

2024
Haziran

Ziraat, Orman ve
Su Ürünleri Alanında
Araştırmalar ve
DEĞERLENDİRMELER

EDİTÖR
Doç. Dr. İlyas BOLAT

İmtiyaz Sahibi • Yaşar Hız
Genel Yayın Yönetmeni • Eda Altunel
Yayına Hazırlayan • Gece Kitaplığı
Editör • Doç. Dr. İlyas BOLAT

Birinci Basım • Haziran 2024 / ANKARA

ISBN • 978-625-425-760-5

© copyright
Bu kitabın yayın hakkı Gece Kitaplığı'na aittir.
Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan
hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Gece Kitaplığı
Adres: Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak Ümit Apt
No: 22/A Çankaya/ANKARA Tel: 0312 384 80 40

www.gecekitapligi.com
gecekitapligi@gmail.com

Baskı & Cilt
Bizim Buro
Sertifika No: 42488

Ziraat, Orman ve Su Ürünleri Alanında Araştırmalar ve Değerlendirmeler

Haziran 2024

Editör:
Doç. Dr. İlyas BOLAT

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1

İLİMAN ORMANLAR VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN POTANSİYEL ETKİLERİ

İlyas BOLAT, Yafes YILDIZ, Belgen YİĞİT.....1

BÖLÜM 2

TOHUM GÜCÜNÜ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Gamze KAYA31

BÖLÜM 3

ANTALYA SERİK İLÇESİ YUMAKLAR KÖYÜ KIRÇALI MERASININ VEJETASYON VE TOPRAK KARAKTERİSTİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Şahin PALTA, Cemil CANIŞ, Eren BAŞ49

BÖLÜM 4

BORON TOXICITY AND DEFICIENCY IN PLANTS, SOLUTION SUGGESTIONS FOR BORON PROBLEMS

Ahmet TURHAN.....67

BÖLÜM 5

BİYOETANOL ÜRETİM SÜRECİ VE BUĞDAY SAMANININ BİYOETANOL ÜRETİMİNDE Kİ ÖNEMİ

Arzu MUTLU, Timuçin TAŞ.....81

BÖLÜM 6

VETERİNER HEKİMLİK VE SU ÜRÜNLERİNDE KULLANILAN ORTAK ANTİBİYOTİKLER

Zülfükar DENİZ, İmren KÜÇÜKGÜL, Azime KÜÇÜKGÜL103

BÖLÜM 1

ILIMAN ORMANLAR VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN POTANSİYEL ETKİLERİ

İlyas BOLAT¹

Yafes YILDIZ²

Belgen YİĞİT³

1 İlyas BOLAT (Doç. Dr.), Bartın Üniversitesi, Bartın Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Toprak İlmi ve Ekolojisi ABD, Bartın, ORCID ID: 0000-0002-5354-2968

2 Yafes YILDIZ (Doç. Dr.), Bartın Üniversitesi, Bartın Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Orman Entomolojisi ve Koruma ABD, Bartın, ORCID: 0000-0003-3612-5684

3 Belgen YİĞİT (Yüksek Orman Mühendisi), Bartın Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Bartın, ORCID: 0009-0003-3983-5101

İklim değışikliğı, 21. yüzyılın en büyük ekolojik ve sosyal sorunlarından biridir. Çünkü iklim değışikliğı sıcak hava dalgası (sıcaklık artışı), kuraklık, yangın, şiddetli ve ani yağış oluşumu ve buna bağılı olarak su baskını, daha az veya daha fazla kar yağışı, daha şiddetli kar fırtınası oluşumu, tahrip edici ve yıkıcı kasırgaların meydana gelmesi gibi hava olaylarını etkilemektedir. Üstelik iklim değışikliğı bunaltıcı sıcaklıkların yaygınlaşması (sıcaklık stresi), ani ve aşırı hava olaylarının meydana gelişi, bulaşıcı hastalıkların çeşitlenmesi ve artış göstermesi, bölgesel olarak ürün (gıda) veriminde azalışların ortaya çıkışı ve buna bağılı olarak açlık sorunlarının belirginleşmeye başlaması ile insanları, toplumları hasılı tüm dünyayı etkilemektedir. Diğer taraftan ekosistem hizmetleri, ekosistemlerin insanlara sağladığı faydalar olarak ifade edilirken, bu hizmetlerin ekosistemlere göre farklılık gösterebileceğı de bilinen bir gerçekliktir. Bu bağlamda dünyadaki ılıman orman ekosistemleri odun üretimi, su kalitesi ve miktarı, rekreasyon ve karbon depolama vb. gibi ekosistem hizmetlerini karşılamaktadır. Anacak son zamanlarda gerçekleştirilen iklim değışikliğı modelleri, kuraklık, kasırğa ve gök gürültülü fırtınalar ile kar ve buz fırtınaları gibi ekstrem iklim olaylarının daha sık meydana geleceğini öne sürmektedir. Üstelik bu ekstrem olayların şu ana kadar çok defa meydana gelen sel ve taşkın sıklığını daha da tetikleyeceğı, kontrol edilemeyen yangınların boyutunu, sıklığını ve şiddetini ağırlaştıracığı, değışen ikliminde istilacı bitkiler, böcekler ve patojenlerin ortaya çıkmasına olanak sağlayacağı ve en nihayetinde ılıman orman ekosisteminde bozulmaların/değışimlerin ortaya çıkışı ile zararların artacağı beklentiler arasındadır. O yüzden bu bölümde ılıman ormanları ve bu ormanların dünya üzerindeki dağılımları ve iklim değışikliğinin ılıman ormanlar üzerinde oluştura bileceğı muhtemel etkilerinin neler olabileceğı konusunda bilgiler sunmak amaçlanmıştır.

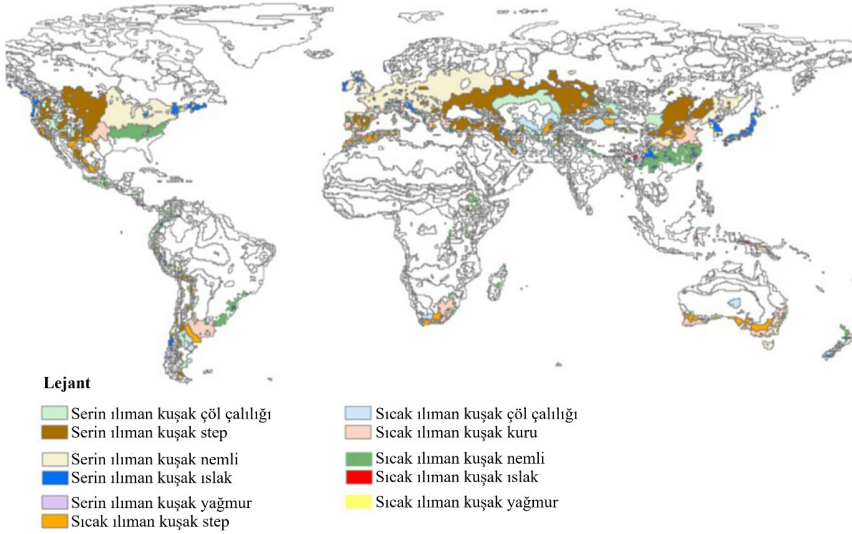
1. ILIMAN ORMANLAR VE DÜNYA ÜZERİNDEKİ DAĞILIMLARI

İlman ormanlar tropik ve kutup bölgeleri arasındaki orta enlemlerde (ekvatorun yaklaşık 25–50 derece kuzey ve güneyinde) bulunmaktadır (Adams vd., 2019). Bununla birlikte bazı çalışmalarda 20 ile 60 enlemleri arasında yayılış gösterdikleri de bildirilmektedir. İlman ormanların çoğı kuzey yarımkürededir; güney yarımkürede coğrafi kapsam bakımından sınırlı yayılışları bulunmaktadır. Ayrıca çoğunlukla deniz kıyısındaki ılıman iklimlere sahip olan alanlarda yayılış gösterme eğilimindedirler (Gilliam, 2016). Bu ormanlar bölgesel olarak Kuzey Amerika, kuzeydoğı Asya, batı ve doğu Avrupa ve Okyanusya’da (Avustralya, Papua Yeni Gine, Yeni Zelanda, Fiji, Solomon Adaları, Mikronezya Federal Devletleri, Vanuatu, Samoa, Kiribati, Tonga, Marshall Adaları, Palau, Tuvalu ve Nauru) yayılış göstermektedir. İlman ormanlar adında anlaşılacağı üzere ılıman bir iklime sahiptir; bu, yıl içerisinde genellikle farklı sıcaklık ve yağış rejimlerine

sahip 3–4 mevsim anlamına gelmektedir. Yıl boyunca sıcaklıklar -40°C ile 30°C , yıllık yağış ise 500 ile 4000 mm arasında değişmektedir. Bundan başka bazı ılıman ormanlar, “yağmur ormanı” olarak sınıflandırılmaya yetecek kadar yağış (2000–8000 mm) almaktadır. Bu yüzden ılıman yağmur ormanları yer yüzünde eşine az rastlanır bir ekosisteme sahiptirler ve dünya çapında yedi bölgeyle sınırlı bulunmaktadırlar. Yayılış gösterdikleri alanlar Kuzey Amerika’nın Pasifik Kuzeybatısı, Güneybatı Güney Amerika’nın Validivian ormanları, Yeni Zelanda ve Tazmania’nın yağmur ormanları, Kuzeydoğu Atlantik (İrlanda, İskoçya ve İzlanda’daki küçük, izole cepler), güneybatı Japonya ve doğu Karadeniz bölgesidir (Adams vd., 2019). Ilıman ormanları tanımlayan ılıman iklim rejimi, 38 Holdridge Biyoiklim bölgesinin on birini içermektedir (Holdridge, 1967) (Şekil 1). Bu ılıman biyoiklimsel bölgeler dünyada yaklaşık 766 milyon hektara karşılık gelirken (Pan vd., 2011), dünyadaki ormanların yaklaşık %25’ini oluşturmaktadır (Bouwman, 1990; FAO, 2015). Öte yandan ılıman ormanlar dünya orman biyomunun yaklaşık %16’sını oluşturmaktadır (Hansen vd., 2010).

Ilıman ormanları diğer ormanlardan ayıran en önemli özelliği, iklim değişikliği ve iklim değişikliğinin ormanlar üzerinde olan etkileri ile ilgili değerlendirmeler başladığından bu yana diğer orman türlerinin çoğunun kapsamı/alanı azalışı gösterirken, ılıman orman alanının değişmemesi veya zaman içinde artış göstermesidir. Şöyle ki genel olarak, ılıman ormanların alanı/kapsamı sabit kalmaktadır; ancak bu ormanların alanları yayılış gösterdiği bölgelere göre azalıp çoğalabilmektedir. Örneğin Avrupa ve Çin’deki ılıman ormanların kapladığı alan miktarı artış gösterirken, Avustralya ve Kuzey Kore orman örtüsünde azalışlar meydana gelmekte ve yayılış yaptığı diğer bölgelerdeki alanlar herhangi bir değişikliğe uğramamaktadır. Kuzey yarımküredeki ılıman ormanların alanı, çoğunlukla tarım arazilerinin terk edilmesinin ardından “yeniden yabanlaşma/eski haline dönme” yoluyla veya genellikle yoğun bir şekilde yönetilen orman plantasyonlarının kurulması yoluyla genişlemektedir. Bununla birlikte ılıman ormanların dünya üzerindeki yayılış alanları göz önüne alındığında, ılıman ormanların genellikle insan nüfusunun yoğun olarak bulunduğu alanların yakınında yer aldıkları ve bu yüzden kirlilik, yönetim, zararlıların ve hastalıkların ortaya çıkışı ile yerel ve ulusal koruma politikaları gibi insan müdahalelerinden etkilendiği söylenebilir (FAO, 2015; Adams, 2019). Nitekim dünya genelinde yoğun yerleşim yerleri ve köyler, yaprak dökmeyen ve yaprak döken ılıman orman biyomlarının sırasıyla yaklaşık %21 ve %28’ini oluşturmaktadır. Bu da ılıman ormanların yaklaşık %49’unun insan nüfusunun fazla olduğu alanlarda yayılış gösterdiğini ve dolayısıyla ılıman orman ekosistemlerinin insan etkisinin altında bulunduğunu işaret etmektedir (Ellis vd., 2010). Bu bağlamda dünyanın dört bir yanındaki toplumlar, ılıman

ormanların sağladığı birçok ekosistem hizmetine güvenmektedir. Bilindiği üzere ekosistem hizmetleri genel olarak insanların çevreden elde ettiği faydalar olarak tanımlanmakta ve dört geniş bölümü ihtiva etmektedir. Bunlar (1) tedarik, (2) düzenleme, (3) kültürel ve (4) destekleme şeklinde sınıflandırılmaktadır (MEAP, 2005). Ilıman ormanların sağladığı bazı ekosistem hizmetleri arasında odun/kereste ve odun/kereste dışı ürünler (tedarik), karbon tutumu ve taşkın/heyelan düzenlemesi (düzenleme), rekreasyon ve herhangi bir mekanla doğal olarak kurulan ilişki (kültürel) ve toprak oluşumu (destekleyici) yer almaktadır (Xie vd., 2010; Galicia ve Zarco-Arista, 2014; Fusco vd., 2024). Söz konusu bu ekosistem hizmetleri, özellikle son zamanlarda orman yönetimi kararlarında önemli birer değerlendirme faktörü haline gelmiştir (Millar ve Stephenson, 2015).



Şekil 1. Ilıman ormanların dünya üzerinde yayılış alanları ve orman bitki örtüsüne sahip ılıman Biyoiklim Bölgeleri (Adams vd., 2019'den değiştirilerek).

Ilıman ormanlarda yayılış gösteren dominant (baskın) ağaç türleri ve yayılış gösterdikleri bölgeler ilgili tabloda (Tablo 1) verilmiştir. Ilıman ormanlar, yaprak dökken, geniş yapraklı ve iğne yapraklı yaprak dökme-yen ağaçları bünyesinde barındırmaktadır. Ilıman yaprak dökken ormanlar Amerika Birleşik Devletleri'nin doğusunda, Avrupa'nın büyük bölümünde, Asya'nın doğusunda ve Avustralya'da, Yeni Zelanda'da ve Güney Amerika'nın en güney kısmında, yılda 750 ile 1500 mm arasında yağış alan bölgelerde yayılış göstermektedir. Bu bölgede ortalama yaz sıcaklıkları 21°C civarında ve kış sıcaklıkları genellikle donma noktasının altındadır. Ilıman yaprak dökken ormanlarda farklı mevsimler yaşanır ve ağaçlar sonbaharda yaprak döker ve ilkbaharda yeniden büyüme gerçekleşmektedir. Ağaçlar çoğunlukla meşe (*Quercus*), ceviz (*Carya*), akçaağaç

(*Acer*) ve kayın (*Fagus*) dahil olmak üzere geniş yapraklı ağaç türleridir ve genellikle alt kattaki ağaçlar ve çalılar, çok yıllık otlar ve yosunlardan meydana gelen çok sayıda katmandan oluşan çeşitli bir topluluktur. Güney yarımkürede, güney kayınları (*Nothofagus*) ve okaliptüs (*Eucalyptus*), geniş yapraklıların önde gelen cinsleri arasındadır. Ilıman yaprak dökmeyen ormanlar, Amerika Birleşik Devletleri, Kanada, Avrupa ve Asya'da, genellikle yılda 300 ile 900 mm arasında yağış alan ve mevsimsel ekstrem (aşırı) sıcaklıkların -40°C ile 20°C arasında değiştiği bölgelerde bulunur. Kuzey ve güney yarımkürede yayılış gösteren yaprak dökmeyen ormanlar arasında iklim farklılıkları bulunmaktadır. Nitekim yağış ve sıcaklıkların yıl boyunca daha eşit bir şekilde dağıldığı güneydeki iğne yapraklı ormanlara kıyasla kuzey bölgelerde yayılış gösteren orman alanlarında kışlar genellikle uzun, soğuk ve karlı geçmektedir. Bitki örtüsü, ladin (*Picea*), çam (*Pinus*), göknar (*Abies*) ve tsuga (*Tsuga*) türlerinin hâkim olduğu kozalak ve ibreleri (iğneler yapraklar) olan iğne yapraklı-yaprak dökmeyen ağaç türlerinden meydana gelir ve ağaçlar ibrelerinin en azından bir kısmını yıl boyunca üzerlerinde bulundurmaktadır. Güney yarımkürede yayılış gösteren kozalaklı ağaç cinsleri arasında en çok bilinen ve yaygın olan *Araucaria* ve *Podocarpus* bulunmaktadır (Ichoku, 2018; Adams vd., 2019).

Tablo 1. Dünyanın ılıman orman bölgelerinde bozulmaya yol açan başlıca faktörler; arazi kullanım geçmişi ve baskın ağaç türleri (Fusco vd., 2024'den değiştirilerek).

Bölgeler	Bozulmaya yol açan başlıca faktörler		Arazi kullanımı geçmişi	Gölgeye toleranslı olmayan baskın cinsler	Gölgeye toleranslı olan baskın cinsler
İsveç–Batısı	Yangın, Böcekler		Yangından koruma, Ağaç kesimi/ Tomruk üretimi	<i>Pinus, Juniperus, Larix, Populus</i>	<i>Abies, Tsuga, Psuedotsuga, Picea</i>
İsveç–Batı Kıyıları	Yangın, Patojenler	Rüzgâr,	Ağaç kesimi/ Tomruk üretimi	<i>Pseudotsuga, Alnus, Acer</i>	<i>Picea, Thuja, Abies, Sequoia, Notholithocarpus</i>
İsveç–Doğusu	Yangın, Fırtınalar, Böcekler, Asit yağmurları		Yangından koruma, Tarım, Ağaç kesimi/ Tomruk üretimi	<i>Pinus, Quercus, Liriodendron, Betula, Prunus, Magnolia</i>	<i>Acer, Fagus, Fraxinus, Tsuga, Picea, Abies</i>
Güney Amerika	Yangın		Ağaç kesimi/ Tomruk üretimi	<i>Nothofagus spp.</i>	
Avrupa	Yangın, Böcekler, Kuraklık	Rüzgâr,	Tarım	<i>Quercus, Betula</i>	<i>Acer, Fagus, Ulmus, Picea, Abies</i>
Asya	Tayfunlar, Böcekler, Yangın		Tarım	<i>Quercus, Ulmus, Betula, Pinus</i>	<i>Tilia, Fraxinus, Castanopsis, Distylium, Acer, Abies, Larix, Sabina, Tsuga, Picea</i>
Avustralya/ Tazmanya/ Yeni Zelanda	Yangın		Ağaç kesimi/ Tomruk üretimi	<i>Eucalyptus, Aca-</i> <i>cia,</i> <i>Nothofagus</i>	

2. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN ILIMAN ORMANLAR ÜZERİNDE MEYDANA GETİRECEĞİ ETKİLER

2.1 Erken Dönem İklim Değişikliği Etkileri

2.1.1 Sıcaklık ve Yağış Eğilimleri

İlman orman ekosistemleri özellikle son yıllarda (10–20 içerisinde) ısınmaya maruz kalmıştır. Nitekim ılıman orman ekosistemlerinde 1961 ile 2015 yılları arasında ortalama yıllık sıcaklık her on yılda $0,21^{\circ}\text{C}$ artış göstermiştir (Iturbide vd., 2021). Bununla birlikte ısınma eğilimleri coğrafi ve mevsimsel olarak değişiklik göstermektedir. Bununla birlikte ılıman kuşaktaki çoğu bölgede en önemli sıcaklık artışları kış aylarında meydana gelmiştir. Dünya genelinde yüzey sıcaklığı 2011–2020’de 1850–1900 periyodu ile karşılaştırıldığında $1,09^{\circ}\text{C}$ artış göstermiş ve bu son ısınmayla birlikte sıcak hava dalgaları daha sık ve yoğun hale gelmeye başlamış bulunmaktadır (IPCC, 2021).

Ortalama yıllık yağış, ılıman ormanlarda hafif bir artış göstermektedir (1961 ile 2015 arasında $0,003\text{ mm/gün/on yıl}$) (Iturbide vd., 2021). Ayrıca analiz için yeterli veri bulunan alanlarda, şiddetli yağış olaylarının sıklığı ve yoğunluğu 1950’lerden bu yana artış göstermiştir (IPCC, 2021). Sıcaklık eğilimlerinde olduğu gibi, ılıman ormanlarda yağış eğilimleri de mevsime ve coğrafi bölgeye göre değişkenlik göstermektedir. Örneğin, Avrupa’daki ılıman ormanlarda mevsimler arasındaki yağışlarda hafif artışlar görülmektedir. Buna karşılık, Kuzey Amerika’nın batısındaki ılıman ormanlarda ilkbahar hariç tüm mevsimlerde yağışlarda hafif azalışlar meydana gelmiştir. Ancak ılıman kuşaktaki yağışlarda hafif artışlar meydana gelse de özellikle sıcaklıkta gözlemlenen artışlardan dolayı bu durum kuraklığın önüne geçememektedir (Fusco vd., 2024).

2.2.2 Bozulma Eğilimleri

Kuraklık, türlerin dünya çapındaki dağılımlarını sınırlamada önemli rol oynayan doğal bir olaydır ve ılıman ormanlarda düzen bozan diğer bir ifade ile ekosistemde bozulmalar/rahatsızlık ortaya çıkaran başlıca abiyotik bir faktördür. Kuraklık, hiç yağış olmadan veya çok düşük yağışlı aylar ile yıllar sonra yavaş yavaş meydana gelebildiği gibi haftalarca yüksek sıcaklıklar ve sınırlı yağışlardan sonra (ani kuraklık) hızlı bir şekilde de meydana gelebilir (Otkin vd., 2018). Öte yandan ekolojik kuraklık, ılıman orman ekosistemleri ile ilgili olan en önemli kuraklık çeşididir. Çünkü bu düzen bozucu ekolojik faktör, ekosistemleri ve hizmetleri uyum sağlama kapasitelerinin ötesine iterek sosyo–ekolojik geri bildirime neden olmaktadır (Crausbay vd., 2017). Bilindiği üzere ekolojik kuraklık yağış miktarı, toprak nemi, buharlaşma ve bitki örtüsü sağlığı ile değerlendirilmektedir

(Crausbay vd., 2017; IPCC, 2021). Buradan hareketle bazı bölgelerde, özellikle Batı Kuzey Amerika, Avrupa'nın çoğu, Doğu Asya ve Güney Avustralya gibi ılıman ormanların bulunduğu bölgelerde, iklim değişikliği, sıcaklıkların artmasıyla birlikte evapotranspirasyonun (evaporasyon ve transpirasyonun toplamı) artış göstermesine bağlı olarak, gözlenen ekolojik kuraklıkların artmasına neden olmuştur (IPCC, 2021).

İlman orman ekosistemlerinde kuraklığa bağlı olarak ağaçların zarar gördüğü ile ilgili farklı bölgelerde çok sayıda çalışma yapılmıştır. Nitekim Güney Amerika'daki ılıman ormanlar (Suarez ve Kitzberger, 2008) ve Avrupa'nın çeşitli bölgelerindekiler (Solberg, 2004; Dobbartin vd., 2005; Bréda vd., 2006; Carnicer vd., 2011; Čater, 2015; Schuldt vd., 2020; Senf vd., 2020) de dahil olmak üzere, dünya çapındaki (Allen vd., 2010; Allen vd., 2015) ılıman ormanlarda gözlemlenen ağaç ölümü olayları kuraklıkla ilişkilendirilmiştir. Sonuç olarak kuraklığa bağlı ağaç ölümleri ve kuraklığa bağlı ekosistemde meydana gelen bazı olumsuz olaylarının sıklığı son yıllarda artış göstermiştir (Allen vd., 2010; Allen vd., 2015). Bununla birlikte, gözlemlenen kuraklıkların çoğu doğal değişkenlikten kaynaklanmaktadır (Williams vd., 2015). Örneğin son 40 yılda Amerika Birleşik Devletleri'nin batısında aşırı-sürekli kuraklık, yağış olayları arasındaki kuraklık aralıklarının artmasıyla birlikte artış göstermiştir (Zhang vd., 2021). Öte yandan yapılan bazı çalışmalarda ağaç ölümlerine ek olarak, kuraklık stresinin ağaç büyümesini azalttığı ve ılıman orman türlerinin yok olmasına neden olduğu da bildirilmektedir (Bréda vd., 2006; D'Orangeville vd., 2018). Ayrıca gerçekleşen bu kuraklık olayları, küresel (Zhao ve Running, 2010) ve bölgesel (Zhang vd., 2012) olarak net birincil üretkenlikteki düşüşlerle de ilişkilendirilmiştir.

Kuraklık ve yüksek sıcaklıklar (yani daha sıcak kuraklıklar) nedeniyle baskı altındaki ağaçlar, bazı doğal (yerli) ve istilacı böceklerin ve patojenlerin neden olduğu tahribatlara karşı daha hassas duruma gelmektedir. Örneğin, Kaliforniya'da yakın zamanda yaşanan büyük ölçekli ağaç ölümü olayı, şiddetli kuraklığa ve buna bağlı böcek zararına bağlanmıştır (Young vd., 2017). Benzer olarak 1990 yılından bu yana Kuzey Amerika'nın batısında 20 milyon hektarlık geniş bir alanda *Dendroctonus ponderosae* Hopkins salgını yaşanmıştır. Bu büyük böcek salgını, artan sıcaklıkların yanı sıra daha yaşlı ve düşük canlılıkta olan *Pinus conconta* Dougl. çamlarının yayılış gösterdiği alanlarda geniş tahribat yaparken (Logan vd., 2003; Hicke vd., 2006; Bentz vd., 2010) , aynı zamanda bazı *Pinus ponderosa* Dougl. çamı ormanlarında ölümlere de yol açmıştır (Fettig vd., 2014). Benzer olarak Avrupa'da kabuk böceklerinin son zamanlardaki etkileri kuraklık ve sıcaklık stresindeki artışlarla ilişkilendirilmiştir (Marini vd., 2017). Öte yandan rüzgâr da bazı ılıman ormanlarda önemli bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Nitekim Orta Avrupa'nın ılıman ormanların-

da kabuk böceklerinin eşzamanlı salgınları, kuraklık ve rüzgâr olaylarına bağlanmaktadır (Senf ve Seidl, 2018). Yukarıda sunulan bilgilerin ışığı altında, muhtemelen söz konusu bu zararların birleşik etkileri çoğu ılıman orman bölgesindeki ağaçların yaşadığı stres ve ölüm oranının artmasına yol açacaktır (Millar ve Stephenson, 2015).

Yanan alan miktarındaki son eğilimler ılıman orman bölgeleri arasında değişiklik göstermektedir (Andela vd., 2017; Hislop vd., 2020). Örneğin Amerika Birleşik Devletleri'nin batısındaki ormanlardaki yangın olayları, artan nem açıklarıyla birlikte 1980'lerin başından beri artış gösterirken (Higuera ve Abatzoglou, 2021), son zamanlarda küresel ısınma nedeniyle yüksek rakımlı ormanlara doğru genişleme göstermektedir (Ali-zadeh vd., 2021). Son yıllarda Avustralya, Patagonya ve Amerika Birleşik Devletleri'nin Batı kıyısındaki ılıman yağmur ormanlarının tamamında aşırı rüzgarların yol açtığı büyük yangınlar ortaya çıkmıştır (Abram vd., 2021; Higuera ve Abatzoglou, 2021; McWethy vd., 2021). Yanan alandaki eğilimler, Asya ile orta ve kuzey Avrupa'nın yaprak döken ormanlarında nispeten değişikliğe uğramadan sabit kalmıştır (Andela vd., 2017), ancak orta ve kuzey Avrupa'daki yangına yatkın olmayan bölgelerde son yıllarda daha fazla yangın olayı meydana gelmiştir (EEA, 2021). Son derece yüksek alanların yandığı bazı büyük yangın yıllarına rağmen, Güney Avrupa'nın Akdeniz kesimlerinde, öncelikle yangın yönetimi ve söndürme çabaları sebebiyle 1985 ile 2011 yılları arasında yanan alanda az da olsa bir azalma eğilimi görüldüğü söylenebilir (Turco vd., 2016). Benzer şekilde, Amerika Birleşik Devletleri'nin doğusunda, Kıyı Ovası'ndaki iğne yapraklı ormanlarında meydana gelen birkaç büyük yangın ve 2016'da güney Appalachians'ın yapraklı-iğne yapraklı ağaçlardan oluşan karışık ormanlarda sonbaharın sonlarındaki şiddetli kuraklığın yol açtığı orman yangınları olayı dışında, meydana gelen orman yangınlarında sınırlı sayıda artışların olduğu bildirilmektedir (Williams vd., 2017).

2.1.3 Isınmanın Fenoloji ve Tür Dağılımı Üzerinde Gözlemlenen Etkileri

Dünya çapındaki ekosistemlerdeki bitki türleri, son yıllarda (özellikle 10-20 yıl içerisinde) fenolojinin veya yaşam öyküsü aşamalarının mevsimsel zamanlamasının değişmesi yoluyla ısınmaya tepki vermeye başlamıştır. Nitekim son zamanlarda yapılan araştırmalar, ilkbaharın daha erken başladığını ve sonbaharın bitiş tarihinde gecikmeler olduğunu göstererek, büyüme mevsimi uzunluğunun arttığını göstermektedir (Parmesan, 2006; Piao vd., 2019; Menzel vd., 2020). Örneğin, Avrupa'da 500'den fazla bitki türünü içeren bir çalışmada (meta-analiz yöntemi kullanılarak), ilkbahar mevsiminde bitkilerin fenolojik olaylarında önemli ilerlemeler olduğunu gösterirken, sonbaharda bitkilerin yaprak rengindeki değişikliklerin daha

az belirgin olduğunu bildirilmektedir (Menzel vd., 2006). Bitkiler ve hayvanlar iklim değişikliğiyle ilgili çevresel ipuçlarına (örneğin hava sıcaklığı, kışın soğuğu) farklı tepkiler veriyorsa yaşam öyküsü olaylarının zamanlamasında uyumsuzluklar/düzensizlikler olabilmektedir. Örneğin, ağaçlarda ve çalılarda yaprak oluşumundaki ve böcek fenolojisindeki değişiklikler, ısınan bir iklimde böcek salgını döngülerini değiştirebilir. Son zamanlarda yaşanan iklimsel ısınmayla birlikte böceklerle ilgili fenolojik düzensizliklere/uyumsuzluklara ilişkin ampirik kanıtlar sınırlı olmasına rağmen (Renner ve Zohner, 2018), kuzeydoğu Amerika Birleşik Devletleri'ndeki yeralındaki kır çiçekleri için fenolojik uyumsuzlukların olduğu bildirilmektedir (Heberling vd., 2019).

Son zamanlarda (özellikle son 10–20 yıllık dönem) dünyada meydana gelen küresel ısınmayla birlikte, ılıman kuşakta yapılan çalışmalarda türlerin dağılımında enlem ve yükseklik değişimlerinin meydana geldiği ifade edilmektedir. Bu çalışmalardan bazılarında türlerin daha yüksek rakımlara veya kutuplara doğru hareket etme eğiliminde olduğu vurgulanmaktadır (Parmesan ve Yohe, 2003; Parmesan, 2006; Kelly ve Goulde, 2008; Lenoir vd., 2008; Chen vd., 2011; Boisvert-Marsh vd., 2014; Savage ve Vellend, 2015). Aynı zamanda bazı çalışmalar ılıman orman ekosistemlerinin kuzey bölgeye doğru kaydığını da bildirmektedir (Evans ve Brown, 2017). Öte yandan, yapılan diğer bazı çalışmalarda ise türlerin tepkilerinin farklılık gösterdiği ifade edilirken, türlerin daha düşük rakımlara doğru hareket ettiği (veya hiçbir kayma olmadığı) ifade edilmektedir (Crimmins vd., 2011; Evans ve Brown, 2017).

2.2. İklim Değişikliğinin Ilıman Orman Ekosistemleri Üzerindeki Öngörülen Etkileri

2.2.1 Sıcaklık ve Yağışta Öngörülen Değişimler

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Panelinin yayımlanan son raporunda, iklim değişikliğinin küresel sıcaklıkların artmasına neden olacağına dair bulguların yüksek olduğu bildirilmektedir (IPCC, 2021). Nitekim önümüzdeki yıllarda sera gazlarında kayda değer bir azalma sağlanmazsa, 21. yüzyılda 1°C–2°C düzeyinde küresel ısınmanın meydana gelmesi kaçınılmazdır. Çok yüksek bir sera gazı emisyon senaryosu (SSP5–8.5) senaryosuna göre, ortalama küresel yüzey sıcaklıkları yüzyılın sonuna kadar (1850–1900 periyodu ile kıyaslandığında) 3,3 °C–5,7 °C arasında artış gösterebilir (IPCC, 2021). SSP3–7.0 emisyon senaryosuna göre ise ılıman orman bölgelerindeki Avrupa ve Batı Orta Asya'nın, sırasıyla 5,6 °C ve 6,2 °C sıcaklık artışlarıyla yüzyılın sonuna kadar en fazla ısınması öngörülmektedir. Benzer olarak yüzyılın sonuna kadar en fazla Orta Asya'nın ısınacağı tahmin edilirken, bu ısınmanın günümüz ortalama sıcaklığından

6,2°C daha fazla olacağı öngörülmektedir. Diğer taraftan SSP3–7.0 emisyon senaryosuna göre, Güney Amerika’da yüzyılın sonuna kadar 3,7 °C’lik sıcaklık artışı ile en az ısınmanın meydana geleceği tahmin edilmektedir. Sonuçta gerçekleşebileceği öngörülen sıcaklık artışlarıyla birlikte aşırı sıcakların ve sıcak hava dalgalarının sıklığı ve yoğunluğu muhtemelen artış gösterecek ve bunu şiddetli yağış olayları ve ekolojik kuraklıklar takip edecektir (IPCC, 2021; Fusco vd., 2024).

Bulutların ve yağışın oluşumunu etkileyen büyük ölçekli sirkülasyondaki değişikliklerin öngörülmesindeki belirsizlik nedeniyle, yağış olaylarında meydana gelebilecek değişikliklerin tahmini sıcaklıkta meydana gelebilecek değişikliklerin tahminine göre daha zordur. Bu yüzden de önümüzdeki yıllarda karşılaşılabileceğimiz yağış olayları için yapılan tahminler çok da güvenli değildir (Shepherd, 2014). Bununla birlikte geniş çapta bir değerlendirmeye, yağışların Kuzey Amerika, Avrupa ve Orta Asya’da artacağı, Güney Amerika ve Avustralya’da ise azalacağı öngörülmektedir. Nitekim Güney Amerika’nın yağışlarda en belirgin azalmayı (–%11,4) yaşayacağı tahmin edilmektedir. Ancak daha önce ifade edildiği gibi tahminler bölgesel olarak farklılık gösterebilecektir. Öte yandan ılıman orman biyomunun büyük bölümünde (hatta daha fazla yağış alması beklenen birçok alanda), artan sıcaklıklar ve evapotranspirasyonla birlikte toprak neminin azalacağı öngörülmektedir (IPCC, 2021; Fusco vd., 2024).

2.2.2 Bozulmalar

2.2.2.1 Kuraklık

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Panelinin yayımlanan son raporuna göre, kuraklık şiddetinin, sıklığının ve süresinin yüksek sıcaklıklarla birlikte artacağı tahmin edilmektedir. Bu bağlamda, batı ve orta Kuzey Amerika, güneybatı Güney Amerika, batı ve orta Avrupa, Akdeniz ve doğu ve güney Avustralya dahil olmak üzere ılıman ormanların bulunduğu bölgelerde ekolojik kuraklığın artacağı tahmin edilmektedir (IPCC, 2021). İklim projeksiyonları, yüksek sıcaklıklarla birlikte kuraklıkların meydana geleceğini ve bunun da daha sıcak kuraklıklara yol açacağını gösteriyor. Daha sıcak kuraklıkların ormanlar üzerinde tarihsel olarak daha soğuk kuraklıklara göre daha büyük doğrudan ve dolaylı etkilere sahip olması bekleniyor (Allen vd., 2015; Millar ve Stephenson, 2015). Bu beklentinin nedeni ise, normalin üzerinde yağış olsa bile sıcaklık artışlarının, atmosferik su gereksiniminde ve buhar basıncı açığında (orman kuraklığı stresinin önemli bir ölçüsü) üstel bir artışa sebep olmasıyla ilgilidir (Breshears vd., 2013; Williams vd., 2013).

Ilıman ormanlarda kuraklığın etkileri bitki türlerine göre farklılık arz etmektedir. Nitekim kuraklığa karşı hassasiyet, türler arasında değişiklik

göstermektedir ve genel olarak yaprak döken ağaçlar, kuraklığa kozalaklı yani iğne yapraklı olan ağaçlara göre daha fazla duyarlıdır (Choat vd., 2012; Nardini vd., 2013; Camarero vd., 2021). Üstelik Akdeniz ormanlarında, aynı bölgede bulunan ağaç türlerinin kuraklığa karşı hassasiyeti mikro iklimlere göre de değişmektedir ve kuru alanlardaki ağaçlar, kuraklığa nemli alanlardaki ağaçlardan daha hassastır (Gazol vd., 2020). Bilindiği üzere yağış toprağın nemini, toprak oluşum ve gelişim olaylarını ve ağaçların ve diğer vejetasyonun büyümesini etkileyen önemli bir faktördür. Bu doğrultuda ılıman ormanlardaki şiddetli ve kalıcı kuraklık olayları, ağaç ölümlerinin artmasına, büyümenin azalmasına, tür kompozisyonunda değişimlere ve yeraltı besin ve C akışlarında değişikliklere neden olacaktır (Vose vd., 2016). Nitekim Kaliforniya’da meydana gelen aşırı kuraklıktan sonra daha sıcak ve kuru bölgelerde çok fazla miktarda ağaç ölümü meydana gelmiştir (Young vd., 2017). Kuraklık aynı zamanda toprak neminin azaldığı durumlarda orman mikro iklimlerinin ekstrem iklim olaylarına karşı tampon sağlama yeteneğini de olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Davis vd., 2019). Bununla birlikte ısınmayla birlikte ortaya çıkacak olan toprak sıcaklığı rejimlerindeki değişiklikler, ılıman ormanlardaki evapotranspirasyon (evaporasyon ve transpirasyonun toplamı) ve yüzey evaporasyonundaki değişiklikler yoluyla toprak neminin varlığını da değiştirebilir (Adams vd., 2019).

2.2.2.2 Yangın

İklim koşulları ısındıkça ve kuraklıklar daha yaygın hale geldikçe birçok ılıman orman bölgesinde yangın faaliyetlerinde (örneğin yanan alan, yangın boyutu vb.) gelecekte artışlar beklenmektedir (Krawchuk vd., 2009; Liu vd., 2010; De Rigo vd., 2017; Clark vd., 2021; Gao vd., 2021). Bu konuda yapılan çalışmaların çoğu, güncel yangın faaliyetlerine ilişkin istatistiksel modeller ile küresel veya bölgesel ölçeklerde yangının veya yangın ortamının farklı yönlerdeki/bakılardaki proje değişimlerine dayanmaktadır. Bu çalışmalar, iklim, yanıcı madde ve yangın davranışları arasındaki ilişkilerin meydana gelen son yangınlarla ilgili çalışmalarla net bir şekilde kurulmasından dolayı, değişime giden temel yolun yanıcı madde kuraklığının (yanıcı madde kuruluğu) iklim değişikliğine dayanacağını varsaymaktadır. Bununla birlikte, bu ilişkilerdeki değişiklikler ve ölçekler arası farklılıklar, yangın rejimleri üzerinde farklı kısa ve uzun vadeli etkilere yol açabilmektedir (Kennedy vd., 2021). Bununla beraber tutuşturma kaynaklarındaki değişiklikler, yangını söndürme çabaları ile yanıcı madde ve bitki örtüsünün özellikleri ihmal edilmiş durumdadır; ancak ifade edilen bu değişkenler gelecekteki yangın faaliyetlerinde/davranışlarında önemli bir rol oynayacaktır (Syphard vd., 2018). Üstelik gelecekteki yangın şiddetine ilişkin tahminler tam manasıyla belirgin de değildir; çünkü çoğu çalışma, yanıcı madde miktarındaki değişiklikleri veya son yangın rejimlerinin

değişmesine neden olabilecek bitki örtüsündeki potansiyel değişiklikleri içermemektedir (Fusco vd., 2024).

Yangın olaylarında en önemli artışların, mevsimsel olarak kurak periyotta Amerika Birleşik Devletleri'nin batısında ve Avrupa'nın güneyindeki Akdeniz bölgelerinde yayılış yapan ormanlarda meydana geleceği tahmin edilmektedir. Bu bağlamda kuraklığın yaşandığı dönemde Amerika Birleşik Devletleri'nin iç batı kesimlerindeki kozalaklı ormanların yanan alanlarında bir artış yaşanacağı öngörülmekle birlikte (Littell vd., 2018), meydana gelecek yangınların 5000 ha'dan büyük alanlarda ortaya çıkma potansiyelinin %300 ile %600 arasında değişim göstereceği zannedilmektedir (Barbero vd., 2015). Benzer olarak başka bir çalışmada da Amerika Birleşik Devletleri'nin batısında, daha sıcak ve daha kuru koşulların, yüksek şiddette yanan alanın artmasına katkıda bulunduğu bildirilmektedir (Parks ve Abatzoglou, 2020). Güney Avrupa'nın Akdeniz kesimlerinde, RCP8.5 senaryosunda (kapsamında) (RCP8.5 yüksek ışımsal zorlama ve konsantrasyon rotasıdır.) hava koşullarına bağlı orman yangını tehlikesinin artması ve mevsimsel kuraklığın yanıcı maddenin nem içeriğinden daha büyük etkiye sahip olacağı öngörülmektedir (De Rigo vd., 2017). Ayrıca bu alanlarda ısı kaynaklı yangınların çıkma ihtimalinin de daha fazla olduğu bildirilmektedir (Ruffault vd., 2020). Portekiz'de B1 senaryosu projesiyle yapılan projeksiyonlar, 21. yüzyılın ortası ve sonu itibarıyla yanan alanda sırasıyla %7 ile %11'lik bir artış olabileceğini göstermektedir (Pereira vd., 2013).

Avustralya, Kuzeybatı Pasifik ve Batı Patagonya'daki ılıman yağmur ormanlarının, gelecekte daha fazla yangın faaliyetine/olayına yol açacak iklim koşullarında bir artış yaşanması beklenmektedir. Kuzeybatı Pasifik'teki nemli ormanlarda yanan alanın %300-%500 oranında artacağı (Mote vd., 2014) ve RCP8.5 kapsamında (RCP8.5 yüksek ışımsal zorlama ve konsantrasyon rotası anlamı gelmektedir ve genellikle en kötü iklim değişikliği senaryolarının temeli olarak alınmaktadır), yangının tekrar nüfuz etme aralıklarının ortalama 150 yıldan 60 yıla düşmesi beklenmektedir (Gao vd., 2021). Benzer olarak Dinamik Küresel Bitki Örtüsü Modelinden (MC2) elde edilen veriler de yangın sıklığındaki artışlar konusunda benzer sonuçları belirtmektedir ve ayrıca Kuzeybatı Pasifik'teki nemli ormanlarda yangın şiddetinin arttığını göstermektedir (Rogers vd., 2011). RCP8.5 kapsamında kuzey Avrupa'da çok az değişiklikte birlikte, Avrupa'nın güney Akdeniz kesimlerine kıyasla Orta Avrupa'da yangın tehlikesinde orta düzeyde artışlar öngörülmektedir (De Rigo vd., 2017). Çin'de yapılan bir çalışmada yangının meydana gelme olasılığına ilişkin tahminler RCP2.6 ile RCP8.5 arasında tutarlılık ortaya çıkmıştır. Nitekim projeksiyon sonuçları, mevcut iklime göre iki iklim modeli ve iki temsili konsantrasyon yolu senaryosu kapsamında orman bölgelerinde yangın oluşma olasılığın-

da %43,3 ile %99,9 ve %41,4 ile %99,3 arasında değişen bir artış eğilimi olduğunu göstermiştir. Üstelik artan yangın vakalarının hem 2041–60 hem de 2061–80 yılları için Çin’in güneyinden orta-kuzeyine doğru kayacağı tahmin edilmektedir (Wu vd., 2020).

2.2.2.3 İstilacı Bitkiler, Böcekler ve Patojenler

İstilacı bitkiler, böcekler ve patojenler ılıman orman ekosistemlerinde önemli bir sorun olarak ortaya çıkacaktır. Çünkü iklim değişikliği, yeni türlerin ortaya çıkmasına olanak sağlayacağından, türlerin coğrafi olarak yayılış gösterdikleri alanlarındaki değişiklikleri kolaylaştıracağından ve türlerin etkilerini ve doğal ekosistem duyarlılığını değiştireceğinden bu türlerle etkileşime girecektir. Üstelik ılıman ekosistemler, tropikal ekosistemlere kıyasla istilacılardan orantısız şekilde etkilenebilir. Çünkü ılıman ormanlar öncelikli olarak dünyanın kuzeyinde yer almakta ve kısmen yüksek ithalat nedeniyle yerli olmayan türlerin alıcısı olma eğilimindedirler (Turbelin vd., 2017). Ayrıca, iklim ısındıkça ılıman biyomlara giriş yapan soğuğa dayanamayan yani sıcaklığı seven tropikal ve subtropikal bölgelerde yayılışı olan türler, bu bölgeye yerleşip yayılabilir, mevcut istilaları daha da hızlandırabilir ve böylece yeni istilalara yol açabilir (McGlone vd., 2010; Spear vd., 2021).

İstilacı türler, değişen iklimi takip etmek için coğrafi dağılımlarını değiştirebilir. İstilacı bitkiler için alan/saha değişimlerinin projelendirilmesi esas olarak tür dağıtım modellerine (SDM’ler) dayanmaktadır. Bu bağlamda yaklaşık 900 karasal istilacı bitki türü için tür dağılım modellerini kullanan bir analiz, Amerika Birleşik Devletleri’nde istilacı bitki türlerinin dağılımlarının %80’inin iklim değişikliği altında 2050 yılına kadar sabit kalacağını, geri kalan %20’sinde ise birçok türün de dahil olduğu kuzeye doğru (özellikle kuzeydoğu ılıman ormanlara doğru taşınıyor) kaymaların görüleceğini ortaya çıkarmıştır (Allen ve Bradley, 2016). Avrupa’da da istilacı türlerin yayılış alanlarının genişlemesi pek muhtemeldir (Kovats vd., 2014). Küresel olarak, en kötü 100 istilacı türe uygun iklimin ılıman ormanlarda olması beklendiğinden diğer biyomlara göre istilanın daha fazla artması beklenmektedir (Bellard vd., 2013).

İklim değişikliği nedeniyle bazı istilacı orman böceklerinin de yayılış alanlarının değişmesi beklenmektedir. Örneğin, yapılan bazı araştırmalarda artan sıcaklıklar kış mevsiminde ölüm oranlarının azalmasına ve bu durumun istilacı bir böcek olan *Adelges tsugae* türü için kuzeydeki yayılış sınırlarının genişlemesine neden olduğu bildirilmektedir (McAvoy vd., 2017; Vose vd., 2018). Benzer olarak artan sıcaklıklar aynı zamanda kabuk böceklerinin daha kuzey enlemlerine ve daha yüksek rakımlara hareketini kolaylaştırmış ve bu da kabuk böceklerinin tarihsel olarak nadir olduğu ormanlarda salgınlara yol açmıştır (Logan ve Powell, 2001; Logan vd.,

2010). Bununla birlikte, konukçu ve böcek arasındaki uyumsuzluklar ve patojen çeşitliliğindeki değişimler, iklim daha uygun hale gelse bile istilacı türlerin bolluğunu azaltabilmektedir (Dudney vd., 2021).

İklim değişikliği hem istilacının rekabet yeteneğini hem de istilaya uğrayan ekosistemin hassasiyetini/duyarlılığını değiştirerek istilacı türlerin etkilerini değiştirebilir. Örneğin, daha yüksek sıcaklıklar ve atmosferik CO₂ nedeniyle artan rekabet yeteneği (Sorte vd., 2013), yangın gibi ekosistemde meydana gelen diğer bir olumsuzluk ile birleştiğinde, bazı yerli olmayan otların ılıman orman ekosistemlerini istila etmesine izin vererek ekosistemde dönüşüm potansiyelinin önünü açabilir (örn. Tek yıllık, otsu ve istilacı olan *Ventanata dubia* kuzeybatı Amerika Birleşik Devletleri'nde bu dönüşümü başlatmıştır; Kerns vd., 2020). Diğer yandan istilacı bitkilerin etkileri de farklılık gösterebilir. Çünkü istilacı türlerin değişen iklimi takip etmek için fenolojik değişiklikleri yaşama olasılıkları yerli olan türlere göre daha yüksektir (Finch vd., 2021; Wolkovich vd., 2013). Buna rağmen iklim değişikliğinin doğrudan etkileri muhtemelen istilacı türlere ve istilaya uğrayan ekosisteme bağlıdır. Bu nedenle iklim değişikliğinin istilacı türlere yerli türlerden daha fazla fayda sağlayıp sağlamayacağını değerlendirmek zordur (Finch vd., 2021).

İklim değişikliğinin istilacı böcekler üzerindeki etkilerini ve patojen etkilerini tahmin etmek zordur (Dukes vd., 2009; Tobin vd., 2014; Vose vd., 2018). Çünkü ılıman ormanlarda yapılan çalışmaların çoğu, nispeten küçük bir tür alt kümesine odaklanmaktadır. Daha uzun sıcak mevsimler döl sayısını artırır (Tobin vd., 2014), bu ısınmanın sıcaklıklarının bazı istilacı böceklerle, özellikle de odun delici böceklerle doğrudan fayda sağlaması beklenmektedir (Finch vd., 2021). Ayrıca yağıştaki değişikliklerin patojenleri de etkileyeceği tahmin edilmektedir. Örneğin, Iowa'da (Amerika Birleşik Devletleri'nin merkezi), meşedeki (*Quercus macrocarpa* Michx.) küf/mantar hastalığındaki artışlar, ilkbahar yağış seviyelerinin artmasından kaynaklanabilmektedir (Harrington ve McNew, 2016). Daha sıcak iklimin daha sıcak ve daha nemli hale geleceğinin tahmin edildiği yerlerde, rüzgâr fırtınaları ve mantar hastalığı patojenlerindeki artışın, orman sağlığı ve dolayısıyla toprak işlevi üzerinde önemli bir etki yaratması muhtemeldir (Adams vd., 2019). Ancak birçok yerdeki patojenler kuraklık koşullarından etkileneceklerinden sayıları ve miktarları artış gösteremeyecektir (Dukes vd., 2009). İklimin istilacı böcekler ve patojenler üzerindeki doğrudan etkilerinden bağımsız olarak, sıcaklık ve kuraklık stresine maruz kalan ağaçlar genellikle zarara karşı daha duyarlı olacaktır (Jactel vd., 2012; Millar ve Stephenson, 2015).

2.2.3 Fenolojik ve Mekânsal Dağılımdaki Değişimler

Bitki fenolojisi genellikle fotoperiyod, soğuk günleri (bitkilerin uykuda oldukları gün) ve sıcak günleriyle (bitkilerin uyanışa geçtikleri ısıtıcı gün) gerçekleşmektedir. Hem ilkbaharda tomurcuk patlaması hem de yaprak çıkışı (bitkilerin yapraklanmaya başlaması) için tüm belirtiler/işaretler önemliyen, tomurcuk patlaması için soğuk günlerin olması en önemlisidir. Buna karşılık yaprak çıkışı için sıcaklıktaki termal zorlama olan sıcak gün ve fotoperiyod en önemlileridir (Polgar ve Primack, 2011; Flynn ve Wolkovich, 2018; Fusco vd., 2024). Nitekim yapılan bazı çalışmalarda yetersiz olan soğuk gün (bitkilerin uykuda oldukları gün) süreleri tomurcuk gelişimini ve tomurcuk patlamasını geciktirebildiği bildirilmektedir (Morin vd., 2009; Harrington ve Gould, 2015). Fenoloji çalışmalarında öngörülen iklim değişikliği etkileri, genellikle bitkileri yeni sıcaklık ve fotoperiyot koşullarına maruz bırakan modelleme çalışmaları ve deneylere dayanarak belirlenmektedir (Polgar ve Primack, 2011). Modelleme ve deneysel çalışmaya ek olarak, anormal derecede sıcak yılları kullanan gözlemsel çalışmalar da fenolojideki potansiyel değişikliklere dair fikir verebilmektedir (Friedl vd., 2014). Örneğin, Amerika Birleşik Devletleri'nde ılımlı iklim ısınma senaryolarını kullanan bir modelleme çalışması, tomurcuk patlamalarının 2100 yılına kadar ortalama 8,3 gün daha erken gerçekleşeceğini ve en büyük değişikliklerin kuzey enlemlerinde gözlemleneceğini öngörmektedir (Jeong vd., 2013). Başka bir çalışmada ise büyüme mevsiminin (vejetasyon periyodu), ABD ve Avrupa'daki ılıman ormanlarda her on yılda yaklaşık 2 ile 4 gün arasında artarak devam ettiği bildirilmektedir (Yue vd., 2015). Dolayısıyla tomurcuk patlaması gibi erken sezon fenolojisindeki bu değişiklikler, aynı zamanda iklimin bir önceki sezon fenolojik olaylar üzerindeki etkilerinin de iyi bir göstergeleridir (Ettinger vd., 2018; Zani, vd., 2020). Bu genel tahminler, Amerika Birleşik Devletleri'nin Pasifik Kuzeybatı bölgesinde yapılan çalışma ile benzerlik göstermektedir. Burada modeller, Amerikan yaban mersininin (huckleberry) ortalama 21 gün daha erken çiçek açacağını ve 2100 yılına kadar ortalama 23 gün daha erken meyve vereceğini öngörmektedir (Prevéy vd., 2020). Benzer olarak hava sıcaklıklarındaki değişikliklerin ılıman ormanların fenolojisini de etkileyebileceği ve aynı zamanda bunun topraklar üzerinde de etkilerinin olabileceği başka çalışmalarda da vurgulanmaktadır (Boisvenue ve Running, 2006; Way vd., 2011; Adams vd., 2019). Örneğin, daha sıcak bir iklim, ılıman ormanların büyüme mevsimini uzatabilecek, vejetasyon mevsiminin uzamasıyla da ekosistemde daha fazla üretkenlik/verimlilik meydana gelecek (Boisvenue ve Running, 2006), bunların sonucu olarak bitki örtüsü ve toprakta ilave C depolaması sağlanabilecektir (Way vd., 2011; Adams vd., 2019). Öte yandan daha uzun bir büyüme mevsimi bazı açılardan bitkiler için avantajlı olsa da ilkbaharın sonlarında

meydana gelen don/donma olayları, ilkbaharın erken dönemlerinde yaprak döken veya çiçek açan bitkilere zarar verebilir (Xie vd., 2015). Her ne kadar fenolojik değişiklikler beklense de yağış, fotoperiyot ve soğuk gereksinimini karşılayan günlerdeki (soğuk gün) potansiyel azalmalar ile karmaşık etkileşimler nedeniyle geleceğe yönelik fenolojik tahminleri yapmak zordur (Hijioka vd., 2014). Yeterli sayıda soğuk gün sayısında azalmaya yol açan hafif ısınma, ilkbaharda daha sonra meydana gelen (yani geç ortaya çıkan) yeşillenmeye neden olabilir (Chmura vd., 2011; Hijioka vd., 2014; Xie vd., 2015) ve etkiler türler için enlemler ve yükseltiler arasında farklılık gösterebilir. Örneğin, yapılan bir çalışmadaki model Kuzeybatı Pasifik'teki kıyı Douglas göknarının (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco) iklim ısınmasını daha yüksek rakımlarda takip edeceğini/izleyeceğini, ancak daha düşük rakımlarda izlemeyeceğini ve bunun nedeninin de muhtemelen daha düşük rakımlarda soğuk günlerin kaybindan ileri geldiğini bildirmektedir (Ford vd., 2016).

Küresel olarak ılıman orman biyomu, iklim değişikliğinden kaynaklanan bitki örtüsü değişimlerine karşı oldukça savunmasız bir biyomdur (Gonzalez vd., 2010). Üstelik bu değişimler yukarıda açıklanan ekosisteminin bozulmasını hızlandıracak olumsuz olaylar (yangın, kuraklık, istilacı türler, toprak nemi kaybı vb.) tarafından daha da hızlandırılabilir (Allen vd., 2015). Yaz kuraklığı sıklığının artması, ılıman kuşaktaki ormanların canlılığı ve verimliliği açısından büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Hatta bazı ağaç türlerinin doğal yayılış alanlarının sınırlarında değişikliğin olması beklenmektedir. Örneğin, Orta Avrupa'nın doğal orman bitki örtüsünün en önemli ağaç türü olan Avrupa kayınının (*Fagus sylvatica* L.), güney yayılış/dağılım sınırlarında kuraklık şiddetinin artmasından zarar gördüğü bilinmektedir. Buna karşılık yayılış alanının merkezinde bu türün nasıl etkilendiği tam manasıyla bilinmemektedir (Knutzen vd., 2017). Karışık türlerden oluşan ılıman ormanlarda, yağıştaki kronik azalmalar, kuraklığa daha dayanıklı ağaç türü kompozisyonunun değişimine neden olabilir (McDowell vd., 2016). Benzer olarak, Avrupa (Cavin vd., 2013) ve Kuzey Amerika'daki (Clark vd., 2016) şiddetli kuraklık olaylarının ardından karışık yaprak döken sert odunlu ağaç ormanlarında bazı türlere özgü olsa da tür kompozisyonunda değişimler meydana geldiği ve en nihayetinde de orman türlerinde mekânsal değişimlerin gerçekleştiği rapor edilmektedir (Fei vd., 2017). O yüzden iklim ısındıkça ılıman orman türlerinin dağılımının genel olarak kutuplara ve daha yüksek rakımlara doğru kayması beklenmektedir (Fusko vd., 2024).

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Şu ana kadar elde edilen bilgiler ve yapılan gözlemlerin ışığı altında, iklim değişikliği dünya genelindeki ılıman ormanları etkileyecek, sıcaklıkları artıracak ve yağış düzenlerini değiştirecektir. Ancak ekosistemler üzerindeki bu etkilerin büyüklüğü ve derecesi coğrafyaya ve ekosistem kompozisyonuna göre değişiklik gösterecektir. Bununla birlikte ılıman ormanların değişen sıcaklık ve yağış rejimlerine doğrudan tepki vermesi ve bunun sonucunda fenolojinin, tür dağılımlarının ve ekosistem süreçlerinin değişmesi beklenmektedir. Coğrafi değişimler muhtemelen türlerin kutuplara ve yukarıya doğru hareketlerini içerecektir. Türlerin iklim değişikliklerine bireysel tepkisinin sonucu olarak yeni ekosistem toplulukları meydana gelmeye başlayacaktır. Öte yandan kuraklık, ılıman orman ekosistemlerinde meydana gelmesi beklenen en yaygın ekolojik faktör gibi durmaktadır. Nitekim tek başına kuraklık veya kuraklıkla birlikte yangın, böcekler ve patojenler gibi diğer faktörler de ekosisteme zarar verebilecek ve ekosistemde ağaç ölümlerine neden olabilecektir. Meydana gelen bu sonuç ise ekosistem hizmetlerini olumsuz etkileyebilecektir. Örneğin, geniş ölçekli ağaç ölümlerine yol açan artan rahatsızlıklar (kuraklık, rüzgâr, patojenler vb.), ekosistemlerin su kalitesini ve odun/kereste üretimini olumsuz yönde etkileyecektir. Bu yüzden insanlar/toplumlar (elbette ki tüm dünya) iklim değişikliğine neden olan mevcut uygulamalardan (atmosfere salınan sera gazları, fosil yakıtların tüketilmesi, ormansızlaşma ve yoğun sanayi faaliyetleri, arazi kullanımında yapılan değişiklikler vb.) vazgeçmeliler ve mümkün olduğu ölçüde iklim değişikliğinin etkilerini hafifletmek için iklim değişikliğine uyum stratejilerini kullanmalılar.

TEŞEKKÜR

Bu kitap bölümünün yazılmasına bizi teşvik eden çok değerli meslektaşlarımıza teşekkürü biz borç biliyoruz. Bu ve bundan önce yazılan kitap bölümlerinde hataların ve eksiklerin olması çok doğaldır. O yüzden bunların düzeltilmesi için yapılacak olan eleştiri ve öneriler şükranla karşılanacaktır. Öte yandan çalışmayı okuyup değerlendiren okuyucuların, ilgilenenlerin ve araştırmacıların, çalışmayı umduklarından daha ilginç ve faydalı bulduklarında bu bizi fazlasıyla mutlu edecektir. Bu yüzden çalışmanın araştırmacılara, uygulayıcılara, tüm ilgilenenlere ve bilim dünyasına yararlı, faydalı ve ışık tutması tek dileğimizdir.

KAYNAKLAR

- Abram, N. J., Henley, B. J., Sen Gupta, A., Lippmann, T. J., Clarke, H., Dowdy, A. J., ... & Boer, M. M. (2021). Connections of climate change and variability to large and extreme forest fires in southeast Australia. *Communications Earth & Environment*, 2(1), 1–17.
- Adams, M. B., Kelly, C., Kabrick, J., & Schuler, J. (2019). Temperate forests and soils. In *Developments in Soil Science* (Vol. 36, pp. 83–108). Elsevier.
- Alizadeh, M. R., Abatzoglou, J. T., Luce, C. H., Adamowski, J. F., Farid, A., & Sadeh, M. (2021). Warming enabled upslope advance in western US forest fires. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(22).
- Allen, C. D., Breshears, D. D., & McDowell, N. G. (2015). On underestimation of global vulnerability to tree mortality and forest die-off from hotter drought in the Anthropocene. *Ecosphere*, 6(8), 1–55.
- Allen, C. D., Macalady, A. K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Venetier, M., ... & Cobb, N. (2010). A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest ecology and management*, 259(4), 660–684.
- Allen, J. M., & Bradley, B. A. (2016). Out of the weeds? Reduced plant invasion risk with climate change in the continental United States. *Biological Conservation*, 203, 306–312.
- Andela, N., Morton, D. C., Giglio, L., Chen, Y., van der Werf, G. R., Kasibhatla, P. S., ... & Randerson, J. T. (2017). A human-driven decline in global burned area. *Science*, 356(6345), 1356–1362.
- Barbero, R., Abatzoglou, J. T., Larkin, N. K., Kolden, C. A., & Stocks, B. (2015). Climate change presents increased potential for very large fires in the contiguous United States. *International Journal of Wildland Fire*, 24(7), 892–899.
- Bellard, C., Thuiller, W., Leroy, B., Genovesi, P., Bakkenes, M., & Courchamp, F. (2013). Will climate change promote future invasions? *Global Change Biology*, 19(12), 3740–3748.
- Bentz, B. J., Régnière, J., Fettig, C. J., Hansen, E. M., Hayes, J. L., Hicke, J. A., ... & Seybold, S. J. (2010). Climate change and bark beetles of the western United States and Canada: direct and indirect effects. *BioScience*, 60(8), 602–613.
- Boisvenue, C., & Running, S. W. (2006). Impacts of climate change on natural forest productivity—evidence since the middle of the 20th century. *Global Change Biology*, 12(5), 862–882.
- Boisvert-Marsh, L., Périé, C., & de Blois, S. (2014). Shifting with climate? Evidence for recent changes in tree species distribution at high latitudes. *Ecosphere*, 5(7), 1–33.

- Bouwman, A. F. (1990). Global distribution of the major soil and land cover types. In: Bouwman, A.F. (Ed.), Proceedings, International Conference on Soils and the Green House Effect. John Wiley and Sons, New York, pp. 31e59.
- Bréda, N., Huc, R., Granier, A., & Dreyer, E. (2006). Temperate forest trees and stands under severe drought: a review of ecophysiological responses, adaptation processes and long-term consequences. *Annals of Forest Science*, 63(6), 625–644.
- Breshears, D. D., Adams, H. D., Eamus, D., McDowell, N. G., Law, D. J., Will, R. E., ... & Zou, C. B. (2013). The critical amplifying role of increasing atmospheric moisture demand on tree mortality and associated regional die-off. *Frontiers in Plant Science*, 4, 266.
- Camarero, J. J., Colangelo, M., Gazol, A., & Azorín-Molina, C. (2021). Drought and cold spells trigger dieback of temperate oak and beech forests in northern Spain. *Dendrochronologia*, 66, 125812.
- Carnicer, J., Coll, M., Ninyerola, M., Pons, X., Sanchez, G., & Penuelas, J. (2011). Widespread crown condition decline, food web disruption, and amplified tree mortality with increased climate change-type drought. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(4), 1474–1478.
- Čater, M. (2015). A 20-year overview of *Quercus robur* L. mortality and crown conditions in Slovenia. *Forests*, 6(3), 581–593.
- Cavin, L., Mountford, E. P., Peterken, G. F., & Jump, A. S. (2013). Extreme drought alters competitive dominance within and between tree species in a mixed forest stand. *Functional Ecology*, 27(6), 1424–1435.
- Chen, I. C., Hill, J. K., Ohlemüller, R., Roy, D. B., & Thomas, C. D. (2011). Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming. *Science*, 333(6045), 1024–1026.
- Chmura, D. J., Anderson, P. D., Howe, G. T., Harrington, C. A., Halofsky, J. E., Peterson, D. L., ... & Clair, J. B. S. (2011). Forest responses to climate change in the northwestern United States: Ecophysiological foundations for adaptive management. *Forest Ecology and Management*, 261(7), 1121–1142.
- Choat, B., Jansen, S., Brodribb, T. J., Cochard, H., Delzon, S., Bhaskar, R., ... & Zanne, A. E. (2012). Global convergence in the vulnerability of forests to drought. *Nature*, 491(7426), 752–755.
- Clark, J. S., Iverson, L., Woodall, C. W., Allen, C. D., Bell, D. M., Bragg, D. C., ... & Zimmermann, N. E. (2016). The impacts of increasing drought on forest dynamics, structure, and biodiversity in the United States. *Global Change Biology*, 22(7), 2329–2352.
- Clark, S., Mills, G., Brown, T., Harris, S., & Abatzoglou, J. T. (2021). Downscaled GCM climate projections of fire weather over Victoria, Australia. Part 2*: A multi-model ensemble of 21st century trends. *International Journal of Wildland Fire*, 30(8), 596–610.

- Crausbay, S. D., Ramirez, A. R., Carter, S. L., Cross, M. S., Hall, K. R., Bathke, D. J., ... & Sanford, T. (2017). Defining ecological drought for the twenty-first century. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98(12), 2543–2550.
- Crimmins, S. M., Dobrowski, S. Z., Greenberg, J. A., Abatzoglou, J. T., & Mynsberge, A. R. (2011). Changes in climatic water balance drive downhill shifts in plant species' optimum elevations. *Science*, 331(6015), 324–327.
- Davis, K. T., Dobrowski, S. Z., Holden, Z. A., Higuera, P. E., & Abatzoglou, J. T. (2019). Microclimatic buffering in forests of the future: The role of local water balance. *Ecography*, 42(1), 1–11.
- De Rigo, D., Libertà, G., Durrant, T. H., Vivancos, T. A., & San-Miguel-Ayanz, J. (2017). Forest fire danger extremes in Europe under climate change: variability and uncertainty (Doctoral dissertation, Publications Office of the European Union), HAL Id: hal-02906196, <https://hal.science/hal-02906196>.
- Dobbertin, M., Mayer, P., Wohlgemuth, T., Feldmeyer-Christe, E., Graf, U., Zimmermann, N. E., & Rigling, A. (2005). The decline of *Pinus sylvestris* L. forests in the Swiss Rhone valley-a result of drought stress? *Phyton (Austria) Annales Rei Botanicae*, 45(4), 153–156.
- D'Orangeville, L., Maxwell, J., Kneeshaw, D., Pederson, N., Duchesne, L., Logan, T., ... & Phillips, R. P. (2018). Drought timing and local climate determine the sensitivity of eastern temperate forests to drought. *Global Change Biology*, 24(6), 2339–2351.
- Dudney, J., Willing, C. E., Das, A. J., Latimer, A. M., Nesmith, J. C. B., & Battles, J. J. (2021). Nonlinear shifts in infectious rust disease due to climate change. *Nature Communications*, 12(1).
- Dukes, J. S., Pontius, J., Orwig, D., Garnas, J. R., Rodgers, V. L., Brazee, N., ... & Ayres, M. (2009). Responses of insect pests, pathogens, and invasive plant species to climate change in the forests of northeastern North America: what can we predict?. *Canadian journal of forest research*, 39(2), 231–248.
- EEA (European Environment Agency). (2021). Forest fires in Europe., <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/forest-fire-danger-4/assessment>
- Ellis, E. C., Klein Goldewijk, K., Siebert, S., Lightman, D., & Ramankutty, N. (2010). Anthropogenic transformation of the biomes, 1700 to 2000. *Global Ecology and Biogeography*, 19(5), 589–606.
- Ettinger, A. K., Gee, S., & Wolkovich, E. M. (2018). Phenological sequences: How early-season events define those that follow. *American Journal of Botany*, 105(10), 1771–1780.
- Evans, P., & Brown, C. D. (2017). The boreal-temperate forest ecotone response to climate change. *Environmental Reviews*, 25(4), 423–431.

- FAO, (2015). The Global Forest Resources Assessment 2015. Rome. <http://www.fao.org>.
- Fei, S., Desprez, J. M., Potter, K. M., Jo, I., Knott, J. A., & Oswalt, C. M. (2017). Divergence of species responses to climate change. *Science Advances*, 3(5), e1603055.
- Fettig, C. J., Gibson, K. E., Munson, A. S., & Negrón, J. F. (2014). Cultural practices for prevention and mitigation of mountain pine beetle infestations. *Forest Science*, 60(3), 450–463.
- Finch, D. M., Butler, J. L., Runyon, J. B., Fettig, C. J., Kilkenny, F. F., Jose, S., . . . Amelon, S. K. (2021). Effects of climate change on invasive species. In T. M. Poland, et al. (Eds.), *Invasive species in forests and rangelands of the United States* (pp. 57–83). Springer International Publishing. Available from https://doi.org/10.1007/978-3-030-45367-1_4.
- Flynn, D. F. B., & Wolkovich, E. M. (2018). Temperature and photoperiod drive spring phenology across all species in a temperate forest community. *New Phytologist*, 219(4), 1353–1362.
- Ford, K. R., Harrington, C. A., Bansal, S., Gould, P. J., & St. Clair, J. B. (2016). Will changes in phenology track climate change? A study of growth initiation timing in coast Douglas-fir. *Global Change Biology*, 22(11), 3712–3723.
- Friedl, M. A., Gray, J. M., Melaas, E. K., Richardson, A. D., Hufkens, K., Keenan, T. F., ... & O’Keefe, J. (2014). A tale of two springs: using recent climate anomalies to characterize the sensitivity of temperate forest phenology to climate change. *Environmental Research Letters*, 9(5), 054006.
- Fusco, E., Halofsky, J. E., Reilly, M., Prendeville, H. R., & Sousa-Silva, R. (2024). Temperate forests. In *Future Forests*, Chapter 9, (pp. 177–202). Elsevier.
- Galicia, L., & Zarco-Arista, A. E. (2014). Multiple ecosystem services, possible trade-offs and synergies in a temperate forest ecosystem in Mexico: a review. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 10(4), 275–288.
- Gao, P., Terando, A. J., Kupfer, J. A., Varner, J. M., Stambaugh, M. C., Lei, T. L., & Hiers, J. K. (2021). Robust projections of future fire probability for the conterminous United States. *Science of the Total Environment*, 789, 147872.
- Gazol, A., Camarero, J. J., Sangüesa-Barreda, G., Serra-Maluquer, X., Sánchez-Salguero, R., Coll, L., & Casals, P. (2020). Tree species are differently impacted by cumulative drought stress and present higher growth synchrony in dry places. *Frontiers in Forests and Global Change*, 3, 128.
- Gilliam, F. S. (2016). Forest ecosystems of temperate climatic regions: from ancient use to climate change. *New Phytologist*, 212(4), 871–887.

- Hansen, M. C., Stehman, S. V., & Potapov, P. V. (2010). Quantification of global gross forest cover loss. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(19), 8650–8655.
- Harrington, C. A., & Gould, P. J. (2015). Tradeoffs between chilling and forcing in satisfying dormancy requirements for Pacific Northwest tree species. *Frontiers in Plant Science*, 6 (120), 1–12.
- Harrington, T.C., & McNew, D.L. (2016). Distribution and Intensification of Bur Oak Blight in Iowa and the Midwest (Project NC-EM-B-10-01). General Technical Report: SRS 213. USDA Forest Service, Southern Research Station.
- Heberling, J. M., McDonough MacKenzie, C., Fridley, J. D., Kalisz, S., & Primack, R. B. (2019). Phenological mismatch with trees reduces wildflower carbon budgets. *Ecology Letters*, 22(4), 616–623.
- Hicke, J. A., Logan, J. A., Powell, J., & Ojima, D. S. (2006). Changing temperatures influence suitability for modeled mountain pine beetle (*Dendroctonus ponderosae*) outbreaks in the western United States. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 111(G2), 1–12.
- Higuera, P. E., & Abatzoglou, J. T. (2021). Record-setting climate enabled the extraordinary 2020 fire season in the western United States. *Global Change Biology*, 27, 1–2.
- Hijioka, Y., Lin, E., Pereira, J. J., Corlett, R., Cui, X., Insarov, G., . . & Surjan, A. (2014). Asia. In V. R. Barros, C. B. Field, D. J. Dokken, M. D. Mastrandrea, K. J. Mach, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea, & L. L. White (Eds.), *Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part B: Regional aspects. Contribution of Working Group II to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. United Kingdom and New York, NY: Cambridge.
- Hislop, S., Haywood, A., Jones, S., Soto-Berelov, M., Skidmore, A., & Nguyen, T. H. (2020). A satellite data driven approach to monitoring and reporting fire disturbance and recovery across boreal and temperate forests. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 87, 102034.
- Holdridge, L.R. (1967). *Life Zone Ecology*. CABI, p. 206.
- Ichoku, C. (2018). The earth Observatory Project. Website. <http://earthobservatory.nasa.gov>.
- IPCC. (2021). “Summary for Policymakers”, *Climate Change 2021: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Valerie Masson-Delmotte vd., Cambridge University Press, 2021, s.21.
- Iturbide, M., Fernández, J., Gutiérrez, J. M., Bedia, J., Cimadevilla, E., Díez-Sierra, J., ... & Yelekci, Ö. (2021). Repository supporting the implementation

- of FAIR principles in the IPCC-WG1 Atlas. Zenodo, 2022. <https://github.com/IPCC-WG1/Atlas> adresinden alındı.
- Jactel, H., Petit, J., Desprez-Loustau, M. L., Delzon, S., Piou, D., Battisti, A., & Koricheva, J. (2012). Drought effects on damage by forest insects and pathogens: A meta-analysis. *Global Change Biology*, 18(1), 267–276.
- Jeong, S. J., Medvigy, D., Shevliakova, E., & Malyshev, S. (2013). Predicting changes in temperate forest budburst using continental-scale observations and models. *Geophysical Research Letters*, 40(2), 359–364.
- Kelly, A. E., & Goulden, M. L. (2008). Rapid shifts in plant distribution with recent climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(33), 11823–11826.
- Kennedy, M. C., Bart, R. R., Tague, C. L., & Choate, J. S. (2021). Does hot and dry equal more wildfire? Contrasting short-and long-term climate effects on fire in the Sierra Nevada, CA. *Ecosphere*, 12(7), e03657.
- Kerns, B. K., Tortorelli, C., Day, M. A., Nietupski, T., Barros, A. M., Kim, J. B., & Krawchuk, M. A. (2020). Invasive grasses: A new perfect storm for forested ecosystems? *Forest Ecology and Management*, 463, 117985.
- Knutzen, F., Dulamsuren, C., Meier, I. C., & Leuschner, C. (2017). Recent climate warming-related growth decline impairs European beech in the center of its distribution range. *Ecosystems*, 20, 1494–1511.
- Kovats, S. R., Valentini, R., Bouwer, L. M., Georgopoulou, E., Jacob, D., Martin, E., . . . & White, L. (2014). Europe. In V. R. Barros, C. B. Field, D. J. Dokken, M. D. Mastrandrea, K. J. Mach, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea, & L. L. White (Eds.), *Contribution of Working Group II to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. United Kingdom and New York, NY: Cambridge.
- Krawchuk, M. A., Moritz, M. A., Parisien, M. A., Van Dorn, J., & Hayhoe, K. (2009). Global pyrogeography: The current and future distribution of wildfire. *PLoS One*, 4(4), e5102.
- Lenoir, J., Gégout, J. C., Marquet, P. A., de Ruffray, P., & Brisse, H. (2008). A significant upward shift in plant species optimum elevation during the 20th century. *science*, 320(5884), 1768–1771.
- Littell, J. S., McKenzie, D., Wan, H. Y., & Cushman, S. A. (2018). Climate change and future wildfire in the western United States: An ecological approach to nonstationarity. *Earth's Future*, 6(8), 1097–1111.
- Liu, Y., Stanturf, J., & Goodrick, S. (2010). Trends in global wildfire potential in a changing climate. *Forest Ecology and Management*, 259(4), 685–697.
- Logan, J. A., & Powell, J. A. (2001). Ghost forests, global warming, and the mountain pine beetle (*Coleoptera: scolytidae*). *American Entomologist*, 47(3), 160–173.

- Logan, J. A., Macfarlane, W. W., & Willcox, L. (2010). Whitebark pine vulnerability to climate-driven mountain pine beetle disturbance in the Greater Yellowstone Ecosystem. *Ecological Applications*, 20(4), 895–902.
- Logan, J. A., Régnière, J., & Powell, J. A. (2003). Assessing the impacts of global warming on forest pest dynamics. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 1(3), 130–137.
- Marini, L., Økland, B., Jönsson, A. M., Bentz, B., Carroll, A., Forster, B., ... & Schroeder, M. (2017). Climate drivers of bark beetle outbreak dynamics in Norway spruce forests. *Ecography*, 40(12), 1426–1435.
- McAvoy, T. J., Régnière, J., St-Amant, R., Schneeberger, N. F., & Salom, S. M. (2017). Mortality and recovery of hemlock woolly adelgid (*Adelges tsugae*) in response to winter temperatures and predictions for the future. *Forests*, 8(12), 497.
- McDowell, N., Hanson, P. J., Ibanez, I., Phillips, R. P., & Ryan, M. G. (2016). Physiological Responses of Forests to Drought. Technical report. Oak Ridge National Lab. (ORNL), Oak Ridge, TN (United States), OSTI ID: 1261320.
- McGlone, M., Walker, S., Hay, R., & Christie, J. (2010). Climate change, natural systems, and their conservation in New Zealand. In A. Richard, C. Nottage, D. S. Wratt, J. F. Bomman, & K. Jones (Eds.), *Climate change adaptation in New Zealand* (pp. 82–100). Wellington, New Zealand: New Zealand Climate Change Centre.
- McWethy, D. B., Garreaud, R. D., Holz, A., & Pederson, G. T. (2021). Broad-Scale surface and atmospheric conditions during large fires in South Central Chile. *Fire*, 4(2), 28.
- MEAP (Millennium Ecosystem Assessment Program) (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC.
- Menzel, A., Sparks, T. H., Estrella, N., Koch, E., Aasa, A., Ahas, R., ... & Zust, A. N. A. (2006). European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biology*, 12(10), 1969–1976.
- Menzel, A., Yuan, Y., Matiu, M., Sparks, T., Scheifinger, H., Gehrig, R., & Estrella, N. (2020). Climate change fingerprints in recent European plant phenology. *Global Change Biology*, 26(4), 2599–2612.
- Millar, C. I., & Stephenson, N. L. (2015). Temperate forest health in an era of emerging mega disturbance. *Science*, 349(6250), 823–826.
- Morin, X., Lechowicz, M. J., Augspurger, C., O’keefe, J., Viner, D., & Chuine, I. (2009). Leaf phenology in 22 North American tree species during the 21st century. *Global Change Biology*, 15(4), 961–975.
- Mote, P., Snover, A. K., Capalbo, S., Eigenbrode, S. D., Glick, P., Little, J., . . . & Reeder, S. (2014). Northwest. *Climate change impacts in the United States*.

- In J. M. Melillo, T. C. Richmond, & G. W. Yohe (Eds.), The third national climate assessment (pp. 487–513). US Global Change Research Program.
- Nardini, A., Battistuzzo, M., & Savi, T. (2013). Shoot desiccation and hydraulic failure in temperate woody angiosperms during an extreme summer drought. *New Phytologist*, 200(2), 322–329.
- Otkin, J. A., Svoboda, M., Hunt, E. D., Ford, T. W., Anderson, M. C., Hain, C., & Basara, J. B. (2018). Flash droughts: A review and assessment of the challenges imposed by rapid-onset droughts in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 99(5), 911–919.
- Pan, Y., Birdsey, R. A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P. E., Kurz, W. A., ... & Hayes, D. (2011). A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*, 333(6045), 988–993.
- Park Williams, A., Allen, C. D., Macalady, A. K., Griffin, D., Woodhouse, C. A., Meko, D. M., ... & McDowell, N. G. (2013). Temperature as a potent driver of regional forest drought stress and tree mortality. *Nature Climate Change*, 3(3), 292–297.
- Parks, S. A., & Abatzoglou, J. T. (2020). Warmer and drier fire seasons contribute to increases in area burned at high severity in western US forests from 1985 to 2017. *Geophysical Research Letters*, 47(22), e2020GL089858.
- Parmesan, C. (2006). Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 37, 637–669.
- Parmesan, C., & Yohe, G. (2003). A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421(6918), 37–42.
- Pereira, M. G., Calado, T. J., DaCamara, C. C., & Calheiros, T. (2013). Effects of regional climate change on rural fires in Portugal. *Climate Research*, 57(3), 187–200.
- Piao, S., Liu, Q., Chen, A., Janssens, I. A., Fu, Y., Dai, J., ... & Zhu, X. (2019). Plant phenology and global climate change: Current progresses and challenges. *Global Change Biology*, 25(6), 1922–1940.
- Polgar, C. A., & Primack, R. B. (2011). Leaf-out phenology of temperate woody plants: From trees to ecosystems. *New Phytologist*, 191(4), 926–941.
- Prev y, J. S., Parker, L. E., Harrington, C. A., Lamb, C. T., & Proctor, M. F. (2020). Climate change shifts in habitat suitability and phenology of huckleberry (*Vaccinium membranaceum*). *Agricultural and Forest Meteorology*, 280, 107803.
- Renner, S. S., & Zohner, C. M. (2018). Climate change and phenological mismatch in trophic interactions among plants, insects, and vertebrates. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 49, 165–182.
- Rogers, B. M., Neilson, R. P., Drapek, R., Lenihan, J. M., Wells, J. R., Bachelet, D., & Law, B. E. (2011). Impacts of climate change on fire regimes and car-

- bon stocks of the US Pacific Northwest. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 116(G3).
- Ruffault, J., Curt, T., Moron, V., Trigo, R. M., Mouillot, F., Koutsias, N., ... & Belhadj-Khedher, C. (2020). Increased likelihood of heat-induced large wildfires in the Mediterranean Basin. *Scientific Reports*, 10(1), 13790.
- Savage, J., & Vellend, M. (2015). Elevational shifts, biotic homogenization and time lags in vegetation change during 40 years of climate warming. *Ecography*, 38(6), 546–555.
- Schuldt, B., Buras, A., Arend, M., Vitasse, Y., Beierkuhnlein, C., Damm, A., ... & Kahmen, A. (2020). A first assessment of the impact of the extreme 2018 summer drought on Central European forests. *Basic and Applied Ecology*, 45, 86–103.
- Senf, C., & Seidl, R. (2018). Natural disturbances are spatially diverse but temporally synchronized across temperate forest landscapes in Europe. *Global Change Biology*, 24(3), 1201–1211.
- Senf, C., Buras, A., Zang, C. S., Rammig, A., & Seidl, R. (2020). Excess forest mortality is consistently linked to drought across Europe. *Nature Communications*, 11(1), 1–8.
- Shepherd, T. G. (2014). Atmospheric circulation as a source of uncertainty in climate change projections. *Nature Geoscience*, 7, 703–708.
- Solberg, S. (2004). Summer drought: A driver for crown condition and mortality of Norway spruce in Norway. *Forest Pathology*, 34(2), 93–104.
- Sorte, C. J., Ibáñez, I., Blumenthal, D. M., Molinari, N. A., Miller, L. P., Grosholz, E. D., ... & Dukes, J. S. (2013). Poised to prosper? A cross-system comparison of climate change effects on native and non-native species performance. *Ecology Letters*, 16(2), 261–270.
- Spear, M. J., Walsh, J. R., Ricciardi, A., & Zanden, M. J. Vander (2021). The invasion ecology of sleeper populations: Prevalence, persistence, and abrupt shifts. *BioScience*, 71(4), 357–369.
- Syphard, A. D., Sheehan, T., Rustigian-Romsos, H., & Ferschweiler, K. (2018). Mapping future fire probability under climate change: Does vegetation matter? *PLoS One*, 13(8), e0201680.
- Tobin, P. C., Parry, D., & Aukema, B. H. (2013). The influence of climate change on insect invasions in temperate forest ecosystems. In *Challenges and Opportunities for the World's Forests in the 21st Century* (pp. 267–293). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Turbelin, A. J., Malamud, B. D., & Francis, R. A. (2017). Mapping the global state of invasive alien species: Patterns of invasion and policy responses. *Global Ecology and Biogeography*, 26(1), 78–92.

- Turco, M., Bedia, J., Di Liberto, F., Fiorucci, P., von Hardenberg, J., Koutsias, N., ... & Provenzale, A. (2016). Decreasing fires in mediterranean Europe. *PLoS one*, 11(3), e0150663.
- Vose, J. M., Clark, J. S., Luce, C. H., & Patel-Weynand, T. (2016). Effects of drought on forests and rangelands in the United States: A comprehensive science synthesis. U.S. Dept of Agriculture General Technical Report, WO-93a, 302.
- Vose, J. M., Peterson, D. L., Domke, G. M., Fettig, C. J., Joyce, L. A., Keane, R. E., . . . & Halofsky, J. E. (2018). Forests. In D. R. Reidmiller, C. W. Avery, D. R. Easterling, K. E. Kunkel, K. L. M. Lewis, T. K. Maycock, & B. C. Stewart (Eds.), *Impacts, risks, and adaptation in the United States: Fourth national climate assessment* (Vol. II, pp. 232–267). Washington, DC: U.S. Global Change Research Program.
- Way, D. A., Oren, R., Kim, H. S., & Katul, G. G. (2011). How well do stomatal conductance models perform on closing plant carbon budgets? A test using seedlings grown under current and elevated air temperatures. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 116(G4).
- Williams, P. A., Cook, B. I., Smerdon, J. E., Bishop, D. A., Seager, R., & Mankin, J. S. (2017). The 2016 southeastern US drought: An extreme departure from centennial wetting and cooling. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 122(20), 10–888.
- Wolkovich, E. M., Davies, T. J., Schaefer, H., Cleland, E. E., Cook, B. I., Travers, S. E., ... & Davis, C. C. (2013). Temperature-dependent shifts in phenology contribute to the success of exotic species with climate change. *American Journal of Botany*, 100(7), 1407–1421.
- Wu, Z., He, H. S., Keane, R. E., Zhu, Z., Wang, Y., & Shan, Y. (2020). Current and future patterns of forest fire occurrence in China. *International Journal of Wildland Fire*, 29(2), 104–119.
- Xie, G., Li, W., Xiao, Y., Zhang, B., Lu, C., An, K., ... & Wang, J. (2010). Forest ecosystem services and their values in Beijing. *Chinese Geographical Science*, 20, 51–58.
- Xie, Y., Ahmed, K. F., Allen, J. M., Wilson, A. M., & Silander, J. A. (2015). Green-up of deciduous forest communities of northeastern North America in response to climate variation and climate change. *Landscape Ecology*, 30(1), 109–123.
- Young, D. J., Stevens, J. T., Earles, J. M., Moore, J., Ellis, A., Jirka, A. L., & Latimer, A. M. (2017). Long-term climate and competition explain forest mortality patterns under extreme drought. *Ecology Letters*, 20(1), 78–86.
- Yue, X., Unger, N., Keenan, T. F., Zhang, X., & Vogel, C. S. (2015). Probing the past 30-year phenology trend of US deciduous forests. *Biogeosciences*, 12(15), 4693–4709.

- Zani, D., Crowther, T. W., Mo, L., Renner, S. S., & Zohner, C. M. (2020). Increased growing-season productivity drives earlier autumn leaf senescence in temperate trees. *Science*, 370(6520), 1066–1071.
- Zhang, F., Biederman, J. A., Dannenberg, M. P., Yan, D., Reed, S. C., & Smith, W. K. (2021). Five decades of observed daily precipitation reveal longer and more variable drought events across much of the western United States. *Geophysical Research Letters*, 48(7), e2020GL092293.
- Zhang, L., Xiao, J., Li, J., Wang, K., Lei, L., & Guo, H. (2012). The 2010 spring drought reduced primary productivity in southwestern China. *Environmental Research Letters*, 7(4), 045706.
- Zhao, M., & Running, S. W. (2010). Drought-induced reduction in global terrestrial net primary production from 2000 through 2009. *Science*, 329(5994), 940–943.

BÖLÜM 2

TOHUM GÜCÜNÜ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Gamze KAYA¹

1 Gamze KAYA (Doç. Dr.), Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Bilecik, Türkiye. pascalcik@hotmail.com. ORCID ID 0000-0002-9815-2672

1. GİRİŞ

Giderek artan nüfus ve buna bağlı olarak azalan tarım alanları ile birlikte Covid-19 gibi salgın hastalıkların gıdaya ulaşımı zorlaştırması nedeniyle tarımsal üretimin istikrarlı bir şekilde sürdürülmesi gerekmektedir. Tohum ise, kendisi gıda olarak doğrudan kullanılabilirdiği gibi, birçok ürün ve temel gıdanın kaynağı ve birçok bitki türünün üretim materyali konumunda olması nedeniyle stratejik bir öneme sahiptir.

Tohum biliminin temel görevlerinden biri fizyolojik, biyokimyasal ve fitopatolojik özellikler bakımından yüksek kalitede tohum üretmektir (Milošević vd., 2010). Tohum ise tarımın en temel üretim kaynağını, pek çok ürünün yaşam döngüsündeki en önemli ve temel parçasını ve ziraat biliminde pek çok teknik uygulamanın özünü oluşturmaktadır (Zhang vd., 2020). Tohumun fizyolojik ve biyokimyasal mekanizmaları yanında, son yıllarda moleküler düzeyde yapılan çalışmalar, tohum kalitesi üzerine daha kapsamlı bakış açısı sunmakta ve tohumluk üretim sürecindeki kontrol ve test tekniklerinin geliştirilmesine önemli katkılar sağlamaktadır (Milošević vd., 2010).

Tohumlar, optimum sıcaklık ve nem koşullarında çimlendirme testleri yapılarak “canlılık” durumlarına göre sınıflandırılrsa da arazi koşullarında farklı biyotik ve abiyotik streslere maruz kalmaktadırlar (Xing vd., 2023). Bu nedenle, tohumların tarla performanslarını daha doğru tahmin etmek ve değerlendirmek amacıyla canlılık testlerinden daha fazlasına ihtiyaç duyulmuştur. Bir tohum numunesindeki canlı tohum oranının ölçülmesi yanında, bu tohumların tarlada oluşabilecek olumsuz büyüme koşullarında normal fide üretme yeteneğini yansıtmak amacıyla farklı testler geliştirilmiş ve kullanılmaktadır. Uluslararası kurallara göre yapılan canlılık testleri ile aynı canlılık seviyesine sahip olan tohumların arazi koşullarında farklı çıkış performansları gösterdikleri ve bu durumun tohum gücü farklılığından kaynaklandığı belirtilmiştir (Sivritepe, 2012). Tohumlarda genellikle canlılık kaybından önce güç kaybı başlamaktadır. Bu nedenle, güç testleri tohum üretim programlarında oldukça büyük önem taşımaktadır (Xing vd., 2023).

Tohumlar en uygun şartlarda saklansa bile canlı bir materyal olmaları ve solunum yapmaları nedeniyle güçlerinde az veya çok, hızlı veya yavaş bir azalma olmaktadır. Bu süreç tohum yaşlanması olarak tarif edilmektedir (Yin vd., 2014). Yapılan çalışmalarda, yaşlanma sürecinde tohumda bir takım fizyolojik değişimler gerçekleşerek reaktif oksijen türevlerinin (ROS) ortaya çıkmasına ve tohum gücünün azalmasına ve daha ileri dönemde de tohumun ölümüne neden olmaktadır (Baily, 2004). Uzun depolanma süreleri sonunda, yüksek güce sahip tohumların, düşük güce sahip tohumlara göre çimlenme kapasiteleri daha yüksek olmaktadır (Basu ve Groot, 2023).

Tarımsal üretimde düşük tohum gücüne sahip tohumluklar çimlenme ve çıkışta düzensizliklere, anormal fide oluşumuna, istenilen bitki sayısının elde edilememesine neden olarak ürün verimi ve kalitesinde önemli kayıplarla sonuçlanmaktadır. Hatta bazı durumlarda ekimin yenilenmesine veya hasatın yapılamamasına neden olabilmektedir (Yin vd., 2014).

2. TOHUM GÜCÜ

Standart çimlendirme testleri ışık, nem ve sıcaklık bakımından yeterli, steril ortam ve optimum koşullar altında tohumların çimlenmesi için yapay (sentetik) bir ortamda yürütülmektedir (Delouche ve Caldwell, 1960). Optimum koşullar altında tohumlar maksimum gelişim kabiliyetini göstermektedirler. Ancak, arazi koşullarında tohum yatağı nadiren optimum çimlenme koşullarına sahiptir. Dolayısıyla standart çimlendirme testi ile bir tohum partisinin tarla çıkış performansları doğru bir şekilde tahmin edilememektedir. Ayrıca, standart çimlendirme testleri ilk ve son sayım tarihinde elde edilen verileri değerlendirmekte, ilk sayım gününde zaten güçlü tohumlar çimlenmekte ve sayılmakta son sayım gününe kadar geçen sürede ise zayıf tohumlar da çimlenebilmektedir. Bu süre zarfında çimlenen zayıf fideler de testin son günü sayıldığından canlı olduğu değerlendirilmektedir. Bu durum test sürelerinin uzadığında dormant olmayan tohumların da çimlenmesine yol açmaktadır (Delouche ve Caldwell, 1960). Bu gibi eksiklikler, tohum kalitesinin tüm yönlerinin standart çimlenme testiyle gerektiği gibi belirlenememesine yol açmaktadır.

Genellikle çimlenme potansiyeli ve tohum gücü olarak tanımlanan tohum kalitesi, bitkilerin verimini belirleyen en önemli etkenlerden birisidir (Ghosh vd., 2021). Tohum kalitesinin tüm yönleriyle doğru bir şekilde tanımlanamaması yıllarca bir eksiklik olarak algılanmıştır. Frederick Nobbe 1876 yılında “Triebkraft” terimini “itici güç” ve “sürme gücü” anlamında kullanarak güç kavramını çimlenme kavramından ayırmış ve böylece çıkış hızı ve üniformite de tohum kalitesinin önemli parametreleri arasında yerini almıştır (Şehirali, 1997; McDonald 1993; Copeland ve McDonald, 2001). 1950’lerin başlarında Uluslararası Tohum Test Birliği (International Seed Testing Association-ISTA) “tohum gücü” kavramını ortaya atarak modern anlamda aktif çalışmalar başlatmıştır (Zhang vd., 2020).

Tohum gücü, genellikle tohumun çimlenme ve fide çıkışı sırasındaki performansı ve potansiyel aktivite seviyesini belirleyen özelliklerin toplamı (Finch-Savage ve Bassel, 2016) olarak tarif edilmiştir. ISTA’ya göre ise farklı çevresel faktörler altında tohumun kabul edilebilir çimlenme performansı ve potansiyelini belirleyen özelliklerin toplamı olarak tanımlanmaktadır (ISTA, 2015). Bu tanımlamalar, tohum gücünün ölçülebilir tek bir özellikten ibaret olmadığını göstermektedir. Yani, üniform çimlenme ve fide gelişimi, uygun olmayan çevresel faktörler altında tohumun çıkış

kabiliyeti ile depolama sonrası çimlenme yeteneğinin korunması gibi tohumun performansını belirleyen özellikleri tohum gücünü belirleyen özellikler olarak değerlendirilmektedir. Böylece tohum gücü, genetik ve çevresel bileşenlerin karmaşık etkileşimleri sonucu, canlı tohumların arazi koşullarındaki performansı olarak değerlendirmiştir (McDonald, 1993; Milošević vd., 2010; Finch-Savage ve Bassel, 2016). Bu tanımlamalardan anlaşılacağı üzere tohum gücünü birçok faktör etkilemektedir.

3. TOHUM GÜCÜNÜ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Modern tarımda yüksek verim elde edebilmek için kullanılan teknoloji ve girdiler büyük önem taşımaktadır. Başarılı bir üretimin ilk aşaması sağlıklı ve kaliteli bitki elde etmekten geçmektedir. Sağlıklı bitki gelişimi ve performansı ise tohum gücüne bağlıdır (Basu ve Groot, 2023). Tohum gücü ise genetik, çevresel etmenler, hasat olgunluğu, yaşlanma, depolama koşulları ve tohum uygulamaları gibi pek çok faktör tarafından etkilenmektedir. Tarlaya tohumun direk ekim yöntemiyle yapıldığı üretimlerde birim alandaki bitki sayısı ve toplam verim arasında linear bir ilişki bulunmaktadır. Düşük tohum gücüne sahip tohumlarda homojen bir çimlenme ve çıkış gerçekleşmediğinden bitkiler arasında boşluklar oluşmakta ve verim kayıpları yaşanmaktadır. Dolayısıyla hem üretim alanlarında kayıp oluşurken kullanılan girdilerin maliyeti de artmaktadır. Bu nedenle tohum gücünü etkileyen faktörlerin hassas bir şekilde tespit ederek, tekniğine uygun ve yüksek güce sahip tohumluklar elde edilmeli ve bitkisel üretimin başarısı ve karlılığı artırılmalıdır.

3.1. Tohum Olgunluğu

Tohumun büyüklüğü, ağırlığı ve çiçeklenmeden sonra geçen süre gibi olgunluk parametreleri ile tohum gücü arasında ilişki bulunduğunu gösteren pek çok çalışma bulunmaktadır (Copeland ve McDonald, 2001). Tohum gücü, genellikle bitkinin ve tohumun olgunluk süresine bağlı olarak artmakta ve tohumun doğal dökülme aşamasında maksimum seviyeye ulaşmaktadır. Bu dönemde, tohuma besin maddesi birikimi tamamlanmış ve maksimum kuru ağırlığa ulaşmış olan fizyolojik olgunluk safhasından daha geç bir dönemdir (Basu ve Groot, 2023). Tohumlarda kurumanın hızlandığı dönemde, tohumlar metabolik aktivitelerini yağ, nişasta ve protein depolamadan, sıcaklık şoku proteinleri, şeker birikimi ve çekirdek DNA'da birtakım değişikliklik yapmaya yönlendirmektedir. Tohumların kuruma süresince tohum gücünde de kademeli bir artış gerçekleşmektedir. Dolayısıyla hasat olgunluğu tohum gücü üzerine oldukça önemli rol oynamaktadır.

Çimlenme ve güç gibi tohum kalite kriterleri üzerine hasat zamanının etkisi oldukça önemlidir. Örneğin, fasulyede çıkıştan 75 gün sonra hasat

edilen tohumlarda en yüksek çimlenme yüzdesi belirlenmiştir (Shaheb vd., 2015). Çeltikte çiçeklenmeden 50 gün sonra hasat edilen tohumlarda maksimum tohum gücü belirlenmiş 69. günde hasat edilenlere göre çimlenme oranı, çimlenme indeksi, güç indeksi ve çimlenme hızının daha yüksek olduğu saptanmıştır (Zhu vd., 2022). Ayçiçeğinde ise tozlanmadan 25-28 gün sonra hasat edilen tohumlarda en yüksek tohum gücü değerleri elde edilmiş ve en uygun hasat zamanının bu aralıklarda olabileceği belirtilmiştir (Cai vd., 2023). Mısırdaki erken olgunlaşan çeşitlerde ideal hasat zamanının tozlanmadan sonra 55-58. günlerde olduğu, geç olgunlaşan çeşitlerde ise ideal hasat zamanının tozlanmadan sonra 59-60. günlerde olduğu belirlenmiştir (Han vd., 2022). *Leymus chinensis* bitkisinde çiçeklenmeden 39 gün sonra maksimum tohum kalitesinin elde edildiği, bu süre sonunda tohum ağırlığının en yüksek seviyeye geldiği, tohum nem içeriğinin ve elektriksel iletkenliğinin ise en düşük seviyede olduğu bildirilmiştir (Lin vd., 2016). Biberde çiçeklenmeden itibaren 20-75 gün arasında kademeli olarak toplanan meyvelerden elde edilen tohumlarda en yüksek çimlenme oranı ve tohum kalitesinin 75. günde hasat edilen kırmızı meyve rengine sahip meyvelerden elde edilen tohumlarda belirlenmiştir (Vidigal vd., 2011). Domateste maksimum tohum kalitesinin çiçeklenmeden 70 gün sonra hasat edilen tohumlarda belirlendiği, daha erken veya daha geç hasatlarda tohum kalitesinin düştüğü saptanmıştır (Demir ve Samit, 2001). Biberde çiçeklenmeden 40, 60 ve 80 gün sonra alınan tohumlar arasında, 40. günde hasat edilen tohumlarda çimlenmenin %50'nin altında olduğu, en yüksek çimlenme değerlerinin 60. gün'de belirlendiği ve 80. gün'de ise tohum kalitesinin ve gücünün giderek düştüğü belirtilmiştir (Alan ve Eser, 2008). Benzer şekilde, hıyarda çiçeklenmeden 39 ve 43 gün sonra en yüksek çimlenme ve güç değerleri belirlenmiştir (Demir ve Yanmaz, 1997). Biber tohumlarının çimlenmesi ve tohum gücü ile toplam yağ asitleri ve şeker içeriği (sukroz, glikoz ve fruktoz) üzerine farklı gelişme devrelerinin (çiçeklenmeden 55, 65, 75 ve 85 gün sonra) ve kurutma sıcaklıklarının (25, 35 ve 45 °C) etkisinin incelendiği çalışmada, çiçeklenmeden sonra 75. günde hasat edilen tohumlarda hızlı yaşlandırma sonrası en yüksek çimlenme ve güç değerlerinin elde edildiği belirlenmiştir (Demir vd., 2008). Genellikle doğada tohumlar gerekli olgunluğa geldiğinde ana bitkiden ayrılmakta ve dökülmeye başlamaktadır.

Tohum gelişimi ve olgunluğu tohumun bitki üzerinde bulunduğu koma göre de değişiklik göstermektedir. Türleri göre meyve içinde, sulu meyve içinde ya da kapsül içerisinde olmak üzere bitki üzerinde farklı bölgelerde olgunluk tamamlanmaktadır. Tohumlar hasat olgunluğuna ulaştıktan sonra ana bitki üzerinde ya da meyve içerisinde kalmaya devam ettiklerinde yüksek sıcaklık, nem ve ultraviyole ışık gibi faktörlerin etkisiyle bozulmaya, kalite ve güç kaybetmeye başlamaktadırlar. Bu neden-

le tohumlar gerekli olgunluğuna ulaştıklarında meyve renginin değişimi, tohum kabuğu renginin değişimi, tohum sertliği, meyve veya tohumun bitkiden ayrılması gibi kriterler dikkate alınarak hasadı geciktirilmeden gerçekleştirilmelidir.

3.2. Çevresel Faktörler

Tohum gelişiminin ilk aşamasından başlayarak depolama ve fide çıkışı dönemine kadar tohum gücü üzerine birçok çevresel faktör etkili olmaktadır. Tohum partilerinin canlılık ve güç durumları tohum gelişimi, hasat ve hasat sonrası işlemler sırasında çevreye bağlı olarak önemli ölçüde farklılık göstermektedir (Reed vd., 2022). Tohum gelişim döneminde ortaya çıkan kuraklık, yüksek veya düşük sıcaklıklar, tuzluluk, böcek zararı gibi pek çok biyotik ve abiyotik çevresel faktörler altında gerçekleşen tohumların gücü, uygun koşullarda gelişimini tamamlayan tohumlara göre daha düşük olmaktadır (Basu ve Groot, 2023). Örneğin, tane dolum dönemindeki yüksek sıcaklıkların soya fasulyesinde ve bezelyede çimlenme ve güç kayıplarına neden olduğu bildirilmiştir (Egli vd., 2005; Lamichaney vd., 2021). Soyada tane dolum döneminde gerçekleşen kuraklık stresinin tane ağırlığı ve verimi ile tohumun canlılık ve gücünü azalttığı saptanmıştır (Dornbos vd., 1989). Yine, çeltikte tane dolum dönemindeki sıcaklık stresinin nişasta birikimi ve tanenin yapısını olumsuz etkileyerek tohum gücünü düşürdüğü belirlenmiştir (Wang vd., 2020).

Buğdayda çiçeklenmeden tohum olgunluğuna kadar geçen dönemde farklı derecelerde (20/15°C, 28/21°C ve 36/29°C) uygulanan sıcaklık stresleri arasında, yüksek sıcaklığın tohum gücünü, kök ve sürgün kuru ağırlığını düşürdüğü belirlenmiştir (Grass ve Burris, 1995). Ayçiçeğinde bitkinin çiçeklenme döneminde maruz bırakılan kuraklık stresinin, tabla çapını, verimi ve hasat indeksini olumsuz bir şekilde etkilediği, tohumun canlılık ve gücünde önemli azalmalara neden olduğu, ayrıca tane dolum döneminde yaşanan kuraklık stresinin ise 100 tane ağırlığını ve yağ içeriğini düşürdüğü belirlenmiştir (Reddy vd., 2003). Arpada tane dolum döneminde gerçekleşen kuraklık stresinin verimi düşürdüğünü ve tohumun canlılığını etkilemese bile hızlı yaşlandırma sonrası canlılığında azalmaya neden olduğu için tohum gücünü düşürdüğü belirtilmiştir (Samarah ve Alqudah, 2009). Özellikle çimlenme döneminde mısır (Khodarahmpour, 2011; Liu vd., 2015), ayçiçeği (Kaya vd., 2006), domates (Esan vd., 2018) ve hıyar (Bakhshandeh vd., 2021) gibi türlerin tohumlarının kuraklık ve tuz stersine karşı daha hassas olduğu belirtilmektedir. Abiyotik stres faktörleri arasında yer alan karbondioksit (CO₂)'in tohum gücü üzerine etkisinin incelendiği bir araştırmada, çeltikte tohum gelişim döneminde farklı dozlarda (410, 510, 610 ve 720 ppm) uygulanan CO₂'nin 720 ppm'de çimlenme oranını

düşürdüğü, 610 ppm’de ise tohum gücünün azaldığı özellikle anormal fide oranının arttığı belirlenmiştir (Lamichaney vd., 2019).

3.3. Tohum Büyüklüğü

Tohum büyüklüğü tohum kalitesinin önemli bir fiziksel belirteci olup, çimlenme ve çıkış oranı ile fide gelişimi üzerine etkili olmaktadır (Cope-land ve McDonald, 2001). Çeşitler arasındaki tohum büyüklüğünün farklılık göstermesi genetik faktörlere bağlıdır ve tohum büyüklüğü “çok iri, iri, orta, küçük ve çok küçük” olarak sınıflandırılmaktadır (Ambika vd., 2014). Soyada iri tohumların çimlenme ve çıkış oranının küçük tohumlara göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Burris vd., 1971). Tohum büyüklüğünün artmasıyla yulafta (Mut ve Akay, 2010), tritikalede (Kaydan ve Yagmur, 2008) daha yüksek çimlenme oranı ve fide gelişiminin arttığı belirlenmiştir. Çeltikte iri tohumların fide gücü, kök uzunluğu ve depo besin maddelerinin küçük tohumlara göre daha yüksek olduğu ve ayrıca kuraklık stresi altında süperoksit birikiminin ve hücre zarı hasarının daha düşük olduğu saptanmıştır (Albert vd., 2023). Yerfistiğinde iri tohumlarda orta ve küçük tohumlara göre uniform çimlenme ile fide gelişimi, kök ve sürgün uzunluğunun daha yüksek, yağ oranının ise daha fazla olduğu (Ankaiah vd., 2013), iri tohumlarda çimlenme ve güç indeklerinin daha yüksek olduğu (Cagasan ve Cagasan, 2022) belirlenmiştir. Ayçiçeğinde tuz stresi altında iri tohumların daha güçlü fide gelişimi ve çimlenme oranı gösterdiği de tespit edilmiştir (Kaya ve Day, 2008). Pamukta tohum büyüklüğü arttıkça yağ oranının ve tohum gücünün arttığı belirtilmiştir (Snider vd., 2014). Kavun tohumlarında tohum büyüklüğü azaldıkça çimlenme ve çıkış oranı ile fide gelişiminin azaldığı belirlenmiştir (Nerson, 2002). Aspirde tuz stresinde iri tohumların çimlenme yüzdesi, çimlenme hızı, kök ve sürgün uzunluğu, fide yaş ve kuru ağırlığı bakımından daha yüksek performansa sahip olduğu gösterilmiştir (Kaya vd., 2011).

3.4. Tohum Depo Maddeleri

Bazı türlerde tohum gücü daha yüksek depo rezervi kullanım etkinliği ve mobilizasyonu ile ilişkilidir. Tohumlar karbon rezervlerini, çimlenme ve fide gelişimi sürecindeki pre-ototrofik büyümeyi desteklemek amacıyla yağ kütleleri şeklinde depolamaktadır (Finch-Savage ve Bassel, 2016). Örneğin, fasulyede yüksek güce sahip tohumların depo maddesi içeriğinin, kullanım oranının ve mobilizasyonunun daha fazla olduğu, fide gelişiminin, bitki boyu ve kuru ağırlığının ise daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Padilha vd., 2020). Yüksek güce sahip tohumların biyokimyasal bileşenlerinde özellikle stres koşullarında minimum değişiklik meydana gelmekte ve strese dayanımını artırmaktayken, düşük güce sahip tohumlar stres faktörlerine daha hassas olup, bu durumun tohumdaki düşük yağ ve

protein içeriği ve embriyolarında artan aminoasit, karbonhidrat ve fosfor bileşenleri ile ilişkili olduğu belirtilmektedir (Andrade vd., 2020). Mısırdaki yüksek güce sahip tohumların depo maddesi kullanım oranının düşük güce sahip tohumlardan daha yüksek olduğu gösterilmiştir (Min vd., 2022). Tatlı mısırdaki zayıf tohum gücü ve çimlenmenin, tohumda hücre zarından olan sızıntının artması ve çimlenme sırasındaki enerji kaynağının yetersiz oluştundan ileri geldiği bildirilmiştir (Styer ve Cantliffe, 1983).

3.5. Tohumun Bitki Üzerindeki Konumu

Çevresel faktörlerin dışında tohum büyüklüğünü ve kalitesini etkileyen pek çok etmen bulunmaktadır. Tohumun bitki üzerinde bulunduğu pozisyon da bunlardan biridir (Ghassemi-Golezani vd., 2012). Meyvenin ya da tohumların içinde bulunduğu kapsüllerin bitki üzerinde ana dallarda, yan dallarda ya da dalın uç veya alt kısmında bulunuşu da tohum olgunluğunu dolayısıyla gücünü etkileyen faktörler arasında yer almaktadır (Basu ve Groot, 2023). Soya fasulyesinde 8. boğumdan, üstünden ve altından alınan tohumlarda toplam çimlenme oranı bakımından fark bulunmazken, alttan alınan tohumların 100 tane ağırlığı ve gücünün daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Hampton vd., 2005). Havuçta birincil ve ikincil yani olgun ve olgunlaşmamış çiçeklerden alınan tohumlarda, çimlenme oranının, çıkış hızı ve fide ağırlığının olgunlaşmış tohumlarda daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Thomas vd., 1977). Bamyada alt (1. ve 3.) ve orta (4. ve 8.) ve üst boğumlardaki meyvelerden alınan tohumların karşılaştırıldığı bir çalışmada, en yüksek çimlenme ve güç değerlerinin orta boğumdan alınan meyvelerden elde edildiği, daha üst kısımlardaki boğumlardan alınan tohumlarda ise kalite ve güç değerlerinin düştüğü tespit edilmiştir (Hedau, 2010).

3.6. Tohum Kabuğu

Tohum kabuğu, tohumu olumsuz çevre koşullarına karşı koruyan en önemli kısımdır. Sert tohum kabuğu, tohumu yalnızca mekanik stresten değil aynı zamanda mikroorganizma istilasından ve depolama sırasındaki sıcaklık ve nem dalgalanmalarından korumaktadır (Mohamed-Yasseen vd., 1994). Tohum kabuğu su alımı, dormansi, çimlenme ve tohum kalitesi gibi birçok faktör üzerine etkili olmaktadır (Mavi, 2010). Tohum kabuğunun, tohumun iç yüzeyi ile çevresel faktörler arasındaki ilişkisi üzerine etkisi oldukça fazladır. Tohum kabuğu, tohum bileşenlerinin bütünlüğünü sağlamakta, embriyoyu korumakta, embriyo ve dış ortam arasındaki gaz alışverişini sağlamakta, su alımı sürecini düzenlemekte böylece tohumun gücü ve tarla performansı üzerine etkili olmaktadır (Er ve Başalma, 2014). Suyun tohum kabuğundan olan giriş hızı tohumun su alımı sırasında zarar görmesine neden olabilmekte dolayısıyla su alım zararı tohum gücünü de

etkileyebilmektedir. Kahverengi ve beyaz tohum rengine sahip fasulye tohumlarında su alım zararını belirlemek amacıyla yapılan bir çalışmada, hasarın hem 20°C’de hem de 4°C’de ilk 6 saatlik emilimde beyaz renge sahip olanlarda daha şiddetli olduğu, her iki çeşitte de hızlı su alımında yüksek miktarda çözünmüş madde sızıntısının daha yüksek olduğu ve tohum gücünün düştüğü saptanmıştır (Powell vd., 1986). Baklagil bitkisi olan şufen (*Medicago truncatula*) tohumlarının su alımı ile 0.5, 2, 4, 6 ve 8. saatlerinde gerçekleşen biyokimyasal sürecinin değerlendirildiği çalışmada, ROS ve RNS (Reaktif Oksijen ve nitrojen türleri) birikiminin tüm saatler süresince gerçekleştiği, lipid peroksidasyonunun ise su alımının 4. saatinde hızlandığı bildirilmiştir. Hücre zarı fonksiyonunun yağ asitlerinin kalite ve miktarı arasındaki dengeye bağlı olduğu ve bu durumun da su alım zararını etkilediği bildirilmiştir (Doria vd., 2019). Özellikle düşük sıcaklık koşullarında membran daha az esnektir ve bozulma ve zararlanmaya daha yatkındır. Ayrıca su alım zararı tohumlar çok kuru olduğunda daha fazladır ve bu durum su emilimi sırasında su potansiyelinde büyük bir fark yaratarak zarlardan güçlü bir su akışına neden olmaktadır (Basu ve Groot, 2023). Bezelyede standart çimlendirme testlerinde çok kuru tohumların su alım zararına duyarlı olduğu, nem içeriğinin azalmasıyla birlikte su alım zararına duyarlı tohumların artabileceği, düşük nem içeriğine kadar kurutulmayı takiben oluşan zararın, kurutmanın bir sonucu olmaktan ziyade, çok kuru tohumların su alım zararına duyarlı olmasının bir sonucu olma ihtimalinin daha yüksek olduğu ve bu zararlanmanın çimlendirme testlerinden önce tohumların önceden nemlendirilmesiyle önlenebileceği belirtilmiştir (Ellis vd., 1990).

3.7. Yaşlanma ve Depolama

Tohum gücünü etkileyen bir diğer faktör yaşlanma ve depolama koşullarıdır. Tohum yaşlanması ve canlılığı depolama sırasındaki hava sıcaklığı, ortam nemi ve oksijen gibi pek çok faktörden etkilenmektedir (Tatić vd., 2012). Özellikle ortodoks tohumlar yüksek sıcaklık, nem ve oksijen varlığında depolandıklarında yaşlanma ve bozulma eğilimindedirler. Bu olumsuz depolama koşulları ve yaşlanma tohum gücünün giderek azalmasına neden olmaktadır.

Tohumun hasat öncesi bitki üzerinde bulunduğu andaki hava koşulları da tıpkı depolama koşulları gibi tohum gücü üzerine etkili olmaktadır. Tohumda yaşlanma süresince gerçekleşen biyokimyasal ve fiziksel değişimler tohum gücünü etkilemekte ve buna bağlı olarak tohumun performansını düşürmektedir (Bewley ve Black, 2013). Tohum yaşlanma sürecinin hızı tohumun bozulma faktörlerine direnme yeteneğine ve türe özgü koruma mekanizmalarına bağlıdır (Tatić vd., 2012). Spesifik kimyasal bileşimleri nedeniyle yağ içeriği zengin tohumların canlılığı daha sınırlıdır. Örneğin

ayçiçeği tohumlarının depolanması çimlenme ve canlılık kaybına yol açabilecek süreçleri kolayca tetikleyebilen yüksek yağ içeriği nedeniyle özel depolama koşulları gerektirmektedir. Ayrıca, yağ asitleri bileşimi yağların oksidasyona duyarlılığını belirlemektedir (Morello vd., 2004). Yağ içeriği, yağ asidi bileşimi ve protein içeriği gibi tohum kalite parametreleri, depolama koşulları ve süresinden önemli ölçüde etkilenmektedir (Ghasemnezhad ve Honermeier, 2007). Lipidler gibi DNA, RNA ve hücre zarında meydana gelen oksidasyon ve bozulmalar da tohum gücünü azaltmakta çimlenme ve fide gelişimini olumsuz etkilemektedir. Hücre zarında meydana gelen bu değişim ve bozulmalar hücre içerisindeki maddelerin dışarı sızmasına ve elektriksel iletkenliğin artmasına neden olmaktadır. Tohumun depolanma süresindeki yaşlanma hızını etkileyen bir faktör de tohum gücüdür. Yüksek güce sahip tohumların stres ve olumsuz depolama koşullarına toleransı daha fazladır ve düşük güce sahip tohum partileriyle karşılaştırıldıklarında daha düşük bir hızda canlılıklarını kaybederler (Thant vd., 2010).

3.8. Tohum İşleme ve Temizleme Teknikleri

Tohum işleme teknikleri de tohum kalitesi ve gücünü önemli şekilde etkilemektedir. Yüksek veya çok düşük nem içeriğine sahip tohumların işlenmesi tohum kabuğunda mekanik zararlanmalara neden olarak tohum canlılığını ve gücünün azaltmaktadır. Soya fasulyesinde üç farklı nem seviyesine sahip 6 tohum partisi dikey bir kovalı elevatörden, sınıflandırıcı-lı temizleyiciden ve yer çekimi ayırıcısından geçirildikten sonra mekanik hasar, çimlenme ve güç indeksi açısından değerlendirildiği bir çalışmada, %12 nem seviyesine sahip tohumların elevatörden geçirilme ve temizlenme sırasında %11 ve %10 nem içeriğine sahip tohumlardan daha az zarar gördüğü belirlenmiştir (Parde vd., 1998). Soyada yapılan başka bir çalışmada ise %12-14 nem içeriğine sahip tohumların %16-18 nem içeriğine sahip olanlara göre mekanik zararlanmanın daha az olduğu ve maksimum çimlenme yüzdesi değerlerini verdiği belirlenmiştir (Maryam ve Oskouie, 2011). Mısırdaki farklı nem seviyelerine (%12, %15, %18, %21 ve %24) sahip tohumların kalitesi üzerine mekanik zararlanmanın etkisinin incelendiği çalışmada, nem içeriği yükseldikçe zararlanma oranının arttığı ve tohum güç parametrelerinin düştüğü belirlenmiştir. Ayrıca embriyo zarar gördüğünde çimlenme, çıkış oranı ve sürgün uzunluğu büyük oranda azalırken endosperm zarar gördüğünde fide performansının daha az etkilendiği belirlenmiştir (Gu vd., 2019). Diğer taraftan, bazı patojenler tohumlarla birlikte yeni gelişen fidenin sağlığını olumsuz etkilemektedir. Fide hastalıklarını önlemek amacıyla sanitasyon uygulamaları yapılmaktadır. Kimyasal dezenfeksiyonun kullanımındaki kısıtlamaların artmasıyla birlikte fiziksel sanitasyon yöntemleri ve doğal bileşenlerin kullanımı giderek daha da popüler hale gelmektedir (Basu ve Groot, 2023). Mikrodalga elektrik, sıcak su ya da buhar gibi tekniklerin kullanıldığı bu uygulamaların amacı

tohum gücünü olumsuz etkileyen patojenleri yok etmektir. Örneğin lahana ve havuçta olgunlaşmamış tohumların sıcak su ya da buhar uygulamasına olgun tohumlara göre daha hassas olduğu belirlenmiştir (Groot vd., 2006). Ayrıca mekanik zararlanmanın üzerine genetik faktörlerin de etkili olabileceği belirtilmiştir. Renkli fasulye tohumlarının mekanik zararlanmalara karşı beyaz fasulye tohumlarından daha dayanıklı olduğu bildirilmiştir (Copeland ve McDonald, 2001).

3.9. Genetik Faktörler

Tohum gücü pek çok faktörden etkilenen karmaşık bir kantitatif özelliktir. Bitki boyu, çiçeklenme zamanı, kardeşlenme, verim, kalite, bazı hastalık zararlılara karşı dayanıklılık gibi birçok karakter kantitatif olarak kontrol edilmektedir. Kantitatif özelliklerin gen bölgeleri QTL (quantitative trait loci) olarak adlandırılmaktadırlar (İşçi, 2008). Tohum gücünü belirlemek amacıyla da dizileme ve genomik teknikler (QTL) farklı bitki türlerinde kullanılmaya başlanmıştır. Örneğin, çeltik ve buğdayda sırasıyla 19. ve 26. QTL'in tohum gücü ile ilgili olduğu belirlenmiştir (Li vd., 2017; Shi vd., 2020). Arpa hatlarında ağır tohumlardan elde edilen fidelerin daha iyi gelişim ve daha yüksek solunum oranı gösterdiği belirlenmiştir. Tohum gücünün mitokondri miktarı ve mitokondriyal oksidatif aktivite oranıyla da ilişkili olduğu belirtilmiştir (McDaniel, 1973).

4. SONUÇ

Başarılı bir bitkisel üretimin ilk şartı kaliteli ve yüksek vasıflara sahip tohumluk kullanmaktır. Tohum canlılığının yüksek olması her zaman üstün vasıflara sahip olduğu anlamına gelmemektedir. Bu nedenle, ilk olarak tohumluk üretiminde tohum gücünü yükseltmek amacıyla tüm agronomik uygulamaların eksiksiz olarak yapılması gerekmektedir. Hasat zamanının tespiti, uygun kurutma ve depolama, boylama ve temizleme gibi hasat sonrası işlemlerin tekniğine uygun bir şekilde yapılması tohumların ekim zamanına kadar canlılığını ve gücünü korumasını sağlamaktadır. Bitki tür ve çeşitlerine uygun üretim, işleme ve depolama koşullarının sağlanması ile tohum kalitesinin korunması ve yükseltilmesi sağlanabileceği gibi bitkisel üretimin de başarılı bir şekilde yürütülmesine önemli katkılar sunacaktır.

KAYNAKLAR

- Alan, Ö., & Eser, B. (2008). The effect of fruit maturity and post-harvest ripening on seed quality in hot and conic pepper cultivars. *Seed Science and Technology*, 36(2), 467-474.
- Albert, D., Vijayaraghavareddy, P., & Sreeman, S. (2023). Seed size, an imperative trait for seed vigor and drought tolerance in rice. *Cereal Research Communications*, 1-10.
- Ambika, S., Manonmani, V., & Somasundaram, G. (2014). Review on effect of seed size on seedling vigour and seed yield. *Research Journal of Seed Science*, 7(2), 31-38.
- Andrade, G. C., Coelho, C. M. M., & Uarrota, V. G. (2020). Modelling the vigour of maize seeds submitted to artificial accelerated ageing based on ATR-FTIR data and chemometric tools (PCA, HCA and PLS-DA). *Helvion*, 6(2).
- Ankaiah, R., Bharathi, M., Varma, V. S., Kumari, K. M., Durga, K. K., & Rani, C. V. D. (2013). Effect of seed size on seedling vigour in groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *Madras Agric. J.*, 100 (4-6), 324-327.
- Bakhshandeh, E., Abdellaoui, R., & Boughalleb, F. (2021). Modeling the effects of salt stress and temperature on seed germination of cucumber using halothermal time concept. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 33(1), 79-93.
- Basu, S., & Groot, S. P. (2023). Seed vigour and invigoration. *Malavika Dadlani*, 67.
- Bewley, J. D., & Black, M. (2013). *Seeds: physiology of development and germination*. Springer Science & Business Media.
- Burris, J. S., Wahab, A. H., & Edje, O. T. (1971). Effects of Seed Size on Seedling Performance in Soybeans. I. Seedling Growth and Respiration in the Dark 1. *Crop Science*, 11(4), 492-496.
- Cagasan, U., & Cagasan, V. M. E. (2022). Effects of Hydro-priming and seed size on the germination, root, and shoot of peanut (*Arachis hypogaea* L. var. NSIC Pn18) grown under drought Conditions. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 53(1), 1-7.
- Cai, S., Xu, H., Wu, L., Wang, G., Liu, J., & Song, J. (2023). Physiological changes involved in the acquisition of seed vigor during maturation of sunflower seed. *Acta Physiologiae Plantarum*, 45(3), 51.
- Copeland, L. O., & McDonald, M. B. (2001). Seed vigor and vigor testing. *Principles of Seed Science and Technology*, 165-191.
- Delouche, J. C., & Caldwell, W. P. (1960, January). Seed vigor and vigor tests. In *Proceedings of the Association of Official Seed Analysts*, 50(1), 124-129.

- Demir, I., & Samit, Y. (2001). Quality of tomato seeds as affected by fruit maturity at harvest and seed extraction method. *Gartenbauwissenschaft*, 66(4), 199-201.
- Demir, I., & Yanmaz, R. (1997). Development of seed quality in cucumber (*Cucumis sativus* L.). In *I International Symposium on Cucurbits* 492, 71-76.
- Demir, I., Tekin, A., Ökmen, Z. A., Okcu, G., & Kenanoğlu, B. B. (2008). Seed quality, and fatty acid and sugar contents of pepper seeds (*Capsicum annuum* L.) in relation to seed development and drying temperatures. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 32(6), 529-536.
- Doria, E., Pagano, A., Ferreri, C., Larocca, A. V., Macovei, A., Araújo, S. D. S., & Balestrazzi, A. (2019). How does the seed pre-germinative metabolism fight against imbibition damage? Emerging roles of fatty acid cohort and antioxidant defence. *Frontiers in Plant Science*, 10, 489269.
- Dornbos Jr, D. L., Mullen, R. E., & Shibles, R. E. (1989). Drought stress effects during seed fill on soybean seed germination and vigor. *Crop Science*, 29(2), 476-480.
- Egli, D. B., TeKrony, D. M., Heitholt, J. J., & Rupe, J. (2005). Air temperature during seed filling and soybean seed germination and vigor. *Crop Science*, 45(4), 1329-1335.
- Ellis, R. H., Hong, T. D., & Roberts, E. H. (1990). Effect of moisture content and method of rehydration on the susceptibility of pea seeds to imbibition damage. *Seed Science and Technology*, 18(1), 131-137.
- Er, C. & Başalma, D. (2014). Tohumluk ve Tohumculuk: Temel İlkeler ve Teknoloji. Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic.Ltd.Şti. Ankara, 236s.
- Esan, V. I., Ayanbamiji, T. A., Adeyemo, J. O., & Oluwafemi, S. (2018). Effect of drought on seed germination and early seedling of tomato genotypes using polyethylene glycol 6000. *International Journal of Sciences*, 7(02), 36-43.
- Finch-Savage, W. E., & Bassel, G. W. (2016). Seed vigour and crop establishment: extending performance beyond adaptation. *Journal of Experimental Botany*, 67(3), 567-591.
- Ghasemnezhad, A., & Honermeier, B. (2009). Influence of storage conditions on quality and viability of high and low oleic sunflower seeds. *International Journal of Plant Production*, 3(4), 39-48.
- Ghassemi-Golezani, K., Lotfi, R., & Norouzi, M. (2012). Seed quality of soybean cultivars affected by pod position and water stress at reproductive stages. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences*, 2(2), 119-125.
- Ghosh, M., Gorain, J., Pal, A. K., Saha, B., Chakraborti, P., Avinash, B., ... & Sarkar, S. (2021). Study of seed morphology and influence of ageing and

- storage conditions on germination and seedling vigour of non-Basmati aromatic rice. *Journal of Stored Products Research*, 93, 101863.
- Grass, L., & Burris, J. S. (1995). Effect of heat stress during seed development and maturation on wheat (*Triticum durum*) seed quality. I. Seed germination and seedling vigor. *Canadian Journal of Plant Science*, 75 (4), 821-829.
- Groot, S. P. C., Birnbaum, Y., Rop, N., Jalink, H., Forsberg, G., Kromphardt, C., ... & Koch, E. (2006). Effect of seed maturity on sensitivity of seeds towards physical sanitation treatments. *Seed Science and Technology*, 34(2), 403-413.
- Gu, R. L., Huang, R., Jia, G. Y., Yuan, Z. P., Ren, L. S., Li, L. I., & Wang, J. H. (2019). Effect of mechanical threshing on damage and vigor of maize seed threshed at different moisture contents. *Journal of Integrative Agriculture*, 18(7), 1571-1578.
- Hampton, J. G., Rahman, M. M., Mwakangwale, M. G., & Hill, M. J. (2005). Does seed weight explain seed vigour differences in seeds from different pod positions on the plant? *Seed Science and Technology*, 33(2), 499-503.
- Han, D., Hu, H., Yang, J., Liang, X., Ai, J., Abula, A., ... & Wang, J. (2022). The ideal harvest time for seed production in maize (*Zea mays* L.) varieties of different maturity groups. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(13), 5867-5874.
- Hedau, N. K., Singh, G., Mahajan, V., Singh, S. R. K., & Gahlain, A. (2010). Seed quality and vigour in relation to nodal position and harvesting stage of okra under mid hills of North-western Himalayas. *Indian Journal of Horticulture*, 67(4), 251-253.
- ISTA (2015) International rules for seed testing. International Seed Testing Association, Basserdorf
- Kaya, D. M., Bayramin, S., Kaya, G., & Uzun, O. (2011). Seed vigor and ion toxicity in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) seedlings produced by various seed sizes under NaCl stress. *Archives of Biological Sciences*, 63(3), 723-729.
- Kaya, M. D., & Day, S. (2008). Relationship between seed size and NaCl on germination, seed vigor and early seedling growth of. *African Journal of Agricultural Research*, 3(11), 787-791.
- Kaya, M. D., Okçu, G., Atak, M., Cıkılı, Y., & Kolsarıcı, Ö. (2006). Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *European Journal of Agronomy*, 24(4), 291-295.
- Kaydan, D., & Yagmur, M. (2008). Germination, seedling growth and relative water content of shoot in different seed sizes of triticale under osmotic stress of water and NaCl. *African Journal of Biotechnology*, 7(16), 2862.

- Khodarahmpour, Z. (2011). Effect of drought stress induced by polyethylene glycol (PEG) on germination indices in corn (*Zea mays* L.) hybrids. *African. J Biotechnol*, 10, 18222–18227
- Lamichaney, A., Parihar, A. K., Hazra, K. K., Dixit, G. P., Katiyar, P. K., & Singh, D. (2021). Untangling the influence of heat stress on crop phenology, seed set, seed weight, and germination in field pea (*Pisum sativum* L.). *Frontiers in Plant Science*, 12, 635868.
- Lamichaney, A., Swain, D. K., Biswal, P., Kumar, V., Singh, N. P., & Hazra, K. K. (2019). Elevated atmospheric carbon–dioxide affects seed vigour of rice (*Oryza sativa* L.). *Environmental and Experimental Botany*, 157, 171-176.
- Li, J., Wan, H., Wei, H., Wang, Q., Zhou, Y., & Yang, W. (2017). QTL mapping for early vigor related traits in an elite wheat-breeding parent Chuanmai 42 derived from synthetic hexaploid wheat. *Pak J Agric Sci*, 55, 33-45.
- Lin, J., Wang, Y., Qi, M., Li, X., Yang, C., Wang, Y., & Mu, C. (2016). Optimum harvest maturity for *Leymus chinensis* seed. *Biology Open*, 5(6), 720-725.
- Liu, M., Li, M., Liu, K., & Sui, N. (2015). Effects of drought stress on seed germination and seedling growth of different maize varieties. *Journal of Agricultural Science*, 7(5), 231-240.
- Maryam, D., & Oskouie, B. (2011). Study the effect of mechanical damage at processing on soybean seed germination and vigor. *ARPJ Journal of Agricultural and Biological Science*, 7, 60-64.
- Mavi, K. (2010). The relationship between seed coat color and seed quality in watermelon Crimson sweet. *Horticultural Science*, 37(2), 62-69.
- McDaniel, R. G. (1973). Genetic factors influencing seed vigor: biochemistry of heterosis. *Seed Science and Technology*, 1(1), 25-50.
- McDonald, M. B. (1993). The history of seed vigor testing. *Journal of Seed Technology*, 93-100.
- Milošević, M., Vujaković, M., & Karagić, Đ. (2010). Vigour tests as indicators of seed viability. *Genetika*, 42(1), 103-118.
- Min, L., Wen, D. X., Sun, Q. Q., Wu, C. L., Yan, L. I., & Zhang, C. Q. (2022). Factors influencing seed reserve utilization during seedling establishment in maize inbred lines. *Journal of Integrative Agriculture*, 21(3), 677-684.
- Mohamed-Yasseen, Y., Barringer, S. A., Splittstoesser, W. E., & Costanza, S. (1994). The role of seed coats in seed viability. *The Botanical Review*, 60, 426-439.
- Morello, J. R., Motilva, M. J., Tovar, M. J., & Romero, M. P. (2004). Changes in commercial virgin olive oil (cv Arbequina) during storage, with special emphasis on the phenolic fraction. *Food Chemistry*, 85(3), 357-364.
- Mut, Z., & Akay, H. (2010). Effect of seed size and drought stress on germination and seedling growth of naked oat (*Avena sativa* L.). *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 16(4), 459-467.

- Nerson, H. (2002). Relationship between plant density and fruit and seed production in muskmelon. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 127(5), 855-859.
- Padilha, M. S., Coelho, C., Medeiros, M., & Andrade, G. C. D. (2020). Seed reserve mobilization evaluation for selection of high-vigor common bean cultivars. *Revista Caatinga*, 33, 927-935.
- Parde, S. R., Kausal, R. T., Jayas, D. S., & White, N. D. (1998). Mechanical damage to soybean seed during processing. In *2001 ASAE Annual Meeting* (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Powell, A. A., Oliveira, M. D. A., & Matthews, S. (1986). The role of imbibition damage in determining the vigour of white and coloured seed lots of dwarf french beans (*Phaseolus vulgaris*). *Journal of Experimental Botany*, 37(5), 716-722.
- Reddy, G. K. M., Dangi, K. S., Kumar, S. S., & Reddy, A. V. (2003). Effect of moisture stress on seed yield and quality in sunflower, *Helianthus annuus* L. *Journal of Oilseeds Research*, 20 (2), 282-283
- Reed, R. C., Bradford, K. J., & Khanday, I. (2022). Seed germination and vigor: ensuring crop sustainability in a changing climate. *Heredity*, 128(6), 450-459.
- Samarah, N., & Alqudah, A. (2011). Effects of late-terminal drought stress on seed germination and vigor of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Archives of Agronomy and Soil Science*, 57(1), 27-32.
- Shaheb, M. R., Islam, M. N., Nessa, A., & Hossain, M. A. (2015). Effect of harvest times on the yield and seed quality of French bean. *SAARC J. Agri.*, 13(1), 01-13.
- Shi, H., Guan, W., Shi, Y., Wang, S., Fan, H., Yang, J., ... & Jing, R. (2020). QTL mapping and candidate gene analysis of seed vigor-related traits during artificial aging in wheat (*Triticum aestivum*). *Scientific Reports*, 10(1), 22060.
- Sivritepe, H. Ö. (2012). Tohum gücünün değerlendirilmesi. *Alatarım Dergisi*, 11(2), 33-44.
- Snider, J. L., Collins, G. D., Whitaker, J., Chapman, K. D., Horn, P., & Grey, T. L. (2014). Seed size and oil content are key determinants of seedling vigor in *Gossypium hirsutum*. *Journal of Cotton Science*, 18(1), 1-9.
- Styer, R. C., & Cantliffe, D. J. (1983). Changes in seed structure and composition during development and their effects on leakage in two endosperm mutants of sweet corn. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 108(5), 721-728.
- Şehirali, S. (1997). Tohumluk ve Teknolojisi. Fakülteler Matbaası, İstanbul. 422s.

- Tatić, M., Balešević-Tubić, S., Đorđević, V., Miklič, V., Vujaković, M., & Đukić, V. (2012). Vigor of sunflower and soybean aging seed. *Helia*, 35(56), 119-126.
- Thant, K. H., Duangpatra, J., & Romkaew, J. (2010). Appropriate temperature and time for an accelerated aging vigor test in sesame (*Sesamum indicum* L.) seed. *Agriculture and Natural Resources*, 44(1), 10-16.
- Thomas, T. H., Gray, D., & Biddington, N. L. (1977). The influence of the position of the seed on the mother plant on seed and seedling performance. In *Symposium on Seed Problems in Horticulture*, 83 pp. 57-66.
- Vidigal, D. D. S., Dias, D. C. F. D. S., Dias, L. A. D. S., & Finger, F. L. (2011). Changes in seed quality during fruit maturation of sweet pepper. *Scientia Agricola*, 68, 535-539.
- Wang, X., Zheng, H., & Tang, Q. (2020). Seed filling under different temperatures improves the seed vigour of hybrid rice (*Oryza sativa* L.) via starch accumulation and structure. *Scientific Reports*, 10, 563.
- Xing, M., Long, Y., Wang, Q., Tian, X., Fan, S., Zhang, C., & Huang, W. (2023). Physiological alterations and nondestructive test methods of crop seed vigor: A comprehensive review. *Agriculture*, 13(3), 527.
- Yin, G., Xin, X., Song, C., Chen, X., Zhang, J., Wu, S., ... & Lu, X. (2014). Activity levels and expression of antioxidant enzymes in the ascorbate–glutathione cycle in artificially aged rice seed. *Plant Physiology and Biochemistry*, 80, 1-9.
- Zhang, T., Fan, S., Xiang, Y., Zhang, S., Wang, J., & Sun, Q. (2020). Non-destructive analysis of germination percentage, germination energy and simple vigour index on wheat seeds during storage by Vis/NIR and SWIR hyperspectral imaging. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 239, 118488.
- Zhu, M., Yu, X., Zhao, G., & Wang, L. (2022). Effects of harvest time on seed vigor, enzyme activity and gene expression of conventional japonica rice. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 68(4), 460-475.

BÖLÜM 3

ANTALYA SERİK İLÇESİ YUMAKLAR KÖYÜ KIRÇALI MERASININ VEJETASYON VE TOPRAK KARAKTERİSTİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Şahin PALTA¹

Cemil CANİŞ²

Eren BAŞ³

1 Şahin PALTA (Doç. Dr.), Bartın Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Havza Amenajmanı ABD, Bartın, Orcid: 0000-0002-0223-6215

2 Cemil CANİŞ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Orman Mühendisliği ABD, Bartın, Orcid: 0009-0008-5770-5702

3 Eren BAŞ (Arş. Gör.), Bartın Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Havza Amenajmanı ABD, Bartın Orcid: 0000-0002-0260-7485

1. GİRİŞ

Dünyada nüfus hızlı bir şekilde artmakta ve bu artan nüfusla birlikte insanlar doğal kaynakları daha fazla tahrip etmektedir. Geçmiş yıllardan günümüze kadar gelen insanların arazileri yanlış kullanması, ihtiyaçlarını karşılamaları sırasında su ve çevre kirliliğine sebebiyet vermeleri, biyolojik çeşitliliğin azalmasına ve ekosistemlerin tahrip olmasına neden olmaktadır (Asan, 1995; Mısır vd., 2011; Sivrikaya ve Bozali, 2012).

Meralar, eğimli, engebeli ve taban suyu derinde olan arazi parçaları olarak bilinmektedir. Genellikle kısa boylu ve seyrek bitkilerden oluşan meralardan hayvan otlatılmak suretiyle faydalanılmaktadır (Altın vd., 2005). Bu nedenle meraları uzun yıllar düzensiz olarak otlatmak, yem bitkisi olarak bilinen nitelikli vejetasyonun tahrip olmasına yol açabilmektedir. Mera vejetasyonu açısından önemli olan bu bitki türleri hem hayvanlara yem sağlamakta hem de toprak koruma görevi görmektedir. Ancak tahrip olan bu vejetasyonun yerine gelen bitki türleri genellikle hayvanlar tarafından tercih edilmez ve toprağı koruma görevini üstlenemez (Dormar ve Willms, 1992). Mera alanlarında erken ve plansız otlatma yapılması, düzenli ıslah çalışmalarının yapılmaması, vejetasyon örtüsünün bozulmasına sebebiyet vermekte, aynı zaman da ot verimini azaltmaktadır (Gökkuş ve Koç, 2001). Mera alanlarının bitki örtüsünde her sene değişim gözlemlenebilmektedir. Bu nedenle verimli bir mera arazisinin oluşturulması ve sürdürülebilirliğinin sağlanması açısından, otlatma planlarına uymak önem taşımaktadır (Serin ve Tan, 1998).

Mera toprakları genel olarak taban suyu derinde, taşlı, çakıllı, bazik özellik taşıyan ve bazen tuzluluk gösteren yapıdadır. Suni mera olarak nitelendirilen meralar ise verimli, derin, orta bünyeli toprağı sahip, düzlük arazilerde konumlanmakta ve yapay tohumlama yöntemi için uygun niteliktedirler (URL-1, 2021). Nemli mera topraklarında hayvanların yoğun olarak otlatılması, toprak sıkışmasını meydana getirmektedir (Thurow, 1991). Toprak sıkışması, bitki köklerini tahrip ederek gelişimini engellemektedir. Ayrıca bu durum toprak ve su kaybı gibi olumsuzlukları da beraberinde getirmektedir (Altın vd., 2011). Bitki köklerinin sıkışmış topraklarda gelişmemesi sonucunda, suyun toprak içinde hareketi kısıtlanmakta ve bu durum toprak erozyonu oluşumunu artırmaktadır. Aynı zamanda alanda artan istilacı türler, nitelikli yem bitkisi üretimini azaltmaktadır (Hanselka vd., 2016). Toprağın kimyasal özellikleri ile otlatma arasında da etkileşimler bulunmaktadır. Mera alanlarında yapılan düzensiz ve aşırı otlatma sonucunda bitkiler tarafından alınan azot, fosfor ve potasyum miktarları azalabilmektedir (Xie ve Wittig, 2004). Faizul vd. (1995) tarafından yapılan çalışmada da, aşırı otlatmanın toprak erozyonunun artmasına neden olacağı ve organik madde miktarının azalacağı belirtilmiştir. Ülkemizde

farklı coğrafyalarda, mera toprakları ve vejetasyonları ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır.

Bartın ilinde bulunan bir merada yapılan çalışmada, toplam 31 familyaya ait 93 adet bitki taksonu bulunmuştur. Botanik kompozisyon hesabında ise buğdaygiller, baklagiller ve diğer familya oranlarını sırasıyla %34.17, %14.36 ve %51.47 olarak tespit edilmiştir. Mera kalitesinin ise orta derecede olduğu belirtilmiştir. Alanın toprak özelliklerinin ise balçıklı sınıfta, organik madde bakımından zengin, hafif asidik, tuzluluk sorunu olmayan ve kireçsiz özellikte olduğu bulunmuştur (Şengönül vd., 2009).

Ağın (2012) tarafından Bingöl ilinde bulunan bir doğal mera alanında yapılan çalışma da, vejetasyon örtüsünün %85.80 olduğu, botanik kompozisyonun ise %59.90'ını buğdaygillerin, %2.80'ini baklagillerin ve %37.30'unu diğer familyaların oluşturduğu tespit edilmiştir.

Yavuz vd. (2012) Amasya ilinde bulunan bir doğal merada yaptıkları çalışmada toplam 186 bitki türü tespit etmişlerdir. Bu bitkilerin 42 tanesi baklagiller, 40 tanesi buğdaygiller ve 104 tanesinin diğer familyalardan oluştuğu belirtilmiştir. Ayrıca alanda vejetasyon örtüsünün %77.80 olduğu ve botanik kompozisyon değerlerinin baklagiller, buğdaygiller ve diğer familyalara göre sırasıyla %22.84, %41.81 ve %35.35 olduğu ifade edilmiştir.

Isparta ilindeki mera alanında yapılan bir çalışma, botanik kompozisyonun %63.51 ile buğdaygillerden oluştuğu, %20.10'unun ise diğer familyaların bitkilerinden oluştuğu, %16.39'luk kısmının ise baklagillerden oluştuğu belirtilmiştir. Alanın toprak özelliklerine bakıldığında ise hafif alkali sınıfta, kireç içeriği fazla, organik madde miktarının iyi derecede olduğunu tespit edilmiştir (Babalık ve Sarıkaya, 2015).

Polat vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada, korunan ve otlatılan alan olarak ikiye ayrılan meralardaki farklılıklar belirlenmiştir. Bunun sonucunda korunan alanlarda ki botanik kompozisyon, buğdaygillerde %74.88, baklagillerde %8.18, diğer familyalarda ise %17.71 olarak tespit edilmiştir. Otlatılan alanda ise buğdaygiller %28.86, baklagiller %3.08, diğer familyalar %67.81 olarak belirlenmiştir.

Babalık ve Matrasulov (2020) tarafından Antalya'nın Kemer ilçesinde ki Çukuryayla merasında yürütülen çalışmada, meralarda ki toprak üstü biyokütlenin 309 kg/da, toprak altı biyokütlenin ise 399 kg/da olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca alanın tekstür sınıfının killi yapıda olduğu, hacim ağırlığının 1.217 gr/cm³ olduğu, pH'sının alkali, kireç içeriğinin %1.23, organik madde miktarının ise %2.56 olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca toprakların tuzsuz olduğu ve K, Ca, P ve Mg miktarları sırasıyla 281.6 ppm, 10041.8 ppm, 6.3 ppm ve 1211.2 ppm olarak tespit edilmiştir.

Palta vd. (2022) tarafından Şanlıurfa ilinde bulunan doğal ve suni mera alanlarının karşılaştırılması üzerine yapılan bir çalışmada, her iki alanda da topraklar killi balçık sınıfta, toplam azot ve organik madde içeriklerinin az, kireç içeriklerinin fazla, fosfor içerikleri yeterli düzeyde ve potasyum içeriğinin doğal mera alanlarında az, ancak suni mera alanlarında yeterli seviyede olduğu ifade edilmiştir.

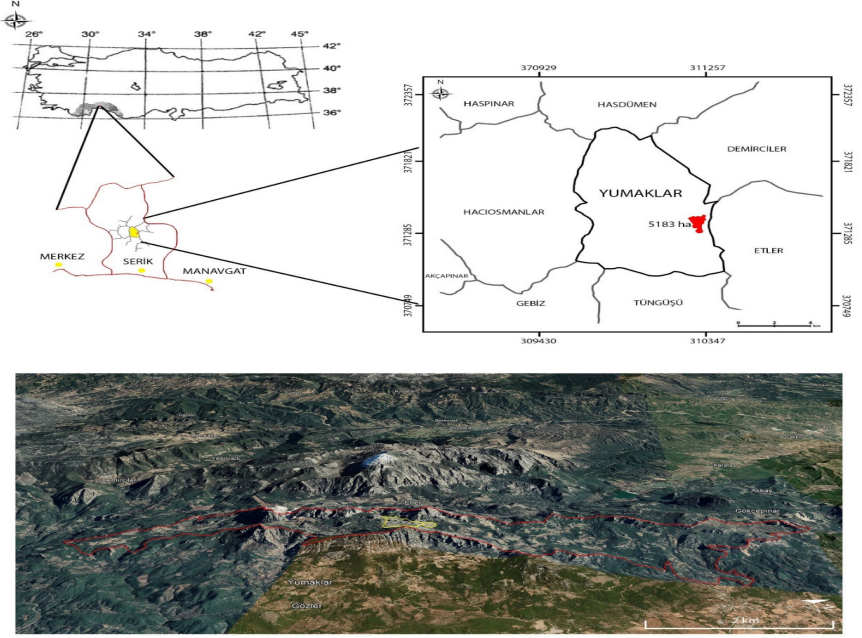
Palta vd. (2023) tarafından Çorum ilinde bulunan mera alanlarında yükseltiye göre toprak ve vejetasyon özelliklerinin nasıl değiştiği araştırılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, yükseltinin artmasına bağlı olarak buğdaygillerin botanik kompozisyon değerlerinin arttığını tespit edilmiştir. Diğer familyaların botanik kompozisyon değerinin ise alt yükseltide daha yüksek olduğu, bunun sebebinin ise üreticilerin alt yükseltelerde hayvanlarını daha fazla otlattığından kaynaklandığı belirtilmiştir. Toprak özellikleri bakımından bitki büyümesini engelleyici bir faktörün olmadığı, ancak otlatma olgunluğuna gelmeden alanda hayvan otlatılması yapıldığı için bitkilerin gelişemediği bildirilmiştir.

Türkiye'nin farklı coğrafyalarında bulunan mera alanlarımızda birden fazla yapılmış çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar genellikle mera alanlarının toprak ve vejetasyon özelliklerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Daha önce yapılan çalışmalar mera alanlarının durumunu ortaya koyarak, bundan sonra nasıl bir önlem alınması gerektiğinin bir altlığını oluşturmaktadır. Bu nedenle farklı coğrafyalarda farklı mera alanlarında yapılan çalışmalar önem arz etmektedir. Bu çalışmanın amacı Antalya ilinin Serik Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisinde yer alan tescilli bir mera alanındaki vejetasyon özellikleri ile toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin araştırılmasıdır.

2. MATERYAL VE METOD

2.1 Materyal

Çalışma, Antalya ili Serik ilçesinde bulunan tescilli bir merada gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanı 37° 08' 26" kuzey enlemi ile 31° 01' 51" doğu boylamı arasında yer almaktadır (Şekil 2.1). Çalışma alanının ortalama yüksekliği yaklaşık 1053 metredir.



Şekil 2.1: Çalışma alanının harita üzerindeki görüntüsü.

Uzun yıllar (2011-2020) meteoroloji değerlerine bakıldığında yıllık yağış toplamı 1559.9 mm civarında olduğu görülmektedir. Aynı zamanda en yüksek ortalama sıcaklık 24.9°C ile ağustos ayında, en düşük sıcaklık ise ortalama 5.3°C ile ocak ayında ölçülmüştür. Yıllık ortalama sıcaklık ise 15.3°C'dir (MGM, 2023).

2.2 Metod

Çalışma alanında bulunan bitkiler ayrı ayrı teşhis edilmiştir. Daha sonra bitkiler buğdaygiller, baklagiller ve diğer familyalar olacak şekilde sınıflandırma yapılarak, botanik kompozisyon analizi yapılmıştır. Ayrıca alanda, toprakların kimyasal ve fiziksel analizleri için toprak örnekleme si gerçekleştirilmiştir. Toprak örnekleri 0-20 cm derinlikten alınmış olup, toplamda ise alanı temsilen 10 adet örnek alınmıştır.

2.2.1 Toprak Analizleri

Toprakların tane çapları Bouyoucos hidrometre yöntemine göre tespit edilmiştir (Bouyoucos, 1962). Kum, kil, toz olarak toprak sınıflarının belirlenmesi ise Amerikan Toprak Tekstür Üçgeni'nden yararlanılarak belirlenmiştir (USDA, 1987). Toprak reaksiyonunun (pH) belirlenmesinde topraklar 1/2.5 saf su ile karıştırılmış ve daha sonra pH metre ile ölçülmüştür (Irmak, 1954; Schofield ve Taylo, 1955; Gülçur, 1974; Conyers ve Davey,

1988; Kantarcı, 2000). Elektriksel iletkenliğinin belirlenmesinde ise topraklar 1/5 oranında saf su ile karıştırılmış ve EC probu ile ölçülerek analiz edilmiştir (Gülçur, 1974; Erüz, 1979; Rhoades, 1982). Scheibler kalsimetre yöntemine göre kireç içeriği tespit edilmiştir (Allison ve Moodie, 1965; Gülçur, 1974; Kaçar, 1995). Organik karbon içerikleri Walkley-Black yaş yakma yöntemine göre (Walkley ve Black, 1934; Irmak, 1954; Gülçur, 1974) ve toplam azot içerikleri modifiye Kjeldahl yöntemine göre bulunmuştur (Bremner ve Mulvaney, 1982). Toprakların pH'sı bazik reaksiyonlu olduğundan dolayı alınabilir fosfor içerikleri Olsen vd. (1954) tarafından geliştirilen yöntemle göre, alınabilir potasyum içerikleri ise Atalay (1982) tarafından geliştirilen yöntemle göre belirlenmiştir.

2.2.2 Vejetasyon Örtüsü ve Botanik Kompozisyonun Belirlenmesi

Çalışma alanında vejetasyon döneminin başlaması ile düzenli olarak araziye gidilmiş ve çizgi kesişme –transekt yöntemi ile buğdaygil, baklagil ve diğer familya olacak şekilde botanik kompozisyon analizi yapılmıştır (Babalık, 2004; Gökbülak, 2013). Botanik kompozisyon hesabında 100 cm uzunluğunda, toplam 16 adet transekt hat örnekleme yapılmıştır. Daha sonra hat boyunca, hatta temas eden bitkilerin temas mesafeleri ölçülmüş ve yüzde olarak botanik kompozisyon hesapları yapılmıştır (Babalık, 2004; Gökbülak, 2013) (Eşitlik 2.1-2.2). Bitki teşhisleri cins ve tür bazında gerçekleştirilmiştir.

$$\text{Vejetasyon Örtüsü (\%)} = \frac{\text{Bitki ile temas edilen toplam mesafe (m)}}{\text{Ölçülen toplam uzunluk (m)}} \times 100 \quad (2.1)$$

$$\text{Botanik Kompozisyon} = \frac{\text{A bitkisinin transekt hattı ile temas eden toplam uzunluğu}}{\text{Transekt hattı ile kesişen bitkilerin toplam temas uzunluğu}} \times 100 \quad (2.2)$$

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Toprakların kimyasal ve fiziksel özellikleri, minimum, maksimum ve ortalama değerler olarak tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1: *Toprakların bazı fiziksel ve kimyasal sonuçlarına ilişkin ortalama değerler.*

Toprak Karakteristikleri	Minimum	Maksimum	Ortalama
Toplam Azot (%)	0,06	0,62	0,30
Organik Karbon (%)	0,18	3,12	1,78
Kil (%)	35,21	37,42	35,74
Toz (%)	21,93	28,14	26,32
Kum (%)	36,50	40,86	37,93
CaCO₃ (%)	0,98	20,34	6,62
pH (H₂O)	7,31	7,92	7,61

Elektriksel İletkenlik (dS m⁻¹)	0,35	0,83	0,65
Elde Edilebilir Fosfor (kg/da)	1,97	17,52	5,54
Elde Edilebilir Potasyum (kg/da)	31,57	143,23	84,36

Yapılan toprak analizi sonuçlarına göre; ortalama olarak toplam azot ve organik karbon değerleri sırasıyla %0.30 ve %1.78 ve bu değerlerin sırasıyla orta ve yüksek sınıfta yer aldığı belirlenmiştir. Palta vd. (2019) tarafından Bartın Kozcağız yöresinde bulunan sekonder bir merada yapılan bir çalışmada toplam azotun az olduğunu, Lermi vd. (2016) Bartın Serdar Köyü mera alanında yapılan bir çalışmada ise toplam azotun fazla olduğunu bildirilmiştir. Çorum ilinde bulunan farklı yükselti basamaklarında bulunan meralarda yapılan farklı bir çalışmada ise orta sınıfta yer alan azot değerleri elde edilmiştir. Genel olarak azot içerikleri mera alanlarında farklılık göstermektedir (Palta vd. 2023).

Ortalama kil, toz, kum değerlerinin ise sırasıyla %35.74, %26.32 ve %37.93 olduğu ve bu toprakların tekstür sınıfının ise killi balçık sınıfta olduğu belirlenmiştir. Genel olarak yapılan bazı çalışmalar incelendiğinde tekstür sınıfının mera alanlarında killi veya killi balçık sınıfta olduğunu gösteren çalışmalar bulunmaktadır (Avağ, 2002; Parlak vd., 2015; Lermi vd., 2016; Palta vd., 2019; Palta vd., 2023).

Aktüel pH (H₂O) değerine göre topraklar hafif alkali, elektriksel iletkenliği düşük ve tuzsuz sınıfta, kireç (CaCO₃) içerikleri bakımından ise orta kireçli sınıfta yer aldığı tespit edilmiştir. Yapılan bazı çalışmalar incelendiğinde genel olarak mera alanlarında pH değerlerinin hafif alkali ve hafif asidik olduğu, elektriksel iletkenliğin ise genel olarak düşük ve tuzsuz sınıfta yer aldığı görülmektedir (Avağ, 2002; Babalık ve Sarıkaya, 2015; Lermi vd., 2016; Palta vd., 2019; Palta vd., 2023). Kireç (CaCO₃) içerikleri bakımından bakıldığında, Babalık ve Sarıkaya (2015) tarafından yapılan Isparta İli Zengi merasındaki çalışmada, toprakların kireç içeriklerinin fazla olduğu tespit edilmiştir. Özyazıcı ve Yıldız (2017) tarafından bir mera alanında yapılan çalışmada ise toprakların kireç içeriklerinin az olduğu, yine benzer şekilde, Lermi vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada da toprakların kireç içeriklerinin az olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak literatüre bakıldığında mera alanları kendi içlerinde, kireç içerikleri bakımından farklılık gösterebilmektedir.

Toprakların, alınabilir fosfor içeriklerinin az olduğu, elde edilebilir potasyum içeriklerinin ise yeterli miktarda olduğu bulunmuştur. Yapılan çalışmanın yükselti basamağına benzer olan Palta vd. (2023) tarafından yapılan çalışmada da, fosfor miktarının çok az olduğu belirtilmiştir. Temel ve Özalp (2016)'ın yapmış olduğu çalışmada da benzer bir şekilde fosfor değerlerinin düşük olduğu ortaya koyulmuştur. Palta vd. (2019) tarafından

Bartın ili Serdar köyü merasında yapılan çalışmada, potasyum miktarının orta derecede olduğu, Lermi vd. (2016) tarafından yapılan bir çalışmada ise mera alanındaki topraklarda bulunan potasyum içeriklerinin çok yüksek olduğunu tespit edilmiştir. Potasyum miktarı mera alanlarında değişiklik gösterebilmektedir. Topraklarda bulunan potasyum miktarının hayvan otlatılmasına bağlı olarak arttığı bildirilmiştir (Çetiner vd., 2012). Ayrıca mera alanlarında otlayan hayvanların gezmesiyle birlikte idrar ve dışkı meydana geldiği, bu durumda toprakta bulunan potasyum miktarını arttırdığı belirtilmiştir (Haynes ve Williams, 1993; Zarekia vd., 2012).

3.2 Vejetasyon Analizine Ait Bulgular ve Tartışma

Vejetasyon analizi sonuçlarına göre; toplam 41 adet bitki taksonu tespit edilmiş ve bu bitki taksonlarının toplam 19 familyaya ait olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bitki taksonlarının 7 adeti baklagiller (*Fabaceae*), 4 adeti buğdaygiller (*Poaceae*) ve 30 adeti diğer bitki familyalarına ait olduğu tespit edilmiştir. Bitki taksonlarının 24 adedi çok yıllık, 17 adedi ise tek yıllık sınıftadır. Bitkilerin 6 adedi azalıcı, 5 adedi çoğalıcı ve 30 adedi de istilacı grupta yer almaktadır (Tablo 3.2). Alınan transekt hatlarına göre alanın ortalama vejetasyon örtüsü ise %95.12 olarak tespit edilmiştir.

Tablo 3.2: Vejetasyon özelliklerine ait bilgiler.

Familiya	Tür	Azalıcı	Çoğalıcı	İstilacı	Tek Yıllık	Çok Yıllık
Apiaceae						
	<i>Crithmum maritimum</i> L.			*		*
Apocynaceae						
	<i>Nerium oleander</i> L.			*		*
Araceae						
	<i>Arum italicum</i> Mill.	*				*
Asteraceae						
	<i>Bellis perennis</i> L.			*		*
	<i>Centaurea calcitrapa</i> L.			*	*	*
	<i>Crepis vesicaria</i> L.			*	*	
	<i>Picnomon acarna</i> L. Cass			*	*	
	<i>Taraxacum erythrospermum</i> Andrz. ex Besser			*		*
	<i>Taraxacum palustre</i> (Lyons) Symons			*		*
Brassicaceae						

	<i>Alyssum minutum</i> Schltl. ex DC.			*	*	
	<i>Erophila verna</i> (L.) Chevall., ex <i>Dra- ba verna</i>			*	*	
	<i>Lobularia maritima</i> (L.) Desv.			*		*
Caryophyllaceae						
	<i>Cerastium semidecandrum</i> L.			*	*	
Cyperaceae						
	<i>Carex stenophylla</i> Wahlenb.		*			*
Euphorbiaceae						
	<i>Euphorbia rigida</i> M. Bieb.			*		*
Fabaceae						
	<i>Astragalus</i> sp.			*		*
	<i>Lotus corniculatus</i> L.	*				*
	<i>Ononis reclinata</i> L.			*	*	
	<i>Trifolium fragiferum</i> L.	*				*
	<i>Trifolium repens</i> L.	*				*
	<i>Trifolium resupinatum</i> L.	*			*	
	<i>Trifolium subterraneum</i> L.	*			*	
Fagaceae						
	<i>Quercus coccifera</i> L.			*		*
Geraniaceae						
	<i>Erodium laciniatum</i> (Cav.) Wild.			*	*	
Lamiaceae						
	<i>Lamium amplexicaule</i> L.		*		*	
	<i>Phlomis leucophracta</i> P.H. Davis & Hub.-Mor.			*		*
	<i>Teucrium chamaedrys</i> L.			*		*
Liliaceae						
	<i>Ornithogalum lanceolatum</i> Labill.			*		*
	<i>Ornithogalum orthophyllum</i> Ten.			*		*
Poaceae						
	<i>Bromus tectorum</i> L.			*	*	
	<i>Hordeum marinum</i> Huds.			*	*	
	<i>Poa arachnifera</i> Torr.		*			*
	<i>Vulpia bromoides</i> (L.) S. F. Gray			*	*	
Plantaginaceae						
	<i>Plantago coronopus</i> L.		*			*
	<i>Plantago lanceolata</i> L.		*			*
Ranunculaceae						
	<i>Ranunculus muricatus</i> L.			*	*	
Rubiaceae						
	<i>Ernodea littoralis</i> Sw.			*		
	<i>Galium arenarium</i> Loisel			*		*
Scrophulariaceae						

	<i>Veronica anagallis-aquatica</i> L.			*	*	*
	<i>Veronica filiformis</i> J. E. Smith			*		*
Violaceae						
	<i>Viola nuttallii</i> Pursh			*	*	

Öten vd. (2016) tarafından Antalya ilinin altı farklı ilçesinde yapılan bir çalışmada, baklagillerden 39 takson, buğdaygillerden 34 takson ve diğer familyalardan 103 takson tespit edilmiştir. Babalık ve Fakir (2017) tarafından Isparta ilinde bulunan Kocapınar Merasında yürütülen çalışmada 30 familyaya ait 140 bitki taksonu tespit edilmiştir. Palta ve Lermi (2018) Bartın'ın Kutlubey Demirci Köyü merasında yaptıkları çalışmada ise buğdaygillerden 13 adet, baklagillerden 12 adet ve diğer familyalardan 29 adet bitki taksonu tespit etmişler ve vejetasyon örtüsünü ise %100 olarak belirlemişlerdir. Benzer şekilde Bartın ilinin Uluyayla merasında yapılan çalışmada ise baklagiller familyasından 10 takson, buğdaygiller familyasından 17 takson, diğer familyalardan ise 66 takson tespit edildiği ve toplam 31 familyaya ait 91 bitki taksonu tespit edildiği bildirilmiştir (Şengönül vd., 2009). Baykal vd. (2020) Rize ili Palovit yaylasında yaptıkları çalışmada, buğdaygillerden 6 adet, baklagillerden 1 adet ve diğer familyalardan 18 adet bitki taksonu olduğunu ortaya koymuşlardır. Palta vd. (2019)'da Bartın ili Kozcağz bölgesinde yaptıkları çalışmada ise 30 familyaya ait 68 bitki taksonu tespit etmişler ve bunlardan baklagiller, buğdaygiller ve diğer familyalara ait taksonların sırasıyla 15 adet, 11 adet ve 42 adet olduğunu bildirmişlerdir.

Genel olarak ülkemizde bulunan meralarda, hayvanların severek otladığı, azalıcı gruptaki bitkilerin çalışmamızda da az olduğu görülmektedir. Mera alanlarımızda, vejetasyon örtüsü düşük olan eğimli arazilerde toprağın korunması amacı ile istilacı bitkilerin önemli rol oynadığı bilinmektedir. Ülkemiz meralarında ve yapılan çalışmada da görüldüğü üzere hayvanların severek otladığı azalıcı ve çoğalıcı nitelikli bitkilere kıyasla istilacı bitkilerin fazla olduğu görülmektedir. Bunun ana nedenlerinden birisi de mera alanlarımızın doğru bir şekilde yönetilmemesi ve arazi kullanım koşullarına uyulmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Mera alanında yapılan çizgi kesişme - transekt yönteminden elde edilen verilere göre; buğdaygiller, baklagiller ve diğer familyalara ait bitkilerin botanik kompozisyon değerlerinin minimum, maksimum ve ortalama değerleri tablo 3.3'de verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, baklagiller familyasının botanik kompozisyonu ortalama %35.06, buğdaygiller familyasının botanik kompozisyonu ortalama %36.22, diğer familyalara ait bitkilerin ortalama botanik kompozisyon değeri ise %28.73 olarak belirlenmiştir (Tablo 3.3).

Tablo 3.3: *Botanik kompozisyon değerlerine ait bilgiler.*

Botanik Kompozisyon	Minimum	Maksimum	Ortalama
Baklagiller (%)	10.00	74.44	35.06
Buğdaygiller (%)	10.84	70.00	36.22
Diğer Familyalar (%)	8.00	67.00	28.73

Isparta’da bulunan bir ormanlık alandaki mera sahasında yapılan çalışmada bitkilerin familya bazında botanik kompozisyonları değerlendirilmiş, baklagiller, buğdaygiller ve diğer familyalar bazında botanik kompozisyonları sırasıyla %18.04, %52.44 ve %29.52 olduğu tespit edilmiştir (Dursun ve Babalık, 2018). Öten vd. (2016) tarafından Antalya’nın altı farklı ilçesinde yapılan çalışmada da benzer şekilde baklagillerin %22.10, buğdaygillerin %19.30 ve diğer familyaların %58.50 botanik kompozisyon değerlerine sahip olduğu bildirilmiştir. Babalık ve Fakir (2017) Isparta ili, Kozağacı Yaylası’nda bulunan Kocapınar Merasında korunan ve otlatılan alanların farkını bulmak için yaptıkları çalışmada, botanik kompozisyon değerlerini baklagiller, buğdaygiller ve diğer familyalar olarak hesaplamışlar ve bunun sonucunda otlatılan alanda botanik kompozisyon değerlerinin sırasıyla %14.40, %60.90 ve %24.70 olduğunu, Korunan alanda ise botanik kompozisyon değerlerini sırasıyla %18.00, %58.70 ve %23.30 olarak tespit etmişlerdir. Bartın ilinde yapılan başka bir çalışmada, Kutlubey Demirci Köyü mera alanında vejetasyon analizi yapılmış ve baklagiller, buğdaygiller ve diğer familyalar olacak şekilde botanik kompozisyon değerleri belirlenmiştir. Bunun sonucunda baklagiller, buğdaygiller ve diğer familyaların botanik kompozisyonları sırasıyla %18.2, %28.5 ve %53.3 olarak tespit edilmiştir (Palta ve Lermi, 2018).

Yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde ülkemiz meralarında yetişen türlerin botanik kompozisyon değerleri bakımından farklılık gösterdiği bilinmektedir (Terzioğlu ve Yalvaç, 2004; Gür, 2008; Şengönül vd., 2009; Nadir vd., 2012; Babalık ve Fakir, 2017; Palta ve Lermi, 2018; Bakoğlu vd., 2019; Baykal vd., 2020). Yapılan çalışmada, ortalama değerler göz önüne alındığında baklagil ve buğdaygil oranlarının alanda benzer olduğu ve diğer familyalara göre yüksek miktarda olmakla birlikte, azalıcı ve çok yıllık bitkilerin sayısının az olduğu görülmektedir. Özellikle buğdaygiller familyasına ait türlerin genellikle istilacı grupta yer aldığı tespit edilmiştir. Bu durumun sebebi, mera amenajmanı esaslarına, kritik otlatma dönemlerine dikkat edilmemesi ve bitkilerin otlatma olgunluğuna gelmeden yoğun olarak otlatılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Mera alanının toprak örneklerinde; organik karbon, azot, kil, toz, kum, kireç, pH, EC, kullanılabilir fosfor ve kullanılabilir potasyum analizleri yapılmıştır. Mera topraklarının, azot içeri orta, organik karbon içeriği yüksek, killi balçık, hafif alkali, elektriksel iletkenliği düşük, orta derecede kireçli olduğu belirlenmiştir. Ayrıca alınabilir fosfor az, alınabilir potasyum miktarı ise yeterli bulunmuştur.

Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre toprak içerikleri bakımından fosfor içerikleri dışında, toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin bitki büyümesini engelleyici olumsuzluğa sahip olmadığı tespit edilmemiştir. Vejetasyon analizi sonuçlarına göre ise azalıcı olarak bilinen ve mera alanlarında nadir olarak bulunan, hayvanlar tarafından sevilerek tüketilen bitkilerin genel olarak az olduğu ve istilacı bitkilerin fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu oranlar neticesinde mera alanında azalıcı nitelikli bitkilerin artırılması gerekmektedir. Bu kapsamda ekosisteme uygun azalıcı nitelikteki bitkilerin üstten tohumlama yapılarak alana eşit miktarda yayılması- nın sağlanması ve mera amenajmanı esasları çerçevesinde kritik otlatma dönemlerine dikkat edilerek otlatma yapılması önerilmektedir. Bu önerilen işlem mera alanının daha verimli ve sürdürülebilir olarak yönetilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- Ağın, Ö. (2012). Bingöl İli Yedisu İlçesi Karapolat Köyü Merasının Verim ve Botanik Kompozisyonu. Bingöl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi.
- Allison, L. E. & Moodie, C. D. (1965). Carbonate. Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties, Ed.; Black C.A; American Society of Agronomy, Wisconsin, pp. 1379-1396.
- Altın, M., Gökkuş, A. & Koç, A. (2005). Çayır Mera Islahı. T.C. Tarım Ve Köy işleri Bakanlığı, Tarımsal Üretim ve Geliştirme Genel Müdürlüğü, Çayır Mer'a Yem Bitkileri Ve Havza Geliştirme Daire Başkanlığı, ISBN: 975-407-188-8, Ankara.
- Altın, M., Gökkuş, A. & Koç, A. (2011). Çayır ve Mera Yönetimi (2. Cilt). TKB, TÜGEM, Ankara, 314 s.
- Asan, Ü. (1995). Global iklim değişimi ve Türkiye ormanlarında karbon birikimi. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 41(1), 24-38.
- Atalay, İ. Z. (1982). Gediz Havzası alüviyal topraklarının potasyum durumu ve bu topraklarda alınabilir potasyum miktarlarının tayininde kullanılacak yöntemler üzerinde bir araştırma. (Doçentlik Tezi), Ege Ziraat Fakültesi, Toprak Bölümü, İzmir.
- Avağ, A. (2002). Erzurum-Pasinler Yöresi Meralarının Bazı Toprak Özellikleri İle Mera Kalite Dereceleri Arasındaki İlişkiler. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Ana Bilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi.
- Babalık, A. A. (2004). Çayır-meralarda dip kaplama ölçüm yöntemleri. Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, Seri A, (1), 50-72.
- Babalık, A.A. & Sarıkaya, H. (2015). Isparta ili zengi merasında ot verimi ve botanik kompozisyonun tespiti üzerine bir araştırma. *Turkish Journal of Forestry*, 16(2), 96-101.
- Babalık, A.A. & Fakir, H. (2017). Korunan ve otlatılan mera alanlarında vejetasyon özelliklerinin karşılaştırılması: kocapınar merası örneği. *Turkish Journal of Forestry*, 18(3), 207211. DOI: 10.18182/tjf.329692.
- Babalık, A. A. & Matrasulov, F. (2020). Antalya çukuryayla merasının vejetasyon özellikleri ve otlatma kapasitesinin belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 20, 327-333. DOI: 10.31590/ejosat.781335.
- Bakoğlu, A., Baykal, H. & Çatal, İ. M. (2019). Handüzü Yaylasının Botanik Kompozisyonu Üzerine Bir Çalışma. *Turkish Journal Of Agriculture: Food Science And Technology*, Vol. 7, Iss 9, Pp. 1339-1343.
- Baykal, H. Çatal, M. İ. & Bakoğlu, A. (2020). Çamlıhemşin-Palovit yaylasının botanik kompozisyonu üzerine bir araştırma. *Turkish Journal of Forestry*, 21(2), 136-140. DOI: 10.18182/tjf.619962.
- Bouyoucos, G. J. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. *Agronomy Journal*, 54, 464-465.

- Bremner, J. M. & Mulvaney, C. S. (1982) Nitrogen-total. In: Page, A.L. (ed.) Methods of soil analysis, Part 2 Chemical and Microbiological Properties. SSSA Book series No: 9, Madison, pp. 595-622.
- Conyers, M. K. & Davey, B. G. (1988). Observations on some routine methods for soil pH determination. *Soil Science*, 145(1), 29-36.
- Çetiner, M., Gökkuş, A. & Parlak, M. (2012). Yapay bir merada otlatmanın bitki örtüsü ve toprak özelliklerine etkisi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 27(2), 80-88. DOI: 10.7161/Anajas.2012.272.80.
- Dormaar, J. F. & Willms, W. D. (1992). Water extractable organic matter from plant litter and soil of rough fescue grassland. *J. Range Manage.* 45, 152-158.
- Dursun, İ. & Babalık, A. A. (2018). Isparta ili Çatoluk orman içi merasının vejetasyon yapısının belirlen-mesi. *Türkiye Ormancılık Dergisi*, 19(3), 233-239.
- Eruz, E. (1979). Toprak tuzluluğu ve bitkiler üzerindeki genel etkileri. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 29(2), 112-120.
- Faizul, B., Karlw, D. M. & Murray, L. (1995). Livestock grazing impacts on infiltration rates in a temperate range of Pakistan. *Rangeland Ecology & Management/Journal of Range Management Archives*, 46(4), 367-372.
- Gökbulak, F. (2013). Meralarda vejetasyon analizi. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, İstanbul Üniver-sitesi Yayın No: 5151, Fakülte Yayın No: 503, İstanbul, 157 s.
- Gökkuş, A. & Koç, A. (2001). Mera ve Çayır Yönetimi. Atatürk Üni., Ziraat Fak. Ders Yay. No: 228, Erzurum, 329s.
- Gülçur, F. (1974). Toprağın Fiziksel ve Kimyasal Analiz Yöntemleri. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, O.F Yayın No:201, Kurtuluş Matbaası, İstanbul, 225 s.
- Gür, M. (2008). Yörükler Köyü Doğal Mera Vejetasyonunun Botanik Kompozisyonu ve Verim Potansiyeli Üzerinde Bir Araştırma. Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla bitkileri Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi.
- Hanselka, W. C., Livingston, S. D. & Bade, D. (2016). Renovation practices to improve rainfall effectiveness on rangeland and pastures. Texas Agricultural Extension Service. http://publications.tamu.edu/FORAGE/PUB_forage_Renovation%20Practices%20to%20Improve%20Rainfall%20Effectiveness%20on%20Pastures.pdf
- Haynes, R. J. & Williams, P. (1993). Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. *Advances in Agronomy*, 49(1), 19-199.
- Irmak, A. (1954). Arazide ve Laboratuarda Toprağın Araştırılması Metodları. İstanbul Üniversitesi Yayın No. 559, Orman Fakültesi Yayın No. 27, İstanbul, 150p.
- Kaçar, B. (1995). Toprak Analizleri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Eğitim Araştırma ve Geliştirme Vakfı Yayınları. No:3, Ankara.

- Kantarcı, 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.
- Lermi, G. A., Palta, S. & Öztürk, H. (2016). Bartın ilinde bir mera ıslah çalışmasının değerlendirilmesi: Serdar köyü örneği. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 18(2), 65-70. DOI: 10.24011/Barofd.267299.
- MGM, (2023). Meteoroloji Genel Müdürlüğü Antalya Merkez Meteoroloji İstasyonu 2011–2020 Yılları İklim Verileri, Ankara.
- Mısır, M., Mısır, N. & Bulut, A. (2011). Karbon depolama kapasitesinin landsat 7 etm+ uydu görüntüsüyle belirlenmesi. I. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, 26-28 Ekim 2011 Kahramanmaraş, Kahramanmaraş, s. 532-538.
- Nadir, M., İptaş, S., Karadağ, Y. & Kır, H. (2012). Tokat ili Yeşilyurt köyü doğal merasının botanik kompozisyon, kuru madde verimi ve kalitesi. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 5(2), 115-117.
- Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S. & Dean, L. A. (1954) Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. U. S. Department of Agriculture Circular No. 939.
- Öten, M., Kiremitçi, S., Erdurmuş, C., Soysal M., Kabaş, Ö. & Avcı, M. (2016). Antalya ilindeki bazı meraların botanik kompozisyonunun belirlenmesi. *Atatürk üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Dergisi*, 47(1), 23-30.
- Özyazıcı, M. A. & Yıldız, A. (2017). Türkiye'nin Doğusunda Yer Alan Doğal Bir Meranın Toprak ve Bitki Örtüsünün Beslenme Dinamiği. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, Cilt: 20 Sayı: Özel Sayı, 109-115. DOI: 10.18016/ksudobil.348940.
- Palta, Ş. & Lermi, G. A. (2018). Bartın ili Kutlubey Demirci köyü merasının bazı özelliklerinin belirlenmesi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 20(2), 352-359.
- Palta, Ş., Lermi, G., A. & Yiğit, M. (2019). Bartın ili Kozcağız yöresindeki bir sekonder mera alanının bazı özelliklerinin belirlenmesi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 21(3), 848-859.
- Palta, Ş., Kara, İ. & Baş, E. (2022) Oluşumuna göre farklı meraların bazı edafik özelliklerinin karşılaştırılması. *Ziraat & Orman, Su Ürünlerinde Araştırma ve Değerlendirmeler*, Gece Kitaplığı, 169-185 ss.
- Palta, Ş., Yaman, İ. & Baş, E. (2023). Yükseltiye göre meraların bazı toprak ve vejetasyon özelliklerinin karşılaştırılması. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 25(1), 153-169.
- Parlak Ö. A., Parlak M., Gökkuş A. & Demiray H. C. (2015). Akdeniz (Çanakkale) meralarının ot verimi ve kalitesi ile botanik kompozisyonu ve bazı toprak özellikleri. *ÇOMU Ziraat Fakültesi Dergisi*, 3(1), 99-108.
- Polat, T., Budak, S. & Akkaya, G. (2018). Adıyaman ili Kuyulu köyü doğal meralarının kuru ot verimi, kalitesi ve botanik kompozisyonu üzerine bir

- araştırma. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 22(3), 348-354. DOI: 10.29050/Harranziraat.341467.
- Rhoades, J. D. (1982). *Soluble Salts*. Methods of soil analysis, Part 2 Chemical and Microbiological Properties. Ed.; Page, A.L; SSSA Book series, No: 9, Madison, 149-157.
- Serin, Y. & Tan, M. (1998). Buğdaygil Yem Bitkileri. Atatürk Üni. Ziraat Fak. Yay. No: 334, Ders Kitapları No: 81, Erzurum, 172 s.
- Schofield, R. K. & Taylor, A.W. (1955). The measurement of soil pH. *Soil Science Society of America Journal*, 19(2), 164-167.
- Sivrikaya, F. & Bozali, N. (2012). Karbon depolama kapasitesinin belirlenmesi: Türkoğlu planlama birimi örneği. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 14, 1308-5875.
- Şengönül, K., Kara, M., Palta, Ş. & Şensoy, H. (2009). Bartın Uluyayla yöresindeki mera vejetasyonunun bazı kantitatif özelliklerinin saptanması ve ekolojik yapının belirlenmesi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 11(16), 81-94.
- Temel, O. & Özalp, M. (2016). Artvin'in Şavşat ilçesinde yetiştirilen korunga (*Onobrychis sativa* Scop.) yem bitkisinin verimi ve kalitesi üzerine yükseltinin ve bazı toprak özelliklerinin etkisi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 31(1), 106-116.
- Terzioğlu, Ö. & Yalvaç, N. (2004). Van yöresi doğal meralarında otlatmaya başlama zamanı, kuru ot verimi ve botanik kompozisyonun belirlenmesi üzerine bir araştırma. Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, *Tarım Bilimleri Dergisi (J. Agric. Sci.)*, 14(1), 23-26.
- Thurrow, T. L. (1991). Hydrology and erosion. In *Grazing Management an Ecological Perspective* (Ed. R.K. Heitschmidt; J.W. Stuth), Timber Pres, Portland, Oregon. 141-159.
- URL-1 (2021). <http://www.bingol.edu.tr/documents/%C3%87AYIR%20MERA%20ISLAHI.pdf> (Erişim: 01.06.2024).
- USDA (United States Department of Agriculture), (1987). Soil Mechanics Level I, Module 3- USDA Textural Soil Classification Study Guide. Irmak
- Walkley, A. & Black, A. I. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37, 29-38.
- Xie, Y. & Wittig, R. (2004). The impact of grazing intensity on soil characteristics of *Stipa grandis* and *Stipa bungeana* steppe in northern China (autonomous region of Ningxia). *Acta Oecologica*, 25(3), 197-204
- Yavuz, T., Sürmen, M., Töngel, M. Ö., Avağ, A., Özaydın, K. A. & Yıldız, H. (2012). Amasya mera vejetasyonlarının bazı özellikleri. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, (1), 181-185.

Zarekia, S., Jafari, M., Arzani, H., Javadi, S. A. & Jafari, A. A. (2012). Grazing effects on some of the physical and chemical properties of soil. *World Applied Sciences Journal*, 20(2), 205-212.

BÖLÜM 4

BORON TOXICITY AND DEFICIENCY IN PLANTS, SOLUTION SUGGESTIONS FOR BORON PROBLEMS

Ahmet TURHAN¹

¹ Ahmet TURHAN (Prof. Dr.), Bursa University of Uludag, Mustafakemalpaşa Vocational School, Department of Plant and Animal Production, Mustafakemalpaşa/Bursa and Turkey, Corresponding author: turhan@uludag.edu.tr ORCID ID: 0000-0002-1976-8082

Introduction

All plants need some amount of boron for their normal development. Boron (B) is an essential plant micronutrient taken up via the roots mostly in boric acid. Boron deficiency or boron toxicity in agricultural areas is an important limiting factor in plant cultivation (Brdar-Jokanovic, 2020). The element's primary function is in cell wall synthesis and maintaining its structure and integrity. The amount of boron in the cell wall depends on the plant species, organ, and boron source. However, boron nucleic acid, protein, amino acid, and nitrate; It is known that sugar and starch have significant effects on root elongation, flower formation, seed production, auxin, and phenol metabolism (Gupta, 2007).

Boron deficiency in plants occurs most frequently in sandy, rainy regions with low organic matter, high leaching, and acid soils where liming is commonly done. In addition, boron deficiency is also observed in clayey and high-pH soils with high boron adsorption/fixation. (Gunes et al., 2017). Boron can also be found in high amounts in agricultural soils in some regions. In general, there is B excess rather than B deficiency in soils in arid and semi-arid regions (Barber, 1995). In this case, toxic effects occur in many plants. Boron accumulation and toxicity symptoms in agricultural soils can also be caused by irrigation water containing high boron (Nable et al., 1997).

Turkey has significant potential in terms of boron mines and 70% of the world's boron reserves are located in Turkey. The boron content of Turkish soil is between 0.06-9.99 mg kg⁻¹ and the average boron amount is around 1.6 mg kg⁻¹ (Nable et al., 1997). While the highest amount of boron was found in the soil of the Central Anatolia region, the lowest amount of boron was determined in the soil of the Black Sea, Aegean, and Marmara regions. High levels of boron pollution are observed in the soils of Afyon, Aksaray, Bigadiç, Burdur, Konya-Ereğli, Eskisehir, Germencik-Ömerbeyli, Iğdır, Karasaz, Kayseri, Yüksekova and Salihli regions. It has been reported that the boron problem in agricultural lands here is caused by irrigation water containing high boron. However, the mixing of underground hot water resources, rich in boron minerals, with irrigation water is an important problem. Menderes Valley, where Aydın province is located, is a very rich region in terms of geothermal hot water resources. Since many of the facilities located here discharge their wastewater into the Menderes River, boron pollution is gradually increasing in the Menderes River water and in the agricultural areas where this water is used (Harite, 2008). In a study conducted by Semiz (2014) boron contents of Orhaneli, Emet, and Mustafakemalpaşa rivers located in the Susurluk basin were investigated, and an average of 0.13-0.18 mg L⁻¹ in the Orhaneli river, 4.68-28.24 mg L⁻¹ in the Emet river and Mustafakemalpaşa, which is formed by the merger of these

two rivers. It was determined that it was 0.90-3.22 mg L⁻¹ in the river. Farmers who irrigate from these water sources have stated in recent years that these waters with high boron content negatively affect plant productivity and quality characteristics. In general, the boron content of natural waters is quite low (0.3-1.0 mg L⁻¹). However, soil and groundwater may naturally have high boron content, and boron can be added to soil and irrigation water later through fertilization, wastewater, and mining activities. (Nable et al., 1997; Çelik et al., 2008).

Effects of Boron Deficiency in Cultivated Plants

Yield and fruit quality components of cultivated plants are affected positively or negatively by the amount of boron in the soil. Generally, in environments where boron concentrations exceed 1.5–2.0 mg L⁻¹ and are below 0.5 mg L⁻¹, significant decreases in yield, negative effects on fruit quality, and nutritional disorders occur. When plants can absorb sufficient amounts of boron from the soil through their roots, an increase in yield and marketable yield, significant improvements in shelf life, fruit quality, fruit shape, color, and other quality characteristics are observed. Additionally, the intake of some nutrients such as nitrogen, calcium, and potassium also increases. (Reid, 2007).

Since boron deficiency primarily damages the growth points, the growth rate of plants decreases. When the deficiency reaches an advanced level, it causes the growth points to die. Shortening of the internodes of the shoots and the occurrence of stunting and bushiness are other negative characteristics that occur with the decrease in boron uptake. One of the best-known physiological roles of boron is that it plays an important role in generative development, especially pollen viability, germination, and pollen tube development. The healthy growth and function of pollen tubes are severely affected by a boron deficiency. This situation results in decreased fertility. Bud, flower and fruit formation decreases. Due to irregularities in transpiration, leaves and shoots acquire a brittle structure that can be broken easily. In mature leaves, interveinal chlorosis occurs and deformity is observed in the leaf blade. Leaf stalks and stems thicken, cracked stems in celery, brown rot in cauliflower, rot in tuberous plants such as beets and celery, and the marketing value of the products decreases. Bud, flower and fruit formation decreases. Due to irregularities in transpiration, leaves and shoots acquire a brittle structure that can be broken easily (Wang et al., 2003; Lordkaew et al., 2013; Kaçar & Katkat, 2018).

One of the parameters that boron is effective on is germination and germination characteristics in seeds. It is known that high boric acid concentrations negatively affect seedling growth and development (Paull et al., 1988; Nable et al., 1997). In his research, Turhan (2018) reported that low

boron concentrations will positively affect seed germination and seedling development, the boron concentration limit in irrigation water should be 2.0 mg L^{-1} , and increases above the level will negatively affect germination and seedling development. Alamri et al. (2018) emphasized in their study on barley that low boron concentrations positively affected germination and seedling growth characteristics, whereas high concentrations reduced germination and significantly reduced seedling development.

One of the most distinctive features of the boron element appears in root development. Especially roots constantly need boron. It is known that boron has a significant effect on root development. In case of boron deficiency, adequate development of the roots does not occur. Even when there is a boron deficiency in the roots of very few plants, the plant itself can distribute boron from the leaves to the roots. Boron alone moves slowly in the plant and cannot be transported from old tissues to points where boron need is high. For this reason, frequent folds and other abnormal formations occur in young leaves. Boron deficiency is first seen in growth points (death of the top bud or shoot of the plant). Later, if side buds form, they also die. If the boron deficiency is not severe, the top part becomes pale. The leaves curl and sometimes turn yellow. Petioles and leaves become brittle, the flower does not bloom, and if it blooms, no fruit is formed. Cracking and gumming of the bark, drying of young branches, and abnormal formation of flowers and fruits are common symptoms of boron deficiency (Demirtaş, 2005).

Effects of Boron Toxicity on Cultivated Plants

Even low concentrations of boron, a plant nutrient, in the soil, can have toxic effects on plants. Boron is found in soils at levels varying between 2-200 ppm. The plants can use less than 5 percent of this amount. Excess of this element can be as dangerous for the plant as its deficiency (Demirtaş, 2005). Boron toxicity often occurs naturally in soils in arid and semi-arid regions where excess B accumulates in the topsoil due to evaporation of high-boron groundwater (Tanaka & Fujiwara, 2008). It has been reported that excess boron can also inhibit root growth. Since it reduces the water uptake capacity of roots, it increases water stress, especially in arid soils (Aquea et al., 2010). Moreover, high boron levels can be lethal to plants, especially sensitive species (Miwa et al., 2007). Paparnakis et al. (2013), Sarafi et al. (2017) proved that high boron concentrations reduced plant growth, and Akıncı (2006) demonstrated that boron toxicity caused significant losses in fresh and dried fruit yield. In the study conducted on pepper plants irrigated with irrigation water containing different boron, it was determined that the applications could affect plant growth parameters, fruit characteristics, and fresh and dried fruit yields. However, it was

concluded that toxic effects may be observed on pepper plants if irrigation water containing boron above 2.5 mg L^{-1} is used (Turhan & Kuşçu, 2020). The harmful effects of excess B on agriculture and ecosystems have been widely reported (Nable et al., 1997; Stiles et al., 2011). Research on excess soil B problems has increased significantly in recent years (Yau & Ryan, 2008). Excessive amounts have a toxic effect and cause physiological effects such as a decrease in stem cell division, low stomal conductance, reduced root and shoot development, a decrease in chlorophyll in the leaves, and inhibition of photosynthesis (Reid, 2007). Boron toxicity in soils may occur naturally as a result of excessive fertilization or irrigation with water containing high boron (Nable et al., 1997; Choi et al., 2007). Boron (1.0 mg L^{-1}) in irrigation water can cause easily visible toxicity symptoms in sensitive plants (Nable et al., 1997). In boron-resistant plants, toxicity symptoms are observed when this value is 10 mg kg^{-1} (Garcia-Gonzalez et al., 1990).

It has been determined in many studies that boron is an important parameter, especially for the nutrition of plants. Boron and boron compounds, which spread into the environment in various ways, can mix with groundwater or directly into streams under the influence of rainwater and have negative effects on the quality of these waters. Boron, which has a wide range of uses in our age, can have properties that can severely damage the soil and therefore the plants when used in agricultural terms. Therefore, it should be removed from the environment due to its negative effects (Demirtaş, 2005).

The Reducing Boron Stress and Strategies to Follow in Boron Deficiency

To alleviate B toxicity in plants, some nutrients, plant growth regulators, lime, water, and organic matter are applied. (Huo et al., 2022). Boron deficiency is usually managed by the application of appropriate boron fertilizers. The most commonly used application is soil fertilization, but foliar application and seed applications can also be made. The effects of deficiency in plants can be mitigated more or less successfully depending on the method chosen, time of application, other soil properties, temperature and moisture, and boron uptake and utilization efficiency of the species and genotype. By using boron fertilizers, positive effects have been achieved on the productivity and quality of plants and certain physiological parameters (e.g. water management and water management) (Gunes et al., 2003; Fujiyama et al., 2019). If B fertilizer is to be applied from the soil, it should be sprinkled on the surface and mixed lightly with the soil. If application is to be made on the band, the application dose should be kept low and boron fertilizers with relatively low solubility should be used.

Borax, sodium tetraborate, and sodium penta borate can be applied directly to the soil or by spraying due to their high solubility. Since colemanite has low solubility properties, it is mostly used in sandy soils. Generally, boron levels applied to soil vary between 0.7-2.2 kg B ha⁻¹ (Kaçar & Katkat, 2018). In foliar boron fertilization; depending on the amount of water to be applied, it is generally recommended to use 15-20 g B da⁻¹ and make this application 2-3 times during the vegetation period. Etidot-67, solubor, and boric acid are the most commonly used boron foliar fertilizers. Foliar boron application should ideally be made 10-15 days before the plants bloom and at the beginning of grain, fruit, or tuber formation periods. It would be beneficial for producers to examine the effect of boron fertilization by applying foliar boron fertilization to the plants in a part of the area where they produce, and to determine whether boron fertilization is needed in the following years (Gunes et al., 2017).

Organic matter is an important soil component that adsorbs B and affects the concentration and availability of B in the soil solution. Stiles et al. (2011), increasing soil organic matter reduces the amount of soluble B. A significant decrease in B accumulation in plant shoots is accompanied by a reduction in soluble B in the soil due to adding organic matter. One explanation for the decrease in soluble B concentrations is the dilution effect caused by organic matter. Another explanation is the formation of B-organic complexes and the increase of the solid matrix surface of the soil (Diana et al., 2010). However, although plants cannot immediately absorb B retained by organic matter, it can be used after subsequent decomposition of organic matter and can be an important source of B (Gupta et al., 1985). In case of boron deficiency, barnyard manure can be used as a source. Barn manure contains 17.4 mg B kg⁻¹ dry matter boron (Kaçar, 1997). Various organic materials of plant and animal origin, compost, and urban and sewage waste (sewage sludge) can be used for fertilization purposes (Kaçar & Katkat, 2018).

Irrigation water boron concentrations can significantly affect yield and quality. Therefore, it is necessary to know the boron content of irrigation water. Uygun & Çetin (2004) emphasized that boron is the element that pollutes irrigation water the most and reported that it has a toxic effect in case of excessive amounts and reduces plant growth and therefore productivity. On the other hand, researchers have also pointed out that boron is necessary for the normal development of plants and their optimal yield. Sarafi (2017) stated that boron concentrations should be kept low for adequate growth and development.

Studies conducted on tomatoes (Gunes et al., 1999), pepper (Lee, 2006), and beans (Cömert & Çelik, 2017) reported that plant fresh and dry weights were negatively affected by increasing boron concentrations

in irrigation water. Turhan & Kuşçu (2020) reported that the use of irrigation water containing boron above 2.5 mg L^{-1} will pose a risk in pepper cultivation. With the presence of more than 1 mg B l^{-1} boron in irrigation water and the continuous use of such water, boron accumulation may occur in the soil at a level that can cause toxicity even in plants with high boron requirements. In places where it is mandatory to use this type of water for irrigation, necessary precautions must be taken to reduce boron accumulation in the soil. Depending on the boron requirement of the plants, the allowable boron concentration in irrigation water varies between $0.3\text{--}4.0 \text{ mg L}^{-1}$. (Nable et al., 1997). On the other hand, different amounts of washing water are applied to purify the plant root zone from boron, depending on the soil characteristics. It has been calculated that the amount of irrigation water to be applied for this purpose should be 2.2 times the soil depth (Bahçeci et al., 2021).

There is a positive relationship between increasing clay and pH in the soil and increasing boron content. A positive relationship exists between increasing clay and pH in the soil and rising boron content (Xu et al., 2001; Goldberg et al., 2008). The soil structure is effective in washing and removing boron from the soil. In the studies of Fleming (1980) & Gupta (1968), it was determined that boron deficiency was frequently observed in plants growing in sandy soils. pH is an effective factor in retaining boron in the soil. It is thought that the difficulty in washing boron from the soil is due to the increase in boron adsorption as soil pH increases. Attention has been drawn to the importance of sulfur application for improving soil structure. Sulfur applied to the soil will decrease the pH level and increase the leaching efficiency of boron. In a study where sulfur was applied to wash boron from the soil, it was reported that the application was effective, especially at the 90 cm washing water level, but did not reach the boron level that would provide the necessary conditions for the plant growing environment (Dursun & Mikailsoy, 2015).

The pH of the soil solution is known to affect the adsorption of B and its availability to plants (Smith et al., 2012). When soil pH values are (5.5–7.5), the most abundant form is soluble boric acid. It is accepted that plants take up B from the soil as boric acid (Tanaka & Fujiwara, 2008). An effective approach to reducing soil available B (H_3BO_3) is to increase soil pH through liming. Boron uptake, which generally reaches the highest level when the ambient pH is 6.3–6.5, is then absorbed by $\text{Al}(\text{OH})_3$ at pH 7.0, $\text{Fe}(\text{OH})_3$ at pH 8.9, and plant uptake decreases rapidly (Kaçar & Katkat, 2018). However, liming may have some harmful effects on the soil. An issue that should be considered when applying lime in soils is that increasing pH and amount of lime may cause other micronutrient deficiencies (Çelik et al., 2008). It is necessary to take into account the suitability of the soil

reclamation work to be carried out in terms of cost and time as well as its suitability in terms of cultivation.

Other nutrients have an effect on plant B uptake from the soil. The most important interaction with boron is with calcium. In the study conducted on barley, the B/Ca ratio should be 180 for optimum development, and toxic effects are observed when this ratio is 10/45 (Prasad & Power, 1997). It has been reported that the uptake of B by plants can be reduced by N application. For example, under greenhouse conditions, N addition of 50 ppm or more has been reported to reduce B uptake and alleviate B toxicity in barley and wheat (Gupta et al., 1976). A similar relationship was also observed between boron and potassium. Increasing the K/B ratio reduces the B uptake of roots from the soil (El-Kholi & Hamdy, 1977; Gupta, 1985). Gunes & Alpaslan (2000) reported that both phosphate and borate are actively absorbed by plants and that there is competition between these two anions. Antagonistic relationships have been detected between Copper and Boron, Al and B. Studies have shown that increasing copper and aluminum in the soil will reduce the amount of B and therefore its toxicity (Jiang et al., 2009; Li et al., 2019).

Mycorrhizal fungi play an important role in improving soil structure and the growth and productivity of host plants by increasing their nutrient uptake capacity. They also help plants cope with biotic and abiotic stresses (Garmendia et al., 2004; Hu et al., 2010). Mycorrhizal fungi can effectively contribute to the recovery of various stresses experienced by host plants, including the effects of metal toxicity, oxidative stress, and water stress (Miller & Jastrow, 2000; Smith & Read, 2008). Under stress conditions, mycorrhizal inoculation has significantly increased the yield and biomass of tomatoes (Bakr, 2017). The results of the study on tomatoes have shown that mycorrhizal-inoculation application in boron-polluted soils will provide advantages in cultivation by limiting excessive boron uptake (Turhan, 2021).

It has been emphasized by many researchers that external plant growth regulator applications such as salicylic acid, abscisic acid, gibberellic acid, and jasmonic acid positively affect growth and development under stress conditions (Datta et al., 1997; Kaydan & Yağmur, 2006; Ünver & Tilki, 2012; Yıldız et al., 2014). Significant relationships were found between boron concentration in soil and germination and seedling growth rates. Alamri et al. (2018) reported that low boron concentrations (0.5 mg L^{-1}) positively affected germination and seedling growth parameters, while high concentrations (1.0 mg L^{-1}) negatively affected germination and seedling development. It has been proven in studies that some applications such as salicylic acid can positively affect seed germination and seedling growth under boron stress. Especially at 4.0, 8.0, and 16.0 mg L^{-1} B stress,

1.0 mM salicylic acid, depending on the growing medium, increased the germination properties of the seeds (pepper, eggplant, watermelon), reduced the negative effects of the boron and had a positive germination time. Researchers have reported that salicylic acid can be used as an effective tool in alleviating negative effects (Turhan & Kuşçu, 2021).

If there is too much boron in the soil or irrigation water, some plants are not affected. According to Brdar-Jokanovic (2020), there are cultivated plants (sugar beet, carrot, clover) that can tolerate boron concentrations as high as $4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ in irrigation water. Kaçar & Katkat (2018) determined turnip, sugar beet, and cotton as the plants most resistant to high boron stress. Even sensitive plants irrigated with debt-rich water can give satisfactory yields when grown in soils with high adsorption capacity. However, long-term irrigation with such water can have a detrimental effect on the soil. Although plants such as apples, clover, red beet, turnip, cabbage, cauliflower, asparagus, celery, and radish have high boron needs, plants such as tomatoes, lettuce, pears, peaches, cherries, olives, sweet potatoes, and carrots have high boron needs. (Kaçar, 1984). Some plants are hypersensitive to the presence of high doses of boron in the soil and are adversely affected by its presence. The plants most sensitive to boron toxicity are grapevines, figs, and beans.

In this study, mitigating approaches to B toxicity in plants are summarized. Additionally, the precautions to be taken in cases where plants cannot be fed with sufficient boron are emphasized. Remediation of soils containing high levels of boron requires difficult and expensive methods. Although washing the soil with irrigation water with low boron content is an applied method, it is not a permanent solution. It is very difficult to eliminate boron toxicity by washing. Other reclamation methods used for boron toxicity, such as liming and fertilizing, organic matter application, pH regulation in the soil, and correction of the physical properties of the soil, may be effective against boron toxicity. It should be taken into consideration that the narrow gap between boron toxicity and deficiency will increase the costs and restrictions regarding the reclamation of boron-rich soils. Considering the environmental impacts, conditions for boron uptake and use, the large variability identified between species in utilization efficiency and tolerance, and recent findings on physiology and genetics, the best future solution will be the development and breeding of agricultural plant varieties adapted to a wide range of soil boron concentrations. (Harite 2008; Brdar-Jokanovic, 2020). However, it should be taken into consideration that boron toxicity tolerance may differ depending on varieties and plant development stages. Numerous studies to be conducted with different varieties will be useful to reveal the general behavior of varieties toward boron tolerance.

References

- Akinci, I. E. (2006). Effect of boron toxicity on yield and plant characteristics in red pepper (*Capsicum annuum* L.). Conference paper Sept. p: 290-295. <https://www.researchgate.net/publication/306119180> (Date of access: 28.07.2019).
- Alamri, S. A., Siddiqui, M. H., Al-Khaishani, M.Y., & Hayssam, M.A. (2018). Boron induces seed germination and seedling growth of *Hordeum vulgare* L. under NaCl stress. *Journal of Advances in Agriculture*, 8(1), 1224-1234.
- Aquea, F., Johnston, A. J., Cañon, P., Grossniklaus, U., & Arce-Johnson, P. (2010). Trauco, a Trithorax-group gene homologue, is required for early embryogenesis in *Arabidopsis thaliana*. *Journal of Experimental Botany*, 61, 1215-1224.
- Bahçeci, B., Tari, A. F. & Bahçeci, İ. (2021). The required amount of leaching water and reclamation period for the rehabilitation of salty and boron soils around Lake Burdur. *Çukurova J. Agric. Food Sci.*, 36(2), 289-300. doi: 10.36846/CJAFS.2021.56
- Bakr, J. (2017). Yield and quality of mycorrhized processing tomato under water scarcity. *Appl Ecol Environ Res.*, 15(1), 401-413. doi:10.15666/aeer/1501_401413
- Barber, S. A. (1995). Soil Nutrient Bioavailability: a Mechanistic Approach, 2nd ed, New York, NY: John Wiley and Sons Ltd.
- Brdar-Jokanovic, M. (2020). Boron toxicity and deficiency in agricultural plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 21, 1424. doi:10.3390/ijms21041424.
- Choi, E., Kolesik, P., McNeill, A., Collins, H., Zhang, Q., Huynhi, B., Graham, R., & Stangoulis, J. (2007). The Mechanism of boron tolerance for maintenance of root growth in barley (*Hordeum vulgare* L.) Plant Cell and Environment 30, 984-993.
- Cömert, A., & Çelik, S. K. (2017). Determination of effects on bean yield of irrigation water boron level under different soil textures. *Harran Journal of Agricultural and Food Sciences* 21(3), 323-331.
- Çelik, Z. C., Can, B. Z., & Kocakerim, M. M. (2008). Boron removal from aqueous solutions by activated carbon impregnated with salicylic acid. *Journal of Hazardous Materials*, 152, 415-422.
- Datta, K. S., Varma, S. K., Angrish, R., Kumar, B., & Kumari, P. (1997). Alleviation of salt stress by plant growth regulators in *Triticum aestivum* L. *Biologia Plantarum*, 40 (2), 269-275.
- Demirtaş, E. I., Arı, N., Arpacioğlu, A. E., Özkan, C. F., & Kaya, H. (2005). The effect of mushroom compost on yield and potassium nutrition of tomatoes grown under greenhouse conditions. *Tarımda Potasyumun Yeri ve Önemi Çalıştayı*, pp.130-137, Eskişehir, Turkey (in Turkish).

- Diana, G., Beni, C., & Marconi, S. (2010). Comparison of adsorption isotherm equations to describe boron behavior in soils affected by organic and mineral fertilization. *Communications in soil science and plant analysis*, 41, 1112–1128.
- Dursun, A. S., & Mikailsoy, F. (2015). The Effect of sulfur in the reclamation of soil boron. *NWSA-Ecological Life Sciences*, 10(2), 1-10. doi: 10.12739/NWSA.2015.10.2.5A007
- El-Kholi, A. F., & Hamdy, A. A. (1977). Boron potassium interrelationship in alfalfa plants. *Egypt J. Soil Sci.*, 17, 87-92.
- Fleming, G. A. (1980). Essential Micronutrients; Boron and molybdenum, in applied soil trace elements. B.E. Davies, John Wiley and Sons, New York pp. 155-197.
- Fujiyama, B. S., Silva, A. R. B., Silva Júnior, M. L., Cardoso, N. R. P., Fonseca, A. B., Viana, R. G., & Sampaio, L.S. (2019). Boron fertilization enhances photosynthesis and water use efficiency in soybeans at the vegetative growth stage. *J. Plant Nutr.*, 42, 2498–2506.
- Garcia-Gonzalez, M., Mateo, P., & Borilla, I. (1990). Effects of boron deficiency on photosynthesis and reductant sources and relationship with nitrogenase activity in anabaena PCC 711. *Plant Physiol.*, 93, 560- 565.
- Garmendia, I., Goicoechea, N., & Aguirolea, J. (2004). Effectiveness of three *Glo-*mus species in protecting pepper (*Capsicum annuum* L.) against *Vorticillium* wilt. *Biol Control*, 31, 296–305. doi:10.1016/j.biocontrol.2004.04.015.
- Goldberg, S., Suarez, D. L., & Shouse, P. J. (2008). Influence of soil solution salinity on boron adsorption by soils. *Soil Sci.*, 173, 368–374.
- Gupta, U. C., MacLeod, J. A., & Sterling, J. D. E. (1976). Effects of boron and nitrogen on grain yield and boron and nitrogen concentrations of barley and wheat. *Soil Science Society of America Journal*, 40(5), 723–726. doi:10.2136/sssaj1976.03615995004000050032x
- Gupta, U. C. (1968). Relationship of Total and Hot-Water Soluble Boron, and Fixation of Added Boron, to Properties of Podzol Soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 32, 45–48.
- Gupta, U. C., Jame, Y. W., Campbell, C. A., Leyshon, A. J., & Nichololaichuk, W. (1985). Boron toxicity and deficiency: A review. *Canadian Journal of Soil Science*, 65, 381-409.
- Gupta, U. C. (2007). Boron. In Allen V. Barker & David J. Pilbeam Ed.”Handbook of Plant Nutrition. CRC Taylor & Francis Group.
- Gunes., A., Alpaslan, M., Cikili, Y., & Ozcan, H. (1999). Effect of zinc on the alleviation of boron toxicity in tomato. *Journal of Plant Nutrition*, 22(7), 1061–1068. doi:10.1080/01904169909365695
- Gunes, A., & Alpaslan, M. (2000). Boron uptake ve toxicity in maize genotypes in relation to boron and phosphorus supply. *J. Plant Nutr.*, 23 (4), 451-550.

- Gunes, A., Alpaslan, M., & Inal, A. (2003). Effects of boron fertilization on the yield and some yield components of bread and durum wheat. *Turk. J. Agric. For.*, 27, 329–335.
- Gunes, A., Gezgin, S., Kalınbacak, K., Özcan, H., & Çakmak, İ. (2017). The Importance of boron for plants. *Boron*, 2 (3), 168-174.
- Harite, Ü. (2008). Pamukta Bor Toksisitesine Dayanıklılık. Adnan Menderes Üniv. Fen Bilimleri Ens. ZTO-YL-0001 (Yüksek Lisans Tezi). Aydın, 74s.
- Hu, J., Lin, X., Wang, J., Shen, W., Wu, S., Peng, S., & Mao, T. (2010). Arbuscular mycorrhizal fungal inoculation enhances the suppression of cucumber fusarium wilt in greenhouse soils. *Pedosphere*, 20, 586–593. doi:10.1016/S1002-0160(10)60048-3
- Hua, T., Zhang, R., Sun, H., & Liu, C. (2021). Alleviation of boron toxicity in plants. *Mechanisms and approaches Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 51(24), 2975-3015. doi: 10.1080/10643389.2020.1807451
- Huo, J. Song, B. Riaz, M. Song, X. Li, J. Liu, H., Huang, W., Jia, Q., & Wu, W. (2022). High boron stress leads to sugar beet (*Beta vulgaris* L.) toxicity by disrupting photosystem II. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 248, 1-10.
- Jiang, H., Tang, N., Zheng, J., & Chen, L. (2009). Antagonistic actions of boron against inhibitory effects of aluminum toxicity on growth, CO₂ assimilation, ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase, and photosynthetic electron transport probed by the JIP-test, of Citrus grandis seedlings. *BMC Plant Biology*, 9, 102. doi:10.1186/1471-2229-9-102
- Kaçar, B. (1984). Bitki Besleme. A.Ü. Zir. Fak. Yayınları no:899. s: 1-317, Ankara Üni. Yayın Ünitesi, Ankara.
- Kaçar, B. (1997). Gübre Bilgisi. 5. Baskı. s. 1-439. A.Ü. Ziraat Fakültesi Yayın No. 1490. A.Ü. Ziraat Fakültesi Yayın Ünitesi, Ankara.
- Kaçar, B., & Katkat, A.V. (2018). Bitki Besleme. Nobel Yayın 7. Basım, No: 1217, pp. 659, Ankara, Turkey (in Turkish).
- Kaydan, D., & Yağmur, M. (2006). Effects of different salicylic acid doses and treatments on wheat (*Triticum aestivum* L.) and Lentil (*Lens culinaris* Medik.) yield and yield components. *Journal of Agricultural Sciences*, 12(3), 285-293.
- Lee, H. W. (2006). The Relationship Between Boron Content and Crack Properties in FCAW Deposited Metal. *Welding Journal*, 85(6), 131-136.
- Li, Q., Chen, H., Qi, Y., Ye, X., Yang, L., Huang, Z., & Chen, L. (2019). Excess copper effects on growth, uptake of water and nutrients, carbohydrates, and PSII photochemistry revealed by OJIP transients in Citrus seedlings. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(29), 30188–30205. doi:10.1007/s11356-019-06170-2

- Lordkaew, S., Konsaeng, S., Jongjaidee, J., Dell, B., Rerkasem, B., & Jamjod, S. (2013). Variation in responses to boron in rice. *Plant Soil.*, 363, 287-295.
- Miller, R.M., & Jastrow, J. D. (2000). Mycorrhizal fungi influence soil structure. In: Kapulnik Y, Douds DD Jr, editors. Arbuscular Mycorrhizas: physiology and function. Dordrecht: Kluwer Academic Publications, p: 3–18. doi:10.1007/978-94-017-0776-3_1.
- Miwa, K., Takano, J., Omori, H., Seki, M., Shinozaki, K., & Fujiwara, T. (2007). Plants tolerant of high boron levels. *Science*, 318, 1417.
- Nable, R. O., Banuelos, G. S., & Paull, J. G. (1997). Boron toxicity. *Plant Soil.*, 193, 181-198.
- Paparnakis, A., Chatzissavvidis, C., & Antoniadis, V. (2013). How apple responds to boron excess in acidic and limed soil. *J. Oil. Sci. Plant Nutr.*, 7, 787-796.
- Paull, J. G., Cartwright, B., & Rathjen, A.J. (1988). Responses of Wheat and Barley Genotypes to Toxic Concentrations of Soil Boron. *Euphytica*, 39, 137-144.
- Prasad, R., & Power, J. F. (1997). Soil Fertility Management for Sustainable Agriculture. Lewis Publishers, New York.
- Reid, R. (2007). Identification of boron transporter genes likely to be responsible for tolerance to boron toxicity in wheat and barley. *Plant Cell Physiol.*, 48, 1673-1678.
- Sarafi, E., Siomos, A., Tsouvaltzis, P., Tsouvaltzis, C., & Therios, I. (2017). Boron toxicity effects on grafted and non-grafted pepper (*Capsicum annuum*) plants. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 17(2), 441-460.
- Semiz, G. D. (2014). Content As Irrigation Water Quality: Orhaneli, Emet and Mustafakemalpaşa Streams Feeding the Lake Uluabat. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 11(1), 98-105.
- Smith, S. E., & Read, D. J. (2008). Mycorrhizal symbiosis. 3rd ed. London (UK): Academic Press; p. 803. ISBN: 9780080559346.
- Smith, T. E., Grattan, S. R., Grieve, C. M. Poss, J. A., Läuchli, A. E., Suarez, D. L. (2012). pH-dependent salinity-boron interactions impact yield, biomass, evapotranspiration and boron uptake in broccoli (*Brassica oleracea* L.). *Plant Soil*, 370 pp: 541–554. doi: 10.1007/s11104-013-1653-9
- Stiles, A. R., Liu, C., Kayama, Y., Wong, J., Doner, H., Functon, R., & Terry, N. (2011). Evaluation of the Boron Tolerant Grass, *Puccinellia distans*, as an Initial Vegetative Cover for the Phytorestoration of a Boron-Contaminated Mining Site in Southern California. *Environ. Sci. Tech.*, 45, 8922-8927. doi.org/10.1021/es200879a
- Tanaka, M., & Fujiwara, T. (2008). Physiological roles and transport mechanisms of boron: perspectives from plants Pflügers Arch–Eur. *J. Physiol.*, 456(4), 671-677. doi: 10.1007/s00424-007-0370-8.

- Turhan, A. (2018). Effects of different boron applications on red pepper germination and seedling development. *International Agriculture, Environment and Health Congress*, pp. 265-271, 26-28 October, Aydın, Turkey.
- Turhan, A., & Kuşçu, H. (2020). Relationships between the Irrigation Water Boron Contents and the Yield and Quality Characteristics of Red Pepper. *Journal of Agricultural Faculty of Bursa Uludag University*, 34(1), 201-212.
- Turhan, A. (2021). Interactive effects of boron stress and mycorrhizal (AMF) treatments on tomato growth, yield, leaf chlorophyll and boron accumulation, and fruit characteristics. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 67(14), 1974-1985. doi:10.1080/03650340.2020.1818724
- Turhan, A., & Kuşçu, H. (2021). The Effect of Boron Stress on Germination Properties of Pepper, Eggplant and Watermelon Seeds Subjected to Salicylic Acid Pre-application. *Anadolu J. Agr. Sci.*, 36(2), 179-188. doi: 10.7161/omuanajas.825480
- Uygun, D., & Çetin, Ö. (2004). Bor'un tarımsal ve çevresel etkileri: Seydisuyu su toplama havzası. II. Uluslararası Bor Sempozyumu, 23-25 Eylül, Eskişehir, Türkiye.
- Ünver, M. C., & Tilki, F. (2012). Salinity, germination promoting chemicals, temperature, and light effects on seed germination of *Anethum graveolens* L. *Bulgarian J. of Agri. Sci.*, 18(6), 1005-1011.
- Yıldız, M., Terzi, H., & Akçalı, N. (2014). Salicylic acid and polyamines in plant salt stress tolerance. *AKU J. Sci. Eng.*, 14, 7-22. doi:10.5578%2Ffmbd.7763
- Xu, J. M., Wang, K., Bell, R. W., Yang, Y. A., & Huang, L. B. (2001). Soil Boron Fractions and their Relationships to Soil Properties. *Soil Science Society of America Journal*, 65, 133-138.
- Yau, S. K., & Ryan, J. (2008). Boron toxicity tolerance in crops: A viable alternative to soil amelioration. *Crop Science*, 48(3), 854-865. doi:10.2135/cropsci2007.10.0539
- Wang Q. L., Lu L. D., Wu X. Q., Li Y. Q., & Lin J. X. (2003). Boron influences pollen germination and pollen tube growth in *Picea meyeri*. *Tree Physiol.*, 23, 345-351. doi: 10.1093/treephys/23.5.345

BÖLÜM 5

BİYOETANOL ÜRETİM SÜRECİ VE BUĞDAY SAMANININ BİYOETANOL ÜRETİMİNDE Kİ ÖNEMİ

Doç. Dr. Arzu MUTLU¹

Doç. Dr. Timuçin TAŞ²

¹ Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Akçakale Meslek Yüksekokulu, Şanlıurfa, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8992-8371)

² Balıkesir Üniversitesi, Kepsut MYO, Veterinerlik Bölümü, Balıkesir, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2144-9064)

1. GİRİŞ

Enerji, tüm yaşamsal ve biyokimyasal faaliyetler için gerekli olan ve hayatımızı yakından ilgilendiren ve insanların yaşantılarını kolaylaştıran her türlü işlev için kullanılmaktadır. Dünyadaki nüfus artışı ve teknolojik gelişmelerle birlikte enerji ihtiyacı artarak devam etmektedir. Toplumumuzun enerji ihtiyacı, oldukça sınırlı olan fosil yakıtlardan (petrol ve petrol türevleri) karşılanmaktadır. Dünya ekonomisinde yaşanan büyümeye bağlı olarak, giderek artan enerji talebinin karşılanması ve enerji sürdürülebilirliğinin sağlanması için enerji arz kaynaklarının çeşitlendirilmesi gerekmektedir. Ayrıca fosil yakıtların giderek tükeniyor olmasının yanı sıra, iklim değişiklikleri ve küresel ısınma, fosil enerji fiyatlarında görülen dalgalanmalar, ulusların enerjide dışa bağımlı olmaktan kurtulma ve enerji temin kaynaklarını artırma çabaları fosil yakıtların yerini alabilecek alternatiflere yöneltmiştir (Bayraç ve Çemrek 2021). Özellikle küresel ısınma, asit yağmuru ve kentlerde ki kirli hava gibi ekolojik olumsuzlukların ile-riki yıllarda toplumu olumsuz yönde etkileyeceği öngörülmesi nedeniyle yenilenebilir, sürdürülebilir, çevreyle dost alternatif enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Kullanılan fosil yakıtlar özellikle küresel ısınmaya sebep olduğundan dolayı, karbon emisyonlarını %80 (h/h) azaltma, güneş ve rüzgar dahil çok çeşitli sürdürülebilir, yenilenebilir ve çevreye daha az zararlı olan biyoyakıt enerji kaynaklarına geçişi zorunlu hale getirmiştir (Kumar, A., Verma, A. 2024).

Avrupa Komisyonu, AB ülkelerindeki emisyonların 2040 yılına kadar %90 oranında azaltılması çağrısında bulunmuş, 16 yıl içinde kapsamlı ve emisjonsuz bir tedarik sistemi ve enerji için fosil yakıt kullanımının %80 oranında azaltılmasını bildirmiştir (Anonim, 2024a). Komisyon ayrıca 2030 yılına kadar AB'nin enerji karışımında yenilenebilir enerji kaynakla-rının %45'inin kullanılması hedefini belirlemiştir (Anonim, 2024b).

Çevreyle uyumlu biyoyakıtlar sıvı, katı ya da gaz biçiminde üretilile-bilmektedir. Sıvı biyoyakıtlar; biyoetanol, biyodizel, biyometanol, biyodime-tileter, biyoetiltersiyer, butileter ve çeşitli bitkisel yağlardan oluşmaktadır (Hatunoğlu, 2010). Günümüzde bunların en yaygın kullanılanları, biyoeta-nol, biyogaz ve biyodizel formundadır (Sezek, 2018). Biyoyakıt kullanımı fosil yakıtlarla karşılaştırıldığında sera gazı emisyonlarında %95'e kadar azalma sağlamaktadır. Bu hedef, Birleşmiş Milletlerin sera gazı emisyon-larını azaltma hedefleriyle uyumludur.

Biyoeetanol, dünyada en umut verici ve çevre dostu alternatif biyoya-kıtlardan biri olarak kabul edilmektedir. Petrol yakıtından %68 daha düşük enerji eşdeğerliğine sahip olmasına rağmen, yanmasının daha çevre dostu olması nedeniyle fosil yakıtları yerine uygun bir biyoyakıt seçeneği olarak kabul edilmektedir (Kumar ve Verma, 2024).

2. BİYOYAKITLAR

2.1. Birinci Nesil Biyoyakıtlar

Tarımsal üretim yoluyla elde edilen ve gıda olarak da tüketilen bitkisel ürünlerin, hammadde olarak kullanıldığı geleneksel biyoyakıtlardır. Mısır, soya, palm ve şeker kamışı gibi şeker yönünden zengin gıda ürünleri, nişasta, bitkisel yağ ve hayvansal yağlardan oluşan birinci nesil biyoyakıtlar, dünyada üretilen biyoyakıtların en büyük kısmını oluşturmakta ve biyoetanol da bu grupta yer almaktadır (Zeng ve ark., 2017). Ancak dünya nüfusunun giderek artıyor olması buna bağlı olarak gıda ihtiyacının da artması gıda olarak kullanılacak ürünlerin biyoyakıt olarak kullanılması uygun görünmemektedir. Bu nedenle günümüzde birinci nesil biyoyakıtlar yerini ikinci nesil biyoyakıtlara bırakmıştır.

2.2. İkinci Nesil Biyoyakıtlar

Selülozik biyokütleden (selüloz, hemiselüloz ve lignin) türetilen biyoyakıtlar, ikinci nesil biyoyakıtlar olarak adlandırılırlar. İkinci nesil biyoyakıtlar, karbondioksit (CO_2) konsantrasyonu üzerindeki etkilerinden dolayı genellikle karbon nötr veya karbon negatif olarak isimlendirilirler (Ünlü, 2019). Birinci nesil biyoyakıtlar ile ilgili kaygılara bir alternatif olarak gündeme gelmişlerdir. Ayrıca, ikinci nesil biyoetanol kullanımı, birinci nesil etanolün sürdürülebilirlik sorunlarını ortadan kaldırma potansiyeline sahiptir (Ljoma ve ark., 2019). İkinci nesil biyoyakıtların, bitkisel kökenli ve yiyecek olmayan hammadde kaynaklarından elde ediliyor olması, birinci nesil biyoyakıtları ikinci nesil biyoyakıtlara göre daha ekonomik hale getirmektedir. İkinci nesil biyoyakıtlar, yaygın olarak buğday samanı, mısır, patates, tahıllar, şeker pancarı ve şeker kamışı gibi tarım ürünlerinden üretilirken (Su ve ark., 2020), en çok kullanılan ikinci nesil yakıtlar, ligno-selülozik materyalden üretilen pirinç ve buğday gibi tahılların samanından elde edilmektedir (Jiang ve ark., 2018).

Lignoselülozik biyokütle, buğday, pirinç ve mısır gibi bitkilerin tarımsal atıklardan en yaygın ve ucuz şekilde elde edilmektedir. Ayrıca, lignoselülozik biyokütle, selülozun, hemiselülozun ve ligninin nompant bir şekilde bir araya gelmesi sonucu oluşan sert bir hammaddedir ve fermente edilebilir şekerlerin salınımını iyileştirmek için etkin ön uygulama metodlarının kullanımını gerektirmektedir. Yıllardır çeşitli ön uygulama metodları uygulanmakta ve bunlar, fiziksel (mikrodalga radyasyonu, öğütme, ekstrüzyon ve ultrasonikasyon), kimyasal (asit, alkali, oksidasyon ve iyonik sıvılar), biyolojik (bakteri, fungus ve enzimler) ve fizikokimyasal (buhar, amonyak lif ve karbondioksit patlaması) olarak sınıflandırılmaktadır (Su ve ark., 2020).

Ön uygulama ne olursa olsun, hammadde ile olan spesifik etkileşiminin yanı sıra hareket moduna dikkat edilmesi önerilir. Bu etkileşimlere dayanarak uygun ön uygulamaya karar verilebilir. Ön uygulama yöntemi, lignoselülozik biyokütle dönüşümü için göze çarpan bir araç ve fermente edilebilir şeker elde etmek amacıyla selüloz ve hemiselülozun enzimlerin kullanımına sunulmasını sağlamak için önemlidir (Mosier, 2005). Biyokütlerde ki selüloz, hemiselüloz ve lignini parçalamak, çözündürmek veya ayırmak için fiziksel, kimyasal, fizikokimyasal ve biyolojik uygulama metotları farklı ön uygulama metotları olarak geliştirilmiştir. Dahası ön uygulama metodu, üretilen biyoetanolin kalitesi ve verimi üzerine etkisinden dolayı hem uygun ön uygulamanın tercih edilmesi hemde ön uygulamanın az maliyetli olması çok önemlidir (Satari ve Jaiswal, 2021).

2.2.1. İkinci nesil biyoyakıt ön uygulama teknolojileri

2.2.1.1. Fiziksel bazlı ön uygulama teknikleri

Lignoselülozik kütlenin parçacık boyutunu azaltmak için öğütme, öğütme ve ısınlama gibi mekanik parçalama teknikleri yoluyla biyokütlerde var olan selülozik yapıların kristallik iriliğinin küçültülmesi mantığına dayanır (Tu ve Hallett, 2019). İşleme sıcaklığı, basınç, uygulama süresi ve hammadde gibi faktörler, fiziksel ön uygulamayı etkiler. İşlem genellikle 180 ile 240 °C arasında gerçekleştirilir ve mekanik kesmeyle tamamlanır. Uygulama, şekerlerin daha iyi hidrolize olması için hammadde yüzey alanını artırır ve farklı büyüklükte parçacıklar yaratır. Ancak bu ön uygulama tipi diğerleriyle karşılaştırıldığında enerjinin diğer ön uygulama yöntemlerine göre daha çok kullanıldığı ve kullanılan enerjinin toplam işletme maliyetinin %20'sinden fazlasını oluşturduğu bildirilmiştir (Kumari ve Singh, 2018). Bu işlemin en büyük dezavantajı üretim maliyetinin artmasına neden olan tüketim enerjisidir. Diğer bir dezavantaj ise öğütme gibi mekanik metotlar, fermente edilen şekerlerin salınımı için yeterli olmayabilir (Bahena-Molina ve ark., 2022).

2.2.1.2. Kimyasal bazlı ön uygulama teknikleri

Lignoselülozik biyokütle üzerinde kullanılan tüm ön uygulamalar arasında kimyasal uygulama, lignoselülozik bazlı biyoetanol üretimi için etkili ve uygulanabilir olanı olmuştur. Asitler, alkaliler, ozon ayrışımı, iyonik sıvılar ve organik çözücüler kimyasal ön uygulamada kullanılan başlıca materyallerdir (Mohapatra ve ark., 2017; Bahena-Molina ve ark., 2022).

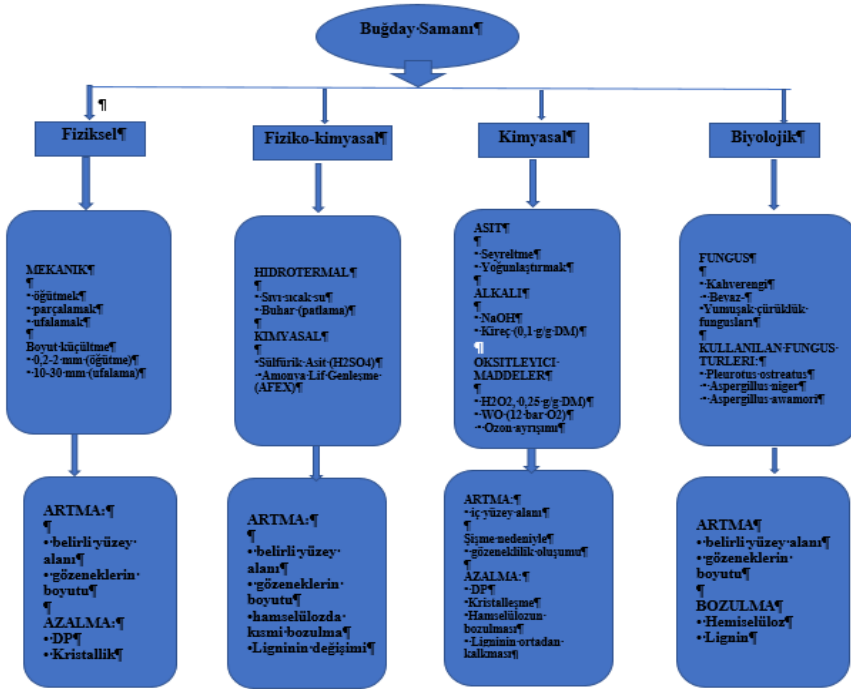
2.2.1.3. Fizikokimyasal bazlı ön uygulama teknikleri

Fizikokimyasal ön uygulama, biyokütlerde bulunan hemiselüloz ve lignin polimerlerinin parçalanması için yaygın olarak kullanılan bütünsel-

tirici bir yaklaşımdır. Ayrıca, kimyasal bir katalizör, uygulamada yüksek basınç ve sıcaklık sağlar. Bu uygulamada kullanılan yöntemlerin çoğu, 40 psi basınçta ve 50 °C ile 250 °C aralığında gerçekleştirilmektedir. Kimyasal katalizör kullanımıyla oluşturulan furanlar sayesinde, organik asitler ve fenolik bileşikler gibi mikrobiyal inhibitör bileşikler serbest bırakılır. Bu kategoride kullanılan en popüler yöntemler; buhar, patlama, ıslak oksidasyon, amonyak lifinin genleşmesi (AFEX) ve sıcak su olarak sıralanabilir. Fiziksel ve kimyasal uygulamalara nazaran, bu uygulamada daha düşük enerji kullanıldığı, enzim hidrolizi sırasında yüksek şeker ürettiği, şekerin daha düşük bozunuma uğradığı için avantajlı bir metot olduğu bildirilmiştir (Bahena-Molina ve ark., 2022).

2.2.1.4. Biyolojik bazı ön uygulama teknikleri

Genellikle mikroorganizmalar sınıfına giren biyolojik canlılar (bakteri ve fungus) ve enzimler gibi biyolojik ürünler biyolojik ön uygulamada kullanılan iki materyaldir. Diğer uygulama metotlarının aksine biyolojik ön uygulama yöntemleri, çevre dostu yeşil uygulama teknikleri olarak bilinir ve işlem sonucunda toksik ürün ortaya çıkmaz (Narayanaswamy ve ark., 2013). Biyolojik ön uygulama çevre dostu ve yeşil teknik olarak bilinmesine rağmen bu uygulama ile ilgili çeşitli dezavantajlar vardır. Bunlar, zaman alıcı olması, total şekeri azaltması ve biyoetanol üretimi için ön uygulama yapılacak biyokütleyle uygulama yapılmadan önce ekstra saflaştırma adımı gerektirmesi olarak sıralanabilir (Vasco-Correa ve ark., 2016). Bu çevre dostu uygulamayı yaygınlaştırmak ve bu zorlukların üstesinden gelmek için dünya bilim çevrelerinde birçok araştırma devam etmektedir (Zabed ve ark., 2019). İkinci nesil biyoyakıt ön uygulama teknolojilerinin avantaj ve dezavantajları Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Buğday samanında en sık kullanılan ön uygulama yöntemleri ve olası etkileri (DP; polimerizasyon derecesi, WO; ıslak oksidasyon).

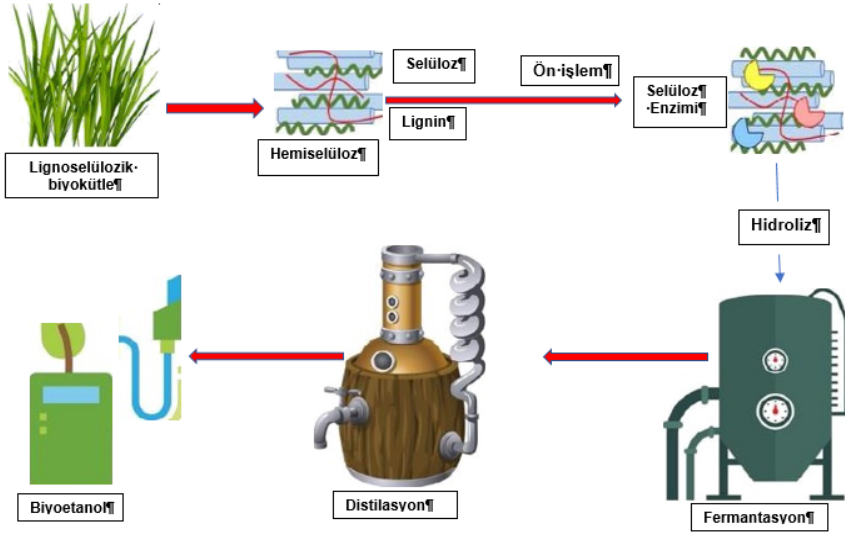
3. BİYOETANOL

Biyooetanol, bitki biyokütlesinden elde edilen ve biyogaz, biyodizel ve biyohidrojen gibi farklı türevlerde değerlendirilen yakıt türüdür (Bakala ve ark., 2023). Biyooetanol, çoğunlukla buğday, mısır, patates ve şeker pancarı gibi tarım ürünü ve atıklarından elde edilen bir üründür (Ünlü, 2019). Biyooetanol hammaddesi olarak çeşitli nişasta-şeker bitkileri kullanılmaktadır. Buğday, arpa, çavdar, pirinç, patates, mısır, şeker kamışı, arpa, saman ve melas hammaddeye birer örnektir. Bu bitkilerde ki nişasta ve şekerin enzimatik reaksiyonu sonucu oluşan disakkaritler, mikroorganizmalar yardımıyla fermentasyona uğrar daha sonra üretilen selülozik yapı, asidik hidroliz ve bunların distilasyonu sonucu biyooetanol elde edilmektedir (Sezek, 2018).

Fosil yakıtlara nazaran biyooetanol, yenilenebilir, çevre dostu, tamamen yanıcı ve toksik olmayan yeşil ve çevre dostu güçlü bir alternatiftir (Neha ve ark. 2020). Biyooetanol tarımsal atıklardan elde edilen yenilenebilir bir enerji kaynağı ve eldesinde ikinci generasyon tarımsal atıkların kullanıldığı rapor edilmiştir (Sarangi ve Nayak, 2021). Yürütülen benzer diğer bir çalışmada, biyooetanol, sera gazı emisyonlarını azaltılması ve ya-

kıt rezervlerini arttırılmasını kolaylaştıran ve bazı çevre dostu özellikleri nedeniyle, şu anda geleneksel fosil yakıtları yerine geçebilecek güçlü bir alternatif olarak durmaktadır (Kumar ve Verma., 2024).

Kaliteli ve verimli bir biyoetanol, fermantasyona uygun şeker oluşumunu artırılmalı, karbonhidrat yapının bozulmasına veya azalmasına izin verilmemeli, fermantasyon ve hidroliz basamaklarını yavaşlatacak maddeler üretmemeli ve düşük maliyetli özellikte olmalıdır. Biyokütle, dört ana basamaktan geçerek biyoetanolle dönüşür. Bu basamaklar; şekerin açığa çıkması için ön işlemlerin uygulanması, bakteri ya da fungusların kullanılması ile şekerin etanol ve CO₂ 'e dönüşmesi, etanolün distilasyon yöntemi ile fermantasyon ortamındaki diğer bileşenlerden ayrılması ve son olarak, dehidrasyon uygulaması ile etanolde karışık bulunan suyun uzaklaştırılmasıdır (Bayrakçı, 2009). Biyoetanol üretim prosesi Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Biyoetanol üretim prosesi (selüloz ve lignin oluşumu (ön işlem), hidroliz, fermantasyon, distilasyon (damıtma) ve biyoetanol) (Ayoub ve Lucia 2018; Skula ve ark., 2023)

4. TAHILLARDAN BİYOETANOL ÜRETİMİ

Tahılların (örneğin buğday, arpa, pirinç ve mısır) ekimi dünyadaki ekilebilir alanların %80'ini ve dünya gıda nüfusunun %50'sini oluşturmaktadır (Panahi, 2020). Ancak insanoğlu için bu derece önemli tahıl ürünlerinin büyük kısmı hasat sırasında ve hasat sonrası dönemde israf edilmektedir. Pek çok afrika ülkesinde hasat edilen toplam tahılın dörtte biri, kötü hasat sonrası uygulamalar nedeniyle israf edilmektedir. Hindistan'da her yıl ortalama 23 milyon ton tahıl israf edilirken, Çin'de

hasat edilen tahılın 50 milyon tonu geçtiği bildirilmektedir (Unep, 2021). Biyoetanol, günümüzde fermantasyon yoluyla çeşitli ham maddelerden elde edilip, belli oranlarda benzinle karıştırılıp kullanılmaktadır. Bu ham maddeler basit şekerler, nişasta ve lignoselüloz olarak sınıflandırılabilir (Özdemir ve Kayı, 2019). Yürütülen bir çalışmada, buğday, arpa, pirinç ve mısır tanelerinin fermantasyonu sonucunda elde edilen ortalama biyoetanol verimleri sırasıyla 340, 410, 430 ve 360 L/ton seviyelerinde iken, buğday, arpa, pirinç ve mısırın sap saman kalıntı/ürün oranları sırasıyla 1, 1.2, 1.4 ve 1 seviyelerindedir. Ayrıca, bu tahıl artıklarından (Sap, saman) elde edilen biyoetanol verimleri ise 291, 310, 280 ve 290 L/ton 'dur (Panahi, 2020). Görüldüğü üzere, tahıl tanelerinden elde edilen biyoetanol miktarı, atıklardan elde edilenden daha fazla olsada, atıklardan elde edilen miktar küçünmeyecek seviyededir. Ayrıca, yürütülen aynı çalışmada, İran ve Hindistan'da buğday artıklarından her yıl 36.375 milyon L biyoetanol üretildiği rapor edilmiştir (Panahi, 2020). Pandiyan, (2019) tarafından yürütülen diğer bir çalışmada, dünya genelinde yüksek selülozik yapıya sahip pirinç ve buğday samanından elde edilen ortalama biyoetanol miktarının, 206 -310 milyar litre arasında değiştiği bildirilmiştir. Yetiştirilen buğday bitkisi samanının bir kısmı hayvan kaba yemi olarak kullanılırken, geri kalan diğer kısmı tarla hazırlığı için yakılarak, sera gazlarının artışına sebep olmaktadır. Bu bitkilerin tane ve samanı, insan ve hayvanların gıda ihtiyacını karşılamasının dışında aynı zamanda biyoetanole dönüştürülebilen önemli miktarda nişasta bazlı şeker içeren bitkilerdir. Ek olarak, tahıl grubu bitkiler, yoğun üretimleri ve üretimi sonucunda yüksek miktarda sap-saman oluşturmaları göz önüne alındığında, biyoetanol üretimi için yüksek potansiyele sahip hammaddelerdir. Tahıl tanelerinin biyoetanol içeriği, sap ve samanından daha fazla olmasına rağmen sap saman materyali daha ekonomiktir (Pandiyan, 2019).

4.1. Buğday

Buğday, günümüzde tahıllar içerisinde dünyada ve Türkiye'de en fazla üretimi yapılan ürün olmakla birlikte küresel ısınma, devam eden savaşlar sebebiyle, insan ve hayvan beslenmesinde stratejik ürün olma potansiyelini katlayarak devam ettirmektedir.

Türkiye'de, buğday ile ilgili son istatistiki veriler incelendiğinde, 6.628.738 ha'da, 19.750.000 ton üretildiği, özellikle buğday üretiminin Konya, Ankara ve Tekirdağ gibi şehirlerde yoğunlaştığı, bu illerin toplam üretim içerisinde önemli bir paya sahip olduğu rapor edilmiştir (TÜİK, 2023).

Dünyada ölçeğinde ise Çin ve Hindistan gibi yüksek nüfuslu ülkeler buğday üretiminde ilk sıralarda yer aldığı, hem dünya hem de ülkemiz için önemli olan buğday bitkisi sadece gıda tedariki için değil, aynı zaman-

da biyoyakıt hammaddesi olma yönüyle önemini korumaktadır. Dünya ve Türkiye’de buğday üretim verileri, Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Dünya ve Türkiye’de buğday üretimi (milyon ton)

Çin	Hindistan	Amerika	Rusya	Fransa	Kanada	Almanya
113.598.205	83.124.718	56.476.406	54.699.429	36.761.121	26.761.121	23.434.674
Türkiye’de ki üretim merkezleri						
Konya	Ankara	Tekirdağ	Diyarba- kır	Sivas	Adana	Edirne
1.313.200	822.387	811.950	545.436	539.189	537.941	522.535

Kaynak: (FAO, 2023; TÜİK, 2023)

Biyoetanolün üretimindeki önemli ham maddelerden biri buğday tanesi, diğeri buğday tane hasadından geriye kalan sap-samanıdır. Günümüz ve gelecek projeksiyonu açısından Türkiye ve dünyadaki üretim potansiyeli düşünüldüğünde, buğday, alternatif enerji kaynaklarının üretiminde önemli bir yeri olacaktır (Özdemir ve Kayı, 2019). Aslında buğday samanına göre tanesinden daha fazla biyoetanol elde edilmektedir. Ancak gıdamı yakıtmı diye düşündüğümüzde gıda ön plana çıktığından dolayı buğday samanından biyoetanol üretimi daha karlı ve ekonomik olacaktır.

4.1.1. Buğday samanı ve bileşenleri

Bir buğday bitkisi, başak, sap, yapraklar ve kökler olmak üzere dört temel kısımdan oluşmaktadır. Sap ve yapraklar samanının hammaddesidir. Yaprak; yaprak ve yaprak ayasından, sap ise boğum ve boğum aralarından oluşmuştur. Yapraklar, yaprak ayaları, boğumlardaki ve boğum aralarını oluşturan bileşenlerin nisbi içeriği birbirinden farklıdır (Jacobs ve ark., 2000). Bu farklılık; çeşit ve spesifik büyüme koşullarına bağlı olarak değişiklik gösterir (Zang ve ark., 2022). Yapılan bir çalışmada altı tane buğday çeşidi karşılaştırılmış, karbonhidrat, nişasta bazlı şeker ve lignin içerikleri farklılık göstermiştir. Ayrıca, buğday saman kısımlarından, yaprak ve yaprak ayalarında daha yüksek kül konsantrasyonu, boğum aralarında daha yüksek karbonhidrat içeriği (selüloz ve hamselüloz), boğumlarda ise lignin daha fazla olduğu Collins ve ark., (2014) tarafından bildirilmiştir. Yukarıda bahsedilen çalışma ile ilgili bazı veriler, Çizelge 2’de verilmiştir.

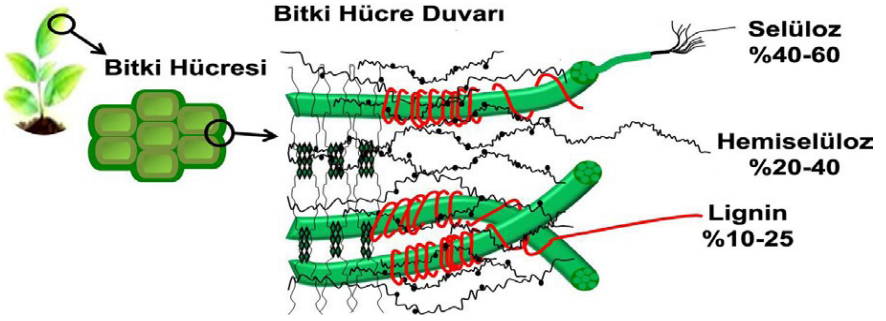
Çizelge 2. Buğday samanı organellerinin kimyasal bileşimi (%)

Saman içeriği	Yaprak	Yaprak ayası	Boğum arası	Boğum
Lignin	15	14	14	17
Selüloz	32	34	34	33
Hamselüloz	38	33	45	38
Sıcak su çözünürlüğü	15	19	7	13
Kül	12	12	5	6

Parankimatöz dokusu olan buğday samanının boğum arası, damar demetleri ve epidermisten yapılmış içi boş bir silindir olarak tarif edilebilir (Ghaffar, 2018). Parankima dokusu ince duvarlı hücrelerden oluşmuş, Aynı zamanda, her bir damar demeti de floem, ksilem ve sklerenkimadan oluşmuştur. Floem, odunsu olmayan, ince duvarlı besin maddelerinin taşındığı soymuk boruları ve eşlik eden hücreleri içerirken, ksilem boruları ise daha önce oluşmuş proto ksilemi içerir ve daha sonra meta ksilem olarak farklılaşır (Evert, 2006). Floem ve ksilem, buğday samanının büyüme ve gelişimini desteklemek için birlikte çalışırlar. Ayrıca, floem borucukları, şeker gibi fotosentetik ürünlerin taşınmasından sorumlu iken ksilem ise su ve suda çözünen mineral maddeleri taşıyan kuvvetlendirici ve iletken bir dokudur. Floem ve ksilem borucukları, mekanik destek sağlayan sert hücrelerden oluşan sklerenkima ile çevrilidir. Sklerenkima, lif hücreleri ve skleidlerden oluşur ve genellikle bu iki tür hücrenin dışında bir tabaka vardır. Sklereidlerin hücreleri şekilsel olarak farklılık gösterirken, lif hücreleri genellikle uzun ince hücrelerden oluşur (Raven ve ark., 2007). Normalde epidermise yakın olan lif hücreleri kalın bir hücre duvarına sahip olduğu için lifleri kalın iken samanın ortasındaki lif hücreleri ise çok daha ince bir hücre duvarına sahip olduğu için lif yapıları daha incedir. Lif hücreleri buğday samanının, %30 nu oluştururken, geriye kalan yüzdelik dilimde, parankim, epidermis hücreleri ve damarlar gibi lifsiz hücreler vardır. Buğday samanı lif kaynağı olarak kullanıldığında bu yüzde göz önünde tutulmalıdır (Singh ve ark., 2011; Muataz ve ark., 2020)

Ruminant hayvanlar tarafından yenilenebilir bir hammadde olan lignine olan ilgi (Jeźdrzejca ve ark., 2021), yüzyılın başından bu yana hızla artmış artmaya da devam etmektedir. Onun biyoetanol üretiminde kullanımı, morfoloji, fiziksel ve kimyasal yapısının derinlemesine anlaşılmasını gerektirir. Odundan elde edilen lignin maddesine nazaran, buğday samanından elde edilen lignin ile ilgili daha fazla araştırma yapılmıştır. Buğday samanı lignininin sahip olduğu morfoloji ve kompozisyonuna ilişkin bilgiler ne kadar çok olursa, biyoetanol biyorafineri sürecinde ligninden maksimum yarar sağlayabiliriz (Zang ve ark., 2022).

Bakala ve ark., (2023) nın yürüttükleri bir çalışmada, buğday samanı, buğday hasadından sonra, tarla zemininde kalan kalıntılar olduğu ve bu kalıntıları tarla temizliği için yakıp atmosferde sera gazları salacağımıza, kontrollü koşullarda, bu materyallerden daha karlı ve ekonomik olan biyo-etanol üretilebileceğini rapor etmişleridir. Yürütülen diğer bir çalışmada, buğday sap samanının, lignoselülozik bir biyokütle olduğu ve bu maddenin selüloz, hamselüloz ve ligninin nompant bir şekilde bir araya gelmesi sonucu oluşan sert bir hammadde olduğu bildirilmiştir. Ayrıca aynı çalışmada, lignoselülozik materyaldeki bu üç ana polimerin oranlarının, selüloz, %40-60, hamselüloz, %20-40 ve lignin ise %10-25 arasında değiştiği rapor edilmiştir (Adıgüzel, 2013; Saini ve ark., 2015). Çalışma ilgili elde edilen lignoselülozik içerik Şekil 3’de gösterilmiştir.



Şekil 3. Lignoselülozik yapı ana polimerlerinin kimyasal içeriği

Buğday samanının lignoselülozik biyokütle içeriğindeki lignin, hamselüloz ve selüloz oranları, 3:3:4 olarak belirlenmiştir (Broda, 2022). Lignoselülozik biyokütle verimli bir şekilde polisakkarit selüloz, hamselüloz ve poliaromatik lignin gibi polimerlere ayrılmak isteniyorsa, uygun ön işlem tekniği ve ardından hidroliz yapmak gerekir (Neha ve ark., 2020).

Buğday samanından biyoetanol elde edilmesi ancak ön işlemler ile mümkündür. Bu ön işlemler ile hamselüloz ve lignin uzaklaştırılır, selülozun kristalitesi azaltılır ve hammaddenin gözenekli yapısı artırılır. Dönüştürme iki süreçte gerçekleşir. Bu süreçler, buğday sapının yapısındaki selülozun ayrıştırılması aşaması ve selülozun hidroliz (parçalanarak) edilerek glikoza dönüştürülmesi aşaması olarak sıralanır. Yapılan işlemler sonucu lif yapısı değiştirilerek maddenin yüzey alanı artırılır ve enzimin selülozik materyale karşı daha etkin olması sağlanır (Xu ve ark., 2014; Li ve ark., 2017).

4.1.1.1. Selüloz

Sap ve samanın yapısal bileşenleri arasında selüloz ana bileşenlerden biridir ve dünyadaki en bol biyokütle hammaddesi olarak kabul edilmek-

tedir. Selüloz zincirleri, mikrofiller oluşturmak üzere hidrojen bağıyla birbirine bağlanır. Bu mikro liflerin çapları (nanometre) ve uzunlukları (milimetre) farklılık gösterir. Bu mikrolifler; hemiselüloz, lignin ve diğer karbonhidrat polimerlerinden oluşan bir jel matriks ile bağlanarak biyokompozit oluştururlar (Moran ve ark., 2008). Selüloz, mikrofiberleri stabil hale getirmek için lignin ve hemiselülozu bağlayarak bu malzemele- re destek ve güç verir (Moran et ark., 2008). Ek olarak selüloz, fermente edilebilir şekerden oluşan, monomerik birimlerin β -(1-4)-glikosidik bağlar aracılığıyla doğrusal zincirler halinde birbirine bağlandığı bir homo polisakkarittir (Robak ve Balcerek, 2020). Bu nedenle selülozdaki tekrarlanan yapıtaşı, glikoz kalıntısı değil, sellübiyoz kalıntısıdır. Selüloz enzimleri, selülozun hidrolizinde önemli bir rol oynar. Bu enzimler aynı zamanda, glikoza hidrolize edilen selüloza ilişkin enzimatik hidrolizin ara ürünleridir. Ek olarak, küresel karbon döngüsünde ve biyoenerji üretiminde hayati adım, ön işlemden selüloz kalıntılarının biyolojik olarak parçalanmasıdır (Lynd, 2008). Kalıntı ekosisteminde selüloolitik mikroorganizmaların kullanılması; yararlı ürünlerin üretimi, selülozun dönüştürülmesi için en iyi organize edilmiş süreç olarak kabul edilmektedir. Enzimatik sistem ile hemiselüloz ve selülozların araştırılmasında moleküler ve biyokimyasal metodolojiler kullanılmaktadır (Krause ve ark., 2003). Selülozun kristallliği, selüloz polimer zincirleri arasında hidrojen bağı yoluyla bağlantı oluşumuna yardımcı olan ve enzimatik hidroliz süreci üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Selüloz tabakasını birbirine bağlayan iki farklı kristal türü, selüloz I α ve I β 'dir. Her iki yapı, glikoz ürünlerini doğrudan istiflenemez ancak selüloz tabakalarındaki zincirlerin konumunda yer değişimine sebep olur. Ayrıca, aynı yönde selüloz I α veya ters yönde selüloz I β kristali oluşturma yeteneğine sahiptir. Lignoselülozik biyokütlenin ön işleminde en önemli amaç, selülozun kristallik yapısına müdahale ederek enzimatik hidroliz işlemini daha verimli hale getirmektir (Tufail ve ark., 2021).

4.1.1.2. Lignin

Sap ve samanda selülozdan sonra lignin ikinci en bol bulunan, üç boyutlu, doğal bir polimerdir (Rollin ve ark., 2011). Enzimlerin polimerizasyonu ile sinapil alkoller, p-kumaril ve koniferil gibi üç farklı tür ikame edilmiş ve bu türler, fenol bağlantıların ve fonksiyonel grupların oluşumundan sorumludur. Ligninin kompleks fenilpropanoid yapısı, lignoselülozik bitki hücre duvarının dik durmasını sağlayarak dayanıklılık verir. Lignin bağlantısının sınıfı ve nedensizliği, onu bozunmaya karşı en dirençli biyopolimer haline getirir (Watkins ve ark., 2015). Buğday samanından ekstrakte edilen lignin ve karbonhidrat yapıları parçalara ayrılabilir. Buğday samanından lignin elde edilmesi için enzim ve bilyeli öğütme işlemi kullanılır. Lignin öğütülme süresini, selülozun hidroliz süresi ve ekstraksiyon solventinin dioksan-su bileşimi gibi faktörler etkiler (Zeng ve ark., 2013).

Lignin öncelikle samandaki hücre duvarlarına güç ve sağlamlık katan yapısal bir materyaldir. Farklı biyokütle türleri arasında lignin içeriği, miktarı ve özelliği değişir. Ayrıca tespit edilen lignin içeriği, dağılımı ve yapısal bileşimi izolasyon yöntemine dayalı bilimsel çalışmalar arasında farklılık gösterir. Bu konu ile ilgili bir dizi izolasyon metodu geliştirilmiştir. Proses koşulları ligninin yapısını etkiler ve ligninin özellikleri üzerine önemli etkileri vardır. Yürütülen bir çalışmada lignin, termal, oksidatif, kimyasal ve bunların kombinasyonları gibi ön işlemlerde izole edilirken, kısmi olarak indirgenir (Huang ve ark., 2020). Lignin içeriği ve bileşimi, aynı tür biyokütlede bile değişiklik gösterebilir (Zhang ve ark., 2022).

4.1.1.3. Hemiselüloz

Hemiselüloz, lignoselülozik biyokütlenin hücre duvarlarında selüloz ile kombine halde bulunan kompleks bir polisakarittir. Selülozun farklılığını temsil eden hemiselüloz, lignoselüloz biyokütlesinin farklı yapısını temsil eden dallanmış konfigürasyon olarak tanımlanır. Yürütülen bir çalışmada, hemiselülozun, karışık bağlantılı β -glukanlar, ksiloglukanlar, ksilanlar ve mannoglikanlar olmak üzere dört farklı polisakkarit türünden oluştuğu rapor edilmiştir (Ebringerova, 2005). Aynı çalışmada, Ksilanlar ve mannanların bitkiler aleminde önemli hemiselüloz yapıları olduğu, herbirinin monomerleri arasında farklı bir bağlantı olduğu, ayrıca, mannan ve ksilan gibi hemiselüloz yapıların, lignoselüloz biyokütlesindeki toplam karbonhidratın en az üçte birini oluşturduğu bildirilmiştir. Sahip olduğu bu orandan dolayı, biyokütleden düşük maliyetli etanol üretimi üzerine oldukça olumlu etkisi vardır.

Tek bir hemiselüloz molekülü, birden fazla selüloz mikro lifiyle bağlantı kurarak, selüloz mikro liflerinin bağlanması ve ayrılması yeteneği gösterir. Hemiselülozların çapraz bağlanmasıyla oluşan selüloz mikro lifleri birbirinden ayrılabilir. Bunlar aynı zamanda selülozun mikrofiberlerinin birbirinin üzerinden kayma yeteneğini etkileme potansiyeline de sahiptir. Bu nedenle lignoselülozik biyokütleden elde edilen enzimler, hidrolizinden sonra maksimum seviyeye ulaşır. Kotiet ve ark., (2016) bildirdiğine göre, hemiselüloz, yapısal konfigürasyonunda heksoz ve pentoz şekerlerine sahip farklılaşmış bir polimerdir.

5. BUĞDAY SAMANININ DÜNYA İÇİN ÖNEMİ

Biyoetanolün ülkeler açısından her geçen gün daha fazla tercih edilmesinin başlıca nedenleri arasında; yerli kaynakların değerlendirilmesi, atık kontrolünün sağlanması, enerji temin kaynağı alternatiflerinin çoğaltılması, ihtiyaca göre enerji üretiminin sağlanması, talep fazlası enerjinin ticaretinin yapılması ve sürdürülebilir yerel kalkınmanın artırılması yer almaktadır. Bu hedeflere ulaşmak için öncelikle enerji tarımının destek-

lenmesi ve yaygınlaştırılması gerekmektedir. AB ve Türkiye, biyoetanol üretimi açısından uygun iklim koşulları ve tarımsal altyapıya, tüketim açısından da önemli bir iç pazar ve ihracat potansiyeline sahiptir.

Dünyanın birçok ülkesinde olduğu gibi AB ve Türkiye’de de biyoetanol üretim zincirinin oluşması ve sürdürülebilirliğinin sağlanmasına yönelik olarak, çeşitli teşvik ve destekleme politikaları uygulanmakta ve çıkarılan kanunlar aracılığı ile çeşitli karışım oranları zorunlu hale getirilmektedir. Biyoetanol piyasasında yapılan bu teşvikler sonucu; tarım, sanayi ve ulaştırma sektörlerinde istihdam artmakta, enerjide dışa bağımlılığın azalmasına bağlı olarak dış ticaret dengesi iyileşmekte, yeni üretim tesisleri açılması ile yeni vergi kaynakları oluşmakta, çevre dostu üretim olanakları çoğalmakta ve kullanılmayan tarımsal alanlar üretime yönlendirilerek üretici gelirleri artmaktadır.

Dünyada, buğdayın üretim artışı olan samandan daha verimli bir şekilde enerji elde edilmesi veya yüksek nişasta oranlarına sahip buğdaylardan enerji elde edilmesi amacıyla hem buğday ile ilgili araştırmaların hemde biyoetanol üretim prosesi ile ilgili çalışmaların arttırılması gerekmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde nüfus artışı ile beraber artan enerji ihtiyacı ve eldeki fosil enerji kaynaklarının tükenme olasılığı göz önüne alındığında, alternatif enerji kaynaklarının hayatımızda ne derece önemli olduğu ve potansiyeli anlaşılmaktadır. Fosil yakıtların yerini alması muhtemel alternatif enerji kaynağı, hem ucuz hemde kolay ulaşılır bir hammadde olması nedeniyle, biyoetanol ilk sıraları almaktadır. Biyoetanol üretiminde hammadde ihtiyacının karşılanması konusunda buğdayın, önemli bir hammadde kaynağı olduğu anlaşılmaktadır. Buğdayın hem tanesinden hem de üretim artışı olan sap-samanından biyoetanol üretilebilmektedir. Ancak küresel ısınma, enerji talebinin her geçen gün artması ve buğday üretimin alanlarının her geçen gün azalma trendinde olması ve bununla bağlantılı buğday fiyatlarının artması gibi sebeplerden dolayı insanoğlunun ileride hem besin hem enerji ihtiyacının çok daha maliyetli olması muhtemeldir. Bu bağlamda buğdayın tanesinden ziyade, samanından biyoetanol üretiminin yapılmasını daha ekonomik ve az maliyetli olacağı muhakkaktır.

Türkiye’nin gün geçtikçe sanayileşmesi ve buna bağlı artan enerji ihtiyacı, ülkeyi fosil yakıtları dışında başka arayışlara yönlendirmektedir. Ülkemiz dört mevsimin yaşandığı bir tarım ülkesidir. Bu sebeple, enerjide dışa olan bağımlılık, buğday gibi stratejik bir bitkinin sap-samanından biyoetanol üretilmesi ile azalabilir. Buğday ekiminden hasadına kadar mekanizasyonu kolay ve girdileri az olan bitkilerden birisidir. Ülkenin coğrafyası ve sahip olduğu iklim kuşağı göz önüne alınarak, buğdaydan biyoyakıt

üretimine önem verilmeli, bu alanda araştırmalar ve *ARGE* çalışmalarına daha fazla bütçeler ayrılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Adıgüzel, A.O., (2013). Biyoetanölün genel özellikleri ve üretimi için gerekli hammadde kaynakları. BEÜ Fen Bilim Dergisi, 2 (2): 204-220.
- Anonim, (2024a). CarbonBrief. Q&A: European Commission Calls for 90% Cut in EU Emissions by 2040. Available online: <https://www.carbonbrief.org/qa-european-commission-calls-for-90-cut-in-eu-emissions-by-2040/> (erişim tarihi: 7 Şubat 2024).
- Anonim, (2024b). Offshore Energy. Eight Countries Take Steps to Erase Fossil Fuels from EU's Power System as 'Ground-Breaking' New Law Comes to Light. Available online: <https://www.offshore-energy.biz/eight-countries-take-steps-to-erase-fossil-fuels-from-eus-power-system-as-ground-breaking-new-law-comes-to-light/> (erişim tarihi: 7 Şubat 2024).
- Ayoub, A.S. ve Lucia, L.A. (2018). Introduction to renewable biomaterials: first principles and concepts. North Carolina State University.
- Babu, S., Rathore, S.S., Singh, R., Kumar, S., Singh, V.K., Yadav, S.K., Yadav, V., Raj, R., Yadav, D., Shekawat, K., (2022). Exploring agricultural waste biomass for energy, food and feed production and pollution mitigation: A review. Bioresour. Technology, 360, 127566.
- Bahena-Molina, K.A., Sunder, S., Ganesan, A., Saini, R., Osorio-González, C.S., Kaur Brar, S. (2022). Pretreatment technologies for second-generation bioethanol production. In: Soccol, C.R., Amarante Guimarães Pereira, G., Dussap, C.G., Porto de Souza Vandenberghe, L. (eds) Liquid Biofuels: Bioethanol. Biofuel and Biorefinery Technologies, vol 12. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-01241-9_10
- Bakala, H.S., Devi, J., Ankita, Sarao, L.K., Kaur, S. (2023). Utilization of wheat and maize waste as biofuel source. In: Srivastava, N., Verma, B., Mishra, P. (eds) Agroindustrial waste for green fuel application. Clean Energy Production Technologies. Springer, chapter-2, pp.27-66 Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-6230-1_2
- Bayraç, H.N ve Çemrek, F., (2021). Avrupa Birliği ve Türkiye’de Biyoetanöl Üretimi ve CO2 emisyonunun ekonomik büyüme üzerindeki etkisinin panel veri analizi aracılığıyla incelenmesi, YENİ TÜRKİYE, vol:1, no:117, pp.257-269.
- Broda, M., Yelle, D. and Serwanska, K. (2022). Bioethanol production from lignocellulosic biomass—challenges and solutions. Molecules, 27(24): 8717. <https://doi.org/10.3390/molecules27248717>
- Collins, S.R.A., Wellner, N., Martinez Bordonado, I., Harper, A.L., Miller, C.N., Bancroft, I., Waldron, K.W., (2014). Variation in the chemical composition of wheat straw: the role of tissue ratio and composition. Biotechnology Biofuels 7, 121. <https://doi.org/10.1186/s13068-014-0121-y>
- Ebringerova, A., (2005). Structural diversity & application potential of hemicelluloses. *Macromolecular Symposia*, 232:1–12.

- Evert, R.F., (2006). *Esau's plant anatomy: meristems, cells, and tissues of the plant body: their structure, function, and development*, third ed. John Wiley & Sons. Wiley Online Library. <http://10.1002/0470047380>
- Ghaffar, S.H., (2018). Wheat straw biomass and its anatomical characteristics. *Current Research in Nutrition and Food Science*, 1 (2): 61-66.
- Gunawan, Safri., Hasan, H., Januariyansyah, S., Pakpahan, B.M.T. (2022). The effect of corncob as activated carbon on exhaust emission and engine performance, *Journal of Physics: Conference Series*, 2193. 012087.
- Harper, S.H., Lynch, J.M., (1981). The chemical components and decomposition of wheat straw leaves, internodes and nodes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 32 (11): 1057–1062. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740321103>
- Panahi, H.K.S., Dehghani, M., Aghbashlo, M., Karimi, K., Tabatabaei, M., (2020). Conversion of residues from agro-food industry into bioethanol in Iran: an under-valued biofuel additive to phase out MTBE in gasoline. *Renewable Energy*, 145: 699-710. <http://10.1016/j.renene.2019.06.081>
- Hu, Y., Bassi, A. and Xu, C. (2020) 21–Energy from biomass. In: Letcher TM (ed) *Future energy* (third edition). Elsevier, pp. 447–471
- Huang, D., Li, R., Xu, P., Li, T., Deng, R., Chen, S., Zhang, Q., (2020). The cornerstone of realizing lignin value-addition: exploiting the native structure and properties of lignin by extraction methods. *Chemical Engineering Journal*, 402, 126237 <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.126237>
- Hatunoğlu, E.E., (2010). Biyoyakıt politikalarının tarım sektörüne etkileri, DPT uzmanlık tezleri, Ankara.http://www.surdurulebilirlikalkinma.gov.tr/wp-content/uploads/2016/06/Biyoyakit_Politikalarinin_Tarim_Sektorune_Etkileri.pdf (erişim tarihi:05.04.2024).
- Ismael, M.H., Farhan, S.N., Jasem, Y.I., Mahmood, W. A. (2020). Ethanol production from modified wheat straw using *saccharomyces cerevisiae*. *International Journal on Emerging Technologies*, 11(2): 845–848.
- Jędrzejczak, P., Collins, M.N., Jesionowski, T., Kłapiszewski, Ł., (2021). The role of lignin and lignin-based materials in sustainable construction – a comprehensive review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 187: 624–650. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.07.125>
- Jiang, B., Yu, J., Luo, X., Zhu, Y., Jin, Y. (2018). A strategy to improve enzymatic saccharification of wheat straw by adding water-soluble lignin prepared from alkali pretreatment spent liquor. *Process Biochem*, 71: 147-151. <https://10.1016/j.procbio.2018.05.007>
- Koti, S., Govumoni, S.P., Gentela, J., Rao, L.V. (2016). Enhanced bioethanol production from wheat straw hemicellulose by mutant strains of pentose

- fermenting organisms *Pichia stipitis* and *Candida shehatae*. Springerplus, 5(1), 1545. <http://10.1186/s40064-016-3222-1>
- Krause, D.O., Denman, S.E., Mackie, R.I., Morrison, M., (2003). Opportunities to improve fiber degradation in the rumen: Microbiology, ecology, & genomics. FEMS Microbiology Reviews, 27, 663–693.
- Kumar, M. And Gayen, K., (2011). Developments in biobutanol production: new insights. Applied Energy, 88(6): 1999-2012
- Kumar, A. and Verma, A. (2024). Recent Advances in Bioethanol: Current Scenario, Sources and Production Techniques. In: Gupta, J., Verma, A. (eds) Microbiology-2.0 Update for a Sustainable Future. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-9617-9_15
- Kumari, D. and Singh, R. (2018). Pretreatment of lignocellulosic wastes for bio-fuel production: acritical review. Renewable Sustainable Energy Reviews, 90:877–891. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.111>
- Li X. and Zheng, Y. (2017). Lignin-enzyme interaction: Mechanism, mitigation approach, modeling, and research prospects. Biotechnology Advances, 35 (4): 466-489. <http://10.1016/j.biotechadv.2017.03.010>
- Ljoma, G.N., Selvarajan, R., Tekere, M. (2019). The potential of fungal co-cultures as biological inducers for increased ligninolytic enzymes on agricultural residues. International Journal of Environmental Science & Technology, 16:305-324. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1672-4>
- Lynd, L.R., Laser, M.S., Bransby, D., Dale, B.E., Davison, B., Hamilton, R., Himmel, M., Keller, M., McMillan, J.D., Sheehan, J., Wyman, C.E. (2008). How biotech can transform biofuels. Nature Biotechnology, 26(2):169–172. <https://doi.org/10.1038/nbt0208-169>
- Moran, J.I., Alvarez, V.A., Cyras, V.P., Vazquez, A. (2008). Extraction of cellulose & preparation of nanocellulose from sisal fibers. Cellulose, 15(1): 149–159.
- Mosier, N., (2005). Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. Bioresour Technology, 96:673-686. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.06.025>
- Mohapatra, S., Mishra, C., Behera, S.S., Thatoi, H., (2017). Application of pretreatment, fermentation and molecular techniques for enhancing bioethanol production from grass biomass—a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 78:1007–1032. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.026>
- Mohapatra, S., (2019). Bioethanol from biorenewable feedstocks: Technology, economics, and challenges. Bioethanol Production from Food Crop, Chapter 1, 3-27. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813766-6.00001-1>
- Muataz, H. I., Salah, N.F., Yaser, I., Jasem., Walaa Abid, M., (2020). Ethanol production from modified wheat straw using *saccharomyces cerevisiae*. International Journal on Emerging Technologies, 11(2): 845-848. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2020.04.005>

- Narayanaswamy, N., Dheeran, P., Verma, S., Kumar, S., (2013). Biological pretreatment of lignocellulosic biomass for enzymatic Saccharification. In: Fang Z (ed) Pretreatment techniques for biofuels and biorefineries. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 3–34
- Özdemir, Z.Ö. ve Kayı, Z., (2019). Buğdayın biyoetanol üretimindeki önemi. BEÜ Fen Bilimleri Dergisi, 8 (2): 725-730.
- Özertan, G., (2008). Biyoyakıtların Türkiye'nin Enerji, tarım, çevre ve kırsal kalkınma politikaları için önemi, İktisat-İşletme ve Finans Dergisi, Yıl: Ocak 2008, Sayı: 262, Ankara.
- Pandiyan, K., Singh, A., Singh, S., Saxena, A.K., Nain, L., (2019). Technological interventions for utilization of crop residues and weedy biomass for second generation bio-ethanol production Renew Energy.132:pp. 723-741.
- Robak, K. and Balcerek, M., (2020). Current state-of-the-art in ethanol production from lignocellulosic feedstocks. Microbiological Research, 240 : 126534.
- Rollin, J. A., Zhu, Z., Sathitsuksanoh, N., Zhang, Y.H.P., (2011). Increasing cellulose accessibility is more important than removing lignin: A comparison of cellulose solvent-based lignocellulose fractionation & soaking in aqueous ammonia. Biotechnology & Bioengineering, 108:22–30. <https://doi.org/10.1002/bit.22919>
- Raven, P.H., Evert, R.F., Eichhorn, S.E., (2007). The angiosperm plant body: structure and development. Biology of Plants, seventh ed. W.H. Freeman & Company/Worth Publishers, New York, pp. 510–527.
- Saini, J.K., Saini, R., Tewari, L., (2015). Lignocellulosic agriculture wastes as biomass feedstocks for second-generation bioethanol production: concepts and recent developments. 3 Biotech5 (4), 337–353.
- Sarangi, P.K. and Nayak, M.M. (2021). Agro-waste for second-generation biofuels. Liquid Biofuels Fundamentals, Characterization and Applications pp.697-709. <https://doi.org/10.1002/9781119793038.ch20>
- Satari, B. and Jaiswal, A.K., (2021). Green fractionation of 2G and 3G feedstocks for ethanol production: advances, incentives and barriers. Current Opinion in Food Science, 37:1-9. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.07.004>
- Sezek, M., (2018). Endüstri bitkileri ve bitki artıklarının biyoyakıt olarak kullanımı. Alinteri Ziraat Bilimler Dergisi, 33(1): 105-111.
- Shukla, A., Kumar, D., Girdhar, M., Kumar, A., Goyal, A., Malik, T., Mohan, A. (2023). Strategies of pretreatment of feedstocks for optimized bioethanol production: Distinct and integrated approaches. Biotechnology for Biofuels and Bioproducts, 16: 44.
- Singh, S., Dutt, D., Tyagi, C.H., (2011). Complete characterization of wheat straw (*Triticum aestivum* L.) PBW-343 L. Emend. Fiori & PAOL.)—a renewable source of fibres for pulp and paper making. BioResources, 6 (1): 154–177. <https://10.15376/biores.6.1.154-177>

- Srivastava, N., Shrivastav, Akshay K., Manish Srivastava, Mishra, P.K. (2020). Recent developments in bioenergy research: Biofuels production using wheat straw. Chapter 22, pp.433-441. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819597-0.00029-5>
- Su, T., Zhao, D., Khodadadi, M., Len, C., (2020). Lignocellulosic biomass for bioethanol: recent advances, technology trends, and barriers to industrial development. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 24: 56-60. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2020.04.005>
- Tu, W.C. and Hallett, J.P., (2019) Recent advances in the pretreatment of lignocellulosic biomass. *Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 20:11–17. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2019.07.004>
- Tufail, T., Saeed, F., Afzaal, M., Ul Ain, H.B., Gilani, S.A., Hussain, M., Anjum, F.M., (2021). Wheat straw: A natural remedy against different maladies. *Food Science and Nutrition*, ; 9 (4): 2335–2344. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2030>
- TÜİK, 2023. <https://www.tuik.gov.tr/> (Erişim tarihi: 31.03.2024).
- Ünlü, D., (2019). Fosil yakıtlara çevre dostu yenilenebilir bir alternatif: “Biyoyakıtlar”. *Uluslararası Enerji Ekonomi ve Güvenlik Kongresi. Tam Metin Bildiriler Kitabı*, 6-7 Nisan İstanbul – Türkiye.
- Vasco-Correa, J., Ge, X., Li, Y., (2016). Biological pretreatment of lignocellulosic biomass. In: *Biomass fractionation technologies for a lignocellulosic feedstock based biorefinery*. Elsevier, In, pp: 561–585.
- Watkins, D., Nuruddin, M. D., Hosur, M., Tcherbi-Narteh, A., & Jeelani, S. 2015. Extraction & characterization of lignin from different biomass resources. *Journal of Materials Research & Technology*, 4(1), 26–32.
- Xu, C., Arancon, R.A.D., Labidi, J., Luque, R., (2014). *Chem Soc Rev Lignin depolymerisation strategies: towards valuable chemicals and fuels*. *Chem Soc Rev.*, doi: 10.1039/C4CS00235K. UNEP, 2021. *Worldwide Food Waste UN Environment Programme*. <https://www.unep.org/thinkeatsave/get-informed/worldwide-food-waste>
- UNEP, (2021). *Worldwide Food Waste UN Environment Programme*. <https://www.unep.org/thinkeatsave/get-informed/worldwide-food-waste>
- Zabed, H., Sahu, J.N., Suely, A., (2017). Bioethanol production from renewable sources: current perspectives and technological progress. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71:475–501. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.076>
- Zabed, H.M., Akter, S., Yun, J., Zhang, G., Avad, F.N., Qi, X., Sahu, J.N., (2019). Recent advances in biological pretreatment of microalgae and lignocellulosic biomass for biofuel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 105:105–128. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.01.048>

- Zhang, L., Larsson, A., Moldin, A., Edlund, U., (2022). Comparison of lignin distribution, structure, and morphology in wheat straw and wood. *Industrial Crops & Products*, 187: 115432. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115432>
- Zeng, Y., Himmel, M.E., Ding, S.Y., (2017). Visualizing chemical functionality in plant cell walls. *Biotechnology for Biofuels*, 10: 1-16. <https://doi.org/10.1186/s13068-017-0953-3>
- Zhang, M., Cui, SW., Cheung, P.C.K., (2007). Antitumor polysaccharides from mushrooms: a review on their isolation process, structural characteristics and antitumor activity. *Trends in Food Science and Technology*, 18:4-19. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2006.07.013>
- Zhang., L, Larsson., A, Moldin., A, Edlund., U., (2022). Comparison of lignin distribution, structure, and morphology in wheat straw and wood. *Industrial Crops & Products* 187: 115432. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115432>

BÖLÜM 6

VETERİNER HEKİMLİK VE SU ÜRÜNLERİNDE KULLANILAN ORTAK ANTİBİYOTİKLER

Zülfükar DENİZ¹

İmren KÜÇÜKGÜL²

Azime KÜÇÜKGÜL³

1 Zülfükar DENİZ (Yüksek LisansÖğrencisi), Munzur Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Aktuluk/Tunceli, E-mail: zdnz2112@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-0994-1812>

2 İmren KÜÇÜKGÜL (Yüksek Lisans Öğrencisi), Munzur Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Aktuluk/Tunceli, E-mail: zdnz2112@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-0994-1812>

3 Azime KÜÇÜKGÜL (Prof. Dr.), Munzur Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Aktuluk/Tunceli, E-mail: akucukgul@munzur.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-0515-6667>

1. GİRİŞ

Uzun yıllardır insanoğlu hayvanlarla sürekli etkileşim içinde yaşamış ve daha çok onlardan fayda sağlama mantığıyla güçlü bir bağ kurmuşlardır. Bu faydalının et, süt gibi beslenme amaçlı olabildiği gibi kürkünden giysi yaparak soğuktan korunma gibi durumlarda hayvanları avlamışlardır. Günümüzde ise yetiştiricilik dışında evcilleştirme gibi amaçlarla insan ve hayvanların birlikteliği devam etmektedir. Ancak hayvan hastalıklarının gerek kendileri gerekse insanlar için tehlike oluşturmaları ile bu hayvanların tedavi edilmesi gerekliliği veteriner hekimlerin hayatımızdaki önemini ortaya koymaktadır.

Veteriner sahada, bakteri kaynaklı hastalıklarda tanının konulması ile en etkili antibiyotığın seçimi tedavinin etkinliği açısından önemlidir. Küçük ve büyük baş hayvan yetiştiriciliğinde, çiftlik hayvanlarında yada kedi, köpek gibi evcil hayvanlarda ortaya çıkabilecek bakteriyel enfeksiyonlarda bakteriyostatik ve/veya bakterisid etkili birçok antibiyotik (sülfonamidler, kinolonlar, tetrasiklinler, fenikoller vb.) başarılı bir şekilde kullanılmakta ve etkili sonuçlar alınmaktadır.

Veteriner hekimliğin bir diğer alanı ise sucul canlılardır. Sucul canlılarda ise değerli olan ve insan beslenmesinde önemli bir rol oynayan balıklar, içinde yaşadıkları sucul ortam ile sıkı bir birliktelik dâhilinde olan canlılardır. Bu nedenle ortamda oluşabilecek en ufak bir stres faktörü dahi balık için hastalık sebebi olabilmekte bu durum potansiyel bir tehlike oluşturmaktadır. Bu stres kaynaklı durumlar çevresel olumsuzluklar olabileceği gibi patojen kökenli mikroorganizmalardan da ileri gelebilmektedir (Cabello, 2006). Özellikle fırsatçı patojenler diğer hastalık etkenleri ile birleşerek daha büyük çaplı hastalık olgularına sebep olmakta ve ciddi ekonomik kayıpları doğurmaktadır. Fırsatçı patojenler arasında ilk sırayı bakteriyel etkenler almakta ve tedavi edilmediği durumlarda balıkta yüksek miktarlarda mortalite görülmektedir (Kirov ve Sanderson, 1996; Varadi ve ark., 2017).

Balık yetiştiricilik işletmelerinde uzun yıllardır kullanılan florfenikol, sulfadiazin+trimetoprim, oksitetrasiklin, amoksisilin, sülfadimetoksin ve enrofloxasin gibi antibiyotikler bakteriyel hastalıkların tedavisi ve kontrolü için etkili sonuçlar vermektedir (Lulijwa ve ark., 2020). Ancak uygun olmayan doz ve süre, antibiyogram testi yapılmaksızın gereksiz ve aşırı kullanım vb. birçok durum bakterilerin direnç kazanması ve dolayısıyla antibiyotik sayısının yetersiz kalmasına sebep olabilmektedir (Das ve Horton, 2016).

Bu önlemlerin alınması halinde hem veteriner sahada hem de sucul dünyada bakteriyel hastalıkların tedavisinde antibiyotikle tedavi yüksek oranlarda başarıyı da sağlayacaktır. Bu seminerde antibiyotik kullanımında

diğer hayvanlarda kullanılan antibiyotikle balıklarda kullanılanın karşılaştırılmalı taraması literatür eşliğinde ortaya konmuştur.

2. VETERİNER HEKİMLİK

İnsanlık tarihi kadar eski ve zengin olaylarla dolu tıp ve veteriner hekimlik tarihi insan ve hayvan hayatını kapsayan bir bütün olarak değerlendirilmektedir. İnsanoğlu, tarih boyunca daha iyiyi, güzeli ve yararlıyı bulmaya çabalarken; yeniyi üretmek amacıyla eskiyi kavrama, açığı, eksigi bulma yarışına girmiştir. Bu bağlamda, günümüz insanı ileri bir uygarlık ve üstün yaşam düzeyine ulaşmanın ancak sağlam bir gen ve sağlıklı bir beden yapısı sahip olmakla mümkün olduğu bilincindedir. Bunun için de medikal mesleklerin (tıp, veteriner hekimliği, diş hekimliği, eczacılık) geçmiş ve güncel bilgilerini iyi bilmek gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

İnsan ve hayvan arasındaki etkileşim uzun yıllardır tarih sahnesinde yerini almıştır. İnsanoğlu hayvanlardan avlama, evcilleştirme gibi birçok durumda faydalanmış hatta inanç ölçütleri olarak ta hayvan figürlerini kullanmışlardır. Ancak, bu etkileşim her daim insanoğlunun faydalanımı ile sonuçlanmamış özellikle salgın hayvan hastalıklarıyla tehlikeli bir durum ortaya çıkmıştır. Bu nedenle salgın hayvan hastalıklarının incelenmesi ve gerekli önlemlerin alınması amacıyla veteriner hekimliği okulu 1762’de Fransa’da açılmış (Erk, 1978) ve veteriner hekimlik terimi tanımlanmış ve yasal hakları ülkemizde 6343 sayılı kanunla yasa altına alınmıştır.

Hayvanların evcilleştirilmesi, ıslah edilmesi, üretimi, hayvan hastalıklarının sağaltımı, hayvan ve hayvansal ürünlerin sağlıklı bir şekilde insan tüketimine sunulması da veteriner hekimlerin sorumluluğundadır. Veteriner tıbbının ilk kökleri, son bir kaç yüzyılda veteriner hekimlik tarihinde yaşanan gelişmeler ve teknolojinin yükselişi ile günümüze dek gelmiştir. Veteriner teknolojisindeki gelişmeler (dijital radyoloji, cerrahi ekipman, aşı, ilaç vb.), hastalıkların erken teşhisini mümkün hale getirmiş; düzenli sağlık muayeneleriyle de hastalığı önlemeye veya erken tespit etmeye yardımcı olmuştur.

Tüm bu veriler ışığında hayvanların sağlıklı durumunun mümkün olduğunca korunması en önemli olguyu oluşturmakta; olası bir hastalık durumunda ise teşhise yönelik çalışmaların yapılarak uygun tedavi stratejileri veteriner kontrolünde sağlanmalıdır.

2.1. Veteriner Hekimlikte Antibiyotik Kullanımı

İnsanlarda olduğu gibi hayvanlarda da hastalık vakalarının çoğunu bakteriler oluşturmakta ve tedavi edilmediği takdirde ciddi tehlikelere sebebiyet vermektedir. Bakteriyel kaynaklı bir hastalık durumunda tedavide

çoğunlukla antibiyotik kullanılmaktadır. Bu bağlamda antibiyotik; bakteri, mantar vb. mikroorganizmalar tarafından sentezlenen veya sentetik olarak hazırlanan, bakterilerin büyümesini engelleyen veya öldüren biyoaktif maddeler olarak bilinmektedir (Şanlı ve Kaya, 1994; Şener, 1990; Saygı ve ark., 2012).

Sir Alexander Fleming tarafından 1928 yılında antibiyotiğin keşfedilmesiyle antibiyotik çağı başlamış günümüzde ise penisiline ek olarak teramisin ve streptomisin türevi kimyasallarda antibiyotik grubuna dâhil edilmiştir (Türkoğlu, 2008). Antibiyotiğe erişim yakın bir tarihe kadar eczanelerden reçetesiz alınarak sağlanması nedeniyle antibiyotik kullanımı son yıllarda giderek artarak hayatımızın her döneminde yer almıştır. Bu demek oluyor ki hayvan ve insan sağlığı, sucul canlıların (balık vb.) gelişimi ve sağlığı, hastane ve ilaç endüstrisinde antibiyotik sıklıkla kullanılmaktadır. Ancak, günümüzde antibiyotik temini reçete kapsamındadır. Reçete ise yasal düzenlemeler ile insan, diş ve hayvan hekimlerinin yetkisi altındadır (Kayaalp, 2007). Bu önlemler neticesinde antibiyotiklere kolay erişim engellenmiş bilinçsiz kullanımın dolayısıyla rezidü sorunu, direnç gelişimi gibi sorunların önüne geçmeye çalışılmıştır (Beyene ve Tesega, 2014; Yarsan, 2018).

Ülkemizde özellikle kırsal alanlarda büyükbaş, küçükbaş hayvan ve kanatlı sektöründe hızlı ilerlemeler kaydedilmiştir. Bunun yanında evcil hayvan besleme bir diğer önemli sektör olarak son yıllardaki yerini almıştır. Ancak, bu sektörlerde kaydedilen olumlu gelişmelere ket vuran hayvanlarda ortaya çıkabilecek hastalık olguları olup tedavileri ise veteriner hekimler tarafından yapılmaktadır.

Evcil hayvanlardaki kulak, deri, solunum yolu gibi enfeksiyonlarda (Öner ve Şahin, 2009; Altıntaş ve Yarsan, 2015), kanatlı sektöründeki bakteriyel enfeksiyonlarında (Filazi ve ark., 2015), tek tırnaklıların enfeksiyöz hastalıklarında (Kanbur ve Eraslan, 2015) antibiyotikle tedavi sıklıkla tercih edilmektedir. Sucul canlılar ise veteriner hekimliğin bir diğer hizmet alanıdır. Özellikle balık yetiştiricilik işletmelerinde görülen hastalıkların gerek önlenmesi gerekse tedavisi için yüksek miktarlarda kullanılan antibiyotiklerin temininden veterinerler sorumludur (Onuk ve Fındık, 2015).

3. SU ÜRÜNLERİ

Su Ürünleri sektörü son yıllarda yüksek kaliteli protein içeriği nedeniyle gelişmekte olan sektörler arasındadır. Sektörün ekonomiye katkısı ve tarımsal üretim değerindeki yeri dikkate alındığında, sektörün ihtiyaçlarına yönelik çalışmaların yapılması oldukça önemlidir. Su ürünleri geçmişte büyük oranda avcılık yöntemiyle elde edilirken günümüzde su ürünlerinin yaklaşık %50'si okyanus, deniz ve iç sularda yetiştiricilikle yani kültür ba-

lıkçılığıyla elde edilmektedir. Su ürünleri üretimi 2018 yılı itibariyle yaklaşık 180 milyon tonluk üretime ulaşmış olup yetiştiriciliğin payı % 46 olarak belirlenmiştir (FAO, 2020). Türkiye’de yetiştiriciliği yapılan balıklar Avrupa Birliği ülkeleri arasında ilk sırada yer almakta, dolayısıyla Türkiye balık (alabalık, sazan, çipura, levrek vb.) ithal ve ihraç eden ülke konumunda bulunmaktadır. Sektörde son 10 yılda artan ihracatın, 2019 yılında 200 bin ton miktarında ve 5 milyar TL değerinde olduğu görülmektedir (TÜİK, 2020). Tüm bu veriler ışığında dünyada olduğu gibi ülkemizde de son 20-30 yılda su ürünleri sektörü gelişmektedir.

Diğer canlılarda olduğu gibi balıklarda da hastalık olguları stres ile sıkı ilişki içerisinde olup özellikle suda oluşabilecek her türlü değişken önemli bir stresör olarak bilinmektedir. Hastalık salgınlarının çoğu su kalitesindeki (çözünmüş oksijen, pH, sıcaklık, bulanıklık vb.) yâda ortamdaki değişimlerden (organik atıklar, suya karışan her türlü ek girdi, yoğun stok, aşırı veya yetersiz besleme vb.) kaynaklı olup zamanla patojen içerikli hastalıklara davetiye çıkarmaktadır (Cabello ve ark., 2006). Özellikle fırsatçı patojenler diğer hastalık etkenleri ile birleşerek daha büyük çaplı hastalık olgularına sebep olmakta ve ciddi ekonomik kayıpları doğurmaktadır.

Su ürünleri yetiştiriciliğinde ortaya çıkan hastalıklarda ilk sırayı alan bakteriyel etkenli olanların sağaltımında antibiyotiklerle tedavi önemli bir yer kaplamakta ve mortalite oranlarını yüksek seviyelerde düşürdüğü bildirilmektedir (Zdanowicz ve ark., 2020).

3.1. Sucul Canlılarda Antibiyotik Kullanımı

Su ürünleri yetiştiriciliğinde intensif şartlar beraberinde çevresel kaynaklı sorunlar ve bu sorunları fırsat bilen patojenler balıklarda hastalık problemlerinin en önemli sebepleridir. Sıklıkla görülen ve yoğun mortalitelere sebep olan patojen grup ise bakteriyel etkenlerdir.

Ülkemizde balık yetiştiricilik tesislerinde bakteri kaynaklı hastalıklarının tedavisi uzun yıllardır antibiyotikle sağlanmaktadır. Bu antibiyotiklerin satışı ve kullanımı veteriner reçetesine bağlıdır. Su ürünleri yetiştiriciliğinde antibakteriyel ilaçlar sağaltım amacıyla olduğu gibi verimliliğin sürdürülmesi içinde kullanılmaktadır. Su ürünleri infeksiyöz hastalıklarında tedavide beta-laktam antibiyotikler, sülfanamidler, sülfadimidin, oksolinik asit, tetrasiklinler, florfenikol, eritromisin, furozolidon vb. antibiyotikler sıklıkla kullanılmaktadır (Treves-Brown, 2000; Topal ve ark., 2015). Bu antibiyotikler ise etkilerini diğer canlılarda olduğu gibi balıklarda da hücre duvarı sentezini durdurarak, hücre zar işlevini bozarak, mikroorganizmanın protein sentezini ya da nükleik asit sentezini inhibe ederek ve son olarak antimetabolik olarak göstermektedir.

Sektörde ilk olarak deneysel amaçlı uygulama, 1930'lu yıllarda antitimbakteriyel ajan olan Sülfonilamid'in Furunkulozis'e karşı kullanımıyla yapılmış, sülfonamidin kullanımı için yasal izin ise ancak 1985 yılında verilmiştir (Okamoto, 1992; Smith, 2002). Bugün ise Furunkulozisin tedavisi için yapısal olarak kloramfenikol ve tiamfenikole benzeyen florfenikol kullanılmaktadır. Balıkların bakteriyel hastalıklarında bir diğer sıklıkla kullanılan antibiyotikler oksitetrasiklinlerdir. Fakat kalıntı problemleri yönüyle kullanımları sınırlandırılmıştır. Balıklarda özellikle Myxobacteri'lerin neden olduğu enfeksiyonların sağaltımında önceleri Nitrofuran türevi olan nifurpurinol kullanılmışsa da günümüzde çok tercih edilmemektedir (Benbrook, 2002). Oksolinik asit ise geniş spektrumlu etkiye sahip olmakla birlikte özellikle Gram negatif bakterilere daha iyi etkir ve geleneksel balık yetiştiriciliğinde yaygın olarak değerlendirilmektedir. Kinolonlar grubu antibiyotikler balık üretim çiftliklerinde sıklıkla solunum, üriner ve sindirim sistemi hastalıklarının sağaltımında kullanılan önemli bir grup olarak tercih edilmektedir.

4. VETERİNER VE SU ÜRÜNLERİNDE KULLANILAN ANTİBİYOTİKLER

Hayvan sağlığı ve yetiştiriciliğinde farklı amaçlarla (hastalıkların tedavisi, davranış değişimi, gelişim, verim, gıda kalitesinin artırımı vb.) kullanılan antibiyotikler, antibakteriyel ilaç olarak bilinmekte bakteri, riketsiya, klamidya, bazı iç ve dış parazitlere karşı etki göstermektedir. Veteriner sahada bakteriyel hastalıklar ile mücadelede en etkili yöntemlerden birinin antibiyotik uygulaması olduğu bilinmektedir. Sahada sıklıkla kullanılan antibiyotikler ise penisilin G ve streptomisin ile kombinasyonları, amoksisilin, seftiofur gibi β -laktam antibiyotikler, tetrasiklinler, sülfonamid ve trimetoprim kombinasyonları, linkozamidler, linkomisin, gentamisin, eritromisin, oksasilin, enrofloksasin gibi florokinolonlar, anerobik enfeksiyonlar özelinde metronidazol olarak bildirilmiştir.

Balık hastalıklarında ise bu durum nispeten daha iyi bir konumda olup antibiyotik uygulamaları uzun yıllardır süregelmektedir. Su ürünleri sektöründe bakteriyel hastalıklarının tedavisinde kullanıma sunulmuş Florfenikol, Sulfadiazin+Trimetoprim, Oksitetrasiklin, Amoksisiklin ve Enrofloksasin etken maddelerini içeren antibiyotikler bulunmaktadır (Tarım, 2019).

Veteriner sahada olduğu gibi balıklarda da antibiyotik kullanımı bakteriyel hastalıkların tedavisinde uzun yıllardır süregelse de bilinçsiz kullanılarak aşırı tüketim, dirençli suşların oluşmasına zemin hazırlamakta ve sonuç olarak enfeksiyöz hastalıkların tedavisi için antibiyotiklerin etkinliğini kaybetmesine yol açmaktadır. Tüm bu olumsuzlukların ortadan kaldırılması için enfeksiyonun etkisine karşı bakterisidal ve bakteristatik

etkisi belirlenerek uygun antibiyotik seçiminin yapılması ve elbette uygun doz kullanımına dikkat etmek gerekmektedir (Kublay ve ark., 2005).

4.1. β -laktamlar

Beyaz, kokusuz, tuz halinde ve suda az çözünen bir bileşik olan amoksisilin β -laktam antibiyotikler grubunda yer almaktadır. Bakterisidal etkili olup geniş spektrumludur. Amoksisilin aminopenisilin grubunda yer alıp bu gruptaki penisilinler, benzilpenisilinin yan zincirinin α karbonu üzerine amino grubu getirilmesi sonucu oluşan türevleridir (Gülay, 2003).

Balık yetiştiriciliğinde Streptokokkal türler ve frunkulozis gibi bakteri kökenli hastalıkların tedavisinde (Roccaa ve ark., 2004), aynı zamanda alabalık çiftliklerinde ciddi ekonomik kayıplara neden olan yavru gökkuşağı alabalığı sendromu (RTFS- Rainbow Trout Fry Syndrome) gibi bakteriyel kökenli hastalıkların sağaltımında amoksisilin kullanımı uzun zamandır tercih edilmektedir. *Lactococcus garvieae* ile enfekte tatlı su ve deniz balıklarında görülen Laktokokkosis hastalığı ile yapılan çalışmalarda *L. garvieae* suşlarının enrofloksasin, eritromisin, amoksisilin, ampisilin, oksitetrasiklin, nitrofrantoin, kloramfenikol ve florfenikole duyarlı olduğu bildirilmiştir (Kublay ve ark., 2005; Kav ve Erganiş, 2008). Antibiyotiklerin akuakültürde sıklıkla kullanılmasının özellikle direnç gelişimi ve kalıntı bırakması handikapları nedeni ile günümüzde amoksisilinin kullanımı Amerikan Gıda ve İlaç İdaresi (FDA) tarafından kontrolü yapılması gereken antibiyotikler sınıfında değerlendirilmektedir (FDA, 2011).

Veteriner hekimlikte ise; β -laktam antibiyotikler, hayvanlarda çeşitli bakteriyel hastalıkların (arthritis, ayak enfeksiyonu, enteritis, idrar yolu enfeksiyonları, mastitis, metritis, pnömoni, sepsis vb.) tedavisinde, yan etkisi diğer antibiyotik gruplarına göre daha düşük olduğundan, yaygın olarak tercih edilmektedir (Kucukbugru ve Acaroz, 2020). Bunlardan en önemlilerinden olan penisilin G tuzları ve esterleri üst solunum yolu enfeksiyonları için tercih edilmektedir. İmipenem ve meropenemler ise geniş spektrumlu olmaları nedeniyle birçok bakteriyel enfeksiyonlarda veteriner sahada kullanılan karbapenemlerdendir. Kedi ve köpekte daha çok üriner sistem, yumuşak doku ve deri enfeksiyonlarında sefalosporinler kullanılmaktadır (Wernick ve Müntener 2010, Yazar 2018).

4.2. Makrolidler

Makrosikliklakton çekirdeğinden dolayı makrolid adını alan makrolid antibiyotikler içerdikleri halka sayısına göre sınıflandırılmaktadır (Yalçın, 2008). Protein sentezini engelleyerek etki gösteren makrolidlerin en yaygın kullanılanı ve ilk bulunanı eritromisindir (Sivapalasingam ve Steigbigel, 2010).

Balıklarda önemli bir hastalık olan Bakteriyel Böbrek Hastalığı'nın tedavisinde makrolit grubu antibiyotiklerden eritromisin kullanılmaktadır. Hatta balık yetiştiriciliğinde kullanılan tek makrolideritromisindir (Onur ve ark., 2011; Özdemir, 2010). Gram pozitif bakterilerden ise Streptokok türleri üzerinde etki göstermektedir (Satyanarayana, 2009). Kawakami ve Nakajima (2002)'nin yaptığı çalışmada 10 eritromisin, rifampisin veya streptomisin deneyisel enfeksiyonlara karşı etkili olarak bildirilmiştir. Sazan balıklarından 3 farklı Kocuria türü üzerinde eritromisinin etkili olduğu bir çalışmada vurgulanmıştır (Kovaks ve ark., 1999). Bakteriostatik etkili olan makrolit grubundan balık hastalıkları içinde en sık kullanılan ve ticari olarak üretilmiş eritromisin disk 15 µg preparatları bulunmaktadır (FAO, 2005).

Veteriner hekimlikte ise makrolid grubu en fazla kullanılan ve birçok hastalığı tedavi etme özelliğın olan antibiyotiklerdendir (Yazar, 2019). Eritromisin, tilosin, tilvalosin, spiramisin, tilmikosin, tulatromisin, gamitromisin ve tildipirosin en fazla tercih edilen makrolid grubu antibiyotiklerdir (Yazar, 2018). Özellikle sığır ve buzağı gibi büyükbaş; koyun ve keçi gibi küçük baş hayvanların solunum sistemi enfeksiyonlarında sıklıkla kullanılmaktadır. Bunun yanında anaerop enfeksiyonlar ve ayak enfeksiyonlarında da tercih edilmektedir (Pardon ve ark., 2015).

4.3. Fenikoller

Fenikoller içinde kloramfenikol iyi doku penetrasyonu, geniş spektrumu ve ucuz olması ile önceleri yaygın olarak kullanılsa da son zamanlarda direnç gelişimi vb. nedenlere bağli olarak kullanımı giderek gerilemektedir. Bakteriostatik etkinliğe sahip olup *H. influenzae*, *S. pneumoniae* ve *N. meningitidis* gibi mikroorganizmalar üzerinde bakterisid etki gösterebilmektedir (Usluer Mutlu, 2008). Fenikol grubunun bir diğeri üyesi olan florfenikol, tiamfenikolün yapısal analogudur. *Klebsiella pneumonia*, *Enterobacter cloacae*, *Shigella dysenteriae*, *Salmonella typhi*, *E. coli*, *S. aureus*, *Pasteurella multocida* ve *Proteus vulgaris* mikroorganizma türleri üzerine etkilidirler (Soback ve ark., 1995).

Su ürünleri alanında özellikle soğuk su balıklarında kullanım alanı bulan florfenikol oral yoldan hızlı bir şekilde emilmektedir (Pouliquen ve Morvan, 2005). Bakteriyel hemorajik sepsisemi etkeni olan *Aeromonas hydrophila*, streptokoklara bağli enfeksiyonlar (*Streptococcus* spp.), soğuk su vibriosisi (*Vibrio salmonicida*), soğuk su hastalığı etkeni olan *Flavobacterium psychrophylum* etkeni üzerinde göstermektedir. Bunun dışında *Lactococcus* ve *Enterococcus* türlerinin neden olduğu hastalıkların sağaltımında da florfenikol kullanılmaktadır (Tanrıkul ve ark., 2004; Akşit ve Kum, 2008; Akşit, 2016; Onuk ve ark., 2017).

En sık kullanılan ve veteriner sahada kullanım alanı bulan bu grup antibiyotiği florfenikoldür. Özellikle solunum sistemi enfeksiyonlarında kullanılmakta üriner sistem, meme ve ayak enfeksiyonlarında tercih edilmektedir. Protein sentezini engelleyerek etki gösteren florfenikol özellikle laktasyon dönemindeki inek, at, tavuk, ördek, keçi ve domuz gibi hayvan türleri için kullanılmaktadır. Erkek damızlıklarda kullanımı mevcut değildir (Atef ve ark., 2000).

4.4. Tetrasiklinler

Geniş spektrumlu antibiyotiklerden olan tetrasiklinler, *Streptomyces aureofaciens*'ten izole edilmiş antibakteriyel maddelerdir (Yu ve ark., 2016). Doğal kaynaklı olan klortetrasiklin, tetrasiklin, dimetilklortetrasiklin ve oksitetrasiklin olarak bilinen 4 türevi ile temsil edilmektedir. Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de hayvancılık sektöründe sağaltım yâda koruma amaçlı en fazla kullanılan tetrasiklin grubu oksitetrasiklindir (Pollet ve Glatz, 1984).

Su ürünleri yetiştiricilik ünitelerinde bakteriyel hastalıklar için en sık kullanılan antibiyotik tetrasiklindir (özellikle tetrasiklin HCL) (Serezli ve ark., 2005). Amerikan Federal Besin ve İlaç Birliği (FDA) tarafından su ürünleri sektöründe kullanımına izin verilen ilk antibiyotik olması yönüyle önemlidir (Reed ve ark., 2004). Ucuz olması en büyük avantajı olarak bilinmektedir. Su ürünleri yetiştiriciliğinde oral yâda banyo tarzında kullanımı mevcuttur. Ancak antibiyotiğin verilış yöntemi balığın türüne, ortam sıcaklığı, büyüklüğüne ve yapısına göre değişim göstermektedir. Furunculosis, Yersiniosis, Vibriosis, Pasteurellosis gibi septisemik ve *Columnaris* gibi hastalıkların sağaltımında kullanılan geniş spektrumlu bir antibiyotiktir (Austin ve Austin, 1999; Seęmenoglu, 2014).

Veteriner sahada ise sıklıkla reçete edilen ilaç grubudur. *E. coli*, *Enterobacterspp.*, *Salmonella spp.*, *Brucellaspp.*, *Pasteurellaspp.* ve *Mycoplasma* türlerinin neden olduğu bronşit, pnömoni, ayak enfeksiyonları, akne, enterit, deri ve ürogenital sistem enfeksiyonlarında kullanılmaktadır. Öncelikli olarak ise *Brusella* enfeksiyonları, sürü abortu ve sekonder enfeksiyonların önlenmesinde tercih edilmektedir (Tras ve Elmas, 2016).

4.5. Florokinolonlar/Kinolonlar

Kimyasal yapıları sabit olmayan kinolonlardan güçlü bakterisit etki gösteren grubu florkinolonlardır. Geniş bir etki spektrumuna sahip olmaları özellikle *Pseudomonas* türleri ve Gr (-) enterobakterilere karşı etkili olmaları kullanım alanlarında genişletmektedir (Oates ve Wood, 1991).

Balık bakteriyel enfeksiyonlarında florkinolonlardan en sık kullanılanı enrofloksasin olup gram (-) bakteriler üzerinde etkindir. Özellikle ba-

lıklarda kırmızı ağız hastalığının etkeni olan *Y. ruckeri* enfeksiyonuna karşı birçok araştırmacı tarafından enfloksasin denenmiş ve etkili sonuçlar alınmıştır (Kırcan ve ark., 2006; Akşit ve Kum, 2008; Türk ve ark., 2009). Enfloksasin ile yapılan bir diğer çalışmada ise balıklar *Vibrio anguillarum* ile enfekte edilmiş antibiyotik içerikli yemle besleme neticesinde kümülatif mortalite oranlarının düştüğü bildirilmiştir (Bowser ve Babish, 1991; Dalsgaard ve Bjerregaard, 1991).

Veteriner sahada solunum yolu enfeksiyonlarında, gastrointestinal ve üriner sistem rahatsızlıklarında özellikle sığırlarda, domuzlarda kinolonlardan siprofloksasin kullanımı uygundur (Nouws ve ark., 1998). Köpek ve kedilerde yumuşak doku enfeksiyonlarında, oral kavite, üriner sistem, prostat, dış ve orta kulak hastalıkları, yaralar ve kemik hastalıklarında siprofloksasin ve norfloksasin kullanıldığı bildirilmiştir (Doğan ve ark., 1991). Enfloksasin ise en etkili kullanılan antibiyotik olup solunum yolu ve genito-üriner sistem enfeksiyonlarında sıklıkla tercih edilmektedir (Doğan ve ark., 1991).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

İnsanlık tarihi kadar eski ve zengin olaylarla dolu tıp ve veteriner hekimlik tarihi insan ve hayvan hayatını kapsayan bir bütün olarak değerlendirilmektedir. İnsan ve hayvan arasındaki etkileşim uzun yıllardır tarih sahnesinde yerini almıştır. Bu etkileşimde insanoğlu çoğunlukla hayvanlardan çeşitli yollarla yararlanarak fayda sağlamış olmakla beraber maalesef hayvanlarda meydana gelebilecek salgın hastalıklarla da mücadele etmek zorunda kalmıştır. Bu hastalıklar insanlara bulaşabildiği gibi hayvanlar arasında yoğun enfeksiyon sonucu toplu ölümlere de sebep olabilmektedir. Bu nedenle veteriner hekimlikte hayvan hastalıklarıyla mücadelede etkili tedavi yöntemleri geliştirilmesi her daim önem verilen ve verilmesi gerekli öncelikli konular arasında yer almaktadır.

Veteriner hekimlikte antibiyotikle tedavi hayvanlarda sıklıkla ortaya çıkan bakteriyel enfeksiyonların sağaltımında etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Bu amaçla başta β -laktam grubu antibiyotikler olmak üzere sülfonamidler, florokinolonlar, tetrasiklinler, kloramfenikol gibi antibiyotiklerden yararlanılmaktadır. Bu antibiyotiklerin devamlı ve sıklıkla kullanılması elbette ki beraberinde birtakım sorunlarda (vücutta birikim, direnç gelişimi vb.) getirmektedir. Bu durumda bir veteriner hekimin antibiyotikle tedavide başarılı sonuçlar alabilmesi için hastalık tanısını doğru tanımladıktan sonra kullanacağı antibiyotiğin antibiyogram testi neticesinde karar vermiş olması gerekmektedir. Bunun yanında antibiyotiğin vücutta dağılımının ve farmakokinetik profilinin bilinmesi bir diğer önemli konu olarak bilinmekte; ayrıca seçilen antibiyotiğin uygun spektrumlu, doğru doz ve tedavide uygulanması da önem arz etmektedir.

Veteriner uygulama alanlarından birisi olan su ürünlerinde görülebilecek balık hastalıklarında birinci sırayı alan bakteriyel enfeksiyonlarda da antibiyotikle tedavide yine antibiyogram testi neticesinde seçilen antibiyotığın uygun doz, süre, spektrumda kullanılması etkin tedavide en önemli konu olarak sektörde karşımıza çıkmaktadır. Balık yetiştiriciliğinde kullanılan antibiyotiklerin başında oksitetrasiklin, amoksisilin, sülfadimetoksin gelmekte ayrıca florfenikol, sulfadiazin+trimetoprim gibi uygulamalar da dikkat çekmektedir.

Bu bölümde hem veteriner sahada hem de su ürünleri sektöründe kullanılan antibiyotikle tedavinin önemi üzerinde durulmuş gerekli önlemlerin alınması ve dikkat edilmesi gereken hususların bilincinin kavranmasıyla antibiyotikle tedavinin etkinliğinde başarının yüksek olduğu kanısına varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Akşit, A. (2016). Antibacterial resistance in the fish farming and its importance. *Türkiye Klinikleri J Vet Sci Pharmacol Toxicol-Special Topics*, 2(1), 47-54.
- Akşit D., Kum C. (2008). Gökkuşluğu alabalıklarında (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum 1792) sık görülen patojen mikroorganizmaların tespiti ve antibiyotik duyarlılık düzeylerinin belirlenmesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 19, 1-7.
- Altıntaş, L., Yarsan, E. (2015). Kedi ve köpeklerde antibiyotik direnci. *Türkiye Klinikleri J Vet. Sci. Pharmacol. Toxicol-Special Topics*, 1(2), 26-34.
- Atef, M., El-Gendi, A.Y., Azize-Amer, M.M., Abd-El Aty A.M. (2000). Pharmacokinetic properties of florfenicol in Egyptian Goats. *Deutsche Tierärztliche Wochenschrift*, 107, 147-150.
- Austin, B. and Austin, D.A. (1999). Bacterial fish pathogens: disease of farmed and wildfish, Third edition. Praxis Publishing, Chichester, UK, 487 p.
- Beyene, T. Tesega, B. (2014). Rational veterinary drug use: Its significance in public health. *Journal of Veterinary Medicine and Animal Health*, 6(12), 302-308.
- Bowser, P.R., Babish J.G. (1991). IR-4/FDA Workshop for Minor Use Drugs: enrofloxacin in salmonids. *Veterinary and Human Toxicology H Suppl*, 1, 46-49.
- Cabello, F.C. (2006). Heavy use of prophylactic antibiotics in aquaculture: a growing problem for human and animal health and for the environment. *Environmental Microbiology*, 8(7): 1137-1144.
- Dalsgaard, A., Bjerregaard, J. (1991). Enrofloxacin an antibiotic in fish. *Acta Veterinaria Scandinavica Supplementum*, 1, 292-301.
- Das, P, Horton, R. (2016). Antibiotics: achieving the balance between access and excess. *The Lancet*, 387(10014), 102-104.
- Dogan, A., Bilgili, A. ve Dagoglu, G. (1991). Veteriner Hekimlikte kullanıma yeni giren antibakteriyel ilaçlar: Kinolonlar. *Y.Y.Ü. Vet. Fak. Derg.*, 2(1-2), 141-151.
- Erk, N., 1978. Veteriner Tarihi. Ankara Üniversitesi Basımevi, Ankara.
- FAO. 2005. Food security in the context of economic and trade policy reforms: insights from country experiences. CCP 05/11. Rome.
- FAO, 2020. Food and Agriculture Organization of the United Nations. The State Of World
- FDA, 2011. Animal Husbandry and Disease Control: Aquaculture. (İnternette) Erişim: 14.08.2011, <http://www.fda.gov/animalveterinary/safetyhealth/antimicrobialresistance/ucm082099.htm>

- Filazi, A., Yurdakök Dikmen, B., Kuzukıran, Ö. (2015). Kanatlılarda antibiyotik direnci. *Türkiye Klinikleri Journal Food Hygiene and Technology-Special Topics*, 1(2), 4251.
- Gülay, Z. (2003). Hücre duvar sentezini etkileyen antibakteriyeller. *Ankem Dergisi*, 17(3), 192-204.
- Kayaalp, O. (2007). (Ed.) Türkiye İlaçla Tedavi Klavuzu 2007 Formülleri. (2.Baskı). Turgut Yayıncılık ve Ticaret A.Ş. Golden Print.
- Kav K., Erganiş O. (2008). Antibiotic susceptibility of *Lactococcus garvieae* in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) farms. *Bulletin of the Veterinary Institute in Pulawy*, 52, 223-226.
- Kawakami, H., Nakajima, K. (2002). Cultured fish species affected by red sea breamirido viral disease from 1996 to 2000. *Fish Pathol.*, 37, 45-47.
- Kirov, S.M., Sanderson, K. (1996). Characterization of a type IV bundle-forming pilus (SFP) from a gastroenteritis-associated strain of *Aeromonas veronii* biovar. *sobria*. *Microb. Pathog.*, 21(1), 23- 34.
- Kirkan, S., Göksoy, O.E., Kaya, O., Tekbıyık, S. (2016). Invitro anti microbial susceptibility of pathogenic bacteria in rainbowtrout. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.*, 30, 337-341.
- Kovacs, G., Burghardt, J., Pradella, S., Schumann, P., Stackebrandt, E., Marialigeti, K. (1999). *Kocuriapalustris* sp. nov. and *Kocuriarhizophila* sp. nov., isolated from the rhizoplane of the narrow-leaved cattail (*Typha angustifolia*). *Int J Syst Bacteriol.*, 49, 167-173.
- Kubilay, A., Altun, S., Uluköy, G., Diler, Ö. (2005). *Lactococcus garvieae* suşlarının antimikrobiyal duyarlılıklarının belirlenmesi. *S.D.Ü. Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 1(1), 39-48.
- Küçükbuğrü, N., Acaröz, U. 2020. Gıdalarda antibiyotik kalıntıları ve halk sağlığına etkileri. *Bulletin of Veterinary Pharmacology and Toxicology Association*, 11 (3), 161-167
- Lulijwa, R., Rupia, E. J., Alfaro, A. C. (2020). Antibiotic use in aquaculture, policies and regulation, health and environmental risks: a review of the top 15 major producers. *Reviews in Aquaculture*, 12(2), 640-663.
- Nouws, J.F.M., Nevins, D.J., Urea, T.B, Baars, A.M., And J. Laurensen. (1988). Pharmacokinetics, renal clearance and metabolism of ciprofloxacin following intravenous and oral administration to calves and pigs. *The Veterinary Quarterly*, 1(3), 1-5.
- Okamoto, A. (1992). Restrictions on the use of drugs in aquaculture in Japan. In: Chemotherapy in Aquaculture: from theory to reality (edited by C. Micheland D.J. Alderman). p 109-114, Office International de Epizooties, Paris
- Onuk, E.E., Findık, A. (2015). Balıklarda Antibiyotik Direnci. *Türkiye Klinikleri J Vet Sci Pharmacol Toxicol-Special Topics*, 1(2), 35-41

- Onuk, E.E., Çiftçi, A., Fındık, A., Çiftçi, G., Altun, S., Balta, F., Özer, S., Çoban, A.Y. (2011). Phenotypic and molecular characterization of *Yersinia ruckeri* isolates from Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum, 1792) in Turkey. *Berlinerund Munchener Tierarztliche Wochenschrift*, 124, 320-328.
- Onuk, E.E., Tanrıverdi Çaycı, Y., Çoban, A.Y., Çiftçi, A., Balta, F. & Didinen, B.I. (2017). Balık ve yetiştirme suyu kökenli *Aeromonas* izolatlarının antimikrobiyal duyarlılıklarının saptanması. *Ankara Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Dergisi*, 64, 69-73
- Öner, A.C., Şahin, A. (2009). Egzotik hayvanlarda antibakteriyel tedavi. *Y.Y.U. Veteriner Fakültesi Dergisi*, 20(1), 81-6.
- Özdemir, E., 2010. Gökkuşluğu Alabalıklarında (*Oncorhynchus mykiss* – Walbaum 1792) Bazı Antibiyotik Kalıntılarının Saptanması, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Besin Hijyeni ve Teknolojisi Ana-bilim Dalı, Ankara.
- Pardon, B., Alliet, J., Boone, R., Roelandt, S., Valgaeren, B., Deprez, P. (2015). Prediction of respiratory disease and diarrhea in vealcalves based on immunoglobulin levels and the serostatus for respiratory pathogens measured at arrival. *Prev Vet Med*, 120, 169-176.
- Pollet, R.A., and Glatz, C.E. (1984). Oral absorption of chlortetracycline in Turkey: Influence of citric acid and pasteurella multocida infection. *Poultry Science*, 63, 1110-1114.
- Pouliquen, H., Morvan, M.L. 2005. Determination of florfenicol in freshwater, sediment and bryophytefontinalisantipyreticaby HPLC with flour essence detection. *Chromatographia*, 62, 225-231.
- Reed, L.A., Siewicki, T.C., Shah, J.C., 2004. Pharmacokinetics of oxytetracycline in the white shrimp, *Litopenaeussetiferus* *Aquaculture*, 232, 11–28.
- Roccaa, G.D., Zaghinib, A., Zanonib, R., Sanguinettib, V., Zanchettac, S., Di Salvoa, A., Malvisia, J. (2004). Seabream (*Sparus aurata* L.): Disposition of amoxicillin after single intravenous or oral administration and multiple dose depletion studies. *Aquaculture*, 232, 1-10.
- Satyanarayana, K., 2009. Detection of antimicrobial resistance in common gram negative and gram positive bacteria encountered in infection diseases. *An Update, ICMR Bulletin*, 49, 1-3.
- Saygı, G., Battal, D., Özlen Şahin, N. (2012). Çevre ve insan sağlığı yönünden ilaç atıklarının önemi. *Marmara Pharmaceutical Journal*, 16, 82-90
- Seğmenoğlu, M.S. (2014). Balık kas dokuda tetrasiklin grubu bazı antibiyotiklerin araştırılması. *Avkae Dergisi*, 4, 25-29.
- Serezli, R., Çargan, H., Okumu, A., Akhan, S., ve Balta, F., (2005). The effect of oxytetracycline on non-specific immune response in seabream (*Sparus aurata* L. 1758). *Turkish J. of Vet. and Anim. Sci.* 29, 31-35.

- Sivapalasingam, S., Steigbigel, N.H. (2010). Macrolides, clindamycin, and ketolides, "Mandell GL, Bennett JE, Dolin R (eds): Principles and Practice of Infectious Diseases, 7. baskı" kitabında s.427-48, Churchill Livingstone Elsevier, Philadelphia. Oates, J.A, Wood, A.J.J., 1991. Fluoroquinolone anti microbial agents. *The New England Journal of Medicine*, 324 (6), 15-25.
- Smith, M. (2002). Animal Drug Import Tolerances Under ADAA of 1996: FDA's Public Health Protection, International Harmonization, and Trade-Related Goals Benbrook, 2002.
- Soback, S., Paape, M.J., Filep, R., Varma, K.J. (1995). Florfenicol pharmacokinetics in lactating cows after intravenous intramammary intramuscular administration. *Pharmacol.*, 18(6), 413-417.
- Şanlı, Y., Kaya, S., (1994). Veteriner Farmakoloji ve İlaçla Sağıtım Seçenekleri. Medisan Yayınevi, Ankara, 571-650.
- Şener, S. (1990). Veteriner Klinik Farmakoloji ve Formüller. Pethask Veteriner Hekimliği Yayınları. 8391. 2
- Tanrıkul, T., Avsever, M.L., Onuk, E.E., Didinen, B.I. (2014). Vagococcus salmoninarum a causative agent of disease in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum) Broodstocks in the Aegean Region of Turkey. *Etlik Vet Mikrobiyol Derg*, 25 (1), 11-16.
- Treves-Brown, K.M. (2000). Applied Fish Pharmacology. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher.
- Topal M., Şenel G.U., Arslan Topal E.I.A. ve Öbek E. (2015). Antibiyotikler Ve Kullanım Alanları. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 31(3), 121-127.
- TÜİK., (2020). Su ürünleri istatistikleri. TÜİK. Erişim adresi: [https://www.tarimorman.gov.tr/sgb/Belgeler/SagMenuVeriler/BSGM.pdf]. Erişim tarihi: 12.08.2020.
- Türkoğlu, F.K. (2008). Pediatri Kliniğine Başvuran Annelerin Çocuklarda Antibiyotik Kullanımı Konusundaki Bilgi ve Tutumların Araştırılması. Sağlık Bakanlığı Göztepe Eğitim ve Araştırma Hastanesi Aile Hekimliği, Uzmanlık tezi, s.120, İstanbul. 2008.
- Türk, C., Gökhan H.B., Özcan M., İspir, Ü., (2009). Gökkuşluğu alabalığında *Yersinia ruckeri*'ye karşı enrofloxasinin etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su ürünleri Fakültesi Dergisi*, 5, 36-41.
- Usluer Mutlu, B. (2008). Kloramfenikol. Willke TA, Söyletir G, Doğanay M, editörler. Enfeksiyon Hastalıkları ve Mikrobiyolojisi. 3. Baskı. İstanbul: Nobel Tıp Kitabevleri. 303-8.
- Varadi, L., Luo, J.L., Hibbs, D. E., Perry, J. D., Anderson, R. J., Orenge, S., Groundwater, P.W. (2017). Methods for the detection and identification of

pathogenic bacteria: past, present, and future. *Chemical Society Reviews*, 46(16), 4818-4832.

Wernick, M.B., Müntener, C.R. (2010). Cefovecin: A New Long Acting Cephalosporin. *J Exot Pet Med*. 19(4), 317–322

Yarsan, E.,(2018). Veteriner İlaçları ve İlaçtan Kaynaklanan Sorunlar.*Lalahan Hay. Araşt. Enst. Derg.*, 58, 64-68.

Yazar E (2018). Veteriner İlaç ve Aşı A'dan Z'ye, Nobel tıp yayınevi, İstanbul, Türkiye.

Yalçın, A.N. (2008). Makrolidler, “Leblebicioğlu H, Usluer G, Ulusoy S (eds): Güncel Bilgiler Işığında Antibiyotikler, 1. baskı” kitabında s.377-86, Bilimsel Tıp Yayınevi, Ankara (2008).

Yu, F., Li, Y., Han, S. ve Ma, J., (2016). Adsorptive removal of antibiotics from aqueous solution using carbon materials. *Chemosphere*, 153, 365–385

Zdanowicz, M., Mudryk, Z. J., Perliński, P. (2020). Abundance and antibiotic resistance of *Aeromonas* isolated from the water of three carp ponds. *Veterinary Research Communications*, 44(1), 9-18.