

TARIM, ORMAN VE SU BİLİMLERİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİR VE TREND ÇALIŞMALAR



All Sciences Academy

*TARIM, ORMAN VE SU
BİLİMLERİNDE
SÜRDÜRÜLEBİLİR VE
TREND ÇALIŞMALAR*

Editör

Prof. Dr. NİGAR YARPUZ BOZDOĞAN





Tarım, Orman ve Su Bilimlerinde Sürdürülebilir ve Trend Çalışmalar

Editör: Prof. Dr. NİGAR YARPUZ BOZDOĞAN

Dizayn: All Sciences Academy Design

Basım Tarihi: Mayıs 2026

Yayıncı Sertifika Numarası: 72273

ISBN: 978-625-8993-43-1

© All Sciences Academy

www.allsciencesacademy.com

allsciencesacademy@gmail.com

İÇERİK

- 1. Bölüm** **5**
A₂ Süt: Sindirim Konforundan Pazar Dinamiklerine Bilimsel Bir İnceleme
Feyza KAYGISIZ, Ali KAYGISIZ
- 2. Bölüm** **26**
Tarımsal Yapılarda Kullanılan Çelik Çatı Sistemlerinde Optimum Makas ve Aşık Aralıklarının Belirlenmesi
Halil KAMBER, İsrail KOCAMAN
- 3. Bölüm** **58**
Bal Arılarının Algısal Mekanizmalarının Yaşamsal Faaliyetleri Üzerindeki Etkileri
Recep SIRALI

A₂ Süt: Sindirim Konforundan Pazar Dinamiklerine Bilimsel Bir İnceleme

Feyza KAYGISIZ¹

Ali KAYGISIZ²

¹ Uzman Diyetisyen. 46100 Kahramanmaraş. kaygszfezya@gmail.com , ORCID No: 0000-0002-2899-2289

² Prof. Dr. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, 46100 Kahramanmaraş, alikaygisiz@ksu.edu.tr, ORCID No:0000-0002-5302-2735

ÖZET

A2 süt, β -kazein proteininin 67. pozisyonunda prolin bulunduran ve sindirim sırasında opioid etkili β -kazomorfin-7 (BCM-7) oluşumunu sınırlayan bir süt tipidir. Geleneksel sütte bulunan A1 varyantından bu tek amino asit farkıyla ayrılır. Klinik çalışmalar, özellikle süt tüketimi sonrası sindirim sorunu yaşayan bireylerde A2 sütünün gaz, şişkinlik ve karın ağrısı gibi gastrointestinal semptomları azaltabildiğini ve bağırsak mikrobiyotasında faydalı bakterilerin (Bifidobacterium, Blautia) artışını destekleyebildiğini göstermektedir. BCM-7'nin tip 1 diyabet, kardiyovasküler hastalıklar ve nörolojik bozukluklarla ilişkisi hipotez düzeyinde olup, insanlarda nedensellik kanıtlanmamıştır. Pazar dinamikleri açısından A2 süt, sindirim konforu, doğallık ve sağlıklı beslenme algısıyla şekillenen premium bir niş segmenttir. Tüketici farkındalığının sınırlı olması ve sağlık iddialarının bilimsel kanıtlarla tam örtüşmemesi, bilgi asimetrisi ve düzenleyici boşluklar oluşturmaktadır. Bu derleme, A2 sütünün bilimsel temellerini, klinik etkilerini, genetik dağılımını, pazar dinamiklerini ve etik boyutlarını bütüncül bir yaklaşımla değerlendirmektedir.

Anahtar Kelimeler: A2 süt, β -kazein, β -kazomorfin-7, gastrointestinal tolerans süt proteini polimorfizmi

GİRİŞ

İnek sütünün temel protein bileşenlerinden biri olan β -kazein, genetik polimorfizm sonucu farklı varyantlara sahiptir ve en yaygın formları A1 ve A2'dir (Kaskous, 2020; Fernández-Rico vd. 2022). Geleneksel süt bu iki varyantı birlikte içerirken, A2 süt yalnızca A2 tipi β -kazein üreten ırklardan (örn. Jersey, Guernsey) elde edilmektedir (Kaplan vd. 2022). Bu varyantlar arasındaki temel fark, protein zincirinin 67. pozisyonunda A2'de prolin, A1'de histidin bulunmasıdır (Kaskous, 2020; Fernández-Rico vd. 2022; Farhat vd. 2025). A1 β -kazeinin sindirimi sırasında opioid özellikteki β -kazomorfin-7 (BCM-7) açığa çıkabilirken, A2 varyantında bu oluşum belirgin şekilde sınırlıdır (Park ve Haenlein, 2021; Farhat vd. 2025). BCM-7'nin bağırsak opioid reseptörleri ile etkileşerek motiliteyi azaltabileceği ve inflamatuvar yanıtları etkileyebileceği öne sürülmektedir (Giribaldi vd. 2022; Jeong vd. 2023). Bu durum, A1 süt tüketimi ile bazı bireylerde gözlenen gastrointestinal semptomlar arasında teorik bir ilişki kurulmasına yol açsa da, sistemik hastalıklarla nedensel bağlantısı kesin olarak kanıtlanmamıştır (Kaskous, 2020; Farhat vd. 2025). Besin kompozisyonu açısından A1 ve A2 sütleri arasında anlamlı fark bulunmamaktadır (Fernández-Rico vd. 2022; Borş vd. 2024).

Klinik çalışmalar, özellikle süt tüketimi sonrası sindirim sorunu yaşayan bireylerde A2 sütünün daha iyi tolere edilebileceğini

göstermektedir. Laktoz intoleransı veya süt duyarlılığı olan bireylerde A2 süt tüketiminin gastrointestinal semptomları azaltabildiği bildirilmiştir (Jeong vd. 2023; Choi vd. 2024). Ancak sonuçların tüm semptomlar açısından tutarlı olmaması, altta yatan mekanizmaların heterojenliğine işaret etmektedir (Ramakrishnan vd. 2024). Bu farklılık, kısmen bağırsak mikrobiyotası ile ilişkilendirilmektedir; A2 süt tüketiminin faydalı bakterilerin (Bifidobacterium, Blautia) artışı ile ilişkili olduğu bildirilmiştir (Song vd. 2025). Bu bulgular, A2 sütünün etkilerini yalnızca BCM-7 oluşumunun azalmasıyla değil, aynı zamanda mikrobiyota modülasyonu ile açıklamaktadır. Bununla birlikte, A2 sütünün laktoz intoleransının yerini almadığı ve bireysel farklılıkların önemli olduğu vurgulanmaktadır.

A2 sütünün uzun vadeli sağlık etkilerine ilişkin bulgular daha sınırlıdır. Bazı hayvan çalışmaları ve epidemiyolojik veriler, A1 β -kazein tüketimi ile tip 1 diyabet, kardiyovasküler ve nörolojik hastalıklar arasında olası ilişkiler öne sürse de (Kaskous, 2020; Giribaldi vd. 2022), insan çalışmalarında bu ilişkiler net değildir ve çelişkili sonuçlar bulunmaktadır (Jeong vd. 2023; Farhat vd. 2025). Bu nedenle mevcut veriler, tüm süt tiplerinin besin değeri açısından benzer ve genel popülasyon için güvenli olduğunu göstermekte, kesin yargılar için daha kapsamlı çalışmalara ihtiyaç olduğunu ortaya koymaktadır (Kaskous, 2020; Giribaldi vd. 2022; Borş vd. 2024).

Süt proteinlerinin yaklaşık %80'ini oluşturan kazeinler, kalsiyum-fosfat miselleri halinde organize olmuş yüksek biyolojik değere sahip proteinlerdir. β -kazein, yüksek polimorfizmi ve sindirim sırasında biyoaktif peptitlerin öncül molekülü olması nedeniyle özel önem taşır. A1 ve A2 varyantları arasındaki temel fark, sindirim sırasında oluşan peptit profilinden kaynaklanmaktadır. A1 varyantında BCM-7 oluşumu daha yüksek iken, A2 varyantında bu süreç sınırlıdır (Asledottir vd. 2017). BCM-7'nin gastrointestinal motilite, mukus üretimi ve inflamasyon üzerine etkileri öne sürülmüş; bu bağlamda A1 süt tüketiminin bazı bireylerde gastrointestinal semptomlarla ilişkili olabileceği bildirilmiştir (Haq vd. 2014). Ancak bu ilişkilerin klinik önemi henüz net değildir ve daha geniş ölçekli çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır (He vd. 2017).

Sonuç olarak, β -kazein genindeki "Pro67His" polimorfizmi, sindirim ürünlerini ve biyoaktif peptit oluşumunu etkileyerek A1 ve A2 sütler arasında fizyolojik farklılıklar yaratmaktadır. Bu farklılıklar bazı bireylerde değişen gastrointestinal yanıtlarla ilişkili olsa da, konunun tam olarak açıklığa kavuşturulabilmesi için ileri araştırmalara gereksinim vardır.

Sütün Besinsel Önemi ve Bileşimi

Süt, memeli canlıların yavrularını beslemek ve gelişimlerini desteklemek üzere ürettiği, biyolojik olarak karmaşık ve besin değeri yüksek bir gıda maddesidir. Hem insan sütü hem de yaygın olarak tüketilen inek sütü, yeni doğan yavrunun büyüme, gelişme ve sağlığının sürdürülmesi için

gerekli makro ve mikro besin ögelerini dengeli bir şekilde içeren eksiksiz bir besin kaynağı olarak kabul edilir. Bu nedenle süt, hayatın ilk dönemlerinde olduğu kadar, çocukluk, ergenlik ve yetişkinlik dönemlerinde de beslenmenin temel taşlarından biri olarak önemini korumaktadır.

Sütün besleyici değeri, içerdiği çok sayıda bileşenin sinerjistik etkileşiminden kaynaklanmaktadır. Temelde su, laktoz, protein, yağ, vitamin ve minerallerden oluşan bu bileşen, aynı zamanda çok zengin bir biyoaktif bileşen havuzudur. Süt bileşenleri yalnızca enerji ve yapı taşı sağlamakla kalmaz, aynı zamanda bağışıklık sisteminin gelişimi, bağırsak mikrobiyotasının düzenlenmesi, metabolik süreçlerin modülasyonu ve hastalıklara karşı koruyucu etkiler gibi çok çeşitli fizyolojik fonksiyonlara da katkıda bulunur (Lönnerdal, 2014).

Süt Tüketimine Bağlı Sindirim Sorunları

İnek sütü, yüksek kaliteli protein, kalsiyum ve B vitaminleri açısından zengin temel bir besin olmakla birlikte, dünya nüfusunun önemli bir bölümünde gastrointestinal semptomlarla ilişkilendirilmektedir (Savaiano, 2014). Bu durum, bireylerin beslenme alışkanlıkları ve yaşam kalitesi üzerinde olumsuz etkilere yol açabilmektedir. Süt tüketimine bağlı sindirim sorunlarının başlıca nedenleri laktoz intoleransı ve inek sütü proteini duyarlılığı olup, farklı fizyopatolojik mekanizmalara sahip olmalarına rağmen benzer klinik belirtiler göstermeleri ayırıcı tanıyı zorlaştırmaktadır (Luyt vd. 2014).

Laktoz intoleransı, laktozun ince bağırsakta laktaz enzimi aracılığıyla yeterince parçalanamaması sonucu ortaya çıkar. Primer formu, laktaz aktivitesinin genetik olarak azalmasına bağlı olup dünya yetişkin nüfusunun yaklaşık %68'ini etkilemektedir (Storhaug vd. 2017). Sindirilmeyen laktozun kolonda bakteriyel fermentasyona uğraması gaz üretimine ve karın ağrısı, şişkinlik ve diyare gibi semptomlara neden olur (Misselwitz vd. 2019). Semptomların şiddeti; laktoz alımı, rezidüel laktaz aktivitesi ve bağırsak mikrobiyotası tarafından belirlenir. İnek sütü proteini duyarlılığı ise immünolojik kökenli olup IgE aracılı ve IgE aracılı olmayan formlarda görülür. Özellikle çocukluk döneminde yaygın olan inek sütü alerjisinin prevalansı %2–3 civarındadır (Flom ve Sicherer, 2019). IgE aracılı reaksiyonlar hızlı gelişirken, IgE aracılı olmayan formlar daha geç ortaya çıkar ve çoğunlukla gastrointestinal sistemle sınırlıdır. Bu duyarlılıkta başlıca kazein ve whey proteinleri rol oynamaktadır.

Tanı ve yönetim her iki durumda farklılık göstermektedir. Laktoz intoleransı; hidrojen nefes testi, laktoz tolerans testi veya genetik analizlerle belirlenir ve diyet düzenlemeleri ile yönetilir (Deng vd. 2015). İnek sütü proteini duyarlılığında ise eliminasyon diyeti ve oral provokasyon testi tanıda temel yaklaşımlardır; tedavi ise süt proteinlerinin diyetten çıkarılmasına dayanır.

Sonuç olarak, süt tüketimine bağılı sindirim sorunları yaygın olup, laktoz intoleransı ile süt proteini duyarlılığının doğru ayırt edilmesi uygun beslenme stratejilerinin belirlenmesi açısından kritik öneme sahiptir.

A2 Süt Nedir?

İnek Irklarına Göre Beta-Kazein Varyant Dağılımı

β -kazein varyantlarının sığır ırkları arasındaki dağılımı, coğrafi ve genetik kökene bağılı olarak önemli farklılıklar göstermektedir. Modern batı kökenli sütçü ırklar (özellikle Holstein-Friesian) daha yüksek A1 allel frekansına sahipken, Jersey ve Guernsey gibi ırklar ile Zebu (*Bos indicus*) ve bazı yerli *Bos taurus* ırklarında A2 alleli baskındır (Adoligbe vd. 2022; Nuomin vd. 2022; Şahin ve Boztepe, 2022; Khan vd. 2023; Khudyakova vd. 2023; Cartuche-Macas vd. 2025). Holstein ırkında genellikle heterojen bir dağılım gözlenirken, Jersey ve Guernsey ırkları A2 süt üretimi açısından genetik olarak daha avantajlıdır. Zebu ve türevlerinde ise A2 genotipi neredeyse sabittir. Bu genetik farklılıklar, seleksiyon programlarıyla A2 allel frekansının artırılmasını ve homojen A2A2 sürülerin oluşturulmasını mümkün kılmaktadır.

Holstein popülasyonlarında A2 allel frekansı ülkelere göre değişmekte olup, bazı Avrupa ülkelerinde %60'ın üzerine çıkabilmektedir (Sebastiani vd. 2020; Khudyakova vd. 2023). Jersey ve Guernsey ırkları A2 süt üretimi açısından en uygun *Bos taurus* sütçü ırklar arasında yer alırken (Adoligbe vd. 2022; Nuomin vd. 2022; Şahin ve Boztepe, 2023; Carvajal vd. 2023; Cartuche-Macas vd. 2025), Güney Asya ve bazı Afrika yerli ırkları neredeyse tamamen A2 genotipine sahip olup önemli genetik kaynaklar olarak değerlendirilmektedir (Ayaz vd. 2022; Adoligbe vd. 2022; Khan vd. 2023).

Populasyon genetiği verileri, A1 allelinin, CSN2 geninde meydana gelen tek nükleotid değişimi (g.6570C>A) sonucu atasal A2 allelinden türediğini ve yalnızca *Bos taurus* alt türünde ortaya çıkan görece yeni bir mutasyon olduğunu göstermektedir. Bu allelin özellikle yüksek verimli Avrupa kökenli ırklar ve bunların melezlerinde yaygınlaşması, büyük ölçüde 20. yüzyılda Holstein genetiğinin küresel yayılımı ve yoğun seleksiyon uygulamaları ile açıklanmaktadır. Buna karşılık, *Bos indicus* ve birçok yerli ırkta A2 alleli baskınlığını korumuştur (Sebastiani vd. 2020; Şahin ve Boztepe, 2022; Khudyakova vd. 2023; Zulkifli vd. 2024; Cartuche-Macas vd. 2025; Sawicka-Zugaj vd. 2025).

A2 süt üretimi yalnızca A2A2 genotipli hayvanlardan mümkün olup çevresel faktörlerle değiştirilemez (Parygina vd. 2022). Holstein ve benzeri ırklarda A2 allel frekansı orta-yüksek düzeyde olmasına rağmen, A2A2 genotip oranı genellikle %20-50 arasında değişmekte ve sürüler çoğunlukla A1/A2 heterozigot yapıdadır (Ardıçlı vd. 2023; Cartuche Macas vd. 2025; Sawicka Žugaj vd. 2025). Bu nedenle sürü düzeyinde A2 allel frekansını artırmak için genotipleme, A2A2 boğa kullanımı, A1A1 bireylerin

eliminasyonu ve hedefli eşleştirme stratejileri önerilmektedir (Sebastiani vd. 2022; Ardıçlı vd. 2024). Simülasyon ve saha çalışmaları, bu stratejilerin birlikte uygulanmasıyla 5–8 yıl içinde tamamen A2A2 sürülere geçişin mümkün olduğunu ve cinsiyetlendirilmiş spermanın bu süreci hızlandırabileceğini göstermektedir (Sheiko vd. 2023).

Plazmin ve Süt İçindeki Endojen Proteoliz

Çiğ sütte plazmin aktivitesi ve kazeinlerin proteolitik duyarlılığı genotipe bağlı olarak değişmektedir. A2A2 sütlerde plazmin aktivitesinin daha yüksek olduğu ve kazeinlerin plazmine karşı A1A1 süte kıyasla daha hassas olduğu bildirilmiştir. Buna karşın, A1A1 sütte β -kazeinin 67. pozisyonu çevresindeki spesifik kesim bölgelerinden (His67–Asn68) türeyen peptitler tespit edilirken, A2A2 sütte bu bölgeye ait kesim ürünleri saptanmamıştır. Bu durum, 67. pozisyondaki prolinin proteolitik parçalanmayı sınırladığını göstermektedir (Gard vd. 2024).

1. Sindirim Sırasında β -Kazeinin Parçalanması ve BCM-7

Gastrointestinal sindirim sırasında β -kazeinin parçalanması, A1 ve A2 varyantları arasında belirgin farklılıklar gösterir. A1 β -kazeinde 66–67 bağının (izolösin–histidin) elastaz benzeri enzimler tarafından kolayca hidrolize edilebilmesi, β -kazomorfin-7 (BCM-7) oluşumunu artırırken; A2 varyantında aynı bağın (izolösin–prolin) daha dirençli olması nedeniyle BCM-7 oluşumu sınırlıdır (González Rodríguez vd. 2025). Bu nedenle A1 sütlerde BCM-7 düzeyi daha yüksek bulunurken, A2 sütlerde daha çok BCM-9 gibi daha uzun peptitler oluşmaktadır (Giribaldi vd. 2022; González Rodríguez vd. 2025). İn vitro sindirim çalışmalarında hem A1 hem A2 süt ve peynir sindirim ürünlerinde BCM-7 saptanmış, ancak miktarın A1 fenotipinde belirgin biçimde daha yüksek olduğu; ortaya çıkan miktarın kullanılan enzim tipine ve proteaz/protein oranına duyarlı olduğu gösterilmiştir. Yarı sert peynirde de A1A1 süttten üretilen peynirlerde olgunlaşma boyunca BCM-7 düzeyi A2A2'ye göre daha yüksek seyretmiştir (Zinßius vd. 2025).

1.1. Teknolojik ve Proteomik Sonuçlar

Protein bileşimi açısından A1, A2 ve A1A2 sütler farklı proteomik profiller sergilemekte; özellikle stres ve immün yanıtla ilişkili proteinlerin düzeyleri genotipe göre değişmektedir (Wang vd. 2021). A2 β -kazeinin daha yüksek prolin içeriği ve asidik izoelektrik noktası, protein yapısını daha düzensiz ve çözünürlüğü yüksek hale getirerek fonksiyonel özellikleri ve proteoliz paternlerini etkileyebilmektedir (Giribaldi vd. 2022).

1.2. BCM-7'nin Biyokimyasal Özellikleri

BCM-7, β -kazeinin sindirimi sırasında özellikle A1 varyantından açığa çıkan, 60–66 amino asit dizisinden oluşan opioid özellikli bir

heptapeptittir (Nguyen vd. 2015; Thiruvengadam vd. 2020). A1 varyantında 67. pozisyonundaki histidin, proteolitik parçalanmayı kolaylaştırarak BCM-7 oluşumunu artırmaktadır (Summer vd. 2020; Escobar Charry vd. 2025). Yapısal özellikleri nedeniyle μ -opioid reseptörlerine yüksek afinite gösteren BCM-7 (Haq, 2020; Bolat vd. 2024), bağırsak motilitesini baskılayarak intestinal transit süresini uzatabilmektedir (Aslam vd. 2020; de Vasconcelos vd. 2023; González Rodríguez vd. 2025). Hayvan çalışmalarında bu etkinin gecikmiş transit ve dışkı kıvamında değişikliklerle ilişkili olduğu bildirilmiştir (Summer vd. 2020; de Vasconcelos vd. 2023).

İnsanlarda yapılan randomize çapraz çalışmalarda, A1 içeren süt tüketiminin daha uzun gastrointestinal transit süresi, artmış gaz oluşumu ve sindirim rahatsızlığı ile ilişkili olduğu gösterilmiştir (Sun vd. 2015; González Rodríguez vd. 2025). Bu bulgular, BCM-7'nin fonksiyonel gastrointestinal semptomları artırabileceği hipotezini desteklemektedir (Aslam vd. 2020; Summer vd. 2020).

BCM-7'nin sistemik etkilerine ilişkin bulgular ise sınırlı olup; otizm, kardiyovasküler hastalıklar ve tip 1 diyabet ile ilişkisi çoğunlukla deneysel ve gözlemsel çalışmalara dayanmaktadır (Aslam vd. 2020; Summer vd. 2020; de Vasconcelos vd. 2023; Bolat vd. 2024). BCM-7'nin μ -opioid reseptörlerine bağlanarak analjezi, sedasyon ve kardiyovasküler etkiler oluşturabildiği; nalokson ile bu etkilerin geri döndürülebilmesi, opioid agonist özelliklerini desteklemektedir (Aslam vd. 2019; de Vasconcelos vd. 2023; Bolat vd. 2024; Haq vd. 2014; Haq, 2020).

2. Gastrointestinal Sistem, Mikrobiyota ve Bağırsak–Beyin Eksenini

BCM-7'nin en belirgin etkileri gastrointestinal sistem üzerinde yoğunlaşmaktadır. μ -opioid reseptör aktivasyonu yoluyla bağırsak motilitesini azaltarak transit süresini uzatabildiği, mukus üretimini artırabildiği ve proinflatuar yanıtları modüle edebildiği bildirilmektedir (Aslam vd. 2019; de Vasconcelos vd. 2023; Haq vd. 2014). Bu etkiler, bazı bireylerde karın rahatsızlığı, şişkinlik ve konstipasyon gibi semptomlarla ilişkilendirilmektedir (Summer vd. 2020; Giribaldi vd. 2022). Ayrıca, BCM-7'nin mikrobiyota–bağırsak–beyin eksenini üzerinden immün ve inflammatuar mekanizmalar aracılığıyla sinir sistemi fonksiyonlarını dolaylı olarak etkileyebileceği öne sürülmektedir (Aslam vd. 2019; de Vasconcelos vd. 2023).

3. Endokrin ve Metabolik Etkiler

BCM-7 ve diğer kasomorfinlerin, gastrin, kolesistokinin ve sekretin gibi gastrointestinal hormonların salınımını etkileyebildiği, prolaktin düzeylerini artırabildiği ve postprandiyal metabolizmanın düzenlenmesinde rol oynayabildiği bildirilmektedir (Haq vd. 2014). Hücre kültürü çalışmalarında BCM-7 ve türevlerinin pankreatik β -hücrelerde

glukotoksisiteye karşı koruyucu etkiler gösterebildiği, ancak insülin sekresyonunu değiştirmediği belirtilmiştir (Dubey vd. 2024). Deneysel bulgular, BCM-7'nin kardiyovasküler etkiler ve tip 1 diyabetle ilişkili sũreçlerle bağlantılı olabileceğini öne sũrse de, bu ilişkiler çoğunlukla hayvan ve in vitro çalışmalarla sınırlıdır (Haq vd. 2014; Aslam vd. 2019).

4. Nörolojik ve Nörogelişimsel Boyut

BCM-7'nin nörolojik etkileri ağırlıklı olarak hayvan çalışmalarına dayanmakta olup, beyin aktivitesi, davranış ve analjezik yanıtlar üzerinde etkili olduğu gösterilmiştir (Haq vd. 2014; Bolat vd. 2024). Otizm, şizofreni ve ani bebek ölümü sendromu gibi durumlarla olası ilişkiler ne sũrlmekle birlikte, bu bağlantılar henüz nedensel düzeyde kanıtlanmamıştır (Summer vd. 2020; Thiruvengadam vd. 2020; Bolat vd. 2024).

5. Sistemik Biyoyararlanım ve Yıkım

BCM-7'nin sistemik etkili olabilmesi için bağırsak bariyerini geçmesi gerekir. Ex vivo insan çalışmaları, plazma peptidazlarının BCM-7'yi hızla parçalayarak yarı ömrünü 35–40 dakikada inaktif fragmanlara dönüştürdüğünü göstermektedir (de Pascale vd. 2024). Bu durum, yetişkinlerde yüksek sistemik düzeylere ulaşmasının ve kalıcı etkiler üretmesinin sınırlı olabileceğini düşündürür. Ancak bağırsak ve enzim sistemleri henüz olgunlaşmamış süt çocuklarında geçirgenlik ve duyarlılık farklı olabilir (Singh vd. 2020; Thiruvengadam vd. 2020).

6. Klinik Bulgular ve Sağlık Etkileri

A1 β -kazein içeren süt ve ürünleri, sindirim sırasında A2 sütüne kıyasla daha fazla BCM-7 açığa çıkarabilir; peynir ve fermente ürünlerde miktar teknolojik koşullara bağlıdır (Nguyen vd. 2015; Asledottir vd. 2017; Giribaldi vd. 2022). Gözlemsel ve deneysel bulgular, A1/BCM-7 alımı ile gastrointestinal inflamasyon ve rahatsızlık arasında olası ilişkiler göstermesine rağmen, insan verileri sınırlı, heterojen ve çelişkilidir (Haq vd. 2014; Summer vd. 2020; de Vasconcelos vd. 2023). Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi, BCM-7 maruziyeti ile kronik hastalıklar arasında nedensel bağ için kanıtların yetersiz olduğunu belirtmektedir (Nguyen vd. 2015).

Randomize alışmalar, özellikle laktoz intoleransı olan bireylerde, A2 süt tüketiminin A1+A2 süte göre gastrointestinal semptomları (karın ağrısı, gaz, şişkinlik, fekal aciliyet) anlamlı biçimde azalttığını göstermektedir (Sun vd. 2015; He vd. 2017; Ramakrishnan vd. 2020a, 2024). Bununla birlikte, laktoz varlığında bazı semptomlar hl görülebilmekte ve nefes hidrojeninde artış olabilmektedir; bu durum, A2 proteinin tek başına laktoz intoleransını ortadan kaldırmadığını göstermektedir (Ramakrishnan vd. 2020b; Mannila vd. 2025). Toplu olarak veriler, A2 sütünün, konvansiyonel süte göre laktoz malabsorberlerde daha iyi tolere edildiğini, gastrointestinal semptomları

azalttığını, ancak etkilerin bireyler ve laktoz yüküne bağlı olarak değiştiğini göstermektedir (Sun vd. 2015; He vd. 2017; Ramakrishnan vd. 2020a, 2024; Mannila vd. 2025).

7. Mikrobiyota ve Mikrobiyota–Motilite Etkileşimi

A1 süt tüketimi, bazı çalışmalarda yararlı bakterilerin (ör. *Bifidobacterium* spp.) azalması, kısa zincirli yağ asidi üretiminde düşüş ve artmış kolonik fermantasyon ile ilişkilendirilmiş; yalnızca A2 süt ise daha elverişli mikrobiyota ve düşük inflamasyon belirteçleri göstermiştir (Sun vd. 2015; González Rodríguez vd. 2025). Ancak kanıtlar sınırlı ve heterojendir; BCM 7'nin etkisinin doğrudan mı yoksa motilite/inflamasyon aracılığıyla mı olduğu net değildir (de Vasconcelos vd. 2023; Escobar vd. 2025). Genel olarak, hayvan ve sınırlı insan verisi BCM 7'nin motiliteyi yavaşlatabileceğini, inflamasyonu artırabileceğini ve mikrobiyotayı etkileyebileceğini göstermektedir; ancak doz-yanıt ilişkisi ve uzun dönem etkiler belirsizdir.

8. Tip-1 Diyabet ve Otoimmünite

A1 sütünden türeyen BCM 7'nin pankreatik β hücreleri etkileyerek tip 1 diyabet riskini artırabileceği hipotez edilmiştir (Aslam vd. 2020; Thiruvengadam vd. 2020; Bolat vd. 2024). Hayvan modellerinde, A1 sütüyle beslenen sıçanlarda diyabet sıklığı A2 sütüyle beslenenlere kıyasla artmıştır. BCM 7'nin T ve B lenfositleri etkileyerek otoimmün yanıtları güçlendirebileceği ileri sürülse de (Şahin vd. 2018), insanlarda epidemiyolojik veriler heterojen ve karıştırıcı faktörlerden arındırılmamıştır; doğrudan BCM 7 etkisi net değildir (Aslam vd. 2020; Singh vd. 2020). Zebrafish modelinde insan ve inek kaynaklı BCM'lerin pankreas üzerindeki etkileri zıt yönlü bulunmuş, ancak tip 1 diyabet için kesin kanıt sağlamamaktadır. Sonuç olarak, BCM 7'nin güçlü biyolojik aktiviteye sahip olduğu mekanizmalarla desteklense de, otizm, kardiyovasküler hastalıklar ve tip 1 diyabetle klinik düzeyde nedensel ilişki kanıtlanmamıştır (Summer vd. 2020; de Vasconcelos vd. 2023).

9. Pazar, Tüketici Algısı ve Etik Boyut

A1 ve A2 beta-kazein arasındaki biyokimyasal farklar, bilimsel kanıtların düzeyinden bağımsız olarak önemli bir tüketici algısı ve pazarlama konusu olmuştur. A1 β -kazein sindirimi sırasında oluşan BCM-7, bazı bireylerde gaz, şişkinlik ve rahatsızlık ile ilişkilendirilmiş; bu nedenle A2 sütü, özellikle laktoz intoleransı olmayan fakat sindirim şikâyeti yaşayan tüketiciler için “daha nazık” bir alternatif olarak sunulmaktadır. Ayrıca, A2 varyantının eski sığır ırklarında daha yaygın olması, pazarlamada “atalarımızın tükettiği doğal form” vurgusuyla kullanılmaktadır. Böylece A2 sütü, yalnızca sindirim kolaylığı değil, “daha saf” ve “otantik” bir ürün

olarak algılanmakta ve pazar, tüketici algıları ile büyümeye devam etmektedir (Tablo 1).

Tablo 1: A2 Süt Tercih Eden Gruplar ve Ana Motivasyonlar

Tercih Nedeni	Açıklama	Kaynak
Daha iyi sindirim/ daha az şikâyet	A1 içeren süte göre şişkinlik, gaz, karın ağrısı gibi şikâyetleri azalttığı algısı; bazı klinik ve mikrobiyota çalışmalarında bu destekleniyor	Manuelian vd. 2025; Jeong vd. 2023; Kaplan vd. 2022; Song vd. 2025; Robinson vd. 2025)
Sağlık faydası algısı	A1'e atfedilen olası inflamasyon ve kronik hastalık risklerinden kaçınma isteği	Jeong vd. 2023; Farhat vd. 2025; Gonzales-Malca vd. 2023)
Çocukların gelişimi ve yaşlı sağlığı	Kemik, diş ve genel gelişim için "daha doğal / daha güvenli" olduğu inancı	Kaplan vd. 2022; Mounika vd. 2020; Ms vd. 2024)
Ürün kalitesi ve tat	Tat, aroma, görünüş gibi duyuşal özellikler ve "premium kalite" algısı	(Nogueira vd. 2025a; Mounika vd. 2020; Veershetty vd. 2024; Giribaldi vd. 2022)
Doğal / geleneksel ırk ve sürdürülebilirlik imajı	Yerli ırklar ve daha geleneksel üretim sistemiyle ilişkilendirilmesi	Mounika vd. 2020; Giribaldi vd. 2022)

A2 sütü pazarı, özellikle sindirim hassasiyeti yaşayan yetişkinler, laktoz intoleransı olanlar, hassas yaş grupları ve sağlık bilinci yüksek tüketiciler tarafından yönlendirilmektedir. Tercihler daha iyi tolere edilebilirlik ve "daha doğal/sağlıklı" algısı etrafında şekillenir.

Tüketicilerin dikkat etmesi gereken noktalar:

1. **Laktoz intoleransı için çözüm değildir:** A2 süt, geleneksel sütle aynı laktoz miktarına sahiptir.
2. **Bilimsel belirsizlik:** Sindirim dışı sağlık iddiaları henüz kesinleşmemiştir.
3. **Maliyet farkı:** A2 süt genellikle daha pahalıdır.

A2 süt, yalnızca tıbbi olarak daha yaygın süt intoleransları elendikten sonra, yönetilebilir semptomlar için alternatif olarak değerlendirilmeli; pazarlama iddiaları bilimsel kanıtlarla desteklenmelidir. Mevzuat açısından, birçok ülkede A2 süt için özel düzenleme yoktur; sağlık beyanları genel gıda ve sağlık düzenlemelerine tabidir. Türkiye'de A2 iddiası için analitik doğrulama (ELISA gibi) gerekliliği tartışılmaktadır (Yayla, 2023).

Etik boyut: A2 süt, yerli ırkların korunması, küçük işletmelerin güçlendirilmesi ve kırsal kalkınma için fırsat sunarken, zincirin yanlış kurgulanması gelir eşitsizliklerini yeniden üretebilir. Tüketicie sunulan sağlık iddialarının abartılı veya yanıltıcı olmaması kritik öneme sahiptir; şeffaf sertifikasyon ve düzenleme etik zorunluluktur (Polastrini vd. 2022; Kumar vd. 2018; Borş vd. 2024).

10. İBS Hastalarında A2'ye Özgü Çalışma Var mı?

Mevcut kontrollü çalışmaların çoğu, laktoz malabsorpsiyonu veya “süt intoleransı” olan ancak tanımlanmış İBS tanısı bulunmayan bireylerde yürütülmüştür (Sun vd. 2015; He vd. 2017; Milan vd. 2019; Ramakrishnan vd. 2020a,b; 2024). İBS’li gruplarda ise protein hidrolizi veya probiyotikli ürünler incelenmiş, A2 sütü ile konvansiyonel sütü doğrudan karşılaştıran randomize kontrollü bir çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle A2 sütü, laktoz intoleransı olan bireylerde semptomları azaltabilen bir seçenek olarak görünse de, İBS’li hastalardaki etkisi dolaylı kanıtlara dayanmaktadır ve bu alanda spesifik randomize kontrollü çalışmalara ihtiyaç vardır.

11. Makrobesinler ve Enerji İçeriği

A1 ve A2 süt; enerji, toplam protein, yağ ve laktoz içerikleri bakımından büyük ölçüde benzer olup, fark esas olarak β -kazeindeki tek aminoasit varyasyonundan kaynaklanmaktadır (Kay vd. 2021; Jeong vd. 2023; Ben Farhat vd. 2025). Sporcu beslenmesine yönelik bir derlemede, her iki süt tipinde 100 mL için enerji içeriğinin 270–278 kJ ve toplam protein konsantrasyonunun yaklaşık 33 mg/mL olduğu bildirilmiştir; ayrıca α -, β -, κ -kazein ve whey protein fraksiyonlarının yalnızca beslenme açısından önemsiz düzeyde farklılık gösterdiği belirtilmiştir (Kaplan vd. 2022).

12. Mineral İçeriği ve Biyoyararlanımı

Ticari A2 ve A2 olmayan (A1/A2) sütler arasında toplam kalsiyum, sodyum ve fosfor düzeyleri benzer bulunmuştur. A2 sütlerde magnezyum ve potasyum düzeyleri hafifçe daha yüksek olsa da bunun besleme/parti kaynaklı olduğu ve beslenme açısından anlamlı üstünlük sağlamadığı belirtilmektedir. Sindirim sonrası kalsiyum ve magnezyum biyoyararlanımı büyük ölçüde benzer olup, fosfor biyoyararlanımı A2 sütlerde biraz daha yüksek bildirilse de genel olarak A2 sütün daha zengin bir mineral kaynağı olduğu söylenememektedir (Costa Santos vd. 2024).

13. Asıl Fark: β -Kazein Varyantı ve Peptitler

A1 ve A2 süt arasındaki temel fark, β -kazeinin 67. pozisyonundaki prolin (A2)–histidin (A1) değişimine dayanmaktadır (Kaskous, 2020; Jeong vd. 2023; Ben Farhat vd. 2025). Bu farklılık, sindirim sırasında β -kazomorfin-7 (BCM-7) oluşumunu etkileyerek A1 sütlerde daha yüksek, A2 sütlerde ise minimal düzeyde BCM-7 açığa çıkmasına yol açmaktadır (Kaskous, 2020; Giribaldi vd. 2022). İn vitro ve hayvan çalışmaları A2 profilinin sindirim, immün yanıt ve mikrobiyota açısından daha elverişli olabileceğini öne sürse de, bu farkın besinsel içerikten ziyade fonksiyonel/proteomik nitelikte olduğu belirtilmektedir (Guantario vd. 2020; Giribaldi vd. 2022; Gonzales Malca vd. 2023).

14. Bilimsel Arka Plan ve İlk Ticarileşme

A2 süt, yalnızca A2 β -kazein içeren ve A1 varyantını içermeyen süt olarak tanımlanmakta; daha düşük BCM-7 oluşumu ve olası daha iyi sindirilebilirlik temelinde konumlandırılmaktadır (Fernández Rico vd. 2022; Ben Farhat vd. 2025). Bu bilimsel çerçeveye The A2 Milk Company™, 2000'li yılların başında Yeni Zelanda'da A1'siz sütü ticarileştiren ilk şirket olarak öne çıkmış ve hızla iç ve dış pazarlarda büyüme göstermiştir (Bentivoglio vd. 2020; Jiménez Montenegro vd. 2022).

15. The A2 Milk Company™: Kuruluş, Büyüme ve Strateji

The A2 Milk Company Limited, 2003 civarında Yeni Zelanda'da A1 β -kazein içermeyen süt ve süt ürünleriyle pazara girmiş ve kısa sürede özellikle Avustralya'da önemli bir pazar payına ulaşmıştır (Fernández Rico vd. 2022). Şirket, 2017'de 730 milyon NZ\$ ciroya ulaşarak 2018'de Yeni Zelanda borsasının en değerli şirketi olmuş; Avustralya ve Çin başta olmak üzere birçok pazarda A2 süt ve formül ürünlerle büyümesini sürdürmüştür (Esty ve Fisher, 2019; Fernández Rico vd. 2022; Manuelian vd. 2025). 2018'de Fonterra ile kurulan ortaklık küresel tedarik gücünü artırırken, Nestlé'nin Çin pazarına girişi rekabeti yoğunlaştırmıştır (Esty ve Fisher, 2019; Polastrini vd. 2022).

16. Sağlık Vurgusu ve Tüketici Algısının Şekillendirilmesi

Pek çok marka, Pek çok marka, A2 sütü sindirim konforu ve BCM-7 oluşmaması gibi iddialarla fonksiyonel gıda dili üzerinden konumlandırmaktadır (Giribaldi vd. 2022; Jeong, Park ve Yoon, 2023; Borş vd. 2024). Brezilya'da yapılan bir çalışmada, A2'nin özelliklerinin açık ve basit biçimde sunulmasının tüketici tutumunu olumlu etkilediği; buna karşılık risk odaklı mesajların daha karmaşık algılar oluşturduğu gösterilmiştir (Nogueira vd. 2023). Avrupa çalışmalarında ise sağlıklı beslenmeye duyarlı tüketicilerin A2 süte fiyat primi ödemeye daha istekli olduğu ve özellikle süt sonrası rahatsızlık yaşayan bireylerin hedef kitleyi oluşturduğu belirlenmiştir (Bentivoglio vd. 2020). Buna karşın, Hindistan ve Brezilya gibi pazarlarda yüksek fiyat, düşük farkındalık ve sağlık iddialarındaki belirsizlik önemli sınırlayıcılar olarak öne çıkmaktadır (Veershetty vd. 2024; Teixeira vd. 2025; Nogueira vd. 2025a).

17. Doğallık, Saflık ve “Temiz Etiket” Söylemi

A2 süt, “doğal”, “katkısız” ve “anne sütüne daha yakın” gibi algılarla pazarlanmakta; tüketicilerin temiz etiket ve fonksiyonel ürünlere yönelimi bu konumlandırmayı desteklemektedir (Fernández Rico vd. 2022; Žbik vd. 2024; Nogueira vd. 2023; Nogueira vd. 2025a). Bununla birlikte, tüketicilerin önemli bir kısmının A1/A2 ayırımının genetik temeli ve gerçek

etkileri hakkında bilgi sahibi olmadığı; algılanan faydaların sıklıkla laktoz intoleransı ve süt proteini alerjisi ile karıştırıldığı bildirilmektedir (Teixeira vd. 2025). Bu durum, pazarlama söyleminin bilgi eksikliği üzerinden şekillenebileceğine işaret etmektedir.

18. A2 Süt: Kanıtların Genel Değerlendirmesi ve Gelecek Perspektifi

A2 süt, özellikle süt tüketimi sonrası rahatsızlık bildiren bireylerde sindirim konforu ve gastrointestinal semptomlarda azalma ile ilişkilidir; ayrıca kısa vadede bağırsak mikrobiyotasında yararlı bakterilerin (örn. *Bifidobacterium*, *Blautia*) artışına katkı sağlayabilir (Giribaldi vd. 2022; Jeong, Park ve Yoon, 2023; Song vd. 2025; Robinson vd. 2025). Bununla birlikte, sistematik derlemeler A2 sütün kronik hastalıklar üzerine koruyucu etkisinin kanıtlanmadığını göstermektedir (Giribaldi vd. 2022; Borş ve Floriştian, 2024). A1 süt ile tip 1 diyabet, kardiyovasküler ve nörolojik hastalıklar arasında öne sürülen nedensel ilişkiler çoğunlukla deneysel ve gözlemsel verilere dayanmakta, insan randomize çalışmalarınca desteklenmemektedir (Fernández Rico vd. 2022; Gonzáles Malca vd. 2023). Bu nedenle, A2 sütün “genel olarak daha sağlıklı” olduğu iddiası mevcut durumda daha çok pazarlama söylemi niteliğindedir (Dantas vd. 2023; Jeong vd. 2023; Nogueira vd. 2025b).

GENEL SONUÇLAR

Bu derleme, A2 sütünün bilimsel temelleri, klinik etkileri, pazar dinamikleri ve etik-sosyoekonomik boyutlarını değerlendirmektedir.

A2 süt, A1 beta-kazeinden tek bir amino asit farkı (Prolin/Histidin) ile ayrılır ve sindirim sırasında opioid etkili BCM-7 peptidinin salınımını önemli ölçüde azaltır. Klinik kanıtlar, özellikle geleneksel süt sonrası sindirim sorunu yaşayan (laktoz intoleransı olmayan) bireylerde, A2 sütün gastrointestinal semptomları hafiflettiğini ve bağırsak mikrobiyotasını olumlu yönde etkileyebildiğini göstermektedir. Ancak A2 süt, laktoz intoleransı veya süt proteini alerjisi için çözüm değildir. BCM-7'nin diyabet, kardiyovasküler hastalıklar veya nörolojik/otoimmün durumlarla ilişkisi hipotez düzeyindedir ve insanlarda nedenselliği destekleyen kaliteli çalışmalar sınırlıdır. A2 süt pazarı, sindirim konforu, doğallık ve sağlıklı beslenme algısı üzerinden şekillenen premium bir niş segmenttir. Tüketici tercihleri çoğunlukla pazarlama mesajlarıyla yönlendirilmekte ve A1/A2 farkına dair bilgi sınırlıdır, bu da bir “bilgi asimetrisi” yaratmaktadır. Pazarlama stratejileri genellikle “daha saf”, “atalarımızın sütü” veya “daha kolay sindirilir” vurgularını içerir; ancak tüm iddialar bilimsel kanıtlarla tam örtüşmemektedir.

A2 süt üretimi, genetik seçim (A2A2 inekler), ayrı yetiştirme ve sıkı izlenebilirlik gerektirir. Küresel ölçekte standart regülasyon bulunmamakta ve sağlık iddiaları genel gıda etiketleme kurallarına tabidir; bu durum düzenleyici boşluklar yaratmaktadır. Üretim ve pazara erişimdeki eşitsizlikler mevcut olup, premium fiyatlandırma yüksek maliyetlere rağmen ekonomik potansiyel sunmaktadır. Çevresel sürdürülebilirlik etkisi ise kullanılan ırk, üretim sistemi ve verimlilik gibi faktörlere bağlıdır. A2 süt, geçici bir trendden ziyade, sindirim hassasiyeti olan belirli bir tüketici grubu için kalıcı bir pazar segmenti olma potansiyeline sahiptir. Pazarın uzun vadeli güveni ve meşruiyeti, daha büyük ölçekli ve iyi tasarlanmış randomize kontrollü çalışmalar ile şeffaf, bilimsel kanıta dayalı regülasyon ve etiketleme standartlarına bağlıdır. Tüketiciler, A2 sütü “tedavi edici” bir ürün olarak değil, geleneksel süte toleranssız alt grup için denenebilir bir alternatif olarak değerlendirmelidir; sürekli sindirim sorunu yaşayanlar ise sağlık profesyoneline danışmalıdır.

Sonuç olarak, A2 süt, süt bilimi ve pazarı açısından önemli bir farkındalık yaratmıştır. Bilimsel araştırmalar ve pazar dinamikleri gelişirken, kanıta dayalı, şeffaf ve dengeli yaklaşımlar, ürünün sağlık, ekonomi ve sürdürülebilirlik açısından olumlu katkı sunması için kritik önemdedir.

KAYNAKLAR

- Adoligbe, C., Akpo, S. G., Adido, S., M’Po, M., Zoclanclounon, A. R., Mantip, S., Akpo, Y., ve Farougou, S. (2022). Distribution of the beta-casein gene variants in three cattle breeds reared in Benin. *Journal of Agricultural Science*, 14, 86-94.
- Ardıçlı, S., Aldevir, Ö., Aksu, E., ve Gümen, A. (2023). The variation in the beta-casein genotypes and its effect on milk yield and genomic values in Holstein-Friesian cows. *Animal Biotechnology*, 34(8), 4116-4125.
- Ardıçlı, S., Aldevir, Ö., Aksu, E., ve Gümen, A. (2024). Associations of bovine beta-casein and kappa-casein genotypes with genomic merit in Holstein Friesian cattle. *Archives Animal Breeding*, 67(1), 61-71.
- Aslam, H., Ruusunen, A., Berk, M., Loughman, A., Rivera, L., Pasco, J., ve Jacka, F. (2020). Unravelling facets of milk derived opioid peptides: A focus on gut physiology, fractures and obesity. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 71(1), 36-49.
- Asledottir, T., Le, T. T., Petrat-Melin, B., Devold, T. G., Larsen, L. B., ve Vegarud, G. E. (2017). Identification of bioactive peptides and quantification of β -casomorphin-7 from bovine β -casein A1, A2 and I after ex vivo gastrointestinal digestion. *International Dairy Journal*, 71, 98-106.
- Ayaz, Suhail, S. M., Ahmad, I., Zeb, M. T., Khan, R., Ijaz, A., Ahmad, I., Riaz, M., Ali, F., Khan, K., ve Khan, A. (2022). Detection of A2A2 genotype of beta casein protein (CSN2) gene in local, exotic and cross bred cattle in Pakistan. *Animal Biotechnology*, 34(4), 1462-1473.
- Ben Farhat, L., Selmi, H., Tôth, V., Hoarau, A., Suli, A., Labas, K. S., Ferid, A., ve Mikó, E. (2025). A2 milk: The impact of genetic variation in milk protein on

- human health. *Current Protein ve Peptide Science*, 26(9), 751-760. Advance online publication.
- Bentivoglio, D., Finco, A., Bucci, G., ve Staffolani, G. (2020). Is there a promising market for the A2 milk? Analysis of Italian consumer preferences. *Sustainability*, 12(17), 6763. <https://doi.org/10.3390/su12176763>
- Bolat, E., Eker, F., Yılmaz, S., Karav, S., Oz, E., Brennan, C., Proestos, C., Zeng, M., ve Oz, F. (2024). BCM 7: Opioid like peptide with potential role in disease mechanisms. *Molecules*, 29(9), 2161.
- Borş, A., Borş, S. I., ve Floriştian, V. C. (2024). Health-related outcomes and molecular methods for the characterization of A1 and A2 cow's milk: Review and update. *Veterinary Sciences*, 11(4), 172. <https://doi.org/10.3390/vetsci11040172>
- Cartuche-Macas, L. F., Navarrete-Mera, J. F., Gutiérrez-Reinoso, M. A., ve García-Herreros, M. (2025). Differential A1/A2 β -casein (CSN2) gene-derived allelic and genotypic frequencies across Ecuadorian exotic dairy cattle breeds. *Frontiers in Veterinary Science*, 12, 1616426.
- Carvajal, A. M., Levicoy, D., ve Pizarro-Aránguiz, N. (2023). Genotyping of the beta-casein A1 and A2 variants in Chilean dairy cattle. *Animal Science and Genetics*, 19(2). <https://doi.org/10.5604/01.3001.0053.7705>
- Choi, Y., Kim, N., Song, C., Kim, S., ve Lee, D. (2024). The effect of A2 milk on gastrointestinal symptoms in comparison to A1/A2 milk: A single-center, randomized, double-blind, cross-over study. *Journal of Cancer Prevention*, 29(2), 45-53. <https://doi.org/10.15430/JCP.24.007>
- Costa Santos, A. C., Rebellato, A. P., Luz, G. M., ve Pallone, J. (2024). A2 milk: Bioaccessibility of essential minerals and the release of amino groups under static in vitro digestion conditions. *Food Research International*, 186, 114336.
- Dantas, A., Kumar, H., Prudencio, E. S., de Avila Junior, L. B., Orellana-Palma, P., Dosoky, N. S., ve Kumar, D. (2023). An approach on detection, quantification, technological properties, and trends market of A2 cow milk. *Food Research International*, 167, 112690.
- de Pascale, S., Picariello, G., Troise, A. D., Caira, S., Pinto, G., Marino, F., Scaloni, A., ve Addeo, F. (2024). Ex vivo degradation of β casomorphin 7 by human plasma peptidases: Potential implications for peptide systemic effects. *Journal of Functional Foods*, 113, 106004.
- de Vasconcelos, M. L., Oliveira, L. M. F. S., Hill, J. P., ve Vidal, A. M. (2023). Difficulties in establishing the adverse effects of β casomorphin 7 released from β casein variants—A review. *Foods*, 12(17), 3151.
- Deng, Y., Misselwitz, B., Dai, N., ve Fox, M. (2015). Lactose intolerance in adults: Biological mechanism and dietary management. *Nutrients*, 7(9), 8020-8035.
- Dubey, S., Thakur, A., Jena, M., Kumar, S., Sodhi, M., Mukesh, M., Kaushik, J., ve Mohanty, A. K. (2024). Effect of bovine beta casomorphins on rat pancreatic beta cells (RIN 5F) under glucotoxic stress. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 739, 150578.
- Escobar Charry, M. A., ve Quintanilla Carvajal, M. (2025). An overview of bovine beta casomorphin 7 (b BCM7) and its potential impact on microbiota regulation and digestive health. *Journal of Functional Foods*, 128, 106812.
- Esty, B., ve Fisher, D. (2019). The A2 Milk Company. *HBS Strategy Case*, (719-424).

- Farhat, L., Selmi, H., Tóth, V., Hoarau, A., Suli, A., Labas, K., Ferid, A., ve Mikó, E. (2025). A2 milk: The impact of genetic variation in milk protein on human health. *Current Protein ve Peptide Science*, 26(9), 751-760. <https://doi.org/10.2174/0113892037366987250401183000>
- Fernández-Rico, S., Mondragon, A., López-Santamarina, A., Cardelle-Cobas, A., Regal, P., Lamas, A., Ibarra, I., Cepeda, A., ve Miranda, J. (2022). A2 milk: New perspectives for food technology and human health. *Foods*, 11(16), 2387. <https://doi.org/10.3390/foods11162387>
- Flom, J. D., ve Sicherer, S. H. (2019). Epidemiology of cow's milk allergy. *Nutrients*, 11(5), 1051.
- Gard, F., Flad, L., Weißer, T., Ammer, H., ve Deeg, C. (2024). Effects of A1 milk, A2 milk and the opioid-like peptide β -casomorphin-7 on the proliferation of human peripheral blood mononuclear cells. *Biomolecules*, 14(6), 690. <https://doi.org/10.3390/biom14060690>
- Giribaldi, M., Lamberti, C., Cirrincione, S., Giuffrida, M. G., ve Cavallarin, L. (2022). A2 milk and BCM-7 peptide as emerging parameters of milk quality. *Frontiers in Nutrition*, 9, 842375.
- Gonzales-Malca, J. A., Tirado-Kulieva, V. A., Abanto-López, M. S., Aldana-Juárez, W. L., ve Palacios-Zapata, C. M. (2023). Worldwide research on the health effects of bovine milk containing A1 and A2 β -casein: Unraveling the current scenario and future trends through bibliometrics and text mining. *Current Research in Food Science*, 7, 100602.
- González Rodríguez, N., Vázquez Liz, N., Rodríguez Sampedro, A., Regal, P., Fente, C., ve Lamas, A. (2025). The impact of A1 and A2 β casein on health outcomes: A comprehensive review of evidence from human studies. *Applied Sciences*, 15(13), 7278.
- Guantario, B., Giribaldi, M., Devirgiliis, C., Finamore, A., Colombino, E., Capucchio, M. T., Evangelista, R., Motta, V., Zinno, P., Cirrincione, S., Antoniazzi, S., Cavallarin, L., ve Roselli, M. (2020). A comprehensive evaluation of the impact of bovine milk containing different beta-casein profiles on gut health of ageing mice. *Nutrients*, 12(7), 2147.
- Haq, M. R., Kapila, R., Shandilya, U., ve Kapila, S. (2014). Impact of milk derived β casomorphins on physiological functions and trends in research: A review. *International Journal of Food Properties*, 17(8), 1726-1741.
- Haq, M. R. (2020). Biological activities of casomorphins. In *Opioid food peptides: Significant exorphins from food sources* (pp. 39-50). Singapore: Springer Singapore.
- He, M., Sun, J., Jiang, Z. Q., ve Yang, Y. X. (2017). Effects of cow's milk beta-casein variants on symptoms of milk intolerance in Chinese adults: A multicentre, randomised controlled study. *Nutrition Journal*, 16(1), 72.
- Jeong, H., Park, Y., ve Yoon, S. (2023). A2 milk consumption and its health benefits: An update. *Food Science and Biotechnology*, 33(3), 491-503. <https://doi.org/10.1007/s10068-023-01428-5>
- Jiménez-Montenegro, L., Alfonso, L., Mendizabal, J. A., ve Urrutia, O. (2022). Worldwide research trends on milk containing only A2 β -casein: A bibliometric study. *Animals*, 12(15), 1909.
- Kaplan, M., Baydemir, B., Günar, B., Arslan, A., Duman, H., ve Karav, S. (2022). Benefits of A2 milk for sports nutrition, health and performance. *Frontiers in Nutrition*, 9, 935344. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.935344>

- Kaskous, S. (2020). A1- and A2-milk and their effect on human health. *Journal of Food Engineering and Technology*, 9(1), 15-21. <https://doi.org/10.32732/jfet.2020.9.1.15>
- Kay, S., Delgado, S., Mittal, J., Eshraghi, R., Mittal, R., ve Eshraghi, A. (2021). Beneficial effects of milk having A2 β -casein protein: Myth or reality? *The Journal of Nutrition*, 151(5), 1061-1072. <https://doi.org/10.1093/jn/nxaa454>
- Khan, R., De, S., Dewangan, R., Tamboli, R., ve Gupta, R. (2023). Potential status of A1 and A2 variants of bovine beta-casein gene in milk samples of Indian cattle breeds. *Animal Biotechnology*, 34(9), 4878-4884.
- Khudyakova, N., Stupina, A. O., ve Klassen, I. A. (2023). The frequency of occurrence of alleles of the beta-casein gene in different breeds of cattle. *The Agrarian Scientific Journal*, 4, 85-91.
- Kumar, A., Rao, B., ve De, A. (2018). Milk proteins, health issues and its implications on national livestock breeding policy of India. *Current Science*, 115(7), 1393-1398.
- Lönnerdal, B. (2014). Infant formula and infant nutrition: Bioactive proteins of human milk and implications for composition of infant formulas. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 99(3), 712S-717S.
- Luyt, D., Ball, H., Makwana, N., Green, M. R., Bravin, K., Nasser, S. M., ve Clark, A. T. (2014). BSACI guideline for the diagnosis and management of cow's milk allergy. *Clinical ve Experimental Allergy*, 44(5), 642-672.
- Mannila, E., Hokkanen, L., Ahonen, E., Turpeinen, A. M., Kalliomäki, M., Kortensniemi, M., ve Linderborg, K. (2025). Tolerance of protein hydrolyzed lactose-free A1 milk and A2 milk in lactose-tolerant and lactose-intolerant volunteers – A randomized cross-over trial with two parallel groups. *Journal of Dairy Science*, 108(9), 9062-9077.
- Manuelian, C., Such, X., Juan, B., ve Milán, M. (2025). Is there a potential market for A2 milk? Consumer perception of dairy production and consumption. *Foods*, 14(15), 2567. <https://doi.org/10.3390/foods14152567>
- Milan, A. M., Shrestha, A., Karlström, H. J., Martinsson, J. A., Nilsson, N. J., Perry, J., Day, L., Barnett, M. P. G., ve Cameron-Smith, D. (2019). Comparison of the impact of bovine milk β -casein variants on digestive comfort in females self-reporting dairy intolerance: A randomized controlled trial. *American Journal of Clinical Nutrition*, 111(1), 149-160.
- Misselwitz, B., Butter, M., Verbeke, K., ve Fox, M. (2019). Update on lactose malabsorption and intolerance. *Gut*, 68(11), 2080-2091.
- Mounika, V., Kumar, B., ve Supriya, K. (2020). Study on consumer buying behavior, awareness and preference for A2 milk in Hyderabad, India. *Asian Journal of Agricultural Extension, Economics and Sociology*, 38(9), 21-29. <https://doi.org/10.9734/ajaees/2020/v38i930404>
- Ms, J. V., Naik, B., Chikkalaki, A., Hs, C., Gj, A., ve Vc, K. (2024). Economic insights into A2 milk: Production costs and consumption trends in southern Karnataka. *International Journal of Agriculture Extension and Social Development*, 7(8), 41-48. <https://doi.org/10.33545/26180723.2024.v7.i8a.907>
- Nguyen, D., Johnson, S. K., Busetti, F., ve Solah, V. (2015). Formation and degradation of beta casomorphins in dairy processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(14), 1955-1967.

- Nogueira, A., Amorim, K., Bastos, S., Pinheiro, A., Teixeira, R., Da Cruz, A., ve Rodrigues, J. (2023). Information influenced consumers' attitudes toward A2 milk: An approach using text highlighting technique. *Journal of Sensory Studies*, 38(5), e12863. <https://doi.org/10.1111/joss.12863>
- Nogueira, C. de M., Goulart, J. Q., de Oliveira, L., Revillion, J. P., ve Schneider, C. L. C. (2025a). A2 milk consumption: A review of this innovative product in agribusiness. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 19(3), e07639, 1-15.
- Nogueira, A., De Oliveira Ferreira, T., Ribeiro, F., Amorim, K., Bastos, S., Da Cruz, A., ve Rodrigues, J. (2025b). A2 milk: Perceptions, purchase intentions and reports during consumption. *International Journal of Dairy Technology*, 78(2), e70010. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.70010>
- Nuomin, Nguyen, Q. D., Aodaohu, ve Nishino, N. (2022). Frequency of β -casein gene polymorphisms in Jersey cows in western Japan. *Animals*, 12(16), 2076.
- Park, Y., ve Haenlein, G. (2021). A2 bovine milk and caprine milk as a means of remedy for milk protein allergy. *Dairy*, 2(2), 191-201. <https://doi.org/10.3390/dairy2020017>
- Parygina, E. V., Khudyakova, N., Tulinova, O., Pervukhina, A., Selkova, I. V., Kozhevnikova, I. S., ve Kudrina, M. A. (2022). Association of genotypes of cows of the Kholmogory breed by beta-casein with milk productivity. *Agricultural Science Euro-North-East*, 23 (6), 877-883.
- Polastrini, A., Rodrigues, W., ve Pedrosa Filho, M. X. (2022). The A2 milk as an upgrading strategy in the cattle global value chain in Brazil. *Desenvolvimento em Debate*, 10(2), 119-145. <http://dx.doi.org/10.51861/ded.dmvdo.2.107>
- Ramakrishnan, M., Eaton, T. K., Sermet, O., ve Savaiano, D. A. (2020a). Milk containing A2 β -casein only, as a single meal, causes fewer symptoms of lactose intolerance than milk containing A1 and A2 β -caseins in subjects with lactose maldigestion and intolerance: A randomized, double-blind, crossover trial. *Nutrients*, 12(12), 3855.
- Ramakrishnan, M., Eaton, T. K., Sermet, O., ve Savaiano, D. A. (2020b). A single meal of milk containing A2 β -casein causes fewer symptoms and lower gas production than milk containing both A1 and A2 β -casein among lactose intolerant individuals. *Current Developments in Nutrition*, 4(2), nzaa052_041.
- Ramakrishnan, M., Saiprasad, S., ve Savaiano, D. (2024). Prolonged consumption of A2 β -casein milk reduces symptoms compared to A1 and A2 β -casein milk in lactose maldigesters: A two-week adaptation study. *Nutrients*, 16(12), 1963. <https://doi.org/10.3390/nu16121963>
- Robinson, L., Cavanah, A., Lennon, S., Mattingly, M., Anglin, D., Boersma, M., Roberts, M., ve Frugé, A. (2025). Lactase-treated A2 milk as a feasible conventional milk alternative: Results of a randomized controlled crossover trial to assess tolerance, gastrointestinal distress, and preference for milks varying in casein types and lactose content. *Nutrients*, 17(12), 1946. <https://doi.org/10.3390/nu17121946>
- Şahin, Ö., Boztepe, S., ve Aytekin, İ. (2018). A1 and A2 bovine milk, the risk of beta-casomorphin-7 and its possible effects on human health: (II) Possible effects of beta-casomorphin-7 on human health. *Selcuk Journal of Agricultural and Food Sciences*, 32(3), 632-639.
- Şahin, Ö., ve Boztepe, S. (2022). The potential status of A1 and A2 variants of bovine beta-casein locus of some indigenous genetic resources reared in

- Turkey. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*, 73(2), 4211-4218.
- Şahin, Ö., ve Boztepe, S. (2023). Assessment of A1 and A2 variants in the CSN2 gene of some cattle breeds by using ACRS-PCR method. *Animal Biotechnology*, 34(4), 1505-1513.
- Savaiano, D. A. (2014). Lactose digestion from yogurt: Mechanism and relevance. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 99(5), 1251S-1255S.
- Sawicka-Zugaj, W., Chabuz, W., Barłowska, J., Mucha, S., Kasprzak-Filipek, K., ve Nowosielska, A. (2025). Analysis of the frequency of the A1 and A2 alleles in the beta-casein gene and the A, B and E alleles in the kappa-casein gene in local cattle breeds: Polish Red and Polish White-Backed. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(5), 2212.
- Sebastiani, C., Arcangeli, C., Ciullo, M., Torricelli, M., Cinti, G., Fisichella, S., ve Biagetti, M. (2020). Frequencies evaluation of β -casein gene polymorphisms in dairy cows reared in Central Italy. *Animals*, 10(2), 252.
- Sebastiani, C., Arcangeli, C., Torricelli, M., Ciullo, M., D'Avino, N., Cinti, G., Fisichella, S., ve Biagetti, M. (2022). Marker-assisted selection of dairy cows for β -casein gene A2 variant. *Italian Journal of Food Science*, 34(2), 21.
- Sheiko, I. P., Klimets, N. V., Pesotski, N. I., ve Shemetavets, Z. I. (2023). Formation of the genealogical structure in herds of bull-producing cows and breeding bulls of the Holstein dairy cattle breed considering β -casein genotypes. *Transactions of the Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine*, 59(2), 118-123.
- Singh, A., Enjapoori, A. K., Gibert, Y., ve Dwyer, K. (2020). The protective effects of human milk-derived peptides on the pancreatic islet biology. *Biology Open*, 9(8), bio049304.
- Song, C. H., Kim, N., Choi, Y., Kim, S., Kim, K. S., Park, M. H., ve Lee, D. H. (2025). Beneficial effect of consuming milk containing only A2 beta-casein on gut microbiota: A single-center, randomized, double-blind, cross-over study. *PLoS One*, 20(5), e0323016. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0323016>
- Storhaug, C. L., Fosse, S. K., ve Fadnes, L. T. (2017). Country, regional, and global estimates for lactose malabsorption in adults: A systematic review and meta-analysis. *The Lancet Gastroenterology ve Hepatology*, 2(10), 738-746.
- Summer, A., Di Frangia, F., Ajmone Marsan, P., De Noni, I., ve Malacarne, M. (2020). Occurrence, biological properties and potential effects on human health of β -casomorphin 7: Current knowledge and concerns. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(21), 3705-3724.
- Sun, J., Xu, L., Lu, X., Yelland, G. W., Ni, J., ve Clarke, A. (2015). Effects of milk containing only A2 beta casein versus milk containing both A1 and A2 beta casein proteins on gastrointestinal physiology, symptoms of discomfort and cognitive behavior of people with self reported intolerance to traditional cows' milk. *Nutrition Journal*, 15(1), 35.
- Teixeira, R. D., Costa, I. M., Costa, T. J. N., Sartori, D., Magalhães, L. M. M., Magalhães, M. B., ve Salotti-Souza, B. M. (2025). Brazilian consumers' perception of knowledge regarding the presence of the β -casein polymorphism in milk. *Ciência Rural*, 55(5), e20240316.

- Thiruvengadam, M., Venkidasamy, B., Thirupathi, P., Chung, I. M., ve Subramanian, U. (2020). β Casomorphin: A complete health perspective. *Food Chemistry*, 337, 127765.
- Veershetty, J. M. S., Naik, B. S., Ragini, B., Chandan, H. S., Abhishek, G. J., ve Nagaraju, Y. (2024). Consumption pattern of A2 milk in Bengaluru city of Karnataka of India. *European Journal of Nutrition ve Food Safety*, 16(8), 275-283. <https://doi.org/10.9734/ejnfs/2024/v16i81515>
- Wang, X., Yu, Z., Zhao, X., Han, R., Huang, D., Yang, Y., ve Cheng, G. (2021). Comparative proteomic characterization of bovine milk containing β -casein variants A1A1 and A2A2, and their heterozygote A1A2. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(2), 718-725.
- Yayla, M. (2023). Detection and validation of A2 milk suitable for consumers having milk intolerance by ELISA method. *Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences*, 9(4), 881-892.
- Zinßius, L., Keuter, L., Kirschek, C., Jessberger, N., Cramer, B., ve Plötz, M. (2025). Influence of the β -casein genotype of cow's milk (A1, A2) on the quality and β -casomorphin-7 (BCM-7) content of a semi-hard cheese during production. *Foods*, 14(3), 463.
- Zulkifli, N. A., Syed Hussain, S. S., ve Baharim, N. A. (2024). A preliminary screening of single nucleotide polymorphism (SNP) of A1 and A2 beta-casein alleles in dairy cattle. *Malaysian Applied Biology*, 53(6), 115-121.

Tarımsal Yapılarda Kullanılan elik atı Sistemlerinde Optimum Makas ve Aşık Aralıklarının Belirlenmesi*

Halil KAMBER

İsrafil KOCAMAN

Tekirdag Namik Kemal University Agricultural Faculty Biosystems Engineering Department, TR-59030
Tekirdag Turkey.

ÖZET

Bu çalışma, İstanbul İli Silivri İlçesi'ndeki tarımsal yapılarda kullanılan çelik çatı sistemlerinin mevcut durumunu ortaya koymak ve farklı açıklıklara sahip yapılar için optimum makas (kafes kiriş) ile aşık aralıklarını belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Araştırma kapsamında öncelikle saha incelemeleri yapılmış; seçilen tarımsal yapılardaki çelik çatı elemanlarının profilleri, kesit ölçüleri, bağlantı detayları ve kaplama malzemeleri yerinde ölçülerek fotoğraflanmıştır. Toplanan veriler, bilgisayar destekli analiz programlarına aktarılmış ve yapısal performansları farklı yük kombinasyonları (kar, rüzgâr, deprem vb.) altında test edilmiştir. Özellikle geniş açıklıklı ahır ve tarımsal depo tipinde binalarda, makasların malzeme tipi ve aşık aralıkları değiştirilerek oluşan farklı tasarım senaryolarının taşıma kapasitesi ve ekonomik getirileri karşılaştırılmıştır.

Elde edilen sonuçlar, geleneksel yöntemlerle belirlenen makas ve aşık aralıklarının bilimsel dayanaklardan uzak olduğunu, bu nedenle gerek güvenlik gerekse maliyet açısından çeşitli sorunlar ortaya çıkabildiğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Tarımsal yapılar, Çelik Konstrüksiyon, Çatı makasları, Aşık elemanları, Yapı Analizi

1. Giriş

Tarımsal üretimin sürdürülebilirliği ve verimliliği, artan nüfus baskısı ve kısıtlanan doğal kaynaklar sebebiyle dünya genelinde kritik önem taşımaktadır. Bu üretimin gerçekleştirildiği yapısal tesislerin kalitesi, üretim sürekliliğini ve ekonomik etkinliği doğrudan etkilemektedir. Özellikle yapıların taşıyıcı sistemlerinin ve çatı konstrüksiyonlarının doğru mühendislik yaklaşımlarıyla tasarlanması hem yapıların dayanımını hem de uzun vadeli işletme maliyetlerini belirleyen temel faktörlerden biridir.

Yapı sistemleri içerisinde çatı elemanları, yalnızca üst örtü işlevi görmeyen ötesinde; yapının genel stabilitesi, ısı ve nem yalıtımı, enerji verimliliği ve işletme giderleri üzerinde de önemli rol oynamaktadır. Mohammadzadeh (2016), çatı sistemlerinin enerji, çevresel etki ve maliyet optimizasyonunda belirleyici bir parametre olduğunu vurgularken; özellikle çelik çatılar gibi çok işlevli sistemlerin performans analizleri için bütüncül modeller geliştirilmesi gerektiğini ifade etmiştir. Yapılan başka çalışmalar, özellikle metal çatıların dayanıklılığı, uzun ömürlülüğü ve düşük bakım maliyetiyle öne çıktığını göstermektedir (Petrinovich et al., 2021).

Moran (1980), tam ölçekli deneysel çalışmasında, çatı geometrisi, eğim oranı ve açıklığın yapısal yük dağılımı üzerinde önemli etkileri olduğunu ve özellikle rüzgâr yükleri gibi dışsal faktörlerin çatılardaki basınç dağılımını büyük ölçüde etkilediğini göstermiştir. Gelişmekte olan ülkelerde yapılan saha temelli çalışmalar da mühendislikten uzak geleneksel uygulamaların yapısal yetersizliklere, malzeme israfına ve artan maliyetlere yol açtığını ortaya koymuştur (Olukunle, 2014). Walters ve Midden (2018) ise çatıların sadece fiziksel koruma değil, aynı zamanda tarımsal yapılarda enerji yönetimi ve işlevsellik açısından da stratejik bir role sahip olduğunu vurgulamaktadır.

Türkiye'nin önemli tarımsal üretim merkezlerinden biri olan İstanbul'un Silivri ilçesi, büyük kent nüfusuna yakınlığı ve lojistik avantajları sebebiyle tarımsal faaliyetlerin yoğunlaştığı bölgelerden biridir. Bölgede mevcut tarımsal yapıların büyük çoğunluğunda, çelik çatı sistemlerinin mühendislik analizlerinden ziyade geleneksel yöntemlerle veya deneyime dayalı pratiklerle tasarlandığı gözlenmiştir. Bu durum, taşıyıcı sistemlerin gereğinden fazla veya yetersiz malzeme kullanımıyla sonuçlanmakta, ekonomik ve yapısal sorunlara neden olabilmektedir. Bu doğrultuda çalışmanın temel problemi, çelik çatı sistemlerinin optimum makas ve aşık aralıklarının belirlenmesine yönelik bölgeye özgü verilerin ve tasarım kriterlerinin yetersizliğidir.

2. Araştırma materyali ve yöntem

İstanbul ili Silivri ilçesi, Marmara Bölgesi'nin geçiş iklim koşullarına sahip olması, büyük bir tüketim merkezine yakınlığı ve tarımsal yapıların çeşitliliği nedeniyle araştırma materyali olarak seçilmiştir. Farklı ölçek ve fonksiyondaki işletmelerin varlığı, özellikle çelik çatı sistemlerinin sahadaki durumunu ve bu yapıların tasarım/uygulama pratiklerini incelemek açısından elverişli bir örneklem sunmaktadır. Bu araştırma, İstanbul İli Silivri İlçesi'nde tarımsal yapılarda kullanılan çelik çatı sistemlerinin mevcut durumunu saptamak ve farklı açıklıklardaki yapı tipleri için optimum makas (kafes kiriş) ve aşık aralıklarını belirlemek amacıyla iki aşamada yürütülmüştür. Birinci aşamada arazi çalışmaları, ikinci aşamada ise büro çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Araştırma alanı, 41° 04' – 41° 10' kuzey enlemleri ile 28° 10' – 28° 25' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Ortalama rakımı 20-30 m civarında olmakla birlikte, arazi yapısı yer yer yükselti farklılıkları göstermektedir (Anonim, 2025). Silivri ilçesi hem bitkisel hem de hayvansal üretim açısından geniş ve işlenebilir arazi varlığına sahiptir.

Araştırma iki aşamalı bir çalışma olarak tasarlanmıştır. Birinci aşama arazi çalışmalarından oluşmaktadır. Bu amaçla, seçilen işletmelerde yer alan tarımsal yapıların çelik çatı sistemleri incelenmiş; malzeme düzenleri, çatı elemanlarının kesitleri, açıklıkları ve yapı genişlikleri yerinde yapılan ölçümler yoluyla tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra, çatıların genel görünümü, bağlantı şekilleri ve kafes kiriş tipleri fotoğraflarla belgelenmiştir. Böylece, araziden toplanan sayısal veriler ile görsel dokümantasyonun sistematik bir biçimde işlenmesi ve ilerleyen aşamalarda gerçekleştirilecek yapısal analizlere uygun hâle getirilmesi hedeflenmiştir. Mevcut yapıların kuşbakışı bir görüntüsünü elde edebilmek, çatıların genel görünümünü üstten kayıt altına almak ve yapıların yüksek kısımlarında ayrıntılı gözlem yapmak amacıyla insansız hava araçları kullanılmıştır. Ulaşılabilir olan noktaların ölçümünde ise lazer metre kullanılmıştır. Ayrıca, total station cihazı kullanarak lazer hedeflemeyle, kritik ve ulaşması zor olan yerlerde yüksek hassasiyetli ölçümler de yapılmıştır.

İkinci aşama ise büro çalışmaları şeklinde yürütülmüştür. Bu süreçte, arazi çalışmaları esnasında elde edilen veriler ışığında saptanan sorunlar bütün boyutlarıyla tartışılmış ve bilgisayar destekli programların kullanılmasıyla birlikte çeşitli analizler gerçekleştirilmiştir. Ardından ilgili literatür bulgularıyla birlikte değerlendirilerek, tarımsal yapılarda uygulanmaya

elverişli, yöre koşullarına uyumlu çelik çatı sistemleri için en uygun malzeme düzenleri ile yapı genişliğine bağlı optimum makas ve aşık aralıkları belirlenmiştir. Bu optimum verilerin analizi esnasında kullanılan statik programlar (İdeCAD ve SAP2000), birden fazla olasılığı baz alarak, emniyetli, ekonomik, ergonomik ve fonksiyonel düzeyde en ideal tasarımı tespit ederek, farklı açıklıklara, malzeme tür ve ölçülerine sahip yapılar için çatı sistemlerinin projelendirilmesine yönelik öneriler getirmektedir. Söz konusu yazılımlar, farklı aşamalardaki veri işleme ve modelleme gereksinimlerine uygun çözümler sunmaktadır.

Bu çalışmada, arazi ölçüleriyle elde edilen verilerin dijital ortama aktarılması, tarımsal yapıların çelik çatı sistemlerine ilişkin teknik çizimlerin hazırlanması ve sonrasında statik analiz ile optimizasyon süreçlerinin gerçekleştirilmesi amacıyla çeşitli bilgisayar yazılımları kullanılmıştır. İlk olarak, AutoCAD programından yararlanılarak arazi çalışmasında elde edilen ölçümler neticesinde çatı planları, kesitleri ve detay çizimleri hazırlanmıştır. Bu süreçte özellikle makas elemanlarının geometrik düzeni, aşık aralıkları ile bağlantı detayları teknik olarak çizilmiş ve ilerleyen aşamalarda yapılacak analizlere temel oluşturacak şekilde düzenlenmiştir. Ardından, üç boyutlu modelleme ve görselleştirme ihtiyacını karşılamak üzere SketchUp ve Lumion yazılımları kullanılmıştır. Bu yazılımlar sayesinde, çatı elemanlarının konumlandırılması, taşıyıcı sistemlerin mekânsal ilişkileri ve farklı açıklık düzenlemelerinin görsel olarak değerlendirilmesi ve sistemin gerçekçi verisiyle revize hallerinin görselleri oluşturulmuştur.

Statik analiz ve optimizasyon aşamasında ise, ihtiyaç durumuna göre İdeCAD ve SAP2000 mühendislik yazılımları tercih edilmiştir. Arazi ölçümlerinden elde edilen veriler ve AutoCAD üzerinde hazırlanan taslak projeler, bu yazılımlarda tanımlanarak çatı sisteminin yapısal bütünlüğü, malzeme dayanımı ve yük taşıma kapasiteleri analiz edilmiştir. Böylece, deprem, kar ve rüzgâr gibi dış etkilerin yapı üzerindeki potansiyel gerilme dağılımlarının hesaplanması, aşırı sehim ve stabilite sorunlarının tespiti ve çeşitli tasarım varyasyonlarının ekonomik açıdan karşılaştırılması sağlanmıştır. Analiz sonuçlarında, makas ve aşık elemanlarındaki gerilme dağılımları, sehim değerleri ve stabilite sınırları incelenmiştir. Farklı makas aralıkları ve çatı örtü malzemelerine göre elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak optimum tasarım ilkeleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Öncelikle, çatı taşıyıcı sisteminde çelik profiller ağırlıklı bir kullanım alanına sahiptir. Özellikle I, H, U ve kutu profiller, geniş açıklıkları ekonomik ve

dayanıklı bir biçimde karşılamak amacıyla tercih edilmektedir. Çelik malzemenin yüksek mukavemet/ağırlık oranına sahip olması, kırsal alanlarda büyük ölçekli hayvancılık ve tarımsal depolama yapılarının tasarımında avantaj sağlamaktadır. Bunun yanı sıra, çelik kafes kiriş (makas) sistemleri bölgedeki çok sayıda işletmede görülmüş, bu uygulamalar sayesinde yapıların taşıma kapasitesi artırılırken kolon sayısı azaltılmıştır. Çatı örtü malzemesi olarak ise, trapez sac ve sandviç panel türleri öne çıkmaktadır. Trapez sac, nispeten düşük maliyetli ve kolay uygulanabilir olmasının yanı sıra, hafifliği ve hızlı montaj imkânı sayesinde sıklıkla tercih edilmektedir.

Silivri Bölgesi'nde incelenen tarımsal yapıların çatı sistemlerinde çelik profillerle oluşturulan makas veya kafes kirişler yaygın bir kullanım alanına sahip olup, trapez sac ve sandviç panel gibi hafif ve dayanıklı çatı örtü malzemeleriyle desteklenmektedir. Bağlantı elemanları ve koruyucu kaplamalar ise, sistemin bütünlüğünü ve uzun ömürlülüğünü artıran tamamlayıcı unsurlar olarak değerlendirilmektedir. Bu veriler, araştırmanın sonraki aşamalarında yapılacak yapısal ve maliyet analizlerine de temel teşkil etmektedir.

Elde edilen statik analiz çıktıları, maliyet analizi ile desteklenmiştir. Bu kapsamda, çelik profil miktarı ve profil tipine dayalı ağırlık hesabı yapılarak, ton veya kilogram başına malzeme gideri tahmin edilmiştir. Bunun yanı sıra, montaj işçiliği, nakliye, koruyucu kaplama (galvaniz veya boya) gibi kalemler dikkate alınarak, farklı tasarım varyasyonlarının birim maliyet karşılaştırması yapılmıştır. Böylece, çatı sistemlerinin yalnızca taşıyıcılık yönüyle değil, aynı zamanda ekonomik açıdan da en uygun şekilde tasarlanması hedeflenmiştir.

2.1. Yapısal analiz yöntemi

2.1.1. Statik ve dinamik yüklerin belirlenmesi

Çelik çatı sistemlerinin yapısal analizinde temel oluşturan yük bileşenleri, ilgili yönetmelik ve standartlar çerçevesinde belirlenmiştir.

Sabit yükler çatı sisteminin kendi ağırlığı ile, kalıcı yapı elemanlarından (çatı kaplama malzemesi, makas kesitleri, aşıklar ve bağlantı elemanları gibi) kaynaklanan yük bileşenlerini içermektedir. Silivri bölgesinde incelenen yapılarda, çatı kaplaması olarak trapez sac, sandviç panel veya kiremit gibi çeşitli malzemeler kullanıldığı tespit edilmiştir. Her bir kaplama türünün birim ağırlığı, ilgili teknik dokümanlardan veya üretici kataloglarından alınmakta; makas ve aşıklar içinse çelik profilin (örneğin I, H, U, kutu profil) kesit özellikleri dikkate alınarak profil ağırlıkları hesaplanmaktadır. Böylece, statik

analiz aşamasında her bir çatı elemanının ağırlığı, sabit yük olarak yapısal modele tanımlanmaktadır.

Hareketli yükler, yapılarda çatı yüzeyine etki eden en önemli hareketli yükler arasında kar ve rüzgâr yükleri yer almaktadır. Bu yükler, Türkiye’de yaygın biçimde kullanılan TS 498 (2021) ve gerekli durumlarda Eurocode standartları çerçevesinde hesaplanmıştır. Silivri İlçesi’ndeki ortalama ve maksimum kar yağış miktarları, Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden alınan verilerle birlikte değerlendirilmiş, çatı eğimi ve yüzey pürüzlülüğü faktörleri de göz önünde bulundurularak kar yükü değeri belirlenmiştir. Bölgenin rüzgâr hızı, yapı yüksekliği ve çevredeki yerleşim yoğunluğu (açık alan, kırsal yapılaşma, vb.) dikkate alınarak rüzgâr yükü katsayıları hesaplanmıştır. Bu katsayılar, çatı yüzeyinde oluşabilecek basınç ve emme kuvvetlerini yansıtacak şekilde modele tanımlanmıştır.

Deprem yükü, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) hükümleri doğrultusunda hesaplanmıştır. Silivri İlçesi, Marmara Bölgesi’nin sismik açıdan aktif bölgelerinden birinde konumlanmaktadır. Bu nedenle, yapıların yatay yük taşıma kapasitesini ve çatı sisteminin sismik performansını değerlendirmek amacıyla analiz modellerine deprem kuvvetleri dâhil edilmiştir. Temel zemin sınıfı, yer ivme katsayıları ve yapı önem katsayısı gibi parametreler, TBDY (2018)’de öngörülen hesap yöntemleri kullanılarak belirlenmiş ve çatı elemanlarının yatay rijitlikleri de dikkate alınarak sismik yük dağılımları modellenmiştir.

Analiz sürecinde, sabit ve hareketli yüklerin birbirleriyle etkileşimi göz önünde bulundurularak uygun yük kombinasyonları oluşturulmuştur. TS 498 veya Eurocode çerçevesinde tanımlanan temel ve özel durum yük kombinasyonları (örneğin, “Sabit + Kar”, “Sabit + Rüzgâr”, “Sabit + Kar + Deprem” vb.) yapısal modelde ayrı ayrı analiz edilmiştir. Böylece, farklı iklimsel ve sismik senaryolar altında çatı sisteminin dayanım ve stabilite durumu güvenilir biçimde değerlendirilebilmiştir.

Belirtilen yüklerin analiz yazılımları (İdeCAD ve SAP2000) üzerinden çatı makas ve aşık elemanlarına doğru şekilde aktarılabilmesi için bağlantı noktaları, mafsal, rijit diyafram ve benzeri kavramsal tanımlar yapılmıştır. Özellikle tarımsal yapılarda geniş açıklıkları kapsayan makas sistemlerinin davranışı, yüklerin homojen dağılmasını sağlamak amacıyla özenle tanımlanan birleşim koşullarıyla modellenmiştir. Bağlantı elemanlarının (cıvata, kaynak, perçin vb.) taşıma kapasitesi ve çalışma şekli de yük aktarımını etkileyen önemli etmenler arasında yer almaktadır.

Çatı sisteminin maruz kalacağı statik ve dinamik etkiler, Silivri yöresinin iklimsel ve sismik koşulları çerçevesinde değerlendirilmiş; sabit, hareketli ve sismik yüklerin belirlenmesi, bu yüklerin yapısal modele doğru biçimde tanımlanmasıyla sonuçlandırılmıştır. Bu aşama, araştırmanın yapısal analiz ve optimizasyon süreçlerinin güvenilirliğini sağlamak için kritik bir temel oluşturmaktadır.

2.1.2. Bilgisayar destekli hesaplama ve optimizasyon

Bu çalışmada, tarımsal yapıların çelik çatı sistemlerinde farklı açıklık, kesit ve malzeme kombinasyonlarının hem yapısal performans hem de ekonomik yönden değerlendirilmesi amacıyla bilgisayar destekli hesaplama ve optimizasyon yöntemlerinden yararlanılmıştır. Saha verilerinin büro ortamında dijital modellere dönüştürülmesini takiben, çeşitli mühendislik yazılımları kullanılarak çatı elemanlarının statik ve dinamik yükler altındaki davranışı incelenmiştir. Bunun yanı sıra, farklı tasarım senaryolarının sonuçları karşılaştırılarak minimum malzeme kullanımını, optimum taşıma kapasitesini ve ekonomik verimliliği birlikte sağlayan çözümler tespit edilmeye çalışılmıştır.

Öncelikle, arazi çalışmalarından elde edilen ölçümler ve teknik çizimler, öncelikle İdeCAD ve SAP2000 ileri düzey mühendislik yazılımlarına aktarılmıştır. Bu yazılımlar üzerinden çatı makasları, aşıklar ve bağlantı noktaları üç boyutlu olarak modellenmiş; deprem, kar ve rüzgâr yükleri ile sabit yüklerin birleşik etkisi altında yapı elemanlarının gerilme ve deformasyon değerleri hesaplanmıştır. Program içinde belirlenmiş malzeme kütüphaneleri ve yönetmelik esasları (TS 498, Eurocode vb.) referans alınarak çelik profillerin akma sınırları, elastisite modülü ve bağlantı kapasiteleri tanımlanmıştır. Böylelikle, çatı sistemindeki olası aşırı gerilmeler, sehimler veya stabilite problemleri henüz tasarım aşamasında tespit edilmiştir.

Yapısal analiz sonuçları elde edildikten sonra, farklı makas ve aşık aralıkları ile alternatif kesit tiplerinin oluşturduğu tasarımlar arasında bir optimizasyon süreci yürütülmüştür. Bu aşamada, çatı sisteminin taşıma gücünü ve kullanım konforunu sağlayacak asgari kesit boyutları ile malzeme miktarlarının belirlenmesine odaklanılmıştır. Örneğin, makas elemanlarında I, H veya kutu profil kullanımının çatı açıklığına, giriş boyuna ve beklenen yük durumuna göre ne ölçüde uygun olduğu değerlendirilmektedir. İlgili yazılımlarda farklı senaryolar (farklı makas açıklıkları, malzeme sınıfları, aşık aralığı vb.) için yeniden analizler yapılmış ve sonuçlar tablo hâlinde karşılaştırılarak optimum çözüm kümeleri çıkarılmıştır.

Tüm tasarım senaryoları hem mühendislik hem de ekonomik boyutlarıyla birlikte ele alınmıştır. Malzeme ağırlığı ve profil miktarı üzerinden hesaplanan maliyetler, montaj işçiliği ve nakliye gibi ek masraflarla desteklenerek birim maliyet analizi kapsamına alınmıştır. Bu doğrultuda, belirli bir taşıma kapasitesi ve güvenlik katsayısını korurken, malzeme tasarrufu sağlayan tasarımlar öncelikli olarak öne çıkmıştır. Bunun yanı sıra, bakım-onarım sıklığının azaltılması ve çatı sisteminin uzun ömürlü olması hedeflenmiş; dayanıklılık ile ekonomi arasındaki dengenin gözetilmesi, optimizasyon sürecinin temel ilkesi hâline gelmiştir.

Elde edilen optimizasyon bulguları, son aşamada sahadan edinilen veriler ve üretici görüşleriyle birlikte yorumlanmıştır. Böylelikle, yalnızca teorik düzeyde değil, aynı zamanda uygulama pratiklerine de uyumlu bir tasarım rehberi ortaya konması amaçlanmıştır. Bu entegrasyon sayesinde, çelik çatı sistemlerinde makas ve aşık aralıklarının belirlenmesi ile malzeme seçimine ilişkin kararlar hem yapısal güvenlik hem de ekonomik sürdürülebilirlik ilkelerine uygun biçimde yönlendirilebilmiştir.

3. Araştırma ve bulgular

3.1. Proje Tip 1 yapısı

Proje Tip 1, mevcut durumda büyükbaş hayvan yetiştiriciliği amacıyla kullanılmakta olup, üretim faaliyetlerinde aktif bir şekilde hizmet vermektedir. 600 m² taban alanına sahip olan yapı, RHS ve NPI tipi profiller kullanılarak inşa edilmiştir. Çatı kaplaması olarak sandviç panel tercih edilmiş olup, tüm sistemin toplam ağırlığı yaklaşık 46 ton olarak hesaplanmıştır. Proje Tip 1'ye ait halihazır yapı fotoğrafı Şekil 1' de verilmiştir.



Şekil 1. Proje tip 1 hava fotoğrafı

Proje Tip 1 yapısının halihazır ve revize statik raporlarının İdeCAD ve SAP2000 programlarıyla analizi ile karşılaştırmaları yer almaktadır. Yapının, TBDY 2018 Deprem Yönetmeliği kapsamında yapılan statik analiz sonuçları değerlendirildiğinde, yapının taşıyıcı sistemlerinde C11 tipi, yüksek süneklik düzeyli çelik ve betonarme çerçeve sistemi kullanılmış olup, R katsayısının seçimi ve yapıya etkileyen deprem yükleri bu yönetmeliğin ilgili hükümlerine göre hesaplanmıştır. Analizler, hareketli yükler dahil olmak üzere yapının toplam ağırlığının 46.86 ton olduğunu göstermektedir. Modal analizde esas alınan serbest kütle değeri ise 45.97 ton olarak belirlenmiştir. Bu veriler, deprem ve diğer dış yükler altında yapının davranışını ortaya koyan temel hesapları oluşturmaktadır.

Yapıda iki tür malzeme grubu öne çıkmaktadır. Betonarme elemanlarda C25 sınıfı beton ve B420C sınıfı donatı çeliği kullanılmıştır. Betonun karakteristik basınç dayanımı 25 MPa, çeliğin akma dayanımı ise 420 MPa'dır. Çelik elemanlarda tercih edilen S235 sınıfı, 235 MPa akma dayanımına ve 367 MPa çekme dayanımına sahiptir. Bu malzemelerin yönetmelik çerçevesinde yeterli görüldüğü, ancak belirli elemanlarda kapasite veya rijitlik yetersizliği bulunduğu tespit edilmiştir. Yapının analizinde 68 hata saptanmış olup, bunlar özellikle kat ötelemeleri, PMM (Plastik Moment Kapasitesi) oranları ve sehim

kontrolleri gibi kritik tasarım unsurlarında yoğunlaşmaktadır. Zemin kat özelinde görece kat ötelemesinin X yönünde 0.0105, Y yönünde ise 0.0764 olarak hesaplanması, izin verilen 0.004 değerinin önemli ölçüde aşıldığını göstermektedir. Bu durum, taşıyıcı sistemin yanal rijitlik bakımından yetersiz olduğunu ortaya koymaktadır. İkinci merteye etkilerinin zemin katta $\theta_i(\max) = 0.671$ gibi oldukça yüksek bir değer alması, yapının stabilite problemlerine işaret etmektedir. Bazı çelik kolon ve kiriş elemanlarında PMM kontrolleri yetersiz bulunmuştur. CE861, CE862, BE1392, CE883 ve CE884 numaralı elemanlarda kapasite oranlarının yönetmelik koşullarını sağlamadığı görülmektedir. Zemin katta yer alan BE1392 kirişinin sehim oranının sınır değeri aştığı, yine çelik aşıklardan PE105 elemanının da benzer şekilde yetersiz kaldığı tespit edilmiştir.

Yapının kat ötelemelerini kontrol altına almak ve rijitliğini artırmak üzere taşıyıcı sistemde çapraz eleman eklenmesi veya kolon kesitlerinin büyütülmesi önerilmektedir. Bu sayede yatay rijitliğin yükseltilmesi ve ikinci merteye etkilerinin azaltılması amaçlanmaktadır. Döşemelerde rijit diyafram davranışının güçlendirilmesi, özellikle zemin kattaki hareketlerin sınırlandırılmasında kritik önem taşımaktadır.

PMM kontrolünde başarısız olan kolon ve kiriş elemanlarının kesit büyütme veya daha yüksek dayanımlı çelik sınıflarına geçme yöntemleriyle iyileştirilmesi önerilmektedir. Örneğin, mevcut IPN profilleri yerine HEA ya da HEB gibi daha rijit profiller tercih edilebilir. Sehim problemleri, kiriş yüksekliklerinin artırılması veya ilave mesnet ve ara desteklerin eklenmesiyle çözümlenebilmektedir. Aşık elemanlarda da daha rijit profillerin kullanılması veya kalınlaştırılması gerekmektedir. İkinci merteye etkilerinin yüksek olması, yapının yanal stabilitesini olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle, TBDY 2018 yönetmeliğinin ilgili maddelerine göre kapasite tasarımı prensipleri ve yük faktörleri gözden geçirilmeli, analizler, artırılmış yatay yükler altında yeniden yapılmalıdır.

Statik analiz sonuçları, yapı malzemelerinin temel dayanım koşullarını sağlamakla birlikte, rijitlik ve kapasite konularında ciddi iyileştirmelere ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. Özellikle zemin kat düzeyinde yüksek görece kat ötelemesi ve ikinci merteye etkileri, sismik performansı düşüren en önemli unsurlardır. Burada sunulan öneriler doğrultusunda taşıyıcı sistemin ele alınması, kat ötelemelerinin ve sehimlerin azaltılması için gerekli projelendirme revizyonlarının yapılması, yapının deprem yönetmeliği

kriterlerine uyum sağlamasında belirleyici olacaktır. Doğru tasarım ve iyileştirmelerle, yapı daha rijit, stabil ve güvenli bir hale getirilebilecektir.

Proje Tip 1'in revize statik hesabı, modern mühendislik yaklaşımıyla ve bilgisayar destekli analiz yöntemleriyle gerçekleştirilmiş olup, TBDY 2018'in öngördüğü güvenlik koşullarını karşılamaktadır. Geleneksel yöntemlerle tasarlanan yapıların çoğunlukla deneyim ve ampirik hesaplara dayandığı göz önüne alındığında, bu revize tasarım; sismik performansın yüksek düzeyde sağlanmasına, yapısal bütünlüğün korunmasına ve olası risklerin minimize edilmesine yönelik önemli bir örnek teşkil etmektedir. Bu sayede, can ve mal güvenliğinin korunması amaçlanmakta ve bilimsel verilerle desteklenen güvenilir bir yapı tasarımı ortaya konmuştur.

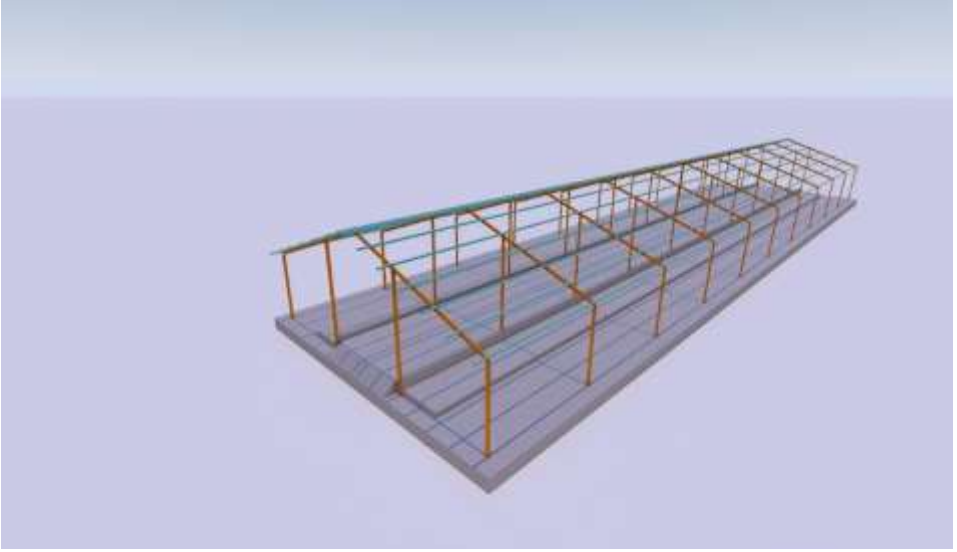
3.1.1. Halihazırdaki yapı ve bilgisayar destekli statik raporlarının yapıldığı revize yapının karşılaştırmalı analizi

Mevcut statik raporlar üzerinde yapılan incelemeler, yapı tasarımında geleneksel yöntemler ile modern mühendislik yaklaşımları arasındaki ciddi farklılıkları gözler önüne sermektedir. İlk rapor, usta-çırak ilişkisine dayalı ve büyük ölçüde deneyim odaklı tasarımdan kaynaklanan önemli eksiklikler içermektedir. Özellikle TBDY 2018 Deprem Yönetmeliği'ne yeterli uyum sağlanamaması, zemin katta ortaya çıkan yüksek görelî kat ötelemeleri, PMM kontrollerinin olumsuz sonuçlanması ve aşık sehîm değerlerinin kabul edilebilir sınırların üzerine çıkması gibi faktörler, yapının deprem gibi beklenmedik yüklere maruz kalması hâlinde oluşabilecek riskleri artırmaktadır. Buna karşılık, bilgisayar destekli mühendislik hesaplamaları ve analizleriyle oluşturulan revize statik rapor, yapı güvenliğini ve yönetmeliklere uyumu ön planda tutan modern tasarım prensiplerini temsil etmektedir. Titizlikle yürütülen modal analiz, görelî kat ötelemesi kontrolü, ikinci mertebeye etkileri ve diğere düzensizlik kontrolleri, yapının deprem yükleri altında güvenli davranış göstermesini sağlayacak temel unsurlardır. Raporun kapsamlı ve şeffaf yapısı, her aşamanın detaylı biçimde incelenebildiğini ve maliyet ile güvenlik arasındaki dengenin korunduğunu göstermektedir.

Geleneksel yöntemlere bağılı tasarlanan yapılarda, deprem başta olmak üzere çeşitli dış yükler altında güvenlik zafiyeti görülmesi büyük olasılıktır. Modern mühendislik prensiplerine göre revize edilen ve bilgisayar programlarıyla analiz edilen yapı tasarımları ise güncel yönetmeliklere tam uyum sağlayarak olası riskleri minimize etmeyi amaçlamaktadır.

Şekil 2'de sunulan Proje Tip 1 Açık Modeli, çelik taşıyıcı sistemin kolon, makas ve aşık elemanlarının birleşim detaylarını cepheden yansıtmakta,

deprem ve diğer dış yükler altında yapının performansını şekillendiren önemli tasarım parametrelerini göstermektedir. Bu model hem mühendislik hesaplarının doğrulanması hem de mimari/işlevsel gerekliliklerin sağlanması açısından yol gösterici niteliktedir. Tip 1 projesine ait açık modelin karkas perspektif gösterimi Şekil 2’de yer almaktadır.



Şekil 2. Proje tip 1 açık model – genel gösterim

Yapıda sıralı şekilde konumlandırılmış çelik kolonlar ve bunları üst düzeyde birleştiren makas/kiriş bağlantıları, yük aktarım mekanizmasını net bir biçimde ortaya koymaktadır. Bu kolon-makas dizilimi; düşey yüklerin etkin bir şekilde aktarılması yanında, deprem veya rüzgâr gibi yatay yükleri de güvenle taşıyabilmek amacıyla tasarlanmıştır. Görselde, çatı makaslarını destekleyen aşıkların açıklık aralıkları ve sayıları, kaplama malzemesi ve çevresel koşullar (kar yükü, rüzgâr vb.) dikkate alınarak optimize edilmiştir. Çatı elemanlarının sıklığı ve konumlandırılması, yük dağılımını düzenlemek ve makaslar arasında rijit bir bütünlük sağlamak açısından önemlidir.

Çatı makaslarının üstteki eğimli hat boyunca düzenli aralıklarla yerleştirilmiş olması, yapının hem estetik hem de taşıyıcı bütünlüğüne hizmet etmektedir. Cepheden bakıldığında, makas ve kolon elemanlarının konturları, binanın iç hacmini ve strüktürel dayanak noktalarını açıkça tanımlamaktadır. Kolonların temeldeki ankraj detayları ise deprem ve yatay yükler altında güvenli bir yük transferi için tasarlanmıştır. Ahırın iç bölümünde hayvan barınak alanlarının düzenlenmesi, yemlik veya suluk konumları gibi işlevsel öğeler, dış cephe kaplama yüksekliği ve giriş kapılarının boyutlarıyla doğrudan ilişkilidir. Bu

nedenle cephe tasarımı hem taşıyıcı sisteme uyumlu hem de iç mekân işlevlerini destekleyen bir düzende kurgulanmıştır. Taşıyıcı sistem, iklimsel koruma, doğal aydınlatma/havalandırma ve giriş düzeni gibi unsurlar, ahırın hem işlevsel hem de yapısal gerekliliklerini karşılayacak şekilde bütünleştirilmiştir. Bu yaklaşım, tarımsal tesislerde uzun ömürlü, kullanışlı ve güvenli bir yapı elde etmek için akademik ve mühendislik prensiplerinin etkin uygulamasını yansıtmaktadır. Tip 1 projesine ait kapalı modelin perspektif gösterimi Şekil 3’de yer almaktadır.



Şekil 3. Proje tip 1 kapalı model – genel gösterim

Şekil 3, Proje Tip 1 yapısının kapalı modelini genel bir bakış açısıyla sunmaktadır. Yapının tamamına ilişkin dış cephe, çatı kaplaması ve işlevsel düzen unsurları, tarımsal tesis tasarımında dikkate alınması gereken hem strüktürel hem de kullanıcı odaklı gereksinimleri yansıtmaktadır. Görselde, ahırın cephesine ve yan cephelerine ait kapı, pencere ve servis kapısı gibi açıklıklar görülmektedir. Bu açıklıkların konumu ve boyutları, doğal aydınlatma, havalandırma ve hayvan/ekipman geçişlerinin verimliliği açısından önemlidir. Bunun yanı sıra, duvar kaplamasının yüksekliği ve rijitliği, yapıdaki statik ve dinamik yük aktarımını destekleyecek şekilde tasarlanmıştır. Üst kısımda, eğimli çatı kaplamasıyla birlikte omurgayı oluşturan taşıyıcı elemanlar (kolon ve makaslar) kapalı hâlde sunulmaktadır. Çatı malzemesinin seçimi yağış yüklerine dayanım, ısı yalıtımı ve uzun vadeli korozyon direnci parametrelerine göre yapılmaktadır. Bunun yanı sıra, çatının

yeterli eğimi, kar ve yağmur sularının etkin şekilde tahliye edilmesini amaçlamaktadır.

Duvar, çatı ve açıklık detayları hem çiftlik işletmeciliğinin pratik gereksinimlerini hem de mühendislik standartlarını gözeterek bir anlayışla kurgulanmıştır. Bu bütüncül tasarım, tarımsal üretim ve hayvancılık faaliyetlerinde verimi artırırken, uzun vadeli yapısal güvenliği de garanti altına almayı hedeflemiştir. Tip 1 projesine ait kapalı modelin iç alan modelleme gösterimi Şekil 4’de yer almaktadır.



Şekil 4. Proje tip 1 kapalı model – iç alan

Proje Tip 1’in kapalı modeline ait iç görünüm, hayvan konforu ve işletme kolaylığına öncelik veren, aynı zamanda TBDY 2018’e uygun yapısal stabiliteyi gözeterek bir tasarım anlayışını sergilemektedir. İç alan düzeni, kolonsuz geniş açıklıklar ve yeterli yük taşıma kapasitesine sahip rijit çerçeve kombinasyonu ile hem yapısal bütünlük hem de günlük iş akışında işlevsel verimlilik sağlamaktadır. Özetle; halihazır projede kolon aralıkları 5,0 m ye 4,0 m olarak tasarlanmış olup, profil tipi NPI-120 olarak seçilmiştir. Makas aralıkları ise 4,0 metre olup yine NPI-120 profiller kullanılmıştır. Aşık aralıkları, 1,08 metre olarak belirlenmiş ve RHS 40×80×4 profiller tercih edilmiştir. Bu hâlihazır tasarımın toplam sistem ağırlığı 45,97 ton olarak hesaplanmıştır.

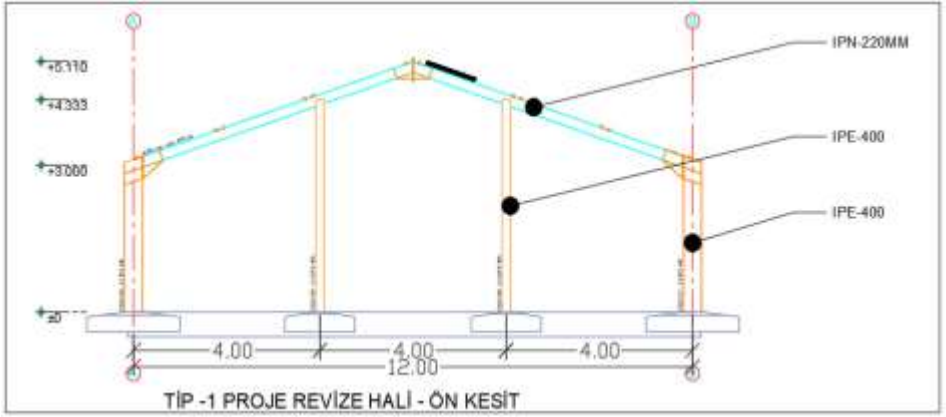
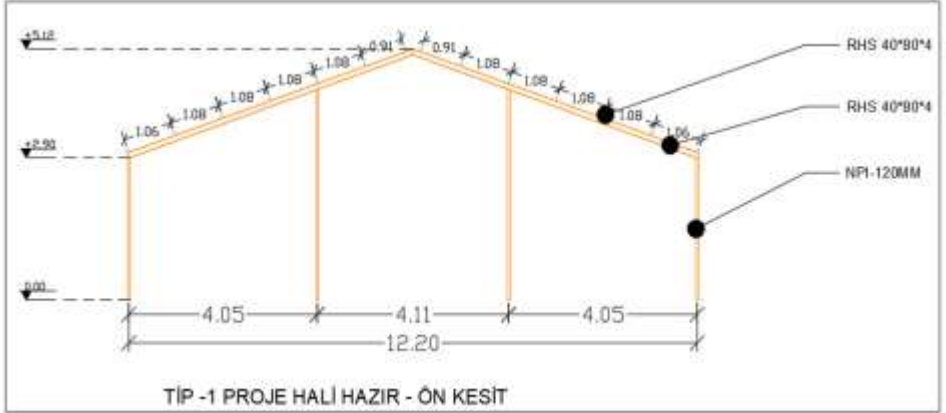
Yeniden hesaplanan statik projede ise kolon aralıkları 5,0 metreye 4,0 metreye revize edilmiş ve IPE-400 profilleri kullanılmıştır. Makas aralıkları yine 5,0 metre olarak korunmuş ancak IPN-220 profilleriyle değiştirilmiştir. Aşık aralıkları 4,0 metreye çıkarılmış ve IPN-200 profiller uygulanmıştır. Bu

güncellenmiş tasarımın toplam sistem ağırlığı 41,53 ton olarak saptanmıştır. Çizelge 1’de Tip 1 Projesi için karşılaştırma verileri verilmiştir.

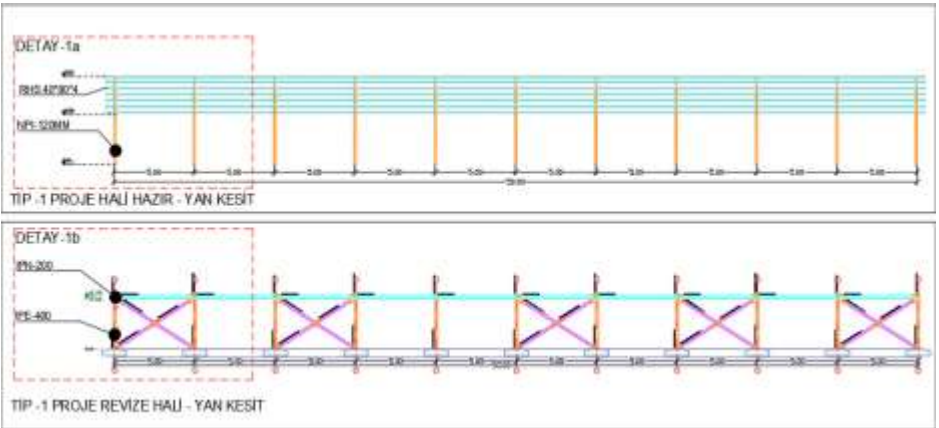
Çizelge 1. Proje tip 1 yapısı için halihazır ve revize proje verilerinin karşılaştırılması

Durum	Özellik	Boy Aralıkları (m)	En Aralıkları (m)	Profil Tipi ve Ölçüsü	Ölçüm Miktarı
	Kolon Aralıkları	5,0	4,0	NPI-120	
	Makas Aralıkları	5,0		NPI-120	
Hâlihazır Proje	Aşık Aralıkları		1,08	RHS 40×80×4	
	Hareketli Yükler Dahil Yapı Ağırlığı				0,0766 Ton/m ²
	Toplam Sistem Ağırlığı				45,97 Ton
	Kolon Aralıkları	5,0	4,0	IPE-400	
	Makas Aralıkları	5,0		IPN-220	
Revize Proje	Aşık Aralıkları		4,0	IPN-200	
	Hareketli Yükler Dahil Yapı Ağırlığı				0,069 Ton/m ²
	Toplam Sistem Ağırlığı				41,53 Ton

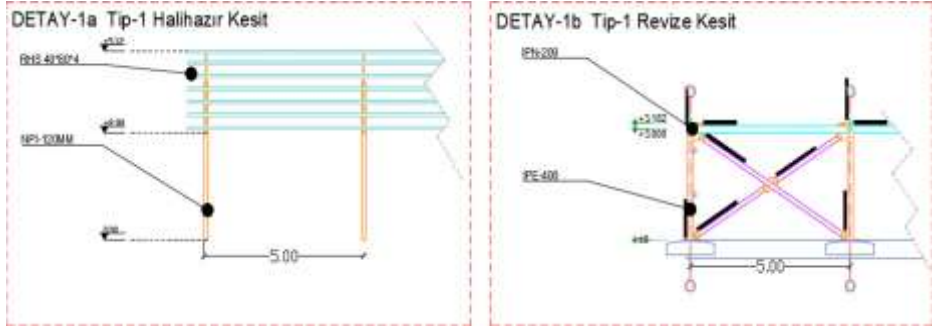
Tip 1 projeye ait halihazır ve revize (ideal) olan yapı tasarımlarına ait her biri halihazır yapıdan alınmış verilerin dijitalleştirmeleri ve akabinde statik programlarca yeniden hesaplanarak meydana getirilmiş optimum yapı tasarımına ait çizim verilerinin karşılaştırma görselleri Şekil 5, Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8’de verilmiştir.



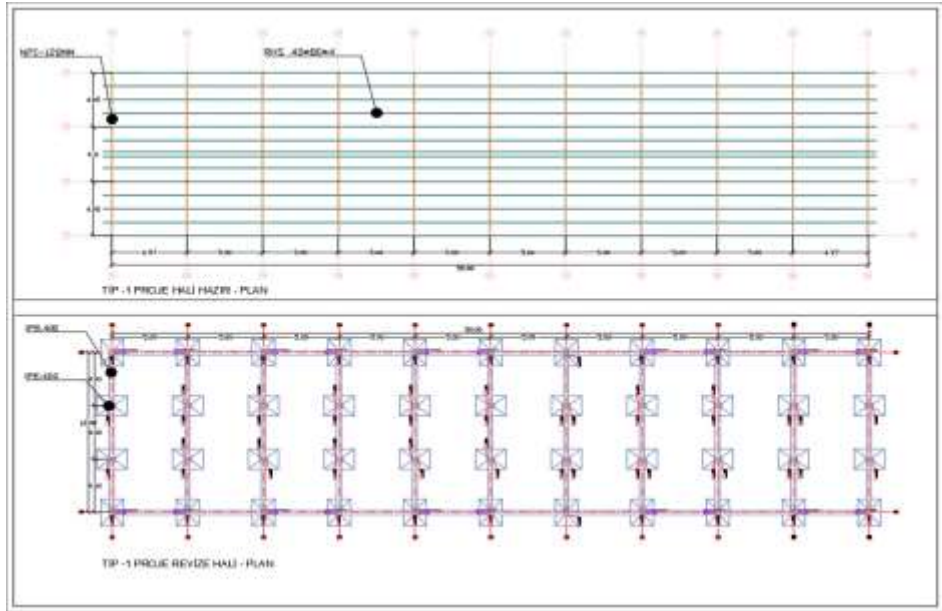
Şekil 5. Proje tip 1 ön kesit kıyas



Şekil 6. Proje tip 1 plan kesit kıyas



Şekil 7. Proje tip 1 plan kesit detay kıyas



Şekil 8. Proje tip 1 plan kesit kıyas

3.2. Proje Tip 2 yapısı

Proje Tip 2, mevcut durumda büyükbaş hayvan yetiştiriciliği amacıyla kullanılmakta olup, üretim faaliyetlerinde yarı kapasitede aktif bir şekilde hizmet vermektedir. 1400 m² taban alanına sahip olan yapı, RHS ve SHS tipi profiller kullanılarak inşa edilmiştir. Çatı kaplaması olarak sandviç panel tercih edilmiş olup, tüm sistemin toplam ağırlığı yaklaşık 32,13 ton olarak hesaplanmıştır. Tip 2 projesine ait halihazır yapı fotoğrafları Şekil 9' da verilmiştir.



Şekil 9. Proje tip 2 hava fotoğrafı

Proje tip 2 yapısının halihazır ve revize statik raporlarının İdeCAD ve SAP2000 programlarıyla analizi ile karşılaştırmaları yer almaktadır. Proje kapsamında kullanılan yapı malzemesinin S235 sınıfı çelik olduğu ve bu malzemenin akma dayanımının 235 MPa, kopma dayanımının ise 367,098 MPa olarak belirlendiği tespit edilmiştir. Yapının toplam kütlesi 32,13 ton düzeyinde olup dinamik analizlerde söz konusu kütle değeri esas alınmıştır. Hareketli yük katsayısı, TBDY 2018’de belirtilen asgari değer olan 0,3 olarak alınmıştır. Deprem yüklerinin hesaplanmasında Tepki Spektrumu Yöntemi uygulanmış ve modal analiz sonuçları çerçevesinde, kirişli veya kaset döşeme seçeneğiyle oluşturulan rijit diyafram davranışının yatay yükleri eşit ve düzenli biçimde dağıttığı gözlemlenmiştir. Bu yaklaşım, yapının burulma riskini azaltmakta ve daha kararlı bir taşıyıcı sistem elde edilmesini mümkün kılmaktadır.

Yapının taşıyıcı sistemi, yüksek süneklik düzeyine sahip C11 tipi çelik çerçeve olarak tanımlanmıştır. Bu sistem, deprem sırasında beklenen yüksek deformasyonlar altında enerjinin güvenli bir şekilde soğurulmasını sağlamaktadır. Hem X hem de Y yönlerinde R katsayısının 8 olarak seçilmesi, TBDY 2018 yönetmeliği tarafından yüksek süneklik düzeyli çelik çerçeveler için tanımlanan üst sınırı temsil etmektedir. Analiz sonuçlarında, zemin katta bazı elemanların aksenal yük taşıma kapasitesinin yetersiz olduğu ve makas

elemanlarında da benzer sorunların gözlemlendiği ortaya çıkmıştır. Bunun yanı sıra, X ve Y yönlerinde zemin kat görelî kat ötelemelerinin belirtilen sınırları aştığı, X yönünde 0,0049 ve Y yönünde 0,0113 değerlerinin hesaplandığı belirlenmiştir. Özellikle Y yönünde öteleme rijitliğinin arttırılmasına ihtiyaç duyulduğu anlaşılmaktadır.

TBDY 2018 yönetmeliği esas alınarak yapılan tasarım ve analizlerde, sabit yükler 25,3 ton, hareketli yükler 6,8 ton ve toplam yük 32,13 ton şeklinde tanımlanmıştır. Tepki spektrumu ve modal analiz yöntemleriyle gerçekleştirilen hesaplamalar, aşık aralıklarının 1,2-1,5 metre, makas aralıklarının ise 5-6 metre düzeyine çekilmesi hâlinde hem yük aktarımının daha düzenli gerçekleşeceğini hem de uzun süreli dayanıklılığın artacağını göstermektedir, ancak mevcut tasarımın, geleneksel usta-çırak yaklaşımıyla yapıldığı ve rijitlik faktörlerinin tam olarak dikkate alınmadığı görülmüştür. Bu durum, ekonomiklik kaygısıyla çelik eleman aralıklarının fazla tutulmasından kaynaklı dayanıksızlıklara yol açmıştır.

Çalışma kapsamındaki ikinci değerlendirmede ise proje için yine S235 sınıfı çelik kullanıldığı, akma dayanımının 23963,3 tf/m² ve kopma dayanımının 36709,8 tf/m² olduğu ifade edilmiştir. Toplam kütlesi 32,13 ton olarak hesaplanan yapının, aynı şekilde 0,3 hareketli yük katsayısıyla analiz edildiği görülmüştür. Deprem yüklerinin detaylı biçimde incelendiği modal analiz raporunda, yapının periyotları ve mod başına kütle katılım oranları açıklanarak rijit diyafram yaklaşımının tercih edildiği belirtilmiştir. Bunun yanı sıra, taşıyıcı sistemde yine yüksek süneklik düzeyli C11 tipi çelik çerçeve kullanıldığı, X ve Y yönlerinde R katsayısının 8 alındığı, ancak zemin kat görelî kat ötelemelerinin TBDY 2018'de öngörülen sınırları aştığı tespit edilmiştir. Bu kapsamda, özellikle makas elemanlarının bazı kısımlarında hesaplanan $P_u/(P_n/\Omega)$ oranının 1'den büyük olması, eksenel taşıma kapasitesi açısından yetersizliklere işaret etmektedir.

Yapılan analizler, zemin kat rijitliğinin yetersizliği, makas elemanlarındaki kapasite sorunları ve bazı elemanlarda eksenel yük taşıma gücünün sağlanamaması gibi kritik yetersizlikleri ortaya koymaktadır. Bu durum, yapının olası deprem etkileri altında güvenli

davranış göstermesi için ilave önlemlerin alınmasını gerektirmektedir. Statik hesaplamaların rijit diyafram, yüksek süneklik ve TBDY 2018 gibi güncel yönetmelik ilkelerine uygun yapılması gerektiği açıkça ortaya çıkmakta, makas ve aşık aralıklarının iyileştirilmesiyle yapının uzun ömürlülüğünün artırılacağı vurgulanmaktadır. Çalışma, deprem güvenliği açısından sistem rijitliği ve yük dağılımı faktörlerinin sağlıklı bir yapısal tasarımın vazgeçilmez unsurları olduğunu bir kez daha göstermekte; bu amaçla bilgisayar destekli mühendislik araçlarının ve güncel yönetmeliklerin kullanımının önemini öne çıkarmaktadır.

Proje kapsamında kullanılan yapı malzemesi çeliğin S235 ve S275 sınıflarıyla temsil edildiği görülmektedir. S235 çeliğinin akma dayanımı 23963,3 tf/m², kopma dayanımı ise 36709,8 tf/m² değerine sahiptir. S275 sınıfı çeliğin akma dayanımı 28042,2 tf/m², kopma dayanımı ise 43847,8 tf/m² olarak belirlenmiştir. Bu seçim, yapı elemanlarının farklı dayanım gereksinimlerini karşılayarak ekonomik ve yeterli bir taşıyıcı sistem oluşturmayı amaçlanmıştır.

Yapının toplam kütlesi 28,09 ton olarak hesaplanmış ve dinamik analizlerde bu kütle değeri esas alınmıştır. Hareketli yük katsayısının 0,3 değerinde tutulması, TBDY 2018 yönetmeliğinin asgari koşulunu karşılamaktadır. Deprem yüklerinin hesaplanmasında Tepki Spektrumu Yöntemi kullanılmasıyla birlikte modal analiz yapılmış, böylece yapının doğal titreşim periyotları ve mod şekilleri ayrıntılı biçimde ortaya konmuştur. Modal analizde 99 modun incelenmesi, her moda ilişkin kütle katılım oranlarının ve modal taban kesme kuvvetlerinin hesaplanmasını mümkün kılarak yapısal davranışın doğru bir şekilde modellenmesini sağlamıştır.

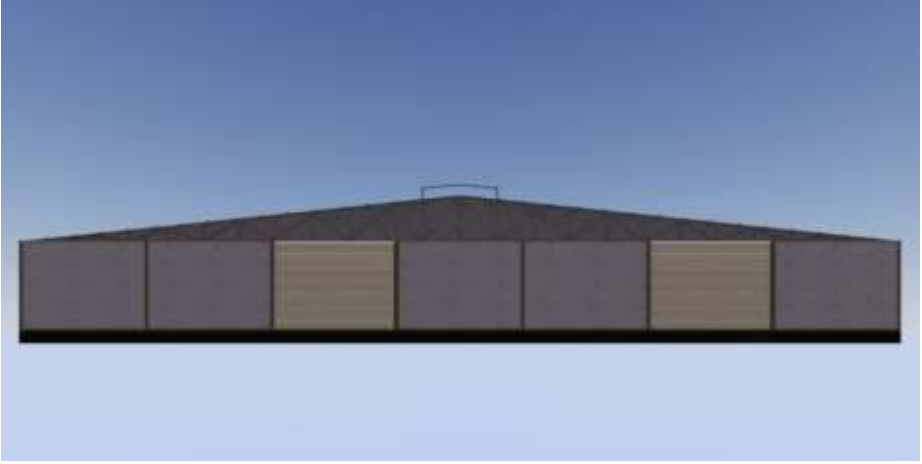
3.2.1. Halihazırdaki yapı ve bilgisayar destekli statik raporlarının yapıldığı revize yapının karşılaştırmalı analizi

Proje Tip 2 projesinin mevcut hâli ile revize edilen tasarımının karşılaştırılması, TBDY 2018 deprem yönetmeliği çerçevesinde gerçekleştirilen ilk statik analizle tespit edilen problemler ve sonrasında yapılan revizyonlarla elde edilen iyileştirmeleri ayrıntılı biçimde ortaya koymaktadır. İlk statik analiz raporunda, zemin kattaki aşırı görelî kat

ötelemeleri ve bazı yapı elemanlarının aksel yük taşıma kapasitesini karşılamaması nedeniyle TBDY 2018'in belirlediği kritik güvenlik kriterlerinin sağlanamadığı anlaşılmıştır. Bunun yanı sıra, makas elemanlarının aksel kapasitesindeki yetersizlikler de yapı performansını olumsuz etkileme potansiyeline sahip unsurlar olarak dikkat çekmiştir.

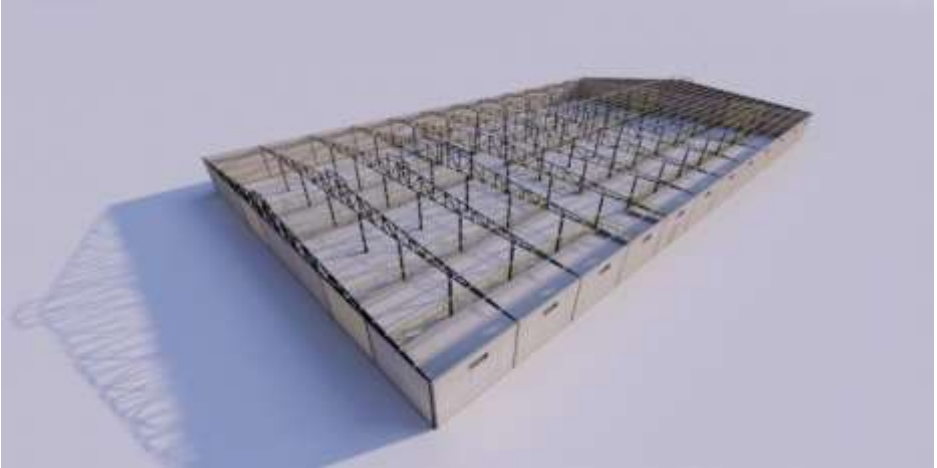
Bu tespitler, yapının deprem anındaki beklenen davranışı açısından ciddi riskler oluşturmuştur. Göreli kat ötelemelerinin aşılması, yapıda aşırı deformasyonlara ve hatta taşıyıcı elemanlarda hasara yol açabilmekte; aksel yük kapasitesindeki yetersizlikler ise yerel veya genel göçme riskini artırmaktadır. Yapıda makas elemanlarının güçlendirilmesi ve kritik kesitlerin düzenlenmesi bu yüzden önem taşımaktadır. Revizyon sürecinde, yapının deprem güvenliğini artırmak ve TBDY 2018 yönetmeliği şartlarına uyumu sağlamak amacıyla kolon ve kiriş kesitlerinin büyütülmesi, daha yüksek sınıfta çelik kullanılması ve makas elemanlarının takviye edilmesi gibi çeşitli yapısal tedbirler uygulanmıştır.

Yapılan bu iyileştirmeler sonucunda hazırlanan revize statik rapor, projeyi TBDY 2018'in öngördüğü güvenlik sınırları içinde konumlandırmıştır. Zemin kattaki göreli kat ötelemeleri, yönetmelikte belirtilen değerlerin altına çekilerek yapı genelinde daha öngörülebilir ve kontrollü bir deformasyon dağılımı sağlanmıştır. Aksel yüklerin yeniden hesaplandığı elemanlarda, kesit büyütme ve güçlendirme yöntemleriyle dayanım artışı elde edilmiş, ikinci mertebe etkileri ise ihmal edilebilir düzeyde tutulmuştur. Bunun yanı sıra, modal analizde hesaba katılan 99 mod sayesinde yapının dinamik davranışı daha hassas biçimde temsil edilmiş ve deprem yüklerinin taşıyıcı sistem üzerindeki etkileri kapsamlı biçimde değerlendirilmiştir. Tip 2 projesine ait açık modelin cepheden gösterimi Şekil 10' da yer almaktadır.



Şekil 10. Proje tip 2 açık model – cepheden gösterim

Proje Tip 2'nin cephe perspektifi, geniş açıklıkları ve makaslı çatı sistemiyle hem işlevsel gerekliliklere (hayvan girişi, havalandırma vb.) hem de TBDY 2018'in öngördüğü yapısal güvenlik ilkelerine uygun olacak şekilde kurgulanmıştır. Cephede görülen kaplama modülleri, büyük kapılar ve makas detayları, ahırın kullanım amacına yönelik olarak tasarlanan rijit ve dayanıklı bir strüktürel sistemi yansıtmaktadır. Tip 2 projesine ait açık modelin karkas perspektif gösterimi Şekil 11' de yer almaktadır.



Şekil 11. Proje tip 2 açık model – genel gösterim

Üstten görünümde, çatı makasları, kolonlar ve diğer taşıyıcı elemanlar birbirleriyle etkileşimini net biçimde ortaya koyacak şekilde düzenlenmiştir. Bu düzenleme, yapının temel mekanik davranışını belirleyen rijitlik ve

stabilite unsurlarının bütüncül bir tasarım anlayışıyla kurgulandığını göstermektedir. Görseldeki makas sistemi, büyük açıklıkları tek seferde geçebilmek amacıyla seçilmiş olup hem yapı içindeki hayvan konforu hem de lojistik faaliyetlerin verimli işletilmesi için gereken geniş iç hacmi sağlamaktadır. Makaslar arası düzenli açıklıklar ve çatı elemanlarının konumu, düşey yüklerin (kar, yağmur vb.) güvenli biçimde zemine aktarılmasına yardımcı olduğu gibi, deprem ve rüzgâr gibi yatay yükler altında da yapının beklenen sünek davranış göstermesini hedeflemektedir.

Modeldeki kolon-makas sisteminin ara bağlantıları, yapı boyunca tekrarlayan modüler bir taşıyıcı çerçeve meydana getirmektedir. Bu çerçeve dizilimi, zati ve hareketli yüklerin yanı sıra, TBDY 2018 tarafından öngörülen deprem yüklerini de karşılayacak şekilde tasarlanmıştır. Bunun yanı sıra, geniş aralıklara sahip bu düzen, iç mekândaki hayvanların hareket rahatlığı ve personel sirkülasyonuna uygun bir çalışma alanı sunmayı amaçlamıştır.

Dış cephe boyunca görülen duvar panelleri veya benzeri kaplama elemanları, yapının iç kısmını dış etkilere (iklim koşulları, rüzgâr vb.) karşı korurken, strüktürel rijitliğin de bir parçası olarak işlev görmektedir. Duvar yüksekliği hem hayvan refahını sağlayacak havalandırma açıklıklarını hem de deprem ve yatay yük dayanımını destekleyecek şekilde boyutlandırılmıştır.

Ahırın çatı bölümü, makaslar üzerine yerleştirilmiş aşıklar yardımıyla kaplanmış olup, su ve kar yüklerine karşı dayanıklı, korozyona dirençli malzemelerle tasarlanmıştır. Çatı kaplamasının eğimi ve makas geometrisi hem yalıtım hem de hızlı su tahliyesi gibi gereklilikleri göz önüne alarak belirlenmiştir.

Proje Tip 2 Açık Modeli, tarımsal üretim ve hayvancılık sektörü için tasarlanmış büyük ölçekli çelik yapıların taşıyıcı sistem tasarımını, mimarî gerekliliklerle birlikte bütüncül bir şekilde yansıtmaktadır. Özgün makas düzeni ve kolon yerleşimi sayesinde, yapı hem TBDY 2018 standartlarına uygun olarak deprem ve yatay yükler altında güvenli bir davranış sergilemekte hem de tarımsal işletmelerin ihtiyaçlarına cevap verecek geniş, kullanışlı ve hijyenik bir iç mekân sunmaktadır. Tip 2 projesine ait kapalı modelin genel perspektif gösterimi Şekil 12' de yer almaktadır.



Şekil 12. Proje tip 2 kapalı model – genel gösterim

Yapının üst kısmında konumlandırılan çatı kaplaması, büyük açıklıkları kapsayacak şekilde seçilmiş ve rijit bir makas sistemiyle desteklenmiştir. Bu kaplamada genellikle korozyona karşı dayanıklı, hafif ancak mukavemeti yüksek malzemeler tercih edilmiştir. Çatı eğimi, kar ve yağmur gibi meteorolojik yüklerin tahliyesini kolaylaştırmak amacıyla planlanmış olup, aynı zamanda yapının estetik bütünlüğünü de korumaya yönelik ölçütler gözetilmiştir.

Cephe duvarlarının yüksekliği, bölgesel iklim koşulları, kullanılan çelik veya betonarme taşıyıcı elemanların boyutları ve TBDY 2018 tarafından öngörülen deprem performansı kriterleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu sayede, yapının uzun dönem kullanımında güvenlik, dayanıklılık ve koruma gereksinimleri karşılanmaktadır. Şekil 10’da sunulan genel kapalı görünüm, tüm bu bileşenlerin sistematik ve entegre bir tasarım ilkesi doğrultusunda hayata geçirildiğini göstermekte ve tarımsal üretim/hayvancılık faaliyetlerinin gerektirdiği geniş, hijyenik ve sağlam bir mekânın varlığını ortaya koymaktadır. Tip 2 projesine ait kapalı modelin iç alan modelleme gösterimi Şekil 13’de yer almaktadır.



Şekil 13. Proje tip 2 kapalı model – iç alan görüntüsü

Bu perspektifte, çelik taşıyıcı elemanların genel dizilimi, ahırın sütunlu makas sistemi ile desteklendiğini açıkça ortaya koymaktadır. Aynı zamanda, hayvan barınma alanlarının planlanması, yemlik bölmeleri ve dolaşım koridorları gibi işlevsel unsurların yapısal elemanlarla nasıl bütünleştirildiği göze çarpmaktadır. Görselde, çift taraflı barınak kurgusu içinde konumlanan çelik kolonlar ve bunlarla birleşen makaslar hem yapının yatay yükleri (deprem, rüzgâr vb.) hem de dikey yükleri (kar, kendi ağırlığı, hayvan ve ekipman yükleri) taşıma kapasitesini sağlamaktadır. Bu elemanların konumlandırılması, TBDY 2018'in öngördüğü performans hedefleri çerçevesinde planlanmış olup, optimum rijitlik ve stabilizeyi temin etmeyi amaçlamaktadır.

Çatı makaslarının düzenli aralıklarla konumlandırılması, yük transferinde bütüncül bir davranış sağlarken, iç ortamda da yeterli aydınlatma ve havalandırma alanları elde edilebilmesini mümkün kılar. Özellikle üst tarafta oluşturulan açıklıklar veya ışıklıklar, doğal ışığın yapıya girişini kolaylaştırarak hayvan refahını ve personelin çalışma koşullarını iyileştirmektedir. Bunun yanı sıra, makas elemanları arasındaki boşluklar, ek havalandırma veya yalıtım çözümleriyle uyumlu bir şekilde tasarlanmaktadır.

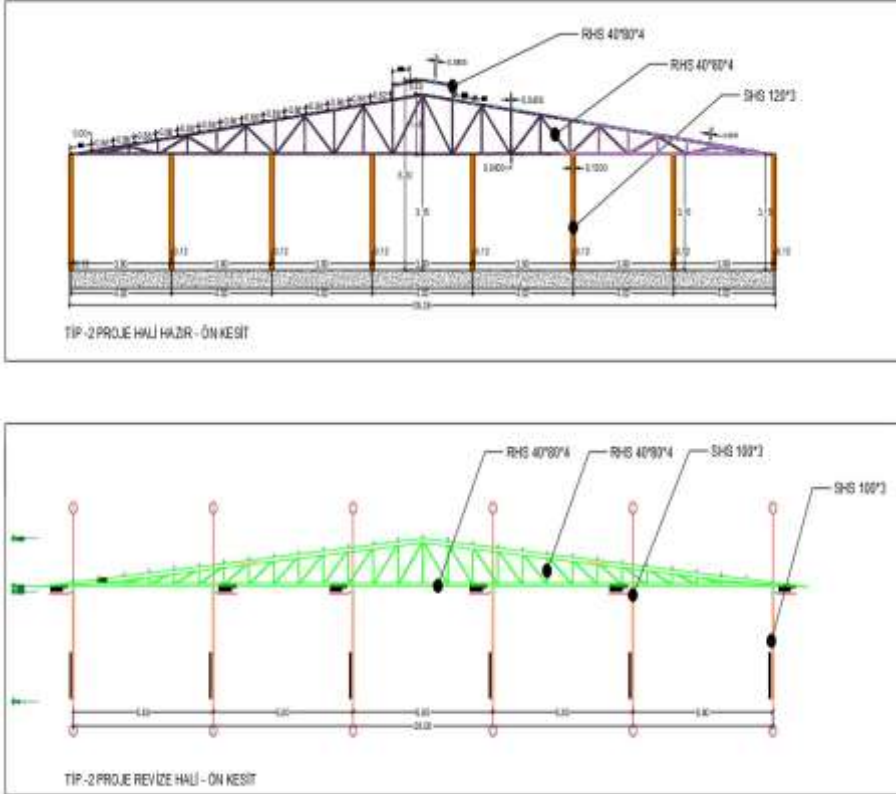
Özetle; halihazır projede kolon aralıkları 4,20 m' den 4,02 m olarak düzenlenmiş ve SHS 120×3 profiller tercih edilmiştir. Makas aralıkları 4,20 m olarak belirlenmiş ve bu bölgede RHS 40×80×4 profilleri kullanılmıştır. Aşık aralıkları 0,86 m olarak belirlenerek yine RHS 40×80×4 profiller seçilmiştir. Hâlihazır tasarımın toplam sistem ağırlığı 32,13 ton olarak hesaplanmıştır.

Güncellenmiş statik projede kolon aralıkları 5,04 m' den 5,60 m olarak revize edilmiş ve SHS 100×3 profiller uygulanmıştır. Makas aralıkları 5,04 m' ye yükseltip, bu kısımda RHS 80×140×8 ile RHS 40×80×4 profiller bir arada kullanılmıştır. Aşık aralıkları ise 1,0 m' ye çıkarılmış ve yine RHS 40×80×4 profiller tercih edilmiştir. Bu yeni tasarımın toplam sistem ağırlığı 28,091 ton olarak bulunmuştur. Çizelge 2'de yer alan Tip 2 Projesi için karşılaştırma verileri verilmiştir.

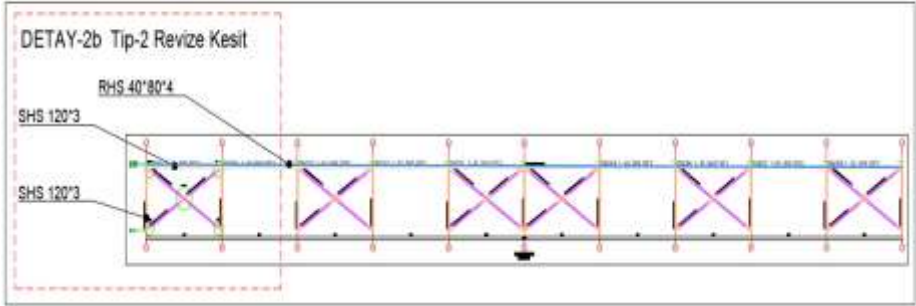
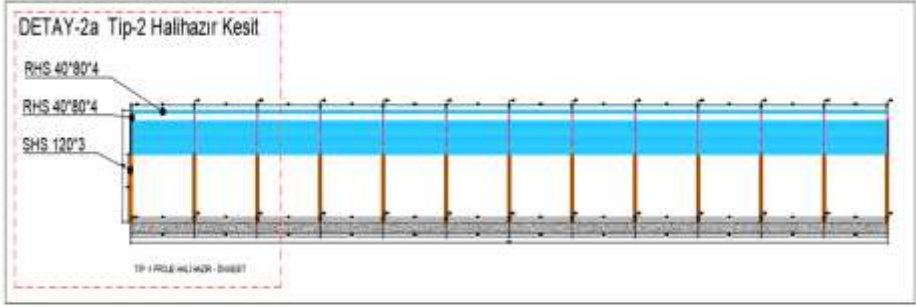
Çizelge 2. Proje tip 2 yapısı için halihazır ve revize proje verilerinin karşılaştırılması

Durum	Özellik	Boy Aralıkları (m)	En Aralıkları (m)	Profil Tipi ve Ölçüsü	Ölçüm Miktarı
Hâlihazır Proje	Kolon Aralıkları	4,20	4,02	SHS 120×3	
	Makas Aralıkları	4,20		RHS 40×80×4	
	Aşık Aralıkları		0,86	RHS 40×80×4	
	Hareketli Yükler Dahil Yapı Ağırlığı				0,023 Ton/m ²
	Toplam Sistem Ağırlığı				32,13 Ton
Revize Proje	Kolon Aralıkları	5,04	5,6	SHS 100×3	
	Makas Aralıkları	5,04		RHS 40×80×4	
	Aşık Aralıkları		1	RHS 40×80×4	
	Hareketli Yükler Dahil Yapı Ağırlığı				0,020 Ton/m ²
	Toplam Sistem Ağırlığı				28,091 Ton

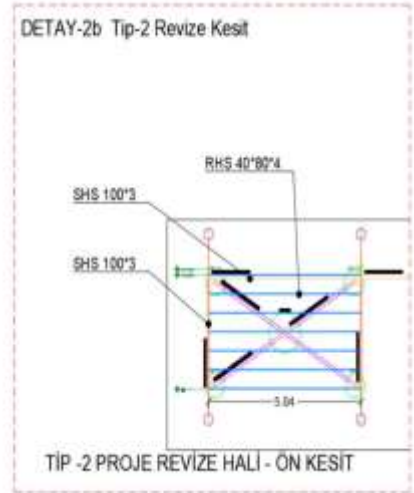
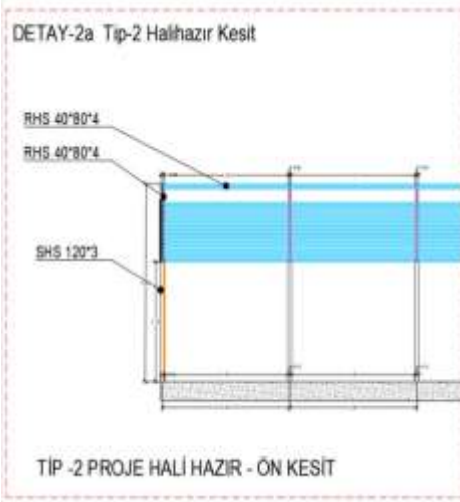
Tip 2 projeye ait halihazır ve revize (ideal) olan yapı tasarımlarına ait her biri halihazır yapıdan alınmış verilerin dijitalleştirmeleri ve akabinde statik programlarca yeniden hesaplanarak meydana getirilmiş optimum yapı tasarımına ait çizim verilerinin karşılaştırma görselleri Şekil 14, Şekil 15 ve Şekil 16’ da verilmiştir.



Şekil 14. Proje tip 2 ön kesit kıyas



Şekil 15. Proje tip 2 plan kesit kıyas



Şekil 16. Proje tip 2 plan kesit detay kıyas

4. Sonuç

Bu çalışma, Silivri İlçesi'ndeki tarımsal yapılarda gözlemlenen çelik çatı uygulamalarının, çoğunlukla deneyime dayalı ve mühendislik hesaplarıyla tam desteklenmemiş yapılar olduğunu göstermiştir. Yerinde alınan ölçümler

ve bilgisayar destekli analizler, özellikle makas ve aşık aralıklarının yetersiz veya aşırı tutulmasının, yapısal riskleri ve maliyetleri artırdığını net biçimde ortaya koymaktadır.

Optimum makas ve aşık aralıklarını belirleyebilmek için çeşitli açıklık değerlerinde analiz senaryoları uygulanmış hem taşıyıcı sistem hem de ekonomik boyut birlikte incelenmiştir. Çalışma, özellikle 10-20 m aralığındaki açıklıklarda, özenle tasarlanmış çelik makaslar ile yaklaşık %15-20 oranında malzeme tasarrufu sağlanabileceğine, aynı zamanda deprem ve rüzgâr gibi yatay yükler altında güvenlik katsayısının arttığına işaret etmektedir.

Aks planlaması ve kolon-makas birleşim detaylarının yeniden projelendirilmesi, yapılarda hem rijitlik hem de bakım kolaylığı bakımından olumlu sonuçlar vermektedir. Bunun yanı sıra, aşık mesafelerinin doğru seçilmesi ve cıvatalı/ kaynaklı bağlantıların standartlara uygun yapılması, uzun ömürlü, bakımı kolay ve stabil çatı sistemlerinin kurulmasını mümkün kılmaktadır.

Elde edilen veriler, sahada yaygın kullanılan makas kesitlerinin veya aşık aralıklarının sıklıkla “ihtiyaca” değil “alışkanlığa” göre belirlendiğini teyit etmiştir. Oysa modern mühendislik yaklaşımları, farklı açıklıklar ve yük kombinasyonlarına yönelik en uygun kesit ve aralıkları belirleyerek rasyonel bir çözüm geliştirmeye imkân tanımaktadır. Dolayısıyla, bölgedeki tarımsal yapılarda standartlara uygun, hesaplanmış, optimum çelik çatı tasarımları yaygınlaştırıldığında, işletmelerin uzun vadeli kârlılığı ve güvenliği artacak; aynı zamanda gereksiz malzeme kullanımının önüne geçilerek kaynak tasarrufu sağlanacaktır.

Bu çalışmanın ortaya koyduğu model ve yöntemler, bölgedeki yapı sahipleri, mühendisler ve karar alıcılar için somut bir yol haritası sunmuştur. Hem yerinde ölçüm ve saha gözlemlerine hem de bilgisayar destekli statik analizlere dayanan bu yaklaşım, Türkiye'nin başka bölgelerinde benzer iklim ve üretim özelliklerine sahip tarımsal işletmeler için de örnek teşkil edebilecek niteliktedir.

5. Kaynaklar

Anonim, (2025). Silivri İlçesi Coğrafi Yapısı ve Planlama Bilgileri. <https://www.silivri.bel.tr>, Son erişim tarihi: 01.03.2025.

Anonim, (2018). TBDY2018-Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar, Ankara.

- Mohammadzadeh, N. (2016). An Optimization Approach for Integrating Different Roof Functions with Environmental Impacts Constraint. In *Innovation: Shifting Ground*. EDRA.
- Moran, P. (1980). Full-scale experiments to acquire wind loading data for use in the design of agricultural buildings. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 25(3), 287-297.
- Olukunle, A. J. (2014). Improving the quality of roofing system of traditional buildings in rural area of Nigeria.
- Petrinovich, C. A., Farnsworth, C. B., Weidman, J. E., Smith, J. P., & Bingham, E. D. (2021). Roof System Suitability for IT Mission-Critical Facilities. *Journal of Facility Management Education and Research*, 5(2), 74-85.
- TS-498 (2021). Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Walters, S. A., & Stoelzle Midden, K. (2018). Sustainability of urban agriculture: Vegetable production on green roofs. *Agriculture*, 8(11), 168.

Bal Arılarının Algısal Mekanizmalarının Yaşamsal Faaliyetleri Üzerindeki Etkileri

Recep SIRALI¹

1- Dr. Öğr. Üyesi; Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Veteriner Fakültesi Zootekni ve Hayvan Besleme Bölümü. rsirali@nku.edu.tr ORCID No: 0000-0001-9702-6175

ÖZET

Bal arılarının (*Apis mellifera*) fizyolojik ve davranışsal özelliklerini şekillendiren en kritik unsurlardan biri, duyuusal ve algısal yetenekleridir. Arıcılıkta çevresel koşullar ile koloninin verimliliği arasındaki optimizasyon, yalnızca iklim, sosyal yapı ve fiziksel çevre faktörleriyle sınırlı olmayıp, aynı zamanda arıların duyuusal algılama kapasitelerine doğrudan bağlıdır. Görsel ve işitsel algı, renk ve koku seçiciliği, tat alma duyuusu, yer ve yön bulma kabiliyeti, zaman algısı, iletişim sistemleri ve öğrenme yeteneği, bal arılarının hayatta kalması ve koloni içi sosyal düzenin sürdürülebilirliği açısından hayati öneme sahiptir. Duyusal ve algısal mekanizmalar, arıların hem bireysel hem de koloni düzeyinde yaşamsal faaliyetlerini belirleyici bir rol oynar. Görsel ve renk algısı, nektar ve polen kaynaklarının belirlenmesinde, çiçek seçimi ve beslenme etkinliğinde kritik rol üstlenirken; koku ve tat duyuuları, besin değerlendirme ve koloninin savunma stratejilerinde etkili olur. İşitme ve titreşim duyuusu, iletişim ağının sürdürülmesi ve sosyal organizasyonun koordinasyonu için gereklidir. Yer ve yön bulma yeteneği, arıların kovan ile besin kaynakları arasındaki navigasyonunu optimize ederken, zaman algısı ve öğrenme kapasitesi, adaptif davranışların gelişmesini sağlayarak koloni verimliliğini artırır. Arıcılık uygulamalarında bal arılarının duyuusal ve algısal özelliklerinin sistematik ve bütüncül bir yaklaşımla incelenmesi hem kuramsal hem de uygulamalı arıcılık bilimi açısından temel bir gereklilik olarak değerlendirilmektedir. Bu özelliklerin bilimsel düzeyde anlaşılması, koloni yönetiminde daha bilinçli ve veriye dayalı kararların alınmasına olanak tanımakta; kolonilerin sürdürülebilir, sağlıklı ve verimli biçimde yönetilmesini mümkün kılmaktadır. Koloni bireylerinin davranışsal tepkilerinin doğru zamanda ve uygun amaçlar doğrultusunda analiz edilmesi, üretim verimliliğinin artırılması ve arıların biyolojik refahının korunması açısından temel bir öneme sahiptir. Bu bağlamda, arıcılık faaliyetlerinde bal arılarının duyuusal ve algısal özelliklerinin kapsamlı ve sistematik biçimde anlaşılması, hem kolonilerin etkin ve sürdürülebilir yönetimini sağlamakta hem de koloni dinamiklerinin bilimsel temelde değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Bu çalışmada, bal arısı kolonisini oluşturan bireyler açısından kritik öneme sahip olan; renk, zaman, ışık, yer ve yön, koku ve tat, manyetik alan, iklim koşulları, titreşim ve kimyasal uyarılar gibi duyuusal mekanizmalar ile iletişim ve öğrenme süreçlerinin kovan içi ve kovan dışı yaşamsal faaliyetler üzerindeki etkileri ayrıntılı ve sistematik bir biçimde incelenmiştir. Algılama mekanizmasının bal arıları üzerindeki etkileri bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirilmiş; bu doğrultuda uyumlu koloni yönetim stratejileri ile sürdürülebilir arıcılık uygulamalarının geliştirilmesine yönelik bilimsel farkındalığın artırılması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler – Bal arıları, duyuusal ve algısal mekanizmalar, davranış

GİRİŞ

Tüm hayvan türlerinde olduğu gibi, bal arılarının da yaşamsal öneme sahip üretim faaliyetleri ile fizyolojik ve davranışsal özellikleri, içinde buldukları çevresel ve biyotik koşulların etkisi altında şekillenmektedir (Emsen, 1997). Bu bağlamda büyüme ve gelişme süreçleri, yalnızca ortamın fiziksel özelliklerine değil, aynı zamanda organizmanın çevresel uyarıları algılama ve değerlendirme kapasitesine de bağlıdır (Ćerimagić, 1990).

Bal arıları; mekanik, kimyasal, görsel ve titreşimsel uyarıları algılayabilen gelişmiş duyuşal sistemlere sahiptir (von Frisch, 1967). Bu duyuşal yetkinlik sayesinde hem çevresel hem de iç fizyolojik kaynaklı kimyasal, fiziksel ve elektriksel değişimleri algılayarak uygun tepkiler geliştirebilmekte; böylece yaşamlarını ve koloni düzeyindeki organizasyonu devam ettirebilmektedir (Demirsoy, 1985). Dolayısıyla çevresel koşullar ve bu koşulların algılanma biçimi, bal arılarının genel sağlık durumunu ve tüm yaşamsal faaliyetlerini etkilediği gibi üretim performansı üzerinde de belirleyici bir rol oynamaktadır (Vesković, 2000).

Bal arısı tür ve ırklarının yayılışı ile üretim performansı çeşitli ekolojik ve çevresel koşullardan önemli ölçüde etkilenmekle birlikte koloni içi düzen ve denge büyük ölçüde koloninin kendi düzenleyici mekanizmaları tarafından sağlanmaktadır (Genç ve Dodoloğlu, 2003). Nitekim barınma ortamı ne olursa olsun, koloni; sıcaklık, nem, iş bölümü ve savunma gibi temel süreçleri insan müdahalesi olmaksızın organize edebilmekte ve kontrol altında tutabilmektedir (Güler, 2006). Bu durum, bal arılarında çevresel değişkenlere karşı gelişmiş bir uyum, algılama ve özdüzenleme kapasitesinin bulunduğunu göstermektedir.

Bal arılarının çeşitli çevresel ve fizyolojik koşullara bağlı olarak ortaya çıkan değişimlere karşı gösterdikleri tolerans düzeyi ve tepki biçimleri önemli farklılıklar gösterebilmektedir (Gençtan, 2012). Bu yüksek uyum kapasitesi, bal arılarını pek çok canlı türüne kıyasla çevresel değişkenlere karşı daha dirençli ve esnek kılmaktadır (Güler, 2006). Nitekim aynı koloniye ait bireylerde dahi, farklı çevresel koşullar altında duyuşal ve algısal işlevlerin öncelik sırası değişebilmekte ve buna bağlı olarak davranışsal yanıtlar farklılaşabilmektedir (Demirören, 2002).

Bu süreçte çevreden veya organizmanın iç yapısından kaynaklanan uyarılar, ilgili sinirsel merkezlere iletilerek değerlendirilmekte; elde edilen bilgiler doğrultusunda hem bireysel hem de koloni düzeyinde en uygun tepkiler organize edilmektedir. Böylece bal arılarında algı-değerlendirme-tepki mekanizması, koloni bütünlüğünü ve işlevselliğini sürdürecektir biçimde dinamik bir düzenleme sistemi içerisinde işlemektedir (Demirsoy, 1985).

Bal arılarının yaşam ve faaliyetlerine ilişkin bazı algısal mekanizmalar, geçmişte kimi gözlemciler tarafından açıklanmakta güçlük çekilen ve bu nedenle “gizemli” olarak nitelendirilen özellikler şeklinde yorumlanmıştır (Doğaroğlu, 2004).

Hatta bazı değerlendirmelerde, bal arılarının faaliyetlerini bilinçli biçimde gizlediği yönünde antropomorfik yaklaşımlar dahi ortaya konulmuştur. Oysa bal arılarında gözlenen tüm hareket ve davranışlar, koloni bütünlüğünün korunması ve neslin devamının sağlanmasına yönelik işlevsel bir organizasyonun parçasıdır (Gürel, 2006). Bu yönüyle bal arısı kolonisi, bireysel davranışların koloni yararına yüksek düzeyde eşgüdüm içinde gerçekleştiği özgün bir biyolojik sistem niteliği taşımaktadır (Vesković, 2000).

Bal arılarının fizyolojik ve davranışsal özellikleri ile çevreye uyum mekanizmalarının sürdürülmesinde; renk, zaman, iklim, yer ve yön algısı gibi çeşitli duysal ve algısal süreçler belirleyici rol oynamaktadır (Vesković, 2000). Koloni düzeyinde organize edilen bu duysal süreçlerin etkilerini birbirinden kesin sınırlarla ayırmak çoęu zaman güçtür; zira algılama ve buna bağlı davranışsal yanıtlar bütüncül bir düzenleme sistemi içinde gerçekleşmektedir (Doęaroęlu, 1992).

Bal arılarında farklı uyaran türlerine duyarlı özelleşmiş duyu organları gelişmiştir. Her bir reseptör yapısı belirli bir uyaran tipine karşı duyarlılık göstermekle birlikte, bazı uyaranlar birden fazla duyu sistemini eşzamanlı olarak etkileyebilmekte; buna karşılık bazı duyu organları da birden fazla uyaran türünü algılayabilmektedir. Bu durum, bal arılarında duysal algının tekil değil, çoklu ve etkileşimli bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir (Tanyolaç ve Tanyolaç, 1992).

Son yıllarda çiftlik hayvanlarının yaşam koşulları ve verim performansı üzerinde etkili olan faktörlere ilişkin çok sayıda araştırma gerçekleştirilmiştir (Özkütük, 1998). Ancak bu çalışmaların büyük ölçüde bal arısı dışındaki çiftlik hayvanlarına odaklanmış olması, bal arılarının duysal ve algısal özellikleri ile bunların davranış ve verimlilik üzerindeki etkilerinin yeterince incelenmemesine yol açmıştır. Oysa bal arısı davranışlarının hangi duysal ve algısal mekanizmalardan ne düzeyde etkilendiğinin ortaya konulması, yaşamsal faaliyetlerin bilimsel temelde analiz edilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda, bal arılarının üretim etkinlikleri ve koloni organizasyonu ile ilişkili duysal ve algısal ölçütlerin belirlenmesine yönelik sistematik ve deneysel araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır (Todorović ve Todorović, 2017).

Bal arılarının davranışları üzerinde duysal ve algısal özelliklerin etkilerinin ayrı ayrı incelenmesi, arıcılık açısından büyük önem taşımaktadır. Bu incelemeler, bal arılarından daha iyi verim alınabilmesi, değişen koloni ihtiyaçlarının karşılanması, koloniyi oluşturan bireylerin yaşamının sürdürülebilirliği açısından gerekli görülmektedir (Sıralı, 1999).

Bu bağlamda hazırlanan çalışmada, bal arı kolonisini oluşturan bireyler açısından kritik öneme sahip olan renk, zaman, ışık, yer ve yön, koku ve tat, manyetik alan, iklim, kimyasal, titreşim ve deprem gibi bazı algısal mekanizmaların, bal arılarının kovan içi ve dışı yaşamsal etkinlikleri üzerindeki etkileri ele alınmıştır.

BAL ARILARININ ALGISAL ÖZELLİKLERİ

Bal arılarında (*Apis mellifera*) duyuusal algılama, vücutlarında bulunan özelleşmiş duyu hücrelerinin çevresel uyaranları algılamasına dayanmaktadır. Bu duyu hücreleri, antenler, gözler ve diğer duyuusal organlar gibi belirli bölgelerde yoğunlaşmıştır ve ses, koku, kimyasal maddeler, dokunma ve ışık gibi çeşitli uyaranları tespit edebilmektedir. Algılanan uyaranlar, duyu hücrelerinin uyarılmasıyla oluşan sinirsel sinyaller aracılığıyla sinir sistemi üzerinden iletilmekte ve işlenmektedir. Bu süreç, organizmanın çevresel uyaranlara uygun davranışsal tepkiler geliştirmesini sağlamaktadır (Anonim, 2008).

Renk Algılama

Bal arılarında renk algısı, besin kaynaklarının belirlenmesi ve ayırt edilmesinde merkezi bir duyuusal mekanizma olarak öne çıkmaktadır. Özellikle çiçeklerin konumunun ve türünün tanımlanmasında renk bilgisi önemli bir rol üstlenmektedir. Geçmiş dönemlere ait deneysel bulgular, bal arılarının farklı renkleri ayırt edebildiğini ve bu ayrımı davranışsal tercihleri doğrultusunda kullanabildiğini ortaya koymuştur (von Frisch, 1967).

Bununla birlikte, renk algısı tek başına işlemeyen bir sistemdir; görsel ve olfaktör girdiler arasındaki bütünlük, arıların karar verme süreçlerini önemli ölçüde etkilemektedir. Dolayısıyla renk duyası hem çiçeklerin seçimi hem de besin arama stratejilerinin şekillenmesinde temel bir zihinsel bileşen olarak değerlendirilmektedir (von Frisch, 1967).

Bal arılarının renk algısı, insana göre daha fazla renk detayı içermektedir. Bileşik gözleri aracılığıyla algıladıkları görüntüler net olmamakla birlikte, kırmızıdan ultraviyoleye kadar geniş bir dalga boyu aralığını tespit edebilmesi, insan gözüne göre üstünlük sağlamaktadır (Özet ve Arpacı, 2001).

Nektar veya polen toplayan bal arıları, çiçekleri renk ve şekil özellikleri yardımıyla tanımaktadır (von Frisch, 2014). Özellikle kendileri için önemli olan renkler arasındaki farklılıkları ayırt edebilme yetenekleri, arıların çiçek seçiminde etkin rol oynamaktadır (Ecevit ve ark., 2012). Böylece arıların renk ayrımı yapmadığı ve söz konusu bitki türünün değişik renklerdeki çiçeklerini de tercih ettiği gözlemlenmiştir. Böylece arıların renk algısı hem çiçek tanımada hem de bitkisel kaynakların verimli kullanılmasında uyumlu bir rol oynamaktadır. (Doğaroğlu, 1992).

Bal arıları, renkleri farklı tonlarından ziyade temel renk tonları üzerinden algılamaktadırlar. Bu nedenle görünür ışık spektrumunda en parlak olan sarı ve yeşil renkleri kolaylıkla tespit edebilirken, koyu gri, siyah ve kırmızı renkleri algılayamamaktadır. Ayrıca arılar, mavi ve mor renkler ile sarı ve turuncu renk tonlarını birbirinden net olarak ayırt edememektedir (Güler, 2006).

Bal arıları, genel olarak mavi renge daha fazla ilgi göstermektedir ve kırmızı renk haricindeki diğer renkler de arıları cezbetmektedir (Anonim, 1993). Sarı, turuncu, yeşilimsi sarı ile mavi, menekşe ve erguvan gibi birbirine yakın renkler arılar tarafından karıştırılmakta ve net olarak ayırt edilememektedir (Doğaroğlu, 1992). Öte yandan, farklı bir bilimsel kaynağa göre arılar sarı, mavi ve mavi-yeşil renkleri ayırt edebilmektedir; kırmızı rengi ise insan gözü kadar net görememekte ve koyu gri veya siyah olarak algılamaktadır (von Frisch, 2014). Ancak bu durum, arıların kırmızının hiçbir tonunu algılayamadıkları anlamına gelmemelidir (Doğaroğlu, 2004).

Doğada kırmızı renkli çiçeklerin çok az bulunması ve arılar tarafından döllemesi gereken bitkilerin çiçeklerinin hiçbirinin tamamen kırmızı renkli olmaması, bilim dünyası tarafından son derece ilginç ve düşündürücü bulunmuştur (Doğaroğlu, 1992; Genç ve Dodoloğlu, 2003). Ancak bazı araştırmalara göre, kırmızı renkli çiçeklere sahip bitkilerin bir kısmı yine de arılar tarafından döllenebilmektedir. Bu durum, söz konusu bitkilerin çiçek yaprakları ve yeşil aksamaları tarafından mor ötesi dalga boyu ışınları yansıtması sayesinde gerçekleşmektedir; arılar bu dalga boyu renk tonlarını kolaylıkla algılayabilmektedir (Güler, 2006).

Arılar, renkleri farklı tonlarından ziyade temel renk tonları üzerinden algılamaktadır (Güler, 2006). Bal arılarının bazı renkleri kesin olarak ayırt edebildiği, ancak birbirine yakın renkleri karıştırabildikleri veya hiç algılayamadıkları bildirilmiştir. Buna karşın, ultraviyole ışınlarını oldukça iyi görebildikleri de belirtilmektedir (Genç ve Dodoloğlu, 2003; von Frisch, 2014). Arıların gözleri, tüm dalga boylarına karşı aynı derecede hassasiyet göstermemekte; farklı çevresel ve durumlara bağlı olarak bu hassasiyetlerde değişiklikler gözlemlenmektedir (Ecevit ve ark., 2012).

İnsanların görebildiği en kısa dalga boyuna sahip renk mor iken, bal arıları daha kısa dalga boylarına sahip renkleri, yani mor ötesi ışınları da algılayabilmektedir (Anonim, 2010). Arılar, mor ötesi (ultraviyole) ışınlar karşısında duyarlı olmaları sayesinde, hava tamamen kapalı olsa dahi bulutların arkasındaki güneşi ve ışınlarını net bir şekilde görebilmekte; kovanların ve çiçeklerin yerlerini doğru bir şekilde belirleyebilmektedir (Anonim, 1993). Arıların bu yeteneği, insanların göremediği ultraviyole ışınlarını yüksek hassasiyetle algılamalarından kaynaklanmaktadır. Kovan içi gibi, insanların gündüz karanlık olarak algıladığı alanlar, arılar için güçlü ultraviyole ışınları sayesinde aydınlık bir ortam hâline dönüşmektedir (Güler, 2006).

Yapılan araştırmalar, insan gözüne pek renkli görünmeyen çiçeklerin bile mor ötesi ışınlar aracılığıyla rengârenk görüldüğünü ortaya koymuştur. İnsanların sarı veya beyaz olarak algıladığı çiçeklerin dış kenarları, mor ötesi ışığı yansıttığı için arıların gözünde farklı renk tonları olarak görünmektedir. Ancak bal arıları, bu üstün renk algısı avantajını elde ederken, güçlü ultraviyole alanında kazandıklarını başka bazı görsel alanlarda kaybetmektedirler (Anonim, 1993).

Ayrıca arılık alanında arazi işaretlerinin belirgin olması, kovanların farklı yapı ve renklerde bulunması ve aralıklı olarak yerleştirilmesi durumunda arıların kendi kovanlarını şaşırma oranı en düşük düzeye inmektedir. Buna karşılık, arazinin tamamen düz olduğu ve kovanların aynı renkte yerleştirildiği durumlarda, mesafe ne olursa olsun kovanlar arasında önemli düzeyde şaşırma meydana gelebilmektedir. Bu nedenle, bal arılarının görsel algı özellikleri dikkate alınarak kovanların, arıların algılamadığı renklerle değil; ayırt edebildikleri renklerde işaretler veya geometrik desenlerle belirginleştirilmesi yararlı olacaktır (Doğaroğlu, 2004).

Zaman Algılama

Bal arılarının zaman algısına ilişkin çok sayıda gözlem ve deney gerçekleştirilmiş olup, bu bilimsel çalışmalar arıların zamanı oldukça doğru bir şekilde belirleyebilme yeteneğine sahip olduklarını ortaya koymuştur (Genç ve Dodoloğlu, 2003; Güler, 2006). Bu nedenle bal arılarının zamanı saptayabilme özellikleri, araştırmacılar tarafından üzerinde en fazla durulan konulardan biri hâline gelmiştir (Doğaroğlu, 1992).

Yapılan araştırmalar, arıların günün belirli saatlerinde nektar veya polen üreten bazı bitki türlerini tanıdıklarını; bu bitkilere yalnızca söz konusu zaman dilimlerinde uçuş gerçekleştirdiklerini ve bu saatler dışında aynı bitkilere yönelmediklerini ortaya koymuştur (Güler, 2006).

Yapılan bir denemede, arılara günün belirli bir ya da birkaç saatinde, bir hafta boyunca düzenli olarak şeker şurubu verilmiştir. Ancak şurup verilmesi durdurulduktan sonraki günlerde de arıların, daha önce şurup aldıkları saat diliminde boş şurup kabını ziyaret etmeye devam ettikleri; bunun dışında kalan saatlerde ise kabı ziyaret etmedikleri gözlemlenmiştir. Arıların zamanı hangi uyaranlara göre ayarladıklarını belirlemek amacıyla aynı deney karanlık ortamda da tekrarlanmış; elde edilen sonuçların değişmediği ve benzer bulguların ortaya çıktığı saptanmıştır (Genç ve Dodoloğlu, 2003).

Güneş ışığını hiç görmeyen arıların dahi, gün ışığına doğrudan bağlı olmaksızın zamanı doğru ve hassas bir şekilde belirleyebildikleri ortaya konmuştur. Bu durumu doğrulayan birçok davranış örneğine, koloni hâlinde yaşayan arı topluluklarında rastlamak mümkündür (Güler, 2006).

Ayrıca erkek arılar günün belirli saatlerinde ve belirli toplanma alanlarına uçuş gerçekleştirmektedir. Benzer şekilde, ana arıların çiftleşme uçuşları da belirli zaman dilimlerinde meydana gelmektedir. Ayrıca bakıcı arılar, kovadaki binlerce larvaya zamana bağlı ve düzenli bir besleme programı uygulamaktadır (Genç ve Dodoloğlu, 2003).

Tüm bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde, bal arılarının zaman algısının yalnızca çevresel görsel ipuçlarına dayalı olmadığı ve basit bir içgüdüsel dürtüyle açıklanamayacağı, zamanlama davranışının; deneyim ve öğrenme mekanizmalarının sonucunda ortaya çıktığı görülmektedir (Doğaroğlu, 2004).

Işık Algılama

Işığın algılanması, birçok canlı türünde olduğu gibi bal arılarında da çevresel uyaranların değerlendirilmesi, yön bulma, besin kaynaklarının tespiti ve koloni içi iletişimin sağlanması açısından hayati öneme sahiptir (Aktümsek ve ark., 2009).

Bal arılarında görsel algı sistemi, ultraviyole dalga boylarını da içeren geniş spektral duyarlılığı sayesinde hem çevresel yönelimin sağlanmasında hem de çiçeklerin ayırt edilmesinde temel bir işlev üstlenmektedir. Bu spektral hassasiyet, arıların çevresel görsel dizilimleri etkin biçimde değerlendirmesine olanak tanımaktadır (von Frisch, 1967).

Ayrıca ışık temelli duyuusal girdiler, bal arılarının davranış repertuarı içinde merkezi bir konuma sahiptir. Özellikle yön tayini, güneşin konumuna dayalı navigasyon ve besin kaynaklarının görsel olarak tanınması süreçlerinde görsel uyaranlar belirleyici rol oynamaktadır. Bu bağlamda *Apis mellifera* türünde görsel bilgi, yalnızca çevresel farkındalık sağlamakla kalmayıp aynı zamanda mekânsal yönelim ve öğrenme süreçleriyle de doğrudan ilişkili bulunmaktadır (Büyük, 2023).

Işık, bal arılarında farklı tipteki görme organları tarafından algılanmaktadır (Ecevit ve ark., 2012). *Apis mellifera* türünde görsel algı, baş bölgesinde bulunan çevresel ayrıntıları algılamada görevli bileşik gözler ve ışık yoğunluğunu ile yönünü algılamaya yardımcı olan basit gözler olmak üzere iki tip göz aracılığıyla gerçekleşmektedir (Aktümsek ve ark., 2009).

Bal arılarında görsel algılama; bileşik ve basit gözlerin bütüncül çalışmasına dayanan, bireyin koloni içindeki görevine göre farklılaşmış ve çevresel koşullara uyum sağlamış gelişmiş bir duyuusal sistem olarak ifade edilmektedir (Srinivasan, 2010).

Bal arılarının baş bölgesinde ikisi bileşik, üçü basit olmak üzere toplam beş göz bulunmaktadır. Çok sayıda görsel birimin (ommatidium) bir araya gelmesiyle oluşan bileşik gözler, başın iki yanını büyük ölçüde kaplayacak biçimde konumlanmıştır. Basit gözler ise başın dorsal kısmında, alın bölgesinde üçgen bir dizilim göstermekte; ikisi üst lateral konumda, biri ise alt orta hatta yer almaktadır (Doğaroğlu, 1992).

Bal arılarında ışığın algılanmasında temel işlevi bileşik gözler üstlenmektedir (Ecevit ve ark., 2012). Ommatidiumlardan oluşan bu yapı, görsel alanın farklı bölümlerinden gelen ışık uyarılarını ayrı ayrı algılamakta; söz konusu uyarılar merkezi sinir sisteminde bütünleştirilerek tek ve anlamlı bir görsel algı meydana getirilmektedir (Genç ve Dodoloğlu, 2003). Bileşik (petek) gözler aynı zamanda morötesi (UV) ışığa karşı yüksek duyarlılık göstermekte olup, bu özellik arıların çiçeklerde insan gözüyle algılanamayan nektar kılavuzlarını (UV desenleri) tespit etmelerini sağlamaktadır (Güler, 2006). Bileşik gözler aynı zamanda yüksek frekanstaki ışık titreşimlerini algılamak yeteneğine sahiptir. Bu özellik, hareketli nesnelerin ve hızlı değişen görsel uyaranların daha etkin biçimde izlenmesini mümkün kılmaktadır (Özet ve Arpacı, 2001).

Basit gözlerin sayısı koloni bireylerine göre farklılık göstermektedir; ana arıda yaklaşık 3000, işçi arıda yaklaşık 4000 ve erkek arıda 8000'den fazla ommatidium bulunmaktadır (Genç ve Dodoloğlu, 2003). Erkek arılardaki ommatidium sayısının fazla olması, özellikle çiftleşme uçuşları sırasında ana arıyı görsel olarak tespit etme gereksinimiyle ilişkilendirilmektedir (Ćerimagić, 1990).

Başın üst kısmında bulunan basit gözler (ocelli) ise görüntü oluşturmaktan ziyade ışık şiddetinin algılanmasında ve yön tayininde görev almaktadır. Ocelli; ışık yoğunluğundaki değişimleri algılayarak uçuş stabilitesinin sağlanmasına katkıda bulunmaktadır. Ayrıca polarize güneş ışığının algılanmasında rol oynamakta ve bu özellik arıların yön bulma mekanizmasında kritik önem arz etmektedir. Özellikle dans dili ile yapılan koloni içi iletişimde, güneşin konumunun referans alınması ocellilerin katkısıyla mümkün olmaktadır (Güler, 2006; Korkmaz, 2013).

Bununla birlikte bal arıları, doğal olarak karanlık veya yarı karanlık kapalı yuva ortamlarına uyum sağlamış sosyal böceklerdir. Kovan içi gibi ışığın sınırlı olduğu ortamlarda görsel duyunun işlevi azalmakta; buna karşılık koku ve titreşim temelli işitsel sinyaller iletişimde daha baskın hâle gelmektedir. Dolayısıyla açık alanlarda ışık algısı yönelim ve kaynak bulma davranışlarında belirleyici olurken, kapalı ve düşük ışıklı ortamlarda ise kimyasal ve mekanik duyuvar ön plana çıkmaktadır (Öder, 1985).

Bal arılarında görsel algılama; bileşik gözlerin ayrıntılı görüntü oluşturma kapasitesi ile basit gözlerin ışık şiddeti ve yön bilgisi sağlamaya yönelik işlevlerinin bütünleşmesi sayesinde oldukça gelişmiş bir yapı sergilemektedir. Görsel bilginin diğer duyuvar girdilerle entegrasyonu, çevresel koşullara bağlı olarak farklı duyuvar kanalların öncelik kazanmasını sağlamakta; bu durum davranışsal esneklik ve adaptasyonu mümkün kılmaktadır. Bu bütüncül algı ve yanıt sistemi, arıların ekolojik başarısının ve tozlayıcı olarak etkin rollerinin temel fizyolojik dayanaklarından biri olarak değerlendirilmektedir (Vesković, 2000).

Yer ve Yön Algılama

Bal arıları, işçi bireylerin kovandan yaklaşık 12 km'ye kadar uzaklıktaki bitkisel kaynaklardan besin maddesi toplayıp kovana geri dönebilen sosyal böceklerdir (Ratnieks, 2000). Kovana dönüş sürecinde, kovan çevresindeki koku ipuçlarını ve görsel işaretleri öğrenip bellekte depolayarak bu bilgileri yön bulmada kullanmaktadırlar (Dyer ve Gould, 1981; Gould, 1986). Ayrıca, güneşin konumuna dayalı olarak işleyen "gökyüzü pusulası"ndan elde edilen yön bilgisinden yararlanmaktadırlar (Frish, 1967; Homberg, 2004).

Mesafe bilgisi ise uçuş sırasında algılanan optik akışın değerlendirilmesiyle elde edilmektedir (Esch ve Burns, 1996). Bu bilgi sinirsel düzeyde entegre edilerek daha sonraki navigasyon süreçlerinde kullanılmaktadır (Collett ve Collett, 2000; Srinivasan ve ark., 2000).

Görsel ipuçlarına dayalı yön bulma mekanizmalarına ek olarak, bal arılarının yönelimde jeomanyetik alanı algılayabildikleri ve bu bilgiden yararlanabildikleri de bildirilmektedir (Gould ve ark., 1978; Gould ve ark., 1980).

Bal arıları, başın üst kısmında bulunan üç adet basit göz (ocelli) sayesinde güneşin konumunu ve açısını tespit edebilmektedir. Güneşin gün içerisindeki hareketine bağlı olarak, kovadaki diğer arılara yaptıkları yön tariflerinde gerekli düzeltmeleri yaparak hedefin yönünü hatasız biçimde belirleyebilmektedirler (Korkmaz, 2013). Basit gözlerin bağlantılı bölgelerinde bulunan duyu kılınları uzaklaştırılması durumunda, arıların rüzgârlı havalarda yön bulma yeteneklerini kaybettikleri belirtilmiştir (Güler, 2006).

Arıların uçuş sırasında yön bulmaları; arazideki kalıcı işaretler, güneşin pozisyonu ve polarize ışık gibi çeşitli çevresel ipuçlarına dayanmaktadır. Ancak bu unsurlar arasında, sabit ve kolay izlenebilir olmaları nedeniyle arazi işaretleri daha yaygın olarak kullanılan yön bulma araçlarıdır (Doğaroğlu, 2004). Kısa mesafeli uçuşlarda güneşin yer değiştirmesi yön bulma açısından belirleyici bir unsur olarak görülmezken, uzun mesafeli uçuşlarda bal arıları besin kaynağının yerini tarif etme ve bulma sürecinde güneşin sapma açısını dikkate almaktadır (Korkmaz, 2013).

İlkbaharda arılığa yerleştirilen kolonilerde işçi arılar, çevreyi tanımak ve kovanın konumunu öğrenmek amacıyla keşif uçuşları gerçekleştirmektedir. Bu süreçte arılar, önce kovan çevresinde kısa mesafeli uçuşlar yaparak çevreyi adeta hafızalarına kaydetmekte ve kendi kovanlarının yerini öğrenmektedir. Nitekim araziden dönen tarlacı arılar, kovanın yerinde meydana gelen çok küçük değişiklikleri dahi fark edebilmektedir (Güler, 2006). Yer tespiti davranışı, “oyun uçuşları” olarak adlandırılan ilk uçuşlarda ve oğul arılarında gözlemlenmekte; çevreyi tanıma uçuşlarıyla yeni kovana uyum sağlanmaktadır (Genç ve Dodoloğlu, 2003).

Arılar uçuşa çıktıktan sonra kovanın yerinin birkaç metre değiştirilmesi durumunda, dönüşte genellikle eski konuma yönelmekte ve kovanlarını orada aramaya başlamaktadırlar. Irksal farklılıklar da bu süreçte etkili olabilmektedir. Örneğin Kafkas ve esmer ırkı arıların, kovanın yeri çok fazla değiştirilmediği sürece koku yoluyla yuvalarını bulabildikleri; buna karşılık İtalyan arılarının kovanlarını eski yerlerinde bulamadıklarında aynı noktada kümelenme eğilimi gösterdikleri bildirilmektedir (Tutkun, 2000).

Kolonilerin yer değiştirmesiyle birlikte bölgedeki bitki türlerinin de değişmesi, arıların bitkisel kaynaklardan yararlanma aktivitesini ve hızını etkilemektedir. Kolonilerin yeni bitki örtüsüne uyum sağlamasıyla birlikte kaynak kullanım düzeyinde zamanla artış gözlenmektedir. Ayrıca uçuş mesafesini belirleyen temel faktörler arasında bitkisel kaynakların arazideki dağılımı, popülasyon düzeyi ve kaynakların verimliliği yer almaktadır. Bu değişimler, arıların uçuş mesafelerinin yanısıra yer ve yön algılama stratejilerini de etkilemektedir (Doğaroğlu, 2004).

Koku ve Tat Algılama

Koku ve tat algısı, bal arılarında besin arama, çiçek tanıma, öğrenme ve bellek süreçlerinin temelini oluşturmaktadır. Bu duyuşal sistemler sayesinde işçi arılar nektar ve polen kaynaklarını ayırt edebilmekte, koloni için en verimli kaynaklara yönelmekte ve çevresel ipuçlarını uzun süreli hafızalarında depolayarak sonraki arama davranışlarını optimize edebilmektedir. Koku algısı, bal arılarında sinir sistemi tarafından doğrudan ve hızlı biçimde işlenen temel duyuşal girdilerden biridir. Bu mekanizma, arıların çevredeki kimyasal sinyalleri tanımamasına, ayırt etmesine ve bu sinyallere uygun davranışsal tepkiler geliştirmesine olanak tanımaktadır (Wells ve ark., 2010).

Koku alma duyusu (olfaktör), antenlerde yer alan özgül reseptör nöronları aracılığıyla uçucu kimyasal bileşenleri saptamakta; algılanan sinyaller anten lobunda bulunan glomerüllerde organize edilerek özgül bir sinirsel temsil biçimine dönüştürülmektedir. Bu nöral kodlama süreci, bal arılarının farklı floral kokuları ayırt etmesini ve bu kokuları ödül ile ilişkilendirerek öğrenmesini mümkün kılmaktadır (Galizia ve Menzel, 2001).

Özellikle nektar ve polen kaynaklarının tanınmasında olfaktör ipuçları belirleyici rol oynamaktadır. Arılar, belirli kokularla ilişkilendirilen besin kaynaklarını öğrenebilmekte ve bu ilişkileri uzun süreli bellekte depolayabilmektedir. Kokuya dayalı öğrenme ve hafıza süreçleri, besin arama stratejilerinin esnekliğini artırarak çevresel değişkenliklere uyum sağlanmasında kritik bir işlev üstlenmektedir (Wells ve ark., 2010).

Koku duyusuna dayalı öğrenme, yalnızca algılamayla sınırlı olmayıp, duyuşal bilginin merkezi sinir sisteminde işlenmesi ve kalıcı bellek izlerine dönüştürülmesini de kapsamaktadır. Antenlerdeki koku reseptörlerinden başlayan bu süreç, üst düzey sinir merkezlerinde bütünleştirilerek uzun süreli hafıza oluşumuna katkı sunmaktadır. Böylece arılar, belirli çiçek türlerine ait kokusal özellikleri hatırlayarak sonraki besin arama davranışlarını daha etkin biçimde yönlendirebilmektedir. Bu mekanizmalar, olfaktör duyarlılığın davranışsal adaptasyon ve öğrenme süreçleriyle olan güçlü bağlantısını ortaya koymaktadır (Felsenberg ve ark., 2011).

Olfaktör bilgi kodlaması üzerine yapılan nörofizyolojik incelemeler, bal arılarının anten lobu ağında bulunan glomerüler yapılar aracılığıyla kokuların farklı moleküler bileşimlerini hızlı ve dinamik biçimde ayrıştırabildiğini ortaya koymuştur. Bu kodlama sistemi, arıların çevresel kokulara duyarlılığını ve karmaşık kokusal sahneleri ayırt etmesini mümkün kılmaktadır (Paoli ve Galizia, 2021).

Bal arıları, nektar ve polen kaynaklarının kalitesini değerlendirebilmek için gelişmiş ve hassas bir tat alma duyusuna sahiptir. Tat alma reseptörleri, kimyasal uyanları algılayarak bu sinyalleri elektriksel yanıtlar biçiminde sinir sistemine iletmekte ve besin değerlendirme sürecinin nörofizyolojik temelini oluşturmaktadır (Değirmenci ve ark., 2023).

Ancak bal arılarında tat alma duyusu henüz ayrıntılı biçimde araştırılmamıştır. Bunun temel nedeni, tat uyarılarının çoğunlukla öğrenilecek bir sinyal olarak değil, deneylerde ödül olarak kullanılmış olmasıdır. Bu durum, tat duyusunun ayırt etme ve öğrenmedeki rolünün daha az incelenmesine yol açmıştır (Guiraud ve ark., 2018).

Tat duyusu, besinle fiziksel temasın gerçekleştiği anda aktive olarak nektarın kimyasal bileşimi ve enerji değeri hakkında doğrudan bilgi sunmaktadır. Antenler, ağız parçaları ve bacaklar üzerinde yer alan tat reseptörleri aracılığıyla algılanan tat sinyalleri, besinin tüketilip tüketilmeyeceğine yönelik davranışsal karar mekanizmalarını şekillendirmekte ve besin alımının düzenlenmesinde temel rol oynamaktadır (Sanchez, 2011; Değirmenci ve ark., 2023).

Bal arılarında tat algısı, potansiyel besin kaynaklarını değerlendirilme ve seçme süreçlerinde önemli bir duyuşsal sistem olarak öne çıkmaktadır. Çevresel kimyasal uyarıları algılayan gustatuvar sensillalar, özellikle karbonhidrat içeriği yüksek maddelere karşı duyarlılık göstererek kaynağın besleyici niteliğinin belirlenmesine katkı sağlar. Bu seçici duyarlılık, arıların enerji açısından verimli kaynaklara yönelmesini destekleyen önemli bir fizyolojik mekanizma olarak değerlendirilmektedir (Sanchez, 2011).

Ayrıca tat duyusu, nektar kaynaklarının kabul edilebilirliğinin belirlenmesinde işlevsel bir değerlendirme mekanizması sunmaktadır. Arılar tat reseptörleri sayesinde temas ettikleri besin maddelerinin kimyasal içeriğini analiz ederek tüketim kararını şekillendirmektedir. Böylece tat sinyalleri, besin kalitesinin belirlenmesi ve uygun kaynakların seçilmesi sürecinde yönlendirici bir rol oynamaktadır (Sanchez, 2011; Değirmenci ve ark., 2023).

Tat reseptörleri şekerler, tuzlar ve diğer kimyasal bileşenlere çeşitli duyarlılık seviyelerinde yanıt vermektedir. Tat algısı, besin kaynaklarının kalitesini değerlendirme, yenilebilirliği belirleme ve besin kaynaklarının ödül değerini tanıma gibi davranışsal süreçlerde kritik rol oynamaktadır. Tat sinyalleri, besinin kabul edilip edilmeyeceğine ilişkin davranışsal kararların verilmesinde kritik rol oynamakta ve çoğu durumda koku bilgileriyle bütünleşerek değerlendirilmektedir (Sanchez, 2011).

Güncel literatürde, tat algısının sadece “tatlı / acı” gibi kategorilere ayrılmadığı; aynı zamanda arıların tat bilgilerinden öğrenme ve hafıza süreçlerinde geri bildirim sinyali olarak da yararlandığı belirtilmiştir (Mustard ve ark., 2018).

Bu iki duyuşsal sistem birlikte çalışarak arıların çevresel uyarıları bütüncül biçimde değerlendirmesine katkı sağlamaktadır. Koku ve tat bilgilerinin entegrasyonu hem kısa süreli hem de uzun süreli bellek oluşumunu destekleyerek arıların değişken çevre koşullarına uyum sağlamasını ve enerji açısından verimli besin kaynaklarını seçmesini mümkün kılmaktadır (Giurfa, 2007; Wells ve ark., 2010).

Manyetik Alan Algılama

Bal arısının manyetik algılama yeteneği uzun yıllardır bilim insanları tarafından araştırılmakta olup, yapılan çalışmalar bu türün Dünya'nın manyetik alanını algılayabildiğini ve bu yeteneğin yön bulma davranışlarıyla ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Elde edilen bulgular, bal arılarının algı sistemlerinde bir manyetoresepsiyon mekanizmasının varlığını destekleyen deneysel kanıtlar sunmaktadır. Bununla birlikte, manyetik sinyallerin biyofiziksel temeli ve mekanizmaları henüz tam olarak aydınlatılamamıştır (Liang ve ark., 2016).

Bal arılarının kovan ve besin kaynaklarını tespit etmelerinde manyetik etkileşimlerin yönlendirici rol oynayabileceğine dair bulgular bulunmaktadır. Manyetik algının engellendiği durumlarda arıların besin kaynağını veya kovayı bulmakta zorlandıkları gözlenmiştir. Ayrıca çevresel elektromanyetik alanlardaki değişim ve farklılaşmaların, arıların yön bulma ve geri dönüş davranışları üzerinde olumsuz etkiler oluşturduğu bildirilmektedir (Duma Daşdan, 2011).

Elektromanyetik alanlara maruz bırakılan bal arısı bireylerinin çeşitli davranışsal parametrelerinde anlamlı değişiklikler saptanmış; özellikle düşük frekanslı elektromanyetik alanların öğrenme performansı ve saldırganlık düzeyleri üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Uzun süreli radyo frekansı kaynaklı elektriksel ve manyetik alanlara maruz kalan kolonilerde ise kovanlarına geri dönüş yeteneğinin azaldığı rapor edilmiştir (Thielens ve ark., 2020).

Bunun yanı sıra, dinlenme davranışlarının karanlık ortamda manyetik alandan etkilenebileceği de belirtilmektedir (Liang ve ark., 2016). Manyetik alanı algılamaları engellenen arıların, besin kaynağını veya kovayı bulamadıkları gözlenmiştir. Öte yandan arıların çiçekleri yalnızca renk ve koku özelliklerine göre değil, aynı zamanda çiçeklerin oluşturduğu elektrik alanlarını da algılayabildiği; çiçeklerin bu elektriksel özellikler aracılığıyla tozlayıcıları kendilerine çekebildiği ifade edilmektedir (Duma Daşdan, 2011).

Bal arısında manyetik algılamanın biyofiziksel temeline ilişkin demir granüllerine dayalı manyetoresepsiyon ve kriptokrom aracılı kimyasal manyetik algılama sistemi üzere iki temel mekanizma üzerinde durulmaktadır. Kriptokrom alan algılayıcılarının, arıların karın bölgesinde bulunan demir granülleri olabileceği öne sürülmüştür (Liang ve ark., 2016). Bu granüllerin yaşla birlikte biriktiği (Kuterbach ve Walcott, 1986) ve demir granülü içeren bazı hücrelerin potansiyel manyetik reseptör işlevi görebileceğinin ileri sürüldüğü bildirilmektedir (Hsu ve ark., 2007).

Bu bulgular, manyetik algılama kapasitesinin demir granüllerinin durumu ve arının yaşı ile ilişkili olabileceğine işaret etmektedir. Nitekim manyetik uyarana tepki vermeyen bireylerde bu yapının işlevselliğinin daha düşük olabileceği ifade edilmektedir (Liang ve ark., 2016).

Çeşitli çalışmalar, demir granüllerinin manyetik reseptör olma potansiyeline sahip olduğunu göstermekle birlikte, bu yapıların bal arılarında manyetik algılama ile doğrudan ilişkisini kesin olarak kanıtlayamamıştır (Kirschvink ve Walker, 1995). Bununla birlikte, bazı araştırma bulguları bal arılarının manyetik alanı kimyasal mekanizma yerine demir granüller aracılığıyla algılıyor olabileceğini ve bu türün manyetit bazlı manyetik algılamanın araştırılması açısından uygun bir model organizma olabileceğini düşündürmektedir (Liang ve ark., 2016).

Diğer taraftan, kimyasal temelli manyetik algılama sistemlerinde önemli rol oynayan kriptokrom proteinlerinin bal arısı beyrinde bulunduğu belirlenmiştir (Velarde ve ark., 2005). Kriptokromlar, ışıkla uyarıldıklarında geçici bir radikal çifti oluşturabilen flavoproteinlerdir ve bu radikal çiftlerin reaksiyon kinetiği dış manyetik alanın şiddeti ve yönüne bağlı olarak değişebilmektedir (Ritz ve ark., 2000). Ancak bal arılarında manyetik algılamanın kriptokromlar aracılığıyla gerçekleştiğine dair doğrudan deneysel kanıt henüz ortaya konulamamıştır (Kirschvink ve ark., 2001; Liang ve ark., 2016).

Bal arılarının karın bölgesindeki demir granülleri aracılığıyla manyetik bilgi alıp alamadığı konusu halen tartışmalıdır. Bununla birlikte mevcut veriler, kriptokromların manyetik algılamadaki olası rolünü de kesin biçimde dışlamaya olanak tanımamaktadır. Bu nedenle, bal arılarında manyetoresepsiyon mekanizmasının hücresel ve moleküler temellerinin ortaya konulabilmesi için daha kapsamlı, uzun süreli ve disiplinler arası deneysel çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır (Hsu ve ark., 2007; Liang ve ark., 2016).

İklim Koşullarını Algılama

Canlıların temel özelliklerinden biri, çevrelerinde meydana gelen çevresel koşullardaki değişimleri algılayarak bunlara uygun tepkiler verebilmeleridir. Bu süreç, belirli uyaranların duyu reseptörleri tarafından algılanıp sinir sistemi aracılığıyla işlenmesiyle gerçekleşmektedir. Uyaranların fizyolojik olarak algılanması ve anlamlandırılması genel olarak “duyumsama” (sensasyon) olarak tanımlanmaktadır. Bu mekanizma, organizmanın yaşamını sürdürebilmesi açısından hayati öneme sahiptir (Anonim, 2008).

Bu genel biyolojik ilke, sosyal bir böcek türü olan *Apis mellifera* için de geçerlidir. Bal arılarının çevresel koşullara uygun davranışlar sergileyebilmesi, ancak bu koşulları doğru ve zamanında algılayabilmeleri sayesinde mümkündür. Koloni düzeninin korunması, besin kaynaklarının bulunması ve kovan içi dengenin sağlanması, büyük ölçüde çevresel uyaranların etkin biçimde değerlendirilmesine bağlıdır. Bu nedenle arıların gelişmiş duyu sistemleri, koloni yaşamının sürdürülebilirliği açısından büyük önem taşımaktadır (Anonim, 2008).

İklim koşullarından sıcaklık, hemen tüm canlıların tepki gösterdiği temel çevresel uyaranlardan biridir. Hüresel metabolizmanın düzenlenmesinde rol oynayan enzimler ve hormonlar, belirli sıcaklık aralıklarında optimum işlev görmekte; bu sınırların dışına çıkıldığında yapısal bozulmalar ve işlev kayıpları ortaya çıkabilmektedir. Dolayısıyla sıcaklığın doğru şekilde algılanması ve buna uygun fizyolojik ya da davranışsal yanıtların oluşturulması, canlılar için yaşamsal önem taşımaktadır (Anonim, 2008).

Bal arılarında çevresel algının en önemli yapılarından biri antenlerdir. Antenler, koku ve tat reseptörleri bakımından son derece gelişmiş olup yaklaşık 5.000'den fazla duyu algılama noktasına sahiptir. Bu reseptörler sayesinde arılar yalnızca çiçek kokularını değil, aynı zamanda feromonları da algılayarak koloni içi iletişimi sürdürürler. Ayrıca antenlerde bulunan mekanoreseptör ve termoreseptör yapılar, rüzgâr hızı ve hava sıcaklığı gibi iklim parametrelerinin algılanmasına olanak tanımaktadır. Böylece arılar, kilometrelerce uzaklıktaki nektar ve polen kaynaklarının kokusunu tespit edebilmekte ve uçuş yönlerini çevresel ipuçlarına göre ayarlayabilmektedirler (Büyük, 2023).

Nitekim yapılan bilimsel çalışmalar, bal arılarının duyarlarında bulunan sinir uçları aracılığıyla rüzgâr hızını ve hava sıcaklığını algılayabildiklerini ortaya koymaktadır. Bu algılama yeteneği, yalnızca bireysel düzeyde değil, koloni düzeyinde de düzenleyici davranışların ortaya çıkmasını sağlamaktadır (Öztürk ve ark., 1993; Korkmaz, 2013).

Sıcaklık algısına bağlı davranışlar bunun en belirgin örneklerindedir. Hava sıcaklığı düştüğünde arılar “kış salkımı” oluşturarak koloni içi ısıyı korumaya çalışırlar. İlkbaharda hava sıcaklığı yaklaşık 15 °C'ye ulaştığında ise ilk uçuşlarını gerçekleştirirler. Benzer şekilde, sıcak havalarda kovan içi sıcaklığın aşırı yükselmesi durumunda kanat çırparak havalandırma yapmaları ve su taşıyarak buharlaşma yoluyla serinletme sağlamaları, çevresel sıcaklık değişimlerinin etkin biçimde algılandığını göstermektedir (Genç ve Dodoloğlu, 2003).

Güneş bulutlar veya diğer engeller tarafından örtüldüğünde bile, arılar gökyüzündeki spektral veya polarizasyon deseniyle güneşin konumunu tahmin edebilmektedir (Rossel ve Wehner 1986; Wehner ve ark., 1996).

Ayrıca bazı bilimsel çalışmalarda da bal arılarında termal (sıcaklık) ve mekanik (titreşim, hava akımı) uyaranların algılanması ile bu bilgilerin koloni düzeyinde organize davranışlara dönüştürülmesi kapsamlı biçimde ele alınmaktadır (Seeley, 1995).

Bal arılarında çevre koşullarının algılanması; kimyasal, termal ve mekanik uyaranların çeşitli duyu reseptörleri aracılığıyla değerlendirilmesi ve bu bilgilerin koloni düzeyinde organize davranışlara dönüştürülmesi sürecini kapsamaktadır. Bu bütüncül algı ve yanıt sistemi, koloni sürekliliğinin ve ekolojik başarının temel belirleyicilerinden biri olarak kabul edilmektedir (Seeley, 2016).

Kimyasal Algı

Bal arıları (*Apis mellifera*), gelişmiş sosyal organizasyonları ve çevreyle kurdukları çok katmanlı iletişim sistemleri sayesinde ekosistemlerin sürdürülebilirliğinde kritik rol oynayan organizmalardır. Bu sosyal yapının sürekliliği, büyük ölçüde gelişmiş kimyasal algı sistemine dayanmaktadır. Kimyasal algı; besin kaynaklarının tespiti, koloni içi iş bölümünün düzenlenmesi, savunma davranışlarının koordine edilmesi ve üreme dengesinin korunması gibi yaşamsal süreçlerde merkezi bir işlev üstlenmektedir (Robertson ve Wanner, 2006).

Bal arılarında kimyasal algının temel duyu organı antenlerdir. Antenler üzerinde bulunan ve sensilla olarak adlandırılan mikroskobik duyu yapıları, uçucu kimyasal bileşiklerin algılanmasını sağlamaktadır. Morfolojik ve fonksiyonel özelliklerine göre sensilla placodea ve sensilla trichodea gibi farklı tiplere ayrılan sensillalar farklı kimyasal uyarılara yanıt verme özelliğine sahiptir. Özellikle sensilla placodea, hem feromonların hem de floral kokuların algılanmasında baskın rol oynamaktadır (Esslen ve Kaissling, 1976).

Kimyasal algı süreci moleküler düzeyde sensillum içinde başlamaktadır. Uçucu koku molekülleri sensillum lenfinde çözünmekte ve özgül koku bağlayıcı proteinler aracılığıyla reseptör bölgelerine taşınmaktadır. Bu taşıma mekanizması, hidrofobik koku moleküllerinin reseptörlere etkin biçimde ulaşmasını sağlayarak kimyasal sinyalin biyokimyasal olarak algılanabilir hâle gelmesinin ilk basamağını oluşturmaktadır (Leal, 2013).

Koku molekülleri daha sonra olfaktör reseptör nöronlarının zarında bulunan koku reseptör proteinlerine bağlanmaktadır. Her reseptör belirli kimyasal yapı özelliklerine duyarlılık göstermektedir. Genom analizleri, *Apis mellifera*'nın yaklaşık 170 civarında koku reseptör genine sahip olduğunu ortaya koymuştur. Bu gen çeşitliliği, arıların hem koloni içi kimyasal sinyalleri hem de çevresel kokuları ayırt edebilme kapasitesinin genetik temelini yansıtmaktadır. Reseptör bağlanmasını takiben iyon kanallarının açılmasıyla oluşan elektriksel sinyal, merkezi sinir sistemine iletilmektedir (Robertson ve Wanner, 2006).

Oluşan sinyallerin anten lobuna ulaşması, omurgalılardaki koku soğanına işlevsel açıdan benzerlik göstermektedir. Anten lobunda yer alan glomerulus adı verilen yapılarda sinyaller organize edilmekte ve ayrıştırılmaktadır. Ardından bilgi, öğrenme ve hafıza süreçlerinden sorumlu olan mantar cisimciklerine aktarılmaktadır. Bu nöroanatomik organizasyon, kimyasal bilginin yalnızca algılanmasını değil, aynı zamanda deneyimle bütünleştirilmesini mümkün kılmaktadır (Galizia ve Rössler, 2010)

Kimyasal algının sosyal boyutu özellikle feromon temelli iletişimde belirginleşmektedir. Feromonlar, aynı türün bireyleri arasında spesifik davranışsal veya fizyolojik yanıt oluşturan kimyasal sinyallerdir (Slessor ve ark., 2005).

Ana arı tarafından salgılanan mandibular feromon, koloni içi düzenin sürdürülmesinde temel rol oynamakta; işçi arıların ovaryum gelişimini baskılayarak üreme hiyerarşisini korumakta ve koloni bütünlüğünü desteklemektedir. Buna ek olarak alarm feromonları, tehlike durumlarında savunma davranışlarının hızla koordine edilmesini sağlamaktadır (Slessor ve ark., 2005).

Besin arama davranışında da kimyasal algı merkezi bir konumdadır. İşçi arılar, bir besin kaynağı keşfettiklerinde dans diliyle mekânsal bilgi aktarırken, aynı zamanda nektarın kokusal özellikleri aracılığıyla hedef çiçeğin tanımlanmasını kolaylaştırmaktadır. Çiçek kokularının öğrenilmesi ve hafızada depolanması, kimyasal algının zihinsel boyutunu ortaya koymakta ve koloni düzeyinde besin toplama verimliliğini artırmaktadır (Seeley, 1995; Menzel, 1999; Tautz, 2008).

Besin arama sürecinde öğrenme mekanizmaları belirleyici rol oynamaktadır. Çalışmalar, bal arılarının belirli kokular ile ödül arasında ilişki kurabildiğini ve bu sürecin sinaptik plastisite ile bağlantılı olduğunu göstermiştir. Dil uzatma refleksi deneyleri, arıların koşullu öğrenme yoluyla belirli kokulara özgül yanıt geliştirebildiğini ortaya koymakta ve arıların çevresel değişimlere hızla uyum sağlamasını mümkün kılmaktadır. Bu durum özellikle farklı bitki türlerinin çiçek kokularının ayırt edilmesi ve etkin tozlaşma açısından ekolojik önem taşımaktadır (Menzel, 1999).

Bal arılarında kimyasal algı; antenlerdeki sensillalardan başlayarak moleküler taşıyıcı proteinlere, özgül reseptör sistemlerine, merkezi sinir sistemi işleme merkezlerine ve öğrenme mekanizmalarına kadar uzanan çok katmanlı bir organizasyona sahiptir. Bu bütüncül sistem, hem koloni içi sosyal düzenin sürdürülmesini hem de çevresel kaynakların etkin biçimde kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Dolayısıyla kimyasal algı mekanizması, bal arılarının sosyal başarısının ve ekosistem içindeki vazgeçilmez rollerinin temel biyolojik altyapısını oluşturmaktadır (Seeley, 1995; Robertson ve Wanner, 2006; Galizia ve Rössler, 2010).

Titreşim Algılayıcı Mekanizmalar

Bal arıları, yalnızca kimyasal ve görsel uyaranlara değil, aynı zamanda titreşimsel uyaranlara da duyarlı karmaşık algı sistemlerine sahiptir. Titreşimler, arı davranışlarının ve sosyal koordinasyonun önemli bir parçasıdır; bu mekanizmalar hem bireysel çevresel etkileşimlerde hem de koloni içi iletişimde kritik işlev görmektedir (Dreller ve Kirchner, 1993).

Arıların titreşimleri algılayabilme yeteneği, esas olarak subgenual organlar ve antenlerde bulunan sensoryal yapılar aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Subgenual organ, her bir bacağın tibia bölümünde yer alan özel bir mekanoreseptördür. Bu organ, bacakla zeminden ya da diğer arı vücut parçalarından iletilen düşük frekanslı titreşimleri algılayabilmektedir. Titreşimsel uyaranlara duyarlı bu sistem, özellikle çiçek ve diğer arıların yüzeysel titreşimlerinin algılanmasında etkilidir (Autrum, 1988).

Anten mekanoreseptörleri de titreşim algısında önemli bir rol oynamaktadır. Antenler üzerindeki özellikle Böhm organları ve Johnston organı gibi sensillalar, anten segmentleri arasındaki mikro hareketleri ve hava basıncı değişimlerini algılayarak titreşimsel bilgiyi sinir sistemine iletmektedir. Antenin ikinci segmentinde bulunan Johnston organı, özellikle düşük frekanslı havadaki basınç dalgalanmalarına karşı duyarlıdır. Bu sayede, arılar hem kendi uçuş titreşimlerini hem de çevresel havadaki titreşimleri ayırt edebilmektedir (Sane ve ark., 2007).

Bal arılarında titreşim tabanlı iletişim sistemlerinin en çarpıcı örneklerinden biri, kuyruk sallama dansı sırasında ortaya çıkan titreşimlerdir. İşçi arılar, bir besin kaynağını bulduklarında petek üzerinde dans ederek yön ve mesafe bilgisini aktarmaktadır. Bu dansın titreşim bileşeni, dansı izleyen diğer arıların duyu organları tarafından algılanmakta ve odaklanmış bilgi aktarımında önemli rol oynamaktadır. Dans eden arının karnından farklı frekanslarda yayılan titreşimler, antenler ve bacaklardaki mekanoreseptörler tarafından işlenmekte; bu da dansın hem yönsel hem de mekânsal bilgisinin doğru biçimde çözülmesini sağlamaktadır (Seeley, 1992). Bunun yanı sıra mekanoreseptif ve titreşim algılayıcı yapılar, özellikle petek üzerinde gerçekleştirilen dans dilinin çözülmesinde ve koloni içi bilgi aktarımında önemli rol oynamaktadır (von Frisch, 1967; Tautz, 2008).

Titreşim algılayıcı sistemler aynı zamanda savunma davranışları ve koloni içi eşgüdüm için de hayati öneme sahiptir. Koloni içindeki huzursuzluk veya tehlike durumları, petek yüzeyindeki titreşim modelleri biçiminde yayılabilmektedir. Bu sinyaller, diğer bireyler tarafından algılanarak toplu reaksiyonların tetiklenmesine yardımcı olmaktadır (Towne ve Kirchner, 1989).

Nörobiyolojik düzeyde, titreşimsel bilgiler santral sinir sisteminde işlenmekte ve çeşitli modüller aracılığıyla bütünleşik davranışsal yanıtlara dönüştürülmektedir. Bu süreçte birden çok duyu organından gelen kimyasal, görsel ve titreşimsel bilgiler birlikte değerlendirilmekte ve arının çevresel uyarılara uygun cevap vermesine yol açmaktadır (Esch ve Goller, 1991).

Bal arılarındaki titreşim algılayıcı mekanizmalar; subgenual organlar, anten mekanoreseptörler ve sinirsel işlemeyle bütünleşmiş çok bileşenli bir sistem olarak ortaya çıkmaktadır. Bu sistem, hem bireysel çevresel etkileşimlerde hem de sosyal koordinasyonda yüksek duyarlılık ve doğruluk sağlamaktadır. Titreşim algısı, arı davranışlarının çok modlu yapısının ayrılmaz bir parçası olup ekolojik başarılarının altında yatan önemli bir duyu alt yapıyı temsil etmektedir (Autrum, 1988; Esch ve Goller, 1991; Seeley, 1992).

Deprem Algılama

Hayvanların deprem öncesinde ortaya çıkan bazı fiziksel ve kimyasal değişimleri algılayabildiklerine ilişkin görüşler uzun yıllardır tartışılmaktadır (Dodurka, 2020).

Düşük frekanslı sesler, yer kabuğu titreşimleri, mikrosismik hareketler, yer çekimi anomalileri, yer eğimindeki değişimler, fay hatları boyunca açığa çıkan radon gibi gazların kokuları, atmosferdeki iyonizasyon farklılıkları ve özellikle elektromanyetik alan değişimleri, deprem öncesi süreçte ortaya çıkabileceği öne sürülen başlıca çevresel sinyaller arasındadır. Bazı araştırmacılar, hayvanların gelişmiş duyu sistemleri sayesinde bu sinyalleri insanlardan daha erken algılayabildiklerini ileri sürmektedir (Dodurka, 2020).

Bu bağlamda belirli hayvan türlerinin bazı duyularının, belirli fiziksel sinyallere karşı insan duyularından daha hassas olduğu bilinmektedir. Birçok tür, insanların işitemediği düşük frekanslı sesleri algılayabilmekte veya çok zayıf titreşimleri hissedebilmektedir. Bu nedenle, depremlerin çevrede oluşturduğu kısa süreli fiziksel değişimlerin bazı hayvanlar tarafından insanlardan daha erken fark edilmesi teorik olarak mümkündür. Ancak mevcut bilimsel veriler, bu olası erken algılama süresinin genellikle saniyeler ile sınırlı olabileceğini göstermektedir (Anonim, 2017).

Halk arasında yaygın olan anlatımlarda ise hayvan davranışlarının depremden dakikalar, saatler hatta günler önce değiştiği iddia edilmektedir. Bununla birlikte, kontrollü ve tekrar edilebilir bilimsel çalışmalar, hayvan davranışları ile depremler arasında tutarlı ve öngörülebilir bir ilişki ortaya koyamamıştır (Salihoğlu, 2019). Bu nedenle anekdot niteliğindeki gözlemler bilimsel kanıt olarak değerlendirilmemektedir (Anonim, 2017).

Deprem öncesinde yer kabuğunda oluşan gerilim birikiminin elektromanyetik alan değişimlerine yol açabileceği ve bu değişimlerin bazı hayvanlarda stres, huzursuzluk ve panik davranışlarını tetikleyebileceği ileri sürülmektedir. 1996 yılında Osaka University Yer ve Uzay Bilimleri Laboratuvarı'nda gerçekleştirildiği bildirilen bir deneyde, yapay olarak oluşturulan elektromanyetik alana maruz bırakılan hayvanların huzursuzluk ve kaçış davranışları sergiledikleri rapor edilmiştir (Dodurka, 2020). Ancak söz konusu çalışmaların doğal deprem süreçleriyle doğrudan ve genellenebilir bir nedensellik ilişkisi kurmak için yeterli olmadığı belirtilmektedir (Salihoğlu, 2019).

Bal arılarının (*Apis mellifera*) titreşimlere ve elektromanyetik alan değişimlerine duyarlı olduğu bilinmektedir. Koloni düzeni içerisinde titreşim, iletişim ve çevresel algı açısından önemli bir rol oynamaktadır. Arılar; substrat titreşimlerini algılayabilmekte, dans dili aracılığıyla titreşim temelli iletişim kurabilmekte ve manyetik alan değişimlerine karşı duyarlılık gösterebilmektedir. Bu özellikler, teorik olarak deprem öncesi bazı fiziksel sinyallerin algılanabilmesine imkân tanıyabilmektedir (Karadeniz, 2007).

Bazı gözlemsel çalışmalarda, arı kolonilerinin depremden birkaç dakika önce kovandan ani çıkışlar yaptığı veya olağandışı derecede huzursuzluk sergilediği bildirilmiştir (Lakshmi ve ark., 2014). Bununla birlikte, bu çalışmaların çoğunun kontrollü deneysel tasarıma dayanmadığı ve sistematik veri eksikliği içerdiği vurgulanmaktadır (Salihoğlu, 2019).

Türkiye’de 2023 yılında meydana gelen Kahramanmaraş merkezli deprem sonrasında, arıcıların saha gözlemlerine dayalı olarak arı kolonilerinin sarsıntı sırasında kış salkımı düzenini bozduğu, panik davranışı gösterdiği, stres belirtileri sergilediği ve dolayısıyla strese girdikleri için de bal üretmede yetersiz kaldıkları rapor edilmiştir. Kış salkımı, düşük sıcaklıklarda koloni içi ısıyı korumaya yönelik kritik bir organizasyon biçimi olup, şiddetli sarsıntıların bu organizasyonu bozması, koloni içi stresin artmasına ve dolaylı olarak üretim performansının düşmesine yol açabilmektedir (Keber, 2023). Ancak bu tür etkiler, depremin önceden algılanmasından ziyade doğrudan sarsıntının etkisi olarak değerlendirilmektedir (Anonim, 2017).

Tarihsel kayıtlar ve halk anlatıları, hayvanların deprem öncesi olağandışı davranışlar sergilediğine dair çok sayıda örnek içermektedir. Bununla birlikte, mevcut bilimsel literatür, hayvan davranışları ile depremler arasında güvenilir ve tekrar edilebilir bir nedensel ilişki kuramamıştır (Salihoğlu, 2019). Ayrıca hangi hayvan türünün, hangi büyüklükteki veya hangi uzaklıktaki depremlere daha duyarlı olduğu da bilimsel olarak netleştirilememiştir (Dodurka, 2020).

Bal arılarının deprem öncesi ortaya çıkabilecek kısa süreli fiziksel sinyallere tepki verebilme olasılığı teorik olarak mümkün görünmekle birlikte, mevcut veriler bu davranışların işlevsel ve güvenilir bir erken uyarı sistemi olarak kullanılabilmesini desteklememektedir. Bu nedenle konuya ilişkin disiplinler arası, uzun süreli ve kontrollü deneysel çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır (Anonim, 2017; Salihoğlu, 2019).

SONUÇ

Bal arılarının duyuşal ve algısal mekanizmaları, koloni yaşamının sürdürülebilirliğini sağlayan temel biyolojik altyapıyı oluşturmaktadır. Koku, tat, dokunma, titreşim ve ışık gibi çevresel uyarınları algılayabilme yetenekleri; besin kaynaklarının bulunması, yön tayini, savunma davranışlarının organize edilmesi ve koloni içi işleyişin düzenlenmesi açısından yaşamsal öneme sahiptir. Bu duyuşal sistemler yalnızca bireysel fizyolojik süreçleri değil, aynı zamanda koloni düzeyindeki sosyal organizasyonu da doğrudan etkilemektedir.

Bal arılarının algı sistemleri oldukça özelleşmiş olmakla birlikte, bu özelliklerin gelişmiş organizmalarla doğrudan karşılaştırılması bilimsel açıdan doğru değildir. Basit sinir sistemine sahip ve toplumsal yaşam eğilimli bir böcek türü olan bal arılarında davranışlar, bireysel tercihlerden ziyade koloni gereksinimleri doğrultusunda şekillenmektedir. Dolayısıyla bir işçi arının sergilediği davranış modeli, yalnızca kendi fizyolojik durumuna değil; koloni içindeki ihtiyaçlara, çevresel koşullara ve dönemseller faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir.

Arıcılık faaliyetlerinin başarılı ve verimli şekilde yürütülebilmesi için, bal arılarının duyuşsal algı özelliklerinin kovan içi ve kovan dışı davranışlara etkisinin iyi anlaşılması gerekmektedir. Çünkü arılardaki tüm davranışlar, temelde koloni bütünlüğünü ve neslin devamlılığını güvence altına alma prensibine dayanmaktadır. Bu yönüyle bal arılarında, birçok canlı türünde görülmeyen düzeyde kolektif bir hassasiyet söz konusudur.

Duyusal algıya bağılı olarak ortaya çıkan davranış biçimleri; yılın farklı dönemlerine, nektar akışının düzeyine, koloni popülasyonunun yapısına ve çevresel stres faktörlerine bağılı olarak önemli ölçüde değışkenlik gösterebilmektedir. Bu değışkenlik, koloni yaşamında gözlemlenen dinamik işleyişin temel belirleyicilerinden biri olarak değıerlendirilmektedir.

Bu bağlamda bal arılarının iç ve dış çevresel uyarancı gelişmiş duyuşsal ve algısal mekanizmalar aracılığıyla algıladığı; söz konusu uyarancılara verdikleri yanıtların ise çoğunlukla bilişsel muhakemeden ziyade, genetik olarak programlanmış ve nörofizyolojik temelli davranış kalıpları çerçevesinde biçimlendiğı söylenebilir. Dolayısıyla davranışların ortaya çıkışı, çevresel girdilerin algılanması ile merkezi sinir sisteminde işlenmesi sonucunda tetiklenen mekanik ve içgüdüsel tepkilerin bütününi yansıtmaktadır.

Öte yandan bal arılarında iş bölümü kavramının katı ve değışmez bir görev paylaşımı olarak ele alınması yerine, bireylerin yaşı, fizyolojik durumu, hormonal profili ve koloni gereksinimlerine bağılı olarak şekillenen dinamik bir işlevsel farklılaşma süreci şeklinde tanımlanması, hem algısal mekanizmaların davranışa etkisini açıklamak hem de koloni organizasyonunu bilimsel açıdan daha doğıru bir çerçevede değıerlendirmek bakımından daha tutarlı bir yaklaşım olacaktır.

REFERANSLAR

- Aktümsek, A., Ünsal, S., & Kalyoncu, L. (2009). *Genel zooloji ders kitabı*. Nobel Yayın No: 289.
- Anonim. (1993). Bal arısı. *Yeni Rehber Ansiklopedisi* (Cilt 1, ss. 251–256). Türkiye Gazetesi Yayınevi.
- Anonim. (2008). Duyulara genel bakış. *Bilim ve Teknik*, (491).
- Anonim. (2010). Balarıları. *Bilim Çocuk*, (148), 24–27.
- Anonim. (2017). Hayvanlar depremleri önceden hissedebilir mi? Evrim Ağacı.
- Autrum, H. (1988). Mechanoreception in arthropods. In H. Autrum (Ed.), *Sensory physiology and behaviour* (pp. 499–587). Springer.
- Büyük, M. (2023). *Arıcılık* [Ders notları]. Dicle Üniversitesi, Diyarbakır Meslek Yüksekokulu.
https://www.dicle.edu.tr/Contents/pages/Files/36a31efa-fea2-446e-937b-5c7e1d5b2db9/7fc9f8d46c0a4fa6875d7b725f284237_ORG224%20Ar%C4%B1c%C4%B1l%C4%B1k%20Teorik%20Dersi.pdf
- Ćerimagić, H. (1990). *Pčelarstvo* (9., dopunjeno izd.). NIP Zadrugar.
- Collett, M., & Collett, T. S. (2000). How do insects use path integration for their navigation? *Biological Cybernetics*, 83, 245–259.

- Değirmenci, L., Rogé Ferreira, F. L., Vukosavljevic, A., Heindl, C., Keller, A., Geiger, D., & Scheiner, R. (2023). Sugar perception in honeybees. *Frontiers Physiology* 13:1089669. doi: 10.3389/fphys.2022.1089669
- Demirören, E. (2002). *Hayvan davranışları*. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları (No. 547).
- Demirsoy, A. (1985). *Yaşamın temel kuramları* (Cilt I, Kısım II). Hacettepe Üniversitesi Yayınları (A/53).
- Dodurka, A. T. (2020). Hayvanlar depremi önceden hissedebiliyor mu? <https://www.hurriyet.com.tr/aile/hayvanlar-depremi-onceden-hissedebiliyor-mu-429706>
- Doğaroğlu, M. (1992). *Arıcılık ders notları* (3. basım). Trakya Üniversitesi Tekirdağ Ziraat Fakültesi (Ders Notu No. 36, Yayın No. 42).
- Doğaroğlu, M. (2004). *Modern arıcılık teknikleri*. Doğa Arıcılık Ticaret.
- Dreller, C., & Kirchner, W. H. (1993). Vibration signals in the waggle dance of the honeybee. *Naturwissenschaften*, 80(3), 112–114.
- Duma Daşdan, S. (2011). Toplu arı ölümlerinin sebepleri aydınlandı. Cumhuriyet Üniversitesi. <https://www.cumhuriyet.edu.tr/haber/9110-toplu-arilumlerinin-sebepleri-aydinlandi>
- Dyer, F. C., & Gould, J. L. (1981). Honey bee orientation: A backup system for cloudy days. *Science*, 214, 1041–1042.
- Ecevit, O., Akyazı, F., & Akyazı, R. (2012). *Böceklerde (Hexapoda: Arthropoda) morfoloji, fizyoloji ve gelişim*. Nobel Yayınevi.
- Emsen, H. (1997). *Hayvan yetiştirme ilkeleri* (Yayın No. 310, Ders Kitapları No. 62, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi).
- Esch, H. E., & Goller, F. (1991). Mechanoreception of sound signals in honeybees and its relation to dance communication. *Journal of Comparative Physiology A*, 169(3), 311–320.
- Esch, H., & Burns, J. E. (1996). Distance estimation by foraging honeybees. *Journal of Experimental Biology*, 199, 155–162.
- Esslen, J., & Kaissling, K. E. (1976). Number and distribution of sensilla on the antennae of the honeybee (*Apis mellifera* L.). *Zoomorphologie*, 83, 227–251.
- Felsenberg, J., Gehring, K. B., Antemann, V., & Eisenhardt, D. (2011). Behavioural pharmacology in classical conditioning of the proboscis extension response in honeybees (*Apis mellifera*). *Journal of Visualized Experiments*, 47, e2282. <https://doi.org/10.3791/2282>
- von Frisch, K. (1967). *The dance language and orientation of bees*. Harvard University Press.
- von Frisch, K. (2014). *The dance language and orientation of bees*. Harvard University Press.
- Galizia, G., & Menzel, R. (2001). The role of glomeruli in the neural representation of odours: Results from optical recording studies. *Journal of Insect Physiology*, 47, 115–130.
- Galizia, C. G., & Rössler, W. (2010). Parallel olfactory systems in insects: Anatomy and function. *Annual Review of Entomology*, 55, 399–420.
- Genç, F., & Dodoloğlu, A. (2003). *Arıcılığın temel esasları* (Yayın No. 931; Ziraat Fakültesi Yayın No. 341; Ders Kitapları Seri No. 88). Atatürk Üniversitesi.
- Gençtan, T. (2012). *Tarımsal ekoloji* (Genel Yayın No. 6; Ders Kitabı No. 3). Namık Kemal Üniversitesi.

- Giurfa, M. (2007). Behavioral and neural analysis of associative learning in the honeybee: A taste from the magic well. *Journal of Comparative Physiology A*, 193(8), 801–824.
- Gould, J. L., Kirschvink, J. L., & Deffeyes, K. S. (1978). Bees have magnetic remanence. *Science*, 201, 1026–1028.
- Gould, J. L., Kirschvink, J. L., Deffeyes, K. S., & Brines, M. L. (1980). Orientation of demagnetized bees. *Journal of Experimental Biology*, 80, 1–8.
- Gould, J. L. (1986). The locale map of honey bees: Do insects have cognitive maps? *Science*, 232, 861–863.
- Guiraud, M., Hotier, L., Giurfa, M., & Sanchez, M. G. B. (2018). Aversive gustatory learning and perception in honey bees. *Scientific Reports*, 8, 1343. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-19715-1>
- Güler, A. (2006). *Bal arısı (Apis mellifera)* (Ders Kitabı No. 55). Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi.
- Homberg, U. (2004). In search of the sky compass in the insect brain. *Naturwissenschaften*, 91, 199–208.
- Hsu, C. Y., Ko, F. Y., Li, C. W., Fann, K., & Lue, J. T. (2007). Magnetoreception system in honey bee (*Apis mellifera*). *PLoS ONE*, 2, e395.
- Karadeniz, A. (2007). Deprem ve anormal hayvan davranışları. *Atatürk Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi*, 2(3), 99–102.
- Keber, F. (2023, 20 Nisan). Deprem arıların da psikolojisini etkiledi: Bal yapamadılar. *Gazete Duvar*. <https://www.gazeteduvar.com.tr/deprem-arilarin-da-psikolojisini-etkiledi-bal-yapamadilar-haber-1613784>
- Kirschvink, J. L., & Walker, M. M. (1995). Honeybees and magnetoreception. *Science*, 269, 1889.
- Kirschvink, J. L., Walker, M. M., & Diebel, C. E. (2001). Magnetite-based magnetoreception. *Current Opinion in Neurobiology*, 11(4), 462–467.
- Korkmaz, A. (2013). *Anlaşılabilir arıcılık*. Samsun Gıda Tarım ve Hayvancılık İl Müdürlüğü.
- Kuterbach, D. A., & Walcott, B. (1986). Iron-containing cells in the honeybee (*Apis mellifera*). II. Accumulation during development. *Journal of Experimental Biology*, 126, 389–401.
- Lakshmi, K. R., Nagesh, Y., & Krishna, M. V. (2014). Analysis on predicting earthquakes through an abnormal behavior of animals. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 5(4), 845–857.
- Leal, W. S. (2013). Odorant reception in insects: Roles of receptors, binding proteins, and degrading enzymes. *Annual Review of Entomology*, 58, 373–391. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153635>
- Liang, C. H., Chuang, C. L., Jiang, J. A., & Yang, E. C. (2016). Magnetic sensing through the abdomen of the honey bee. *Scientific Reports*, 6, Article 23657. <https://doi.org/10.1038/srep23657>
- Menzel, R. (1999). Memory dynamics in the honeybee. *Journal of Comparative Physiology A*, 185, 323–340.
- Mustard, J. A., Alvarez, V., Barocia, S., Marhews, V., Stoker, A., & Malik, K. (2018). Nutritional value and taste play different roles in learning and memory in the honey bee (*Apis mellifera*). *Journal of Insect Physiology*, 107, 250–256.

- Öder, E. (1985). Bal arılarında kimyasal haberleşme ve önemi. R. Sönmez (Ed.), *Ziraat üstüne söyleşiler* (ss. 148–157). İzmir.
- Öztürk, A., Yalçın, L. İ., İnci, A., & Tutkun, E. (1993). *Arıcılık*. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Teşkilatlanma ve Destekleme Genel Müdürlüğü Yayını. Ankara.
- Özet, M., & Arpacı, O. (2001). Duyu organları. *Biyoloji 2* (s. 86). Zambak Yayınları. İzmir.
- Özkütük, K. (1998). *Hayvan ekolojisi* (Ders Kitabı No: 79). Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi. Adana.
- Paoli, M., & Galizia, G. C. (2021). Olfactory coding in honeybees. *Cell and Tissue Research*, 383(1), 35–58.
- Ratnieks, F. L. W. (2000). How far do bees forage. *Bee Improvement*, 6, 10–11.
- Ritz, T., Adem, S., & Schulten, K. (2000). A model for photoreceptor-based magnetoreception in birds. *Biophysical Journal*, 78, 707–718.
- Robertson, H. M., & Wanner, K. W. (2006). The chemoreceptor superfamily in the honey bee, *Apis mellifera*: Expansion of the odorant receptor family. *Genome Research*, 16(11), 1395–1403.
- Rossel, S., & Wehner, R. (1986). Polarization vision in bees. *Nature*, 323, 128–131. <https://doi.org/10.1038/323128a0>
- Salihoğlu, İ. (2019). Hayvanlar depremi önceden anlarlar mı yoksa bu bir mit mi? *Lucidolea*. <https://lucidolea.com/genel/hayvanlar-depremi-onceden-anlarlar-mi-yoksa-bu-bir-mit-mi/>
- Sanchez, M. G. B. (2011). Taste perception in honey bees. *Chemical Senses*, 36(8), 675–692. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjr040>
- Sane, S. P., Dieudonné, A., Willis, M. A., & Daniel, T. L. (2007). Antennal mechanosensors mediate flight control in moths. *Science*, 315(5813), 863–866. <https://doi.org/10.1126/science.1133598>
- Seeley, T. D. (1992). The tremble dance of the honey bee: Message and meanings. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 31(4), 375–383.
- Seeley, T. D. (1995). *The wisdom of the hive: The social physiology of honey bee colonies*. Harvard University Press.
- Seeley, T. D. (2016). *Honeybee ecology: A study of adaptation in social life*. Princeton University Press.
- Sıralı, R. (1999). Arıcılık uğraşısında etkili çevresel koşulların analizi. *Teknik Arıcılık*, (63), 18–26.
- Slessor, K. N., Winston, M. L., & Le Conte, Y. (2005). Pheromone communication in the honeybee (*Apis mellifera* L.). *Journal of Chemical Ecology*, 31(11), 2731–2745.
- Srinivasan, M. V., Zhang, S., Altwein, M., & Tautz, J. (2000). Honeybee navigation: Nature and calibration of the “odometer.” *Science*, 287, 851–853. <https://doi.org/10.1126/science.287.5454.851>
- Srinivasan, M. V. (2010). Honey bees as a model for vision, perception, and cognition. *Annual Review of Entomology*, 55, 267–284.
- Tanyolaç, J., & Tanyolaç, T. (1992). *Genel zooloji* (Yayın No: 17). Hatiboğlu Yayınları. Ankara.
- Tautz, J. (2008). *The buzz about bees: Biology of a superorganism*. Springer.
- Thielens, A., Greco, M. K., Verloock, L., Martens, L., & Joseph, W. (2020). RF-EMF exposure of western honey bees affects homing ability. *Scientific Reports*, 10, Article 461

- Todorović, V., & Todorović, D. (2017). *Praktično pčelarstvo*. Algoritam. Beograd.
- Towne, W. F., & Kirchner, W. H. (1989). Vibration signals in Africanized honey bees. *Journal of Apicultural Research*, 28(1), 25–29.
- Tutkun, E. (2000). *Teknik arıcılık el kitabı* (Yayın No: 6). Türkiye Kalkınma Vakfı. Ankara.
- Velarde, R. A., Sauer, C. D., Walden, K. K. O., Fahrbach, S. E., & Robertson, H. M. (2005). Pteropsin: A vertebrate-like non-visual opsin expressed in the honey bee brain. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 35, 1367–1377.
- Vesković, B. (2000). *Praktično pčelarstvo sa radovima po mesecima*. Privredni Pregled. Beograd.
- Wehner, R., Michel, B., & Antonsen, P. (1996). Visual navigation in insects: Coupling of egocentric and geocentric information. *Journal of Experimental Biology*, 199, 129–140.
- Wells, P. H., Adrian, M. W., Charles, I. A., John, F. B., & Harrington, W. (2010). Nectar odor and honey bee foraging. *Uludağ Arıcılık Dergisi*, 10(1), 36–41.

