

TARIM VE HAYVANCILIKLA İLGİLİ YENİLİKÇİ ÇALIŞMALAR VE SÜRDÜRÜLEBİLİR ÇÖZÜMLER

Editör: Prof. Dr. Çiğdem TAKMA



Prof. Dr. Çiğdem TAKMA

Prof. Dr. Yakut GEVREKÇİ

Prof. Dr. Turgay TAŞKIN

Prof. Dr. Nedim KOŞUM

Prof. Dr. Hülya ATIL

Doç. Dr. Çağrı KANDEMİR

Doç. Dr. Funda ERDOĞAN ATAÇ

Doç. Dr. Serdar KAMANLI

Dr. Öğr. Üyesi Selçuk USTA

Ziraat Yüksek Mühendisi Halime ÖZTÜRK

Ziraat Yüksek Mühendisi Mehmet Ali EMİNOĞLU

ISBN: 978-625-6181-90-8

Ankara -2025

TARIM VE HAYVANCILIKLA İLGİLİ YENİLİKÇİ ÇALIŞMALAR VE SÜRDÜRÜLEBİLİR ÇÖZÜMLER

EDİTÖR

Prof. Dr. Çiğdem TAKMA
ORCID ID:0000-0001-8561-8333

YAZARLAR

Prof. Dr. Çiğdem TAKMA¹

Prof. Dr. Yakut GEVREKÇİ²

Prof. Dr. Turgay TAŞKIN³

Prof. Dr. Nedim KOŞUM⁴

Prof. Dr. Hülya ATIL⁵

Doç. Dr. Çağrı KANDEMİR⁶

Doç. Dr. Funda ERDOĞAN ATAÇ⁷

Doç. Dr. Serdar KAMANLI⁸

Dr. Öğr. Üyesi Selçuk USTA⁹

Ziraat Yüksek Mühendisi Halime ÖZTÜRK¹⁰

Ziraat Yüksek Mühendisi Mehmet Ali EMİNOĞLU¹¹

¹Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, İzmir, Türkiye,
cigdem.takma@ege.edu.tr
ORCID ID: 0000-0001-8561-8333

²Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, İzmir, Türkiye,
yakut.gevrekci@ege.edu.tr
ORCID ID: 0000-0002-4915-2238

³Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, İzmir, Türkiye,
turgay.taskin@ege.edu.tr
ORCID ID: 0000-0001-8528-9760

⁴Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, İzmir, Türkiye,
nedim.kosum@ege.edu.tr
ORCID ID: 0000-0002-8253-5337

⁵Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, İzmir, Türkiye,
hulya.atil@ege.edu.tr
ORCID ID:0000-0002-6839-9404

⁶Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, İzmir, Türkiye,
cagri.kandemir@ege.edu.tr
ORCID ID: 0000-0001-7378-6962

⁷Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, İzmir, Türkiye,
funda.erdogan.atac@ege.edu.tr
ORCID ID: 0000-0002-6681-212X

⁸Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü,
Kırşehir, Türkiye, serdar.kamanli@hievrn.edu.tr
ORCID No: 0000-0003-1936-7550

⁹Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van Meslek Yüksekokulu, İnşaat
Bölümü, Van, Türkiye, susta@yyu.edu.tr
ORCID ID: 0000-0001-8970-7333

¹⁰Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki
Besleme Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye, hlmotr92@gmail.com
ORCID ID: 0000-0002-9251-1750

¹¹Adnan Menderes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve
Bitki Besleme Bölümü, Aydın, Türkiye, eminoglumali@gmail.com
ORCID ID: 0000-0002-8752-5736

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14810670>



Copyright © 2025 by UBAK publishing house
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, distributed or
transmitted in any form or by
any means, including photocopying, recording or other electronic or mechanical
methods, without the prior written permission of the publisher, except in the case of
brief quotations embodied in critical reviews and certain other noncommercial uses
permitted by copyright law. UBAK International Academy of Sciences Association
Publishing House®
(The Licence Number of Publicator: 2018/42945)

E mail: ubakyayinevi@gmail.com

www.ubakyayinevi.org

It is responsibility of the author to abide by the publishing ethics rules.

UBAK Publishing House – 2025©

ISBN: 978-625-6181-90-8

February / 2025

Ankara / Turkey

ÖNSÖZ

Tarım ve hayvancılık, yalnızca insanlığın temel gıda ihtiyacını karşılayan bir sektör olmakla kalmayıp, aynı zamanda ekonomik kalkınma, çevresel sürdürülebilirlik ve toplumsal refah için de kritik bir öneme sahiptir. Hızla değişen küresel koşullar, artan nüfus ve iklim değişikliği gibi faktörler, bu sektörlerin verimli ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesini gerektirmektedir. Elinizdeki bu eser, tarım ve hayvancılık alanında yürütülen güncel araştırmaları ve uygulamaları kapsayan, disiplinler arası bir yaklaşımı benimseyerek hazırlanmıştır.

Kitap, tarımın farklı boyutlarını ele alan altı bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde, tarımsal üretimde temel bir element olan fosforun mevcut durumu ve gelecekteki kullanımına ilişkin perspektifler bilimsel bir çerçevede incelenmiştir. İkinci bölümde ise toprak sağlığını tehdit eden unsurlar, bu sorunların ekosistem üzerindeki etkileri ve çözüm odaklı yaklaşımlar ele alınmıştır.

Hayvancılık sektörü, kitabın üçüncü bölümünde ayrıntılı bir şekilde ele alınmış ve etçi ve yumurtacı damızlık tavuklarda horoz yönetiminin verimlilik üzerindeki etkileri incelenmiştir. Dördüncü bölüm, Doğu Anadolu Bölgesi'nin spesifik iklim koşullarını dikkate alarak FAO-56 Penman & Monteith eşitliği kullanımıyla referans çim bitkisinin su tüketimi ve sulama ihtiyacını belirleme çalışmalarına yer vermektedir. Son olarak, beşinci bölümde laktasyon eğrisi ve yapay sinir ağı modellerinin Saanen keçilerinde laktasyon süt verimi üzerindeki uyumu karşılaştırılarak, bu tür yenilikçi yöntemlerin sektöre nasıl katkı sağlayabileceği vurgulanmıştır.

Bu kitabın hazırlanma sürecinde, alanında uzman birçok araştırmacının katkıları ve titiz çalışmaları büyük bir rol oynamıştır. Her bir bölüm, özgün bilimsel bulgulara dayalı olarak hazırlanmış olup hem akademik çevrelerde hem de uygulamalı alanlarda çalışan profesyoneller için bir kaynak olmayı hedeflemektedir. Ayrıca, bu eser, tarım ve hayvancılık alanlarında çalışan bilim insanları, uygulayıcılar ve öğrenciler için bir başvuru kaynağı olmayı amaçlamaktadır. Alanın geleceğini şekillendirecek yenilikçi yaklaşımlara ilham vermesi dileğiyle...

Prof. Dr. Çiğdem TAKMA

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	viii
BÖLÜM 1. Tarımda Fosfor, Durum ve Perspektifler (Halime ÖZTÜRK, Mehmet Ali EMİNOĞLU).....	(1-19)
BÖLÜM 2. Toprak Sağlığını Tehdit Eden Unsurlar ve Çözüm Arayışları (Mehmet Ali EMİNOĞLU, Halime ÖZTÜRK)	(20-59)
BÖLÜM 3. Etçi ve Yumurtacı Damızlık Tavuklarda Horoz Yönetimi (Serdar KAMANLI).....	(60-81)
BÖLÜM 4. FAO-56 Penman & Monteith Eşitliği Kullanılarak Doğu Anadolu Bölgesi Koşullarında Referans Çim Bitkisinin Su Tüketimi ve Sulama Suyu İhtiyacının Belirlenmesi (Selçuk USTA).....	(82-109)
BÖLÜM 5. Laktasyon Eğrisi ve Yapay Sinir Ağı Modellerinin Saanen Keçilerinde Laktasyon Süt Verimine Uyumlarının Karşılaştırılması (Çiğdem TAKMA, Yakut GEVREKÇİ, Turgay TAŞKIN, Çağrı KANDEMİR, Funda ERDOĞAN ATAÇ, Nedim KOŞUM, Hülya ATIL).....	(110-139)

BÖLÜM 1

TARIMDA FOSFOR, DURUM VE PERSPEKTİFLER

Ziraat Yüksek Mühendisi Halime ÖZTÜRK

Ziraat Yüksek Mühendisi Mehmet Ali EMİNOĞLU

GİRİŞ

Küresel gıda talebindeki artış, inorganik fosfor (Pi) gübre tüketiminin 1961 yılından 2020 yılına kadar yaklaşık beş kat artarak 5,0 Tg'den 25 Tg'ye ulaşmasına neden olmuştur (Bindraban vd., 2020; FAOSTAT, 2016). Bu büyüme trendinin, dünya nüfusunun artması ve tarımsal üretimin yoğunlaşmasıyla 2050 yılına kadar 27 Tg'ye ulaşması beklenmektedir (Mogollón vd., 2018; Zou vd.,2022). Ancak, bu artış, fosforun büyük ölçüde yenilenemez jeolojik yatlardan sağlanması nedeniyle sürdürülebilir bir tehdit oluşturmaktadır (Smil, 2000; Elser ve Bennett, 2011; Riskin vd., 2013). Araştırmalar, mevcut fosfor (P) yataklarının tüketim hızına bağlı olarak 50 ila 400 yıl içinde tükenebileceğini öngörmektedir (Cordell vd., 2009; Van Kauwenbergh, 2010;.US Geological Survey, 2019). Bu durum, özellikle fosfor kaynaklarına bağımlı ülkelerde, tarımsal üretimin sürdürülebilirliği üzerinde ciddi etkiler yaratabilir.

Fosforun tarımsal uygulamalarda düşük kullanım etkinliği hem ekonomik kayıplara hem de çevresel sorunlara neden olmaktadır. Uygulanan fosfor gübrelerinin yalnızca %15'inden azı bitkiler tarafından alınabilirken, geri kalanı toprakta birikmekte veya su kaynaklarına taşınmaktadır. Bu süreç, özellikle yüzey sularında alglerin

aşırı çoğalmasıyla karakterize edilen ötrofikasyon gibi çevresel problemlere yol açmaktadır. Ötrofikasyon, sucul ekosistemlerin biyolojik dengesini bozarak ekolojik, ekonomik ve sağlık açısından ciddi zararlar oluşturur. Bu nedenle, fosfor kullanım etkinliğini artırmak ve çevresel etkileri en aza indirmek hem gıda güvenliği hem de ekosistem sağlığı açısından kritik öneme sahiptir.

Fosfor arz-talep dengesizliğinin ve çevresel etkilerinin yönetimi, yenilikçi tarımsal stratejilerle mümkün olabilir. Bu bağlamda, fosfor döngüsünün detaylı bir şekilde anlaşılması ve fosforun etkin kullanımını sağlayacak teknolojilerin geliştirilmesi gerekmektedir. Hassas tarım uygulamaları, gübre kullanımını optimize ederek bitkisel verimliliği artırabilir. Ayrıca, atık su arıtma sistemlerinden fosfor geri kazanımı ve organik fosfor kaynaklarının kullanımı, mevcut kaynakların korunmasına katkıda bulunabilir. Uzun vadede, fosforun sürdürülebilir yönetimi, hem bilimsel araştırmalar hem de etkili politika düzenlemeleri ile desteklenmelidir. Bu, yalnızca mevcut kaynakların verimli kullanılmasını sağlamakla kalmayıp, gelecekteki fosfor krizlerinin önlenmesine de olanak tanıyacaktır.

Topraklarda Fosfor

P gübresi toprağa uygulandığında, ilk önce toprağın dayanıksız P_i 'sine girer ve böylece onu artırır; bu da üç önemli kadere sahiptir. Bir kısmı bitki alımıyla tükenebilir (yani, bitkiler tarafından alınan P_i gübresinin yüzdesi, bundan sonra "P Alımı" olarak anılacaktır) ve bitki biyokütlesine tahsis edilebilir; bu da bitki yaşlanmasından sonra artık P 'sine dönüştürülebilir (Riskin vd., 2013). İkinci kısım, akış ve yıkama

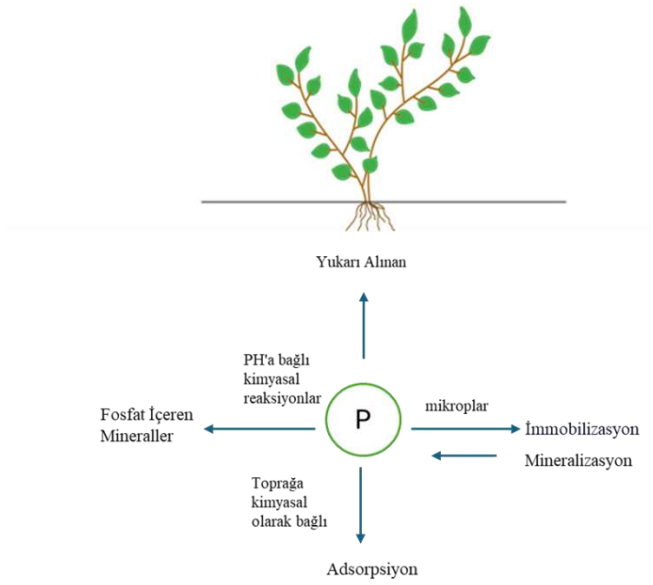
yoluyla ekosistemden kaybolabilir (yani, kaybolan Pi gübresinin yüzdesi, bundan sonra " Kayıp P " olarak anılacaktır) (Alewell vd., 2020). Üçüncü kısmı toprakta depolanabilir (yani, toprakta depolanan Pi gübresinin yüzdesi, bundan sonra " Depolanan P " olarak anılacaktır), ya Pi olarak ya da mikrobiyal hareketsizleştirme ve artık girişi yoluyla toprak organik P'sine (Po) dönüştürülür. Önceki çalışmalar, Pi gübresinin kaderinin, bölgelere, ekosistemlere, iklim koşullarına, gübreleme rejimlerine ve toprak özelliklerine göre büyük ölçüde değiştiğini göstermiştir (Riskin vd., 2013; Yu vd., 2021; MacDonald vd., 2011; Li vd., 2015; Nagel vd., 2009). Örneğin, Pi gübresinden sonra bitki üretimindeki artışlar, tarımsal olmayan ekosistemlerde tarımsal ekosistemlere göre daha yüksek olmuştur ve bu durum potansiyel olarak bitkiler tarafından alınan Pi gübresi miktarını etkilemektedir (Yu vd., 2021). Yağış ve sıcaklık, sadece su alımını ve fotosentezi değiştirerek bitki P alımını etkilemekle kalmayıp (Yu vd., 2021; Nagel vd., 2009) aynı zamanda toprakta depolanan ve doğrudan toprak emilimini ve desorpsiyonunu artırarak ve toprak-P yıkanmasını veya akışını hızlandırarak kaybedilen Pi gübresinin dinamiklerini de etkileyebilir (Hou vd., 2018).

Başlangıçtaki toprak-P bulunabilirliği zaten yüksek olduğunda, bitkiler artık gübre olarak verilen ekstra P'ye ihtiyaç duymadıkları için Pi gübresini almada daha az verimlidirler (Riskin vd., 2013). Gübre rejimleri (P ekleme miktarı, deneysel süre ve gübre tipleri) toprak-P bulunabilirliğini doğrudan etkiler ve potansiyel olarak Pi gübresinin kaderini etkiler (Wang vd., 2023).

Mikroorganizmalar, özellikle mantar topluluğu, bitki büyümesi için birincil minerallerden P'yi kararsız Pi'ye harekete geçirerek, toprak mikrobiyal aktivitelerini artırarak (örneğin, mikrobiyal biyokütle P [MBP] ve toprak mikrobiyal biyokütlesindeki toprak mantar biyokütlesinin oranı [bundan sonra "toprak mantarlarının oranı" olarak anılacaktır]) bitkiler tarafından P gübresinin alımını etkiler (Elhaissofi vd., 2022).

Daha yüksek mikrobiyal aktivite ve alüminyum (Al) ve demir (Fe) oksitlerle daha düşük adsorpsiyon ve kalsiyum (Ca) ile daha düşük çökeltme, asidik (pH <6) veya bazik (pH >7) topraklara kıyasla neredeyse nötr topraklarda (toprak pH'ı 6-7) daha yüksek toprak P bulunabilirliğine katkıda bulunacaktır (Yu vd., 2021).

Toprak mineral yoğunluklarına (yani kum) ve toprak organik madde içeriğine bağlı olan toprak hacim yoğunluğu, P adsorpsiyonunda önemli bir rol oynar (Sims vd., 1998). Yüksek hacim yoğunluğuna sahip topraklar, toprak kum parçacıklarının düşük adsorpsiyonu ile yağış kaynaklı P kaybı riskinin artması nedeniyle akış ve sızıntı yoluyla kullanılabilir P kaybı açısından daha büyük bir risk oluşturur (Sims vd., 1998). Buna göre, toprak ve iklim faktörleri karasal ekosistemlerde Pi gübre kaderini belirlemede önemli roller oynar.



Şekil 1. Toplam Fosfor Mevcudiyeti (Waikato Üniversitesi,2013)

Bitkilerde Fosfor

Toprakta bulunan fosforun ana kaynağı genellikle apatit mineralidir. Apatit, florapatit veya hidroksiapatit formunda bulunabilir. Fosfor, kuvarsitler, fillitler ve mikaşitler gibi kristalin şistlerin yapısında düşük miktarda bulunurken, bazalt ve benzeri bazik magmatik kayalarda daha yüksek miktarlarda bulunur. Kayaçların ve minerallerin parçalanması sonucunda açığa çıkan fosfor, bitkiler tarafından kullanılabilir hale gelir. Bunun yanı sıra, organik maddelerin yapısında bulunan fosfor da toprakta organik fosfor bileşikleri olarak bulunur (Çepel, 1996; Aktaş ve Ateş, 1998; Kantarcı, 2000).

Bitkiler, enerji taşıyıcı moleküller (örneğin ATP), şekerler ve nükleik asitlerin sentezi için fosfora ihtiyaç duyar. Bu bağlamda ATP, enerji transferinde hayati bir rol oynar. Ayrıca DNA'nın oluşumu için fosfor

kritik bir bileşendir ve bu nedenle genetik özelliklerin aktarılmasında önemlidir. Fosfor; hücre bölünmesi, çiçeklenme ve meyve oluşumu süreçlerinde önemli bir görev üstlenir. Bitkilerin olgunlaşmasını hızlandırmasının yanı sıra potasyum alımını kolaylaştırır ve bitkilerin hastalık ile zararlılara karşı direncini artırır. Ayrıca köklerin su alımını düzenleyerek suyun daha etkili kullanılmasına katkı sağlar (Foth, 1984; Plaster, 1992; Aktaş ve Ateş, 1998; Boşgelmez vd., 2001; McCauley vd., 2009).

Fosfor Noksanlığı ve Fazlalığı

Fosfor eksikliği, özellikle genç bitkilerde ve fosfora yüksek ihtiyaç duyulan gelişim evrelerinde, yaşlı bitkilere göre daha erken fark edilir. Soğuk ve ıslak toprak koşullarında, özellikle vejetasyon döneminin başlarında fosfor yetersizliği sıklıkla görülür (McCauley vd., 2009). Fosfor eksikliği durumunda, bitkilerin generatif organları (örneğin çiçek, meyve ve tohum) zarar görür. Bu durum, büyüme gerilemesine, meyve ağaçlarında sürgün ve tomurcuk oluşumunun azalmasına yol açar. Yapraklar normalden daha koyu yeşil bir renk alırken, kök gelişimi zayıflar ve bitki don olaylarına veya hastalıklara karşı daha hassas hale gelir (Foth, 1984; Plaster, 1992; Aktaş ve Ateş, 1998; Boşgelmez vd., 2001).

Fosfor fazlalığı ise bitkilere genellikle dolaylı yoldan etki eder. Topraktaki fosfat iyonları sıkıca bağlandığından, bitkiler için erişimi zorlaşır ve bu nedenle fosfor fazlalığı nadiren görülür. Ancak fosforun aşırı birikimi, çinko ve demir gibi mikro besin elementlerinin eksikliğine yol açabilir. Bunun yanı sıra, kalsiyum, bor, bakır ve

mangan gibi diğerk besin elementlerinin yetersizliği de meydana gelebilir (Aktaş ve Ateş, 1998).

Fosfor Kullanım Verimliliği (PUE)

Zhang vd. (2015) tarafından bitkisel üretim sistemi için tanımlanan 'azot kullanım verimliliği'ne benzer şekilde, bir tarımsal üretim sistemindeki fosfor kullanım verimliliği (PUE), 'belirli bir dönemde tarımsal ürünlerdeki hasat edilen P kütlesinin (P verimi) bu sistemdeki toplam P girdilerinin kütlesine boyutsuz oranı' olarak tanımlanabilir (Zhang vd., 2020). Chen ve Graedel'e (2016) göre, bitkisel üretimdeki PUE, 'toplam P girdisinin faydalı bitki ihracatına (örn. hasat edilen ürünler) dönüşüm oranı' anlamına gelirken, hayvan/çiftlik hayvancılığındaki PUE, 'toplam P girdisinin faydalı hayvan/çiftlik ürünlerine (örn. süt ve et) dönüşüm oranı' anlamına gelir. Bu nedenle, bitkisel üretim ve hayvancılık üretim sistemlerindeki PUE, tarımsal üretim sisteminde P yönetiminin durumunu ve gıda güvenliği ile çevre koruma üzerindeki etkilerini ölçmek için önemli bir göstergedir.

Düşük fosfor kullanım etkinliği (PUE), ürün büyümesini sınırlayan asidik toprakların başlıca sorunlarından biridir. Qaswar vd., 2020'de yaptıkları çalışmada; buğday-mısır rotasyon sisteminde asidik toprakta uzun süreli gübre ve kireç (CaO) uygulamasına ürün verimi ve PUE'nin tepkisini araştırmıştır.

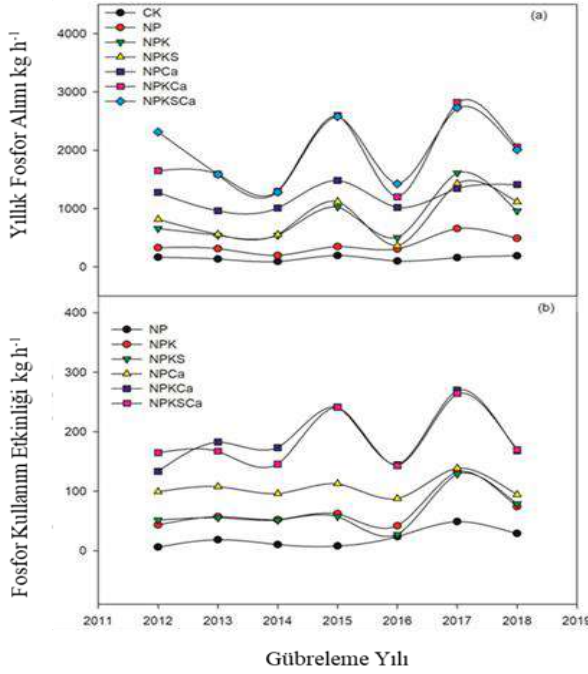
Sonuçlar, kireç uygulaması olmayan gübrenin, 2012-2018 döneminde kireç uygulamalı gübreyle kıyasla toprak pH'ını ve ürün verimini önemli ölçüde ($p \leq 0,05$) azalttığını göstermiştir. Yıllara göre

ortalamada, CK uygulamasına göre buğday tane verimi NP, NPK, NPKS, NPCa, NPKCa ve NPKSCa uygulamaları altında sırasıyla %138, %213, %198, %547, %688 ve %626 oranında artarken, mısır verimi ise sırasıyla %687, %1887, %1651, %2605, %5047 ve %5077 oranında artmıştır. Kireç uygulaması toprakta değiştirilebilir baz katyonlarını (Ca^{2+} ve Mg^{2+}) önemli ölçüde artırmış ve Al^{3+} katyonunu azaltmıştır.

NP uygulamasına göre fosfor kullanım etkinliği (PUE) NPK, NPKS, NPCa, NPKCa ve NPKSCa uygulamaları altında sırasıyla %220, %212, %409, %807 ve %795 oranında artmıştır. Toprak pH'ı, değiştirilebilir Al^{3+} ve toprak toplam N ile önemli negatif ilişki göstermiştir.

Toprak pH'ı, değiştirilebilir Ca^{2+} , PUE ve yıllık ürün verimi ile önemli ($p \leq 0,05$) pozitif ilişki göstermiştir. PUE, toprak değiştirilebilir Al^{3+} ile oldukça negatif korelasyona sahiptir. Ek olarak, toprak değiştirilebilir Ca^{2+} , pH, değiştirilebilir Al^{3+} ve kullanılabilir N, ürün verimini en çok etkileyen faktörler arasına girmiştir.

Bu nedenle, kireç uygulamasının, toprak asitlenmesini hafifletmek ve değiştirilebilir baz katyonlarını artırarak ve asidik katyonları azaltarak asidik toprakta yüksek ürün verimi için PUE'yi artırmak için etkili bir strateji olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 2. Buğday-mısır ekim sisteminde asidik toprakta uzun vadeli gübreleme ve kireçleme altında fosfor alımı (a) ve fosfor kullanım verimliliği (b).

Uygulamalar, CK (gübreleme yok), NP (inorganik azot ve P gübrelemesi), NPK (inorganik N, P ve potasyum gübrelemesi), NPKS (NPK + saman dönüşü), NPCa (NP + kireç), NPKCa (NPK + kireç) ve NPKSCa'yı (NPKS + kireç) içermektedir.

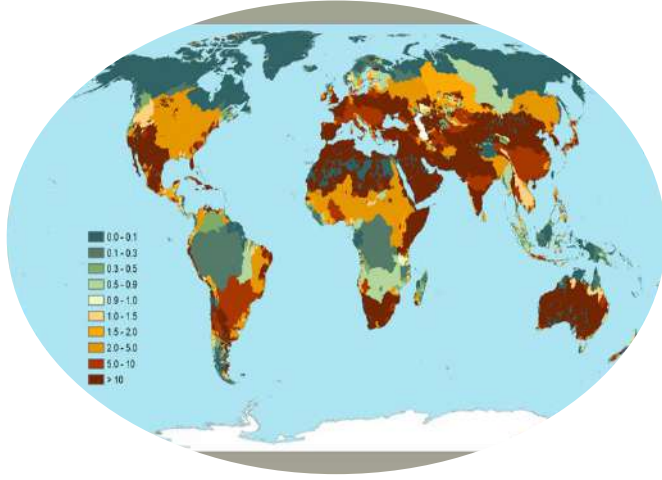
Değerler ortalamalardır (n=3). NPCa, NPKCa ve NPKSCa uygulamaları sırasıyla 20,7 kg kg⁻¹, 66,2 kg kg⁻¹, 64,4 kg⁻¹, 105,1 kg⁻¹, 187,6 kg⁻¹ ve 185,0 kg⁻¹ idi.

Fosforun Çevresel Etkileri

Fosfor, bitki besleme açısından azot ve potasyum ile birlikte en önemli makro besin maddelerinden biridir. Toprakların toplam fosfor içeriği yüksek olmasına rağmen, bitkilerin doğrudan alabileceği formdaki fosfor miktarı oldukça sınırlıdır. Toprakta bulunan fosforun büyük bir kısmı, adsorpsiyon, çökeltme veya organik bileşikler oluşturma yoluyla bitkilerin kullanamayacağı forma dönüşmektedir. Bu kayıp oranının %80-85 civarında olduğu belirtilmiştir (Schachtman vd., 1998; Abel vd., 2002; Korkmaz ve ark., 2004; İbriki ve ark., 2005). Toprağa uygulanan fosforlu gübrelerin özellikle iç sularda nitratla birlikte neden olduğu ötrofikasyon sorunu kapalı su havzalarında büyük bir kirlilik sorununu beraberinde getirmektedir (Şekil 3). Fosforun bu olumsuz etkisinden sorumlu tutulanlar da kuşkusuz tarım sektörü ve başta deterjan olmak üzere kimya endüstrisidir (Derici, 1996). 20. yüzyılın son çeyreğinde fosfatlar, nitrat ile birlikte önemli kirleticiler sınıfına dahil edilmiştir. Fosforun çevresel döngüsü incelendiğinde, çözülmüş fosfatların büyük bir bölümünün toprakta tutulduğu, denizlere ulaşan kısmının ise çökerek jeolojik süreçlerde uzun süre hapsedildiği görülmektedir. Bu durum, fosfor kaynaklarının sürdürülebilir yönetiminin ve fosfor kullanım verimliliğinin artırılmasının önemini vurgulamaktadır.

Fosforun bu şekilde veya erozyonla katı faz içerisinde denizlere taşınması, sadece bir kaynak kaybı değil aynı zamanda yerleşimin yoğun olduğu yerlerde önemli bir kirlilik kaynağı olarak da değerlendirilmekte olup, toprak tarafından fosforun adsorpsiyonu ve desorpsiyonu su kalitesi ve gübreleme açısından önemlidir (Korkmaz

ve İbrikçi 2010). Fosforlu gübrelerin yoğun ve kontrolsüz kullanımı, gübrelerin yapısında doğal olarak bulunan bazı ağır metallerin (Cr, Cd, Pb, Ni, Cu gibi) toprakta birikmesine ve bu metallerin bitki bünyesine geçmesine neden olarak ciddi çevresel ve sağlık riskleri oluşturmaktadır (Camelo vd., 1997; Richards, 1998).



Şekil 3. Küresel tatlı suların fosfor kirliliği (*Su Kaynakları Araştırması/ Mesfin Mekonnen / Scott Schrage, 2018*)

Toprak ve bitki sistemindeki ağır metal birikimi, ekosistemde toksisite sorunlarına yol açabilir ve dolaylı olarak insan sağlığını etkileyebilir. Bu bağlamda, fosforlu gübrelerin kullanımında çevre dostu ve sürdürülebilir bir yaklaşım benimsemek büyük önem taşımaktadır. Hedef, ürün verimi ve kalite düzeyini düşürmeden, aynı zamanda çevreye olan olumsuz etkileri en aza indirecek etkin ve dengeli bir gübreleme programı geliştirmektir. Böyle bir program, sadece tarımsal üretimi değil, aynı zamanda ekosistem sağlığını ve toplum refahını da olumlu yönde etkileyecektir.

Bu nedenle, fosforlu gübrelerin kullanımının optimize edilmesi, uygun yönetim stratejileri ile ağır metal birikimi riskinin minimize edilmesi ve alternatif gübreleme yöntemlerinin (organik gübreler veya biyogübreler gibi) teşvik edilmesi gerekmektedir.

Sonuç

Fosfor arz-talep dengesizliğinin yönetimi ve çevresel etkilerinin azaltılması, yenilikçi tarımsal stratejilerle mümkün hale gelebilir. Fosfor, bitki büyümesi ve verimliliği için hayati bir besin maddesi olmasına rağmen, sınırlı bir kaynak olması nedeniyle dikkatli ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmelidir. Bu kapsamda, fosfor döngüsünün detaylı bir şekilde anlaşılması, hem mevcut kaynakların korunması hem de bu kaynakların etkin kullanımını sağlayacak teknolojilerin geliştirilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Hassas tarım uygulamaları, gübre kullanımını optimize ederek bitkisel verimliliği artırabilir ve gereksiz fosfor kayıplarını önleyebilir. Fosfor kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için ileri dönüşüm teknolojilerinin kullanılması önemlidir. Atık su arıtma sistemlerinden fosfor geri kazanımı, kullanılmayan fosforun tekrar tarımsal döngüye kazandırılmasına olanak tanır. Aynı şekilde, hayvan gübresi ve bitkisel atıklardan elde edilen organik fosfor kaynaklarının değerlendirilmesi, kimyasal gübre bağımlılığını azaltabilir ve çevresel etkileri en aza indirebilir. Bu tür yenilikçi yaklaşımlar, sadece fosfor kaynaklarının tükenmesini yavaşlatmakla kalmaz, aynı zamanda ötrofikasyon gibi fosfor kaynaklı çevresel sorunların önlenmesine de katkıda

bulunur.Sonuç olarak, fosforun sürdürülebilir yönetimi, çok yönlü bir yaklaşım gerektirir. Tarımsal uygulamaların optimize edilmesi, yenilikçi geri kazanım teknolojilerinin uygulanması ve etkili politika düzenlemeleri, bu sürecin temel taşlarıdır. Bu çabalar, mevcut fosfor kaynaklarının daha verimli kullanılmasını sağlarken, gelecekte ortaya çıkabilecek fosfor krizlerinin önlenmesine de imkan tanıyacaktır. Uzun vadede, fosfor yönetiminde bilimsel araştırmaların ve küresel iş birliğinin artırılması, hem tarımsal sürdürülebilirlik hem de çevresel koruma açısından vazgeçilmezdir.

KAYNAKÇA

- Abel S., Ticconni A. C. And Delatorre, A., C. 2002. Phosphate Sensing In Higher Plants. *Physiologia Plantarum* 115:1-8.
- Aktaş M ve Ateş A (1998). Bitkilerde Beslenme Bozuklukları Nedenleri Tanınmaları. NuroI Matbaacılık A.Ş. Ostim-Ankara.
- Alewell, C., Ringeval, B., Ballabio, C., Robinson, D. A., Panagos, P., & Borrelli, P. (2020). Global phosphorus shortage will be aggravated by soil erosion. *Nature communications*, 11(1), 4546.
- Bindraban, P. S., Dimkpa, C. O., & Pandey, R. (2020). Exploring phosphorus fertilizers and fertilization strategies for improved human and environmental health. *Biology and Fertility of Soils*, 56(3), 299-317.
- Boşgelmez A, Boşgelmez İ, Savaşçı S ve Paşlı N (2001). Ekoloji – II (Toprak), Başkent Klişe Matbaacılık, Kızılay-Ankara.
- Camelo, L. G. L., Miguez, S. R. And Marban, L.,1997. Heavy Metals Input With Phosphate Fertilizers Used In Argentina. *The Science Of The Total Environment* 204 (3): 245250.
- Chen, M., & Graedel, T. E. (2016). A half-century of global phosphorus flows, stocks, production, consumption, recycling, and environmental impacts. *Global Environmental Change*, 36, 139-152.
- Cordell, D., Drangert, J. O., & White, S. (2009). The story of phosphorus: global food security and food for thought. *Global environmental change*, 19(2), 292-305.

- Çepel N (1996). Toprak ilmi. İÜ Yayın No 3945, Orman Fakültesi Yayın No: 438. İstanbul.
- Derici, M. R., 1996. Topraklarda Fosfor Dengesi. *J. Of Agriculture And Forestry* 20: 29-33.
- Elhaissofi, W., Ghoulam, C., Barakat, A., Zeroual, Y., & Bargaz, A. (2022). Phosphate bacterial solubilization: a key rhizosphere driving force enabling higher P use efficiency and crop productivity. *Journal of Advanced Research*, 38, 13-28.
- Elser, J., & Bennett, E. (2011). A broken biogeochemical cycle. *Nature*, 478(7367), 29-31.
- FAOSTAT, D. (2016). FAOSTAT online database. *Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy*.
- Foth H D (1984). Fundamentals of Soil Science. 7th Edition, John Wiley and Sons, New York.
- Hou, E., Chen, C., Luo, Y., Zhou, G., Kuang, Y., Zhang, Y., ... & Wen, D. (2018). Effects of climate on soil phosphorus cycle and availability in natural terrestrial ecosystems. *Global change biology*, 24(8), 3344-3356.
- Ibrikci, H., A.C. Ulger, G. Buyuk, K. Korkmaz, B. Cakir, G. Ozgenturk, E. Karnez, H. Oguz, And O. Konuskan. (2005) Genetic Differences And Nitrogen Fertilizer Rates For Nitrogen Use Efficiency İn Corn. Xv International Plant Nutrition Colloquium (Ipnc), Sept., 2005. Pp 22, Beijing, China.
- Kantarıcı M D (2000). Toprak İlmi. İÜ Toprak İlmi ve Ekoloji Anabilim Dalı, İ Ü Yayın No. 4261, Orman Fakültesi Yayın No. 462, İstanbul, 420 s.

- Korkmaz, K., H. Ibrikci, E. Karnez, G. Buyuk, A.C. Ulger, T.Yagbasanlar, H. Oguz, O. Konuskan. (2004) Wheat Responses To Phosphorus Fertilizer Application On Calcareous Soils Under Greenhouse Conditions. International Soil Congress (Isc) On Natural Resource Management For Sustainable Development. Erzurum-Turkey.
- Li, H., Liu, J., Li, G., Shen, J., Bergström, L., & Zhang, F. (2015). Past, present, and future use of phosphorus in Chinese agriculture and its influence on phosphorus losses. *Ambio*, 44, 274-285.
- MacDonald, G. K., Bennett, E. M., Potter, P. A., & Ramankutty, N. (2011). Agronomic phosphorus imbalances across the world's croplands. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(7), 3086-3091.
- McCauley A, Jones C ve Jacobsen J (2009). Nutrient Management. Nutrient management module 9 Montana State University Extension Service. Publication, 4449-9, p.1–16.
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2018). Global anthropogenic phosphorus loads to freshwater and associated grey water footprints and water pollution levels: A high-resolution global study. *Water resources research*, 54(1), 345-358.
- Mogollón, J. M., Beusen, A. H. W., Van Grinsven, H. J. M., Westhoek, H., & Bouwman, A. F. (2018). Future agricultural phosphorus demand according to the shared socioeconomic pathways. *Global environmental change*, 50, 149-163.
- Nagel, K. A., Kastenholz, B., Jahnke, S., Van Dusschoten, D., Aach, T., Mühlich, M., ... & Schurr, U. (2009). Temperature responses

of roots: impact on growth, root system architecture and implications for phenotyping. *Functional Plant Biology*, 36(11), 947-959.

Plaster E J (1992). Soil Science and Management. 2nd Edition, Delmar Publishers Inc., Albany, New York, USA.

Qaswar, M., Dongchu, L., Jing, H., Tianfu, H., Ahmed, W., Abbas, M., ... & Boren, W. (2020). Interaction of liming and long-term fertilization increased crop yield and phosphorus use efficiency (PUE) through mediating exchangeable cations in acidic soil under wheat–maize cropping system. *Scientific Reports*, 10(1), 19828.

Richards, I. R., Clayton, J. C., Reeve, A. J. K., 1998. Effects Of Long-Term Fertilizer Phosphorus Application On Soil And Crop Phosphorus And Cadmium Contents. *Journal Of Agricultural Science* 131 : 187-195.

Riskin, S. H., Porder, S., Neill, C., Figueira, A. M. E. S., Tubbesing, C., & Mahowald, N. (2013). The fate of phosphorus fertilizer in Amazon soya bean fields. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 368(1619), 20120154.

Schachtman Phosphorus Uptake By Plants: From Soil To Cell Plant Physiology February 1998 Vol. 116 No. 2 447-453 1998 American Society Of Plant Physiologists

Sims, J. T., Simard, R. R., & Joern, B. C. (1998). Phosphorus loss in agricultural drainage: Historical perspective and current research. *Journal of environmental quality*, 27(2), 277-293.

- Smil, V. (2000). Phosphorus in the environment: natural flows and human interferences. *Annual review of energy and the environment*, 25(1), 53-88.
- US Geological Survey. (2019). National Minerals Information Center.
- Van Kauwenbergh, S. J. (2010). *World phosphate rock reserves and resources* (p. 48). Muscle Shoals: Ifdc.
- Wang, J., Qi, Z., & Wang, C. (2023). Phosphorus loss management and crop yields: A global meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 357, 108683.
- Yu, X., Keitel, C., & Dijkstra, F. A. (2021). Global analysis of phosphorus fertilizer use efficiency in cereal crops. *Global Food Security*, 29, 100545.
- Zhang, X., Davidson, E. A., Mauzerall, D. L., Searchinger, T. D., Dumas, P., & Shen, Y. (2015). Managing nitrogen for sustainable development. *Nature*, 528(7580), 51-59.
- Zhang, X., Davidson, E. A., Zou, T., Lassaletta, L., Quan, Z., Li, T., & Zhang, W. (2020). Quantifying nutrient budgets for sustainable nutrient management. *Global Biogeochemical Cycles*, 34(3), e2018GB006060.
- Zou, T., Zhang, X., & Davidson, E. A. (2022). Global trends of cropland phosphorus use and sustainability challenges. *Nature*, 611(7934), 81-87.

BÖLÜM 2

TOPRAK SAĞLIĞINI TEHDİT EDEN UNSURLAR VE ÇÖZÜM ARAYIŞLARI

Ziraat Yüksek Mühendisi Mehmet Ali EMİNOĞLU

Ziraat Yüksek Mühendisi Halime ÖZTÜRK

GİRİŞ

Topraklar, yeryüzündeki yaşamın temel bileşenlerinden biridir ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin gerçekleştirilmesinde kilit bir rol oynar. Gıda ve su güvenliği ile iklim düzenlemesi gibi küresel sorunlara sağladığı katkılar göz önüne alındığında, toprakların ekosistem hizmetlerine olan önemi giderek daha fazla anlaşılmaktadır (Koch vd., 2013; Lal, 2004; McBratney vd., 2014; Dominati vd., 2010). Ancak, toprak kaynaklarına yönelik küresel ölçekte bir değerlendirme, yakın zamana kadar eksik kalmıştır. Bu eksikliği gidermek amacıyla Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) bünyesinde kurulan Küresel Toprak Ortaklığı (GSP) ve Teknik Toprak Paneli (ITPS), 2015 yılında Dünyanın Toprak Kaynaklarının Durumu başlıklı ilk kapsamlı raporunu yayımlamıştır (ITPS, 2015).

Tarihsel olarak, toprakların sürdürülemez kullanımı, çeşitli uygarlıkların çöküşünde önemli bir etken olmuştur. Örneğin, Mezopotamya uygarlığının düşüşü büyük ölçüde sulama faaliyetlerine bağlı olarak gelişen toprak tuzlanmasına atfedilmiştir (Tanji, 1990). Benzer şekilde, Roma İmparatorluğu'nun çöküşü, toprak verimliliğindeki yavaş ama sürekli bir kayba dayandırılmıştır. Artan

tarımsal üretim talepleri, ormanların tahribatına ve organik madde kaybına neden olarak hem erozyonu hem de toprak işlevselliğini olumsuz etkilemiştir (Hughes ve Thirgood, 1982; Saltini, 1984). Bu durum, bir yandan halkın yaşam kalitesini düşürürken, diğer yandan imparatorluk altyapısının çökmesine zemin hazırlamıştır (Dazzi, 2008b). Bu tarihi dersler, toprak kalitesi ile insan yaşamı arasındaki sıkı ilişkiye dikkat çekmektedir.

Günümüzde hızla artan nüfus, teknolojik gelişmeler ve kültürel değişimler, pedosferdeki doğal bozulma süreçlerini hızlandırmıştır. Toprak bozulması, su ve rüzgar erozyonu, organik madde kaybı, asitleşme, tuzlanma, toprak sıkışması gibi süreçlerle kendini göstermekte ve bu durum arazi terkine yol açarak çölleşme riskini artırmaktadır (Montgomery, 2007). Türkiye gibi tarımsal üretim geçmişine sahip ülkelerde, yanlış tarımsal uygulamalar, toprağın biyolojik üretim kapasitesini düşürmekte ve köyden kente göç gibi sosyoekonomik sorunlara yol açmaktadır. Ayrıca, kentleşme baskısı, verimli tarım arazilerinin yok olmasına neden olmakta ve toprak tehditlerini daha da derinleştirmektedir (Doran ve Parkin, 1994).

Toprak, çevresel sürdürülebilirlik için kritik öneme sahip, yenilenebilir ancak sınırlı bir doğal kaynaktır. Gıda güvenliği, biyolojik çeşitlilik ve çevresel düzenleme gibi birçok ekosistem hizmetini destekleyen toprakların korunması, yalnızca yerel değil, küresel düzeyde de bütüncül politikalar ve uygulamalar gerektirmektedir (Arnold vd., 1990; Dominati vd., 2010). Sağlıklı topraklar, karbon emisyonlarını azaltmada ve atmosferden karbon tutmada önemli bir rol oynar. Toprak bozulması, tarımsal verimi düşürerek ekonomik kayıplara

neden olur. Toprak sağlığı, BM'nin Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA'lar) doğrultusunda çevresel, sosyal ve ekonomik sürdürülebilirlik için temel bir bileşendir. Bu derleme çalışmasında mevcut sorunların anlaşılması ve etkili yönetim stratejilerinin geliştirilmesi için çözüm arayışları üzerinde durulacaktır.

1. Toprak Organik Karbon Kaybı

Arazi kullanımındaki değişiklikler ve sürdürülebilir olmayan yönetim uygulamaları, topraklarda önemli ölçüde toprak organik karbon (SOC) kayıplarına yol açmaktadır. Bu kayıp, çeşitli bölgelerde ormansızlaşma, yoğun tarım, monokültür uygulamaları, doğal bitki örtüsünün yerini başka türlerin alması ve çayır alanlarının bozulması gibi faktörlerle ilişkilidir. Bu tür değişiklikler, özellikle karbon bakımından zengin toprakların bulunduğu bölgelerde SOC stoklarını ciddi şekilde tehdit etmektedir.

Toprak organik karbon (SOC) kaybı, topraktaki organik karbon miktarındaki azalmayı ifade eder ve bu durum, toprak ekosistemleri üzerinde ciddi olumsuz etkiler yaratır. Organik karbon, toprak verimliliği, su tutma kapasitesi ve biyolojik çeşitlilik gibi hayati özelliklere katkıda bulunan temel bir bileşen olup, bitki ve hayvan kalıntılarının toprak organizmaları tarafından ayrıştırılması sonucu organik maddeye dönüşerek toprak yapısına entegre edilir. Ancak, arazi kullanımındaki değişiklikler ve sürdürülebilir olmayan tarımsal uygulamalar, SOC birikimini engelleyerek toprak kalitesinde düşüşe, erozyonun artmasına ve ekosistem hizmetlerinin bozulmasına neden olmaktadır.

Özellikle kara topraklarda görülen SOC kayıpları, irrasyonel arazi yönetiminin ve yoğun tarımsal faaliyetlerin bir sonucu olarak ciddi çevresel sorunlara yol açmaktadır. Organik madde kaybı, yalnızca toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini değil, aynı zamanda ekosistemlerin işlevselliğini de olumsuz yönde etkilemektedir. Araştırmalar, son yüzyılda bazı bölgelerde SOC kayıplarının %22'ye ulaştığını ortaya koymuş, tarımsal yoğunlaşma ve monokültür tarım gibi uygulamaların bu kaybı daha da hızlandırdığını göstermiştir (Baliuk ve Kucher, 2019). Bu tür kayıpların önlenmesi ve SOC stoklarının korunması, sürdürülebilir arazi yönetimi ve çevresel dengenin sağlanması açısından kritik öneme sahiptir.

Tarım uygulamalarında özellikle 20. yüzyılda şeker pancarı ve mısır gibi sıra bitkilerinin yaygınlaştırılması, humus kaybını artıran temel etkenlerden biri olmuştur. SOC kaybının başlangıçta daha hızlı gerçekleştiği, ancak zamanla yavaşladığı ve dengeye ulaştığı tespit edilmiştir Yatsuk'a (2015, 2018). Buna rağmen, tarımsal faaliyetlerin sürdürülebilir olmayan yöntemlerle sürdürülmesi, bu dengeyi bozarak karbon stoklarını hızla azaltabilmektedir.

SOC kayıplarının bölgesel farklılıklar gösterdiği de vurgulanmaktadır. Örneğin, kara topraklarda yapılan uzun dönemli gözlemler, organik karbon miktarının orman-bozkır ve bozkır ekosistemlerinde farklı oranlarda azaldığını göstermektedir. Bununla birlikte, bazı bölgelerde sürdürülebilir yönetim uygulamalarının benimsenmesi, SOC kayıplarının hızını yavaşlatmıştır (Yatsuk, 2018).

Sürdürülebilir tarımsal uygulamalar, SOC stoklarının korunması ve geri kazanılmasında kritik öneme sahiptir. Bu

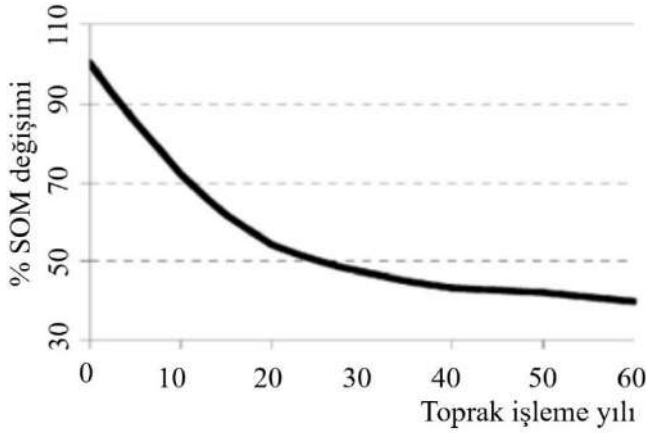
uygulamalar arasında muhafazalı toprak işleme, gübreleme, kompost kullanımı ve biyokütle yönetimi gibi yöntemler yer almaktadır. Ayrıca, mera otlatmasının kontrolsüz bir şekilde yapılması da SOC kayıplarına neden olabilmektedir (Maia vd., 2010). Araştırmalar, korunmayan ekosistemlerde mera ve tarım faaliyetlerinin toprak karbon içeriğini önemli ölçüde azalttığını, bu durumun ise erozyon, oksidasyon ve karbon birikiminin sınırlanması gibi sorunları beraberinde getirdiğini ortaya koymaktadır (Otero vd., 2011).

SOC'un azaltılmasının nedenleri arasında agresif toprak işleme, yetersiz ürün rotasyonu, arazi kullanım değişikliği ve besin yenilenmesi eksikliği bulunmaktadır (FAO ve ITPS, 2015). Uluslararası araştırmalar, kara toprakların SOC stoklarının korunmasının ve artırılmasının küresel gıda güvenliği ve ekosistem sürdürülebilirliği açısından öncelikli bir hedef olması gerektiğini vurgulamaktadır.

FAO ve diğer uluslararası kuruluşlar tarafından hazırlanan raporlar, SOC'un stabilize edilmesi veya artırılması için ülkelerin yerel koşullarına uygun sürdürülebilir uygulamaların teşvik edilmesi gerektiğini belirtmektedir (FAO ve ITPS, 2015). Uzun vadeli sürdürülebilirlik için SOC dengesinin sağlanması ve karbon kaybını azaltan yöntemlerin yaygınlaştırılması gereklidir.

Toprak organik karbon kaybı çeşitli nedenlerle meydana gelebilir, bunlar arasında şunlar yer alır:

• **Tarımsal uygulamalar-** toprak işleme, monokültür ekim sistemleri ve sentetik gübre kullanımı toprağın besin ağını değiştirerek ve organik madde girdisini azaltarak toprak organik karbon seviyelerini azaltabilir (Şekil 1.).



Şekil 1. Toprak işlemenin yıllar içerisindeki organik maddenin değişimine etkisi (Tores ve Vilela, 2004'ten değiştirilmiştir.)

Arazi kullanımındaki değişiklik- ormanlar ve sulak alanlar gibi doğal ekosistemlerin tarımsal veya kentsel kullanıma dnüşürölmesi, toprak organik karbonunda önemli bir kayba neden olabilir.

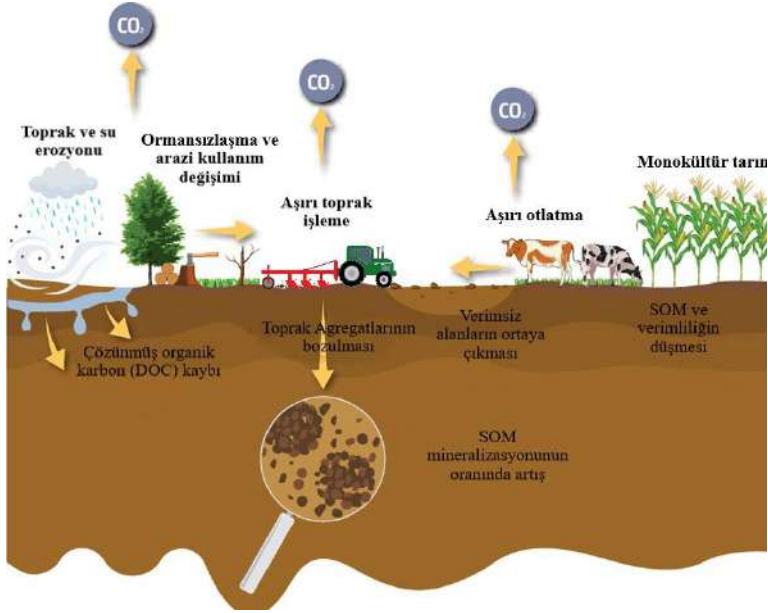
İklim değişikliği- Sıcaklık ve yağış modellerindeki değişiklikler ve ařırđ hava olaylarının sıklığının artması, organik madde ayrışma hızını ve toprak organik karbon seviyelerini etkileyebilir.

Toprak organik karbon kaybının toprak sağlığı üzerinde olumsuz etkileri olabilir, bunlar arasında şunlar yer alır:

Azalmış toprak verimliliği- Toprak organik karbonu, bitki büyümesi için gerekli besinleri sağlayarak toprak verimliliğinin temel bir bileşenidir.

Azalmış su tutma kapasitesi- Toprak organik karbonu, bitki büyümesi için gerekli olan toprak su tutma kapasitesine katkıda bulunur.

Artan sera gazı emisyonları- Toprak organik karbonu büyük bir karbon havuzudur ve toprak organik karbon kaybı, atmosfere karbondioksit (CO₂) ve diğer sera gazlarının salınmasına neden olarak iklim değişikliğine katkıda bulunabilir (Şekil 2.).



Şekil 2. Toprak organik maddesinin azalmasının sebepleri (FAO, 2022'den değiştirilmiştir.)

Toprak Organik Madde (SOM) Yönetim Uygulamaları

Toprak organik maddesi (SOM) içeriğini artırmak amacıyla kullanılabilir en iyi yönetim uygulamalarını tanımlamak, farklı çevresel, sosyal ve ekonomik faktörlere bağlı olarak karmaşık bir süreçtir. Bilimsel çalışmalar, aşağıdaki yöntemlerin SOM seviyelerinin iyileştirilmesine katkıda bulunabileceğini göstermektedir:

Sıfır ve Koruma Amaçlı Toprak İşleme: Sıfır veya minimum toprak işleme yöntemleri, toprak organik karbon (SOC) stoklarının

korunması ve artırılması için önemli bir rol oynar. Örneğin, Kaempf vd., (2016), sıfır toprak işleme ve kalıntı uygulamasının toprak mekanik özellikleri (hacim yoğunluğu, penetrasyon direnci) ve hidrolojik özellikleri (sızma hızı, doygun hidrolik iletkenlik) üzerinde olumlu etkiler yarattığını rapor etmiştir. Ayrıca, uzun vadeli koruma toprak işleme uygulamaları ve ürün kalıntısı malçlama, toprak karbon konsantrasyonunu artırarak makroagregaların oluşumunu desteklemiştir (Kahlon vd., 2013).

Toprak Örtüsü ve Örtü Bitkileri: Toprak örtüsü kullanımı, atmosferik CO₂'nin topraktaki SOC stoklarına sekestre edilmesine katkı sağlar. Akdeniz üzüm bağları üzerinde yapılan bir çalışmada, toprak örtüsünün geleneksel işleme yöntemlerine kıyasla toprak kalitesini artırdığı ve karbon girdilerinin yükselmesiyle organik madde seviyelerini iyileştirdiği gözlemlenmiştir (García-Díaz ve diğerleri, 2018).

Bitki Kalıntılarının Kullanımı: Yarı kurak bölgelerde yapılan araştırmalar, bitki artıklarının toprak karbon depolama kapasitesini artırdığını ancak bu sürecin uzun vadede yeterli inorganik besin maddelerinin bulunabilirliğine bağlı olduğunu göstermektedir (Riu ve diğerleri, 2016).

Organik Katkı Maddeleri ve Karbon-Nitrojen Dengesi: Chen ve diğerleri (2018), düşük karbon/azot oranına sahip organik katkı maddelerinin uzun vadeli uygulanmasının SOC artışına en büyük katkıyı sağladığını belirtmiştir. Bu sonuç, toprak mikroorganizmalarının besin dengesine olan ihtiyaçlarını ve bu

ihtiyaçların organik maddenin mineralizasyonunda oynadığı rolü göstermektedir.

Karma Tarımsal Sistemler: Rattan Lal (2015) ve FAO (2015) tarafından önerilen yönetim stratejileri arasında sıfır toprak işleme, örtü bitkileri, organik gübreleme, su verimliliğini artırıcı yöntemler ve biyolojik çeşitliliği destekleyen tarımsal ormancılık sistemleri bulunmaktadır. Bu yöntemler, toprak karbon stoklarını artırmak ve uzun vadeli ekosistem sağlığını korumak için fırsatlar sunmaktadır.

Arazi Kullanım Değişiklikleri: Deng ve diğerleri (2016), tarım arazilerinden otlaklara veya ormanlara yapılan dönüşümlerin SOC stoklarını önemli ölçüde artırdığını bildirmiştir.

Ancak, ormanların tarım arazisine dönüştürülmesi durumunda SOC stoklarında büyük kayıplar yaşandığı belirtilmiştir. Powers ve diğerleri (2011), bu dönüşümlerin tropikal bölgelerdeki olumsuz etkilerine dikkat çekmiş, otlakların ve tarım alanlarının ikincil ormanlara dönüştürülmesinin toprak karbon stoklarını artırabileceğini vurgulamıştır.

İyi Yönetim Uygulamaları ve Çevresel Koşullar

SOM seviyelerini artırmayı hedefleyen yönetim uygulamaları, çevresel koşullar ve sosyal-ekonomik faktörler dikkate alınmadığında başarısız olabilmektedir. Örneğin, toprak özellikleri (doku, besin içeriği, organik madde etkileşimleri) C stoklarını etkileyen önemli faktörlerdir ve yönetim planlaması bu özelliklere göre yapılmalıdır. Ayrıca, yerel halkın bilgi ve ihtiyaçlarıyla uyumlu, disiplinler arası yaklaşımların benimsenmesi, SOM iyileştirme girişimlerinin başarısı için kritik öneme sahiptir (Rattan Lal, 2015).

2. Toprak Erozyonu

Toprak erozyonu tarımsal topraklarda üç ana süreçle meydana gelir: rüzgar, su ve toprak işleme erozyonu. Rüzgar ve su erozyonu çevrede doğal olarak meydana gelir. Ancak bu süreçler yaz nadası ve yıllık ürün üretimi gibi çiftçilik faaliyetleriyle hızlandırılabilir. Bu süreç, toprak kalitesini ve tarımsal üretkenliği tehdit eden en yaygın sorunlardan biridir. Özellikle üst toprağın kaybı, organik madde ve besinlerin uzaklaşmasına neden olarak toprağın verimliliğini düşürür ve ekosistemlerin sürdürülebilirliğini tehlikeye atar. Toprak erozyonunun etkileri hem doğal hem de insan kaynaklı süreçlerden kaynaklanır.

Doğal erozyon, rüzgar ve suyun taşıdığı tortuların alüvyonlu, kolüvyonlu ve löslü toprakların oluşumunu desteklediği durumlarda olumlu etkiler yaratabilir. Ancak insan kaynaklı erozyon, bu doğal süreci hızlandırarak toprağın fiziksel işlevlerini yerine getirme kapasitesini azaltır ve ekosistemlerin istikrarını bozar. FAO'nun 2016 raporuna göre, insan kaynaklı erozyon dünya kara alanlarının %15'ini etkilemekte ve yıllık 400 milyar ABD doları değerinde kayıplara neden olmaktadır. Ayrıca BM'ye göre toprak erozyonu 2050 yılına kadar küresel ürün verimini %10'a kadar azaltabilir. Bu ürün kaybı milyonlarca dönüm tarım arazisinin yok olmasına eşdeğerdir.

Erozyon sorunu, bölgesel olarak farklı yoğunluklarda ve biçimlerde ortaya çıkmaktadır. Doğu Avrupa ve Batı Asya ülkelerinde su ve rüzgar erozyonu yaygın bir sorundur. Türkiye'de de durum ciddiyetini korumaktadır. Ülkenin tarım arazilerinin %59'u, meralarının %64'ü ve ormanlarının %54'ü erozyona maruz kalmaktadır

(Şekil 3.). Her yıl yaklaşık 180 milyon ton toprak, erozyon nedeniyle denizlere ve göllere taşınmaktadır (Günel vd., 2015).



Şekil 3. Türkiye topraklarının arazi kullanımına göre erozyon oranları (<https://cem.csb.gov.tr/turkiye-de-erozyon-i-103687>)

Toprak erozyonunun nedenleri arasında uygunsuz tarım uygulamaları, iklim değişikliği, aşırı otlatma, ormansızlaşma, yanlış sulama yöntemleri ve toprağın fiziksel özellikleri yer almaktadır. Toprak eğimi, doku, yüzey örtüsü ve iklim koşulları gibi faktörler erozyon sürecini şekillendirmektedir. Örneğin, dik topoğrafya ve bitki örtüsünün yetersiz olduğu alanlarda erozyon hızlanmakta, bu da tarımsal üretkenliği daha da azaltmaktadır.

Erozyonun etkilerini azaltmak ve kontrol altına almak için sürdürülebilir toprak yönetimi uygulamaları büyük önem taşır. Minimum toprak işleme, bitki örtüsünün artırılması, organik madde kullanımı ve su yönetimi stratejileri, erozyon hızını yavaşlatmada etkili yöntemlerdir. FAO'nun küresel raporlarına göre, erozyonun neden

olduğu zararları önlemek, toprakların fiziksel ve biyolojik işlevlerini koruyarak gıda güvenliğini sağlamak açısından kritik öneme sahiptir. Erozyonun etkilerinin azaltılması, disiplinler arası yaklaşımların benimsenmesini ve bölgesel dinamiklere uygun politikaların geliştirilmesini gerektirir.

Toprak Erozyonu Yönetimi

Toprak erozyonu, genellikle yılda 12,5 Mg/ha varsayılan değerden çok daha az olan tolere edilebilir sınırlar içinde kısıtlanmalıdır. Hızlandırılmış erozyon ayrıca SOC havuzunu ve besin rezervlerini tüketir. Genel olarak, SOC, kil ve temel bitki besinlerinin (N, P, S) zenginleştirme oranı, bu bileşenlerin tercihli olarak uzaklaştırılması nedeniyle >1'dir (ve çoğu zaman 5 veya daha fazla). Pullukla işlemeden koruyucu işleme dönüşüm, toprak erozyonu ve besin kaybıyla ilişkili riskleri azaltırken aynı zamanda çok sayıda yerinde ve dışında fayda sağlayabilir (Graber vd., 1995). Önemli bir strateji, neden-sonuç ilişkileri kurmak, nedensel faktörleri hafifletmek ve riskleri en aza indirmektir.

Hızlandırılmış erozyon, arazi kötüye kullanımı ve toprak kötü yönetiminin bir belirtisidir. Aşırı otlatma ve çiğneme etkisinin neden olduğu bitki örtüsündeki azalmalar, toprak yapısını bozabilir, su sızmasını azaltabilir, akışı artırabilir, toprak erozyonunu şiddetlendirebilir ve ciddi ekonomik kayıplara neden olabilir (Pimentel vd., 1995). Örnek olarak, Güney Afrika'da yürütölen deneyler, aşırı otlatma ile bitki örtüsünün azalmasının SOC havuzunu önemli ölçüde azalttığını ve C döngüsü üzerinde güçlü bir etki yarattığını göstermiştir (Mchunu ve Chaplot, 2012). Kurak bölgelerde, bitki örtüsünün yangın

kaynaklı tükenmesi de sorunu daha da kötüleştirebilir, özellikle de şiddetli bir yağmurdan sonra, çünkü toprak yüzeyinde kalan kül, katı ve sıvı fazlar arasında geniş bir temas açısı oluşturarak hidrofobisiteyi kötüleştirebilir. Koruyucu atık bitki örtüsü yakıldığında, ilk yağmur genellikle yüksek yüzey akışına neden olur ve erozyonu kötüleştirir. İspanya'da yürütülen deneyler, yangın sonrası yüksek toprak bozulması risklerini ve aşınabilir topraklara sahip dik yamaçlarda toprağı ve suyu korumak için kısa vadeli bir stratejinin belirlenmesi ihtiyacını göstermiştir (Badía ve Martí, 2008). Toprak kalitesi ve verimliliğı üzerindeki olumsuz etkilere ek olarak, toprak erozyonu ile ilişkili sağlık riskleri de vardır (Perez vd., 2011).

Erozyonun etkilerini azaltmak ve kontrol altına almak için sürdürülebilir toprak yönetimi uygulamaları büyük önem taşır. Minimum toprak işleme, bitki örtüsünün artırılması, organik madde kullanımı ve su yönetimi stratejileri, erozyon hızını yavaşlatmada etkili yöntemlerdir. FAO'nun küresel raporlarına göre, erozyonun neden olduğu zararları önlemek, toprakların fiziksel ve biyolojik işlevlerini koruyarak gıda güvenliğini sağlamak açısından kritik öneme sahiptir. Erozyonun etkilerinin azaltılması, disiplinler arası yaklaşımların benimsenmesini ve bölgesel dinamiklere uygun politikaların geliştirilmesini gerektirir.

1. Toprak Tuzlanması

Toprak tuzlanması, solonçak, solonez, tuzlu çayır ve tuzlu çernozyom gibi tuzlu topraklara sahip bölgelerde meydana gelir. Toprak tuzlanması, toprağın giderek daha tuzlu hale gelerek toprak verimliliğinde ve üretkenliğinde düşüşe yol açan bir süreçtir.

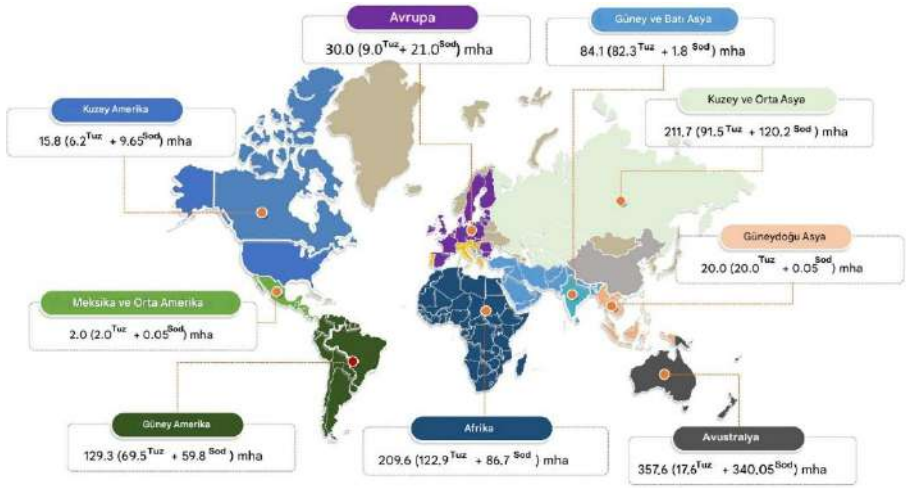
Topraktaki tuzların bitkiler için toksik seviyelere birikmesiyle oluşur ve toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini değiştirir. Geçici su baskınları, derin katmanlardan yüzeye fazla tuz taşıyarak bu sorunu daha da artırabilir. Tuzlanmanın temel nedenlerinden biri, kurak bölgelerdeki tarımsal üretim için hayati öneme sahip olan sulamadır. Ancak, yanlış sulama yönetimi (örneğin, drenaj eksikliği), toprak kalitesini tuzlanma ve alkalileşme yoluyla olumsuz etkileyebilir (Shahid vd., 2018). Örneğin, Romanya'da toplam tarım arazisinin %4'ü 2002 itibarıyla tuzlanmadan etkilenmiştir. Yanlış su yönetimi, arazi kullanımındaki değişiklikler (örneğin, meraların tarım arazisine dönüştürülmesi), derin sürüm ve uygun drenaj sistemleri olmadan yapılan sulama, tuzlanma sorunlarını daha da kötüleştirmektedir (Oldeman vd., 1991).

Tuzlanma ve su baskınları, özellikle büyük ancak kötü yönetilen sulama sistemlerinin olduğu bölgelerde ciddi sorunlardır. Aşırı sulama, drenaj sistemlerinin yetersiz olması durumunda yeraltı su seviyesini yükselterek ikincil toprak tuzluluğunu artırabilir. Bu olumsuz etkilerden kaçınmak için derin sürümden kaçınma, kaliteli sulama suyu kullanma ve yeraltı su seviyesini düşük tutma gibi uygun arazi ve su yönetim stratejilerinin uygulanması gereklidir. Kurak bölgelerde tuzlu toprakların yoğun şekilde işlenmesi, toprak agregatlarını bozarak tuzların yüzeye kılcal yolla yükselmesini artırır ve toprağı rüzgar erozyonuna karşı savunmasız hale getirir (Bennett vd., 2019).

Toprak Tuzlanmasının Küresel Boyutu ve Etkileri

Toprak tuzlanması, dünya genelinde 900 milyon hektardan fazla bir alanı etkileyen önemli bir sorundur (Rengasamy, 2006). Son

çalışmalar, bu alanın 1 milyar hektarı aştığını ve sürekli genişlediğini göstermektedir (Hopmans vd., 2021; Tian vd., 2020). Her yıl toprak tuzlanması nedeniyle 2 milyon hektardan fazla arazi etkilenmektedir (Singh, 2018a). Bu sorun, 100'den fazla ülkeye yayılmış olup, en büyük alanlar Hindistan, Çin, Amerika Birleşik Devletleri, Sudan, Pakistan ve Türkiye gibi ülkelerde (Şekil 3.) bulunmaktadır (Lal, 2004; Seifi vd., 2020).



Şekil 4. Tuzdan etkilenen kara alanlarının küresel dağılımı (FAO, 2015; Butcher vd., 2016; Zaman vd., 2018)

Örneğin, İran'da toprakların %30'undan fazlası tuzluluk problemiyle karşı karşıyadır ve bu durum, kök bölgesi tuzlanması, toprak erozyonu ve tarımsal verim kaybı gibi ekolojik sorunlara yol açmaktadır (Metternicht & Zinck, 2009; Mirzaee vd., 2020). Benzer şekilde, Arjantin'deki sulanan arazilerin %34'ü, Güney Afrika'dakilerin %18'i ve Mısır'dakilerin %33'ü tuzludur (Ghassemi vd., 1995). Küresel ölçekte, sulanan arazilerin beşte birinden fazlası tuzlanmadan

etkilenmiştir ve bu oran, önlem alınmadığı takdirde önümüzdeki 30 yıl içinde %50'yi aşabilir (Wang vd., 2020). Tuzlanmanın ekonomik maliyeti de büyüktür; dünya genelinde tarımsal kayıpların yıllık maliyeti 27 milyar dolara kadar çıkmaktadır (Wang vd., 2021).

Çevresel ve Tarımsal Sonuçlar

Toprak tuzluluğu, özellikle yarı kurak ve kurak bölgelerde tohum çimlenmesini, tarımsal verimliliği ve toprak-su kalitesini olumsuz etkileyerek arazi bozulmasına ve tarım alanı kaybına yol açmaktadır (Balkanlou vd., 2020; Buthelezi-Dube vd., 2020). Yüksek buharlaşma-terleme (ET) oranları, az yağış ve toprak özelliklerinin birleşimi, suyun toprakta infiltrasyonunu engelleyerek üst katmanlarda tuz birikimine neden olur ve toprak işlevlerini kısıtlar (Makinde & Oyelade, 2019).

Tuzlanmış topraklar, ozmotik stres nedeniyle bitki büyümesini engeller ve kök gelişimini kısıtlar (Gorji vd., 2017). Özellikle kurak bölgelerde, sulanan tarım arazilerinin %30'undan fazlası yetersiz yağış ve yüksek ET oranları nedeniyle tuzludur (Butcher vd., 2016).

Toprak tuzlanmasının mekanizmaları ve nedenleri

Toprak tuzluluğu, toprakta çözünmüş tuz konsantrasyonunu ifade eder ve genellikle elektriksel iletkenlik (EC) cinsinden ölçülür. Tuzlanma, buharlaşma, tuz çökmesi ve çözünmesi, tuz taşınımı ve iyon değişimi gibi süreçlerin bir kombinasyonu sonucu meydana gelir. Tuzlu topraklarda yaygın olarak sodyum (Na^+), kalsiyum (Ca^{2+}), magnezyum (Mg^{2+}), potasyum (K^+), klor (Cl^-), sülfat (SO_4^{2-}), bikarbonat (HCO_3^-) ve karbonat (CO_3^{2-}) gibi tuzlar bulunur (Tanji, 1990).

Tuzlanma, doğal (birincil) veya insan kaynaklı (ikincil) nedenlerden kaynaklanabilir. Birincil tuzlanma, tuz bakımından zengin ana materyalin ayrışması veya deniz kökenli tuz birikimlerinden kaynaklanırken, ikincil tuzlanma, yanlış sulama yöntemleri ve tarımsal arazi açılması gibi insan faaliyetleriyle ilişkilidir (Gupta & Abrol, 1990). Antropojenik faktörler arasında kimyasal gübrelerin aşırı kullanımı, arıtılmamış atık suyun kullanımı ve yeraltı suyunun aşırı çıkarımı yer alır (Rao vd., 2014).

2. Toprak Biyoçeşitliliğinin Kaybı

Topraklar, dünya üzerindeki tüm canlı organizmaların dörtte birinden fazlasına ev sahipliği yaparak küresel ölçekte önemli bir biyolojik çeşitlilik rezervuarı olarak öne çıkar (Decaëns vd., 2006). Bu zengin biyolojik çeşitlilik, toprakların ekosistem hizmetlerini sürdürebilmesi için hayati bir öneme sahiptir. Topraklar; biyokütle üretimi, biyojeokimyasal döngüler ve su hareketi, iklim düzenlemesi ile kirlilik kontrolü gibi işlevleri yerine getirir (Adhikari ve Hartemink, 2016; Blouin vd., 2013; Chen vd., 2020). Ancak bu işlevlerin sürdürülebilirliği, büyük ölçüde toprak biyolojik çeşitliliğine bağlıdır (Bardgett & Van Der Putten, 2014; Pulleman vd., 2012). Bu nedenle, toprak biyoçeşitliliği genellikle toprak güvenliğinin temel taşı olarak kabul edilir (McBratney vd., 2014).

Toprak biyotası, doğal ya da insan kaynaklı rahatsızlıklarla başa çıkma konusunda direnç (direnç gösterebilme) ve iyileşme kapasitesi (yenilenme yeteneği) sunar. Araştırmalar, daha yüksek biyoçeşitliliğe sahip toprakların değişimlere karşı daha dirençli ve dayanıklı olduğunu göstermektedir (Allison ve Martiny, 2008; Downing vd., 2012). Bunun

aksine, toprak biyoçeşitliliğinin azalması, toprak ekosistemlerini daha kırılgan hale getirebilir. Bu azalma, toprakta bulunan yaşam formlarının hem miktarını hem de çeşitliliğini etkiler (Jones vd., 2005). Ayrıca, toprakların normal işlevlerini yerine getirme, bozulmalara tepki verme ve iyileşme kapasitesini kayda değer ölçüde azaltabilir.

İnsan faaliyetlerinin, özellikle yoğun toprak kullanımı, arazi kullanım değişiklikleri ve toprak organik maddesinin azalması gibi tehditlerin, toprak biyoçeşitliliği üzerinde ciddi olumsuz etkileri olduğu bilinmektedir (Gardi vd., 2013). Bu etkiler, belirli taksonların azaldığı bölgelerde daha belirgin hale gelmiş ve biyoçeşitliliğin genel durumu, bölgesel ve küresel ölçekte haritalarla incelenmiştir (Orgiazzi vd., 2016). Bakteriler (Delgado-Baquerizo vd., 2018), mantarlar (Tedersoo vd., 2014), nematodlar (van den Hoogen vd., 2019) ve solucanlar (Phillips vd., 2019) gibi belirli organizmalara yönelik küresel dağılım haritaları, bu grupların ekosistem hizmetlerindeki rollerini anlamamıza yardımcı olmuştur.

Jeffery ve Gardi (2010) tarafından uzman değerlendirmesiyle toprak biyoçeşitliliği üzerinde 12 potansiyel tehdit tanımlanmış ve bu tehditler haritalanmıştır. Bu tehditler arasında en önemlileri; insan kaynaklı yoğun sömürü, toprak organik maddesinin azalması, habitat bozulması ve toprak kirliliği gibi unsurlar olarak sıralanmıştır. Avrupa'da yapılan değerlendirmeler ise, özellikle ekilebilir toprakların biyoçeşitlilik ve işlev açısından orta ila yüksek risk altında olduğunu ortaya koymuştur (Orgiazzi vd., 2016).

Tibbett vd., (2020)'nin yapmış oldukları bibliyometrik çalışmaya göre toprak biyolojik çeşitliliğini en çok tehdit eden 5 başlık belirlemiştir. Bu başlıklar aşağıda sırasıyla açıklanmıştır.

Toprak Sağlığında Düşüş

a) Toprak Sağlığı ve Biyoçeşitlilik Kaybı

Toprağın yoğun insan kullanımı ve sömürüsü, organik madde azalması, toprak sıkışması, toprak kirliliği ve tuzlanma gibi faktörlerle toprak sağlığını olumsuz etkilerken, aynı zamanda toprak biyoçeşitliliğinin azalmasına neden olmaktadır (Aksoy vd., 2017). Özellikle toprak organik maddesinin azalması, işlenmiş tarım alanlarının belirgin bir özelliği haline gelmiştir (Janzen, 2006). Örneğin, Birleşik Krallık'ta yapılan çalışmalarda, karbon kayıplarının ulusal ölçekte meydana geldiği ve bu durumun besin ağlarının enerji kaynağı olan organik madde üzerinde olumsuz etki yarattığı gösterilmiştir (Bellamy vd., 2005). Bu karbon kaybı, toprak biyolojik çeşitliliğinin azalmasına yol açar (Aksoy vd., 2017).

b) Toprak Kirliliği

Toprak kirliliği; tarım, endüstri, atık yönetimi ve ulaşım gibi farklı kaynaklardan kaynaklanabilir ve hem kırsal hem de kentsel alanlarda meydana gelebilir. Kirlilik, ağır metaller (Huang vd., 2013), organik kirleticiler ve atmosferik nitrojen birikimi (Shao vd., 2018) gibi faktörler aracılığıyla toprak toplulukları üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır. Bu kirlilik, toprak biyotasının işlevselliğini ve çeşitliliğini önemli ölçüde azaltabilmektedir.

c) Toprak Tuzlanması

Toprak tuzlanması, yeraltı suyu aşırı çekimi, deniz suyu sızması, aşırı gübre kullanımı ve atık su yönetimi gibi insan faaliyetleriyle artmaktadır. Tuzlanma, toprak agregatlarının yapısal çökmesine, organik madde kaybına ve erozyona yol açarak toprak biyoçeşitliliğini olumsuz yönde etkiler (Daliakopoulos vd., 2016). Tuzlu topraklarda suyun bitkiler için erişilebilirliği önemli ölçüde daha düşüktür ve bu durum, toprak biyolojik çeşitliliği üzerindeki olumsuz etkileri artırır (Martin vd., 2015).

Arazi Kullanım Değişikliği

a) Ormansızlaşma ve Etkileri

Dünya genelinde doğal orman alanlarının yarısından fazlası tarım arazisine dönüştürülmüştür (Huang vd., 2013). 2000-2012 yılları arasında yaklaşık 2,3 milyon km² orman kaybı yaşanmış ve bu kaybın büyük çoğunluğu tropik bölgelerde meydana gelmiştir (Hansen vd., 2013). Tropikal ormanların yok edilmesi, toprak mikroplarını, mezofaunayı ve makrofaunayı olumsuz etkilemiştir (Franco vd., 2019; Peerawat vd., 2018). Ayrıca, yarı doğal ekosistemlerin tek ürün tarımına dönüştürülmesi, bitki örtüsü çeşitliliğini azaltarak toprak biyoçeşitliliğine zarar vermektedir (Figuerola vd., 2015).

b) Kentleşme ve Toprak Sızdırmazlığı

Tarımsal alanların kentleşme nedeniyle kaybı, toprak sızdırmazlığını artırmaktadır. AB ülkelerinde günde yaklaşık 275 hektar toprak sızdırmazlığı rapor edilmiştir. Bu durum, organik madde girişini ve su sızmasını engelleyerek toprak biyoçeşitliliğini azaltmaktadır (Montanarella ve Panagos, 2015). Ayrıca, nehir

havzalarında artan toprak sızdırmazlığı, havzanın diğer alanlarında sel ve erozyon riskini artırarak dolaylı tehditler oluşturmaktadır.

İklim Değişikliği

a) Toprak Biyoçeşitliliği Üzerine Etkileri

İklim değişikliği, toprak sıcaklık ve nem rejimlerini değiştirerek toprak biyoçeşitliliği üzerinde doğrudan etkiler yaratır (Aksoy vd., 2017; Hamidov vd., 2018). Ayrıca, artan deniz seviyesi, şiddetli yağış ve kuraklık gibi aşırı hava olayları, dolaylı olarak toprak tuzlanması ve erozyonu artırarak toprak biyoçeşitliliğini tehdit etmektedir (Daliakopoulos vd., 2016).

b) Tarımsal Değişim ve Biyoçeşitlilik

İklim değişikliği nedeniyle tarım arazilerinin kuzeye kayması ve eriyen permafrost topraklarının tarıma açılması, toprak ekosistemlerinde yeni baskılar yaratmaktadır (King vd., 2018). Ayrıca, biyokömür gibi iklim değişikliği azaltma stratejileri, toprak mikroorganizmaları üzerinde olumlu etkiler yaratırken, makroorganizmalar üzerindeki etkiler henüz yeterince araştırılmamıştır (Conti vd., 2018).

Plastikler

Plastik üretimi 1950'de 1,7 milyon tondan, 2013'te 299 milyon tona yükselmiştir (Duis ve Coors, 2016). Tarımsal faaliyetlerde kullanılan plastik malçlar, toprak mikrobiyal topluluklarını etkileyerek mikrobiyal çeşitliliği azaltmakta ve detritivor türlerin baskın hale gelmesine neden olmaktadır (Schirmel vd., 2018).

Mikroplastikler, tarımsal alanlarda plastik malçlama ve polietilen film uygulamaları sonucu oluşabilir (Horton vd., 2017). Mikroplastikler, yalnızca fiziksel kirleticiler değil, aynı zamanda kimyasal katkı maddeleriyle toprak biyoçeşitliliği üzerinde de tehdit oluşturur (Bouwmeester vd., 2015; Chae ve An, 2018). Örneğin, solucanların mikroplastikleri taşıyarak alt topraktaki organizmalara maruz bırakması, toprak ekosistemlerinde beklenmedik sonuçlara yol açabilir (Rillig vd., 2017).

Toprak sağlığı, insan faaliyetlerinden kaynaklanan bozulmalar ve çevresel değişiklikler nedeniyle ciddi tehdit altındadır. Arazi kullanımı değişikliği, iklim değişikliği, plastik kirliliği ve toprak tuzlanması gibi faktörler, toprak biyoçeşitliliğini doğrudan ve dolaylı yollarla olumsuz etkilemektedir. Bu tehditlerin etkilerini azaltmak ve toprak biyoçeşitliliğini korumak, sürdürülebilir toprak yönetimi politikalarının geliştirilmesiyle mümkün olacaktır.

Toprak Biyoçeşitliliğinin Kaybı ve Etkileri

a) Toprak biyoçeşitliliği ve ekosistem sağlığı

Toprak biyoçeşitliliği, mikroorganizmalar, böcekler ve bitkiler gibi toprak biyotasının çeşitli unsurlarını içeren ve toprak ekosistemlerinin işlevselliği için kritik bir öneme sahip olan bir özelliktir. Ancak, toprak biyoçeşitliliğinde meydana gelen kayıplar, bu biyotik unsurlara doğrudan zarar vererek toprak sağlığını çeşitli yollarla olumsuz etkilemektedir. Örneğin, toprak biyolojik çeşitliliğinin azalması, toprak besin ağının hassas dengesini bozarak besin döngüsü ve organik madde ayrışması gibi temel ekosistem süreçlerini sekteye uğratmaktadır (Bardgett ve Van Der Putten, 2014). Bu tür bozulmalar,

bitkilere gerekli besinlerin sağlanmasını zorlaştırarak toprak işlevselliğini önemli ölçüde azaltır.

b) Besin döngüsü ve organik madde ayrışması

Toprak biyotası, organik maddeleri ayrıştırarak bitkiler için gerekli olan temel besinleri üretir ve böylece toprak verimliliğini destekler. Bununla birlikte, toprak biyoçeşitliliğinin azalması, besin döngüsü süreçlerinin etkinliğini düşürmekte, bu da toprak sağlığını ve üretkenliğini zayıflatmaktadır (Jones vd., 2005). Azalan biyoçeşitlilik, hem toprak ekosistemlerini daha kırılgan hale getirir hem de tarımsal üretimi olumsuz etkiler.

c) Toprak ekosistemlerinin direnç ve toparlanma kapasitesi

Biyoçeşitliliği yüksek topraklar, genellikle çevresel bozulmalara karşı daha dirençli ve toparlanma yeteneği yüksek olan ekosistemlerdir. Ancak, biyoçeşitliliğin kaybı, bu direnç ve toparlanma kapasitesini ciddi şekilde azaltarak toprak ekosistemlerini daha savunmasız hale getirir (Allison ve Martiny, 2008). Bu durum, özellikle arazi kullanım değişiklikleri, yoğun kimyasal kullanım ve iklim değişikliği gibi insan kaynaklı tehditler altında daha belirgin hale gelmektedir.

d) Karbon sekestrasyonu ve iklim değişikliği

Toprak biyotasının bir diğer kritik işlevi, karbon sekestrasyonu yoluyla iklim değişikliğiyle mücadeleye katkıda bulunmasıdır. Mikroorganizmalar ve bitkiler, toprakta karbon depolama süreçlerinde temel bir rol oynar. Ancak, toprak biyoçeşitliliğinde yaşanan azalma, karbon sekestrasyonu kapasitesini düşürerek atmosfere daha fazla sera gazı salınmasına neden olmaktadır (Delgado-Baquerizo vd., 2018). Bu

durum, iklim değişikliğiyle mücadele çabalarını zayıflatmakta ve küresel ekosistemlerin işlevselliğini tehlikeye atmaktadır.

e) Sürdürülebilir yönetim ve koruma gerekliliği

Toprak biyoçeşitliliği, toprak ekosistemlerinin sürdürülebilirliği için vazgeçilmez bir unsurdur. Toprak besin ağının dengesi, besin döngüsünün verimliliği, karbon sekestrasyonu ve toprak bozulmasına karşı direnç gibi süreçler doğrudan biyoçeşitlilikle ilişkilidir. Ancak, insan kaynaklı tehditler, toprak biyoçeşitliliğini hızla azaltmakta ve bu durum ekosistem işlevselliğini tehlikeye sokmaktadır. Bu bağlamda, biyoçeşitliliğin korunması ve sürdürülebilir toprak yönetimi politikalarının geliştirilmesi, hem toprak sağlığının hem de küresel ekosistemlerin korunması adına hayati bir öneme sahiptir.

3. Toprak Sıkışması

Son yıllarda insan kaynaklı toprak sıkışması önemli ölçüde artmıştır, en önemli kaynak arazi araçlarının tekerlekli trafiğidir. Arazi araçları, yürüyen aksamları aracılığıyla toprağa sıkıştırma gerilimleri uygular. Gerilimlerin büyüklüğü ve dağılımı birçok araç ve toprak faktörüne bağlıdır. Toprak sıkışması genellikle gübre, herbisit veya yakıt gibi ürün üretim girdilerinin optimum olmayan bir şekilde kullanılmasıyla sonuçlanır. Toprak işleme talebini ve her işlem için gereken enerjiyi artırır.

Toprak sıkışması, toprağın fiziksel kalitesini ve verimliliğini düşürür. Bu da topraklarda, hacim yoğunluğunda ve toprak mukavemetinde artışlar ve ufalanabilirlikte, toprak gözenekliliğinde ve su tutma kapasitesinde azalmalar meydana getirir. Bu bağlamda suyun toprağa infiltrasyonunu etkiler ve dolayısıyla yüzey akışı, su baskını ve

erozyon riskini artırır (Dexter, 1988). Çayır topraklarındaki sıkışma, ekilebilir topraklardaki sıkışmaya göre daha az şiddetlidir (Palmer ve Smith, 2013). Sıkıştırma ncelikli olarak makro gözenekleri etkiler (Richard vd., 2001) ve gözeneklerin toprak yüzeyine göre hizalanmasını dikeyden paralel olarak değiştirebilir (Servadio vd., 2005). Bu, toprak sağlığı üzerinde aşağıdakiler de dahil olmak üzere çeşitli olumsuz etkilere yol açabilir:

Azalmış kök büyümesi- Sıkıştırılmış toprak, bitki köklerinin toprağa nüfuz etmesini ve su ile besin alınımını zorlaştırır, bu da bitki büyümesini ve genel verimliliği azaltır.



şekil 5. Sıkışmış toprakta pamuk bitki köklerinin yanal hareketi (Söke/Aydın)

Azalmış su sızması- Sıkıştırılmış toprak daha az gözenek alanına sahip olduğundan, suyun toprağa nüfuz etmesi ve bitki kökleri tarafından emilmesi zorlaşır, bu da artan akışa ve azalan su tutulmasına yol açar. Azalmış besin maddesi bulunabilirliği- Toprak sıkışması, köklerin besinlere erişimini zorlaştırdığı için bitki büyümesi için gerekli besin

maddelerinin bulunabilirliğini azaltabilir. Artan erozyon- Sıkıştırılmış toprak, suyu emme ve tutma yeteneği azaldığından erozyona daha yatkındır. Toprak sıkışması ağır makine kullanımı, aşırı otlatma ve kentleşme gibi çeşitli faktörlerden kaynaklanabilir.

Sonuç

Toprak tehditleri, ekosistemlerin sürdürülebilirliğini, tarımsal üretkenliği ve çevresel dengeleri doğrudan etkileyen küresel bir sorundur. Toprak organik karbon (SOC) kaybı, toprak erozyonu, tuzlanma, biyoçeşitlilik kaybı ve sıkışma gibi süreçler, insan faaliyetleri ve sürdürülebilir olmayan arazi kullanımı ile hızlanmaktadır. Bu tehditler, toprak ekosistemlerinin işlevlerini bozarak toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini olumsuz etkilemekte ve dolayısıyla ekosistem hizmetlerini tehlikeye atmaktadır.

SOC kaybı, toprak verimliliğini ve karbon depolama kapasitesini düşürerek erozyonu artırmakta ve iklim değışikliğini hızlandırmaktadır. Yoğun tarım, monokültür uygulamaları ve ormansızlaşma gibi sürdürülemez uygulamalar, özellikle karbon zengin kara toprakları tehdit altına sokmaktadır. Toprak erozyonu hem doğal süreçlerle hem de insan etkisiyle hızlanmakta, üst toprağın kaybına ve verimlilikte ciddi azalmaya yol açmaktadır. FAO'nun raporlarına göre, toprak erozyonu yalnızca ekonomik kayıplara neden olmakla kalmayıp, aynı zamanda 2050 yılına kadar tarımsal verimde %10'a kadar bir düşüşe yol açabilecektir. Ayrıca tuzlanma, özellikle yanlış sulama ve drenaj sistemleri ile bağlantılı olarak, tarımsal üretimi ve toprağın biyolojik işlevlerini tehdit etmektedir. Toprak biyoçeşitliliği kaybı ise, ekosistem

dayanıklılığını zayıflatırken, toprak sağlığı ve hizmetlerini tehlikeye atmaktadır. Toprak sıkışması, yoğun mekanizasyon ve yanlış arazi yönetiminden kaynaklanarak, su ve besin hareketlerini kısıtlamakta, bitki büyümesini engellemekte ve erozyon riskini artırmaktadır.

Yukarıda açılanan tehditlerin şiddetinin azaltılması için: Ormansızlaşmayı önleyen politikalar, çeşitlendirilmiş ekim sistemleri ve koruyucu tarım uygulamaları teşvik edilmeli, Çiftçilere ve arazi yöneticilerine, sürdürülebilir toprak yönetimi teknikleri hakkında eğitim verilmeli, Toprak tehditlerini azaltmaya yönelik yenilikçi çözümler geliştirmek için bilimsel araştırmalar desteklenmeli, Uluslararası kuruluşlar ve yerel yönetimler, koordineli çabalarla toprak tehditlerini ele almak için iş birliği yapmalı, Toprak kalitesini düzenli olarak izleyen ve verileri kamuya açık hale getiren sistemler kurulmalıdır.

Sonuç olarak, toprak tehditleri, yalnızca yerel ekosistemleri değil, küresel gıda güvenliğini ve çevresel sürdürülebilirliği etkileyen kritik bir sorundur. Toprağın korunması, insan refahı ve geleceği için bir öncelik olarak ele alınmalıdır. Toprak, yenilenmesi çok uzun süre gerektiren doğal bir kaynak olduğundan, bu tehditlerin ciddiyle ele alınması ve sürdürülebilir toprak yönetim stratejilerinin yaygınlaştırılması gerekmektedir. Bu önlemler, yalnızca çevresel sürdürülebilirliği sağlamakla kalmayacak, aynı zamanda insan refahını artırmaya yönelik önemli bir adım olacaktır.

KAYNAKLAR

- Adhikari, K., & Hartemink, A. E. (2016). Linking soils to ecosystem services—A global review. *Geoderma*, 262, 101-111.
- Aksoy, E., Louwagie, G., Gardi, C., Gregor, M., Schröder, C., & Löhnertz, M. (2017). Assessing soil biodiversity potentials in Europe. *Science of the Total Environment*, 589, 236-249.
- Allison, S. D., & Martiny, J. B. (2008). Resistance, resilience, and redundancy in microbial communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(supplement_1), 11512-11519.
- Arnold, J. G., Williams, J. R., Nicks, A. D., & Sammons, N. B. (1990). SWRRB; a basin scale simulation model for soil and water resources management.
- Badía, D., & Martí, C. (2008). Fire and rainfall energy effects on soil erosion and runoff generation in semi-arid forested lands. *Arid Land Research and Management*, 22(2), 93-108.
- Balkanlou, K. R., Mueller, B., Cord, A. F., Panahi, F., Malekian, A., Jafari, M., & Egli, L. (2020). Spatiotemporal dynamics of ecosystem services provision in a degraded ecosystem: A systematic assessment in the Lake Urmia basin, Iran. *Science of the Total Environment*, 716, 137100.
- Bardgett, R. D., & Van Der Putten, W. H. (2014). Belowground biodiversity and ecosystem functioning. *Nature*, 515(7528), 505-511.

- Bellamy, P. H., Loveland, P. J., Bradley, R. I., Lark, R. M., & Kirk, G. J. (2005). Carbon losses from all soils across England and Wales 1978–2003. *Nature*, *437*(7056), 245-248.
- Bennett, J. M., Marchuk, A., Marchuk, S., & Raine, S. R. (2019). Towards predicting the soil-specific threshold electrolyte concentration of soil as a reduction in saturated hydraulic conductivity: The role of clay net negative charge. *Geoderma*, *337*, 122-131.
- Blouin, M., Hodson, M. E., Delgado, E. A., Baker, G., Brussaard, L., Butt, K. R., ... & Brun, J. J. (2013). A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services. *European Journal of Soil Science*, *64*(2), 161-182.
- Bouwmeester, H., Hollman, P. C., & Peters, R. J. (2015). Potential health impact of environmentally released micro-and nanoplastics in the human food production chain: experiences from nanotoxicology. *Environmental science & technology*, *49*(15), 8932-8947.
- Butcher, K., Wick, A. F., DeSutter, T., Chatterjee, A., & Harmon, J. (2016). Soil salinity: A threat to global food security. *Agronomy Journal*, *108*(6), 2189-2200.
- Buthelezi-Dube, N. N., Hughes, J. C., Muchaonyerwa, P., Caister, K. F., & Modi, A. T. (2020). Soil fertility assessment and management from the perspective of farmers in four villages of eastern South Africa. *Soil Use and Management*, *36*(2), 250-260.

- Chen, X. D., Dunfield, K. E., Fraser, T. D., Wakelin, S. A., Richardson, A. E., & Condon, L. M. (2019). Soil biodiversity and biogeochemical function in managed ecosystems. *Soil research*, 58(1), 1-20.
- Chen, Y., Camps-Arbestain, M., Shen, Q., Singh, B., & Cayuela, M. L. (2018). The long-term role of organic amendments in building soil nutrient fertility: a meta-analysis and review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 111, 103-125.
- Conti, F. D., Visioli, G., Malcevski, A., & Menta, C. (2018). Safety assessment of gasification biochars using *Folsomia candida* (Collembola) ecotoxicological bioassays. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 6668-6679.
- Daliakopoulos, I. N., Tsanis, I. K., Koutroulis, A., Kourgialas, N. N., Varouchakis, A. E., Karatzas, G. P., & Ritsema, C. J. (2016). The threat of soil salinity: A European scale review. *Science of the total environment*, 573, 727-739.
- Dazzi, C. (2008). Soils, environmental awareness and ecological footprint in the European countries. In *Soil in modern information society* (pp. 49-57). J. Sobocka & J. Kulhavy eds.
- Decaëns, T., Jiménez, J. J., Gioia, C., Measey, G. J., & Lavelle, P. (2006). The values of soil animals for conservation biology. *European Journal of Soil Biology*, 42, S23-S38.
- Delgado-Baquerizo, M., Oliverio, A. M., Brewer, T. E., Benavent-González, A., Eldridge, D. J., Bardgett, R. D., ... & Fierer, N. (2018). A global atlas of the dominant bacteria found in soil. *Science*, 359(6373), 320-325.

- Deng, L., Zhu, G. Y., Tang, Z. S., & Shanguan, Z. P. (2016). Global patterns of the effects of land-use changes on soil carbon stocks. *Global Ecology and Conservation*, 5, 127-138.
- Dominati, E., Patterson, M., & Mackay, A. (2010). A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. *Ecological economics*, 69(9), 1858-1868.
- Dominati, E., Patterson, M., & Mackay, A. (2010). A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. *Ecological economics*, 69(9), 1858-1868.
- Doran, J. W., & Parkin, T. B. (1994). Defining and assessing soil quality. *Defining soil quality for a sustainable environment*, 35: 1–21. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy (SSSA Special Publication). <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub35.c1>.
- Downing, A. S., van Nes, E. H., Mooij, W. M., & Scheffer, M. (2012). The resilience and resistance of an ecosystem to a collapse of diversity.
- Dubois, O. (2011). *Gıda ve tarım için dünyanın kara ve su kaynaklarının durumu: risk altındaki sistemlerin yönetimi* (s. xxiii+-285).
- Duis, K., & Coors, A. (2016). Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects. *Environmental Sciences Europe*, 28(1), 2.
- FAO. 2022. Global status of black soils. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc3124en>

- Figuerola, E. L., Guerrero, L. D., Türkowsky, D., Wall, L. G., & Erijman, L. (2015). Crop monoculture rather than agriculture reduces the spatial turnover of soil bacterial communities at a regional scale. *Environmental Microbiology*, *17*(3), 678-688.
- Franco, A. L., Sobral, B. W., Silva, A. L., & Wall, D. H. (2019). Amazonian deforestation and soil biodiversity. *Conservation Biology*, *33*(3), 590-600.
- García-Díaz, A., Marqués, M. J., Sastre, B., & Bienes, R. (2018). Labile and stable soil organic carbon and physical improvements using groundcovers in vineyards from central Spain. *Science of the Total Environment*, *621*, 387-397.
- Gardi, C., Jeffery, S., & Saltelli, A. (2013). An estimate of potential threats levels to soil biodiversity in EU. *Global change biology*, *19*(5), 1538-1548.
- Ghassemi, F., Jakeman, A. J., & Nix, H. A. (1995). *Salinisation of land and water resources: human causes, extent, management and case studies* (pp. xviii+-526).
- Graber, D. R., Jones, W. J., & Johnson, J. A. (1995). Human and ecosystem health: The environment-agriculture connection in developing countries. *Journal of agromedicine*, *2*(3), 47-64.
- Gregory, A. S., Watts, C. W., Griffiths, B. S., Hallett, P. D., Kuan, H. L., & Whitmore, A. P. (2009). The effect of long-term soil management on the physical and biological resilience of a range of arable and grassland soils in England. *Geoderma*, *153*(1-2), 172-185.

- Gupta, R. K., & Abrol, I. P. (1990). Salt-affected soils: their reclamation and management for crop production. *Advances in Soil Science: Soil Degradation Volume 11*, 223-288.
- Günel, H., Korucu, T., Birkas, M., Özgöz, E., & Halbac-Cotoara-Zamfir, R. (2015). Threats to sustainability of soil functions in Central and Southeast Europe. *Sustainability*, 7(2), 2161-2188.
- Hamidov, A., Helming, K., Bellocchi, G., Bojar, W., Dalgaard, T., Ghaley, B. B., ... & Schönhart, M. (2018). Impacts of climate change adaptation options on soil functions: A review of European case-studies. *Land degradation & development*, 29(8), 2378-2389.
- Hansen MC, Potapov PV, Moore R, Hancher M, Turubanova SA, Tyukavina A, Thau D, Stehman SV, Goetz SJ, Loveland TR+5 [more](#). 2013. High-resolution global maps of 21st century forest cover change. *Science* 342:850-854
- Hopmans, J. W., Qureshi, A. S., Kisekka, I., Munns, R., Grattan, S. R., Rengasamy, P., ... & Taleisnik, E. (2021). Critical knowledge gaps and research priorities in global soil salinity. *Advances in agronomy*, 169, 1-191.
- Horton, A. A., Walton, A., Spurgeon, D. J., Lahive, E., & Svendsen, C. (2017). Microplastics in freshwater and terrestrial environments: Evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities. *Science of the total environment*, 586, 127-141.
- Huang, P. M., Wang, S. L., Tzou, Y. M., Huang, Y., Weng, B., Zhuang, S., & Wang, M. K. (2013). Physicochemical and biological

- interfacial interactions: impacts on soil ecosystem and biodiversity. *Environmental Earth Sciences*, 68, 2199-2209.
- Hughes, J. D., & Thirgood, J. V. (1982). Deforestation, erosion, and forest management in ancient Greece and Rome. *Journal of Forest History*, 26(2), 60-75.
- ITPS: Intergovernmental Technical Panel on Soil: State of the World's Soil Resources report, FAO Publication, 2015.
- Janzen, H. H. (2006). The soil carbon dilemma: shall we hoard it or use it?. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(3), 419-424.
- Jeffery, S., & Gardi, C. (2010). Soil biodiversity under threat-- a review. *Acta Societatis Zoologicae Bohemicae*, 74(1-2), 7-12.
- Jones, R. J., Hiederer, R., Rusco, E., & Montanarella, L. (2005). Estimating organic carbon in the soils of Europe for policy support. *European Journal of Soil Science*, 56(5), 655-671.
- Kaempf, I., Hoelzel, N., Stoerrle, M., Broll, G., & Kiehl, K. (2016). Potential of temperate agricultural soils for carbon sequestration: A meta-analysis of land-use effects. *Science of the Total Environment*, 566, 428-435.
- Kahlon, M. S., Lal, R., & Ann-Varughese, M. (2013). Twenty two years of tillage and mulching impacts on soil physical characteristics and carbon sequestration in Central Ohio. *Soil and Tillage Research*, 126, 151-158.
- King, M., Altdorff, D., Li, P., Galagedara, L., Holden, J., & Unc, A. (2018). Northward shift of the agricultural climate zone under 21st-century global climate change. *Scientific reports*, 8(1), 7904.

- KK, T. (1990). Agricultural salinity assessment and management. In *American Society of Civil Engineers* (Vol. 54, pp. 413-415).
- Koch, A., McBratney, A., Adams, M., Field, D., Hill, R., Crawford, J., ... & Zimmermann, M. (2013). Soil security: solving the global soil crisis. *Global Policy*, 4(4), 434-441.
- Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *science*, 304(5677), 1623-1627.
- Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *science*, 304(5677), 1623-1627.
- Lal, R., Negassa, W., & Lorenz, K. (2015). Carbon sequestration in soil. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 15, 79-86.
- Makinde, E. O., & Oyelade, E. O. (2020). Land cover mapping using Sentinel-1 SAR and Landsat 8 imageries of Lagos State for 2017. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(1), 66-74.
- Martín, J., López, P., Gutiérrez, E., & García, L. V. (2015). Natural and anthropogenic alterations of the soil affect body condition of the fossorial amphisbaenian *Trogonophis wiegamanni* in North Africa. *Journal of Arid Environments*, 122, 30-36.
- McBratney, A., Field, D. J., & Koch, A. (2014). The dimensions of soil security. *Geoderma*, 213, 203-213.
- McBratney, A., Field, D. J., & Koch, A. (2014). The dimensions of soil security. *Geoderma*, 213, 203-213.

- Mchunu, C., & Chaplot, V. (2012). Land degradation impact on soil carbon losses through water erosion and CO₂ emissions. *Geoderma*, 177, 72-79.
- Metternicht, G., & Zinck, A. (2008). *Remote sensing of soil salinization: Impact on land management*. CRC Press.
- Mirzaee, S., Ghorbani-Dashtaki, S., & Kerry, R. (2020). Comparison of a spatial, spatial and hybrid methods for predicting inter-rill and rill soil sensitivity to erosion at the field scale. *Catena*, 188, 104439.
- Montanarella, L., & Panagos, P. (2015). Policy relevance of critical zone science. *Land Use Policy*, 49, 86-91.
- Montgomery, D. R. (2012). *Dirt: The Erosion of Civilizations*, with a New Preface. Univ of California press.
- Oldeman, L. R., Hakkeling, R. T. A., & Sombroek, W. G. (1990). *World map of the status of human-induced soil degradation: an explanatory note* (pp. 27-pp).
- Orgiazzi, A., Bardgett, R. D., & Barrios, E. (2016). *Global soil biodiversity atlas* (pp. 176-pp).
- Peerawat, M., Blaud, A., Trap, J., Chevallier, T., Alonso, P., Gay, F., ... & Brauman, A. (2018). Rubber plantation ageing controls soil biodiversity after land conversion from cassava. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 257, 92-102.
- Phillips, H. R., Guerra, C. A., Bartz, M. L., Briones, M. J., Brown, G., Crowther, T. W., ... & Eisenhauer, N. (2019). Global distribution of earthworm diversity. *Science*, 366(6464), 480-485.

- Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., ... & Blair, R. (1995). Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science*, 267(5201), 1117-1123.
- Powers, J. S., Corre, M. D., Twine, T. E., & Veldkamp, E. (2011). Geographic bias of field observations of soil carbon stocks with tropical land-use changes precludes spatial extrapolation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(15), 6318-6322.
- Preez, C. C. D., Huyssteen, C. W. V., & Mnkeni, P. N. (2011). Land use and soil organic matter in South Africa 2: A review on the influence of arable crop production. *South African Journal of Science*, 107.
- Pulleman, M., Creamer, R., Hamer, U., Helder, J., Pelosi, C., Peres, G., & Rutgers, M. (2012). Soil biodiversity, biological indicators and soil ecosystem services—an overview of European approaches. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 4(5), 529-538.
- Rao, G. G., Khandelwal, M. K., Arora, S., & Sharma, D. K. (2012). Salinity ingress in coastal Gujarat: Appraisal of control measures. *Journal of Soil Salinity and Water Quality*, 4(2), 102-113.
- Rengasamy, P. (2006). World salinization with emphasis on Australia. *Journal of experimental botany*, 57(5), 1017-1023.
- Rillig, M. C., Ziersch, L., & Hempel, S. (2017). Microplastic transport in soil by earthworms. *Scientific reports*, 7(1), 1362.

- Rui, Y., Murphy, D. V., Wang, X., & Hoyle, F. C. (2016). Microbial respiration, but not biomass, responded linearly to increasing light fraction organic matter input: Consequences for carbon sequestration. *Scientific Reports*, 6(1), 35496.
- Saltini, A. (1989). Storia delle scienze agrarie.
- Schirmel, J., Albert, J., Kurtz, M. P., & Muñoz, K. (2018). Plasticulture changes soil invertebrate assemblages of strawberry fields and decreases diversity and soil microbial activity. *Applied Soil Ecology*, 124, 379-393.
- Seifi, M., Ahmadi, A., Neyshabouri, M. R., Taghizadeh-Mehrjardi, R., & Bahrami, H. A. (2020). Remote and Vis-NIR spectra sensing potential for soil salinization estimation in the eastern coast of Urmia hyper saline lake, Iran. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 20, 100398.
- Shahid, S. A., Heng, L., Shahid, S. A., Zaman, M., & Heng, L. (2018). Soil salinity: Historical perspectives and a world overview of the problem. *Guideline for salinity assessment, mitigation and adaptation using nuclear and related techniques*, 43-53.
- Shao, Y., Liu, T., Eisenhauer, N., Zhang, W., Wang, X., Xiong, Y., ... & Fu, S. (2018). Plants mitigate detrimental nitrogen deposition effects on soil biodiversity. *Soil Biology and Biochemistry*, 127, 178-186.
- Singh, A. (2018). Alternative management options for irrigation-induced salinization and waterlogging under different climatic conditions. *Ecological Indicators*, 90, 184-192.

- Tanji, K.K., (1990). Agricultural salinity assessment and management. In American Society of Civil Engineers (Vol. 54, pp. 413-415).
- Tedersoo, L., Bahram, M., Põlme, S., Kõljalg, U., Yorou, N. S., Wijesundera, R., ... & Abarenkov, K. (2014). Global diversity and geography of soil fungi. *science*, 346(6213), 1256688.
- Tian, F., Hou, M., Qiu, Y., Zhang, T., & Yuan, Y. (2020). Salinity stress effects on transpiration and plant growth under different salinity soil levels based on thermal infrared remote (TIR) technique. *Geoderma*, 357, 113961.
- Tibbett, M., Fraser, T. D., & Duddigan, S. (2020). Identifying potential threats to soil biodiversity. *PeerJ*, 8, e9271.
- Van Den Hoogen, J., Geisen, S., Routh, D., Ferris, H., Traunspurger, W., Wardle, D. A., ... & Crowther, T. W. (2019). Soil nematode abundance and functional group composition at a global scale. *Nature*, 572(7768), 194-198.
- Wang, F., Shi, Z., Biswas, A., Yang, S., & Ding, J. (2020). Multi-algorithm comparison for predicting soil salinity. *Geoderma*, 365, 114211.
- Wang, F., Yang, S., Wei, Y., Shi, Q., & Ding, J. (2021). Characterizing soil salinity at multiple depth using electromagnetic induction and remote sensing data with random forests: A case study in Tarim River Basin of southern Xinjiang, China. *Science of the Total Environment*, 754, 142030.
- Zaman, M., Shahid, S. A., & Heng, L. (2018). *Guideline for salinity assessment, mitigation and adaptation using nuclear and related techniques* (p. 164). Springer Nature.

BÖLÜM 3

ETÇİ VE YUMURTACI DAMIZLIK TAVUKLARDA HOROZ YÖNETİMİ

Doç. Dr. Serdar KAMANLI

GİRİŞ

Hayvansal üretim dallarından biri olan tavukçuluk sektörü dünyada en gelişmiş ve modern üretim tekniklerinin geniş olarak uygulandığı bir sektördür. Dünyada her yıl yaklaşık olarak kesilen tavuk sayısı 70 milyar adetken, yumurta tavuğu sayısı ise 7.9 milyar civarındadır (Faostat, 2022). Üretimde kullanılan hibrit etlik piliç ve yumurtacı tavukları üretmek amacı ile ebeveyn ve büyük ebeveyn sürülerinden yararlanılmaktadır. Damızlık tavukçulukta amaç tavuk başına çok sayıda damızlık ve ya kuluçkalık yumurta üretmekle birlikte bunlarda ayrıca, yüksek döllülük, yüksek çıkış gücü ve yüksek oranda satılabilir civciv elde edilmesi beklenir. Damızlık işletmelerin nihai çıktısı, et ve yumurta üretimi için yetiştirilecek bir günlük ticari bir civcivdir ve bu ideal olarak her civcivin maliyetinin değerlendirilmesiyle desteklenen bir yönetim stratejisini gerektirir (Laughlin, 2009). Üretilen yumurta sayısı ve kalitesi ana hatlarıyla ilgili iken çiftleşme ve yüksek döllülük oranı ise büyük ölçüde baba hattının horozları ile ilgilidir. Az sayıdaki horoz çok sayıda tavuk ile çiftleşeceğinden sürüde döllülüğün yüksek elde edilmesinde horozların etkisi daha fazladır. Çiftleşme isteği ve yüksek döllülük horozların

genetik yapıları, bakım beslenmesi, sürü üniformitesi, yetiştirme koşulları, horoz/tavuk oranı ve dişilerin davranımı ve mizaçları ile de ilgili olabilmektedir. Özellikle etlik piliçlerde hızlı gelişme ve yüksek canlı ağırlık artışı yönünde sürekli ve yoğun seleksiyon damızlık sürülerinde, üreme bozuklukları, cinsel aktivitede azalma ve erken cinsel olgunluğa ulaşmayı sağlamışken, gonad gelişiminin sınırlı kaldığı yeni ırklarla sonuçlanmıştır (De Jong ve Guemene, 2011, Brillard, 2004, Ansari, 2024). Damızlık horozlarda erken cinsel olgunluk genellikle üreme performansında hızlı bir düşüşle sonuçlanmakta ve bu da sezon boyunca kabul edilebilir döllülük oranlarını korumak için kısmen veya tamamen horoz değişimini gerektirebilmektedir. Bu uygulama maliyetli olmasının yanında, sağlık riskleri oluşturur ve yeterli döllülük oranlarını korumada kısmen etkili olabilmektedir. (Brillard, 2004). Aynı zamanda yüksek iştah ve hızlı gelişme özelliklerinden dolayı ebeveynlerde canlı ağırlık kontrolünü de gündeme getirmektedir. Şayet nitel ve ya nicel olarak yem kısıtlama uygulaması etlik piliç ebeveynlerinde gereği gibi uygulanmazsa yumurta üretimi ve döllülükte problemler yaşanabilmektedir. Yem kısıtlaması durumunda horoz ve tavuklar ayrı yemliklerden ve farklı yemler ile beslenmeleri gerekmektedir.

Bu durum özellikle uygun yemleme sistemleri kullanılmadığı durumlarda strese ve üniformite problemleri ile sonuçlanabilmektedir. Yumurtacı ebeveynlerde bu durum çok da problem değildir. Özellikle etlik piliç damızlık horozlarda düşük libidoya rağmen çiftleşme sırasında agresif davranışlar sergiledikleri bilinmektedir. Bu durum tavuklarda ciddi yaralanmalara sebep olabilmektedir.

Bu durumu azaltmak için damızlık horozlarda gaga kesimi, mahmuz alma ve parmak kesimi gibi uygulamalar yapılabilmektedir (De Jong ve Guemene, 2011). Cüce (dw) geni, kendisi cüce olan ancak normal bir horozla çiftleştirildiğinde normal etlik piliç civcivleri üreten bir ana hattı dışıdır. Cüce damızlıkların kullanımını ve kafes sistemlerinde suni tohumlama gibi uygulamalar var olmakla birlikte bunlar varsayıldığı ölçüde endüstride yayılma alanı bulamamıştır (Laughlin, 2009).

1. Tavuklarda çiftleşme ve dölleme

Bir horoz, tavukların mevcudiyetine bağlı olarak günde 10 ila 30 kez çiftleşebilir. Yumurta akı salgılanmadan önce infundibulumdaki yumurtanın dölleme için uygun zamanda yeterli sayıda sperm sağlayacak fizyolojik süreçler tam olarak bilinmemekle birlikte, iki hipotez mevcuttur. Birincisi, sperm, yumurta kanalının kabuk bezi ile vajinanın birleştiği yerde bulunan sperm depolama tübüllerinden infundibulumda sabit sayıda sperm varlığını sağlamak için sürekli olarak belli ölçülerde salınıyor olabilir veya yumurtlama sırasında bir yumurtanın geçişi esnasında mekanik basınç ve gerilme yoluyla tübüllerden salınıyor olabilir. Bir çiftleşmeden 23-26 saat sonra döllü yumurta üretilebilmesine karşın maksimum döllülüğe üçüncü günde ulaşılabilir. Çiftleşme sıklığı tavuklar arasında değişiklik gösterir, her gün veya her birkaç günde bir gerçekleşebilir. Tavuklar çok eşlidir, ancak belirli horozlar belirli tavuklarla daha sık çiftleşebilir. Bazı tavuklar belirli horozlardan kaçınır. Bazı ırklar da daha az sıklıkla çiftleşir. Soğuk ve sıcak çevre sıcaklıkları normal çiftleşme aktivitesini

azaltır. Horoz ve tavuk için optimum sıcaklık 20 ila 25 °C civarındadır (Saunders, 2022). Tavukların fiziksel durumu, erkek-dişi oranı, beslenme, büyüme eğrisi ve hastalık gibi çevresel faktörler döllülüğü etkilemektedir (McDaniel ve ark., 1981, Bowling ve ark., 2003, Hazary ve ark., 2001, McDaniel ve ark., 2001). Göğüs gelişimi ile döllülük arasında negatif bir ilişki olduğu bildirilmiştir (Siegel, 1962). Sabah erken saatlerdeki çiftleşmelerdeki sperm sayısı ve konsantrasyonu, öğleden sonra geç saatlere kıyasla daha fazladır. Çiftleşme davranışı sabahın erken saatlerinde ve öğleden sonra geç saatlerde daha yüksektir.

Sürüden horozların çıkarılmasından sonra 4 haftaya kadar döllü yumurta üretilebilmesine karşın, döllülük hızla azalır ve dördüncü günden sonra bu azalma daha hızlı olur. Sürüye yeni horozlar konulursa yeni spermler eski spermlerden daha canlı ve hızlı olacağından yeni horozlar üçüncü ila dördüncü günden sonra neredeyse tüm yumurtaları döllemiş olur. Irklar arasında döllülük oranları bakımından büyük farklılıklar görülür. Genel olarak, bu özellik bakımından broiler ırklarında daha yüksek bir seleksiyon baskısı uygulandığı için, etlik piliçler piliç yumurtacı hatlara kıyasla daha iyi bir döllülük oranına sahiptirler. Doğal çiftleşme sistemlerinde, kullanılan ırka ve sistemlere bağlı olarak 100 tavuk başına 8 ila 12 horoz hesaplanır. Ağır ırklarda, hafif ırklara kıyasla tavuk başına daha fazla horoz gerekir.

Memelilerin aksine, civciv embriyosu annenin kanından değil yumurtada depolanan besin maddelerinden gelişmektedir. Embriyonun bir kısmı yumurta yumurtlanmadan önce tavuğun üreme sistemi içerisinde gerçekleşse de, büyük bir kısmı tavuğun vücudu dışında

gerçekleşir ve bu gelişim memelilerdekinden çok daha hızlıdır. Döllenme doğal çiftleşme veya yapay tohumlama yoluyla gerçekleşebilir. Döllenmeden hemen sonra hücre bölünmesi başlarken, yumurta kanalı boyunca hareket ederken hücre bölünmesi devam eder. Yumurta yumurtlanmadan önceki bu erken embriyonik gelişim (ovum öncesi) yumurta yumurtlandıktan kısa bir süre sonra durur. Şayet yumurta 24°C'nin altındaki bir sıcaklıkta tutulursa hücre bölünmesi olmaz. Bu sıcaklığa genellikle embriyonik gelişimin eşik sıcaklığı denir (Saunders, 2022).

2. Horozlarda üreme sistemi

Testislerde üretilen sperm kanallar sayesinde vas deferense gider ve buradan semen, kloakanın kıvrımlarında bulunan çiftleşme organına iletilir. Sperm, lenf sıvısıyla seyreltiildiği vas deferens'te depolanır ve çiftleşme sırasında her ikisi de bir karışım olarak dışarı atılır. Horozun fallusu çok küçüktür, çiftleşme sırasında dişinin kloakası, yumurta kanalının sonunu ortaya çıkaracak şekilde açılır ve semen bu açıklığın üzerine bırakılır. Buradan tavuğun yumurta kanalı boyunca hareket eder (Saunders, 2022). Çoğu memelideki durumun aksine, horozun testisleri vücut boşluğunda böbreklere yakın bir pozisyondadır ve yaklaşık 41°C'lik vücut sıcaklığında işlev görür. Testisler olgunlaşmadan önce her biri sadece 1-2 g'dır, yaklaşık 18. hafta civarında başlayarak boyutunda bir artış olur ve olgun testisler 15-20 g civarında olur. Vücut büyüklüğü ile testis boyutu, testis boyutu ile sperm üretimi arasında pozitif bir ilişki vardır. Günlük sperm üretimi, gram testis ağırlığı başına yaklaşık 100 milyon civarındadır. Sperm üretimi, çiftleşme veya

toplama sıklığından bağımsız olarak oldukça sabittir. Bu nedenle, daha yüksek çiftleşme sıklığında, ejakülat başına daha az sperm olacaktır. Eğer 2-3 günlük bir süre içinde çiftleşme olmazsa, vas deferens'te depolanan spermler yeniden emilir. Testisler tarafından üretilen testosteron hormonu fotoperiyottan etkilenir ve üreme döngüsünü kontrol eder. İbik boyutu ve rengi, testosteron seviyesinin hassas bir göstergesidir ve bu nedenle gelişmekte olan horozlarda olgunluk aşamasını değerlendirmek için kullanılabilir (Leeson and Summers, 2010, anonim a). 7-10 günlük bir süre içinde 4-5 semen örneğini değerlendirmek bir horozun dölleme yeteneğini tahmin etmek için yeterlidir (Leeson and Summers, 2010).

3. Erkek civcivlere uygulanan morfolojik işlemler

3.1. Gaga kesimi

Tavuklarda tüy çekme ve gagalama doğal bir davranımdır. Agresif gagalama kanibalizme sebep olabilir ve bunu engellemenin en pratik çözümü ise gaga kısaltmadır. Gaga kesimi yem saçımını da azaltmaktadır. Yumurtacı ve etlik piliç damızlıklarında gaga kısaltma yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Yaygın olarak iki yöntem ile uygulanmaktadır. Birincisi infrared gaga kesim yöntemidir. Kuluçkada günlük civcivlere uygulanmaktadır. Civcivlerin gaga ucu kızılötesi ışın ile dağlanır ve birkaç haftalık yaşta kendiliğinden düşmektedir. Hayvanları daha az strese sokma ve işgücü bakımından diğer yöntemlere göre daha avantajlıdır. Diğer yöntem ise kızdırılmış bıçaklı gaga kısaltma makineleri ile yapılan uygulamadır. Civcivlerin 6-10 günlük

yaşlarında uygulanmaktadır (Sanders, 2022, Jong and emous, 2017 anonim, a, anonim, b, anonim, c, anonim d, EFSA, 2010).

3.2. İbik alma

Bazı horoz hatları aşırı saldırgan olup birbirlerinin ibiklerine saldırarak zarar verebilir. Bu durumda günlük yaştaki horozların oval ve keskin bir makas ile ibikleri dibinden tanmamen veya arka kısımdan bir miktarı alınabilmektedir (Sanders, 2022, EFSA, 2010, Jong and emous, 2017, Lesson and Summers, 2010). İbiği kaplayan bir tüy örtüsü olmadığından dolayı donmaya karşı da hassastır. Düşük sıcaklıklar ibikte donmaya sebep olabildiği gibi üreme performansında da azalmaya sebep olabileceği ile ilgili bildirişler mevcuttur (Lamoreux and Jones, 1942, Long and Godfrey, 1952). Günümüzde yaygın olarak kullanım alanı yoktur (Jong and emous, 2017).

3.3. Parmak kesimi

Bazı hatlarda çiftleşme sırasında horozların tavukları kanatlarının arkasından tutmak için kullandığı arka ayak parmağı tavukların yaralanmasına sebep olabilir. Bu durum horozların arka ayak parmaklarının civciv döneminde özel aletler ile kesilip dağlanması ile kısmen giderilebilir. Çok gerekli durumlarda iç parmakta kesilebilir (EFSA, 2010, Jong and emous, 2017, Sanders, 2022).

3.4. Mahmuz alma

Horozların mahmuzları, dişilerin yaralanmasına ve erkeklerin kavga sırasında birbirlerine zarar vermesine neden olabilir. Bunu önlemek amacıyla horozların mahmuzları günlük yaşta alınarak dağlanır. Bu tür uygulamalar çok gerekli olmadan yapılmamalıdır (Jong and emous, 2017, Sanders, 2022, EFSA 2010).

3.5. Cinsiyet hatalarını giderme

İbik veya parmak kesimi aynı zamanda ana ve baba hattının karışmaması ve cinsiyet hatalarının giderilmesi için de uygulanabilmektedir. Ana hattının erkekleri için bu durum özellikle önemlidir. Ana hattının erkekleri hızlı büyüme özelliği göstermediğinden dolayı dölllerinin hızlı gelişme özelliği iyi olmayacaktır. Baba hattının dişilerinin ayıklanmaması durumunda kuluçkalık yumurta verimi düşük olacaktır. Bir horoz yaklaşık 1000 civcivi etkileyebilir. Baba hattının civcivlerinde ibik kesimi yapılırsa ibiği kesilmeyen horozlar ana hattına, ibiği kesilmiş tavuklar baba hattına mensup olacağından kolayca ayıklanabilirler (Lesson and Summers, 2010).

4. Horozların büyütülmesi

Damızlık horozların yönetiminde amaç, yüksek döllülük oranına sahip kuluçkalık yumurta üretmek amacıyla etkili bir şekilde çiftleşebilen horozlar elde etmektir. Horozlar kafes veya yer sistemlerinde büyütülebilirler. Yumurtacı damızlıklarda horozlar genelde günlük yaştan itibaren dişilerle birlikte yetiştirilmekle birlikte (Sanders, 2022, Anonim e) bazı damızlıkçı firmalar 4 haftaya kadar ayrı yetiştirmeyi tavsiye etmektedirler (Anonim d). İslah firmasının kılavuzları ve önerileri bu hususta önemlidir. Büyütme döneminde 18 haftalık yaşa kadar amaç, firmaların önerdiği vücut ağırlıklarına ulaşmaktır. Bu durum horoz ve tavuklar içinde geçerlidir. Horoz ve tavukların ağırlıkları, yaşa göre bu ideal ağırlığa mümkün olduğunca yakın olmalıdır. Bu ağırlıklar tavsiye edilen yemlerin hayvanların yaşlarına

uygun olarak serbest yemlenmesiyle sağlanabilir. Kontrollü ve kısıtlı yemleme yumurtacı damızlıklarda nadiren uygulanır, ancak canlı ağırlıkların önerilen katalog değerlerinden fazla olması durumunda gerekebilir.

Etlik piliçlerde dişi ve erkekler beraber büyütülebilir ancak bu durumda yemleme dişilere göre yapılacağından erkekler olması gerekenden daha düşük canlı ağırlığa sahip olabilirler (Leeson and Summers, 2010). Dişi ve erkekleri ayrı büyütmek canlı ağırlık kontrolü bakımından daha avantajlı ve sık kullanılan yöntemdir. Dönem boyunca ayrı ayrı büyütmek mümkün değilse bile en azından ilk 3-6 hafta boyunca ayrı yetiştirilmeleri önemlidir (Leeson and Summers, 2010, Saunders, 2022). Etlik piliç damızlıklarda yem kısıtlaması yapılmaz ise iştah ve yüksek yem tüketimlerinden dolayı aşırı canlı ağırlık kazanacaklarından üreme performansları olumsuz yönde etkilenecektir. Yapılan bir çalışmada damızlık etlik piliç horozlarının canlı ağırlıklarının, 3. 4, 5, 6 ve 7 kg olması durumunda % döllülük oranlarının sırası ile; 45, 86, 91, 79 ve 22 olarak gerçekleştiği bildirilmiştir (Hocking 2009). Horozlar ağırlaştıkça daha fazla semen üretebilmelerine karşın, genellikle semen daha düşük metabolizma hızına sahip ve bu nedenle daha az hareketli olan daha fazla ölü veya anormal sperm içerir. Çok ağır horozların çiftleşme istekleri azalır (Leeson ve Summers, 2010). Horozların dönem sonunda kademeli olarak yaklaşık 5 kg canlı ağırlığa ulaşmaları istenmektedir (Hocking ve Bernard, 1997; Romero-Sanchez ve ark. 2007). 5 kg'ın üzerindeki horozların üreme kabiliyetleri nispeten düşüktür çünkü aktif bir şekilde çiftleşemezler. Aynı zamanda 3,5 kg dan düşük canlı ağırlığına sahip

horozların da küçük testislerden dolayı üreme kabiliyetleri zayıftır (Hocking, 1990). Kademeli canlı ağırlık artışı sağlanamaz ise horozlar üreme döneminin ikinci yarısında nispeten zayıf üreme gücüne sahip olurlar (Hocking ve Bernard, 1997).

Yem kısıtlaması her gün belli miktarlarda yem vermek şeklinde uygulandığı gibi iki günde bir veya haftada 4 veya 5 kere yemleme şeklinde de uygulanabilir. Bu durumda yemleme günlerinde verilecek yem miktarı artacaktır. Gün aşırı yemleme programlarının canlı ağırlık üniformitesinde iyileşme ve yem rekabetinde azalma gibi faydaları olduğu bildirilmektedir (de Beer ve Coon, 2009; Arrazola ve ark., 2019, Zuidhof ve ark., 2015; Arrazola ve ark., 2019).

Etlik piliç damızlıklar civciv döneminden cinsi olgunluk yaşına ulaşana kadar farklı gelişim aşamaları gösterirler. İlk aşamada en önemli olan bağışıklık sistemi, tüylenme ve iskelet sistemi gelişimidir. 6-8 haftalarda olması gereken sınırlarda gelişmiş vücut yapısı ve kas gelişimi önemlidir. 3-10 haftalarda canlı ağırlık artış hızı kısmen hızlı iken 10. Haftanın sonunda düz bir seyir, 15 haftadan itibaren üreme sistemi de geliyeceğinden büyütme döneminin sonuna kadar tekrar artış göstermesi uygun olacaktır (Saunders, 2022).

Çevre kontrollü kümeslerde, horozların kavga etmesini ve kanibalizmi önlemek için yaklaşık 10 lüks gibi düşük ışık yoğunluğunda yetiştirilebilirler. Horozların 14-15 haftalık yaşa kadar yeterli büyüklüğe ulaşmaları çok önemlidir. Küçük cüsseli horozlar obeziteye eğilimlidir ve daha büyük tavuklarla çiftleşmede sorun yaşarlar. Testisler de 16-17 haftalık yaştan sonra gelişmeye başlayacaktır ve bu dönemde erkeklerin aşırı yem kısıtlaması veya düşük besin maddeleri

içeren yemlerle beslenmeleri gibi durumlardan kaçınılmalıdır. Kontrollü büyümeyi garanti altına almak amacıyla yapılacak uygulamalarda horozlara yeterli yemlik-suluk alanı, uygun ısıtma ve havalandırma ve aydınlatma ve yerleşim sıklığı gibi çevresel faktörlerin iyi düzenlenmesi gerekmektedir. Yerleşim sıklığı kümes tipine göre değişebilmekle birlikte büyütme döneminde 2,5-4 horoz/m² önerilmektedir (Anonim a 2023, Anonim b, Anonim c) yeterli olacaktır. Üniformitenin sağlanması ve devamlılığı için düzenli tartımlar yapılmalı, gerekenden fazla veya düşük canlı ağırlık durumunda sebebi araştırılarak gereken önlemler alınmalıdır. Olması gerekenden yüksek canlı ağırlık durumunda verilen yem miktarını düşürmek yerine uygun canlı ağırlık sağlanana kadar yem miktarı sabit tutulmalıdır. Yemlik sistemi yemi tüm kümes alanına mümkün olduğu kadar kısa sürede dağıtabilmelidir, bu durum yem kısıtlaması uygulandığından dolayı daha bir önemlidir. Horozların farklı miktarlarda yem yemeleri üniformiteyi bozacaktır.

5. Aydınlatma

Erkek ve dişiler beraber büyütülür ise aydınlatma programı dişilere göre belirlenecektir. Ancak ayrı yetiştirildiklerinde erkek aydınlatma programları uygulanır. Horozlara günde 6-8 saat aydınlatma uygulandığında damızlık olarak en iyi performansı gösterirler. Daha uzun süreli sabit aydınlatma uygulandığında cinsi olgunluk gecikir ve testis gelişimi az olur. Yetiştirme sırasında çok uzun süreli aydınlatma uygulandığında (16-20 saat), sperm üretiminde bir azalma olur. Yapay tohumlamanın kullanıldığı durumlarda horozlar tavuklardan ayrı

tutulursa, sürekli semen üretimi için 10-12 saat ışık yeterlidir. Horozlar cinsi olgunluktan sonra tamamen horoz sürülerinde tutulacaksa, 8-10 saat ışık yeterli olacaktır (Leeson and Summers, 2010).

6. Üniformite

Üniformite, özellikle canlı ağırlık bakımından horozların birbirlerine yakın olması durumudur. Üniformite varyasyon katsayısı (CV) veya % üniformite olarak hesaplanabilir. Belirli aralıklarla horozlar tartılarak üniformite hesaplanır. Bölme veya tüm sürünün %2-3' ünün tartılması ve kümesin değişik bölümlerinden hayvanların tartılması doğru hesaplama bakımından uygun olacaktır. Üniformitenin % 85 in üzerinde olması istenilen bir durumdur. Örnek vermek gerekirse ortalama ağırlığı 800 gr gelmesi gereken bir sürünün % 15 üniformiteye sahip olması durumunda kabul edilebilir ağırlıklar 920 ve 680 gr olacaktır. Tartmış olduğumuz 100 horozdan 85 tanesi bu ağırlık aralığında ise (680-920) ise % üniformite % 85 olarak hesaplanacaktır.

Tablo 1. Varyasyon katsayısı (CV) ve % üniformite arasındaki ilişki

% Üniformite	95	90	85	79	73	68	64	60	56	52	50	47
Varyasyon katsayısı (CV)	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

7. Horozların beslenmesi

Her yaş döneminde yeterli yemlik ve suluk alanı olması horozların sağlıklı gelişimi ve Üniformitenin sağlanması açısından çok önemlidir.

Erkek ve dişilerin aynı veya ayrı kümeslerde büyütülmesi durumunda horozların dişiler için hazırlanan rasyonlarla beslenmesi cinsi olgunluğa kadar besin maddesi ihtiyaçları benzer olduğundan dolayı genelde pek sorun teşkil etmez. Yalnız erkekler düşük protein oranına sahip rasyonlardan dişilere göre daha olumsuz etkilenirler. İyi dengelenmiş %15 HP içeren yemler dişiler için başlangıç yemi olarak kullanılabilirken horozlar için bu zayıf tüylenme ve daha düzensiz gelişmeye sebep olabilir. Horozların %17-18 HP içeren yemlerle başlatmak daha uygun olacaktır. Erkek damızlık civcivler ayrıca monensin gibi antikoksidiyaller içeren düşük proteinli diyetlerin etkilerine karşı daha hassastır (Leeson and Summers, 2010).

Horozlar ile tavuklar damızlık kümeslerde ayrı olarak beslenmeleri gerekir. Bunun için ayrı yemlik hatlarının kurulması gerekir. Horoz yemlikleri horozların vücut büyüklüklerine göre altlık seviyesinden 50-60 cm yükseklikte tavukların yetişemeyecekleri mesafeye ayarlanırken tavuk yemlikleri horozların kafalarının sığamayacağı genişlikte (45-47 mm genişlik, 60-70 mm uzunluk) olmalıdır (Anonim, a).

Dişi ve erkekler karıştırıldıktan sonra cinsiyetleri ayrı ayrı besleme teknikleri McDaniel (1986) tarafından gündeme getirilmiştir. McDaniel; Yem miktar ve içeriği bakımından horoz ve tavukların farklı beslenmesinin gerektiğini bildirmiştir. Bu yemleme sistemi ile horozların üreme faaliyetleri için dişiler kadar kalsiyuma ihtiyaç duymadıkları ve horozların protein ihtiyaçının tavuklardan daha düşük olmasından dolayı daha düşük protein içeriğine sahip yemlerle beslenmeleri sağlanabilir (Laughlin 2009). Horoz ve tavukların farklı yemler ile beslenmeleri doğru olmakla birlikte horoz ve tavuklar için

ayrı yem depoları ve farklı yemlerin yemliklere ulaştırılması gibi zorlukları vardır.

Horoz yemliklerinin altındaki altlığın birikerek tavukların buradan horoz yemliklerine ulaşmaları ve ya az gelişmiş horozların tavuk yemliklerinden yem yemeleri engellenmelidir. Aksi takdirde aşırı veya yetersiz beslenme durumları ortaya çıkararak üniformite bozulacaktır. Yem kısıtlaması yapıldığından dolayı yem dağıtımının kısa sürede tüm yemlik sistemine ulaşması, yeterli yemlik alanının olması, yüksekliklerinin iyi ayarlanması horozların üniform beslenmeleri açısından önemlidir. Yemin karanlık dönemde yemliklere sürülmesi ışıklar açılınca horozların aynı anda yeme ulaşmalarını sağlama bakımından faydalı olacaktır (Anonim a, anonim.b, Leeson and Summers, 2010).

Yem kısıtlamasına bağlı olarak su kısıtlaması da uygulanabilmektedir. Yem kısıtlama uygulamasında horozların suyu gereksiz yere çok tükettikleri ve altlık kalitesinin bozulmasına sebep olabilmektedir. Bu durum daha çok açık suluk sistemlerinde olmakta nipel sulukları bu konuda daha avantajlıdır. Her dönemde suya serbest erişimin sağlandığı yetiştirme uygulamaları da mevcuttur (Anonim a, Anonim g, Leeson and Summers, 2010).

8. Horozlarda ayıklama

Damızlık tavuklarda da ayıklama uygulanmakla birlikte horozlarda çok daha sıkı bir şekilde uygulanması gerekmektedir. Horozda olabilecek kalıtsal veya kalıtsal olmayan kusurlar çok sayıda dölünü veya kuluçka sonuçlarını etkileyecektir. Horozlar büyütme dönemi boyunca tek tek

gözlemlenerek olması gerekenden çok ağır veya hafif horozlar, ibikleri gelişmemiş, çarpık bacak veya kıvrık parmaklı, iskelet kusuru olan, anormal gagalı, anormal tüy yapısına sahip, tavuğa benzeyen horozlar ayıklanmalıdır. Özellikle etlik piliç damızlık horozlarda sağlam bir ayak yapısı önemlidir. Canlı ağırlığın kalıtım derecesi yüksek olduğundan (0,3-0,4) canlı ağırlık bakımından iyi gelişim gösteren horozların seçimi döllerinin de canlı ağırlık bakımından iyi performans göstermesine sebep olacaktır. Ancak bu seçimi yapabilmek için seçim yoğunluğuna bağlı olarak ihtiyaçtan daha fazla sayıda baba hattı erkeğine ihtiyaç duyulacaktır. Yapılacak bu ilave masraf damızlıklardan elde edilen etlik piliçlerden sağlanacak performans ile telefi edilebilir (Leeson and Summers, 2010).

9. Horozların damızlık yumurta kümeslerine taşınması

Yumurtacı damızlık tavuklar genellikle horoz ve tavuklar birlikte yetiştirildiklerinden dolayı birbirlerine alışmaları pek problem oluşturmaz. Büyütme kümesinden yumurtlama kümeslerine transferleri 15-18 haftalık yaş civarında gerçekleşmektedir (Sanders, 2022, anonim d, anonim f). Tavuk-horoz oranları yumurtacı tavuklarda 8-10 tavuk/horoz olarak uygulanır (Anonim d, anonim b). Bu oran leghorn gibi küçük cüsseli beyaz yumurtacılar da 12 tavuk/horoz'a kadar çıkabilir. Tavuklar yumurtlama kümeslerinde büyütülüyor ise folluklar 18. haftada kümese yerleştirilmelidir (Sanders, 2022).

Etlik piliç damızlıkların büyütme kümeslerinden yumurtlama kümeslerine taşınmaları kümes tipi ve hayvanların durumuna göre 20-23 haftalık yaşlarda gerçekleşmektedir. Yönetim sistemine bağlı olarak,

horozların tavuklardan daha önce damızlık kümeslerine taşınması horozların daha erken ışık uyarımı alması ve horoz yemliklerine alışmaları bakımından uygun olacaktır (Sanders, 2022, anonim, a, anonim, b, anonim, c, Leeson, Summers, 2010).

10. Horoz değişimi

Horozlar yaşlandıkça çiftleşme aktiveleri ve dolayısı ile döllülük azalmaktadır. Özellikle aşırı ağır horozlarda bu durum daha da belirgindir. Horoz değişimi özellikle sürüde 45 haftalık yaştan sonra düşen döllülük oranını makul seviyelerde tutmak amacıyla sürüye daha genç horozların katıldığı bir yöntemdir. Bu yöntem uygulanacaksa önceden planlanmalıdır. 35-40 haftalık yaşlı sürülerde uygulanması en iyi sonucu verecektir. Sürünün ömrü boyunca bir kez uygulanması genelde yeterlidir. Horoz değişiminin 55 haftalıktan yaşlı sürülerde uygulanması genelde ekonomik değildir (Anonim, b). Horoz değişimi yapabilmek için elde bir horoz sürüsü bulundurmak gereklidir ve bunun da bir maliyeti vardır. Elde tutulan horozların maliyetinin döllülükten elde edilen yarardan daha düşük olması gerekir. Tam olgunlaşmamış genç horozların yaşlı sürülere katılması genellikle başarılı olmaz. Yetişkin horoz sürüsünün idaresi de agresif davranışlardan dolayı zordur. Aşırı ağır, hafif, ayak problemi olanlar, ibik, sakal gibi ikincil cinsiyet organları gelişmemiş olanlar, tüy ve derileri iyi görünmeyenler ve yakalamak için hamle yapıldığında kaçamayan horozlar tercihen değiştirilmelidir. Değişim esnasında horoz/tavuk oranı korunmalıdır. Horozların en fazla % 30-35 inin değiştirilmesi tavsiye edildiği gibi (Leeson, Summers, 2010), tüm yaşlı horozların değiştirilmesi şeklinde

de uygulanabilmektedir. Bu durum genç erkekler ile yaşlı horozlar arasındaki rekabeti engelleyecektir (Anonim, b; Saunders, 2022). Horozların gece ve loş ışıkta değiştirilmesi yakalama ve diğer faktörler bakımından daha uygun olacaktır. Bunun dışında çiftleşmeyen ve hareket kabiliyeti zayıf olan horozlar gözlemlenerek ayıklanmalıdır. Horoz ölüm oranlarının yüksek olması da döllülüğün düşmesine sebep olacağından horoz sayısı korunmalıdır. Yeni eklenecek horozlar başka kümes ve ya işletmelerden geleceğinden hastalık bulaşma riskine karşı biyogüvenlik önlemlerine aşırı derecede dikkat edilmelidir. Değiştirilecek olan genç horozların canlı ağırlık bakımından yaşlı horozlara yakın olması rekabet açısından önemli bir husustur.

KAYNAKÇA

- Anonim a. Aviagen parent stock management handbook (2023).
Aviagen_Ross_PS_Handbook_2023_Interactive_EN.pdf.
Erişim tarihi 03.12.2024
- Anonim b. Cobb Breeder Management Guide. Breeder-Management-Guide.pdf. Erişim tarihi 03.12.2024.
- Anonim c. Hubbard Guide Parent stock. GUIDE - PS - COUV - MODIF.indd. Erişim tarihi 03.12.2024.
- Anonim d. Hy-line W36 parent stock management guide. 36 PS ENG.pdf. Erişim tarihi 03.12.2024.
- Anonim e. Lohmann Brown, lohmann LSL parent stock management guide. LOHMANN BROWN - Lohmann Breeders. Erişim tarihi 03.12.2024
- Anonim f. H&N İnternational. Preparing the breeding flock to move to the laying house. Transfer (15 – 18 weeks) Poultry The Chickipedia H&N. Erişim tarihi 05.12.2024.
- Anonim g. Breeder management and nutrition Moving the industry forward (2022). Breeder Management and Nutrition | Novus International, Inc. Erişim tarihi 05.12.2024.
- Ansari, M. (2024). Recent strategies to mitigate reproductive aging in male broiler breeders: a review. *Animal Reproduction Science*, 107570.
- Arrazola, A., Widowski, T.M., Guerin, M.T., Kiarie, E.G. and S. Torrey. 2019. The effect of alternative feeding strategies for broiler breeder pullets: 2. Welfare and performance during lay. *Poultry Science* 98: 6205-6216

- Bowling, E. R., D. P. Froman, A. J. Davis, and J. L. Wilson. 2003. Attributes of broiler breeder male characterized by low and high sperm mobility. *Poult. Sci.* 82:1796– 1801.
- Brillard, J. P. (2004). Natural mating in broiler breeders: present and future concerns. *World's Poultry Science Journal*, 60(4), 439–445. doi:10.1079/WPS200427
- de Beer, M. and C. Coon. 2009. The effect of feed restriction programs and growth curves on reproductive performance, in vitro lipogenesis and heterophil to lymphocyte ratios in broiler breeder hens. *International Journal of Poultry Science* 8: 373-388.
- DE JONG, I. C., & GUÉMÉNÉ, D. (2011). Major welfare issues in broiler breeders. *World's Poultry Science Journal*, 67(1), 73–82. doi:10.1017/S0043933911000067
- EFSA. 2010. Scientific Opinion on welfare aspects of the management and housing of the grandparent and parent stocks raised and kept for breeding purposes. *The EFSA Journal* 8:81. doi doi:10.2903/j.efsa.2010.1667.
- FAOSTAT. The FAO statistics database available at: <https://www.fao.org/faostat/en/#data>
- Hazary, R. C., H. J. Staines, and G. J. Wishart. 2001. Assessing the effect of mating ratio on broiler breeder performance by quantifying sperm:egg interaction. *J. Appl. Poult. Res.* 10:1–4.
- Hocking, P. (Ed.). (2009). *Biology of breeding poultry*. Chapter 17. CABI.

- Hocking, P.M. (1990b) The relationship between dietary crude protein, bodyweight and fertility in naturally mated broiler breeder males. *British Poultry Science* 31, 743–757.
- Hocking, P.M. and Bernard, R. (1997) Effects of male body weight, strain and dietary protein content on fertility and musculo-skeletal disease in naturally mated broiler breeder males. *British Poultry Science* 38, 29–37.
- Hocking, P.M., Rutherford, K.M.D. and Picard, M. (2007). Comparison of time-based frequencies, fractal analysis and t-patterns for assessing behavioural changes in broiler breeders fed on two diets at two levels of feed restriction: a case study. *Applied Animal Behaviour Science* 104, 37–48.
- Jong, Ingrid & Van Emous, Rick. (2017). Broiler breeding flocks: management and animal welfare. 10.19103/AS.2016.0011.26.
- Lamoreux, W. F., & Jones, D. G. (1942). The effects of dubbing White Leghorn males. *Poultry Science*, 21(5), 437-444.
- Laughlin, K. F. (2009). Breeder management: How did we get here?. In *Biology of breeding poultry* (pp. 10-25). Wallingford UK: CABI.
- Leeson, S., & Summers, J. D. (2010). Broiler breeder production.
- Long, E., & Godfrey, G. F. (1952). The effect of dubbing, environmental temperature and social dominance on mating activity and fertility in the domestic fowl. *Poultry Science*, 31(4), 665-673.

- McDaniel, C. D., R. K. Bramwell, J. L. Wilson, and B. Howarth. 1995. Fertility of male and female broiler breeders following exposure to elevated ambient temperatures. *Poult. Sci.* 74:1029–1038.
- McDaniel, G. R., J. Brake, and M. K. Eckman. 1981. Factors affecting broiler breeder performance. 4. The interrelationship of some reproductive traits. *Poult. Sci.* 60:1792–1797.
- McDaniel, G.R. (1986) Sex separate feeding of broiler parent stock. *Zootechnica International*, November 1986, pp. 54–58.
- Romero-Sanchez, H., Plumstead, P.W. and Brake, J. (2007). Feeding broiler breeder males. 1. Effect of feeding program and dietary crude protein during rearing on body weight and fertility of broiler breeder males. *Poultry Science* 86, 168–174.
- Saunders, A. (2022). Management of Poultry Breeding Stock in Southern Africa. sapoultry.co.za/wp-content/uploads/2022/10/Breeder-Book.pdf.
- Siegel, P. B. 1962. A double selection experiment for body weight and breast angle at eight weeks of age in chickens. *Genetics* 47:1313–1319.
- Zuidhof, M., Holm, D., Renema, R., Jalal, M. and F. Robinson. 2015. Effects of broiler breeder management on pullet body weight and carcass uniformity. *Poultry Science* 94: 1389-1397.

BÖLÜM 4

FAO-56 PENMAN & MONTEITH EŞİTLİĞİ KULLANILARAK DOĞU ANADOLU BÖLGESİ KOŞULLARINDA REFERANS ÇİM BİTKİSİNİN SU TÜKETİMİ VE SULAMA SUYU İHTİYACININ BELİRLENMESİ

Dr. Öğr. Üyesi Selçuk USTA

GİRİŞ

Yeryüzüne yağış olarak düşen su yüzeysel akış, sızma, buharlaşma (evaporasyon) ve terleme (transpirasyon) ile kayıplara uğramaktadır. Toprak ve su yüzeylerinden gerçekleşen evaporasyon (E) ve bitkilerden gerçekleşen transpirasyon (T) kayıplarının toplamı bitki su tüketimi ya da diğer bir ifadeyle evapotranspirasyon (ET) olarak tanımlanmaktadır. Yeryüzüne düşen yağışın yaklaşık olarak %62'sinin ET yoluyla atmosfere geri döndüğü tahmin edilmektedir. Genel olarak, yağış ile ET arasındaki fark, hem yüzey suyu hem de yer altı suyu şeklinde insanlar tarafından kullanılabilen rezerv su miktarını ifade etmektedir (Güngör ve Erözel, 2004; Dingman, 2008).

Hidrolojik döngünün ölçülmesi en zor ve karmaşık olan bileşeni evapotranspirasyondur. Meteoroloji, bitki fizyolojisi ve yüzey toprağı özelliklerine bağlı olarak değişkenlik gösteren evapotranspirasyon; bitkilerin su tüketimlerinin belirlenerek sulama programlarının hazırlanması, sulama ve drenaj sistemleri ile gölet ve barajların projelendirilmesi, yapımı ve işletilmesi, yer altı suyu havzalarının emniyetli veriminin tahmin edilmesi ve bununla birlikte kuraklık

eylem planı, su bütçesi ve taşkın kontrolü gibi hidroloji bilimi kapsamında yapılan birçok çalışmada ihtiyaç duyulan en temel veridir. Bu nedenle, su kaynaklarının doğru yönetimi ve gelecekteki kullanımlarının önceliklendirilmesi için doğru ölçülen veya tahmin edilen ET verilerine ihtiyaç duyulmaktadır (Zhao ve Gao, 2019; Şarlak ve Bağcı, 2020; Aghelpour ve Norooz-Valashedi, 2022).

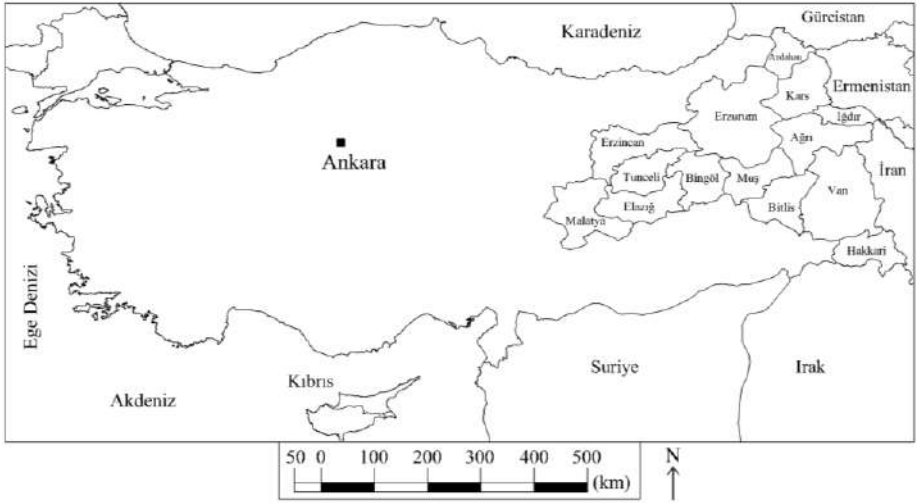
Genel su bütçesi analizlerinde evapotranspirasyonu buharlaşma ve terleme bileşenlerine ayırarak, lizimetre ve eddy kovaryans gibi yöntemlerle doğrudan ölçmek pratik bir yaklaşım değildir. Bu nedenle, genellikle meteoroloji, bitki fizyolojisi ve yüzey toprağı özellikleri dahil olmak üzere üç ana faktörden etkilenen buharlaşma ve terlemenin bir kombinasyonu olarak geliştirilen çok çeşitli ampirik yöntemler kullanılarak potansiyel evapotranspirasyonun (PET) tahmin edilmesi yaklaşımı daha çok tercih edilmektedir (Mehdizadeh, 2018; Marganingrum ve Santoso, 2019). Bu yaklaşımda, çeşitli ampirik yöntemler kullanılarak referans çim bitkisi için belirlenen evapotranspirasyon (ET_0) bitki katsayısı (K_c) ile düzeltilerek PET yüksek doğrulukla tahmin edilebilmektedir. Penman & Monteith (PM), ET_0 tahminlerinde en çok tercih edilen yöntem olup, standart tahmin yöntemi olarak kabul edilmektedir. Bu yöntemin en güncel versiyonu 1998 yılında Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından oluşturularak, PM eşitliği FAO-56 modifikasyonu (FAO-56 PM) adı altında kullanıma sunulmuştur (Allen ve ark., 1998; Jacobs ve ark., 2004; Trajković ve Gocić, 2010).

Bu çalışmada, FAO-56 PM eşitliği kullanılarak Doğu Anadolu Bölgesi koşullarında çim bitkisi için tahmin edilen aylık ortalama bitki

su tüketimi (ET_o) değerleri ile yağış ve sulama suyu parametreleri arasındaki ilişkilerin ortaya konulması ve bu parametrelerin konum ve zamana bağlı olarak değişimlerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

1. MATERYAL VE YÖNTEM

Türkiye yüzölçümünün %21'ini oluşturan Doğu Anadolu Bölgesinde nüfusun büyük bir çoğunluğunun geçim kaynağı tarım ve hayvancılığa dayalıdır. Bölgede son yıllarda yaşanan kuraklıktan dolayı tarımsal amaçlı bitkisel üretimde sulamaya her zamankinden daha fazla ihtiyaç duyulmaktadır. Coğrafi konum olarak $36^{\circ} 57' - 41^{\circ} 37'$ (N) enlemleri ile $38^{\circ} 45' - 44^{\circ} 49'$ (E) boylamları arasında yer alan bölgenin Türkiye haritasındaki konumu Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Doğu Anadolu Bölgesi (Anonim, 2024)

Karasal iklimin egemen olduğu bölgede kışlar sert ve uzun, yazlar ise kısa ve serin geçmektedir. Bölge geneli yıllık ortalama hava

sıcaklığı ve nem oranı ile yıllık toplam yağış miktarı sırasıyla 10.20 °C, %60.20 ve 579 mm düzeyindedir (DMİ, 2023). Doğu Anadolu Bölgesi sınırları içerisinde yer alan on dört şehrin iklim ve çevre özellikleri dikkate alınarak, referans çim bitkisinin aylık ortalama günlük bitki su tüketimi (ET_o) değerlerinin belirlenmesinde FAO tarafından hazırlanan CROPWAT yazılımından faydalanılmıştır. FAO-56 PM eşitliğine (Eşitlik 1) dayalı bu yazılıma şehir bazında sırasıyla enlem, boylam ve rakım değerleriyle birlikte günlük maksimum ve minimum hava sıcaklıkları, oransal nem, rüzgâr hızı ve güneşlenme süresi parametrelerinin aylık ortalamaları girilerek ET_o değerleri hesaplanmıştır (Allen ve ark., 1998; FAO, 2023). Şehirlerin enlem, boylam ve rakımları Tablo 1’de verilmiştir.

$$ET_o = \frac{0.408 \times \Delta \times (R_n - G) + \gamma \times \left(\frac{900}{T + 273} \right) \times U_2 \times (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \times (1 + 0.34 \times U_2)} \quad (1)$$

FAO-56 PM eşitliğinde; ET_o, referans evapotranspirasyon (mm gün⁻¹); Δ, doymuş buhar basıncı eğrisinin eğimi (kPa °C⁻¹); R_n, net radyasyon (MJ m⁻² gün⁻¹); G, topraktaki ısı akısı (MJ m⁻² gün⁻¹); γ, psikometrik sabite (kPa °C⁻¹); T, ortalama hava sıcaklığı (°C); U₂, zemin yüzeyinden 2 m yükseklikte ölçülen rüzgâr hızı (m s⁻¹); e_s, e_a, sırasıyla doymuş ve gerçek buhar basıncı (kPa) değerlerini ifade etmektedir.

Çalışma, bölgede ağırlıklı olarak yetiştiriciliği yapılan buğday, arpa, mercimek, nohut, şeker pancarı, patates, kayısı, elma ve ceviz gibi ürünlerin büyüme mevsimi uzunlukları dikkate alınarak Nisan – Ekim dönemi için yürütülmüştür (TAGEM, 2022).

Tablo 1. Rakım, enlem ve boylam değerleri

Şehir	Rakım (°N)	Enlem (°N)	Boylam (°E)	İstasyon No.
Ağrı	1632	39.75	43.05	17099
Ardahan	1829	41.13	42.70	17046
Bingöl	1177	38.86	40.50	17779
Bitlis	1559	38.36	42.10	17208
Elazığ	882	38.60	39.28	17202
Erzincan	1215	39.73	39.50	17094
Erzurum	1758	39.91	41.26	17096
Hakkâri	1720	37.56	43.76	17285
Iğdır	858	39.93	44.03	17100
Kars	1775	40.60	43.08	17097
Malatya	849	38.43	38.08	17845
Muş	1335	38.73	41.50	17206
Tunceli	919	39.31	39.44	17165
Van	1661	38.45	43.31	17170

Tablo 1’de istasyon numaraları verilen Meteoroloji Genel Müdürlüğü yer gözlem istasyonları tarafından 1991 ve 2020 yılları arasında ölçülen günlük maksimum ve minimum hava sıcaklıkları (T_{max} , T_{min}), oransal nem (RH), rüzgâr hızı (U_2), güneşlenme süresi (n) ve solar radyasyon (R_s) verilerinin 30 yıllık aylık ortalama değerleri çalışmanın materyalini oluşturmaktadır. Çim bitkisinin ET_o değerlerinin hesaplanmasında kullanılan bu iklim verileri ile birlikte aylık toplam yağış (P) miktarları Tablo 2’de verilmiştir (DMİ, 2023).

Referans çim bitkisinin aylık ortalama günlük sulama suyu ihtiyacının belirlenmesinde bir boyutlu su dengesi eşitliği kullanılmıştır (Eşitlik 2) (Young ve ark., 1996). Bu eşitlikte; çim bitkisinin etkili kök derinliği bölgesine yağış (P), sulama (I) ve kapiller yükselme yolu ile giren su (C_p) miktarları toplamının

evapotranspirasyon (ET_o), yüzeysel akış (R_f) ve derine sızma (D_p) yolu ile sistemden çıkan su miktarları toplamına eşit olduğu kabul edilmektedir. Nisan – Ekim dönemi boyunca Doğu Anadolu Bölgesi genelinde yeraltı suyu seviyesinin etkili kök derinliğinin çok altında olduğu düşünülerek C_p ihmal edilmiştir (Yaman, 2013). Bununla birlikte, sulamada damla sulama gibi modern sulama sistemleri kullanılarak R_f ve D_p kayıpları en aza indirilebilmektedir. Toprağın infiltrasyon hızından daha düşük debili damlatıcılar kullanılarak, suyun toprak yüzeyinde birikerek göllenmesi ve yüzeysel akışa geçmesi önlenmektedir (Al Ali ve ark., 2018). Bu nedenle, çalışma kapsamında R_f ve D_p kayıpları da ihmal edilmiştir. C_p , R_f ve D_p kayıplarının ihmal edilmesiyle birlikte elde edilen bir boyutlu su dengesi eşitliğinin en yalın hali kullanılarak, referans çim bitkisinin şehir bazında aylık ortalama günlük sulama suyu ihtiyaçları belirlenmiştir (Eşitlik 3). Bitki su tüketiminin (ET_o) yağışla (P) karşılanamayan bölümünün sulama suyu (I) olarak referans çim bitkisine verilmesi öngörülmüştür.

$$P + I + C_p = ET_o + D_p + R_f \quad (2)$$

$$I = ET_o - P \quad (3)$$

Bir boyutlu su dengesi eşitliğinde; ET_o , referans çim bitkisinin su tüketimi (mm gün^{-1}); I , çim bitkisinin sulama suyu ihtiyacı (mm gün^{-1}); P , yağış (mm gün^{-1}); C_p , etkili kök derinliği bölgesine kapiller yükselme ile giren su miktarı (mm gün^{-1}); D_p , etkili kök derinliği bölgesinin altına sızan su miktarı (mm gün^{-1}) ve R_f , yüzeysel akışa geçen su miktarı (mm gün^{-1}) değerlerini ifade etmektedir.

Tablo 2a. Aylık ortalama iklim verileri (1991–2020)

Ağrı	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki
T _{max} (°C)	10.80	18.70	24.00	28.60	29.80	25.20	16.80
T _{min} (°C)	0.10	5.20	7.90	11.40	10.90	6.10	1.20
RH (%)	72.00	63.00	58.00	51.00	47.00	50.00	61.00
U ₂ (km gün ⁻¹)	95.00	104.00	95.00	104.00	86.00	69.00	69.00
n (saat)	6.40	7.70	10.50	11.30	11.20	10.10	7.10
R _s (MJ m ⁻² gün ⁻¹)	17.20	20.70	25.20	26.00	24.20	19.80	12.90
P (mm ay ⁻¹)	70.50	69.80	43.70	21.60	12.60	18.40	53.00
Ardahan	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki
T _{max} (°C)	10.50	15.90	19.70	23.80	24.10	20.50	13.90
T _{min} (°C)	-1.50	2.90	5.30	8.40	7.80	3.90	-0.70
RH (%)	75.00	78.00	78.00	76.00	72.00	67.00	71.00
U ₂ (km gün ⁻¹)	190.00	216.00	173.00	173.00	147.00	156.00	138.00
n (saat)	6.60	7.10	8.50	8.70	8.70	8.10	6.90
R _s (MJ m ⁻² gün ⁻¹)	17.20	19.80	22.30	22.20	20.60	17.10	12.30
P (mm ay ⁻¹)	51.20	82.30	93.80	69.90	62.20	35.50	37.10
Bingöl	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki
T _{max} (°C)	16.20	22.50	29.00	34.00	34.10	28.70	21.00
T _{min} (°C)	5.50	10.20	14.40	18.60	18.10	13.00	7.80
RH (%)	58.00	50.00	40.00	32.00	29.00	35.00	52.00
U ₂ (km gün ⁻¹)	156.00	430.00	190.00	199.00	190.00	156.00	138.00
n (saat)	7.00	8.40	12.00	13.20	14.40	10.50	8.10
R _s (MJ m ⁻² gün ⁻¹)	18.10	21.80	27.50	28.70	26.00	20.50	14.20
P (mm ay ⁻¹)	116.50	77.60	20.60	7.10	4.30	12.50	65.00
Bitlis	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki
T _{max} (°C)	12.30	18.70	24.60	29.70	30.00	25.80	17.60
T _{min} (°C)	3.10	7.30	11.10	15.00	14.60	10.70	6.10
RH (%)	67.00	62.00	52.00	46.00	46.00	48.00	62.00
U ₂ (km gün ⁻¹)	147.00	130.00	156.00	156.00	130.00	156.00	112.00
n (saat)	6.20	8.60	12.00	13.10	12.30	10.20	7.40
R _s (MJ m ⁻² gün ⁻¹)	17.20	22.10	27.50	28.70	26.00	20.20	13.60
P (mm ay ⁻¹)	114.50	100.10	16.70	7.80	8.30	20.50	94.50

Tablo 2b. Aylık ortalama iklim verileri (1991–2020)

Elazığ	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki
T _{max} (°C)	16.80	22.50	28.40	33.30	33.20	28.80	20.90
T _{min} (°C)	6.60	11.10	15.60	19.60	19.20	14.80	9.10
RH (%)	51.00	44.00	33.00	28.00	23.00	32.00	45.00
U ₂ (km gün ⁻¹)	138.00	147.00	156.00	173.00	147.00	121.00	95.00
n (saat)	6.00	8.40	11.10	11.90	11.50	9.60	7.10
R _s (MJ m ⁻² gün ⁻¹)	16.80	21.90	26.10	26.90	24.80	19.50	13.30
P (mm ay ⁻¹)	63.40	53.70	12.40	3.30	1.80	8.50	39.30
Erzincan	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki
T _{max} (°C)	16.50	21.70	26.40	31.00	31.10	27.00	19.40
T _{min} (°C)	4.60	8.50	11.60	15.00	14.30	10.00	5.10
RH (%)	59.00	56.00	50.00	45.00	42.00	47.00	58.00
U ₂ (km gün ⁻¹)	147.00	130.00	147.00	173.00	164.00	121.00	86.00
n (saat)	5.00	7.10	9.50	11.00	10.50	8.80	6.30
R _s (MJ m ⁻² gün ⁻¹)	15.30	19.80	23.90	25.50	23.20	18.30	12.10
P (mm ay ⁻¹)	53.40	53.40	30.80	12.20	6.90	15.60	39.00
Erzurum	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki
T _{max} (°C)	10.80	16.40	21.30	26.30	26.60	22.30	14.50
T _{min} (°C)	0.60	4.70	7.80	11.70	11.30	7.10	2.30
RH (%)	69.00	67.00	55.00	42.00	44.00	48.00	62.00
U ₂ (km gün ⁻¹)	225.00	225.00	207.00	225.00	207.00	199.00	190.00
n (saat)	5.40	7.10	9.50	10.80	10.50	8.90	6.70
R _s (MJ m ⁻² gün ⁻¹)	15.80	19.80	23.90	25.30	23.20	18.20	12.40
P (mm ay ⁻¹)	55.10	72.90	48.90	27.10	17.80	24.00	47.00
Hakkâri	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki
T _{max} (°C)	12.20	19.30	24.80	29.70	29.60	25.60	17.70
T _{min} (°C)	3.50	8.80	13.00	17.30	16.90	13.00	7.20
RH (%)	60.00	51.00	41.00	35.00	35.00	36.00	50.00
U ₂ (km gün ⁻¹)	130.00	147.00	156.00	164.00	156.00	164.00	104.00
n (saat)	6.50	8.40	11.60	12.30	11.60	10.20	7.30
R _s (MJ m ⁻² gün ⁻¹)	17.60	21.90	27.00	27.60	25.10	20.50	13.70
P (mm ay ⁻¹)	125.60	65.00	15.30	5.90	4.80	9.90	63.60

Tablo 2c. Aylık ortalama iklim verileri (1991–2020)

İğdır	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki
T _{max} (°C)	19.90	24.50	29.10	33.40	32.90	29.00	21.00
T _{min} (°C)	6.50	10.80	14.20	17.90	16.90	12.00	5.90
RH (%)	55.00	57.00	54.00	50.00	51.00	53.00	59.00
U ₂ (km gün ⁻¹)	86.00	69.00	86.00	78.00	69.00	61.00	43.00
n (saat)	6.90	8.20	10.00	10.90	10.80	9.80	7.30
R _s (MJ m ⁻² gün ⁻¹)	17.80	21.40	24.60	25.50	23.60	19.40	13.10
P (mm ay ⁻¹)	34.30	46.90	31.50	13.90	9.50	11.20	25.70
Kars	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki
T _{max} (°C)	11.00	16.20	20.40	25.20	25.60	21.80	13.60
T _{min} (°C)	-0.20	3.70	6.40	9.60	9.30	5.10	0.10
RH (%)	70.00	68.00	68.00	65.00	63.00	59.00	67.00
U ₂ (km gün ⁻¹)	181.00	173.00	147.00	147.00	147.00	138.00	121.00
n (saat)	4.10	6.20	7.90	9.00	9.50	8.00	5.50
R _s (MJ m ⁻² gün ⁻¹)	14.00	18.50	21.60	22.60	21.70	17.10	11.10
P (mm ay ⁻¹)	49.30	82.60	76.90	56.50	43.70	29.50	41.70
Malatya	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki
T _{max} (°C)	18.20	23.50	29.20	33.80	33.40	28.90	20.90
T _{min} (°C)	7.70	11.80	16.10	19.80	19.40	15.20	9.50
RH (%)	51.00	47.00	36.00	30.00	28.00	34.00	47.00
U ₂ (km gün ⁻¹)	121.00	104.00	95.00	104.00	104.00	95.00	69.00
n (saat)	6.50	8.70	10.90	12.30	11.90	9.60	7.00
R _s (MJ m ⁻² gün ⁻¹)	17.50	22.30	25.90	27.60	25.40	19.50	13.20
P (mm ay ⁻¹)	55.00	45.60	47.40	3.90	3.50	8.10	35.70
Muş	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki
T _{max} (°C)	14.70	21.30	27.60	33.20	33.30	28.40	20.00
T _{min} (°C)	4.10	8.50	12.40	16.60	16.60	11.70	6.40
RH (%)	69.00	62.00	51.00	42.00	40.00	44.00	63.00
U ₂ (km gün ⁻¹)	147.00	156.00	156.00	147.00	147.00	130.00	104.00
n (saat)	7.60	9.80	12.00	13.00	14.40	11.40	8.70
R _s (MJ m ⁻² gün ⁻¹)	19.00	23.80	27.50	28.50	26.00	21.70	14.90
P (mm ay ⁻¹)	102.50	5.69	26.90	7.60	5.70	15.30	62.90

Tablo 2d. Aylık ortalama iklim verileri (1991–2020)

Tunceli	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki
T _{max} (°C)	18.10	24.00	30.10	35.10	35.40	30.60	22.80
T _{min} (°C)	6.20	10.20	14.50	18.90	18.50	13.40	8.20
RH (%)	61.00	57.00	48.00	40.00	39.00	44.00	62.00
U ₂ (km gün ⁻¹)	143.00	139.00	152.00	173.00	156.00	121.00	91.00
n (saat)	6.50	8.40	10.80	11.60	10.80	9.30	6.70
R _s (MJ m ⁻² gün ⁻¹)	17.40	21.70	25.70	26.40	23.70	18.90	12.60
P (mm ay ⁻¹)	104.80	72.00	18.00	5.10	4.70	16.70	63.50
Van	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki
T _{max} (°C)	12.50	18.10	23.40	27.90	27.70	23.90	16.90
T _{min} (°C)	2.40	6.60	10.10	13.90	13.70	10.10	5.00
RH (%)	66.00	57.00	49.00	43.00	41.00	42.00	59.00
U ₂ (km gün ⁻¹)	121.00	112.00	95.00	104.00	104.00	121.00	112.00
n (saat)	5.90	8.00	10.60	11.10	10.00	7.80	5.50
R _s (MJ m ⁻² gün ⁻¹)	16.80	21.20	25.50	25.80	22.70	17.30	11.60
P (mm ay ⁻¹)	54.90	45.70	18.30	6.20	5.90	15.30	46.90

Referans çim bitkisi için şehir bazında tahmin edilen aylık ortalama günlük sulama suyu ihtiyaçları (I) ile bitki su tüketimi (ET_o) ve yağış (P) miktarları arasındaki istatistiksel ilişki düzeylerini ortaya koymak amacıyla, Eşitlik (4) kullanılarak regresyon analizleri yapılmıştır. Bu eşitlikte; X_i, bağımsız değişkenleri (mm ay⁻¹); Y_i, bağımlı değişkenleri (mm ay⁻¹); \hat{X} , bağımsız değişkenlerin ortalamasını (mm ay⁻¹); \hat{Y} , bağımlı değişkenlerin ortalamasını (mm ay⁻¹); R², regresyon katsayısını ve n, gözlem sayısını ifade etmektedir. Regresyon analizlerinde I bağımlı değişken, ET_o ve P ise bağımsız değişkenler olarak dikkate alınmıştır.

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (X_i - \hat{X})(Y_i - \hat{Y})]^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \hat{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y})^2} \quad (4)$$

FAO-56 PM eşitliği kullanılarak referans çim bitkisi için Doğu Anadolu Bölgesi sınırları içerisindeki on dört şehir bazında tahmin edilen Nisan – Ekim dönemi sezonluk toplam ET_o değerleri, “Türkiye’de Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketimleri” rehberinde verilen aynı değerler (Tablo 3) ile karşılaştırılmıştır (TAGEM, 2022). Karşılaştırma kriteri olarak ortalama mutlak yüzde hata oranı (MAPE) istatistiksel yaklaşımı kullanılmıştır (Eşitlik 5) (Lewis, 1982).

Tablo 3: TAGEM rehberinde verilen aylık toplam ET_o değerleri

Şehir	ET_o (mm ay ⁻¹)							ET_o (mm)
	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Toplam
Ağrı	69	107	137	161	147	101	52	774
Ardahan	69	100	119	136	123	85	48	680
Bingöl	86	129	173	201	178	123	65	955
Bitlis	76	114	154	177	157	111	60	849
Elazığ	98	140	188	216	192	135	75	1044
Erzincan	89	125	154	172	150	103	55	848
Erzurum	74	108	136	171	156	106	57	808
Hakkâri	85	126	164	184	165	119	68	911
Iğdır	96	128	159	173	150	103	54	863
Kars	70	99	123	143	132	92	50	709
Malatya	101	143	183	207	183	129	69	1015
Muş	79	119	155	180	162	113	59	867
Tunceli	89	128	164	186	164	112	61	904
Van	90	129	164	184	167	119	68	921

FAO-56 PM eşitliği ile tahmin edilen ET_o değerlerinin doğruluğu; $MAPE < \%10$ ise “çok iyi”, $\%10 \leq MAPE < \%20$ ise “iyi”, $\%20 \leq MAPE < \%50$ ise “kabul edilebilir” ve $MAPE \geq \%50$ ise “uyumsuz” olarak değerlendirilmiştir (Lewis, 1982; Maiseli, 2019).

$$\text{MAPE} = \frac{1}{n} \sum_{i:1}^n \left| \frac{X_i - Y_i}{X_i} \right| \times 100 \quad (5)$$

Eşitlikte; MAPE, ortalama mutlak yüzde hata oranını (%); X_i , TAGEM rehberinde şehir bazında verilen Nisan – Ekim dönemi sezonluk toplam ET_o değerlerini (mm) ve Y_i , FAO-56 PM eşitliği kullanılarak şehir bazında tahmin edilen Nisan – Ekim dönemi sezonluk toplam ET_o değerlerini (mm) ifade etmektedir.

2. BULGULAR VE TARTIŞMA

Doğu Anadolu Bölgesi sınırları içerisinde yer alan on dört şehir için meteoroloji yer gözlem istasyonları tarafından ölçülen aylık ortalama yağış (P) miktarları, CROPWAT yazılımı kullanılarak referans çim bitkisi için tahmin edilen aylık ortalama bitki su tüketimi (ET_o) değerleri ve bir boyutlu su dengesi eşitliği kullanılarak çim bitkisi için tahmin edilen aylık ortalama sulama suyu ihtiyaçları (I) Tablo 4’de verilmiştir. Bölge genelinde güneyden kuzeye doğru gidildikçe azalan hava sıcaklığına paralel olarak ET_o ’ın azalma eğilimi gösterdiği gözlemlenmiştir. Şehir bazında tahmin edilen aylık ortalama ET_o değerleri Temmuz (4.13–7.47 mm gün⁻¹) ayında maksimum düzeylere ulaşırken, Ekim (1.80–2.85 mm gün⁻¹) ayında minimum düzeylere gerilemiştir. Nisan – Ekim dönemi için elde edilen Bölge geneli aylık ortalama ET_o değerleri büyükten küçüğe doğru; 5.95 mm gün⁻¹ (Temmuz), 5.54 mm gün⁻¹ (Ağustos), 5.06 mm gün⁻¹ (Haziran), 4.14 mm gün⁻¹ (Eylül), 3.75 mm gün⁻¹ (Mayıs), 2.57 mm gün⁻¹ (Nisan) ve 2.26 mm gün⁻¹ (Ekim) olarak sıralanmıştır. Sezonluk ortalama ET_o değeri 4.18 mm gün⁻¹ olarak belirlenmiştir.

Tablo 4a. Aylık ortalama günlük P, ET_o ve I değerleri

	P (mm gün ⁻¹)	ET _o (mm gün ⁻¹)	I (mm gün ⁻¹)
Ağrı			
Nis	2.50	2.07	-0.43
May	2.46	3.37	0.91
Haz	1.43	4.52	3.09
Tem	0.73	5.23	4.50
Ağu	0.44	4.99	4.55
Eyl	0.07	3.70	3.63
Eki	1.66	1.95	0.29
Ort.	1.33	3.69	2.36
Ardahan			
Nis	1.81	2.13	0.32
May	2.75	2.97	0.22
Haz	3.39	3.66	0.27
Tem	2.49	4.13	1.64
Ağu	2.09	3.97	1.88
Eyl	1.30	3.20	1.90
Eki	1.33	1.85	0.52
Ort.	2.16	3.13	0.97
Bingöl			
Nis	3.68	2.95	-0.73
May	2.66	4.15	1.49
Haz	0.71	6.30	5.59
Tem	0.21	7.47	7.26
Ağu	0.16	7.03	6.87
Eyl	0.51	4.90	4.39
Eki	2.11	2.85	0.74
Ort.	1.43	5.09	3.66

Doğu Anadolu Bölgesi genelinde batıdan doğuya doğru gidildikçe artan rakıma bağlı olarak ET_o'ın azalma eğilimi gösterdiği gözlemlenmiştir. Bölgenin kuzeydoğusunda yer alan Ardahan en düşük sezonluk ortalama ET_o değerine sahip şehir olmuştur. Bölge ortalamasının üzerinde yağış alan bu şehir için sezonluk ortalama ET_o 3.13 mm gün⁻¹ olarak belirlenmiştir.

Tablo 4b. Aylık ortalama günlük P, ET_o ve I değerleri

	P	ET _o	I
Bitlis			
Nis	3.92	2.43	-1.49
May	3.33	3.65	0.32
Haz	0.52	5.27	4.75
Tem	0.32	6.21	5.89
Ağu	0.22	5.61	5.39
Eyl	0.76	4.40	3.64
Eki	2.92	2.30	-0.62
Ort.	1.71	4.27	2.56
Elazığ			
Nis	2.02	2.97	0.95
May	1.65	4.39	2.74
Haz	0.45	5.94	5.49
Tem	0.11	6.99	6.88
Ağu	0.04	6.34	6.30
Eyl	0.33	4.60	4.27
Eki	1.36	2.60	1.24
Ort.	0.85	4.83	3.98
Erzincan			
Nis	1.81	2.69	0.88
May	0.88	3.77	2.89
Haz	0.84	5.02	4.18
Tem	0.45	6.09	5.64
Ağu	0.21	5.73	5.52
Eyl	0.58	4.00	3.42
Eki	1.35	2.15	0.80
Ort.	0.88	4.21	3.33
Erzurum			
Nis	1.85	2.24	0.39
May	2.33	3.31	0.98
Haz	1.39	4.63	3.24
Tem	0.71	5.91	5.20
Ağu	0.53	5.48	4.95
Eyl	0.76	4.10	3.34
Eki	1.51	2.25	0.74
Ort.	1.29	3.98	2.69

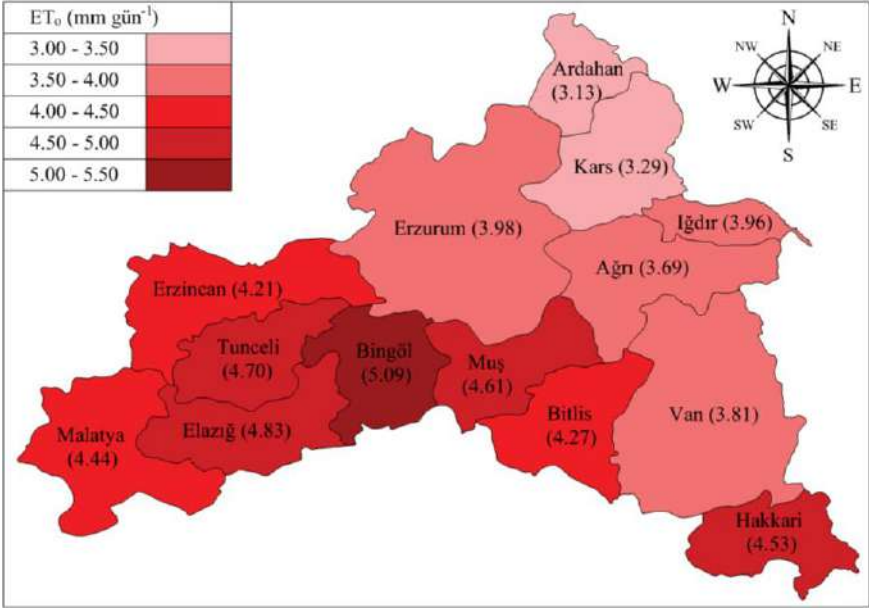
Tablo 4c. Aylık ortalama günlük P, ET_o ve I değerleri

	P (mm gün ⁻¹)	ET _o (mm gün ⁻¹)	I (mm gün ⁻¹)
Nis	3,97	2,56	-1,41
May	2,22	3,98	1,76
Haz	0,48	5,52	5,04
Tem	0,30	6,41	6,11
Ağu	0,17	5,93	5,76
Eyl	0,36	4,80	4,44
Eki	1,81	2,50	0,69
Ort.	1,33	4,53	3,20
Nis	1,40	2,91	1,51
May	1,62	3,81	2,19
Haz	1,00	4,89	3,89
Tem	0,48	5,44	4,96
Ağu	0,30	4,97	4,67
Eyl	0,40	3,70	3,30
Eki	0,78	2,00	1,22
Ort.	0,85	3,96	3,11
Nis	1,88	2,04	0,16
May	2,66	3,05	0,39
Haz	2,50	3,81	1,31
Tem	2,10	4,49	2,39
Ağu	1,45	4,41	2,96
Eyl	0,99	3,40	2,41
Eki	1,44	1,80	0,36
Ort.	1,86	3,29	1,43
Nis	1,65	3,06	1,41
May	1,45	4,19	2,74
Haz	0,44	5,32	4,88
Tem	0,15	6,18	6,03
Ağu	0,11	5,76	5,65
Eyl	0,36	4,20	3,84
Eki	1,13	2,35	1,22
Ort.	1,06	4,44	3,68

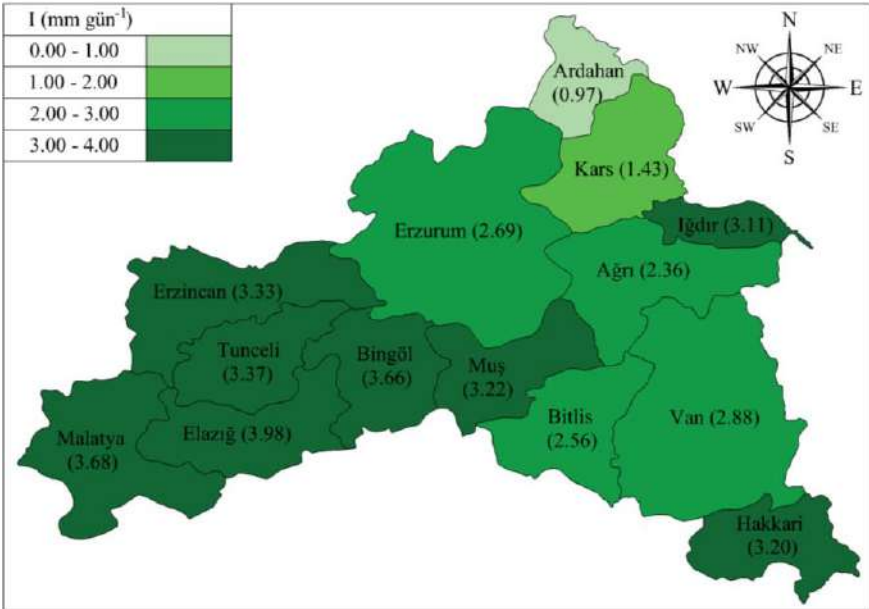
Tablo 4d. Aylık ortalama günlük P, ET_o ve I değerleri

	P (mm gün ⁻¹)	ET _o (mm gün ⁻¹)	I (mm gün ⁻¹)
Muş			
Nis	3.40	2.66	-0.74
May	2.38	4.13	1.75
Haz	0.95	5.61	4.66
Tem	0.32	6.56	6.24
Ağu	0.15	6.22	6.07
Eyl	0.60	4.63	4.03
Eki	1.92	2.49	0.57
Ort.	1.39	4.61	3.22
Tunceli			
Nis	3.34	2.94	-0.40
May	2.38	4.18	1.80
Haz	0.55	5.71	5.16
Tem	0.16	6.86	6.70
Ağu	0.16	6.31	6.15
Eyl	0.77	4.50	3.73
Eki	1.95	2.40	0.45
Ort.	1.33	4.70	3.37
Van			
Nis	1.91	2.38	0.47
May	1.48	3.54	2.06
Haz	0.55	4.62	4.07
Tem	0.25	5.28	5.03
Ağu	0.18	4.83	4.65
Eyl	0.66	3.80	3.14
Eki	1.48	2.20	0.72
Ort.	0.93	3.81	2.88
Bölge Ortalaması Değerler			
Nis	1.81	2.57	0.76
May	2.16	3.75	1.59
Haz	1.09	5.06	3.97
Tem	0.63	5.95	5.32
Ağu	0.44	5.54	5.10
Eyl	0.60	4.14	3.54
Eki	1.52	2.26	0.74
Ort.	1.28	4.18	2.90

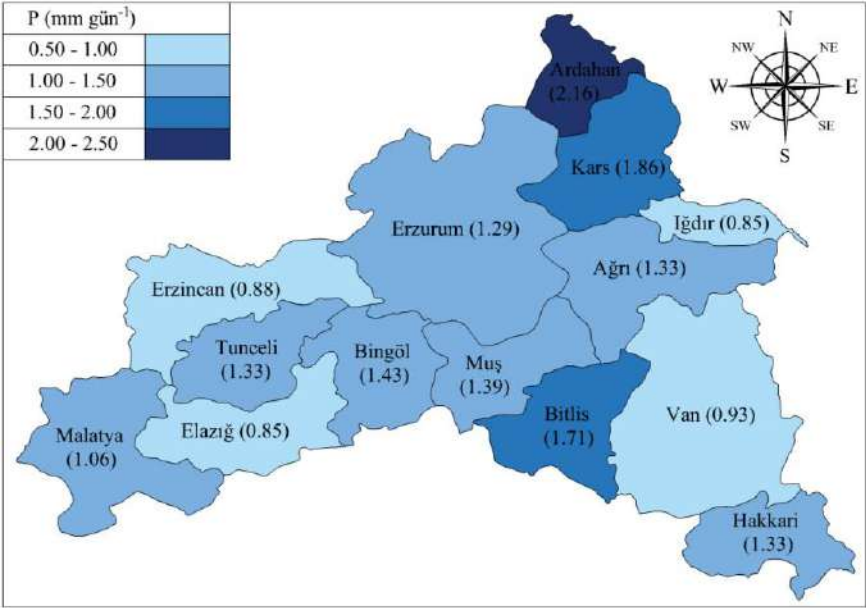
Hava sıcaklığının maksimum düzeylere ulaştığı Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında en yüksek ET_o değerlerine sahip şehir Bingöl olmuştur. Bu aylar için sırasıyla 6.30 mm gün^{-1} , 7.47 mm gün^{-1} ve 7.03 mm gün^{-1} aylık ortalama ET_o değerlerine sahip olan bu şehrin sezonluk ortalama ET_o değeri 5.09 mm gün^{-1} olarak elde edilmiştir. Haziran ayında Bingöl'den sonra bölge ortalamasının (5.06 mm gün^{-1}) üzerinde ET_o değerlerine sahip şehirler sırasıyla Elazığ (5.94 mm gün^{-1}), Tunceli (5.71 mm gün^{-1}), Muş (5.61 mm gün^{-1}), Hakkâri (5.52 mm gün^{-1}), Malatya (5.32 mm gün^{-1}) ve Bitlis (5.27 mm gün^{-1}) olmuştur. Bu şehirlerin Temmuz ayı ET_o değerleri sırasıyla 6.99 mm gün^{-1} , 6.86 mm gün^{-1} , 6.56 mm gün^{-1} , 6.41 mm gün^{-1} , 6.18 mm gün^{-1} ve 6.21 mm gün^{-1} ile en yüksek düzeylere ulaşırken, Ağustos ayı ET_o değerleri sırasıyla 6.34 mm gün^{-1} , 6.31 mm gün^{-1} , 6.22 mm gün^{-1} , 5.93 mm gün^{-1} , 5.76 mm gün^{-1} ve 5.61 mm gün^{-1} olarak gerçekleşmiştir. Temmuz ve Ağustos aylarında bölge geneli aylık ortalama ET_o değerleri sırasıyla 5.95 mm gün^{-1} ve 5.54 mm gün^{-1} olarak belirlenmiştir. Haziran ayı ortalama ET_o değeri (5.02 mm gün^{-1}) bölge ortalamasının altında olan Erzincan'ın Temmuz (6.09 mm gün^{-1}) ve Ağustos (5.73 mm gün^{-1}) aylarında bölge ortalamasının üzerine çıktığı görülmüştür. Referans çim bitkisinin Nisan – Ekim dönemi için belirlenen aylık ortalama günlük bitki su tüketimi (ET_o) ve sulama suyu ihtiyacı (I) değerleri ile birlikte meteoroloji yer gözlem istasyonları tarafından ölçülen yağış (P) miktarlarının konum ve zamana bağlı olarak bölge genelindeki değişimleri sırasıyla Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4'de verilen haritalar üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 2: Bölge geneli sezonluk ortalama ET_o değerleri



Şekil 3. Bölge geneli sezonluk ortalama sulama suyu miktarları



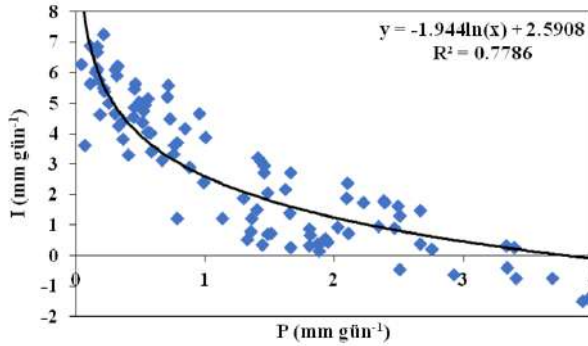
Şekil 4. Bölge geneli sezonluk ortalama yağış miktarları

Doğu Anadolu Bölgesi genelinde bitki su tüketiminin maksimum seviyelere yükseldiği, yağışın ise minimum seviyelere gerilediği Temmuz ve Ağustos aylarında sulama suyu ihtiyacı en yüksek düzeylere ulaşmıştır. Temmuz ayında bölge geneli ortalama 0.63 mm gün^{-1} düzeyinde gerçekleşen yağışın 5.95 mm gün^{-1} büyüklüğündeki bitki su tüketimini karşılamada çok yetersiz kaldığı görülmüştür ($ET_o > P$). Bu nedenle bitki su tüketiminin yağışla karşılanamayan 5.32 mm gün^{-1} büyüklüğündeki bölümünün sulama suyu olarak referans çim bitkisine verilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Benzer şekilde, Ağustos ayında bölge geneli ortalama 0.44 mm gün^{-1} değeri ile minimum düzeye gerileyen yağışın 5.54 mm gün^{-1} büyüklüğündeki bitki su tüketimini karşılamada çok yetersiz

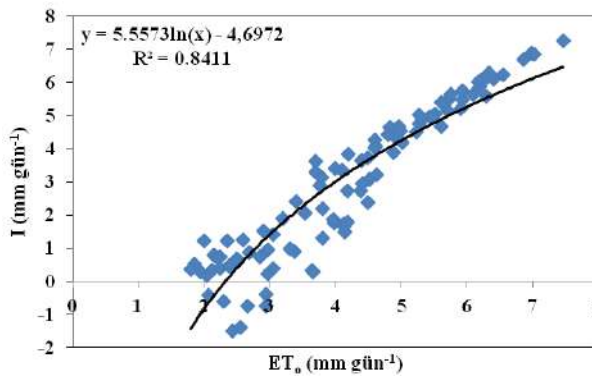
kaldığı gözlemlenmiştir ($ET_o > P$). Bu nedenle bitki su tüketiminin yağışla karşılanamayan 5.10 mm gün^{-1} büyüklüğündeki bölümünün sulama suyu olarak referans çim bitkisine verilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Bölge geneli aylık ortalama sulama suyu ihtiyaçları büyükten küçüğe doğru; 5.32 mm gün^{-1} (Temmuz), 5.10 mm gün^{-1} (Ağustos), 3.97 mm gün^{-1} (Haziran), 3.54 mm gün^{-1} (Eylül), 1.59 mm gün^{-1} (Mayıs), 0.76 mm gün^{-1} (Nisan) ve 0.74 mm gün^{-1} (Ekim) olarak sıralanmıştır. Nisan – Ekim dönemi bölge geneli sezonluk ortalama günlük sulama suyu ihtiyacı ise 2.90 mm gün^{-1} olarak belirlenmiştir. Bitki su tüketiminin minimum seviyelere gerilediği, yağışın ise maksimum seviyelere yükseldiği Nisan ve Ekim aylarında sulama suyu ihtiyacı en düşük düzeye gerilemiştir. Ağrı, Bingöl, Hakkâri, Muş ve Tunceli’de Nisan, Bitlis’te ise hem Nisan hem de Ekim aylarında gerçekleşen yağış miktarı bitki su tüketiminden daha fazla olduğu için, bu aylarda yukarıda belirtilen şehirlerde sulama suyuna ihtiyaç duyulmadığı görülmüştür ($P > ET_o$).

Şehir bazında referans çim bitkisi için belirlenen Nisan – Ekim dönemi sezonluk ortalama sulama suyu ihtiyaçları büyükten küçüğe doğru; 3.98 mm gün^{-1} (Elazığ), 3.68 mm gün^{-1} (Malatya), 3.66 mm gün^{-1} (Bingöl), 3.37 mm gün^{-1} (Tunceli), 3.33 mm gün^{-1} (Erzincan), 3.22 mm gün^{-1} (Muş), 3.20 mm gün^{-1} (Hakkâri), 3.11 mm gün^{-1} (İğdır), 2.88 mm gün^{-1} (Van), 2.60 mm gün^{-1} (Erzurum), 2.56 mm gün^{-1} (Bitlis), 2.36 mm gün^{-1} (Ağrı), 1.43 mm gün^{-1} (Kars) ve 0.97 mm gün^{-1} (Ardahan) olarak sıralanmıştır. Güneyden kuzeye doğru gidildikçe bitki su tüketimindeki azalmaya ve yağıştaki artışa bağlı olarak sulama suyu ihtiyacı azalma eğilimi göstermiştir.

Sulama suyu miktarı ile yağış arasında negatif yönlü korelasyona dayalı doğrusal olmayan bir ilişkinin mevcut olduğu ve yağış arttıkça sulama suyu miktarının azaldığı görülmüştür. Sulama suyu miktarındaki değişimin sadece yağış ile açıklanabilme oranı %77.86 ($R^2 = 0.7786$) olarak elde edilmiştir (Şekil 5). Bitki su tüketimi ve sulama suyu miktarı arasında pozitif yönlü korelasyona dayalı doğrusal olmayan bir ilişki mevcut olup, bitki su tüketimi arttıkça sulama suyu miktarının da arttığı gözlemlenmiştir. Sulama suyundaki değişimin bitki su tüketimi ile açıklanabilme oranı %84.11 ($R^2 = 0.8411$) olarak belirlenmiştir (Şekil 6).

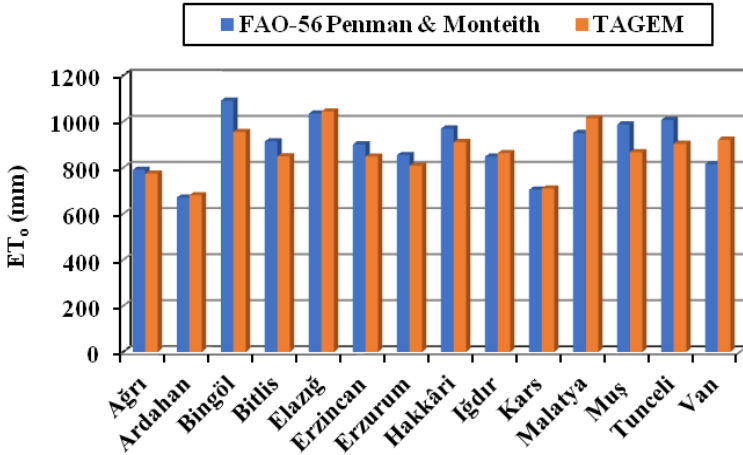


Şekil 5. Sulama suyu ve yağış arasındaki istatistiksel ilişki



Şekil 6. Sulama suyu ve bitki su tüketimi arasındaki istatistiksel ilişki

FAO-56 PM eşitliği kullanılarak çim bitkisi için şehir bazında tahmin edilen Nisan – Ekim dönemi sezonluk toplam ET_o değerleri ve TAGEM rehberinden aynı dönem için alınan sezonluk toplam ET_o değerleri Şekil 7’de verilmiştir. Bu değerler arasındaki sapma miktarlarının bir göstergesi olarak hesaplanan MAPE hataları ise Tablo 5’de verilmiştir. FAO-56 PM eşitliği ile tahmin edilen sezonluk toplam ET_o değerleri 670.22 – 1091.00 mm arasında değişmiştir. En düşük ve en yüksek sezonluk toplam ET_o değerleri sırasıyla Ardahan (670.22 mm) ve Bingöl (1091.00 mm) şehirleri için elde edilmiştir. TAGEM rehberinde şehir bazında verilen sezonluk toplam ET_o değerleri ise 680.00 – 1044.00 mm arasında değerler almıştır. En düşük ve en yüksek sezonluk ET_o değerleri sırasıyla Ardahan (680.00 mm) ve Elazığ (1044.00 mm) şehirleri için elde edilmiştir. FAO-56 PM eşitliği ile yapılan tahminlerde en yüksek sezonluk toplam ET_o değerine sahip olan Bingöl, TAGEM rehberinde Malatya’dan (1015 mm) sonra 955.00 mm ile üçüncü sırada yer almıştır.



Şekil 7. Bölge geneli sezonluk toplam ET_o değerleri

FAO-56 PM eşitliği ile tahmin edilen ve TAGEM rehberinden alınan sezonluk toplam ET_o değerleri arasında şehir bazında %0.74 ile %14.24 arasında değişen oranlarda sapmalar ($MAPE = \%0.74 - 14.24$) olmasına rağmen, FAO-56 PM eşitliği kullanılarak tahmin edilen sezonluk toplam ET_o değerlerinin genel olarak çok iyi düzeyde ($MAPE < \%10$) doğruluğa sahip olduğu görülmüştür (Tablo 5). Bu sapmaların her iki çalışmada dikkate alınan zaman aralıklarının farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 5. Nisan – Ekim dönemi sezonluk toplam ET_o değerleri

Şehir	ET_o (mm)		MAPE (%)	Doğruluk
	TAGEM	FAO-56 PM		
Ağrı	774.00	790.44	2.12	Çok iyi
Ardahan	680.00	670.22	1.44	Çok iyi
Bingöl	955.00	1091.00	14.24	İyi
Bitlis	849.00	913.87	7.64	Çok iyi
Elazığ	1044.00	1035.22	0.84	Çok iyi
Erzincan	848.00	901.24	6.28	Çok iyi
Erzurum	808.00	854.55	5.76	Çok iyi
Hakkâri	911.00	969.82	6.46	Çok iyi
Iğdır	863.00	847.82	1.76	Çok iyi
Kars	709.00	703.75	0.74	Çok iyi
Malatya	1015.00	950.28	6.38	Çok iyi
Muş	867.00	987.81	13.93	İyi
Tunceli	904.00	1006.75	11.37	İyi
Van	921.00	815.35	11.47	İyi
Ortalama	867.71	895.58	3.21	Çok iyi

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Doğu Anadolu Bölgesi koşullarında yürütülen bu çalışmada, referans evapotranspirasyon (ET_0) ile yağış (P) ve sulama suyu (I) arasındaki istatistiksel ilişkiler ortaya konularak, bu parametrelerin konum ve zamana bağlı değişimleri incelenmiştir. Öncelikle, bölgeyi oluşturan on dört şehrin 30 yıllık (1991–2020) Nisan – Ekim dönemi aylık ortalama iklim verileri kullanılarak, CROPWAT yazılımı aracılığıyla çim bitkisinin şehir bazında aylık ortalama ET_0 değerleri tahmin edilmiştir. Daha sonra bir boyutlu su dengesi eşitliği kullanılarak, çim bitkisi için aylık ortalama I değerleri belirlenmiştir. ET_0 ve I değerleri Temmuz ayında maksimum düzeylere ulaşırken, Ekim ayında minimum düzeylere gerilemiştir. Bölge geneli ortalama yağışın minimum seviyeye gerilediği Temmuz ayında ET_0 ve I sırasıyla 5.95 mm gün^{-1} ve 5.32 mm gün^{-1} olarak gerçekleşmiştir. Aynı değerler yağışın maksimum seviyeye yükseldiği Ekim ayında sırasıyla 2.26 mm gün^{-1} ve 0.74 mm gün^{-1} olarak belirlenmiştir. Güneyden kuzeye doğru gidildikçe sıcaklıktaki azalmaya ve yağıştaki artışa bağlı olarak ET_0 ve I azalma eğilimi göstermiştir. ET_0 ve I arasında ilişkinin pozitif yönlü korelasyona dayalı olduğu ve ET_0 arttıkça I'nın da arttığı gözlemlenmiştir ($R^2 = 0.84$). P ve I arasındaki ilişkinin ise negatif yönlü korelasyona dayalı olduğu ve P arttıkça I'nın azaldığı sonucuna ulaşılmıştır ($R^2 = 0.78$). Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçların Doğu Anadolu Bölgesi koşullarında hazırlanacak su bütçesi, sulama programı ve kuraklık eylem planı çalışmalarında faydalı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- Aghelpour, P., & Norooz-Valashedi, R. (2022). Predicting daily reference evapotranspiration rates in a humid region, comparison of seven various data-based predictor models. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 36, 4133-4155. <https://doi.org/10.1007/s00477-022-02249-4>
- Al Ali, M., Gençoğlan, C., & Gençoğlan, S. (2018). Damla sulama yöntemiyle uygulanan farklı düzeylerde sulama suyu miktarının patlıcan su verim ilişkisine etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 1. Uluslararası Tarımsal Yapılar ve Sulama Kongresi Özel Sayısı, 385-393.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements – FAO Irrigation and drainage paper 56. <https://www.fao.org/4/X0490E/X0490E00.htm> (erişim tarihi: 18 Temmuz 2023).
- Anonim, (2024). Türkiye Dilsiz İl Merkezli Haritası. http://cografyaharita.com/haritalarim/4jturkiye_dilsiz_il_merk ezli_haritasi.png (erişim tarihi: 24 Mayıs 2024).
- Dingman, S. L. (2008). *Physical Hydrology*. Long Grove, Illinois, USA: Waveland Press Inc.
- DMİ, 2023. Doğu Anadolu Bölgesi İklim Verileri. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara
- FAO. (2023). CROPWAT-A Computer Program for Irrigation Planning and Management. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <https://www.fao.org/land->

water/databases-andsoftware/cropwat/en/ (erişim tarihi: 22 Mart 2023).

- Güngör, Y. & Erözel, A. Z. (2004). *Sulama*. Ankara: Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.
- Jacobs, J. M., Anderson, M. C., Friess, L. C. & Diak, G. R. (2004). Solar radiation long wave radiation and emergent wetland evapotranspiration estimates from satellite data in Florida. *Hydrological Sciences*, 49(3), 461-476. <https://doi.org/10.1623/hysj.49.3.461.54352>
- Lewis, C. D. (1982). *Industrial and business forecasting methods: A practical guide to exponential smoothing and curve fitting*. London: Butterworths Scientific.
- Maiseli, B. J. (2019). Optimum design of chamfer masks using symmetric mean absolute percentage error. *EURASIP Journal on Image and Video Processing*, 74, 1-15. <https://doi.org/10.1186/s13640-019-0475-y>
- Marganingrum, D., & Santoso, H. B. (2019). Evapotranspiration of Indonesian tropical area. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 16(3), 106-116. <https://doi.org/10.14710/presipitasi.v16i3.106-116>
- Mehdizadeh, S. (2018). Estimation of daily reference evapotranspiration (ET_o) using artificial Intelligence methods: offering a new approach for lagged ET_o data-based modeling. *Journal of Hydrology*, 559, 794-812. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.02.060>

- Şarлак, N. & Bağçacı, S. Ç. (2020). Ampirik potansiyel evapotranspirasyon tahmin yöntemlerinin değerlendirilmesi: *Konya havzası. Teknik Dergi*, 31(1), 9755-9772. <https://doi.org/10.18400/TEKDERG.408019>
- TAGEM, (2022). Türkiye’de sulanan bitkilerin bitki su tüketimleri. <https://www.tarimorman.gov.tr/TAGEM/Belgeler/yayin/Tu%C C%88rkiyede%20Sulanan%20Bitkilerin%20Bitki%20Su%20T u%CC%88ketimleri.pdf>. (erişim tarihi: 26 Mayıs 2022).
- Trajković, S. & Gocić, M. (2010). Comparison of some empirical equations for estimating daily reference evapotranspiration. *Facta Universitatis – Series Architecture and Civil Engineering*, 8(2), 163-168. <https://doi.org/10.2298/FUACE1002163T>
- Yaman, M. (2013). Van il merkezinin yerleşime uygunluk yönünden değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 99s, Niğde.
- Young, M. H., Wierenga, P. J., & Mancino, C. F. (1996). Large weighing lysimeters for water use and deep percolation studies. *Soil Science*, 161(8), 491-501. <https://doi.org/10.1097/00010694-199608000-00004>
- Zhao, G., & Gao, H. (2019). Estimating reservoir evaporation losses for the United States: Fusing remote sensing and modeling approaches. *Remote Sensing of Environment*, 226, 109-124. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.03.015>

BÖLÜM 5

LAKTASYON EĞRİSİ VE YAPAY SİNİR AĞI MODELLERİNİN SAANEN KEÇİLERİNDE LAKTASYON SÜT VERİMİNE UYUMLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Prof. Dr. Çiğdem TAKMA
Prof. Dr. Yakut GEVREKÇİ
Prof. Dr. Turgay TAŞKIN
Doç. Dr. Çağrı KANDEMİR
Doç. Dr. Funda ERDOĞAN ATAÇ
Prof. Dr. Nedim KOŞUM
Prof. Dr. Hülya ATIL

GİRİŞ

Son yıllarda doğal koşullarda yetiştirilmiş sağlıklı hayvanlardan elde edilen gıdaların tüketimi giderek daha fazla tercih edilir hale gelmiştir. Küçükbaş hayvanların eti, sütü ve bu ürünlerden elde edilen diğer gıdalar sağlıklı ve doğal yapılarıyla dikkat çekmektedir. Özellikle keçi sütü beyaz rengi ve yüksek aroması gibi kendine has özellikleriyle ön plana çıkmaktadır (Koyuncu ve Taşkın, 2009). Keçi sütündeki kazein ve yağın inek sütünden daha kolay sindirilebilir olması nedeniyle sindirim sistemi hastalıklarının tedavisinde önemli bir yardımcı olup yaşlılara, hastalara, bebeklere ve süt alerjisi olan çocuklara önerilmektedir. Ayrıca keçi sütü inek sütünden daha düşük kalori, B6, B12, C vitaminleri ve karoten içeriğine sahiptir; ancak kolesterol, A vitamini, niasin, kolin, inositol, kalsiyum, fosfor ve kısa-

orta zincirli yağ asitleri açısından daha zengindir (Erten ve Yılmaz, 2013). Sağladığı süt ve et ürünleri nedeniyle keçi yetiştiriciliği hem tüketiciler hem de üreticiler için önemli bir üretim kolu haline gelmiştir. Bu durum, birçok bilimsel çalışmanın odak noktası olmasına neden olmuştur. İşletme karlılığı ve kaliteli üretim hedefleri doğrultusunda keçi sütünün hem kalite hem de miktar olarak artırılması büyük önem taşımaktadır. Laktasyon süt veriminin artırılmasında çevresel faktörlerin etkilerinin doğru bir şekilde belirlenmesi, bu faktörlerin iyileştirilmesi ve gelecekteki süt veriminin tahmin edilmesine yönelik çalışmalara ihtiyaç vardır (Rojo-Rubioa vd., 2016). Keçilerde farklı çevresel faktörlere göre laktasyon süt verimini tahmin etmek için çeşitli matematiksel modeller geliştirilmiştir (Gipson ve Grossman, 1989; Gipson vd., 1990; Ruvuna vd., 1995). Ayrıca son yıllarda keçi eti ve süt veriminin tahmininde yapay sinir ağları (YSA) da kullanılmaya başlanmıştır (Mehra, 1992; Fernández vd., 2002; Behzadi ve Aslaminejad, 2010; Özdemir, 2013; Favaro vd., 2014; Khorshidi vd., 2019). Öte yandan İsviçre kökenli bir ırk olan Saanen keçileri, tüm dünyada yüksek süt verimi ile bilinmektedir. Ülkemizde Ege ve Marmara bölgelerinde yaygın olarak yetiştiriciliği yapılan Türk Saanen keçileri, yerli keçi ırklarıyla melezlenerek geliştirilmiş olup hem sütçülük özellikleri hem de yüksek doğurganlıkları ile dikkat çekmektedir (Koşum vd., 2019). Bu ırk, yüksek laktasyon süt verimi ve çevreye uyum sağlama yeteneği ile Türk hayvancılık sektöründe önemli bir yere sahiptir. Son yıllarda keçi sütü ve ürünlerine olan ilginin artması, tarımdaki değişimlere rağmen keçi yetiştiriciliğinin önemini koruduğunu göstermektedir. Bu bağlamda, keçi sütü veriminin doğru

bir şekilde tahmin edilmesi çiftlik karlılığına, sürü yönetimine ve üreme çalışmalarına büyük katkı sağlamaktadır. Bu çalışmada, Saanen keçilerinde laktasyon süt verimi tahminlerinin uyarlanabilirliği, geleneksel laktasyon modelleri ve ANN gibi yenilikçi teknikler analiz edilerek karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

MATERYAL ve YÖNTEM

Materyal

Bu projenin hayvan materyalini Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootekni Bölümü'nde yetiştirilen farklı laktasyonlardaki 40 baş saf Saanen keçileri oluşturmuştur. Keçiler 38° kuzey paraleli, 27° doğu boylamında yer alan ve deniz seviyesinden yüksekliği 0-20 m değişim gösteren bir bölgede yetiştirilmiştir. Deneme boyunca bölgenin iklim koşulları yaz aylarında sıcak ve kurak, kış aylarında ise ılık ve yağışlı geçmiştir. Keçilerin barındırması doğu batı doğrultusunda tek tarafı kapalı diğer cepheleri açık koşulda, 2,5 m yükseklikte, iç duvarları örgü telli ve her birisi 60 baş kapasiteli 4 adet sağmal keçi bölmesi ($96 \text{ m}^2 \times 4 = 384 \text{ m}^2$), 4 adet oğlak büyütme bölmesi ($24 \text{ m}^2 \times 4 = 96 \text{ m}^2$), sürü yönetim programlı sağım makinası ve sağım yeri (12×2) olan ve beşik galvanizli sac çatıya sahip ağılda olmuştur.

Barınaklar içinde servis yoluna sıralı kilitleme mekanizmalı yüksekliği 120 cm ve genişliği 35 cm yemliklerde kaba ve bir kısım kesif yemler karıştırılarak verilmiştir.

Ayrıca keçilerin verim düzeyine göre yemleme, RFID sistemli yem otomatında ek kesif yemleme bireysel olarak yapılmıştır. Keçilerin

besleme programında erken, orta ve son laktasyon (gebelik) dönemi olarak üç farklı dönem dikkate alınmıştır.

Erken laktasyon döneminde 0,5 kg kuru yonca otu, 0,3 kg kaba buğday samanı, 1,5 kg mısır silajı ve 0,5 kg keçi süt yemi, laktasyonun orta döneminde 0,6 kg kuru yonca otu, 0,2 kg kaba buğday samanı, 2,5 kg mısır silajı ve 0,5 kg keçi süt yemi ve laktasyonun son (gebelik) döneminde 0,4 kg kuru yonca otu, 0,4 kg kaba buğday samanı, 1 kg mısır silajı ve 0,7 kg keçi süt yemi verilmiştir.

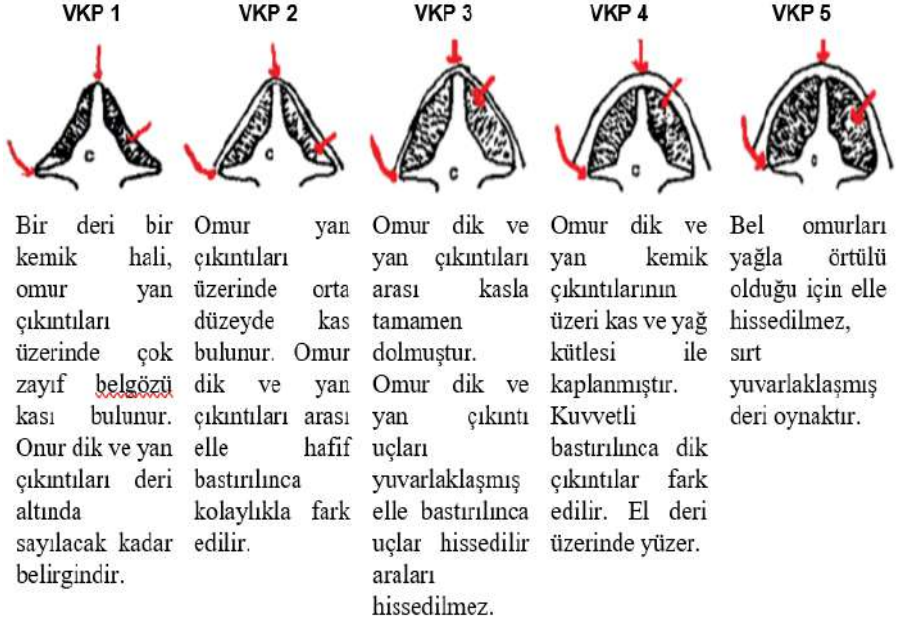
İşletmedeki her bölmenin içinde en az bir tane olacak şekilde ikili ve 8 litre kapasiteli şamandıralı suluklar kullanılmıştır. Çalışmada, tüm hayvanların sağlık-koruma uygulamaları, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümünün kadrolu Veteriner Hekimi tarafından düzenli olarak gerçekleştirilmiştir.

Yöntem

Süt Verim Denetimi
















Projenin başlamasıyla birlikte sağıma günde iki kez giren toplam 40 baş keçinin oğlaklama başlangıcı 08/02/2020'den kuruya çıkarma tarihi olan 24/10/2020'ye kadar 15 gün aralıklarla toplam 19 haftalık süt verimleri kaydedilmiştir.

Keçilerin aylık vücut kondisyon puanları da sübjektif olarak belirlenmiştir. Küçükbaş hayvanlarda vücut kondisyon puanlaması 6 sınıfta incelenmekle beraber pratikte 5 tanesi önem taşımaktadır (Konar Keskin, 2010).



Şekil 1. Keçi vücut kondisyon puanı (VKP) değerlendirme kriterleri

Buna göre Saanen keçilerinin vücut kondisyon puanlaması bel omurgaları üzeri ile omur yan çıkıntıları arasındaki dolgunluğa deri üzerinden dokunarak ve parmak uçlarının anılan bölgede gezdirilmesi ile yapılmıştır. Şekil 1’de verilen değerlendirme kriterlerine göre 1’den 5’e kadar yapılan puanlamada, puanlama aralığı 0,5 olarak kabul edilmiştir. Vücut kondisyon puanını değerlendirme noktaları Şekil 2’de verilmiştir. Projede VKP değeri 1,5-2 arasında olanlar 1. grup, 2,5-3 arasında olanlar ise 2. grupta değerlendirilmiştir. VKP değeri 3,5 ve üzeri olan değere sahip keçi bulunmamıştır.

Yarıdan-görünüş 	Üstten-görünüş 		VÜCUT- KONDİSYON- PUANI 1
			VÜCUT- KONDİSYON- PUANI 2
			VÜCUT- KONDİSYON- PUANI 3
			VÜCUT- KONDİSYON- PUANI 4
			VÜCUT- KONDİSYON- PUANI 5

Şekil 2. Keçi vücut kondisyon puanı (VKP) değerlendirme noktaları

Laktasyon Süt Veriminin Hesaplanması

Projede kullanılacak keçilerin bireysel laktasyon süt verimleri denetim günü kayıtlarından elde edilmiştir. Hesaplama Uluslararası Hayvan Kayıt Komisyonu (ICAR)'nın kabul ettiği Trapez II yöntemi kullanılmıştır (Koyuncu ve Pala, 2008; ICAR, 2009). Buna göre, bir denetim gününden diğer denetim gününe kadar geçen süre bir denetim periyodu olarak alınarak her denetim periyodunun başlangıç ve bitimindeki süt miktarları toplanıp ikiye bölünmüş ve denetim periyodu içinde kalan gün ile çarpılarak o denetim periyodundaki verim

hesaplanmıştır. Denetim günündeki süt verimi, doğum ile ilk denetim günü arasında kalan gün sayısı ile çarpılarak genel toplama eklenmiştir. Aynı şekilde, laktasyonun sonlandığı gün ile en son süt kontrolünün yapıldığı gün arasında kalan gün sayısı, son süt denetiminde elde edilen miktar ile çarpılmış ve genel toplama eklenmiştir. Toplam 259 günlük laktasyon süt verimi bu işlem basamaklarına göre aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$X=[(k_1 * A) + ((k_1 + k_2) / 2) a_1 + \dots + ((k_n - 1 + k_n) / 2) a_n + (k_n * C)]$$

Formülde yer alan k: Denetim günü süt verimini, C: Son denetim günü ile kuruya çıkma arasında kalan süreyi (14 gün), a: Denetim aralığını (30 gün), A: Doğum ile ilk denetim arasında geçen süreyi (10 gün) ifade etmektedir.

İstatistiksel Analizler

Laktasyon Eğrisi Modelleri

Laktasyon eğrileri keçilerin günlük, haftalık ya da aylık süt verimlerinin alındıkları zamana göre grafiği çizilerek belirlenmektedir. Laktasyon eğrisinde kullanılacak katsayıların büyüklüklerini ya da diğer bir ifadeyle laktasyon eğrisinin şeklini gebelik, doğum sayısı, mevsim, laktasyon sırası, bakım-besleme ve sağlık durumu gibi çevresel faktörler ile genotip etkilemektedir. Söz konusu bu faktörlerin etkileri, sürüden sürüye ve yıldan yıla değişebilmektedir. Bir sürüde hesaplanan laktasyon eğrisine ait parametreler o sürüye özgüdür ve her sürünün laktasyon eğrisi farklıdır. Bu nedenle laktasyon eğrisinin şekli, işletmelerde hayvanların süt veriminin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca, sürünün süt verimi bakımından genetik olarak

değerlendirilmesinde, rasyon formülasyonlarının hazırlanmasında ve farklı yetiştirme şekillerinin ekonomik olarak değerlendirilmeleri gibi farklı uygulama alanlarında kullanılmaktadır (Esenbuğa ve Bilgin, 2004). Ayrıca, laktasyon eğrisi tiplerinin belirlenmesi, uygun eğri tipine sahip olmayan hayvanların damızlık dışı bırakılmasında bir kriter olarak kullanılabilir (Sherchand vd.1995).

Saanen keçilerinin laktasyon boyunca süt verimlerinin tahminlenmesinde, laktasyon eğrisi modelleri olarak aşağıda verilen Wood ve Cobby Le Du doğrusal olmayan modelleri kullanılmıştır.

$$\text{Wood} \quad y_t = a \times t^b \exp(-c \times t) + \varepsilon$$

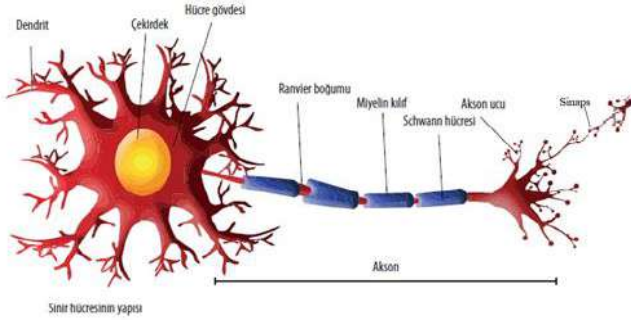
$$\text{Cobby Le Du} \quad y_t = a - b \times t - a \exp(-c \times t) + \varepsilon$$

Modellerde yer alan t denetim gününü, y_t oğlaklamadan sonra t. inci gündeki denetim günü süt verimini, a, b ve c model parametrelerini ve ε ise hatayı ifade etmektedir (Wood, 1970; Landete-Castillejos ve Gallego, 2000). Modelde a: Başlangıç süt verimini, b: pik verime kadar olan çıkışı, c: pik verimden sonraki inişi ve e: Doğal logaritma tabanını göstermektedir.

Yapay Sinir Ağları (YSA)

Yapay sinir ağları, insan beyninin yaşayarak veya deneyerek öğrenme sürecinin matematiksel olarak modellenmesidir. İnsanlardaki öğrenme, hatırlama ve öğrendiklerini güncelleme gibi yeteneklerin bilgisayarlarda da olması hedeflenmiştir. YSA, yapay sinir hücrelerinin farklı şekillerde birbirleri ile bağlanmasından meydana gelmektedir. İnsan beyninde yaklaşık olarak 1011 adet sinir hücresi bulunmaktadır. YSA'ndaki işleme elemanları insan beynindeki nöronlara karşılık

gelmektedir. Bu nedenle YSA konusundaki ilk çalışmalar insan beyninin biyolojik üniteleri olan biyolojik sinir hücrelerinin (nöronların) modellenmesi ile başlamıştır. “Eğer sinir sisteminin davranışları modellenecekse yapısı da modellenmelidir” diye düşünülerek yapay sinir hücreleri, gerçek sinir hücrelerine benzetilmiştir. Biyolojik bir sinir hücresi; gövde, akson, çok sayıda sinir ucu (dendrit) ve akson ile diğer sinir hücresinin akson ucu arasında kalan ince uzantılar (sinaps) olmak üzere dört bölümden oluşmaktadır (Şekil 3).

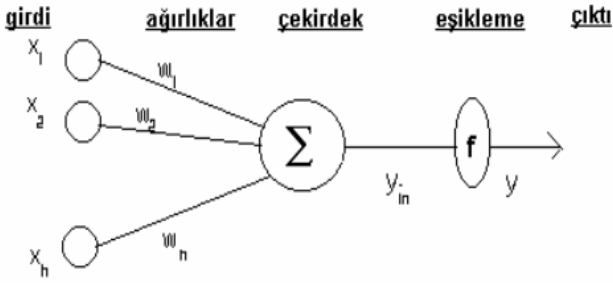


Şekil 3. Biyolojik sinir hücresi yapısı ve sinyal iletimi

Dendritler, gelen sinyalleri çekirdeğe iletir. Çekirdek dendritten gelen sinyalleri bir araya toplar ve aksona iletir. Toplanan bu sinyaller akson tarafından işlenerek sinapslara gönderilmektedir. Sinapslar da yeni üretilen sinyalleri diğer sinir hücrelerine ileterek iletişim sağlanmaktadır.

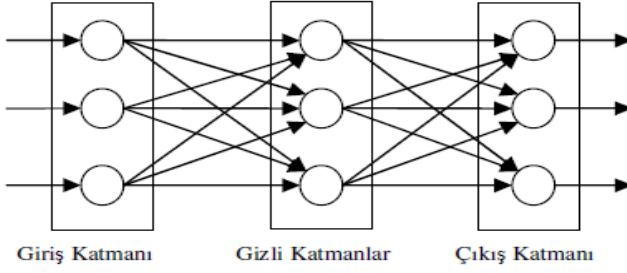
Yapay sinir ağları geleneksel işlemcilerin hesaplamalarından farklı şekilde işlem yaparlar. Bir bilgisayarın işlemcisi (CPU) belirli bir algoritma çerçevesinde kendisine verilen görevi adım adım yaparken, her yapay sinir ağı büyük bir problemin sadece kendine ait olan küçük bir parçasını doğrusal olmayan bir şekilde işler ve bir sonuç elde eder.

Yapay sinir ağı sistemi içinde ise sinir hücresi basitleştirilerek modellenmiştir. Bu sistemde her düğüm bir nöronu temsil etmekte ve nöronlar arası etkileşimler bağlantılar ile gösterilen bir ağ yapısı ile açıklanabilmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Bir yapay sinir hücresinin yapısı

Fakat birçok araştırmada farklı bilgi türleri toplanabilmektedir. Bu bilgiler, sinir ağlarındaki girdilere karşılık gelmektedir. Bu durumda birçok giriş için bir nöron yeterli olmamakta ve paralel işlem yapan birden fazla nörona ihtiyaç duyulmaktadır. Bu koşulda yapay sinir ağlarının en çok kullanılan çeşidi olan çok katmanlı algılayıcılardan yararlanılmaktadır. Çok katmanlı algılayıcı yapısında nöronlar tabakalar halindedir ve bir tabakadaki nöronlar diğer tabakadaki nöronlarla bağlantılıdır. Başlıca üç katmandan oluşan yapıda ilk katman giriş katmanıdır ve burada girişler ağa tanıtılmaktadır. Diğer katman, girdi katmanından bilgiyi dönüştürerek çıktı katmanına hazırlayan gizli katmandır. Gizli katmandan gelen bilgiyi alarak tüm ağ için uygun çıkışlar üreten katman çıkış katmanı olarak tanımlanmaktadır. Giriş ve gizli katmanlar ile gizli ve çıkış katmanları arasındaki nöronlar, ağırlıklar ile birbirine bağlanmaktadır (Şekil 5).



Şekil 5. Çok katmanlı yapay sinir ağı yapısı

Yapay sinir ağlarında en uygun ağırlık setinin belirlenmesi için yapılan ağ hesaplamaları öğrenme ve hatırlama (test etme) olarak iki basamaktan oluşmaktadır (Özdemir, 2013). Bu yapıda iki öğrenme stratejisi söz konusudur:

a. Danışmanlı öğrenme: Yapay sinir ağlarında kullanılan en yaygın öğrenme biçimidir. Ağa giriş-çıkış vektörleri şeklinde ayrıntılı eğitim örnekleri verilmektedir. Örneğe ait hem giriş hem de çıkış değerleri ağa sunulmakta ve her iterasyonda örneğe ait çıkış değerleri ile ağın çıkış değerleri karşılaştırılarak ağın hatası hesaplanmaktadır. Bu hata minimum olana kadar ağda, nöronlar arasındaki ağırlıklar düzeltilerek iterasyona devam edilmektedir.

b. Danışmansız öğrenme: Ağa sadece giriş verisi sunulmaktadır. Söz konusu veri grubuna uyumlu bir çıkış değeri üretecek şekilde ağın kendisinin uygun ağırlıkları düzenlemesi istenmektedir.

Hatırlama basamağında ise ağın öğrenmesi sonucu elde edilen ağırlık grubu kullanılarak ağa benzer bir probleme ait giriş değerleri verilmekte ve bu probleme çözüm getirmesi istenmektedir.

Bunlardan başka yapay sinir ağları, yapısal olarak bilginin akış yönüne ve nöronlar arası bağlantı biçimine göre ileri beslemeli ve geri

beslemeli olmak üzere iki ana grupta toplanmaktadır (Güntürkün, 2013).

1. İleri beslemeli ağlar: Giriş katmanından çıkış katmanına doğru bilgi akışının yalnız bir yönde ilerlediği ağlardır.

2. Geri beslemeli ağlar: Herhangi bir sinirin çıkışından girişine doğru bilgi akışının ilerlediği ağlardır. Bu tür ağ yapısında geri besleme bağlantılar söz konusudur.

Bunlardan başka hem ileri besleme hem de geri yayılma olarak tanımlanabilecek ağ yapıları da mevcuttur. Tüm yapay sinir ağı modelleri içinde geri yayılma ile eğitilen çok tabakalı ileri beslemeli ağlar (Back Propagation Network), radial tabanlı ağlar, Hopfield ve Kohonen hem kullanışlı hem de güvenilir olmasından dolayı en çok kullanılan ağ türüdür. Bu ağlar tahminleme ve sınıflandırma işlemleri için güvenilir sonuçlar vermekte ve doğrusal olmayan yapı içeren modellerde oldukça kullanışlı olmaktadır.

Bu proje ile bir tür makine öğrenmesi olan yapay sinir ağlarından tahminleme amaçlı yararlanılmıştır. Çok katmanlı ileri beslemeli ve geri yayımlı eğitim algoritmasını kullanan yapay sinir ağı modeli ile Saanen keçilerine ait laktasyon süt verimleri tahminlenmiştir.

Analize başlamadan önce veri setinin normalize edilmesinin yapay sinir ağı performansını iyileştireceği bilinmektedir (Masters, 1993). Nitekim yapay sinir ağı girdileri arasında aşırı büyük veya küçük değerler olabilmekte; hatta bunlar yanlışlıkla girdi setine girilmiş olabilmektedir. Bu gibi değerlerin ağı yanlış yönlendirmesi nedeniyle bütün girdilerin belirli aralıkta (çoğunlukla 0-1 aralığında) ölçeklendirilmesi hem farklı ortamlardan gelen bilgilerin aynı ölçek

üzerine indirgenmesini, hem de yanlış girilen çok büyük ve küçük şeklindeki değerlerin etkisinin ortadan kaldırılmasını sağlamaktadır. Bu araştırmada, verilerin bir aralıkta sınırlandırılması amacıyla aşağıda verilen D_Min_Max normalizasyon formülünden yararlanılmıştır.

$$V_N = 0,8 \times \left[\frac{V_R - V_{min}}{V_{max} - V_{min}} \right] + 0,1$$

Formüldeki terimler VN: Normalize edilmiş veriler, VR: Normalleştirilecek veriler, Vmin: Veri setindeki en küçük değer ve Vmax: Veri setindeki en büyük değerdir.

Normalizasyon işleminden sonra veri setinin %80'i eğitim, %20'si test verisine ayrılmıştır. Daha sonra doğum tipi, laktasyon sırası vücut kondisyon puanı ve Şubat-Ekim muayene günü süt verimleri girdi değişkenleri, laktasyon süt verimi ise çıktı değişkeni olarak alınmıştır. Bu veriler üzerinde farklı ağ yapılarına sahip yapay sinir ağı modelleri denenmiş ve en yüksek belirleme katsayısını veren gizli katman sayısı, bu katmandaki gizli düğüm sayısı, yakınsama ölçütü, maksimum yineleme sayısı ve algoritmanın sonlanması için gereken döngü sayısına karar verilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen tahmini değerler, aşağıdaki gibi normalize edilmiş formülün tersi kullanılarak orijinal değerlere dönüştürülmüştür.

$$V_R = \left[\frac{V_N - 0,1}{0,8} \right] \times (V_{max} - V_{min}) + V_{min}$$

Yapay sinir ağları ile Wood ve Cobby Le Du doğrusal olmayan regresyon modellerinin iyi uyumunun karşılaştırılmasında düzeltilmiş belirleme katsayısı (R^2), hata kareler ortalamasının karekökü (Root Mean Square Error-RMSE), ortalama mutlak sapma (Mean Absolute

Deviation-MAD) ve ortalama mutlak yüzde hata (Mean Absolute Percentage Error-MAPE) performans kriterleri kullanılmıştır. En iyi uyumu sağlayan modelin belirlenmesinde yüksek R^2 , düşük RMSE, MAPE ve MAD değerleri esas alınmıştır. Karşılaştırma kriterlerinin formülleri ve formülde yer alan terimler aşağıda verilmiştir.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (y_t - \hat{y}_t)^2}{T}} \quad MAPE = \frac{1}{T} \sum \left| \frac{y_t - \hat{y}_t}{y_t} \right| \times 100 \quad MAD = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|}{n}$$

y_t : Gözlenen değerleri, \hat{y}_t : Tahminlenen değerleri ve T: Gözlem sayısını tanımlamaktadır.

Çalışmadaki analizler için varyans analizi ve laktasyon eğrisi modellerinin uyumunda IBM SPSS v25, yapay sinir ağı modelinin uyumunda ise MATLAB-Neural Network Toolbox programları kullanılmıştır.

BULGULAR

Saanen keçilerin süt verimlerinde ölçümlerin alındığı ilgili denetim günlerine ait 15 günlük süt verimleri için tanımlayıcı istatistikler Çizelge 1’de verilmiştir.

Laktasyon süt verimlerinin, laktasyon eğrisi ve yapay sinir ağları ile tahminlenmesinde süt verimi üzerinde etkili olduğu düşünülen doğum tipi, laktasyon sırası ve vücut kondisyon puanı gibi çevre faktörlerinin önemli olup olmadığı incelenerek söz konusu tahminlemeler için ön analizler yapılmıştır.

Çizelge 1. 15 günlük süt verimi denetimlerine ait bazı tanımlayıcı istatistikler

Denetim Günü	N	En az	En çok	GOSV (kg)	Std. Sapma	Varyans
8.02.2020	40	2,28	7,14	3,95	1,04	1,08
22.02.2020	40	2,13	6,97	3,93	1,14	1,31
07.03.2020	40	2,22	6,95	3,71	0,99	0,98
21.03.2020	40	2,05	6,28	3,57	0,95	0,91
04.04.2020	40	1,90	5,74	3,41	0,97	0,94
25.04.2020	40	1,79	5,73	3,31	0,92	0,84
09.05.2020	40	1,86	5,83	3,24	0,82	0,67
23.05.2020	40	1,30	5,55	2,84	0,79	0,63
06.06.2020	40	1,48	4,65	2,58	0,68	0,46
20.06.2020	40	0,83	4,64	2,45	0,68	0,47
04.07.2020	40	1,26	4,75	2,50	0,73	0,53
18.07.2020	40	1,10	4,71	2,34	0,67	0,45
01.08.2020	40	1,02	4,92	2,53	0,91	0,82
15.08.2020	40	1,03	4,61	2,21	0,72	0,52
29.08.2020	40	0,99	4,32	2,18	0,80	0,64
12.09.2020	39	0,10	4,58	2,16	0,99	0,98
26.09.2020	40	0,74	3,73	1,88	0,76	0,59
10.10.2020	40	0,20	3,69	1,46	0,77	0,59
24.10.2020	40	0,10	3,57	1,30	0,90	0,80

GOSV: Günlük Ortalama Süt Verimi, kg

Normal dağılım gösterdiği belirlenen denetim günü süt verimleri üzerine vücut kondisyon puanı, laktasyon sırası ve doğum tipinin etkisi tek yönlü ANOVA ile incelenmiş ve söz konusu faktörlerin alt gruplarına ait ortalama ve standart hata değerleri Çizelge 2’de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde denetim günü süt verimlerine vücut kondisyon puanı, laktasyon sırası ve doğum tipinin etkisi önemsiz bulunmuştur ($p>0,05$). Bu nedenle laktasyon süt veriminin tahminlenmesinde bu çevre faktörleri dikkate alınmamıştır.

Çizelge 2. Denetim süt verimleri üzerine doğum tipi, Laktasyon Sırası ve VKP'nin etkisi

	N	Ortalama	Std. Hata	p
Doğum tipi				
Tek	209	2,80	0,07	0,384
İkiz	531	2,69	0,05	
Üçüz	19	2,57	0,24	
Laktasyon Sırası				
2	95	3,12	0,15	0,06
3	228	2,53	0,06	
4	38	2,57	0,10	
5	38	2,35	0,12	
7	114	2,69	0,09	
8	190	2,65	0,08	
9	56	3,39	0,23	
VKP				
2	76	2,10	0,09	0,07
3	247	2,39	0,05	

Laktasyon Eğrisi Modellerinin Uyumu

Denetim günü süt verimlerinin Cobby Le Du ve Wood modeli ile tahminlenmesi sonucu elde edilen parametre tahminleri, standart hataları ve güven aralıklarının alt ve üst sınırları Çizelge 3'de ve parametreler arası korelasyon katsayıları ise Çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 3. Parametre tahmin, standart hata ve güven aralıkları

Model	Parametre	Tahmin	Std. Hata	95% Güven Aralıkları	
				Alt Sınır	Üst Sınır
Wood	a	4,17	0,28	3,58	5,98
	b	0,07	0,09	-0,173	0,134
	c	0,06	0,02	0,01	0,09
Cobby Le Du	a	4,09	0,19	3,78	5,32
	b	0,14	0,02	0,07	0,21
	c	21,77	1,23	20,17	22,96

Laktasyon eğrisi modellerinin parametre tahmin değerleri 21,77 ile 0,06 arasında; parametreler arası korelasyon katsayıları ise -0,40 ile 0,93 arasında değişmektedir (Çizelge 3, 4).

Çizelge 4. Modellere göre parametreler arası korelasyon katsayıları

		a	b	c
Wood	a	1	-0,68	-0,40
	b		1	0,93
	c		0,93	1
Cobby Le Du	a	1	0,91	-0,50
	b		1	-0,44
	c		-0,44	1

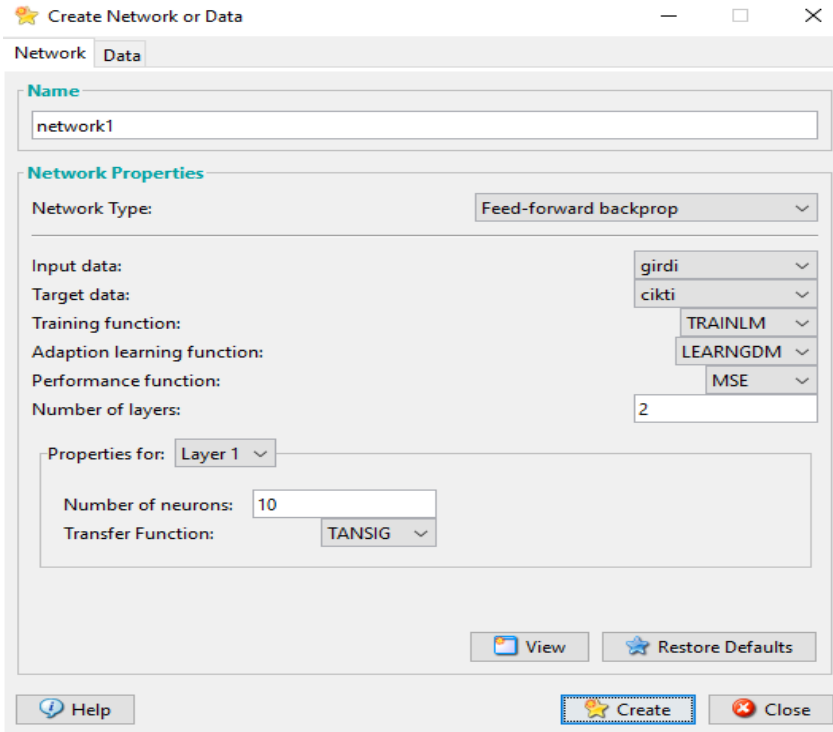
Laktasyon eğrisi modellerinin performans kriterlerine ilişkin sonuçları Çizelge 5’ de verilmiştir.

Çizelge 5. Laktasyon eğrisi modelleri performans kriterleri

Model	R ²	RMSE	MAPE	MAD
Wood	0,83	0,37	28,60	0,24
Cobby Le Du	0,96	0,39	25,63	0,27

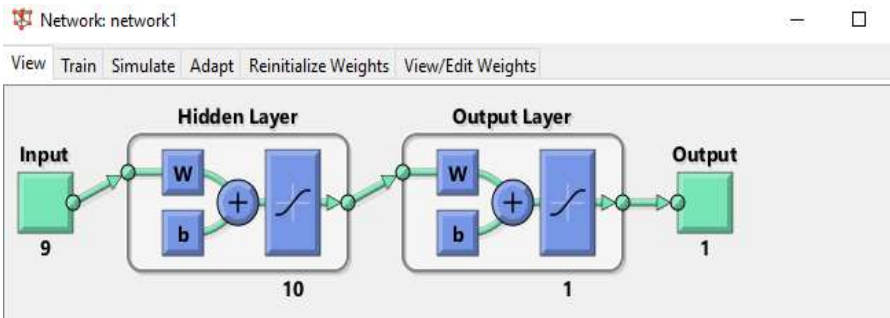
Yapay Sinir Ağı Modellerinin Uyumu

Bu çalışmada, geri beslemeli sinir ağı modelinde denetim günü süt verim denetimlerine göre laktasyon süt veriminin tahmini yapılmış ve 40 baş keçiden 32 baş keçinin süt verimleri eğitim seti, 8 başı test seti olarak iki kısımda analiz edilmiştir. Tahminlemelerde, Levenberg Marquardt (LM) algoritması kullanılmış, gizli hücre sayısı 10, katman sayısı 2, yakınsama kriteri 1.10^{-5} , maksimum iterasyon sayısı 500 ve her algoritma sonunda 100 döngü (epoch) olacak şekilde tanımlama yapılmıştır (Şekil 6).



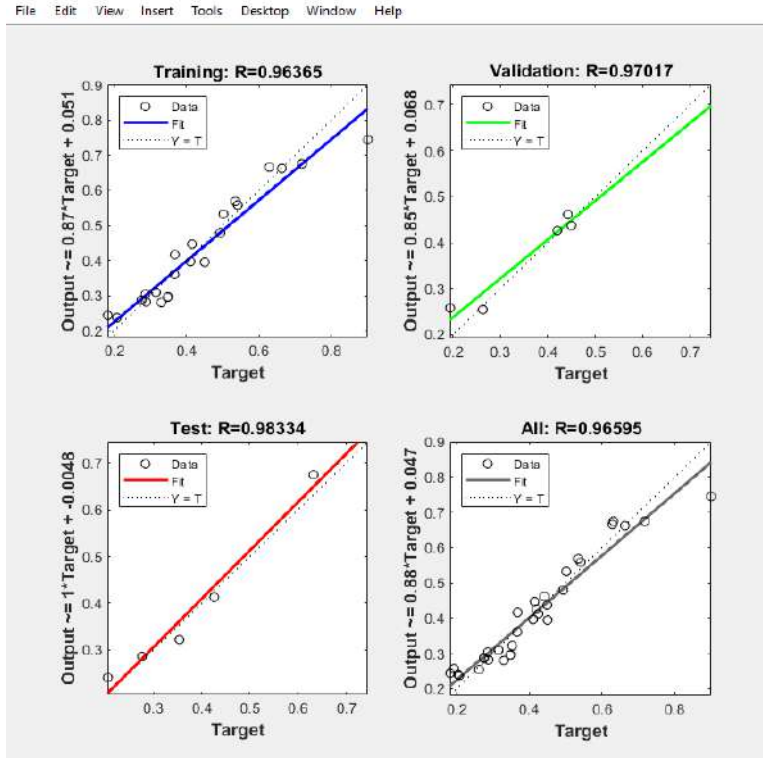
Şekil 6. YSA modeli ağ mimarisi

Araştırmada kullanılan ağ yapısının 9 girişli ve tek çıkışlı şematik olarak gösterimi Şekil 7’de sunulmuştur.



Şekil 7. Ağın şematik gösterimi

YSA modeli ile tahminleme sonucunda eğitim seti için belirleme katsayısı değeri 0,96, test seti için 0,98 olarak bulunmuştur (Şekil 7).



Şekil 8. YSA modelinin eğitim, doğrulama, test ve genel sonuçlarının karşılaştırılması

YSA modelinden elde edilen performans kriteri sonuçları Çizelge 6’da verilmiştir.

Çizelge 6. YSA modeli performans kriterleri

Performans Kriterleri	Eğitim Seti	Test Seti
RMSE	77,70	69,08
MAD	52,16	50,84
MAPE	6,49	10,01
R^2	0,96	0,98

TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada denetim günü süt verimlerine vücut kondisyon puanı, laktasyon sırası ve doğum tipinin etkisi önemsiz ($p>0,05$) bulunsa da daha fazla kayıt sayısı ile çalışıldığında bu faktörlerin önemli bulunacağı düşünülmektedir. Bu durumda, ilgili faktörlere göre laktasyon eğrilerinin tahminlenmesi yapılarak söz konusu etkiler dikkate alınabilecektir.

Modellerle ulaşılan parametre tahmin değerleri incelendiğinde, her iki model için benzer tahminleme değerlerine ulaşıldığı görülmektedir. Oğlaklamadan sonraki tahmini süt verimini ifade eden a parametresi ve laktasyon eğrisinin artışından sorumlu olan b parametreleri her iki model için birbirine yakın bir aralıkta (0.07-0.14) tahminlenmiştir. Bununla birlikte, pik verimden sonraki azalmayı açıklayan c parametresi, Cobby Le Du modelinde Wood modeline göre daha yüksek bulunmuştur. Bu sonuç Fernandez vd. (2002); Takma vd. (2009) bulgularıyla uyumlu bulunmuştur.

Bu çalışmada ayrıca laktasyon eğrisi parametreleri arasındaki korelasyon katsayıları -0.40 ile 0.93 arasında saptanmıştır. Wood modelindeki a parametresi ile b ve c parametreleri arasında negatif yönlü bir ilişki bulunmuştur. Başka deyişle a parametre değeri azaldıkça b ve c parametreleri artmaktadır. Cobby Le Du modelinde ise a parametresi ile b parametresi arasında pozitif yönlü bir ilişki, c parametresi ile negatif yönlü bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Buna göre, Wood modeli ile yapılan tahminlemelerde Saanen süt verimlerinin daha uzun sürede pik verime ulaştığı belirlenmiştir.

Diğer yandan, Wood modeli ile elde edilen R^2 değeri (0,83) Cobby Le Du modeline göre tahminlenen değerden (0,96) küçük bulunmuştur. Bu çalışmada Wood modeli ile ulaşılan R^2 değerleri Montaldo vd. (1997), Ruvuna vd. (1995), Fernandez vd. (2002), Keskin ve Dağ (2006) ve Takma vd. (2009) tarafından bildirilen değerlerden düşük; Felix vd. (1999) ile bildirilen değerden yüksek bulunmuştur. Cobby Le Du ile elde edilen R^2 değerleri Fernandez vd. (2002) tarafından bulunan değerden düşük, Takma vd. (2009)'dan yüksek bulunmuştur.

Diğer yandan, YSA modelinde ise R^2 değerleri eğitim seti için 0,96 ve test seti için 0,98 olarak bulunmuştur. Bu değer, Khorshidi-Jalali vd., (2019)'nın yapay sinir ağları ile Raini Kaşmir keçilerinde vücut ağırlığının tahminlemesi sonucu bulunan değerden yüksek ve Baluchi kuzularının vücut ağırlık tahmini ile elde edilen değerden düşük bulunmuştur (Behzadi ve Aslaminejad, 2010).

Bu araştırmada en iyi uyumu sağlayacak modelin belirlenmesinde esas alınan yüksek R^2 ve düşük RMSE, MAPE ve MAD performans kriterleri incelendiğinde YSA modelinde eğitim setine göre elde edilen RMSE ve MAD değerleri (77,7 kg; 52,2kg) laktasyon eğrisi modellerine göre hesaplanan değerlerden (0,39; 0,27) oldukça büyük olduğu belirlenmiştir. Bu değerler Fernández vd., (2007)'nin bildirdiği tahminleme sonuçlarından büyüktür.

Çalışmada elde edilen MAPE sonuçları karşılaştırıldığında ise YSA modelinin eğitim ve test veri seti için oldukça küçük (6,49-10,01) MAPE sonuçlarına sahip olduğu görülmektedir. Lewis (1982), MAPE performansları %10'un altındaki modellerin “çok iyi”, %10 ile %20

arasının “iyi”, %20 ile %50 arasının “kabul edilebilir” ve %50’nin üzerindeki modellerin ise “yanlış ve hatalı” olarak yorumlanması gerektiğini bildirmiştir. Buna göre yüksek R^2 ve düşük MAPE değerlerine göre YSA modelinin keçi laktasyon süt verimlerinin tahminlenmesinde en iyi performansa sahip model olduğu bulunmuştur.

Sonuç olarak, laktasyon süt veriminin tahminlenmesi, ancak tüm laktasyon boyunca ve her gün sağım yapmakla mümkündür. Süt veriminin bu şekilde belirlenmesi ciddi bir iş gücü ve maliyet gerektirmektedir. Laktasyon süt verimlerinin önceki verimlerden tespit edilmesi bu nedenle önemlidir. Laktasyonun bitiminden önce toplam üretimi tahmin etmek için laktasyon sütü veriminin ön tahmini bu nedenle önemlidir.

Keçi yetiştiriciliğinde yapay sinir ağlarının kullanımı önceki dönemdeki süt verimlerine göre sürü ya da bireysel laktasyon süt verimlerinin ya da eksik denetim günü veriminin daha doğru olarak tahminlenmesini sağlayacak; bu yönde yapılacak ayıklamalar, çevre koşullarındaki düzeltmeler işletme karlılığını artıracak ve sürdürülebilirlik sağlayacaktır. Keçi yetiştiriciliğinde ekonomik öneme sahip özellikler için tahminleme amaçlı olarak YSA modellerinin uygun araçlar olduğu ortaya çıkaran daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje Numarası: FGA-2020-21580).

KAYNAKÇA

- Alenabi, A., & Malekinejad, H. (2021). Cannabinoids pharmacological effects are beyond the palliative effects: CB2 cannabinoid receptor agonist induced cytotoxicity and apoptosis in human colorectal cancer cells (HT-29). *Molecular and cellular biochemistry*, 476(9), 3285–3301.
<https://doi.org/10.1007/s11010-021-04158-6>.
- Behzadi, MRB. & Aslaminejad, AA. (2010). A comparison of neural network nonlinear regression prediction of sheep growth. *J.Anim. Vet. Adv* 9(16):2128-2131.
- Bian, X., Liu, R., Meng, Y., Xing, D., Xu, D., & Lu, Z. (2021). Lipid metabolism and cancer. *Journal of Experimental Medicine*, 218(1).
- Braile, M., Marcella, S., Marone, G., Galdiero, M. R., Varricchi, G., & Loffredo, S. (2021). The Interplay between the Immune and the Endocannabinoid Systems in Cancer. *Cells*, 10(6), 1282.
<https://doi.org/10.3390/cells10061282>.
- Castaneto, M. S., Gorelick, D. A., Desrosiers, N. A., Hartman, R. L., Pirard, S., & Huestis, M. A. (2014). Synthetic cannabinoids: epidemiology, pharmacodynamics, and clinical implications. *Drug and Alcohol Dependence*, 144, 12–41.
<https://doi.org/10.1016/j.drugalcdep.2014.08.005>.
- Chayasirisobhon S. (2020). Mechanisms of Action and Pharmacokinetics of Cannabis. *The Permanente Journal*, 25, 1–3. <https://doi.org/10.7812/TPP/19.200>.

- Dang, N., Meng, X., Ma, S., Zhang, Q., Sun, X., Wei, J., & Huang, S. (2018). MDA-19 Suppresses Progression of Melanoma Via Inhibiting the PI3K/Akt Pathway. *Open Medicine (Warsaw, Poland)*, 13, 416–424. <https://doi.org/10.1515/med-2018-0061>.
- Das, S., Kaul, K., Mishra, S., Charan, M., & Ganju, R. K. (2019). Cannabinoid Signaling in Cancer. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 1162, 51–61. https://doi.org/10.1007/978-3-030-21737-2_4.
- De la Rosa Rodriguez, M. A., Deng, L., Gemmink, A., van Weeghel, M., Aoun, M. L., Warnecke, C. & Kersten, S. (2021). Hypoxia-inducible lipid droplet-associated induces DGAT1 and promotes lipid storage in hepatocytes. *Molecular Metabolism*, 47, 101168.
- Esenbuğa N. & Bilgin Ö. (2004). İvesi Koyunlarının Laktasyon Eğrisinin Tahmini ve Tanımlanması İçin Farklı Matematik Modellerin Mukayesesi. *4.Uluslararası Zootekni Bilim Kongresi*, 166-169, Isparta.
- Felix, A., J. Detilleux & P.L. Leroy (1999). Comparison of Holstein and meuse rhine yssel lactation curves with three mathematical models. *Proceedings of the 50th Annual Meeting of the EAAP*, August 22-26, Zurich.
- Fernández, C.; Sánchez, A. & Garcés, C. (2002). Modeling the lactation curve for test-day milk yield in Murciano-Granadina goats. *Small Rumin. Res.* 46, 29–41.

- Jin C, Yuan P. (2020). Implications of lipid droplets in lung cancer: Associations with drug resistance. *Oncol Lett.*, 20(3): 2091-2104. doi:10.3892/ol.2020.11769.
- Keskin, I. & Dağ B. (2006). Comparison of different mathematical models for describing the complete lactation of Akkaraman Ewes in Turkey. *Asian Aust. J. Anim. Sci.*, 19: 1551-1555.
- Khorshidi M, Mohammadabadi MR, Esmailizadeh AK, Barazandeh A, & Babenko O.I. (2019). Comparison of artificial neural network and regression models for prediction of body weight in Raini Cashmere goat. *Iranian Journal of Applied Animal Science*, 9(3):453- 461.
- Koyuncu E, & Pala A. (2008). Effects of short period frequent milking on milk yield and udder health in Turkish Saanen goats. *Animal Science Journal*, 79:111- 115.
- Kubik J, Humeniuk E, Adamczuk G, Madej-Czerwonka B, Korga-Plewko A. (2022). Targeting Energy Metabolism in Cancer Treatment. *Int J Mol Sci.*, 23(10), 5572.
- Kumari RM, Khatri A, Chaudhary R, Choudhary V. (2023). Concept of lipid droplet biogenesis. *Eur J Cell Biol.*, 102(4), 151362. doi:10.1016/j.ejcb.2023.151362.
- Landete-Castillejos T. & Gallego L. (2000). Technical note: The ability of mathematical models to describe the shape of lactation curves. *Journal of Animal Science*, 78:3010-3013.
- Lin, L., Jung, K. M., Lee, H. L., Le, J., Colleluori, G., Wood, C., Palese, F., Squire, E., Ramirez, J., Su, S., Torrens, A., Fotio, Y., Tang, L., Yu, C., Yang, Q., Huang, L., DiPatrizio, N., Jang, C., Cinti,

- S., & Piomelli, D. (2023). Adolescent exposure to low-dose THC disrupts energy balance and adipose organ homeostasis in adulthood. *Cell metabolism*, 35(7), 1227–1241.e7. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2023.05.002>
- Luo W, Wang H, Ren L, et al. Adding fuel to the fire: The lipid droplet and its associated proteins in cancer progression. *Int J Biol Sci*. 2022;18(16):6020-6034. Published 2022 Oct 17. doi:10.7150/ijbs.74902
- Masters, Timothy; 1993. *Practical Neural Network Recipes in C++*, London: Academic Press, Inc.
- Mehta A, Ratre YK, Soni VK, et al. Orchestral role of lipid metabolic reprogramming in T-cell malignancy. *Front Oncol*. 2023;13:1122789. Published 2023 May 15. doi:10.3389/fonc.2023.1122789
- Montaldo, H., Almanza A. & Juarez, A. (1997). Genetic group, age and season effects on lactation curve shape in goats. *Small Rumin. Res.*, 24: 195-202.
- Olzmann JA, Carvalho P. (2019). Dynamics and functions of lipid droplets. *Nat Rev Mol Cell Biol.*, 20(3), 137-155.
- Önay, Ö., Köse, S., Süslü, N., Korkusuz, P., Nemitlu, E., Aydın, C., & Hoşal, Ş. (2022). Human laryngeal squamous cell carcinoma cell line release of endogenous anandamide and 2-arachidonoylglycerol, and their antiproliferative effect via exogenous supplementation: an in vitro study. *Cell and Tissue Banking*, 23(1), 93–100. <https://doi.org/10.1007/s10561-021-09917-9>.

- Pagano C, Rossato M, Vettor R. (2008). Endocannabinoids, adipose tissue and lipid metabolism. *J Neuroendocrinol*, 20, Suppl 1, 124-129. doi:10.1111/j.1365-2826.2008.01690.x.
- Pagano, C., Navarra, G., Coppola, L., Avilia, G., Bifulco, M., & Laezza, C. (2022). Cannabinoids: Therapeutic Use in Clinical Practice. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(6), 3344. <https://doi.org/10.3390/ijms23063344>.
- Pagano, C., Navarra, G., Coppola, L., Bifulco, M., & Laezza, C. (2021). Molecular Mechanism of Cannabinoids in Cancer Progression. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(7), 3680. <https://doi.org/10.3390/ijms22073680>.
- Park, J. B., Lee, C. S., Jang, J. H., Ghim, J., Kim, Y. J., You, S., ... & Ryu, S. H. (2012). Phospholipase signalling networks in cancer. *Nature Reviews Cancer*, 12(11), 782-792.
- Pascual G., Majem B., Benitah S. A. (2024). Targeting lipid metabolism in cancer metastasis. *Biochim Biophys Acta Rev Cancer.*, 1879(1), 189051. doi:10.1016/j.bbcan.2023.189051.
- Petan T. (2023). Lipid Droplets in Cancer. *Reviews of physiology, biochemistry and pharmacology*, 185, 53–86. https://doi.org/10.1007/112_2020_51.
- Ramer, R., Wittig, F., & Hinz, B. (2021). The endocannabinoid system as a pharmacological target for new cancer therapies. *Cancers*, 13(22),5701. <https://doi.org/10.3390/cancers13225701>.
- Ruvuna, F.; Kogi, J.K.; Taylor, J.F. & Mkuu, S.M. (1995). Lactation curves among crosses of Galla and East African with

- Toggenburg and Anglo Nubian goats. *Small Rumin. Res.* 16: 1-6.
- Salvador, M. M., de Cedrón, M. G., Rubio, J. M., Martínez, S. F., Martínez, R. S., Casado, E. & Sereno, M. (2017). Lipid metabolism and lung cancer. *Critical Reviews in Oncology/hematology*, 112, 31-40.
- Schurman, L. D., Lu, D., Kendall, D. A., Howlett, A. C., & Lichtman, A. H. (2020). Molecular mechanism and cannabinoid pharmacology. *Substance Use Disorders: From Etiology to Treatment*, 323-353.
- Sherchand, L., Mcnew, R.W., Kellogg, D.W. & Johnson, Z.B. (1995). Selection of a Mathematical Model to Generate Lactation Curves Using Daily Milk Yields of Holstein Cows. *Journal of Dairy Science.* 78: 2507-2513.
- Sun, D., Li, X., Nie, S., Liu, J., & Wang, S. (2023). Disorders of cancer metabolism: The therapeutic potential of cannabinoids. *Biomedicine & pharmacotherapy = Biomedecine & pharmacotherapie*, 157, 113993. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2022.113993>.
- Takma C., Akbaş, Y. & Taskin, T. (2009). Modeling Lactation Curves of Turkish Saanen and Bornova Goats. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances*, 4: 122-129.
- Walther, T. C., Chung, J., & Farese, R. V., Jr (2017). Lipid Droplet Biogenesis. *Annual Review of Cell and Developmental Biology*, 33, 491–510. <https://doi.org/10.1146/annurev-cellbio-100616-060608>.

- Welte, M. A., & Gould, A. P. (2017). Lipid droplet functions beyond energy storage. *Biochimica et biophysica acta. Molecular and Cell Biology of Lipids*, 1862(10 Pt B), 1260–1272. <https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2017.07.006>.
- Wood, P.D.P. (1970). A note on the Repeatability of Parameters of Lactation Curve in Cattle, *Anim. Prod.*, 12: 535-53.
- Yazıcı, L., Yılmaz, G. (2021, aralık, 17-18). Endüstriyel Kenevirin Geleceği [Sözlü Sunum]. 12. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi, Ankara, Türkiye
- Zadoorian, A., Du, X., & Yang, H. (2023). Lipid droplet biogenesis and functions in health and disease. *Nature Reviews Endocrinology*, 19(8), 443-459.
- Zhou, J., Noori, H., Burkovskiy, I., Lafreniere, J. D., Kelly, M. E. M., & Lehmann, C. (2019). Modulation of the Endocannabinoid System Following Central Nervous System Injury. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(2), 388. <https://doi.org/10.3390/ijms20020388>.

