

TARIM, ORMAN VE SU BİLİMLERİNDE GÜNCEL TRENDLER VE ÇALIŞMALAR



All Sciences Academy

TARIM, ORMAN VE SU BİLİMLERİNDE GÜNCEL TRENDLER VE ÇALIŞMALAR

Editör

Prof. Dr. NİGAR YARPUZ BOZDOĞAN





Tarım, Orman ve Su Bilimlerinde Güncel Trendler ve Çalışmalar

Editör: Prof. Dr. NİGAR YARPUZ BOZDOĞAN

Dizayn: All Sciences Academy Design

Basım Tarihi: Eylül 2026

Yayıncı Sertifika Numarası: 72273

ISBN: 978-625-5472-07-6

© All Sciences Academy

www.allsciencesacademy.com

allsciencesacademy@gmail.com

İÇERİK

1. Bölüm	5
Çeltik Üretiminde Tarımsal Mekanizasyon Sistemleri <i>Cevat FİLİKCİ, Tamer MARAKOĞLU</i>	
2. Bölüm	27
Meyvelerde Hasat ve Hasat Sonrası İşlemlerde Mekanik Zedelenme ve Ambalajlama Yaklaşımları <i>Elçin YEŞİLOĞLU CEVHER</i>	
3. Bölüm	47
Sosyal Kooperatifler ve Etkileri <i>Hacer ÇELİK ATEŞ</i>	
4. Bölüm	59
Hayvancılık İşletmelerinde Barınak Tipine Göre Kapasite Belirlenmesi Teknik Analizi <i>İsrafil KOCAMAN</i>	
5. Bölüm	87
Tarımda Makineleşmenin Tarımsal Üretim, Verimlilik ve Sürdürülebilir Tarım Üzerindeki Etkileri <i>Yusuf DİLAY, Adem ÖZKAN</i>	
6. Bölüm	101
Gelecekte Tarım <i>Yusuf DİLAY, Adem ÖZKAN</i>	
7. Bölüm	116
Domateste Hıyar Mozaik Hastalığı <i>Serkan YEŞİL</i>	

Çeltik Üretiminde Tarımsal Mekanizasyon Sistemleri

Cevat FİLİKCİ¹
Tamer MARAKOĞLU²

1- Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Motorlu Araçlar, Gemi ve Uçak Bölümü, 40700, Kırşehir, Türkiye. E-mail.: cevat.filikci@ahievran.edu.tr. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4169-8412>

2- Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü , 42130, Konya, Türkiye. E-mail: marakoglu@selcuk.edu.tr. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2824-116X>

*Corresponding Author: Cevat FİLİKCİ, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Motorlu Araçlar, Gemi ve Uçak Bölümü, 40700, Kırşehir, Türkiye.

ÖZET

Çeltik, yetiştirme tekniği ve su yönetimi bakımından diğer tahıl türlerinden farklı özellikler gösteren önemli bir tarla bitkisidir. Çeltik üretiminde başarılı ve sürdürülebilir bir üretim sürecinin oluşturulabilmesi; tarla hazırlığı, toprak işleme, yüzey tesviyesi, ekim, sulama, gübreleme, yabancı otlarla mücadele, hasat, harmanlama, kurutma ve depolama işlemlerinin uygun şekilde planlanmasını ve yürütülmesini gerektirmektedir. Bu süreçlerin etkin bir biçimde gerçekleştirilmesinde tarımsal mekanizasyon önemli bir üretim unsuru olarak öne çıkmaktadır.

Çeltik tarlalarının üretime hazırlanmasında toprak işleme ve tarla yüzeyinin düzgün hale getirilmesi, sulama suyunun tarla içerisinde kontrollü ve homojen bir şekilde dağıtılması açısından temel öneme sahiptir. Bu kapsamda pulluk, diskaro, tırmık, tesviye ekipmanları ve tava-tır oluşturma araçları kullanılabilir. Ekim aşamasında ise bölgesel üretim koşullarına bağlı olarak serpmeye, mibzerle ekim ve fideleme yöntemlerinden yararlanılmaktadır. Tohumların ekim öncesinde uygun şekilde hazırlanması, yeterli tohumluk miktarının kullanılması ve ekim işleminin uygun koşullarda gerçekleştirilmesi, düzenli bitki çıkışı ve üretim başarısı açısından önem taşımaktadır.

Çeltik yetiştiriciliğinde su yönetimi, üretim sisteminin temel bileşenlerinden biridir. Tarlaların tava ve tırmıkla bölümlendirilmesi, sulama ve drenaj kanallarının oluşturulması ve bitkinin gelişme dönemlerine göre uygun su seviyesinin sağlanması, üretim sürecinin etkin bir şekilde yürütülmesine katkı sağlamaktadır. Bunun yanında gübreleme ve yabancı ot mücadelesi, bitkinin gelişiminin ve verim oluşumunun desteklenmesi açısından önemli bakım uygulamalarını oluşturmaktadır. Bu işlemlerin zamanında gerçekleştirilmesi, uygun ekipmanların kullanılması ve üretim koşullarına göre mekanizasyon düzeyinin belirlenmesi üretim etkinliğini doğrudan etkilemektedir.

Hasat döneminde üretim alanının topografik ve fiziksel özellikleri kullanılacak yöntemin belirlenmesinde etkili olmaktadır. Düz ve makine kullanımına uygun alanlarda biçerdöverlerle doğrudan hasat ve harmanlama yapılabilirken, taşlık veya eğimli alanlarda geleneksel hasat yöntemlerinden yararlanılabilmektedir. Hasat sonrasında ise ürünün uygun nem seviyesine kadar kurutulması ve depolama koşullarının kontrol altında tutulması, çeltik kalitesinin korunması ve depolama kayıplarının azaltılması açısından önem taşımaktadır.

Bu bölümde çeltik üretiminde uygulanan temel yetiştirme teknikleri ile tarımsal mekanizasyon uygulamaları bir bütün halinde ele alınmaktadır. Tarla hazırlığından ekim ve bakım işlemlerine, sulama uygulamalarından hasat ve harmanlamaya, kurutma ve depolamadan ürünün işlenmeye hazırlanmasına kadar üretim sürecinin temel aşamaları açıklanmaktadır. Böylece çeltik üretiminde tarımsal mekanizasyonun üretim süreçlerindeki rolü ortaya konulurken, farklı üretim koşullarında uygulanabilecek temel yetiştirme ve

hasat yöntemlerinin bütüncül bir çerçevede değerlendirilmesi amaçlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler – Çeltik, Oryza, tarımsal mekanizasyon, yetiştirme teknikleri, toprak işleme, ekim, sulama, hasat, harmanlama, hasat sonrası işlemler.

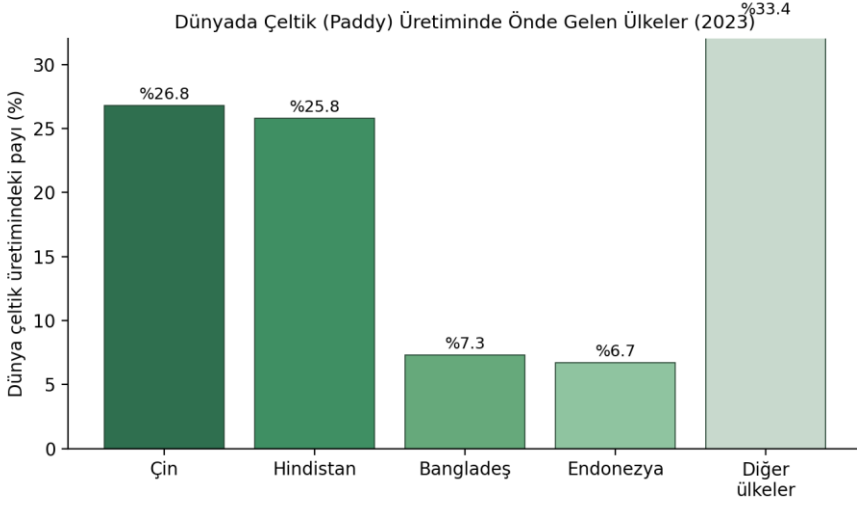
1. GİRİŞ

Çeltik (*Oryza spp.*), dünya genelinde insan beslenmesinde önemli bir yere sahip olan ve geniş bir coğrafyada yetiştirilen temel tahıl ürünlerinden biridir. Çeltik üretim sistemi, su yönetimi, toprak koşulları, yetiştirme tekniği ve hasat uygulamaları bakımından diğer tahıl üretim sistemlerinden ayrılmaktadır. Özellikle üretim alanlarının su altında tutulabilmesi için tarla yüzeyinin uygun şekilde düzenlenmesi, sulama ve drenaj sistemlerinin oluşturulması ve üretim işlemlerinin belirli bir sıra içerisinde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu özellikler, çeltik üretiminde tarımsal mekanizasyonun yalnızca iş gücünün azaltılması açısından değil, üretim işlemlerinin zamanında ve teknik olarak uygun biçimde gerçekleştirilebilmesi açısından da önemli olduğunu göstermektedir.

Küresel ölçekte değerlendirildiğinde çeltik, yaklaşık 800 milyon ton civarındaki yıllık üretim miktarıyla dünyanın en önemli tahıl ürünlerinden biri konumundadır ve üretimin büyük bölümü Asya kıtasında yoğunlaşmaktadır. Dünya çeltik üretiminin yarısından fazlası tek başına Çin ve Hindistan tarafından karşılanmakta, bu durum söz konusu ülkelerdeki mekanizasyon politikalarının küresel arz güvenliği açısından da belirleyici olduğunu göstermektedir (FAO, 2024). Ülkeler arasındaki mekanizasyon düzeyi farklılıkları oldukça belirgindir; Çin’de genel tarımsal mekanizasyon oranının yaklaşık %75 düzeyinde olduğu, buna karşılık Hindistan’da bu oranın yaklaşık %45 düzeyinde kaldığı bildirilmektedir (Mobility Foresights, 2023). Bu farklılık, çeltik üretiminde mekanizasyonun yalnızca makine varlığına değil, işletme yapısına, arazi büyüklüğüne ve kurumsal destek politikalarına da bağlı olarak şekillendiğini ortaya koymaktadır. Tablo 1 ve Şekil 1’de dünya çeltik üretiminde önde gelen ülkeler ve üretim payları özetlenmektedir.

Tablo 1. Dünyada çeltik üretiminde önde gelen ülkeler ve üretim payları (FAO, 2024)

Ülke	Dünya üretimindeki payı (%)	Yaklaşık üretim (milyon ton)
Çin	26,8	~214
Hindistan	25,8	~207
Bangladeş	7,3	~58
Endonezya	6,7	~54
Diğer ülkeler	33,4	~267



Şekil 1. Dünyada çeltik üretiminde önde gelen ülkelerin üretim payları (FAO, 2024).

Günümüzde tarımsal üretimde artan iş gücü maliyetleri, kırsal nüfusun azalması, üretim alanlarının etkin kullanılma gereksinimi ve üretim girdilerindeki artış, mekanizasyonun önemini daha da artırmıştır. Çeltik üretiminde toprak hazırlığı, tarla tesviyesi, ekim veya dikim, gübreleme, yabancı ot mücadelesi, hasat ve harmanlama gibi çok sayıda işlem kısa zaman aralıklarında gerçekleştirilmek zorundadır. Bu işlemlerin insan gücüne dayalı olarak yürütülmesi, özellikle geniş üretim alanlarında zaman ve iş gücü açısından önemli kısıtlar oluşturabilmektedir. Bu nedenle traktörler, toprak işleme ekipmanları, ekim ve dikim makineleri, biçerdöverler ve hasat sonrası ekipmanlar çeltik üretim sisteminin önemli mekanizasyon unsurları arasında yer almaktadır. Güncel değerlendirmeler, çeltik üretiminde mekanizasyonun üretim işlemlerinin hızlandırılması, iş gücü gereksiniminin azaltılması ve üretim verimliliğinin artırılması bakımından önemli bir araç olduğunu ortaya koymaktadır (Guru et al., 2025; 胡雅杰 et al., 2025).

Çeltik üretiminde mekanizasyonun ilk önemli aşamalarından biri tarla hazırlığıdır. Çeltik tarlalarında toprak işleme yalnızca tohum yatağının hazırlanmasına yönelik bir işlem olmayıp, aynı zamanda sulama suyunun tarlada tutulmasını ve homojen şekilde dağıtılmasını sağlayacak yüzey koşullarının oluşturulmasını da kapsamaktadır. Pulluk, diskaro, tırmık ve tesviye ekipmanlarının uygun şekilde kullanılmasıyla toprak işleme ve yüzey düzenleme işlemleri gerçekleştirilebilmektedir. Özellikle tarla yüzeyinin düzgün olması, tava içerisindeki su seviyesinin daha iyi kontrol edilmesine ve bitkilerin benzer su koşullarında gelişmesine katkı sağlamaktadır. Nitekim J. Li et al. (2024), mekanize toprak hazırlığının çeltik üretiminde sulama suyu verimliliğini artırdığını ve mekanize toprak işleme uygulamalarının sulama yönetimiyle doğrudan ilişkili olduğunu bildirmiştir. Bu sonuç, tarla

hazırlığında kullanılan mekanizasyon araçlarının yalnızca mekanik bir işlem gerçekleştirmedeğini, aynı zamanda sonraki üretim aşamalarının etkinliğini de etkilediğini göstermektedir.

Tarla hazırlığı ve tesviye işlemlerinde kullanılan ekipmanların teknolojik gelişimi güncel literatürde geniş biçimde ele alınmaktadır. Lazer kontrollü ve GNSS destekli hassas tesviye sistemlerini küresel ölçekte değerlendiren kapsamlı bir derlemede, bu teknolojilerin su, tohum ve gübre kullanım etkinliğini artırdığı; ancak gelişmekte olan ülkelerde yüksek yatırım maliyeti ve teknik kapasite eksikliği nedeniyle yaygınlaşmasının halen sınırlı kaldığı vurgulanmıştır (Chen et al., 2024).

Çeltik tarlalarında su yönetimi, yetiştiriciliğin en belirleyici unsurlarından biridir. Geleneksel üretim sistemlerinde tarlanın belirli bir su seviyesinde sürekli olarak tutulması yaygın bir uygulama olmakla birlikte, günümüzde su kaynaklarının daha etkin kullanılması amacıyla farklı sulama stratejileri araştırılmaktadır. Özellikle alternatif ıslatma ve kurutma (Alternate Wetting and Drying, AWD) yöntemi, çeltik üretiminde su kullanım etkinliğinin artırılması ve sera gazı emisyonlarının azaltılması amacıyla yaygın biçimde araştırılan uygulamalardan biri haline gelmiştir. Gao et al. (2024) tarafından gerçekleştirilen küresel meta-analizde AWD uygulamasının sulama suyu kullanımını önemli ölçüde azaltırken su kullanım etkinliğini artırdığı ve uygun koşullarda çeltik veriminde yalnızca sınırlı değişime neden olduğu belirlenmiştir. Aynı çalışmada AWD'nin metan emisyonlarını azaltmasına karşın nitröz oksit emisyonlarında artışa neden olabileceği ve bu nedenle sulama yönetiminin toplam sera gazı etkisi dikkate alınarak değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Benzer şekilde, L. Li et al. (2024) tarafından gerçekleştirilen başka bir küresel meta-analiz, AWD uygulamasının çeltik verimini koruyarak metan emisyonlarını ve küresel ısınma potansiyelini azaltabileceğini ortaya koymuştur. Araştırmada AWD uygulamasının etkilerinin iklim koşulları, toprak özellikleri ve gübreleme uygulamalarına bağlı olarak değişebildiği belirtilmiştir. Bu durum, çeltik üretiminde sulama yönetiminin standart bir uygulama olarak değerlendirilmesi yerine, üretim alanının fiziksel ve çevresel koşullarıyla birlikte ele alınması gerektiğini göstermektedir(L. Li et al., 2024).

Su yönetiminin yanı sıra toprak işleme sistemleri de çeltik üretiminin çevresel performansı üzerinde etkili olmaktadır. Özellikle geleneksel tavlama ve yoğun toprak işleme uygulamalarına alternatif yöntemler son yıllarda daha fazla araştırılmaktadır. Rice üretiminde farklı tarla yönetimi uygulamalarını değerlendiren kapsamlı bir yaşam döngüsü çalışmasında, su yönetimi, azaltılmış toprak işleme ve özellikle tavlama işleminin azaltılması gibi uygulamaların sera gazı emisyonlarının düşürülmesine katkı sağlayabildiği belirlenmiştir. Aynı çalışmada, toprak işleme uygulamalarının

değerlendirilmesinde yalnızca verim değişiminin değil, birim ürün başına oluşan çevresel etkinin de dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır(Leon, 2024).

Ekim ve dikim işlemleri de çeltik mekanizasyonunun önemli bileşenlerini oluşturmaktadır. Geleneksel üretimde elle serpmeye veya fide dikimi gibi yöntemler kullanılabilen, mekanizasyon düzeyinin yükselmesiyle birlikte mekanik ekim, doğrudan ekim ve mekanik fideleme sistemleri önem kazanmaktadır. Mekanik dikim sistemlerinin geliştirilmesiyle birlikte üretimde iş gücü gereksiniminin azaltılması, dikim işleminin daha kısa sürede tamamlanması ve bitkilerin daha düzenli aralıklarla yerleştirilmesi hedeflenmektedir. Son yıllarda sensör, GPS, bilgisayarlı görüntüleme ve otomasyon teknolojilerinin çeltik dikim makinelerine entegre edilmesi, geleneksel mekanik sistemlerden daha hassas ve akıllı üretim sistemlerine geçişi hızlandırmaktadır(Rajendran & Ranganathan, 2025).

Çeltik üretiminde mekanizasyonun diğer önemli alanlarından biri hasattır. Hasadın zamanında gerçekleştirilmesi, dane kayıplarının azaltılması ve ürünün uygun koşullarda harmanlanması açısından büyük önem taşımaktadır. Düz ve makine kullanımına uygun üretim alanlarında biçerdöverlerin kullanılması, biçme, harmanlama ve dane ayırma işlemlerinin tek bir makine içerisinde gerçekleştirilmesine olanak sağlamaktadır. Buna karşılık taşlık, eğimli veya makine girişinin sınırlı olduğu alanlarda geleneksel orakla hasat gibi yöntemler kullanılabilir. Bu durum, çeltik üretiminde mekanizasyon düzeyinin yalnızca makine varlığına değil, üretim alanının topoğrafik özelliklerine ve işletme koşullarına da bağlı olduğunu göstermektedir. Güncel çalışmalar, mekanize hasadın iş gücü gereksinimini ve hasat süresini azaltmasının yanı sıra uygun makine ve işletme koşullarında ürün kayıplarının sınırlandırılmasına katkı sağlayabileceğini ortaya koymaktadır(Amponsah et al., 2025).

Çeltik üretiminde mekanizasyonun gelişimi yalnızca üretim kapasitesinin artırılması açısından değil, sürdürülebilirlik açısından da değerlendirilmektedir. Yeni nesil üretim sistemlerinde makinelerin yakıt tüketiminin azaltılması, enerji kullanım etkinliğinin artırılması, hassas uygulama teknolojilerinin kullanılması ve üretim işlemlerinin otomatikleştirilmesi öne çıkan araştırma konuları arasında bulunmaktadır. Özellikle küçük ve parçalı üretim alanlarında makine kullanımının ekonomik olarak uygulanabilir hale getirilmesi, makine paylaşım sistemleri ve hizmet alımı modellerinin geliştirilmesi de mekanizasyonun yaygınlaştırılması açısından önem taşımaktadır. Çeltik üretiminde mekanizasyonun başarısının; makine seçimi, işletme büyüklüğü, arazi koşulları, üreticinin teknik bilgi düzeyi ve makineye erişim olanaklarının birlikte değerlendirilmesine bağlı olduğu bildirilmektedir(Guru et al., 2025).

Çeltik tarımında sürdürülebilir üretim yaklaşımı, mekanizasyon ile yetiştirme tekniklerinin birbirinden bağımsız değerlendirilmemesini gerektirmektedir.

Örneğin uygun şekilde gerçekleştirilen tarla tesviyesi sulama suyunun daha etkin kullanılmasına katkı sağlarken, uygun ekim veya dikim makineleri üretim süresini ve iş gücü ihtiyacını azaltabilmektedir. Benzer şekilde mekanize hasat sistemleri, ürünün kısa sürede hasat edilmesini sağlayarak olumsuz hava koşullarına bağlı kayıpların sınırlandırılmasına katkıda bulunabilmektedir. Dolayısıyla tarımsal mekanizasyon; toprak, su, iş gücü, enerji ve zaman kaynaklarının birlikte yönetildiği bütünsel bir üretim yaklaşımının önemli bir bileşenidir.

Bu çerçevede çeltik üretiminde temel amaç yalnızca birim alandan yüksek verim elde etmek değil; üretim kaynaklarını etkin kullanan, iş gücü gereksinimini azaltan, ürün kayıplarını sınırlandıran ve çevresel etkileri mümkün olduğunca düşük olan bir üretim sisteminin oluşturulmasıdır. Güncel araştırmalar da mekanizasyonun su yönetimi, toprak işleme, ekim-dikim ve hasat uygulamalarıyla birlikte değerlendirilmesinin üretim etkinliğinin artırılması açısından önemli olduğunu göstermektedir (Gao et al., 2024; J. Li et al., 2024; 胡雅杰 et al., 2025).

Bu bölümde çeltik üretiminde kullanılan tarımsal mekanizasyon sistemleri ve temel yetiştirme teknikleri bir bütün halinde ele alınmaktadır. Bu kapsamda tarla hazırlığı ve toprak işleme, tava ve tırların oluşturulması, ekim, sulama, gübreleme ve bakım uygulamaları ile hasat, harmanlama, kurutma ve depolama işlemleri değerlendirilmektedir. Geleneksel üretim uygulamaları ile güncel mekanizasyon yaklaşımları birlikte ele alınarak, çeltik üretiminde mekanizasyonun üretim etkinliği, kaynak kullanımı ve sürdürülebilirlik açısından taşıdığı önem ortaya konulmaktadır.

2. ÇELTİK YETİŞTİRİCİLİĞİNDE TARIMSAL MEKANİZASYON VE ÜRETİM UYGULAMALARI

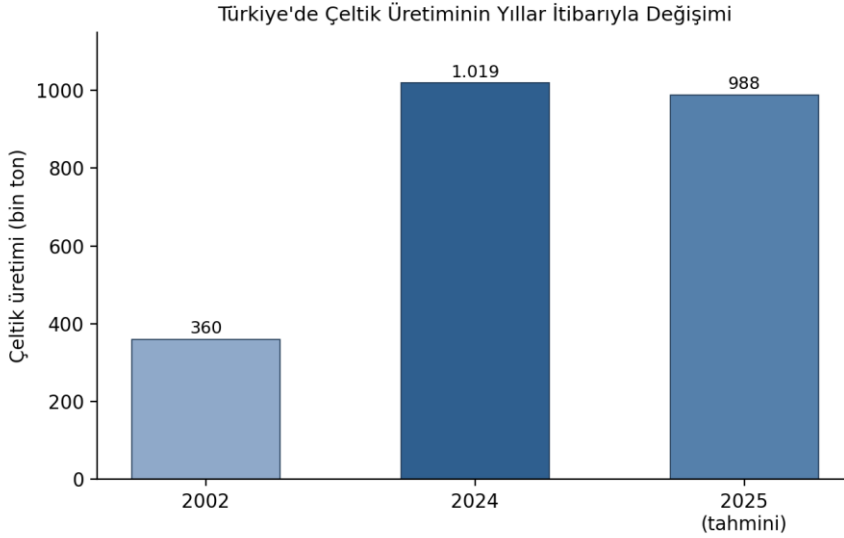
Çeltik üretiminde tarla hazırlığından hasada kadar gerçekleştirilen işlemlerin zamanında, uygun yöntem ve ekipmanlarla yürütülmesi; üretim maliyetlerinin azaltılması, işgücü gereksiniminin düşürülmesi, verim ve ürün kalitesinin korunması açısından büyük önem taşımaktadır. Özellikle işgücü maliyetlerindeki artış ve nitelikli tarımsal işgücüne erişimde yaşanan güçlükler, çeltik yetiştiriciliğinde mekanizasyonun önemini giderek artırmaktadır. Günümüzde çeltik üretiminde traktörler, toprak işleme makineleri, tesviye ekipmanları, ekim makineleri, gübre dağıtma makineleri, bitki koruma ekipmanları ve biçerdöverler üretim zincirinin temel mekanizasyon unsurlarını oluşturmaktadır. Bunun yanında hassas tarım, sensör teknolojileri, uydu konumlama sistemleri ve bilgisayarlı görüntüleme gibi dijital teknolojilerin tarımsal makinelere entegre edilmesi, çeltik üretiminde daha hassas ve kaynak etkin uygulamalara yönelik yeni olanaklar sağlamaktadır (Guru et al., 2025; Hu et al., 2025).

2.1. Türkiye'de Çeltik Üretimi ve Mekanizasyon Görünümü

Türkiye, çeltik üretiminde son yirmi yılı aşkın süredir istikrarlı bir büyüme eğilimi göstermektedir. Ekiliş alanı 2002 yılından 2024 yılına kadar yaklaşık 2,1 kat, üretim miktarı yaklaşık 2,8 kat, verim ise yaklaşık 1,3 kat artmış; 2002 yılında 360 bin ton olan üretim, 2024 yılında 1 milyon 19 bin tonla rekor düzeye ulaşmıştır (AA, 2025). 2025 yılı için ise yaklaşık 988 bin tonluk bir rekolte beklenmektedir (Tablo 2, Şekil 2). Üretimdeki bu artış, yalnızca ekiliş alanındaki genişlemeyle değil, aynı zamanda toprak işleme, tesviye, ekim, sulama ve hasat aşamalarında artan mekanizasyon düzeyiyle de ilişkilendirilmektedir.

Tablo 2. Türkiye'de çeltik üretiminin yıllar itibarıyla değişimi (AA, 2025)

Yıl	Çeltik üretimi (bin ton)	Açıklama
2002	360	Son 23 yıllık dönemin başlangıç değeri
2024	1.019	Rekor üretim düzeyi
2025 (tahmini)	988	Beklenen rekolte



Şekil 2. Türkiye'de çeltik üretiminin yıllar itibarıyla değişimi (AA, 2025).

Türkiye'de çeltik üretimi coğrafi olarak belirli illerde yoğunlaşmaktadır. Trakya Bölgesi'nde yer alan Edirne ili, 2024 yılında 486 bin dekar ekim alanı ve 391 bin ton üretimle Türkiye çeltik üretiminin yaklaşık %40'ını tek başına karşılamaktadır (AA, 2025). Samsun ili ise 2025 yılında yaklaşık 231 bin dekar alanda 184 bin ton üretimle Edirne'den sonra ikinci sırada yer almakta ve ekim alanının bir önceki yıla göre yaklaşık %4 oranında genişlediği bildirilmektedir (Tablo 3) (Vitrin Haber, 2026).

Tablo 3. Türkiye’de çeltik üretiminde öne çıkan iller (2024/2025) (AA, 2025)

İl	Ekim alanı	Üretim	Not
Edirne	486 bin dekar (2024)	391 bin ton (2024)	Türkiye üretiminin ~%40’ı
Samsun	231 bin dekar (2025)	184 bin ton (2025)	Türkiye’de 2. sırada

İl düzeyinde yürütülen mekanizasyon araştırmaları, Türkiye’deki çeltik işletmelerinin mekanizasyon yapısına ilişkin somut veriler sunmaktadır. Çorum ilinde çeltik üretimi yapan 110 işletme üzerinde gerçekleştirilen bir anket çalışmasında, işletmelerin ortalama arazi büyüklüğünün 7,7 ha, işlenen alan başına traktör gücünün 5,40 kW, bin hektar alana düşen traktör sayısının 125,6 adet olduğu belirlenmiş; çeltik üreticisi işletmelerin mekanizasyon düzeyinin Türkiye ortalamasının üzerinde olmasına karşın, toprak işlemeden hasada kadar uzanan mekanizasyon zincirinin tam olarak tamamlanamadığı, bu durumun üretim verimliliğini sınırlandırabildiği vurgulanmıştır (Tablo 4) (Bal ve Altuntaş, 2019).

Tablo 4. Çorum ili çeltik üreticisi işletmelerinin tarımsal mekanizasyon göstergeleri (Bal ve Altuntaş, 2019).

Gösterge	Değer
Ortalama arazi büyüklüğü	7,7 ha
İşlenen alan başına traktör gücü	5,40 kW/ha
1000 ha alana düşen traktör sayısı	125,6 adet
Traktör başına düşen tarımsal ekipman sayısı	4,9 adet
Traktör başına düşen işlenen alan	7,96 ha

Çeltik yetiştiriciliğinde mekanizasyonun ilk ve en önemli aşamalarından biri tarla hazırlığı ve toprak işlemedir. Çeltik bitkisinin özellikle su altında yetiştirilmesi nedeniyle toprak hazırlığı, yalnızca tohum yatağının oluşturulması açısından değil, aynı zamanda tarlada suyun homojen dağılımının sağlanması açısından da önemlidir. Geleneksel üretim sistemlerinde tarla hazırlığı çoğunlukla sonbaharda gerçekleştirilen derin sürüm ile başlamakta, ilkbaharda ise ikinci bir toprak işleme ve tesviye işlemi yapılmaktadır. Uygulamada sonbaharda yaklaşık 15–20 cm derinlikte sürüm yapılması, ilkbaharda ise birinci işlem yönüne dik olacak şekilde yaklaşık 10–12 cm derinlikte ikinci bir toprak işlemenin gerçekleştirilmesi uygun bir tarla hazırlığı yaklaşımı olarak değerlendirilebilir. Bu işlemlerden sonra diskli tırmık ve benzeri ekipmanlarla toprak yüzeyi inceltilmekte ve tesviye edilmektedir.

Toprak işlemenin ardından çeltik tarlalarında su dağıtımının ve drenajın etkin şekilde gerçekleştirilebilmesi için tarla tesviyesi büyük önem taşımaktadır. Tarlanın yüksek ve düşük noktaları arasındaki kot farklılıklarının fazla olması, sulama suyunun homojen dağılmasını engelleyerek bazı alanlarda aşırı su birikmesine, bazı alanlarda ise yetersiz su bulunmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle mekanik tesviye ekipmanlarının kullanılması, özellikle geniş ve

düz üretim alanlarında su yönetiminin iyileştirilmesine katkı sağlamaktadır. Li et al. (2023), çeltik üretiminde mekanize arazi hazırlığının sulama suyu verimliliğini artırabildiğini ortaya koymuştur. Bu sonuç, tarla mekanizasyonunun yalnızca işgücü ve zaman tasarrufu sağlayan bir unsur olmadığını, aynı zamanda sulama yönetiminin etkinliğini de doğrudan etkileyebildiğini göstermektedir.

Tarla tesviyesinin ardından çeltik üretim alanlarında sedde, tir, sulama ve drenaj kanallarının oluşturulması gerekmektedir. Ana sulama kanalının arazinin yüksek kesimlerinden, ana drenaj kanalının ise düşük kesimlerinden geçirilmesi, suyun tarla içerisinde kontrollü bir biçimde dağıtılması ve gerektiğinde uzaklaştırılması açısından önemlidir. Küçük üretim alanlarında bu işlemler insan gücüyle veya basit el aletleri kullanılarak gerçekleştirilebilmekle birlikte, büyük işletmelerde traktöre bağlanabilen tesviye bıçakları, kanal açma ekipmanları ve sedde yapım makineleri kullanılabilir. Tirlerin yaklaşık 40–70 cm genişliğinde ve 30–50 cm yüksekliğinde oluşturulması; sedde aralıklarının ise arazi koşulları ve sulama sistemine bağlı olarak yaklaşık 50–200 cm arasında düzenlenmesi mümkündür. Ancak bu ölçülerin her üretim alanında sabit kabul edilmemesi, tarla eğimi, toprak özellikleri, sulama yöntemi ve kullanılan mekanizasyon sistemine göre belirlenmesi gerekmektedir.

Çeltik üretiminde son yıllarda toprak işlemenin azaltılması ve su yönetimi ile birlikte değerlendirilen alternatif tarla hazırlama sistemleri de önem kazanmıştır. Geleneksel yoğun toprak işleme ve puddling uygulamaları, özellikle uzun süreli su altında yetiştiricilikte belirli avantajlar sağlamakla birlikte, yüksek enerji tüketimi, toprak yapısında değişimler ve sera gazı emisyonları bakımından tartışılmaktadır. Alternatif tarla yönetimi uygulamalarını yaşam döngüsü değerlendirmesi kapsamında inceleyen Zhang et al. (2024), su yönetimi, doğrudan ekim, azaltılmış toprak işleme ve su altında olmayan toprak hazırlama yaklaşımlarının çevresel performans açısından önemli avantajlar sağlayabileceğini bildirmiştir. Bu nedenle gelecekte çeltik mekanizasyonunun yalnızca daha yüksek makine kullanım oranına ulaşması değil, daha az enerji ve su tüketen, toprak özelliklerini koruyan ve çevresel etkileri azaltan mekanizasyon sistemlerine yönelmesi beklenmektedir.

Çeltik tarla hazırlığında mekanizasyon düzeyi, üretim sisteminin diğer aşamalarını da doğrudan etkilemektedir. İyi tesviye edilmiş, uygun derinlikte işlenmiş ve su dağıtım sistemi düzgün oluşturulmuş bir tarla, ekim makinelerinin daha etkin çalışmasına ve bitkilerin daha homojen gelişmesine olanak sağlamaktadır. Buna karşılık düzensiz yüzey koşulları, ekim derinliğinde ve tohum dağılımında farklılıklara yol açabileceği gibi sulama sırasında suyun homojen dağılımını da güçleştirebilir. Bu nedenle çeltik

retiminde mekanizasyon işlemelerinin birbirinden bağımsız uygulamalar olarak değil, tarla hazırlığı–ekim–sulama–bitki bakımı–hasat şeklinde bütünleşik bir üretim zinciri olarak değerlendirilmesi gerekmektedir.

2.2. Ekim ve ekim mekanizasyonu

Çeltik retiminde kullanılan ekim yöntemi; bölgenin iklim koşulları, toprak özellikleri, işletme büyüklüğü, su yönetimi ve mevcut mekanizasyon altyapısına göre değişmektedir. Başlıca ekim yöntemleri serpme ekim, sıraya ekim ve fide dikimidir. Türkiye'de özellikle bazı üretim alanlarında serpme ekim yaygın olarak kullanılmakta ve önceden şişirilmiş veya çimlendirilmiş tohumlar suyla doygun ve tesviye edilmiş parsellere dağıtılmaktadır. Geleneksel yöntemde bu işlem insan gücüyle gerçekleştirilebilmekle birlikte, gübre dağıtma makinelerinin uygun şekilde düzenlenmesiyle mekanik serpme de yapılabilir.

Ekim öncesinde tohumların su içerisinde belirli süre bekletilmesi ve ardından uygun koşullarda n imlendirmeye tabi tutulması, tohumların çimlenme sürecinin hızlandırılması açısından önemlidir. Uygulamada tohumların yaklaşık 24–36 saat süreyle su içerisinde tutulması, daha sonra yüzey suyunun uzaklaştırılması amacıyla 18–24 saat bekletilmesi ve şişmiş tohumların tarlaya dağıtılması mümkündür. Bu süreçte amaç, tohumun canlılığını yeniden aktive etmek ve çimlenmenin daha kısa sürede gerçekleşmesini sağlamaktır.

Mekanize serpme ekimde tohumların tarla yüzeyine mümkün olduğunca homojen dağıtılması önemlidir. Tohumların düzensiz dağılımı, bitki sıklığının bazı bölgelerde aşırı artmasına ve bazı bölgelerde azalmasına neden olabilmektedir. Bu durum bitkiler arasında rekabeti artırabileceği gibi yabancı ot kontrolünü ve gübre kullanım etkinliğini de etkileyebilmektedir. Bu nedenle modern eltik mekanizasyonunda tohum dağılımının hassas biçimde kontrol edilmesi önemli bir araştırma ve geliştirme alanıdır.

Geleneksel serpme ekime alternatif olarak mibzerle doğrudan ekim ve mekanik fide dikimi de kullanılmaktadır. Mekanik fide dikiminde yetiştirilmiş fidelerin belirli sıra ve bitki aralıklarıyla tarlaya aktarılması, bitki sıklığının daha kontrollü oluşturulmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte mekanik fide dikiminin etkin biçimde uygulanabilmesi için fide yetiştirme, fide tepsileri, dikim makineleri ve tarla hazırlığının birbiriyle uyumlu olması gerekmektedir. Son yıllarda mekanik ve otomatik eltik dikim makinelerinde GPS, sensör, bilgisayarlı görüntüleme ve otomatik kontrol sistemlerinin kullanımına yönelik çalışmalar hız kazanmıştır (Mandal et al., 2025). Bu gelişmeler, gelecekte yalnızca işgücü tasarrufu sağlayan değil, aynı zamanda bitki sıklığı

ve dikim geometrisini hassas biçimde kontrol edebilen akıllı dikim sistemlerinin yaygınlaşabileceğini göstermektedir.

Mekanik fide dikimi ve doğrudan ekim sistemlerinin yaygınlaşma hızı ülkeden ülkeye farklılık göstermektedir. Asya-Pasifik bölgesinin küresel pirinç dikim makineleri pazarının yarısından fazlasını oluşturduğu, bu durumun bölgedeki yoğun çeltik üretimi ve artan mekanizasyon desteğiyle ilişkili olduğu bildirilmektedir (Mobility Foresights, 2023). Türkiye’de ise mekanik fide dikiminin yaygınlığı bölgeler arasında farklılık göstermekte olup, serpmek ekim halen özellikle küçük ve orta ölçekli işletmelerde yaygın bir uygulama olarak sürdürülmektedir.

Çeltik ekiminde kullanılacak tohum miktarı tane iriliğine ve çeşidin özelliklerine göre değişebilmektedir. Geleneksel uygulamalarda küçük taneli çeşitlerde yaklaşık 15 kg/da, orta taneli çeşitlerde 17–18 kg/da ve iri taneli çeşitlerde yaklaşık 20 kg/da tohum kullanılabilir. Bununla birlikte güncel mekanize üretim sistemlerinde sabit tohum normu yerine çıkış gücü, bin tane ağırlığı, çimlenme oranı, ekim yöntemi, sıra arası ve sıra üzeri mesafe ile hedeflenen bitki yoğunluğunun birlikte değerlendirilmesi daha doğru bir yaklaşım olacaktır. Böylece gereğinden fazla tohum kullanımının neden olduğu rekabet ve girdi maliyetleri azaltılabilir.

2.3. Sulama, gübreleme ve bitki bakımında mekanizasyon

Çeltik üretiminin diğer tarla bitkilerinden ayrılan en önemli özelliklerinden biri, su yönetiminin üretim başarısı üzerindeki belirleyici etkisidir. Geleneksel sistemlerde sürekli sulama yaygın olarak uygulanmış ve bitkinin gelişme dönemlerine göre farklı su derinlikleri kullanılmıştır. Çimlenme ve fide döneminde yaklaşık 3–5 cm, kardeşlenme döneminde 5–10 cm ve salkım oluşumu ile çiçeklenme döneminde yaklaşık 15 cm su yüksekliği uygulanabilmektedir. Bununla birlikte günümüzde sürdürülebilir çeltik üretimi açısından sürekli su altında tutma yaklaşımının yerine suyun kontrollü olarak yönetildiği alternatif sistemlere yönelik ilgi artmaktadır.

Tarla tesviyesinin sulama etkinliği üzerindeki katkısı, hassas tesviye teknolojilerini değerlendiren saha çalışmalarıyla da desteklenmektedir. Kamboçya, Tayland, Filipinler, Vietnam ve Hindistan’da yürütülen saha uygulamalarını kapsayan bir değerlendirmede, lazer kontrollü tesviyenin su kullanım etkinliğini en az %12, tohum kullanım etkinliğini %27 ve gübre kullanım etkinliğini %10 oranında artırabildiği; ancak teknolojinin tanıtım eksikliği, işletme ve bakım kapasitesi yetersizliği ile yüksek başlangıç maliyeti nedeniyle bazı ülkelerde henüz yaygın biçimde benimsenmediği belirtilmiştir (CGIAR, 2022).

Özellikle alternatif ıslatma ve kurutma (Alternate Wetting and Drying, AWD) yöntemi, çeltik üretiminde su kullanımının azaltılması ve sera gazı

emisyonlarının düşürülmesi amacıyla yaygın biçimde araştırılmaktadır. Gao et al. (2024a) tarafından gerçekleştirilen küresel meta-analiz, AWD uygulamasının sulama suyu kullanımını önemli ölçüde azaltabildiğini ve su kullanım etkinliğini artırabildiğini; aynı zamanda metan (CH_4) emisyonlarında belirgin düşüş sağlayabildiğini göstermiştir. Bununla birlikte AWD'nin nitroz oksit (N_2O) emisyonlarını artırabilmesi nedeniyle su yönetiminin gübreleme ve toprak yönetimiyle birlikte ele alınması gerektiği vurgulanmaktadır. Benzer şekilde Gao et al. (2024b), AWD uygulamasının çeltik verimini büyük ölçüde korurken toplam küresel ısınma potansiyelini azaltabildiğini bildirmiştir.

Bu gelişmeler, gelecekte sulama mekanizasyonunun yalnızca suyun tarlaya ulaştırılması üzerine değil, suyun ihtiyaç duyulan zamanda ve ihtiyaç duyulan miktarda uygulanması üzerine kurulacağını göstermektedir. Su seviyesi sensörleri, otomatik kapaklar, uzaktan izleme sistemleri ve akıllı sulama kontrolü gibi teknolojiler bu dönüşümün önemli bileşenleri arasında yer almaktadır. Dolayısıyla çeltik üretiminde mekanizasyon ile dijital tarım teknolojilerinin bütünleştirilmesi, su kaynaklarının daha etkin kullanılmasına katkı sağlayabilir.

Gübreleme uygulamalarında da benzer şekilde mekanizasyonun amacı yalnızca işgücünü azaltmak değil, girdinin doğru zamanda ve mümkün olduğunca homojen biçimde uygulanmasını sağlamaktır. Çeltik yetiştiriciliğinde azotlu gübreler bitkinin gelişme dönemine göre uygulanmakta ve uygulama zamanı ile dozunun verim üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Mekanik gübre dağıtma makinelerinin kullanılması, özellikle geniş alanlarda işçilik gereksinimini azaltmakta ve gübrenin daha homojen dağıtılmasına olanak sağlamaktadır. Bununla birlikte aşırı azot kullanımı hem ekonomik kayıplara hem de çevresel etkilere neden olabileceğinden, gübreleme mekanizasyonunun hassas tarım uygulamalarıyla bütünleştirilmesi önem kazanmaktadır.

Çeltik yetiştiriciliğinde yabancı ot mücadelesi de önemli miktarda işgücü gerektiren uygulamalardan biridir. Geleneksel sistemlerde geniş yapraklı yabancı otlara karşı kimyasal mücadele yapılabilirken, dar yapraklı yabancı otların kontrolünde mekanik veya elle mücadele yöntemleri kullanılabilir. Mekanizasyon açısından değerlendirildiğinde, yabancı ot kontrolünde sıra arası mekanik mücadele, kontrollü kimyasal uygulama ve görüntü işleme tabanlı yabancı ot tanıma sistemleri gelecekte önem kazanabilecek teknolojiler arasındadır. Özellikle bilgisayarlı görüntüleme ve yapay zekâ destekli sistemlerin gelişmesiyle, ürün bitkisi ile yabancı otun ayırt edilmesi ve yalnızca gerekli noktalara müdahale edilmesi mümkün hale gelmektedir. Bu yaklaşım, kimyasal girdi kullanımını azaltırken işgücü ve makine kullanım etkinliğinin artırılmasına katkı sağlayabilir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, çeltik üretiminde mekanizasyonun gelişimi geleneksel makine kullanımından hassas ve akıllı mekanizasyona doğru ilerlemektedir. Güncel çalışmalar, mekanize toprak işleme, hassas ekim ve dikim, otomatik sulama, sensör destekli gübreleme ve mekanize yabancı ot kontrolünün birbirinden bağımsız teknolojiler olarak değil, birbiriyle bağlantılı üretim sistemleri olarak ele alınması gerektiğini göstermektedir (Guru et al., 2025; Hu et al., 2025; Mandal et al., 2025). Bu dönüşüm, özellikle işgücü maliyetlerinin yüksek olduğu ve su kaynaklarının kısıtlandığı üretim bölgelerinde çeltik yetiştiriciliğinin sürdürülebilirliği açısından önemli bir potansiyel taşımaktadır.

3. ÇELTIK HASADI, HARMANLAMA VE HASAT SONRASI İŞLEMLER

Çeltik üretiminde hasat zamanı ve hasat yönteminin doğru belirlenmesi, yalnızca tarladan elde edilen ürün miktarını değil, aynı zamanda tane kalitesini ve sonraki işleme aşamalarındaki randımanı da doğrudan etkilemektedir. Hasadın erken veya geç yapılması; tane neminin, kırılma oranının, dökülme kayıplarının ve biçerdöverin harmanlama performansının değişmesine neden olabilmektedir. Bu nedenle modern çeltik üretiminde hasat işlemi, ürünün olgunluk durumu, tane nemi, tarla koşulları ve kullanılacak hasat makinesinin özellikleri birlikte değerlendirilerek planlanmalıdır. Mekanizasyonun yaygınlaşması, özellikle geniş üretim alanlarında hasadın kısa sürede tamamlanmasına ve işgücü gereksiniminin önemli ölçüde azaltılmasına olanak sağlamaktadır (Amponsah et al., 2025).

Düz, yeterli taşıma kapasitesine sahip ve taşlık olmayan çeltik tarlalarında biçerdöver kullanımı, hasat ve harmanlama işlemlerinin aynı makine üzerinde gerçekleştirilmesine olanak vermektedir. Biçerdöver; biçme, ürünü makine içerisine alma, harmanlama, ayırma, temizleme ve dane depolama işlemlerini büyük ölçüde tek bir işlem zinciri içerisinde gerçekleştirebildiğinden, geleneksel elle hasada göre önemli bir kapasite avantajı sağlamaktadır. Özellikle geniş çeltik üretim alanlarında bu özellik, hasat döneminin kısaltılması ve ürünün uygun olgunluk döneminde tarladan kaldırılması açısından önemlidir.

Bununla birlikte biçerdöver kullanımında makine ayarları ve çalışma koşulları, hasat kayıplarının belirlenmesinde kritik öneme sahiptir. Biçerdöverin ilerleme hızı, tambur veya rotor devri, batör-kontrbatör açıklığı, fan ayarı, elek ayarları, tabla yüksekliği ve kesme yüksekliği gibi parametreler ürün kayıplarını etkileyebilmektedir. Özellikle yüksek ilerleme hızlarında makinenin harmanlama ve temizleme kapasitesinin aşılması, başaklardan ayrılmayan tanelerin artmasına veya tarlaya tane dökülmesine neden olabilir.

Yakın tarihli bir çalışmada da biçerdöver çalışma hızı ve tane neminin çeltik hasat kayıpları üzerinde önemli etkileri olduğu gösterilmiş; uygun çalışma hızının belirlenmesinin mekanik hasat performansının iyileştirilmesi açısından önemli olduğu vurgulanmıştır(Sun et al., 2025).

Bu nedenle mekanize hasatta “en yüksek makine kapasitesi” yerine “en düşük birim ürün kaybıyla yeterli kapasite” hedeflenmelidir. Özellikle hasat sırasında tane neminin yüksek olması, harmanlama sırasında tane kırılması ve mekanik zarar riskini artırabilmektedir. Buna karşılık aşırı düşük tane neminde ise tanelerin dökülmesi ve çatlaması gibi kayıplar ortaya çıkabilmektedir. Dolayısıyla biçerdöverin çalışma hızının ve makine ayarlarının tarla koşullarına göre değiştirilmesi gerekir.

Biçerdöver kullanımının mümkün olmadığı taşlık, eğimli veya makinenin hareketini sınırlayan diğer fiziksel koşullara sahip tarlalarda ise elle hasat yapılabilmektedir. Geleneksel yöntemde olgunlaşan çeltikler orak veya benzeri kesici aletlerle biçildikten sonra demetler halinde bağlanmakta ve tarlada belirli süre bekletilerek nemlerinin azaltılması sağlanmaktadır. Daha sonra demetler, biçerdöverin veya harman makinesinin ulaşabileceği uygun bir noktada büyük bir örtü ya da branda üzerine taşınabilmektedir. Harmanlama sırasında demetlerin makinenin besleme sistemine işçiler tarafından elle veya çatallar yardımıyla verilmesi mümkündür. Biçerdöverler, çeltik hasadında biçme, ürünü makineye alma, harmanlama, ayırma ve temizleme işlemlerini birbiriyle bağlantılı olarak gerçekleştirebilen yüksek kapasiteli hasat makineleridir. Şekil 3.'te çeltik hasadında kullanılan bir biçerdöverin önden görünümü ve çalışma konumu gösterilmektedir.



Şekil 3. Çeltik hasadında kullanılan biçerdöverin çalışma konumundaki genel görünümü.

Elle hasat yöntemi, özellikle küçük ve makine kullanımının güç olduğu işletmelerde uygulanabilir olmakla birlikte, yüksek işgücü gereksinimi nedeniyle büyük ölçekli üretim alanlarında ekonomik açıdan dezavantajlıdır. Ayrıca hasadın uzun sürmesi, ürünün farklı olgunluk ve nem düzeylerinde tarlada beklemesine neden olabilmektedir. Mekanize hasat sistemlerinin önemli avantajlarından biri de bu sürenin kısaltılmasıdır. Nitekim çeltik hasadında mekanizasyonun işgücü gereksinimini azaltmanın yanında, uygun hasat döneminin kaçırılmasını ve buna bağlı ürün kayıplarını azaltma potansiyeline sahip olduğu bildirilmektedir (Amponsah et al., 2025).

Hasat sonrasında ürünün kurutulması, çeltik üretim zincirinin en kritik aşamalarından biridir. Tarladan alınan çeltik genellikle depolama için uygun olmayan düzeyde yüksek nem içermektedir. Hasattan hemen sonra kurutmanın geciktirilmesi; solunum faaliyetlerinin artmasına, mikroorganizma gelişimine, küflenmeye, böcek zararına ve tane kalitesinde bozulmaya neden olabilmektedir. Güncel kurutma literatüründe hasat edilen çeltiğin kısa süre içerisinde güvenli depolama nemine indirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Çeltik için depolamada genel olarak %14 veya daha düşük nem düzeyi güvenli bir sınır olarak kabul edilmektedir.

Geleneksel üretimde kurutma çoğunlukla güneşte kurutma yöntemiyle gerçekleştirilmektedir. Bunun için hasat edilen ürün beton zemin veya benzeri sert ve temiz bir yüzeye serilmekte, yaklaşık 4–5 cm'yi geçmeyecek bir tabaka oluşturulmakta ve ürün belirli aralıklarla karıştırılmaktadır. Karıştırma işlemi, ürün içerisindeki nem dağılımının daha homojen hale gelmesine ve kuruma hızının artırılmasına yardımcı olmaktadır. Ancak güneşte kurutma yöntemi hava koşullarına bağlı olduğundan, özellikle hasat döneminde yağış ve yüksek bağıl nem görülen bölgelerde önemli bir risk oluşturmaktadır.

Bu nedenle büyük ve ticari işletmelerde mekanik kurutucuların kullanılması daha kontrollü bir alternatif sunmaktadır. Mekanik kurutmada kurutma havasının sıcaklığı, debisi ve ürünün kurutucuda kalma süresi kontrol edilebildiğinden, hedeflenen nem düzeyine daha kısa sürede ulaşılması mümkün olmaktadır. Bununla birlikte kurutma sıcaklığının gereğinden fazla yükseltilmesi tane çatlamasına, kırılmasına ve pirinç randımanının düşmesine neden olabilir. Çeltik kurutma sistemleri üzerine yapılan çalışmalar, hasat sonrası nemin hızlı biçimde azaltılmasının gerekli olmakla birlikte kurutma koşullarının tane kalitesini koruyacak şekilde kontrol edilmesi gerektiğini göstermektedir (Rice Drying, Storage and Processing, 2022).

Özellikle son yıllarda enerji etkin kurutma sistemleri üzerine araştırmaların yoğunlaştığı görülmektedir. Geleneksel kurutma yöntemlerinin meteorolojik koşullara bağımlılığı ve yüksek miktardaki ürünün kısa sürede kurutulması gereksinimi, mekanik ve kontrollü kurutma sistemlerinin önemini

artırmaktadır. 2024 yılında yayımlanan bir derlemede, farklı çeltik kurutma teknolojileri enerji tüketimi ve kurutma performansı açısından değerlendirilmiş ve hasat edilen çeltiğin yüksek başlangıç neminin, gecikmiş kurutma durumunda küf ve böcek zararını artırabileceği belirtilmiştir.

Kurutma işleminin yalnızca ürünün depolanabilir hale getirilmesi olarak değerlendirilmemesi gerekir. Kurutma koşulları, daha sonraki değirmencilik performansını ve bütün tane randımanını da etkileyebilmektedir. Aşırı hızlı veya uygun olmayan sıcaklıkta kurutma, tane içerisinde gerilim oluşturarak çatlak oluşumuna neden olabilir. Bu durum öğütme sırasında tanelerin kırılmasına ve ekonomik değerin azalmasına yol açabilmektedir. Son dönem sistematik çalışmalar da kurutma yöntemi, kurutma sonrası bekleme süresi ve temperleme koşullarının çeltiğin öğütme kalitesi ve tane rengi üzerinde önemli etkileri bulunduğunu göstermektedir.

Bu nedenle çeltik hasat sonrası mekanizasyonunda hasat makinesi–taşıma–kurutma–depolama zincirinin birlikte planlanması gerekmektedir. Hasadın yüksek kapasiteyle gerçekleştirilmesine rağmen ürünün kurutma kapasitesi yetersizse, hasat edilen yüksek miktardaki ürün kısa süre içerisinde işlenemeyecek ve yüksek nem nedeniyle kalite kayıpları meydana gelebilecektir. Dolayısıyla işletmenin biçerdöver kapasitesi ile kurutma ve depolama kapasitesinin birbirine uygun olması, hasat sonrası kayıpların azaltılması açısından önemlidir.

Çeltik üretiminde düz ve makine kullanımına uygun tarlalarda biçerdöverlerle gerçekleştirilen mekanize hasat, biçme, harmanlama ve ürünün makine içerisinde temizlenmesi gibi işlemlerin aynı üretim süreci içerisinde gerçekleştirilmesine olanak sağlamaktadır. Şekil 4'te çeltik tarlasında mekanik biçerdöver ile gerçekleştirilen hasat işlemine ait genel görünüm verilmiştir.



Şekil 4. Çeltik tarlasında biçerdöver ile gerçekleştirilen mekanize hasat işlemi

3.1. Depolama ve ürünün işlenmesi

Kurutma işlemi tamamlanan çeltik, uygun koşullarda depolanarak daha sonra pirinç işleme tesislerine gönderilmektedir. Depolamanın temel amacı ürünün miktar ve kalitesini korumaktır. Bunun için tane neminin güvenli düzeye indirilmesi, depo sıcaklığının mümkün olduğunca düşük tutulması ve depo bağıl neminin kontrol edilmesi gerekmektedir. Kullanıcı tarafından verilen üretim uygulamalarında güvenli depolama için %14'ün altında nem ve %60'ın altında bağıl nem hedeflenmektedir. Uzun süreli tohumluk depolamada ise daha düşük tane nemi ve sıcaklık koşullarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Çeltik tanelerinin yüksek nem içeriğiyle depolanması, mikroorganizma faaliyetinin ve böcek zararının artmasına neden olabilmektedir. Buna karşılık aşırı kurutma da özellikle tohumluk materyalde canlılık kaybına veya tane kalitesinde bozulmaya yol açabilir. Bu nedenle depolama koşulları yalnızca tane nemine göre değil, depolama süresine, ortam sıcaklığına, bağıl neme ve ürünün kullanım amacına göre belirlenmelidir. IRRİ'nin güncel teknik önerilerinde de güvenli depolama için tane neminin depolama süresine bağlı olarak kontrol edilmesi ve depolama sırasında yeniden nemlenmenin önlenmesi gerektiği belirtilmektedir.

Çeltik çuvalı olarak depolanacaksa çuvalların doğrudan zemin üzerine yerleştirilmemesi, hava dolaşımını sağlayacak ahşap palet veya platformlar üzerinde tutulması uygun bir uygulamadır. Depolama alanında hava

hareketinin sağlanması, zeminden nem transferinin önlenmesi ve ürünün düzenli olarak kontrol edilmesi gerekir. Uzun süreli depolamada sıcaklık ve nem koşullarının izlenmesi, depolama kayıplarının azaltılmasına katkı sağlar.

Depolanan çeltik daha sonra pirinç fabrikalarında temizleme, kabuk soyma, ayırma, beyazlatma ve sınıflandırma gibi işlemlerden geçirilerek tüketime hazır pirince dönüştürülmektedir. Hasat ve kurutma sırasında oluşan mekanik zararlar, bu aşamada kırık tane oranının artmasına neden olabileceğinden, hasat sonrası mekanizasyonun ürün kalitesi üzerindeki etkisi üretim ekonomisi açısından büyük önem taşımaktadır. Dolayısıyla hasat sonrası mekanizasyon yalnızca taşıma ve kurutma işlemlerinin hızlandırılması şeklinde değil, ürünün nihai kalite özelliklerinin korunması açısından da ele alınmalıdır.

4. SONUÇ

Çeltik üretiminde tarımsal mekanizasyon; tarla hazırlığından hasat ve depolamaya kadar üretim zincirinin bütün aşamalarını etkileyen temel bir üretim bileşenidir. Mekanizasyonun temel katkıları işgücü ihtiyacının azaltılması, işlemlerin uygun zamanda tamamlanması, üretim kapasitesinin artırılması ve operasyonların daha standart hale getirilmesidir. Bununla birlikte günümüzde mekanizasyonun başarısı yalnızca kullanılan makine sayısı veya mekanizasyon düzeyiyle değil, makine-toprak-bitki-su-işletme koşullarının birbiriyle uyumu üzerinden değerlendirilmelidir.

Çeltik üretiminde özellikle tarla tesviyesi, toprak işleme ve su yönetimi arasında güçlü bir ilişki bulunmaktadır. Düzgün hazırlanmış bir tarla, sulama suyunun daha homojen dağıtılmasını ve ekim işlemlerinin daha başarılı gerçekleştirilmesini sağlayabilmektedir. Mekanize arazi hazırlığının sulama suyu verimliliğini artırabildiğine ilişkin bulgular da bu bütünleşik yaklaşımı desteklemektedir (Li et al., 2023).

Nitekim Türkiye’de çeltik üreticisi işletmeler üzerinde yürütülen bir saha araştırması da, mekanizasyon düzeyinin Türkiye ortalamasının üzerinde olmasına rağmen toprak işlemeden hasada kadar uzanan mekanizasyon zincirinin çoğu işletmede tam olarak tamamlanamadığını, bu durumun üretim verimliliğinin artırılmasının önünde bir kısıt oluşturduğunu ortaya koymaktadır (Bal ve Altuntaş, 2019). Bu bulgu, çeltik üretiminde mekanizasyon yatırımlarının yalnızca belirli işlemlere değil, üretim zincirinin tamamına yönelik bütüncül biçimde planlanması gerektiğini bir kez daha desteklemektedir.

Benzer şekilde, geleceğin çeltik mekanizasyonunda su tasarrufu ve sera gazı azaltımı önemli hedefler arasında yer almaktadır. Çeltik üretiminde su yönetiminin metan ve nitroz oksit emisyonları üzerinde önemli etkileri

bulunmakta; bu nedenle sulama uygulamalarının mekanizasyon ve hassas tarım teknolojileriyle birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Küresel meta-analizler, alternatif ıslatma ve kurutma uygulamalarının su kullanımını ve metan emisyonlarını azaltabileceğini, ancak nitroz oksit emisyonlarının yönetilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır (Gao et al., 2024a; Gao et al., 2024b).

Hasat mekanizasyonunda ise biçerdöverlerin yaygınlaştırılması önemli olmakla birlikte, hasat kayıplarının kontrolü temel performans göstergelerinden biri olmalıdır. Makinenin ilerleme hızı, tane nemi, ürün yoğunluğu ve makine ayarlarının uygun biçimde belirlenmesi, mekanik hasadın başarısını doğrudan etkilemektedir. 2025 yılında yapılan çalışmalar da farklı biçerdöverlerde çalışma hızı ve tane neminin ürün kayıplarıyla ilişkili olduğunu göstermektedir (Sun et al., 2025).

Gelecekte çeltik mekanizasyonunun daha fazla otomasyon, hassas tarım, sensör teknolojileri, GPS/uydu konumlama, yapay zekâ ve bilgisayarlı görüntüleme teknolojileriyle bütünleşmesi beklenmektedir. Böylece yalnızca tarımsal işlerin makineyle yapılması değil, makinenin çalışma koşullarını tarla ve bitki özelliklerine göre otomatik olarak değiştirebildiği daha akıllı üretim sistemlerinin geliştirilmesi mümkün olacaktır. Özellikle ekim ve fide dikimi, yabancı ot kontrolü, gübreleme, sulama ve hasat işlemlerinde bu teknolojilerin kullanım potansiyeli oldukça yüksektir (Mandal et al., 2025; Hu et al., 2025). Sonuç olarak, “Çeltik Üretiminde Tarımsal Mekanizasyon Sistemleri ve Yetiştirme Teknikleri” kapsamında değerlendirildiğinde, sürdürülebilir bir çeltik üretim sisteminin yalnızca yüksek verim hedefleyen bir mekanizasyon yaklaşımıyla değil; işgücü, enerji, su, toprak ve ürün kalitesini birlikte dikkate alan bütünlüklü bir mekanizasyon modeliyle oluşturulması gerekmektedir. Tarla hazırlığından hasat sonrası depolamaya kadar tüm işlemlerin birbiriyle uyumlu biçimde planlanması, hem üretim maliyetlerinin hem de ürün kayıplarının azaltılmasına katkı sağlayacaktır. Özellikle Türkiye'deki çeltik üretim alanlarında işletme büyüklüğü, arazi yapısı, sulama olanakları ve mevcut makine parkı dikkate alınarak bölgeye özgü mekanizasyon modellerinin geliştirilmesi, gelecekteki üretim sistemlerinin etkinliği açısından önem taşımaktadır.

5. REFERANSLAR

- Anadolu Ajansı (AA). (2025). Tarım ve Orman Bakanı Yumaklı: Çeltikte 2025 yılı için 988 bin tonluk bir rekolte bekliyoruz. <https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/tarim-ve-orman-bakani-yumakli-celtikte-2025-yili-icin-988-bin-tonluk-bir-rekolte-bekliyoruz/3685681>
- Amponsah, S. K., Kumi, F., Akolgo, G., & Azumah, D. D. (2025). A Review of Transforming Rice Harvesting in Sub-Saharan Africa: Addressing Constraints,

- Leveraging Mechanization, and Enhancing Productivity. *Advances in Agriculture*, 2025(1), 5523207.
- Bal, M., & Altuntaş, E. (2019). Çorum ilinde çeltik üretimi yapan işletmelerin tarımsal mekanizasyon durumu. *Akademik Ziraat Dergisi*, 8(1), 63–76.
- CGIAR. (2022). Precision land leveling for sustainable rice production: Case studies in Cambodia, Thailand, Philippines, Vietnam, and India. CGIAR System Organization.
- Chairunnisya, R. A., et al. (2025). Agricultural mechanization as a catalyst for enhancing rice production and farmer livelihoods. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1476, 012013.
- Chen, G., Hu, L., Luo, X., Wang, P., He, J., Huang, P., Zhao, R., Feng, D., & Tu, T. (2024). A review of global precision land-leveling technologies and implements: Current status, challenges and future trends. *Computers and Electronics in Agriculture*, 220, 108901.
- FAO. (2024). FAOSTAT: Crops and livestock products – Rice, paddy. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Gao, R., Zhuo, L., Duan, Y., Yan, C., Yue, Z., Zhao, Z., & Wu, P. (2024). Effects of alternate wetting and drying irrigation on yield, water-saving, and emission reduction in rice fields: A global meta-analysis. *Agricultural and Forest Meteorology*, 353, 110075.
- Guru, P. K., Sahu, P., Shukla, P., Diwan, P., Panwar, G., Tiwari, P., Nagori, A., Carpenter, G., Sanodiya, R., & Meena, B. S. (2025). A critical review on rice cultivation and mechanization level in Indian perspective. *Results in Engineering*, 26, 105632.
- Leon, A. (2024). A synthesis of the evidence regarding the efficacy of alternative field management practices in rice cultivation using life cycle assessment. *Science of the Total Environment*, 926, 171693.
- Li, J., Ma, W., Botero-R, J. C., & Quoc Luu, P. (2024). Mechanization in land preparation and irrigation water productivity: insights from rice production. *International Journal of Water Resources Development*, 40(3), 379–400.
- Li, L., Huang, Z., Mu, Y., Song, S., Zhang, Y., Tao, Y., & Nie, L. (2024). Alternate wetting and drying maintains rice yield and reduces global warming potential: A global meta-analysis. *Field Crops Research*, 318, 109603.
- Mobility Foresights. (2023). Global rice transplanter market 2023-2030. Mobility Foresights Market Research.
- Rajendran, M., & Ranganathan, T. (2025). Advancements in paddy transplanter mechanization implications for sustainable agriculture. *Sustainable Futures*, 10, 101235.
- Sun, H., Gu, Y., Zhang, Y., Zhang, H., Guan, X., & Wang, J. (2025). Loss of rice after ripening by mechanical harvest in Heilongjiang Province. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 9, 1652765.
- Vitrin Haber. (2026). Çeltik ekim alanları her geçen yıl artıyor. <https://www.vitrinhaber.com/celtik-ekim-alanlari-her-gecen-yil-artiyor>
- 胡雅杰, 张海鹏, 郭保卫, 邢志鹏, 廖萍, & 张洪程. (2025). 中国水稻机械化精简化栽培技术发展历程与展望. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 14(16).

Meyvelerde Hasat ve Hasat Sonrası İşlemlerde Mekanik Zedelenme ve Ambalajlama Yaklaşımları

Elçin YEŞİLOĞLU CEVHER^{1*}

1- Doç. Dr.; Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü. elciny@omu.edu.tr ORCID No: 0000-0001-9062-923X, Sorumlu yazar

ÖZET

Bu kitap bölümünde, meyvelerde hasat ve hasat sonrası işlemler sırasında meydana gelen mekanik zedelenmelerin oluşum mekanizmaları, çarpma enerjisi–zedelenme ilişkisi ve ambalajlama yaklaşımlarının bu zedelenmeler üzerindeki etkileri kapsamlı biçimde incelenmiştir. Çarpma, sıkıştırma ve titreşim gibi mekanik etkilerin meyve dokusunda oluşturduğu hücresel hasarlar ele alınmış; meyve özellikleri, olgunluk düzeyi ve ambalajlama sistemlerinin mekanik zedelenmeye karşı koruyucu rolleri değerlendirilmiştir. Deneysel yöntemler ve modelleme yaklaşımları ışığında, hasat sonrası kayıpların azaltılmasına yönelik uygulanabilir öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler – Mekanik zedelenme, çarpma, çarpma enerjisi, ambalajlama, meyve

1. GİRİŞ

Taze meyveler, sahip oldukları yüksek besin değeri, kendilerine özgü tat ve aroma özellikleri ile insan beslenmesinde önemli bir yere sahiptir. Biyolojik yapıları gereği çevresel ve mekanik etkilere karşı oldukça hassas ürünlerdir. Hasat anından itibaren tüketiciye ulaşıncaya kadar geçen süreçte meydana gelen kalite kayıpları, yalnızca üretici ve tüketici açısından ekonomik kayıplara yol açmakla birlikte gıda güvenliği, sürdürülebilir tarım ve doğal kaynakların etkin kullanımı açısından da ciddi sorunlar oluşturmaktadır. Günümüzde hasat sonrası kayıpların azaltılması, tarımsal üretim sistemlerinin verimliliğini artırmaya yönelik temel hedeflerden biri haline gelmektedir.

Hasat sonrası kayıpların nedenleri incelendiğinde, mekanik zedelenmelerin özellikle meyve ve sebzelerde kalite ve ekonomik kayıplara katkıda bulunan önemli faktörlerden biri olduğu görülmektedir (Sitkei, 1986; Opara & Pathare, 2014). Mekanik zedelenmeler, meyvelerin hasat ve hasat sonrası süreçlerde çarpma, sıkıştırma ve titreşim gibi farklı mekanik etkilere maruz kalması sonucunda ortaya çıkmaktadır. Hasat, yükleme–boşaltma, taşıma, sınıflandırma, paketlenme ve depolama aşamalarında oluşan bu etkilerin büyüklüğü ve tekrarlanma sıklığı, meyvede meydana gelebilecek zedelenmenin düzeyini belirleyen önemli unsurlardır.

Özellikle çarpma ve sıkıştırma sonucu oluşan zedelenmeler her zaman zedelenmenin hemen ardından görünür hâle gelmemekte, doku içerisindeki hasar zamanla belirginleşebilmektedir. Bu durum, hasat sonrası süreçlerde yalnızca görünür zedelenmelerin dikkate alınmasının ürün kalitesinin değerlendirilmesi açısından yeterli olmayabileceğini göstermektedir. Dolayısıyla meyvenin tüketiciye ulaşmasına kadar geçen süreçte mekanik yüklerin mümkün olduğunca azaltılması ve kritik işlem noktalarının

belirlenmesi, ürün kalitesinin ve pazarlanabilirliğinin korunması açısından önem taşımaktadır (Van Zeebroeck et al., 2007; Hussein et al., 2020a).

Mekanik zedelenme, meyve kabuğunda belirgin bir yırtılma veya çatlama meydana gelmeksizin, kabuk altındaki dokularda oluşan yapısal bozulma ve buna eşlik eden renk değişimleri şeklinde ortaya çıkabilmektedir. Zedelenmenin görünür hâle gelmesi zaman alabildiğinden, hasarın hemen fark edilmesi her zaman mümkün olmayabilir. Mekanik hasar, ürün kalitesini ve pazar değerini azaltmasının yanı sıra fizyolojik bozulma süreçlerini de hızlandırabilmektedir (Van Zeebroeck et al., 2007; Opara & Pathare, 2014).

Meyvelerde zedelenme; çarpma, sıkıştırma ve titreşim gibi mekanik etkiler sonucunda oluşabilmekte ve zedelenmenin şiddeti, uygulanan ve meyve tarafından absorbe edilen mekanik enerjiyle yakından ilişkili bulunmaktadır. Mekanik yükleme sonucunda hücre duvarlarının yırtılması, hücreler arası bağların bozulması ve hücresel yapının zarar görmesi, doku bütünlüğünün kaybolmasına ve renk değişimlerinin ortaya çıkmasına neden olabilmektedir (Van Zeebroeck et al., 2007; Opara & Pathare, 2014). Bu nedenle hasat ve hasat sonrası sistemlerin tasarımında yalnızca uygulanan kuvvetin büyüklüğünün değil, meyvenin maruz kaldığı çarpma, sıkıştırma ve titreşim koşullarının da birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir.

Hasat sonrası süreçlerde mekanik zedelenmenin oluşumu yalnızca meyvenin maruz kaldığı kuvvet veya çarpma enerjisine bağlı olmayıp, meyvenin fiziksel ve mekanik özellikleri ile hasat ve hasat sonrası koşullardan da etkilenmektedir. Meyve sertliği, olgunluk düzeyi, büyüklüğü ve çarpmanın gerçekleştiği bölgedeki eğrilik yarıçapı gibi özellikler, meyvenin mekanik yükler altındaki davranışını ve zedelenmeye karşı duyarlılığını değiştirebilmektedir. Benzer şekilde sıcaklık ve depolama süresi gibi hasat sonrası koşullar da meyve dokusunun mekanik özelliklerinde değişime yol açarak zedelenme duyarlılığını etkileyebilmektedir (Van Zeebroeck et al., 2007; Opara & Pathare, 2014; Hussein et al., 2020a). Bu bulgular, mekanik zedelenmenin tek bir faktörle açıklanamayacağını ve hasat sonrası sistemlerin tasarımında mekanik yükleme koşulları ile ürüne özgü özelliklerin birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Hasat ve hasat sonrası işlemler sırasında meydana gelen mekanik zedelenmelerin azaltılmasında uygun ambalajlama sistemlerinin kullanılması önemli mühendislik yaklaşımlarından biridir. Ambalajlama sistemleri, meyvelerin taşıma ve depolama sürecinde korunmasının yanı sıra, çarpma, sıkıştırma ve titreşim gibi mekanik yüklerin ürün üzerindeki etkilerinin azaltılmasına katkı sağlamaktadır (Jarimopas et al., 2007; Fadji et al., 2016; Opara & Fadji, 2018). Ambalaj tasarımı, meyvelerin ambalaj içerisindeki yerleşimi ve kullanılan yastıklama malzemelerinin özellikleri, mekanik zedelenmenin oluşumu ve şiddeti üzerinde etkili olabilmektedir (Jarimopas et al., 2007; Fadji et al., 2016). Özellikle çarpma enerjisini absorbe edebilen

yastıklama malzemeleri, meyveye aktarılan mekanik etkinin azaltılmasına ve zedelenme oluşumunun sınırlandırılmasına yardımcı olmaktadır (Jarimopas et al., 2007). Bunun yanında, ambalaj tasarımının sıkıştırma yükleri altında meydana gelen zedelenme üzerinde de önemli bir etkisi olduğu bildirilmektedir (Opara & Fadiji, 2018). Bu bulgular, mekanik zedelenmenin azaltılmasında yalnızca ambalaj malzemesi seçiminin değil, ambalaj tasarımı ve ürünün ambalaj içerisindeki yerleşiminin de birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Son yıllarda yapılan çalışmalar, ambalajlama malzemelerinin çarpma enerjisini absorbe etme özelliklerinin belirlenmesine ve farklı ambalajlama sistemlerinin meyvelerde mekanik zedelenmeyi azaltmadaki etkinliğinin değerlendirilmesine odaklanmıştır. Kontrollü sarkaç çarpma ve düşme testleri kullanılarak çarpma enerjisi ile zedelenme oluşumu arasındaki ilişkiler belirlenmekte ve farklı yastıklama malzemeleri ile ambalaj tasarımlarının koruyucu performansları karşılaştırılmaktadır (Jarimopas et al., 2007; Fadiji et al., 2016; Dunno et al., 2021). Bu çalışmalar, meyvelerin mekanik yükler altındaki davranışının anlaşılması ve mekanik zedelenmeyi azaltmaya yönelik ambalajlama sistemlerinin geliştirilmesi açısından önemli bir bilimsel temel oluşturmaktadır.

2. MEKANİK ZEDELLENMENİN TANIMI VE FİZİKSEL

Meyvelerde mekanik zedelenme, hasat ve hasat sonrası işlemler sırasında meydana gelen çarpma, sıkıştırma ve titreşim gibi mekanik etkiler sonucunda meyve dokusunda oluşan fiziksel hasarları kapsamaktadır. Mekanik zedelenmenin yaygın biçimlerinden biri olan zedelenme, meyve kabuğunda belirgin bir yırtılma veya çatlama meydana gelmeksizin kabuk altındaki dokularda oluşan yapısal bozulma ve buna eşlik eden renk değişimleri şeklinde ortaya çıkabilmektedir. Zedelenmenin görünür hâle gelmesi zaman alabildiğinden, hasarın hemen fark edilmesi her zaman mümkün olmayabilir. Zedelenme, taze meyvelerde kalite kaybına ve ürünün sınıfının düşmesine yol açarak pazarlanabilirliği olumsuz etkileyen önemli mekanik hasar türlerinden biridir (Opara & Pathare, 2014).

Mekanik zedelenmenin anlaşılabilmesi için meyvelerin mekanik yükler karşısındaki davranış özelliklerinin dikkate alınması gerekmektedir. Biyolojik materyallerin fizikomekanik davranışı, genel olarak bilinen elastik malzemelerden farklılık göstermekte ve bu durum tarımsal materyallerin mekanik özelliklerinin değerlendirilmesini daha karmaşık hâle getirmektedir. Bu nedenle hasat ve hasat sonrası işlemlerde meyvelerin mekanik yükler altındaki davranışlarının bilinmesi, zedelenme mekanizmalarının anlaşılması ve uygun makine ve sistemlerin tasarlanması açısından önem taşımaktadır (Sitkei, 1986).

Meyve dokusunun mekanik yükler altındaki davranışında elastik ve elastik olmayan deformasyonların yanı sıra, yükleme ve boşaltma sırasında

meydana gelen enerji kayıpları da önem taşımaktadır. Uygulanan mekanik enerjinin bir bölümü yük kaldırdığında geri kazanılırken, bir bölümü doku içerisinde absorbe edilmekte ve enerji kaybı olarak ortaya çıkmaktadır. Elastiklik derecesi ve histerezis kayıpları, meyve dokusunun deformasyon davranışının ve zedelenmeye karşı duyarlılığının değerlendirilmesinde kullanılabilir. Elastiklik derecesinin azalması deformasyonun geri dönüşümlülüğünün azalmasına işaret ederken, artan enerji kayıpları belirli bir düzeyin üzerinde doku hasarı olasılığındaki artışla ilişkilendirilmektedir (Blahovec & Paprštejn, 2005).

Mekanik zedelenmeye neden olan başlıca fiziksel etkenler çarpma, sıkıştırma ve titreşim kuvvetleridir. Çarpma kuvvetleri, meyvenin bir yüzeye ya da başka bir meyveye çarpması veya ürünün elleçleme sırasında düşmesi sonucunda ortaya çıkabilmektedir. Bu kuvvetler genellikle yüksek şiddetli ve çok kısa süreli olup meyvede zedelenme ve buna bağlı kalite kayıplarına neden olabilmektedir. Sıkıştırma kuvvetleri ise meyvelerin birbirleriyle veya ambalaj yüzeyleriyle teması, ambalajların aşırı doldurulması ve istifleme sırasında oluşan yükler sonucunda meydana gelebilmektedir. Taşıma sırasında ortaya çıkan titreşimler de mekanik zedelenmeye katkıda bulunan diğer önemli yükleme biçimlerinden biridir (Opara & Fadiji, 2018).

Titreşim kuvvetleri, özellikle taşıma sırasında karşılaşılan önemli mekanik etkenler arasında yer almaktadır. Taşıma sırasında yol düzensizlikleri ve taşıma sisteminin dinamik özellikleri nedeniyle oluşan titreşimler, meyvelerin ambalaj içerisinde hareket etmesine ve birbirleriyle veya ambalaj yüzeyleriyle tekrarlayan temas ve çarpmalara maruz kalmasına neden olabilmektedir. Özellikle belirli titreşim frekanslarında meyvelerin hareketinin artması, çoklu çarpma ve zedelenme noktalarının oluşmasına yol açabilmektedir. Nitekim elmalar üzerinde yapılan çalışmalar, taşıma sırasında meydana gelen zedelenme hasarının önemli bir bölümünün 1–5 Hz frekans aralığında oluşabildiğini göstermektedir (Van Zeebroeck et al., 2007).

Mekanik zedelenmenin oluşumunda temas alanı ve meyvenin çarpma bölgesindeki geometrik özellikleri önemli rol oynamaktadır. Çarpma sırasında meyve ile temas eden yüzeyin büyüklüğü, oluşan çarpma basıncını ve buna bağlı olarak zedelenmenin şiddetini etkileyebilmektedir. Temas alanının azalması, aynı çarpma kuvveti altında birim alana etki eden kuvvetin artmasına ve dolayısıyla daha yüksek çarpma basıncının oluşmasına neden olabilmektedir. Meyvenin çarpma bölgesindeki eğrilik yarıçapı da temas koşullarını ve zedelenme oluşumunu etkileyen geometrik faktörlerden biri olmakla birlikte, bu etkinin yönü meyve türüne ve çarpma koşullarına bağlı olarak değişebilmektedir (Shafie et al., 2015).

Meyve dokusunda mekanik zedelenme, uygulanan çarpma veya sıkıştırma yüklerinin hücresel yapıda hasara neden olması sonucunda ortaya çıkabilmektedir. Mekanik yükleme altında hücrelerin deformasyona uğraması ve hücre duvarlarının zarar görmesi, doku bütünlüğünün

bozulmasına ve zedelenmeyle ilişkili renk değişimlerinin gelişmesine yol açabilmektedir. Meyve dokusunda meydana gelen bu renk değişimleri enzimatik esmerleşmeyle ilişkili olup, hasarın görünür hâle gelmesi belirli bir süre alabilmektedir. Bu nedenle zedelenme, mekanik etkinin hemen ardından her zaman gözle fark edilemeyebilir (Blahovec & Paprštejn, 2005; Van Zeebroeck et al., 2007).

Mekanik zedelenmenin şiddeti yalnızca uygulanan mekanik yükün büyüklüğüne değil, aynı zamanda meyvenin olgunluk düzeyi, su durumu ve doku özelliklerine de bağlıdır. Olgunluk durumu ve meyve sertliğindeki değişimler, meyvenin mekanik yükler karşısındaki davranışını ve zedelenmeye karşı duyarlılığını etkileyebilmektedir. Benzer şekilde, meyvenin su durumu ve turgoru ile hücre duvarı dayanımı, elastiklik, hücre şekli ve iç doku yapısı gibi özelliklerin de zedelenme oluşumu ve şiddeti üzerinde etkili olduğu bildirilmektedir (Opara & Pathare, 2014).

Hasat ve hasat sonrası işlemlerde karşılaşılan mekanik zedelenmelerin fiziksel temellerinin anlaşılması, bu zedelenmelerin azaltılmasına yönelik etkili stratejilerin geliştirilmesi açısından önem taşımaktadır. Meyve dokusunun mekanik davranış özelliklerinin bilinmesi; uygun hasat tekniklerinin seçilmesine, taşıma ve depolama sistemlerinin tasarlanmasına ve ambalajlama yaklaşımlarının geliştirilmesine bilimsel bir temel oluşturmaktadır. Bu bilgiler, hasat sonrası süreçlerde mekanik zedelenmelerin ve buna bağlı kayıpların azaltılmasına yönelik uygulamaların geliştirilmesine katkı sağlamaktadır.

3. ÇARPMA ENERJİSİ VE ZEDELENME OLUŞUM MEKANİZMASI

Hasat ve hasat sonrası işlemler sırasında çarpma, meyvelerde mekanik zedelenmeye neden olan başlıca fiziksel etkenlerden biridir. Çarpma, meyvenin bir yüzeye, başka bir meyveye veya ambalaj elemanına kısa süreli ve ani teması sonucunda meydana gelmektedir. Bu temas sırasında meyve dokusu kısa süre içerisinde yüksek büyüklükte kuvvetlere maruz kalabilmekte ve çarpma enerjisinin bir bölümü meyve tarafından absorbe edilmektedir. Absorbe edilen enerji, meyvede meydana gelen zedelenme hasarının değerlendirilmesinde kullanılan önemli parametrelerden biridir (Opara & Pathare, 2014).

Çarpma enerjisi, meyvenin kütlesi ve çarpma anındaki hızına bağlı olup, kontrollü çarpma deneylerinde düşme yüksekliği veya sarkaç sistemlerinde uygulanan enerji düzeyi değiştirilerek ayarlanabilmektedir. Hasat ve hasat sonrası işlemler sırasında meyveler; kasalara doldurma, taşıma ve aktarma gibi işlemlerde farklı şiddetlerde çarpmalara maruz kalabilmektedir. Çarpma sırasında meyve tarafından absorbe edilen enerji, doku deformasyonu ve zedelenme oluşumu açısından önemli bir parametredir. Nitekim absorbe edilen enerji ile zedelenme hacmi arasında

ilişki bulunduğu ve bu ilişkinin meyvelerde çarpma hasarının değerlendirilmesinde kullanılabildiği bildirilmektedir (Opara & Pathare, 2014).

Zedelenme oluşumu, mekanik yükleme sırasında meyve dokusunda meydana gelen deformasyon ve enerji kayıplarıyla yakından ilişkilidir. Uygulanan mekanik enerji karşısında dokuda meydana gelen deformasyonun bir bölümü geri dönüşlü olabilirken, bir bölümü enerji kaybı ve kalıcı doku hasarı ile sonuçlanabilmektedir. Yükleme ve boşaltma sırasında meydana gelen enerji kayıpları histerezis kayıpları ile, deformasyonun geri dönüşlü kısmı ise elastiklik derecesi ile değerlendirilebilmektedir. Elastiklik derecesinin yüksek olması deformasyonun daha fazla geri dönüşlü olduğunu ve daha az hasar beklendiğini göstermektedir. Buna karşılık, zedelenme oluşumu meyve tarafından absorbe edilen enerji ve doku özellikleriyle ilişkilidir (Blahovec & Paprštejn, 2005).

Literatürde yapılan çalışmalarda, çarpma enerjisi ile zedelenme hacmi arasında önemli bir ilişki bulunduğu bildirilmektedir. Bu ilişki meyve türü, olgunluk düzeyi ve dokusal özellikler gibi faktörlere bağlı olarak değişebilmekle birlikte, genel olarak çarpma enerjisinin artmasıyla zedelenme hacminin arttığı görülmektedir. Nitekim farklı meyvelerde gerçekleştirilen kontrollü çarpma çalışmalarında, artan çarpma enerjisi veya çarpma şiddetiyle birlikte zedelenme hacminde artış meydana geldiği bildirilmiştir (Jarimopas et al., 2007; Shafie et al., 2015).

Zedelenme oluşumunun değerlendirilmesinde önemli kavramlardan biri de eşik çarpma enerjisidir. Eşik çarpma enerjisi, belirli çarpma koşulları altında meyvede zedelenmenin oluşmaya başladığı enerji düzeyini ifade etmektedir. Bu değer; meyvenin kütlesi, şekli, çarpma yüzeyinin özellikleri ve kullanılan yastıklama malzemesine bağlı olarak değişebilmektedir. Eşik değer üzerindeki enerji düzeylerinde çarpma enerjisi ile zedelenme hacmi arasındaki ilişkinin belirlenmesi, meyvenin çarpma hasarına duyarlılığının ve yastıklama malzemelerinin koruyucu etkinliğinin değerlendirilmesinde kullanılabilmektedir (Jarimopas et al., 2007).

Çarpma enerjisi–zedelenme ilişkisini incelemek amacıyla kullanılan deneysel yöntemler arasında sarkaç çarpma testleri ve düşme testleri ön plana çıkmaktadır. Sarkaç çarpma testleri, belirli bir enerji seviyesinin kontrollü bir şekilde meyve yüzeyine uygulanmasına olanak sağlayan sistemlerdir. Bu sistemlerde çarpma enerjisi, sarkaç kolunun kütlesi ve salınım açısı değiştirilerek ayarlanabilmektedir. Düşme testlerinde ise meyveler belirli yüksekliklerden serbest düşmeye bırakılarak farklı enerji seviyelerinde çarpma etkisine maruz bırakılmaktadır. Her iki yöntem de çarpma enerjisinin zedelenme oluşumu üzerindeki etkisinin nicel olarak değerlendirilmesine olanak tanımaktadır (Van Zeebroeck et al., 2007; Shafie et al., 2015).

Zedelenme, çarpma sonrasında her zaman hemen gözle görünür hâle gelmemektedir. Meyve dokusunda meydana gelen hasara bağlı renk değişimi

ve yumuşama zaman içerisinde gelişebilmekte ve zedelenmenin görünür hâle gelmesi belirli bir süre alabilmektedir. Bu gecikmeli görünürlük, hasat sonrası sınıflandırma ve kalite kontrol işlemleri sırasında zedelenmiş meyvelerin belirlenmesini güçleştirebilmekte ve hasarlı ürünlerin pazarlama zincirinin sonraki aşamalarına ulaşmasına neden olabilmektedir (Opara & Pathare, 2014).

Çarpma enerjisi–zedelenme ilişkisinin anlaşılması, hasat sonrası süreçlerde uygulanacak önleyici stratejilerin belirlenmesi açısından önem taşımaktadır. Uygulanan çarpma enerjisinin sınırlandırılması, uygun ambalajlama ve yastıklama malzemelerinin kullanılması ve taşıma–depolama sistemlerinin tasarımında çarpma enerjisinin sönümlenmesine yönelik önlemlerin dikkate alınması, zedelenme oluşumunun azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Bu bağlamda çarpma enerjisi, meyvelerde mekanik zedelenmenin değerlendirilmesinde temel parametrelerden biri olarak öne çıkmaktadır.

4. MEYVE ÖZELLİKLERİNİN MEKANİK ZEDELENMEYE ETKİSİ

Meyvelerde mekanik zedelenmenin oluşumu yalnızca uygulanan mekanik yüklerin büyüklüğüne ve niteliğine bağlı olmayıp, aynı zamanda meyveye özgü fiziksel, mekanik ve biyolojik özelliklerden de önemli ölçüde etkilenmektedir. Aynı çarpma enerjisine maruz kalan farklı meyve türlerinde veya aynı meyvenin farklı örneklerinde gözlenen zedelenme düzeyleri arasında belirgin farklılıklar bulunabilmektedir. Bu durum, meyve özelliklerinin mekanik zedelenmeye karşı duyarlılığın belirlenmesinde önemli rol oynadığını göstermektedir.

Meyve sertliği, mekanik zedelenmeye karşı duyarlılığı etkileyen önemli özelliklerden biridir. Sertlik, meyve dokusunun uygulanan mekanik yüke karşı gösterdiği dirençle ilişkili olup, meyvenin çarpma ve sıkıştırma yükleri altındaki davranışının değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Meyvenin sertliği; olgunluk durumu, su durumu, turgor ve iç doku özellikleriyle birlikte mekanik zedelenmeye karşı gösterdiği duyarlılığı etkileyebilmektedir. Bununla birlikte, sertlik ile zedelenme arasındaki ilişkinin yönü ve büyüklüğü meyve türüne, olgunluk ve depolama koşullarına ve uygulanan mekanik yükün özelliklerine bağlı olarak değişebilmektedir (Opara & Pathare, 2014; Hussein et al., 2020a).

Meyve kabuk kalınlığı ve kabuğun mekanik özellikleri, mekanik zedelenmeye karşı duyarlılığı etkileyen faktörler arasında yer almaktadır. Kabuk kalınlığındaki farklılıklar, meyvenin çarpma yükleri karşısındaki mekanik davranışını etkileyebilmektedir. Bununla birlikte, kabuk kalınlığının etkisi tek başına değerlendirilmemeli; meyve sertliği, eğrilik yarıçapı, temas alanı ve çarpma koşulları gibi diğer fiziksel ve mekanik özelliklerle birlikte ele alınmalıdır. Nitekim nar meyvesinde farklı çarpma bölgelerinin kabuk kalınlığı, sertlik ve eğrilik yarıçapı bakımından farklılık

gösterdiği ve bu özelliklerin zedelenme duyarlılığıyla ilişkili olduğu bildirilmiştir (Shafie et al., 2015).

Meyvenin geometrik özellikleri, özellikle çarpma bölgesindeki eğrilik yarıçapı, temas koşullarını ve mekanik zedelenmenin oluşumunu etkileyen faktörler arasında yer almaktadır. Eğrilik yarıçapının küçülmesi temas alanının azalmasına ve aynı çarpma kuvveti altında daha yüksek çarpma basıncının oluşmasına neden olabilmektedir. Bununla birlikte, eğrilik yarıçapı ile zedelenme arasındaki ilişki tek başına değerlendirilememekte; meyvenin sertliği, kabuk kalınlığı, temas alanı ve çarpma koşulları da zedelenmenin oluşumu ve şiddeti üzerinde etkili olmaktadır. Nitekim nar meyvesinde farklı çarpma bölgelerinin bu özellikler bakımından farklılık gösterdiği ve buna bağlı olarak zedelenme düzeylerinin de değiştiği bildirilmiştir (Shafie et al., 2015).

Meyve bölgesi, mekanik zedelenmenin oluşumu ve şiddeti üzerinde etkili olan faktörlerden biridir. Meyvenin kaliks, sap ve yanak bölgeleri; kabuk kalınlığı, sertlik ve eğrilik yarıçapı gibi fiziksel ve mekanik özellikler bakımından farklılık gösterebilmektedir. Bu farklılıklar, çarpma sırasında oluşan temas koşullarını ve buna bağlı zedelenme düzeyini etkileyebilmektedir. Nitekim nar meyvesinde yapılan bir çalışmada, farklı çarpma bölgeleri arasında zedelenme hacmi bakımından farklılıklar belirlenmiş; en yüksek zedelenme hacmi kaliks bölgesinde, en düşük değer ise sap bölgesinde saptanmıştır (Shafie et al., 2015).

Meyvenin olgunluk düzeyi, mekanik zedelenmeye karşı duyarlılığı etkileyen önemli biyolojik faktörlerden biridir. Olgunlaşma sürecinde hücre duvarı yapısı, doku sertliği ve turgor gibi özelliklerde meydana gelen değişimler, meyvenin mekanik yükler karşısındaki davranışını değiştirebilmektedir. Olgunlaşmayla birlikte hücre duvarı dayanımının azalması ve doku bütünlüğünde meydana gelen değişimler, bazı meyvelerde çarpma ve sıkıştırma kaynaklı zedelenmeye karşı duyarlılığı artırabilmektedir. Bununla birlikte, olgunluk düzeyi ile zedelenme arasındaki ilişkinin meyve türüne, çeşide ve hasat dönemine bağlı olarak değişebildiği bildirilmektedir (Hussein et al., 2020a).

Meyve dokusunun su durumu ve buna bağlı turgor özellikleri, mekanik zedelenmeye karşı duyarlılığı etkileyen faktörler arasında yer almaktadır. Hasat sonrasında meydana gelen su kaybı ve turgordaki değişimler, meyve dokusunun sertlik, deformasyon ve mekanik yükler karşısındaki davranışını değiştirebilmektedir. Bununla birlikte, turgor ile zedelenme duyarlılığı arasındaki ilişki meyve türüne, olgunluk düzeyine ve depolama koşullarına bağlı olarak değişebilmektedir (Hussein et al., 2020a).

Depolama süresi ve depolama koşulları, meyvenin fiziksel ve mekanik özelliklerinde zamanla değişikliklere neden olarak mekanik zedelenmeye karşı duyarlılığı etkileyebilmektedir. Depolama sırasında meydana gelen tekstürel değişimler, su kaybı ve turgordaki değişimler meyvenin çarpma ve sıkıştırma yükleri karşısındaki mekanik davranışını değiştirebilmektedir.

Bununla birlikte, depolama süresinin zedelenme duyarlılığı üzerindeki etkisi meyve türü ve çeşidine göre farklılık gösterebilmekte; depolama sıcaklığı, bağıl nem ve depolama süresi gibi koşullar meyvenin mekanik özellikleri üzerinde etkili olabilmektedir (Hussein et al., 2020b).

Meyve özelliklerinin mekanik zedelenmeye etkisinin anlaşılması, hasat ve hasat sonrası süreçlerin planlanmasında ve ambalajlama sistemlerinin tasarımında büyük önem taşımaktadır. Meyve türüne ve özelliklerine uygun hasat zamanının belirlenmesi, taşıma ve depolama koşullarının optimize edilmesi ve uygun yastıklama malzemelerinin seçilmesi, mekanik zedelenmenin azaltılmasına yönelik etkili stratejiler arasında yer almaktadır. Bu bağlamda, meyve özelliklerinin dikkate alınması, hasat sonrası kayıpların azaltılmasına yönelik bütüncül bir yaklaşımın temelini oluşturmaktadır.

5. HASAT VE HASAT SONRASI İŞLEMLERDE MEKANİK ETKİLER

Hasat ve hasat sonrası işlemler boyunca meyveler, üretim zincirinin farklı aşamalarında çeşitli mekanik etkilere maruz kalmaktadır. Bu etkiler, hasat anından başlayarak taşıma, yükleme-boşaltma, sınıflandırma, paketlenme ve depolama süreçlerine kadar devam etmekte ve her bir aşamada farklı büyüklük ve karakterde mekanik yükler oluşturmaktadır. Bu nedenle mekanik zedelenmenin oluşumu tek bir aşamaya indirgenememekte; tüm hasat sonrası sistemin bir sonucu olarak değerlendirilmesi gerekmektedir.

Hasat aşaması, meyvelerin mekanik zedelenmeye maruz kalabildiği önemli süreçlerden biridir. Meyvelerin elle veya mekanik sistemlerle toplanması sırasında uygulanan kavrama ve koparma kuvvetleri ile düşme, yakalama ve toplama işlemleri meyveler üzerinde mekanik yükler oluşturabilmektedir. Özellikle mekanik hasat uygulamalarında, meyvelerin yakalama yüzeylerine düşmesi veya toplama sırasında farklı yüzeylerle temas etmesi çarpma kaynaklı zedelenmelere neden olabilmektedir. Elle hasatta ise meyveye uygulanan aşırı kavrama kuvvetleri ve uygun olmayan toplama uygulamaları mekanik zedelenmeye yol açabilmektedir (Hussein et al., 2020a; Opara & Pathare, 2014; Fu et al., 2018).

Taşıma süreci, meyvelerin mekanik zedelenmeye maruz kalabildiği önemli hasat sonrası aşamalardan biridir. Taşıma sırasında yol koşulları, taşıma aracının süspansiyon özellikleri ve taşıma sisteminin dinamik davranışı nedeniyle oluşan titreşimler, meyvelerin ambalaj veya taşıma kapları içerisinde hareket etmesine ve birbirleriyle ya da ambalaj yüzeyleriyle tekrarlayan temas ve çarpmalara maruz kalmasına neden olabilmektedir. Titreşim koşullarına bağlı olarak meyve hareketinin artması, çoklu çarpma ve zedelenme noktalarının oluşmasına yol açabilmektedir. Taşıma sırasında oluşan titreşimlerin şiddeti ve frekansı ile taşıma kabının özellikleri, meydana gelen mekanik zedelenmenin düzeyini etkileyen önemli

faktörler arasında yer almaktadır (Van Zeebroeck et al., 2007; Opara & Pathare, 2014; Opara & Fadiji, 2018).

Yükleme ve boşaltma işlemleri, meyvelerin mekanik zedelenmeye maruz kalabildiği önemli hasat sonrası aşamalarıdır. Bu işlemler sırasında meyvelerin veya meyve içeren ambalajların bir yüzeyden diğerine aktarılması, düşme ve çarpma kaynaklı mekanik yüklerin oluşmasına neden olabilmektedir. Özellikle düşme yüksekliğinin artması, meyve veya ambalaj sistemine aktarılan çarpma enerjisinin artmasına ve buna bağlı olarak zedelenmenin şiddetlenmesine yol açabilmektedir. Bunun yanında, kasaların veya kutuların üst üste istiflenmesi meyveler üzerinde sıkıştırma yükleri oluşturarak mekanik zedelenmeye katkıda bulunabilmektedir (Van Zeebroeck et al., 2007; Opara & Pathare, 2014; Fadiji et al., 2016).

Sınıflandırma ve paketleme hatları, meyvelerin çeşitli mekanik etkilere maruz kalabildiği hasat sonrası aşamalarıdır. Bu işlemler sırasında meyvelerin farklı yüzeylerle temas etmesi ve işlem hattındaki aktarım noktalarında çarpma yüklerine maruz kalması mekanik zedelenmeye neden olabilmektedir. Özellikle meyvenin bir yüzeyden diğerine aktarıldığı noktalarda oluşan çarpmaların şiddeti, meyveye aktarılan enerji ve temas yüzeyinin özelliklerine bağlı olarak zedelenme düzeyini etkileyebilmektedir. Bu nedenle sınıflandırma ve paketleme hatlarında çarpma noktalarının belirlenmesi ve mekanik etkilerin azaltılmasına yönelik uygun tasarım ve yastıklama önlemlerinin alınması, meyve zedelenmesinin sınırlandırılması açısından önem taşımaktadır (Van Zeebroeck et al., 2007; Opara & Pathare, 2014; Fadiji et al., 2016).

Depolama süreci, meyvelerin mekanik zedelenmeye karşı duyarlılığının ve mekanik özelliklerinin değişebildiği önemli hasat sonrası aşamalardan biridir. Depolama ve dağıtım sırasında meyve içeren ambalajların istiflenmesi, ambalaj sistemi içerisinde sıkıştırma yüklerinin oluşmasına ve meyvelerde mekanik zedelenmeye neden olabilmektedir. Bu nedenle ambalajın sıkıştırma dayanımı ve meyvenin ambalaj içerisindeki konumu, sıkıştırma kaynaklı zedelenmenin sınırlandırılması açısından önem taşımaktadır. Bunun yanında depolama süresi, sıcaklık ve bağıl nem gibi koşullar meyvenin tekstürel ve mekanik özelliklerinde değişikliklere neden olarak zedelenmeye karşı duyarlılığını etkileyebilmektedir. Bu etkinin yönü ve büyüklüğü meyve türüne, çeşidine ve depolama koşullarına bağlı olarak değişebilmektedir (Opara & Fadiji, 2018; Hussein et al., 2020b; Opara & Pathare, 2014).

Hasat ve hasat sonrası işlemler boyunca oluşan mekanik etkilerin azaltılabilmesi için tüm sürecin bir bütün olarak ele alınması gerekmektedir. Hasat yöntemlerinin meyve özelliklerine uygun olarak seçilmesi, taşıma ve yükleme-boşaltma aşamalarında düşme yüksekliklerinin sınırlandırılması, sınıflandırma ve paketleme hatlarında mekanik etkileri azaltmaya yönelik uygun tasarımların kullanılması ve depolama koşullarının optimize edilmesi, mekanik zedelenmenin azaltılmasına yönelik başlıca stratejiler arasında yer

almaktadır. Bu önlemlerin uygun ambalajlama ve yastıklama çözümleriyle birlikte değerlendirilmesi, hasat ve hasat sonrası süreçlerde mekanik zedelenmenin ve buna bağlı ürün kayıplarının azaltılmasına katkı sağlayabilmektedir (Opara & Pathare, 2014; Fadiji et al., 2016; Opara & Fadiji, 2018).

6. AMBALAJLAMA YAKLAŞIMLARI VE YASTIKLAMA MALZEMELERİ

Hasat ve hasat sonrası süreçlerde meyvelerde meydana gelen mekanik zedelenmelerin azaltılmasında uygun ambalajlama sistemlerinin kullanılması önemli yaklaşımlardan biridir. Ambalajlama sistemleri, meyvelerin bir arada tutulması ve taşınmasının yanı sıra çarpma, titreşim ve sıkıştırma gibi mekanik etkilerin meyve üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılmasında koruyucu bir işlev görmektedir. Ambalaj tasarımı ve kullanılan yastıklama elemanları, meyveler arasındaki doğrudan teması sınırlandırabilmekte ve çarpma sırasında aktarılan enerjinin bir bölümünü absorbe ederek mekanik zedelenmenin azaltılmasına katkı sağlayabilmektedir. Bu nedenle ambalajlama sistemlerinin tasarımında meyve–ambalaj etkileşiminin mekanik açıdan dikkate alınması önem taşımaktadır (Jarimopas et al., 2007; Opara & Pathare, 2014; Fadiji et al., 2016).

Meyvelerin hasat sonrası taşınması ve muhafazasında karton kutular, plastik ve ahşap kasalar, dökme taşıma kapları ve paletli sistemler gibi farklı ambalajlama çözümleri kullanılmaktadır. Bu sistemler meyvelerin toplu hâlde taşınmasına ve korunmasına olanak sağlamakla birlikte, ambalaj içerisindeki yerleşim düzeni meyvelerin mekanik zedelenmeye karşı korunmasında önemli rol oynamaktadır. Özellikle meyvelerin birbirleriyle doğrudan temas ettiği toplu yerleşimlerde, çarpma ve titreşim gibi mekanik etkiler altında meyve–meyve temasına bağlı zedelenmeler meydana gelebilmektedir. Meyvelerin ayrı birimler hâlinde tutulmasını sağlayan tepsi veya bireysel yastıklama uygulamaları ise meyve–meyve temasını sınırlandırarak ve çarpma enerjisinin bir bölümünü absorbe ederek mekanik zedelenmenin azaltılmasına katkı sağlayabilmektedir (Jarimopas et al., 2007; Fadiji et al., 2016; Yeşiloğlu Cevher, 2022).

Bireysel meyve koruma sistemleri, meyvelerin tek tek sarılması veya birbirleriyle doğrudan temasının sınırlandırılması prensibine dayanmaktadır. Bu amaçla kullanılan yastıklama malzemeleri, çarpma sırasında oluşan kinetik enerjinin bir bölümünü absorbe ederek meyveye aktarılan enerjinin azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Özellikle köpük ağ (foam net) gibi esnek yastıklama malzemeleri, meyve–meyve temasını sınırlandırmanın yanı sıra çarpma enerjisinin absorbe edilmesine ve buna bağlı mekanik zedelenmenin azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Deneysel çalışmalar, köpük ağ ve diğer yastıklama malzemeleriyle korunan meyvelerde zedelenme hacminin çıplak

meyvelere göre azaltılabildiğini göstermektedir (Jarimopas et al., 2007; Yeşiloğlu Cevher, 2022).

Köpük ağ malzemeleri, yastıklama özellikleri sayesinde çarpma sırasında oluşan enerjinin bir bölümünü absorbe ederek meyveye aktarılan enerjinin azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Bu özellik, meyvenin çarpma etkilerine karşı korunmasına ve buna bağlı mekanik zedelenmenin azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Jarimopas et al. (2007), köpük ağ ve farklı yastıklama malzemelerinin elmalarda çarpma enerjisine bağlı zedelenmenin azaltılmasındaki etkilerini ortaya koymuştur. Benzer şekilde, Yeşiloğlu Cevher (2022) tarafından Trabzon hurmasında yapılan çalışmada, köpük ağ ile kaplanan meyvelerde zedelenme hacminin çıplak meyvelere göre önemli ölçüde azaldığı belirlenmiştir.

Ambalajlama sistemlerinin mekanik performansının değerlendirilmesinde yalnızca çarpma etkileri değil, sıkıştırma ve titreşim etkileri de dikkate alınmalıdır. Özellikle depolama ve taşıma sırasında ambalajların üst üste istiflenmesi, ambalaj sistemi üzerinde sıkıştırma yüklerinin oluşmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle ambalajın sıkıştırma dayanımı ve deformasyon davranışı, ambalaj içerisindeki meyvelerin mekanik zedelenmeye karşı korunması açısından önem taşımaktadır. Farklı ambalaj tasarımlarının sıkıştırma yükleri altındaki mekanik davranışının ve meyve-ambalaj etkileşiminin dikkate alınması, sıkıştırma kaynaklı zedelenmenin azaltılmasına katkı sağlayabilmektedir (Jarimopas et al., 2007; Opara & Fadiji, 2018).

Ambalajlama ve yastıklama sistemlerinin etkinliği, meyvenin fiziksel ve mekanik özellikleri ile kullanılan ambalaj malzemesinin özelliklerine bağlı olarak değişebilmektedir. Meyvenin sertliği, olgunluk düzeyi, turgor durumu ve temas bölgesinin özellikleri, mekanik yükler karşısındaki davranışını ve zedelenmeye karşı duyarlılığını etkileyebilmektedir. Bu nedenle ambalaj ve yastıklama malzemelerinin seçiminde meyvenin mekanik özellikleri ile çarpma koşullarının birlikte değerlendirilmesi önem taşımaktadır. Nitekim farklı meyve ve ambalajlama koşullarında yapılan çalışmalar, uygun yastıklama malzemelerinin meyveye aktarılan çarpma enerjisinin azaltılmasına ve mekanik zedelenmenin sınırlandırılmasına katkı sağlayabildiğini göstermektedir (Van Zeebroeck et al., 2007; Jarimopas et al., 2007; Yeşiloğlu Cevher, 2022).

Son yıllarda ambalajlama sistemlerinin geliştirilmesinde mekanik koruma performansının yanı sıra sürdürülebilirlik ve çevresel etkiler de önem kazanmaktadır. Köpük ağ ve genleştirilmiş polistiren gibi sentetik yastıklama malzemeleri yüksek mekanik koruma sağlayabilmekle birlikte, çevresel etkileri alternatif ambalaj malzemelerinin değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır. Bu kapsamda geri dönüştürülebilir veya daha kolay bozunabilen malzemelerin yastıklama amacıyla kullanılmasında, çevresel özelliklerin yanı sıra çarpma enerjisini absorbe etme ve meyveyi mekanik zedelenmeden koruma performanslarının da dikkate alınması gerekmektedir.

Bu nedenle sürdürülebilir ambalaj tasarımında çevresel özellikler ile mekanik koruma performansının birlikte değerlendirilmesi önem taşımaktadır (Jarimopas et al., 2007; Dunno et al., 2021).

Ambalajlama ve yastıklama sistemlerinin mekanik koruma performansının nicel olarak ortaya konulabilmesi için deneysel testler önemli bir araçtır. Çarpma, sıkıştırma ve titreşim testleri, ambalajlama sistemlerinin farklı mekanik yükler altındaki davranışlarının ve meyve üzerindeki koruyucu etkilerinin değerlendirilmesinde kullanılabilir. Bu testler aracılığıyla farklı ambalaj ve yastıklama malzemelerinin mekanik performansları karşılaştırılabilmekte ve meyveye aktarılan mekanik etkilerin azaltılmasına yönelik uygun çözümler değerlendirilebilmektedir. Nitekim deneysel çalışmalar, farklı yastıklama malzemelerinin enerji absorpsiyon özelliklerinin ve meyvelerde çarpma kaynaklı zedelenmeyi azaltma performanslarının nicel olarak belirlenebildiğini göstermektedir (Jarimopas et al., 2007; Yeşiloğlu Cevher, 2022; Dunno et al., 2021).

Sonuç olarak, ambalajlama yaklaşımları ve yastıklama malzemeleri, meyvelerde hasat ve hasat sonrası işlemler sırasında meydana gelen mekanik zedelenmelerin azaltılmasında önemli bir role sahiptir. Uygun ambalajlama sistemlerinin seçimi ve tasarımı; meyve özellikleri, hasat sonrası işlemler ve karşılaşılan mekanik etki türleri dikkate alınarak yapılmalıdır. Bu bütüncül yaklaşım, ürün kalitesinin korunmasına ve hasat sonrası kayıpların azaltılmasına katkı sağlamaktadır.

7. DENEYSEL YÖNTEMLER, MODELLEME VE UYGULAMALAR

Meyvelerde hasat ve hasat sonrası süreçlerde meydana gelen mekanik zedelenmelerin nicel olarak değerlendirilmesi, zedelenmeye neden olan faktörlerin anlaşılması ve mekanik etkilerin azaltılmasına yönelik stratejilerin geliştirilmesi açısından önem taşımaktadır. Bu amaçla kullanılan deneysel yöntemler ve modelleme yaklaşımları, meyve dokusunun mekanik davranışının ortaya konulmasının yanı sıra hasat ve hasat sonrası sistemlerin değerlendirilmesine yönelik bilimsel veriler sağlamaktadır. Kontrollü deneysel testlerden elde edilen verilerin matematiksel ve istatistiksel modellerle birlikte değerlendirilmesi; çarpma enerjisi, temas kuvveti ve meyve özellikleri gibi değişkenlere bağlı olarak mekanik zedelenmenin tahmin edilmesine olanak sağlayabilmektedir (Opara & Pathare, 2014; Yeşiloğlu Cevher & Öztekin, 2022).

Çarpma kaynaklı mekanik zedelenmenin incelenmesinde yaygın olarak kullanılan deneysel yöntemlerden biri sarkaç çarpma testleridir. Bu testlerde, belirli bir kütleye sahip sarkaç kolu belirlenen bir açıdan serbest bırakılarak meyve yüzeyine kontrollü bir çarpma uygulanmaktadır. Çarpma enerjisi; sarkaç kütlesi, sarkaç kolunun geometrik özellikleri ve serbest bırakma açısı dikkate alınarak belirlenmekte ve farklı enerji seviyelerinde meyve dokusunun mekanik tepkisi değerlendirilebilmektedir. Sarkaç çarpma

testleri, kontrollü enerji seviyelerinde mekanik zedelenme oluşturulmasına olanak sağlaması nedeniyle, çarpma enerjisi ile zedelenme arasındaki ilişkinin incelenmesinde kullanılmaktadır (Jarimopas et al., 2007; Opara & Pathare, 2014; Yeşiloğlu Cevher & Öztek, 2022).

Düşme testleri, meyvelerde ve ambalajlama sistemlerinde çarpma kaynaklı mekanik zedelenmenin değerlendirilmesinde kullanılan deneysel yöntemlerden biridir. Bu testlerde meyveler veya meyve içeren ambalajlar belirli yüksekliklerden düşürülerek farklı çarpma koşulları oluşturulmakta ve meydana gelen mekanik zedelenme değerlendirilmektedir. Düşme yüksekliğinin artması, çarpma enerjisinin ve buna bağlı olarak meyvede meydana gelen zedelenmenin artmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle düşme testleri, farklı çarpma koşullarının meyve ve ambalajlama sistemleri üzerindeki etkilerinin deneysel olarak değerlendirilmesinde kullanılmaktadır (Opara & Pathare, 2014; Fadji et al., 2016).

Mekanik zedelenmenin nicel olarak ifade edilmesinde yaygın olarak kullanılan göstergelerden biri zedelenme hacmidir. Zedelenme hacmi, meyve dokusunda çarpma sonucu oluşan hasarlı bölgenin üç boyutlu olarak değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu amaçla meyve dokusunda oluşan zedelenmenin genişlik ve derinlik gibi boyutları ölçülmekte ve zedelenmiş bölgenin geometrik şekline ilişkin kabuller doğrultusunda farklı matematiksel eşitlikler kullanılarak hacim hesaplanabilmektedir. Zedelenme hacmi; çarpma enerjisi, absorbe edilen enerji ve meyvenin fiziksel ve mekanik özellikleriyle ilişkilendirilerek mekanik zedelenmenin değerlendirilmesinde kullanılabilmektedir (Opara & Pathare, 2014; Yeşiloğlu Cevher, 2022).

Deneysel çalışmalardan elde edilen verilerin yorumlanmasında ve mekanik zedelenmenin tahmin edilmesinde modelleme yaklaşımları önemli bir rol oynamaktadır. Regresyon modellerinde çarpma enerjisi, temas kuvveti, eğrilik yarıçapı ve meyvenin fiziksel ve mekanik özellikleri gibi farklı değişkenler kullanılarak zedelenme hacmi veya zedelenme olasılığı tahmin edilebilmektedir. Literatürde mekanik zedelenmenin tahmininde çoklu doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon modellerinin yanı sıra lojistik regresyon ve farklı sayısal modelleme yaklaşımlarının da kullanıldığı bildirilmektedir. Meyvelerde gerçekleştirilen deneysel çalışmalar, çarpma koşulları ve meyve özelliklerinden elde edilen verilerin zedelenme hacminin tahmin edilmesinde kullanılabileceğini göstermektedir (Opara & Pathare, 2014; Shafie et al., 2015; Cevher Yeşiloğlu & Öztek, 2022).

Modelleme yaklaşımları, yalnızca deneysel veriler arasındaki ilişkilerin açıklanmasında değil, farklı mekanik yükleme koşullarında meydana gelebilecek zedelenmenin tahmin edilmesinde de kullanılmaktadır. Çarpma enerjisi ile zedelenme hacmi veya zedelenme oluşma olasılığı arasındaki ilişkilerin modellenmesi, meyvelerin zedelenmeye karşı duyarlılığının ve zedelenme eşiklerinin belirlenmesine olanak sağlayabilmektedir. Bu bilgiler, ambalajlama ve hasat sonrası taşıma

sistemlerinin değerlendirilmesi ve mekanik etkilerin azaltılmasına yönelik önlemlerin geliştirilmesinde yol gösterici olabilmektedir (Jarimopas et al., 2007; Opara & Pathare, 2014).

Deneysel yöntemler ve modelleme yaklaşımlarının birlikte kullanılması, ambalajlama ve yastıklama sistemlerinin mekanik koruma performansının değerlendirilmesinde de önemli bilgiler sağlamaktadır. Farklı yastıklama ve ambalajlama malzemelerinin çarpma koşulları altındaki koruyucu performansı deneysel olarak belirlenebilmekte; elde edilen veriler istatistiksel ve matematiksel yaklaşımlarla değerlendirilerek sistemler arasındaki farklılıklar ortaya konulabilmektedir. Nitekim farklı ambalaj ve yastıklama uygulamalarıyla gerçekleştirilen çalışmalar, kullanılan malzemenin meyveye aktarılan mekanik etkileri ve buna bağlı zedelenme düzeyini önemli ölçüde etkileyebildiğini göstermektedir (Cevher Yeşiloğlu, 2022; Dunno et al., 2021).

Uygulama açısından değerlendirildiğinde, deneysel veriler ve modelleme sonuçları hasat ve hasat sonrası sistemlerin değerlendirilmesi ve geliştirilmesinde önemli bilgiler sağlamaktadır. İşlem hatlarındaki düşme ve çarpma noktaları, ambalaj malzemelerinin seçimi, ambalaj içerisindeki meyve yerleşimi ve istifleme koşulları; deneysel olarak belirlenen çarpma enerjileri, zedelenme eşikleri ve model sonuçları dikkate alınarak değerlendirilebilmektedir. Bu bilgiler, mekanik zedelenmeye neden olan kritik koşulların belirlenmesine ve zedelenmenin azaltılmasına yönelik uygun önlemlerin geliştirilmesine katkı sağlayabilmektedir (Opara & Pathare, 2014; Fadji et al., 2016; Opara & Fadji, 2018).

Sonuç olarak, deneysel yöntemler, modelleme yaklaşımları ve uygulamaya yönelik değerlendirmeler, meyvelerde hasat ve hasat sonrası işlemler sırasında meydana gelen mekanik zedelenmelerin anlaşılması ve azaltılmasında birbirini tamamlayan yaklaşımlardır. Kontrollü deneysel testlerden elde edilen verilerin uygun matematiksel ve istatistiksel modellerle desteklenmesi, hasat ve hasat sonrası süreçlerde mekanik zedelenmenin değerlendirilmesine ve azaltılmasına yönelik bilimsel temelli çözümlerin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır.

SONUÇ

Bu kitap bölümünde, meyvelerde hasat ve hasat sonrası işlemler sırasında meydana gelen mekanik zedelenmeler, oluşum mekanizmaları ve bu zedelenmelerin azaltılmasına yönelik ambalajlama yaklaşımları bütüncül bir bakış açısıyla ele alınmıştır. Hasat anından başlayarak taşıma, yükleme-boşaltma, sınıflandırma, paketleme ve depolama aşamalarını kapsayan süreç boyunca meyvelerin çarpma, sıkıştırma ve titreşim gibi farklı mekanik etkilere maruz kalabildiği ve bu etkilerin ürün kalitesi ve pazarlanabilirliği olumsuz yönde etkileyebildiği görülmektedir.

Çarpma enerjisi, meyvelerde mekanik zedelenmenin değerlendirilmesinde kullanılan önemli parametrelerden biridir. Belirli mekanik yükleme koşullarında zedelenmenin oluşmaya başladığı eşik değerlerin belirlenmesi ve çarpma enerjisi ile zedelenme hacmi arasındaki ilişkinin ortaya konulması, meyvelerin mekanik etkilere karşı duyarlılığının değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu ilişkilerin belirlenmesi, hasat ve hasat sonrası süreçlerde mekanik zedelenmeye neden olabilecek koşulların değerlendirilmesi ve uygun önleyici stratejilerin geliştirilmesi açısından önem taşımaktadır.

Meyveye özgü fiziksel, mekanik ve biyolojik özellikler de mekanik zedelenmeye karşı duyarlılığı etkileyen önemli faktörlerdir. Meyve sertliği, kabuk kalınlığı, eğrilik yarıçapı, olgunluk düzeyi ve su durumu gibi özellikler, çarpma ve sıkıştırma yükleri altında meyve dokusunun mekanik davranışını etkileyebilmektedir. Bununla birlikte, bu özelliklerin zedelenme üzerindeki etkisi meyve türü, çeşit, olgunluk ve depolama koşullarına bağlı olarak değişebilmektedir. Bu nedenle hasat ve hasat sonrası süreçlerin planlanmasında meyveye özgü özelliklerin birlikte değerlendirilmesi önem taşımaktadır.

Ambalajlama yaklaşımları ve yastıklama malzemeleri, mekanik zedelenmenin azaltılmasında önemli bir koruma sağlamaktadır. Bireysel meyve koruma sistemleri, tepsiler ve uygun yastıklama malzemeleri; meyve-meyve temasını sınırlandırarak ve çarpma enerjisinin bir bölümünü absorbe ederek meyveye aktarılan mekanik etkilerin azaltılmasına katkı sağlayabilmektedir. Bunun yanında ambalaj tasarımı ve meyvenin ambalaj içerisindeki yerleşimi, çarpma ve sıkıştırma gibi mekanik yükler altında meydana gelen zedelenmenin düzeyini etkileyebilmektedir. Bu nedenle ambalajlama sistemlerinin seçiminde meyve özellikleri, mekanik yükleme koşulları ve ambalaj malzemesinin koruyucu özellikleri birlikte değerlendirilmelidir.

DeneySEL yöntemler ve modelleme yaklaşımlarının birlikte kullanılması, hasat sonrası mekanik zedelenmenin değerlendirilmesinde önemli bilgiler sağlamaktadır. Sarkaç çarpma testleri, düşme testleri ve sıkıştırma testleri gibi kontrollü deneySEL yöntemlerden elde edilen verilerin matematiksel ve istatistiksel modellerle desteklenmesi; çarpma koşulları, meyve özellikleri ve zedelenme arasındaki ilişkilerin ortaya konulmasına ve mekanik zedelenmenin tahmin edilmesine olanak sağlamaktadır. Bu yaklaşımlar, hasat ve hasat sonrası sistemlerin değerlendirilmesi ve mekanik zedelenmenin azaltılmasına yönelik uygulamaların geliştirilmesinde bilimsel bir temel oluşturmaktadır.

Gelecek çalışmalar açısından, meyvelerde mekanik zedelenmenin azaltılmasına yönelik araştırmalarda meyve özellikleri, makine ve ekipman tasarımı, ambalajlama sistemleri ve taşıma koşullarının birlikte değerlendirilmesi yararlı olacaktır. Bunun yanında, geri dönüştürülebilir veya daha kolay bozunabilen ambalaj ve yastıklama malzemelerinin

mekanik koruma performanslarının ayrıntılı olarak incelenmesi, çevresel sürdürülebilirlik ile ürün koruma gereksinimlerinin birlikte değerlendirilmesine katkı sağlayabilir.

Sayısal modelleme ve yapay zekâ temelli tahmin yaklaşımları da mekanik zedelenmenin değerlendirilmesinde gelecekte geliştirilebilecek çalışma alanları arasında yer almaktadır. Çarpma koşulları, meyvenin fiziksel ve mekanik özellikleri ile ambalajlama parametrelerinin birlikte değerlendirildiği modellerin geliştirilmesi, mekanik zedelenmenin tahmin edilmesi ve hasat sonrası süreçlere yönelik kararların desteklenmesi açısından araştırılabilecek bir yaklaşım olarak değerlendirilebilir.

Sonuç olarak, meyvelerde hasat ve hasat sonrası işlemler sırasında meydana gelen mekanik zedelenmelerin azaltılması, ürün kalitesinin korunması ve hasat sonrası kayıpların sınırlandırılması açısından önem taşımaktadır. Meyve özellikleri, mekanik yükleme koşulları, ambalajlama ve yastıklama sistemleri ile deneysel ve modelleme yaklaşımlarının birlikte değerlendirilmesi, mekanik zedelenmenin anlaşılması ve azaltılmasına yönelik bütüncül bir çerçeve sunmaktadır.

REFERANSLAR

- Blahovec, J. ve Paprštein, F. (2005). Susceptibility of pear varieties to bruising. *Postharvest Biology and Technology*, 38(3), 231–238.
- Cevher, Yeşiloğlu, E. (2022). Determination of bruise preventing capacity of the cushioning material in persimmon fruit under pendulum impact test. *Journal of Food Process Engineering*, 45.
- Cevher, Yeşiloğlu, E. ve Öztekin, Y. B. (2022). Prediction of bruise in peach with impact energy. *Journal of Food Process Engineering*, 45(3).
- Dunno, K., Stoeckley, I., & Hofmeister, M. (2021). Susceptibility of impact damage to whole apples packaged inside molded fiber and expanded polystyrene trays. *Foods*, 10, 1980.
- Fadiji, T., Coetzee, C., Pathare, P. B., & Opara, U. L. (2016). Susceptibility to impact damage of apples inside ventilated corrugated paperboard packages: Effects of package design. *Postharvest Biology and Technology*, 111, 286–296.
- Fu, H., Duan, J., Karkee, M., He, L., Chen, D., Sun, D., & Zhang, Q. (2018). Quantifying fruit quality affected by mechanical impact for selected apple varieties. *IFAC-PapersOnLine*, 51(17), 250–255.
- Hussein, Z., Fawole, O. A., & Opara, U. O. (2020a). Harvest and postharvest factors affecting bruise damage of fresh fruits. *Horticultural Plant Journal*, 6(1), 1–13.
- Hussein, Z., Fawole, O. A., & Opara, U. O. (2020b). Bruise damage of pomegranate during long-term cold storage: Susceptibility to bruising and changes in textural properties of fruit. *International Journal of Fruit Science*, 20(sup2), S211–S230.
- Jarimopas, B., Singh, S. P., Sayasoonthorn, S., & Singh, J. (2007). Comparison of package cushioning materials to protect post-harvest impact damage to apples. *Packaging Technology and Science*, 20(5), 315–324.

- Opara, U. L., & Fadiji, T. (2018). Compression damage susceptibility of apple fruit packed inside ventilated corrugated paperboard package. *Scientia Horticulturae*, 227, 154–161.
- Opara, U. L., & Pathare, P. B. (2014). Bruise damage measurement and analysis of fresh horticultural produce—A review. *Postharvest Biology and Technology*, 91, 9–24.
- Shafie, M. M., Rajabipour, A., Castro-García, S., Jiménez-Jiménez, F., & Mobli, H. (2015). Effect of fruit properties on pomegranate bruising. *International Journal of Food Properties*, 18(8), 1837–1846.
- Sitkei, G. (1986). Mechanics of agricultural materials (Vol. 8). *Elsevier*.
- Van Zeebroeck, M., Van Linden, V., Ramon, H., De Baerdemaeker, J., Nicolai, B. M., & Tijskens, E. (2007). Impact damage of apples during transport and handling. *Postharvest Biology and Technology*, 45(2), 157–167.

Sosyal Kooperatifler ve Etkileri

Hacer ÇELİK ATEŞ¹

1- Prof. Dr. Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Ekonomisi Bölümü.
hacerates@isparta.edu.tr ORCID No:0000-0002-9391-6450

ÖZET

Sosyal kooperatifler, genellikle dezavantajlı grupların istihdamını artırmak, sosyal dışlanmayı azaltmak ve toplumsal dayanışmayı güçlendirmek amacıyla kurulan, üyelerinin ortak ekonomik, sosyal ve kültürel ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik demokratik yapılar olarak tanımlanmaktadır. Sosyal kooperatifler; dezavantajlı bireylerin istihdama entegrasyonu, hassas gruplara sosyal hizmet sunumu ve yoksun bölgelerin rehabilitasyonu gibi konvansiyonel modellerin kapsamadığı alanlarda faaliyet göstermektedir. Sosyal kooperatifler özellikle İş gücünün dışında kalmış bireylerin yeniden eğitilmesi ve topluma kazandırılması, yoksul kentsel mahallelerin ekonomik olarak iyileştirilmesi ve terk edilmiş kırsal alanların canlandırılması, sayıları hızla artan “yeni yoksullar”, evsizler ve suça sürüklenen çocuklar, yaşlıların yalnızlığı, yetersiz okul öncesi eğitim olanakları ve eğitim sistemindeki başarısızlıklar, çevre kirliliği ve doğanın tahrip edilmesi gibi birçok sorunun çözümüne katkı sağlayabilecek bir kooperatif türüdür. Sosyal kooperatiflerin ele alınan çok yönlü etkisi ve topluma katkısı yadsınamaz. Çağımızda görülen toplumları doğrudan etkileyen birçok faktör, gelecekte toplumların direncini artırmaya yönelik organizasyonların çok daha önemli olacağını göstermektedir. İklim değişiminin etkileri, küresel ekonomik krizler, değişen yeni teknolojilere uyum, toplum bağlarının zayıflaması, yalnızlaşan ve bireyselleşen insanların sorunları gibi konular sosyal kooperatiflerin çözüm üretebildiği konulardır. Sosyal kooperatiflerin dayanışma gücü ile ekonomik dayanıklılıkları, demokratik yönetim yapıları, dijitalleşme entegrasyonları, enerji gibi kritik sektörlerdeki rolleri ile bölgesel kalkınmadaki katkılarıyla geleceğin önemli aktörleri olarak öne çıkmaktadır. Ancak bu potansiyelin gerçekleşebilmesi için yasal düzenlemelerin iyileştirilmesi, katılımcı destek mekanizmalarının güçlendirilmesi ve uluslararası standartların geliştirilmesi gerekmektedir. Sosyal sermaye mekanizmalarının etkin kullanımı ve kültürel miras gibi yerel değerlerle entegrasyon ise sürdürülebilir büyümenin anahtarı olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Kooperatif, sosyal kooperatif, sosyal girişimcilik, yerel kalkınma, sürdürülebilir toplumlar

GİRİŞ

Uluslararası Kooperatifler Birliğine (ICA) göre kooperatif, ortakların ekonomik, sosyal ve kültürel ihtiyaçlarını ve özlemlerini ortak mülkiyete dayalı ve demokratik olarak yönetilen bir işletme aracılığıyla karşılamak üzere gönüllü olarak bir araya gelen kişilerin özerk bir birliğidir. Kooperatifler, öz yardım, sorumluluk, demokrasi, eşitlik, hakkaniyet ve dayanışma değerlerine dayanır. Kooperatif üyeleri, dürüstlük, açıklık, sosyal sorumluluk ve başkalarına önem verme gibi etik değerlere inanırlar.

Uluslararası Kooperatifler Birliği'nin (ICA) 1995 yılındaki 100. yıl dönümünde güncellediği kooperatifçilik ilkeleri; gönüllü ve açık üyelik, demokratik yönetim, üyelerin ekonomik katılımı, özerklik ve bağımsızlık, eğitim, öğretim ve bilgilendirme, kooperatifler arasında iş birliği, toplumsal sorumluluktur (ICA,2026). Son ilke toplumun sürdürülebilir kalkınmasına kooperatiflerin katkısını ifade etmektedir. Kooperatifler, yapısal özellikleri gereği özel şirketlere kıyasla kamu yararına daha fazla odaklanmaktadır. Bu nedenle büyük kooperatifler elde ettikleri kârın bir kısmını toplumsal projelere aktarmaktadır. Ancak günümüzde birçok kooperatif dışı kurumlar da gerek özel gerek kamu kuruluşları topluma destek olacak sosyal sorumluluk politikaları geliştirebilmektedir.

Tarihsel süreç incelendiğinde kooperatiflerin, toplumun karşılanamayan büyük ihtiyaçlarından ve kriz dönemlerinin getirdiği baskılardan doğduğu görülür. Kooperatifler, her zaman bir "zorunluluk durumuna" çözüm olarak ortaya çıkmıştır. Örneğin, tüketici kooperatifleri: düşük gelirli insanların temel gıda maddelerine daha ucuza ulaşabilmek için bir araya gelmeleriyle kurulmuştur. Üretici kooperatifleri veya zanaatkar kooperatifler: Zanaatlarını korumak ve bağımsız kalmak isteyen yetenekli ustaların, dönemin güvencesiz ücretli işçilik sistemine karşı bir tepkisi olarak doğmuştur (Defourny & Nyssens 2013). Ancak günümüzde toplumun gereksinimleri veya yaşanan koşullar hızla değişmektedir. Kuşkusuz bu ortamlar ülkelerin içinde bulundukları gelişmişlik durumlarına, sosyal ve ekonomik yapılarına göre değişiklik göstermektedir. Bazı küresel krizler tüm ülkeleri etkileyebilmektedir. Savaş ortamları, iklim değişimi ve enerji gereksiniminin sürekli artması ve bu kaynakların erişimindeki aksaklıklar aynı anda birçok ülkeyi etkileyebilmektedir. Tüm bu etkilerle yepyeni güncel sorunlar ve devletler için de çeşitli zorunluklar ortaya çıkmaktadır. Toplum gereksinimleri açısından devletlerin tek başlarına çözmekte zorlandığı birçok konularda yepyeni organizasyonlar oluşabilmektedir. Bunlardan biri de sosyal kooperatiflerdir.

Sosyal kooperatifler, genellikle dezavantajlı grupların istihdamını artırmak, sosyal dışlanmayı azaltmak ve toplumsal dayanışmayı güçlendirmek amacıyla kurulan, üyelerinin ortak ekonomik, sosyal ve kültürel ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik demokratik yapılar olarak tanımlanmaktadır (Izdebski et al., 2017). Geleneksel kooperatifler toplumsal duyarlılığa rağmen ortakların yararına odaklanmaktadır. Oysa sosyal kooperatifler günümüzde odağını ortakların ihtiyaçlarından ziyade toplumun genelinin ya da belirli dezavantajlı grupların sorunlarına yönelten yeni bir model olarak doğmuştur. "Sosyal kooperatif" olarak adlandırılan bu yeni tür, kurumsal amaçları bakımından geleneksel kooperatif kategorilerinden net bir biçimde ayrılır. Sosyal kooperatifler; dezavantajlı bireylerin istihdama entegrasyonu, hassas gruplara sosyal hizmet sunumu ve yoksun bölgelerin rehabilitasyonu gibi konvansiyonel modellerin kapsamadığı alanlarda faaliyet göstermektedir. Sosyal kooperatifler özellikle İş gücünün dışında

kalmış bireylerin yeniden eğitilmesi ve topluma kazandırılması, yoksul kentsel mahallelerin ekonomik olarak iyileştirilmesi ve terk edilmiş kırsal alanların canlandırılması, sayıları hızla artan “yeni yoksullar”, evsizler ve suça sürüklenen çocuklar, yaşlıların yalnızlığı, yetersiz okul öncesi eğitim olanakları ve eğitim sistemindeki başarısızlıklar, çevre kirliliği ve doğanın tahrip edilmesi gibi birçok sorunun çözümüne katkı sağlayabilecek bir kooperatif türüdür. Sosyal kooperatifler, kişilerin içlerindeki "kader ortaklığı" duygusunu harekete geçirerek bu sorunları aşmayı başarırlar. Kabul etmek gerekir ki, günümüz sanayi toplumlarında güçlü toplumsal bağlar kurmak eskisinden çok daha zordur. Bireyciliğin yaygınlaşması, dezavantajlı grupların dışlanması; din, sendika ve ahlaki değerler gibi geleneksel bağların zayıflaması bu durumu zorlaştırmaktadır. Bu yüzden günümüzdeki kooperatiflerin çoğu, artık eski tip ideolojik veya sınıfsal kimlikleri temsil etmemektedir. Buna rağmen yeni nesil kooperatif girişimleri, üyelerinin sadece kişisel çıkarlarını gözetmez; aksine, farklı biçimlerdeki bir "toplumsal farkındalık" üzerine inşa edilirler. Sosyal adaleti savunmak, doğayı korumak, dezavantajlı insanları topluma kazandırmak ve gelişmekte olan ülkelerle adil bağlar kurmak bu yeni bilincin en net örnekleridir. Sosyal girişimleri kuran modern gruplar, geleneksel bağlardan farklı ama yine de çok derin bir "kader ortaklığı" duygusu taşırlar. Onları bir araya getiren ve harekete geçiren şey, bu küresel ve toplumsal zorlukları birlikte göğüsleme kararlılığıdır (Defourny & Nyssens 2013).

Sosyal kooperatifler, dünya genelinde sosyal ve ekonomik kalkınmanın önemli aktörleri olarak giderek artan bir ilgi görmekte ve sosyal ekonomi ile dayanışma ekonomisi alanlarında kritik bir yer tutmaktadır. Örneğin Polonya’da 2014 yılında, sosyal kooperatiflerin toplam kooperatif sayısındaki payı, 2009 yılına göre yedi kat daha fazladır; her 14 Polonya kooperatifinden biri sosyal kooperatiftir (Izdebski et al., 2017). Bu yapılar hem ekonomik hem de sosyal hedefleri bir arada gerçekleştirmeyi amaçlayan, üyelerinin ihtiyaçlarına yönelik kolektif çözümler sunan örgütlenme biçimleri olarak karakterize edilebilir. Sosyal kooperatiflerin temel özelliklerinden biri de üyelerinin aktif katılımını teşvik eden çok paydaşlı yönetim modellerine sahip olmalarıdır (Leviton-reid & Fairbairn, 2011). Sosyal kooperatiflerin ortaya çıkışı ve gelişimi, özellikle neoliberal ekonomik politikaların yaygınlaşmasıyla birlikte, piyasa ekonomisinin yarattığı sosyal dışlanma ve istihdam sorunlarına karşı alternatif modeller arayışının bir sonucu olarak değerlendirilmektedir (Raffaelli, 2018). Bu bağlamda, sosyal kooperatifler sadece ekonomik birimler değil, aynı zamanda toplumsal dayanışmayı güçlendiren ve yerel kalkınmayı destekleyen sosyal hareketler olarak da görülmektedir.

Sosyal kooperatiflerin temelinde yatan dayanışma ekonomisi ilkeleri, onları klasik kapitalist işletmelerden ayıran en önemli özelliklerden biridir. Üyelerinin ihtiyaçlarını karşılamayı ve toplumsal faydayı ön planda tutmayı amaçlayan kolektif yapılardır. Bu kooperatifler, insanı merkeze alan

faaliyetleriyle ekonomik değer yaratım sürecinde farklı bir yaklaşım sunmakta ve küreselleşmenin getirdiği sosyal sorunlara karşı alternatif çözümler üretmektedir (Vırlanuta, 2014). Bu yönüyle sosyal kooperatifler, yerel kalkınmayı sağlayarak sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada kritik bir rol üstlenmektedir.

Sosyal Kooperatifler ve Sosyal Girişimcilik

Sosyal kooperatif kavramı yasal olarak ilk kez 1991 yılında, İtalyan parlamentosunun bu yapıları özel bir hukuki statü tanınmasıyla kurumsallaşmış ve ardından hızla yayılmıştır. Bu doğrultuda Portekiz (1996, 1998), İspanya (1999), Fransa (2001), Polonya (2006) ve Yunanistan (1999, 2011) gibi ülkeler sosyal kooperatiflere yönelik özel yasal çerçeveler oluşturmuştur. Güney Kore (2011) ise ortakların çıkarlarından ziyade topluma hizmet etmeyi birincil amaç edinen kooperatiflere özgü özel bir mevzuat geliştirmiştir. Diğer taraftan birçok ülkede, kamu otoriteleri ve hayırsever vakıflar tarafından desteklenen ve sosyal kooperatifleri de kapsayan "sosyal işletme" (social enterprise) kavramı ortaya çıkmıştır. Sosyal işletme kavramı, temelde sosyal bir amaca hizmet eden girişimci dinamikleri tanımlamaktadır. Bu bağlamda, birincil amacı sosyal fayda olan kooperatifler, "sosyal işletme" etiketini benimseyerek ve bu işletmelere sağlanan desteklerden yararlanarak önemli bir gelişim kaydetmiştir. Örneğin Belçika (1995), Finlandiya (2003), Litvanya (2004), Birleşik Krallık (2005), İtalya (2005), Güney Kore (2007) ve Slovenya (2011), kooperatifler dahil geleneksel işletme formlarının belirli sosyal özellikler taşımak kaydıyla "sosyal işletme" statüsünde faaliyet göstermesine izin veren yasalar çıkarmıştır (Galera ve Borzaga, 2009).

Öte yandan sosyal girişimcilik, sosyal sorunlara yenilikçi çözümler getirmeyi hedefleyen, kâr amacı güden ya da gütmeyen işletmelerin genel adıdır. Sosyal girişimciler, piyasa mekanizmalarını kullanarak toplumsal fayda yaratmayı amaçlarlar ve bu süreçte sosyal inovasyonun önemli bir rolü vardır (Defourny & Nyssens, 2017). Sosyal girişimcilik kavramı, özellikle Batı literatüründe son yirmi yılda hızla gelişmiş ve farklı ülkelerde çeşitli şekillerde tanımlanmıştır (Defourny & Nyssens, 2012). Ancak bu kavramın evrensel bir tanımı üzerinde uzlaşma sağlanamamış olup, farklı bağlamlarda farklı anlamlar kazanabilmektedir (Ciepielewska-kowalik & Starnawska, 2021).

Sosyal kooperatifler ve sosyal girişimcilik arasındaki benzerlikler, her iki yapının da toplumsal faydayı ön planda tutması ve ekonomik faaliyetlerini bu doğrultuda şekillendirmesinden kaynaklanmaktadır. Her iki model de piyasa ekonomisi içerisinde yer almakla birlikte, sosyal hedeflere ulaşmak için farklı stratejiler geliştirmektedir. Örneğin, İtalya'da sosyal kooperatifler, sosyal girişimcilik alanında en yaygın yasal biçimlerden biri olarak kabul edilmekte ve bu yapılar iş gücü piyasasına erişimde

dezavantajlı gruplara yönelik önemli fırsatlar sunmaktadır (Borzaga, 2017). Aynı zamanda sosyal kooperatiflerin işleyişinde yer alan çok paydaşlı yönetim yapıları, katılımcılık ve demokratik karar alma süreçleri ile sosyal girişimcilik literatüründe vurgulanan sosyal inovasyon ve katılımcılık ilkeleriyle örtüşmektedir (Leviten-reid & Fairbairn, 2011).

Sosyal kooperatifler ile sosyal girişimcilik arasında benzerlikler olmakla birlikte bazı belirgin farklılıklar da bulunmaktadır. Sosyal kooperatifler daha çok kolektif bir yapıya sahip olup, üyelerinin ortak ihtiyaçlarını karşılamaya odaklanırken, sosyal girişimcilik bireysel veya küçük gruplar tarafından yönetilen daha esnek ve yenilikçi organizasyonları içerebilmektedir (Blagov & Aray, 2019). Ayrıca sosyal kooperatiflerin yasal düzenlemeleri çoğunlukla belirli ülkelerde özel kanunlarla desteklenirken, sosyal girişimcilik kavramı daha geniş bir çerçevede değerlendirilmekte ve farklı yasal formlar altında faaliyet gösterebilmektedir (Lyalik, 2026). Örneğin Polonya’da sosyal kooperatifler, 2006 yılında kabul edilen özel bir yasa ile tanımlanmış ve bu yapıların işleyişi ayrıntılı şekilde düzenlenmiştir (Majdzinska, 2014). Buna karşın sosyal girişimcilik daha çok sivil toplum kuruluşları ve kâr amacı gütmeyen organizasyonlar arasında yer almakta ve yasal çerçeveler ülkeden ülkeye büyük farklılıklar göstermektedir (Brdulak & Florczak, 2022).

Sosyal kooperatiflerin işlevselliği ve sürdürülebilirliği açısından entelektüel sermaye önemli bir rol oynamaktadır. Entelektüel sermaye üç alt bileşenden oluşmaktadır. Bunlar insan sermayesi, yapısal sermaye ve ilişkisel sermayedir. İnsan sermayesi, bir bireyin veya popülasyonun sahip olduğu beceriler, bilgi ve deneyim, bir kuruluş veya ülke için değeri veya maliyeti açısından değerlendirilir. Yapısal sermaye, bir şirketin sahip olduğu ve çalışanlarının işlerini yapmalarına ve iş değeri yaratmalarına yardımcı olan fiziksel olmayan altyapı, veri tabanları ve süreçlerdir. İlişkisel sermaye, bir kuruluşun veya bireyin müşteriler, tedarikçiler ve ortaklar gibi dış paydaşlarla olan ilişkilerinden elde edilen değer ve ekonomik potansiyeldir (Kostagiolas,2012).

İtalya’da sosyal kooperatif işletmelerinde entelektüel sermaye ve finansal performans konusunda yapılan bir araştırma, insan sermayesinin ekonomik performansı olumlu etkilediğini ancak yapısal sermayenin bu performans üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığını ortaya koymuştur (Bontis et al., 2018). Bu bulgu, sosyal kooperatiflerin başarısında insan faktörünün kritik olduğunu göstermektedir. Sosyal girişimcilikte ise yenilikçilik ve piyasa odaklılık ön plandadır; bu nedenle sosyal inovasyonun desteklenmesi ve finansal sürdürülebilirlik unsurları daha fazla vurgulanmaktadır (Hojnik & Crnogaj, 2020).

Sosyal kooperatiflerin toplumsal etkisi ve politik yönü önemli bir tartışma konusudur. İtalya örneğinde, 2008 ekonomik krizine rağmen sosyal kooperatiflerin temel değerlerini koruyarak yerel kalkınmada aktif rol oynadığı gözlemlenmiştir (Riva & Garavaglia, 2016). Bu durum, sosyal

kooperatiflerin sadece ekonomik değil aynı zamanda sosyal ve politik boyutlarda da etkin aktörler olduğunu göstermektedir. Sosyal girişimcilik ise daha çok piyasa temelli çözümler üretmeye odaklandığı için politik boyutu sosyal kooperatiflere kıyasla daha sınırlı kalabilmektedir (Galera & Borzaga, 2009).

Yönetim yapıları açısından bakıldığında, sosyal kooperatiflerde çok paydaşlı yönetim modelleri yaygındır ve bu modeller farklı aktörlerin karar alma süreçlerine katılımını sağlar (Leviten-reid & Fairbairn, 2011). Sosyal girişimcilikte ise yönetim genellikle daha merkeziyetçi olabilmekte ancak katılımcı yaklaşımlar giderek önem kazanmaktadır. Özellikle Birleşik Krallık'ta yapılan çalışmalar, sosyal girişimlerde paydaş katılımının artırılması için çeşitli mekanizmaların geliştirildiğini ortaya koymuştur (Larner & Mason, 2011).

Sosyal kooperatifler ve sosyal girişimcilik arasındaki farkların anlaşılması için yasal düzenlemelerin incelenmesi de gerekmektedir. Avrupa Birliği ülkelerinde üç ana yasal düzenleme modeli öne çıkmaktadır: sosyal kooperatif modeli, özel yasa modeli ve sosyal ekonomi mevzuatına entegrasyon modeli. Bu modellerin her biri, sosyal kooperatiflerin ve sosyal girişimciliğin işleyiş biçimini doğrudan etkilemektedir. Örneğin İngiltere'de Community Interest Company (CIC) yapısı, sosyal girişimciliğin yasal çerçevesini oluştururken, İtalya'da sosyal kooperatifler özel yasalarla desteklenmektedir (Lyalik, 2026).

Sosyal kooperatifler ve sosyal girişimcilik birbirini tamamlayan ancak bazı yönlerden de farklılaşan yapılar olarak ele alınmalıdır. Her iki model de ekonomik faaliyetlerini toplumsal fayda yaratma amacıyla bütünleştirirken, örgütlenme biçimleri, yasal statüleri, yönetim modelleri ve toplumsal roller açısından özgün özelliklere sahiptir. Bu farklılıkların anlaşılması hem politika yapıcılar hem de uygulayıcılar için etkili stratejilerin geliştirilmesine olanak tanıyacaktır.

Sosyal Kooperatiflerin etkileri

Sosyal kooperatiflerin işleyişinde ortaklık ve demokratik yönetim mekanizmaları ön plandadır. Bu yapılar, üyelerinin aktif katılımını teşvik ederek hem ekonomik hem de sosyal sermayenin güçlendirilmesini sağlar. Sosyal kooperatifler, özellikle toplumsal dönüşümün ve kültürel sürdürülebilirliğin sağlanmasına önemli katkı sağlayabilmektedir. Bunun bir örneği Yunanistan Lesvos Adası'nda faaliyet gösteren Modousa sosyal kooperatifinin incelendiği bir araştırmada görülmektedir. Araştırmada, bu tür kooperatiflerin yerel kaynakları mobilize ederek toplumsal sermayeyi artırdığı ve yerel kalkınmayı desteklediği ortaya konmuştur (Pavlis, 2026). Modousa örneğinde özellikle zeytinyağı gibi yerel ürünlerin hem ekonomik hem de kültürel bir değer olarak kullanılması, sosyal kooperatiflerin bölgesel kimlik ve dayanışma ağları oluşturmadaki potansiyelini göstermektedir.

(Pavlis, 2026). Bu durum, sosyal kooperatiflerin sadece ekonomik aktörler değil, aynı zamanda toplumsal dönüşümün ve kültürel sürdürülebilirliğin de taşıyıcıları olduğunu vurgulamaktadır.

Sosyal kooperatiflerin geleceğine dair değerlendirmelerde, dijitalleşmenin etkisi de göz ardı edilemez. Sosyal kooperatiflerin hem iç yönetim süreçlerini iyileştirmede hem de dış paydaşlarla ilişkilerini güçlendirmede yeni teknolojiler ve dijitalleşme önemli bir yer tutmaktadır. Dolayısıyla dijitalleşme, sosyal kooperatiflerin gelecekteki sürdürülebilirlik ve büyüme stratejilerinde merkezi bir rol oynayabilecektir. Dijitalleşme özellikle sosyal örgütlerin faaliyetlerinin sonucunu izleme ve değerlendirmede etkin olabilmektedir. Sosyal etki muhasebesinde dijital teknolojilerin kullanımı, şeffaflık ve hesap verebilirlik açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. Blockchain, büyük veri, yapay zekâ gibi teknolojiler, sosyal kooperatiflerin sosyal etkilerini daha etkin ölçmelerine ve raporlamalarına olanak tanımaktadır (Berardi & Valentinetti, 2023).

Sosyal kooperatifler farklı sektörlerde çeşitlenerek büyüme ve etki alanlarını genişletme eğilimindedir. Buna örnek olarak enerji sektöründeki kooperatifleşme faaliyeti verilebilir. Enerji sektöründe faaliyet gösteren sosyal kooperatifler ise sürdürülebilir kalkınma ve yerel fayda yaratma açısından özel bir öneme sahiptir. Türkiye’de yenilenebilir enerji kooperatiflerinin gelişimi üzerine yapılan çalışmalar, bu tür kooperatiflerin henüz yaygınlaşmadığını ancak potansiyellerinin yüksek olduğunu göstermektedir (Kırar & Olgun, 2022). Enerji kooperatifleri, topluluk ekonomisi temelinde yerel enerji üretimini sağlayarak hem ekonomik hem çevresel hem de sosyal faydalar yaratabilmektedir. Bu bağlamda, enerji kooperatiflerinin sosyal girişimcilik modeli olarak benimsenmesi ve gerekli politikaların geliştirilmesi önemli olabilmektedir (Kırar & Olgun, 2022).

Sosyal kooperatiflerin işgücü üzerindeki etkileri de gelecekte çok daha önemli olabilecektir. Toplumun dezavantajlı kesimlerini koruması, işgücünü iyileştirmesi ve istihdam yaratması gibi avantajları bulunmaktadır. Hırvatistan’daki sosyal kooperatiflerde çalışanların motivasyonları ve iş tatmini üzerine yapılan nitel araştırmalar, bu tür işletmelerde çalışanların işlerinden aldıkları doyumun yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Çalışanların içsel motivasyonlarının güçlü olması ve demokratik yönetim uygulamalarının yaygınlığı, sosyal kooperatiflerin işgücü açısından cazip ortamlar sunduğunu göstermektedir (Pudak & Simlesa, 2020). Bu durum, sosyal kooperatiflerin sosyal refah açısından da önemli katkılar sağladığını ortaya koymaktadır.

Sosyal kooperatiflerin gelecekte hem toplumların sürdürülebilirliğinde hem de sosyal ve politik süreçlerde önemli roller üstlenebileceği öngörülmektedir. Özellikle ekonomik kriz dönemlerinde toplumun dayanaklılığı ve kalkınmasında önemli görevler üstlenebilmektedir. Bu konuyla ilgili olarak İtalya’da yapılan araştırmalar, sosyal kooperatiflerin ekonomik kriz dönemlerinde bile toplumun temel değerlerini koruyarak

toplumsal kalkınmasında aktif rol oynadığını göstermektedir (Riva & Garavaglia, 2016). Ancak bu dayanıklılık bazen iş kalitesi ve istihdam koşullarında olumsuzluklara yol açabilmektedir. Sosyal kooperatiflerin politik yönleri, yerel düzeyde sürdürülebilir kalkınmaya katkı sağlama kapasitesini artırmakta ve krizlere karşı direnç geliştirmelerine olanak tanımaktadır (Riva & Garavaglia, 2016).

Sosyal sermayenin güçlendirilmesinde sosyal kooperatiflerin önemli bir rolü olduğu gibi aynı zamanda sosyal sermaye mekanizmalarının da sosyal kooperatiflerin dayanıklılığı üzerinde etkisi bulunmaktadır. Endonezya’da kırsal bir kooperatif üzerinde yapılan çalışma, sosyal sermayenin belli amaçlara kanallı edilmesi ve hedeflenmesinin üyelerinin ekonomik ve sosyal dayanıklılık yeteneklerini geliştirdiğini göstermektedir. Özellikle şeffaflık, iş birliği ve genişleyen sosyal ağlar aracılığıyla bireysel dayanıklılık kapasitesinin arttığı belirtilmektedir (Wulandhari et al., 2022).

Kültürel miras temelli kırsal kalkınma örnekleri de sosyal kooperatiflerin gelecekteki potansiyeline ışık tutmaktadır. İtalya’daki Vivi Calascio topluluk temelli kooperatifi örneğinde görüldüğü gibi, kültürel turizmi sürdürülebilirlik prensipleriyle birleştiren modeller toplumsal katılımı artırmakta ve yerel kalkınmayı desteklemektedir (Caneloro & Tartari, 2025). Empatik turizm paradigması olarak adlandırılan bu yaklaşım, kültürel miras ile topluluk arasında derinlemesine ilişki kurarak hem ekonomik hem de sosyal fayda sağlamaktadır (Caneloro & Tartari, 2025).

SONUÇ

Sosyal kooperatiflerin ele alınan çok yönlü etkisi ve topluma katkısı yadsınamaz. Çağımızda görülen toplumları doğrudan etkileyen birçok faktör, gelecekte toplumların direncini artırmaya yönelik organizasyonların çok daha önemli olacağını göstermektedir. İklim değişiminin etkileri, küresel ekonomik krizler, değişen yeni teknolojilere uyum, toplum bağlarının zayıflaması, yalnızlaşan ve bireyselleşen insanların sorunları gibi konularda sosyal kooperatifler çözüm üretebilecektir. Sosyal kooperatiflerin dayanışma gücü ile ekonomik dayanıklılıkları, demokratik yönetim yapıları, dijitalleşme entegrasyonları, enerji gibi kritik sektörlerdeki rolleri, bölgesel kalkınmadaki katkılarıyla geleceğin önemli aktörleri olarak öne çıkmaktadır. Ancak bu potansiyelin gerçekleşebilmesi için yasal düzenlemelerin iyileştirilmesi, katılımcı destek mekanizmalarının güçlendirilmesi ve uluslararası standartların geliştirilmesi gerekmektedir. Sosyal sermaye mekanizmalarının etkin kullanımı ve kültürel miras gibi yerel değerlerle entegrasyon ise sürdürülebilir büyümenin anahtarı olacaktır. Özellikle kırsal alanın sürdürülebilirliğinin sağlanmasında sosyal kooperatifler öne çıkabilmektedir. Kırsal alanlar da daha da belirginleşen yaşlılık, kırsal kadınların ve kırsaldaki gençlerin dezavantajlı durumları sosyal kooperatifleşme için uygun ortamlardır. Kırsaldaki yaşlılar, kadın ve gençler ulaşamadıkları

sağlık, eğitim, kültürel olanaklara ve fırsatlara bu yolla ulaşabileceklerdir. Bu durum da toplumun daha dengeli kalkınması ve sürdürülebilirliğine katkı sağlayabilecektir.

REFERANSLAR

Berardi, L., & Valentinetti, D. (2023). Digitalization of Social Impact for Social Economy Organizations. *Canadian Journal of Nonprofit and Social Economy Research*, 13 (2) <https://doi.org/10.29173/cjnser617>

Blagov, Y. E., & Aray, Y. N. (2019). The emergence of social entrepreneurship in Russia. *Social Enterprise Journal*, 15 (2): 158–178.

Bontis N, Ciambotti M, Palazzi F, Sgro F (2018). Intellectual capital and financial performance in social cooperative enterprises. *Journal of Intellectual Capital*, 19 (4): 712–731. <https://doi.org/10.1108/JIC-03-2017-0049>

Borzaga, Carlo and Poledrini, Simone and Galera Giulia (2017). Social Enterprise in Italy: Typology, Diffusion and Characteristics. *Euricse Working Papers*, 96 (17), <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3036384>

Brdulak, J., & Florczak, E. (2022). A Social Enterprise Within the Meaning of the Social Economy Act in the Context of Economic Theory and Practice. *Economic and Regional Studies / Studia Ekonomiczne i Regionalne*, Volume 15 (4) 492- 508 . <https://doi.org/10.2478/ers-2022-0033>

Candeloro Giulia & Tartari Maria (2025). Heritage-led sustainable development in rural areas: The case of Vivi Calascio community-based cooperative. *Cities* 161 (2025) 105920

Ciepielewska-kowalik, A., & Starnawska, M. (2021). Social Enterprise in Poland. *Social Enterprise in Central and Eastern Europe*. <https://doi.org/10.4324/9780429324529-10>

Defourny Jacques& Nyssens Marthe (2013) Social Co-operatives: When Social Enterprises Meet the Co-operative Tradition, *JEOD (Journal of Entrepreneurial and Organizational Diversity) Volume 2, Issue 2 (2013) 11-33*

Defourny, J., Nyssens, M. (2012). Conceptions of Social Enterprise in Europe: A Comparative Perspective with the United States. In: Gidron, B., Hasenfeld, Y. (eds) *Social Enterprises*. Palgrave Macmillan, London. https://doi.org/10.1057/9781137035301_4

Defourny, J., & Nyssens, M. (2017). Fundamentals for an International Typology of Social Enterprise Models. *Voluntas: International Journal of Voluntary and Nonprofit Organizations*, 28(6), 2469–2497. doi:10.1007/s11266-017-9884-7

Galera, G. and Borzaga, C. (2009). “Social Enterprise: an International Overview of its Conceptual Evolution and Legal Implementation”, *Social Enterprise Journal*, 5(3): 210-28. <http://dx.doi.org/10.1108/17508610911004313>

Hojnik, B. B., & Crnogaj, K. (2020). Social Impact, Innovations, and Market Activity of Social Enterprises: Comparison of European Countries. *Sustainability* 12(5), 1915; <https://doi.org/10.3390/su12051915>

ICA (2026) <https://ica.coop/en/cooperatives/cooperative-identity>, erişim 30.08.2026

Izdebski, Albert and Mering, Tomasz and Oldak, Małgorzata and Szarfenberg, Ryszard (2017) Selected Aspects of Social Cooperatives in Poland,

Kırar, A. M., & Olgun, H. (2022). Sosyal Girişimcilik Ekosisteminde Enerji Kooperatiflerinin Durumunun İncelenmesi. *Dünya Multidisipliner Araştırmalar Dergisi*, 5 (1) pp.24-46.

Kostagiolas Petros. (2012). Identifying and categorizing intellectual capital in libraries, *Managing Intellectual Capital in Libraries*, Pages: 49-85, DOI:[10.1016/B978-1-84334-678-4.50003-7](https://doi.org/10.1016/B978-1-84334-678-4.50003-7)

Larner, Justin and Mason, Chris (2011). Beyond Box-Ticking: A Study of Stakeholder Involvement in Social Enterprise Governance <https://ssrn.com/abstract=1870586> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1870586>

Leviton-reid, C., & Fairbairn, B. (2011). Multi-stakeholder Governance in Cooperative Organizations: Toward a New Framework for Research? *Canadian journal of nonprofit and social economy research*, Vol. 2, No 2 pp. 25 – 36. <https://doi.org/10.22230/cjnser.2011v2n2a78>

Lyalik, O. I. (2026). Current issues of the legal and regulatory environment of social entrepreneurship: a comparative legal analysis. *Analytical and Comparative Jurisprudence*, Vol. 3 No. 2.

Majdzinska, K. (2014). Aid and Support for the Social Economy in Poland – The Case of Social Cooperatives . *CIRIEC Working Papers No. 2014/11*

Pavlis E (2026), "Assessing the multidimensional social impact of the social cooperative enterprise “Modousa” in Lesvos, Greece". *Social Enterprise Journal*, Vol. 22 No. 4 pp. 971–996, doi: <https://doi.org/10.1108/SEJ-08-2024-0132>

Pudak, J., & Simlesa, D. (2020). Is Social Entrepreneurship Better for Workers? The Influence of Work Experience in Croatian Social Cooperatives on Perceived Well-Being. *Revija Za Sociologiju* 50(1):7-30. <https://doi.org/10.5613/rzs.50.1.1>

Raffaelli, P. (2018). Social and Solidarity Economy in a Neoliberal Context : Transformative or Palliative? The Case of an Argentinean Worker Cooperative . 00000, .

Riva, E., & Garavaglia, E. (2016). "The sustainability and political agency of social cooperatives in Italy during the great recession". *International Journal of Sociology and Social Policy*, Vol. 36 No. 7-8 pp. 435–455, doi: <https://doi.org/10.1108/IJSSP-01-2016-0005>

Virlanuta, F. O. (2014). Social Cooperative – an Important Entity of the Social Economy . *Economics and Applied Informatics*, Annals of “Dunarea de Jos” University of Galati Fascicle I. Economics and Applied Informatics Years XX – no2/2014 ISSN-L 1584-0409

Wulandhari, N. B. I. Gölgeci, [Ismail](#) , Mishra [Nishikant](#) , Sivarajah [Uthayasankar](#) , Gupta [Suraksha](#) (2022). Exploring the role of social capital mechanisms in cooperative resilience. *Journal of Business Research*, [Volume 143](#), pp 375-386 . <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.01.026>

Hayvancılık İşletmelerinde Barınak Tipine Göre Kapasite Belirlenmesi Teknik Analizi

İsrafil KOCAMAN

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü, TR-59030
Tekirdağ Türkiye

ÖZET

Hayvancılıktan elde edilen gelirin, ekonomik sınırlar içinde artırılması genotipin iyileştirilmesi yanında çevrenin uygun düzeylerde tutulması ile olanaklıdır. Hayvan barınaklarında çevrenin uygun sınırlarda tutulmasında, hayvanlar üzerindeki çevre zorlamalarını ekonomik sınırlar içerisinde en aza indirmek amaçlanmış olup, bu da işletme kapasitesinin barınak tipine göre belirlenmesi, binaların belirlenen kapasiteye göre boyutlandırılmaları ve yerleşimleri ile yakından ilgilidir. Hayvancılık işletmelerinde ilk yatırım giderlerinin önemli bir bölümü barınak yapımı için kullanılmaktadır. Ancak genellikle barınakların planlama ile ilgili teknik esaslar dikkate alınmadan, bilinçsiz bir şekilde yapılması nedeniyle, önemli derecede kaynak israfı meydana gelmekte ve barınaklardan beklenen yararlar tam olarak elde edilememektedir. Çalışmanın temel amacı, hayvancılıkla uğraşan çiftçilerimize, barınak tipine göre işletme kapasitesinin belirlenmesine yönelik uygula örnekleriyle birlikte teknik esaslar hakkında bilgi vermektir.

Anahtar kelimeler: Hayvancılık işletmeleri, kapasite belirleme, barınak planlama, hayvan refahı

1. GİRİŞ

Tarım işletmelerinde, işletme merkezindeki binaların içinde hayvan barınakları önemli bir yer tutar. Özellikle ana uğraşısı hayvancılık olan işletmelerde, hayvan barınaklarının önemi daha da artmaktadır. Barınaklar, içinde barındırılan hayvanların pahalı ve elde edilen ürünün insan sağlığı ile yakından ilgili olması nedeniyle, planlanmasında özen gösterilmesi gereken yapılardandır.

Barınaklardan beklenen yararın sağlanabilmesi için, bunların teknik ilkelere uygun bir biçimde kapasitelerinin belirlenmesi ve buna göre de planlanıp, projelenip ve inşa edilmiş olmaları gerekir. Teknik esaslar dikkate alınmadan hayvancılık işletmelerinde kapasite belirlenmesi çoğu zaman barınaklarda iklimsel çevrenin denetlenmesini zorlaştırmakta ve hayvan refahını ve verimini olumsuz etkilemektedir (Mutaf, 2012). Bunun için barınakların yapılmasında başlıca üç faktörün göz önünde tutulması gerekmektedir. Bunlar;

1. Hayvanlar için barınaklarda optimum iklimsel, yapısal ve sosyal çevre koşullarını sağlamak,
2. Barınağın servis ömrü dikkate alınarak, barınak maliyetini en düşük düzeyde tutmak,

3. Zaman israfını, enerji kayıplarını ve iş gücü ihtiyacını en aza indirmektir.

İşletmenin başarılı olabilmesi için yukarıda belirtilen faktörlerin iyi bir biçimde bir araya getirilmelidir. Örneğin, barınaklarda uygun çevre koşullarını sağlayabilmek için çok pahalı barınak yapılması yoluna gidilmemeli, daha çok iklim koşullarının hayvanlar üzerindeki olumsuz etkilerini ekonomik sınırlar içinde giderebilecek yönde uygun barınak tipi seçilmeli ve barınak tipine göre de kapasite belirlenmelidir. Diğer yandan, barınakların planlanması, planlamaya etki eden ve bölgelere göre değişen çevre koşullarının, inşaat teknikleri ile birlikte düşünülmesini gerektirmektedir. Ülkemiz koşullarında barınakların istenen fonksiyonları sağlayabilmesi, farklı iklim koşullarına uygun planların hazırlanması ile mümkün olacaktır (Okuroğlu ve Yağanoğlu, 1993).

Hayvancılık işletmelerinde yoğunlukla başlangıçta kapasite belirlenmesinde ve sürü içerisindeki hayvanların yaş grubuna göre dağılımlarında hatalar yapılmaktadır. Bunun sonucu olarak birim alanda ya daha fazla ya da daha az hayvan barındırılmaktadır. Bu durum hayvancılık işletmelerinde karlılığının azalmasına ve hayvan refahının, dolayısıyla veriminin düşmesine neden olabilmektedir. Çalışmanın temel amacı, hayvancılıkla uğraşan çiftçilerimize, barınak tipine göre işletme kapasitesinin belirlenmesine yönelik uygulama örnekleriyle birlikte teknik esaslar hakkında bilgi vermektir.

2. TEKNİK ESASLAR

2.1. Barınak yerinin seçimi

Hayvansal üretim yapılarında gerek hayvanların fizyolojik faaliyetleri gerekse işletmelerde ortaya çıkan hayvansal atıklar çevre ve insan sağlığı açısından birtakım sorunlar oluşturabilmektedir. Aynı şekilde yerleşim birimlerinden kaynaklanan ses ve gürültü gibi etmenler çiftlik hayvanlarında olumsuz yönde stres oluşturabilmektedir. İnsan, çevre ve hayvan sağlığı açısından ortaya çıkabilecek sorunları en aza indirebilmek için barınak yerinin seçiminde birtakım ilkelerin göz önüne alınması önem arz etmektedir. Bu ilkeleri şu şekilde sıralamak mümkündür.

- Hayvansal üretimin yapıldığı tarımsal işletmeler yerleşim birimlerinden en az 500 m, ortalama 1000 m mesafede olmalıdır. Ayrıca sanayi bölgelerinden, kalabalık, tozlu ana yollardan ve fazla gürültülü alanlardan yeterince uzakta bulunmalıdır (Kocaman et al., 2011).

- Milli parklardan, mesire yerlerinden en az 1000 m mesafede ve tarıma elverişsiz alanlarda yer almalıdır.

- Göl ve benzeri su kaynaklarından en az 300 m, sulama ve drenaj kanallarından en az 100 m ve su sağlayan sıhhi tesisatlardan ise en az 30 m mesafede olmalıdır (Anonim, 1987; Anonim, 1996).

- Barınak yapılacak yerin zemini taban suyuna yakın olmamalı, drenajı iyi olmalı ve seçilen yer sürekli ve aşırı rüzgar almamalıdır.

- Seçilen arazinin tercihen düz veya güneye eğimli olmalıdır. Su baskınlarına uğrayacak yerler ve düz vadi tabanları tercih edilmemelidir.

- Barınaklar için seçilen yer, gereksinimleri karşılayacak büyüklükte ve olası gelişmelere cevap verebilecek nitelikte olmalıdır. Ayrıca işletmelerdeki diğer yapılardan en az 40 m mesafede olmalıdır (Okuroğlu ve Yağanoğlu, 1993).

- Barınaklar, tarımsal işletmelerde işletme içi ana yollara, su ve elektrik kaynağına yakın olmalıdır.

- Barınaklardan, hakim rüzgarlar ile yerleşim birimlerine olası toz ve koku taşınım en aza indirilecek bir yer seçilmelidir. İşletme yeri, hava koşulları bakımından gün ışığını etkileyecek yoğunlukta sis oluşturmamalıdır.

2.2. Sürü dağılımı

Hayvancılık işletmesinde, özellikle süt sığırcılığında sürü dağılımının homojen ve ekonomik olarak sürdürülebilir olması için hayvanların belirli yaş gruplarına göre sayılarının bilinmesi gerekir. Sürü dağılımının homojenliği açısından Çizelge 1’ de verilen oranlar esas alınabilir (Balaban ve Şen, 1988; Okuroğlu ve Yağanoğlu,1993).

Çizelge 1. Süt sığırı barınaklarında hayvanların yaş gruplarına göre dağılımı

Sığır cinsi		Sürüdeki oran (%)
Sağırlı inek		50
Sütten kesilmiş		6
Düve 10 aydan büyük		25
Dana	1.5-10 aylık	12
	1.5 aydan küçük	5
Boğa		2

Serbest-duraklı süt sığırı ahırları

Günümüzde süt sığırı yetiştiriciliğinde en yaygın kullanılan barındırma sistemi olup, bağlı duraklı ve serbest ahır sistemlerinin yararlı yönlerini birleştirmek amacıyla geliştirilmiştir. Serbest duraklı ahırlar, uygun biçimde tasarlanıp işletildikleri zaman özellikle büyük sürüye sahip işletmeler için oldukça basit ve ekonomik sistemlerdir. Bu nedenle serbest duraklı ahırlar

özellikle 60 ve daha fazla sağmal sığıra sahip işletmeler için uygundur. Ancak bu sistem genellikle 100 ve daha fazla sayıda sağmal sığıra sahip işletmeler için düşünülmelidir. Bu sistemde, her bir inek için özel bir durak planlanmıştır. Duraklarda bağlama düzeni, yemlik kısmı yoktur. Sağım, yemleme ve sulama ahır içerisinde bu amaçla yapılmış özel ünitelerde yapılır. Sığırlar, durakları sadece yatarak dinlenmek için kullanırlar. Bunun dışında gerek ahır içerisinde gerekse gezinme alanlarında serbestçe dolaşma olanağına sahiptir.

Serbest duraklar: Serbest duraklı sistemlerin başarısı öncelikle serbest durakların tasarımına bağlıdır. Serbest durak yapımının amacı, her bir sığır için kendi kendilerine veya birbirlerine zarar vermeden yatabilecekleri temiz, kuru ve güvenilir bir dinlenme ortamı oluşturmaktır.

Hayvan rahatlığı yönünden serbest durak tasarımında göz önünde tutulması gereken özellikler şunlardır (Okuroğlu ve Yağanoğlu, 1993; Olgun, 2016).

- Durakların boyutlandırılması,
- Durak taban tesisi,
- Yataklık malzemesi seçimi,
- Bölme tasarımı,
- Hayvan davranışlarının kontrolü ve güvenliği,
- Maliyeti,
- İşgücü gereksinimidir.

Serbest duraklar esas olarak; durak tabanı, durak bölmesi ve kenar betonundan oluşur. Yaşa ve canlı ağırlığa bağlı olarak serbest-durak boyutları Çizelge 2' de verilmiştir.

Çizelge 2. Canlı ağırlığa bağlı olarak serbest-durak boyutları (Balaban ve Şen, 1988; Olgun, 2016)

Hayvan yaşı veya canlı ağırlık		Genişlik	Uzunluk
Buzağılar (6 hafta-4 ay)		60	135
5-7 ay		75	150
Danalar		80	170
Sığırlar	450 kg	110	210
	545 kg	115	215
	635 kg	120	220
	725 kg	120	230

Servis yolları, gübre temizliğinin kolay yapılabilmesi için standart genişlikte ve düz konumda yapılmalı, sığır güvenliği açısından pürüzsüz bir yüzeye sahip olmalıdır.

* Servis yollarına verilecek genişlik, servis yolunun ahır içerisindeki fonksiyonuna, gübrenin temizlenmesinde kullanılan sisteme ve bir sırada bulunan serbest durak sayısına göre değişir.

* Servis yolu genişliği en az iki sığırın yan yana rahatça geçebileceği ve herhangi bir sorunla karşılaşmadan duraklara girip çıkabilecekleri genişlikte olmalıdır.

* Servis yolu genişliği en az 200 cm olmalıdır. Ancak gübre temizliğinde kullanılan mekanizasyona bağlı olarak bu genişlik 300-360 cm' ye kadar çıkabilir.

* Servis yolları, beton tabanlı veya ızgara tabanlı olarak yapılır.

* Geçiş yolları, sığırların yemleme, sulama ve dinlenme alanlarına ulaşabilmek için durak sıraları arasından geçişine olanak verirler. Geçiş yollarının genişliği 200-240 cm olmalı ve servis yollarına doğru %2-3 eğim verilmelidir.

2.4. Serbest besi sığırı ahırları

Besi sığırı üretimi, sığır yetiştiriciliğinin önemli bir koludur. Besicilik, değişik yaşlardaki hayvanları belirli süreler uygun bakım ve besleme koşullarında tutarak, yeterli miktar ve kalitede et üretmek amacıyla yapılan bir uğraştır.

Besi sığırlarının yetiştirilmesinde kullanılan ahır sistemleri, süt sığırcılığında kullanılan ahır sistemlerine benzer. Ancak besi sığırı ahırlarının süt sığırı ahırları kadar korunmuş olmasına gerek yoktur. Bunun nedeni besi sığırlarının olumsuz iklim koşullarına ve özellikle de soğuğa karşı daha dayanıklı olmalarıdır.

Besi sığırı ahırları, hayvanlarda hızlı gelişmeyi sağlayacak, yem dönüşüm etkinliğini artıracak, hayvan sağlığı ve rahatlığı için gerekli uygun çevre koşullarını karşılayacak nitelikte olmalıdır.

Soğuk ve yağışlı bölgelerde hayvanları yağmur, rüzgara karşı koruyan sundurmalar ve yataklık serili dinlenme yerleri, bina maliyetinin düşürülmesi, yem dönüşüm etkinliğinin ve hayvan rahatlığının artırılması yönünden büyük avantaj sağlar. Bu tipteki besi sığırı ahırlarının güney ya da doğuya bakan cephesi açık olup, diğer cepheleri duvarla çevrili ve üzeri basit bir çatı ile

kapalıdır. Günümüzde besi sığırı yetiştiriciliği için en uygun ve ekonomik sistemdir. Bu nedenle hayvancılığın geliştiği ülkelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemde ahır tabanına fazla miktarda yataklık malzemesi serildiğinden, yataklık gereksinimi yüksektir. Hayvan başına günde 6 kg yataklık hesaplanır.

Besi sığırı yetiştiriciliğinde serbest sistemler özellikle iklim koşullarına bağlı olarak farklı bina tiplerinde uygulanabilir. Bunlar:

- Kapalı sistemler,
- Kısmen açık sistemler,
- Tamamen açık sistemler şeklinde gruplandırılabilir.

Kapalı sistemlerde hayvan başına dinlenme yerinde 2.5-3.5 m², kısmen açık sistemlerde 2-3 m², tamamen açık toprak zeminli sistemlerde hayvan başına gerekli alan 18-25 m²' dir. Tamamen açık barınaklarda barınak tabanının betonla kaplanması durumunda hayvan başına gerekli alan 3-4 m²'dir. Kapalı ve yarı açık sistemler için tabanı kaplanmamış gezinme alanlarında hayvan başına 9-28 m² arasında alan bırakılmalıdır. Hayvan başına bırakılacak yemlik uzunluğu ergin hayvanlar için 50-70 cm, genç hayvanlar için 40-50 cm' dir. Yemlik genişliği tek taraflı yemliklerde 75 cm, çift taraflı yemliklerde 120 cm olmalıdır. Her 10 hayvan için bir otomatik suluk düşünülmelidir (Maton et al., 1985; Yüksel ve ark., 1998; Olgun, 2016).

2.5. Izgara tabanlı besi sığırı ahırları

Izgara tabanlı ahırlar, hayvancılığın geliştiği ülkelerde özellikle besi sığırı yetiştiriciliğinde çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak ülkemizde henüz yaygın olarak uygulanan bir sistem değildir. Bunun en büyük nedeni sisteme ilişkin yeterli teknik bilgilerin bulunmaması ve yetiştiricilerimiz tarafından tanınmamış bir sistem olmasıdır. Izgara tabanlı ahır sistemini yararlı yönleri:

- Bu sistemde yataklık kullanılmadığı için yataklık malzemesinin temini ve depolanması söz konusu değildir.
- Hayvan gübresinin ızgaralar altındaki kanallara kendiliğinden düşmesi nedeniyle gübrenin günlük olarak temizlenmesi ve ahır dışına taşınması işlemi ortadan kalkar.
- İşgücünden büyük ölçüde ekonomi sağlanır.
- Gübre temizliği sürekli yapılmadığından, gübre sıyırma ve bu iş için gerekli giderler azalır.
- Birim taban alanında daha fazla hayvan barındırma olanağı vardır. Diğer bir anlatımla, belirli sayıda hayvan barındırmak için gerekli

barınak taban alanı bu sistemde serbest ve serbest duraklı ahırlara göre çok daha azdır. Bu durum barınak maliyeti ve işletme ekonomisi yönünden önemlidir.

- Hayvanlar gübre ile temas etmediği için daha temiz kalırlar.

Izgara tabanlı ahırların sakıncaları:

- Bu sistemin ilk tesis maliyeti yüksektir.
- Birim alanda daha fazla hayvan barındırılması hayvanlarda stresi artırabilir.
- Gübre ahır tabanının altında depolandığından ahır içi çevre koşullarının denetimi zorlaşabilir.

Izgara tabanlı sistemlerde ahır tabanı tamamen veya kısmen ızgaralı yapılır. Tamamen ızgaralı sistemlerde barınak tabanının tamamına ızgara yerleştirilirken, kısmen ızgaralı sistemlerde yemlik önü ve barınak içindeki gezinme alanlarına ızgara yerleştirilir. Izgaralar arasında bırakılacak boşluğun genişliği canlı ağırlığa bağlı olarak 2-4 cm olmalıdır (Wathes and Charles, 1994; Olgun, 2016).

Sistemin esası, hayvanların katı ve sıvı gübrelerinin ahır tabanı üzerinde bırakılan boşluklardan yerçekimi kuvveti ve hayvanların gezinmesi sırasında ayakları ile uyguladıkları basınç etkisi sonucunda döşeme altında bulunan gübre kanallarına düşmesidir. Bazı uygulamalarda ızgaralar altında gübrenin döküldüğü bölüm gübre deposu olarak görev yaparken, bazı uygulamalarda dökülen gübre genellikle mekanik sıyrıcılarla düzenli olarak ayrı bir depolama yapısına iletilir.

Izgara tabanlı ahırlarda, bölmeler tesis edilerek hayvanlar gruplar halinde barındırılır. Bir bölmede barındırılacak hayvan sayısı 15-30 baş olmalıdır. Tabanı tamamen ızgaralı yapıldığı ahırlarda, birim alanda barındırılacak hayvan sayısı, diğer ahır planlama sistemlerine göre daha fazladır. Izgara tabanlı ahırlarda hayvan başına bırakılması önerilen alan değerleri de canlı ağırlığa bağlı olarak Çizelge 3’ de verilmiştir (Olgun, 2016).

Çizelge 3. Izgara tabanlı ahırlarda gerekli alan değerleri

Canlı ağırlık (kg)	Hayvanın yaşı (ay)	Gerekli alan (m ²)
150	5	0.9
200	7	1.1
250	10	1.3
300	12	1.5
350	14	1.7
400	16	1.8
450	18	1.9
500	20	2.1
550	23	2.2
600	25	2.3
700	27	2.5

2.6. Serbest ağıllar

Ağılların planlanması ve inşasında göz önünde bulundurulması gereken en önemli nokta, hayvanların kışın, kar, yağmur ve aşırı soğuk rüzgarlardan, yazın ise aşırı güneşlerden korunmasıdır. Ağılların planlanmasında; yetiştirme sistemi, hayvan ırkı, sürü büyüklüğü, yörenin iklim koşulları, uygulanması düşünülen barınak ve yemleme sistemi, doğumların yıl içerisindeki dağılımı, işletmenin parasal olanakları, iş gücü gereksinimi, gerekli tesislerin çeşit ve büyüklükleri gibi faktörlerin göz önünde tutulması gerekir.

Koyun ağılları ve gezinme yerleri için yeterli drenaj koşullarına sahip, güneye eğimli araziler tercih edilir. Böylece kış rüzgarlarından en üst derecede koruma sağlanırken, güneşten de en üst düzeyde yararlanma olanakları ortaya çıkar. Özellikle açık alanlar daha kuru olur ve hayvanların bakımı kolaylaşır. Topoğrafya bütün hayvancılık işletmelerinde olduğu gibi koyun yetiştiriciliğinde de yüzey akışları ile çevre kirliliğine neden olmamalıdır.

Koyun yetiştiriciliğinde serbest tipteki ağıllar, yağışı az ve drenaj koşulları iyi olan yerlerde, çatısız sistemler şeklinde olabileceği gibi, genellikle bir veya birkaç cephesi açık ve üzeri basit bir çatı ile kapalı olarak düzenlenirler. Ancak, en yaygın kullanılanı sadece güney veya doğuya bakan cephenin açık yapılmasıdır. Böylece hayvanlara kış mevsiminde güneş ışınlarından en iyi yararlanmalarına olanak verilmiş olur. Açık ağılların yönlendirilmesinde yörenin hakim rüzgar yönü de mutlaka dikkate alınmalıdır. Açık cephenin ön tarafında iklim ve arazi koşullarının uygun olması durumunda bir gezinme yeri de bırakılmalıdır. Serbest ağıllarda hayvanların gerekli alan ihtiyaçları Çizelge 4’ de verilmiştir (Balaban ve Şen, 1998; Olgun, 2016).

Çizelge 4. Serbest ağıllarda gerekli alan değerleri ve yemlik uzunlukları

Hayvanın cinsi	Dinlenme yeri (m ²)	Yemlik uzunluğu (m)	Dinlenme yerinde (m ²)
Koyun	0.8-1.2	0.4	2.3 – 3.7
Koyun (1 kuzulu)	1.2-1.5	0.6	-
Koyun (2 kuzulu)	1.6-1.8	0.7	-
Gebe koyun	1.2-1.5	0.6	-
Sütten kesilmiş kuzu	0.3-0.5	0.2	1.2-1.6
Genç kuzu	0.5-0.7	0.3	1.4-1.9
Koç (bireysel)	3.0-4.0	0.5	2.0–3.5
Koç (grup halinde)	1.5-2.0	0.5	-
Doğum bölmesi	1.5-2.5	-	-

3. KIRKLARELİ İLİ SINIRLARI İÇERİSİNDE YER ALAN HAYVANCILIK İŞLETMELERİNDE HAYVAN KAPASİTELERİNİN BELİRLENMESİNE

Birinci kısımda detayları verilen barınakların planlanması ve kapasitelerinin belirlenmesine yönelik literatür ve teknik bilgiler ışığında, tarafımızca yerinde yapılan ölçümler ve elde edilen görseller ve planlar üzerinden Kırklareli İli merkez ilçede 2 adet ve Lüleburgaz İlçesinde 1 adet hayvancılık işletmesinin mevcut durumda kapasiteleri belirlenerek sırasıyla aşağıda verilmiştir.

3.1. 1 Nolu hayvancılık işletmesi

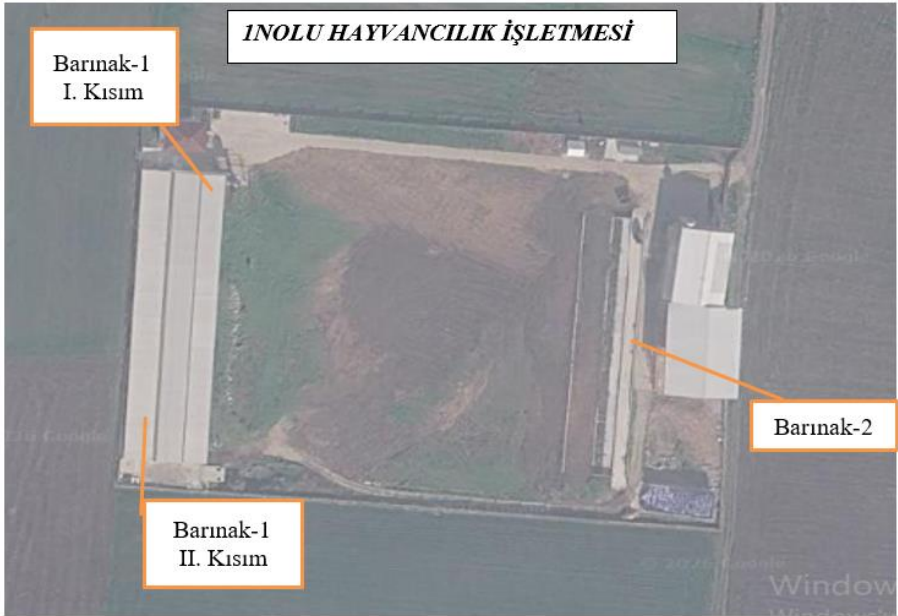
1 Nolu hayvancılık işletmesi Kırklareli İli Lüleburgaz ilçesi Sakızköy köyü sınırları içerisinde yer almakta olup, Ada Numarası 115 ve Parsel Numarası 26'dır. İşletme yeri seçimi, genel bilgiler kısmında detayı verilen sınırlayıcı koşulları sağlamaktadır. İşletme, yerleşim birimlerine, su kaynaklarına ve anayola uzak olup, çevre sağlığı, insan sağlığı ve hayvan refahı bakımından risk oluşturmamaktadır. Barınak taban tanzimi grup bölmeli izgara tabanlıdır.

Barınak-1, I. Kısımda 6x6 m boyutlarında 38 grup bölmesi bulunmakta ve ortalama canlı ağırlıkları 250 kg olan besi sığırları barındırılmaktadır. Hayvanların barındırıldığı alan toplamı 1368 m²' dir. Servis yolları ve yemlik alanları bu alana dahil değildir.

Barınak-1, **II. Kısımda** 6x6 m boyutlarında 19 grup bölmesi bulunmakta ve ortalama canlı ağırlığı 150 kg olan genç danalar barındırılmaktadır. Bu kısımda hayvanların barındırıldığı alan 684 m²' dir. Yine bu kısımda da servis

yolları ve yemlik alanları bu alana dahil değildir. Izgara tabanlı ahırlar işgücünden önemli tasarruf sağladığı gibi birim alanda daha fazla hayvan barındırılabilirdi için besicilikte son zamanlarda çokça tercih edilmektedir.

Barınak-2, Serbest Besi Sığırı Barınağı şeklinde olup, üzeri sundurma çatı ile örtülmüş olan dinlenme yeri boyutları 120x9 m' dir. Dinlenme yeri zemini betonla kaplanmıştır. Bu kısımda şu an besicilik yapılmamaktadır. Barınak-2'de hayvan kapasitesi dinlenme yeri alanına göre belirlenmiştir. Ayrıca dinlenme yeri önünde oldukça fazla gezinme alanı bulunmaktadır. Söz konusu işletmeye ait görseller Şekil 1,2,3,4,5,6'da verilmiştir.



Şekil 1. 1 Nolu hayvancılık işletmesinin hava fotoğrafı ile genel görünümü



Şekil 2. Barınak-1, I. Kısım ızgara tabanlı ahırın içten genel görünümü



Şekil 3. Barınak-1, I. Kısım ızgara tabanlı ahırın yakın görünümü



Şekil 4. Barınak-1, I. Kısım ızgara tabanlı ahırın dıştan görünümü



Şekil 5. Barınak-1, II. Kısım ızgara tabanlı ahırın içten görünümü



Şekil 6. Barınak-2, Kısmen açık serbest besi sığırı ahırının genel görünümü

Kırklareli İli Lüleburgaz İlçesi Sakızköy köyü sınırları içerisinde yer alan, Ada Numarası 115 ve Parsel Numarası 26 olan alan üzerinde kurulmuş 1 Nolu Hayvancılık İşletmesinin hayvan kapasitesi belirlenerek Çizelge 5’ de verilmiştir. Çizelge 5’de verilen alanlar sadece hayvanların barındırıldığı alanları içermektedir. Servis yolları, yemlikler ve yemlik yolları alanlara dahil değildir.

Çizelge 5. Kırklareli İli Lüleburgaz İlçesi Sarıkızköy köyü sınırları içerisinde yer alan 1 Nolu hayvancılık işletmesinde yetiştirilebilecek maksimum hayvan sayıları

1 Nolu İşletme		Barınak alanı (m ²) (Servis yolu ve yemlik alanları hariç)	Barınak tipi	Yetiştirilecek hayvan türü, canlı ağırlık ve yaşı (ay)	Her bir hayvan için gerekli alan (m ² /Baş)	Yetiştirilebilecek maksimum hayvan sayısı (Baş)
Barınak-1	I. Kısıım	1368 m ² kapalı barınma alanı	Izgara tabanlı	Genç besi sığırı, ort. canlı ağırlık 250 kg, yaş 9-10 ay	1.3	1052
	II. Kısım	684 m ² kapalı barınma alanı	Izgara tabanlı	Genç besi danası, ort. canlı ağırlık 150 kg, yaş 5-7 ay	1.0	684
Barınak-2		1080 m ² dinlenme alanı	Kısmen açık	Genç besi sığırı, ort. canlı ağırlık 250 kg, yaş 9-10 ay	3	360
1 NOLU HAYVANCILIK İŞLETMESİ TOPLAM HAYVAN KAPASİTESİ (Baş)						2096

3.2. 2 Nolu hayvancılık işletmesi

2 Nolu hayvancılık işletmesi Kırklareli İli Merkez ilçesi Karahamza köyü sınırları içerisinde yer almakta olup, Ada Numarası 101 ve Parsel Numarası 907'dir. İşletme yeri seçimi, genel bilgiler kısmında detayı verilen sınırlayıcı koşulları sağlamaktadır. İşletme, yerleşim birimlerine, su kaynaklarına ve anayola uzak olup, çevre sağlığı, insan sağlığı ve hayvan refahı bakımından risk oluşturmamaktadır.

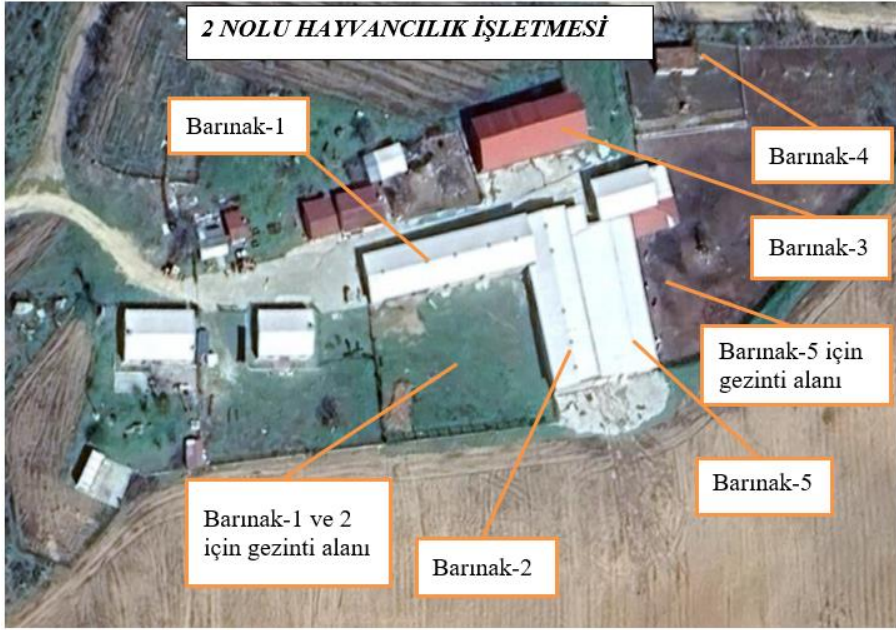
Barınak-1 ve **Barınak-2** dıştan dışa 9x39 m boyutlarında olup, iki barınak toplamda 702 m² kapalı alana sahiptir. Barınak küçükbaş hayvanların yetiştirildiği ağıl olarak kullanılmaktadır. Ağıl tabanı toprak kaplıdır. Barınak L şeklinde inşa edilmiştir. Önünde gezinti alanı bulunmaktadır.

Barınak-3, dıştan dışa 10x20 m boyutlarında olup, 200 m² kapalı alana sahiptir. Barınak tabanı sıkıştırılmış toprak ve üzeri beşik çatı ile tamamen kapatılmıştır.

Barınak-4, toplam alanı 900 m² olup, açık ağıl şeklinde kullanılmaktadır. Barınak alanında hayvanları yağıştan ve güneşten koruyacak gölgelik alanı bulunmaktadır.

Barınak-5 süt sığırcılığı amacıyla kullanılmaktadır. Barınak dıştan dışa 12x40 m boyutlarında olup, 480 m² kapalı alana sahiptir. Ortada 1.1m genişliğinde servis yolu bulunmaktadır. Servis yolu alanı düşüldükten sonra net barınak alanı 436 m²'dir. Barınak tabanı betonla kaplanmıştır. Barınak içerisinde iki sıra halinde toplamda 80 adet kilit sistemi bulunmaktadır. Kilit sayısına göre en fazla 80 baş sığır barındırılabilir. Ancak, eğer yemliklerde sürekli yem bulundurulması halinde daha fazla sığır barındırılabilir. Bu barınak için kapasite bu kurala göre belirlenmiştir yani sürekli yem bulundurma hali ve hayvan başına gerekli alan miktarı dikkate alınmıştır. Kapalı serbest süt sığırı barınaklarında ortalama 500 kg canlı ağırlık için 4.0 m² alana ihtiyaç vardır. Ayrıca barınak geniş bir gezinti avlusuna sahiptir.

2 Nolu hayvancılık işletmesi ile ilgili bazı görseller Şekil 7,8 ve 9' da verilmiştir.



Şekil 7. 2 Nolu hayvancılık işletmesinin hava fotoğrafı ile genel görünümü



Şekil 8. Barınak-1 Kapalı ağılın içten genel görünümü



Şekil 9. Barınak-1 ve Barınak-2 ağılın gezinti alanıyla birlikte dıştan görünümü

Kırklareli İli Merkez ilçesi Karahamza köyü sınırları içerisinde yer alan, Ada Numarası 101 ve Parsel Numarası 907 olan alan üzerine kurulmuş 2 Nolu Hayvancılık İşletmesinin hayvan kapasitesi belirlenerek Çizelge 6’ da verilmiştir.

Çizelge 6. Kırklareli İli Merkez ilçesi Karahamza köyü sınırları içerisinde yer alan 2 Nolu hayvancılık işletmesinde yetiştirilebilecek maksimum hayvan sayıları

2 Nolu İşletme	Barınak alanı (m ²) (Servis yolu ve yemlik alanları hariç)	Barınak tipi	Yetiştirilecek hayvan türü	Her bir hayvan için gerekli alan (m ² /Baş)	Yetiştirilebilecek maksimum hayvan sayısı (Baş)
Barınak -1	351 m ² kapalı alan	Kapalı serbest ağıl	Bir kuzulu koyun için	1.2	292
Barınak -2	351 m ² kapalı alan	Kapalı serbest ağıl	Bir kuzulu koyun için	1.2	292
Barınak -3	200 m ² kapalı alan	Kapalı serbest ağıl	Bir kuzulu koyun için	1.2	167
Barınak -4	900 m ² açık alan	Serbest ağıl (Gölgelik alanı bulunmakta)	Bir kuzulu koyun için	1.2	750
2 NOLU HAYVANCILIK İŞLETMESİ TOPLAM KÜÇÜKBAŞ HAYVAN KAPASİTESİ (Baş)					1501
Barınak -5	436 m ² kapalı alan	Kapalı serbest ahır	Sığır (İnek-Düve)	4.0	109
2 NOLU HAYVANCILIK İŞLETMESİ TOPLAM BÜYÜKBAŞ HAYVAN KAPASİTESİ (Baş)					109

3.3. 3 Nolu hayvancılık işletmesi

3 Nolu hayvancılık işletmesi Kırklareli İli Merkez ilçesi Yoğuntaş köyü sınırları içerisinde yer almakta olup, Ada Numarası 170 ve Parsel Numarası 176'dır. İşletme yeri seçimi, genel bilgiler kısmında detayı verilen sınırlayıcı koşulları sağlamaktadır. Diğer işletmelerde olduğu gibi, işletme, yerleşim birimlerine, su kaynaklarına ve anayola uzak olup, çevre sağlığı, insan sağlığı ve hayvan refahı bakımından risk oluşturmamaktadır.

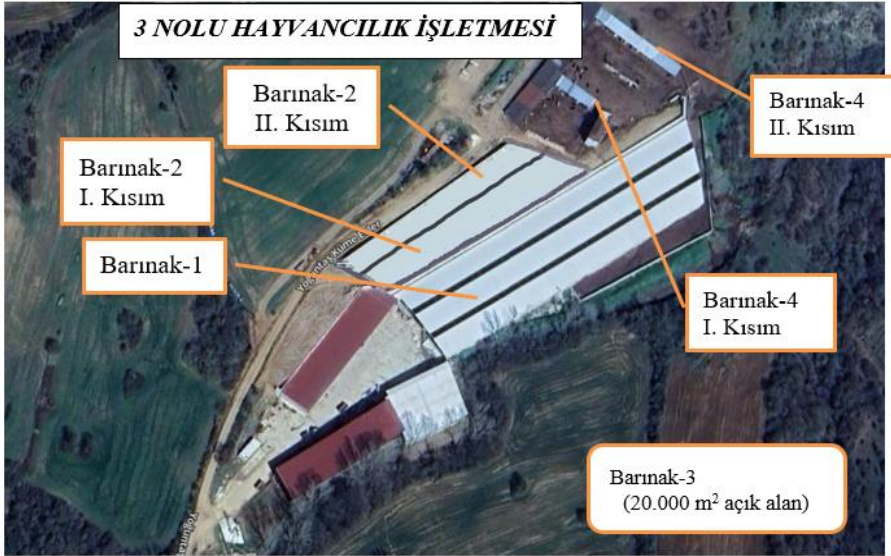
Barınak-1, Kısmen Açık Besi Sığırı Ahır olarak projelenmiştir. Barınak boyutları 150x36 m olup toplam alanı 5400 m²'dir. Barınakta dinlenme alanı, gezinme alanı ve servis yolunun zemini betonla kaplanmış, dinleme ve servis yolunun üzeri çelik konstrüksiyonlu çatı ile kapatılmıştır. Barınak tabanı, hayvanların bakım ve güvenlik kontrolü kolaylığı nedeniyle grup bölmeli olarak tasarlanmıştır. Servis yolu barınak ortasında yer almaktadır. Barınakta bulunan toplan dinlenme yeri alanı toplamı 2x (150x10) m boyutlarında olup, barınak kapasitesi bu alana göre belirlenmiştir. Gezinti alanları ve servis yolları gibi alanlar barınak kapasitesi belirlemede dikkate alınmamıştır. Ayrıca hayvan sayısı belirlenirken ortalama canlı ağırlık olarak 250 kg değeri esas alınmıştır.

Barınak-2, I. Kısım 100x30 m boyutlarında olup, toplam 3000 m² alana sahiptir. Barınak, Serbest-Duraklı Süt Sığırı Ahır olarak projelendirilmiştir. Duraklar, gezinme alanları ve servis yollarının tamamında beton kaplama yapılmıştır. Barınak üzeri çelik konstrüksiyonlu çatı ile kapatılmıştır. Barınak tabanında 3 sıra halinde serbest-duraklar inşa edilmiş, tek bir sırada 80 adet serbest-durak bulunmakta ve toplamda ise 240 adet serbest-durak mevcuttur. Barınakta, gübre temizliğinde otomatik sıyrıcılar kullanılmaktadır. Barınak-2, II. Kısım Serbest sistem buzağı barınağı olarak kullanılmaktadır. Buzağı barınağı toplam alanı 650 m²'dir.

Barınak-3 olarak tanımlanan alan, Tamamen Açık Serbest Besi Sığırı Ahır olarak kullanılmaktadır. Toplam alan 20 000 m²'dir. Bu alanda açık sistem besi sığırcılığı yapılabilir. Ancak bu alan üzerinde hayvanları yağışlardan ve aşırı sıcaklardan koruyacak gölgelik yapılması hayvan refahı açısından zorunludur. Diğer taraftan hayvanların kontrolünü kolaylaştırmak için 60 ile 150 baş arasında değişen grup bölmeler oluşturulmalıdır. Canlı ağırlığı 225-275 kg olan hayvanlar için bölmelerdeki hayvan sayısı 80-100 baş arasında olabilir. Grup bölmeler 2 veya 3 inç'lik boru profillerden yapılabilir. Yine bu alan üzerine yemlikler ve suluklar hayvan sayısına göre belirli aralıklarla yerleştirilmelidir. Yemliklerde yemin ıslanmaması için yemlik muhafazaları

inşa edilmelidir. Ayrıca yemlik önü betonlanırsa yağışlı havalarda çamurun olumsuz etkileri ortadan kaldırılmış olur. Toprak zeminli bu tip barınaklarda hayvan başına gerekli alan 15-25 m²' dir. Barınak tabanının betonla kaplanması durumunda hayvan başına gerekli alan 3-4 m²'dir (Olgun, 2016). Bu barınak için hayvan sayısının belirlenmesinde alt sınır olan 18 m²/baş değeri alınmıştır.

Barınak-4, ağıl olarak kullanılmaktadır. Barınak, I. Kısım ve II. Kısım olmak üzere iki ayrı üniteden oluşmaktadır. Toplam alan 2000 m²' dir. Barınak-4 hayvan kapasitesi belirlenirken, bir kuzulu koyun için önerilen 1.2 m² alan esas alınmıştır.



Şekil 10. 3 Nolu hayvancılık işletmesinin hava fotoğrafı ile genel görünümü



Şekil 11. Barınak-1 grup bölmeli serbest besi sığırı ahırının içten genel görünümü



Şekil 12. Barınak-1, serbest besî sığırı ahırının içten genel görünümü



Şekil 13. Barınak-2, I. Kısım, serbest-duraklı süt sığırı ahırının dıştan genel görünümü



Şekil 14. Barınak-2, I. Kısım, serbest-duraklı süt sığırı ahırının içten genel görünümü



Şekil 15. Barınak-2, II. Kısım, serbest sistem buzağı barınağı

Kırklareli İli Merkez ilçesi Yoğuntaş köyü sınırları içerisinde yer alan, Ada Numarası 170 ve Parsel Numarası 176 olan alan üzerine kurulmuş 3 Nolu

Hayvancılık İşletmesinin hayvan kapasitesi belirlenerek Çizelge 7’ de verilmiştir.

Çizelge 7. Kırklareli İli Merkez ilçesi Yoğuntaş köyü sınırları içerisinde yer alan 3 Nolu hayvancılık işletmesinde yetiştirilebilecek maksimum hayvan sayıları

3 Nolu İşletme		Barına k alanı (m ²) (Servi s yolu ve yemlik alanlar ı hariç)	Barına k tipi	Yetiştirile cek hayvan türü, canlı ağırlık ve yaşı (ay)	Her bir hayva n için gerekl i alan (m ² /B aş)	Yetiştirilebil ecek maksimum hayvan sayısı (Baş)
Barınak-1		3000 m ² kapalı dinlen me alanı	Kısme n Açık Grup Bölmel i Besi Sığırı Ahır	Genç besi sığırı veya Genç damızlık dişi dana ort. canlı ağırlık 250 kg, yaş 9-10 ay	2.0	1500
Barına k-2	I. Kısı m	1300 m ² kapalı alan	Serbest - Durakl ı Süt Sığırı Ahır	Süt sığırı (İnek)	Durak sayısı na göre	240

	II: Kısım	650 m ² kapalı alan	Buzağı Barına ğı	Buzağı- dana	1.0	650
Barınak-3		20 000 m ² tamam en açık alan (topra k zemin)	Tama men Açık Serbest Besi Sığırı Ahır	Genç besi sığırı, ort. canlı ağırlık 250 kg, yaş 9-10 ay	15.0	1333
3 NOLU HAYVANCILIK İŞLETMESİ TOPLAM BÜYÜKBAŞ HAYVAN KAPASİTESİ (Baş)						3723
Barın ak-4	I. Kısı m	1000 m ² yarı açık alan	Serbest Ağıl	Bir kuzulu koyun için	1.2	833
	II. Kısı m	1000 m ² yarı açık alan	Serbest Ağıl	Bir kuzulu koyun için	1.2	833
3 NOLU HAYVANCILIK İŞLETMESİ TOPLAM KÜÇÜKBAŞ HAYVAN KAPASİTESİ (Baş)						1666

4. SONUÇ

Hayvancılık işletmelerinde yoğunlukla başlangıçta kapasite belirlenmesinde ve sürü içerisindeki hayvanların yaş grubuna göre dağılımlarında hatalar yapılmaktadır. Bunun sonucu olarak birim alanda ya daha fazla ya da daha az hayvan barındırılmaktadır. Bu durum hayvancılık işletmelerinde karlılığının azalmasına ve hayvan refahının, dolayısıyla veriminin düşmesine neden olabilmektedir.

Kırklareli İli Sınırları içerisinde yer alan üç adet hayvancılık işletmesinin hayvan kapasiteleri, teknik esaslar kısmında detayları verilen, barınakların planlanması ve kapasitelerinin belirlenmesine yönelik literatür ve teknik bilgiler ışığında hesaplamalar yapılmıştır. İşletmelerin değerlendirilmesinde ve işletmelerde bulunan barınaklarda yetiştirilebilecek hayvan sayıları belirlenirken, çevre sağlığı, insan sağlığı ve hayvan refahı gibi konular ön planda tutulmuştur. Hayvan sayılarının belirlenmesinde literatürde verilen en kritik değerler dikkate alınarak, maksimum kapasiteler belirlenmiştir.

5. KAYNAKLAR

- Anonim, 1987. Hayvan Barınakları-Gübrelik İnşa Kuralları, TSE-5244, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim, 1996. Yarı Açık ve Kapalı Serbest Sistem Süt Sığırcılığı, Ziraat Bankası Yayınları, Yayın No: 16, Ankara.
- Balaban, A. ve Şen, E., 1988. Tarımsal Yapılar, Ankara Üniversitesi Ziraat Fak. Yayınları, No: 721, Ankara.
- Kocaman, I., Konukcu F. and Ozturk, G., 2011. Measures to Protect Environmental Problems Caused by Animal Wastes in Rural Settlement Areas a Case Study from Western Turkey, Journal of Animal and Veterinary Advances 10(12), 1536-1542
- Maton, A., Daelemans, J. and Lambrecht, J., 1985. Housing of Animals, Elsevier Science Publishers B.V., Netherlands.
- Mutaf, S. 2012. Mühendislik Yaklaşımı ile Hayvan Barınaklarında İklimsel Çevre ve Denetim İlkeleri (1. Basım). Ankara: Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Yayınları.
- Olgun, M. (2016). Tarımsal yapılar. Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları, Yayın No 1577, Ankara.
- Okuroğlu, M. ve Yağanoğlu, A.V., 1993. Kültürteknik, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Yayınları No: 157, Erzurum.
- Wathes, C.H. and Charles, D.R., 1994. Livestock Housing, Animal Science and Engineering Division Silsoe Research Institute, UK.
- Yüksel, A.N., Kocaman, İ. ve Ergün, N., 1998. Besi Sığırcılığı, Hasad Yayıncılık, İstanbul.

Tarımda Makineleşmenin Tarımsal Üretim, Verimlilik ve Sürdürülebilir Tarım Üzerindeki Etkileri

**Yusuf DİLAY¹
Adem ÖZKAN²**

- 1- Doç. Dr.; Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Motorlu Araçlar, Gemi ve Uçak Bölümü. ydilay@kmu.edu.tr ORCID No: 0000-0002-5365-5137.
- 2- Öğr. Gör.; Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü. aozkan@kmu.edu.tr ORCID No: 0000-0003-3043-0338.

ÖZET

Dünya nüfusunun hızla artması ve iklim değişikliği gibi küresel tehditler, gıda güvenliğini sağlamak için tarımsal üretimde verimliliği ve sürdürülebilirliği zorunlu kılmaktadır. Bu süreçte tarımda makineleşme; geleneksel ve insan gücüne dayalı üretim yöntemlerinden, modern teknoloji odaklı yapılara geçişin en temel motoru haline gelmiştir. Makineleşme; sadece traktör ve biçerdöver gibi temel araçların kullanımıyla sınırlı kalmayıp; günümüzde akıllı tarım teknolojileri, hassas ekim sistemleri, dronlar ve otonom ekipmanların entegrasyonu ile boyut değiştirmiştir.

Geleneksel yöntemlerle kıyaslandığında tarımsal mekanizasyon, birim alandan elde edilen verimi önemli ölçüde artırmaktadır. Toprak işleme, ekim, gübreleme, ilaçlama ve hasat gibi kritik süreçlerin doğru zamanda ve optimum derinlikte yapılması, ürün kayıplarını en aza indirmektedir. Ayrıca iş gücü gereksinimini azaltarak zaman ve maliyet tasarrufu sağlamakta, çiftçilerin ağır fiziki yükünü hafifletmektedir. İşletme ölçeklerinin büyümesine ve pazar odaklı üretime olanak tanıyan mekanizasyon, genel tarımsal rekoltenin yükselmesine doğrudan katkıda bulunmaktadır.

Diğer yandan, modern makineleşmenin sürdürülebilir tarım üzerindeki etkileri çift yönlü bir nitelik taşımaktadır. Doğru planlanmayan ve kontrolsüz yapılan mekanizasyon; toprağın sıkışmasına, erozyona, fosil yakıt tüketimine bağlı sera gazı emisyonlarının artmasına ve doğal kaynakların aşırı kullanımına yol açabilmektedir. Buna karşın, hassas tarım teknolojileriyle desteklenen mekanizasyon; girdi kullanımını (su, gübre, ilaç) optimize ederek çevresel ayak izini küçültmektedir. Doğrudan ekim ve azaltılmış toprak işlemeli makineler, toprak yapısını ve nemini koruyarak sürdürülebilir bir ekosistem sunmaktadır.

Sonuç olarak tarımda makineleşme; doğru planlama, eğitim ve çevre dostu teknolojilerle birleştirildiğinde tarımsal verimliliği artıran ve sürdürülebilir üretimi destekleyen stratejik bir güçtür. Tarım politikalarının, küçük ölçekli üreticilerin de modern ve çevreci teknolojilere erişimini sağlayacak şekilde kurgulanması büyük önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler – Tarımda Makineleşme, Tarımsal Verimlilik, Sürdürülebilir Tarım, Hassas Tarım, Tarımsal Üretim.

GİRİŞ

Bu Tarım sektörü, insanlığın gıda ihtiyacını karşılamasının yanı sıra ekonomik büyüme, istihdamın artırılması, kırsal kalkınmanın desteklenmesi ve sanayi sektörüne hammadde sağlaması bakımından ülkelerin stratejik sektörlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Dünya nüfusunun sürekli artması, kentleşmenin hızlanması, iklim değişikliğinin etkilerinin giderek

belirginleşmesi ve doğal kaynaklar üzerindeki baskının artması, tarımsal üretim sistemlerinin daha verimli, sürdürülebilir ve teknoloji odaklı bir yapıya dönüşmesini zorunlu hâle getirmiştir. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), 2050 yılına kadar dünya nüfusunun yaklaşık 9,7 milyara ulaşacağını ve artan gıda talebinin karşılanabilmesi için mevcut tarımsal üretimin önemli ölçüde artırılması gerektiğini vurgulamaktadır. Bu durum, yalnızca üretim miktarının artırılmasını değil, aynı zamanda doğal kaynakların korunmasını, üretim maliyetlerinin azaltılmasını ve çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasını da zorunlu kılmaktadır.

Günümüzde tarım sektörü; iklim değişikliği, kuraklık, su kaynaklarının azalması, toprak verimliliğinin düşmesi, biyolojik çeşitliliğin azalması ve tarımsal iş gücündeki yetersizlik gibi çok boyutlu sorunlarla karşı karşıyadır. Özellikle kırsal nüfusun yaşlanması ve genç nüfusun tarımdan uzaklaşması, üretimde iş gücü açığını artırmakta ve tarımsal faaliyetlerin zamanında yürütülmesini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle tarım sektörünün geleceği açısından üretimde mekanizasyonun yaygınlaştırılması ve dijital teknolojilerin üretim süreçlerine entegre edilmesi temel gerekliliklerden biri olarak değerlendirilmektedir. OECD'nin son yıllarda yayımladığı raporlarda da dijital teknolojilerin tarımı genç girişimciler açısından daha cazip hâle getirdiği, iş gücü ihtiyacını azalttığı ve üretim süreçlerini daha etkin yönetilebilir kıldığı belirtilmektedir.

Bu kapsamda tarımda makineleşme, üretim süreçlerinde insan ve hayvan gücünün yerini mekanik güç kaynaklarının almasını ifade eden ve tarımsal üretimde verimlilik artışının temel unsurlarından biri olarak kabul edilen teknolojik dönüşüm sürecidir. Tarımsal mekanizasyon; toprak işleme, ekim, dikim, gübreleme, sulama, ilaçlama, hasat ve hasat sonrası işlemlerin uygun makine ve ekipmanlarla gerçekleştirilmesini kapsamaktadır. Ancak günümüzde mekanizasyon kavramı yalnızca traktör ve tarım makinelerinin kullanımını değil; küresel konumlandırma sistemleri (GPS), coğrafi bilgi sistemleri (CBS), uzaktan algılama teknolojileri, sensör sistemleri, insansız hava araçları (İHA), Nesnelerin İnterneti (IoT), büyük veri analitiği ve yapay zekâ tabanlı karar destek sistemlerini de içeren dijital tarım uygulamalarını kapsamaktadır. Tarımsal mekanizasyonun bu yeni boyutu, “Tarım 4.0” olarak tanımlanan dijital dönüşüm sürecinin temel bileşenlerinden biri hâline gelmiştir (Daum, 2022).

Literatürde tarımsal mekanizasyonun yalnızca üretim miktarını artıran bir teknoloji olmadığı, aynı zamanda üretim faktörlerinin daha etkin kullanılmasını sağlayan stratejik bir yatırım olduğu vurgulanmaktadır. Mekanizasyon sayesinde tarımsal işlemler optimum zamanda gerçekleştirilebilmekte, iş gücü ihtiyacı azalmakta, yakıt ve zaman tasarrufu sağlanmakta, ürün kayıpları en aza indirgenmekte ve işletmelerin rekabet gücü artmaktadır. Özellikle ekim ve hasat dönemlerinde zamanında gerçekleştirilen işlemler, ürün verimi ve kalite üzerinde doğrudan belirleyici olmaktadır. Bunun yanında modern makineler, iş sağlığı ve güvenliği

açısından ağır fiziksel iş yükünü azaltarak çalışma koşullarını iyileştirmektedir. Yapılan araştırmalar, mekanizasyon düzeyi yüksek ülkelerde birim alandan elde edilen verimin ve toplam faktör verimliliğinin daha yüksek olduğunu göstermektedir.

Son yıllarda geliştirilen hassas tarım uygulamaları, tarımsal mekanizasyonun etkinliğini önemli ölçüde artırmıştır. Hassas tarım; tarla içerisindeki mekânsal ve zamansal farklılıkların belirlenerek her bölgenin ihtiyaç duyduğu su, gübre ve bitki koruma ürünlerinin uygun miktarlarda uygulanmasını amaçlayan veri temelli bir üretim yaklaşımıdır. GPS destekli otomatik dümenleme sistemleri, değişken oranlı gübreleme makineleri, sensör teknolojileri ve insansız hava araçları sayesinde üreticiler, kaynak kullanımını optimize edebilmekte ve çevresel etkileri azaltabilmektedir. Böylece hem üretim maliyetleri düşmekte hem de sürdürülebilir tarım uygulamaları desteklenmektedir. Dijital teknolojilerin tarım sektörüne entegrasyonu, iklim değişikliğine uyum sağlanması ve doğal kaynakların etkin yönetimi açısından da önemli fırsatlar sunmaktadır.

Türkiye, sahip olduğu iklim çeşitliliği, geniş tarım alanları ve ürün desenindeki zenginlik sayesinde dünyanın önemli tarım ülkeleri arasında yer almaktadır. Son yıllarda traktör parkı, biçerdöver sayısı ve modern tarım makinelerinin kullanımında önemli artışlar yaşanmış; yerli tarım makinaları sanayisi de önemli bir gelişme göstermiştir. Ertekin ve ark. (2021), Türkiye'de traktör sayısının son otuz yılda önemli ölçüde arttığını ve tarımsal mekanizasyon göstergelerinde sürekli bir gelişim yaşandığını belirtmektedir. Bununla birlikte tarım işletmelerinin büyük bölümünün kk aile işletmelerinden oluşması, arazilerin parçalı yapısı, yüksek yatırım maliyetleri, finansmana erişimde yaşanan güçlükler ve teknoloji kullanımındaki bölgesel farklılıklar, mekanizasyon düzeyinin gelişmiş ülkeler seviyesine ulaşmasını sınırlandırmaktadır. OECD de Türkiye'de verimlilik artışının sürdürülebilmesi için teknolojik yeniliklerin yaygınlaştırılması, eğitim faaliyetlerinin güçlendirilmesi ve yapısal reformların hızlandırılması gerektiğini vurgulamaktadır.

Diğer taraftan mekanizasyonun çevresel etkileri de dikkatle değerlendirilmelidir. Bilinçsiz makine kullanımı; toprak sıkışması, fosil yakıt tktiminin artması, sera gazı emisyonlarının yükselmesi ve doğal kaynakların verimsiz kullanılması gibi olumsuz sonuçlara neden olabilmektedir. Buna karşılık enerji verimliliği yüksek makinelerin tercih edilmesi, koruyucu toprak işleme yöntemlerinin uygulanması ve hassas tarım teknolojilerinin yaygınlaştırılması sayesinde çevresel etkiler önemli ölçüde azaltılabilmektedir. Günümüzde sürdürülebilir tarım anlayışı, ekonomik verimlilik ile çevresel korumayı birlikte ele almakta ve tarımsal mekanizasyonun bu iki hedef arasında denge kuracak şekilde planlanmasını öngörmektedir.

Bu çalışmanın amacı, tarımda makineleşmenin tarımsal üretim, ekonomik verimlilik ve sürdürülebilir tarım üzerindeki etkilerini güncel

ulusal ve uluslararası literatür doğrultusunda değerlendirmektir. Çalışmada öncelikle tarımsal mekanizasyon kavramı ve tarihsel gelişimi açıklanmış; ardından dünyada ve Türkiye’deki mekanizasyon düzeyi incelenmiştir. Ayrıca hassas tarım, dijital tarım ve yapay zekâ tabanlı teknolojilerin tarımsal üretime sağladığı katkılar ele alınmış; sektörün karşı karşıya olduğu yapısal sorunlar değerlendirilerek sürdürülebilir tarımsal kalkınmaya yönelik çözüm önerileri sunulmuştur. Bu yönüyle araştırmanın, tarımda makineleşme alanındaki bilimsel literatüre katkı sağlaması ve politika yapıcılara, araştırmacılara ve uygulayıcılara yol gösterici bilgiler sunması amaçlanmaktadır.

TARIMDA MAKİNELEŞME KAVRAMI VE ÖNEMİ

Tarımda makineleşme, tarımsal üretim faaliyetlerinde insan ve hayvan gücünün yerini mekanik, hidrolik, elektronik ve dijital sistemlerle çalışan makine ve ekipmanların alması sürecidir. Tarımsal mekanizasyon yalnızca traktör ve tarım makinelerinin kullanımını değil; üretim planlaması, enerji kullanımı, otomasyon, hassas tarım teknolojileri ve dijital karar destek sistemlerini de kapsayan geniş bir kavramdır (Daum, 2022).

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü, sürdürülebilir tarımsal mekanizasyonu; tarımsal üretimde verimliliği artırırken doğal kaynakların korunmasını, çevresel etkilerin azaltılmasını ve çiftçilerin ekonomik refahının geliştirilmesini sağlayan teknoloji ve uygulamalar bütünü olarak tanımlamaktadır. Bu yaklaşıma göre mekanizasyon yalnızca makine kullanımını ifade etmemekte; uygun teknoloji seçimi, eğitim, bakım, finansman ve işletme yönetimi gibi unsurları da kapsamaktadır. (FAO, 2021-a)

Tarımda makineleşmenin temel amacı, üretim süreçlerini daha etkin hâle getirerek iş gücü verimliliğini artırmak, üretim maliyetlerini azaltmak ve tarımsal faaliyetlerin zamanında gerçekleştirilmesini sağlamaktır. Toprak hazırlığı, ekim, gübreleme, sulama, bitki koruma, hasat ve hasat sonrası işlemlerde kullanılan modern makineler, insan hatasını azaltmakta ve üretimde standartlaşmayı desteklemektedir. Özellikle iklim değişikliğinin üretim takvimini daha hassas hâle getirdiği günümüzde, tarımsal işlemlerin optimum zamanda yapılabilmesi ürün miktarı ve kalitesi açısından kritik önem taşımaktadır (FAO, 2026).

Tarımsal mekanizasyonun ekonomik etkileri oldukça geniştir. Mekanizasyon sayesinde birim alandan elde edilen verim artarken, işçilik maliyetleri azalmakta ve üretim süreci daha planlı ve etkin bir şekilde yürütülebilmektedir. Bunun yanında ürün kayıplarının azalması, hasat süresinin kısılması ve kaynak kullanım etkinliğinin artması işletmelerin rekabet gücünü yükseltmektedir. Özellikle büyük ölçekli tarım işletmelerinde mekanizasyon yatırımları uzun vadede önemli ekonomik avantajlar sağladığı bilinmektedir (Daum, 2022).

Teknolojik gelişmeler, tarımsal mekanizasyonun kapsamını önemli ölçüde genişletmiştir. Günümüzde GPS destekli traktörler, otomatik dümenleme sistemleri, değişken oranlı gübreleme teknolojileri, sensör tabanlı sulama sistemleri, insansız hava araçları (İHA), uydu görüntüleme teknikleri ve yapay zekâ destekli karar sistemleri hassas tarım uygulamalarının temel bileşenleri hâline gelmiştir. Bu teknolojiler sayesinde su, gübre ve bitki koruma ürünleri yalnızca ihtiyaç duyulan alanlarda ve uygun miktarlarda kullanılabilmekte hem üretim maliyetleri düşmekte hem de çevresel etkiler azaltılmaktadır (Daum, 2022).

Türkiye açısından değerlendirildiğinde tarımsal mekanizasyon son yıllarda önemli gelişmeler göstermiştir. Traktör parkı, biçerdöver sayısı ve modern tarım ekipmanlarının kullanımında artış yaşanmasına rağmen, işletmelerin küçük ve parçalı arazi yapısı, yüksek makine maliyetleri, finansman yetersizlikleri ve teknoloji kullanımına ilişkin bilgi eksikliği mekanizasyon düzeyini sınırlandıran başlıca faktörler olarak öne çıkmaktadır. Ertekin ve ark. (2021), Türkiye'de mekanizasyon göstergelerinin yıllar içinde önemli ölçüde geliştiğini, ancak bölgesel farklılıkların ve işletme ölçeğine bağlı sorunların devam ettiğini belirtmektedir.

TARIMDA MAKİNELEŞMENİN VERİMLİLİK ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Tarımda makineleşme, geleneksel üretim tekniklerinin yarattığı kısıtları ortadan kaldırarak tarımsal verimliliği çok boyutlu bir şekilde artırmaktadır. Mekanizasyonun sağladığı başlıca verimlilik artışları ve etkileri şu şekildedir:

İş Gücü Tasarrufu: İnsan ve hayvan gücüne dayalı fiziki iş yükünü önemli ölçüde azaltarak daha az iş gücüyle daha geniş alanların işlenmesine olanak tanır.

Etkin Zaman Yönetimi: Toprak işleme, ekim ve hasat gibi kritik tarımsal operasyonların en uygun zamanda ve hızla tamamlanmasını sağlayarak zaman kaybını önler.

Ürün Veriminde Artış: Ekim derinliğinin, gübre dağılımının ve sulamanın standart ve ideal normlarda yapılması sayesinde birim alandan alınan ürün miktarını doğrudan yükseltir.

Ürün Kalitesinde Yükselme: Hassas ve standart mekanik uygulamalar, hasat edilen ürünlerin fiziki zarar görmesini engeller ve pazar değerini artıran yeknesak bir ürün kalitesi sunar.

Üretim Maliyetlerinin Azaltılması: Birim ürün başına düşen zaman, yakıt ve iş gücü gereksinimini optimize ederek uzun vadede toplam üretim maliyetlerini aşağı çeker.

Kayıpların Azaltılması ve Sosyo-Ekonomik Kazanımlar: Hasat ve taşıma esnasındaki dane ve ürün kayıplarını en aza indirerek hem çiftçi

gelirlerini artırır hem de ulusal ölçekte gıda güvenliğine ve ekonomik kalkınmaya katkı sağlar.

TARIMDA MAKİNELEŞMENİN EKONOMİK ETKİLERİ

Tarımda makineleşme, işletme düzeyinden mikro finansmana ve ulusal ekonomiye kadar geniş bir yelpazede ekonomik katma değer yaratmaktadır. Operasyonel maliyetlerin düşmesi ve birim alandan elde edilen verimin artması, çiftçi gelirlerinde belirgin bir artış sağlarken doğrudan işletme kârlılığını yükseltmektedir (Bayramoğlu & Karadağ, 2019). Nitekim Sunding ve Zilberman (2001), tarımsal teknoloji benimseme süreçlerinin işletmelerin finansal yapısını doğrudan güçlendirdiğini vurgulamaktadır. Mekanizasyon sayesinde uluslararası standartlara uygun ve yüksek rekolteli üretim yapılması, ülkenin tarımsal rekabet gücünü artırmaktadır. Sektörün yarattığı talep, tarım makineleri sanayisinin gelişmesini ve milli ekonomiye doğrudan katkı sağlamasını tetiklemektedir (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2023). Bu dinamizm, hem imalat sanayiindeki yerli üretimi ve rekabeti desteklemekte hem de nitelikli ürünlerin ihracat potansiyelini güçlendirmektedir.

SOSYAL ETKİLERİ

Tarımsal mekanizasyon, üretimin yanı sıra kırsal toplum yapısını da dönüştüren sosyal dinamiklere sahiptir. Ağır bedensel iş gücü ihtiyacını azaltarak yaşam standartlarını yükseltmekte ve kırsal kalkınmanın önünü açmaktadır (World Bank, 2020). Bu süreç, tarımda iş gücü dönüşümünü mümkün kılarak bedensel güce dayalı yapıdan teknoloji kullanımına dayalı bir profile geçilmesini sağlar. Özellikle kadın ve genç çiftçilerin mekanizasyona ve yeni teknolojilere entegrasyonu, kırsal istihdamı çeşitlendirmekte ve güçlendirmektedir (TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası, 2020). Ancak bu modern altyapı, geleneksel yöntemlerin ötesinde tarımsal eğitim ihtiyacını ve nitelikli iş gücü gereksinimini belirgin bir şekilde ortaya çıkarmaktadır.

ÇEVRESEL ETKİLERİ

Makineleşmenin çevre üzerindeki etkileri, kullanılan teknolojiye ve uygulama yöntemlerine bağlı olarak çift yönlü gelişim gösterir. Yanmalı motorlara dayalı yoğun araç kullanımı, yakıt tüketimini ve karbon ayak izini artırma potansiyeline sahiptir (FAO, 2022). Ayrıca ağır ekipmanların arazi üzerindeki kontrolsüz hareketi toprak sıkışmasına ve ekosistem bozulmalarına yol açabilmektedir (Karkea & Srivastava, 2019). Buna karşın Yıldız ve Öztürk (2022), koruyucu toprak işleme teknikleri ile uygun makine kullanımının toprak yapısını koruduğunu belirtmektedir. Kaynakların verimli

kullanıldığı enerji verimliliği çözümleri ve son yıllarda öne çıkan elektrikli ile otonom tarım makineleri, çevresel tahribatı en aza indirerek ekolojik dengeyi desteklemektedir.

HASSAS TARIM VE DİJİTAL TARIM

Hassas tarım uygulamaları, veri odaklı yaklaşımlarla üretim süreçlerindeki belirsizlikleri ortadan kaldırmaktadır (Aydın & Akdemir, 2020). GPS destekli traktörler ve otomatik dümenleme sistemleri, tarladaki çıkışmaları ve girdi israfını sıfıra yakın seviyeye indirmektedir (Lowenberg-DeBoer & Erickson, 2019). Değişken oranlı gübreleme, toprağın ihtiyacına göre uygulama yapılmasını sağlarken; sensör teknolojileri, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), uzaktan algılama ve insansız hava araçları (İHA) arazinin anlık durumunu yüksek hassasiyetle haritalandırmaktadır (Goddard & Hall, 2021). Toplanan bu veriler; yapay zekâ uygulamaları, Nesnelerin İnterneti (IoT) ve büyük veri analitiği ile işlenerek tarımsal kararların optimize edilmesini sağlamakta, robotik tarım uygulamaları ise sahada tam denetim sunmaktadır (Fountas ve ark., 2020).

TARIM 4.0 VE AKILLI TARIM

Tarım 4.0, geleneksel üretimi baştan sona dönüştüren dijital dönüşüm vizyonunun merkezinde yer almaktadır (Gülseren & Topçu, 2021). Bu kapsamda otonom traktörler ve robot hasat sistemleri, insan müdahalesine olan ihtiyacı minimize ederek 24 saat kesintisiz operasyon kabiliyeti sunar (OECD, 2021). İklimlendirme ve sulamanın otomatik yönetildiği akıllı sera teknolojileri, verimi her mevsim yüksek tutmayı amaçlar. Tüm bu bileşenler, bulut tabanlı tarım yönetimi altyapısında birleşerek veri akışını merkezileştirir ve üreticilere anlık stratejik öneriler sunan karar destek sistemleri ile üretimin her aşamasını bütünleşmiş bir biçimde yönetmeyi mümkün kılar.

TARIMDA MAKİNELEŞMENİN ÖNÜNDEKİ SORUNLAR

Mekanizasyonun sağladığı geniş imkânlarla rağmen, uygulamada karşılaşılan yapısal ve finansal engeller sürecin yaygınlaşmasını zorlaştırmaktadır. Türkiye ve benzeri gelişmekte olan ülkelerdeki küçük ve parçalı arazi yapısı, makine kullanımında ölçek ekonomisine ulaşılmasını engelleyerek ürün maliyetlerinin artmasına sebep olmaktadır (Altıkat & Çelik, 2018; World Bank, 2020). Ekipmanların yüksek makine maliyetleri ve finansmana erişim sorunları, özellikle küçük ölçekli üreticilerin modern teknolojiye ulaşmasını sınırlandırmaktadır (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2023). Kullanılan araçların giderek daha kompleks yapıya bürünmesi, kırsal alanda ciddi bir eğitim eksikliğini görünür kılmaktadır. Nitekim Sarı ve

Evcim (2017), teknoloji kullanımındaki bilgi eksikliğinin makinelerin tam kapasiteyle çalıştırılmasını engellediğini belirtmektedir. Buna paralel olarak bakım-onarım yetersizlikleri, teknolojiye uyum sorunları ve yedek parça teminindeki zorluklar işletme sürekliliğini ve makine verimliliğini riske atmaktadır (Karkea & Srivastava, 2019).

GELECEĞİN TARIM MAKİNELERİ

Önümüzdeki dönemde tarım sektörü, yüksek teknoloji odaklı ve çevreci araçların hakimiyetine girmeye adaydır. Yapay zekâ destekli makineler, kararları saha şartlarına göre anlık olarak verirken; elektrikli traktörler ve otonom tarım araçlarının yaygınlaşması, fosil yakıt bağımlılığını ve emisyon oranlarını sonlandırmayı hedeflemektedir (OECD, 2021). Belirli görevleri bağımsız icra eden tarım robotları ve drone sürüleri, geniş arazilerde aynı anda kolektif çalışma disiplini sunarak iş gücü ihtiyacını minimuma indirmektedir (Fountas ve ark., 2020). Ayrıca uydu destekli üretimin önem kazanması ve fiziksel sistemlerin sanal kopyalarını oluşturan dijital ikiz (Digital Twin) uygulamaları, makine performansını ve ürün gelişimini dijital ortamda simüle ederek operasyonel hata payını ortadan kaldırmaktadır (Gülseren & Topçu, 2021).

SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIM AÇISINDAN MAKİNELEŞME

Sürdürülebilirlik ekseninde mekanizasyon, küresel çevre hedefleri ve kaynak koruma stratejileriyle doğrudan ilişkilidir. Mekanizasyon politikaları, Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA) doğrultusunda gıda güvenliğini ve karasal yaşamı koruma odaklı kurgulanmaktadır (FAO, 2022). Doğa üzerindeki baskıyı azaltmak adına iklim dostu mekanizasyon araçlarının üretilmesi ve döngüsel ekonomi ilkelerinin benimsenmesi kritik öneme sahiptir. Kaynak israfını önleyen hassas tarım uygulamaları, toprak yapısını koruyan koruyucu toprak işleme yöntemleriyle birleştğinde çevresel zararları minimize etmektedir (Yıldız & Öztürk, 2022). Bu dönüşüm, üretim süreçlerini yeniden şekillendirerek tarım sektörünün nihai hedefi olan karbon nötr tarım vizyonuna ulaşmasında anahtar rol oynamaktadır (Goddard & Hall, 2021).

POLİTİKA VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Tarımda mekanizasyonun potansiyelinden tam manasıyla yararlanabilmek için bütüncül ve uygulanabilir politikaların hayata geçirilmesi gerekmektedir. Teknolojik dönüşümü sahaya yansıtmak amacıyla çiftçi eğitimlerinin yaygınlaştırılması ve yüksek maliyetlerin üstesinden gelebilmek için makine parklarının ortak kullanımı ile

kooperatifleşme modelleri teşvik edilmelidir (TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası, 2020). Dijital tarım yatırımlarının artırılması ve genç çiftçi destekleri, kırsaldaki dinamizmi korurken; yerli üretimin teşvik edilmesi makine imalatında dışa bağımlılığı azaltacaktır (Bayramoğlu & Karadağ, 2019). Sektörün geleceğini şekillendirecek yenilikçi çözümler için üniversite-sanayi iş birliğinin sağlanması ve Ar-Ge yatırımlarının artırılması stratejik bir zorunluluktur (Sunding & Zilberman, 2001).

SONUÇ

Tarımda makineleşme, günümüz tarım sektörünün verimlilik, rekabet gücü ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasında temel unsurlardan biri hâline gelmiştir. Artan dünya nüfusu, iklim değişikliğinin tarımsal üretim üzerindeki etkileri, doğal kaynakların sınırlılığı ve kırsal iş gücündeki azalma, tarımsal üretimde modern mekanizasyon sistemlerinin kullanımını zorunlu kılmaktadır. Bu çalışma kapsamında yapılan literatür incelemesi, tarımsal mekanizasyonun yalnızca üretim süreçlerini hızlandıran teknik bir uygulama olmadığını; aynı zamanda ekonomik, sosyal ve çevresel boyutları bulunan stratejik bir kalkınma aracı olduğunu ortaya koymuştur. FAO'nun sürdürülebilir tarımsal mekanizasyon yaklaşımı da mekanizasyonun üretim artışının yanında doğal kaynakların korunması, iş gücü verimliliğinin artırılması ve kırsal kalkınmanın desteklenmesine katkı sağladığını vurgulamaktadır (FAO, 2021).

Araştırmalar, uygun mekanizasyon uygulamalarının toprak hazırlığı, ekim, gübreleme, sulama, bitki koruma ve hasat işlemlerinin zamanında ve daha hassas biçimde gerçekleştirilmesine olanak tanıdığını göstermektedir. Bunun sonucunda iş gücü ihtiyacı azalmakta, üretim maliyetleri düşmekte, ürün kayıpları en aza indirilmekte ve birim alandan elde edilen verim artmaktadır. Özellikle hassas tarım uygulamaları, küresel konumlandırma sistemleri (GPS), sensör teknolojileri, insansız hava araçları (İHA), otomatik dümenleme sistemleri ve yapay zekâ destekli karar destek mekanizmaları sayesinde tarımsal girdilerin daha etkin kullanılması mümkün olmakta; su, gübre ve bitki koruma ürünlerinin yalnızca ihtiyaç duyulan alanlarda uygulanması hem ekonomik hem de çevresel açıdan önemli kazanımlar sağlamaktadır (FAO, 2018).

Türkiye açısından değerlendirildiğinde, son yıllarda traktör parkı, modern tarım makineleri ve yerli makine sanayisinde önemli gelişmeler yaşanmasına rağmen, tarımsal mekanizasyonun ülke genelinde yeterli bir düzeye ulaştığı söz konusu değildir. Tarım işletmelerinin büyük bölümünün küçük ve parçalı arazi yapısına sahip olması, yüksek makine yatırım maliyetleri, finansman olanaklarının sınırlı olması, teknik bilgi eksikliği ve eğitim yetersizliği mekanizasyonun yaygınlaşmasını sınırlandıran temel sorunlar arasında yer almaktadır. Bu nedenle yalnızca makine sayısının

artırılması değil, mekanizasyonun planlı, verimli ve sürdürülebilir biçimde uygulanması gerekmektedir (FAO, 2026).

Sürdürülebilir tarım hedeflerine ulaşılabilmesi için kamu kurumları, üniversiteler, özel sektör ve üretici örgütleri arasında güçlü bir iş birliği oluşturulmalıdır. Çiftçilerin modern tarım teknolojilerine erişimini kolaylaştıracak finansman modelleri geliştirilmeli, makine parkları ve ortak makine kullanım sistemleri desteklenmeli, tarımsal yayım ve eğitim faaliyetleri yaygınlaştırılmalıdır. Ayrıca yerli tarım makinesi üretiminin teşvik edilmesi, dijital tarım uygulamalarının kırsal alanlarda yaygınlaştırılması ve Ar-Ge yatırımlarının artırılması, Türkiye'nin tarımsal rekabet gücünün yükseltilmesine önemli katkılar sağlayacağını söyleyebiliriz (FAO, 2022-a)

Sonuç olarak tarımda makineleşme, sürdürülebilir tarımsal kalkınmanın gerçekleştirilmesi, gıda güvenliğinin sağlanması ve kırsal refahın artırılması açısından vazgeçilmez bir unsur olarak değerlendirilmektedir. Gelecekte robotik sistemler, yapay zekâ, büyük veri analitiği, otonom tarım makineleri ve nesnelerin interneti (IoT) gibi teknolojilerin tarımsal üretimde daha yaygın kullanılmasıyla birlikte mekanizasyonun etkinliği daha da artacaktır. Bu nedenle tarım politikalarının teknoloji odaklı, çevreye duyarlı ve üretici ihtiyaçlarını merkeze alan sürdürülebilir mekanizasyon stratejileri doğrultusunda şekillendirilmesi hem Türkiye tarımının gelişimi hem de küresel gıda güvenliğinin desteklenmesi açısından son derece önem taşımaktadır (FAO, 2021).

Tarım, bitki ıslahı, biyoloji ve genetik biliminden etkilenecek, ülkeler kendi arazi varlığı ile sınırlı olmayan bir üretim modeli uygulayacaktır. Gelecek dönemde tarım sadece bir üretim ve ihtiyaç giderme alanı değil, özellikle biyolojik bilgi ve makine teknolojilerin üretildiği ve başka sektörlere göre daha hızlı bir atılım sürecini yakalayacaktır.

REFERANSLAR

- Altıkat, S., & Çelik, A. (2018). Tarımda mekanizasyon düzeyi ve gelişimi: Türkiye ve dünya karşılaştırması. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 24(2), 215-226.
- Altuntaş, E. (2016). Türkiye'nin Tarımsal Mekanizasyon Düzeyinin Coğrafi Bölgeler Açısından Değerlendirilmesi. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 4(12), 1157-1164. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v4i12.1157-1164.972>
- Altuntaş, E. (2020). Türkiye'deki Tarım Makineleri Kullanım Projeksiyonunun Tahmini. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 6(3), 506-516. <https://doi.org/10.24180/ijaws.728023>
- Aydın, B., & Akdemir, B. (2020). *Hassas ve Akıllı Tarım Teknolojileri*. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.
- Bayramoğlu, Z., & Karadağ, G. (2019). Tarımsal mekanizasyonun tarımsal verimlilik ve çiftçi gelirleri üzerindeki ekonomik etkileri. *Akademik Ziraat Dergisi*, 8(1), 45-54.

- Daum, T. (2022). Agricultural mechanization and sustainable agrifood system transformation in the Global South. Background paper for The State of Food and Agriculture 2022. Agricultural Development Economics Working Paper 22-11. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc2625en>
- Dayıoğlu, M. A., & Turker, U. (2021). Digital transformation for sustainable future-Agriculture 4.0: A review. *Journal of Agricultural Sciences*, 27 (4), 373–399.
- Doğan, M. (2012). Türkiye ziraatında makineleşme: traktör ve biçerdöverin etkileri. *Journal of Geography*, (14).
- Ertekin, C., Akman, H. E., & Boyar, İ. (2021). Türkiye’de Tarımsal Mekanizasyona Bir Bakış. *Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 31(3), 786-798. <https://doi.org/10.29133/yyutbd.872793>
- FAO. (2018). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Sustainable agricultural mechanization: A framework for Africa.
- FAO. (2021). Food and Agriculture Organization of the United Nations. The State of Food and Agriculture 2021: Making agrifood systems more resilient to shocks and stresses.
- FAO. (2021-a). Food and Agriculture Organization of the United Nations. What is sustainable mechanization Sustainable Agricultural Mechanization Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (2022). Food and Agriculture Organization of the United Nations. The State of Food and Agriculture 2022: Leveraging automation in agriculture for transforming agrifood systems.
- FAO. (2026). Food and Agriculture Organization *Sustainable Agricultural Mechanization: A Framework for Africa and Developing Nations*. Rome. <https://www.fao.org/sustainable-agricultural-mechanization/en/> adresinden 12 Ağustos 2026 tarihinde alınmıştır.
- Fountas, S., Mylonas, N., Malounas, I., & Athanasakos, L. (2020). Agricultural robotics and IoT in smart farming: A review. *Biosystems Engineering*, 198, 150-165.
- Goddard, T., & Hall, R. (2021). *Economic and Environmental Impacts of Precision Agriculture*. London: Academic Press.
- Gökdoğan, O. (2012). Türkiye ve Avrupa Birliği'nin tarımsal mekanizasyon düzeyi göstergelerinin karşılaştırılması. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 9 (2), 1–4.
- Gülseren, M., & Topçu, Y. (2021). Türkiye’de Tarım 4.0 ve dijitalleşme sürecinin değerlendirilmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 36(3), 380-392.
- Karkea, J., & Srivastava, A. K. (2019). *Engineering Principles of Agricultural Machines* (3rd ed.). St. Joseph, MI: ASABE.
- Kumar, P., Nelson, A., Kapetanovic, Z., & Chandra, R. (2023). Affordable Artificial Intelligence-Augmenting Farmer Knowledge with AI. *arXiv preprint arXiv:2303.06049*.
- Lowenberg-DeBoer, J., & Erickson, B. (2019). Setting the record straight on precision agriculture adoption. *Agronomy Journal*, 111(4), 1552-1569.
- OECD. (2021). *Digital Opportunities for Agriculture and Food Systems*. Paris: OECD Publishing.
- OECD. (2023). *Agricultural Policy Monitoring and Evaluation 2023*. OECD Publishing.
- Sarı, S., & Evcim, Ü. (2017). *Tarımsal Mekanizasyon Esasları*. İzmir: Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.

- Sunding, D., & Zilberman, D. (2001). The agricultural innovation process: research and technology adoption in a changing agricultural sector. *Handbook of agricultural economics*, 1, 207-261.
- Türk Tarım ve Orman Bakanlığı. (2023). Tarımsal Mekanizasyon ve Tarım Teknolojileri Raporu. Ankara.
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. (2023). *Türkiye Tarımsal Mekanizasyon Durum Raporu ve Gelecek Projeksiyonu*. Ankara: Strateji Geliştirme Başkanlığı.
- TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası. (2020). *Türkiye Tarımsal Mekanizasyon Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı*. Ankara: ZMO Yayınları.
- Türkiye İstatistik Kurumu. (2024). Tarımsal İşletme ve Tarım Makinaları İstatistikleri. Ankara: TÜİK.
- United Nations. (2015). Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development. United Nations.
- World Bank. (2020). *Agricultural Mechanization and Automation: Trends, Drivers, and Impacts in Developing Countries*. Washington, DC: World Bank Group.
- Yıldız, C., & Öztürk, R. (2022). Sürdürülebilir tarım açısından koruyucu toprak işleme ve uygun makine kullanımı. *Toprak Su Dergisi*, 11(1), 12-23.

Gelecekte Tarım

Yusuf DİLAY¹
Adem ÖZKAN²

- 1- Doç. Dr.; Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Motorlu Araçlar, Gemi ve Uçak Bölümü. ydilay@kmu.edu.tr ORCID No: 0000-0002-5365-5137.
- 2- Öğr. Gör.; Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü. aozkan@kmu.edu.tr ORCID No: 0000-0003-3043-0338.

ÖZET

Küresel nüfus artışı, iklim değişikliği ve azalan doğal kaynaklar, geleneksel gıda üretim yöntemlerini büyük bir baskı altında bırakmaktadır. Bu krizler karşısında tarlalar; yerini veri odaklı, sürdürülebilir ve teknoloji destekli yeni nesil tarım sistemlerine bırakmaktadır. Geleceğin tarımı, sadece daha fazla ürün elde etmeyi değil, mevcut kaynakları koruyarak minimum çevresel ayak iziyle maksimum verimliliğe ulaşmayı hedeflemektedir.

Yapay zekâ, nesnelerin interneti (IoT) ve otonom sistemler, tarımsal süreçlerin ana taşıyıcısı haline gelmektedir. Tarladaki nem, sıcaklık ve besin değerlerini anlık olarak takip eden akıllı sensörler, sulama ve gübreleme işlemlerini optimize ederek İsrafi en aza indirmektedir. Dronlar ve otonom araçlar sayesinde zararlı mücadelesi ve rekolte tahmini nokta atışı doğrulukla yapılabilmektedir. Diğer yandan, şehirleşmenin getirdiği alan darlıklarına çözüm sunan dikey tarım ve topraksız üretim tesisleri, iklim koşullarından bağımsız olarak yıl boyunca kesintisiz gıda tedariki sağlamaktadır.

Ancak bu teknolojik dönüşümün başarısı; biyoteknoloji, kuraklığa dayanıklı tohum ıslahı ve yenilenebilir enerji entegrasyonu ile mümkündür. Gelecekte tarım; doğayı tahrip eden bir faaliyet olmaktan çıkıp, ekolojik dengeyi onaran, enerji üreten ve veriyle yönetilen dinamik bir ekosisteme dönüşecektir. Bu çalışmada; akıllı tarım teknolojileri, sürdürülebilir üretim modelleri ve geleceğin küresel gıda güvenliğini şekillendirecek temel stratejiler kapsamlı bir şekilde ele alınmaktadır.

Anahtar Kelimeler – Akıllı Tarım, Sürdürülebilirlik, Tarım Teknolojileri, Gıda Güvenliği.

GİRİŞ

Tarım, insanlığın varoluşundan bu yana temel gıda ihtiyacını karşılayan, ekonomik kalkınmayı destekleyen ve toplumsal istikrarın sürdürülmesinde kritik rol oynayan stratejik bir sektördür. Gıda arzının sürekliliği, yalnızca bireylerin beslenme güvenliği açısından değil, aynı zamanda ülkelerin ekonomik ve politik istikrarı açısından da büyük önem taşımaktadır. Dünya nüfusunun hızla artması, kentleşmenin yaygınlaşması, gelir düzeylerinin yükselmesi ve tüketim alışkanlıklarının değişmesi, tarımsal üretime yönelik talebi her geçen gün artırmaktadır. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), dünya nüfusunun 2050 yılına kadar yaklaşık 9,7 milyara ulaşacağını ve buna bağlı olarak küresel gıda talebinin önemli ölçüde artacağını öngörmektedir (FAO, 2022). Bu durum, mevcut tarımsal üretim sistemlerinin daha verimli, dayanıklı ve sürdürülebilir hâle getirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Günümüzde tarım sektörü yalnızca üretim miktarını artırma baskısıyla değil; iklim değişikliği, su kıtlığı, toprak bozulumu, biyolojik çeşitlilik

kaybı, enerji maliyetlerindeki artış ve kırsal nüfusun yaşlanması gibi çok boyutlu sorunlarla da karşı karşıyadır. Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC), tarım sektörünün hem iklim değişikliğinden en fazla etkilenen alanlardan biri olduğunu hem de sera gazı emisyonlarına önemli ölçüde katkı sağladığını belirtmektedir (IPCC, 2023). Artan sıcaklıklar, düzensiz yağış rejimleri, kuraklık ve aşırı hava olayları, özellikle bitkisel üretimde verim kayıplarına neden olmakta; bu durum küresel gıda güvenliğini tehdit etmektedir. Dolayısıyla geleceğin tarımı, yalnızca daha fazla üretim yapan değil, aynı zamanda çevresel etkileri azaltan ve iklim değişikliğine uyum sağlayabilen bir üretim modeli olmak zorundadır.

Bu dönüşüm sürecinde teknolojik yenilikler belirleyici bir rol üstlenmektedir. Son yıllarda dijitalleşme, otomasyon, yapay zekâ, büyük veri analitiği, Nesnelerin İnterneti (IoT), robotik sistemler ve uzaktan algılama teknolojileri tarım sektöründe hızlı bir şekilde yaygınlaşmıştır. Tarım 4.0 olarak adlandırılan bu yeni yaklaşım, tarımsal üretimin veri temelli yönetilmesini hedeflemektedir (McFadden, 2022; Bertoglio, 2021; Daum, 2022). Sensörlerden, uydulardan, insansız hava araçlarından (İHA) ve akıllı makinelerden elde edilen veriler sayesinde üreticiler; toprak nemi, bitki gelişimi, hastalık riski, besin elementi ihtiyacı ve su tüketimi gibi birçok parametreyi gerçek zamanlı olarak izleyebilmektedir. Böylece girdilerin yalnızca ihtiyaç duyulan miktarda ve doğru zamanda uygulanması mümkün hâle gelmekte hem üretim maliyetleri düşmekte hem de çevresel etkiler azaltılmaktadır.

Hassas tarım uygulamaları, geleceğin tarım anlayışının en önemli bileşenlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS), Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), değişken oranlı uygulama teknolojileri ve uzaktan algılama yöntemleri sayesinde tarla içerisindeki mekânsal farklılıklar belirlenebilmekte ve her bölgeye özgü üretim stratejileri geliştirilebilmektedir. Lowenberg-DeBoer ve Erickson (2019), hassas tarım teknolojilerinin gübre, su ve pestisit kullanımında önemli tasarruf sağladığını ve aynı zamanda ürün verimini artırabildiğini belirtmektedir. Benzer şekilde Zhang, Wang ve Wang (2002), hassas tarım uygulamalarının kaynak kullanım etkinliğini artırarak sürdürülebilir tarım hedeflerine önemli katkılar sunduğunu vurgulamaktadır.

Tarımın geleceğinde yapay zekâ ve robotik sistemlerin etkisinin daha da artacağı öngörülmektedir. Görüntü işleme algoritmalarıyla çalışan tarım robotları yabancı otları tespit edebilmekte, meyve olgunluğunu analiz edebilmekte ve otomatik hasat işlemlerini gerçekleştirebilmektedir. Yapay zekâ destekli karar destek sistemleri ise hava durumu tahminleri, hastalık risk analizleri ve sulama planlaması gibi konularda üreticilere bilimsel temelli öneriler sunmaktadır. OECD (2023), dijital teknolojilerin tarımsal verimliliği artırmanın yanı sıra iş gücü yetersizliği sorununa da çözüm sağlayabileceğini ifade etmektedir. Özellikle kırsal nüfusun yaşlandığı ülkelerde otomasyon ve robotik uygulamaların önemi giderek artmaktadır.

Türkiye açısından değerlendirildiğinde, ülke sahip olduğu iklim çeşitliliği, geniş tarım alanları ve zengin ürün deseni sayesinde önemli bir tarım potansiyeline sahiptir. Bununla birlikte küçük ve parçalı işletme yapısı, su kaynakları üzerindeki baskı, yüksek girdi maliyetleri ve teknoloji kullanımındaki bölgesel farklılıklar, tarımsal verimliliğin artırılmasının önündeki temel engeller arasında yer almaktadır. TÜİK 2024 yılı verileri, son yıllarda traktör parkı ve modern tarım ekipmanlarının kullanımında artış yaşandığını göstermektedir. Ancak dijital tarım teknolojilerinin yaygınlaştırılması, çiftçi eğitiminin güçlendirilmesi ve Ar-Ge yatırımlarının artırılması hâlen önemli ihtiyaç alanlarıdır. Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından yürütülen akıllı tarım, hassas sulama ve dijital tarım projeleri, Türkiye'nin geleceğin tarımına uyum sürecinde önemli adımlar olarak değerlendirilmektedir (TÜİK, 2024).

Geleceğin tarımı yalnızca teknolojik bir dönüşüm değil, aynı zamanda ekonomik, sosyal ve çevresel boyutları olan bütüncül bir değişim sürecidir. Sürdürülebilir tarım anlayışı; üretim artışı ile doğal kaynakların korunması arasında denge kurulmasını, kırsal refahın artırılmasını ve gelecek nesillerin gıda güvenliğinin güvence altına alınmasını hedeflemektedir. Bu nedenle geleceğin tarım sistemleri; düşük karbonlu üretim, su verimliliği, yenilenebilir enerji kullanımı, döngüsel ekonomi ve iklim dirençli üretim modelleri üzerine inşa edilmektedir.

Bu kitap bölümünün amacı, geleceğin tarımını şekillendiren temel küresel eğilimleri ve teknolojik dönüşümleri kapsamlı biçimde değerlendirmektir. Bölümde; nüfus artışı ve gıda güvenliği ilişkisi, iklim değişikliğinin tarımsal üretime etkileri, dijital tarım teknolojileri, yapay zekâ ve robotik uygulamalar, hassas tarım sistemleri, sürdürülebilir üretim yaklaşımları ve Türkiye'nin bu dönüşüm sürecindeki konumu incelenecektir. Ayrıca geleceğin tarımına geçiş sürecinde karşılaşılan yapısal sorunlar ele alınacak ve sürdürülebilir tarımsal kalkınmayı destekleyecek politika önerileri sunulacaktır. Bu yönüyle bölümün; araştırmacılar, öğrenciler, politika yapımcılar ve sektör paydaşları için geleceğin tarımına ilişkin bilimsel ve bütüncül bir perspektif sunması amaçlanmaktadır.

TARIMIN GELECEĞİNİ ŞEKİLLENDİREN KÜRESEL EĞİLİMLER

Tarım sektörü, tarih boyunca ekonomik, sosyal ve teknolojik gelişmelerden doğrudan etkilenen dinamik bir üretim alanı olmuştur. Günümüzde ise küresel ölçekte yaşanan demografik değişimler, iklim değişikliği, doğal kaynakların azalması, teknolojik dönüşüm, kentleşme ve tüketici beklentilerindeki değişim gibi birçok faktör tarımsal üretim sistemlerinin yeniden şekillenmesine neden olmaktadır. Bu eğilimler, yalnızca üretim miktarını artırmayı değil; aynı zamanda üretimin sürdürülebilirliğini, dayanıklılığını ve kaynak kullanımındaki etkinliği de ön

plana çıkarmaktadır. Geleceğin tarımını anlamak ve doğru politikalar geliştirebilmek için bu küresel eğilimlerin bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirilmesi gerekmektedir.

Nüfus Artışı ve Gıda Talebindeki Yükseliş

Birleşmiş Milletler verilerine göre dünya nüfusunun 2050 yılında yaklaşık 9,7 milyara, yüzyılın sonuna doğru ise 10 milyarın üzerine çıkması beklenmektedir (United Nations, 2022). Bu nüfus artışı, tarımsal üretimin yalnızca miktar olarak artırılmasını değil, aynı zamanda güvenli, kaliteli ve besleyici gıdaların sürdürülebilir biçimde üretilmesini zorunlu kılmaktadır. FAO, artan nüfus ve değişen beslenme alışkanlıkları nedeniyle küresel gıda talebinde önemli bir artış yaşanacağını ve mevcut üretim sistemlerinin bu talebi karşılamak için daha verimli hâle gelmesi gerektiğini vurgulamaktadır (FAO, 2022-a,b).

Bunun yanında gelir düzeylerinin yükselmesiyle birlikte tüketici tercihleri de değişmektedir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde hayvansal protein, taze meyve-sebze, organik ürünler ve fonksiyonel gıdalara yönelik talep artmaktadır. Bu durum, yalnızca üretim miktarını değil, kalite, izlenebilirlik ve gıda güvenliği kriterlerini de ön plana çıkarmaktadır. Dolayısıyla geleceğin tarımı, daha fazla üretimin yanı sıra daha güvenli, kaliteli ve sürdürülebilir üretimi gerçekleştirebilecek teknolojik altyapıya ihtiyaç duymaktadır.

İklim Değişikliği ve Tarımsal Üretim

İklim değişikliği, geleceğin tarımını şekillendiren en önemli küresel faktörlerden biridir. Artan sıcaklıklar, düzensiz yağış rejimleri, kuraklık, sel, don olayları ve aşırı hava olaylarının sıklığındaki artış, tarımsal üretim üzerinde doğrudan etkiler oluşturmaktadır. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)'nin Altıncı Değerlendirme Raporu, özellikle Akdeniz Havzası'nın iklim değişikliğinden en fazla etkilenecek bölgeler arasında yer aldığını ve tarımsal üretimde önemli verim kayıplarının yaşanabileceğini ortaya koymaktadır (IPCC, 2023).

İklim değişikliği yalnızca bitkisel üretimi değil, hayvancılığı da etkilemektedir. Artan sıcaklıklar hayvan refahını olumsuz etkilerken yem üretiminde azalma, su kaynakları üzerindeki baskı ve hastalık etmenlerinin yayılımındaki değişimler üretim risklerini artırmaktadır. Bu nedenle gelecekte iklime dayanıklı bitki çeşitlerinin geliştirilmesi, akıllı sulama sistemlerinin yaygınlaştırılması, iklim tahmin modellerinin üretim planlamasına entegre edilmesi ve karbon emisyonlarını azaltan üretim tekniklerinin benimsenmesi büyük önem taşımaktadır.

İklim değişikliği değişen hava koşulları yaratması sebebiyle tarım sektörünü etkilemektedir. Dünya gıda arz güvenliği açısından çok önemli olan tahıl ürünlerinde yapılan çalışmalar, küresel ortalama sıcaklıktaki her bir santigrat derece artışın, küresel ortalama arazi verimlerini buğdayda %6,

mısırdı %7,4, pirinçte %3,2 ve soya fasulyesinde %3,1 azaltacağını yönünde değerlendirilmektedir. Model sonuçları 3°C'lik sıcaklık artışı için 2050 yıllarında %25-50 seviyesinde verim kaybına neden olacağı tahminlenmektedir (FAO,2022-a).

Su Kaynaklarının Azalması ve Doğal Kaynak Yönetimi

Tarım sektörü, küresel ölçekte tatlı su kaynaklarının en büyük kullanıcısıdır. FAO verilerine göre dünya genelinde kullanılan tatlı suyun yaklaşık %70'i tarımsal sulamada değerlendirilmektedir (FAO, 2022-b). Ancak nüfus artışı, iklim değişikliği ve kentleşme nedeniyle su kaynakları üzerindeki baskının giderek artması, tarımsal üretimde suyun daha verimli kullanılmasını zorunlu hâle getirmektedir.

Gelecekte tarım sektöründe su yönetiminin dijital teknolojilerle desteklenmesi beklenmektedir. Toprak nem sensörleri, meteorolojik istasyonlar, uzaktan algılama sistemleri ve yapay zekâ destekli sulama yazılımları sayesinde bitkilerin gerçek su ihtiyacı belirlenebilmekte ve gereksiz sulamanın önüne geçilebilmektedir. Bunun yanında yağmur suyu hasadı, damla sulama, basınçlı sulama sistemleri ve geri kazanılmış suyun tarımda kullanımı gibi uygulamalar sürdürülebilir su yönetiminin temel bileşenleri arasında yer almaktadır.

Dijitalleşme ve Tarım Teknolojilerindeki Dönüşüm

Son yıllarda bilgi ve iletişim teknolojilerindeki gelişmeler tarım sektöründe önemli bir dijital dönüşüm süreci başlatmıştır. "Tarım 4.0" olarak adlandırılan bu süreç; yapay zekâ, büyük veri analitiği, nesnelerin interneti (IoT), robotik sistemler, uydu görüntüleme teknolojileri, insansız hava araçları (İHA) ve otonom tarım makinelerinin üretim süreçlerine entegrasyonunu ifade etmektedir. Bu teknolojiler sayesinde üreticiler gerçek zamanlı veri elde edebilmekte, üretim süreçlerini daha doğru planlayabilmekte ve karar alma süreçlerini bilimsel verilere dayandırabilmektedir.

Özellikle hassas tarım uygulamaları, geleceğin tarımının en önemli bileşenlerinden biri olarak görülmektedir. Tarla içerisindeki farklılıkların sensörler ve uydu görüntüleri aracılığıyla belirlenmesi; gübre, su ve bitki koruma ürünlerinin değişken oranlı uygulanmasına olanak sağlamaktadır. Böylece hem üretim maliyetleri azalmakta hem de çevresel etkiler önemli ölçüde düşmektedir. Dijitalleşme aynı zamanda tarımsal üretimin izlenebilirliğini artırarak tüketicilerin güvenilir gıdaya erişimine de katkı sağlamaktadır.

Kentleşme, İş Gücü Dönüşümü ve Demografik Değişim

Küresel ölçekte kentleşmenin hızlanması ve kırsal nüfusun yaşlanması, tarım sektöründe iş gücü yapısını önemli ölçüde değiştirmektedir. Genç nüfusun kırsal alanlardan kentlere göç etmesi,

özellikle gelişmekte olan ülkelerde tarımsal üretimde nitelikli iş gücü eksikliğine yol açmaktadır. Bu durum, üretim maliyetlerini artırırken mekanizasyon ve otomasyon teknolojilerine olan ihtiyacı da hızlandırmaktadır.

Tarım robotları, otonom traktörler ve otomatik hasat sistemleri gibi teknolojiler, gelecekte iş gücü açığının azaltılmasında önemli rol oynayacaktır. Bunun yanında dijital tarım uygulamaları, genç girişimcilerin sektöre ilgisini artırabilecek yeni iş modelleri ve girişimcilik fırsatları sunmaktadır. Tarımın yalnızca fiziksel emek gerektiren bir sektör olmaktan çıkıp yüksek teknolojiye dayalı bir üretim alanına dönüşmesi, kırsal kalkınma açısından da önemli bir potansiyel taşımaktadır.

Gıda Güvenliği ve Sürdürülebilirlik

Küresel eğilimlerin ortak noktası, gıda güvenliğinin ve sürdürülebilirliğin geleceğin tarım politikalarının merkezinde yer almasıdır. Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları doğrultusunda tarımsal üretimin çevresel etkilerinin azaltılması, doğal kaynakların korunması ve gelecek nesillerin gıda ihtiyacının güvence altına alınması temel hedefler arasında bulunmaktadır.

Bu kapsamda döngüsel ekonomi yaklaşımı, karbon ayak izinin azaltılması, yenilenebilir enerji kullanımı, koruyucu toprak işleme, biyolojik mücadele yöntemleri ve akıllı tarım teknolojileri giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Geleceğin tarımı; yalnızca yüksek verim sağlayan değil, aynı zamanda çevresel etkileri en aza indiren, iklim değişikliğine uyum sağlayabilen ve ekonomik açıdan sürdürülebilir üretim sistemlerine dayalı olacaktır.

Sonuç olarak küresel ölçekte yaşanan demografik, çevresel, ekonomik ve teknolojik dönüşümler, tarım sektörünü köklü biçimde değiştirmektedir. Bu değişim sürecinde dijitalleşme, sürdürülebilirlik ve yenilikçi teknolojiler geleceğin tarımının temel belirleyicileri olarak öne çıkmaktadır. Bu nedenle üretim sistemlerinin yalnızca mevcut sorunlara çözüm üretmesi değil, gelecekte ortaya çıkabilecek risklere karşı da dayanıklı ve esnek bir yapıya kavuşturulması gerekmektedir. Bir sonraki bölümde, bu dönüşümün temelini oluşturan Tarım 4.0 ve dijital tarım teknolojileri ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

TARIM 4.0 VE DİJİTAL TARIM TEKNOLOJİLERİ

Günümüzde tarımsal üretim artık, yoğun bir emek sürecinden ziyade, bilginin yoğun bir şekilde kullanılacağı, doğal risklere açık bir duruş, planlı ve kontrollü koşullarda yapılan bir üretimle sağlanacaktır.

Dördüncü Sanayi Devrimi ile bilgi ve iletişim teknolojilerinde yaşanan hızlı gelişmeler, üretim süreçlerinin dijitalleşmesini hızlandırmış ve

bu dönüşüm tarım sektörünü de derinden etkilemiştir. Endüstri 4.0'ın temel bileşenleri olan nesnelerin interneti (Internet of Things-IoT), yapay zekâ, büyük veri analitiği, bulut bilişim, robotik sistemler, otonom araçlar ve siber-fiziksel sistemler, tarımsal üretime entegre edilerek Tarım 4.0 kavramını ortaya çıkarmıştır. Tarım 4.0, geleneksel üretim anlayışının ötesine geçerek veri odaklı, otomasyon destekli ve gerçek zamanlı karar alma mekanizmalarına dayanan akıllı bir üretim modelini ifade etmektedir. Bu yaklaşımın temel amacı; üretim verimliliğini artırmak, doğal kaynak kullanımını optimize etmek, çevresel etkileri azaltmak ve tarımsal işletmelerin ekonomik sürdürülebilirliğini güçlendirmektir. Tarımda sürdürülebilir sürecin otomasyonunu sağlamak için mevcut tüm bilgi ve uzmanlığı kullanmaktadır (World Bank, 2023).

Tarım 4.0 yaklaşımı, yalnızca yeni teknolojilerin kullanımıyla sınırlı değildir. Aynı zamanda üretim süreçlerinin dijital olarak planlanmasını, izlenmesini, analiz edilmesini ve yönetilmesini kapsayan bütünsel bir tarımsal yönetim sistemidir. Bu sistemde tarla, sera veya hayvancılık işletmelerinden elde edilen veriler sensörler, uydu görüntüleri, meteorolojik istasyonlar ve insansız hava araçları aracılığıyla sürekli olarak toplanmakta; elde edilen veriler yapay zekâ algoritmaları ve karar destek sistemleri tarafından analiz edilerek üreticiye uygulanabilir öneriler sunulmaktadır. Böylece geleneksel deneyime dayalı karar verme süreçleri yerini veri temelli yönetim anlayışına bırakmaktadır.

Hassas Tarım Yaklaşımı

Tarım 4.0'ın en önemli bileşenlerinden biri hassas tarım uygulamalarıdır. Hassas tarım; tarla içerisindeki mekânsal ve zamansal farklılıkların belirlenmesi ve bu farklılıklara uygun üretim uygulamalarının gerçekleştirilmesini amaçlayan bir yönetim yaklaşımıdır. Geleneksel üretim sistemlerinde tüm tarla tek bir üretim birimi olarak değerlendirilirken, hassas tarım uygulamalarında her bölgenin toprak yapısı, nem durumu, besin elementi düzeyi ve bitki gelişimi ayrı ayrı analiz edilmektedir.

Bu amaçla küresel konumlandırma sistemleri (GPS), coğrafi bilgi sistemleri (CBS), uzaktan algılama teknolojileri ve sensör ağları birlikte kullanılmaktadır. Böylece su, gübre ve bitki koruma ürünleri yalnızca ihtiyaç duyulan alanlara ve uygun miktarlarda uygulanabilmektedir. Sonuç olarak girdi maliyetleri azalırken ürün verimi artmakta, çevresel kirlilik ve kaynak israfı önemli ölçüde azaltılmaktadır. OECD'nin dijital tarım raporunda, hassas tarım uygulamalarının verimlilik, sürdürülebilirlik ve iklim değişikliğine uyum açısından en yüksek potansiyele sahip teknolojiler arasında yer aldığı belirtilmektedir (OECD, 2019).

Nesnelerin İnterneti (IoT) ve Akıllı Sensör Sistemleri

Tarım 4.0'ın temel teknolojilerinden biri Nesnelerin İnternetidir (IoT). IoT tabanlı sistemlerde tarım arazilerine, seralara veya hayvancılık

işletmelerine yerleştirilen sensörler; toprak nemi, sıcaklık, hava nemi, pH, elektriksel iletkenlik, güneşlenme süresi ve bitki gelişimi gibi çok sayıda parametreyi sürekli olarak ölçmektedir. Bu veriler kablosuz iletişim teknolojileri aracılığıyla bulut tabanlı veri merkezlerine aktarılmakta ve gerçek zamanlı olarak analiz edilmektedir.

Bu sistemler sayesinde üreticiler, tarlaya gitmeden mobil cihazlar veya bilgisayarlar üzerinden üretim alanlarını izleyebilmekte, sulama ve gübreleme kararlarını bilimsel verilere dayandırabilmektedir. Özellikle su kaynaklarının giderek azaldığı günümüzde akıllı sulama sistemleri, su tüketiminin azaltılması ve verimliliğin artırılması açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. Ayrıca IoT tabanlı uygulamalar, enerji kullanımının optimize edilmesi ve erken uyarı sistemleri sayesinde hastalık ve zararlı risklerinin önceden belirlenmesine de katkı sunmaktadır.

Yapay Zekâ ve Büyük Veri Analitiği

Tarım sektöründe dijital dönüşümün en önemli bileşenlerinden biri yapay zekâdır. Yapay zekâ; çok büyük miktarda veriyi kısa sürede analiz ederek üretim süreçlerinin daha doğru planlanmasına olanak sağlamaktadır. Uydu görüntüleri, meteorolojik veriler, sensörlerden elde edilen bilgiler ve geçmiş üretim kayıtları birlikte değerlendirilerek ürün verimi tahmin edilebilmekte, hastalık ve zararlı riskleri önceden belirlenebilmekte, optimum sulama ve gübreleme programları oluşturulabilmektedir.

Makine öğrenmesi ve derin öğrenme algoritmaları sayesinde, bitki hastalıklarının yaprak görüntülerinden teşhis edilmesi, yabancı otların otomatik olarak belirlenmesi ve hasat zamanının tahmin edilmesi mümkün hâle gelmiştir. Son yıllarda geliştirilen yapay zekâ destekli karar destek sistemleri, yalnızca üretim aşamasında değil; pazarlama, lojistik, depolama ve tedarik zinciri yönetiminde de etkin biçimde kullanılmaktadır. Böylece üretim planlaması daha isabetli yapılabilmekte, kaynak kayıpları azaltılmakta ve ekonomik verimlilik artırılmaktadır. Yüksek teknoloji, nesnelerin interneti, veri analitiği gibi gelişen teknolojik eğilimler, tarımsal faaliyetleri daha kesin, daha karlı ve sürdürülebilir hale getirmektedir. Tarımsal üretim için teknolojiadaki gelişmeler, dünya ekonomisine de yön verebilmektedir.

Robotik Sistemler ve Otonom Tarım Makineleri

Tarım sektöründe iş gücü yetersizliği ve üretim maliyetlerindeki artış, robotik sistemlerin önemini bir kez daha ortaya çıkarmaktadır. Günümüzde geliştirilen otonom traktörler, robotik ekim makineleri, otomatik yabancı ot temizleme sistemleri ve hasat robotları, insan işgücünü en aza indirerek üretim süreçlerini daha verimli hâle getirmektedir.

Bilgisayarlı görüş sistemli tarım robotları, bitki gelişimini sürekli izleyebilmekte; yabancı otları ayırt ederek yalnızca gerekli bölgelere ilaç uygulayabilmekte veya olgunlaşan ürünleri seçerek hasat edebilmektedir. Bu

teknolojiler hem iş gücü maliyetlerini azaltmakta hem de pestisit kullanımını düşürerek çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadır. Özellikle meyve ve sebze yetiştiriciliğinde geliştirilen robotik hasat sistemlerinin önümüzdeki yıllarda yaygınlaşması beklenmektedir.

İnsansız Hava Araçları ve Uzaktan Algılama Teknolojileri

İnsansız hava araçları (İHA) ve uydu tabanlı uzaktan algılama sistemleri, Tarım 4.0'ın en hızlı gelişen uygulama alanlarından biridir. Çok bantlı kameralar ve termal sensörlerle donatılmış dronlar sayesinde bitki gelişimi, su stresi, besin elementi eksiklikleri ve hastalık belirtileri erken dönemde tespit edilebilmektedir.

Uydu görüntüleriyle birlikte değerlendirilen bu veriler, üreticilere yüksek doğrulukta haritalar sunarak değişken oranlı gübreleme ve ilaçlama uygulamalarını mümkün hâle getirmektedir. Ayrıca afet sonrası hasar tespiti, ürün rekolte tahmini ve tarımsal sigortacılık uygulamalarında da uzaktan algılama teknolojilerinin kullanım alanı giderek genişlemektedir. Dijital görüntüleme sistemlerinin gelişmesiyle birlikte tarımsal üretimin sürekli izlenmesi ve kayıt altına alınması mümkün hâle gelmiştir.

Tarım 4.0'ın Sağladığı Fırsatlar ve Karşılaşılan Güçlükler

Tarım 4.0 teknolojileri; verimlilik artışı, girdi kullanımının azaltılması, doğal kaynakların korunması, üretim maliyetlerinin düşürülmesi ve iklim değişikliğine uyum açısından önemli fırsatlar sunmaktadır. Bununla birlikte bu teknolojilerin yaygınlaştırılması önünde yüksek yatırım maliyetleri, dijital altyapı eksiklikleri, veri güvenliği, çiftçilerin teknoloji okuryazarlığı, internet erişimi ve küçük ölçekli işletmelerin finansman sorunları gibi çeşitli engeller bulunmaktadır. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde dijital tarım teknolojilerinin benimsenme düzeyi, eğitim olanakları ve kamu destekleriyle yakından ilişkilidir. Bu nedenle yalnızca teknolojik yatırımların artırılması değil, aynı zamanda çiftçi eğitim programlarının geliştirilmesi, dijital altyapının güçlendirilmesi ve veri paylaşımına yönelik güvenilir ekosistemlerin oluşturulması büyük önem taşımaktadır.

Tarım 4.0, geleceğin tarım sistemlerinin temelini oluşturan dijital dönüşüm sürecini ifade etmektedir. Yapay zekâ, büyük veri, IoT, robotik sistemler ve uzaktan algılama teknolojileri sayesinde tarımsal üretim daha verimli, daha sürdürülebilir ve daha dirençli hâle gelmektedir. Ancak bu dönüşümün başarıya ulaşabilmesi için teknolojik yeniliklerin kırsal kalkınma politikaları, eğitim programları ve uygun finansman modelleriyle desteklenmesi gerekliliği vardır.

SONUÇ VE TARTIŞMA

Tarım sektörü, dünya nüfusundaki artış, iklim değişikliği, doğal kaynaklar üzerindeki baskının artması, kentleşme, üretim maliyetlerinin

yükselmesi ve gıda güvenliği konularındaki küresel endişeler nedeniyle tarihinin en önemli dönüşüm süreçlerinden birini yaşamaktadır. Geleneksel üretim anlayışının yerini giderek daha fazla veri odaklı, teknoloji destekli ve sürdürülebilir üretim sistemleri almaktadır. Bu dönüşüm yalnızca üretim tekniklerinde değil, tarımsal yönetim anlayışında, tedarik zincirlerinde ve kırsal kalkınma politikalarında da köklü değişiklikleri beraberinde getirmektedir (OECD, 2022).

Bu bölümde ele alınan bulgular, geleceğin tarımının yalnızca daha fazla üretim yapmayı hedefleyen bir sistem olmayacağını; aynı zamanda doğal kaynakları koruyan, iklim değişikliğine uyum sağlayabilen, çevresel etkileri azaltan ve ekonomik açıdan sürdürülebilir üretim modellerine dayanacağını göstermektedir. Tarım 4.0 yaklaşımı, hassas tarım uygulamaları, yapay zekâ, nesnelerin interneti, büyük veri analitiği, uzaktan algılama teknolojileri, insansız hava araçları ve robotik sistemler bu dönüşümün temel bileşenleri olarak öne çıkmaktadır. Bu teknolojiler sayesinde üretim süreçleri gerçek zamanlı olarak izlenebilmekte, kaynak kullanımı optimize edilmekte ve üretim kararları bilimsel verilere dayandırılmaktadır. Böylece hem verimlilik artmakta hem de su, enerji, gübre ve bitki koruma ürünlerinin daha etkin kullanılması mümkün hâle gelmektedir.

Literatürde yer alan çalışmalar, dijital tarım teknolojilerinin üretim maliyetlerini azaltabildiğini, kaynak kullanım verimliliğini artırabildiğini ve çevresel etkileri sınırlayabildiğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, bu olumlu etkilerin her üretim sistemi ve her ülke için aynı düzeyde gerçekleştiğini söylemek mümkün değildir. Teknolojilerin benimsenme düzeyi; işletme ölçeği, sermaye yapısı, eğitim düzeyi, dijital altyapı, internet erişimi, teknik destek hizmetleri ve kamu politikaları gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Özellikle küçük aile işletmelerinin hâkim olduğu ülkelerde yüksek yatırım maliyetleri, finansmana erişim güçlükleri ve teknik bilgi eksikliği dijital dönüşümün önündeki temel engeller arasında yer almaktadır. Bu nedenle teknolojik gelişmelerin tek başına tarımsal dönüşümü sağlamayacağı, uygun kurumsal yapı ve destek mekanizmalarıyla birlikte değerlendirilmesi gerektiği anlaşılmaktadır.

Türkiye açısından değerlendirildiğinde, ülkenin sahip olduğu agroekolojik çeşitlilik, genç teknoloji girişimcileri, gelişen tarım makineleri sanayisi ve artan dijital altyapı yatırımları önemli fırsatlar sunmaktadır. Buna karşın tarım işletmelerinin parçalı arazi yapısı, üretici yaş ortalamasının yükselmesi, teknoloji kullanımındaki bölgesel farklılıklar ve kırsal alanlarda dijital altyapının yeterince gelişmemiş olması, dönüşüm sürecini yavaşlatan temel yapısal sorunlar olarak dikkat çekmektedir. Bu nedenle gelecekte uygulanacak tarım politikalarının yalnızca makine ve teknoloji yatırımlarını teşvik etmekle sınırlı kalmaması; çiftçi eğitimini, dijital okuryazarlığı, veri yönetimini, teknik danışmanlık hizmetlerini ve üretici örgütlenmesini de kapsayan bütüncül bir yaklaşımla planlanması gerekmektedir.

Diğer taraftan dijitalleşmenin beraberinde getirdiği veri güvenliği, siber güvenlik, kişisel ve kurumsal verilerin korunması, teknolojik bağımlılık ve dijital eşitsizlik gibi yeni tartışma alanları da göz ardı edilmemelidir. Tarımsal üretimde büyük miktarda verinin toplanması ve işlenmesi, bu verilerin kim tarafından kullanılacağı, nasıl paylaşılacağı ve hangi etik ilkeler çerçevesinde yönetileceği konularını gündeme getirmektedir. Gelecekte dijital tarımın yaygınlaşmasıyla birlikte bu alanlarda ulusal ve uluslararası düzenlemelerin geliştirilmesi önem kazanacaktır.

İklim değişikliğiyle mücadele kapsamında tarım sektörünün üstleneceği rol de giderek daha kritik hâle gelmektedir. Tarımsal faaliyetler bir yandan sera gazı emisyonlarının belirli bir bölümünden sorumlu olurken diğer yandan iklim değişikliğinin etkilerine en açık sektörlerden biridir. Bu nedenle karbon emisyonunu azaltan üretim teknikleri, koruyucu toprak işleme, yenilenebilir enerji kullanımı, karbon yutak alanlarının korunması ve iklim dostu tarım uygulamaları geleceğin tarım politikalarının temel bileşenleri olacaktır. Dijital teknolojiler, bu hedeflere ulaşılmasında önemli bir araç olmakla birlikte, sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi için çevresel, ekonomik ve sosyal boyutların birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak geleceğin tarımı; teknoloji, çevre ve insan odaklı bir dönüşüm sürecini ifade etmektedir. Yapay zekâ, robotik sistemler, hassas tarım uygulamaları ve dijital karar destek mekanizmaları, tarımsal üretimin daha verimli ve sürdürülebilir hâle gelmesinde önemli katkılar sağlayacaktır. Ancak bu dönüşümün başarısı yalnızca teknolojik yeniliklere değil; güçlü eğitim sistemlerine, etkin kamu politikalarına, araştırma-geliştirme yatırımlarına, üniversite-sanayi-kamu iş birliklerine ve çiftçilerin bu teknolojileri benimseme düzeyine bağlıdır. Gelecekte rekabet gücü yüksek bir tarım sektörünün oluşturulabilmesi için teknoloji yatırımlarının sosyal kapsayıcılık, çevresel sürdürülebilirlik ve ekonomik uygulanabilirlik ilkeleriyle birlikte ele alınması gerekmektedir.

Bu değerlendirmeler ışığında, geleceğin tarımının yalnızca yeni teknolojilerin kullanıldığı bir üretim modeli değil; aynı zamanda doğal kaynakların korunduğu, iklim değişikliğine uyum sağlayan, veri temelli yönetilen ve toplumsal refahı destekleyen bütüncül bir kalkınma yaklaşımı olduğu söylenebilir. Bu nedenle politika yapıcılar, araştırmacılar, özel sektör ve üreticiler arasında güçlü iş birliklerinin geliştirilmesi, dijital dönüşümün kapsayıcı biçimde yaygınlaştırılması ve bilimsel bilgiye dayalı karar alma süreçlerinin güçlendirilmesi, sürdürülebilir tarım sistemlerinin oluşturulmasında belirleyici olacaktır.

REFERANSLAR

- Bertoglio, R., Corbo, C., Renga, F. M., & Matteucci, M. (2021). The digital agricultural revolution: A bibliometric analysis literature review. *IEEE Access*, 9, 134245–134269.
- Ceccarelli, T., Chauhan, A., Rambaldi, G., Kumar, I., Cappello, C., Janssen, S., & McCampbell, M. (2022). Leveraging automation and digitalization for precision agriculture: Evidence from the case studies. *FAO Agricultural Development Economics Technical Study No. 24*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Daum, T. (2022). Digital agriculture and rural development: A review of challenges and opportunities. *Journal of International Development*, 34(2), 221–239.
- Dayıoğlu, M., & Türker, U. (2021). Digital transformation for sustainable future-agriculture 4.0: A review. *Journal of agricultural sciences*, 27(4).
- Ertekin, C., Akman, H. E., & Boyar, İ. (2021). Türkiye’de tarımsal mekanizasyona bir bakış. *Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 31(3), 786-798.
- FAO. (2022). Food and Agriculture Organization of the United Nations. The State of Food and Agriculture 2022: Leveraging automation in agriculture for transforming agrifood systems. Rome: FAO.
- FAO. (2022-a). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Economics of adoption for digital automated technologies in agriculture. *FAO Agricultural Development Economics Working Paper No. 22-10*.
- FAO. (2022-b). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Agricultural digitalization and automation in low- and middle-income countries: Evidence from ten case studies. *FAO Agricultural Development Economics Technical Study No. 25*.
- IPCC. (2023). Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change: Synthesis Report*. Geneva.
- Lowenberg-DeBoer, J., & Erickson, B. (2019). Setting the record straight on precision agriculture adoption. *Agronomy Journal*, 111(4), 1552–1569.
- Lowenberg-DeBoer, J., Behrendt, K., Ehlers, M. H., Dillon, C., Gabriel, A., Huang, I. Y., ... & Rose, D. (2022). Lessons to be learned in adoption of autonomous equipment for field crops. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 44(2), 848-864.
- McFadden, J. Casalini, F., Griffin, T., & Anton, J. (2022), “The digitalisation of agriculture: A literature review and emerging policy issues”, *OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers*, No.176, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/285cc27d-en>.
- OECD. (2019). Organisation for Economic Co-operation and Development. The digital transformation of the agriculture and food system. OECD Publishing.
- OECD. (2022). Organisation for Economic Co-operation and Development. Policies to bolster trust in agricultural digitalisation. *OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers*, No. 175.
- OECD. (2023). Organisation for Economic Co-operation and Development. Agricultural Policy Monitoring and Evaluation 2023. OECD Publishing.
- Tarım ve Orman Bakanlığı. (2024). Tarımsal Mekanizasyon ve Tarım Teknolojileri Raporu. Ankara: Tarım ve Orman Bakanlığı.

- TUİK. (2024). Türk İstatistik Kurumu. Bitkisel Üretim İstatistikleri. Ankara.
- United Nations. (2022). Birleşmiş Milletler. (World Population Prospects 2022: Summary of Results. United Nations Department of Economic and Social Affairs.
- World Bank. (2023). Harvesting Prosperity: Technology and Productivity Growth in Agriculture. Washington, DC: World Bank.
- Zhang, N., Wang, M., & Wang, N. (2002). Precision agriculture—A worldwide overview. *Computers and Electronics in Agriculture*, 36(2–3), 113–132.

Domateste Hıyar Mozaik Hastalığı

Serkan YEŞİL^{1*}

¹ Bitki Koruma Bölümü, Selçuk Üniversitesi, Türkiye (ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5033-0452>)
^{*}(serkanyesil@selcuk.edu.tr)

ÖZET

Kültür bitkilerinin yetiştiriciliğinde verim ve kaliteyi olumsuz anlamda etkileyen çok sayıda canlı ve cansız etmen sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Paraziter özelliğe sahip canlı hastalık etmenleri arasında bitki virüs hastalıklarının ayrı bir önemi vardır. Domates (*Solanum lycopersicum* L.) bitkisi, dünyada olduğu gibi, Türkiye’de de en fazla yetiştiriciliği yapılan sebzelerin başında gelmektedir. Türkiye’nin hemen hemen her yerinde, sera veya tarla koşullarında domates yetiştiriciliği yapılabilmektedir. Domates yetiştiriciliği sürecinde de virüs hastalıklarının enfeksiyonları sebebiyle domates meyvesinin verim ve kalitesinde ekonomik anlamda zararlar ortaya çıkmaktadır. Söz konusu kültür bitkisinde yaygın olarak görülen virüs hastalıklarından bir tanesi de hıyar mozaik hastalığıdır. Hıyar mozaik virüsü (*Cucumber mosaic virus*, CMV)’nün neden olduğu bu hastalık, dünya çapında domates üretimini etkileyen yaygın bir viral hastalıktır. Hastalık mekanik yolla, enfekteli bitki artıkları ve bazı domates çeşitlerinde tohumla kolayca yayılmaktadır. Fakat bu hastalığın bitkiden bitkiye bulaşmasını sağlayan en önemli etken yaprak biti türleridir. Yaygın hastalık belirtileri ise; mozaik desenleri, yaprak deformasyonları, bodurlaşma ve meyve nekrozları şeklinde ortaya çıkar. Etkin kontrol; sağlıklı tohum kullanımı, iyi hijyen uygulamaları, dayanıklı çeşitlerin kullanımı ve özellikle de olası yaprak biti vektör türleri ile etkin bir mücadele yapılması ile sağlanır. Hazırlanan bu derleme makalede, CMV’nin virüs sistematikteki yeri, genom yapısı, dünyadaki yayılışı, konukçuları ve mücadele yöntemleri hakkında bilgiler derlenmiştir.

Anahtar Kelimeler – CMV, Cucumovirus, Domates, Hastalık, Mozaik,

GİRİŞ

Domates (*Solanum lycopersicum* L.), FAO 2023 verilerine göre, yıllık yaklaşık 116 milyar Amerikan dolarlık ticari değeri ve 192 milyon ton üretimi ile dünya genelinde en fazla ekonomik öneme sahip sebzelerden bir tanesidir [5]. Bu bitki, tropik ve göreceli olarak daha ılıman iklim koşullarına sahip ülkelerde çok yıllık bir bitki gibi yetiştirilirken, karasal iklime sahip ülkelerde ise tek yıllık bir kültür bitkisi olarak yetiştirilmektedir. Özellikle meyvelerinin; karotenoidler, organik asitler (sitrik asit ve malik asit), lipitler, %93-95 su, alkolde çözünemeyen katı maddeler (proteinler, pektin, selüloz, polisakkaritler), %5-7 oranında da inorganik bileşikleri içerdiği bilinmektedir [1,] [2]. Domates zengin bir mineral, esansiyel aminoasit, vitamin, besin lifi ve organik asit kaynağıdır. Bunun yanında, C, A vitaminlerince zengin olup, fosfor, demir ve potasyum gibi minerallere de sahiptir. Yine, iyi bir lif kaynağı olan domates meyveleri, kolesterol içermezler, kalori ve yağ oranları da düşüktür [3]. Dünya genelinde yetiştiriciliği en fazla yapılan, dolayısıyla en çok üretilen bitkisel ürünlerin

başında gelen domates, insan beslenmesi amaçlı gıda sanayisinde hem direkt taze olarak insanlar tarafından tüketilmesi ile hem de işlenerek, kurutularak veya dondurularak, salça, ketçap, konserve ve turşu gibi ürünlerin insan tüketimine sunulması ile yüksek ekonomik değere sahip bitkisel ürünlerin başında gelmektedir [4]. 2023 yılı FAO verilerine göre dünya domates üretimi 192.317.973 ton, Türkiye üretimi ise 13.300.000 ton olarak bildirilmektedir. Bu üretim miktarıyla ülkemiz dünyada 4. sırada yer almaktadır [5]. Domates yetiştiriciliğinde çok sayıda hastalık etmeni sorun olmaktadır, bunlar arasında özellikle bazı virüs hastalıkları yetiştiricilik süreçlerinde verim ve kaliteyi ciddi anlamda sıkıntıya sokacak boyutta zarar meydana getirebilmektedir [6]. Dünya genelinde virüs hastalıkları sebebiyle bitkisel üretimde ortaya çıkan ekonomik zararın hesaplanması oldukça güçtür; fakat kabaca bir tahmin yapmak gerekirse bunun yıllık 30-50 milyar ABD doları arasında olduğu düşünülebilir [7]. Domates yetiştiriciliğinde sorun olan virüs hastalıklarının verim ve kalitede ortaya koyacağı kayıplar, genellikle virüs türüne, domates çeşidine ve yetiştirilen bölgenin çevre koşullarına bağlı olarak oldukça değişkenlik göstermektedir. Domates bitkisinde 300'den fazla sayıda virüs türünün enfeksiyon oluşturabileceği bildirilmektedir [8], [9].

Hastalık gelişiminin belirli aşamalarındaki belirtilere bakarak, arazide CMV'nin neden olduğu viral hastalıkları teşhis etmek güç olabilir. Bazı durumlarda, hastalıktan sorumlu viral etmenin belirlenmesinde belirtilerin belirleyiciliği sınırlıdır. Virüslerin moleküler ve serolojik teknikler kullanılarak teşhis edilmesi daha doğru, güvenilir, zaman ve maliyet açısından daha verimli olmaktadır. Arazide 60'tan fazla yaprak biti türü tarafından hızla yayılması nedeniyle CMV yıkıcı bir etkiye sahiptir ve meyve, sebze ile süs bitkilerinde önemli kayıplara yol açmaktadır [10].

Hıyar mozaik virüsü hastalığı, çeşitli kültür bitkilerinin ekonomik boyutlarda yetiştiriciliğinde ciddi düzeylerde baskılayıcı bir etkiye sahiptir. Ayrıca, geçimleri bitkisel üretime bağlı olan çiftçileri de yıkıma uğratabilmektedir. Hastalık yetiştirme alanına bir kez bulaştığında, eradike edilmesi ve mücadele edilmesi oldukça zordur. Hastalık, monokültür yetiştirilen alanlarda daha şiddetli seyretmektedir. Vektör aracılığıyla taşınan bu hastalıkta CMV, 60'tan fazla yaprak biti türü tarafından bulaştırılabilmektedir. Gallitelli [11], yapılan çeşitli çalışmalar sonucunda hıyar mozaik virüsünün birkaç yaprak biti türü tarafından taşınabildiğinin ve 85 familyanın 365 cinsine ait 1000'den fazla farklı bitki türünü enfekte ettiğinin bilindiği sonucuna varmıştır. Böylesine geniş bir konukçu yelpazesi, enfeksiyon için yıl boyunca viral inokulum sağlayabilmektedir. Birçok kültür bitkisinde henüz geliştirilmiş veya ticari olarak temin edilebilen dayanıklı bir çeşit bulunmamaktadır; CMV'nin geniş bir konukçu yelpazesine sahip olması ve birçok yaprak biti türünün CMV virüsünü etkili bir şekilde bulaştırabilmesi nedeniyle uygulanan kontrol önlemleri oldukça yetersiz kalabilmektedir.

HIYAR MOZAİK VİRÜSÜ HAKKINDA GENEL BİLGİLER

A. Tarihçesi

Hıyar mozaik virüsü (CMV), ilk olarak Michigan'da Doolittle [12] ve New York'ta Jagger [13] tarafından kabakgillerin bir hastalığı olarak tanımlanmıştır. Türkiye'de CMV ile ilgili domatestede Göbelez [14]; Karaca [15]; Özalp [16], [17]; Yılmaz ve Davis [18]; Nogay [19]; Güldür ve Yılmaz [20]; Özgöz ve ark. [21]; Yılmaz ve ark. [22] tarafından ilk tespitler yapılmıştır. Virüs çok sayıda indikatör bitki türünü enfekte edebilmektedir ve doğal olarak enfekte olmuş 500'den fazla türden izole edilmiştir. 1930'larda, fenotipleri veya konukçu dizilimleri (suşları) farklılık gösteren CMV izolatlarını ayırt etmek amacıyla çapraz koruma yöntemi kullanılmıştır. CMV, 1960'ların ortalarına kadar güvenilir bir şekilde saflaştırılamamıştır. Daha sonraları, CMV'nin iki ana alt grubunu tespit etmek ve ayırt etmek için seroloji ve hibridizasyon teknolojisi kullanılmıştır. Her bir CMV alt grubuna ait birer suşun nükleotit dizilimi ve genom organizasyonu 1984 ile 1990 yılları arasında belirlenirken, çeşitli CMV suşlarının biyolojik olarak aktif cDNA klonları 1990'ların başında geliştirilmiştir. Her bir protein aynı zamanda diğer konukçu-virüs ilişkilerinde de rol oynamasına rağmen, kodlanan beş proteinin her birinin temel işlevleri tanımlanmıştır [23].

B. Sistematikteki Yeri

Hıyar mozaik virüsü izolatları; belirtiler, konukçu yelpazesi, bulaşma, seroloji, fizikokimyasal özellikler ve genomik RNA'ların nükleotit dizilimi açısından farklılık göstermektedir. CMV izolatları; serolojik tipleme, kılıf proteininin (CP) peptit haritalaması ve genomik RNA'larının dizi benzerliği temel alınarak iki ana alt gruba (Alt Grup I ve Alt Grup II) sınıflandırılabilir. Karşılaştırılan RNA segmentine ve izolat çiftine bağlı olarak, bu alt grupların her birine ait izolat çiftleri arasındaki nükleotit diziliminde %69 ila %77 arasında özdeşlik gözlemlenmiş olup, farklılığın en yüksek olduğu segment RNA2'dir. Bir alt grup içindeki izolatlar arasındaki nükleotit dizilimi özdeşliği Alt Grup I için %88'in ve Alt Grup II için %96'nın üzerindedir; bu durum Alt Grup I'in daha yüksek bir heterojeniteye sahip olduğunu göstermektedir. Daha önce çok sayıda CMV suşunun biyolojik, serolojik ve nükleotit dizilimi homolojisi belgelenmiş ve bu suşlar I ve II olmak üzere iki alt gruba ayrılmıştır [24], [25]. Alt Grup I, RNA 3'un translasyona uğramayan 5' bölgesi ve Kılıf Proteini (CP) genine dayalı olarak kendi içinde IA ve IB olarak ikiye ayrılmıştır. Sıcak iklimlerde alt grup I izolatları daha sık görülmektedir. Alt grup II'nin de neden olduğu belirtilerin şiddeti daha azdır. Ancak IA ve II alt gruplarına ait izolatlar tüm dünyada yaygın olmasına karşın IB alt grubundaki izolatlar genellikle Asya kıtasında yoğunlaşmıştır [26], [27].

C. Dünyadaki Yayılışı

Hıyar mozaik virüsü hem ılıman hem de tropikal bölgelerde çeşitli kültür bitkisi ve yabancı ot türlerini enfekte ettiği bildirilen, dünya çapında yaygın görülen viral hastalıklardan biridir. Dünyada en önemli ilk 10 bitki virüsü arasında dördüncü sırada CMV yer almaktadır ve bitkisel üretimde büyük ekonomik kayıplara neden olur [28]. CMV'nin uydu RNA'lar ile ilişkili/ilişkisiz olarak geçmiş yıllarda ABD, İtalya, İspanya ve Çin'de domates alanlarında salgına neden olduğu ve %100'e varan verim kayıpları ortaya çıkardığı bilinmektedir [29], [30], [31]. CMV'nin biberde, pazarlanabilir meyve sayısında ve meyve ağırlığında azalış gibi etkileri sonucunda, %80'e kadar verim kaybına yol açabildiği bilinmektedir [27].

Domates yetiştiriciliğinde, CMV'nin çeşitli oranlarda enfeksiyonları, Türkiye'nin ve dünyanın birçok yerinde farklı araştırmacılar tarafından saptanmıştır. Domateste CMV'nin Nogay [19], Trakya'da %7,8; Güldür ve Yılmaz [20], Şanlıurfa'da %11,5; Sikora ve ark. [31], ABD'de %70 (en yaygın); Mijatović ve ark. [32], Sırbistan'da açık alanda %27, örtü altında %19; Moussa ve ark. [33], Tunus'ta %8-23; Yardımcı ve Kılıç [34], Isparta'da %31,8; Arlı-Sökmen ve Şevik [35], Samsun'da %6,9; Yardımcı ve Eryiğit [36], Kuzeybatı Akdeniz Bölgesi'nde %38,4; Değirmenci ve Uzunoğulları [37], Bursa, Bilecik, Sakarya, Tekirdağ illerinin genelinde %9-68,7; Kaya ve ark. [38], Muğla'da %2,5; Massumi ve ark. [39], İran'da %23,4; Soler ve ark. [40], İspanya'da %8,5; Hajiabadi ve ark. [41], İran'da %5,7; Kim ve ark. [42], Kore'de %9; Ayo-John ve Odedara [43], Nijerya'da %5,2; Sertkaya ve Yılmaz [44], Hatay'da %3,7; Nikolić ve ark. [45], Sırbistan'da %42,1 (en yaygın); Desbiez ve ark. [46], Azerbaycan'da %32-72 (en yaygın); Liu ve ark. [47], Çin'de %13 (en yaygın); Desbiez ve ark. [48], Fransa'da %6-7 oranında enfeksiyon yaptığını bildirmişlerdir.

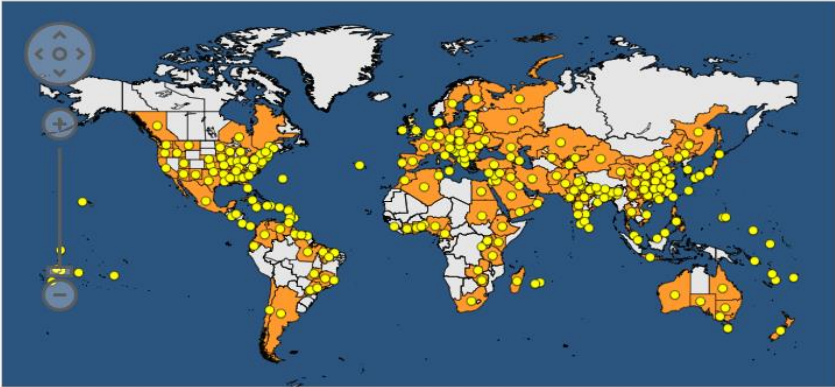
İzolaların çoğunun Alt Grup I'e ait olması nedeniyle en yaygın olanı Alt Grup I'dir. Alt Grup II izolatlarına ise ılıman bölgelerin daha serin alanlarında veya mevsimlerinde daha sık rastlanmaktadır. Bu durum, bu özellik açısından karakterize edilmiş az sayıdaki izolat için gösterildiği üzere, bitki bünyesindeki virüs birikimi için daha düşük optimum sıcaklık değerleriyle ilişkilendirilmiştir. Alt Grup IB'deki izolatların çoğu, bu alt grubun kökeni olduğu varsayılan Doğu Asya'dan bildirilmiştir. Kosta Rika'da CMV Alt Grup I'in baskın olduğu bulunmuştur. CMV Alt Grup II Atlantik bölgesinde tespit edilmiştir. Alt Grup IB izolatları ayrıca Akdeniz bölgesi, Kaliforniya, Brezilya ve Avustralya gibi diğer alanlardan da bildirilmiştir. Akdeniz'de tespit edilenlerin yakın zamanda Doğu Asya'dan taşınmış olabileceği düşünülmektedir [49], [50].

D. Konukçuları

Bu virüs, kültür bitkilerinin yanı sıra yabancı ot türlerinin de büyük bir kısmını enfekte ettiği bilindiğinden oldukça geniş bir konukçu yelpazesine sahiptir. CMV'nin tüm izolatlarının ortak konukçu yelpazesi, 100'den fazla familyaya ait 500'den fazla cinsten 1300'ü aşkın türü kapsamakta olup, her yıl yeni konukçular rapor edilmektedir [49] ve bu durum onu bilinen tüm virüsler arasında en geniş konukçu yelpazesine sahip virüs yapmaktadır [51].

Yüksek mutasyon oranından dolayı, yeni tanımlanan bazı suşlar CMV'nin yeni konukçularını enfekte ederken, pek çok tipik konukçuyu enfekte etme yeteneklerini kaybetmiştir. Bu durum, enfeksiyon kısıtlamalarının üstesinden gelmek ve yeni konukçulara adapte olmak için geliştirilen bir strateji olabilir. CMV, kültür bitkilerinin (sebzeler, meyveler ve süs bitkileri) büyük bir kısmını ve ayrıca çeşitli yabancı ot türlerini enfekte edebilmektedir. Bu yabancı ot türleri virüs için rezervuar görevi görebileceği gibi, böcek vektörleri için barınak da sağlayabilmektedir [23].

CMV enfeksiyonunun reaksiyonunu incelemek için kullanılan farklı indikatör (test) bitkileri arasında; tümü CMV'nin sistemik konukçuları olan hıyar (*Cucumis sativus*), domates (*Solanum lycopersicum*) ve tütün (*Nicotiana tabacum*) ile birlikte, simptomların yalnızca inoküle edilen yaprakla sınırlı kaldığı gözlemlenen börülce (*Vigna unguiculata*) ve *Chenopodium quinoa* yer almaktadır; bununla birlikte bazı baklagil suşlarının bitkiyi sistemik olarak enfekte ettiği bildirilmiştir. CMV izolatlarının çoğunun; sakız kabağı (*Cucurbita pepo*), tütün, *N. clevelandii* veya *N. glutinosa*, ve muz (*Musa spp.*) gibi pek çok konukçuda çoğaltılabildiği bildirilmiştir [23].



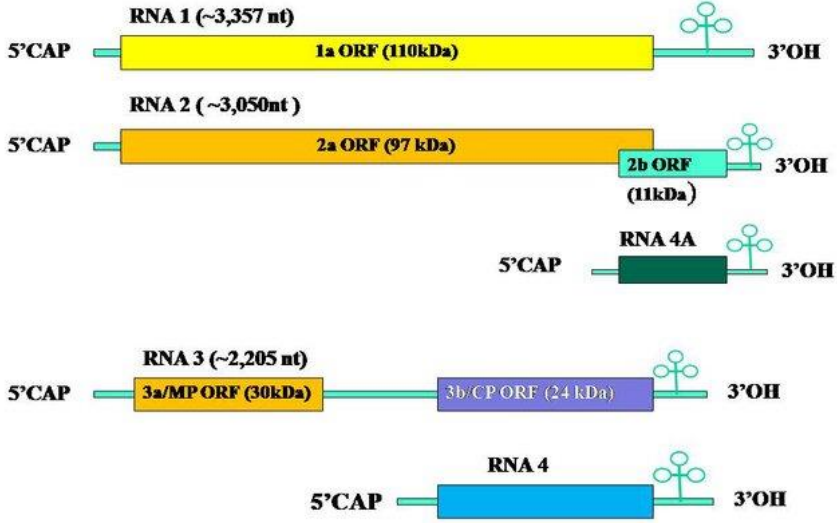
Şekil 1. Hıyar mozaik virüsü enfeksiyonlarının tespit edildiği ülkeler [69]

E. Virüs Yapısı ve Genom Organizasyonu

Bu virüsün çeşitli kültür bitkisi ve yabancı ot türlerini enfekte ettiği bilinmektedir. Bu nedenle, CMV'nin partikül boyutu da konukçu bitkiye göre değişiklik göstermektedir. Farklı konukçularında CMV üzerine yapılan çalışmalara göre CMV; biberde (*Capsicum*) 28 nm'den, sert çekirdekli meyvelerde (*Prunus*) 35 nm'ye kadar değişen izometrik çekirdekli bir partikül boyutuna sahiptir. CMV, üç adet pozitif polariteli RNA'ya (RNA1, RNA2 ve RNA3) ve RNA3'ten üretilen dördüncü bir alt genomik RNA'ya (RNA4) sahip, çok bileşenli, tek iplikli bir virüstür [52], [53]. Buna karşılık, RNA 3a, 3a hareket proteinini (MP) [54], RNA 4, 3b kılıf proteinini (CP) [52] ve RNA 1 ile RNA 2 ise virüs replikasyonunda görev alan 1a ve 2a proteinlerini kodlamaktadır [55]. Yaklaşık %18 oranında RNA içeren virüsün toplam genom boyutu 8.621 kb olup üç parçaya ayrılmıştır. En büyük parça 3.389 kb, ikincisi 3.035 kb ve üçüncüsü ise 2.197 kb uzunluğundadır. RNA'nın, izometrik partikülleri oluşturan tek bir yapısal proteinin 32 kopyasından meydana gelen bir protein kılıfı ile çevrili olduğu bulunmuştur. Hıyarda şiddetli mozaik symptomlarına neden olan bir CMV izolatının tüm genomunun dizilenmesi ve diğer 21 CMV izolatı ile yapılan filogenetik analizi, bu izolatı Alt Grup II suşları içerisinde sınıflandırmıştır. Genom; RNA 1 (3.379 nükleotit), RNA 2 (3.038 nükleotit) ve RNA 3'ten (2.206 nükleotit) oluşmakta olup, RNA1 ve RNA2'nin Japon izolatı ile yakından ilişkili olduğu, RNA3'ün ise bir Amerikan izolatı ile kümelendiği bildirilmiştir [56].

111 kDa ağırlığındaki 1a proteini RNA1 tarafından kodlanırken; RNA2'nin 3' ucu ile eş sonlu (co-terminal) olan alt genomik RNA 4A'dan translasyona uğrayan 13-15 kDa ağırlığındaki 2b proteini ise RNA2 tarafından kodlanmaktadır. Öte yandan, RNA1, 98 kDa ağırlığındaki 2a proteinini kodlamaktadır. a+1 okuma çerçevesinde yer almasına rağmen, 2b ve 2a proteinlerini eksprese eden ORF'ler (Açık Okuma Çerçeveleri) örtüşmektedir. RNA3'ün 3' ucu ile eş sonlu olan bir RNA4'ten eksprese edilen 25 kDa ağırlığındaki 3b proteini ve 30 kDa ağırlığındaki 3a proteininin her ikisi de RNA3 tarafından kodlanmaktadır. Üç genomik ve alt genomik RNA'nın tümü, çeşitli psödodüğüm ve tRNA benzeri bir yapı oluşturan, yüksek oranda korunmuş 224-338 nt uzunluğunda 3' translasyona uğramayan bölgelere (non-translated regions - UTR) sahiptir. RNA3 ile karşılaştırıldığında, RNA1 ve RNA2'nin 5' translasyona uğramayan bölümlerinin kendi aralarındaki dizi korunumu daha yüksektir. Buna ek olarak CMV, RNA1 ve RNA2'nin 3' translasyona uğramayan bölümleriyle eş sonlu olan ve işlevi henüz tanımlanmamış bir RNA5 üretmektedir. Yalnızca Sınıf II suşlarında RNA4A ve RNA5 enkapside edilmektedir. Ayrıca düşük miktarlarda tRNA'lar da CMV partikülleri tarafından enkapside edilmiştir; bunlar literatürde CMV RNA6 olarak tanımlanmıştır

[49]. Belirli CMV suşları, CMV RNA3'ten üretilen hatalı (defektif) RNA'ları enkapside etme yeteneğine sahiptir, ancak bu durum nadiren belgelenmiştir.



Şekil 2. Hıyar mozaik virüsünün genel olarak genom organizasyon grafiği [70]

F. Bitki İçinde ve Bitkiden Bitkiye Taşınması

Hücreden hücreye hareket, virüsün yaşam döngüsündeki enfeksiyonun en önemli aşamasıdır. Virüsün kısa mesafeli hücreden hücreye hareketi plazmodezmata (hücreler arası bağlantılar) aracılığıyla gerçekleşmektedir [57], [58]. Virüs genomu, enfeksiyon için gerekli olan ve hareket proteini (movement protein) olarak adlandırılan temel bir proteini kodlamaktadır [59]. Viral proteinin Tütün mozaik virüsünün (TMV) 30 kDa ağırlığındaki hareket proteini (MP) ile olan dizi homolojisine dayanarak, 3a viral proteini hareket proteini olarak işlev görmektedir. Şu ana kadar, hücreler arası hareketlilikte rol oynadığı gösterilmiş spesifik bir bitki proteini bulunmamaktadır. Görünüşe göre CMV; mezofil hücrelerinden geçip vasküler hücelere (iletim dokusu hücrelerine) ulaşarak, epidermal hücrelerin hem içinde hem de kendi aralarında hareket etmektedir. Virüs, 2b proteininin yokluğunda tercihen mezofil hücrelerine ve bu hücrelerin arasına yöneldiği için, 2b proteini virüsün hareket (göç) seyrini de etkilemektedir. Tüm bu hücre tipleri virüsün çoğalmasına izin verirken, vasküler dokunun kalburlu boru elemanları buna izin vermez. Kapsit proteini ve RNA'ların komşu vasküler hücrelerden taşınmasının bir sonucu olarak, kalburlu boru elemanlarının içerisinde virion birleşmesi (virion assembly) gerçekleşebilir. Tümü olmamakla birlikte belirli türlerde, sistemik enfeksiyon için virion birleşmesi gereklidir [49].

Aralarında domates ve biberinde olduğu bazı bitkilerde CMV'nin tohumla taşınabildiği ve domateste mekanik olarak bulaşabildiği bilinmektedir. Birçok bitki türünde, etkililik oranı %1'in altından %50'ye kadar değişen oranlarda CMV'nin tohumla taşınma durumları bildirilmiştir. Polene ek olarak virüsler; embriyo, endosperm ve tohum zarlarında (seminal integument) bulunabilmektedir. Tohumla taşınma etkinliği, RNA1 ve potansiyel olarak 1a proteini tarafından etkilenmektedir. Yaprak bitleri, CMV'nin yatay taşınmasında *non-persistent* (kalıcı olmayan) vektör olarak görev yapmaktadır. CMV'yi yaydığı bilinen yaklaşık 80 yaprak biti türü mevcuttur; en etkili ve üzerinde en çok araştırma yapılan iki vektör *Aphis gossypii* ve *Myzus persicae*'dir. Viral izolat ile yaprak biti türünün spesifik kombinasyonunun yanı sıra kaynak yapraktaki partikül birikimi, taşınma etkinliğini belirlemektedir [23], [49].

Bitkilerin uçucu madde profillerindeki değişiklikler vektör davranışını değiştirebilmektedir. Örneğin, hıyar mozaik virüsü (CMV), doğal konukçusu olan kabakta dinamik uçucu madde değişimlerine neden olmuş ve bu durum, konukçunun *Aphis gossypii* için daha çekici hale gelmesiyle sonuçlanmıştır [60]. CMV enfeksiyonu aynı zamanda, yaprak biti vektörü *M. persicae*'nin konukçu *Arabidopsis thaliana*'ya yönelik çekiliminin (yöneliminin) artmasıyla sonuçlanmıştır. Transgenik *A. thaliana*'da 2b proteinini eksprese eden konukçu RNAi'sinin viral baskılayıcısı, kokuya bağlı yaprak biti yönelimini teşvik edebilmektedir [61].

Non-persistent bitki virüsleri; böcek vektörlerinin beslenme davranışını, tercihini veya biyolojik uyumunu değiştirmek amacıyla bitki savunma tepkilerini de etkileyebilmektedir. Örneğin, CMV ile enfekte olmuş tütün bitkileri, artan düzeyde reaktif oksijen türleri (ROS) üretmiş ve dokularında savunma sinyalizasyonunu başlatarak yaprak bitinin beslenme davranışını değiştirmiş, böylece virüs tutulumunu ve taşınmasını artırmıştır [62].

CMV enfeksiyonu ayrıca bitkileri (*Nicotiana benthamiana* ve *Arabidopsis thaliana*) yaprak bitleri için çekici olmayan ve nahoş bir hale getirerek yaprak bitlerinin yayılmasını hızlandırmıştır [63], [64]. CMV enfeksiyonu, *Arabidopsis* bitkilerinde yaprak biti doğurganlığını sınırlamak ve kanatlı yaprak bitlerinin oluşumunu indüklemek amacıyla ROS ile bağlantılı olan bitki SA (salisilik asit) sinyalizasyonunu artırmaktadır; bunun bir sonucu olarak virüsün yayılımı gelişmektedir [65].

G. Belirtileri

Hıyar mozaik virüsü; mozaik, yaprak deformasyonu, beneklenme, damar klorozu ve bodurlaşma gibi karmaşık belirtiler sergileyerek bitki canlılığında ve veriminde önemli bir kayba neden olmaktadır [66]. Çeşit, enfeksiyon

sırasındaki bitki yaşı, sıcaklık ve viral suş belirtileri etkileyebilmektedir. Yaprak sararması tipik belirtilerden biri olup, büyüme noktasını ciddi şekilde kurutacak kadar ilerleyebilir ve nihayetinde bitki ölümüyle sonuçlanabilir. Daralma (büzülme), damar deformasyonu ile birlikte kırışma ve yaprakların içe doğru kıvrılması, yapraklardaki klorotik beneklenmenin diğer simptomlarıdır [67]. Ayrıca bu virüs hemen hemen her konukçusunda dikkate değer düzeyde gelişme gerilikleri ve hatta bodurlaşmaya sebep olmaktadır. CMV izolatı, *Nicotiana* spp. ve *Cucumis* spp. üzerinde şiddetli mozaik simptomları göstermiştir. İzolat, domateste yaprak deformasyonuna ve hafif filiform (ipliksi) tipte belirtilere yol açmıştır [56]. Erken dönemde CMV ile enfekte olan bitkilerin büyümesi ciddi şekilde baskılanarak, yapraklardaki sararma ve şekil bozuklukları nedeniyle düşük kaliteli meyveler pazarlanamaz hale gelmektedir [68].



Şekil 3. Hıyar mozaik virüsünün domates bitkisindeki belirtileri. a) Yaprakçıklarda kloroz ve şekil bozuklukları; b) Yapraklarda şiddetli şekil bozuklukları, iplik yapraklılık belirtisi; c) Meyvelerde renk kırılmaları ve şiddetli şekil bozuklukları; d) Hassas çeşitlerde bitki saplarında nekrotik belirtiler [71]

H. Hastalıkla Mücadele

Dayanıklı çeşitlerin yetiştirilmesi CMV'nin kontrol altına alınmasına yardımcı olabilir; ancak birçok kültür bitkisi türü, geniş bir CMV suşu yelpazesine karşı dayanıklılıktan yoksundur. Virüs *non-persistent* (kalıcı olmayan) bir şekilde yayıldığı için, virüsün yaprak biti vektörlerini yok etmek amacıyla insektisit (böcek ilacı) kullanımı yalnızca kısmi bir başarı sağlamıştır. Yaprak bitleri insektisit ile öldürülmeden önce virüs çoktan bitkiye bulaşmış (taşınmış) olmaktadır. Bunun yerine insektisitler, yaprak

biti popülasyonunu düşürmek ve böylece enfeksiyonun ilerleyişini yavaşlatmak amacıyla kullanılmaktadır. Bu virüse inokulum kaynağı olabilecek materyalin yetiştirme alanlarından uzaklaştırmak amacıyla yabancı otların temizlenmesi son derece önemlidir; nitekim bu otların birçoğu asimptomatik konukçu olup virüs için rezervuar işlevi görmektedir. Aynı durum, hastalıklı kültür bitkilerinin henüz büyüme (vejetasyon) aşamasındayken tarladan sökülüp uzaklaştırılması için de geçerlidir. RNA susturması (RNA silencing) veya protein aracılı dayanıklılık sağlayan transgenik bitkilerin kullanımı, ilave dayanıklılık kaynaklarına örnek teşkil etmektedir.

SONUÇ

Hıyar mozaik virüs hastalığı, domates üretiminde küresel ölçekte ciddi ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Etkin bir mücadele stratejisi, vektör yönetimi, dayanıklı çeşit kullanımı, tarımsal hijyen ve biyoteknolojik yöntemlerin entegre edilmesiyle mümkündür. Sürdürülebilir mücadele için yerel virüs ırklarının moleküler tanımlanması ve dayanıklılık genlerinin korunması büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] S. Minoia, et al., “A new mutant genetic resource for tomato crop improvement by TILLING technology.” *BMC research notes*, 3(1): p. 69. 2010.
- [2] M. Petro-Turza, “Flavor of tomato and tomato products.” *Food Reviews International*, 2(3): p.309-351, 1986.
- [3] E. Kabelka, W. Yang, and D.M. Francis, “Improved tomato fruit color within an inbred backcross line derived from *Lycopersicon esculentum* and *L. hirsutum* involves the interaction of loci.” *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 129(2): p. 250-257, 2004
- [4] İ. Sönmez. Beşirli G, “Bazı sanayi domatesi hatları ve özellikleri.” *Bahçe*, 40(1), p. 17–21, 2011
- [5] (2025) FAO website. [Online]. Available: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- [6] I. M. Hanssen, M. Lapidot, and B. P. H. J. Thomma, “Emerging viral diseases of tomato crops.” *Mol. Plant-Microbe Interact.* 23, 539-548, 2010b. doi: 10.1094/MPMI-23-5-0539
- [7] K. S. Sastry, *Plant Virus and Viroid Diseases in the Tropics*. Dordrecht: Springer. (2013).
- [8] Ong, S.N., Taheri, S., Othman, R.Y. et al. “Viral disease of tomato crops (*Solanum lycopersicum* L.): an overview.” *J Plant Dis Prot* 127, 725–739. 2020. <https://doi.org/10.1007/s41348-020-00330>
- [9] M.P.S. Rivarez, A.Vučurović, et al., “Global Advances in Tomato Virome Research: Current Status and the Impact of High-Throughput Sequencing”. *Front. Microbiol.* 12: 671925, 2021. doi: 10.3389/fmicb.2021.671925

- [10] P. Palukaitis, Garcia-Arenal F. "Cucumber mosaic virus. Descriptions of plant viruses." CMI/AAB.; 400:1-23. 2003
- [11] D. Gallitelli "The ecology of Cucumber mosaic virus and sustainable agriculture." *Virus Research*.;71(1-2):9-21, 2000
- [12] SP. Doolittle "A new infectious mosaic disease of cucumber." *Phytopathol.*;6 (2):145-147. 1916
- [13] IC. Jagger "Experiments with the cucumber mosaic disease." *Phytopathol.*;6 (2):149-151. 1916
- [14] M. Göbelez, "Domateslerde önemli bir virüs hastalığı (Fern leaf veya Fuger yapraklılık)", *Tomurcuk*, 2 (15). 1953
- [15] İ. Karaca, "Genel Fitopatoloji," *Atatürk Üniv. Zir. Fak. Yayınl.*. 1961
- [16] MO. Özalp, "Ege bölgesinde görülen sebze virüsleri", *Bitki Koruma Bülteni*, 2 (10), 25-30. 1961
- [17] MO. Özalp, "İzmir'de sebzeler de görülen virüs hastalıkları," *Bitki Koruma Bülteni*, 4 (1), 18-25. 1964
- [18] MA. Yılmaz ve Davis, R. F., "Identification of viruses infecting vegetable crops along the Mediterranean Sea coast in Turkey" *Journal of Turkish Phytopathology*, 14 (1), 1-8. 1985
- [19] A. Nogay, "Trakya'da Önemli Domates Ekim Alanlarında Görülen Domates Sürgün Yanıklığı Üzerinde Ön Çalışmalar" *Bitki Koruma Bülteni*, 26 (1-2), 23-39. 1986
- [20] ME. Güldür, ve Yılmaz, M. A., "Şanlıurfa İlinde Domateslerde Saptanan Virüsler" *GAP Bitki Koruma Sorunları ve Çözüm Önerileri Sempozyumu*, Şanlıurfa, 27-29. 1995
- [21] A. Özgöz, Baykal, N. ve Erkan, S., "Studies on determination and incidence of tomato virus diseases in Bursa province." 7th Turkish Phytopathology Congress held at the University of Cukurova. Adana,Turkey: 256 - 259. 1995
- [22] MA. Yılmaz, Baloğlu, S., Özasan, M. ve Güldür, M. E., "GAP bölgesinde kültür bitkilerinde belirlenen virüsler" *GAP Bitki Koruma Sorunları ve Çözüm Önerileri Sempozyumu*, Şanlıurfa, 241-250. 1995
- [23] M. Joshi Narute TK, Sarnobat, D. "The Cucumber Mosaic Virus: A Review" *Int. J. Plant Soil Sci.*, 35 (24), 253-260, 2023
- [24] BJ. Anderson, Boyce PM, Blanchard CL. "RNA4 sequences from Cucumber mosaic virus subgroup I and II." *Gene*.;161: 193-194,1995
- [25] P. Palukaitis, Roossinck M, Dietzgen RG, Francki RIB. "Cucumber mosaic virus." *Adv. Virus Res.*; 41:281-348, 1992
- [26] MJ. Roossinck, Bujarski J, Ding SW, Hajimorad R, Hanad K, Scott S, Tousignant M. "Virus taxonomy-eighth report of the International Committee on Taxonomy of Viruses." In: Family Bromoviridae. Academic Press. San Diego, Calif.; 923-935, 2002
- [27] N. Li, Yu, C., Yin, Y., Gao, S., Wang, F., Jiao, C. ve Yao, M., "Pepper Crop Improvement Against Cucumber mosaic virus (CMV): A Review" *Frontiers in Plant Science*, 11, 2020
- [28] KBG. Scholthof, Adkins, S., Czosnek, H., Palukaitis, P., Jacquot, E., Hohn, T., Hohn, B., Saunders, K., Candresse, T. ve Ahlquist, P., "Top 10 plant viruses in molecular plant pathology" *Molecular Plant Pathology*, 12 (9), 938-954, 2011
- [29] C. Kearney, Gonsalves, D. ve Provvidenti, R., "A severe strain of Cucumber mosaic virus from China and its associated satellite RNA" *Plant Disease*, 74 (10), 819-823, 1990

- [30] C. Jordá, Alfaro, A., Aranda, M., Moriones, E. ve Garcia-Arenal, F., "Epidemic of *Cucumber mosaic virus* plus satellite RNA in tomatoes in eastern Spain" *Plant Disease*, 76 (4), 363-366, 1992
- [31] E. J. Sikora, Gudauskas, R. T., Murphy, J. F., Porch, D. W., Andrianifahanana, M., Zehnder, G. W., Bauske, E. M., Kemble, J. M. ve Lester, D. F., "A Multivirus Epidemic of Tomatoes in Alabama" *Plant Dis*, 82 (1), 117-120, 1998
- [32] M. Mijatović, Zdravković, J., Marković, Ž. ve Obradović, A., "Disease intensity of some tomato viruses in Serbia" *Acta Physiologiae Plantarum*, 22 (3), 332-335, 2000
- [33] AB. Moussa, Makni, M. ve Marrakchi, M., "Identification of the principal viruses infecting tomato crops in Tunisia" *EPPO Bulletin*, 30 (2), 293-296, 2000
- [34] N. Yardımcı ve Kılıç, HÇ., "Isparta yöresindeki domateslerde tütün mozayik virüsü ve hıyar mozayik virusunun saptanması" *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6 (2), 51-56, 2002
- [35] M. Arlı-Sökmen ve Şevik, M. A., "Viruses infecting field-grown tomatoes in Samsun province, Turkey" *Archives Of Phytopathology And Plant Protection*, 39 (4), 283-288, 2006
- [36] N. Yardımcı ve Eryigit, H., "Identification of *Cucumber mosaic virus* in tomato (*Lycopersicon esculentum*) growing areas in the north-west Mediterranean region of Turkey" *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 34 (2), 173-175, 2006
- [37] K. Değirmenci ve Uzunoğulları, N., "Marmara Bölgesinde domates yetiştiricilik alanlarında sorun olan virüslerin belirlenmesi" *Bitki Koruma Bülteni*, 47 (1-4), 72-77, 2007
- [38] A. Kaya, Özdemir, S., Yasarakinci, N., Gümüş, M. ve Erkan, S., "The detection of virus diseases in the protected tomato production areas around Muğla Province" *Acta Horticulturae*, 808, 203-206, 2009
- [39] H. Massumi, Shaabanian, M., Pour, A. H., Heydarnejad, J. ve Rahimian, H., "Incidence of viruses infecting tomato and their natural hosts in the southeast and central regions of Iran" *Plant disease*, 93 (1), 67-72, 2009
- [40] S. Soler, Prohens, J., López, C., Aramburu, J., Galipienso, L. ve Nuez, F., "Viruses Infecting Tomato in València, Spain: Occurrence, Distribution and Effect of Seed Origin" *Journal of Phytopathology*, 158 (11-12), 797-805, 2010
- [41] AM. Hajiabadi, Asaci, F., Abdollahi Mandoulakani, B. ve Rastgou, M., "Natural incidence of tomato viruses in the North of Iran" *Phytopathologia Mediterranea*, 51 (2), 390-396, 2012
- [42] J.-S. Kim, Lee, S.-H., Choi, H.-S., Kim, M.-K., Kwak, H.-R., Kim, J.-S., Nam, M., Cho, J.-D., Cho, I.-S. ve Choi, G.-S., "2007-2011 Characteristics of plant virus infections on crop samples submitted from agricultural places" *Research in Plant Disease*, 18 (4), 277-289, 2012
- [43] EI. Ayo-John, ve Odedara, O. O., "Serological detection of viruses infecting tomato and pepper in Southwest Nigeria and their distribution" *Nigerian Journal of Biotechnology*, 33 (1), 78-82, 2017
- [44] G. Sertkaya ve Yılmaz, M., "Hatay İli Örtüaltı Organik Domates Yetiştiriciliğinde Bazı Begomovirüslerin Enfeksiyon Oranları ile Doğal Taşınması ve Diğer Konukçularının Araştırılması" *Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22 (1), 1-15, 2017

- [45] D. Nikolić, Vučurović, A., Stanković, I., Radović, N., Zečević, K., Bulajić, A. ve Krstić, B., "Viruses affecting tomato crops in Serbia" *European Journal of Plant Pathology*, 152 (1), 225-235, 2018
- [46] C. Desbiez, Verdin, E., Moury, B., Lecoq, H., Millot, P., Wipf-Scheibel, C., Mirzayeva, S., Sultanova, N., Balakishiyeva, G., Mammadov, A., Kheyr-Pour, A. ve Huseynova, I., "Prevalence and molecular diversity of the main viruses infecting cucurbit and solanaceous crops in Azerbaijan" *European Journal of Plant Pathology*, 153 (2), 359-369, 2019
- [47] Y. Liu, Li, F., Li, Y., Zhang, S., Gao, X., Xie, Y., Yan, F., Zhang, A., Dai, L., Cheng, Z., Ding, M., Niu, Y., Wang, S., Che, H., Jiang, T., Shi, X., He, Z., Wu, Y., Zhang, D., Qing, L., Yan, W., Yang, X., Tang, Y., Zheng, H., Tang, Q., Zhang, S., Zhang, D., Cai, L. ve Tao, X., "Identification, distribution and occurrence of viruses in the main vegetables of China" *Scientia Agricultura Sinica*, 52 (2), 239-261, 2019
- [48] C. Desbiez, Wipf-Scheibel, C., Millot, P., Berthier, K., Girardot, G., Gognalons, P., Hirsch, J., Moury, B., Nozeran, K., Piry, S., Schoeny, A. ve Verdin, E., "Distribution and evolution of the major viruses infecting cucurbitaceous and solanaceous crops in the French Mediterranean area" *Virus research*, 286, 198042, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2020.198042>
- [49] F. Garcia-Arenal, Palukaitis P. "Cucumber Mosaic Virus." Scottish Crop Research Institute, UK.; 615-619, 2008
- [50] R. Vishnoi, Kumar S, Raj SK. "Molecular characterization of a Cucumber mosaic virus isolate associated with mosaic disease of banana in India." *Phytoparasitica*, 41:545-555, 2013
- [51] JR. Edwardson, Christie RG. In: Cucumoviruses (ed). CRC handbook of viruses infecting legumes. CRC Press. Boca Raton, Florida. 293-319, 1991
- [52] N. Hubili, Francki RIB. "Comparative studies on tomato aspermy and cucumber mosaic viruses. III. Further studies on relationship and construction of a virus from part of the two viral genomes." *Virology*, 61:443-449, 1974
- [53] KWC. Paden, Symons RH. "Cucumber mosaic virus contains a functionally divided genome." *Virology*. 53:487-492, 1973
- [54] M. Suzuki, Kuwata S, Kataoka J, Masuta C, Nitta N, Takanami Y. "Functional analysis of deletion mutation of Cucumber mosaic virus RNA3 using as in vitro transcriptions system." *Virology*, 183:108-113, 1991
- [55] RJ. Hayes, Buck KW. "Complete replication of a eukaryotic virus RNA *in vitro* by a purified RNA dependent RNA polymerase." *Cell*, 63:363-368, 1990
- [56] R. Kumari, Bhardwaj P, Singh L, Zaidi AA, Hallan V. "Biological and Molecular Characterization of Cucumber mosaic virus Subgroup II Isolate Causing Severe Mosaic in Cucumber." *Indian J. Virol.* 24(1):27-34, 2013
- [57] A. Gibbs "Viruses and plasmodesmata." In intercellular communication in plants: Studies on plasmodesmata. 149-164, 1976
- [58] R. Hull "The movement of viruses in plants." *Annu. Rev. Phytopathol*, 27:213-240, 1989
- [59] CM. Doem, Lapidot M, Beachy RN. "Plant virus movement protein." *Cell*, 69:221-224, 1992
- [60] KE. Mauck, De Moraes CM, Mescher MC. "Biochemical and mechanisms underlying physiological effects of cucumber mosaic virus on host-plant traits

- that mediate transmission by aphid vectors.” *Plant Cell Environ*, 37:1427-1439, 2014
- [61] D. Wu, Qi T, Li W, Tian H, Gao H, Wang J, Ge J, Yao R, Ren C, Wang X, Liu Y, Kang L, Ding S, Xie D. “Viral effector protein manipulates host hormone signalling to attract insect vectors.” *Cell Res*, 27:402–415, 2017
- [62] H. Guo, Gu L, Liu F, Chen F, Ge F, Sun Y. “Aphid-borne viral spread is enhanced by virus-induced accumulation of plant reactive oxygen species.” *Plant Physiol*. 179:143-155, 2019
- [63] JH. Westwood, Groen SC, Du Z, Murphy AM, Anggoro DT, Tungadi T, Luang-In V, Lewsey MG, Rossiter JT, Powell G, Smith AG, Carr JP. “A trio of viral proteins tunes aphid-plant interactions in *Arabidopsis thaliana*.” *PLoS One*, 8: e83066. 2013
- [64] R. Donnelly, Cuniffe NJ, Carr JP, Gilligan CA. “Pathogenic modification of plants enhances long-distance dispersal of non persistently transmitted viruses to new hosts.” *Ecology*. 100:e02725. 2019
- [65] X. Shi, Gao Y, Yan S, Tang X, Zhou X, Zhang D, Liu Y. “Aphid performance changes with plant defense mediated by cucumber mosaic virus titre.” *Virol J*.;13:70, 2016
- [66] MH. Rashid, Khalequzzaman KM, Alam MS, Uddin SA, Green SK. “Screening of different sweet pepper lines against cucumber mosaic virus and chili veinal mottle virus.” *Int. J. Sustain. Crop Prod*. 2(3):1-4, 2007
- [67] TA. Zitter, Murphy JF. “Cucumber mosaic. The Plant Health Instructor” 2009. DOI: 10.1094/PHI-I-2009-0518-01
- [68] GN. Agrios. *Plant Pathology* (5th Ed.). Elsevier Academic Press, San Diego. 922, 2005.
- [69] (2026) EPPO website. Cucumber mosaic virus Datasheet, Eur. Mediterr. Plant Prot. Organ., Paris. [Online]. Available: <https://gd.eppo.int/taxon/CMV000/distribution>
- [70] NK. Tejashwini, Ambika, D.S., Manjunatha, L., Uppala, L.S., Shankarappa, K.S., Yatish, K.N. Cucumber Mosaic Virus. In: Amaresan, N., Kumar, K. (eds) *Compendium of Phytopathogenic Microbes in Agro-Ecology* . Springer, Cham. (2025). https://doi.org/10.1007/978-3-031-81884-4_11
- [71] I. Stanković, Vučurović, A., Zečević, K. et al. “Characterization of cucumber mosaic virus and its satellite RNAs associated with tomato lethal necrosis in Serbia.” *Eur J Plant Pathol* 160, 301–313, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10658-021-02241-8>

