileri Belirlemek İçin Çakılı Denemelerin Önemi

sayılabilir. Bu nedenle torakların OM içeriği, bileşimi veya dinamiklerindeki değişikliklerin toprak üzerinde geniş kapsamlı etkileri olabilir (Yang ve ark., 2011). Bazı değişiklikler on yıllar boyunca yavaş yavaş meydana gelmektedir. Bazı toprak özellikleri çok uzun sürede değişirken, bazıları çok kısa sürede değişebilmektedir. Bu nedenle toprak değişkenliklerini ölçmek için uzun süreli çakılı denemelerin kurulması gereklidir. Çakılı denemelerde elde edilen verilerin “modeller” üzerinden diğer tarım alanlarına projeksiyonlar yapmak bakımından tek pratik yararlı yol olarak sunulmaktadır.

Toprak yalnız bir besin kaynağı olarak değil aynı zamanda temiz bir çevre için mutlak olması gerekli bir kaynaktır. Sürekli dengeli bir yaşam için toprak mutlak korunması ve uygun yöntemlerle yönetilip işlenmesi gereken bir ortam olarak önemini her gün biraz daha etkili bir şekilde hissettirmektedir. Günümüzde çevre bilinci oluşmuş herkes mevcut tarım uygulamalarının uzun vadede ne getireceğini ve ne götüreceğini bilmek istemesi en doğal hakkı olarak görmektedir. Mevcut bitki ve toprak yönetimlerine alternatif yeni yönetim şekillerinin yaratacağı tepkilerin bilinmesi ise ayrı bir önemlilik arz etmektedir. Blake ve ark. (2000) toprak besin elementi döngüsü ve verimlilik dinamiklerini anlamak için dünya çapında uzun vadeli arazi çalışmaları ve arşivlenmiş toprak ve bitki örnekleri çalışmalarının sürdürülmesinin önemini vurgulamışlardır.

Powlson ve Johnston (1992); Johnston (1997) 1980 yıllarda başlattıkları çalışmada uzun yıllar buğday bitkisinin veriminin organik madde uygulanması ile arttığını belirlemişlerdir. Aynı araştırmacılar buğday verimindeki artış için mantar hastalıkların kontrolünün gerektiğini ve bitki rotasyonu alındaki buğday veriminin ve sürekli buğday olan parsellerde yetiştirilen parsellerden daha yüksek olduğu ve mantar hastalık etmeninin ise münavebe alanlarında daha az olduğunu belirlemişlerdir. Araştırma bulguları organik madde uygulanan parsellerdeki verim artışının yalnız besin elementi temini değil topraklardaki fiziksel ve biyolojik iyileşmenin etkisi sonucu oluştuğunu belirtmişlerdir (Schulz ve ark., 2011). Avustralya’da uzun zamandır sürdürülen çok yıllık denemelerde buğday

rotasyonu buğday nadas; buğday mera uygulamaları sonucu buğday bitkisinin organik madde ve organik azot beslenmesi durumunda daha iyi geliştiği belirlenmiştir (Grace ve ark., 1995). ABD’de yürütülen bir diğer uzun yıllık çalışmada 5 ton/ha buğday veriminde organik gübreleme kimyasal gübrelere göre daha iyi sonuç vermekte iken, 10 ton/ha buğday verimi için kimyasal gübrelemeye gereksinim bulunmaktadır. Hindistan’da 1971 yılından bu yana sürdürülen çakılı deneme araştırmalarda değişik azot dozları hayvan gübrelisi ve gübresiz olarak denenmiştir. Hayvan gübresi uygulanan parsellerde buğday verimi 5.6 ton/ha olmuştur. Mineral N parsellerinde toprak asitliği ve mikro-element noksanlığı gözlenirken hayvan gübresi uygulanan parsellerde ise verim artışı sağlanmıştır (Nambiar, 1990).

Russell (1977) artan organik maddenin toprak fiziksel özellikleri üzerindeki etkisini ve bunun toprak işleme kolaylığı üzerindeki rolünü uzun yıllar değişik araştırma istasyonlarında gözlemiş ve daha fazla organik maddenin de verimi düşürdüğünü belirlemiştir. Russell (1977) uzun yıllık denemelere baklagil bitkilerinin yerleştirmesi sonucu toprakların organik madde miktarının arttığını belirlemiştir. Afrika’da birçok ülkede yürütülen uzun süreli denemelerde Ghana ve Tanzania bitkisel verimin toprakların organik ve kimyasal verimliliğine bağlı olduğunu (Le Mare, 1972) ve Nigeria ’da ki ICRISAT’ta yürütülen araştırmalarda ise organik madde uygulanmayan tarımsal sistemlerde yalnız mineral gübrelemenin verimi önemli derecede düşürdüğü (Kang ve Balasubramanian, 1990) tarafından rapor edilmiştir.

Son 100 yılda oluşan bilgi birikimi ve istatistiksel veriler toprak koşulları ve bitki yetiştiriciliği hakkında yeterli düzeye ulaştığı söylenebilir. Ancak uygulanan yeni bitki tür ve varyetleri ve kullanılan kimyasalların toprak dinamiği üzerindeki uzun erimli etkileri hakkında yeterli bilgi birikimi oluşmamıştır. Ayrıca kullanılması gereken girdilerin ekonomik ve sosyal boyutu ise çok az bilinmektedir. Bu çerçevede tarımsal üretimin sürdürülebilir olup olmadığı konusunda son yıllarda ileri sürülen görüşlerin başında toprak, su ve besin elementi yönetiminin optimize edilmesi gelmektedir. Ancak toprak gibi çok dinamik ve değişkenliği

İklim Değişimlerinin ve Gıda Talebinin Tarımı Üzerinde Yaratacağı Olumsuz Etkileri Belirlemek İçin Çakılı Denemelerin Önemi

yüksek olan bir ortamda çok fazla koordineli araştırmanın yapılması gerekmektedir. Bu bağlamda birçok disiplinin birlikte çalışması gerekmektedir. Tarım sisteminde uzun dönemli denemelerin önemi sürdürülebilir tarımın çevre üzerindeki etkilerinin çalışılması ile güncelleşmeye başlamış bulunmaktadır.

Sürdürülebilir tarım konusu gıda güvencesinin ve kalitesinin sağlanması üzerinden son yıllarda en çok tartışılan konuların başında gelmektedir. Sürdürülebilir tarım; ekonomik canlılık, çevre sağlığı ve tarımsal üretim sistemlerinin sosyal açıdan kabul edilmesi yönündeki problemlerin ve sıkıntılarının üstesinden gelmeyi araştırma yönünde uzun süredir ABD ve dünyada artan ölçüde incelenmektedir (Velten ve ark., 2015). Sürdürülebilir tarımın birçok tanımı olmasına rağmen, bu tanımların çoğu verimlilik, karlılık, muhafaza, sağlık, emniyet ve çevre gibi benzer unsurları değişik vurgulama derecelerinde ön plana çıkarmaktadırlar. Örneğin, USDA sürdürülebilir tarımın çok uzun bir zaman diliminde verimli, rekabet edebilir ve karlı olacak; halk sağlığını, besin kalitesini ve güvenilirliğini iyileştirecek tarım sistemi olarak tanımlamaktadır. Bunun yanında "sürdürülebilir" kavramı bir zaman boyutunu ve tarım sisteminin kapasitesini sınırlama olmaksızın geliştirmeyi ve sürdürmeyi ifade eder (Lockeretz, 1988).

Türkiye Koşullarında Çok Yıllık Deneme Konuları Üzerine Görüşler

Bilindiği gibi bitki kökleri toprak çözeltisinde bulunan besin elementlerini bitki kökleri ve diğer rizosfer mekanizmalarını kullanarak alır bitki gelişimi ve büyümesi için kullanır (Marschner, 2011). Toprak çözeltisindeki besin elementi konsantrasyonu özellikle K, P ve Zn gibi toprakların tampon özellikleri tarafından sağlanan besin elementleri labil ve stabil formlarda bulunurlar. Toprakların besin elementi sağlama hızı ve miktarı uzun vadede toprak verimliliği açısından son derece önemli bir olaydır. Ancak yarı kurak iklim kuşağında entansif tarım uygulamaları sonucu bitkiler tarafından topraktan sömürülen P, K ve Zn gibi kritik önem sahip besin elementlerinin toprakta zaman içinde meydana gelecek değişimleri çok az biliniyor. Ülkemiz toprakları genelde yeterli potasyum rezervine sahip olduğu söylense de son yıllarda kullanılan yüksek verimli genotipler

ve hibrit çeşitlerinin kullanılması ile topraklar hızlı bir şekilde sömürülmekte ve bunun sonucu verim düşüşü gözlenmektedir. Ayrıca her ne kadar toprakların genelde azot ve fosfor düzeyleri düşük olduğu biliniyorsa da zaman zaman toprak analiz sonuçlarına dayanmayan gübreleme sonucu toprakların fosforca doyurulmakta ve bunun sonucu topraklardaki mikoriza gibi simbiyotik canlıların aktiviteleri düşmekte ve ayrıca Zn ve Fe gibi besin elementleri ile yaptığı kompleksler sonucu bu besin elementleri alınamamaktadır. Ayrıca fazla gübrelemeden dolayı gereksiz para ve zaman harcanmış olmaktadır. Çukurova ve Harran ovasının yaygın topraklarında yapılan P ve K beslenmesi ve besin kapasitelerinin belirlenmesine yönelik denemelerde bazı topraklarda yetiştirilen aynı bitkiye ait verimin devam ettiği halde bazılarında ise birkaç ürün sonrası toprakların daha fazla ürün vermediği tespit edilmiştir (Ortaş ve Güzel, 1989). Uzun vadede toprak verimliliğinin bilinmesi ve gelecekte olası gübreleme programları ve bilimsel bilgi edinme açısından uzun erimli tarla denemelerinin yürütülmesi çok yönlü kazanımlar sağlayacaktır. Toprak verimliliğinin veya toprakta organik maddenin buna bağlı olarak toprakta tutulan besin elementlerinin miktarının bir ölçüsü de toprağın humus miktarının bilinmesi son derece önemli bir parametredir. Yarı-kurak Akdeniz iklim kuşağında toprakların organik madde içeriği düşük düzeyde olduğu için toprakların besin elementi tutma kapasiteleri de düşük olmaktadır. Toprakların humus miktarının artırılması toprağın verimliliğinin artması olarak değerlendirileceğinden uzun sürede toprak verimliliği açısından son derece önemlidir. Almanya, Rusya ve İngiltere'de halen devam etmekte olan çakılı deneme sonuçlarına göre topraklara uygulanan değişik gübreleme programları sonucu, yalnız başına kimyasal gübre uygulanan parsellerde toprakların humus miktarında başlangıç noktasına göre bir düşüş olurken organik madde ilavesi yapılan parsellerde bu değerlerin biraz arttığı fakat organik madde ve kimyasal gübre ilave edilen parsellerde humus içeriğinin arttığı (Ortaş ve Lal, 2014) ve mineral gübre uygulamasına oranla %114 oranında verim artışı sağlandığı rapor edilmektedir (Bolinder ve ark., 2010).

İklim Değişimlerinin ve Gıda Talebinin Tarımı Üzerinde Yaratacağı Olumsuz Etkileri Belirlemek İçin Çakılı Denemelerin Önemi

Benzer denemelerde toprağa organik madde kazandırılması topraklara oturmuş bir yapı kazandıracağı ve toprak yüzeyindeki besin elementinin ortamdan daha az uzaklaşacağı tahmin edilmektedir ki, bu toprakların sürekliliği açısından son derece önemli bir stratejidir.

Ayrıca azot fiksasyonu sağlayan bitkilerin toprağın mikrobiyal faaliyetleri üzerinde de olumlu etkiler sağladığı rapor edilmiştir. Azot fiksasyonu sonucu toprakların mineral azot içeriğinin arttığı ve buna bağlı olarak organik madde içeriğinin en azından korunduğu yapılan araştırmalarla belirlenmiştir. Uzun sürede N-fiksasyonu yapan bitki biyosfer topraklarını asitleştirdikleri bilinen bir gerçektir. Avustralya'da sürekli N fiksasyonu yapan yem bitkilerinin bulunduğu alanlarda toprak pH'sının 2 birimden daha fazla aşağılara düştüğü belirlenmiştir (Johnston ve Poulton, 2018). Özellikle de bölgemiz koşullarına benzer kireç içeriği yüksek ve pH'ları yüksek olan alanlarda toprak pH'sının kontrol edilmesi toprakta var olan besin elementlerinin alınması yönünden önemli etkisi olabilir (Ortas ve ark., 2014).

Russell'in uzun süreli gözlemlerine ve araştırma bulgularına göre; derin toprak işlemenin toprak gelişimi ve yabancı ot kontrolü dışında herhangi bir yararı olmamıştır. Toprak işlemenin azaltılmasının daha yararlı olacağını İngiltere ve Afrika koşullarında yürütülen tarla denemeleri ile belirlemişlerdir (Russell, 1977). Yine İngiltere'de Newcastle Üniversitesinde yaklaşık 100 yıllık bir uzun süreli denemede yürütülen araştırmada meraların yönetimi ve bunun toprak değişimi üzerine olan etkileri araştırılmaktadır (Shiel, 1986; Shiel, 1995). Uzun yıllar mera koşulları altında toprağın organik madde ve N içeriğini arttığı ve bunun sonucu toprakların fiziksel ve biyolojik verimliliklerinin de iyileştiği belirlenmiştir. Bilindiği gibi değişik toprak işleme sistemleri ile önemli düzeyde verim artışı olduğu ve bu verim artışının çoğu zaman toprakta su tutma kapasitesi ile ilgili olduğu konusunda raporlar literatürde sıkça görülmektedir. Ayrıca son yıllarda yapılan çalışmalar ağır toprak işlemeye bağlı olarak toprakta var olan ve doğal gübre olarak bilinen mikoriza mantarlarının hiflerinin kırılması sonucu bitkilerin kökleri yeterince mikorizal enfeksiyon geliştirmedikleri için yeterince beslenemedikleri ve buna bağlı olarak

ciddi verim düşüşleri olduğu belirlenmiştir (Miller ve ark., 1992; Daynes ve ark., 2013). Yapılacak olan çok yıllık denemelerde değişik toprak işleme ile toprak ve bitki yönetiminin verim ile mikoriza oluşumu ve değişik toprak özellikleri arasındaki ilişkiler sistematik olarak araştırılmalıdır. Geriye gidecek olursak Çinlilerin MÖ 3000 yıllarında münavebe sistemini uyguladıkları ve bunu yıllar yılı sürdürerek toprak verimliliğinde devamlılık sağladıkları belirlenmiştir (Hillel, 1994). Günümüzde artan çevre stresine karşı toprak verimliliğinin devam ettirilmesinde münavebe sisteminin önemi daha da artmaktadır. Yapılacak olan uzun vadeli denemelerle toprağın biyolojik verimliliği araştırılacak ve bu ilişkinin verim artışı üzerine olan etkileri belirlenmeye çalışılacaktır.

Uzun Süreli Tarla Denemeleri Üzerinden Toprak Kalitesinin Belirlenmesi

Toprağın çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri toprağın sürekli olarak sağlıklı ve besleyici bitkisel üretim potansiyellerini ve kabiliyetlerini belirlemek için kompleks bir etkileşim içindedirler. Bir toprağı verimli hale getiren ve bitkilerin büyümesini geliştiren faktörlerin bileşimi "Toprak Kalitesi" olarak adlandırılır. Amerika Toprak Bilimi Derneği (SSSA) toprak kalitesini, toprak karakteristiklerinden veya dolaylı gözlemlerden (toprak organik maddesi, hacim ağırlığı, agregat oluşumu, gözeneklilik, sıkıştırılma, erozyona karşı hassaslık ve verimlilik) anlaşılabilir doğal bir özellik olarak tanımlamaktadır. Böylece toprak kalitesi, geleneksel olarak toprak verimliliği üzerine odaklanmış ve toprak verimliliğine eşit sayılmıştır. Avrupa topraklarını uzun erimli yerinde korunması için alternatif toprak-bitki yönetim uygulamalarının uzun sürede işlenmesinin değerli olduğu vurgulanmaktadır. Sandén ve ark. (2018) tarafında yürütülen faydalı olan alternatif girdi yönetim uygulamaları çalışmasında biyolojik toprak kalitesi göstergeleri için organik gübrelerin önemi bitkisel verim artışı için ilk sırada yer aldığı belirtilmiştir. Hindistan'da 31 yıl süre ile yürütülen organik tarla denemesinde hayvan gübresi + NPK gübrelemesi hem toprak organik maddesi hem de toprak biyolojik kalitesini ve de

İklim Değişimlerinin ve Gıda Talebinin Tarımı Üzerinde Yaratacağı Olumsuz Etkileri Belirlemek İçin Çakılı Denemelerin Önemi

en yüksek buğday verimi gerçekleştirildiği rapor edilmiştir (Masto ve ark., 2006).

Günümüzde toprak kalitesi kavramı kaliteli ve sağlıklı yiyecek, insan ve hayvan sağlığı ve kaliteli çevre özelliklerini içine alacak şekilde genişletilmiştir. Ayrıca son yıllarda sorulan sorulardan biri de toprağın kalitesi nedir ve kalite unsuru nasıl belirlenmelidir. Bu konuda dünya literatüründe de çok az bilgi olmasına karşın birçok bilim adamı toprak kalitesi parametrelerinin belirlenmesi ve uluslararası standartların oluşturulmasının önemini vurgulamaktadırlar.

Son yıllarda yakın çevremizdeki çiftçilerin en büyük şikâyetlerinden biri; topraklarının verim kapasitelerinin düştüğü konusudur. Yüksek verim kapasiteli hibrit ve çeşitlerin tarımda kullanımı ile toprakta birim alandan daha çok ürün alınırken aynı oranda topraklar besin elementleri yönünden de sömürülmektedirler. Ayrıca son yıllarda kullanılan yoğun kimyasal gübreler ve ilaçlar toprakların mikrobiyolojik dengesini değiştirmektedir. Aşırı kimyasal kullanımı toprakta bulunan yararlı organizmaların yok olmasına veya pasif duruma geçmesini sağlayabilir (Thompson, 1987; Ortas, 2003; Ortas ve İslam, 2018). Son yıllarda yapılan çalışmalarda bitki kökleri ile simbiyotik yaşam sürdüren mikoriza ve azot fiksasyonu sağlayan toprak organizmalar aşırı kimyasal kullanımı sonucu pasif duruma geldikleri için de toprakların verimlilikleri önemli ölçüde azalmaktadır (Xu ve ark., 2017; Bahman ve ark., 2022). Toprak verimliliğini önemli ölçüde düşüren bir diğer faktör ise eğimli alanlarda aşırı sulama sonucu organik maddece zengin olan yüzey topraklarının ortamdaki uzaklaşması sonucu toprakların başta biyolojik verimliliklerini önemli ölçüde kaybetmekte olduğu rapor edilmektedir.

Toprak-Bitki Yönetimi Açısından Çakılı Denemelerin Önemi

Toprak, tarımsal üretimi sağlayan, bünyesinde mineral ve organik maddeleri, toprak canlılarının, hava ve su içeren üç boyutlu bir karışım veya ortamdır. Toprak, canlı ve dinamik bir yapıya sahiptir ve evrenin ilk şekillenmesi ile oluşmaya başlamış olup bu süreç devam etmektedir. Bu yönüyle toprak evrimleşmekte olup sürekli değişime uğramaktadır.

Değişik toprak ve bitki yönetimlerinin toprakta doğal gübre olarak adlandırılan mikro organizma faaliyetleri daha iyi izlenerek literatürde eksikliği görülen konulara açıklık kazandırılmış olur. Ayrıca deneme alanları değişik organizmaların aktivitelerinin belirlenmesi yönünden önemli laboratuvar olacaktır. Hastalık ve zararlı davranışlarının belirlenmesi yönünden önemli stratejiler oluşturacaktır. Toprak kökenli nematod zararlısının değişik tarım tekniklerine bağlı olarak etkilerinin bilinmesi ilerde zararlı ile mücadelede önemli katkılar sağlayacaktır. ICARDA' da yürütülen araştırmalarda kök nematodlarının aşırı gübrelenmiş alanlarda artarken bitki rotasyonu uygulanan parsellerde ise azaldığı belirlenmiştir (Pang ve ark., 2021). Aynı araştırmada uzun süreli arpa nadas uygulaması (arpa ve takiben buğday ve yem bitkileri uygulaması) yapılan uygulamalarda cyst nematodu sayısı azalırken, sürekli arpa ekilen alanlarda ise zararlı etmeni artmıştır. Günümüzde toprağın doğal verimlilik kapasitelerinin devamlılığı iyi bir toprak ve bitki yönetimi ile mümkündür. Sürekli ve sürdürülebilir tarım olarak da bilinen uzun sürede toprak verimliliğinin sürekliliğinin sağlanması gelecekte de daha da güncelleşecektir. Bu bağlamda toprağın verimliliğini uzun sürede çevreyi de koruyacak şekilde korunması önemli bir tarım stratejisidir. Değişik tarla ve bahçe bitkilerinin tek tek veya birlikte birbirleri ile olan etkileşimleri ve bunların toprak kalitesi üzerindeki etkilerinin belirlenmesinde uzun süreli çakılı deneme sonuçları iyi bir beslenme yönetim modeli için yararlı olabilir.

Türkiye, içinde bulunduğu iklim kuşağı ve coğrafi konumundan dolayı, kil ve kireç içerikleri yüksek, organik madde içeriği düşük, yer yer strüktürleri bozuk topraklara sahiptir. Toprakların bu tür fiziksel, kimyasal ve biyolojik yönden arzu edilmeyen özellikleri bir yandan bitkilerce alınabilir besin elementlerinin konsantrasyonlarını düşürürken diğer yandan da bitkilerin böyle topraklardan besin elementi alabilme kabiliyetlerini düşürmektedir. Kimyasal gübre kaynakları sınırlı ve pahalı olduğundan, doğal kaynakların kullanılması ve iyi yönetilip değerlendirilmesi son derece önemlidir (Ortas, 2022).

Toprakta hareketliliği son derece yavaş ve bitkiler için makro düzeyde gereksinim duyulan bir besin

İklim Değişimlerinin ve Gıda Talebinin Tarımı Üzerinde Yaratacağı Olumsuz Etkileri Belirlemek İçin Çakılı Denemelerin Önemi

elementi olan fosfor belki de toprak biliminde en kapsamlı çalışılan konuların başında gelmektedir. Günümüze kadar yapılan binlerce araştırma sonuçları toprağa uygulanan fosforun ancak çok küçük bir kısmını bitki tarafından kullandığı geriye kalanını zamana bağlı olarak toprakta çözünmez formda kompleksler oluşturduğu bilinmektedir (Ortas ve Islam, 2018; Farhan ve ark., 2021). Ayrıca toprakta fazla P'nin bulunması durumunda doğal gübre olarak adlandırılan mikoriza mantarlarının aktivitelerinin azaldığı sıkça rapor edilen bilgilerdendir fakat sistematik olarak zamana bağlı olarak olayların nasıl işlediği konusunda kesin bir bilgi birikimi bulunmamaktadır.

İklimsel Değişmelerin Olası Etkilerinin Araştırılmasında Çakılı Denemelerin Önemi

Gelecek yüz yılın en ciddi problemi olması beklenen su ve sıcaklık stresine karşı bitkiyi iyi besleyen ve olumsuz etkilerden en az etkilenen mekanizmalar üzerindeki araştırmalara öncelik verilmelidir. İklimde meydana gelecek birkaç derecelik sıcaklık değişimi ekolojik dengelerin yeniden düzenlenmesi anlamına gelmektedir. Şimdiden hazırlıklı olmak ve meydana gelen değişimlere göre önlem almak gerekmektedir.

Son yıllarda karbon döngüsü ve toprak üzerindeki etkileri matematiksel modellerle belirlenmeye çalışılmaktadır. Böylece karbon oranı dikkate alınarak değişmelerin daha rahat tespit edileceği ileri sürülmektedir.

Uzun süreli tarla denemeleri, tarımsal yönetim bilgisinin vazgeçilmez kaynaklarıdır. Uzun süreli tarımsal tekniklerin uygulanması sonucunda toprak verimliliğinde meydana gelen değişikliklerin izlenmesi, anlaşılması ve kanıtlanmasında hayati öneme sahiptirler. En azından ilgili gübreleme bilgilerinin, verilerinin uzun sürede olası etkilerin bilinmesi toprak sağlığı, kalitesi ve verimliliğinin devamı için önemli. Ancak bilimsel, ekolojik ve ekonomik pratik değerleri ölçülemez ise ne yazık ki geçmişe dayalı bilgi birikimi sağlanmamış olur.

İklim Değişimlerinin Uzun Sürede Toprak Bozulumu Üzerine Etkileri.

İnsanlığın ilk tarıma başlamasından yaklaşık 10 binlerce yıl öncesinden yakın geçmişe kadar dünyanın doğusunda (Asya) toprakları koruyarak günümüze kadar gelirken Gustafson (1948) ABD'liler topraklarını "son iki yüzyıllık

kullanımı sonucu verim düzeylerinin önemli düzeyde düşürmüştür" demektedir. Verimliliğin düşmesine genellikle topraktaki besin elementleri tarladan hasatla birlikte ürün olarak dışarı taşınması, drenaj ile yıkanması, yüzey akışı veya erozyonla topraktan besin elementlerinin taşınması gösterilebilir. İnsanlığın tarımsal geçmişinin (insanlık tarihi tarım tarihi ile eş kabul edilirse) bize iletmek istediği en önemli mesaj, toprakların verimliliğini koruyan uygarlıkların varlıklarını sürdürdüğü, diğerlerinin ise elemine oldukları yönündedir.

Bilindiği gibi üzerinde yaşadığımız yer küre insanlığın doğa kanunlarını öğrenip doğaya hâkim olması ile doğanın tahribatı da artmaya başlamıştır. Bunların başında büyük oranda doğal bitki örtülerinin yok olmasıdır. Topraklarda türleri, popülasyonları ve işlevleri halen tam olarak bilinmeyen makro ve mikro canlı toplulukları bulunmaktadır. Tüm den doğada yaşayan bitki ve hayvan topluluklarının belirtildiği üzere gerek türleri ve gerekse sayıları ile çoğunun doğal hayattaki sistemin işlemesine olan katkıları halen bilinmemektedir. Doğadaki modelin işleyişi itibarıyla bütün canlılar doğal hayata kendi çaplarında katkıda bulunmaktadırlar. Aksi halde doğal denge bozulur ve bir tarafın üzerine yıkılır. Anlaşılabacağı gibi geline nokta da ozon tabakasının delinmesi, güney yarım küresinde sıcakların artması sonucu buzul dağlarının erimesi ve güney yarım kürede aşırı yağışların oluşması, kuzey yarım kürede görülmemiş oranda soğukların olması doğal dengenin bir taraf üzerine yıkılması olarak değerlendirilebilir. Bu yıkılmada en büyük zararı toprak çekmektedir.

Aydeniz (1985)'e göre toprak herhangi bir nedenle bozulan düzen ve etkenler arasındaki uyumun sağlanması ve bu uyumun korunması yollarını bulmaya çalışan bilimi toprak amenajmanı olarak adlandırılmıştır. Bu tanımdan da anlaşılacağı gibi toprak-insan-çevre (iklim) arasında bozulan düzenin yeniden onarılması söz konusu olabilmektedir. Toprak erozyonu ve yanlış arazi kullanımı veya uygun olmayan bitki ve toprak yönetimi sonucunda oluşan bozunumlar ve toprakların verimliliklerinin kaybolması önümüzdeki dönemde çok sık işlenecek konuların başında

İklim Değişimlerinin ve Gıda Talebinin Tarımı Üzerinde Yaratacağı Olumsuz Etkileri Belirlemek İçin Çakılı Denemelerin Önemi

gelmektedir. Bu bağlamda toprak ve su kaynaklarının korunması, toprakların verimliliklerinin korunması için uygun bitki seçimi ve toprak yönetimi konularında araştırmalara gereksinim duyulacaktır. Tarımsal ekosistemlerin yanlış yönetilmesi sonucu toprakların TOK stokları tükenmiştir ve tükenmenin büyüklüğü, su ve rüzgâr ile hızlandırılmış erozyona ve diğer bozulma süreçlerine yatkın olanlarda daha fazla olduğu Lal ve ark. (2021) tarafından belirtilmiştir.

Bu açıklamanın ışığında toprak-bitki yönetimi insanlığın gıda güvencesi için en büyük tecrübesidir. Günümüze kadar yaşamış ve varlıklarını artık devam ettiremeyen medeniyetlerin çoğunlukla topraklarının düzenli ve dengeli kullanımını sağlayamadıkları andan itibaren medeniyetlerinin yıkılmasına yol açmış ve büyük göçler yaşamışlardır.

Çakılı Denemelerin Sağlıklı Sürdürülebilmesi İçin Olası Gereksinimler

Yukarıda belirtilen işlem ve analizler için çakılı denemelerin aktivitelerini takip edecek bilgi ve birikime sahip nitelikli teknisyen ve iş gücüne mutlak gereksinim duyulduğu ortaya çıkmıştır. Araştırma materyalinin amaca uygun ve titizlikle yerinde ve zamanında alınması korunması büyük önem oluşturmaktadır. Alınması planlanan toprak ve bitki örneklerinin amaca uygun olarak alınması ve analizleri için temel laboratuvar alt yapısı ve hassas ölçüm ekipmanlarına sahip olunması gelecekte verileri sağlıklı analiz ve kıyaslamak için ayrıca önem oluşturmaktadır. Son yıllarda gelişen bilgi teknolojileri yolu ile verilerin düzenli belirli bir formata tutulması ve depolanması için veri bankasının oluşturulması bilgilerin korunmasına ciddi katkı sağlayacaktır. Böylece verilerin zaman için bilgisayar programları üzerinden geniş tabanlı analizlerin yapılması ve projeksiyonlar üretilmesine yardımcı olacaktır. Yürütülecek çakılı denemelerde sistem, hiyerarşik olarak yukarıdan aşağıya modelle ekseninde deneysel yönetim verileri, toprak özellikleri ve iklim verileri şeklinde düzenli veri bankalarında tutulması ve ilişkilendirilmesi yararlı olacaktır. Veri bankasının kurulması aynı zamanda konuya ilişkin uluslararası alanda iş birlikteliklerini sağlanması ile daha geniş ekosistemlere ilişkin bilgi birikimi sağlanmasına katkıda bulunmuş olacaktır. Bu amaca uygun gelişmiş bilgi işlemci

ve program yazıcılarına ve modellemecilere gereksinim bulunmaktadır. İlaveten zamana bağlı olarak toprak ve bitki desenlerinde yaşanan değişiklikleri ve denemelerinin görünümünü görüntülemek için video ve slayt arşivinin oluşturulması gereksinimleri olmaktadır. Böylece zaman içinde toprak ve bitki yönetim işlemlerinin toprak yapısı ve gıda güvencesi üzerindeki etkileri anlaşılabilir. Elde edilecek verileri yeni plan ve projeksiyonların sağlanmasına katkıda bulunacaktır. Türkiye'nin ileride iklim değişimlerini sağlıklı izlemesi ve gıda güvencesini sağlanması için hemen her bölge ve havza ortamında uzun erimli değişik çakılı denemelerin kurulması yararlı olacaktır.

Sonuç

Dünyada mevcut halde çoğunluğu Avrupa ülkelerinde olmak üzere toplamda 650 kadar uzun erimli tarla denemesi bulunmaktadır. Uzun erimli tarla denemeleri tarımsal araştırmalar ve iklim değişimlerinin etkilerini izlemek için çok değerli araştırma altyapısı olanağı sunmaktadır (Grosse ve ark., 2020). Bu bağlamda;

- Uzun sürede uygulanan organik ve mineral gübreleme ile toprağın fiziksel özellikleri üzerinde derin bir etkiye sahip olduğu ve bunun sonucunda bitki verimi ve kalite parametrelerini etkilediği belirlenmektedir.
- Uzun süreli tarla denemeleri, sürdürülebilir tarımda farklı toprak ve bitkisel üretim yönetimlerinin sistem analizi olanağı sağlamaktadır.
- Toprak, bitki ve çevre üzerindeki uzun dönemli (farklı ekim nöbetleri) etkilerinin özelliği, gıda güvenliği ve iklim değişikliği için de yararlı bilgi birikimi sağlanmış olur.
- Artan iklim değişimleri ve gıda güvencesinin sağlanması için çok yönlü bilgi yoğun ve karmaşık korumalı sürdürülebilir tarım sistemini sağlamak için uzun erimli çiftçi odaklı kuraklık, rüzgâr ve su erozyonu, besin dengesizliği, yabancı ot kontrolü, iklim değişimi gibi etkileri hafifletecek araştırmaların yürütülmesine güçlü bir ihtiyaç bulunmaktadır.

Artan iklim değişimlerine karşı toprak-bitki yönetimine bağlı olarak karbon, azot dengesi, toprak nemi, besin elementi döngüleri konusunda temel bilgi setleri oluşturmak için ülkemizde uzun erimli çakılı tarla denemelerinin kurulması gerekmektedir. Türkiye'de yer alan

İklim Değişimlerinin ve Gıda Talebinin Tarımı Üzerinde Yaratacağı Olumsuz Etkileri Belirlemek İçin Çakılı Denemelerin Önemi

çakılı denemelerden olan ve Ç.Ü. Araştırma Uygulama Çiftliği Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü araştırma alanında 1996 yılında itibaren başlayan zaman içinde sayıları 11 ulaşan değişik çakılı uzun yıllar devam ettirilecek şekilde planlanan denemeler Ç.Ü. Araştırma Uygulama

Çiftliği Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü araştırma alanında Şekil 3'de de görüldüğü gibi mevcutlu olarak yürütülmektedir. Araştırma alanında yürütülen denemeler ve çıktıları Ortas (2023) tarafından derlenmiştir.



Şekil 3. Ç.Ü. Araştırma Uygulama Çiftliği Deneme alanının yürütülen denemelerin uydu görüntüsü.

Daha önce planlanan ancak kurulamayan denemelerinde amacına ve beklentilerine uygun olarak insan ve bütçe olanağı sağlandığı durumda belirli dönemlerde kurulması ülkemizin gıda güvencesi ve iklim değişimleri ile mücadelesine katkı sunacaktır. Mevcut kurulmuş olan denemelerde öngörülen analizler yapılarak analiz sonuçları bilgi bankasında işlenerek uzun vadede toprak, bitki ve iklim değişimlerine neden olan besin döngüleri bileşenleri arasındaki ilişkiler

araştırılmaktadır. Ayrıca iklimde meydana gelen değişiklikler metrolojiden sağlanacak veriler zaman zaman veri bankasına islenecektir.

Proje örnekleri diğer ilgili bilim ve araştırma birimlerine de iletilerek projelere ortak olma ve benzerlerini değişik coğrafyalarda kurmaları bilgi birikiminin zenginleşmesine katkı sunacağı gibi araştırmacıların daha fazla tecrübe kazanması sağlanacaktır.

Kaynaklar

- Aydeniz, A., 1985. Toprak amenajmanı. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları 928: 553.
- Bahman, F.N., Ramin, P., Rahmani, A.F., 2022. Assessment of the role of rhizosphere in soil and its relationship with microorganisms and element absorption. In: Soni, R., Suyal, D.C., Goel, R. (Eds.), Plant Protection: From Chemicals to Biologicals. CPI books, Berlin, p. 624.

Bandyopadhyay, K.K., Lal, R., 2014. Effect of land use management on greenhouse gas emissions from water stable aggregates. *Geoderma* 232: 363-372.

Benzian, B., Lane, P.W., 1986. Protein-concentration of grain in relation to some weather and soil factors during 17 years of English winter-wheat experiments. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 37: 435-444.

Blake, L., Mercik, S., Koerschens, M., Moskal, S., Poulton, P.R., Goulding, K.W.T., Weigel, A., Powlson, D.S., 2000. Phosphorus content in soil, uptake by plants and

İklim Değişimlerinin ve Gıda Talebinin Tarımı Üzerinde Yaratacağı Olumsuz Etkileri Belirlemek İçin Çakılı Denemelerin Önemi

- balance in three European long-term field experiments. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 56: 263-275.
- Bolinder, M.A., Katterer, T., Andren, O., Ericson, L., Parent, L.E., Kirchmann, H., 2010. Long-term soil organic carbon and nitrogen dynamics in forage-based crop rotations in Northern Sweden (63-64 degrees N). *Agriculture Ecosystems & Environment* 138: 335-342.
- Brandao, M., Canals, L.M.I., Clift, R., 2011. Soil organic carbon changes in the cultivation of energy crops: Implications for GHG balances and soil quality for use in LCA. *Biomass & Bioenergy* 35: 2323-2336.
- Chmielewski, F.M., Kohn, W., 1999. The long-term agrometeorological field experiment at Berlin-Dahlem, Germany. *Agricultural and Forest Meteorology* 96: 39-48.
- Ci, E., Zhu, J., Peng, J., Fu, Z.W., 2011. Effect of conservation cultivation on accumulation and distribution of soil organic carbon in paddy fields located in Southwest China. *International Conference on Smart Materials and Intelligent Systems (SMIS 2011)*. Trans Tech Publications Ltd, Chongqing, PEOPLES R CHINA, pp. 40-44.
- Daynes, C.N., Field, D.J., Saleeba, J.A., Cole, M.A., McGee, P.A., 2013. Development and stabilisation of soil structure via interactions between organic matter, arbuscular mycorrhizal fungi and plant roots. *Soil Biology & Biochemistry* 57: 683-694.
- Debreczeni, K., Körschens, M., 2003. Long-term field experiments of the world. *Archives of agronomy and soil science* 49: 465-483.
- Donmez, C., Blanchy, G., Svoboda, N., D'Hose, T., Hoffmann, C., Hierold, W., Klumpp, K., 2022. Provision of metadata of European agricultural long-term experiments through BonaRes and EJP SOIL collaboration. *Data Brief* 42: 9.
- Eswaran, H., Van Den Berg, E., Reich, P., 1993. Organic carbon in soils of the world. *Soil science society of America journal* 57: 192-194.
- Farhan, M.J., Khairo, A.M., Islam, K.R., Ortas, I., 2021. Impact of Several Levels of Calcium Phosphate Fertilization on Distribution, Partitioning, and Lability of Soil Phosphorus under Corn-Wheat System. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 52: 712-723.
- Ginaldi, F., Bindi, M., Dalla Marta, A., Ferrise, R., Orlandini, S., Danuso, F., 2016. Interoperability of agronomic long term experiment databases and crop model intercomparison: the Italian experience. *European Journal of Agronomy* 77: 209-222.
- Grace, P.R., Oades, J.M., Keith, H., Hancock, T.W., 1995. Trends in wheat yields and soil organic carbon in the permanent rotation trial at the Waite Agricultural Research Institute, South Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 35: 857-864.
- Grosse, M., Ahlborn, M.C., Hierold, W., 2021. Metadata of agricultural long-term experiments in Europe exclusive of Germany. *Data Brief* 38: 6.
- Grosse, M., Hierold, W., Ahlborn, M.C., Piepho, H.P., Helming, K., 2020. Long-term field experiments in Germany: classification and spatial representation. *Soil* 6: 579-596.
- Gustafson, A.F., 1948. *Using and managing soils*, McGraw-Hill Book Company. inc. London. UK.
- Hillel, D., 1994. *Rivers of Eden. The struggle for Water and the quest for Peace in the Middle East*. Oxford University Press, New York, USA.
- Ipsilantis, I., Samourelis, C., Karpouzas, D.G., 2012. The impact of biological pesticides on arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Biology & Biochemistry* 45: 147-155.
- Jenkinson, D.S., Hart, P.B.S., Rayner, J.H., Parry, L.C., 1987. Modelling the turnover of organic matter in long-term experiments at Rothamsted.
- Johnston, A., Poulton, P., Coleman, K., Macdonald, A., White, R., 2017. Changes in soil organic matter over 70 years in continuous arable and ley-arable rotations on a sandy loam soil in England. *European journal of soil science* 68: 305-316.

İklim Değişimlerinin ve Gıda Talebinin Tarımı Üzerinde Yaratacağı Olumsuz Etkileri Belirlemek İçin Çakılı Denemelerin Önemi

- Johnston, A.E., 1997. The value of long-term field experiments in agricultural, ecological, and environmental research. In: Sparks, D.L. (Ed.), *Advances in Agronomy*, Vol 59. Elsevier Academic Press Inc, San Diego, pp. 291-333.
- Johnston, A.E., Poulton, P.R., 2018. The importance of long-term experiments in agriculture: their management to ensure continued crop production and soil fertility; the Rothamsted experience. *European Journal of Soil Science* 69: 113-125.
- Johnston, A.E., Poulton, P.R., Coleman, K., 2009. Soil organic matter: its importance in sustainable agriculture and carbon dioxide fluxes. *Advances in agronomy* 101: 1-57.
- Johnston, A.E., Powelson, D.S., 1992. The setting-up, conduct and applicability of long-term, continuing field experiments in agricultural-research. Symposium on Soil Resilience and Sustainable Land Use, including the 2nd Workshop on the Ecological Foundations of Sustainable Agriculture (WEFSA II). C a B International, Budapest, Hungary, pp. 395-421.
- Jones, K.C., De Voogt, P., 1999. Persistent organic pollutants (POPs): state of the science. *Environmental pollution* 100: 209-221.
- Kang, B.T., Balasubramanian, V., 1990. Long term fertilizer trials on Alfisols in West Africa. *Transactions 14th International Congress of Soil Science, Kyoto, Japan, August 1990, Volume IV*, pp. 20-25.
- Korschens, M., 1996. Soil organic matter and sustainable land use. 9th Conference of the International-Soil-Conservation-Organisation. Catena Verlag, Bonn, Germany, pp. 423-430.
- Korschens, M., Albert, E., Armbruster, M., Barkusky, D., Baumecker, M., Behle-Schalk, L., Bischoff, R., Cergan, Z., Ellmer, F., Herbst, F., Hoffmann, S., Hofmann, B., Kismanyoky, T., Kubat, J., Kunzova, E., Lopez-Fando, C., Merbach, I., Merbach, W., Pardor, M.T., Rogasik, J., Ruuhlmann, J., Spiegel, H., Schulz, E., Tajnsek, A., Toth, Z., Wegener, H., Zorn, W., 2013. Effect of mineral and organic fertilization on crop yield, nitrogen uptake, carbon and nitrogen balances, as well as soil organic carbon content and dynamics: results from 20 European long-term field experiments of the twenty-first century (vol 59, pg 1017, 2013). *Archives of Agronomy and Soil Science* 59: 1305-1305.
- Lal, R., Monger, C., Nave, L., Smith, P., 2021. The role of soil in regulation of climate. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences* 376.
- Le Mare, P.H., 1972. A long term experiment on soil fertility and cotton yield in Tanzania. *Experimental Agriculture* 8: 299-310.
- Lockeretz, W., 1988. Agricultural diversification by crop introduction: The US experience with the soybean. *Food Policy* 13: 154-166.
- Lopez-Bellido, R.J., Lal, R., Owens, L.B., Lopez-Bellido, L., 2010. Does North Appalachian agriculture contribute to soil carbon sequestration? *Agriculture Ecosystems & Environment* 137: 373-376.
- Marschner, H., 2011. *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. Academic press.
- Masto, R.E., Chhonkar, P.K., Singh, D., Patra, A.K., 2006. Changes in soil biological and biochemical characteristics in a long-term field trial on a sub-tropical inceptisol. *Soil Biology & Biochemistry* 38: 1577-1582.
- Miller, R.M., Jastrow, J.D., Allen, M.F., 1992. The application of VA mycorrhizae to ecosystem restoration and reclamation. En: *Mycorrhizal Functioning an Integrative Plant-Fungal Process*: 488-517.
- Nambiar, S., 1990. Interplay between nutrients, water, root growth and productivity in young plantations. *Forest Ecology and Management* 30: 213-232.
- Ortas, I., 2003. Effect of selected mycorrhizal inoculation on phosphorus sustainability in sterile and non-sterile soils in the Harran Plain in South Anatolia. *Journal of Plant Nutrition* 26: 1-17.

İklim Değişimlerinin ve Gıda Talebinin Tarımı Üzerinde Yaratacağı Olumsuz Etkileri Belirlemek İçin Çakılı Denemelerin Önemi

- Ortas, I., 2022. The role of mycorrhiza in food security and the challenge of climate change. *International Journal of Agricultural and Applied Sciences* 3: 11.
- Ortas, I., 2023. Çukurova Üniversitesinin Uzun Süreli (Çakılı) Tarla Denemeleri ve Araştırma Çıktıları. *Çukurova Journal of Agricultural and Food Sciences* yayında.
- Ortas, I., Islam, K.R., 2018. Phosphorus Fertilization Impacts on Corn Yield and Soil Fertility. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 49: 1684-1694.
- Ortas, I., Kaya, Z., Ercan, S., 2014. Effect of Pyrite Application on Wheat-Maize Growth and Nutrient Uptake Under Diverse Soil Conditions. *Journal of Plant Nutrition* 38: 295-309.
- Ortas, I., Lal, R., 2014. Long-Term Fertilization Effect on Agronomic Yield and Soil Organic Carbon under Semi-Arid Mediterranean Region. *American Journal of Experimental Agriculture* 4: 1086-1102.
- Ortaş, İ., Güzel, N., 1989. Harran Ovasının Kimi Toprak Serilerinde Depo (rezerv) Potasyumun Extraksiyon Yöntemleri., *Toprak İlmi Derneği 11. Bilimsel Toplantı Bildirileri*. Toprak İlmi Derneği, Antalya.
- Pang, J., Wen, Z., Kidd, D.R., Ryan, M.H., Yu, R.-P., Li, L., Cong, W.-F., Siddique, K.H.M., Lambers, H., 2021. Advances in understanding plant root uptake of phosphorus. *Understanding and improving crop root function*: 321-372.
- Post, W.M., Emanuel, W.R., Zinke, P.J., Stangenberger, A.G., 1982. Soil Carbon Pools and World Life Zones. *Nature* 298: 156-159.
- Powlson, D.S., Johnston, A.E., 1992. Long-term field experiments - their importance in understanding sustainable land-use. *Symposium on Soil Resilience and Sustainable Land Use, including the 2nd Workshop on the Ecological Foundations of Sustainable Agriculture (WEFSA II)*. C a B International, Budapest, Hungary, pp. 367-394.
- Powlson, D.S., Smith, P., Smith, J.U., 2013. Evaluation of soil organic matter models: using existing long-term datasets. *Springer Science & Business Media*.
- Russell, E.W., 1977. *Soil conditions and plant growth*. Cran Green And Co; Toronto, London.
- Sandén, T., Spiegel, H., Stüger, H.P., Schlatter, N., Haslmayr, H.P., Zavattaro, L., Grignani, C., Bechini, L., D' hose, T., Molendijk, L., 2018. European long-term field experiments: knowledge gained about alternative management practices. *Soil Use and Management* 34: 167-176.
- Schulz, E., Korschens, M., Rogasik, J., Merbach, I., 2011. Turning the Lessons of Long-Term Field Trials into a 'Humus Balance' Tool Box for Farmers. *1st International Symposium on Organic Matter Management and Compost Use in Horticulture*. Int Soc Horticultural Science, Adelaide, Australia, pp. 27-38.
- Shiel, R., 1986. Variation in amounts of carbon and nitrogen associated with particle size fractions of soils from the Palace Leas meadow hay plots. *Journal of Soil Science* 37: 249-257.
- Shiel, R., 1995. long term benefits of manuring grassland with animal wastes. *Soil Use and management*.
- Thompson, J.P., 1987. Decline of vesicular-arbuscular mycorrhizae in long fallow disorder of field crops and its expression in phosphorus deficiency of sunflower. *Australian Journal of Agricultural Research* 38: 847-867.
- Van Kernebeek, H.R., Oosting, S.J., Van Ittersum, M.K., Bikker, P., De Boer, I.J., 2016. Saving land to feed a growing population: consequences for consumption of crop and livestock products. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 21: 677-687.
- Velten, S., Leventon, J., Jager, N., Newig, J., 2015. What is sustainable agriculture? A systematic review. *Sustainability* 7: 7833-7865.
- Wang, R.Q., Qu, C.K., Li, M., Shi, C.H., Li, W.P., Zhang, J.Q., Qi, S.H., 2021. Health risks of exposure to soil-borne dichlorodiphenyltrichloroethanes (DDTs): A preliminary probabilistic

İklim Değişimlerinin ve Gıda Talebinin Tarımı Üzerinde Yaratacağı Olumsuz Etkileri Belirlemek İçin Çakılı Denemelerin Önemi

- assessment and spatial visualization. *Science of the Total Environment* 772: 11.
- Wild, S.R., Obbard, J.P., Munn, C.I., Berrow, M.L., Jones, K.C., 1991. The long-term persistence of polynuclear aromatic-hydrocarbons (pahs) in an agricultural soil amended with metal-contaminated sewage sludges. *Science of the Total Environment* 101: 235-253.
- Xu, X.H., Chen, C., Zhang, Z., Sun, Z.H., Chen, Y.H., Jiang, J.D., Shen, Z.G., 2017. The influence of environmental factors on communities of arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Chenopodium ambrosioides* revealed by MiSeq sequencing investigation. *Scientific Reports* 7: 11.
- Yang, X.Y., Li, P.R., Zhang, S.L., Sun, B.H., Chen, X.P., 2011. Long-term-fertilization effects on soil organic carbon, physical properties, and wheat yield of a loess soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 174: 775-784.