

TARLA BİTKİLERİNDE VE DİĞER TARIMSAL KONULARDA SÜRDÜRÜLEBİLİR UYGULAMALAR: I

Editör

HAZIM SERKAN TENİKECİER



BİDGE Yayınları

**TARLA BİTKİLERİNDE VE DİĞER TARIMSAL
KONULARDA SÜRDÜRÜLEBİLİR UYGULAMALAR: I**

Editör: HAZIM SERKAN TENİKECİER

ISBN: 978-625-372-724-6

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 2025-06-25

BİDGE Yayınları

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BİDGE Yayınları

www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

Güzeltpe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya /
Ankara



ÖNSÖZ

Tarım, artan dünya nüfusunu besleme sorumluluğu ile gezegenimizin sınırlı doğal kaynaklarını koruma zorunluluğu arasında bir yol ayrımında durmaktadır. Tarımın temel alanlarından biri olan tarla bitkileri üretimi, gıda güvenliği, ekonomik istikrar ve ekolojik denge açısından hayati bir rol oynamaktadır. Ancak iklim değişikliği, toprak bozulması, su kıtlığı ve biyolojik çeşitlilik kaybı gibi zorluklar, geleneksel uygulamaların daha sürdürülebilir yaklaşımlara dönüşmesini zorunlu kılmaktadır.

Tarla bitkileri üretimi tarımın tüm dallarını (toprak, bitki, hayvan, makineler, kimyasallar, ekonomi, yönetim vb.) tek bir sistemde birleştirir ve ekolojiye uyum sağlayarak toplumlara faydalar sunar. Ancak tarla bitkileri uzmanları ve üreticileri bitki koruma, su yönetimi, ekoloji, tohum üretimi, alternatif kullanımlar, genetik kaynaklar, bitki ıslahı, depolama ve muhafaza, pazarlama, bilgi yayımı, kullanım gibi bilgi alanlarında disiplinler arası şekilde iyi bir eğitim almış olmalıdır.

Unutulmamalıdır ki sürdürülebilirlik sabit bir hedef değil, süreklilik arz eden bir yolculuktur. Siz değerli okuyucularımızı, bu sayfalarda yer alan bilgileri keşfetmeye, mevcut yaklaşımları sorgulamaya ve doğaya ve insanlığa saygılı tarımsal uygulamaların gelişimine katkı sunmaya davet ediyoruz.

Doç. Dr. HAZIM SERKAN TENİKECİER
TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ

İÇİNDEKİLER

FARKLI AZOT DOZLARININ ESKİŞEHİR EKOLOJİK KOŞULLARINDA NANE (MENTHA SPICATA L.)' BİTKİSİNİN VERİM VE KALİTE ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ	1
--	---

İREM YAZICI, NİMET KATAR, DURAN KATAR

ASİT TOPRAKLARIN İSLAHINDA KİREÇLEMENİN ROLÜ: BİTKİLERİN BESLENMESİ VE SU KULLANMA RANDIMANI AÇISINDAN BİR DEĞERLENDİRME	19
--	----

MEHMET ALİ GÜRBÜZ

A PERENNIAL FORAGE LEGUME WITH HIGH TOLERANCE TO DROUGHT, HEAT, ERRATIC RAINFALL AND COLD: CICER MILKVETCH (ASTRAGALUS CICER L.).	58
---	----

HAZIM SERKAN TENİKECİER, ERTAN ATEŞ

FARKLI AZOT DOZLARININ ESKİŞEHİR EKOLOJİK KOŞULLARINDA NANE (*Mentha spicata* L.)' BİTKİSİNİN VERİM VE KALİTE ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ

Nimet KATAR¹

İrem YAZICI²

Duran KATAR³

Giriş

Lamiaceae familyasına ait olan ve 31 tür içeren *Mentha* cinsi yeryüzünde geniş bir dağılım alanına sahip önemli bir tıbbi aromatik bitki cinsi olarak bilinmektedir. *Mentha* cinsinin ülkemiz florasında ise 7 türü (*M. arvensis* L., *M. piperita* L., *M. spicata* L., *M. pulegium* L., *M. aquatica* L., *M. longifolia* L., *M. suaveolens* Ehrh.) ve bu türlere ait 14 taksonu doğal yayılış göstermektedir. Çok yıllık sürünücü gövdelere sahip otsu bitkiler olan *Mentha* cinsine ait türler ülkemizde nane olarak bilinmektedir (Yasak & Telci, 2019). Yaprak, dal ve çiçekleri uçucu yağ içeren nanelerin gıda, ilaç, baharat ve

¹Dr. Tarım ve Orman İl Müdürlüğü, Eskişehir, Orcid: 000000030699167X

²Öğr.Gör.,Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Pazaryeri Meslek Yüksekokulu,Bilecik ,Orcid:0000-0003-2389-6842

³Prof.Dr. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Eskişehir, Orcid: 0000000313408040

aroma verici olarak yaygın bir şekilde kullanıldığı bilinmektedir. Dünyada en çok üretilip kullanılan uçucu yağlar içerisinde Citrus yağlarından sonra nane yağları miktar bakımından ikinci sırada yer almaktadır. *Mentha* cinsinin başta *Mentha piperita* ve *Mentha citrata* olmak üzere bazı türleri eşsiz aroması nedeniyle bitki çayı olarak da kullanılmaktadır (Baytop, 1992; Başer, 1997; Al-Okbi & ark, 2015; Yeşil & Özcan, 2021). *M. spicata*, *M. gracilis*, *M. longifolia*, *M. villosa-nervata*, *M. suaveolens* türleri ise karvon bakımından zengin uçucu yağlar içermekte olup bu türler karvon grubu içerisinde değerlendirilmektedir (Telci & ark., 2004; Telci & ark 2010; Yasak & Telci, 2019). Değişik nane türleri; antimikrobiyal, antispazmodik, koleretik, karminatif aktivite göstermeleri nedeniyle eski çağlardan beri gerek halk ilacı olarak kullanıldığı gibi uçucu yağları da ilaç, gıda, parfümeri ve kozmetik endüstrisinde kullanılmaktadır (Ellialtıoğlu & ark., 2007 Tekin & ark., 2024).

Ticari bakımdan önemli nane türlerinden biri olan ve Spearmint olarak bilinen *Mentha spicata* türü karvonca zengin bir uçucu yağ içermekte olup, önemli bir baharat bitkisi olarak bilinmektedir. Ayrıca *Mentha spicata* bitkisinden elde edilen uçucu yağları gıda, sakız ve temizlik ürünlerinin üretiminde de kullanılmaktadır (Yasak & Telci, 2019). Nane üzerinde dünyanın farklı bölgelerinde ve ülkemizde yürütülen çalışmalarda drog yaprak verim, uçucu yağ oranı ve uçucu yağ kalitesinin üretiminin yapıldığı bitkilerin genetik yapısına, yetiştiriciliğinin yapıldığı bölgenin iklim ve toprak koşulları ile uygulanan agroteknik yöntemler ve bitkinin fizyolojik yaşına bağlı olarak değiştiği tespit edilmiştir (Telci & ark., 2004; Telci & Şahbaz 2005; Telci&ark., 2010; Telci & ark., 2011; Sulieman &ark.,2011; Yeşil & Kara, 2014; Juárez-Rosete & ark.,2014; Salim & ark.,2016; Yasak & Telci, 2019; Yeşil&Özcan, 2021). Diğer birçok aromatik bitkilerde olduğu gibi nane yetiştiriciliğinde de verim ve kalite üzerinde etkili olan bitki genotiplerinin, iklim ve toprak isteklerinin ve en uygun üretim

tekniklerinin belirlenmesini konu edinen çalışmalar oldukça büyük öneme sahiptir. Bilindiği gibi bitkilerden elde edilen ürünün verim ve kalitesi üzerinde etkili olan en önemli agroteknik uygulamalarından birisi gübrelemedir. Bitkilerin uygun bir gelişim gösterebilmeleri için en az 17 bitki besin maddesine/elementine ihtiyaç bulunmaktadır (White, 2006; Gardiner&Miller, 2008; Fageria, 2009; Bolat & Kara, 2017). Bitkinin ihtiyacı olan makro ve mikro besin elementlerinin uygun miktarlarda topraktan ya da yapraktan bitkiye sağlanması gübreleme işlemi olarak tanımlanmaktadır. Karbon, hidrojen, oksijen, azot, potasyum kalsiyum, fosfor, magnezyum ve kükürt makro besin elementi olarak kabul edilmektedir (Bolat & Kara, 2017). En önemli makro bitki besin elementi olan azot başta amino asit ve proteinlerin yapısında yer alması nedeniyle bitki büyüme ve gelişiminde önemli bir rol oynamaktadır (Robertson &Groffman, 2007; Fowler & ark., 2013; Martnez-Dalmau &ark.,2021). Azot, su ile birlikte bitkisel üretimim üzerindeki en önemli kısıtlayıcı faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Yetersizliği bitkisel üretimde önemli verim ve kalite kayıplarına neden olmaktadır. Bilindiği gibi azot toprağın ana kayasında ve ana kayadan gelen anorganik ana materyalde bulunmamakta olup, azotun doğadaki kaynağı atmosferdir. Atmosfer yanı sıra doğada bir miktar azot hidrosfer ve canlılarda da yer almaktadır. Toprakta var olan azotun ana kaynağı organik maddelerdir. Topraktaki organik maddelerin süreç içerisinde ayrışması ile ortaya çıkan azottan bitkiler faydalanabilmektedir (epel, 1996; Kantarcı, 2000; Boşgelmez & ark., 2001; Gardiner & Miller, 2008; Fageria, 2009; Bolat & Kara, 2017; Madandoust &Fooladchang, 2018). Bitkisel retimde bitkilerin ihtiyacı olan azotun toprakta organik maddelerin ayrışmasıyla oluşan azotla karşılanamayan kısmının toprağa gübreleme yoluyla verilmesi hedeflenen verim ve kaliteye ulaşılmasında büyük bir öneme sahiptir (Gardiner &Miller, 2008; Fageria, 2009; Jurez-Rosete & ark., 2014; Bolat & Kara, 2017; Yeşil & zcan, 2021).

Bu çalışmanın amacı Eskişehir ekolojik koşullarında farklı azot dozlarının nane (*Mentha spicata*) bitkisinin verim ve kalitesi üzerindeki etkisini belirlemektir.

Materyal ve Metod

Araştırmada bitki materyali olarak Ankara Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü'nden temin edilen nane (*Mentha spicata* L.) klonları Eskişehir Orman Fidanlık Müdürlüğü'nün seralarında çoğaltılarak kullanılmıştır.

Çalışmanın yürütüldüğü Eskişehir ilinin aylar itibariyle uzun yıllar ve 2023 yılına ait yağış ve sıcaklık değeri izelge 1'de verilmiştir. Çizelge 1'de görüldüğü gibi denemenin yürütüldüğü 2023 yılında uzun yılların yıllık yağış değeri 22,7 mm daha fazla yağış alınmıştır.

2023 yılına ait ortalama yıllık sıcaklık değeri ile uzun yıllara ait yıllık ortalama sıcaklık değeri hemen hemen bir birine yakın olarak gerçekleşmiştir. Uzun yılların ortalama sıcaklığı 10,9  C olarak gerçekleşirken, 2023 yılında ise 11,1  C olarak tespit edilmiştir. Benzer şekilde aylık ortalama sıcaklıklar bakımından da uzun yıllara ait değeri ile 2023 yılına ait değeri birbirlerine yakın olduğ izelge 1'de görülmektedir.

Tarla denemesinin yürütüldüğü parsele ait toprağın özelliklerini belirlemek amacıyla alınan rnekler Orman Toprak ve Ekoloji Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Toprak Analiz Laboratuvar'nda analiz edilmiş olup, toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerini gösteren değeri izelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. Eskişehir İlinin Deneme Yılına ve Uzun yıllara Ait İklim Verileri*

AYLAR	Ortalama sıcaklık (°C)		Aylık toplam yağış miktarı (mm)	
	Uzun yıllar	2023	Uzun yıllar	2023
Ocak	0,2	0,1	30,6	33,2
Şubat	1,4	1,7	26,1	27,5
Mart	5,1	5,3	27,6	33,3
Nisan	9,9	10,0	43,1	43,5
Mayıs	15,0	14,9	40,0	41,5
Haziran	19,2	18,9	23,7	28,4
Temmuz	22,2	22,0	13,1	14,4
Ağustos	22,0	22,1	9,2	11,2
Eylül	17,3	17,6	18,1	18,1
Ekim	11,8	12,2	32,8	33,7
Kasım	5,6	6,1	34,0	35,6
Aralık	1,6	2,0	40,5	41,3
Toplam/Ortalama	10,9	11,1	338,8	361,5

* Eskişehir Meteoroloji Genel Müdürlüğü Verileri

Çizelge 2’de görüldüğü gibi deneme tarlasının toprak pH’sı 7,6 olup, hafif alkali bir toprak özelliği göstermektedir. Organik madde içeriği %1,7 olan deneme alanı toprağı organik madde bakımından fakir bir topraktır.

Çizelge 2. Deneme yeri toprağının bazı kimyasal ve fiziksel özellikler**

Strüktürü	Kireç (%)	Tuz (%)	Yararlanılabilir fosfor (P ₂ O ₅) (kg da ⁻¹)	Yararlanılabilir Potasyum (K ₂ O) (kg da ⁻¹)	pH	Organik Madde (%)
Tınlı*	8,46	0,34	4,0	240	7,6	1,7

**Analiz Orman, Toprak ve Ekoloji Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü laboratuvarında yapılmıştır,

Yararlanılabilir potasyum ve fosfor düzeyleri sırasıyla 240 kg/da ve 4 kg/da olup, bitki gelişimi potasyum yeterliken fosfor

azdır, Kireç oranı ise % 8,46 orta kireçlidir, Toprağın tuz içeriği ise %0,34 olarak hafif tuzlu olarak belirlenmiştir,

25.09.2021 tarihinde alınan klonlar Eskişehir Orman Fidanlık Müdürlüğü'nün ısıtmalı seralarında kış boyu köklendirilerek büyümeleri sağlanmıştır, Seralarda klonlardan büyütülen bitkilerden 07.03.2022 tarihinde alınan klonlar serada köklendirilerek şaşırtılacak hale geldikten sonra 27.04.2022 tarihinde deneme plantasyonu bitki sıklığı 50×20 cm olacak şekilde Eskişehir Orman Fidanlık Müdürlüğü'nün tarlasında kurulmuştur (Salim & ark.,2016; Yasak&Telci, 2019; Yeşil &Özcan, 2021), Deneme tesadüf blokları deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak kurulmuş ve her tekerrürde 5 parsel (0 kg N/da, 5 kg N/da, 10 kg N/da, 15 kg N/da ve 20 kg N/da) bulunmaktadır (Yasak &Telci, 2019; Can&Katar, 2020), Azotlu gübreler 3 porsiyona bölünerek ilk porsiyon 30 Nisan 2023 uygulanırken, ikinci porsiyon 15.06.2023 tarihinde ve üçüncü porsiyon ise 07.07.2023 tarihinde uygulanmıştır, Her parsel 4 sıra bitki içermekte olup, $2,0 \times 5$ m= 10 m² alana sahiptir, Bitki plantasyonlarında özellikle ilkbaharda sorun oluşturan yabancı otlar çapayla temizlenmiştir, Plantasyona ihtiyaç durumu dikkate alınarak 15-20 gün aralıklarla damlama sulama sistemiyle su verilmiştir (Can & Katar, 2020), Deneme parsellerinin yararlanılabilir fosfor ve potasyum içeriğinin yeterliliği dikkate alınarak herhangi bir fosforlu ve potasyumlu gübre uygulaması yapılmamıştır, Bu çalışmada kullanılan materyaller plantasyonun 2, yılından elde edilmiş bitki materyalleridir, Bitkiler, 07.07.2023 ve 15.10.2023 tarihlerinde toprak yüzeyinden 5-10 cm yükseklikten biçilerek hasat edilmiştir, Hasat edilen taze bitkiler tartılarak taze herba verimleri (kg/da) belirlenmiştir, Hasat edilen taze bitkilerin yaprakları saplarından ayrılarak taze yaprak verimleri tespit edilmiştir, Taze yapraklar 35-38 °C'de 48 saat süreyle etüvde kurutularak kuru yaprak verimleri belirlenmiştir, Kurutulmuş yapraklardan alınan örneklerin uçucu yağ oranları su distilasyonu

yöntemiyle tespit edilmiştir, Uçucu yağların distilasyonu için kurutulmuş 100 g yaprak örnekleri 2000 ml'lik balonlara yerleştirildikten sonra 1000 ml saf su eklenerek 3 saat boyunca distilasyon işlemi gerçekleştirilmiştir, Distilasyon işlemi tamamlandıktan sonra clevenger aparatının dereceli kısmından yağ miktarı okunarak % olarak belirlenmiştir (Can&Katar, 2020; Yeşil & Özcan, 2021),

Denemeden elde edilen bitki boyu (cm), taze herba verimi (kg/da), drog herba verimi (kg/da), drog yaprak verimi (kg/da), uçucu yağ oranı (%) ve uçucu yağ verimine (l/da) elde edilen sonuçların varyans analizleri SPSS programında, sonuçlar arasındaki istatistikî farklılıklar ise DUNCAN testi ile belirlenmiştir ($P<0.05$).

Bulgular

Farklı azot dozlarının Eskişehir koşullarında nanede bitki boyu (cm), taze herba verimi (kg/da) ve drog herba verimi (kg/da) üzerine etkilerine ait bulgu Çizelge 3'te ve drog yaprak verimi (kg/da), uçucu yağ oranı (%) ve uçucu yağ verimi (l/da) değerlerine ait bulgular ise Çizelge 4'de verilmiştir,

Bitki Boyu (cm)

Tarla denemesinde uygulanan farklı azot dozları bitki boyu üzerinde istatistiki anlamda (%1) önemli bir farklılık oluşturmuştur, Farklı azot dozlarının uygulandığı deneme parsellerinden elde edilen bitki boyu değerlerinin 36,23-61,36 cm arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir, En yüksek bitki boyu 61,36 cm ile 20 kg/da azot uygulamasından elde edilirken, en düşük bitki boyu ise 36,23 cm ile kontrol parselinden elde edilmiştir, Farklı dozlarda azot uygulanan parsellerin ortalama bitki boyu ise 49,63 cm olarak tespit edilmiştir (Çizelge 3),

Taze Herba Verimi (kg/da)

Çalışmada kullanılan farklı azot dozları taze herba verimi üzerinde istatistiki anlamda (%1) önemli bir farklılığa neden olmuştur, Deneme parsellerinden elde edilen taze herba verimi değerleri 2574,53-3955,93 kg/da arasında değişmiştir, En yüksek taze herba verimi 3955,93 kg/da ile 15 kg N/da dozuyla aynı grupta yer alan 20 kg N/da uygulamasından elde edilirken, en düşük taze herba verimi ise 2574,53 kg/da olarak kontrol parselinde belirlenmiştir, Azot dozlarının ortalaması olarak ise 3281,14 kg/da taze herba verimi elde edilmiştir (Çizelge 3),

Drog Herba Verimi (kg/da)

Denemede kullanılan farklı azot dozları drog herba verimi üzerinde istatistiki anlamda (%1) önemlilik düzeyinde farklılık göstermiştir, Farklı azot dozları uygulanan çalışma parsellerinden elde edilen drog herba verimi değerleri 741,20-1110,80 kg/da arasında değiştiği belirlenmiştir, En yüksek drog herba verimi 1110,80 kg/da ile 20 kg N/da dozuyla aynı grupta yer alan 15 kg N/da uygulamasından elde edilirken, en düşük drog herba verimi ise 741,20 kg/da olarak kontrol parselinden elde edilmiştir, Farklı azot dozlarının uygulamasının ortalaması olarak ise 917,02 kg/da drog herba verimi tespit edilmiştir (Çizelge 3),

Drog Yaprak Verimi (kg/da)

Tarla çalışmasında kullanılan farklı azot dozları drog yaprak verimi üzerinde istatistiki anlamda (%1) önemlilik düzeyinde farklılık göstermiştir, Deneme parsellerinden elde edilen drog yaprak verimi değerleri 408,38-633,66 kg/da arasında değişim göstermiştir, En yüksek drog yaprak verimi 633,66 kg/da ile 20 kg N/da dozuyla aynı grupta yer alan 15 kg N/da uygulamasından elde edilirken, en düşük drog yaprak verimi ise 408,38 kg/da olarak 5 kg N/da dozuyla aynı grupta yer alan kontrol parselinden elde edilmiştir, Farklı azot dozları uygulanan parsellerin ortalaması

olarak ise 515,32 kg/da drog yaprak verimi tespit edilmiştir (Çizelge 4),

Çizelge 3, Değişen azot dozlarının Nane (*Mentha spicata* L.) bitkisinin bitki boyu (cm), taze herba verimi (kg/da) ve drog herba verimi (kg/da) üzerine etkisi

Azot Dozları (kg/da)	Bitki Boyu (cm)	Taze herba verimi (kg/da)	Drog herba verimi (kg/da)
0	36,23±2.79 d	2574,53±110,26 c	741,20±68,07 c
5	46,20±3.95 c	2645,16±50,64 c	761,96±83,40 c
10	49,90±1,99 bc	3352,50±155,48 b	915,46±56,35 bc
15	54,46±3,63 b	3877,60±88,15 a	1110,80±166,90 a
20	61,36±5,55 a	3955,93±157,15 a	1055,66±62,90 ab
Ort.	49,63	3281,14	917,02
F **	18,47	90,37	8,99
VK(%)	16,91	17,88	16,30

** : %1 düzeyinde anlamlı ve * : %5 düzeyinde anlamlı VK, : Varyans Katsayısı

Uçucu Yağ Oranı (%)

Denemede nane bitkisi üzerine etkisi çalışılan farklı azot dozları uçucu yağ oranı üzerinde istatistiki anlamda (%1) önemli bir farklılık göstermiştir, Parsellerden elde edilen örneklerin uçucu yağ oranı değerlerinin %1,60-2,23 arasında değiştiği tespit edilmiştir, Parsel numunelerinden elde edilen en yüksek uçucu yağ oranı %2,23 olarak 5 kg N/da dozuyla aynı grupta yer alan kontrol dozundan elde edilirken, en düşük uçucu yağ oranı ise %1,60 ile 10 kg N/da ve 15 kg N/da uygulaması ile aynı grupta yer alan 20 kg N/da uygulamasından elde edilmiştir, Çalışmada azot dozlarının ortalama uçucu yağ oranı ise %1,90 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4),

Uçucu Yağ Verimi (L/da)

Tarla denemesinde kullanılan farklı azot dozları uçucu yağ verimi üzerinde istatistiki anlamda (%1) önemli bir farklılık göstermiştir, Denemeden elde edilen uçucu yağ verimi değerleri 9,03-10,76 L/da arasında değişmiştir, En yüksek uçucu yağ verimi 10,76 L/da ile 5, 10 ve 20 kg N/da ile aynı grupta yer alan 15 kg N/da dozundan elde edilirken en düşük uçucu yağ verimi ise 9,03 L/da ile 5 kg N/da ve 10 kg N/da uygulaması ile aynı grupta yer alan kontrol parselinden elde edilmiştir, Denemede kullanılan azot dozlarının ortalama uçucu yağ verimi ise 9,58 L/da olarak belirlenmiştir (Çizelge 4),

Çizelge 4: Değişen azot dozlarının Nane (*Mentha spicata* L.) bitkisinin drog yaprak verimi (kg/da), uçucu yağ oranı ve uçucu yağ verim üzerine etkisi

Azot Dozları (kg/da)	Drog yaprak verimi (kg/da)	Uçucu yağ oranı (%)	Uçucu yağ verimi (l/da)
0	408,38±38,45 c	2,23±0,25 a	9,03±0,20 b
5	432,50±34,19 bc	2,20±0,10 a	9,53±1,09 ab
10	502,13±26,87 b	1,80±0,10 b	9,03±0,97 b
15	633,66±73,95 a	1,70±0,10 b	10,76±0,87 a
20	599,93±49,04 a	1,60±0,10 b	9,56±0,25 ab
Ort.	515,32	1,9	9,58
F **	13,21	12,37	2,49
VK(%)	17,28	13,66	6,60

** : %1 düzeyinde anlamlı ve * : %5 düzeyinde anlamlı V.K.: Varyans Katsayısı

Tartışma

Bitkisel üretimde azot, su ile birlikte üretimde yokluğu en fazla hissedilen besin elementi olarak karşımıza çıkmaktadır, Azot, bitkisel üretimde bitkilerin büyüme ve gelişimini kontrol eden en önemli besin elementi olarak ön plana çıkmaktadır (Gardiner & Miller, 2008; Fageria, 2009; Bolat & Kara, 2017), Azotlu

gübrelemenin tıbbi aromatik bitkilerin verim ve kaliteleri üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yürütülen çalışmalarla artan azot dozlarının uçucu yağ oranları hariç diğer parametreler üzerinde özellikle yetersiz organik madde içeriğine sahip topraklarda önemli bir artışlara neden olduğu ortaya konmuştur (Nurzynska-Wierdak, 2013; Özyiğit & ark, 2016; Salim & ark, 2016; Yasak&Telci, 2019; Can, 2020; Can & Katar, 2020; Yeşil &Özcan, 2021), Literatürde belirtildiği gibi bu çalışmadan elde edilen bitki boyu (cm), taze herba verimi (kg/da), drog herba verimi (kg/da), drog yaprak verimi (kg/da) ve uçucu yağ verimi (l/da) değerlerinde de artan azotlu gübre miktarına paralel olarak belirli bir düzeyde artış tespit edilmiştir, Bitkisel üretimde azot, bitkilerin uygun şekilde büyüyüp gelişmesi için gerekli olan yeni hücre oluşumunun temel yapıtaşları olan proteinler, amino asitler, nükleik asitler, enzimler, klorofil, ATP, ADP gibi organik bileşiklerin önemli bir bileşenidir, Bu nedenle azot yetersizliğinde bitkilerde büyüme ve gelişme için mutlak gerekli olan yeni hücre oluşumunun temel komponentleri olan proteinler, amino asitler, nükleik asitler, enzimler, klorofil, ATP, ADP gibi birçok organik bileşik yeterince üretilmemekte ve dolayısıyla da bitkiler yeterince büyüyüp gelişmemektedir, Azalan azot dozlarına paralel olarak azalan bitki boyu (cm), taze herba verimi (kg/da), taze yaprak verimi (kg/da), drog yaprak verimi (kg/da) ve uçucu yağ verimi (l/da) değerleri azot yetersizliği nedeniyle sap uzamasında meydana gelen azalışla, bitkilerin sahip olduğu düşük yaprak sayısı ve düşük yaprak alanı değerleriyle ve sürgün büyümesinde/uzamasında meydana gelen azalışla açıklanabilir (Hughes & ark., 1989; Sarmadnia, 1993; Saeedfar & ark., 2015), Dolayısıyla uygun bir büyüme ve gelişme gösteremeyen bitkilerden de hedeflenen yüksek verimin elde edilmesi mümkün olmamaktadır (Güzel & ark., 2004; Gardiner & Miller, 2008; McCauley & ark., 2009; Bolat & Kara, 2017),

Tıbbi aromatik bitkilerin büyüme ve gelişme döneminde karşılaştıkları biyotik ve abiyotik stres koşulları bitkilerde Süperoksit Dismutaz, Katalaz, Glutasyon Peroksidaz gibi antioksidan enzimlerini, uçucu yağ oranlarını ve Absisik Asit içeriğini önemli ölçüde artırdığı yapılan birçok çalışmayla ortaya konmuştur, Bu çalışmadan elde edilen, azalan azot miktarlarına bağlı olarak artan uçucu yağ oranları ise azot eksikliğinin bitki üzerinde oluşturduğu stres durumunun uçucu yağ üretimini teşvik etmiş olmasıyla açıklamak mümkündür (Aliabadi Farahani & ark.,2009a; Aliabadi Farahani & ark.,2009b; Saeedfar & ark., 2015),

Sonuç

Çalışmadan elde edilen veriler birlikte değerlendirildiğinde Eskişehir ekolojik koşullarında en yüksek drog yaprak verimine sahip baharat amaçlı nane (*Mentha spicata* L.) üretimi yapmak için 15 kg/da azot dozunu uygulaması önerilirken, en yüksek uçucu yağ verimi elde etmek için ise 5 kg/da azot dozu ile gübreleme önerilmektedir, Çalışmanın tek yıllık olması dikkate alındığında daha sağlıklı önerilerde bulunulabilmesi için bu konuda başka çalışmaların da yapılmasının gerekli olduğu görülmektedir.

Kaynakça

Aliabadi Farahani H., Valadabadi S.A., Daneshian J., Shiranirad A.H., Khalvati M.A., (2009a). Medicinal and aromatic plants farming under drought conditions. Journal of Horticulture and Forestry 1(6), pp. 86–92.

Aliabadi Farahani, H., Valadabadi, S.A., Daneshian, J. and Khalvati M.A., (2009b). Evaluation changing of essential oil of balm (*Melissa officinalis* L.) under water deficit stress conditions. J. Med. Plant. Res. 3(5), pp. 329–330.

Al-Okbi, S.Y., Fadel, H.H.M. and Mohamed, D.A., (2015). Phytochemical Constituents, Antioxidant and Anticancer Activity of *Mentha citrata* and *Mentha longifolia*. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 6(1), 739-751. ISSN: 0975-8585

Başer, K.H.C., 1997. İlaç ve baharat bitkilerin, ilaç ve alkollü içki sanayilerinde kullanımı. İstanbul:İstanbul Ticaret Odası, Yayın No: 39.

Baytop, T., 1992. Türkçe Bitki Adları Sözlüğü, Türk Dil Kurumu, Ankara No:578.

Bolat, İ ve Kara, Ö., (2017). Bitki Besin Elementleri: Kaynakları, İşlevleri, Eksik ve Fazlalıkları. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 19(1): 218-228. DOI:10.24011/barofd.251313

Boşgelmez, A., Boşgelmez, İ. İ., Savaşçı, S. ve Pashı, N., (2001). Ekoloji – II (Toprak), Kızılay-Ankara: Başkent Klişe Matbaacılık.

Can, M. and Katar, D., (2020). *Mentha x piperita* L. ve *Mentha spicata* L. türlerinde yapraktan uygulanan farklı organik gübrelerin tarımsal ve kalite özelliklerine etkisi. Anadolu Journal Of

Can, M., (2020). Farklı organik gübre ve azot dozlarının *Mentha x piperita* L. ve *Mentha spicata* L. genotiplerinin tarımsal ve kalite özelliklerine etkisi. Doktora Tezi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 257 s, Eskişehir.

Çepel, N., (1996). Toprak ilmi. İÜ Yayın No 3945, İstanbul:Orman Fakültesi Yayın No: 438.

Ellialtıoğlu, Ş., Sevenger, S. ve Sezik, E., (2007). Şanlıurfa’da Nane tarımının geliştirilmesi üzerinde çalışmalar, Şanlıurfa GAP GİDEM Bilgilendirme Toplantısı, 8-9 Nisan, 1-16.

Fageria, N.K., (2009). The Use of Nutrients in Crop Plants. Florida, New York:CRC Pres, Boca Raton.

Fowler, D., Coyle, M.; Skiba, U., Sutton, M.A., Cape, J.N., Reis, S., Sheppard, L.J., Jenkins, A., Grizzetti, B. and Galloway, J.N., (2013). The global nitrogen cycle in the twenty-first century. Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci., 368, 20130164.

Gardiner, D.T. and Miller, R.W., (2008). Soils in Our Environment. 11th Edition, Upper Saddle Hill, New Jersey, USA: Pearson/Prentice Hall.

Hughes, S.G., Bryant, J.A. and Smirinoﬀ, N., (1989). Application to studies tolerance in plants under stress. In: Molecular biology. Hamlyn G.J., Flowers T.J. and Jones M.B, eds. – New York: Cambridge university press.

Juárez-Rosete, C. R., Olivo-Rivas, A., Aguilar-Castillo, J.A., Bugarín-Montoya, R. and Arrieta-Ramos, B. G., (2014). Nutrition Assessment of N-P-K in Mint (*Mentha spicata* L.) Cultivated in Soilless System. Annual Research & Review in Biology, 4(15): 2462-2470.

Kantarıcı, M.D., (2000). Toprak İlmi. İÜ Toprak İlmi ve Ekoloji Anabilim Dalı, İ Ü Yayın No. 4261, (s. 420). İstanbul: Orman Fakültesi Yayın No. 462.

Kayaalp, G. ve Keser, N., (2017). Araştırma ve Deneme Metodları. Adana: Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Genel Yayın No: 282.

Madandoust, M. and Mahmood Fooladchang, M., (2018). Effect of Nitrogen Fertilizer on Essential Oil Content and its Compositions in *Anethum graveolens* L., Journal of Essential Oil Bearing Plants, 21:5, 1266-1271, DOI: 10.1080/0972060X.2018.1544934

Martínez-Dalmau, J., Berbel, J., Ordóñez-Fernández, R., (2021). Nitrogen Fertilization. A Review of the Risks Associated with the Inefficiency of Its Use and Policy Responses. Sustainability, 13, 5625. <https://doi.org/10.3390/su13105625>

Nurzynska-Wierdak, R., (2013). Does mineral fertilization modify essential oil content and chemical composition in medicinal plants? Acta Sci. Pol., Hortorum Cultus. 12(5):3-16.

Özyiğit, Y., Uçar, E., Tütüncü, B., İndibi, İ., Turgut, K., (2016). The effect of different nitrogen doses on yield and some yield components of *Melissa officinalis* subsp. *L. altissima* (sibthr. et smith) Arcang. Turk J Agric Res, 3: 139-144. doi: 10.19159/tutad.79496.

Robertson, G.P. and Groffman, P.M., (2007). 13-NITROGEN TRANSFORMATIONS. In Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry, 3rd ed.; Paul, E.A., Ed.; Academic Press: San Diego, CA, USA, 2007; pp. 341–364.

Saeedfar, S., Negahban, M. and Soorestani, M.M., (2015). The Effect of Drought Stress on the Essential Oil Content and Some of

the Biochemical Characteristics of Anise Hyssop (*Agastache foeniculum* [Pursh] Kuntze. *European Journal of Molecular Biotechnology*, 2015, Vol.(8), Is. 2, P:103-114.

Salim, E. A., Abu-Goukh, A. B .A., Khalid, H. E. and El Hassan, G. M., (2016). Evaporation of Spearmint (*Mentha spicata* var. *Viridis* L.) Herb Oil during One Year of Storage under Semi-Arid Condition. Volume 2 Issue 4. DOI: 10.19080/ARTOAJ.2016.02.555594.

Sarmadnia, G., (1993). Importance of environmental stresses in agronomy. In: *Proceedings of the 1st Iranian Congress of Crop Science*, Karaj, Iran.

Sulieman, A. M. E., Abdelrahman, S. E. and Rahim, A.M.A., (2011). Phytochemical Analysis of Local Spearmint (*Mentha spicata*) Leaves and Detection of the Antimicrobial Activity of its Oil. *Journal of Microbiology Research*: 1(1): 1-4. DOI: 10.5923/j.microbiology.20110101.01.

Tekin, G.K., Tonçer, Ö. ve Yavuz, M., (2024). *Mentha Spicata* ve *Mentha Piperita*'nın Biyolojik Aktivitesinin Belirlenmesi. III. Uluslararası Tarla Bitkileri Kongresi (15. Tarla Bitkileri Kongresi), Tokat,S:70, <https://www.utbk.org/>

Telci, İ., İncekara, İ., Sahbaz. N., Yılmaz, G., Tugay, M.E., (2004). Agronomical and Chemical Characterization of Spearmint (*Mentha spicata* L.) Originating in Turkey. *Economic Botany*, 58(4): 721-728.

Telci, İ. ve Şahbaz, N., (2005). Variation of Yield, Essential Oil and Carvone Contents in Clones Selected from Carvone-scented Landraces of Turkish *Mentha* Species". *Journal of Agronomy*, 4 (2), 96-102.

Telci, İ., Demirtaş, İ., Bayram, E., Arabacı, O., Kaçar, O., (2010). Environmental Variation on aroma components of pulegone/piperitone rich spearmint (*Mentha spicata* L.). *Industrial Crops and Products*, 32(2010), 588-592.

Telci, İ., Kacar O., Bayram E., Arabacı O., Demirtaş İ., Yılmaz G., Özcan İ., Sönmez Ç., Göksu E., (2011). The effect of ecological conditions on yield and quality traits of selected peppermint (*Mentha piperita* L.) clones. *Industrial Crops and Products*, 34, 1193-1197.

White, R.E., (2006). *Principles and Practice of Soil Science: The Soil as a Natural Resource*. 4th Edition, London:United Kingdom. Wiley-Blackwell Scientific Publication,

Yasak, S. ve Telci, İ., (2019). Isparta Ekolojik Koşullarında Yetiştirilen Spearmint Grubu Nane Klon ve Çeşitlerinin Verim Performanslarının Belirlenmesi *Ziraat Fakültesi Dergisi* 14 (2):270-275, ISSN 1304-9984, e-ISSN 2687-3419.

Yeşil, M. and Kara, K.,(2014). *Mentha spicata* L. ve *Mentha villosa-nervata* Opiz. genotiplerinin tarımsal özellikleri üzerine azot ve fosfor dozlarının etkisi. *Akademik Ziraat Dergisi* 3(1):23-32. ISSN: 2147-6403.

Yeşil, M. ve Özcan, M.M., (2021). *Mentha piperita*’nın Çelikle Çoğaltılması Üzerine Farklı Ortam Hormon ve Hormon Dozlarının Etkisi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(3): 2380-2388.

BÖLÜM 2

ASİT TOPRAKLARIN ISLAHINDA KİREÇLEMENİN ROLÜ: BİTKİLERİN BESLENMESİ VE SU KULLANMA RANDIMANI AÇISINDAN BİR DEĞERLENDİRME

Mehmet Ali GÜRBÜZ^{1*}
Ahmet Nedim YÜKSEL²

^{1*} Dr., Atatürk Toprak Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma Enstitüsü, Bitki Besleme ve Toprak Böl., Orcid: 0009-0004-9443-6901, Sorumlu yazar.

² Prof. Dr., Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Böl., Emekli Öğretim Üyesi, Orcid: 0000-0002-0278-7498

1. Giriş

Toprak asitliği, tıpkı küresel iklim değişikliğinin bilim çevrelerinde çektiği dikkat gibi toprak bilimi çevrelerinde tarımsal üretim ve ekosisteme yönelik olumsuz etkileri nedeniyle dikkat çekmektedir (Guo ve ark., 2010, Raza 2020). Çünkü toprak asitleşmesi, Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} kaybını kolaylaştırabilir ve böylece toprak verimliliğinin azalmasına yol açabilir (Zhang vd. 2016). Asit topraklar, yüzey horizonlarında (0-20 cm) $\text{pH} < 5,5$ olan topraklar olarak kabul edilir. Küresel ekilebilir arazi alanının yaklaşık %50'sinin toprak asitliğinden etkilendiği bildirilmektedir (Mosharrof vd., 2022). Toprak asitliği, bitkisel verimliliği etkileyen, verimi en çok sınırlandıran faktörlerden biridir (Sumner ve Noble 2003 ; Fageria ve Nascence, 2014). Bunun başlıca nedeni asitleşmiş toprağın çeşitli hayati besin elementlerinin (örneğin fosfor, P) bulunabilirliğini azaltırken, alüminyumun (Al) ve manganın (Mn) çözünürlüğü artmakta ve buda antagonistik etkilere ve kök hasarına yol açarak bitkilerin beslenmesini olumsuz etkilemek suretiyle verimi azaltabilmektedir (Sumner ve Noble., 2003; Xu vd., 2024; Ganie vd., 2024; Shen vd., 2019). Ağır metallerin (Pb, Cd, v.b.) çözünürlüğünü artırarak bitki tarafından alımı, hayvanlar ve insanlar tarafından bu tür maddelerin gıda tüketim zincirine girmesine ve çeşitli sağlık sorunlarına neden olabilmektedir (Bolan vd., 2023).

Bitkisel üretim için toprak asitliği, besin/element eksiklikleri ve toksisiteleri, yararlı mikroorganizmaların düşük aktiviteleri ve besin ve su emilimini sınırlayan azalmış bitki kök büyümesi gibi çok sayıda faktörün bir kompleksidir. Ayrıca, zayıf strüktürel gelişimleri nedeniyle asit topraklar düşük su tutma kapasitesine sahiptir ve sıkışmaya ve su erozyonuna maruz kalırlar (Fageria ve Baligar, 2003). Eğer asit toprak yağışa bağlı değil de kurak bir bölgede oluşmuş ise, bu bölgelerin çoğunda toprak profilinde, bitkilerin profildeki suyun tamamını kullanmasına engel olan horizonlar

mevcuttur. Bu katmanlardaki engel, fiziksel, kimyasal ve biyolojik orijinli olabilir (Turner, 2004).

Asidik ortamlarda başta nitrifikasyon olmak üzere birçok mikrobiyal süreç baskılanmakta, bunun sonucunda organik maddeden azot mineralizasyonunda ve topraktaki azot döngüsünde aksamalar meydana gelmektedir (Kyveryga vd., 2004).

Asit reaksiyonlu topraklar, doğal koşullar altında yağışın 600 mm'yi geçtiği yerlerde alkali ve toprak alkali katyonların toprak profilinden yıkanarak uzaklaşması ve değişim yüzeylerinde bu katyonların yerine demir ve alüminyum oksit ve hidroksitlerinin alması ile oluşur. Buna organik madde ve karbon dioksitin etkisi de katkı verir. Organik maddenin mineralizasyonu sonucu açığa çıkan organik asitler ve topraktaki mikrobiyal canlıların ve kök solunumu sonucu ortaya çıkan karbondioksit su ile reaksiyona girerek H_2CO_3 oluşur. Bu da ayrışarak H^+ oluşturur ($H_2O + CO_2 \rightleftharpoons H_2CO_3$, $H_2CO_3 \rightleftharpoons HCO_3^- + H^+$).

Toprak asitlenmesi yalnızca dış kaynaklardan değil, tarımsal üretimin kendi iç süreçlerinden de kaynaklanabilmektedir. Özellikle üretim sırasında bitkilerin bazik katyonları (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+) daha yüksek oranda alması ve bazı bitkilerin iyonik dengeyi sağlamak amacıyla köklerinden H^+ iyonu salması, toprak çözeltisinde asitliği artırıcı bir etki yaratmaktadır (Bolan ve Hedley, 2003). Baklagil bitkileri bu süreçte öne çıkan gruplardandır. Bu türlerde atmosferik azotun biyolojik fiksasyonu esnasında, sabitlenen her bir mol N_2 başına yaklaşık 0,2–0,7 mol H^+ iyonu salındığı bildirilmektedir (Bolan & Hedley, 2003). Salınan proton miktarı ise, bitkide sentezlenen amino asitlerin ve organik asitlerin formu ile miktarına, dolayısıyla karbon asimilasyon süreçlerine bağlıdır.

Toprak asitlenmesi, azot fiksasyonu ya da bazik katyon alımı gibi bitki-temelli süreçlerin yanısıra, karbon ve kükürt dönüşüm mekanizmaları gibi mikrobiyal faaliyetler sırasında da

gerçekleşmektedir. Bu dönüşümlerde açığa çıkan H^+ iyonları, toprak pH'ında düşüşe yol açabilmektedir (Bolan vd., 1999; Robson, 1989). Ayrıca, endüstriyel emisyonların neden olduğu asit yağmurları da, toprak asitlenmesini tetikleyen çevresel etkenler arasında yer almaktadır (Foy, 1984; Ulrich vd., 1980).

Toprak mikroorganizmaları, karasal ekosistem işleyişinin itici gücüdür. Bu mikroorganizmalar, bilinen hemen hemen tüm toprak madde dönüşüm süreçlerinde yer almakta ve karasal ekosistemlerin sürdürülebilirliğini belirleyen toprak üstü bitki verimliliği ile besin maddesi kullanımının önemli dinamiklerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Bazı mikroorganizmalar asidik ortamlara karşı daha toleranslıdır, ancak çoğu mikroorganizma (örn. *Ascomycota*) asidik ortamlara karşı hassastır ve mikrobiyal bolluk ve çeşitlilik asidik topraklarda daha düşük olma eğilimindedir (Shi vd., 2023). Toprak mikrobiyal toplulukları toprak asitlenmesine karşı oldukça hassastır ve toprak asitlenmesinin derecesinin önemli göstergeleridir (Zhu vd., 2017). Asidik topraklarda mikrobiyal bolluğun azalması, toprak enzim aktivitesinde azalmaya yol açar (Filimon vd., 2021).

Yapılan araştırmalar, toprak pH'ının toprak enzim aktivitesini ve besin içeriğini etkileyen önemli bir faktör olduğunu göstermiştir (Wade vd., 2021). 1980-2024 yılları arasında Çin'de uzun süreli azotlu gübre uygulamalarının sonucunun değerlendirildiği çalışmada toprak asitliğindeki artışın küresel tarım sistemlerindeki en ciddi arazi bozulması sorunlarından biri haline geldiği ifade edilmekte, çünkü toprak pH'ını ortalama %15.27 oranında azalttığını, üreaz, nitrat redüktaz, nitrit redüktaz, katalaz, glutamat dehidrogenaz ve glutamat sentetaz aktivitelerinin ortalama %9.82-22.37 oranında azaldığını göstermiştir (Zhang vd., 2024). Toprak mikrobiyal topluluk zenginliği (Chao1 indeksi) %6.53 oranında artmış, ancak topluluk çeşitliliği (Shannon indeksi) %15.42 oranında azalmıştır. Baskın toprak mikroorganizmaları arasında bakterilerin nisbi çokluğunun ortalama %9.67-29.38 oranında azaldığı

belirlenmiştir (Zhang vd., 2024). Bu çalışmada, azot gübresinin toprak asitleşmesi üzerindeki etkisini azaltmak için, verimli, çevre dostu ve düşük maliyetli yavaş/kontrollü salınımlı gübrelerin geliştirilmesini önerilmektedir.

Bu bağlamda, Trakya Yöresi özelinde değerlendirme yapıldığında, 1980 sonrası dönemde bölgedeki sanayi tesislerinin artışı, trafik yoğunluğundaki yükselme ve nüfusun büyümesi gibi faktörler göz önünde bulundurularak, endüstriyel kirliliğin toprak asitliği üzerindeki olası etkilerinin araştırılması büyük önem taşımaktadır. Bölgedeki asit yağmurlarının yayılımı, toprak tamponlama kapasitesi ve tarım arazilerinin uzun vadeli sürdürülebilirliği açısından ayrıntılı analizler yapılması gerekmektedir.

Asit topraklar, besin dengesizlikleri, alüminyum ve mangan toksisiteleri ile biyolojik aktivitenin zayıflaması gibi nedenlerle tarımsal üretkenliği ciddi biçimde sınırlandırmaktadır. Bu bölüm, toprak asitleşmesinin neden ve sonuçlarını ele almakta ve toprak sağlığını ve bitki tepkisini değerlendirmede kireçlemenin temel bir iyileştirici uygulama olarak rolünü değerlendirmektedir. Kireçlemenin yalnızca besin maddesi elverişliliği ve mikrobiyal süreçler üzerindeki etkileri değil, aynı zamanda iklim değişikliğiyle birlikte artan kuraklık tehdidine karşı su kullanım etkinliğini (WUE) artırıcı yönü de özellikle vurgulanmaktadır. Bölümde farklı kireç materyalleri, uygulama yöntemleri ve partikül boyutları incelenmiş; bulgular küresel meta-analizler ve bölgesel saha çalışmalarına dayandırılmıştır. Bulgulara göre, kireçleme toprak pH'ını, baz doygunluğunu ve katyon değişim kapasitesini artırırken, değiştirilebilir asitlik ve Al seviyelerini azaltmaktadır. Bu değişimler, kök gelişimi, besin alımı ve mikrobiyal işlevleri olumlu etkileyerek, asitli topraklarda bitkilerin su alma ve kullanma kapasitesini güçlendirmektedir. Trakya ve tropik bölgelerden örnekler, dengeli gübreleme ile birlikte yapılan kireçlemenin WUE üzerinde önemli kazanımlar sağladığını göstermektedir. Bu

bağlamda, kireçleme yalnızca bir toprak düzenleyici değil, aynı zamanda iklim dirençliliğini artıran stratejik bir uygulama olduğu söylenebilir.

2. Toprak Asitliğinin tarımsal üretime etkileri

Toprak asitliği, bitkisel verimde %13,7 oranında azalmaya yol açarak, küresel ölçekte gıda üretimini ve tarımsal sürdürülebilirliği tehdit eden önemli bir çevresel sorundur (Du vd., 2024). Günümüzde ekilebilir arazilerin yaklaşık %50'sinde toprak pH'ı $\leq 5,5$ seviyesine kadar düşmüş durumdadır ve bu oran giderek artmaktadır (Dai vd., 2017). Aşırı azotlu gübre kullanımı ve kontrolsüz sulama uygulamaları başta olmak üzere, sanayileşmenin ve trafiğin artışı ile gaz salınımlarının ve bunlara bağlı olarak asit yağışların artması nötr ve hafif asit reaksiyonlu olan toprakların daha fazla asitleşmesine neden olmuştur. Çin'de yapılan çalışmada 1990-2010 yılları arasında toprak pH 0,5 birim azaldığı ifade edilmiştir (Meng vd. 2014; Chen vd., 2022).

Toprağın asitliğinin artması, başta alüminyum (Al) toksisitesi olmak üzere, ürün verimini azaltan çeşitli mekanizmaları tetikler. Asidik koşullarda toprak çözeltisinde serbest hale gelen Al iyonları, bitki kök gelişimini engelleyerek büyüme stresine neden olmaktadır (Robles-Aguilar vd., 2019; Yamamoto, 2019). Ayrıca, düşük pH koşulları nitrat redüktaz ve asit fosfataz gibi enzimlerin aktivitesini baskılayan metal iyonlarını aktive ederek, bitkilerde besin

maddelerinin alımı ve asimilasyonunu sınırlandırır (Taylor & Foy, 1985).

Toprak asidik koşullarına karşı bitkilerin geliştirdiği direnç mekanizmaları arasında kök salgılarıyla şelat oluşturan organik asit üretimi, hücre duvarında iyon immobilizasyonu ve kök yüzeyinde fiziksel bariyer oluşturma gibi dışsal savunma yolları yer alırken; aynı zamanda bitki içi (internal) Al tolerans sistemleri de etkili olmaktadır (Kochian vd., 2004). Bu mekanizmaların ürün türlerine göre değişkenlik göstermesi, farklı bitkilerin asitliğe karşı gösterdiği duyarlılık düzeylerini açıklamaktadır.

Toprak asitleşmesine karşı toprakların tamponlama kapasitesi hem organik hem de inorganik bileşenlerin varlığına bağlı olarak değişmektedir. Araştırmalar, toprak organik maddesince zengin toprakların daha yüksek tamponlama kapasitesine sahip olduğunu ortaya koymuştur. Bu özellik, özellikle organik madde içeriğinde bulunan fenolik ve karboksil gruplarının yüzeylerindeki negatif yüklerin proton adsorpsiyonuyla ilişkilidir. Bu sayede, toprak çözeltisindeki H^+ iyonlarının etkisi azaltılır. Ayrıca organik madde, topraktaki toksik formdaki değiştirilebilir Al^{3+} iyonlarıyla veya H-Al bileşikleriyle kompleks oluşturarak bu iyonların toksisitesini düşürmekte ve bitkilerin Al stresine karşı toleransını artırmaktadır (Rahman vd., 2018).

Bununla birlikte, yüksek kalsiyum karbonat ($CaCO_3$) içeriğine sahip kireçli toprakların da önemli ölçüde tamponlama kapasitesi sunduğu gösterilmiştir. Bu tür topraklar, kireçsiz topraklara göre iki kata kadar daha fazla asitleşmeye karşı direnç göstermektedir. İnorganik bileşenler arasında yer alan demir (Fe) ve alüminyum (Al) oksitleri ile silikat minerallerinin yüzey yükleri de toprak çözeltisinde asitliği artıracabilecek değiştirilebilir asitlerin oluşumunu baskılayarak toprak pH'nın korunmasına katkı sağlamaktadır (Karaivazoglou vd., 2007).

Bu bulgular, toprakların asitlenmeye karşı doğal direnç kapasitesinin yalnızca uygulanan dış girdilerle değil, aynı zamanda mevcut toprak yapısı ve bileşimiyle de yakından ilişkili olduğunu göstermektedir. Tarımsal üretimde sürdürülebilirliği sağlamak için, bu tür tampon özelliklerin dikkate alınması önem arz etmektedir.

Araştırmalar, toprak pH'ının 6,5'in altına düştüğü durumlarda birçok ürünün veriminin olumsuz etkilendiğini göstermektedir (Holland vd., 2019). Örneğin, pH seviyesinin 6,5'ten 4,5'e düşmesi buğday veriminde %30'a varan kayıplara yol açarken (Lukin ve Epplin, 2003), Pakchoi gibi sebzelerde bu oran %43,8'e kadar çıkabilmektedir (Huang vd., 2019). Öte yandan, çay gibi bazı ürünlerin asitleşmeye karşı daha yüksek tolerans gösterdiği ve verimde kayda değer bir düşüş gözlenmediği de bildirilmiştir (Ding vd., 2021). Bu veriler, asitleşmenin mahsul verimi üzerindeki etkisinin bitki türlerine bağlı olarak önemli ölçüde değişkenlik gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Asit topraklar, bitki besin maddelerinin alımını sınırlandırarak ürün verimliliğini düşürmektedir. Bu sorunu gidermek amacıyla kireç, biyokömür, endüstriyel yan ürünler, gübre ve saman gibi toprak düzenleyiciler yaygın biçimde kullanılmaktadır. Yapılan kapsamlı bir meta-analiz çalışmasında, bu düzenleyicilerin toprak pH'ını ortalama %13 oranında artırdığı; buna karşılık ürün veriminde ortalama %36'lık bir artış sağladığı tespit edilmiştir. Uygulama açısından değerlendirildiğinde, toprak pH'ını yükseltmede en ekonomik düzenleyici kireç olurken, biyokömür bu açıdan en pahalı seçenek olarak öne çıkmaktadır. Buna göre; kireç, pH'sı <5.0 olan çok asidik topraklarda; gübre, pH'sı 5.0-6.0 aralığında olan topraklarda; saman ise pH'sı 6.0-6.5 olan hafif asidik topraklarda daha etkili ve uygun görülmektedir (Li vd., 2023).

Özellikle azotlu gübrelerin kullanımı, toprak pH'ını önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Amonyum içeren gübreler, nitrifikasyon süreci sırasında hidrojen iyonu (H^+) salınımına neden olarak toprağın

asitleşmesine yol açar (Tablo 1). Öte yandan, nitrat bazlı gübreler, toprak pH'ını yükseltici etki gösterebilir. Bu nedenle, azotlu gübrelerin seçimi ve uygulanma şekli, toprak pH'ının yönetiminde kritik bir rol oynamaktadır (Goulding, 2016).

Tablo 1. N Gübreler Tarafından Üretilen Toprak Asitliği

Azot Kaynakları	Nitrifikasyon Reaksiyonu	Toprak Asitliğinin Etkisi (Maksimum)	CaCO ₃ Eşdeğeri (kg CaCO ₃ /kg N)	Toprak Asitliğinin Etkisi (Minimum)	CaCO ₃ Eşdeğeri (kg CaCO ₃ /kg N)	Resmi Değeri
Susuz amonyak	$\text{NH}_3(\text{g}) + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{H}^+ + \text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$	H ⁺	$50/14 = 3.6$	Yok	0	1.8
Üre	$(\text{NH}_2)_2\text{CO} + 4\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{NO}_3^- + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	NO ₃ ⁻ , 2H ⁺	$100/28 = 3.6$	Yok	0	1.8
Amonyum nitrat	$\text{NH}_4\text{NO}_3 + 2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$	2H ⁺ , 2NO ₃ ⁻	$100/28 = 3.6$	Yok	0	1.8
Amonyum sülfat	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + 4\text{O}_2 \rightarrow 4\text{H}^+ + 2\text{NO}_3^- + \text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}_2\text{O}$	4H ⁺ , 2NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻	$200/28 = 7.2$	2H ⁺ , SO ₄ ²⁻	$100/28 = 3.6$	5.4
Mono amonyum fosfat	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}^+ + \text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{PO}_4^- + \text{H}_2\text{O}$	2H ⁺ , NO ₃ ⁻ , H ₂ PO ₄ ⁻	$100/14 = 7.2$	H ⁺ , H ₂ PO ₄ ⁻	$50/14 = 3.6$	5.4
Di amonyum fosfat	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4 + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{H}^+ + 2\text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{PO}_4^-$	3H ⁺ , 2NO ₃ ⁻ , H ₂ PO ₄ ⁻	$150/28 = 5.4$	H ⁺ , H ₂ PO ₄ ⁻	$50/14 = 3.6$	3.6

3. Toprak asitliğinin bitki beslenmesi üzerine etkisi

Toprak pH'ı, besin maddesi elverişliliği ve bitki gelişimini etkileyen kritik bir faktördür. Toprak pH'ına bağlı olarak besin dinamiklerine yön veren kimyasal süreçlerin anlaşılması, tarımsal üretimin optimize edilmesi açısından hayati öneme sahiptir. Uygun ıslah edici maddeler ve uygulamalar yoluyla toprak pH'ının yönetilmesi, besin maddesi elverişliliğini artırabilir, kök gelişimini teşvik edebilir ve faydalı mikrobiyal aktiviteyi destekleyebilir (Kennedy, 2022).

Toprak pH'ının sürdürülebilir biçimde yönetilmesi, yalnızca yüksek ürün verimi ve toprak sağlığının korunmasını sağlamakla kalmaz; aynı zamanda iklim değişikliği sürecinde kimyasal gübre kullanımının azaltılmasına da katkı sunar. Bu durum, çevresel açıdan risk oluşturan pek çok toprak kökenli sorunun önlenmesinde etkili olabilir. Örneğin, fosforlu gübrelerin daha az kullanılması, su kaynaklarında ötrofikasyon riskini azaltabilir; azotlu gübre kullanımının düşürülmesi, sera gazı niteliğindeki azot oksit (N_2O) salınımını sınırlayabilir; potasyumlu gübrelerin kontrollü kullanımı ise, toprakta tuzluluk birikiminin önüne geçebilir. Böylece, sürdürülebilir toprak pH yönetimi hem çevresel etkileri azaltır hem de tarımsal üretimi daha dengeli ve uzun vadeli hale getirir.

Azot döngüsünde ve bitki beslenmesinde önemli bir adım olan nitrifikasyon, büyük miktarda azotlu gübre kaybına ve çevre kirliliğine katkıda bulunan ve biyolojik olarak aracılık edilen bir süreçtir. Nitrifikasyon ve nitrifikatörler hakkındaki anlayışımızdaki son gelişmeler, özellikle asidik topraklarda, tartışılmakta ve incelenmektedir. Bir zamanlar nitrifikasyon oranlarının asidik topraklarda nispeten düşük olduğu varsayılıyordu. Ancak, daha yeni çalışmalar nitrifikasyonun pH 3.0'a kadar düştüğünü ve nitrifikasyon oranının nötr topraklarda bulunanla eşit olabileceğini veya hatta onu aşabileceğini göstermiştir (Li vd., 2018).

Du vd. (2024) çok sayıda çalışmanın sonucunu değerlendirdiği meta-analiz çalışmasında; toprakta asitliğin artmasının ürün verimi üzerindeki etkisinin, bitki türüne bağlı olarak önemli farklılıklar gösterdiğini belirtmektedir. Sebzelerin en duyarlı ürün grubu olarak öne çıktığını bu grupta verimde %33'e varan azalmalar gözlenmektedir (Huang vd. 2019). Buna karşın mısır ve buğday verimleri sırasıyla %18,2 ve %18,3 oranında azalmaktadır (Lukin ve Eplin, 2003). Çeltik su ortamında ve etkisinde yetiştirildiğinden ortam pH'ı nötre yaklaşmakata ve bu durumdan fazla etkilenmemektedir. Baklagiller ise, genellikle hafif asidik (pH 5,5–7,0) koşullarda ve serin-yağışlı dönemde yetiştirildiğinden asitlikten pek etkilenmemiştir (Chen vd., 2022). Kantitatif değerlendirmelere göre, toprak pH'ının 6,03 ile 6,85 arasında olduğu durumlarda ürün verimi toprak asitliğinden etkilenmemektedir. Özellikle mısır ve buğday için bu aralık biraz daha genişleyerek 6,3–7,4 seviyesine ulaşmaktadır. Buna karşılık, sebze türlerinin tüm test edilen pH seviyelerinde verimlerinde düşüş kaydedilmiştir.

Ancak bu çalışma kapsamında “random forest” modeliyle yapılan tahminler, toprak asitleşmesinin ürün verimi üzerindeki etkilerinde belirleyici olan ana çevresel faktörün yıllık ortalama yağış miktarı olduğunu göstermektedir. Bu durum iklim değişikliği sürecinde kuraklığın artışı ile asit reaksiyonlu topraklardaki tarımsal üretimin de bu kuraklıktan daha fazla etkileneceğini göstermesi bakımından önemlidir.

Asidik topraklarda, fosfor genellikle metal oksitler ve kil mineralleri tarafından çökeltilir ve adsorbe edilir, bu da bitkiler için düşük fosfor alımına neden olur (Ma vd., 2016). Bu sorun, pozitif yüzey yüklerinin fosfor adsorpsiyonunu desteklediği ve toprak çözeltisindeki serbest demir ve alüminyumun çözünmeyen fosfat bileşiklerinin oluşumuna yol açtığı lateritik kırmızı topraklarda özellikle belirgindir (Vassileva vd., 1997). Sonuç olarak, fosfor asit

reaksiyonlu topraklarda etkili bir şekilde fikse olur ve bitkilerin alımını ve dolayısıyla ürün verimini sınırlar.

Asitleşmenin bitki gelişimi üzerindeki doğrudan etkilerinden biri, kök uzunluğunda gözlenen %25,4'lük azalmadır. Ayrıca, makro besin elementlerinin (N, P, K, Ca) alımında %3,1 ila %13,6 arasında düşüşler meydana gelmiştir (Chen vd., 2022). Bu durum yalnızca bitkisel üretimi değil, aynı zamanda toprak verimliliğini de olumsuz etkilemektedir. Nitekim toprak toplam azot içeriği %11,4; yarıyışlı fosfor %18,1; toprak organik maddesi %16,3 ve değişebilir kalsiyum oranı da %76,8 azalmıştır. Mikrobiyal biyokütle karbon, azot ve fosfor düzeylerinde de toprak pH'sındaki düşüşe bağlı olarak belirgin azalmalar kaydedilmiştir (Rahman vd., 2018).

Enesi vd. (2023), küresel düzeyde yürütülen saha denemelerinin meta-analizi sonuçlarına göre, kireç uygulamasının hem toprak pH'ını yükselttiğini hem de ürün verimini artırdığını ortaya koymuştur. Üstelik bu etkiler, farklı kireç kaynaklarına (örneğin kalsiyum karbonat, kalsiyum hidroksit, alçıtaşı) bağlı olarak değişmekte, bazı kaynakların diğerlerinden daha yüksek etki gösterdiği belirlenmiştir. Özellikle kalsiyum bazlı kireç türleri, çimento fırın tozu, dolomit ve odun külü gibi alternatiflere kıyasla daha etkili bulunmuştur. Kireçlemenin etkisi, uygulama şekline ve toprak işleme sistemine göre de değişiklik göstermektedir. Yüzey uygulamalarında, toprak altına karıştırmaya kıyasla daha yüksek verim artışları elde edilmiştir. Ayrıca, sıfır toprak işleme koşullarında, geleneksel işleme yöntemlerine kıyasla kireçlemenin ürün verimine katkısı daha fazla olmuştur. Gübreli koşullarda, kireç uygulaması ürün verimini daha da artırmıştır.

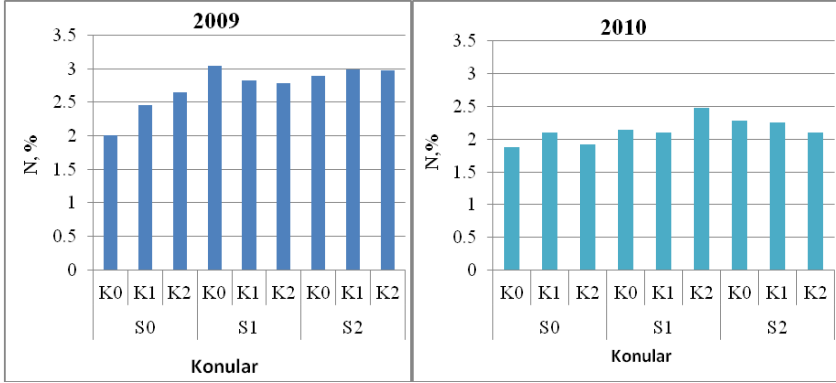
Ürün bazında değerlendirildiğinde, yulaf (*Avena sativa*) ve patates (*Solanum tuberosum*) dışındaki tüm tarla ürünleri kireçleme uygulamasından olumlu şekilde etkilenmiştir. Bu iki ürün, muhtemelen asidik koşullara olan daha yüksek toleransları nedeniyle, anlamlı verim artışı göstermemiştir. Sonuç olarak, bu

meta-analiz, kireçlemenin toprak asitliğini azaltmada, verimi artırmada ve tarımsal kârlılığı iyileştirmede önemli bir araç olduğunu vurgulamaktadır. (Enesi vd., 2023)

Topraklardaki kireçleme , alkali toprak koşullarının protonsuzlaşmasına ve topraklardaki zeta potansiyelinin azalmasına (Tan, 2011) ve böylece toprak pH'ının artmasına (Fageria vd., 2010) neden olabilir. Arttırılmış toprak pH'ı, toprak parçacıklarının yüzeyine kadmiyum (Cd) adsorpsiyonunu artıracaktır, azaltılmış toprak pH'ı ise toprak çözeltisine daha fazla Cd salınmasına neden olacaktır (Hussain vd., 2021). Toprak pH'ındaki düşüşle Cd sabit bir formdan bitki alımı için kullanılabilirliğini artıran kolayca hareket edebilen bir forma dönüşür (Mondal vd., 2020)

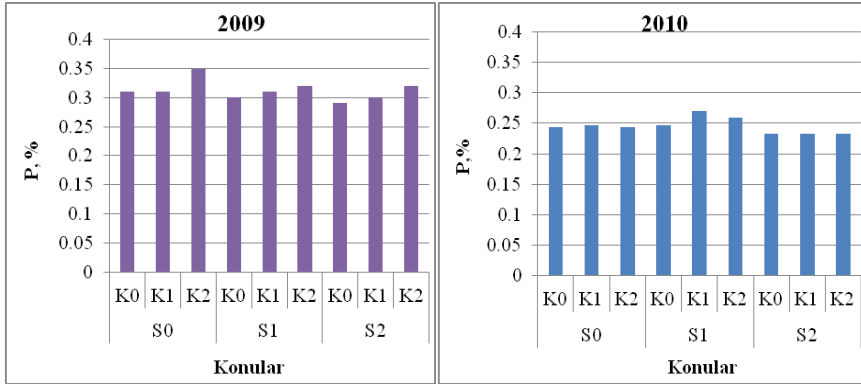
Trakya yöresinde asit reaksiyonlu toprakların kireçlenmesi ve kısıntılı sulama uygulamalarının mısır bitkisinin azot beslenmesi üzerine etkisi 2 yıl takip edilmiştir (Gürbüz, 2011). Grafik 1'de ki mısır bitkisi azot içeriği grafiği incelendiğinde, sulama ve kireçleme uygulamalarının 2009 yılında mısır bitkisinin azot beslenmesi üzerine etkisi, sulama uygulaması yapılmayan (S_0) konusunda uygulanan kireç miktarı arttıkça, mısır bitkisinin azot miktarının arttığı görülmektedir. Benzer etki, 2010 yılında sadece 0-30 cm toprak derinliğini hedefleyen kireç uygulamasının yarısının uygulandığı (K_1) konusunda görülmektedir. Diğer sulama konularında ise böyle bir durum belirlenmemiştir. Kireçlemenin mısır bitkisinin azot beslenmesini sulamanın olmadığı durumda artırdığı ortaya çıkmaktadır. Sulamanın verim artışı sağladığı için biyokütle içerisinde azotun oranının düştüğü söylenebilir.

Grafik 1. Kırklareli 'nde kısıntılı sulama ve kireçlemenin mısır bitkisinin azot alımı üzerine etkisi (Gürbüz, 2011).



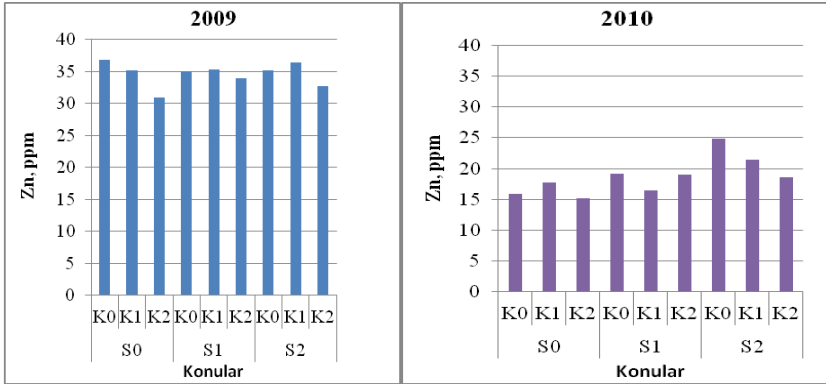
Aynı deneme çalışmasının kısıntılı sulama ve kireçleme uygulamalarının mısır bitkisinin fosfor beslenmesine etkisi incelendiğinde (Grafik 2), 2009 yılında bütün sulama seviyelerinde kireç uygulamalarının bitkinin fosfor içeriğini artırdığı görülmektedir (Gürbüz, 2011). 2010 yılında ise bu etki belirgin olarak gözükmemektedir. Bitki fosfor içeriğinde çok az bir artış görülmektedir. Bu duruma ilk yıl artan ürün verimi ve kullanım nedeniyle topraktaki alınabilir fosfor stoğunun azalması neden olmuş olabilir.

Grafik 2. Kırklareli 'nde kısıntılı sulama ve kireçlemenin mısır bitkisinin fosfor içeriğine etkisi (Gürbüz, 2011).



Kısıntılı sulama ve kireçleme uygulamalarının ayçiçeği bitkisinin çinko beslenmesine etkisi incelendiğinde (Grafik 3), kireçleme uygulaması arttıkça S₀ konusunda bitkinin çinko miktarını önemli oranda azalırken, S₁ (S₂ uygulamasındaki su düzeyinin yarısı) ve bitki gelişme dönemlerine göre 0-90cm toprak derinliğinin tarla kapasitesine getirildiği (S₂) konularında, bu durum ancak 0-30cm toprak derinliğinin hedeflendiği kireç (K₂) düzeyi uygulamada az oranda olmuştur. Bu duruma uygulanan kirecin topraktaki çinkoyu (Zn) bağlaması veya K₁ ve K₂ konularında artan kuru madde üretimi sonucu topraktaki sınırlı orandaki Zn miktarının bitkide seyreltik hale gelmesi neden olabilir. Sonraki yıl ise (2010) en fazla çinko düzeyine sulamanın tam (S₂) ve kirecin uygulanmadığı (K₀) S₂K₀ konusunda ulaşılırken en düşük Zn miktarı ise sulama uygulaması yapılmayan, yağışa bağlı (S₀) ve 0-30 cm toprak derinliğini hedefleyen kireçleme (K₂) uygulamasında S₀K₂ 'de belirlenmiştir. Bu konuda uygulanan fazla miktardaki kirecin bu elementin yararlılığını sınırlandırdığını göstermektedir.

Grafik 3. Kırklareli’nde kısıntılı sulama ve kireçlemenin ayçiçeği bitkisinin çinko içeriğine üzerine etkisi (Gürbüz, 2011).



4. Toprak Asitliğinin Giderilmesi İçin Yapılacak İşlemler

Toprak asitliğini gidermek amacıyla uzun süredir uygulanan geleneksel yöntemler arasında kireç, endüstriyel atıklar (ör. uçucu kül, alkali cüruf) ve mahsul samanı gibi organik materyallerin kullanımı öne çıkmaktadır (Dai vd., 2017; Xu vd., 2024). En yaygın kullanılan ve etkisi uzun süren uygulama olan kireç, alkali katyon sağlayarak ve çözünmüş ürünleri sayesinde Al^{3+} iyonlarını azaltarak toprak pH'ını artırır (Minato vd., 2023). Ancak kireç, profilde düşük hareketliliğe sahiptir ve bu da alt toprak asitliğini düzeltmede sınırlı kalmasına neden olur (Dai vd., 2017; Minato vd., 2023).

Buna karşılık, organik anyonlar ve tuz baz katyonları içeren sap-saman gibi bitki artıkları, proton tüketimi ve dekarboksilasyon yoluyla pH'ı artırılabilir (Cai vd., 2020). Samanın tarlaya geri

döndürülmesi, çevresel etkiyi azaltmanın yanı sıra, verim artışına katkı sağlar (Liu vd., 2023). Ancak bu etkinin derecesi, samanın C:N oranı, kendi pH'ı ve toprağın başlangıç pH düzeyine göre değişkenlik gösterebilir (Xu vd., 2024). Nitekim Liang vd., (2023), bazı koşullarda saman uygulamasının toprak asitleşmesini artırabileceğini bildirmiştir.

Endüstriyel atıklar da pH, katyon değişim kapasitesi (KDK) ve baz doygunluğunu artırma potansiyeli taşır; ancak içerdikleri ağır metaller, toprak ve ürün sağlığı açısından risk oluşturabilir (Dai vd., 2017).

Son yıllarda, biyokömür kullanımı dikkat çekici bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Yüksek sıcaklıkta piroliz edilen tarımsal ve ormancılık atıklarından elde edilen biyokömür, kül, karbonat ve değişebilir bazik katyonlar içeriği sayesinde toprak pH'ını artırabilir (Zhu vd., 2017; Han vd., 2020). Ayrıca fenolik ve hidroksil gruplarının H^+ iyonlarını bağlaması, yeniden asitleşmeyi engelleyen önemli bir mekanizma sağlar (Zheng vd., 2022). Biyokömürün toprak asitliğini azaltmadaki potansiyelini ortaya koyan 232 çalışmanın meta-analizi, biyokömür uygulamasının ortalama %5,59 oranında toprak pH'ını artırdığını ve bu etkinin, biyokömürün hammadde, piroliz sıcaklığı, başlangıç toprak pH'ı ve tarımsal kullanım şekli gibi faktörlere bağlı olarak değiştiğini göstermiştir (Zhang vd., 2025).

Biyokömür, toprak pH'ının artırılmasında saman ve gübre gibi hammaddelere göre daha kalıcı etki gösterebilir (Zhang vd., 2023). Bazı araştırmalar, biyokömürün alkali cürufa göre daha etkili (Uwiringiyimana vd., 2024), hatta zaman zaman kireçten daha kalıcı etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur (Teutscherova vd., 2017; Shi vd., 2019). Ancak biyokömürün etkisi, piroliz sıcaklığı, kullanılan hammadde, toprak özellikleri ve iklim koşulları gibi faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterebilir (Ippolito vd., 2020; Sun vd., 2023).

Zeolit ve feldspat gibi doğal materyallerin, kalsiyum içeriği düşük olsa da, asit topraklarda pH düzenleyici olarak kullanılabileceği belirlenmiştir. Uygur (2019) tarafından yürütülen çalışmada, özellikle çay gibi kalsifüj bitkilerin yetiştirildiği topraklarda geleneksel kireçleme yöntemlerinin yetersiz kaldığı; bu alternatif materyallerin ise hem pH yükseltici etkileri hem de potasyum katkısıyla toprak verimliliğini artırıcı rolleri vurgulanmıştır. Ayrıca, zeolit uygulamasının toprakların katyon değişim kapasitesini artırarak asit iyonlara karşı tamponlama gücünü geliştireceği ifade edilmiştir.

Etkili bir pH düzenlemesi için bu materyallerin 0.25–0.5 mm çapında olması önerilmektedir. Xu vd. (2025) Tarafından toprak asitliğinin giderilmesine yönelik ıslah çalışmalarının etkilerinin değerlendirilmesi aşağıdaki sonuçları ortaya çıkarmıştır;

1. Yapılan kapsamlı analizler, asidik toprakların ıslahının hem toprak kalitesi hem de tarımsal üretkenlik ve çevresel sürdürülebilirlik üzerinde çarpıcı etkiler yarattığını ortaya koymuştur. Uygulanan iyileştirme yönetimleri sonucunda, toprak pH'ı %6,27, baz doygunluğu %86,1 ve KDK %19,5 oranında artmıştır. Aynı zamanda, toprak değişebilir asitliği %54,2 ve değişebilir alüminyum içeriği %64,4 oranında azalmıştır.
2. Toprakların biyolojik ve kimyasal özelliklerinde de iyileşmeler gözlemlenmiştir: organik madde içeriği %17,7, değişebilir kalsiyum %102 ve magnezyum %81,5 oranında artarken; toprak bakteri sayısı %36,2, mantar sayısı %15,9, mikrobiyal biyokütle karbonu %38,3 ve azotu %45,3 oranında yükselmiştir
3. Islah uygulamaları aynı zamanda sera gazı emisyonları üzerinde farklı etkiler oluşturmuştur: Toprak asitliğinin azaltılması CO₂ emisyonunu %27,1 oranında artırsa da N₂O

emisyonunu %20,6 ve CH₄ emisyonunu %12,3 oranında azaltmıştır. Bu da özellikle azot döngüsünde daha çevreci bir dengeyi işaret etmektedir.

4. Toprak asitliğini azaltmaya yönelik müdahalelerin etkisi; başlangıç toprak özellikleri, iklim koşulları ve uygulanan toprak girdilerinin türüne bağlı olarak farklılık göstermektedir. Etkiler en fazla, kuvvetli asidik, iri taneli, düşük organik maddeli topraklarda ve nemli iklim bölgelerinde belirginleşmiştir.
5. Ürün veriminde de dikkat çekici artışlar gözlemlenmiştir: pH artışı sonrası pirinçte %8,95, kolza tohumunda ise %82,6 oranında verim artışı sağlanmıştır. Bu verim artışına bağlı olarak karbon fiksasyonu ve sera gazı emisyonlarının azalmasıyla birlikte dekar başına 798 ABD doları ekonomik gelir elde edilmiştir.

Kireç materyalleri ve uygulanması

Asit reaksiyonlu topraklara kireç uygulaması yapılmadan önce toprağın kireç ihtiyacının belirlenmesi gerekmektedir. Bilindiği gibi toprakta iki tür asitlik vardır. Aktif ve potansiyel asitlik. Laboratuvar da pH metre ile ölçülen asitliğe “aktif asitlik”, toprakta bulunan organik madde ve kil mineralleri ve demir alüminyum oksitlerden kaynaklanan (H⁺ ve Al⁺³) “potansiyel asitlik”. Toprak tampon bir sistemdir, kireçleme ile aktif asitliğin bir kısmı nötralize edilse bile, potansiyel asitlik dengeyi korumak için ortamı asitleştirmeye çalışır. Bu yüzden kireçleme işleminde toprağın aktif asitliğinden çok potansiyel asitliği dikkate alınmalıdır. Asit reaksiyonlu toprakların kireç ihtiyacının belirlenmesi için pek çok tamponlanmış çözelti içeren analiz yöntemi geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları; Kalsiyum asetat yöntemi, Woodruff yöntemi, SMP yöntemi, Adams-Evans Yöntemi, Paranitrofenol Yöntemi. Trakya yöresi asit reaksiyonlu tarım toprakları için Kalsiyum Asetat

ve Woodruff yönteminin kullanılabileceği belirlenmiştir (Adiloğlu, 1992).

Kireçleme Materyalleri

Kireçleme amacıyla kullanılan çeşitli materyaller bulunmaktadır. Bu materyaller, genellikle kalsiyum ve/veya magnezyum karbonatın karbonat, oksit ve hidroksit formları ve diğer bazı materyallerden oluşmaktadır (Barber, 1984).

- **Kalsiyum Karbonat- CaCO_3 :** En yaygın kullanılan kireçleme materyalidir. Doğal olarak oluşan kireçtaşının öğütülmesiyle elde edilir. Hızlı etki gösterir ve nispeten ekonomiktir.
- **Dolomitik Kireç (Kalsiyum Magnezyum Karbonat - $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$):** Hem kalsiyum hem de magnezyum içerir. Magnezyum eksikliği olan topraklarda özellikle tercih edilir. Toprakta daha yavaş çözünür ancak uzun süreli etki sağlar.
- **Sönmemiş Kireç (Kalsiyum Oksit- CaO):** Kireçtaşının yüksek sıcaklıkta (1100°C) ısıtılmasıyla elde edilir. Su ile reaksiyona girdiğinde ısı açığa çıkarır ve güçlü bir nötralizasyon kapasitesine sahiptir. Yakıcıdır, nemli topraklara uygulanmalıdır. Kuru da kalırsa kalsiyum karbonata dönüşebilir ve çözünürlüğü çok vakit alır, uygulaması dikkat gerektirir.
- **Sönmüş Kireç (Kalsiyum Hidroksit- $\text{Ca}(\text{OH})_2$):** Sönmemiş kirecin su ile reaksiyonu sonucu oluşur. Hızlı etki eder ancak sönmemiş kireç gibi dikkatli uygulama gerektirir. Toz halinde olduğu için uçuşma riski vardır.
- **Öğütülmüş istiridye kabukları, şeker fabrikası atıkları, fırın kireci, biyokütle santral külleri (kalsiyum silikat):** Bunlar da yerel olarak bulunabilen ve kireçleme amacıyla kullanılabilecek diğer materyallerdir. İçerdikleri kalsiyum

oranlarına göre nötralizasyon güçleri değişir. İçerdikleri çeşitli besin elementleri (K, P, Mg) yönünden bunlardan da yararlanılabilir. Yapılarında bulunabilecek organik toksik bileşiklerin (PAH, PCP, dioksin, fenoller) ve radyoaktif elementlerin (uranyum, toryum) miktarının belirlenerek kullanımına izin verilmelidir.

Nötralizasyon Gücü (Kireçleme Değeri)

Kireçleme materyallerinin toprak pH'sını yükseltme kapasiteleri, nötralizasyon gücü veya kireçleme değeri ile ifade edilir. Bu değer genellikle % CaCO_3 eşdeğeri olarak belirtilir. Saf kalsiyum karbonatın nötralizasyon gücü %100 kabul edilir ve diğer materyaller buna göre değerlendirilir. Örneğin, %90 CaCO_3 eşdeğerine sahip bir materyal, saf kalsiyum karbonatın %90'ı kadar nötralizasyon sağlayabilir. Dolomitik kireç, içerdiği magnezyum karbonatın nötralizasyon gücü nedeniyle genellikle %100'den daha yüksek bir CaCO_3 eşdeğerine sahip olabilir. Sönmemiş ve sönmüş kireçler ise, kalsiyum karbonata göre daha yüksek kimyasal reaktiviteye sahip oldukları için çok daha yüksek nötralizasyon gücüne sahiptirler. Kireçleme materyali seçimi yapılırken, materyalin nötralizasyon gücü ve toprağın mevcut pH değeri ile hedeflenen pH değeri arasındaki fark göz önünde bulundurulmalıdır.

Tane Boyutu

Kireçleme materyallerinin tane boyutu, materyalin toprakta çözünme hızı ve dolayısıyla nötralizasyon etkinliği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Genel bir kural olarak, tane boyutu küçüldükçe, materyalin yüzey alanı artar ve toprakta daha hızlı çözünerek daha çabuk bir pH yükselişi sağlar. Ancak, çok ince öğütülmüş materyaller rüzgarla taşınma (uçuşma) riskini artırabilir ve uygulama zorluklarına yol açabilir. Kireçleme materyalinin etkinliği Withers (1993) tarafından aşağıdaki biçimde açıklanmıştır.

0.85 mm'den (20 mesh) daha kaba kireç partikülleri, tarımsal açıdan karşılaştırmalı olarak çok az değere sahiptir. Bu boyuttaki partiküller, toprakta çok yavaş çözünür ve pH'ı yükseltme konusunda sınırlı etki gösterir.

0.15 mm'den (100 mesh) daha ince partiküller, toprakla temas ettiğinde çok hızlı reaksiyona girer. Bu, toprağın pH'ında hızlı bir yükselme sağlayarak acil durumlar için idealdir.

0.25 mm'den (60 mesh) daha ince kireç partikülleri, uygulamadan sonraki bir yıl içinde tamamen çözündüğü kabul edilebilir. Bu durum, kireç materyalinin kalitesini gösteren önemli bir ölçüttür. Bir kireçleme materyalinin 60 mesh elekten geçen yüzdesi, kireçtaşının kalitesi için iyi bir gösterge olarak kabul edilmiştir.

0.25-0.85 mm aralığındaki kireç partiküllerinin kısa vadeli düşük etkinliği, daha yüksek oranda kireç uygulayarak veya aside duyarlı ekinleri ekmeden önce kirecin reaksiyona girmesi için daha fazla zaman tanınarak telafi edilebilir. Yani, bu boyuttaki partiküllerin tam etkisini göstermesi biraz daha zaman alabilir, ancak uygun yönetimle verim kaybı engellenebilir.

Etkin bir kireçleme için, kullanılan materyalin yaklaşık %50'sinin 0.15 mm'den küçük, tamamının ise 0.85 mm'den küçük olması genellikle ideal kabul edilir. Kireçleme uygulamalarında, toprağın mevcut durumu, hedeflenen pH değeri, materyalin özellikleri ve ekonomik faktörler bir bütün olarak değerlendirilerek en uygun kireçleme materyali ve uygulama yöntemi seçilmelidir. Bu sayede toprak sağlığı iyileştirilerek bitkisel üretimde sürdürülebilir verimlilik sağlanabilir.

Kireç materyallerinin farklı fiziksel özelliklere (tane boyutu, nem içeriği) sahip olması, kullanılacak mekanizasyon tekniklerini de çeşitlendirir. Genellikle materyal, toprağın yüzeyine eşit bir şekilde serilir. Bu, kireçleme materyallerinin en yaygın ve geleneksel uygulama yöntemidir.

Mekanizasyon Teknikleri

Santrifüjlü gübre serpm makineleri: Genellikle traktör arkasına takılan bu makineler, döner diskler aracılığıyla kireç materyalini geniş bir alana yayar. Hem toz hem de granül formdaki kireç için uygun olabilirler. Ayarlanabilir yayma genişliği ve dozaj ayarları sayesinde homojen bir dağılım sağlanmaya çalışılır. Toz kireç için rüzgarlı havalarda uçuşma riski yüksektir.

Zincirli konveyörlü veya bantlı serpm makineleri: Daha büyük kapasiteli ve ağır hizmet tipi makinelerdir. Materyali arkadaki bir bant veya zincir sistemiyle eşit bir şekilde arkaya doğru boşaltırlar. Özellikle kamyon üzerine monte edilen modeller, büyük alanlarda ve yüksek kapasitede kireçleme için kullanılır. Daha ıslak ve yapışkan kireç materyallerini de işleyebilirler. Ancak özellikle ince toz kireç kullanıldığında, rüzgarla sürüklenme (drift), homojen olmayan dağılım riski, rüzgarlı havalarda uygulama zorluğu ve toprağın derinliklerine nüfuz edememe gibi neticeler ortaya çıkabilir.

Yüzeyde kalan kireç, toprakla yeterince karışmadığı sürece etkinliğini tam gösteremez. Bu nedenle, yüzey uygulaması sonrası toprak işleme (tırmık, pulluk, diskaro) ile kirecin toprağa karıştırılması elzemdir.

Toprak Asitliğinin ve Kireçlemenin Bitki Su Kullanımına Etkisi

Tarım kesiminin iklim değişikliği sürecinde sık sık meydana gelen kuraklıktan etkilenmesi sonucu özellikle ve öncelikle tarımı büyük oranda yağışa bağlı olarak üretilen başta buğday olmak üzere hububat üretimi düşmekte, sulama ile yetiştirilen mısır ve çeltik gibi bitkilerin ise barajlarda ve akarsularda yeterli sulama suyu bulunmadığı için ekimi ve üretimi düşmektedir. Kuraklığın bu etkilerini azaltmak için, uyguladığımız tarım sisteminde yağışa bağlı nemden ve sulama suyundan azami faydayı sağlayacak yöntemleri

geliştirmemiz gerekmektedir. Bu amaçla kurağa dayanıklı bitki seçiminden başlayarak, bulunduğumuz yörelerde bitki yetiştirme açısından sorun teşkil edebilecek toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin iyileştirilmesi konularında gerekli çalışmaları yapmamız gerekmektedir.

Trakya Yöresi'nin tarım arazileri toprak reaksiyonu bakımından, yaklaşık 2/5'i asit, 1/5'i nötr ve 2/5'i alkalın reaksiyonlu olduğu belirlenmiştir (Gürbüz vd., 2019).

Su kullanma randımanı veya etkinliği (WUE), birim miktarda ürün üretebilmek için kullanılan yarayışlı su miktarı olarak tanımlanmaktadır. Değişik birimlerle (kg/mm, kg/m³, ton/ha) ifade edilmektedir. Birim miktarda kullanılan suya karşılık verim arttıkça, WUE artar. Su kullanım etkinliği (WUE), özellikle sulama suyu kaynaklarının ve yağışın yetersiz olduğu yerlerde önemlidir. Bununla birlikte, enerji fiyatlarındaki artış, sulama yapan üreticilerin karlarını azaltmakta ve su kullanım etkinliğini maksimize etmeyi zorunlu kılmaktadır. WUE'yi etkileyen faktörlerden birisi de toprak verimliliğidir. Eksiksiz ve dengeli bir gübreleme programı, bitki köklerinin daha fazla gelişmesine ve daha geniş alandan daha fazla su ve besini daha az zamanda almasını sağlar. Bu durum, bitkinin daha sağlıklı olmasına ve maruz kalınan mevsimsel stresleri kolay atlatmasına yardımcı olur (Stewart 2001).

Antwerpen ve Meyer (2001), bitkilerin su kullanım etkinliğinin; bitkisel yapı, meteorolojik koşullar ve toprak özelliklerinin ortak etkisiyle belirlendiğini vurgulamışlardır. Araştırmalarında, şeker kamışının su kullanım etkinliğinin iyi gelişmiş Hutton topraklarında 9 t/ha/100 mm'nin üzerinde, zayıf yapılı Glenrosa ve Longlands topraklarında ise 5 t/ha/100 mm'nin altında olduğunu ortaya koymuşlardır. Bu çalışmada su kullanım etkinliğini etkileyen başlıca toprak faktörleri; havalanma, sıcaklık, derinlik, hacim ağırlığı, tekstür, strüktür, porozite, yüzey kabuklanması, organik madde içeriği, tuzluluk, fosfor eksikliği ve alüminyum toksisitesi olarak

sıralanmıştır. Özellikle alüminyum toksisitesi ile birlikte havalanma, strüktür, porozite ve besin elementlerinin elverişliliği gibi faktörlerin toprak asitliği nedeniyle olumsuz etkilendiği belirtilmiştir. Bu bulgular, asidik toprak koşullarında şekerkamışının potansiyel kök gelişimi ve su verimliliğinin sınırlanabileceğine işaret etmektedir.

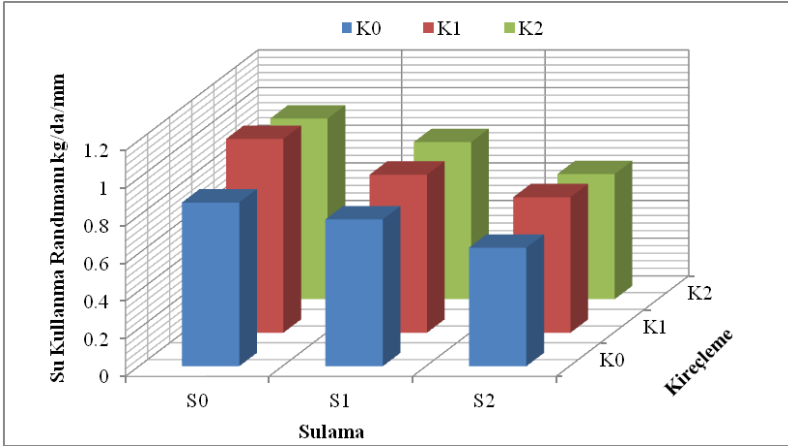
Brezilya’da kuvvetli asit karakterli tropikal topraklarda yürütülen bir çalışmada, Gaiser vd. (2004), mısır/yem bezelyesi ara tarım sisteminde kireçleme ve gübrelemenin su kullanım etkinliği üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Yağışa bağımlı tarım sisteminin uygulandığı bölgede, üç farklı uygulama karşılaştırılmıştır: (a) yalnızca NPK gübrelemesi, (b) kireçleme ile birlikte NPK uygulaması ve (c) kontrol (uygulamasız). Sonuçlara göre, kuru madde üretimi kireç+NPK uygulamasında kontrole göre 2,6 kat; sadece NPK uygulamasına göre ise 1,6 kat daha yüksek bulunmuştur. Toprak-su dengesi HILLFLOW ve EPICSEAR modelleri ile değerlendirilmiş, her iki model de geçerli sonuçlar vermesine rağmen, EPICSEAR modelinin kireçleme ve gübrelemenin toprak nemi ve biyokütle üretimi üzerindeki etkilerini daha hassas yansıttığı görülmüştür. Transprasyonel su kullanım etkinliği (WUE_T), NPK uygulamasında %63, kireç+NPK uygulamasında ise %80 artış göstermiştir. Ayrıca toplam su kullanım etkinliği (WUE_C), kirecsiz NPK uygulamasına göre %60, kontrole göre ise %160 daha yüksek hesaplanmıştır. Bu bulgular, özellikle asidik koşullarda kireçlemenin gübreleme ile birlikte su verimliliğini anlamlı düzeyde artırabildiğini göstermektedir.

Gürbüz, (2011) Kırklareli’nde, orta asit (pH:4.6) reaksiyonlu bir toprağa sahip tarlada, sulama konuları; mısır bitkisinin yöre için önerilen fenolojik dönemler esas alınarak kısıntılı 3 sulama konusu; S₀: Sulama yapılmayan uygulama, S₁: S₂’deki uygulamanın yarısı kadar su uygulama, %50, S₂: Fenolojik dönemlere göre, 0-90 cm toprak profilindeki nem içeriğinin tarla kapasitesine tamamlanması (%100) şeklinde uygulanmıştır. Kireçleme konuları ise, toprak

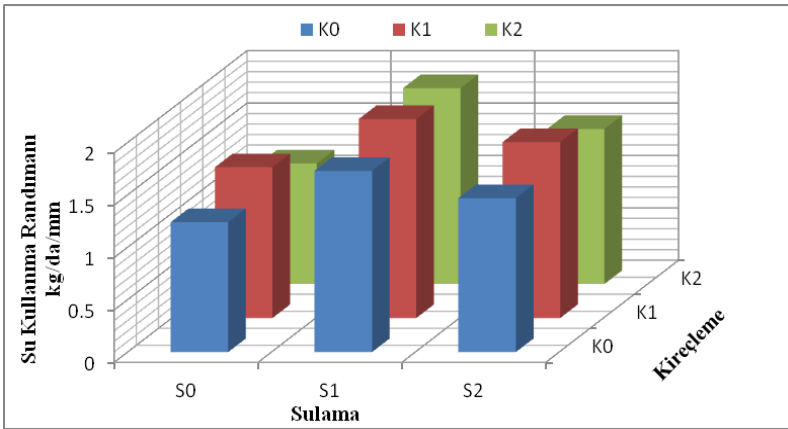
işleme derinliğindeki (0-30 cm) toprak asitliğini giderecek kireç miktarı esas alınarak 3 kireçleme konusu K_0 : Kireçlemesiz, K_1 : K_2 'deki uygulanan dozun yarısı (%50) , K_2 : 30 cm toprak derinliğini hedefleyen kireç uygulaması, şeklinde gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre, ayçiçeği bitkisinin K_1 seviyesindeki kireçleme uygulaması K_0 'a göre, verimini % 12,7, WUE_c 'yi %13,2 ve WUE_y 'yi %19,1 (Grafik 4) ve mısır bitkisinin verimini %13,8, WUE_c 'yi %12,8 ve WUE_y 'yi %10,3 oranında (Grafik 5) artırmıştır. Kireçleme ve sulama uygulamalarının etkisi ile fenolojik parametrelerde iyileşme görülürken, kalite göstergelerinden yağ oranı her iki uygulama ile de artmıştır. Sonuç olarak yöredeki asit topraklarda mısır üretimi için S_2K_1 konusu önerilmiştir.

Grafik 4. Ayçiçeği bitkisinin verime göre ortalama su kullanma randımanı (Gürbüz, 2011).



Grafik 5. Mısır bitkisinin verime göre su kullanma randımanı (Gürbüz, 2011).



İklim değişikliği sürecinde, yağışların azalması ve düzensizleşmesi ve kuraklığın riskinin artması ile, su kullanım etkinliğini artıracak kireçleme gibi toprak ıslah yöntemleri konvansiyonel üretimin devamlılığı ve gıda güvenliği bakımından elzem görünmektedir.

6. Sonuç

Bu bölümde derlenen bilimsel veriler, asit topraklarda kireçlemenin çok yönlü ve etkili bir çözüm olduğunu ortaya koymaktadır. Kireçleme uygulamaları, toprak pH'ını düzenleyerek besin dinamiklerini iyileştirmekte, bitki gelişimi ve verim üzerinde anlamlı artışlar sağlamaktadır. Ancak bu kazanımlar yalnızca tarımsal verimle sınırlı değildir; kireçlemenin su kullanım etkinliğini artırıcı etkisi, iklim değişikliği ve kuraklık gibi güncel tehditlere karşı da önemli bir avantaj sunmaktadır. Kök gelişiminin güçlenmesi, toprak yapısının iyileşmesi ve mikrobiyal canlılığın artması sayesinde bitkilerin suyu daha etkin kullanması mümkün hale gelmektedir. Bu durum, özellikle yağışa bağlı tarım yapılan veya su kısıtı yaşanan bölgelerde, sürdürülebilir üretim için kritik bir katkıdır.

Kireçlemenin bu çok yönlü faydalarından yararlanmak için, toprak yönetimi uygulamalarında kireçleme hem bir verim artırıcı, hem de iklim adaptasyon aracı olarak ele alınmalıdır. Bunun için düzenli toprak analizi, uygun kireç materyaline erişim, çiftçi eğitimi ve mali destek mekanizmaları teşvik edilmelidir. Ayrıca, kireçlemenin çiftlik gübresi ve leonardit gibi organik gübre kaynakları ile birlikte kullanımı bu etkiyi artırma potansiyeline sahiptir. Gelecek araştırmalar, farklı iklim koşullarında optimum kireç dozajlarını, uzun dönemli çevresel etkileri (sera gazı salınımları, karbon dengesi gibi) ve yenilikçi kireçleme tekniklerini ele almalıdır. İklim baskısının arttığı günümüzde, kireçleme uygulamaları asit toprakların üretim potansiyelini ve su verimliliğini güvence altına alacak önemli bir araçtır.

Teşekkür

Bu kitap bölümü, Mehmet Ali GÜRBÜZ'ün Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı'nda, Prof. Dr. Ahmet Nedim YÜKSEL

danışmanlığında yürütülerek tamamlanan ve Enstitü tarafından kabul edilen “Asit Karakterli Toprakları Kireçlemenin Ayçiçeği ve Mısır Bitkilerinin Su Kullanma Randımanı Üzerine Etkileri” başlıklı doktora tezine dayanmaktadır.

Yazar, bu çalışmanın yürütülmesinde verdiği bilimsel rehberlik ve katkılardan dolayı danışmanı Prof. Dr. Ahmet Nedim YÜKSEL’e içtenlikle teşekkür eder.

Kaynakça

Adiloğlu, A. (1992). Trakya bölgesi asit topraklarının kireç ihtiyaçlarının tayininde kullanılabilecek çeşitli yöntemler üzerinde bir araştırma. Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Anabilim Dalı, Tekirdağ.

Antwerpen, R. V., & Meyer, J. H. (2001). *Soil Factors Affecting Water Use Efficiency in Sugarcane*. South African Sugar Association Experiment Station. South African Sugarcane Research Institute (SASRI) aracılığıyla erişildi: <https://sasri.org.za/>

Barber, SA (1984). Kireçleme malzemeleri ve uygulamaları. *Toprak asitliği ve kireçleme*, 12, 171-209. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr12.2ed.c4>

Bolan N, Sarmah AK, Bordoloi S, Bolan S, Padhye LP, Van Zwieten L, Sooriyakumar P, Khan BA, Ahmad M, Solaiman ZM, Rinklebe J, Wang HL, Singh BP, Siddique KHM (2023) Soil acidification and the liming potential of biochar. *Environ Pollut* 317:120632. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120632>

Bolan, N. S., & Hedley, M. J. (2003). Role of carbon, nitrogen, and sulfur cycles in soil acidification. In R. S. Sparks (Ed.), *Advances in Agronomy* (Vol. 78, pp. 187–273). Academic Press.

Bolan, N. S., Adriano, D. C., & Curtin, D. (1999). Soil acidification and liming interactions with nutrient and heavy metal transformation and bioavailability. *Advances in Agronomy*, 78, 215–272.

Cai, G., Yang, J., Liu, J., Zhu, Y., & He, Y. (2020). Effects of crop straw returning on soil acidity and nutrient status in acid soils. *Geoderma*, 360, 114007.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.114007>

Chen, X., Zhang, L., Wang, Y., Li, Z., & Huang, Q. (2022). Soil acidification under global change: Evidence, mechanisms, and solutions. *Science of the Total Environment*, 806, 150568.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150568>

Dai Z, Zhang X, Tang C, Muhammad N, Wu J, Brookes PC, Xu J (2017) Potential role of biochars in decreasing soil acidification-a critical review. *Sci Total Environ* 581–582:601–611.

Ding, Z., Shen, R., Cai, D., & Hu, S. (2021). Long-term soil acidification and its impact on tea yield and soil nutrients in China. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 184(3), 412–419.
<https://doi.org/10.1002/jpln.202000480>

Du, L., Zhang, Z., Chen, Y., Wang, Y., Zhou, C., Yang, H., & Zhang, W. (2024). Heterogeneous impact of soil acidification on crop yield reduction and its regulatory variables: A global meta-analysis. *Field Crops Research*, 319, 109643.
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109643>

Enesi, R. O., Dyck, M., Chang, S., Thilakarathna, M. S., Fan, X., Strelkov, S., & Gorim, L. Y. (2023). Liming remediates soil acidity and improves crop yield and profitability – a meta-analysis. *Frontiers in Agronomy*, 5, 1194896.
<https://doi.org/10.3389/fagro.2023.1194896>

Fageria, N. K., & Baligar, V. C. (2003). Fertility Management of Tropical Acid Soils for Sustainable Crop Production. In Z. Rengel (Ed.), *Handbook of Soil Acidity* (s. 359-385). Marcel Dekker, Inc.

Fageria, N. K., Baligar, V. C., & Jones, C. A. (2010). *Growth and mineral nutrition of field crops*. CRC press.

Fageria, N. K., & Nascente, A. S. (2014). Management of soil acidity of South American soils for sustainable crop production. In D. L. Sparks (Ed.), *Advances in Agronomy* (Vol. 128, pp. 221–275). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802139-2.00006-8>

FoyFilimon, M. N., Roman, D. L., Bordean, D. M., & Isvoran, A. (2021). Impact of the Herbicide Oxyfluorfen on the Activities of Some Enzymes Found in Soil and on the Populations of Soil Microorganisms. *Agronomy*, 11(9), 1702. <https://doi.org/10.3390/agronomy11091702>

Foy, C. D. (1984). Physiological effects of hydrogen, aluminum, and manganese toxicities in acid soil. In F. Adams (Ed.), *Soil acidity and liming* (2nd ed., pp. 57–97). ASA–CSSA–SSSA.

Gaiser T, Barros I, Lange F-M, & Williams JR (2004). Water Use Efficiency of a Maize/cowpea intercrop on a highly acidic tropical soil as affected by liming and fertilizer program. *Plant and Soil*, 263(1-2), 165-171. <https://doi.org/10.1023/B:PLSO.0000047728.87895.8e>

Ganie, A. H., Kumar, R., Bhat, M. A., & Ramteke, P. W. (2024). Soil pH and its impact on nutrient availability and crop growth. *International Journal of Geography, Geology and Environment*, 6(2), 15-22. <https://www.geojournal.net/uploads/archives/6-2-15-941.pdf>

Goulding, K. W. T. (2016). Soil acidification and the importance of liming agricultural soils with particular reference to the United

Kingdom. *Soil Use and Management*, 32(3), 390–399.
<https://doi.org/10.1111/sum.12270>

Guo, J. H., Liu, X. J., Zhang, Y., Shen, J. L., Han, W. X., Zhang, W. F., Christie, P., Goulding, K. W. T., Vitousek, P. M., & Zhang, F. S. (2010). Significant acidification in major Chinese croplands. *Science*, 327(5968), 1008–1010.
<https://doi.org/10.1126/science.1182570>

Gürbüz, M. A. (2011). *Asit karakterli toprakları kireçlemenin ayçiçeği ve mısır bitkilerinin su kullanma randımanı üzerine etkileri* (Doktora tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
<https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/668696>

Gürbüz, M. A., Kayalı, E., Bahar, E., Öz, T. A., & Kurşun, İ. (2019). Trakya topraklarının veri tabanının oluşturulması ve bazı toprak özellikleri. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 7(1), 28–36.
<https://doi.org/10.33409/tbbbd.595133>

Han, L., Sun, K., Yang, Y., Xia, X., & Zhu, Y. (2020). The role of biochar particle size and ageing in soil acidification mitigation. *Journal of Soils and Sediments*, 20, 2678–2687.
<https://doi.org/10.1007/s11368-020-02623-2>

Holland, J. E., Bennett, A. E., Newton, A. C., White, P. J., McKenzie, B. M., George, T. S., & Pakeman, R. J. (2019). Liming impacts on soils, crops and biodiversity in the UK: A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 281, 99–107.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.04.011>

Huang, H., Deng, Y., Zhang, M., & Xiao, Y. (2019). Soil acidification alters growth and physiological characteristics of Pakchoi. *Agronomy*, 9(12), 824.
<https://doi.org/10.3390/agronomy9120824>

- Hussain, B., Ashraf, M. N., Shafeeq-ur-rahman, Abbas, A., & Farooq, M. (2021). Cadmium stress in paddy fields: Effects of soil conditions and remediation strategies. *Science of the Total Environment*, 754, Article 142188. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142188>
- Ippolito, J. A., Laird, D. A., Busscher, W. J., & Novak, J. M. (2020). Biochar impacts on soil acidity and nutrient availability. *Agronomy Journal*, 112, 4–17. <https://doi.org/10.1002/agj2.20034>
- Karaivazoglou, N. A., Georgiadis, M., & Batrakoulis, A. (2007). Influence of soil properties on acid buffering capacity in calcareous and non-calcareous soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 38(5-6), 729–740. <https://doi.org/10.1080/00103620701216589>
- Kochian, L. V., Hoekenga, O. A., & Piñeros, M. A. (2004). How do crop plants tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorous efficiency. *Annual Review of Plant Biology*, 55, 459–493. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.55.031903.141655>
- Kyveryga, P. M., Blackmer, A. M., Ellsworth, J. W., & Isla, R. (2004). Soil pH effects on nitrification of fall-applied anhydrous ammonia. *Soil Science Society of America Journal*, 68(2), 545–551. <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.0545>
- Li, Y. Y., Chapman, S. J., Nicol, G. W., & Yao, H. Y. (2018). Nitrification and nitrifiers in acidic soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 116, 290–301. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.10.023>
- Li, Y., Wen, Y., Chen, D., et al. (2023). Soil amendments improve crop yield and soil properties by alleviating soil acidification: A global meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 858, 160091. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160091>

Liang, H., Zhang, J., & Liu, X. (2023). Effects of straw return on soil acidification under intensive agriculture. *Soil Use and Management*, 39(2), 296–307. <https://doi.org/10.1111/sum.12879>

Liu, M., Hu, F., Li, Y., & Xu, J. (2023). Recycling crop straw improves sustainability of agroecosystems. *Field Crops Research*, 295, 108901. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.108901>

Lukin, D., & Epplin, F. M. (2003). Cost of reducing aluminum toxicity: The case of wheat production. *Journal of Agricultural and Resource Economics*, 28(2), 324–339. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.17409>

Ma, J., He, P., Xu, X., He, W., Liu, Y., Yang, F., & et al. (2016). Temporal and spatial variations of soil phosphorus in China (1990–2012). *Field Crops Research*, 192, 13–20. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.04.006>

Meng, L., Ding, W., & Cai, Z. (2014). Long-term nitrogen fertilization stimulated microbial respiration more than nitrogen addition in Chinese croplands. *Environmental Science & Technology*, 48(24), 13830–13837. <https://doi.org/10.1021/es502870c>

Minato, T., Yamashita, H., & Okada, H. (2023). Lime amendment and its limitations in acid subsoil improvement. *Soil Science and Plant Nutrition*, 69(1), 1–10. <https://doi.org/10.1080/00380768.2022.2131977>

Mondal, S. C., Sarma, B., Farooq, M., Nath, D. J., & Gogoi, N. (2020). Cadmium bioavailability in acidic soils for common bean cultivation: role of soil amendments. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17, 153–160. <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02263-0>

Mosharrof, M., Uddin, M. K., Mia, S., Sulaiman, M. F., Shamsuzzaman, S. M., & Haque, A. N. A. (2022). Influence of rice

husk biochar and lime to reduce phosphorus application rate in acid soil: A field trial with maize. *Sustainability*, 14(12), 7418. <https://doi.org/10.3390/su14127418>

O'Kennedy, S. (2022). Soil pH and its effect on nutrient availability and crop growth. *International Journal of Geography, Geology and Environment*, 4, 236–238. <https://www.geojournal.net/archives/2022.v4.i2.C.262>

Rahman, M. M., Lee, S. H., Ji, H. S., Kabir, M. S., Jones, C. S., & Kim, P. J. (2018). Organic amendments and soil acidity: Understanding the role of SOM in aluminum detoxification. *Environmental Pollution*, 242, 1016–1024. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.07.036>

Raza, S., Miao, N., Wang, P., Ju, X., Chen, Z., Zhou, J., & Kuzyakov, Y. (2020). Dramatic loss of inorganic carbon from nitrogen-induced soil acidification in Chinese croplands. *Global Change Biology*, 26(7), 3738–3751. <https://doi.org/10.1111/gcb.15101>

Robles-Aguilar, A. A., Osorio, F. A., & Rosas, U. (2019). Aluminum stress in plants: Toxicity and tolerance mechanisms. *Plant Physiology and Biochemistry*, 139, 264–275. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.04.027>

Robson, A. D. (1989). *Soil acidity and plant growth*. Academic Press.

Shen, J., Yuan, L., Zhang, J., Li, H., Bai, Z., Chen, X., ... & Zhang, F. (2019). A critical review on soil chemical processes that control how soil pH affects phosphorus availability to plants. *Agronomy*, 9(6), 120. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060120>

Shi, R. Y., Ni, N., Wang, R. H., Nkoh, J. N., Pan, X. Y., Dong, G., ... & Li, J. Y. (2023). Dissolved biochar fractions and solid biochar particles inhibit nitrification-induced soil acidification via different

mechanisms. *Science of the Total Environment*, 874, 162529.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162529>

Shi, S., Wang, J., & Zhang, H. (2019). Long-term effects of biochar on soil acidity and crop productivity. *Agricultural Systems*, 173, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.03.003>

Stewart, WM (2001). Balanced Fertilization Increases Water Use Efficiency, News and Views, A regional newsletter published by the Potash and Phosphate Institute (PPI) and the Potash & Phosphate Institute of Canada (PPIC).

Sumner M, Noble A (2003) Handbook of soil acidity. In: Rengel Z (ed) Marcel Dekker, New York, pp 1–28

Sun, Y., Chen, Y., & Gao, Y. (2023). Variability in biochar efficacy for soil pH improvement under different climatic regions. *Environmental Research Letters*, 18(3), 035007.
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/acbac9>

Tan, K. H. (2011). *Principles of soil chemistry* (4th ed.). Boca Raton, FL: Taylor & Francis Group. Retrieved from <https://www.routledge.com/Principles-of-Soil-Chemistry/Tan/p/book/9781439813928>

Taylor, G. J., & Foy, C. D. (1985). Mechanisms of aluminum tolerance in higher plants. *Plant and Soil*, 85(1), 23–32.
<https://doi.org/10.1007/BF02197853>

Teutscherova, N., Rodrigo-Comino, J., & Cerdà, A. (2017). Persistence of biochar effects on soil chemical properties and plant growth. *Science of the Total Environment*, 599–600, 1130–1139.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.021>

Turner NC (2004). Agronomic options for improving rainfall-use efficiency of crops in dryland farming systems. *Journal of Experimental Botany*, 55(407), 2413–2425.
<https://doi.org/10.1093/jxb/erh154>

Ulrich, B., Mayer, R., & Khanna, P. K. (1980). Chemical changes due to acid precipitation in a loess-derived soil in central Europe. *Soil Science*, 130(4), 193–199. <https://doi.org/10.1097/00010694-198010000-00001>

Uwiringiyimana, E., Zhang, Q., & Zhang, H. (2024). Comparative study of biochar and alkali slag in acidic soil amelioration. *Soil and Tillage Research*, 236, 105468. <https://doi.org/10.1016/j.still.2023.105468>

Uygur, V. (2019). Zeolit ve Feldspatin Alternatif Kireçleme Materyali Olarak Değerlendirilmesi. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 14(2), 234-240.

Vassileva, M., Vassilev, N., & Azcon, R. (1997). Solubilization of rock phosphate by *Aspergillus niger* in an olive cake-based medium and its further application in the soil-plant system. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 14(2), 281–284. <https://doi.org/10.1023/A:1008858802855>

Wade, J., Li, C. Y., Vollbracht, K., Hooper, D. G., Wills, S. A., & Margenot, A. J. (2021). Predicted pH does not reflect pH optima for soil β -glucosidase and phosphomonoesterase. *Geoderma*, 401, 115312. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115312>

Withers, P. J. (1993). The effect of particle size on the agronomic effectiveness of agricultural liming materials. *Agricultural Outlook*, 22(3), 175–181.

Xu, R. K., Qafoku, N. P., & Cai, G. L. (2024). Advances in soil acidification research and sustainable management strategies. *Soil Science Annual Review*, 53(1), 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.sasc.2024.03.001>

Xu, Z., Zhang, S., Lakshmanan, P., Li, Y., Xu, D., & Zhu, Q. (2025). Mitigation of soil acidification is critical for reducing GHG emission and improving soil quality, crop yield and farm economic benefits:

Evidence from a global meta-analysis. *Field Crops Research*, 322, 109757. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2025.109757>

Yamamoto, Y. (2019). Aluminium toxicity in plant cells: Mechanisms of toxicity and tolerance. *Soil Science and Plant Nutrition*, 65(1), 19–32. <https://doi.org/10.1080/00380768.2018.1535396>

Zhang, G., Bai, J., Xi, M., Zhao, Q., Lu, Q., & Jia, J. (2016). Soil quality assessment of coastal wetlands in the Yellow River Delta of China based on the minimum data set. *Ecological Indicators*, 66, 458–466. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.01.046>

Zhang, S., Zhu, Q., de Vries, W., Ros, G. H., Chen, X., Muneer, M. A., Zhang, F., & Wu, L. (2023). Effects of soil amendments on soil acidity and crop yields in acidic soils: A global meta-analysis. *Journal of Environmental Management*, 345, 118531. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118531>

Zhang, Q., Luo, Y., & Wang, T. (2023b). Comparative evaluation of organic amendments on soil acidity mitigation. *Environmental Pollution*, 319, 120941. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120941>

Zhang, N., Xing, J., Wei, L., Liu, C., Zhao, W., Liu, Z., ... & Zhang, P. (2025). The potential of biochar to mitigate soil acidification: a global meta-analysis. *Biochar*, 7(1), 49. <https://doi.org/10.1007/s42773-025-00451-5>

Zhang, L., Zhao, Z., Jiang, B., Baoyin, B., Cui, Z., Wang, H., Li, Q., & Cui, J. (2024). Effects of Long-Term Application of Nitrogen Fertilizer on Soil Acidification and Biological Properties in China: A Meta-Analysis. *Microorganisms*, 12(8), 168310.3390/microorganisms12081683

Zheng, H., Wang, Z., Deng, X., & Shao, Y. (2022). Mechanisms of soil pH increase by biochar and related chemical interactions.

Chemosphere, 295, 133943.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133943>

Zhu, Y., Cao, X., & Ma, L. (2017). Alkalinity and base cation exchange in biochar-rich soils. *Geoderma*, 285, 157–164.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.09.026>

.

BÖLÜM 3

A Perennial Forage Legume with High Tolerance to Drought, Heat, Erratic Rainfall and Cold: Cicer Milkvetch (*Astragalus cicer* L.).

Hazım Serkan TENİKECİER¹

Ertan ATEŞ²

Introduction

If precautions are not increased and the current measures are not expanded and maintained, the process of global climate change will continue due to rising levels of carbon dioxide, methane, and nitrous oxide, which are the main greenhouse gases, along with temporary changes in future precipitation, temperature, and other climate factors. This will lead to more frequent heat waves and droughts, and more erratic precipitation.

¹ Assoc. Prof. Dr., Tekirdağ Namık Kemal University, Agriculture Faculty, Field Crops Department, Tekirdağ/Türkiye, Orcid: 0000-0002-1866-410X, hstenikecier@nku.edu.tr

² Assoc. Prof. Dr., Tekirdağ Namık Kemal University, Agriculture Faculty, Field Crops Department, Tekirdağ/Türkiye, Orcid: 0000-0002-3048-497X, Corresponding author: ertan_ates@hotmail.com

Areas within various soil-geographical regions of the Earth face drought conditions either consistently or intermittently, leading to significant agricultural losses. The total expanse of arid regions, receiving less than 250 mm of annual rainfall, spans over a third of the planet's surface (Kornievskaya, 2018). Due to global climate changing, the expansion of arid regions is inevitable. As a result of this global warming and the erratic climatic conditions it causes, difficulties in producing the roughage required by livestock are beginning to be experienced in various parts of the world. Particularly in regions where rainfall is erratic, prolonged hot and dry periods and temperature fluctuations are irregular, it will be difficult to obtain sufficient roughage. In such regions, legume species that require less water, can access water and nutrients deep in the soil, and have a taproot system along with rhizomes, become crucial.

Variations in temperature, rainfall amounts, and air composition may significantly influence the growth, plant diversity, and nutritional quality of both cultivated forage crops and meadow/pasture vegetations. The occurrence of ecophysiological changes in plants in response to heat stress is contingent upon the level of warming and the intensity of drought. Extreme climatic conditions cause tissue senescence of forage crops, significantly reducing the nutritional value of roughage. Moderate heat stress promotes precocious phenological advancement in plants, resulting in decreased cellular hydration alongside increased accumulation of osmotically water-soluble carbohydrates. Plant maturation increases the leaf/stem ratio and enhances cell wall deposition, particularly lignin, which impedes microbial degradation of structural polysaccharides by sterically hindering enzymatic access.

Cicer milkvetch or chickpea milkvetch (*Astragalus cicer* L.) is one of the long-lived perennial non-bloat legumes that should be

considered first, as it is very tolerant to drought and erratic rainfall, can persist in grasslands where alfalfa (*Medicago sativa* L.), bird's-foot trefoil (*Lotus corniculatus* L.) and clover (*Trifolium* sp.) disappear from the environment within 3-5 years, and is highly resistant to cold (Tekeli & Ateş, 2011).

Adaptation

Cicer milkvetch is a plant that demonstrates a high degree of adaptability with regard to climate and soil requirements. Although the species in question is known to prefer loamy, clayey-loamy and black soils with high organic matter, it has also been observed to thrive in a variety of other soil types. The best rhizome development is seen in medium and coarse textured soils. As with other species of astragalus, it exhibits a high degree of adaptability to arid environments. It has demonstrated a high degree of adaptability to semi-arid regions, with annual rainfall levels exceeding 380 mm. Furthermore, it exhibits notable resilience to cold weather conditions. It exhibits a higher degree of resistance to alkaline, acidic soils and cold than alfalfa, and is moderately salt tolerant. (Tekeli & Ateş, 2011). It tolerates slightly alkaline soils (pH 6.0-8.2).

Morphology

Cicer milkvetch, a resilient forage crop suitable for both irrigated and non-irrigated regions, is a long-lived perennial legume with a robust root system. Although the plant is typically rhizomatous, there are also forms that do not form rhizomes. The plant possesses a taproot that bifurcates, characteristic of its taxonomic classification. Cicer milkvetch has been observed to attain a diameter of 75 cm within a 12-month period when cultivated under optimal conditions (Tekeli & Ateş, 2011).

The fleshy stem is hollow on the inside. The stem, which develops upright during the early stages of growth, subsequently

exhibits a growth form ranging from semi-recumbent to recumbent in the later stages of growth. In optimal conditions, the stems can reach a maximum length of 120 centimetres. As Townsend (1970) asserts, the maximum length of the stem in the initial year of seedling growth is 67 cm, while Erdoğan (1999) reports a mean value of 86.9-116.6 cm for the subsequent year. When cultivated in conjunction with grasses, the plant exhibits an upright growth pattern.

The leaves (Figure 1) are characterised by their oppositely compound structure, typically comprising between 8 and 17 pairs of leaflets, plus one terminal leaflet. Leaflets range from 1-6 cm long.

Figure 1: Leaf of cicer milkvetch



Source: Stridvall & Stridvall, 2025

Upon close examination, the adaxial and abaxial surfaces (Figure 2 and 3) of cicer milkvetch leaflets are observed to be thin, relatively short, and densely covered with fine trichomes, giving them a hairy appearance. Leaf and leaflets loss during mowing and subsequent processing is less than with alfalfa.

Figure 2: Adaxial surface of leaflets



Source: Kameníček, 2009

Figure 3: Abaxial surface of leaflets



Source: Kameníček, 2009

The flowers are arranged in racemes borne on long peduncles emerging from the axils of the leaves. The color of the flowers on the raceme varies from pale yellow to white (Figures 4 and 5). Each raceme consists of 5 to 65 individual flowers. Open pollination plays a crucial role in seed set. Although pollination in natural populations is primarily carried out by wild bees, honeybees also function

effectively within cicer milkvetch populations and play a significant role in pollination. A fully blooming population of cicer milkvetch emits a pleasant fragrance that attracts bees.

Figure 4: Cicer milkvetch flower



Source: Lefnaer, 2017

Figure 5: Cicer milkvetch flowers on the raceme



Source: Schachner, 2012

Following fertilization, the pods swell and change color, ranging from greenish to reddish-green, eventually turning black as the seeds mature and the pod becomes leathery in texture (Figures 6 and 7). The pods are visually bilobed and indehiscent, meaning they do not split open at maturity, and seeds can remain viable in the pod until the following spring.

Figure 6: Pods on the raceme



Source: Schachner, 2012

Figure 7: Mature seed pods



Source: Mesa, 2024

Each pod contains between 1 and 15 seeds. Seed color ranges from bright yellow to pale green (Figure 8). The seeds are flattened and rounded, approximately twice the size of alfalfa seeds.

Figure 8: Cicer milkvetch seeds



Source: CSH, 2025

The thousand-seed weight averages around 3-4 grams. Seeds produced in the absence of pollinating insects tend to be smaller in size. The seeds possess a shiny and hard seed coat, indicating physical dormancy. Therefore, pre-sowing scarification treatments are necessary to overcome hardseededness and ensure adequate germination and stand establishment.

There is a wide range of cicer milkvetch forms exhibiting diverse phenological and morphological traits. These differences provide a valuable basis for plant breeding programs aimed at developing new cultivars. Traits such as days to seedling emergence, spring growth vigor, herbage color, presence of rhizomes, growth habit, flower count, seed-setting ability, days to seed maturity, seed size, and forage and seed yield show significant variation among individuals. These characteristics can be utilized in breeding strategies to improve or develop new cultivars.

Establishment and management

Cicer milkvetch is a leguminous plant characterized by a high percentage of hard seeds. These seeds are typically covered with a waxy coating that resists mechanical abrasion and is impermeable to both water and air. During harvesting and threshing, impact may cause some seed coats to crack or become perforated. However, such mechanical damage is usually insufficient to induce the permeability required for germination. Therefore, it is best to perform scarification or apply appropriate physical or chemical treatments to overcome seed dormancy prior to sowing.

Scarification can be carried out at any time up to six months before planting. Mechanical disruption of the seed coat is feasible, but care must be taken to avoid damaging the embryo. Unlike alfalfa, sainfoin (*Onobrychis sativa* L.), and other legumes, cicer milkvetch does not require a unique strain of *Rhizobium* bacteria. Prior to sowing, seeds should be inoculated with a suitable *Astragalus*-compatible rhizobial strain.

Due to its weak seedling vigor and poor emergence, stand establishment in chickpea milk vetch is more challenging and demands greater care compared to alfalfa. Optimal germination rate and vigor are achieved at temperatures between 15-25 °C (Townsend, 1977). Temperature regimes significantly influence leaf area development, and the biomass of cotyledons, primary and upper leaves, stems, and roots. They also affect seedling height, stem dry weight, and overall seedling dry biomass. Seed weight is positively and linearly correlated with seedling biomass, as well as the area and weight of the first leaves (Townsend & Wilson, 1981).

The optimal sowing time is in the spring, with a sowing depth of 1.5-2.0 cm; depth should not exceed 2 cm. Intercropping practices used with other forage legumes should not be applied to cicer milkvetch. In soils rich in organic matter, the row spacing should be

15-20 cm, and the seeding rate should be 10-14 kg ha⁻¹. In clayey brown soils, row spacing should be 30-45 cm with a seeding rate of 6–10 kg ha⁻¹. For seed production purposes, row spacing should be increased to 60-90 cm, and the seeding rate reduced to 2.8-6.5 kg ha⁻¹.

Seedling development in chickpea milk vetch is slower than in alfalfa. Plant growth typically begins about three weeks after spring emergence, continues throughout the summer, and remains green well into the autumn. In the year of establishment, approximately 34-44% of plants may not flower, whereas in the second year, this percentage drops to 5-7% (Townsend, 1980). A limited amount of forage may be harvested in the establishment year.

Fertilizer requirements should be determined based on soil analysis. If the soil is deficient in phosphorus, 30-50 kg ha⁻¹ of phosphorus should be applied during seedbed preparation. This improves seedling vigor and establishment. Nitrogen fertilizer should not be applied at sowing, as it promotes weed growth. In mature stands, annual phosphorus requirements may reach 70-80 kg ha⁻¹ or more, depending on site conditions. In chickpea milk vetch–grass mixtures, nitrogen fertilization has been shown to yield positive results.

Utilization

Cicer milkvetch is a valuable forage legume known for its winter hardiness and its ability to produce non-bloating forage for livestock. Its forage quality is comparable to that of alfalfa, and it retains its green color and nutritive value longer than alfalfa. Therefore, in regions experiencing a shortage of high-quality forage, chickpea milk vetch can meet the nutritional demands of ruminant livestock during the autumn season. Under irrigated conditions, its yield reaches approximately 80% of that of alfalfa, mainly due to its slow emergence in spring and reduced regrowth capacity following

harvest (Townsend, 1981a). In early-season harvests, alfalfa outperforms chickpea milk vetch in yield. However, as the season progresses, especially in late-season harvests, chickpea milk vetch yields become comparable to, or may even exceed, those of alfalfa. Additionally, as alfalfa matures, its leaf-to-stem ratio and dry matter digestibility decline. In contrast, chickpea milk vetch exhibits the opposite trend (Loeppky et al., 1996). Cicer milkvetch does not cause bloat in livestock and does not lead to selenium accumulation in tissues. In digestibility studies comparing it with alfalfa, some parameters were found to be superior in chickpea milk vetch. The total digestibility of dry matter in chickpea milk vetch shows only minor fluctuations across growth stages (pre-flowering, 25% flowering, seed maturation, and post-autumn frost), indicating that the plant maintains high forage value even in late autumn.

The optimal harvest time for hay production is approximately 30 days after 10% flowering, when the plant has reached around 75% dry matter content (Townsend & McGinnies, 1973; White & Wight, 1980). Depending on growing conditions, 2 to 3 harvests per year are possible. In areas where two harvests are conducted, the annual dry matter yield is approximately 20% lower than that of alfalfa; in areas with three harvests, it is about 40% lower (Twidwell & Kephart, 2002). The dry matter yield of cicer milkvetch ranges between 8.364 and 13.112 t ha⁻¹ (Bakır et al., 1986).

In a study by Yaşar (1997) investigating the impact of different phenological stages on forage yield, the intervals between successive phenological stages ranged from 57 to 69 days. According to Erdoğan (1999), fresh stem yields at three different harvest stages—bud formation, 10% flowering, and full flowering—were recorded as 23.307 t ha⁻¹, 23.389 t ha⁻¹, and 22.284 t ha⁻¹, respectively. Corresponding fresh leaf yields were 25.103 kg/da, 22.613 t ha⁻¹, and 20.152 t ha⁻¹. In the same study, dry matter and

crude protein yields were also evaluated. The dry matter yields for the three harvest stages were 3.826 t ha⁻¹, 3.940 t ha⁻¹, and 4.573 t ha⁻¹, while crude protein yields were 545.8 kg ha⁻¹, 625.1 kg ha⁻¹, and 619.7 kg ha⁻¹, respectively.

Seed production

Flowering plays a critical role in maximizing seed yield. The highest levels of flowering and the greatest number of flowers per raceme occur when the photoperiod is between 15 and 16 hours (Townsend, 1981b). When day length falls below 15 hours, both the number of racemes per plant and the overall flowering intensity decrease significantly (Townsend, 1993).

Cicer milkvetch is an outcrossing species, making insect pollinators—particularly wild bees and honeybees—essential for effective pollination and seed set.

Harvest should be performed using a sickle or similar implement once the seeds have reached physiological maturity, and plants should then be left to dry naturally. If harvest is delayed by several days or more, there is a risk of some seed loss due to shattering. The pods become leathery, particularly under humid conditions. Therefore, prior to threshing, it is important to allow the pods to become sufficiently brittle to ensure efficient seed release. Typical seed yields range from 500 to 800 kg ha⁻¹.

References

- Bakır, Ö., Özkaynak, İ. & Eraç, A. (1986). Nohut geveni (*Astragalus cicer* L.) elitlerinin bazı tarımsal karakterleri üzerinde araştırmalar. A.Ü. Ziraat Fak. Yıllığı 37: 79-93.
- CSH. (2025). Chesak Seed House. (Available 17 June 2025, <https://chesakseedhouse.com/product/cicer-milkvetch/>).
- Erdoğan, İ. (1999). *Nohut geveni (Astragalus cicer L.) toprak üstü organlarının farklı biçim zamanlarındaki yem değerleri*. A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı (Yüksek Lisans Tezi), Ankara.
- Kameníček, J. (2009). *Astragalus cicer* L. - Chick-pea Milk-vetch. (Available 10 January 2025, <https://www.biolib.cz/en/taxon/id39919/>).
- Kornievskaya, T. (2018). Drought resistance of *Astragalus cicer* and *A. sulcatus* at the initial stages of plants development. *Prospects of Development and Challenges of Modern Botany, BIO Web of Conferences 11*, 00025. DOI: <https://doi.org/10.1051/bioconf/20181100025>
- Lefnaer, S. (2017). *Astragalus cicer*. (Available 11 May 2025, <https://flora.lefnaer.com/cgi-bin/photosearch.pl?name=ALL>).
- Loeppky, H. A., Bittman, S., Hiltr, M. R. & Frick, B. (1996). Seasonal changes in yield and nutritional quality of cicer milkvetch and alfalfa in Northeastern Saskatchewan. *Canadian J. Plant Sci.*, 76, 441-446.
- Mesa, T. (2024). *Astragalus cicer* (Chickpea Milkvetch) Fabaceae (Pea Family). (Available 13 June 2025, (Available 10 June 2025,

<https://www.swcoloradowildflowers.com/White%20Enlarged%20Photo%20Pages/astragalus%20cicer.htm>).

Schachner, H. (2012). *Astragalus cicer* (Kicher-Tragant) IMG 7414.JPG. (Available 13 June 2025, [https://commons.wikimedia.org/wiki/Astragalus_cicer?uselang=tr#/media/File:Astragalus_cicer_\(Kicher-Tragant\)_IMG_7414.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/Astragalus_cicer?uselang=tr#/media/File:Astragalus_cicer_(Kicher-Tragant)_IMG_7414.JPG)).

Stridvall, L. & Stridvall, A. (2025). Welcome to our Botanical Site! (Available 08 May 2025, http://www.stridvall.se/flowers/gallery/Fabaceae_1/661_24)

Tekeli, A.S. & Ateş, E. (2011). *Forage Legumes (Revised 2nd Edition)*. Sevil Grafik Tasarım ve Cilt Evi, Tekirdağ, Türkiye.

Townsend, C.E. (1970). Phenotypic Diversity of Agronomic Characters in *Astragalus cicer* L. *Crop Sci.*, 10, 691-692.

Townsend, C.E. (1977). Germination of polycross seed of cicer milkvetch as affected by year of production. *Crop Sci.*, 17, 909-912.

Townsend, C.E. (1980). Flowering characteristics of cicer milkvetch clones and their polycross progenies. *Crop Sci.*, 20, 479-483.

Townsend, C.E. (1981a). Breeding cicer milkvetch for improved forage yield. *Crop Sci.*, 21, 363-366.

Townsend, C.E. (1981b). Vernalization and photoperiod requirements for maximum flowering of cicer milkvetch. *Crop Sci.*, 21, 917-921.

Townsend, C.E. (1985). Miscellaneous perennial clovers. In Taylor, N.L. (ed.) *Clover science and technology*. ASA, CSSA, SSSA, Madison, Wisconsin, USA.

- Townsend, C.E. (1993). Photoperiod-induced dormancy in cicer milkvetch. *Agron. J.*, 85, 1146–1150.
- Townsend, C.E. & McGinnies, W.J. (1972). Temperature requirements for seed germination of several forage legumes. *Agron. J.*, 64, 809-812.
- Townsend, C.E. & McGinnies, W.J. (1973). Factors influencing vegetative growth and flowering in *Astragalus cicer*. *Crop Sci.*, 13, 262-264.
- Townsend, C.E. & Wilson, A.M. (1981). Seedling growth of cicer milkvetch as affected by seed weight and temperature regime. *Crop Sci.*, 21, 405–409.
- Twidwell, E.K. & Kephart, K.D. (2002). Forage potential of cicer milkvetch. SDSU Cooperative Extension Service, Extension Extra, Ex Ex 8057, F&F, 1.4–5.2.
- White, L. & Wight, J. (1980). Optimal time to harvest 9 forages for maximum livestock weight gains per hectare. In: *Society for Range Management, 33rd Annual Meeting*, San Diego, California, USA.
- Yaşar, M. (1997). Farklı fenolojik devrelerde biçimin nohut geveni (*Astragalus cicer* L.) nin yem verimine etkileri üzerinde araştırmalar. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

TARLA BİTKİLERİNDE VE DİĞER TARIMSAL KONULARDA SÜRDÜRÜLEBİLİR UYGULAMALAR: I

