



# ADU Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi



ADU Journal of Science and Engineering

*Cilt: 1*

*Sayı: 2*

*Yıl: 2024*



<https://dergipark.org.tr/tr/pub/adufmbd>

**Aydın Adnan Menderes Üniversitesi**

**ADÜ FEN VE MÜHENDİSLİK  
BİLİMLERİ DERGİSİ**

---

**Cilt**

**1**

**Sayı**

**2**

**2024**

---

# ADÜ FEN VE MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ DERGİSİ

(Ulusal Hakemli Dergi)

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aydın, TÜRKİYE tarafından yayınlanır.

## BAŞ EDITÖR

Ethem AKTÜRK

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi

[ethem.akturk@adu.edu.tr](mailto:ethem.akturk@adu.edu.tr)

## EDİTÖR

Korhan GÜNEL

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi

[kgunel@adu.edu.tr](mailto:kgunel@adu.edu.tr)

## Yayın Kurulu

Ethem AKTÜRK	Aydın Adnan Menderes Üniversitesi	ethem.akturk@adu.edu.tr
Deniz Özen ÜNAL	Aydın Adnan Menderes Üniversitesi	deniz.ozen@adu.edu.tr
Korhan GÜNEL	Aydın Adnan Menderes Üniversitesi	kgunel@adu.edu.tr

## Danışma Kurulu

Deniz ÇOBAN	Aydın Adnan Menderes Üniversitesi	deniz.coban@adu.edu.tr
Deniz Özen ÜNAL	Aydın Adnan Menderes Üniversitesi	deniz.ozen@adu.edu.tr
Göksele ARMAĞAN	Aydın Adnan Menderes Üniversitesi	garmagan@adu.edu.tr
Korhan GÜNEL	Aydın Adnan Menderes Üniversitesi	kgunel@adu.edu.tr
Olca Üzengi AKTÜRK	Aydın Adnan Menderes Üniversitesi	ouzengi@adu.edu.tr

## Alan Editörleri

Adem Yavuz SÖNMEZ	Kastamonu Üniversitesi
Ayşegül ÇAKSU GÜLER	Ege Üniversitesi
Ayşen KOÇ	Yozgat Bozok Üniversitesi
Cafer EKEN	Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
Cafer TURGUT	Aydın Adnan Menderes Üniversitesi
Deniz Özen ÜNAL	Aydın Adnan Menderes Üniversitesi
Esin POYRAZOĞLU	Aydın Adnan Menderes Üniversitesi
Mustafa SÜRMEYEN	Aydın Adnan Menderes Üniversitesi

Baş Editör	: Ethem AKTÜRK
Editör	: Korhan GÜNEL
Yardımcı Editör	: Deniz Özen ÜNAL
Teknik Editör	: Korhan GÜNEL
İstatistik Editörü	: Derya AKBAŞ
Dil Editörleri	: Eda YAPICI, Cihan DOĞAN
Dergi Mizanpaj	: Deniz Özen ÜNAL, Zeynep Şule YÜKSEL
e-posta	: fbedergi@adu.edu.tr
Yayın Tarihi	: Aralık, 2024.

**AYDIN ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
YÖNETİM KURULU

Enstitü Müdürü	: Ethem AKTÜRK
Enstitü Müdür Yardımcıları	: Deniz Özen ÜNAL, Korhan GÜNEL
Enstitü Sekreteri	: Münevver KEMER
Raportör	: Münevver KEMER
Üye	: Olcay ÜZENGİ AKTÜRK
Üye	: Deniz ÇOBAN
Üye	: Göksel ARMAĞAN

### **Amaç ve Kapsam**

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi (ADUFMBD), temel bilimler ve mühendislikte son teknolojiye ilişkin yenilikleri içeren bilimsel makalelerin yayınlamasını ilke edinmiş olup araştırmacıların bilim ve teknolojiye ilişkin bilgi ve becerilerini, ulusal ve uluslararası literatürde paylaşmayı ve tartışmayı hedeflemektedir. Dergimiz, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü tarafından yılda en az iki kez yayınlanan hakemli, bilimsel elektronik bir dergidir. Yayın kurulunun kararıyla “Özel Sayı” olarak da yayımlanabilir. Dergide fen ve mühendislik bilimlerinde yapılmış deneysel ve teorik ilerlemeleri konu alan analitik ve nümerik çözümleri içeren araştırma makalesi türündeki çalışmalara yer verilir.

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, temel bilimler ve mühendislik alanında yapılan özgün ve yenilikçi aynı zamanda bilime katkıda bulunacak olan araştırma ve derleme türü makaleleri kabul etmektedir. Dergide, Türkçe ve İngilizce yayınlara yer verilmektedir. Dergide yayımlanacak olan makalenin daha önce başka bir yerde yayımlanmamış olması ve makale içerisindeki tüm yazarların onayının alınması sorumluluğu tamamen sorumlu yazara aittir.

### **Yayın Tarihi ve Abonelik Bilgileri**

ADÜ Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi yılda iki kez (Haziran ve Aralık) online olarak yayımlanmaktadır.

# ADÜ FEN VE MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ DERGİSİ

## ETİK İLKELER VE YAYIN POLİTİKASI

### **YAYIN ETİĞİ**

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi (Aydın Adnan Menderes Üniversitesi FMBD)'nin yayın süreçleri, bilginin bilimsel yöntemle yansız biçimde üretilmesi, geliştirilmesi ve paylaşılmasına dayanır. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi FMBD bilginin ulusal ve uluslararası tüm yayılım sürecinde etik kurallar çerçevesinde şeffaflık, gizlilik ve hesap verebilirlik ilkelerini gözetmektedir. Ayrıca kalite odaklı bir yaklaşımla tüm süreçleri verimli ve rekabetçi bir yapıda sürekli iyileştirmeyi hedeflemektedir. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi FMBD Araştırmada Dürüstlük için Avrupa Davranış Kurallarını takip etmektedir.

- Hakemli makaleler, bilimsel yöntemler gerektiren ve tarafsızlık sağlayan çalışmalardır.
- Aydın Adnan Menderes Üniversitesi FMBD kullanıcıları olan (yayıncı, editörler, yazar(lar), hakem(ler), alan editörleri, okuyucular) tüm yapılan işlemlerde dergimizin etik ilkelerine uymaları gerekir.
- Bu kapsamda Aydın Adnan Menderes Üniversitesi FMBD'in yayın etiği ile açık erişim politikasının da,
  - Uluslararası Yayın Etiği Komitesi (Committee on Publication Ethics, COPE) ve
  - Bilim Kurulu Editörleri Konseyinin (Council of Science Editors, CSE) açık erişimde yayınladığı kılavuzlar ve politikalar doğrultusunda (Örneğin "Yayın Etiği Komitesi (COPE)" Davranış Kuralları ve Dergi Editörleri İçin En İyi Uygulama Kılavuzları; "Code of Conduct and Best Practice Guidelines for Journal Editors" ve "COPE Best Practice Guidelines for Journal Editors") yayın sürecinin tüm bileşenlerinin etik ilkelere uymasını gerektirmektedir.
- Ayrıca derginin editörlük ve yayın süreçleri Türkiye Yükseköğretim Kurulu yönetmeliği kurallarına uymakta ve şüpheli araştırma ve yayın suistimali vakalarını takip etmektedir.

Bu etik kurallara ve sorumluluklar aşağıda da özetlenmiştir. Tüm yazarların/hakemlerin makale göndermeden/değerlendirmeden önce Aydın Adnan Menderes Üniversitesi FMBD'nin etik politikasını okuması ve anlaması beklenmektedir.

### **Yayıncının Etik Görev ve Sorumlulukları**

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi FMBD, editörler kurulu, çeşitli ülke ve üniversitelerden alanında uzman akademisyenlerden oluşmaktadır. Editör Kurulu üyeleri, fen bilimlerinin bilim dalları gözetilerek görevlendirilir ve üyeler baş editörlerin ve editör kurulu üyelerinin kendi taleplerine göre görevlendirilir. Editörler kurulu başkanları ve duruma göre bir ya da birden fazla baş editör yardımcıları ile alan editörleri belirlenir. Ayrılan üyenin yerine yeni üye görevlendirilir. Editör, makalenin konusuna göre, gerekli olduğunda Editörler Kurulu üyesi olmayan öğretim üyelerine alan editörü olarak incelemesi için makale gönderebilir.

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi FMBD, herhangi bir makale ile ilgili bir durumu açıklığa kavuşturmak, söz konusu makalede değişiklik yapmak veya çalışmanın herhangi bir bilimsel yanlış davranış içermesi, hileli yayın, intihal veya editörlerle yakın iş birliği iddiası veya kanıtlanması için gerekli tüm önlemleri almaktadır. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi FMBD, editörlerle birlikte, herhangi bir kötüye kullanımının meydana geldiği makalenin yayınlanmasını önlemek için ilgili adımları atacak ve hiçbir koşulda bu tür bir suistimali veya bilerek bu tür bir suistimalin gerçekleşmesine izin vermeyecektir. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi FMBD, okurlar, hakemler veya diğer editörler tarafından ortaya konan tüm iddialara veya şüphelere yanıt vermekle sorumludur. Böyle bir durumda ilgili makale dergi tarafından değerlendirilir ve gerekli açıklamalar yapılır.

### **Editörler Kurulu'nun Sorumlulukları**

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi FMBD'e başvurusu yapılan her makaleden, hatta yayımlanmasından sonraki tüm süreçlerinden Aydın Adnan Menderes Üniversitesi FMBD Editörler Kurulu sorumludur ve Editörler Kurulu bu sorumluluğunu bilir. Bu sorumluluk, dergiyle ilgili konularda verilen kararlarda yalnızca kamu yararını düşünerek; kişisel kazancı düşünmeden, bağımsız olarak karar vermeyi gerektirir. Yayıncı ve

Editörler Kurulu arasındaki ilişki bağımsızlık ilkesine dayanır, editörlerin alacağı tüm kararlar yayıncıdan ve diğer kişi ve kuruluşlardan bağımsızdır.

Editörler Kurulu, Dergiyi sürekli geliştirmeye, yayın niteliğini yükseltmeye çaba gösterir. Ayrıca yayın, kör hakemlik, değerlendirme süreci, etik ilkeler gibi dergi politikalarının belirlenmesi ve uygulanmasını sağlar. Editörler Kurulu, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi FMBD’de yayınlanmış makale yazarlarının telif hakkını korur ve makale ve dergi yayım sürecinde fikri mülkiyet hakları, bilimsel-etik olmayan davranışlarla, intihalle, yollama (atıf) çeteciliğiyle ilgili önlemleri almada sorumludur. Editörler Kurulu, yazar(lar)ın bilgi gereksinimlerini içeren bir “Yazım kuralları”, hakemlerin değerlendirme aşamasında gerek duyacakları bilgileri içeren “Hakem değerlendirme kılavuzu” hazırlar, gerektiğinde günceller. Editörler Kurulu, hakemleri, yazar(lar)ı güdüleyici politikalar belirler ve her makalenin kayıtlarını, dergiyle ilgili yazışmaları elektronik olarak saklar.

### **Editör ve Alan Editörlerinin Etik Görev ve Sorumlulukları**

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisinde editör ve alan editörleri, “Yayın Etiği Komitesi (COPE) Davranış Kuralları ve Dergi Editörleri İçin En İyi Uygulama Kılavuzları”; “Code of Conduct and Best Practice Guidelines for Journal Editors” ve “COPE Best Practice Guidelines for Journal Editors” açık erişimde yayınlanan kılavuzlar ve politikalar doğrultusunda, bu rehberlerde belirtilen etik görev ve sorumluluklara sahip olmalıdır. Bu görev ve sorumluluklar aşağıda özetlenmiştir.

- Editörler, hakemlerin, yazar(lar)ın, araştırmacı, uygulayıcı ve okuyucuların bilgi gereksinimlerini karşılamaya gerektiğinde dönüt vermeye, yayın sürecinde düzeltme, açıklama gerektiren konularda açıklık ilkelerine göre davranmaya çaba gösterirler.
- Editörler, makalelerin yayımlanmasına karar verirken, makalelerin özgün olmasına, bilimsel alanyazına, okuyucu, araştırmacı ve uygulayıcılara katkı sağlamasına özen gösterirler.
- Editörler, makalelerle ilgili olumlu ya da olumsuz karar verirken, makalelerin özgün değeri, alana katkısı, araştırma yönteminin geçerli ve güvenilirliği, anlatımın açıklığı ile derginin amaç ve kapsamını göz önünde tutarlar.
- Editörler, başvurusu yapılan makalelerin önemli sorunu olmadığı sürece ön değerlendirme aşamasına alır, olumlu hakem önerilerini göz önünde bulundurur, ciddi sorun olmadıkça önceki editör(ler)ce verilen kararları değiştirmezler.
- Editörler, derginin yayın politikaları arasında bulunan kör hakemlik ve değerlendirme süreci politikalarını uygular, hakemlerin kimlik bilgilerini gizli tutar, her makalenin yansız ve süresi içinde değerlendirilmesini sağlarlar.
- Editörler, makaleleri alan editörleri ve hakemlerin uzmanlık alanlarını dikkate alarak gönderir, değerlendirmelerin yansız ve bağımsız yapılmasını desteklerler.
- Makale değerlendirme sürecinde hakemlere rehberlik etmesi ve talep ettiği bilgiyi sağlamakla görevlidir.
- Editör körleme hakemlik sayesinde yazar ve hakemin kimlik bilgilerini gizlemekle yükümlüdür.
- Editörler makalelerin tarafsız ve bağımsız olarak değerlendirme süreçlerinin tamamlanması için Yazar(lar), hakemler ve üçüncü kişiler arasında oluşabilecek çıkar ilişkisi ve çatışmalarına karşı önlem almakla sorumludur.
- Editörler, hakem havuzunun geniş bir yelpazeden oluşması ve sürekli güncellenmesi için arayış içinde olurlar.
- Editörler, makaleler hakkında danışma kurulunun görüş ve önerilerini dikkate alması gerekmektedir.
- Editörler makale hakkında alacağı kararlar dergi sahibi ve yayıncı kuruluştan bağımsız olmalıdır.
- Editörler; dergide yayına verilecek makalelerde dergi yayım ilkelerini, dergi amaçlarını ve uluslararası standartları gözetmekle sorumludur.
- Editörler makale Yazar(lar)ının rızası haricindeki kişisel bilgilerini üçüncü kişilere aktarmamakla sorumludur.
- Editörler, akademik görgü kurallarına uymayan ve bilimsel olmayan değerlendirmeleri engellerler.
- Editörler, dergi yayım süreçlerini yayın politikaları ve kılavuzlara uygun işletilmesini sağlar, süreçte

görev alanları yayın politikaları konusundaki gelişmelerden bilgilendirir, gerektiğinde eğitim programı hazırlarlar.

- Editörler, yayın sürecinde görev alanlar herkesle etkili bir iletişim içinde olur, belirli aralıklarla toplantılar düzenlerler.
- Editörler, değerlendirilen makalelerdeki kişisel verilerin korunmasını sağlarlar; yazar, hakem ve okuyucuların bireysel verilerini korurlar.
- Editörler; makalelerde insan ve hayvan haklarının korunmasına özen gösterirler, makalenin katılımcılarının açık onayının belgelendirilmesini önemserler, makalenin katılımcılarına ilişkin etik kurul onayı, deneysel araştırmalarda izinleri olmadığında makaleyi reddetmekle sorumludur.
- Editörler; görevi kötüye kullanmaya karşı önlem alırlar. Görevi kötüye kullanmaya yönelik yakınmalar olduğunda, nesnel bir soruşturma yaparak, konuyla ilgili bulguları paylaşır.
- Editörler, makalelerdeki hata, tutarsızlık ya da yanlış yönlendirmelerin düzeltilmesini sağlarlar.
- Editörler, yayınlanan makalelerin fikri mülkiyet hakkını korur, ihlal olması durumunda derginin ve yazar(lar)ın haklarını savunurlar.
- Ayrıca yayımlanan makalelerin içeriğinin başka yayınların fikri mülkiyet haklarını ihlal etmemesi konusunda gerekli önlemleri alırlar; özgünlük-benzerlik denetimini yaparlar.
- Editörler, Dergide yayımlanan makalelere yönelik tutarlı eleştirileri dikkate alırlar, eleştirilen makalelerin yazar(lar)ına yanıt hakkı tanırırlar.
- Editörler olumsuz sonuçları içeren çalışmalarını da göz önünde bulundururlar.
- Editörler hakem, yazar ve okuyuculardan gelen şikayetlere açık ve aydınlatıcı cevap vermekle sorumludur.
- Makalelerde kullanılan verilerin manipüle edilmesi, çarpıtılması ve uydurma verilerin kullanılması gibi durumlar tespit edilirse, makale reddedilecektir.
- Dergimiz, editörya ve/veya hakemler tarafından verilen dönütlere göre yazarlardan analiz sonuçlarına ilişkin çıktı dosyalarını isteme hakkına sahiptir.

### **Hakemlerin Etik Görev ve Sorumlulukları**

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi FMBD makale değerlendirme sürecinde yazar(lar)ın hakemleri, hakemlerin yazarları tanımadıkları iki yönlü kör hakemlik ilkesi uygulanır, hakemler yazarlar ile doğrudan iletişim kuramaz; makale değerlendirme formları ve metin üzerinde belirtilen notlar ile düzeltme istemleri dergi yönetim sistemi üzerinden editörlerce yazar(lar)a iletilir. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi FMBD'ne başvurusu yapılan makaleleri değerlendirecek hakemler aşağıdaki etik sorumlulukları taşımalıdır.

- Hakemler yalnız uzmanlık alanı ile ilgili makaleleri değerlendirmeyi kabul etmelidir.
- Hakemler, değerlendirmeyi yansızlık ve gizlilik içinde yapmalıdır.
- Hakemler kendilerine gönderilen makaleleri değerlendirme sürecinden sonra yok etmeli, ancak yayımlandıktan sonra kullanmalıdırlar.
- Uyrak, cinsiyet, dinsel inanç, siyasi inanç ve ticari kaygılar, değerlendirmenin yansızlığını bozmamalıdır.
- Hakemler, çıkar çatışması-çıkar birliği olduğunu anladıklarında, makaleyi değerlendirmeyi reddederek, editörlere bilgi vermelidir.
- Hakemler, değerlendirmeyi akademik görgü kurallarına uygun biçimde, yapıcı bir dille yapmalı; hakaret, iftiraya düşmanlık içeren kişisel yorum ve ifadelerden kaçınmalıdır.
- Hakemler değerlendirmesini kabul ettikleri makaleyi süresi içinde değerlendirmelidirler.

### **Yazarların Etik Görev ve Sorumlulukları**

- Yazar(lar) aynı anda iki dergide aynı makale için süreç takip edemez. Bir dergide süreç tamamlandığında ve makalesi reddedildiğinde diğer dergiye makalesini gönderebilir. Başka bir dergide yayınlanmış makale Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi'ne gönderilemez.
- Yazar(lar), Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi'ne çalışmalarını

özgün olarak hazırlamalı ve göndermelidir.

- Yazar(lar), makale yazımı sırasında yararlandıkları kaynaklara etik ilkeler doğrultusunda doğru ve eksiksiz biçimde yollama (atıf) yapmalıdır.
- Makaleye katkı sağlamayan kişilerin adı, yazar olarak yazılmamalı, yayımlanmak üzere başvurusu yapılan bir makalenin yazar sırasını değiştirme, yazar çıkartma, yazar ekleme önerilmemelidir.
- Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisinde değerlendirme süreci başlamış bir makaleye yazar ekleme, yazar sırası değiştirme, yazar çıkarma gibi işlemlere ihtiyaç duyulduğu takdirde dergi yönetimine tüm Yazar(lar)ın onayı ile başvuruda yapılabilir. Dergi yönetimi başvuruyu inceleyip kararı sorumlu yazara bildirir.
- Yayınlanma başvurusu yapılan makaleyle ilgili çıkar çatışması-çıkar birliği olan kişileri editörlere bildirmeli ve açıklamaları gerekmektedir.
- Değerlendirme sürecinde editör, hakem ve alan editörü tarafından yazar(lar)dan makalelerine ilişkin bilgi ya da ham veriler talep edilebilir. Bundan dolayı yazar(lar) makalelerine ait bilgi ya da ham verileri sunacak şekilde hazır bulundurmalıdır.
- Yazar(lar), makalelerinde kullandıkları verilerin kullanım haklarına, araştırma-çözümlemelerle ilgili izinlerin ya da üzerinde araştırma yaptıkları katılımcıların onayının alındığını belgelemelidirler.
- Yazar(lar), değerlendirme ve erken görünüm aşamasındaki ya da elektronik ortamda yayımlanmış makalesiyle ilgili hatayı fark ettiklerinde bilgi vermek, düzeltmek ya da geri çekmek için editörle iletişime geçmesi gerekir.
- Yazar(lar), etik kurul kararı gerektiren deney, anket, ölçek, görüşme, gözlem, odak grup çalışması gibi nicel ya da nitel yöntemlerle veri toplamayı gerektiren araştırmalar için etik kurul onayı aldığını; etik kurul adı, karar tarihi ve sayısı aday makalenin "Etik Onay" (Ethical Approval) bölümünde belirtmeli, etik kurul kararını gösteren belgeyi makalenin başvurusuyla birlikte sisteme yüklemelidir.
- Yazar(lar), veri toplama sürecinde etik ilkelere özen gösterdiklerinin kanıtlarını (başkalarının ölçek, anket, fotoğraf gibi belgelerinin kullanılması için kendilerinden izin alınması gibi) makale içinde sunmalıdır.
- Makalelerde araştırma ve yayın etiği ile fikir ve sanat eserleri için telif hakları düzenlemelerine uyulduğu belirtilmelidir.
- Araştırma insan ve hayvan denekler üzerinde gerçekleştirilmiş ise araştırmacının uluslararası bildirimler, kılavuzlar vb uygun gerçekleştirildiği bildirilmelidir.
- Yazar(lar)dan derleme makaleler için etik kurul onayı istenmez. Bununla birlikte etik kurul kararı gerektirmeyen makalelerde de, etik kurul kararının gerekmediği, makalenin "Etik Onay" (Ethical Approval) bölümünde belirtilmelidir.
- Yayınlanmak üzere değerlendirmeye gönderilen her makale editör yardımcıları tarafından iThenticate yazılımıyla intihal açısından kontrol edilir.
- Makalenin benzerlik endeksi (SI), Referans bölümleri hariç %20'in ve tek kaynak benzerlik oranı ise %5'in üzerindeyse, bu oranların altına düşürülmesi için ilgili yazara geri gönderilir.
- İlgili makalenin yayınlanmasının ardından intihal kanıtlanırsa, makale derhal geri çekilecek ve web sitesinden kaldırılacaktır. Böyle bir durumda ilgili yazarların makaleleri Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisinde beş yıl boyunca yayınlanmaya uygun olmadığı kabul edilecektir.
- Yazar(lar) ön kontrol, değerlendirme, düzenleme ve yayın aşamalarının herhangi birinde makalesi hakkında hatalar ve yanlışlıklar bulunması halinde makaleyi düzeltme veya geri çekme işlemleri için dergi yönetimine bilgi vermek zorundadır.

### **Etik İlkeler Uymayan Durumun Editöre Bildirilmesi**

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi FMBD 'de editörler, hakemler, yazarlar ile ilgili etik ilkelere uymayan bir davranış ya da değerlendirme sürecindeki, erken görünümdeki ya da yayımlanmış bir makale ilgili etik olmayan bir durumla karşılaşılması durumunda [fbedergi@adu.edu.tr](mailto:fbedergi@adu.edu.tr) adresine ileti yoluyla bildirilmesi gerekir.



## **YAYIN POLİTİKASI**

### **Acık Erisim Politikası**

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi'nde yayınlanan makaleler tam metin olarak açık erişim olarak dergi sayfamızda yer almaktadır. Bu durum bilime daha fazla katkı yapacağı düşüncesindeyiz.

### **Gizlilik Beyanı**

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi'nin web sayfasında yayında olan makaleler ve değerlendirme aşamasında olan makalelere ait gizli bilgiler sadece derginin belirtilen amaçları doğrultusunda kullanılacaktır; farklı herhangi bir amaç için veya diğer kişilerin kullanımına açılmayacaktır.

## **DEĞERLENDİRME POLİTİKASI**

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi'ne gönderilen makalelerin tüm değerlendirme aşamalarında makale yazarları ile makaleyi değerlendiren hakem kimlikleri çift körleme ile gizlenmektedir. Makalelerin yayınlanması için iki olumlu hakem raporu gereklidir.

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi'ne sunulan çalışmaların yayın inceleme sürecinin 6 ayda tamamlanması öngörülmektedir. Ancak, editör veya hakemlerin yazar(lar)dan düzenleme yapmasını istediği ve yazar(lar)ın düzenlemeyi tamamladığı süre bu süreye dahil değildir. Yayınlanmış bir makalede düzeltme yapılamaz. Ancak yazar düzeltme talebinde bulunması durumunda düzeltme talebinden sonraki sayıda kısa bir düzeltme metni yayınlanabilir.

### **Yayın Ücreti**

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi FMBD Yayın Kuralları gereğince, yazarlardan makale gönderim ve yayın ücreti alınmamaktadır. Dergimizde makale gönderimi ücretsizdir.

### **Arsivleme**

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi FMBD yayınlamış olduğu tüm makaleleri tam metin olarak, derginin içindikiler, kapak sayfası ve sayı tam dosyaları olarak DERGİPARK sistemi üzerinde arşivlenmekte ve tüm kullanıcıların erişimine sunulmaktadır.

### **Reklam ve Sponsorluk**

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi FMBD herhangi bir reklam ve sponsorluk kabul etmemekte ve yayın sayfasında bunlara yer vermemektedir.

### **İntihal politikası**

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi FMBD'ne gönderilen makaleler Yazar(lar) tarafından kişisel kullanımına açık olan "iThenticate Plagiarism Detection" yazılımı ile kaynaklar hariç olmak üzere intihale karşı kontrol edilmektedir. Yapılan kontrollerde benzerlik oranının % 20'nin (Kaynaklar hariç) altında olması ve tek kaynak benzerlik oranı ise %5'i geçmemesi gerekmektedir.

### **Etik Kurul İzni/yasal/özel izin gerektiren çalışmalar**

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi FMBD yayın kuralları gereğince, Etik Kurul İzni/yasal/özel izin gerektiren çalışmalarda, Etik Kurul İzninin nereden, hangi kapsam, hangi tarih ve sayı numarasında alındığını belirten ifadeyi, makalenin Dergiye sunulması esnasında makale içerisinde mutlaka belirtilmesi gerekmektedir.

Etik Kurul izni gerektiren araştırmalar aşağıdaki gibidir.

- Anket, mülakat, odak grup çalışması, gözlem, deney, görüşme teknikleri kullanılarak katılımcılardan veri toplanmasını gerektiren nitel ya da nicel yaklaşımlarla yürütülen her türlü araştırmalar
- İnsan ve hayvanların (materyal/veriler dahil) deneysel ya da diğer bilimsel amaçlarla kullanılması,
- İnsanlar üzerinde yapılan klinik araştırmalar,
- Hayvanlar üzerinde yapılan araştırmalar,
- Kişisel verilerin korunması kanunu gereğince retrospektif çalışmalar,

Ayrıca;

- Başkalarına ait ölçek, anket, fotoğrafların kullanımı için sahiplerinden izin alınması ve belirtilmesi,
- Kullanılan fikir ve sanat eserleri için telif hakları düzenlemelerine uyulduğunun belirtilmesi

### **Telif Hakkı Devir Sözleşmesi**

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi FMBD'ne gönderilen tüm makalelerde yer alan Yazar(lar) aşağıda içeriği belirtilen "Telif Hakkı Devir Sözleşmesi"ni imzalamaları gerekmektedir. Bu sözleşme metni makale gönderme sayfasında indirilerek tüm Yazar(lar) tarafından imzalandıktan sonra PDF formatında taranmalı ve sisteme yüklenmelidir.

1. Her türlü yayın haklarının Aydın Adnan Menderes Üniversitesi FMBD'ne ait olduğunu,
2. Derginin belirttiği yazım ve yayın kurallarına uygun olduğunu,
3. Makalenin orijinal ve daha önce yurtiçinde veya yurtdışında Türkçe veya yabancı bir dilde yayınlanmadığını veya yayınlanmak üzere değerlendirme aşamasında olmadığını,
4. Bilimsel ve etik sorumluluğunun tarafımıza ait olduğunu, diğer Yazar(lar)a ulaşamaması halinde; tüm Yazar(lar)ın çalışmadan haberdar olduklarını ve diğer Yazar(lar)ın sorumluluklarını, makalenin birinci yazarı olarak üzerime aldığımı kabul ve beyan ederim.

## Derleme

- Proteinlerin Karbonhidrat ve Polifenollerle Konjugasyonu  
Bengisu ARSLAN, Ahmet GÖRGÜÇ, Fatih Mehmet YILMAZ.....50

## Araştırma Makalesi

- Katlama Süresi ve Gibberellik Asit (GA<sub>3</sub>) Uygulamalarının Bazı Üzüm Çeşitlerinde  
Çekirdek Çimlenme Yetenekleri Üzerine Etkileri  
Fatih ILGAZ, Mustafa ÇELİK .....62

## Araştırma Makalesi

- Üç Boyutlu Öklid Uzayında Çarpanlara Ayrılabilir Yüzeyin Bazı Karakterizasyonları  
Hakan AYDIN, Günay ÖZTÜRK.....70

## Araştırma Makalesi

- EPDM Kauçuğun Mekanik ve Yanma Özelliklerine Alüminyum Trihidroksitin  
Etkisinin İncelenmesi  
Melisa IŞIN, İlker KÖPRÜ, Salih Hakan YETGİN.....77

## Araştırma Makalesi

- Periyodik Sınır Koşullu Lineer Olmayan Hiperbolik Problemin Yakınsaklık Analizi  
Akbal YERNAZAR, İrem BAĞLAN.....84



## Proteinlerin Karbonhidrat ve Polifenollerle Konjugasyonu

Bengisu ARSLAN<sup>1</sup> , Ahmet GÖRGÜÇ<sup>2</sup> , Fatih Mehmet YILMAZ<sup>2,\*</sup> 

<sup>1</sup> Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Aydın, Türkiye

<sup>2</sup> Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Aydın, Türkiye

### M A K A L E B İ L G İ S İ

Makale Gönderim 16/10/2024  
Revizyon 02/11/2024  
Kabul 05/11/2024

#### Anahtar Sözcükler:

Protein modifikasyonu  
Emülsifikasyon  
Stabilite  
Fonksiyonel özellikler

### Ö Z E T

Proteinler, sahip oldukları birçok fonksiyonel özellik sayesinde gıda endüstrisinde geniş bir yelpazede yer almaktadır. Proteinler ve izolatları birçok farklı kaynaktan elde edilebilmektedir; ancak artan nüfusla birlikte kaynaklar azalmakta ve bu nedenle yeni protein kaynakları araştırılmaktadır. Bitkisel proteinler, zengin besleyici içerikleri, düşük maliyetleri ve kolay ulaşılabilir olmaları nedeniyle iyi bir alternatif oluşturmaktadır. Bazı durumlarda proteinlerin fonksiyonel özelliklerinin zayıf olması, onların kullanımlarını kısıtlamaktadır. Bu nedenle araştırmalar karbonhidratlar ve polifenoller gibi çeşitli molekül ve bileşiklerin proteinlerle etkileşimlerini incelemeye odaklanmıştır. Çeşitli yöntemlerle gerçekleştirilen bu modifikasyonlar sayesinde proteinlerin fonksiyonel özelliklerinin iyileştirilebileceği tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalarda Maillard konjugasyon yöntemleri olarak kuru ve ıslak ısıtma, ultrases, vurgulu elektrik alan, mikrodalga, yüksek basınç; protein-polifenol konjugasyon yöntemleri olarak ise alkali muamelesi yöntemi, enzim katalizli aşılama, serbest radikal aşılama, kimyasal bağlama yöntemleri açıklanmıştır. Bu çalışmanın amacı, proteinlerin karbonhidrat ve polifenollerle konjugasyon yöntemlerini derlemek; ayrıca bu işlemler sonucunda fonksiyonel özelliklerin nasıl etkilendiğini literatür verileri ışığında değerlendirmektir.

## 1. GİRİŞ

Proteinler, birçok aminoasitin peptid bağı ile birbirine bağlanması sonucu oluşan, insan vücudunda yapım ve onarım görevini üstlenen, gıda endüstrisinde geniş uygulama yelpazesine sahip olan makromoleküllerdir. Proteinler; çözünürlük, emülsifiye etme, köpürme, jelleşme gibi belli başlı fonksiyonel özellikleri ile çalışmalara konu olmuştur (Rashid, 2022).

Proteinlerin iyi birer fonksiyonel özellik gösterebilmeleri için her şeyden önce çözünürlük kabiliyetlerinin yüksek olması beklenmektedir (Guan vd., 2021). Proteinlerin amfifilik (hem hidrofilik hem hidrofobik özellikler taşıyan) özellik göstermeleri onların iyi bir emülgatör olmalarını sağlamaktadır

(Djuardi vd., 2020). Köpükler, proteinlerin ara yüzey gerilimini azaltarak havayı hapsedmesi sonucu oluşan yapılardır. Endüstride proteinlerin bu özelliğinden de sıklıkla yararlanılmaktadır (Vinayashree ve Vasu, 2021).

Yapılan çalışmalar, proteinlerin sahip olduğu bu fonksiyonel özelliklerinin karbonhidratlar ve polifenollerle konjugasyonu sonucu iyileştirilebildiğini göstermiştir. Karbonhidratlar ile gerçekleştirilen konjugasyon Maillard konjugasyonu olarak da isimlendirilmektedir (Liu vd., 2023).

Maillard reaksiyonu proteinlerin serbest amino grupları ile indirgen şekerler arasında gerçekleşen enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları olarak tanımlanmaktadır (Yıldız vd., 2010). Maillard

reaksiyonu kimyasal bileşikler eklenmeden gıdanın tat, görünüm, stabilite gibi özelliklerine olumlu veya olumsuz etkiler yapabilen bir reaksiyondur. (Liu vd., 2023). Maillard reaksiyonu istenmeyen bir durum gibi algılansa da bazı durumlarda özellikle uygulanmaktadır (Han vd., 2022). Protein-karbonhidrat konjugasyonu bir diğer ifadeyle Maillard konjugasyonu (glikasyonu) proteinlerin fonksiyonel özelliklerini iyileştirmekle beraber gıda endüstrisinde antioksidanlar, antimikrobiyaller ve jelleştirici maddeler olarak da kullanılmalarını sağlamaktadır (Nooshkam vd., 2020).

Maillard konjugasyonu geleneksel metotlara göre (kuru ısıtma, ıslak ısıtma) ve bunlara alternatif yeni metotlara (mikrodalga, vurgulu elektrik alan, ultrases, yüksek basınç) göre uygulanabilmektedir. Kuru ısıtma yöntemi, protein ve karbonhidratın pH değeri ayarlanmış sulu çözeltide karıştırılması ve dondurularak kurutulması sonrasında toz haline gelmesi prensibine dayanmaktadır (Kan vd., 2021). Islak ısıtma, kuru ısıtmaya alternatiftir. Kuru ısıtmadaki dondurarak kurutma aşaması burada yoktur ve bu sayede süreden tasarruf edilebilmektedir. Protein ve karbonhidratların pH değeri ayarlanmış sulu çözeltide karıştırılması ve kontrollü sıcaklıklarda konjugatın oluşturulması prensibine dayanmaktadır (Doost vd., 2019).

Fenolik bileşikler aromatik halkaya bir ya da daha fazla hidroksil grubunun bağlanmasıyla oluşan aromatik bileşikler olarak tanımlanmaktadır. Kendi içlerinde altı gruba ayrılırlar: Fenolik asitler, flavonoidler, tanenler, stilbenler, lignanlar ve kumarinler. Fenolik-protein konjugasyonu sonucunda fonksiyonel özelliklerin iyileştirilebileceği tespit edilmiştir (Guan vd., 2021).

Protein-polifenol konjugasyonunda kullanılan yöntemler; alkali muamele yöntemi, serbest radikal aşılama yöntemi, enzim katalizli aşılama ve kimyasal bağlama yöntemi olacak şekilde literatürde belirtilmiştir (Chen vd., 2022).

Alkali muamele yöntemi, fenoliklerin oksidasyonu prensibine dayanmaktadır. Fenolikler ve proteinler alkali çözeltilerde konjuge edilmektedirler. Serbest radikal aşılama yönteminde konjugasyon, serbest radikallerin kullanılmasıyla gerçekleşmektedir. Aşılama kaynağı olarak askorbik asit ve hidrojen peroksit kullanılmaktadır. Yöntem basit ve ekonomiktir. Enzim katalizli aşılama ve kimyasal bağlama yöntemleri ise serbest radikal aşılama ve alkali muamelesi yöntemine kıyasla çalışmalarda daha az yer almaktadır (Liu vd., 2019).

Proteinlerin karbonhidratlar ve polifenollerle ayrı ayrı konjuge edilebileceği gibi protein-

karbonhidrat-polifenol üçlü konjugatlar da oluşturulabilmektedir. Bu tarz üçlü etkileşimlerle polifenoller Maillard konjugasyonuna kovalent olarak bağlanabileceği gibi karbonhidratlar da protein-polifenol konjugasyonuna kovalent olarak bağlanabilmektedir (Liu vd., 2023). Bu derleme makale kapsamında bitkisel proteinlerin karbonhidratlarla, polifenollerle ve hem karbonhidrat hem polifenollerle konjugasyonunu ele alan çalışmalar özetlenmiştir.

## 2. KONJUGASYON

### 2.1. Maillard Konjugasyonu

Maillard reaksiyonu proteinlerin amino grupları ile karbonhidratların indirgeyici şeker grupları arasında gerçekleşmektedir. Protein ve karbonhidratların konjugasyonuna Maillard konjugasyonu da denilebilmektedir (Liu vd., 2023). Maillard konjugasyonu proteinler için kullanılan modifikasyon yöntemlerinden biridir (Kan vd., 2021).

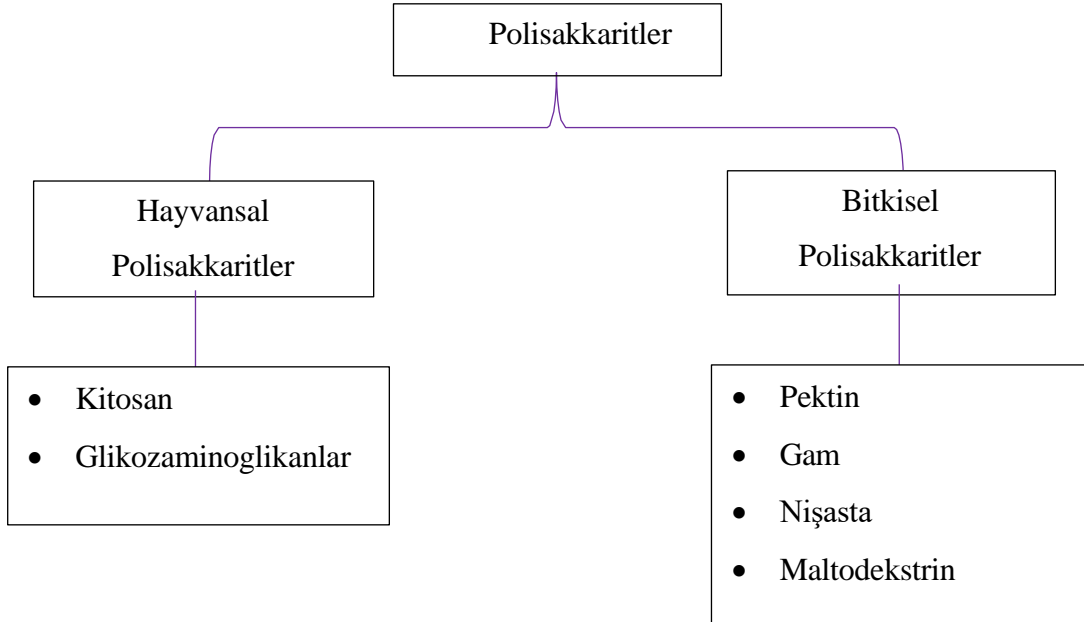
Maillard reaksiyonu gıdalarda lezzet ve renk bileşenlerine olumlu katkı yaptığı için çoğunlukla istenmektedir; ancak reaksiyon sırasında istenmeyen, sağlığa zararlı bazı kansorejen ürünler (ör: akrilamid) de oluşabilmektedir (Han vd., 2022).

Maillard reaksiyonları erken, orta ve ileri aşamalar olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır (Doost vd., 2019).

Polisakkaritler birbirine glikozidik bağlarla bağlanmış doğal polimerlerdir. Tıpkı proteinler gibi hayvansal ve bitkiseldirler. Konjugasyon işleminde kullanılan bazı hayvansal ve bitkisel polisakkaritler Şekil 1'de sunulmuştur. Molekül özellikleri, monosakkaritlerin sayısına, dizilimine, tipine bağlılık göstermektedir (Liu vd., 2023). Bitkisel polisakkaritler, en çok bulunan polisakkarit kaynaklarıdır. Dekstran, pektin, Arap zamkı Maillard konjugasyonlarında sıklıkla kullanılan homopolisakkaritlerdendir. (Kan vd., 2021).

Polisakkarit türleri ve polisakkarit zincir uzunluğu Maillard konjugatlarının fonksiyonel özelliklerini etkiler. Örneğin, daha büyük molekül ağırlığına sahip polisakkaritler konjugat verimliliği açısından daha iyidir ve konjugatların emülsifiye edici özelliklerinin geliştirilmesini sağlar. Diğer taraftan daha uzun zincirli polisakkaritler, Maillard reaksiyonunun ileri aşamasını önler ve ayrıca emülsifiye edici özelliklerini artırır (Kan vd., 2021).

Maillard konjugasyonunda kuru ısıtma ve ıslak ısıtma olmak üzere sıklıkla kullanılan iki yöntem mevcuttur. Maillard konjugasyonu ek bir kimyasal gerektirmez; ancak yapısı oldukça karmaşıktır (Liu vd., 2023).



Şekil 1. Konjugasyon işleminde kullanılan bazı hayvansal ve bitkisel polisakkaritler (Kan vd., 2021)

Proteinlerin sahip olduğu fonksiyonel özelliklerin, karbonhidratlarla etkileşimi sonrası iyileştirilebileceği söylenebilmektedir.

## 2.2. Maillard Konjugasyon Yöntemleri

Maillard konjugatları geleneksel ve yenilikçi yöntemlerle üretilmektedir. Geleneksel yöntemler kuru ısıtma ve ıslak ısıtma olacak şekilde sınıflandırılabilir. Bunlara alternatif yenilikçi yöntemler olarak ise ultrases, vurgulu elektrik alan, mikrodalga ve yüksek basınç örnek gösterilebilir. Maillard konjugasyonunun fonksiyonel özellikler üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmaların özeti Çizelge 1’de sunulmuştur.

Geleneksel yöntemlerin neden olduğu bazı dezavantajlar (süre, protein denatürasyonları, yüksek maliyet vs.) Maillard konjugasyonlarının yenilikçi yöntemler ile uygulanmasına yol açmıştır.

### Kuru ısıtma

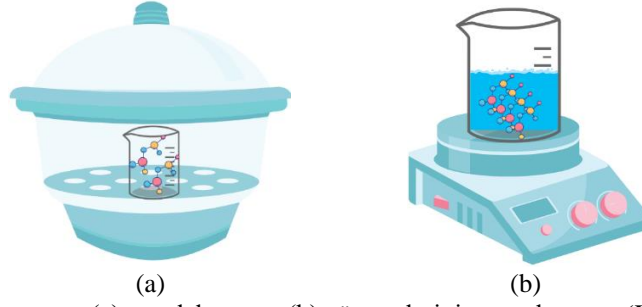
Kuru ısıtma yöntemi geleneksel bir yöntemdir ve konjugat hazırlamada sıklıkla kullanılmaktadır (Doost vd., 2019). Protein ve karbonhidrat, pH değeri ayarlanmış sulu çözelti içerisinde karıştırılır ve dondurularak kurutulduktan sonra (liyofilizasyon), protein-polisakkarit tozu üretilir. Maillard reaksiyonunu gerçekleştirmek için karışık tozun kontrollü sıcaklıkta ve belirli bir bağıl nemde birkaç gün inkübe edilmesi sonucu konjugatlar elde edilir. Konjugasyon, kapalı bir desikatörde gerçekleştirildiği için bağıl nem, reaksiyon sıcaklığı ve süresi kontrol edilebilir (Kan vd., 2021; Zhang vd., 2023). Birkaç gün boyunca belli bir nem ve sıcaklık altında bekletilir.

Sıcaklık, bağıl nem ve inkübasyon süresi

konjugasyonu etkileyen faktörlerdendir. Sıcaklığın artmasıyla konjugat oluşumunda artış görülebilmektedir. Bağıl nemdeki artış ise bazı durumlarda konjugat oluşumunu pozitif yönde etkileyebilir. Maksimum konjugasyona ulaşmak için 40 - 80 °C sıcaklık ve %60 - 85 bağıl nem aralığı uygun görülmektedir (Doost vd., 2019).

Kuru ısıtmanın dezavantajı olarak liyofilizasyon aşaması, uzun süre ve yüksek maliyet gösterilmektedir. Chen vd. (2019) peynir altı suyu protein izolatu ve akasya sakızının kuru ısıtma yöntemi ile konjugasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada peynir altı suyu protein izolatu-Arap zamkı konjugatlarının fonksiyonel özellikleri ve sürenin (1, 3, 5 ve 7 gün) fonksiyonel özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Peynir altı suyu protein izolatının Arap zamkı ile konjuge edilmesi sonucunda çözünürlükte ve emülsifiye edici özellikler üzerinde olumlu etkiler gözlemlenmiştir. Ayrıca Arap zamkının peynir altı suyu protein izolatına kovalent bağlanması fonksiyonel özelliklerin daha iyi geliştirilebileceğini göstermiştir. Uzun reaksiyon süresi (1 günden fazla olan) yüksek derecede esmerleşmeye neden olmakla beraber konjugatın işlevselliğini azaltmıştır. Buradan uygun reaksiyon süresinin her zaman en uzun reaksiyon süresine karşılık gelmeyeceği anlaşılmaktadır.

Zha vd. (2019) bezelye protein izolatu ve Arap zamkı konjugatlarını kuru ısıtma metodu (60 °C’de %79 bağıl nem) ile gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada inkübasyon süresinin (0, 1, 3, 5 gün) reaksiyona olan etkisi incelenmiştir. Çözünürlükteki azalışın sebebi ısı işleminden kaynaklanan protein denatürasyonu olmuştur. Arap zamkı ile konjugasyondan sonra bezelye protein izolatının çözünürlüğü 1 gün süreyle konjuge edildikten sonra artış göstermiştir. Bezelye protein izolatu-Arap zamkı karışımının çözünürlüğü saf bezelye protein izolatu ile



Şekil 2. Kuru ısıtma (a) ve ıslak ısıtma (b) yöntemlerinin uygulanması (Kan vd., 2021)

ile eş değer bulunmuştur. İnkübasyon süresinin artması çözünürlüğün azalmasına neden olmuştur. Ayrıca 1 günlük inkübasyon süresinin ardından son aşamadaki Maillard reaksiyon ürünlerinin üretimi de sınırlandırılmıştır. Bezelye protein izolatu-Arap zankı konjugatları ile stabilize edilen yağ emülsiyonlarının daha fazla stabiliteye sahip olduğu tespit edilmiştir. Bezelye protein izolatu - Arap zankı konjugatlarının emülsiyon oksidasyonlarını önleyebileceği de düşünülmüştür. Bu durum ürünlerin besin değerini muhafaza etme konusunda potansiyel bir strateji sunmaktadır.

Ma vd. (2020), soya protein izolatu ile narenciye pektini ve elma pektini konjugasyonunda kontrollü ısıtma kullanmışlar; Maillard reaksiyonu sonrası protein ve pektin etkileşiminin güçlenmesiyle yüzey hidrofobikliğinde azalma, çözünürlük ve emülsifiye edici özelliklerde önemli artışlar gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, daha işlevsel bileşenler elde etmek için soya protein izolatu ve elma pektini modifikasyonunun önemini vurgular niteliktedir.

Kan vd. (2023), peynir altı suyu protein izolatu ile Arap zankının kuru ısıtma yöntemi kullanılarak konjugasyonu sonucunda yeni bir emülgatör geliştirmişlerdir. Ayrıca, bu emülgatörün insan bağırsak mikrobiyotası üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda Maillard reaksiyonu ile elde edilen emülgatörün emülsifiye edici özelliklerinde belirgin bir artış gözlemlenmiş ve emülgatörün sindirim sağlığını olumlu etkilediği tespit edilmiştir. Bu çalışma, Maillard konjugasyonlarının yalnızca gıda ürünlerinin kalitesini iyileştirmekle kalmayıp aynı zamanda insan sağlığı üzerinde de önemli etkiler yaratabileceğini kanıtlamaktadır.

### Islak ısıtma

Islak ısıtma, esasında kuru ısıtmaya alternatif olarak geliştirilmiş bir yöntemdir. Kuru ısıtmadan sonra gelen dondurarak kurutma adımını atlamayı ve süreyi biraz daha azaltmayı hedef almaktadır. Ancak protein denatürasyonuna yol açma ve daha maliyetli olması gibi bazı dezavantajları vardır (Doost vd., 2019).

Islak ısıtma sulu ortamda yapılan proteinler ile polisakkaritler arasındaki etkileşimi maksimum seviyeye çıkaran bir yöntemdir. Proteinler ile polisakkaritler, pH değeri ayarlanmış sulu çözelti içerisinde belirli oranda karıştırılır ve kontrollü sıcaklık altında konjugatların oluşumu sağlanır. Protein ve polisakkaritler liyofilizasyon olmadan doğrudan reaksiyona girmektedirler. Bu yöntem, proteinin yüksek sıcaklıktaki sulu çözeltide denatürasyonunun, konjugasyonun oluşmasını sınırlayabileceği gibi sıvı ürünlerin depolanması ve taşınması da zor olabilmektedir. Islak ısıtma yöntemi de tıpkı kuru ısıtma yöntemi gibi sıcaklık, inkübasyon süresi, polisakkarit ve proteinlerin özellikleri ve sulu çözeltinin pH değerinden etkilenebilmektedir. Kuru ısıtma ve ıslak ısıtma yöntemlerinin laboratuvar koşullarında ne şekilde uygulandığı Şekil 2’de sunulmuştur. (Kan vd., 2021).

Zhang vd. (2023) sarmal yosun protein konsantresi ve maltodekstrin konjugasyonunda ıslak ısıtma yöntemi kullanmıştır. Sarmal yosun protein konsantresi - maltodekstrin karışımı 60 °C’de sulu çözeltide 6 saat kadar ısıtılmıştır. Maltodekstrinin sarmal yosun protein konsantresi molekülüne kovalent bağlanması, proteinin çözünürlüğünü önemli ölçüde artırmıştır. Çalışma, sarmal yosun protein konsantresi ve maltodekstrin modifikasyonunun besin değeri ve fonksiyonellik bağlamında önemli bir potansiyel sunabileceğini göstermektedir.

Zhang vd. (2022) bezelye protein izolatu ve maltodekstrin konjugatlarını 90 °C’de ıslak ısıtma metodu ile hazırlamışlardır. Reaksiyon süreleri ile reaksiyon verimliliğini incelemişlerdir. En yüksek çözünürlüğe reaksiyonun beşinci saatinde rastlanılmıştır. Bu çalışmada bezelye protein izolatu ile maltodekstrin konjugasyonunda süre optimize edilmiştir. Konjugatın emülsifiye edici özellikleri de iyileştirdiği tespit edilmiştir.

### 2.3. Maillard Konjugasyonunda Kullanılan Yenilikçi Yöntemler

Yeni yöntemlerin ortaya çıkarılmasının nedenleri arasında geleneksel yöntemlerin daha uzun ve maliyetli

**Çizelge 1.** Maillard konjugasyonu sonucu fonksiyonel özelliklerin nasıl etkilendiği hakkında yapılan çalışmalar

Protein Kaynağı	Konjugasyon Ajanı	Konjugasyon Yöntemi	Kritik Sonuç	Referans
Peynir altı suyu protein izolatu (Hazır temin edilmiştir.)	Akasya sakızı	Kuru ısıtma	Çözünürlük artmıştır. Isı kaynaklı çözünmezliğe karşı stabilite artmıştır. Emülsifiye edici özellikler artmıştır.	Chen vd. (2019)
Bezelye protein izolatu (Hazır temin edilmiştir.)	Maltodekstrin	Islak ısıtma	Çözünürlük artmıştır. Emülsifiye edici özellikler artmıştır.	Zhang vd. (2022)
Sarmal yosun protein konsantresi (Alkali özütleme + Asit çöktürme)	Maltodekstrin	Islak ısıtma	Çözünürlük artmıştır. Yüzey hidrofobiklik azalmıştır. Emülsiyon stabilitesi artmıştır.	Zhang vd. (2023)
Yumurta beyazı proteini (Hazır temin edilmiştir.)	Maltodekstrin	Mikroalga destekli	Çözünürlük artmıştır. Köpüklenme özelliği artmıştır.	Sun vd. (2020)
Bezelye protein izolatu (Hazır satın alınmıştır.)	Arap zamkı	Kuru ısıtma	Çözünürlük artmıştır	Zha vd. (2019)
Sığır serum albumin (Hazır satın alınmıştır.)	Çözünür patates nişastası	Vurgulu elektrik alan	Çözünürlük artmıştır. Emülsifiye edici özellikler artmıştır.	Taha vd. (2022)
Peynir altı suyu protein izolatu (Hazır temin edilmiştir.)	Sakız akasyası	Ultrases işlemi	Çözünürlük artmıştır. Termal stabilite artmıştır. Emülsifiye edici aktivite ve emülsifiye edici stabilite artmıştır.	Chen vd. (2019)
Maş fasulyesi protein izolatu	Elma pektini Turunçgil pektini Dekstran Akasya zamkı	Kuru ısıtma Ultrases işlemi	Çözünürlük artmıştır. Emülsifiye edici özellikler geliştirilmiştir.	Aksoy ve Ersus (2023)
Soya protein izolatu	Narenciye pektini Elma pektini	Kuru ısıtma	Çözünürlük artmıştır. Emülsifiye edici özellikler artmıştır. Yüzey hidrofobiklik azalmıştır.	Ma vd. (2020)
Peynir altı suyu protein izolatu	Arap zamkı	Kuru ısıtma	Emülsifiye edici özellikler artmıştır.	Kan vd. (2023)
Maş fasulyesi protein izolatu	Maltodekstrin	Ultrases işlemi Islak ısıtma Kuru ısıtma	Emülsifikasyon ve çözünürlük özellikleri iyileşmiştir.	Aziznia vd. (2024)

olması yer almaktadır. Liyofilizasyon kuru ısıtma yönteminde düşük reaksiyon verimine neden olmaktadır. Bununla birlikte ısıtma işlemlerinin kullanılmasıyla akrilamid ve 4-metilimidazol gibi toksik bileşiklerin oluşma ihtimali yeni yöntemlere yönelimi artırmıştır. Isıtma işlemi olmadan kullanılan yeni yaklaşımlar arasında vurgulu elektrik alan, ultrases işlemi, ışınlama ve yüksek basınç yöntemleri bulunmaktadır (Doost vd., 2019).

### Ultrases İşlemi

Ultrases işleminde çok yüksek frekanslardaki ses dalgaları ile yüksek enerjili akustik kaviteasyon oluşur ve bu da Maillard reaksiyonundaki kimyasal reaksiyonların başlamasını tetikler (Doost vd., 2019). Yüksek enerjili ultrasesin oluşturduğu kaviteasyon, gıdaların özelliklerini değiştirebilir. Bu yöntemde ultrases dalgaları sıvı ortamdan geçerken sıkıştırma ve genleşme döngüleri oluşturur. Bu döngüler arasında basınç değişimi ve kaviteasyon enerjisi neden olur. Oluşan enerji Maillard reaksiyonunun

oluşmasını tetikler (Kan vd., 2021). Bu yöntemle elde edilen konjugatlarda daha iyi çözünürlük, termal stabilite ve emülsifiye etme özelliği görülmüştür (Doost vd., 2019). Ultrases işlemi Maillard konjugasyonunda fonksiyonel özelliklerin iyileştirilmesini sağlarken yüksek ultrases gücü akrilamid ve hidroksimetil furfuralın oluşmasına da yol açabilir (Kan vd., 2021).

Chen vd. (2019) peynir altı suyu protein izolatu ve sakız akasyası konjugasyonunda ultrases işlemini kullanmışlardır. Bu işlem ile reaksiyon süresinin kısaldığını gözlemlemişlerdir. Ultrases işleminin sağladığı etkili karıştırma ve enerji/kütle transferi, sürenin kısaltılmasında rol oynamaktadır. İşlem sıcaklığının 60-90 °C aralığını geçmesi durumunda ciddi boyutta esmerleşmelerin olabileceği tespit edilmiştir. Konjugatların emülsifiye edici aktivite ve stabiliteleri ultrases işlemiyle birlikte daha da iyileştirilmiştir ve hazırlanan konjugatların daha fazla polisakkaritle glikolize edilmesi ile açıklanmıştır.



Çözünürlüğün gelişmesi emülsifiye etme özelliklerinin de gelişmesine yol açmıştır.

Aksoy ve Ersus (2023), maş fasulyesi protein izolatu ile elma pektini, turuncgil pektini, dekstran ve akasya zankı konjugasyonunda geleneksel kontrollü ısıtma ve ultrases işlemini kullanmışlardır. Çalışma, her iki yöntemde çözünürlük ve emülsifiye edici özellikleri önemli ölçüde iyileştirdiğini göstermiştir. Elde edilen sonuçlar, kuru ısıtmanın etkisinin ultrases işleme göre belirgin şekilde daha düşük olduğunu ortaya koymuştur. Bu durumda, çalışmanın klasik yöntemlerin yerini alternatif yöntemlere bırakmasını destekleyen bulgular sunduğu söylenebilir. Çalışma, ultrases işleminin gıda bileşenlerine etkisinin klasik yöntemlere göre daha pratik olduğunu ve uygulamada daha geniş bir alan bulabileceğini göstermektedir.

Aziznia vd. (2024) maş fasulyesi protein izolatu ile maltodekstrin konjugatlarını, ultrases işlemi, klasik ıslak ısıtma ve kuru ısıtma gibi farklı Maillard reaksiyonu yöntemleri aracılığıyla hazırlamışlardır. Elde edilen sonuçlar, protein izolatının emülsifikasyon ve çözünürlük indekslerinde belirgin bir artış meydana geldiğini göstermektedir. Ayrıca ultrases işleminin Maillard reaksiyonunun işlevsel özellikler üzerindeki etkisinin daha belirgin olduğu saptanmıştır. Aynı şekilde bu çalışma da ultrases işleminin geleneksel yöntemle kıyasla ürün kalitesini daha iyi etkilediğini destekler niteliktedir. Tüm bunlar göstermektedir ki daha stabil ve homojen emülsiyonların oluşturulması alternatif metotlarda daha mümkün olacaktır.

### Vurgulu elektrik alan

Vurgulu elektrik alan, ısı ve kimyasal herhangi bir işlem gerektirmeyen süreden kazandıran yenilikçi yöntemlerden biridir. Mikrobiyal gelişmeyi azaltma gibi başlıca hedefleri vardır. Temel olarak vurgulu elektrik alan sisteminde puls üretici, numune odası, elektrotlar ve veri toplama kısmı yer almaktadır (Doost vd., 2019). Vurgulu elektrik alan, yüksek elektrik alanlarının kısa darbelerinin kısa süreliğine kullanılması prensibine dayanmaktadır. Bu enerji, proteinin yüzey hidrofobikliğinde değişikliğe yol açmaktadır (Dumitraşcu vd., 2023).

Taha vd. (2022) sığır serum albumin ile patates nişastasının konjugasyonunu vurgulu elektrik alan (3.5-5.7 kV/cm, darbe süresi = 50 µs, darbe sayısı = 10) ile gerçekleştirmişlerdir. Vurgulu elektrik alan yöntemi ile konjugasyonun daha çok kolaylaştığı, protein çözünürlüğünün ve emülsiyon stabiliteilerinin arttığı tespit edilmiştir.

### Mikrodalga

Mikrodalga, gıdaların işlenmesinde iyonlaştırıcı enerjinin kullanıldığı bir yöntemdir. Mikrodalga ısıtması, protein-karbonhidrat konjugatlarının hazırlanmasında alternatif olarak kullanılabilir (Doost vd., 2019).

Mikrodalga ısıtmayla protein moleküllerinin bazı kovalent olmayan bağları (disülfür bağları ve hidrojen bağları vs.) parçalanabilir ve bu protein yapısının açılmasını kolaylaştırabilir. Diğer taraftan mikrodalga ısıtması polisakaritlerin yeniden düzenlenmesini ve etkileşimlerinin artmasını sağlayabilir. Dolayısıyla mikrodalga destekli ısıtma ile Maillard reaksiyonu verimli bir şekilde gerçekleştirilebilir. Aynı zamanda mikrodalga kullanımı Maillard reaksiyonunu hızlandırabilmekte ve fonksiyonel özellikleri iyileştirebilmektedir (Kan vd., 2021).

Mikrodalga ile hazırlanan konjugatlarda ısıtma süresi önemlidir. Isıtma süresi arttığında konjugatlar, serbest radikalleri daha fazla engelleyerek daha yüksek antioksidan aktivite gösterebilmektedir. Maillard konjugatlarının üretiminde mikrodalga ısıtmanın ıslak ve kuru ısıtmaya kıyasla daha verimli sonuçlar sunduğu tespit edilmiştir (Doost vd., 2019).

Sun vd. (2020) yumurta beyazı proteini ve maltodekstrin konjugatlarını geleneksel ıslak ısıtmaya alternatif olarak mikrodalga ısıtma ile gerçekleştirmişlerdir. Mikrodalga ısıtma altında yapılan reaksiyonda işlem daha kısa sürmekle beraber çözünürlük ve köpüklenme özellikleri de artmıştır. Konjugasyonun mikrodalga ısıtma ile gerçekleştirilmesi sonucu emülsifikasyon aktiviteleri de artmıştır.

### Yüksek Basınç

Gıdaların raf ömrünü uzatmak amacıyla yapılan yüksek basınç yöntemi, geleneksel yöntemlere göre daha kısa süre ve sıcaklık sağlar. Yüksek basınçlı işlem sonucunda Maillard reaksiyonları iyileştirilebilmektedir. Maillard konjugatlarının hazırlanırken yüksek basınç, yüksek sıcaklık, yüksek hidrostatik ve yüksek hidrodinamik basınç yöntemleri kullanılmaktadır (Doost vd., 2019).

### 2.4. Protein-Polifenol Konjugasyonu

Protein ve polifenoller özellikleri çok farklı iki ayrı bileşiklerdir. Bu bileşiklerin birbiri ile etkileşime girmesi sonucu fonksiyonel özelliklerin iyileştirilmesi son çalışmalarda yer alan konulardandır. Bu etkileşimler kovalent ve kovalent olmayan bağlar sayesinde gerçekleşmektedir. Kovalent konjugasyonlar kovalent

**Çizelge 2.** Protein-polifenol konjugasyonu sonucu fonksiyonel özelliklerin nasıl etkilendiği hakkında yapılan çalışmaların özeti

Protein Kaynağı	Konjugasyon Ajanı	Konjugasyon Yöntemi	Kritik Sonuç	Referans
Ceviz protein izolatu (Alkali özütleme + asit çöktürme yöntemi)	Epigallokateşin gallat Klorojenik asit Kuersetin Ellajik asit	Serbest radikal aşılama yöntemi	Antioksidan kapasite artmıştır. Yüzey hidrofobikliği azalmıştır. Bağlanma kapasiteleri: Epigallokateşin gallat > Klorojenik asit > Kuersetin > Ellajik asit	Wang vd. (2023)
Soya protein izolatu (Alkali özütleme + asit çöktürme)	Gallik asit Kafeik asit Tannik asit	Alkali muamelesi yöntemi	Emülsifiye edici özellikler artmıştır. Bağlanma kapasiteleri: Tannik asit > Kafeik asit > Gallik asit	Pi vd. (2023)
Mercimek protein izolatu (Alkali özütleme + asit çöktürme)	Kuersetin Rutin Ellajik asit	Serbest radikal aşılama yöntemi	Yüzey hidrofobiklikleri azalmıştır. Bağlanma kapasiteleri: Kuersetin > Rutin > Ellajik asit Çözünürlük azalmış ancak yağ-su yüzey gerilimi artmıştır.	Parolia vd. (2022)
Peynir altı suyu protein izolatu (Hazır temin edilmiştir.)	Epigallokateşin gallat Kuersetin Apigenin Naringenin	Serbest radikal aşılama yöntemi	Termal stabilite artmıştır. Yüzey hidrofobiklikleri azalmıştır. Bağlanma kapasiteleri: Epigallokateşin gallat > Kuersetin > Apigenin > Naringenin	Liu vd. (2021)
Soya protein izolatu	Yeşil çay fenoller Siyah çay fenoller	Alkali muamelesi yöntemi	Emülsifiye etme yeteneği ve stabilite artmıştır.	Djuardi vd. (2020)

olmayan konjugasyonlara kıyasla daha güçlü bağlanırlar ve daha kalıcıdır. Bu sebeple kovalent olmayan bağlara göre daha çok tercih edilmektedirler (Zhao vd., 2021). Ayrıca kovalent bağlar daha güçlü antioksidan aktivite, yüksek termal stabilite ve polifenol dayanımı sağlamaktadırlar (Guan vd., 2021).

Proteinler ve polifenollerin arasında gerçekleşen kovalent ya da kovalent olmayan etkileşimler, fonksiyonel özelliklerin değişiminde rol oynamaktadır. Proteinler ve polifenoller arasında gerçekleşen kovalent olmayan etkileşimler geri dönüşümlüdür; hidrojen bağı, Van der Waals kuvvetleri ve hidrofobik etkileşimler, iyon eşleşmesi yollarıyla meydana gelmektedirler. Kovalent olan etkileşimde ise geri dönüşüm yoktur ve sıklıkla kullanılan bir etkileşimdir (Yan vd., 2021).

Protein ve polifenollerin konjugasyonu sonucu antioksidan aktivite, çözünürlük, köpük oluşturma, jelleşme, yüzey hidrofobikliği gibi özelliklerde iyileşme görülmektedir (Guan vd., 2021). Protein-polifenol konjugasyonunun fonksiyonel özellikler üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmaların özeti Çizelge 2’de sunulmuştur.

### Alkali muamelesi yöntemi

Bu konjugasyon yönteminde polifenoller ve proteinler alkali çözeltilerde işlenerek konjuge edilirler. Yöntem, fenolik bileşiklerin oksidasyonuna dayanır ve hem etkili hem de basittir. Reaksiyon çözeltilisinin pH değeri sodyum hidroksit çözeltisi kullanılarak 9,0’a ayarlanır (J. Liu vd., 2019). Polifenoller oksijen ile kinona oksitlenir. Yani ortaya radikal ara ürünler çıkar ardından bu ara ürünler

nükleofillerle (proteinlerin NH- ve SH- grupları) reaksiyona girer (Benjakul vd., 2021). Bu durumda proteinler ve fenolik bileşikler arasında kovalent çapraz bağlantılar oluşmuş demektir (Zhang vd., 2021).

Pi vd. (2023) soya protein izolatının gallik asit, kafeik asit ve tannik asit ile konjugasyonunu alkali muamelesi yöntemi ile gerçekleştirmişlerdir. İşlem sonucunda konjugatların antioksidan özelliklerinin ve emülsifiye edici özelliklerinin arttığı tespit edilmiştir. Bununla beraber, soya fasulyesinin polifenollerle olan konjugasyonu sonucu (özellikle tannik asit ile yapılan konjugatlar) alerjenik aktivitesinin azaltılabileceği rapor edilmiştir.

Parolia vd. (2022) mercimek protein izolatu ve kuersetin, rutin, ellajik asit polifenollerini alkali muamelesi yöntemi ile konjugasyona tabi tutmuşlardır. Polifenollerin mercimek protein izolatu ile bağlanma kapasiteleri sırasıyla kuersetin > ellajik asit > rutin olacak şekilde belirtilmiştir. Konjugatların yüzey hidrofobikliklerinde azalma meydana gelmiştir.

Djuardi vd. (2020) yeşil çay ve siyah çay polifenollerinin konjugasyonunu soya protein izolatu ile alkali yöntemde gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda proteinin moleküler boyutu artmış ve polifenol konsantrasyonunun artması sonucu protein hidrofobikliği azalmıştır. Siyah çayın hidrofobik azaltıcı etkisi ve antioksidan aktivitesi yeşil çayınkinden fazla bulunmuştur. Bununla beraber yeşil çay polifenolu ile yapılan konjugatlar daha küçük emülsiyon damlacık boyutu göstermeleri sebebi ile daha iyi emülsifiye etme özelliği göstermiştir.

## Enzim katalizli aşılama

Tirozinaz gibi elektro polifenol oksidazlar fenolik bileşikler kinonlara katalize edebilir. Bu reaksiyon genelde 6,0 ila 7,5 pH değerleri arasında gerçekleşmektedir. Bu kinonlar proteinler ile reaksiyona girerek protein-polifenol konjugatlarını oluşturabilirler. Enzim katalizli aşılama yöntemi alkali yöntemle muameleye oldukça benzerdir; çünkü fenolik bileşikler ve proteinler arasında oluşan kovalent bağlar Schiff bazları (C=N) ve Michael tipi katkı maddeleridir (C-NH). Enzim katalizli aşılama yöntemi serbest radikal aşılama ve alkali yöntemi ile muamele yönteminden daha az tercih edilmektedir (Liu vd., 2019).

## Serbest radikal aşılama yöntemi

Bu yöntem serbest radikallerin kullanılmasıyla gerçekleşir. Serbest radikaller ile proteinler ve polifenoller arasındaki reaksiyon, iki bileşenin konjugasyonu ile sonuçlanan kovalent bağların oluşumuna yol açar. Serbest radikal aşılama yönteminin mekanizması, aşılama kimyasallarının redoks reaksiyonuna dayanır (Benjakul vd., 2021). Genel olarak aşılama kaynağı olarak askorbik asit ve hidrojen peroksit kullanılmaktadır. Askorbik radikalleri de askorbik asit ve hidrojen peroksit redoks çifti arasındaki reaksiyon sonucu 6,0 pH ortamında üretilir (Liu vd., 2019).

Serbest radikal aşılama yöntemi oldukça basit ve etkilidir. Oda sıcaklığında kolayca uygulanabilir, düşük toksisiteye sahiptir ve ekonomiktir (Benjakul vd., 2021).

Wang vd. (2023) ceviz protein izolatının, epigallokateşin gallat, klorojenik asit, kateşin ve ellajik asit polifenollerini ile konjugasyonunda serbest radikal aşılama yöntemini kullanmışlardır. Bu polifenoller ile ceviz protein izolatı arasında kovalent bir etkileşim gerçekleşmiştir. Çalışmada polifenollerin bağlanma kapasiteleri, antioksidan özellikleri ve yüzey hidrofobiklikleri belirlenmiştir. Daha iyi fonksiyonel özellik göstermeleri açısından karşılaştırma sırasıyla: epigallokateşin gallat > klorojenik asit > kateşin > ellajik asit şeklindedir. Bu durumun moleküler ağırlık, fenolik hidroksil miktarı ve serbest radikal bağlanma bölgelerindeki bireysel farklılıklarla açıklanabileceği düşünülmüştür. Aynı zamanda ceviz protein izolatı ve polifenoller arasında gerçekleşen kovalent etkileşim, antioksidan aktiviteyi yüksek ölçüde iyileştirmiştir. Konjugatların yüzey hidrofobiklikleri ise önemli ölçüde azalmıştır.

Liu vd. (2021) peynir altı suyu izolatı ile epigallokateşin gallat, kuersetin, apigenin ve naringenin polifenollerini arasında serbest radikal aşılama yöntemi ile konjugasyon işlemi

gerçekleştirmişlerdir. Bu yöntemle birlikte polifenollerin termal stabiliteilerinin önemli ölçüde arttığını ve yüzey hidrofobikliklerinin ise azaldığını tespit etmişlerdir. Polifenollerin bağlanma kapasiteleri sırayla epigallokateşin gallat > kuersetin > apigenin > naringenin olarak belirlenmiştir. Fenolik bileşenlerin içerdikleri hidroksil gruplarının miktarı onların antioksidan aktivitelerini de artırmaktadır. Epigallokateşin gallat ilgili polifenoller arasında en çok hidroksil gruba sahip olduğu için daha fazla antioksidan aktivite özelliği göstermiştir.

## Kimyasal bağlama yöntemi

Fenolik bileşikler, çeşitli kimyasal reaktifler yoluyla proteinlerle konjuge edilebilmektedirler. Örneğin glutaraldehit proteinlerin nükleofilik yan zincirleriyle reaksiyona girip konjugat oluşumunu sağlayabilmektedir (Liu vd., 2019).

## 2.5. Protein-Polifenol-Polisakkarit Konjugasyonları

Protein, polifenol ve polisakkaritlerin üçlü etkileşimlerinde farklı metotlar söz konusu olabilmektedir. Örneğin, bu üçlü etkileşim öncelikle protein-karbonhidrat etkileşiminin bir diğer adıyla Maillard konjugasyonunun gerçekleştirilip daha sonra polifenollerin kovalent olarak bağlanmasıyla gerçekleşebileceği gibi önce protein-polifenol konjugasyonunun oluşup sonradan polisakkaritlerin kovalent olarak bağlanması da söz konusu olabilir (Liu vd., 2023). Protein-polifenol-polisakkarit konjugasyonunun fonksiyonel özellikler üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmaların özeti Çizelge 3'te sunulmuştur.

Xu vd. (2021)'nin yaptığı üçlü konjugasyonda sulu ortamda glikasyon gerçekleştirilmiş ve polifenoller ile kovalent modifikasyon oluşturulmuştur. İlaveten epigallokateşin gallat'ın miyofibriller protein-dekstran konjugatına kateşin ve gallik asitten daha kolay aşılandığı tespit edilmiştir. Bunun nedeni olarak fenolik bileşiklerin moleküler boyutu olabileceği düşünülmüştür. Nitekim büyük moleküler boyuta sahip fenolikler küçük olanlara kıyasla daha fazla sayıda bağlanma bölgesine sahiptirler ve bu yüzden daha yüksek bağlanma afinitesi göstermektedirler. Çalışmada konjugatların yüzey hidrofobikliğinin arttığı, termal stabilitenin geliştirildiği rapor edilmiştir. Bununla birlikte polifenollerin, serbest radikal aşılama yöntemi kullanılarak Maillard konjugatlarına eklenmesi beklendiği üzere konjugatların antioksidan aktivitesini artırmıştır.

Liu vd. (2020) yer fıstığı protein izolatı, soya protein izolatı, pirinç kepeği protein izolatı ve peynir altı

**Çizelge 3.** Protein-polifenol-polisakkarit konjugasyonu sonucu fonksiyonel özelliklerin nasıl etkilendiği hakkında yapılan çalışmaların özeti

Protein Kaynağı	Konjugasyon Ajanı	Konjugasyon Yöntemi	Kritik Sonuç	Referans
Miyofibriller protein	Epigallokateşin gallat Kateşin Gallik asit Dekstran	Serbest radikal aşılama Islak ısıtma	Konjugatların yüzey hidrofobikliği artmış, termal stabilitesi geliştirilmiştir.	Xu vd. (2021)
Sığır serum albumin	Klorojenik asit Dekstran	Kuru ısıtma (%79 bağıl nem, 60 °C, 24 saat) Alkali muamele yöntemi	Emülsiyonların fizikokimyasal stabiliteyi iyileştirilmiştir. Emülsiyonların fizikokimyasal stabiliteyi: Klorojenik asit-Sığır serum albümin-Dekstran > Klorojenik asit-Sığır serum albumin	Yan vd. (2020)
Yer fıstığı protein izolatu Pirinç kepeği protein izolatu Peynir altı suyu protein izolatu Soya protein izolatu (Alkali çözünme + asit çökeltilme yöntemi)	Klorojenik asit Dekstran	Alkali muamelesi yöntemi Kuru ısıtma (%79 bağıl nem, 60 °C, 24 saat)	Konjugatların; Ara yüzey gerilimi azalmıştır. Depolama ve oksidatif stabiliteyi iyileştirilmiştir.	Liu vd. (2020)
Yumurta beyazı proteini	Kateşin Dekstran	Serbest radikal aşılama Kuru ısıtma (%79 bağıl nem, 60 °C, 3 gün)	Çözünürlükte belirgin değişim görülmemiştir. Emülsifiye edici özellikler ve termal stabilite geliştirilmiştir.	Gu vd. (2023)

altı suyu protein izolatu ile klorojenik asit ve dekstran konjugatlarını alkali yöntem ve Maillard reaksiyonu olacak şekilde iki aşamalı olarak hazırlamışlardır. Öncelikle protein çözeltileri ve klorojenik asit konjugasyonu alkali muamele yöntemine göre kovalent etkileşim olacak şekilde hazırlanmıştır. Ardından protein - klorojenik asit konjugat çözeltisi kuru ısıtma yöntemi (%79 bağıl nem, 60 °C, 24 saat) ile dekstran tozuyla konjugat hazırlanmak üzere reaksiyona tabi tutulmuştur. Hazırlanan üçlü konjugat nanoemülsiyonların özelliklerini araştırmak üzere emülgatör olarak kullanılmıştır. Konjugatların depolama ve oksidatif stabiliteyi olumlu etkilenmişlerdir. Konjugatlar arasında yer fıstığı protein izolatu - klorojenik asit - dekstranın en küçük parçacık boyutuna ve optimal stabiliteye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Yan vd. (2020) sığır serum albümin - klorojenik asit-dekstran konjugatlarını kovalent olarak üretmişlerdir. Konjugatlar hazırlanırken sığır serum albümin-dekstran konjugasyonunu kuru ısıtma; klorojenik asit-sığır serum albümin konjugasyonunu ise alkali muamelesi yöntemleri ile hazırlamışlardır. Bu ürettikleri konjugatları gelişmiş fiziksel stabiliteye sahip ve ayrıca E vitamini de içeren bir emülsiyon hazırlamak için kullanmışlardır. Yapılan

çalışma sonucunda klorojenik asit - sığır serum albümin - dekstran konjugatları ile stabilize edilen emülsiyonların, tek başına sığır serum albümin veya klorojenik asit - sığır serum albümin konjugatları ile stabilize edilen emülsiyonlara göre daha iyi fizikokimyasal stabiliteye sahip olduklarını tespit etmişlerdir.

Gu vd. (2023) kateşin - dekstran - yumurta beyazı proteini konjugatlarını iki aşamalı olarak hazırlamışlardır. Öncelikle dekstran - kateşin konjugatları serbest radikal aşılama yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Daha sonra bu konjugat kuru ısıtma yöntemi (60 °C, %79 bağıl nem, 3 gün) kullanılarak yumurta beyazı proteinine kovalent olarak bağlanmıştır. Kateşin - dekstran - yumurta beyazı proteini konjugatları sonucunda proteinin çözünürlük özelliklerinde belirgin bir değişim olmamakla birlikte emülsifiye edici özellikleri (proteinin yüksek hidrofobikliğine bağlı olarak) ve termal stabilitesi iyileştirilmiştir. Çalışmada emülsiyon bazlı gıdaların fizikokimyasal stabiliteyi kateşin -dekstran - yumurta beyazı proteini konjugatları ile iyileştirilebileceği ve konjugatların yağ damlacıklarının yüzeylerine iyi bir şekilde adsorbe edilebildiği rapor edilmiştir. Konjugatların oluşumunda yer alan polifenolün güçlü

antioksidan aktivitesi sebebi ile gıdalardaki lipit oksidasyon reaksiyonlarının azaltılabileceği düşünülen bir diğer kavramdır.

## 2.6. Konjugasyonları Etkileyen Faktörler

Polifenol, karbonhidrat ve proteinlerin kovalent ya da kovalent olmayan konjugasyonlarını etkileyen faktörlerin başında sıcaklık ve pH gelmektedir. Bunlar en önemli dışsal faktörlerdir. Ayrıca polifenol çeşidi, protein tipi, moleküler yapı, molekül ağırlığı, hidrofobiklik veya hidrofillik, aminoasit bileşimi konjugasyonu etkileyen içsel faktörlerdendir (Liu vd., 2023; Tazeddinova vd., 2022). Örneğin polisakkarit ve protein etkileşiminde konjugat çözünürlüğünün, izoelektrik nokta civarında (pH 4,5-7.0) diğer pH değerlerine göre saf proteinin çözünürlüğünden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Liu vd., 2023).

## 3. SONUÇ

Proteinlerin fonksiyonel özellikleri bazen yetersiz kalmakta ve dolayısıyla gıda uygulamalarında kullanımını kısıtlamaktadır. Bu durum, son yıllarda proteinlerin diğer moleküllerle modifikasyonu üzerine yoğunlaşan araştırmaların artmasına neden olmuştur. Modifikasyon işlemi sonucunda proteinler, karbonhidratlar ve polifenoller ile etkileşime girebilmektedir. Literatürde, bu konjugasyonların proteinlerin fonksiyonel özelliklerini iyileştirdiğine dair pek çok çalışma mevcuttur.

Proteinler, yalnızca karbonhidratlar ve polifenoller ile ikili konjugasyonlar oluşturmakla kalmayıp aynı zamanda üçlü konjugasyonlar da gerçekleştirmekte ve bu durum, araştırmaların kapsamını genişletmektedir. Konjugasyon işlemleri, çeşitli yöntemlerle gerçekleştirilebilmektedir. Maillard konjugasyonu için geleneksel metotlar, giderek yerini alternatif yöntemlere (mikrodalga, vurgulu elektrik alan, ultrases vb.) bırakmaktadır.

Protein ile polifenollerin konjugasyonlarında, kovalent bağların oluşturduğu konjugatların, kovalent olmayan bağlarla oluşturulanlara göre daha yüksek antioksidan aktivite ve termal stabilite sağladığı tespit edilmiştir. Ayrıca araştırmalar en yaygın kullanılan yöntemlerin alkali muamelesi ve serbest radikal aşılama metodu olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak proteinlerin karbonhidratlar ve polifenollerle modifikasyonunun, gıda uygulamalarında karşılaşılan sınırlı kullanım sorunlarını çözme potansiyeline sahip olduğu tespit

edilmiştir. Ayrıca konjugatlar kullanılarak stabilize edilen emülsiyonların fizikokimyasal stabilitesinin belirgin şekilde arttığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla bu durumun, gıda ürünlerinin kalitesini iyileştirme açısından önemli bir avantaj sağladığı düşünülmektedir.

Gelecek araştırmaların, hem geleneksel hem alternatif modifikasyon tekniklerinin etkilerini kapsamlı bir şekilde incelemeleri, farklı polifenol ve karbonhidratların proteinlerle etkileşimlerini değerlendirmeleri ve konjugatların gıda formülasyonlarındaki potansiyel uygulamalarını araştırmaları beklenmektedir; bu da gıda uygulamalarında daha etkili ve sağlıklı formülasyonların geliştirilmesine katkı sağlayabilir. Ayrıca uygulanacak yeni konjugasyon teknikleri, bitkisel proteinler ve doğal polisakkaritlerin etkileşimi sayesinde sürdürülebilirliğe katkı da sağlayacaktır. Bütün bunların gıda mühendisliği alanında farklı araştırma alanları sağlayacağı düşünülmektedir.

## Teşekkür ve Bilgilendirme

Bu çalışma Bengisu Arslan'ın Yüksek Lisans seminerinden üretilmiştir.

## KAYNAKÇA

- Aksoy, Z., Ersus, S. (2023). The comparative studies on the physicochemical properties of mung bean protein isolate-polysaccharide conjugates prepared by ultrasonic or controlled heating treatment. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 50, 102690. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2023.102690>
- Aziznia, S., Askari, G., Emamdjomeh, Z., ve Salami, M. (2024). Effect of ultrasonic assisted grafting on the structural and functional properties of mung bean protein isolate conjugated with maltodextrin through maillard reaction. *International Journal of Biological Macromolecules*, 254, 127616. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127616>
- Benjakul, S., Singh, A., Chotphruethipong, L. ve Mittal, A. (2021). Protein- polyphenol conjugates: Preparation, functional properties, bioactivities and applications in foods and nutraceuticals. *Advances in Food and Nutrition Research*, 98, 281–320. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2021.02.011>
- Chen, J., Zhang, X., Chen, X., Pius Bassey, A., Zhou, G. ve Xu, X. (2022). Phenolic modification of myofibrillar protein enhanced by ultrasound: The structure of phenol matters. *Food Chemistry*, 386. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132662>

- Chen, W., Lv, R., Wang, W., Ma, X., Muhammad, A. I., Guo, M., Ye, X. ve Liu, D. (2019). Time effect on structural and functional properties of whey protein isolate-gum acacia conjugates prepared via Maillard reaction. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(10), 4801–4807. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9735>
- Chen, W., Ma, X., Wang, W., Lv, R., Guo, M., Ding, T., Ye, X., Miao, S. ve Liu, D. (2019). Preparation of modified whey protein isolate with gum acacia by ultrasound maillard reaction. *Food Hydrocolloids*, 95, 298–307. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.10.030>
- Djuardi, A. U. P., Yuliana, N. D., Ogawa, M., Akazawa, T. ve Suhartono, M. T. (2020). Emulsifying properties and antioxidant activity of soy protein isolate conjugated with tea polyphenol extracts. *Journal of Food Science and Technology*, 57(10), 3591–3600. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04391-9>
- Dumitraşcu, L., Borda, D. ve Aprodu, I. (2023). Alternative Processing Options for Improving the Proteins Functionality by Maillard Conjugation. *Foods*, 12(19). <https://doi.org/10.3390/foods12193588>
- Gu, L., Yao, X., McClements, D. J., Liang, L., Xiong, W., Li, J., Chang, C., Su, Y. ve Yang, Y. (2023). Fabrication, characterization, and application of catechin- dextran-egg white protein conjugates: Novel antioxidant emulsifiers. *LWT*, 173. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114268>
- Guan, H., Zhang, W., Sun-Waterhouse, D., Jiang, Y., Li, F., Waterhouse, G. I. N. ve Li, D. (2021). Phenolic-protein interactions in foods and post ingestion: Switches empowering health outcomes. *Trends in Food Science and Technology*, 118, 71–86. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.08.033>
- Han, Z., Zhu, M., Wan, X., Zhai, X., Ho, C. T. ve Zhang, L. (2022). Food polyphenols and Maillard reaction: regulation effect and chemical mechanism. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-17. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2146653>
- Kan, X., Chen, G., Zhou, W. ve Zeng, X. (2021). Application of protein- polysaccharide Maillard conjugates as emulsifiers: Source, preparation and functional properties. *Food Research International*, 150. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110740>
- Kan, X., Hu, Y., Huang, Y., Fan, X., Chen, G., Ye, H. ve Zeng, X. (2023). Kan, X., Hu, Y., Huang, Y., Fan, X., Chen, G., Ye, H., & Zeng, X. (2023). Characterization of whey protein isolate-gum Arabic Maillard conjugate and evaluation of the effects of conjugate-stabilized emulsion on microbiota of human fecal cultures. *Food Hydrocolloids*, 134, 108060. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108060>
- Liu, C., Jin, H., Yu, Y., Sun, J., Zheng, H., Zhang, Y., Xu, J. ve Zhu, X. (2020). The improvement of nanoemulsion stability and antioxidation via protein- chlorogenic acid-dextran conjugates as emulsifiers. *Nanomaterials*, 10(6). <https://doi.org/10.3390/nano10061094>
- Liu, F., McClements, D. J., Ma, C. ve Liu, X. (2023). Novel Colloidal Food Ingredients: Protein Complexes and Conjugates. *Annual Review of Food Science and Technology*, 14, 35-61. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-060721>
- Liu, J., Yong, H., Yao, X., Hu, H., Yun, D. ve Xiao, L. (2019). Recent advances in phenolic-protein conjugates: Synthesis, characterization, biological activities and potential applications. *RSC Advances*, 9(61), 35825-35840. <https://doi.org/10.1039/c9ra07808h>
- Liu, X., Song, Q., Li, X., Chen, Y., Liu, C., Zhu, X., Liu, J., Granato, D., Wang, Y. ve Huang, J. (2021). Effects of different dietary polyphenols on conformational changes and functional properties of protein-polyphenol covalent complexes. *Food Chemistry*, 361. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130071>
- Ma, X., Chen, W., Yan, T., Wang, D., Hou, F., Miao, S., Liu, D., 2020. Comparison of citrus pectin and apple pectin in conjugation with soy protein isolate (SPI) under controlled dry-heating conditions. *Food Chemistry*, 309, 125501. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125501>
- Nooshkam, M., Varidi, M. ve Verma, D. K. (2020). Functional and biological properties of Maillard conjugates and their potential application in medical and food: A review. *Food Research International*, 131. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109003>
- Parolia, S., Maley, J., Sammynaiken, R., Green, R., Nickerson, M. ve Ghosh, S. (2022). Structure – Functionality of lentil protein-polyphenol conjugates. *Food Chemistry*, 367. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130603>
- Pi, X., Liu, J., Sun, Y., Ban, Q., Cheng, J. ve Guo, M. (2023). Protein modification, IgE binding capacity, and functional properties of soybean protein upon conjugation with polyphenols. *Food Chemistry*, 405. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134820>
- Rashid, M. (2022). *Fesleğen tohumu protein izolatlarının fiziko-kimyasal ve fonksiyonel özelliklerinin araştırılması ve glutensiz ekmek üretiminde kullanımı*. [Yüksek lisans tezi, İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.

- Sedaghat Doost, A., Nikbakht Nasrabadi, M., Wu, J., A'yun, Q. ve Van der Meeren, P. (2019). Maillard conjugation as an approach to improve whey proteins functionality: A review of conventional and novel preparation techniques. *In Trends in Food Science and Technology*, 91, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.06.011>
- Sui, X., Sun, H., Qi, B., Zhang, M., Li, Y. ve Jiang, L. (2018). Functional and conformational changes to soy proteins accompanying anthocyanins: Focus on covalent and non-covalent interactions. *Food Chemistry*, 245, 871–878. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.090>
- Sun, J., Mu, Y., Obadi, M., Dong, S. ve Xu, B. (2020). Effects of single-mode microwave heating and dextran conjugation on the structure and functionality of ovalbumin–dextran conjugates. *Food Research International*, 137. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109468>
- Taha, A., Casanova, F., Šimonis, P., Jonikaitė-Švėgždienė, J., Jurkūnas, M., Gomaa, M. A. E. ve Stirkė, A. (2022). Pulsed electric field-assisted glycation of bovine serum albumin/starch conjugates improved their emulsifying properties. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 82. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103190>
- Tazeddinova, D., Toshev, A. D., Abylgazinova, A., Rahman, Md. R., Matin, Md. M., Bakri, M. K. Bin. ve Ayan, O. (2022). A review of polyphenol and Whey Protein-based conjugates. *Bio Resources*, 17(4), 6997. doi: 10.15376/biores.17.4.Tazeddinova1
- Vinayashree, S. ve Vasu, P. (2021). Biochemical, nutritional and functional properties of protein isolate and fractions from pumpkin (*Cucurbita moschata* var. Kashi Harit) seeds. *Food Chemistry*, 340. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128177>
- Wang, Y., Chen, Y., Lv, J., Li, C. ve Wang, F. (2023). Characterization of walnut protein isolate-polyphenol nanoconjugates for the developing a food-grade delivery system. *Journal of Food Science and Technology*, 60(9), 2454–2467. <https://doi.org/10.1007/s13197-023-05768-2>
- Xu, Y., Han, M., Huang, M. ve Xu, X. (2021). Enhanced heat stability and antioxidant activity of myofibrillar protein-dextran conjugate by the covalent adduction of polyphenols. *Food Chemistry*, 352. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129376>
- Yan, S., Xie, F., Zhang, S., Jiang, L., Qi, B. ve Li, Y. (2021). Effects of soybean protein isolate – polyphenol conjugate formation on the protein structure and emulsifying properties: Protein – polyphenol emulsification performance in the presence of chitosan. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 609. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2020.125641>
- Yan, Y., Zhu, Q., Diao, C., Wang, J., Wu, Z. ve Wang, H. (2020). Enhanced physicochemical stability of lutein-enriched emulsions by polyphenol-protein-polysaccharide conjugates and fat-soluble antioxidant. *Food Hydrocolloids*, 101. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105447>
- Yıldız, O., Şahin, H., Kara, M., Aliyazıcıoğlu, R., Tarhan, Ö. ve Kolaylı, S. (2010). Maillard Reaksiyonları ve Reaksiyon Ürünlerinin Gıdalardaki Önemi. *Akademik Gıda*, 8(6), 44-51. <http://www.academicfoodjournal.com>
- Zha, F., Dong, S., Rao, J. ve Chen, B. (2019). Pea protein isolate-gum Arabic Maillard conjugates improves physical and oxidative stability of oil-in-water emulsions. *Food Chemistry*, 285, 130–138. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.151>
- Zhang, Q., Cheng, Z., Wang, Y. ve Fu, L. (2021). Dietary protein-phenolic interactions: characterization, biochemical-physiological consequences, and potential food applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(21), 3589-3615. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1803199>
- Zhang, Z., Holden, G., Wang, B. ve Adhikari, B. (2023). Maillard reaction-based conjugation of Spirulina protein with maltodextrin using wet-heating route and characterisation of conjugates. *Food Chemistry*, 406. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134931>
- Zhang, Z., Wang, B. ve Adhikari, B. (2022). Maillard reaction between pea protein isolate and maltodextrin via wet-heating route for emulsion stabilisation. *Future Foods*, 6. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100193>
- Zhao, T., Huang, L., Luo, D., Xie, Y., Zhang, Y., Zhang, Y., Jiao, W., Su, G. ve Zhao, M. (2021). Fabrication and characterization of anchovy protein hydrolysates- polyphenol conjugates with stabilizing effects on fish oil emulsion. *Food Chemistry*, 351. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129324>



# Katlama Süresi ve Gibberellik Asit (GA<sub>3</sub>) Uygulamalarının Bazı Üzüm Çeşitlerinde Çekirdek Çimlenme Yetenekleri Üzerine Etkileri

Fatih ILGAZ<sup>1</sup> , Mustafa ÇELİK<sup>2,\*</sup> 

<sup>1</sup> Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, Aydın, Türkiye

<sup>2</sup> Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Aydın, Türkiye

## MAKALE BİLGİSİ

Makale Gönderim 28/10/2024  
Revizyon 16/11/2024  
Kabul 16/11/2024

### Anahtar Sözcükler:

Üzüm  
Katlama  
Gibberellik asit  
Çekirdek çimlenmesi

## ÖZET

Bu çalışmada serbest tozlanan ‘Cardinal’, ‘Yalova İncisi’, ‘Trakya İlkeren’, ‘Ata Sarısı’ ve ‘Italia’ üzüm çeşitlerinde katlama süresinin ve GA<sub>3</sub>’ün çekirdek çimlenmesine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Her bir çeşitte 60 veya 75 gün ve 90 gün katlama süresi ile kontrol (24 saat suda bekletme), katlama sonrası 250 ppm GA<sub>3</sub>, katlama sonrası 750 ppm GA<sub>3</sub> ve katlama öncesi 750 ppm GA<sub>3</sub> dozları kullanılmıştır. Her bir çeşit için elde edilen verilerin, varyans analizi iki faktörlü tesadüf parselleri deneme deseninde, üç tekerrürlü olarak R programında yapılmıştır. Ortalamalar arasındaki farklılıklar LSD (%5)’e göre belirlenmiştir. ‘Cardinal’ üzüm çeşidinde çimlenme oranları %3,3 ile %26,7 arasında değişmiştir. Uygulamalar çimlenme oranı üzerine etkili olmamıştır. ‘Ata Sarısı’ üzüm çeşidinden ‘Cardinal’ üzüm çeşidine benzer olarak bütün uygulamalarda çok düşük yüzde de çimlenme oranı elde edilmiştir. Çimlenme oranları %0,0-%16,7 arasında değişmiştir. ‘Ata Sarısı’ üzüm çeşidinde de uygulamaların etkisi önemli olmamıştır. ‘Trakya İlkeren’ üzüm çeşidinde çimlenme oranları %75,0 ile %98,3 arasında değişmiştir. ‘Trakya İlkeren’ erkenci bir çeşit olmasına rağmen yüksek yüzde de çimlenme oranları vermiştir. ‘Yalova İncisi’ ve ‘Italia’ üzüm çeşitlerinde çimlenme oranları sırası ile %46,7-%83,3 ile %23,3-%60,0 arasında değişmiştir. ‘Yalova İncisi’, ‘Trakya İlkeren’ ve ‘Italia’ üzüm çeşitlerinde 90 gün katlananlarda, 75 güne göre daha yüksek çimlenme oranları alınmış ve GA<sub>3</sub>’ün katkısı önemli olmamıştır. ‘Ata Sarısı’ tam olgunlaştığında ve erkenci çeşitler ‘Yalova İncisi’, ‘Trakya İlkeren’ ve ‘Cardinal’ in ise tam veya aşırı olgunlaştığında hasat edilmesi; daha yüksek GA<sub>3</sub> dozlarının denenmesi; katlama süresinin 90 güne kadar uzatılması tüm çeşitlerde çimlenme oranını artıracığı için önerilmiştir.

## 1. GİRİŞ

Ülkemiz asmanın (*Vitis vinifera* L.) anavatanlarından birisidir. Antik çağlardan günümüze değin Anadolu’da bağcılık yapılmaktadır. Ülkemizde 1200’ün üzerinde üzüm çeşidi bulunmakta ve bunlardan 50-60 kadarı yaygın olarak kullanılmaktadır (Çelik vd., 1998). Son verilere göre 377 848 ha bağ alanından 3 400 000 ton toplam yaş

üzüm üretilmiştir (TUIK, 2023). Ülkemiz 278 535 ton çekirdeksiz kuru üzüm ihracatı ile dünyada 1. sırada yer almaktadır. Ayrıca, sofralık üzüm ihracatımız son yıllarda 223 379 tona ulaşmıştır (FAO, 2022). Ülkemizde kaliteli erkenci sofralık üzüm çeşitlerini genişletmek amacıyla yapılan melezleme ıslahı çalışmalarının ilk sonuçları 1990’lı yıllarda alınmıştır. Örneğin erkenci üzüm çeşitleri olarak Trakya İlkeren, Yalova İncisi elde edilmiştir. Benzer



çalışmalarda iri taneli olarak Ata Sarısı, hem iri taneli hem de çekirdeksiz olarak ise Barış üzüm çeşidi elde edilmiştir (Uslu vd., 1995; Gürnil vd., 1998). Yeni çeşitlerin bulunması ve iyi özelliklerin kombine edilmesi amacıyla yapılan melezleme çalışmalarında ki başarıda ise melezleme ürünü olan çekirdeklerin çimlenme güçleri önemli derecede etkili olmaktadır.

### 1.1. Çekirdeklerin Çimlenme Güçleri

Günümüzde de ıslah çalışmaları ülkemizde ve dünyada yoğun bir şekilde yapılmaktadır. Islah çalışmalarında gözlenmiştir ki ana ebeveynin çimlenme yeteneği melez çekirdeklerin üzerinde daha fazla etkili olmaktadır. Bu nedenle iyi çimlenen çeşidin ana ebeveyn olması tavsiye edilmektedir (Ağaoğlu, 2002). Bu nedenle ana ebeveyn olarak kullanılacak çeşitlerin çekirdek çimlenme yeteneklerinin bilinmesi gereklidir. Bir tohumdan kökçüğün (radikula) belirmesi çekirdekte çimlenme olarak tanımlanmaktadır. 1mm veya 1mm'den daha büyük olanlar çimlenmiş olarak kabul edilmektedir (Lallai, 2024; Köse, 2024).

### 1.2. Çimlenmeye Genetik Yapının Etkisi

Branas (1974), erkenci üzüm çeşitlerin (Perle de Csaba, Cardinal ve Madeleine) çekirdeklerinin çimlenme yeteneklerini vakitli veya geç olgunlaşan çeşitlere göre daha düşük bulmuştur. Khachatryan (1974), da erken olgunlaşan Spitalo Arakseni çekirdeklerinin çimlenme gücünün (% 13), geç olgunlaşan Mskhali, Voskeatu ve Saperavi çeşitlerinden (sırasıyla %45,2, %54,8 ve %48,8) daha düşük olduğunu saptamıştır.

Erkenci çeşitlerde çimlenme gücünün düşüklüğünün sebebi olarak, Balthazard (1969), bu çeşitlerde embriyonun yeterli olgunluğa erişmemesini belirtmiş ve in vivo koşullarda iyi bir çimlenme için embriyonun 1 mm'den daha büyük olması gerektiğini ifade etmiştir.

### 1.3. Nedenlerine Göre Dinlenmenin Sınıflandırılması

Eriş (1979 ve 1990) asma çekirdeklerindeki dinlenmeleri, nedenlerine göre gerçek dinlenme ve gerçek olmayan (zorunlu) dinlenme olarak iki gruba ayırmaktadır. Gerçek dinlenme en uygun koşullarda (25 °C) dahi çekirdeklerin çimlenemediği, çekirdeğin bünyesindeki içsel faktörlerin etkili olduğu dinlenmedir. Çekirdekteki çimlenmeyi engelleyici maddeler; meyve etinde, çekirdek kabuğunda ve hatta çekirdeğin endospermünde bulunabilmektedir.

Çekirdeklerin gerçek dinlenme ihtiyaçlarını giderebilmek için bir süre soğukta bekletilmelerine katlama adı verilir. Katlama ile aynı zamanda, çekirdek kabukları yumuşar, embriyonun su ve oksijen alımı kolaylaşır. Katlama ortam sıcaklığının 0-10 °C arasında olması gerekmektedir. Üzüm çekirdekleri için ise en uygun katlama ortam sıcaklık değeri 5 °C'dir (Ağaoğlu, 2002). Genelde üzüm çekirdekleri için 60-80 gün katlama süresi tavsiye edilmektedir (Currie vd., 1983).

### 1.4. Gibberellinin Çimlenmedeki Önemi

Gibberellik asit (GA<sub>3</sub>) çekirdek çimlenmesinde etkili hormonlardan biridir. Özellikle alfa amilaz enzimini harekete geçirerek nişastanın hidrolize olmasını sağlamakta ve çimlenmeyi artırmaktadır (Salisbury ve Ross, 1992).

Çalkan ve Kısmalı (1999), yedi farklı üzüm çeşidine (Alphonse Lavallée, Yalova İncisi, Yalova Ata Sarı', Razakı, Osmanca, İtalia, Pembe Gemre) ait çekirdeklerin çimlendirilmesinde 75 gün katlamadan sonra uygulanan GA<sub>3</sub>'ün çimlenme yeteneklerine olan etkisini incelemiştir. 75 gün katlamada tutulan tohumların çimlendirilmesi amacı ile iki farklı GA<sub>3</sub> (Gibberellik asit) dozu (250 ppm ve 750 ppm) kullanılmış ve İtalia ve Osmanca çeşidi hariç 750 ppm'lik GA<sub>3</sub> uygulamasından elde edilen çimlenme yüzdesinin 250 ppm'e oranla daha yüksek olduğu belirlemiştir. Kontrole göre ise GA<sub>3</sub> uygulamaları İtalia çeşidi hariç çimlenme yüzdesini artırmıştır.

Çelik H. (2001), Vitis labrusca L.'nin İsabella üzüm çeşidinde üzüm çekirdeklerinin çimlenme oranları üzerine alt ısıtma, çimlendirme ortamı ve kontrole beraber 500, 1000 ve 1500 ppm gibberellin dozlarının etkilerini incelemiştir. İstatistiki olarak 500 ve 1500 ppm GA<sub>3</sub> uygulamaları kontrole göre daha yüksek çimlenme oranı vermiştir. Çimlenme oranları ise kontrole beraber gibberellin uygulananlarda ortalama %47,78 ila %51,72 arasında değişmiştir.

Çalkan ve Kısmalı (1999), 75 gün sonra katlamadan çıkan üzüm çekirdeklerini uygun sıcaklıkta çimlendirmeye almışlar ve 5. günden itibaren çimlenmenin başladığını, bunun 20 gün devam ettiğini ve çimlenmenin 25. günde sona erdiğini gözlemişlerdir.

### 1.5. Araştırmanın Amacı

Bu bilgilerin yardımıyla serbest tozlanan Cardinal, Yalova İncisi, Trakya İlkeren, Ata Sarısı ve İtalya üzüm çeşitlerinde katlama süresinin ve GA<sub>3</sub>'ün

çekirdek çimlenmesine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Materyal

Cardinal, Yalova İncisi, Trakya İlkeren, Ata Sarısı, ve İtalia üzüm çeşitlerinin çekirdekleri kullanılmıştır. Trakya İlkeren ve Yalova İncisi üzüm çeşitleri üretici bağlarından, dalında uzun süre bekletilmiş asmalardan alınırken, diğer çeşitler Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi uygulama bağından üzümler olgunlaştığında alınmıştır.

Cardinal, 1939 yılında Kaliforniya'da Flame Tokay X Alphonse Lavallée melezi olarak ıslah edilmiştir. Çeşit seyrek ve iri salkımlıdır. İri 7-9g taneli, kırmızı mor renkli ve yuvarlak şekillidir. Erken olgunlaşan bir çeşittir.

Yalova İncisi, Hönüsü X Siyah Gemre melezidir. Çeşit dolgun ve iri salkımlıdır. İri 6-7 g taneli, yeşilimsi sarı renkli ve oval şekillidir. Erken olgunlaşan bir çeşittir.

Trakya İlkeren Alfonse Lavallée X Perlette melezidir. Çeşit dolgun, iri salkımlıdır. Mavi-siyah renkte, 4-5g irilikte, yuvarlak şekilli çok erken olgunlaşan bir çeşittir.

Ata Sarısı, Beyaz Çavuş X Cardinal melezidir. Çeşit iri seyrek ve dolgun salkımlı, taneleri 12g'a ulaşan iri, sarı renkli, 2 çekirdekli ve oval şekillidir. Orta geç zamanda olgunlaşır.

Italia, 1911 yılında İtalya'da Bican X Muscat Hamburg melezi olarak elde edilmiştir. Çeşit dolgun ve iri salkımlıdır. İri 8-10g taneli, yeşil sarı renkli ve hafif oval şekillidir. Orta geç olgunlaşan bir çeşittir (Çelik, H, 2006).

### 2.2. Metot

Her bir çeşitte katlama süresi ve GA<sub>3</sub> dozları aşağıdaki gibi planlanmıştır.

Katlama Süreleri

- 75 gün (Cardinal' ve İtalia çeşitlerinde 60 gün)
- 90 gün

GA<sub>3</sub> uygulama dozları

- Katlamadan sonra saf suda bekletme (Kontrol) (KO)

- Katlamadan sonra 250 ppm GA<sub>3</sub> (KS 250) (Cardinal ve İtalya çeşitlerinde uygulanmadı)
- Katlamadan sonra 750 ppm GA<sub>3</sub> (KS 750)
- Katlamadan önce 750 ppm GA<sub>3</sub> (KÖ 750) (Çalkan ve Kısmalı, 1999)

### Çekirdeklerin ve GA<sub>3</sub> çözeltilerinin hazırlanması

Odanın serin bir yerinde kuru olarak saklanan çekirdekler denemeye alınmıştır. Yüzdürme testi yapılmış ve dibe çökenler kullanılmak üzere ayrılmıştır. 750 ppm için 1000 ml de 750 mg GA<sub>3</sub> çözülmesi gerekir. 750 ppm de 250 ml hazırlamak için  $750/4=188$  mg hassas terazide tartılmıştır. Az miktarda alkolde hormon çalkalanarak eritilmiştir. Daha sonra üzeri 250 ml'ye saf su ile tamamlanmıştır. Böylece 750 ppm GA<sub>3</sub> çözeltisi 250 ml olarak hazırlanmıştır.

### Malzemelerin sterilizasyonu

Katlama öncesi grup her bir çeşit için ayrı kavanozlara konulmuş ve 750 ppm lik GA<sub>3</sub> çözeltisinde 24 saat bekletilmiştir.

Hormonda 24 saat bekletildikten sonra alınan çekirdekler ve henüz hormona maruz kalmayan diğer çekirdekler % 1'lik klorakta 5 dk süreyle bekletildikten sonra 3 kez, sonuncusu saf su olmak üzere suyla çalkalanmıştır. 3-4 g Captan /1000 ml saf suda çözülerek hazırlanmıştır. İlaçlı perlit aşırı sulu olmayacak şekilde hazırlanmıştır. Bu ilaçlanan perlit ile çekirdekler karışık olarak delikli kapaklı plastik kaplara konulmuştur (Çalkan ve Kısmalı, 1999).

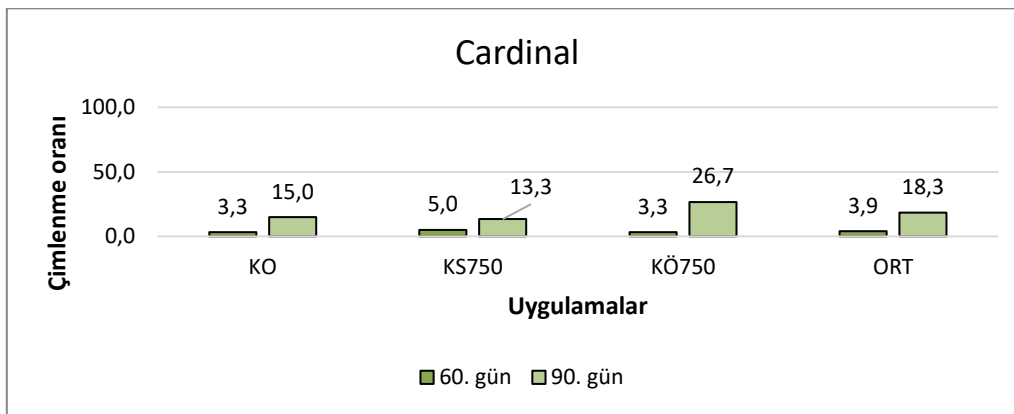
### Çekirdeklerin katlama amacıyla kaplara yerleştirilmesi

Her bir çeşit için ayrı olarak hazırlanan katlama kapları sıcaklığı  $5 \pm 2^{\circ}\text{C}$  olan buzdolabına yerleştirilmiştir. 75 ve 90 gün dolduktan sonra bu örnekler tabanında iki kat nemli kurutma kâğıdı bulunan petri kaplarına, her birinde 20 çekirdek olacak şekilde ekilmiştir. Sıcaklığın  $26 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 'de olduğu iklim odasına örnekler yerleştirilmiştir (Şekil 1) (Ağaolu, 2002).

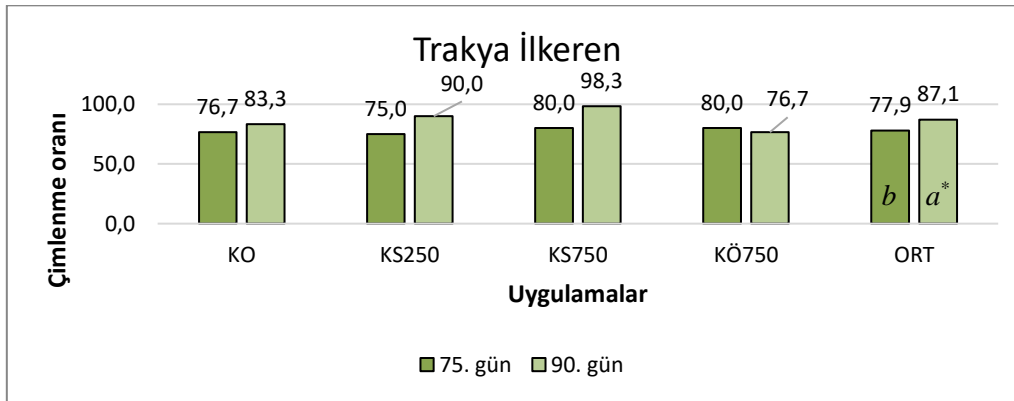
Elde edilen sonuçların istatistik analizi, her bir çeşit için ayrı olarak iki faktörlü tesadüf parselleri deneme deseninde 3 tekerrürlü olarak R programında yapılmıştır. Ortalamalar arasındaki farklılıklar LSD (%5)'e göre belirlenmiştir. Faktörleri her bir çeşit için katlama süresi ve GA<sub>3</sub> uygulaması oluşturmuştur (Düzgüneş vd., 1987; Kaya, 2019).



Şekil 1. Sıcaklığın 26 ±1°C'de olduğu iklim odasındaki örnekler



Şekil 2. Cardinal üzüm çeşidinde uygulamaların çimlenme oranı üzerine etkisi



Şekil 3. Trakya İlkeren üzüm çeşidinde uygulamaların çimlenme oranı üzerine etkisi  
\*İstatistik analiz sonucu (LSD %5) sadece katlama süresi ortalamaları önemli çıkmıştır. Bu nedenle şekilde sadece katlama süresi ortalaması harf ile gösterilmiştir.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Cardinal üzüm çeşidinde üzüm çekirdeklerinin çimlenme oranları %3,3 ile %26,7 arasında değişmiştir (Şekil 2). Katlama süresinin 60 günden 90 güne artması rakamsal olarak çimlenme oranının artırmasına rağmen ortalamalar arasında gözlenen farklılıklar istatistiki önemde olmamıştır.

Genel olarak Trakya İlkeren yüksek yüzde de çimlenme oranları vermiştir. Çimlenme oranları %75,0 ile %98,3 arasında değişmiştir. Buna ek olarak

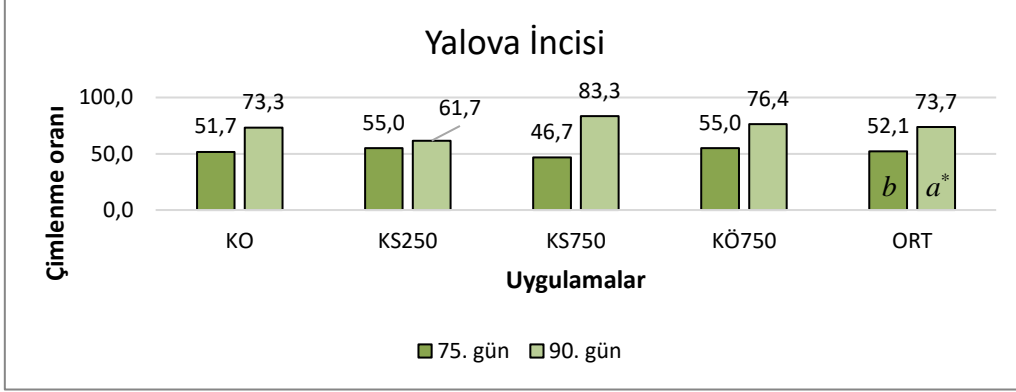
90 gün katlanan çekirdeklere 75 gün katlanan uygulamalara göre istatistiksel olarak çimlenme oranı artmıştır. Fakat GA<sub>3</sub> uygulamaları çimlenme oranı üzerinde etkili olmamıştır (Şekil 3).

Yalova İncisi üzüm çeşidinde çekirdek çimlenme oranları %46,7 ile %83,3 arasında değişmiştir. Trakya İlkeren'e göre çimlenme oranları daha düşük olmuştur. Benzer olarak, Yalova İncisi de Trakya İlkeren gibi 90 gün katlananlarda, 75 güne göre daha yüksek çimlenme oranları vermiştir. GA<sub>3</sub>'ün katkısı ise önemli olmamıştır (Şekil 4).

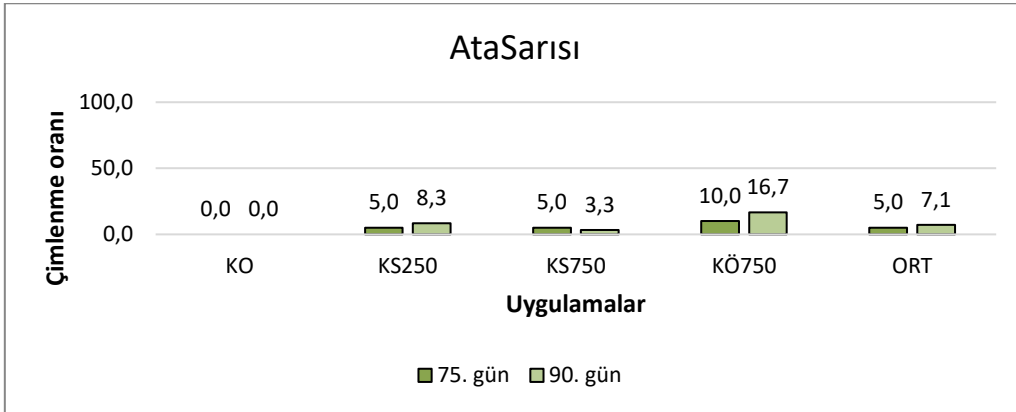
Ata Sarısı üzüm çeşidinden Cardinal çeşidine benzer olarak bütün uygulamalarda çekirdeklere çokdüşük yüzde de çimlenme elde edilmiştir. Çimlenme oranları %0,0 ile %16,7 arasında değişmiştir (Şekil 5). Bunun nedeninin erken hasat yapılması olabilir. Tohumlar çıkarıldığında yeşil

renkli oldukları görülmüştür.

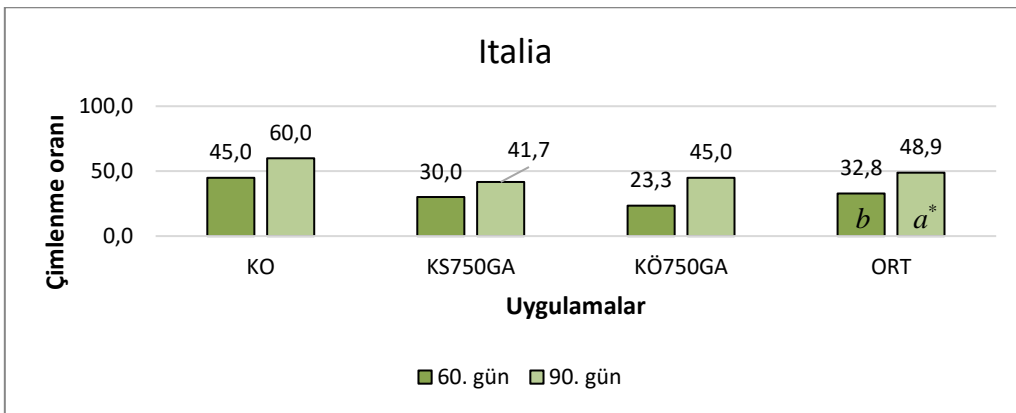
İtalia üzüm çeşidinde tohum çimlenme oranları, uygulamalar ile %23,3 ile %60,0 arasında değişmiştir. Katlama süresindeki artış çimlenme oranını artırmıştır. GA<sub>3</sub>'ün katkısı ise önemli olmamıştır (Şekil 6).



**Şekil 4.** Yalova İncisi üzüm çeşidinde uygulamaların çimlenme oranı üzerine etkisi  
\*İstatistik analiz sonucu (LSD %5) sadece katlama süresi ortalamaları önemli çıkmıştır. Bu nedenle sadece katlama süresi ortalaması harf ile gösterilmiştir



**Şekil 5.** Ata Sarısı üzüm çeşidinde uygulamaların çimlenme oranı üzerine etkisi



**Şekil 6.** İtalia üzüm çeşidinde uygulamaların çimlenme oranı üzerine etkisi  
\*İstatistik analiz sonucu (LSD %5) sadece katlama süresi ortalamaları önemli çıkmıştır. Bu nedenle sadece katlama süresi ortalaması harf ile gösterilmiştir.

Bu araştırmada tüm çeşitlerde katlama süresinin 60'dan 90'a veya 75'den 90 güne çıkarıldığında çekirdeklerde çimlenme oranları artmıştır. Kara vd. (2020), Ergönül vd. (2023), ve Yağcı vd. (2023) 90 gün katlama süresini araştırmaların da temel alarak diğer uygulamalarını gerçekleştirmişlerdir. Akkurt vd., (2013) Kalecik Karası üzüm çeşidinin kontrol uygulamasında 90 gün katlananlarda 60 güne göre çekirdeklerde daha yüksek çimlenme oranı elde etmişlerdir. Lallai (2024), Chardonay ve Şiraz üzüm çeşitlerinde 60 ve 90 gün katlamanın, daha az katlama sürelerine göre çimlenme oranını artırdığını belirlemiştir. Dardeniz vd., (2007) Sauvignon Blanc üzüm çeşidinde, 45, 60 ve 70 gün katlama sürelerinde en yüksek çekirdek çimlenme oranını 75 gün katlanan örneklerde belirlemiştir. Conner (2008), Fry Muscadina (*Vitis rotundifolia* L.) üzüm çeşidinde 90 günlük katlama süresinin 30 ve 60 gün katlananlardan daha yüksek çimlenme oranı verdiğini tespit etmiştir. Gastmann (2023) İsabella (*Vitis vinifera* L.) üzüm çeşidi için 90 veya 120 gün katlamanın en yüksek çimlenme oranını sağladığı için en iyi katlama süresi olduğunu ifade etmiştir. Artan katlama süreleri çekirdek çimlenme oranlarında da paralel artışlar sağlamıştır.

Khachatryan (1974) ve Branas (1974), erkenci üzüm çeşitlerinde vakitli olgunlaşanlara göre daha düşük çimlenme elde etmişlerdir. Ergönül vd., (2023) melezleme çalışmaları için toplanan çekirdeklerin çimlenme özelliklerini incelemiştir. Erkenci üzüm çeşitlerinden Cardinal ve Trakya İlkeren üzüm çeşitlerinde çekirdek çimlenme oranlarını sırası ile %0-2,9 ve %2,6; Yalova İncisi üzüm çeşidinde ise %70,8-%79,1 arasında bulmuşlardır. Bu araştırmada da erkenci bir üzüm olan Cardinal üzümü çekirdekleri düşük çimlenme oranı göstermiştir. Yalova İncisi üzüm çeşidinden ise diğer erkenci çeşitlerden farklı olarak daha yüksek çimlenme oranları alınmıştır. Bu sonuç Ergönül vd., (2023)'ün sonuçları ile uyumludur. Balthazard (1969), in vivo koşullarda iyi bir çimlenme için embriyonun bir mm'den daha büyük olması gerektiğini ifade etmektedir. Erkenci bir üzüm olan Cardinal ve Trakya İlkeren çeşitlerinde embriyo gelişimi üzüm tanesi ile eş zamanlı gelişmemiş olmasından dolayı çimlenme oranları düşük elde edilmiş olabilir. Fakat bu araştırmada kullanılan diğer erkenci üzüm çeşitleri olan Trakya İlkeren ve Yalova İncisi'nden yeterli yüzde de çimlenme oranı alınmıştır. Bunun nedeninin geç hasat edilen (dalında bekletilmiş) üzümlerden çekirdeklerin alınması olduğu tahmin edilmektedir. Bu çalışmada muhtemelen dalında bekleyen üzüm çekirdeklerindeki embriyolar daha irileşmiş ve olgunlaşmış olabilir. Ata Sarısı çeşidi vakitli olgunlaşan ve erkenci bir üzüm çeşidi olmamasına

rağmen düşük çimlenme oranları vermiştir. Bunun nedeni Ata Sarısı çekirdeklerinin üzümün tam olgunlaşmadan alınması olabilir. Alındığı zamanda Ata Sarısı üzüm çekirdekleri yeşil renkli olarak gözlenmiştir.

GA<sub>3</sub> uygulamaları rakamsal olarak tohumlarda çimlenme oranlarını artırmış olmakla beraber gözlenen artışlar istatistiki önemde olmamıştır. Ergönül vd., (2023) tohumları çimlenme öncesi bir gün suda ve bir günde 1000 ppm GA<sub>3</sub>'te bekletmişlerdir. Bu araştırmada kullanılan 750 ppm GA<sub>3</sub> dozundan daha fazla dozu araştırmalarında temel rutin uygulama olarak almışlardır. Kara vd., (2020), tarafından Ekşi Kara ve Gök Üzüm üzüm çeşitlerinde yapılan bir araştırmada bu araştırma ile uyumlu olarak, 90 gün katlamadan sonra 1000 ppm GA<sub>3</sub> ortamında 24 saat veya 48 saat bekletmenin, Bor ve Çinko uygulamaları yapılmayan örneklerde istatistiki önemde çimlenme oranını artırmadığını belirlemiştir. Çalkan ve Kısmalı (1999), bazı üzüm çeşitlerinde, 75 gün katlamadan sonra uygulanan 250 ppm ve 750 ppm GA<sub>3</sub>' ün çimlenme yeteneklerine olan etkisini incelemiştir. Bu araştırmaya benzer olarak İtalia üzüm çeşidinde, kontrole göre GA<sub>3</sub> uygulamaları çekirdek çimlenme yüzdesini etkilememiştir. Fakat bu araştırmadan farklı olarak kullandığı diğer çeşitlerde kontrole göre GA<sub>3</sub> uygulamaları çimlenme oranlarını artırmıştır. Çelik, H. (2001), 500 ve 1500 ppm dozlarında *Vitis labrusca* L. türüne ait üzüm çeşidi olan İsabella'da çekirdeklerin çimlenme oranının arttığını bulmuştur. Conner (2008) Fry Muscadina çeşidinde 1000, 2000, 4000 ve 8000ppm GA<sub>3</sub> dozlarının çimlenmeye etkilerini araştırmışlardır. Katlama öncesi 1000ppm GA<sub>3</sub> uygulaması bazı durumlarda başarılı olurken daha yüksek dozlar tohumlarda ölüme neden olmuştur. İsabella ve Fry Muscadina çeşitleri farklı vitis türlerine ait olması nedeniyle bu araştırmadan farklı tepkiler alınmış olabilir. Bolt vd. (2023), Crimson Cabernet (*Vitis vinifera* L.) çeşidinde, katlama yapılmadan ve şalaza kısımları kesilmeden yapılan çimlenme testlerinde çimlenme oranları % 0'dan, 2000 veya 5000 ppm GA<sub>3</sub> uygulamaları ile %8,8 ile %22,5 yükselirken, şalaza kısımları kesildiğinde aynı hormon dozları sırası ile çimlenme oranlarını % 32,5 ile % 55'lere çıkarmıştır. Muhtemelen GA<sub>3</sub> uygulamalarında çekirdek kabuğu (koleoptil) içeriye hormon girişini engellemektedir.

#### 4. SONUÇ

Çeşitlerin tümünde katlama süresinin 90 güne artırılması çimlenme oranını artırmıştır. GA<sub>3</sub> uygulaması çimlenme oranında önemli artışlar meydana getirmemiştir.

Erkenci çeşitlerden Cardinal çok düşük çimlenme oranları verirken, erkenci olan diğer Trakya İlkeren ve Yalova İncisi üzüm çeşitlerinden yeterli miktarda çimlenme oranı elde edilmiştir.

Ata Sarısı erkenci olmayan vakitli olgunlaşan bir çeşit olmasına rağmen düşük çimlenme oranları vermiştir.

Ata Sarısı ve Cardinal üzüm çeşitleri tam olgunlaştığında hasat edilmelidir. Özellikle çekirdek rengi koyulaşması beklenmelidir. Yine salkım sapı rengi koyu olmalıdır. Cardinal üzüm çeşidi genetik olarak düşük çimlenme yeteneğine sahip olabilir. Daha uzun süre dalında bekletildikten sonra çekirdeklerin çimlenme oranları belirlenmelidir. Ya da Cardinal üzüm çeşidi melezleme çalışmalarında ana ebeveyn olarak tercih edilmemelidir.

Tüm çeşitlerde 750 ppm GA<sub>3</sub>'ün kullanımına gerek olmadığı gözlenmiştir. Steril kabin içerisinde çekirdek ekim ve sayımı yapılabilir. Steril ortamlarda tohum kabuğunun şalaza kısmından kesilmesi ve GA<sub>3</sub> dozlarının birlikte uygulaması denenebilir. Fakat katlama süresinin 90 güne kadar uzatılması tüm çeşitlerin çekirdeklerinde çimlenme oranlarını artıracığı ve daha kolay bir uygulama olacağı için tavsiye edebilir bulunmuştur.

## KAYNAKÇA

Ağaoğlu, (2002). *Bilimsel ve uygulamalı bağcılık*. Cilt II. Asma Fizyolojisi (1). Kavaklıdere Eğitim Yay. No:5. Ankara.

Akkurt, M., Keskin, N., Shidfar, M., Cakır, A. (2013). Effects of some treatments prior to stratification on germination in Kalecik Karası (*Vitis vinifera* L.) seeds. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 3(4):9-13.

Bolt, B, Baloh, A., Magnani, R., Nosarzewski, M., Lopez C. R. and Geneve, R. (2023). Clipping and Gibberellin Treatments Promote Germination in Dormant Grape Seeds. *Hort Technology* 33(2): 157-160.

Branas, (1974). *Viticulture*. Imprimerie Dehan Montpellier.

Balthazard, (1969). Temperatures alternees, longeur des embryons et pouvoir germinatif des graines de vigne. C. R. Hebd *Academical Science* (Paris) 269: 2355-2358.

Conner P.J. (2008). Effects of Stratification, Germination Temperature, and Pretreatment with Gibberellic Acid and Hydrogen Peroxide on Germination of 'Fry' Muscadine (*Vitis rotundifolia* L) Seed. *HortScience* 43(3):853-856.

Currie, D., Bauer, O., Hofaecker, E., Shuman F., and Frisch W. (1983). *Biologie der Rebe D. Meininger Verlag und Druckerei GmbH, 6730 Neustadt.*

Çalkan ve Kısmalı, (1999). Bazı üzüm çeşitlerinin farklı çimlendirme ortamlarında çiçek tozu ve çekirdek çimlenme gücü üzerine araştırmalar. Türkiye III. Bahçe Bitkileri Kongresi 400-404. Ankara.

Çelik, H., Ağaoğlu, Y:S:,Fidan, Y. Marasalı, B. Söylemezoğlu, G. (1998). *Genel Bağcılık*. Sun fidan A.Ş. 253 s. Ankara.

Çelik, H. (2001). Effect of bottom heating, germination medium and gibberellic acid treatments on germination of Isabella (*Vitis labrusca* L.) grape seeds. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 4 (8): 953-957.

Çelik, H. (2006). *Üzüm Çeşit Kataloğu*. Sun Fidan Meslek Kitapları serisi:3. Ankara.

Dardeniz, A., Gökbayrak, Z., Tayyar, Ş., Özmay, S., Arslan, E. (2007). Sauvignon Blanc üzüm çeşidi çekirdeklerine uygulanan farklı katlama süreleri ve EMA uygulamalarının çekirdeklerin çimlenme gücüne etkilerinin belirlenmesi. *Türkiye V. Ulusal Bahçe Bitkileri Kongresi* (4-7 Eylül 2007), Erzurum.

Düzgüneş, O. Kesici, T., Kavuncu, O., ve Gürbüz, F. (1987). *Araştırma ve Deneme Metodları*. Ankara Üniversitesi, Ziraat Fak. Yay.1021. Ders Kitabı:295.

Ergönül, O. Özer, C., Orhan Özalp, Z. Uysal, T., Polat, A. (2023). Asma islah kombinasyonlarında tane, salkım, olgunlaşma ve çekirdek çimlenme üzerine araştırmalar. *Bahçe* 52 (Özel Sayı 1): 1-9 (2023) ISSN: 1300-8943 e-ISSN: 2791-6375.

Eriş, A. (1979). Üzüm çekirdeklerinin dinlenme ve çimlenme ile bunlara neden olan bazı faktörler arasındaki ilişkiler. *Ankara Üniversitesi, Ziraat Fak. Yayınları*: 695. Derlemeler 20. Ankara.

Eriş, A. (1990). *Bahçe Bitkileri Fizyolojisi*. Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fak. Ders notları No: 11. Bursa.

FAO (2022). Faostat. (<https://www.fao.org/faostat/en/#data/TCL>) Erişim tarihi: 24.10.2024.

Gastmann, J., Primaz, A.P., Brito, D.B., Winhelmann, M.C., Laguna, S.E., Delamare, A.P.L., Freitas, E.M. (2023). *Vitis labrusca* L. germination: influence of treatments to break dormancy, storage and ripening point of fruits. *Vitis*: 62: 106-113. DOI: 10.5073/vitis.2023.62.106-113

Gürnil, K. Usta, K., Özer, C., Kebeli, N. (1998). Bazı üzüm çeşitleri arasında melezleme yolu ile çekirdeksiz erkenci ve çekirdeksiz son turfanda sofralık üzüm çeşitlerinin elde edilmesi. *4. Bağcılık Sempozyumu*. 20-23 Ekim 1998. Yalova.

- Kara, Z., Yazar, K., Doğan, O. Vergili, E. (2020). Sodium nitroprusside and gibberellin effects on seed germination and seedling development of grapevine (*Vitis vinifera* l.) Cvs. Ekşi kara and gök üzüm. *Erwerbs-Obstbau* **62** (Suppl 1), 61–68. <https://doi.org/10.1007/s10341-020-00497-8>.
- Kaya, Y. (2019). *R programında Varyans Analizi. Bilgi Notları:2* (30 sayfa) Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla bitkileri Bölümü. Siirt. <https://www.siirt.edu.tr/dosya/personel/r-programinda-varyans-analizi-siirt-202132215332810.pdf>
- Köse, B., Uray Y., Bayram, K., Türk, F. (2024). Seed and Germination Characteristics of Different Hybrids Belonging to *Vitis* Species, *Anadolu Journal of Agricultural Sciences*, 39(2), 419-439.
- Khachatryan, T.L. (1974). Germination of seeds in some grape varieties and their seedlings. *Plant Breeding Abs.* Vol 44. No 2752.
- Lallai, A., Lombraña A. C., Sarigu, M. Meloni F, Saifan, S M., Shibli, R A. and Bacchetta, G. (2024). Domestic grape germination behaviour: the ‘Chardonnay’ and ‘Syrah’. *Revista Ciência Agronômica*, v. 55, e20228629.
- Salisbury and Ross (1992). *Plant Physiology*. Wadsworth Inc. California 682 s.
- TUİK, 2023. Türkiye İstatistik Kurumu. Bitkisel Üretim İstatistikleri. (<https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr>). Erişim tarihi: 24.10.2024.
- Uslu, İ, Demiray, T., Gökçay, E. (1995). Melezleme yolu ile sofralık yeni üzüm çeşitlerinin elde edilmesi. Atatürk Bahçe Kültürleri Merkez Araştırma Enstitüsü, Yalova. Bilimsel Araştırma ve İncelemeler. Yayın no:56.
- Yağcı, A., Cangı, R., Kesgin, M., Kılıç, D. (2023). Bağcılıkta Anaç Islah Çalışmalarında F<sub>1</sub> Popülasyonunun Oluşturulması, *Bahçe* 52 (Özel Sayı 1): 48–54.



# Üç Boyutlu Öklid Uzayında Çarpanlara Ayrılabilir Yüzeyin Bazı Karakterizasyonları

Hakan AYDIN<sup>1</sup> , Günay ÖZTÜRK<sup>2,\*</sup> 

<sup>1</sup> İzmir Demokrasi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Matematik Anabilim Dalı, İzmir, Türkiye

<sup>2</sup> İzmir Demokrasi Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, İzmir, Türkiye

## MAKALE BİLGİSİ

Makale Gönderim 04/11/2024  
Revizyon 20/11/2024  
Kabul 21/11/2024

### Anahtar Sözcükler:

Çarpanlara ayrılabilir yüzey  
Fokal yüzey  
Gauss eğriliği  
Ortalama eğrilik

## ÖZET

Bu çalışmada Öklid 3-uzayında çarpanlara ayrılabilir yüzeyler ve bu yüzeylerin fokal yüzeyleri ele alınmıştır. Öncelikle çarpanlara ayrılabilir yüzeyin Gauss ve ortalama eğrilikleri yardımıyla asli eğrilikleri hesaplanmıştır. Daha sonra bu yüzeyin asli eğrilikleri kullanılarak fokal yüzeyleri için parametrizasyonlar oluşturulmuştur ve çarpanlara ayrılabilir yüzeyin fokal yüzeyleri için Gauss ve ortalama eğrilikleri yardımıyla bazı karakterizasyonlar verilmiştir. Ayrıca incelenen özel durum yardımıyla çarpanlara ayrılabilir yüzey örnekleri verilmiş ve bu yüzeylerin fokal yüzeyleri oluşturularak şekilleri görselleştirilmiştir.

## 1. GİRİŞ

Van de Woestyne, 1993 yılında çarpanlara ayrılabilir yüzeyleri tanımlayarak bu yüzeyleri helikoid yüzeyinin bir karakterizasyonu şeklinde incelemiştir (Van de Woestyne, 1993a; Van de Woestyne, 1993b). Bu yüzeyler homotetik yüzeyler şeklinde de isimlendirilmiştir ve birçok çalışmaya konu olmuştur (Yu ve Liu, 2007; Meng ve Liu, 2009; Lopez ve Moruz, 2015; Aydın ve Oğrenmiş, 2017; Büyükkütük, 2018; Büyükkütük ve Öztürk, 2018; Büyükkütük ve Öztürk, 2019).

Çarpanlara ayrılabilir yüzeyler, benzersiz yapıları ve yapısal özellikleri nedeniyle mimari tasarım ve inşaatta önemli bir rol oynar. Bu yüzeyler, özellikle çeşitli kabuk yapıların mühendisliğinde faydalıdır. Bu yüzeylerin uygulamaları, kubbeler, kablo ızgaraları, tonozlar ve katlanabilir yapılar gibi elemanların tasarımına kadar uzanır. Bu uygulamalar, çarpanlara ayrılabilir yüzeylerin geometrik ve yapısal verimliliğinden yararlanarak hem estetik açıdan hoş hem de yapısal olarak sağlam tasarımlar oluşturmak

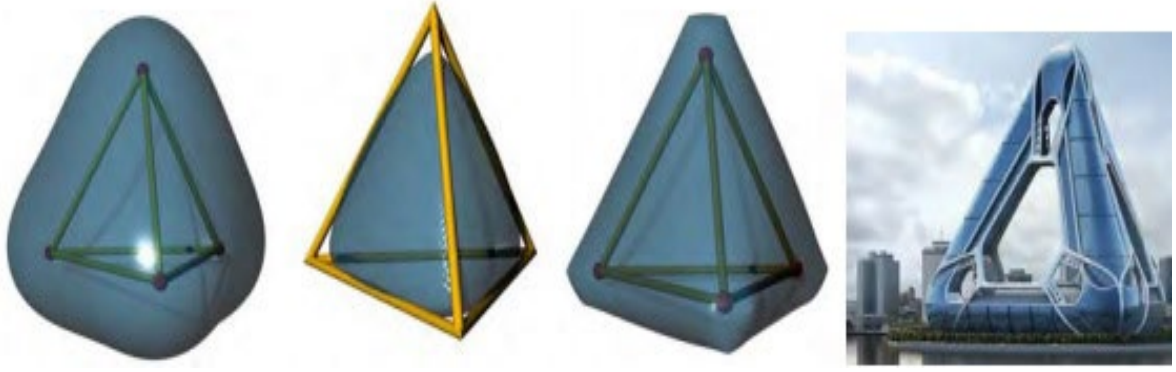
için modern mimari ve mühendislikte tercih edilen bir seçim haline getirir.

Bir yüzeyin bir noktadaki dik kesit eğrisinin eğrilik merkezi, bu yüzeyin normal vektörünün belli bir kısmı ile örtüşür. Bu yapının minimum ve maksimum değerleri, iki ana eğrinin eğrilik merkezleridir. Bu iki noktaya yüzeyin normalinin odak noktaları denir. Buna göre, bu noktalar yardımıyla bir yüzeyin fokal yüzeyi tanımlanmıştır (Hagen vd., 1991).

Yapıları ve özellikleri nedeniyle, bir yüzeyin odak noktası ve fokal yüzeyleri, geometrik tasarıma ve mimariye uygulamaları olması göz önüne alındığında önemli yapılardır. (Petruşevski vd., 2017) çalışmasında bir yüzeyin odak noktası ve onun doğrultmanı ile çalışmışlardır. Bu yapıları kullanarak, fokal-doğrultu yüzeyini tanımlamışlar ve mimariye uygulamalarını vermişlerdir.

Ayrıca Petrovic tezinde (Petrovic, 2016) fokal-doğrultu yüzeylerini ve bazı farklı yüzeyleri ele alarak mimari uygulamalarını vermiştir (Şekil 1).





Şekil 1. Mega yapının focal yüzeyi ve tasarımı

Diferansiyel geometrideki focal yüzeyleri de doğru kongüransları yardımıyla tanımlanır. Doğru kongüransı tanımı ilk olarak (Hagen vd., 1991) tarafından modelleme yardımıyla açıklanmıştır. Bir doğru kongüransı, 3-boyutlu uzayda iki parametre ile verilen bir doğru ailesidir.  $S: F(u, v)$  bir yüzey olsun ve birim normal vektörü  $N(u, v)$  ile gösterilsin. Buna göre doğru kongüransı,

$$R(u, v, \lambda) = F(u, v) + \lambda \xi(u, v) \quad (1)$$

şeklinde parametrelendirilir. Burada  $\xi(u, v)$  yüzeyin her noktasındaki birim vektördür ve  $\lambda \in \mathbb{R}$  dir. Eğer  $\xi(u, v) = N(u, v)$  alınırsa, bu kongürans dik kongürans olarak adlandırılır ve bu gösterim focal yüzey parametrisasyonuna karşılık gelir.

Böylece focal yüzeyi parametrisasyonu

$$F_i^*(u, v) = F(u, v) + k_i^{-1}(u, v)N(u, v), \quad (2)$$

şeklinde tanımlanır. Burada  $k_1$  ve  $k_2$ ,  $S$  yüzeyinin asli eğrilikleridir (Hagen and Hahmann, 1992). Son yıllarda bazı özel yüzeylerin focal yüzeylerini ele alan ve bu çalışmamıza ışık tutan çalışmalar yapılmıştır (Özdemir ve Arslan, 2008; Büyükkütük vd., 2024a, b).

Bu çalışma dört bölümden oluşmaktadır. 1. Bölümde çalışma konusu ile ilgili genel bilgiler verilmiştir. 2. Bölümde bazı temel kavramlar ele alınmıştır. 3. Bölümde ise çarpanlara ayrılabilir yüzeyin focal yüzeyleri tanımlanmış ve özel durumlar altında bu yüzeylerin bazı karakterizasyonları elde edilmiştir. Elde edilen karakterizasyonlar için yüzey örnekleri oluşturularak şekilleri oluşturulmuştur. Son bölümde ise sonuçlar derlenmiştir.

## 2. TEMEL KAVRAMLAR

**Tanım 1.**  $S$ , Öklid 3-uzayının bir alt kümesi olmak üzere  $F: U \subset \mathbb{R}^2 \rightarrow S$  türevlenebilir dönüşümü  $\mathbb{R}^3$  Öklid uzayında bir yama şeklinde isimlendirilir.

$F(U)$  yaması regüler ise  $S$  kümesine  $\mathbb{R}^3$  Öklid uzayında bir yüzey denir (O'Neill, 1966).

$S \subset \mathbb{R}^3$ ,  $F(u, v)$  regüler yaması ile verilsin.  $S$  yüzeyinin  $P$  noktasındaki  $T_p S$  teğet uzayı  $\{F_u, F_v\}$  bazı ile gerilir. Buna göre  $S$  yüzeyinin birinci temel form dönüşümü;

$$I = edu^2 + 2fdudv + gdv^2 \quad (3)$$

şeklinde tanımlanır. Böylece  $S$  yüzeyinin birinci temel formunun katsayıları

$$e = \langle F_u, F_u \rangle, \quad f = \langle F_u, F_v \rangle, \quad g = \langle F_v, F_v \rangle \quad (4)$$

şeklinde verilir. Burada  $F_u = \frac{\partial F}{\partial u}$ ,  $F_v = \frac{\partial F}{\partial v}$  dir.

Ayrıca  $F(u, v)$  parametrisasyonu ile verilen  $S$  yüzeyinin regüler olması için gerek ve yeter şart  $W^2 = eg - f^2 \neq 0$  olmasıdır.

$S$  yüzeyinin  $P$  noktasındaki birim normal vektör alanı ise

$$N = \frac{F_u \times F_v}{\|F_u \times F_v\|} \quad (5)$$

eşitliği ile verilir. Ayrıca  $S$  yüzeyinin ikinci temel form dönüşümü;

$$II = ldu^2 + 2mdudv + ndv^2$$

şeklinde verilir.

Buna göre  $S$  yüzeyinin ikinci temel formunun katsayıları

$$l = \langle F_{uu}, N \rangle, \quad m = \langle F_{uv}, N \rangle, \quad n = \langle F_{vv}, N \rangle \quad (6)$$

ifadeleri yardımıyla hesaplanır. Burada  $F_{uu} = \frac{\partial^2 F}{\partial u^2}$ ,

$$F_{uv} = \frac{\partial^2 F}{\partial u \partial v}, \quad F_{vv} = \frac{\partial^2 F}{\partial v^2} \text{ dir.}$$

$S$  yüzeyinin Gauss ve ortalama eğrilikleri sırasıyla,

$$K = \frac{ln - m^2}{eg - f^2} \quad (7)$$

$$H = \frac{en + gl - 2fm}{2(eg - f^2)} \quad (8)$$

şeklinde tanımlanır. Eğer  $S$  yüzeyinin Gauss eğriliği sıfır ise yüzeye düz (flat) yüzey, ortalama eğriliği sıfır ise yüzeye minimal yüzey denir.

Ayrıca  $S$  yüzeyinin  $k_1$  ve  $k_2$  asli eğrilikleri Gauss ve ortalama eğrilikleri yardımıyla

$$k_1 = H - \sqrt{H^2 - K}, k_2 = H + \sqrt{H^2 - K} \quad (9)$$

şeklinde hesaplanır.

### 3. ÖKLİD 3-UZAYINDA ÇARPANLARA AYRILABİLİR YÜZEYİN FOKAL YÜZEYİ

**Tanım 2.**  $F: U \subset \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^3$  olmak üzere,

$$F(u, v) = (u, v, h(u, v)) \quad (10)$$

parametrizasyonu ile verilen yamaya, 3-boyutlu Öklid uzayında bir Monge yaması denir. Burada  $h: U \rightarrow \mathbb{R}$  diferansiyellenebilir bir fonksiyondur (Gray, 1998).

**Tanım 3.**  $S$ , 3-boyutlu Öklid uzayında bir yüzey olsun.  $u, v, z \in \mathbb{R}^3$  uzayındaki kartezyen koordinatlar ve  $g_1, g_2$  diferansiyellenebilir fonksiyonlar olmak üzere;

$$z = g_1(u)g_2(v) \quad (11)$$

eşitliği ile tanımlanan yüzeye çarpanlara ayrılabilir yüzey denir. Buna göre bu yüzey Monge yaması olarak

$$F(u, v) = (u, v, g_1(u)g_2(v)) \quad (12)$$

şeklinde bir parametrizasyona sahiptir (Meng and Liu, 2009).

Bir çarpanlara ayrılabilir  $S$  yüzeyi, Öklid 3-uzayında (12) parametrizasyonu ile verilsin. Bu yüzeyin teğet uzayı;

$$\begin{aligned} F_u &= (1, 0, g_1'(u)g_2(v)) \\ F_v &= (0, 1, g_1(u)g_2'(v)) \end{aligned} \quad (13)$$

vektörleri ile gerilir (Meng ve Liu, 2009). Dolayısıyla (4) ve (13) eşitlikleri yardımıyla bu yüzeyin birinci temel formunun katsayıları;

$$\begin{aligned} k_{1,2} &= \frac{g_1g_2''(1+(g_1'g_2)^2) + g_1''g_2(1+(g_1g_2')^2) - 2g_1g_2(g_1'g_2')^2}{2W^3} \\ &\mp \sqrt{\left[ \frac{g_1g_2''(1+(g_1'g_2)^2) + g_1''g_2(1+(g_1g_2')^2) - 2g_1g_2(g_1'g_2')^2}{2W^3} \right]^2 - \frac{g_1g_1''g_2g_2'' - (g_1'g_2')^2}{W^4}} \end{aligned} \quad (20)$$

şeklinde elde edilir.

$$\begin{aligned} e &= 1 + (g_1'g_2')^2 \\ f &= g_1g_2g_1'g_2' \\ g &= 1 + (g_1g_2')^2 \end{aligned} \quad (14)$$

şeklindedir (Meng ve Liu, 2009).

Ayrıca  $S$  yüzeyinin birim normal vektör alanı;

$$N = \frac{1}{\sqrt{1+(g_1'g_2')^2+(g_1g_2')^2}}(-g_1'g_2', -g_1g_2', 1) \quad (15)$$

olarak bulunur (Meng and Liu, 2009).

$F(u, v)$  yamasının ikinci mertebeden kısmi türevleri;

$$\begin{aligned} F_{uu} &= (0, 0, g_1''(u)g_2(v)), \\ F_{uv} &= (0, 0, g_1'(u)g_2'(v)), \end{aligned} \quad (16)$$

$$F_{vv} = (0, 0, g_1(u)g_2''(v))$$

dir (Meng ve Liu, 2009). (6), (15) ve (16) eşitlikleri yardımıyla ikinci temel formunun katsayıları;

$$\begin{aligned} l &= \frac{g_1''g_2}{W} \\ m &= \frac{g_1'g_2'}{W} \\ n &= \frac{g_1g_2''}{W} \end{aligned} \quad (17)$$

şeklinde hesaplanır (Meng ve Liu, 2009). Burada

$$W = \sqrt{1 + (g_1'g_2')^2 + (g_1g_2')^2} \text{ dir.}$$

**Teorem 1.** Çarpanlara ayrılabilir  $S$  yüzeyi, (12) parametrizasyonu ile verilsin. Buna göre bu yüzeyin Gauss ve ortalama eğrilikleri;

$$K = \frac{g_1g_1''g_2g_2'' - (g_1'g_2')^2}{W^4} \quad (18)$$

$$H = \frac{g_1g_2''(1+(g_1'g_2)^2) + g_1''g_2(1+(g_1g_2')^2) - 2g_1g_2(g_1'g_2')^2}{2W^3} \quad (19)$$

şeklinde ifade edilir (Meng ve Liu, 2009).

**Teorem 2.** Çarpanlara ayrılabilir  $S$  yüzeyi, (12) parametrizasyonu ile verilsin. Buna göre bu yüzeyin  $k_1$  ve  $k_2$  asli eğrilikleri

**İspat.** Çarpanlara ayrılabilir  $S$  yüzeyi, (12) parametrizasyonu ile verilsin. (18) ve (19) eşitliklerindeki  $S$  yüzeyinin Gauss ve ortalama eğrilikleri (9) eşitliklerinde yazılırsa istenilen sonuç elde edilir.

**Tanım 4.** Çarpanlara ayrılabilir  $S$  yüzeyi, (12) parametrizasyonu ile verilsin. Bu yüzeyinin  $S^*$  fokal yüzeyleri

$$F_{1,2}^*(u, v) = (u, v, g_1(u)g_2(v)) + \frac{k_{1,2}^{-1}(u,v)}{\sqrt{(g_1'g_2')^2 + (g_1g_2')^2 + 1}} (-g_1'g_2, -g_1g_2', 1) \quad (21)$$

parametrizasyonu ile verilir.

Böylece aşağıdaki durum incelenebilir.

**Durum:**  $g_1'(u) = 0$ , yani  $g_1(u) = c$  sabit fonksiyon olsun. Bu durumda  $S$  yüzeyinin asli eğrilikleri,

$$k_1 = \frac{cg_2''}{[(cg_2')^2 + 1]^{\frac{3}{2}}} \text{ ve } k_2 = 0 \quad (22)$$

şeklinde bulunur. Ayrıca  $S$  yüzeyinin birim normal vektör alanı

$$N(u,v) = \frac{(0, -cg_2', 1)}{[(cg_2')^2 + 1]^{\frac{1}{2}}} \quad (23)$$

bulunacağından  $S$  yüzeyinin  $k_1$  asli eğriliği yardımıyla üretilen  $S^*$  fokal yüzeyi (21) eşitliğinden

$$F_1^*(u, v) = \left( u, v - \frac{g_2'[(cg_2')^2 + 1]}{g_2''}, cg_2 + \frac{[(cg_2')^2 + 1]}{cg_2''} \right) \quad (24)$$

parametrizasyonu ile verilebilir. Böylece fokal yüzeyin teğet vektörleri (24) eşitliği yardımıyla

$$F_{1u}^* = (1, 0, 0) \quad (25)$$

$$F_{1v}^* = \left( 0, \frac{-3c^2(g_2')^2(g_2'')^2 + g_2'g_2''''[(cg_2')^2 + 1]}{(g_2'')^2}, \frac{3c^2g_2'(g_2'')^2 - g_2''''[(cg_2')^2 + 1]}{c(g_2'')^2} \right)$$

şeklinde elde edilir. Burada

$$\lambda_1 = \frac{-3c^2(g_2')^2(g_2'')^2 + g_2'g_2''''[(cg_2')^2 + 1]}{(g_2'')^2} \quad (26)$$

$$\lambda_2 = \frac{3c^2g_2'(g_2'')^2 - g_2''''[(cg_2')^2 + 1]}{c(g_2'')^2}$$

kısaltmaları yapılırsa  $S$  yüzeyinin  $S^*$  fokal yüzeyinin birinci temel form katsayıları (4), (25) ve (26) eşitlikleri yardımıyla

$$\begin{aligned} e^* &= 1, \\ f^* &= 0, \\ g^* &= \lambda_1^2 + \lambda_2^2 \end{aligned} \quad (27)$$

şeklinde hesaplanır.  $S$  yüzeyinin  $S^*$  fokal yüzeyinin birim normal vektör alanı

$$N^* = \frac{(0, -\lambda_2, \lambda_1)}{\sqrt{\lambda_1^2 + \lambda_2^2}} \quad (28)$$

şeklinde elde edilir. Ayrıca  $F_1^*(u, v)$  yamasının ikinci mertebeden kısmi türevleri

$$\begin{aligned} F_{1uu}^* &= (0, 0, 0) \\ F_{1uv}^* &= (0, 0, 0) \\ F_{1vv}^* &= (0, (\lambda_1)_v, (\lambda_2)_v) \end{aligned} \quad (29)$$

bulunur. Böylece  $S$  yüzeyinin  $S^*$  fokal yüzeyinin ikinci temel form katsayıları

$$\begin{aligned} l^* &= 0 \\ m^* &= 0 \\ n^* &= \frac{-(\lambda_1)_v\lambda_2 + (\lambda_2)_v\lambda_1}{W^*} \end{aligned} \quad (30)$$

şeklinde hesaplanır. Buna göre (7) ve (8) eşitlikleri yardımıyla  $S^*$  fokal yüzeyinin Gauss ve ortalama eğrilikleri, sırasıyla,

$$K^* = 0$$

ve

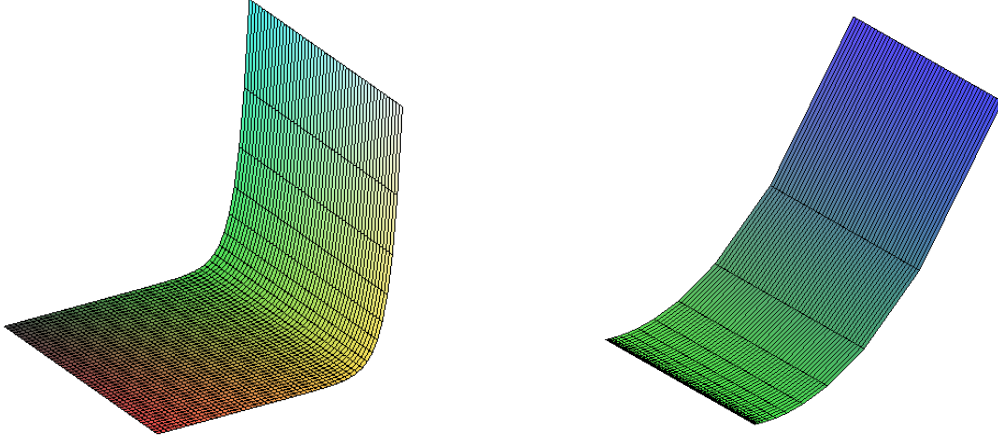
$$H^* = \frac{-(\lambda_1)_v\lambda_2 + (\lambda_2)_v\lambda_1}{2W^*(\lambda_1^2 + \lambda_2^2)}$$

şeklinde elde edilir.

**Teorem 3.** Çarpanlara ayrılabilir  $S$  yüzeyi ve bu yüzeyin  $S^*$  fokal yüzeyi sırasıyla (12) ve (24) parametrizasyonları ile verilsin. Eğer  $g_1'(u) = 0$ , yani  $g_1(u) = c$  sabit fonksiyon ise her iki yüzey de düz (flat) yüzeylerdir.

**İspat:** Eğer (12) parametrizasyonunda  $g_1(u) = c$  sabit fonksiyon olarak alınırsa (18) eşitliğinden  $S$  yüzeyinin Gauss eğriliği  $K = 0$  bulunur. Ayrıca (27) ve (30) eşitlikleri (7) eşitliğinde göz önüne alınırsa  $S$  yüzeyinin fokal yüzeyinin Gauss eğriliği  $K^* = 0$  bulunur. Bu da istenilen sonuçtur.

**Teorem 4.** Çarpanlara ayrılabilir  $S$  yüzeyinin  $S^*$  fokal yüzeyi (24) parametrizasyonu ile verilsin. Eğer  $g_1'(u) = 0$ , yani  $g_1(u) = c$  sabit fonksiyon ise  $S^*$  fokal yüzeyinin ortalama eğriliği

Şekil 2. Çarpanlara ayrılabilir  $S$  yüzeyi ve bu yüzeyin  $S^*$  fokal yüzeyi

$$H^* = \frac{-(\lambda_1)_v \lambda_2 + (\lambda_2)_v \lambda_1}{2W^*(\lambda_1^2 + \lambda_2^2)} \quad (31)$$

şeklinde elde edilir.

**İspat.** Çarpanlara ayrılabilir  $S$  yüzeyinin  $S^*$  fokal yüzeyi (24) parametrizasyonu ile verilsin. Eğer  $g_1'(u) = 0$ , yani  $g_1(u) = c$  sabit fonksiyon ise (27) ve (30) eşitlikleri (8) eşitliğinde ele alınırsa istenilen sonuç elde edilir.

**Sonuç 1.** Çarpanlara ayrılabilir  $S$  yüzeyinin  $S^*$  fokal yüzeyi (24) parametrizasyonu ile verilsin. Eğer  $g_1'(u) = 0$ , yani  $g_1(u) = c$  sabit fonksiyon olmak üzere  $S^*$  fokal yüzeyinin minimal olması için gerek ve yeter koşul  $\lambda_1$  fonksiyonu  $\lambda_2$  fonksiyonunun katı olmasıdır.

**İspat.** Çarpanlara ayrılabilir  $S$  yüzeyinin  $S^*$  fokal yüzeyi (24) parametrizasyonu ile verilsin. Eğer  $g_1'(u) = 0$ , yani  $g_1(u) = c$  sabit fonksiyon alınınsın.  $S^*$  fokal yüzeyi minimal ise (31) eşitliğinden

$$-(\lambda_1)_v \lambda_2 + (\lambda_2)_v \lambda_1 = 0$$

diferansiyel denklemi elde edilir. Bu denklemin çözümünden  $\lambda_1 = c\lambda_2$  bulunur. Burada  $c$  sayısı integral sabitidir. Tersine  $\lambda_1 = c\lambda_2$  alınırsa bu denklem yardımıyla  $-(\lambda_1)_v \lambda_2 + (\lambda_2)_v \lambda_1 = 0$  bulunur. Yani  $S^*$  fokal yüzeyi minimaldir.

**Örnek 1:**  $g_1(u) = 2$  ve  $g_2(v) = e^v$  fonksiyonlarını ele alalım. Buna göre (12) eşitliği yardımıyla

çarpanlara ayrılabilir  $S$  yüzeyinin parametrizasyonu

$$F(u, v) = (u, v, 2e^v)$$

şeklinde elde edilir. (22) eşitliği yardımıyla  $S$  yüzeyinin 1. asli eğriliği  $k_1 = \frac{2e^v}{(4e^{2v}+1)^{\frac{3}{2}}}$  olarak yazılabilir. Böylece  $S$  yüzeyinin  $S^*$  fokal yüzeyi

$$F_1^*(u, v) = \left( u, v - 4e^{2v} - 1, \frac{8e^{2v}+1}{2e^v} \right)$$

parametrizasyonu ile verilir. Bu yüzeylerin grafikleri Şekil 2'de verilmiştir.

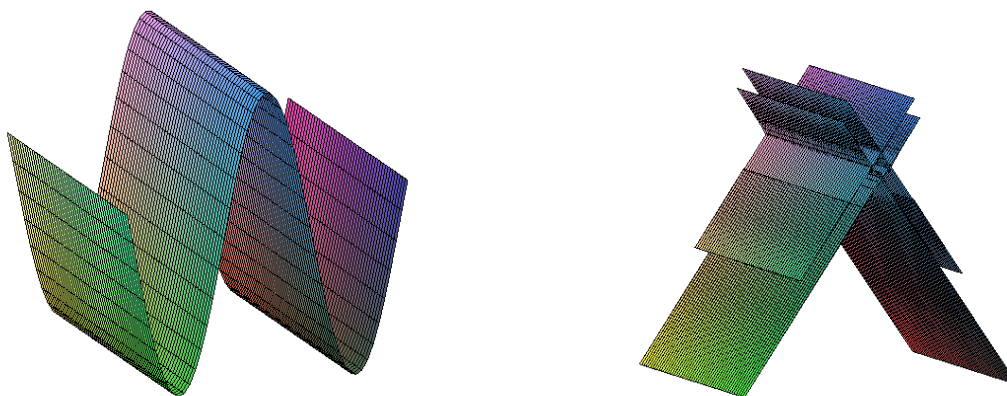
**Örnek 2:**  $g_1(u) = 1$  ve  $g_2(v) = \cos v$  fonksiyonlarını ele alalım. Buna göre (12) eşitliği yardımıyla çarpanlara ayrılabilir  $S$  yüzeyinin parametrizasyonu

$$F(u, v) = (u, v, \cos v)$$

şeklinde elde edilir. (22) eşitliği yardımıyla  $S$  yüzeyinin 1. asli eğriliği  $k_1 = -\frac{\cos v}{(\sin^2 v + 1)^{\frac{3}{2}}}$  olarak yazılabilir. Böylece  $S$  yüzeyinin  $S^*$  fokal yüzeyi

$$F_1^*(u, v) = \left( u, v - \frac{\sin^3 v + \sin v}{\cos v}, \frac{\cos^2 v - \sin^2 v - 1}{\cos v} \right)$$

parametrizasyonu ile verilir. Bu yüzeylerin grafikleri Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Çarpanlara ayrılabilir  $S$  yüzeyi ve bu yüzeyin  $S^*$  fokal yüzeyi

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada 3-boyutlu Öklid uzayında çarpanlara ayrılabilir yüzeyin fokal yüzeyi ele alınmıştır. Fokal yüzeyin asli eğrilikleri elde edilerek fokal yüzey parametrisasyonu oluşturulmuştur. Bazı özel durumlar için bu yüzeyin Gauss ve ortalama eğrilikleri hesaplanmıştır. Fokal yüzeyin düz (flat) olduğu gösterilmiştir ve minimal olma koşulu verilmiştir. Örnekler yardımıyla yüzeylerin yapıları görselleştirilmiştir.

#### Teşekkür ve Bilgilendirme

Bu çalışma Hakan Aydın'ın Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir ve İzmir Demokrasi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından ID:HIZDEP-FEF/2402 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

#### KAYNAKÇA

- Alfred, G. (1998) *Modern Differential Geometry of Curves and Surfaces with Mathematica*, Dover Publications.
- Aydın, M. E., Ogrenmiş, A. O. (2017). Linear Weingarten Factorable Surfaces in Isotropic Spaces, *Stud. Univ. Babeş-Bolyai Mathematica*, 62(2), 261-268.
- Büyükkütük, S. (2018). *Çarpanlara Ayrılabilir Yüzeylerin Bir Karakterizasyonu*, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi.
- Büyükkütük, S., Öztürk, G. (2018). A Characterization of Factorable Surfaces in Euclidean 4-Space  $E^4$ , *Kocaeli Journal of Science and Engineering*, vol. 1, no. 1, pp. 15–20.

Büyükkütük, S., Öztürk, G. (2019). An Application of Factorable Surface in Euclidean 4-space  $E^4$ , *TWMS J. of Apl. Eng. Math*, vol. 9, no. 1, pp. 121–127.

Büyükkütük, S., Kişi, İ., Öztürk, G. (2024) *A Classification of Focal Surfaces of a Tube Surface in  $E^3$* , *Mathematical Analysis for Engineering and Applied Sciences*, Taylor & Francis Book.

Büyükkütük, S., Kişi, İ., Öztürk, G. (2024) Focal Surfaces of the Translation Surface in Euclidean Space  $E^3$ . *Authorea*. August 26.

Hagen, H., Pottmann, H. and Divivier, A. (1991). Visualization functions on a surface, *Journal of Visualization and Animation*, 2, 52-58.

Hagen, H., Hahmann, S. (1992). Generalized focal surfaces, A New method for surface interrogation, *Proceedings Visualization'92*, Boston, 70-76.

Lopez, R., Moruz, M. (2015). Translation and Homothetical Surfaces in Euclidean Surfaces with Constant Curvature, *J. Korean Math. Soc.*, 52(3), 523-535.

Meng, H., Liu, H. (2009). Factorable Surfaces In 3-Minkowski Space, *Bull Korean Math. Soc.*, 46(1), 155-169.

O'Neill, B. (1966). *Elementary Differential Geometry*, Academic Press.

Özdemir, B., Arslan, K. (2008) On generalized focal surfaces in  $IE^3$ , *Rev. Bull. Calcutta Math. Soc.* 16, 23-32.

- Petrusevski, L., Petrovic, M., Devetakovic, M. and Ivanovic, J. (2017). Modelling of focal-directional surfaces for application in architecture, *FME Transactions*, 45, 294-300.
- Petrovic, M. (2016). *Generating the focal directorial geometric forms as a designing pattern of the architectural-urban space* (in Serbian), Doctoral dissertation, University of Belgrade, Faculty of Architecture.
- Van de Woestyne, I. (1993a). A New Characterization of Helicoids, *Geometry and Topology of Submanifolds V*, World Sci. Publ. River Edge, NJ.
- Van de Woestyne, I. (1993b). Minimal homothetical hypersurfaces of a Semi-Euclidean space, *Results in Mathematics*, 27(3), 333-342.
- Yu, Y., Liu, H. (2007). The factorable minimal surfaces, *Proceedings of the Eleventh International Workshop on Differential Geometry*, 11, 33-39.





# EPDM Kauçuğun Mekanik ve Yanma Özelliklerine Alüminyum Trihidroksitin Etkisinin İncelenmesi

Melisa İŞİN<sup>1,\*</sup> , İlker KÖPRÜ<sup>1</sup> , Salih Hakan YETGİN<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Seçil Kauçuk San ve Tic. A.Ş. Tarsus, Mersin, Türkiye

<sup>2</sup> Tarsus Üniversitesi. Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Tarsus, Mersin, Türkiye

## MAKALE BİLGİSİ

Makale Gönderim 31/10/2024  
Revizyon 25/11/2024  
Kabul 28/11/2024

### Anahtar Sözcükler:

EPDM  
Alüminyum trihidroksit  
Mekanik özellikler  
Yanma özelliği  
Limit oksijen indeksi

## ÖZET

Bu çalışmada farklı oranlarda alüminyum trihidroksit ( $Al(OH)_3$ ) yanmaz katkı ilaveli EPDM kauçukların reolojik, mekanik, UL94 yanmazlık ve limit oksijen indeksi (LOI) özelliklerine  $Al(OH)_3$  katkısının etkisi incelenmiştir. EPDM kauçuğuna  $Al(OH)_3$  ağırlıkça %10, 30, 50 oranlarında ilave edilmiştir. Laboratuvar tipi banbury kullanılarak  $Al(OH)_3$  katkılı EPDM kauçukları hazırlanmış, preste vulkanize edilmiş ve test plakaları elde edilmiştir.  $Al(OH)_3$  miktarının artması ile minimum tork (ML) ve maksimum tork (MH) artmıştır. EPDM kauçuğun 66 Shore A olan sertlik değeri  $Al(OH)_3$  ilavesi ile 87 Shore A elde edilmiştir. Çekme mukavemeti ve kopma uzaması azalırken kalıcı deformasyon ve abrasif aşınma miktarı artmıştır. EPDM kauçuğuna ilave edilen 25phr oranındaki  $Al(OH)_3$  yatay yanma hızını azaltmıştır. EPDM kauçuğunun %22.3 olan LOI değeri  $Al(OH)_3$  ilavesi ile %37.4 elde edilmiştir.

## 1. GİRİŞ

Polimerler günlük yaşamımızda kullandığımız ürünlerin temel maddesini oluşturmaktadır. Kauçuklar, polimer sınıfında göstermiş oldukları molekül dizilişleri ve davranışlarından dolayı elastomer grubunda yer almaktadır. EPDM (etilen propilen dien monomer), vulkanizasyon için çapraz bağlama yerleri sağlayan etilen, propilen ve az miktarda bir dien monomerlerini içeren kopolimer olmakla birlikte moleküler yapısı ile de karakterize edilebilen sentetik bir kauçuktur. EPDM, -40 °C ila 120 °C arasında bir çalışma sıcaklığı aralığı ile üstün esneklik ve dayanıklılık sergiler. Polar çözücülere, asitlere ve bazlara karşı kimyasal direnci, kullanımını daha da artırır. Ek olarak, EPDM kauçuğunun yaşlanmaya ve ozon bozulmasına karşı doğal direnci ve UV stabilitesi otomotivden inşaatı kadar değişen farklı uygulama alanlarında çok yönlülüğü ile ve bu alanlardaki uygulamaları için ideal bir aday olmasını

sağlamaktadır (Ibarra vd.; 2005).

Bir kauçuk polimeri tek başına ticari değeri kısıtlı olan yetersiz özelliklere sahiptir. Özelliklerini iyileştirmek ve ticari olarak kullanışlı hale getirmek için kauçuk çeşitli katkı malzemeleri ile birleştirilmelidir. Sentezi ve potansiyeli yüksek modifikasyonları ile ilgili devam eden araştırmalar, kusursuz kullanım uygulanabilirliği sağlanabilir (Tang vd., 2013; Zhao vd., 2021). Karbon bazlı kauçuğun bir dezavantajı, kolayca yanması, hızlı yangın yayılımına ve yüksek miktarda yoğun duman emisyonuna neden olmasıdır. Alev geciktirici dolgu maddeleri, alev oluşumunu önlemek, bastırmak veya geciktirmek için üretim sırasında polimer ve kauçuk malzemelere yaygın olarak eklenir.

Katkı tipi alev geciktiricideki alev geciktiriciler, magnezyum hidroksit, alüminyum hidroksit, amonyum polifosfat ve benzeri gibi organik ve



inorganik alev geciktiriciler içerir. Halojen içeren alev geciktiricilerin kullanımı, çeşitli malzemelerdeki yanıcılığı azaltma özellikleriyle yaygın olarak kullanılmıştır fakat bununla birlikte, bu katkı maddelerinin yanması önemli miktarda duman ve zehirli gaz üretmektedir (Wan vd., 2020; Khattab vd., 2016), bu nedenle yangın güvenliği ve çevresel etki ile ilgili endişelerin artmasına sebebiyet vermiştir. Sonuç olarak, halojenli bileşiklerin ilişkili tehlikeleri olmadan yangına dayanıklılık sağlamayı amaçlayan aynı zamanda yeşil çevre dostu olan halojensiz alev geciktiricilere yönelik araştırmalar yaygınlaşmaya başlamıştır (Levchik ve Weil, 2008; Weil ve Levchik, 2009; Wan vd., 2020).

Alüminyum trihidroksit (ATH), aynı zamanda bir duman baskılayıcı olan iyi bilinen bir alev geciktiricidir. ATH'nin diğer benzer yanmaz katkılara göre en büyük avantajları, düşük maliyeti ve düşük toksisitesidir, toksik veya aşındırıcı maddeler gelişmez ve diğer alev geciktiricilerle birlikte kullanılabilirler (Balachandran Nair vd., 2012). Alüminyum trihidroksit (ATH), yanma sırasında hem yoğunlaştırılmış hem de gaz fazlarında çalışan çoklu mekanizmalar yoluyla etkili bir halojensiz alev geciktirici olarak işlev görmektedir. Yakıtın değiştirilmesi, suyun serbest bırakılması ve koruyucu bir tabaka oluşturulması ile ATH, duman ve zehirli gazların üretimini en aza indirirken malzemelerin yangına dayanıklılığını artırmaktadır. Bu, onu daha güvenli, halojensiz alev geciktirici sistemlerin geliştirilmesinde değerli bir seçenek haline getirmektedir (Zirnstein vd., 2018; Hull vd., 2011; Di vd., 2023). Yeterli bir alev geciktirici etkisi elde etmek için, ATH gibi mineral dolgu maddeleri, genellikle %40–70 olan yüksek yüklemelerde kullanılmalıdır. Bu yüksek yüklemeler genellikle kauçuk bileşiklerinin fiziksel ve mekanik özelliklerini bozmaktadır (Hornsby, 2001). Farklı kauçuklar/termoplastiklerde ATH ilavesinin alev geciktiricilik, mekanik ve reolojik özelliklere etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışmalarda bu malzemelerin dayanım, rijitlik, esneklik, yoğunluk ve yanıcılık gibi

özelliklerine ATH miktarının ve ATH toz boyutunun etkisi olduğu belirtilmiştir (Natinee vd., 2019; Canaud vd., 2001; Zhang vd., 2005). Canaud ve arkadaşları (Canaud vd., 2001), karbon siyahı dolgu etilen-propilen-dien monomer kauçuğunun (EDPM) yangın geciktirici özelliklerini incelemişlerdir. 160/15 ve 170/7 phr/phr ATH/karbon siyahı içeren EDPM bileşiklerinin düşük ve orta gerilim altında tel ve kablolarda kullanılmaya en uygun malzeme olduğu belirtilmiştir. Zhang ve arkadaşları (Zhang vd., 2005), etilen-vinil asetat (EVA) artan ATH (ağırlıkça %20-%60) ilavesinin modülü, çekme mukavemetini ve kopma uzamasını azalttığını, ancak termal ve alev geciktirici özellikleri önemli ölçüde artırdığını belirtmişlerdir.

EPDM kauçuğunun avantajlarının yanında en önemli dezavantajı son derece yanıcı bir kauçuk olmasıdır. Bu durum EPDM kauçuğunun farklı sektörlerde kullanımını sınırlamaktadır. Bu çalışmada, EPDM kauçuğunun yanma direncini artırmak için ağırlıkça %10-30-50 oranlarında alüminyum trihidroksit (ATH) ilave edilmiş ve üretilen EPDMATH kauçukların reolojik, mekanik ve yanmazlık özelliklerine alüminyum trihidroksit (ATH) etkisi değerlendirilmiştir. Bu amaçla EPDM/ATH kauçuklarına reoloji ve viskozite testleri yanında çekme testi, kalıcı deformasyon testi, aşınma testi yapılmıştır. Ayrıca, EPDM/ATH kauçukların UL94 yanmazlık ve LOI özellikleri belirlenmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Materyal

Bu çalışmada, matris malzemesi olarak yağla genişletilmiş ticari bir EPDM kauçuğu (Keltan 8550), vulkanizasyon işlemi için ise yine ticari olarak piyasada kullanılan kükürt kullanılmıştır. Katkı malzemesi olarak 2.3 g/cm<sup>3</sup> yoğunluğa sahip OMYA Madencilik San. Ve Tic. A.Ş. (Kocaeli, Türkiye) şirketinden temin edilen alüminyum trihidroksit (Al(OH)<sub>3</sub>) kullanılmıştır. Çizelge 1'de EPDM ve EPDM/ATH kompozitlerin üretiminde kullanılan oranlar phr cinsinden verilmiştir.

**Çizelge 1.** EPDM ve EPDM/ATH kompozitlerin formülasyonu.

	EPDM	10ATH	30ATH	50ATH
EPDM	100	100	100	100
Karbon siyahı	50	50	50	50
Beyaz dolgu	20	20	20	20
Yağ	15	15	15	15
Çinko oksit	5	5	5	5
Stearik asit	1	1	1	1
Sülfür	1	1	1	1
MBT	0.5	0.5	0.5	0.5
TMTD	1	1	1	1
ATH	0	25	85	200
Sertlik	66	69	78	87
Yoğunluk	1.11	1.18	1.33	1.51

## 2.2. Metot

### Üretim Aşamaları ve Karakterizasyon

ATH katkılı EPDM kompozitleri 1.5 lt'lik laboratuvar tipi mini banbury ile hamur haline getirilmiştir. Üretilen numunelerin reometre testleri Alpha MDR 2000 marka reometre cihazında ASTM D 5289 standardına uygun olarak 200 oC ve 5 dakikada yapılmıştır. Deney plakaları 180 °C sıcaklıkta 20 dakika preste vulkanize edilerek elde edilmiştir. Çekme testleri, ASTM D638 standardına uygun olarak hazırlanmıştır. Testler, Zwick marka Z020 model bir çekme test cihazında 200 mm/dakika çekme hızında gerçekleştirilmiştir. Her bir çekme test numunesi en az 5 ölçüm yapılmış ve ortalaması alınmıştır. Kalıcı deformasyon testleri DIN 53517 standardına göre 100 °C'de 22 saat ve %25 oranında sıkıştırma ile yapılmıştır. Sertlik testleri DIN 53505 standardına uygun olarak yapılmış sertlikler Shore A cinsinden ölçülmüştür. Yoğunluk testleri ISO 1183 standardı kullanılarak Arşimet prensibine göre yapılmıştır. EPDM ve ATH katkılı EPDM kauçukların aşınma testleri DIN ISO 4649 (DIN 53516) standardına göre 7.5 N yük ve 200 mm kayma yolu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yatay yanmazlık testleri, DIN 4102-2 (UL94/ISO 3795) standartlarına göre Fire Testing Technology-FTT-01 test cihazında gerçekleştirilmiştir. Limit oksijen indeksi (LOI) testi, bir oksijen indeksi ölçer (Concept Equipment, Birleşik Krallık) EN ISO 4589-2 standardına göre 112×6.5×3 mm<sup>3</sup> ölçülerindeki

numuneler ile yapılmıştır. Farklı oksijen konsantrasyonlarında numunelerin incelenmesiyle sınırlayıcı oksijen indeksi (LOI) belirlenmiştir. Şekil 1'de deneysel çalışmalarda kullanılan cihazların resimleri verilmiştir.

## 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Hazırlanan EPDM kauçuğu ile ATH katkılı EPDM kompozitlerin minimum ve maksimum tork (ML ve MH), ön pişme süresi ( $t_{s2}$ ) ve optimum pişme süresi ( $t_{90}$ ) değerleri gibi önemli reolojik parametreleri içeren reometre testi sonuçları Şekil 2a ve Şekil 2b'de gösterilmiştir. Kauçuk hamurların viskozitesi ile orantılı olan ML değerleri ATH ilavesi ile önemli oranda artmıştır. Yanmazlık özelliği sağlayan ATH gibi kimyasallar, aynı zamanda dolgu maddeleri de olduğundan dolayı viskozite yani ML değerlerinin artışının normal olduğu düşünülmektedir. EPDM kauçuğuna ilave edilen 200 phr oranındaki ATH dolgusu ML değerini %320 oranında artırmıştır. MH değerlerinde de artan ATH dolgusu ile %90 oranında bir artış gözlenmiştir. EPDM kauçuğuna göre daha rijit bir katkının ilave edilmesi sertlik değerlerini artırmış (Çizelge 1) ve MH değerleri artmıştır. Ön pişme süresi ( $t_{s2}$ ) değerlerinde ise bir azalma söz konusudur. EPDM kauçuğuna ilave edilen ATH dolgusu vulkanizasyon başlangıç süresini yani ön pişme süresini azaltmıştır. 200 phr oranında ATH ilavesi ile ön pişme süresi %43 oranında azalmıştır.



1.5 lt'lik banbury



Reoloji test cihazı



Pres



Çekme test cihazı



Aşınma test cihazı



Sertlik testi

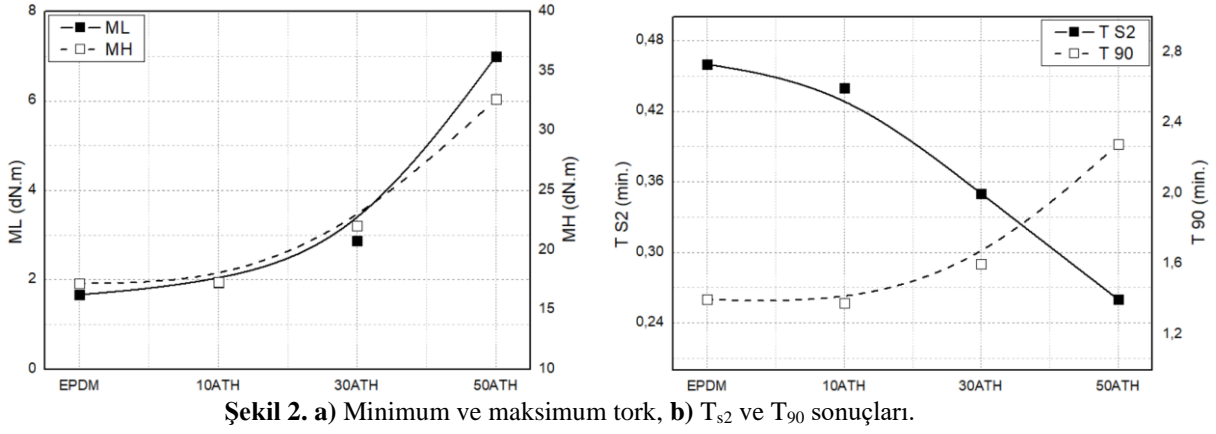


Kalıcı deformasyon testi



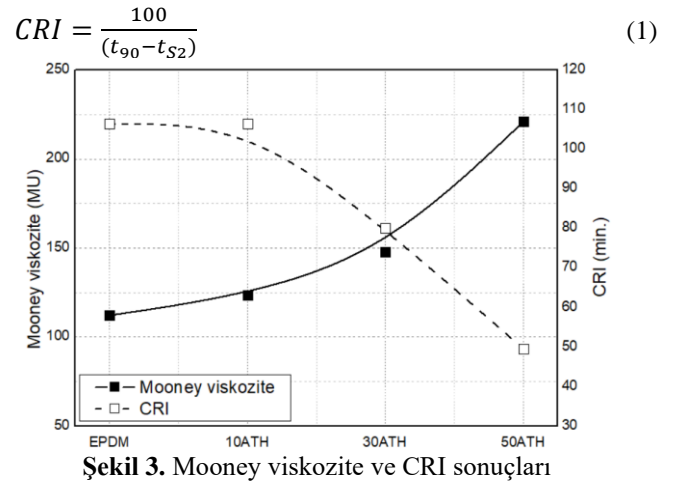
Deney numuneleri

Şekil 1. Deneysel çalışmalarda kullanılan cihazlar

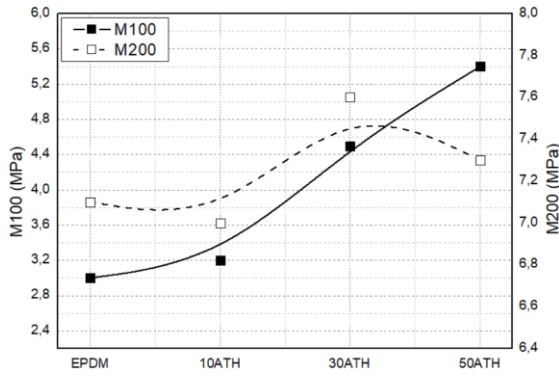


Optimum pişme süreleri ( $t_{90}$ ) ise ATH ilavesi ile artmıştır. EPDM kauçuğun 1.4 dak. olan optimum pişme süresi 25, 85 ve 200 phr oranlarında ATH ilavesi ile 1.38, 1.6 ve 2.28 dak. elde edilmiştir. 50ATH kompoziti, EPDM kauçuğuna göre optimum pişme süresini %62 oranında artırmıştır. Çizelge 1'deki yoğunluk değerleri incelendiğinde EPDM kauçuğuna ilave edilen farklı oranlardaki ATH dolgusu ile yoğunluk değerleri artmıştır. Bu artış, ATH yoğunluğunun  $2.23 \text{ g/cm}^3$  olmasından kaynaklanmaktadır. Ancak bu artış gerek üretim prosesini gerekse kaliteyi etkileyecek düzeyde değildir.

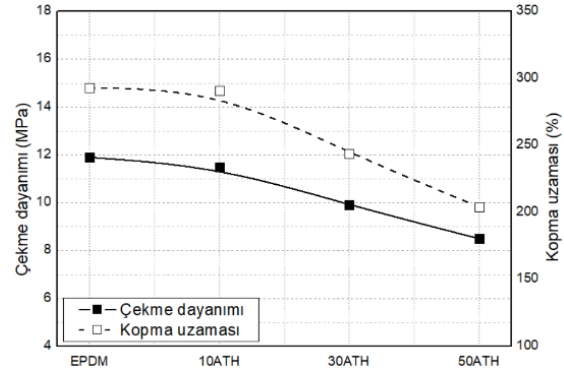
Şekil 3'te EPDM kauçuğu ile EPDM/ATH kompozitlerin akmaya karşı direncini ifade eden Mooney viskozite değeri ile kür indeksi/kür oranı indeksi olarak ifade edilen CRI sonuçları verilmiştir. EPDM kauçuğunun Mooney viskozite değeri 112 MU iken 10ATH, 30ATH ve 50ATH kompozitleri için Mooney viskozite değerleri önemli oranda artmış ve sırasıyla 123.6, 148 ve 221 MU elde edilmiştir. Artan ATH miktarına bağlı olarak Mooney viskozite değerleri 10.1, 31.9 ve 96.9 oranlarında artmıştır. Polimer ve dolgu maddesi arasındaki güçlü etkileşim polimer zincirinin hareketliliğini yavaşlatmış ve dolayısıyla yüksek oranlarda ilave edilen ATH dolgusu EPDM kauçuklarının viskozitesini önemli ölçüde artırmıştır. Eşitlik 1'de kürlenme endeksi, yani kürlenme oranı endeksini (CRI) tanımlayan (Surya ve Khosman, 2020; Surya vd., 2018) ve  $t_{90}$  ile  $t_{S2}$  arasındaki farkı gösteren CRI sonuçları değerlendirildiğinde, EPDM kauçuğuna ilave edilen ATH dolgusu CRI değerlerini azaltmıştır. 50ATH kompoziti için CRI değerindeki azalma %53.4 oranında elde edilmiştir.



Şekil 4a ve Şekil 4b'de EPDM kauçuğu ile EPDM/ATH kompozitlerin çekme testi sonrası elde edilen M100 ve M200 elastiklik modülü ile çekme mukavemeti ve kopma uzaması sonuçları verilmiştir. %100 uzamadaki gerilim ile %200 uzamadaki gerilimi ifade eden M100 ve M200 değerleri, farklı oranlarda ATH ilavesi ile artmıştır. EPDM kauçuğu ile karşılaştırıldığında 50ATH kompozitin M100 çekme modülü %80 oranında artarak 5.4 MPa değerine ulaşmıştır. Bununla birlikte 50ATH kompozitin M200 çekme modülü ise %3 oranında artmış ve 7.3 MPa değerine ulaşmıştır. İnorganik dolgu maddelerinin polimer/kauçuk sistemlerine ilave edilmesi, dolgu maddesinin daha yüksek rijitliğe sahip olmasından dolayı elastiklik modülünde bir artışa sebep olmaktadır (Fu vd., 2008). ATH ilaveli EPDM kompozitlerin çekme mukavemetleri ile kopma uzaması sonuçları değerlendirildiğinde, 10ATH kompozitin çekme mukavemeti %3.3 kopma uzaması %0.6 oranında, 30ATH kompozitin çekme mukavemeti %16.8 kopma uzaması %16.7 oranında ve 50ATH kompozitin çekme mukavemeti %28.5 kopma uzaması %30.3 oranında azalmıştır. Yanmaz katkı olarak kullanılan ATH kimyasalının yüksek oranlarda kullanılması nedeniyle dolgu ile kauçuk



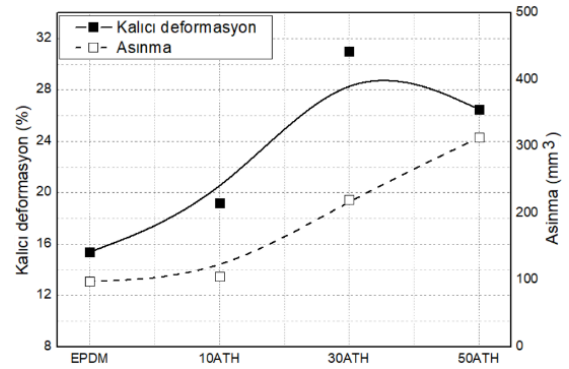
Şekil 4.a) M100 ve M200 ile b) çekme mukavemeti ve kopma uzaması sonuçları.



arasındaki etkileşimin azalması topaklanmaya sebep olmuş olabilir (Ekwueme ve Igwe, 2018). ATH katkısı, topaklanma nedeniyle kauçuktan gelen gerilmeleri düzgün bir şekilde iletememiş ve çekme mukavemeti azalmıştır. Partikül boyutunun yüksek olması polimer-katkı etkileşimi yerine katkı-katkı etkileşimini desteklemiş ve bu durum topaklanma mekanizmasının hızlanmasına ve dolayısıyla mekanik özelliklerin azalmasına neden olmuştur (Maiti vd., 2016). EPDM kauçuğuna ilave edilen ATH dolgusu, kauçuk zincirlerinin hareketini kısıtlamış, daha sert (Çizelge 1) ve daha rijit (Şekil 4.a) EPDM kauçukların elde edilmesine yol açmıştır. EPDM kauçuğuna ilave edilen ATH dolgusu rijitliği artırırken sünekliliği azaltmıştır. Bu durum ATH dolgu ilavesi ile artan çapraz bağ yoğunluğu ile de ilişkili olabileceği göstermektedir. EPDM ve EPDM/ATH kompozitlerin reometre testleri sonrası elde edilen tork artış oranı ( $\Delta M = M_H - M_L$ ) sonuçları desteklemektedir. EPDM kauçuğuna ilave edilen ATH dolgusunun topaklanması ve dolayısıyla gerilim yığılmaları matrisin erken deforme olmasına ve kopma uzamasının azalmasına sebep olmuş olabilir.

EPDM kauçuğuna ilave edilen ATH yanmazlık dolgusunun kalıcı deformasyon ve abrasif aşınma miktarı üzerindeki etkisini belirlemek için yapılan kalıcı deformasyon ve aşınma testi sonuçları Şekil 5'te verilmiştir. EPDM kauçuğuna ilave edilen ATH dolgusu ile kalıcı deformasyon değerlerinin arttığı gözlenmiştir. EPDM kauçuğu ile karşılaştırıldığında, bu artış 200 phr ATH ilavesinde %72.3 oranında elde edilmiştir. Abrasif aşınma sonuçları değerlendirildiğinde ise EPDM kauçuğuna ilave edilen ATH dolgusu aşınma miktarını önemli oranda artırmıştır. Bu artış, 10ATH, 30ATH ve 50ATH kompozitleri için sırasıyla %8.1, %125.0 ve %219.8 oranlarında elde edilmiştir. Daha düşük aşınma kaybı





daha iyi aşınma direncini göstermektedir. En düşük aşınma miktarı EPDM kauçuğunda elde edilmiştir.



Şekil 5. Kalıcı deformasyon ve abrasif aşınma sonuçları

EPDM ve EPDM/ATH kompozitlerin yatay yanma testi ve LOI testi sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir. Yatay yanma testinde numuneleri tutuşturmak için 15 sn. boyunca alev uygulanarak tutuşma sağlanmıştır. EPDM kauçuğu ve farklı oranlarda ATH ilaveli EPDM kompozitlerin yanma testi görüntüleri Çizelge 2'de verilmiştir. EPDM kauçuğunun yanma hızı ortalama 6.8 mm/dak. iken 10ATH kompozitinin yanma hızı ortalama 2.7 mm/dak. elde edilmiştir. EPDM kauçuğuna ilave edilen 25phr oranındaki ATH yatay yanma hızını %60 oranında azaltmıştır. 30ATH ve 50ATH kompozitlerinin yatay yanma testlerinde alev ile tutuşma gerçekleşmiş ancak alev ilerlemesi gerçekleşmemiştir. Benzer sonuçlar Benjamin ve arkadaşları (Benjamin, vd., 2019) tarafından yapılan amonyum polifosfat (APP), alüminyum trihidroksit (ATH) ve polianilin (PANI) ilaveli etilen propilen dien monomer (EPDM) kauçuğunda elde edilmiştir. LOI testi sonuçları değerlendirildiğinde, EPDM kauçuğunun %22.3 olan LOI değeri ATH ilavesi ile gelişmiş ve katkı oranına bağlı olarak %23.9-%37.4 arasında elde edilmiştir. 10ATH, 30ATH ve 50ATH kompozitlerin LOI değerleri katkısız EPDM kauçuğu ile karşılaştırıldığında sırasıyla %7.17, %27.8 ve %67.7 oranlarında geliştirmiştir. ATH, ısıya maruz kaldığında su buharı ve alüminyum oksit

**Çizelge 2.** EPDM ve EPDM/ATH kompozitlerin yatay yanma hızı ve LOI değerleri

	EPDM	10ATH	30ATH	50ATH
				
Yatay yanma hızı, mm/dak	6.8	2.7	-	-
LOI değerleri, %	22.3	23.9	28.5	37.4

oluşmaktadır. Bu işlem yanma reaksiyonlarını kontrol altında tutmakta, alev sınırlamakta ve yayılmayı önlemektedir. Dayang ve arkadaşları da (Dayang vd., 2015) yaptıkları çalışmada yangın geciktirici mekanizmaların endotermik olarak ayrışma, su salınımı ve  $Al_2O_3$  gibi oksit kalıntısı oluşumunun bir kombinasyonunu içeren yoğunlaştırılmış faz etkisinden kaynaklandığını belirtmişlerdir. ATH'nin daha yüksek özgül yüzey alanının polimer bileşiklerinde daha iyi alev geciktiricilik ile birlikte olduğu bildirilmiştir.

#### 4. SONUÇ

$Al(OH)_3$  ilave edilmiş EPDM kauçukların özelliklerinin incelendiği çalışma sonucunda;

1. Reoloji testi sonuçları değerlendirildiğinde  $Al(OH)_3$  miktarına bağlı olarak minimum tork (ML) ve maksimum tork (MH) değerleri artmıştır.
2.  $Al(OH)_3$  ilavesi ile EPDM/ATH kompozitlerin çekme mukavemeti ve kopma uzaması azalırken çekme modülü artmıştır.
3.  $Al(OH)_3$  miktarına bağlı olarak kalıcı deformasyon ve aşınma miktarı artmıştır.
4. EPDM kauçuğuna ilave edilen 25phr oranındaki  $Al(OH)_3$  yatay yanma hızını %60 oranında azaltmıştır.
5. EPDM kauçuğunun %22.3 olan LOI değeri 50 phr  $Al(OH)_3$  ilavesi ile %37.4 elde edilmiştir.

#### KAYNAKÇA

Balachandran Nair, A., Kurian, P. and Joseph, R. (2012). Effect of aluminium hydroxide, chlorinated polyethylene, decabromo biphenyl oxide and expanded graphite on thermal, mechanical and

sorption properties of oil-extended ethylene-propylene-diene terpolymer rubber. *Materials & Design*, 40, 80–89.

doi: 10.1016/j.matdes.2012.03.032

Benjamin, Z., Dietmar, S. and Bernhard, S. (2019). Mechanical and fire properties of multicomponent flame retardant EPDM rubbers using aluminum trihydroxide, ammonium polyphosphate, and polyaniline. *Materials*, 12, 1932. doi:10.3390/ma12121932

Canaud, C., Visconte, L.L.Y. and Nunes, R.C.R. (2001). Mechanical and flammability properties of ATH-filled EPDM compositions. *Macromolecular Materials and Engineering*. 286, 377-381.

Di, Z., Zheng, W., Yue, Y., Jingjing, L., Chunqing, H., Ning, Q., Xiangyang, P., Zhen, H. and Pengfei, F. (2023). Effect of aluminum hydroxide (ATH) content on free volumes and water barrier property of silicone rubber. *4th Japan-China Joint Workshop on Positron Science (JWPS2019) JJAP Conf. Proc.*, 011203.

Ekwueme, C C. and Igwe, I.O. (2018). Cure characteristics and mechanical properties of pineapple leaf fibre filled natural rubber, *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 6, 601-617. doi: 10.4236/jmmce.2018.66043.

Fu, S.Y., Feng, X.Q., Lauke, B. and Mai, Y.W. (2008). Effects of particle size, particle/matrix interface adhesion and particle loading on mechanical properties of particulate-polymer composites. *Composites Part B*, 39(6), 933–961. doi:10.1016/j.compositesb.2008.01.002

Hull, T.R., Witkowski, A. and Hollingbery, L. (2011). Fire retardant action of mineral fillers. *Polymer Degradation and Stability*, 96(8), 1462–1469. doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2011.05.006

- Hornsby, P.R. (2001). Fire retardant fillers for polymers. *International Materials Reviews*, 46(4), 199–210. doi: 10.1179/095066001771048763
- Ibarra, L., Posadas, P. and Esteban-Martínez, M. (2005). A comparative study of the effect of some paraffinic oils on rheological and dynamic properties and behavior at low temperature in EPDM rubber compounds. *Journal of Applied Polymer Science*, 97(5), 1825–1834. doi:10.1002/app.21954
- Khatab, M.A., Feteha A.H.F., Sadik, W.A. and Abdel-Bary, E.M. (2016). Effect of aluminium trihydrate as flame retardant on properties of a thermoplastic rubber nanocomposite. *Fire and Materials*, 41(6), 688-699. doi: 10.1002/fam.2411
- Levchik, S.V. and Weil, E.D. (2008). Developments in phosphorus flame retardants. *Advances in Fire Retardant Materials*, 41–66. doi: 10.1533/9781845694701.1.41
- Maiti, M., Basak, G.C., Srivastava, V.K. and Jasra, R.V. (2016). Mesoporous silica reinforced polybutadiene rubber hybrid composite, *International Journal of Industrial Chemistry*, 7, 131–141. doi: 10.1007/s40090-015-0062-8
- Natinee, L., Alif, W., Azizon, K. and Tadamoto, S. (2019). Mechanical, thermal and fire retardant Characteristics of NR/PP/ATH thermoplastic vulcanizates. *Walailak Journal of Science and Technology (WJST)*. 16(10), 723-737.
- Tang, G., Hu, Y. and Song, L. (2013). Study on the Flammability and Thermal Degradation of a Novel Intumescent Flame Retardant EPDM Composite. *Procedia Engineering*, 62, 371–376. doi: 10.1016/j.proeng.2013.08.078
- Surya, I. and Khosman, H. (2020). The compounds of montmorillonite-filled natural rubber: Cure rate index, swelling and hardness properties. *AIP Conference Proceedings*, 2237(1). doi:10.1063/5.0005218
- Surya, I., Sukeksi, L. and Hayeemasae, N. (2018). Studies on cure index, swelling behaviour, tensile and thermooxidative properties of natural rubber compounds in the presence of alkanolamide. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 309, 012060. doi:10.1088/1757-899X/309/1/012060
- Wan, L., Deng, C., Zhao, Z.-Y., Chen, H. and Wang, Y.-Z. (2020). Flame Retardation of Natural Rubber: Strategy and Recent Progress. *Polymers*, 12(2), 429. doi: 10.3390/polym12020429
- Weil, E.D. and Levchik, Sergei. (2009). *Flame retardants for plastics and textiles: Practical applications*. 1-297.
- Zhang, X., Guo, F., Chen, J., Wang, G. and Liu, H. (2005). Investigation of interfacial modification for flame retardant ethylene vinyl acetate copolymer/alumina trihydrate nanocomposites. *Polymer Degradation and Stability*. 87, 411-418.
- Zhao, W., Kumar Kundu, C., Li, Z., Li, X. and Zhang, Z. (2021). Flame retardant treatments for polypropylene: Strategies and recent advances. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 145, 106382. doi: 10.1016/j.compositesa.2021.106382
- Zirnstein, B., Tabaka, W., Frasca, D., Schulze, D. and Schartel, B. (2018). Graphene/hydrogenated acrylonitrile-butadiene rubber nanocomposites: Dispersion, curing, mechanical reinforcement, multifunctional filler. *Polymer Testing*, 66, 268–279. doi: 10.1016/j.polymertesting.2018.01.035



# Periyodik Sınır Koşullu Lineer Olmayan Hiperbolik Problemin Yakınsaklık Analizi

Akbala YERNAZAR<sup>1</sup> , İrem BAĞLAN<sup>2,\*</sup> 

<sup>1</sup> Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Matematik Anabilim Dalı, Kocaeli, Türkiye

<sup>2</sup> Kocaeli Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, Kocaeli, Türkiye

## MAKALE BİLGİSİ

Makale Gönderim 30/11/2024  
Revizyon 08/12/2024  
Kabul 10/12/2024

### Anahtar Sözcükler:

Ters problem  
Hiperbolik denklem  
Periyodik sınır koşulu  
Fourier yöntemi

## ÖZET

Bu çalışmada, periyodik sınır koşullarına sahip bir boyutlu lineer olmayan hiperbolik denklemi için zamana bağlı katsayıların belirlenmesine yönelik bir ters problem ele alınmıştır. Periyodik sınır koşullar sinüs, kosinüs biçimindeki özfonksiyonları içerir ve her özdeğer iki özfonksiyona karşılık geldiği için çözüm sürecini karmaşıklştırmaktadır. Bu tür lokal olmayan sınır koşullarına sahip alanlarda sınır değer problemlerini çözmekte etkili olan genelleştirilmiş Fourier yöntemi kullanılmıştır. Picard ardışık yaklaşımlar yöntemi ile çözümün varlığı, yakınsaklığı ve tekligi kanıtlanmıştır.

## 1. GİRİŞ

Günümüzde kısmi diferansiyel denklemler teorisindeki başlıca gelişen alanlarından biri, araştırmacıların ilgi odağı olan lokal olmayan problemlerdir. Bu problemlerin incelenmesine sadece teorik açıdan değil, aynı zamanda pratikte de gereksinim duyulmaktadır. Fizik, biyoloji, kimya, ekoloji ve diğer birçok alandaki çeşitli olguların matematiksel modellenmesinde klasik koşullar yerine, aranan fonksiyonun değerleri arasında belirli bir ilişkinin bölgenin sınırında ve içinde belirtildiği problemler ortaya çıkar. Bu tür koşullara sahip problemler lokal olmayan problem olarak adlandırılır. Kısmi diferansiyel denklemler için lokal olmayan problemlerin sistematik olarak incelenmesi 1960'larda Cannon (1963) ve Kamynin (1964) tarafından yazılan makalelerle başlamıştır. Lokal olmayan problemlerin arasında periyodik sınır koşullarına sahip problemler, büyük ilgi görmektedir. Bu tür koşullar, döngüsel olan tekrara düşen

durumlarda, bilgisayar simülasyonlarında moleküler dinamik, akışkanlar mekaniği ve istatistiksel mekanik gibi alanlarda önemlidir. Örneğin, Sieradzan (2015), periyodik sınır koşulunun biyolojik sistemlerin doğru bir şekilde modellenmesindeki önemini vurgulamaktadır.

Matematiksel modellemeler, düz ve ters problemler olarak incelenir. Ters problemlerin uygulama alanı geniştir. Örneğin, hiperbolik denklemin ters katsayı problemi, sıcaklık ve ısı akışı ölçümlerine dayanarak bir malzemenin termal özelliklerini belirlemek, su altı görüntüleme ve tıbbi görüntüleme, akustik ölçümlere dayanarak ortamdaki ses hızını belirlemek, insan vücudunun elektrik akımlarını kullanarak görüntü oluşturmak, sismik dalgaların tespitinde, yer altı kaynaklarının yerinin ve miktarının belirlenmesinde, uydu bilgilerinden yararlanarak bir bölgenin altyapısının araştırılmasında hemen hemen tüm alanlarda karşılaşılmaktadır.

Ters problemlerin uygulama alanı genişdir. Örneğin, hiperbolik denklemin ters katsayı problemi, sıcaklık ve ısı akışı ölçümlerine dayanarak bir malzemenin termal özelliklerini belirlemek, su altı görüntüleme ve tıbbi görüntüleme, akustik ölçümlere dayanarak ortamdaki ses hızını belirlemek, insan vücudunun elektrik akımlarını kullanarak görüntü oluşturmak, sismik dalgaların tespitinde, yer altı kaynaklarının yerinin ve miktarının belirlenmesinde, uydu bilgilerinden yararlanarak bir bölgenin altyapısının araştırılmasında hemen hemen tüm alanlarda karşımıza çıkmaktadır (Yıldız, 2014; Ismailov, Tekin, 2016; Jiang, 2017; Protsakh, 2024; Huang, Imanuvilov ve Yamamoto, 2020; Romanov ve Bugueva 2024; Loc Hoang, 2019).

Lokal olmayan sınır koşulları içeren ters problemlerin çözümü, daha karmaşık ve zordur. Ters katsayılı hiperbolik problem lokal sınır koşuluyla Mansur ve Tekin (2016) ve Denisov (2019) çalışmalarında ele alınmışsa, Denisov ve Shirikova, (2013) ile Tekin (2019) çalışmalarında lokal olmayan sınır koşullarıyla çalışılmıştır.

Ayrıca, lineer olmayan Euler–Bernoulli denklemi (Kanca ve Bağlan, 2018), lineer olmayan iki boyutlu Burgers denklemi (Bağlan ve Kanca, 2021), lineer olmayan yüksek mertebeden ters katsayılı quasi-linear parabolik problemi (Kanca ve Bağlan, 2017), lineer olmayan pseudo-parabolik denklemi (Bağlan ve Kanca, 2015) periyodik sınır koşullarıyla incelenmiştir.

Bu çalışmada, zamana bağlı bilinmeyen ters katsayılı lineer olmayan hiperbolik denklemi periyodik sınır koşullarıyla incelenecektir. Problemin çözümü için Fourier yöntemi kullanılacaktır. Çözümün yakınsaklığı ve tekliği Picard ardışık yaklaşımlar yöntemiyle ispatlanacaktır.

Bu makalede ikinci bölümüm ilk kısmında problemin varlığından, ikinci kısmında çözümün yakınsaklığından, takip eden üçüncü kısımda ardışık yaklaşımın kesin çözüme yakınsaklığından ve son kısmında çözümün tekliğinden bahsedilecektir. Üçüncü bölüm sonuç ve önerileri içerir.

## 2. METOT

$\Omega := \{0 < x < \pi, 0 < t < T\}$  bölgesinde,

$$v_{tt} - v_{xx} = \theta(t)f(y, t, v), (y, t) \in \Omega \quad (1)$$

$$\begin{aligned} v(x, 0) &= \phi(x), x \in [0, \pi], t \in [0, T] \\ v_t(x, t) &= \psi(x), x \in [0, \pi], t \in [0, T] \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} v(0, t) &= v(\pi, t), x \in [0, \pi], t \in [0, T] \\ v_x(0, t) &= v_x(\pi, t), x \in [0, \pi], t \in [0, T] \end{aligned} \quad (3)$$

$$E(t) = \int_0^\pi xv(x, t)dx \quad (4)$$

ters katsayılı yarı lineer hiperbolik problemi ele alınsın. Burada  $\phi, \psi, E$  ve  $f(x, t, v)$  fonksiyonları, sırasıyla  $[0, \pi]$  aralığında ve  $\bar{\Omega} \times \{-\infty, \infty\}$  bölgesindedir.  $f(x, t, v)$  fonksiyonu problemdeki lineer olmayan fonksiyondur. Burada  $\phi(x), \psi(x)$  başlangıç fonksiyonlarıdır. (2) başlangıç koşulları, (3) periyodik sınır koşulları çözümün bulunması için gereklidir.  $E(t)$  integral sınır koşulu ters katsayının bulunması için gerekli önemli bir koşuldur (Ionkin, 1977).

**Tanım 1.** (1)-(4) eşitliklerindeki  $\{\theta, v\}$  çift fonksiyonlarının bulunması problemine ters problem denir.

### 2.1. (1)-(4) Ters Probleminin Çözümü

**Tanım2.**  $[0, T]$  aralığında sürekli olan fonksiyonlar kümesi  $\{v(t)\} = \{v_0(t), v_{sk}(t), v_{ck}(t), k = \overline{1, N}\}$ ,  $\|v(t)\| = \max_{0 \leq t \leq T} |v_0(t)| + \sum_{k=1}^{\infty} \left( \max_{0 \leq t \leq T} |v_{ck}(t)| + \max_{0 \leq t \leq T} |v_{sk}(t)| \right)$  norm şartını sağlıyorsa  $B$ , Banach uzayıdır.

(1)-(4) için aşağıdaki koşullar alınsın:

$$\mathbf{K1.} E(t) \in C^2[0, T], \theta(t) \in C[0, T].$$

$$\mathbf{K2.} \phi(x) \in C^1[0, \pi], \psi(x) \in C[0, \pi].$$

**K3.1**  $f(y, t, v)$  fonksiyonu  $\Omega \times (-\infty, \infty)$  bölgesinde sürekli ve aşağıdaki koşullar sağlansın:

$$\left| \frac{\partial^{(k)} f(x, t, v)}{\partial x^{(k)}} - \frac{\partial^{(k)} f(x, t, \tilde{v})}{\partial x^{(k)}} \right| \leq b(x, t)|v - \tilde{v}|, k = \overline{0, 2},$$

Burada  $b(x, t) \in L_2(\Omega), b(x, t) \geq 0$ .

$$\mathbf{K3.2} f(x, t, v) \in C[0, \pi], t \in [0, T], |f(x, t, v)| \leq M,$$

$$\mathbf{K3.3} \int_0^\pi f(x, t, v)dx \neq 0, \forall t \in [0, T].$$

(1)-(3) eşitlikleri ile tanımlı problemin çözümü için Fourier yöntemi kullanılarak



$$\begin{aligned}
v(y, t) &= \frac{1}{2} \left( \phi_0 + \psi_0 t + \int_0^t (t - \tau) \theta(\tau) f_0(\tau) d\tau \right) \\
&+ \sum_{k=1}^{\infty} \left( \phi_{ck} \cos 2kt + \frac{\psi_{ck}}{2k} \sin 2kt + \frac{1}{2k} \int_0^t \theta(\tau) f_{ck}(\tau) \sin 2k(t - \tau) d\tau \right) \cos 2kx \\
&+ \sum_{k=1}^{\infty} \left( \phi_{sk} \cos 2kt + \frac{\psi_{sk}}{2k} \sin 2kt + \frac{1}{2k} \int_0^t \theta(\tau) f_{sk}(\tau) \sin 2k(t - \tau) d\tau \right) \sin 2kx
\end{aligned} \quad (5)$$

elde edilir.

K1-K3 koşulları altında (4) eşitliğinin diferansiyeli alınır

$$E''(t) = \int_0^{\pi} x v_{tt} dx. \quad (6)$$

(5) ve (6) denkleminde ters katsayı

$$\theta(t) = \frac{E''(t) - \pi \sum_{k=1}^{\infty} (2k) \left( \phi_{sk} \cos 2kt + \frac{\psi_{sk}}{2k} \sin 2kt + \frac{1}{2k} \int_0^t \theta(\tau) f_{sk}(\tau) \sin 2k(t - \tau) d\tau \right)}{\int_0^{\pi} x f(x, t, v) dx} \quad (7)$$

elde edilir.

## 2.2. (1)-(4) Ters Probleminin Çözümün Ardışık Yaklaşımlarının Yakınsaklığı

Bu bölümde ardışık yaklaşımların yakınsaklığı incelenecektir. Bunun için Picard ardışık yaklaşımlar

yöntemi kullanılacaktır.

**Teorem 1.** K1-K3 koşulları sağlanırsa (1)-(4)'ün çözümü vardır.

**İspat.** (5) ve (7) denkleminde iterasyon verilsin:

$$\begin{aligned}
v_0^{(N+1)}(t) &= v_0^{(0)} + \frac{2}{\pi} \int_0^t \int_0^{\pi} (t - \tau) \theta^{(N)}(\tau) f(\xi, \tau, v^{(N)}) d\xi d\tau, \\
v_{ck}^{(N+1)}(t) &= v_{ck}^{(0)} + \frac{1}{\pi k} \int_0^t \int_0^{\pi} \theta^{(N)}(\tau) f(\xi, \tau, v^{(N)}) \cos 2k\xi \sin 2k(t - \tau) d\xi d\tau, \\
v_{sk}^{(N+1)}(t) &= v_{sk}^{(0)} + \frac{1}{\pi k} \int_0^t \int_0^{\pi} \theta^{(N)}(\tau) f(\xi, \tau, v^{(N)}) \sin 2k\xi \sin 2k(t - \tau) d\xi d\tau, \\
\theta^{(N+1)}(t) &= \frac{E''(t) - \pi \sum_{k=1}^{\infty} (2k) \left( \phi_{sk} \cos 2kt + \frac{\psi_{sk}}{2k} \sin 2kt + \frac{1}{2k} \int_0^t \theta^{(N)}(\tau) f_{sk}(\tau) \sin 2k(t - \tau) d\tau \right)}{\int_0^{\pi} x f(x, t, v^{(N)}) dx}.
\end{aligned} \quad (8)$$

Burada

$$\begin{aligned}
v_0^{(0)} &= \varphi_0 + \psi_0 t, \\
v_{ck}^{(0)} &= \varphi_{ck} \cos 2kt + \frac{\psi_{ck}}{2k} \sin 2kt, \\
v_{sk}^{(0)} &= \varphi_{sk} \cos 2kt + \frac{\psi_{sk}}{2k} \sin 2kt.
\end{aligned}$$

Teorem1 gereği  $v^{(0)}(t) \in B, t \in [0, T]$  olduğu aşikardır.

$N = 0$  için (8) ve (9) denkleminde Cauchy, Lipschitz, Hölder ve Bessel eşitsizlikleri uygulanırsa

$$\begin{aligned}
\|v^{(1)}(t)\| &= \max_{0 \leq t \leq T} \left[ \frac{|v_0^{(1)}(t)|}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} \left[ \max_{0 \leq t \leq T} |v_{ck}^{(1)}(t)| + \max_{0 \leq t \leq T} |v_{sk}^{(1)}(t)| \right] \right] \\
&\leq \frac{\|\phi_0\| + \|\psi_0\| T}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} \left[ \|\phi_{ck}\| + \|\phi_{sk}\| + \frac{\pi}{2\sqrt{6}} \sum_{k=1}^{\infty} \|\psi_{ck}\| + \|\psi_{sk}\| \right] \\
&\quad + A \|\theta^{(0)}(t)\| \|b(x, t)\| \|v^{(0)}(t)\| + A \|\theta^{(0)}(t)\| M, \\
\|\theta^{(1)}(t)\| &\leq \frac{2}{\pi^2 M_0} (E''(t) + \pi \|\phi'_{ck}\| + \pi \|\psi_{sk}\|) + \frac{4T\sqrt{T}}{\pi M_0} (\|\theta^{(0)}(t)\| \|b(x, t)\| \|v^{(0)}(t)\| + \|\theta^{(0)}(t)\| M)
\end{aligned}$$

elde edilir. Burada  $A = \left( \frac{\sqrt{3}T\sqrt{T}(T + \sqrt{2}\pi)}{3} \right)$ .

Teorem1 koşulundan  $v^{(1)}(t) \in B, t \in [0, T]$ 'dir.

Aynı işlemler  $N$  için de uygulanırsa,

$$\begin{aligned} \|v^{(N+1)}(t)\| &= \max_{0 \leq t \leq T} \frac{|v_0^{(N)}(t)|}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} \left[ \max_{0 \leq t \leq T} |v_{ck}^{(N)}(t)| + \max_{0 \leq t \leq T} |v_{sk}^{(N)}(t)| \right] \\ &\leq \frac{\|\varphi_0\| + \|\psi_0\| \|T\|}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} \|\varphi_{ck}\| + \|\varphi_{sk}\| + \frac{\pi}{2\sqrt{6}} \sum_{k=1}^{\infty} \|\psi_{ck}\| + \|\psi_{sk}\| \\ &\quad + A \|\theta^{(N)}(t)\| \|b(y, t)\| \|v^{(N)}(t)\| + A \|\theta^{(N)}(t)\| M, \end{aligned}$$

$$\|\theta^{(N+1)}(t)\| \leq \frac{2}{\pi^2 M_0} (E''(t) + \pi \|\varphi'_{ck}\| + \pi \|\psi_{sk}\|) + \frac{4T\sqrt{T}}{\pi M_0} (\|\theta^{(N)}(t)\| \|b(y, t)\| \|v^{(N)}(t)\| + \|\theta^{(N)}(t)\| M)$$

elde edilir.  $v^{(N)}(t) \in B, t \in [0, T]$  ve teoremden  $v^{(N+1)}(t) \in B, t \in [0, T]$ 'dir.

$$\{v(t)\} = \{v_0(t), v_{sk}(t), v_{ck}(t), k = 1, \dots\} \in B.$$

Yakınsaklık için  $\lim_{N \rightarrow \infty} v^{(N+1)}(t) = v^{(N)}(t)$ ,  
 $\lim_{N \rightarrow \infty} \theta^{(N+1)}(t) = \theta^{(N)}(t)$  olduğu gösterilecektir.  
 Bunun için ardışık yaklaşımların farkını alınırsa,

$$v_0^{(1)}(t) - v_0^{(0)}(t) = \frac{1}{\pi} \int_0^t \int_0^\pi (t - \tau) \theta^{(0)}(\tau) f(\xi, \tau, v^{(0)}) d\xi d\tau,$$

$$v_{ck}^{(1)}(t) - v_{ck}^{(0)}(t) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{\pi k} \int_0^t \int_0^\pi \theta^{(0)}(\tau) f(\xi, \tau, v^{(0)}) \cos 2k\xi \sin 2k(t - \tau) d\xi d\tau,$$

$$v_{sk}^{(1)}(t) - v_{sk}^{(0)}(t) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{\pi k} \int_0^t \int_0^\pi \theta^{(0)}(\tau) f(\xi, \tau, v^{(0)}) \sin 2k\xi \sin 2k(t - \tau) d\xi d\tau$$

ve  $\int_0^t \int_0^\pi \theta^{(0)}(\tau) f(\xi, \tau, 0) d\xi d\tau$  ekleme çıkarma yapılınsın. Ardından mutlak değeri alınır ve Cauchy eşitsizliği uygulanırsa

$$\begin{aligned} |v_0^{(1)}(t) - v_0^{(0)}(t)| &\leq \frac{2}{\pi} \left( \int_0^t (t - \tau)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \left( \int_0^t \left\{ \int_0^\pi |\theta^{(0)}(\tau) [f(\xi, \tau, v^{(0)}) - f(\xi, \tau, 0)]| d\xi \right\}^2 d\tau \right)^{\frac{1}{2}} \\ &\quad + \frac{2}{\pi} \left( \int_0^t (t - \tau)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \left( \int_0^t \left\{ \int_0^\pi |\theta^{(0)}(\tau) f(\xi, \tau, 0)| d\xi \right\}^2 d\tau \right)^{\frac{1}{2}}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} |v_{ck}^{(1)}(t) - v_{ck}^{(0)}(t)| &\leq \left( \int_0^t d\tau \right)^{\frac{1}{2}} \left( \sum_{k=1}^{\infty} \left| \int_0^t \left\{ \frac{1}{\pi k} \int_0^\pi \theta^{(0)}(\tau) [f(\xi, \tau, v^{(0)}) - f(\xi, \tau, 0)] \cos 2k\xi \sin 2k(t - \tau) d\xi \right\}^2 d\tau \right|^{\frac{1}{2}} \right)^{\frac{1}{2}} \\ &\quad + \left( \int_0^t d\tau \right)^{\frac{1}{2}} \left( \sum_{k=1}^{\infty} \left| \int_0^t \left\{ \frac{1}{\pi k} \int_0^\pi \theta^{(0)}(\tau) f(\xi, \tau, 0) \cos 2k\xi \sin 2k(t - \tau) d\xi \right\}^2 d\tau \right|^{\frac{1}{2}} \right)^{\frac{1}{2}}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} |v_{sk}^{(1)}(t) - v_{sk}^{(0)}(t)| &\leq \left( \int_0^t d\tau \right)^{\frac{1}{2}} \left( \sum_{k=1}^{\infty} \left| \int_0^t \left\{ \frac{1}{\pi k} \int_0^\pi \theta^{(0)}(\tau) [f(\xi, \tau, v^{(0)}) - f(\xi, \tau, 0)] \sin 2k\xi \sin 2k(t - \tau) d\xi \right\}^2 d\tau \right|^{\frac{1}{2}} \right)^{\frac{1}{2}} \\ &\quad + \left( \int_0^t d\tau \right)^{\frac{1}{2}} \left( \sum_{k=1}^{\infty} \left| \int_0^t \left\{ \frac{1}{\pi k} \int_0^\pi \theta^{(0)}(\tau) f(\xi, \tau, 0) \sin 2k\xi \sin 2k(t - \tau) d\xi \right\}^2 d\tau \right|^{\frac{1}{2}} \right)^{\frac{1}{2}}, \end{aligned}$$

bulunur. Hölder eşitsizliği uygulanırsa,

$$|v_0^{(1)}(t) - v_0^{(0)}(t)| \leq \frac{2}{\pi} \sqrt{\frac{t^3}{3}} \left( \int_0^t \left\{ \int_0^\pi |\theta^{(0)}(\tau) [f(\xi, \tau, v^{(0)}) - f(\xi, \tau, 0)]| d\xi \right\}^2 d\tau \right)^{\frac{1}{2}} + \frac{2}{\pi} \sqrt{\frac{t^3}{3}} \left( \int_0^t \left\{ \int_0^\pi |\theta^{(0)}(\tau) f(\xi, \tau, 0)| d\xi \right\}^2 d\tau \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\begin{aligned} |v_{ck}^{(1)}(t) - v_{ck}^{(0)}(t)| &\leq \sqrt{t} \left( \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k^2} \right)^{\frac{1}{2}} \left( \sum_{k=1}^{\infty} \left| \int_0^t \left\{ \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \theta^{(0)}(\tau) [f(\xi, \tau, v^{(0)}) - f(\xi, \tau, 0)] \cos 2k\xi \sin 2k(t - \tau) d\xi \right\}^2 d\tau \right|^{\frac{1}{2}} \right)^{\frac{1}{2}} \\ &\quad + \sqrt{t} \left( \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k^2} \right)^{\frac{1}{2}} \left( \sum_{k=1}^{\infty} \left| \int_0^t \left\{ \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \theta^{(0)}(\tau) f(\xi, \tau, 0) \cos 2k\xi \sin 2k(t - \tau) d\xi \right\}^2 d\tau \right|^{\frac{1}{2}} \right)^{\frac{1}{2}}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} |v_{sk}^{(1)}(t) - v_{sk}^{(0)}(t)| &\leq \sqrt{t} \left( \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k^2} \right)^{\frac{1}{2}} \left( \sum_{k=1}^{\infty} \left| \int_0^t \left\{ \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \theta^{(0)}(\tau) [f(\xi, \tau, v^{(0)}) - f(\xi, \tau, 0)] \sin 2k\xi \sin 2k(t - \tau) d\xi \right\}^2 d\tau \right|^{\frac{1}{2}} \right)^{\frac{1}{2}} \\ &\quad + \sqrt{t} \left( \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k^2} \right)^{\frac{1}{2}} \left( \sum_{k=1}^{\infty} \left| \int_0^t \left\{ \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \theta^{(0)}(\tau) f(\xi, \tau, 0) \sin 2k\xi \sin 2k(t - \tau) d\xi \right\}^2 d\tau \right|^{\frac{1}{2}} \right)^{\frac{1}{2}} \end{aligned}$$

elde edilir. Bessel eşitsizliği uygulanırsa,

$$\begin{aligned}
 |v_0^{(1)}(t) - v_0^{(0)}(t)| &\leq \frac{2}{\pi} \sqrt{\frac{t^3}{3}} \left( \int_0^t \left\{ \int_0^\pi |\theta^{(0)}(\tau) [f(\xi, \tau, v^{(0)}) - f(\xi, \tau, 0)] d\xi \right\}^2 d\tau \right)^{\frac{1}{2}} \\
 &\quad + \frac{2}{\pi} \sqrt{\frac{t^3}{3}} \left( \int_0^t \left\{ \int_0^\pi |\theta^{(0)}(\tau) f(\xi, \tau, 0) d\xi \right\}^2 d\tau \right)^{\frac{1}{2}}, \\
 |v_{ck}^{(1)}(t) - v_{ck}^{(0)}(t)| &\leq \sqrt{t} \sqrt{\frac{\pi^2}{6}} \left( \int_0^t \left\{ \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \theta^{(0)}(\tau) [f(\xi, \tau, v^{(0)}) - f(\xi, \tau, 0)] d\xi \right\}^2 d\tau \right)^{\frac{1}{2}} \\
 &\quad + \sqrt{t} \sqrt{\frac{\pi^2}{6}} \left( \int_0^t \left\{ \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \theta^{(0)}(\tau) f(\xi, \tau, 0) d\xi \right\}^2 d\tau \right)^{\frac{1}{2}}, \\
 |v_{sk}^{(1)}(t) - v_{sk}^{(0)}(t)| &\leq \sqrt{t} \sqrt{\frac{\pi^2}{6}} \left( \int_0^t \left\{ \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \theta^{(0)}(\tau) [f(\xi, \tau, v^{(0)}) - f(\xi, \tau, 0)] d\xi \right\}^2 d\tau \right)^{\frac{1}{2}} \\
 &\quad + \sqrt{t} \sqrt{\frac{\pi^2}{6}} \left( \int_0^t \left\{ \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \theta^{(0)}(\tau) f(\xi, \tau, 0) d\xi \right\}^2 d\tau \right)^{\frac{1}{2}}
 \end{aligned}$$

elde edilir. Lipschitz koşulu uygulanırsa

$$\begin{aligned}
 |v_0^{(1)}(t) - v_0^{(0)}(t)| &\leq \frac{2}{\pi} \sqrt{\frac{t^3}{3}} \left( \int_0^t \left\{ \int_0^\pi \theta^{(0)}(\tau) b(\xi, \tau) v^{(0)} d\xi \right\}^2 d\tau \right)^{\frac{1}{2}} + \frac{2}{\pi} \sqrt{\frac{t^3}{3}} \left( \int_0^t \left\{ \int_0^\pi \theta^{(0)}(\tau) f(\xi, \tau, 0) d\xi \right\}^2 d\tau \right)^{\frac{1}{2}}, \\
 |v_{ck}^{(1)}(t) - v_{ck}^{(0)}(t)| &\leq \sqrt{t} \sqrt{\frac{\pi^2}{6}} \left( \int_0^t \left\{ \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \theta^{(0)}(\tau) b(\xi, \tau) v^{(0)} d\xi \right\}^2 d\tau \right)^{\frac{1}{2}} + \sqrt{t} \sqrt{\frac{\pi^2}{6}} \left( \int_0^t \left\{ \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \theta^{(0)}(\tau) f(\xi, \tau, 0) d\xi \right\}^2 d\tau \right)^{\frac{1}{2}}, \\
 |v_{sk}^{(1)}(t) - v_{sk}^{(0)}(t)| &\leq \sqrt{t} \sqrt{\frac{\pi^2}{6}} \left( \int_0^t \left\{ \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \theta^{(0)}(\tau) b(\xi, \tau) v^{(0)} d\xi \right\}^2 d\tau \right)^{\frac{1}{2}} + \sqrt{t} \sqrt{\frac{\pi^2}{6}} \left( \int_0^t \left\{ \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \theta^{(0)}(\tau) f(\xi, \tau, 0) d\xi \right\}^2 d\tau \right)^{\frac{1}{2}}
 \end{aligned}$$

elde edilir. Son olarak maksimumunu alınırsa

$$C := A \|\theta^{(0)}(t)\| (\|b(x, t)\| \|v^{(0)}(t)\| + M)$$

olsun ve  $\|v^{(1)}(t) - v^{(0)}(t)\| \leq C$  dir.

$$\begin{aligned}
 \|v^{(1)}(t) - v^{(0)}(t)\| &\leq A \|\theta^{(0)}(t)\| (\|b(x, t)\| \|v^{(0)}(t)\| + M)
 \end{aligned}$$

Ters katsayının ardışık yaklaşımlarının farkı alınır,

elde edilir.

$$\theta^{(1)} - \theta^{(0)} = \frac{\pi \sum_{k=1}^{\infty} \int_0^t \int_0^\pi \theta^{(0)}(\tau) f(\xi, \tau, v^{(0)}) \sin 2k\xi \sin 2k(t-\tau) d\xi d\tau}{\int_0^\pi x f(x, \tau, v^{(0)}) dx} - \frac{\pi \sum_{k=1}^{\infty} \int_0^t \int_0^\pi \theta^{(1)}(\tau) f(\xi, \tau, v^{(1)}) \sin 2k\xi \sin 2k(t-\tau) d\xi d\tau}{\int_0^\pi x f(x, \tau, v^{(1)}) dx}$$

Cauchy, Lipschitz, Hölder ve Bessel eşitsizlikleri sırasıyla uygulanırsa

$$\|\theta^{(1)}(t) - \theta^{(0)}(t)\| \leq SC \|\theta^{(1)}(t)\| \|b(x, t)\|,$$

$$S = \frac{2\sqrt{T}}{M^* - 2M\sqrt{T}}$$

elde edilir.

İkinci ve birinci ardışık yaklaşımların farkına

$$v_0^{(2)}(t) - v_0^{(1)}(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^t \int_0^\pi (t - \tau) \theta^{(1)}(\tau) f(\xi, \tau, v^{(1)}) d\xi d\tau - \frac{2}{\pi} \int_0^t \int_0^\pi (t - \tau) \theta^{(0)}(\tau) f(\xi, \tau, v^{(0)}) d\xi d\tau,$$

$$\begin{aligned}
 v_{ck}^{(2)}(t) - v_{ck}^{(1)}(t) &= \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{\pi k} \int_0^t \int_0^\pi \theta^{(1)}(\tau) f(\xi, \tau, v^{(1)}) \cos 2k\xi \sin 2k(t - \tau) d\xi d\tau \\
 &\quad - \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{\pi k} \int_0^t \int_0^\pi \theta^{(0)}(\tau) f(\xi, \tau, v^{(0)}) \cos 2k\xi \sin 2k(t - \tau) d\xi d\tau,
 \end{aligned}$$

$$v_{sk}^{(2)}(t) - v_{sk}^{(1)}(t) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{\pi k} \int_0^t \int_0^\pi \theta^{(1)}(\tau) f(\xi, \tau, v^{(1)}) \sin 2k\xi \sin 2k(t - \tau) d\xi d\tau$$

$$- \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{\pi k} \int_0^t \int_0^{\pi} \theta^{(0)}(\tau) f(\xi, \tau, v^{(0)}) \sin 2k\xi \sin 2k(t-\tau) d\xi d\tau$$

aynı yöntemler uygulanırsa

$$\|v^{(2)}(t) - v^{(1)}(t)\| \leq (A + BM)C \|\theta^{(1)}(t)\| \left( \int_0^t \int_0^{\pi} b^2(\xi, \tau) d\xi d\tau \right)^{\frac{1}{2}}$$

bulunur.

$$\theta^{(2)}(t) - \theta^{(1)}(t) = \frac{\pi \sum_{k=1}^{\infty} \int_0^t \int_0^{\pi} \theta^{(1)}(\tau) f(\xi, \tau, v^{(1)}) \sin 2k\xi \sin 2k(t-\tau) d\xi d\tau}{\int_0^{\pi} x f(x, \tau, v^{(1)}) dx} - \frac{\pi \sum_{k=1}^{\infty} \int_0^t \int_0^{\pi} \theta^{(2)}(\tau) f(\xi, \tau, v^{(2)}) \sin 2k\xi \sin 2k(t-\tau) d\xi d\tau}{\int_0^{\pi} x f(x, \tau, v^{(2)}) dx}$$

ters katsayısı için Cauchy, Lipschitz, Hölder ve Bessel eşitsizlikleri uygulanırsa

$$\|\theta^{(2)} - \theta^{(1)}\| \leq B \|\theta^{(2)}(\tau)\| \|b(x, t)\| \|v^{(2)} - v^{(1)}\|$$

elde edilir.

$N$  için

$$\|v^{(N+1)}(t) - v^{(N)}(t)\| \leq (A + SM)^N \|\theta^{(N)}(t)\| \dots \|\theta^{(1)}(t)\| \frac{C}{\sqrt{N!}} \left( \int_0^t \int_0^{\pi} b^2(\xi, \tau) d\xi d\tau \right)^{\frac{N}{2}},$$

$$\|\theta^{(N+1)} - \theta^{(N)}\| \leq B \|\theta^{(N+1)}(t)\| \|b(x, t)\| \|v^{(N+1)} - v^{(N)}\|.$$

$N \rightarrow \infty$  iken  $v^{(N+1)} \rightarrow v^{(N)}$  ve  $\theta^{(N+1)} \rightarrow \theta^{(N)}$ , dir.

### 2.3. (1)-(4) Ters Probleminin Ardışık Yaklaşımın Kesin Çözümüne Yakınsaklığı

Burada  $\lim_{N \rightarrow \infty} v^{(N+1)}(t) = v(t)$ ,  $\lim_{N \rightarrow \infty} \theta^{(N+1)}(t) = \theta(t)$  olduğu gösterilecektir.

Tam ve ardışık ters katsayıların fark alınır,

$$\theta(t) - \theta^{(N+1)}(t) = \frac{\pi \sum_{k=1}^{\infty} \int_0^t \int_0^{\pi} \theta^{(N+1)}(\tau) f(\xi, \tau, v^{(N+1)}) \sin 2k\xi \sin 2k(t-\tau) d\xi d\tau}{\int_0^{\pi} x f(x, t, v^{(N+1)}) dx} - \frac{\pi \sum_{k=1}^{\infty} \int_0^t \int_0^{\pi} \theta(\tau) f(\xi, \tau, v) \sin 2k\xi \sin 2k(t-\tau) d\xi d\tau}{\int_0^{\pi} x f(x, t, v) dx}.$$

Son eşitliğe  $\int_0^t \int_0^{\pi} \theta(\tau) f(\xi, \tau, v^{(N+1)}) d\xi d\tau$  ekleyip çıkarılırsa, ardından sırasıyla Cauchy, Bessel ve Lipschitz eşitsizlikleri uygulanırsa,

$$\|\theta(t) - \theta^{(N+1)}(t)\| \leq S \|\theta(t)\| \|b(x, t)\| \|v(t) - v^{(N+1)}(t)\|.$$

elde edilir.

Aynı yöntemler  $v(t) - v^{(N+1)}(t)$  için uygulandığında

$$\|v(t) - v^{(N+1)}(t)\| \leq A(A + SM)^N \|\theta^{(N)}(t)\| \|\theta^{(N)}(t)\| \dots \|\theta^{(1)}(t)\| \frac{C}{\sqrt{N!}} \left( \int_0^t \int_0^{\pi} b^2(\xi, \tau) d\xi d\tau \right)^{\frac{N}{2}} \times \exp(2A + SM) \|\theta(t)\| \|b(x, t)\|.$$

elde edilir.

$N \rightarrow \infty$  iken  $v^{(N+1)}(t) \rightarrow v(t)$ , dolayısıyla  $\theta^{(N+1)}(t) \rightarrow \theta(t)$  bulunur.

## 2.4. (1)-(4) Ters Probleminin Çözümünün Tekliği

**Teorem 1.** K1-K3 koşulları sağlanırsa (1)-(4)'ün çözümü tektir.

**İspat.** (1)-(4)'ün  $(\nu, \omega)$  ve  $(\theta, \rho)$  iki çözümü olduğu farzedilsin.

$$\theta(t) - \rho(t) = \frac{\pi \sum_{k=1}^{\infty} \int_0^t \int_0^{\pi} \rho(\tau) f(\xi, \tau, \omega) \sin 2k\xi \sin 2k(t-\tau) d\xi d\tau}{\int_0^{\pi} x f(x, \tau, \omega) dx} - \frac{\pi \sum_{k=1}^{\infty} \int_0^t \int_0^{\pi} \theta(\tau) f(\xi, \tau, \nu) \sin 2k\xi \sin 2k(t-\tau) d\xi d\tau}{\int_0^{\pi} x f(x, \tau, \nu) dx}$$

için Cauchy, Bessel eşitsizlikleri ve Lipchitz koşulu sırasıyla uygulansın. Son olarak taraf tarafa maksimumu alınır

$$\|\theta(t) - \rho(t)\| \leq S \|\theta(t)\| \|b(x, t)\| \|v(t) - \omega(t)\| \quad (10)$$

elde edilir. İki çözümün farkı için de aynı işlemler yapılır

$$\begin{aligned} \|v(t) - \omega(t)\| &\leq A(\|\theta(t)\| \|b(x, t)\| \|v(t) - \omega(t)\| \\ &\quad + \|\theta(t) - \rho(t)\| M) \end{aligned} \quad (11)$$

elde edilir. (10), (11) de yerine yazılırsa,

$$\|v(t) - \omega(t)\| \leq (A + SM) \|\theta(t)\| \|b(x, t)\| \|v(t) - \omega(t)\|$$

elde edilir. Gronwall eşitsizliği uygulanırsa

$$\|v(t) - \omega(t)\| \leq 0 \times \exp(A + SM) \left( \int_0^t \int_0^{\pi} \theta^2(\tau) b^2(\xi, \tau) d\xi d\tau \right)^{\frac{1}{2}}$$

elde edilir.

Böylece  $v(t) = \omega(t)$ , dolayısıyla  $\theta(t) = \rho(t)$ .

## 3. SONUÇ

Bu çalışmada, periyodik sınır koşullarına sahip bir boyutlu lineer olmayan hiperbolik denklem için zamana bağlı katsayıların belirlenmesine yönelik bir ters problem incelenmiştir. Çözümü için genelleştirilmiş Fourier yöntemi kullanılmıştır. Çözümün varlığı, yakınsaklığı ve tekliği Picard ardışık yaklaşımlar yöntemi ile ispatlanmıştır.

Bu sınır koşullar kullanılarak farklı yüksek merteteden türevli denklemler çözülebilir. Örneğin Euler-Bernoulli denklemi, iki yada üç boyutlu parabolik, hiperbolik denklemler, Burger denklemleri gibi, bunun yanı sıra bu problem farklı sınır koşulları ile de çözülebilir. Ayrıca farklı nümerik yöntemler kullanılarak yaklaşık gerçek çözümler arası yakınsaklık incelenip, örnekle şekilsel olarak da gösterilebilir.

## Teşekkür ve Bilgilendirme

Bu çalışma Akbala Yernazar'ın Doktora tezinden üretilmiştir ve 2-4 Ekim 2024 tarihlerinde Kocaeli'nde düzenlenen "Kocaeli Fen Bilimleri Kongresi"nde sözlü olarak sunulmuştur.

## KAYNAKÇA

- Baglan, I. (2015). Determination of a coefficient in a quasilinear parabolic equation with periodic boundary condition. *Inverse Problems in Science and Engineering*, 23(5), 884-900. doi: 10.1080/17415977.2014.947479
- Baglan, I., Kanca, F. (2021). Fourier method for higher dimensional inverse quasi-linear parabolic problem. *Numerical Methods for Partial Differential Equations*, 37(3), 2222-2234. doi: 10.1002/num.22682
- Cannon, J. R. (1963). The solution of the heat equation subject to the specification of energy. *Quarterly of Applied Mathematics*, 21(2), 155-160.
- Denisov, A. M. (2019). Existence of a solution of the inverse coefficient problem for a quasilinear hyperbolic equation. *Computational Mathematics and Mathematical Physics*, 59, 550-558. doi: 10.1134/S096554251904002X
- Denisov, A. M., Shirkova, E. Y. (2013). Inverse problem for a quasilinear hyperbolic equation with a nonlocal boundary condition containing a delay argument. *Differential Equations*, 49, 1053-1061. doi: 10.1134/S0012266113090012
- Huang, X., Imanuvilov, O. and Yamamoto, M. (2020). Stability for inverse source problems by Carleman estimates. *Inverse Problems*, 36(12), doi: 10.1088/1361-6420/aba892
- Ionkin, N.I. (1977). Solution of a boundary value problem in heat conduction with a nonclassical boundary condition, *Differential Equations*, 13, 204-211.
- Ismailov, M.I., Tekin, I. (2016). Inverse coefficient problems for a first order hyperbolic system. *Applied Numerical Mathematics*, 106, 98-115. doi: 10.1016/j.apnum.2016.02.008

- Jiang, D., Liu, Y., Yamamoto, Y. (2017). Inverse source problem for the hyperbolic equation with a time-dependent principal part. *Journal of Differential Equations*, 262( 1), 653-681.  
doi: 10.1016/j.jde.2016.09.036
- Kamynin, L. I. (1964). A boundary-value problem in the theory of heat conduction with non-classical boundary conditions. *Zh. Vychisl. Mat. Mat. Fiz*, 4(6), 1006-1024.  
doi: 10.1016/0041-5553(64)90080-1
- Kanca, F., Baglan, I. (2017). Solution of two-dimensional non-linear Burgers' equations with nonlocal boundary condition. *Malaya Journal of Matematik*, 5(04), 675-679.  
doi: 10.26637/MJM0504/0010
- Kanca, F., Baglan, I. (2018). Inverse problem for Euler-Bernoulli equation with periodic boundary condition. *Filomat*, 32(16).  
doi: 10.2298/FIL1816691K
- Loc Hoang, N. (2019). An inverse space-dependent source problem for hyperbolic equations and the Lipschitz-like convergence of the quasi-reversibility method. *Inverse Problems*, 35(3),  
doi: 10.1088/1361-6420/aafe8f
- Protsakh, N. (2024). Inverse problem for semilinear wave equation with strong damping. *Frontiers in Applied Mathematics and Statistics*, 10, 1-12,  
doi: 10.3389/fams.2024.1467441
- Romanov, V.G. , Bugueva T.V. (2024) . An inverse problem for a nonlinear hyperbolic equation. *Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications*. 12(2) , 134–154.
- Sieradzan, A. K. (2015). Introduction of periodic boundary conditions into unres force field. *Journal of Computational Chemistry*, 36(12), 940-946.  
doi:10.1002/jcc.23864
- Tekin, I. (2019). Determination of a time-dependent coefficient in a wave equation with unusual boundary condition. *Filomat*, 33(9), 2653-2665.  
doi: 10.2298/FIL1909653T
- Yıldız, M. (2014). Hiperbolik Türden Bir Denklem için Bir Katsayı Ters Problemi. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 4(2): 59-63.