



Gazi Üniversitesi

Fen Fakültesi Dergisi

e-ISSN: 2757-5543

Cilt 4 Sayı 2



Kasım, 2023

G.Ü. Fen Fakültesi Dekanlığı
tarafından yayınlanır

Hakkında

Gazi Üniversitesi Fen Fakültesi Dergisi'nde, Biyoloji, Fizik, Kimya, Matematik ve İstatistik alanlarında uluslararası özgünlük taşıyan nitelikli araştırma ve derleme makaleleri yayımlanmaktadır. Gazi Üniversitesi Fen Fakültesi Dergisi yılda iki kez elektronik olarak Türkçe yayım yapan hakemli, ulusal ve akademik bir dergidir. Dergiye gönderilen makaleler amaç, kapsam ve yeterlilik kriterleri bakımından editör tarafından değerlendirilerek uygun bulunanlar alan editörlerine yönlendirilmektedir. Kör hakemlik uygulanarak en az iki uzman hakem görüşü ile makale inceleme aşamasını tamamlanmaktadır. Dergiye gönderilen makalelerin içerikleri özgün, daha önce herhangi bir yerde yayımlanmamış veya yayımlanmak üzere gönderilmemiş olmalıdır. Gazi Üniversitesi Fen Fakültesi Dergisi makale basımı için herhangi bir ücret talep etmemektedir.

Yayın Kurulu

Gazi Üniversitesi Fen Fakültesi Dergisi

İmtiyaz Sahibi:	Prof. Dr. Musa YILDIZ (Rektör)
Genel Yayın Yönetmeni:	Prof. Dr. Reşat KASAP (Dekan)

Baş Editör: Prof. Dr. Deniz YÜZBAŞIOĞLU

Editör Yardımcıları:

Prof. Dr. Zehranur YÜKSEKDAĞ	Prof. Dr. Bayram ÇEKİM	Prof. Dr. Tarık ASAR
------------------------------	------------------------	----------------------

Alan Editörleri:

Doç. Dr. Ebru Şebnem YILMAZ	Prof. Dr. Yasemin ŞAFAK ASAR	Prof. Dr. Nurşen SARI
Prof. Dr. H. Hasan ÖRKÇÜ	Doç. Dr. Semra TÜRKAN	Doç. Dr. Levent KARGIN
Prof. Dr. Ayşegül ÖKSÜZ	Prof. Dr. Gürhan İÇÖZ	Prof. Dr. Abdullah YILDIZ
Doç. Dr. Damla AMUTKAN MUTLU		

Dil Editörü: Arş. Gör. Ömer ÇELİK

Yayın Danışma Kurulu:

Doç. Dr. Akif ÖZBAY	Prof. Dr. Ali TEKE	Prof. Dr. Bekir SARI
Prof. Dr. Belma ASLIM	Prof. Dr. Birol ALTIN	Prof. Dr. Cem KADILAR
Prof. Dr. Emre GÜR	Prof. Dr. Engin TIRAŞOĞLU	Prof. Dr. Fatma TAŞDELEN YEŞİLDAL
Prof. Dr. Fatma ÜNAL	Prof. Dr. H. İbrahim ÜNAL	Prof. Dr. Harun KARSLI
Prof. Dr. Metin AK	Prof. Dr. Ogün DOĞRU	Prof. Dr. Süleyman ÖZÇELİK
Prof. Dr. Şemsettin ALTINDAL	Prof. Dr. Zekiye SULUDERE	

Teknik Sorumlular:

Öğr. Gör. Argun TÜRKER	Arş. Gör. Görkem LİMAN
------------------------	------------------------

Gazi Üniversitesi Fen Fakültesi Dergisi

Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, 06500 ANKARA / TÜRKİYE

Telefon: (+90) 312 202 10 01

Faks: (+90) 312 212 22 79

E-posta: fenfakultesidergisi@gazi.edu.tr

Web adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/guffd>

Gazi Üniversitesi Fen Fakültesi Dergisi, 4. Cilt (2), Kasım, 2023

İÇİNDEKİLER

Sayfa

Rümeysa Çetin, Fatma Okuş, Gonca Çakmak (2023), Yasal Düzenleyici Otoritelerin Sürdürülebilirlik Yaklaşımları (Derleme Makalesi)

63-79

Evrin Sever, Mehlika Pulat (2023), MMT Katkılı IPN Tipi Hidrojellerin Sentez ve Karakterizasyonu (Araştırma Makalesi)

80-92


Suat Kıyak, Zekiye Suludere, Zeki Aytaç (2023), Türkiye'den ilk kayıt bir akar gali: *Vasates quadripedes* (Shimer, 1869) (Acari: Trombidiformes: Eriophyidae) (Araştırma Makalesi)

93-100

Yasemin Öztekin Çiftçi, İrem Almina Gemici, Gülçin Çorbacı (2023), Süperiletken $CoZr_2$ Bileşiğinin Termodinamik Özelliklerinin Teoriksel Olarak İncelenmesi (Araştırma Makalesi)

101-108

Yasal Düzenleyici Otoritelerin Sürdürülebilirlik Yaklaşımları

Rumeysa Çetin^{1,3} , Fatma Okuş² , Gonca Çakmak^{*3} 

¹Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Eczacılık Fakültesi, Farmasötik Toksikoloji Anabilim Dalı, 03218, Afyonkarahisar, Türkiye

²Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 06500, Ankara, Türkiye

³Gazi Üniversitesi, Eczacılık Fakültesi, Farmasötik Toksikoloji Anabilim Dalı, 06330, Ankara, Türkiye

Öne Çıkanlar

- Sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir kalkınma çevre duyarlılığını önemsemektedir.
- Ulusal ve Uluslararası regülasyon otoritelerinin yaklaşımlarını 'yeşil strateji' şekillendirmektedir.
- Türkiye Yeşil Mutabakatın paydaşlarıdır.

Makale Bilgileri

Geliş: 09/04/2023

Kabul: 19/07/2023

Anahtar Kelimeler

Sürdürülebilirlik,
Yeşil Mutabakat,
Yeşil Kimya,
Türkiye.

Öz

İklim değişikliği, çevre kirliliği, kuraklık, aşırı nüfus artışı gibi küresel tehditler, insan sağlığı ve çevre güvenliği konularında endişelere yol açmaktadır. Dolayısıyla, sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir kalkınma kavramı günümüzde önem kazanmıştır. Ekonomi, toplum ve çevre ortak paydasında sürdürülebilirlik; sosyo-ekonomik gelişme süreçlerinde gelecek nesillerin güvenli yaşam koşullarının göz önünde bulundurulmasına dayanmaktadır. Avrupa Birliğinin 'yeşil mutabakat' stratejisi ve Amerika Birleşik Devletlerinin 'yeşil kimya' ilkeleri küresel sorunların üstesinden gelmek, modern ve rekabetçi bir ekonomiye sahip olmak hedeflerine yönelik sürdürülebilir kalkınmayı teşvik eden öncü yaklaşımlardır. Küresel kabul gören adı geçen politikalar Ulusal ve Uluslararası yasal düzenlemelerde çeşitlendirilerek yer almıştır. Burada, özellikle insan ve çevre sağlığına öncelik veren ve ilaçtan gıdaya etkenlerin regülasyonlarından sorumlu olan otoritelerin sürdürülebilirlik yaklaşımına ve yeşil stratejilerine değinilmiştir. Ulusal bakış açısı olarak Türkiye'nin sürdürülebilirlik süreçlerine yer verilmiştir. Sürdürülebilir ekonomik kalkınma; sağlıklı toplum ve güvenli çevreye bağlıdır. Aynı zamanda da küresel ortak çaba ve uyum gerektirmektedir.

Sustainability Approaches of Regulatory Authorities

Highlights

- Sustainability and sustainable development care about environmental awareness.
- The 'green strategy' shapes the approaches of national and international regulatory authorities.
- Türkiye is a stakeholder of the Green Deal.

Article Info

Received: 09/04/2023

Accepted: 19/07/2023

Keywords

Sustainability,
Green Deal,
Green Chemistry,
Türkiye.

Abstract

Global threats such as climate change, environmental pollution, drought, and overpopulation cause concerns about environmental safety and human health. So nowadays, sustainability and sustainable development have gained importance. Sustainability in the common framework of economy, society, and environment is based on considering the welfare of future generations in socio-economic development. The 'green deal' strategy of the European Union and 'the green chemistry' principles of the United States are the leading approaches that promote sustainable development towards the goals of overcoming global issues and having a modern and competitive economy. The mentioned policies, which are accepted globally, have been diversified and included in National and International regulations. Here, the sustainability approaches and green strategies of regulatory authorities, prioritizing especially human and environmental health and responsible for the regulations of agents from pharmaceuticals to food, are reviewed. From a national perspective, the sustainability implementation of Türkiye is included. Sustainable economic development depends on a healthy society and environmental safety. As well as it requires common global effort and harmonization.



Makale, Creative Commons 4.0 (CC BY NC SA) uluslararası lisansı altında açık erişim olarak yayımlanmaktadır.

* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Gonca Çakmak, gcakmak@gazi.edu.tr

1. GİRİŞ

Yaşamın her alanı için temiz, ekonomik, güvenli, sürdürülebilir arayışlar küresel bir gündem oluşturmaktadır. Birbirinden farklı pek çok tanıma sahip olan sürdürülebilirlik kavramı bu arayışlar için genel kabul gören bir yaklaşım olmuştur. Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu olarak da bilinen Bruthland Komisyonu 1987 yılında; çevresel zararların oluşumunda sosyo-ekonomik koşulların ve olası diğer etkenlerin katkısını anlamayı ve çözüm politikaları sunmayı kalkınma gereklilikleri ile ortak paydada birleştirerek “sürdürülebilir kalkınma” stratejisini hayata geçirmek için “ortak geleceğimiz” adlı raporunu yayınlamıştır. Raporda sürdürülebilir kalkınma; mevcut ihtiyaçları gelecek nesillerin ihtiyaçlarını da göz önünde bulundurarak karşılama şeklinde tanımlanmaktadır [1]. Sürdürülebilirlik; ekonomi, çevre ve toplumun ortak kümesidir. Üç temel alanda sürdürülebilirliğin uygulanmasının kalkınmayı da sağlayacağı bildirilmektedir [2].

Sürdürülebilirlik uygulandığı alana göre çeşitlenmekte ve farklı tanımlamalarla ifade edilmektedir. Sosyal sürdürülebilirlik, topluluklarda yaşamı iyileştiren koşulların sağlandığı ve söz konusu koşulların devam ettirildiği süreç olarak tanımlanırken [3] çevresel sürdürülebilirlik ‘insanların ve doğanın üretken bir uyum içinde var olabileceği, gelecek nesillerin temel ihtiyaçlarını karşılama için mümkün kılan koşulların sağlanması ve devam ettirilmesi’ olarak tanımlanmaktadır [4]. Çevresel sürdürülebilirliğin, ekosistemlerin sağlığının göz önünde bulundurularak gereksinimlerin giderilmesiyle mümkün olabileceği vurgulanmaktadır [5]. Başlıca ilkeleri arasında; doğal kaynakların verimli yönetimi ile ekosistem bütünlüğünün sürdürülmesi, yaşam kalitesinin iyileştirilmesi, çevrenin tehlikeli ve kirletici maddelerden korunması, biyoçeşitliliğin korunması, geri dönüşümün ve atık yönetiminin sağlanması yer almaktadır [6]. Ekonomik sürdürülebilirliğin temel tanımı ise sosyal ve çevresel sürdürülebilirlikte olumsuz etki yaratmadan ekonomik kalkınmanın sağlanmasıdır. İdeal sürdürülebilir bir ekonomi, refahı sağlarken kaynakların verimli kullanılması ve çevrede oluşabilecek olası zararın en aza indirilmesi ile mümkün kılınabilir [7].

Avrupa Birliği (AB) sürdürülebilir kalkınmayı teşvik etmek amacıyla büyüme stratejisi belirlemiştir. Bu strateji, ‘yeşil mutabakat’ (YM) olarak adlandırılmıştır ve iklim değişikliği gibi küresel sorunların üstesinden gelinmesi, modern ve rekabetçi bir ekonominin sağlanması için hedefler ve eylem planları içermektedir. Avrupa YM 2019 yılında yayımlanmıştır. YM, AB’nin yeni büyüme stratejisi olup belirlediği yol haritası ile sosyal, çevre ve ekonomi alanlarında öncü kıta olmayı amaçlamaktadır [8]. AB çatısı altında bulunan düzenleyici otoriteler (Avrupa Kimyasallar Ajansı (ECHA), Avrupa İlaç Ajansı (EMA) vb.), YM ile uyumlu olarak çalışmalarını yürütmektedir.

Sürdürülebilirlik, Amerika Birleşik Devletleri (ABD) için yeni bir kavram değildir. İlk kez 1969 yılında yayınlanan Ulusal Çevre Politika Yasasında ‘*İnsanların ve çevrenin üretken bir uyum içinde var olabileceğini, mevcut ve gelecek nesillerin sosyal, ekonomik ve diğer gereksinimlerini karşılamaya izin veren koşulları yaratma ve sürdürme politikası*’ şeklinde sürdürülebilirlik yaklaşımından bahsedilmiştir [9]. Bu yaklaşım doğrultusunda geliştirilen strateji ve eylem planlarından en önemlisi ‘yeşil kimya’ (YK) ilkeleridir. Amerika, YK yaklaşımı kapsamında belirlediği ilkeler ile kimyasal yaşam döngüsünün aşamaları ve tehlike potansiyelinin azaltılması için süreçler tasarlamaktadır [10].

Yasal düzenleyici (regülasyon) süreçlerde etkin ülkeler (Japonya, Almanya, Güney Kore gibi) ve otoriteler, AB ve ABD’de olduğu gibi ilaçtan, kozmetiğe ve gıdaya kadar çeşitli çalışma alanları kapsamında ‘yeşil’ strateji ve sürdürülebilirlik yaklaşımına sahiptir. Söz konusu otoritelerin ortak noktası toplum sağlığı ve refahının korunması, biyoçeşitliliğin ve çevre güvenliğinin sağlanmasıdır. Burada, özellikle çevre başlığı özelinde sürdürülebilirlik ile ilgili eylem planlarının, YK ve YM yaklaşımlarının resmi internet sayfalarındaki belgelere dayanarak irdelenmesi amaçlanmıştır. Bilimsel literatür de destekleyici olarak konuya bakışı ve yaklaşımı ortaya koymak üzere değerlendirilmiştir.

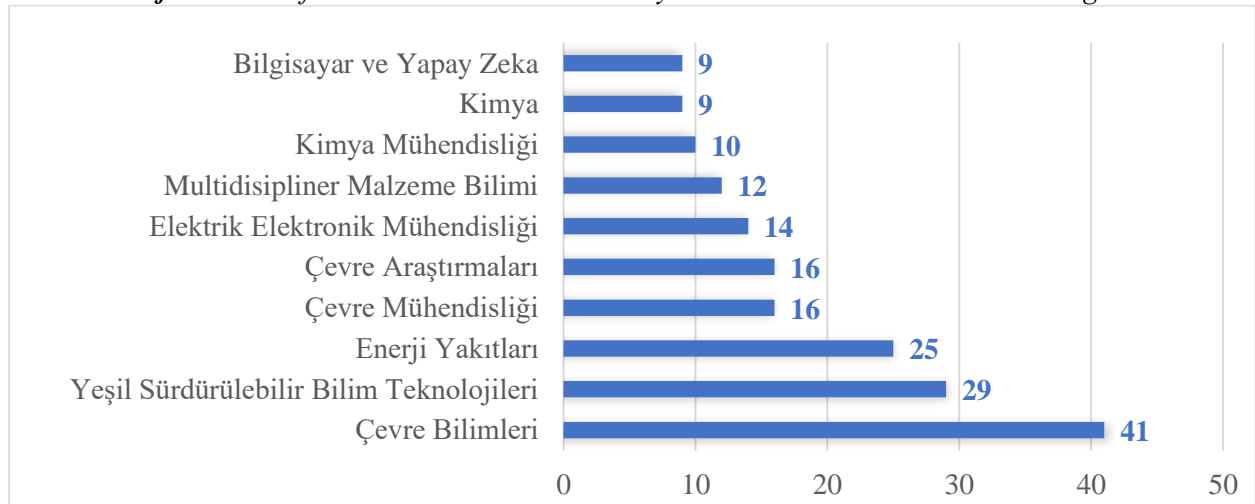
2. YÖNTEM

Derlemede kullanılan araştırma stratejisi, önde gelen ülkelere ait tüketici ürünleri, çevre, meslek ve sağlıkla ilgili yasal düzenleyici otoritelerin resmi internet sayfalarının YM ve YK ve ‘yeşil’ ön adlı sürdürülebilirlik başlıklarında rapor, rehber, yönetmelik gibi yaklaşımların 2023 yılı ocak ve haziran ayları arasında incelenmesidir. İncelenen yasal düzenleyici otoriteler; ECHA, EMA, Avrupa Gıda Güvenliği Ajansı (EFSA), Amerika Çevre Koruma Dairesi (EPA), Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezi (CDC), Ulusal Sağlık Enstitüleri (NIH), İş Güvenliği ve Sağlığı Otoritesi (OSHA), Ulusal Mesleki Güvenlik ve Sağlık Enstitüsü (NIOSH) Ekonomik İş Birliği ve Kalkınma Örgütü (OECD)’dir. Akışta, otoritelerin ait olduğu ülkelere göre bir sınıflandırma yapılmıştır. Ayrıca, YM, YK ve sürdürülebilirlik ile ilgili Uluslararası ve Ulusal bakışı ve girişimleri saptamak adına güncel bilimsel literatürle desteklenmiştir. Literatür taramasında Web of Science kullanılmıştır. Tarama yapılırken ‘Yeşil Mutabakat (Green Deal), sürdürülebilirlik (sustainability)’ anahtar kelimeleri ele alınan ülke ve otorite isimleri ile teker teker kullanılmıştır.

Örnek tarama yöntemi verilecek olursa, ‘Yeşil Mutabakat, sürdürülebilirlik ve Avrupa Birliği’ anahtar kelimeleri ile yapılan tarama sonucu 212 makaleye erişim sağlanmıştır. Yayın yılı 2019-2023 aralığı olacak şekilde; çevre bilimleri, yeşil sürdürülebilir bilim teknolojileri, sağlık bilimleri, toksikoloji, biyoçeşitliliğin korunması, kimya, kamu, çevre ve iş sağlığı kategorilerinde sürdürülebilir kalkınma hedeflerinden; iklim eylemi, güvenli üretim ve tüketim, uygun fiyatlı ve temiz enerji, toplum sağlığı ve refahı, sürdürülebilir şehirler ve topluluklar kapsamında filtreleme sonucu 68 makaleye erişim sağlanmıştır. Yazımızda odaklanmadığımız konular (tedarik zinciri ve lojistik, tarım politikası, meteoroloji, siyaset bilimi gibi) hariç tutulup dili İngilizce olan yayınlar seçildiğinde makale sayısı 33’e inmiştir. Adı geçen çalışmalardan da yazımızdaki ‘yeşil’ yaklaşımının sürdürülebilirlik ile ilgisini ortaya koyanlara yer verilmiştir. Söz konusu yöntem diğer ülke ve otoriteler için de kullanılmıştır.

Diğer bir tarama örneği olarak, Web of Science veri tabanında ulusal durumu belirlemek için ‘YM ve Türkiye’ anahtar kelimeleri ile yapılan tarama sonucunda 231 makaleye erişim sağlanmıştır. Makalelerin Web of Science kategorilerine göre dağılımı *Grafik 1*’de verilmiştir. Sürdürülebilir kalkınma hedeflerinden ‘iklim eylemi, güvenli üretim ve tüketim, uygun fiyatlı ve temiz enerji, toplum sağlığı ve refahı, sürdürülebilir şehirler ve topluluklar’ ile ilişkili olan makaleler sürdürülebilirlik, sağlık politikası ve çevre bilimleri kapsamında 2019-2023 yılları arasında filtrelendiğinde 16 makaleye erişim sağlanmıştır. Benzer şekilde ‘Türkiye, YM ve sürdürülebilirlik’, ‘YK, sürdürülebilirlik ve Türkiye’ anahtar kelimeleri ile de tarama yapılmıştır. Söz konusu makalelerden çalışmamızı destekleyici olanlara yer verilmiştir.

Grafik 1. Web of Science veri tabanında Türkiye ve YM literatür taraması konu dağılımı



3. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

3.1. Avrupa Birliği

Avrupa Birliği; Avrupa halkının ekonomik, siyasi, sosyal ve kültürel alanlarda tek çatı altında toplanmış bir hukuk sistemine dayanır ve AB eylemleri üye devletler tarafından uluslararası anlaşmalar ile onaylanmaktadır [11]. AB hedeflerini ve değerlerini koruyan, hayata geçiren ve bunları geliştiren kurumsal bir çerçeve söz konusudur [12]. Kurum ve organlarının yanında merkezi olmayan, kendi tüzel kişilikleri olan otoriteler aracılığıyla öncelik ve hedefler, uluslararası ilişkiler ve AB hukukunun uygulanması doğrultusunda yasal düzenlemeler yapılmaktadır. AB bünyesinde önde gelen düzenleyici otoriteler arasında; ECHA, EFSA, EMA yer almaktadır [13].

Avrupa Birliği sürdürülebilir kalkınmayı teşvik etmekte, büyüme stratejileri geliştirmekte ve diğer ülkelere rehberlik etmektedir. Avrupa'da ekonomik büyüme, sosyal ilerleme, çevrenin korunması ve iyileştirilmesine dayalı olarak sürdürülebilir kalkınmanın amaçlandığı Lizbon Antlaşmasında belirtilmektedir. Bu antlaşma; Avrupa Birliği Antlaşmasındaki çevrenin de içinde olduğu çeşitli konularda 2007 yılında yapılan değişiklikleri içermektedir [14]. "Sürdürülebilir kalkınma hedefi" antlaşmanın 2009'da yürürlüğe girmesinden sonra önem kazanmış ve bu alandaki çalışmalar hızlanmıştır. Bu çalışmalardan en önemlisi Avrupa Komisyonu tarafından 11 Kasım 2019'da yayınlanan YM'dir [15]. YM; AB'nin 'yeni büyüme stratejisi' olarak tanımlanmakta ve bu strateji ile düzenlemeler yapılması planlanmaktadır. YM'nin temel amacı 2050 yılına kadar sera gazı emisyonlarının azaltılması, kaynakların verimli kullanılması, modern ve rekabetçi ekonomi anlayışı ile AB'nin 'iklim nötr olan ilk kıta' olmasını sağlamaktır. Aynı zamanda vatandaşların sağlığı ve refahı için küresel tehditlerin (iklim değişikliği, biyolojik çeşitlilik kaybı, tehlikeli atıklar gibi) üstesinden gelinmesi hedeflenmektedir [16]. İklim (karbon) nötrlük; net karbon emisyonunun sıfır olması, salınan karbon miktarı ile uzaklaştırılan miktarın dengede olması olarak tanımlanmaktadır [17]. AB üye devletleri de 2050 yılına kadar iklim nötr olma taahhüdünde bulunmuştur [15]. İklim nötrlüğüne geçiş ile ekonomik büyüme potansiyeli, yeni pazarlar, istihdam, teknolojik gelişim gibi fırsatlar doğacağı belirtilmektedir [18]. Ek olarak ulusal ve yerel ekonomik rekabetin teşvik edilmesinde, enerji güvenliğinin artırılmasında, yaşam kalitesini yükseltmede ve yoksullukla mücadele etmede de büyük bir fırsat olduğu vurgulanmaktadır [19].

YM ile sürdürülebilir bir gelecek için AB ekonomisinin dönüştürülmesi konusunda hedefler belirlenmiştir. Bu doğrultuda geliştirilen eylem planına göre 2050 yılına kadar olan net sıfır emisyon hedefi için ara basamak olarak 2030'a kadar 1990 yılındaki seviyelere kıyasla sera gazı emisyonlarının en az %55 azaltılması gerektiği vurgulanmaktadır [20]. AB'nin belirlediği hedeflere ulaşması için bir dizi yasal teklif ve düzenlemelerden oluşan 'Fit for 55 package' sunulmuştur. Sunulan teklif paketinde [21];

- AB Emisyon Ticaret Sistemi
- Karbon Sınırı Ayarlama Mekanizması
- Sosyal İklim Fonu
- Uluslararası Havacılık için Karbon Dengeleme ve Azaltma Planı
- Kamyonetler ve araçlar için izin verilen emisyon sınır düzeylerinin yükseltilmesi
- Alternatif yakıt altyapısının yasal düzenlemesi
- Havacılık ve denizcilik sektörlerinde yeşil yakıt kullanımının teşvik edilmesi
- Metan emisyonlarına ilişkin yasal düzenleme
- Çaba Paylaşım Regülasyonu
- Gaz ve Hidrojen Direktifi ve Regülasyonu
- Yenilenebilir enerji, enerji verimliliği ve vergilendirme direktifleri
- Arazi Kullanımı, Arazi Kullanımı Değişikliği ve Ormancılık Regülasyonu yer almaktadır.

Fit for 55 paketinde yer alan otomobil ve kamyonetler için izin verilen CO₂ emisyon limit sınır değerlerin düşürülmesi, çaba paylaşım yönetmeliği, arazi kullanımı değişikliği ve ormancılık ile ilgili yasal düzenleme teklifleri Mart 2023'te AB Konseyi tarafından resmi olarak kabul edilmiştir [22]. 2019-2023 yılları arasında YM ve sürdürülebilirlik başlıklarına yönelik; sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak için disiplinler arası çalışmanın zorunluluğunu [23, 24], geliştirilen 'tarladan sofraya' ve '2030 için biyoçeşitlilik' gibi stratejilerde pestisitlerle ilgili yasaların ve risk değerlendirme rehberlerinin gözden geçirilmesini, düzenlenmesini öneren, politikalar öneren [25, 26], biyoekonomiyi konu alan [27-29] yaklaşımlara yer veren çalışmalar bilimsel literatürde yer almıştır.

3.1.1. Avrupa Kimyasal Ajansı

Avrupa Birliği, kimyasallar için kapsamlı ve koruyucu, geniş bilgi tabanı ile desteklenen çerçevelerden biri olan ECHA'ya sahiptir. Avrupa vatandaşlarının sağlığını ve çevreyi koruyarak kimyasalların güvenli ve sürdürülebilir kullanımını hedefleyen, bu doğrultuda kimyasal mevzuatını uygulayan bağımsız bir AB otoritesidir [30]. ECHA çatısı altında kimyasal maddelerin kaydı, değerlendirilmesi, izni ve kısıtlanması ile ilgili REACH Yönetmeliği; Sınıflandırma, Etiketleme ve Paketleme Yönetmeliği (CLP); Kalıcı Organik Kimyasallar Yönetmeliği insan sağlığı ve çevrenin korunması yönünde önemli rehber düzenlemelerdir [31].

Kimyasalların kayıt altına alınması ve yasal düzenlemeleri için AB mevzuatı devrede olmasına rağmen kimyasal kullanım alanları, üretimleri ve dolayısıyla çevreye zararlı olma potansiyelleri sürekli olarak artmaktadır. Bu noktada AB, YM yaklaşımının bir parçası olarak Ekim 2020'de "Sürdürülebilirlik için Kimyasallar Stratejisi (Chemicals Strategy for Sustainability; CSS)" ni yayımlamıştır. CSS; kimyasallarda güvenli ve sürdürülebilirlik için inovasyonu desteklemektedir. İnsan sağlığı ve çevrenin korunması hedefiyle çalışmakta ve kimyasalların yasal çerçevelerini basitleştirip iyileştirmektedir. Kanıta dayalı politika oluşumunun desteklenmesi, veri tabanı oluşturmak ve kimyasal yönetimine örnek oluşturmak yoluyla CSS rehberlik yapmaktadır [32, 33]. CSS'nin bu yaklaşımları; YM'nin taahhüdü olmakla beraber sıfır kirlilik hedefinin de bir parçasıdır [34]. ECHA'nın 2021 yılı faaliyet raporunda, AB girişimlerine CSS yanı sıra YM kapsamında da katkıda bulunduğu belirtilmektedir [35].

YM ile uyumlu olan CSS hedeflerine ulaşabilmek için belirlenen yol haritasında [36];

- Tüketilen ürünlerde zararlı kimyasalların gerekli olmadıkça kullanımının önlenmesi,
- Kimyasal kaynaklı riskler değerlendirilirken kimyasalların karışım etkisinin hesaba katılması,
- Per- ve polifloroalkil maddelerinin kullanımının zorunlu olmadıkça kaldırılması,
- Güvenli, sürdürülebilir kimyasal üretimi ve kullanımı için yatırım ve yenilikçi kapasitenin artırılması,
- Önemli kimyasallar için tedarik esnekliği ve sürdürülebilirliğin teşvik edilmesi,
- "Tek madde, tek değerlendirme (one substance, one assessment)" süreci oluşturularak kimyasalların güvenlik değerlendirmesinin ve önceliklerin belirlenmesinin şeffaf, koordineli ve her sektörü kapsayacak şekilde yapılması,
- Yüksek standartları teşvik edip yasaklı madde ihracını önleyerek küresel lider rolünün üstlenilmesi adımları yer almaktadır.

3.1.2. Avrupa Gıda Güvenliği Ajansı

EFSA, Avrupalıların üretimden tüketime gıda ile ilgili risklerden korunması için gerekli yasa ve yönetmeliklere bilimsel temel oluşturan AB'de gıda güvenliği için en güvenli sistemlerden biridir. Politika yapıcılara rehberlik ederken insan sağlığı ve güvenliğinin korunmasında hayvan sağlığı ve refahı, bitkiler ve çevre dikkate alınarak ortaklarla iş birliği halinde çalışmaktadır [37]. Küresel bir sorun olan iklim değişikliği gıda güvenliğini de etkileyen bir tehdittir. Sera gazı emisyonlarının azaltılması ve sürdürülebilirliğin sağlanmasına yönelik çabalar, iklim değişikliğinin önüne geçilmesi için geliştirilen stratejiler EFSA'nın güvenlik değerlendirmelerini de etkilediği belirtilmektedir [38].

AB kapsamında adil, sağlıklı ve çevre dostu bir gıda sistemi için Tarladan Sofraya Stratejisi geliştirilmiş; 2030 Biyoçeşitlilik Stratejisi ve Sürdürülebilirlik için Kimyasallar Stratejisi ile YM'nin temelini oluşturduğu bildirilmektedir. EFSA 2027 stratejik hedefleri; tarladan sofraya güvenilir ve bilimsel tavsiye ile risk iletişiminin sağlanması, gelecekteki risk analizi ihtiyaçlarının öngörülmesi, kurumsal becerilerin artırılması şeklindedir [39].

3.1.3. Avrupa İlaç Ajansı

EMA, AB genelinde beşerî ve veterinerlik ilaçlarının bilimsel değerlendirmesi, denetimi ve güvenlik değerlendirmesinden sorumlu bir otoritedir. EMA çalışmalarının bilimsel komiteler aracılığıyla yürütmektedir. Bu çalışmalar ilaç geliştirme, ruhsatlandırma, piyasaya çıkan ilaçların güvenlik değerlendirmesinin yapılması gibi tüm basamaklarda yürütülmektedir [40]. EMA, beş yıllık strateji belgeleri hazırlamaktadır. 2025'e kadarki belgede hedefler ve öncelikler belirlenmiştir [41]. Buna göre; geleceğe yönelik düzenleyici bir çerçevenin oluşturulması, pazar başarısızlıklarını ele alırken hastaların terapötik ihtiyaçlarının karşılanması, hastalara gerçekten ulaşan araştırma ve teknolojilerin teşvik edilmesi için endüstrinin desteklenmesi amaçlanmaktadır. Belge; ilaç endüstrisinin rekabetçiliğini, yenilikçiliğini, sürdürülebilirliğini ve yüksek kaliteli, güvenli, etkili, daha çevreci ilaçların geliştirilmesini desteklemektedir ve YM ile uyumludur [42]. Bu kapsamda ve özellikle farmasötik ürünlerin çevre üzerindeki olumsuz etkilerini ortadan kaldırarak zehirsiz bir çevre için Sıfır Kirlilik hedefini öncelemektedir. Değer zinciri boyunca sera gazı emisyonlarının azaltılmasına odaklanarak endüstri AB'nin iklim nötrlüğüne katkıda bulunmaktadır. Strateji farklı alanlarda (Yaklaşan Yaşlanma Üzerine Yeşil Kitap, Avrupa'nın Dijital Geleceğini Şekillendirme Stratejisi, Avrupa Veri Stratejisi gibi) geliştirilen uygulamalarla endüstriyel stratejiye katkıda bulunmaktadır [43].

3.2. Amerika Birleşik Devletleri

3.2.1. Amerika Çevre Koruma Dairesi

İnsan sağlığı ve çevrenin korunması için federal kanunları uygulayan ABD EPA, çevredeki etkenleri düzenlemekte ve standartlar belirlemektedir. EPA kimyasal standartları, Federal Hükümetin belirlediği genel ve kalıcı kuralları kapsayan mevzuatın (Code of Federal Regulations; CFR) 40 numaralı başlığı altında yer almaktadır [44]. EPA, tehlikeli kimyasal maddelerin üretim ve kullanımını mümkün olduğu kadar azaltmayı amaçlayan YK yaklaşımını desteklemektedir. YK; kimyasal bir ürünün tasarımından üretimine, kullanımından imhasına kadar olan döngüsünü içeren, kimyanın tüm alanlarını kapsayan bir felsefe olarak tanımlanmaktadır [45]. Mevcut ürün ve süreçlerin tehlike potansiyellerini azaltmayı, mümkünse ortadan kaldırmayı ve moleküler düzeydeki kirliliği önlemeyi amaçlamaktadır. “Kirlilik oluşumunun baştan engellenmesi doğrudan kirlilik kaynaklarının azaltılmasını sağlar” ilkesi ile küresel çevre sorunlarına yenilikçi çözümler tasarlanmaktadır [46]. YK yaklaşımı; 12 ilkedен oluşan bir sistemle kimyasal yaşam döngüsünün aşamalarını ve tehlike potansiyelinin azaltılması için süreçleri içermektedir. YK ilkeleri, 1998'de Paul Anastas ve John Warner tarafından oluşturulmuştur [10];

1. Atık oluşumunun önlenmesi için kimyasal sentezler tekrar tasarlanmalı.
2. Atom ekonomisinin geliştirilmesi için yüksek verimli sentezler tasarlanmalı.
3. Sentezlerde; insanlara ve çevreye toksik olmayan madde kullanımı ve üretimi hedeflenmeli.
4. Daha güvenli, etkili ve toksik olmayan kimyasal ve ürünler kullanılmalı.
5. Daha güvenli çözücü ve reaksiyon koşulları tercih edilmeli.
6. Enerji verimliliği artırılmalı. Reaksiyonlar mümkün olduğu kadar oda sıcaklığında ve normal basınçta yürütülmeli.
7. Yenilenebilir hammadde kullanılmalı.
8. Kimyasal türevler ek reaktif içermektedir ve atık oluşumunu artırabilir. Bu sebeple tercih edilmemeli.
9. Tepkimelerde reaktifler ile ürünler arasındaki reaksiyon katsayısı düşük olan, etkili ve tekrar kullanılabilen katalizörler kullanılmalı.
10. Kullanıldıktan sonra doğal yollarla bozunacak kimyasallar üretilmeli.
11. Kirlilik oluşumunun önlenmesi için gerçek zamanlı çalışmalar yapılmalı.
12. Kaza olasılığı en aza indirilmeli.

ABD'nin resmi politikası olarak kabul edilen Kirliliği Önleme Yasası (1990) kirliliğin kaynağında önlenmesi veya azaltılmasını, potansiyel tehlikelerin değerlendirilmesi ve önlenemeyen kirliliğin ise çevre açısından güvenli bir şekilde geri dönüştürülmesi gerektiğini bildirmektedir [9]. Kirlilik kaynağının azaltılması için hammadde ikamesi, üretim işlemleri ve teknolojiye iyileştirmelerin yapılması gerekmektedir [47]. Benzer biçimde YK'nin de kirliliği kaynağında azaltmaya ve maliyet açısından rekabetçi ürün ve süreçler tasarlamaya yönelik hedefleri vardır. Kirliliği Önleme Yasası ile ortak hedefleri olmasından dolayı YK yaklaşım temellerinin 1990'lara dayandığı düşünülmektedir [48].

Tüm düzenlemelerini bu bakış açısıyla yapan otoritenin 2011 yılında "Sürdürülebilirlik ve EPA" raporu yayımlanmıştır. Rapor sürdürülebilirliğin kuruluş ilkelerine ve karar verme süreçlerine dahil edilmesini ve daha etkili biçimde uygulanmasını önermektedir [49]. EPA; sürdürülebilirliğin ulaşım, enerji, üretim, ürün kalitesi ve pazar gibi yaşamın her alanında uygulanması için yönlendirmeler yapmaktadır. Bunu yaparken Bina ve Organizasyonların Yeşillendirilmesi, EPA'da Sürdürülebilirlik Göstergeleri Çerçevesi Raporu (2012), Gösterge ve Endeks Veri Tabanı (DOSII) gibi sürdürülebilirliğin uygulanmasını destekleyen yöntemler kullanmaktadır [50, 51].

EPA iklim değişikliğinden kaynaklanan yıkıcı etkilerin öngörülmesi ve tedbir alınmasını teşvik etmek için 2021 İklim Uyum Planı ile federal sürdürülebilir hedefleri doğrultusunda karbon nötr enerji kullanımı ve net sıfır emisyon taahhüdünde bulunmuştur [52]. EPA 2022-2026 Stratejik Planında ilk defa sadece iklim değişikliğine odaklanılarak iklim krizi ile mücadele, çevre yasalarının uygulanması ve uyum sağlanması, temiz hava ve su, çevre için güvenli kimyasal hedefleri belirlenmiştir [53].

3.2.2. Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezi

Sağlık ve İnsan Hizmetleri Bakanlığı bünyesinde olan Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezi (Centers for Disease Control and Prevention; CDC), 1946'da kurulmuş Amerikalıların sağlığını korumakla görevli ABD federal kurumudur [54]. Misyon ve vizyonunda güvenli ortamların insan sağlığında öneminden dolayı sürdürülebilirliği desteklediği belirtilmektedir [55].

CDC, günlük çalışmaları ve sürdürülebilirlik girişimlerini tasarlarlarken federal zorunlulukları ve yönergeleri dikkate almaktadır [56]. Uyumlaştırılmış tasarımların tercih edilmesi, enerji performansının optimizasyonu, su kaynaklarının korunması, çevre kalitesinin iyileştirilmesi, çevresel etkinin minimize edilmesi ve risk değerlendirmesinin yapılması gibi yol gösterici ilkelere sahiptir [57].

3.2.3. Ulusal Sağlık Enstitüleri

Ulusal Sağlık Enstitüleri (National Institutes of Health; NIH), her biri belirli bir hastalık ya da sistemle ilgili tıbbi araştırmalar yürüten 27 enstitü ve merkezden oluşmaktadır ve çevresel faktörlerin sağlık üzerinde etkili olduğu görüşündedir. Bu nedenle de sürdürülebilirlik kapsamında çevrenin korunması misyonunun bir parçasıdır [58]. NIH sürdürülebilir uygulamalar için standartlar belirlemede aynı zamanda Amerikan halkı için daha sağlıklı ve güvenli bir gelecek hedeflemektedir. NIH sürdürülebilirlik hedeflerini yönetmek ve uygulamaları kontrol etmek için Çevre Yönetim Sistemini kurmuştur. NIH'nin sürdürülebilirlik hedefleri [59, 60];

- Sera gazı emisyonlarının azaltılması,
- Sürdürülebilir binaların tasarımı,
- Temiz ve yenilenebilir enerji,
- Suyun verimli kullanımı ve yönetimi,
- Filo yönetimi,
- Sürdürülebilir satın alma,
- Kirlilik önleme ve atık azaltma,
- Enerji Performans Sözleşmeler ile binalarda yenilenebilir enerji kullanımının teşvik edilmesi,
- İklimle dirençli altyapı ve operasyonlar geliştirerek iklim değişikliğine uyum sağlanması olarak belirlenmiştir.

NIH 2021 yılında yayınlanan Sürdürülebilirlik Uygulama Planında sürdürülebilirliğe odaklanmıştır. Buna göre, her enstitü veya merkezde Yeşil Ekipler oluşturularak çok disiplinli üyelerin iş birliği ile NIH genelinde çevresel yönetim ve sürdürülebilirliğin bütünleştirilmesi amaçlanmıştır [61].

3.2.4. İş Güvenliği ve Sağlık Otoritesi

Amerika Birleşik Devletleri'ne bağlı İş Güvenliği ve Sağlık Otoritesinin (Occupational Safety and Health Administration; OSHA) misyonu işçiler için güvenli ve sağlıklı çalışma koşulları sağlamaktır. YK ve sürdürülebilirlik yaklaşımlarını, risk kontrol hiyerarşisinin uygulanması ile iş sağlığı ve güvenliğinin iyileştirilmesinde fırsat olarak görmektedir. YK ilkelerini temel alan yaklaşımların mesleki süreçlerle ve çalışanlarla iç içe olduğu vurgulanmaktadır [62]. OSHA, dünya genelindeki otoritelerin sürdürülebilirliği benimsemesine rağmen iş yeri güvenliği ve sağlığının yeterince önemsenmediğini belirtmektedir. Bu nedenle sürdürülebilirlik kavramı kapsamında "İş Yerinde Sürdürülebilirlik" yaklaşımını geliştirmiştir [63].

Sürdürülebilirliğin uygulanmasında ABD, Kanada ve Birleşik Krallıktaki ilgili otoritelerin ortak çalışmaları da yer almaktadır. Bunlardan biri olan Güvenlik ve Sağlık Sürdürülebilirlik Merkezi, güvenlik ve sürdürülebilirliğin birbirleriyle paralel şekilde gerçekleştirilebileceği ilkesiyle 2011 yılında kurulmuştur. OSHA raporlarının standart hale getirilmesi için 2016'da girişimde bulunulmuş ve konuyla ilgili "Sürdürülebilirlik Raporlarında İş Sağlığı ve Güvenliği için En İyi Uygulama Rehberi" yayınlanmıştır [64, 65].

3.2.5. Ulusal Mesleki Güvenlik ve Sağlık Enstitüsü

Ulusal Mesleki Güvenlik ve Sağlık Enstitüsü (The National Institute for Occupational Safety and Health; NIOSH); tehlike potansiyeli olan çalışma koşullarının araştırılması, iş yerlerindeki kimyasal tehlikelerin değerlendirilmesi ve tavsiyelerde bulunulmasında görevli federal bir otoritedir. ABD işgücünün karşı karşıya olduğu iş sağlığı ve güvenliği sorunlarına çözümler üretilmesi için strateji geliştirmektedir [66].

NIOSH ve paydaşları; yeşil ve sürdürülebilirlik yaklaşımını işçi sağlığı ve güvenliğine uyarlayarak "Yeşil, Sağlıklı ve Sürdürülebilir İşler" girişimini başlatmıştır [67]. Bu kapsamda çevresel koşulları iyileştirmek ve sürdürülebilirliğin hayata geçirilmesi amacıyla çalışanlara fırsatlar sunan "yeşil işler" kavramı geliştirilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulumu ve bakımı, yeşil ürün imalatı, tarım, sağlık gibi diğer sektörlerde yeşil ürünlerin kullanıldığı işlerin "yeşil işler" olarak adlandırılabilmesi belirtilmektedir [68].

Topluma ve ekonomiye yararlar sağlarken, enerji kullanımının ve çevresel etkilerin azaltılması amacıyla geliştirilen Yeşil İşler ve Sürdürülebilir Uygulamalar yaklaşımı; yeşil teknolojileri, süreçleri ve ürünlerle ilgili yeni istihdam alanlarını, yeşil uygulamaların ve teknolojilerin tanıtıldığı mevcut işleri, yeşil ekonomiye yardımcı uygulamaları kapsamaktadır. NIOSH 2009'da "Yeşil İşleri Güvenli Hale Getirmek: Çalışan Sağlığı ve Güvenliğinin Sürdürülebilirliğe Entegre Edilmesi" çalıştayı finanse etmiştir. Bu çalıştayda altı madde sunmuştur. Bunlar [69];

1. Yeşil işler tanımlanmalı ve kategorizasyonu yapılmalı.
2. Tüm yeşil işler, uygulamalar, süreçler ve ürünler işçi sağlığı ve güvenliğine yönelik tehlikeler açısından değerlendirilmeli.
3. İşçi sağlığı ve güvenliği; enerji tasarrufu ve çevre koruma çalışmalarına entegre edilmeli.
4. Tasarım Yoluyla Önleme Stratejisi uygulanmalı.
5. Sağlık ve güvenlik, yeşil iş eğitiminin bir parçası haline getirilmeli.
6. Yeşil kriterlere sağlık ve güvenlik kavramları eklenmeli olarak sıralanmıştır.

NIOSH'nin ulusal girişimi olan Tasarım Yoluyla Önleme; risklerin önlenmesinde fırsat olarak görülmektedir [70]. Geliştirilen stratejinin amacı; yeni süreçler, yapılar, donanım veya araçlarla ilgili işçilere yönelik potansiyel tehlike ve riskleri öngörmek, bunun yanında çalışma alanlarının tasarımında tehlikeyi önleme yöntemlerini kullanarak çalışma ortamını iyileştirmektir. Bu misyon YK'nin de temel amacı ile uyumludur, ayrıca tasarım sürecinde işçinin korunmasına odaklanmaktadır [71].

3.3. Japonya

Japonya'da da YK yaklaşımı yer almaktadır. Japon kimya kuruluşları temsilcilerinden oluşan YK girişimi 1998'de kurulmuş, 1999'da Yeşil ve Sürdürülebilir Kimya Ağı (Green Sustainable Chemistry Network; GSCN) organizasyonunu yapmıştır [72]. GSCN yeşil ve sürdürülebilir kimyayı; insan sağlığı ve çevre için güvenli, sürdürülebilir bir toplumun gelişimine olanak sağlayan kimya bilimleri ve teknolojileri olarak tanımlamaktadır [73, 74].

Japonya, iklim nötr olmayı ve kaynakları verimli kullanmayı hedefleyen geçiş sürecini hızlandırmak için 2021'de AB ile "Yeşil İttifak" oluşturulacağını açıklamıştır [75]. Bunun için gerçekleştirilen AB-Japonya Zirvesinde, çevreyi ve biyoçeşitliliği korumada, iklim değişikliği ile mücadelede iş birliğinde olma kararı alınmıştır. Taraflar hedeflerine ulaşmak için YM'ye benzer şekilde beş öncelik belirlemiştir. Bunlar;

1. Düşük karbon teknolojileri ile uygun maliyetli, güvenli ve sürdürülebilir enerji geçişinde iş birliği yapılması
2. Üretim ve tüketimde sürdürülebilir uygulamaların teşvik edilmesi ve biyoçeşitliliğin korunması.
3. İklim nötr ekonomilerde küresel geçişin hızlandırılması. Düşük karbon teknolojilerinin, çevresel çözümlerin benimsenmesi ile düzenleyici ve ticari iş birliğinin sağlanması.
4. Dekarbonizasyon projeleri, yenilenebilir enerji, biyoekonomi alanlarında araştırma ve geliştirme çalışmalarının desteklenmesi.
5. Tarafların uluslararası sürdürülebilir finans konusundaki liderliğini devam ettirmesi şeklindedir [75, 76].

Japonya Ekonomi, Ticaret ve Sanayi Bakanlığı, diğer bakanlıklar ve kurumlarla birlikte '2050'de Karbon Nötrlüğünü amaçlayan Yeşil Büyüme Stratejisi'ni geliştirmiştir. Strateji; büyümesi beklenen, gelecek vadeden endüstriler için sanayi ve enerji politikaları açısından eylem planları sunmaktadır. Yeni nesil yenilenebilir enerji, taşımacılık, karbon geri dönüşümü, yeni nesil bina vb. uygulamaların gelecek vadeden endüstriler olduğu bildirilmiştir [77].

3.4. Almanya

Alman Sürdürülebilir Kalkınma Konseyi, toplumsal değişimi hedefleyen, sürdürülebilirliği yaşamın her alanında asıl hedef haline getiren projeleri başlatmakta ve desteklemektedir. Bu projeler arasında, Ulusal Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (SKH) Danışma Organları için Küresel Forum, Sürdürülebilirlik Stratejileri için Bölgesel Merkezler, Sürdürülebilirlik Kültürü Fonu, Sürdürülebilirlik Kanunu yer almaktadır [78].

Alman Hükümeti tarafından 2002 yılında kabul edilen Sürdürülebilir Kalkınma Stratejisi için 2004, 2008 ve 2012 yıllarında güncellemeler yapılmıştır [79]. Almanya'daki sürdürülebilirlik stratejisi, AB ve uluslararası politikalarla iç içedir. 2030 yılında ulaşılması planlanan hedefleri kabul etmekte ve Birleşmiş Milletler tarafından 2015'te yenilenen SKH'yi rehber edinmektedir [80]. Almanya 2030'a kadar %65 daha az CO₂ emisyonu ve 2045'e kadar da iklim nötr olmayı taahhüt etmiştir. Ülke genelinde 2038 ya da daha öncesine kadar kömür kullanımının kademeli olarak kaldırılması hedefi, nötr iklim olmak için önemli bir adım olarak belirtilmiştir [81].

Almanya bölgesel eşitsizlikleri azaltmak ve AB'deki yapısal değişiklikleri ele almak için AB Uyum Politikası kapsamında Adil Geçiş Fonu Programını, 21 Ekim 2022 tarihinde başlatmıştır. Fon iklim nötrlüğüne geçişi destekleyen bir araç olarak tanımlanmaktadır. İklim değişiminden etkilendiği belirlenen dört bölge (Länder North Rhine-Westphalia, Brandenburg, Saxony ve Saxony Anhalt) için 2,5 milyar avro bütçe ayrılmıştır [82].

3.5. Güney Kore

Güney Kore, en yüksek CO₂ salınımı yapan ve hızlı büyüyen sera gazı emisyonlarına sahip ülkeler arasında yedinci sıradadır [83]. Ülke, sürdürülebilir yaklaşımlar için 2020 yılında Kore Yeni Mutabakatı düzenlemiştir. Anlaşma kapsamında YM, Dijital Yeni Düzen ve Güçlü Güvenlik Ağı alanlarında yatırım yapılması öncelenmiştir [84, 85]. Bu sayede yaklaşık 142,62 milyar dolarlık mali yatırım yaparak 2025'e kadar yeşil uygulamalar başlığı altında iki milyona yakın iş alanı oluşturulması planlanmaktadır. Ayrıca sürdürülebilir iklim eyleminin güçlendirilmesi, yenilenebilir enerji, yeşil endüstri, yeşil altyapıların teşviki ile yeşil ekonomiye geçişin hızlandırılması hedeflenmektedir [85].

Güney Kore İklim Değişikliği için Karbon Tarafsızlığı ve Yeşil Büyüme Yasasını 2021'de yürürlüğe koyarak 2050 yılına kadar karbon nötrlüğü sağlamayı taahhüt etmektedir. Yasa ile iklim krizinin önlenmesi için sera gazı emisyonlarının azaltılması, karbon nötr bir topluma geçiş sürecinde oluşabilecek ekonomik, çevresel ve sosyal eşitsizliğin giderilmesi amaçlanmaktadır. Yeşil teknolojiyi ve yeşil endüstrilerin teşvik edilmesinin, ekonomi ile çevrenin uyumlu gelişimini bu sayede sürdürülebilir kalkınmaya katkı sağlanacağı belirtilmektedir [86].

3.6. Türkiye

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesinin (BMİDÇS) iki uygulama aracı Kyoto Protokolü ve Paris Anlaşmasıdır. Kyoto Protokolü 2020 yılına kadar BMİDÇS'nin ilk uygulamasını oluşturmuştur ve Türkiye protokole 2009'da taraf olmuştur [87]. Diğer uygulama olan Paris Anlaşması 2020 yılında devreye girmiştir. Paris Anlaşması ile Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Konferansının 2015 yılında gerçekleştirilen 21. oturumunda ilk kez küresel olarak dünya çapında tüm ülkeler sera gazı emisyon azaltımı hakkında taahhütte bulduklarını bildirmişlerdir. Türkiye anlaşmayı 2016'da geliştirmekte olan ülke olarak imzalamış, 2021 yılında da Cumhurbaşkanlığı kararı ile onaylanmıştır. Antlaşmanın "2053 yılı için net sıfır emisyon hedefi" olduğu belirtilmiştir [88].

2019 yılında yayımlanan Cumhurbaşkanlığı Hükümet Sisteminin ilk kalkınma planı olan 11. Kalkınma Planında (2019-2023) "Yaşanabilir Şehirler ve Sürdürülebilir Çevre" başlığı altında, hızla artan nüfus ve şehirleşme, ekonomik faaliyetler, çeşitlenen tüketim alışkanlıkları, çevre ve doğal kaynakların bilinçsiz kullanımı, çevre kirliliği, iklim değişikliği, kuraklık, ormansızlaşma, biyolojik çeşitlilik kaybı, sera gazı emisyonları, doğal afetlerin artması durumlarının altı çizilerek tedbirler alınması gerektiği vurgulanmaktadır. Bu kapsamda "talebin ve tüketimin arttığı dünyada sürdürülebilir çevre ve doğal kaynak yönetimi ile yaşanabilir kentlerin inşası" amaçlanmaktadır. Planda, toprak ve su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı hedeflerine ve iklim değişikliği ile mücadele kapsamında; yeşil büyüme, emisyonun azaltılması yönünde politika izlenmesinin gerekliliğine vurgu yapılmıştır. Ulusal Yeşil Bina Sertifika Sisteminin kurulması, enerji verimliliğinin artırılması, çevresel etkilerin en aza indirilmesi ve sürdürülebilirliğin sağlanmasına yönelik Yeşil Liman uygulamalarının geliştirilmesi planlanmıştır. Yeşil Şehir vizyonu kapsamında iklim değişikliği ile mücadele için uygulamalar yapılması da belirtilmiştir [89]. Haziran 2022 tarihli ve 31862 sayılı Resmî Gazetede yayımlanan genelge ile çalışmaları başlatılan ve hazırlık aşamasında olan 12. Kalkınma Planının Özel İhtisas Komisyonu Listesinde de Büyüme Dinamikleri ve Yeşil Büyüme, İşgücü Piyasalarında Yeşil Dönüşüm, İklim Değişikliğinin Sürdürülebilir Kalkınmaya Etkisi şeklinde başlıklar bulunmaktadır [90].

Dünyayı daha yaşanılır kılmak için sürdürülebilir üretim ve tüketim çalışmaları kapsamında Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 11. Kalkınma Planındaki yeşil şehir vizyonu kapsamında “Türkiye Çevre Etiket Sistemi” geliştirilmiştir. 2020 yılında Küresel Eko-Etiket Ağına ortak üye olarak kabul edilen Türkiye Çevre Etiket Sistemi, 2022 yılında gerçekleştirilen denetimlerin ardından tam üyeliğe kabul edilmiştir. Çevreye duyarlı ürün ve hizmetleri teşvik eden, tüketici ve üreticileri bilgilendirmeyi amaçlayan ve gönüllülük esasına dayana bir sistemdir [91].

Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı 2021’de 31543 Sayılı Resmî Gazetede uluslararası ticarete gündemde olan iklim değişikliği ile mücadele politikası kapsamında ticarete rekabetçiliği artırmayı hedefleyen “Yeşil Mutabakat Eylem Planı ile İlgili 2021/15 Sayılı Cumhurbaşkanlığı Genelgesi” yayımlanmıştır. Eylem Planının, Türkiye’nin sürdürülebilir ve etkin kaynak kullanımı ile yeşil ekonomiye geçişine katkı ve Avrupa Yeşil Mutabakat hedeflerine uyum sağlaması için geliştirildiği belirtilmektedir. Eylem Planının uygulamasının takip edilmesi, küresel politika gelişmeleri doğrultusunda çalışmaların yönlendirilmesi amacıyla da Yeşil Mutabakat Çalışma Grubu oluşturulmuştur [92].

Konuya Ulusal bakışı anlatmaya, farkındalığı artırmaya ve Türkiye’deki durumu izlemeye yönelik yayımlanmış çalışmalar bulunmaktadır. YK kavramı ve 12 ilkesinin [93], YM’nin tarım ve gıda sektörleri üzerindeki etkisinin [94] irdelendiği çalışmalar bulunmaktadır. Türkiye nüfusu ve en kalabalık ikinci Akdeniz ülkesi statüsünde olması nedeniyle YM kavramının tarım ve gıda sektörleri üzerindeki potansiyel etkisinin incelenmesinde ideal bir ülke olacağı vurgulanmıştır [94]. YM politikalarının Türkiye ekonomisi üzerindeki beklenen ekonomik etkilerini ve daha aktif bir iklim politikası izleyerek elde edilebilecek potansiyel faydalar incelenmiş ve ekonomi üzerine etkileri karbon sınırı ayarlama mekanizmaları ve döngüsel ekonomi düzenlemeleri olarak iki başlık altında toplanmıştır [95]. Türkiye’de Çevre Etiket Sisteminin 2018 yılında yürürlüğe girmesi ile eko-etiket kavramı, Türkiye Çevre Etiket Sistemi anlatılarak [96] farkındalık artırılmaktadır. Ayrıca, literatürde doğal ve organik ürün standartları, yeşil formülasyonlar, üretimde kullanılan YM ilkeleri ve sürdürülebilirlik açısından kozmetiklerdeki yeşil yaklaşımlara da yer verilmektedir [97].

3.7. Ekonomik İş Birliği ve Kalkınma Örgütü

Ekonomik İş birliği ve Kalkınma Örgütü, herkes için daha iyisini amaçlayan; hükümetler, politika yapıcılar ve vatandaşlarla birlikte kanıta dayalı standartlar belirleyen; sosyal, ekonomik ve çevresel sorunlara çözümler üreten uluslararası (küresel) yapılanmadır [98].

OECD’nin Yeşil Büyüme yaklaşımının; toplum refahının bağlı olduğu kaynakların ve çevresel hizmetlerin sürdürülebilirliğine olanak sağlarken ekonomik büyüme ve kalkınmayı teşvik etmekle ilgili olduğu belirtilmektedir. Yaklaşımın hayata geçirilmesi için sürekli büyümeyi destekleyecek ve yeni ekonomik fırsatlara olanak sağlayacak yatırım ve inovasyonların harekete geçirilmesi vurgulanmaktadır [99]. OECD güvenilir ve bilinçli yeşil büyüme politika temelleri oluşturmak adına sürekli yenilenen ve düzenlenen çevresel gösterge çalışmaları yürütmektedir [100]. Yeşil Büyüme Göstergeleri, ekonomik konular ve politika tepkilerini konu alan çevresel inovasyon etkinliğini ölçmek için yeşil patent göstergeleri (2015) yayımlamıştır [101].

Küresel salgın sonrasında ülkeler ekonomilerini yeniden inşa etmeyi, öngörülen zorluklara karşı hazırlıklı olmayı hedeflerken iklim değişikliği, hava ve su kirliliği, biyolojik çeşitlilik kaybı, verimsiz kaynak kullanımı gibi küresel sorunları da ele almaktadır. Küresel salgının sosyo-ekonomik etkilerini ele almak adına tasarlanan politikalarda ‘yeşil toparlanma önlemleri’ de pek çok ülkede yer almaktadır. OECD bünyesinde 2020’de gerçekleştirilen analizde ülkelerin yeşil toparlanma politikasında yeşil ve kapsamlı ekonomik kalkınmayı desteklemek için önlemler ele alınmıştır. Bunlar arasında yeşil ulaşımaya yönelik krediler ve vergi indirimi, döngüsel ekonomi ve temiz enerji araştırmaları, enerji verimliliği iyileştirmeleri ve yenilenebilir enerji kuruluşlarına mali destek, ekosistem iyileştirmelerinde istihdam yaratmak ve ekonomik faaliyeti canlandırmak için yeni finansmanlar sağlanması, istilacı yabancı türlerin kontrolü ve ormanların korunması yer almaktadır. Sanayi, tarım, ormancılık ve atık yönetimi gibi sektörler daha az hedeflenmiştir [102].

Çevresel sorunların üstesinden gelmek için gün geçtikçe katılaşılan çevre politikaları benimsenmekte ve uygulanmaktadır. OECD'nin 2021 yılında çevre politikalarının ekonomik etkilerine yönelik yayımlanan on yıllık (1995-2015) rapora göre çevre politikalarının ekonomik sonuçlara (istihdam, ticaret, üretkenlik gibi) etkilerinin az olduğu ancak emisyon azaltılması gibi çevresel çıktılar bakımından fayda sağladığı belirtilmektedir [103].

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sürdürülebilirlik, sürdürülebilir kalkınma hedefleri küresel boyutta ve ABD, AB öncülüğünde olmak üzere çeşitli birlikler, ülkeler öncülüğünde kabul görmektedir. Özellikle, 'yeşil' ön ekini alan yaklaşımlar ve stratejiler ekonomi, çevre gibi pek çok başlıkta yasal düzenlemelerde yer almaktadır. Özellikle son 20 yıl sürdürülebilir yaklaşımların yaygınlaştığı teşvik edildiği ve fonlandığı ve mevzuata konu olduğu görülmektedir. Sürdürülebilirlik ve yeşil yaklaşımların gündeme gelmesindeki en önemli etken insan ve çevre sağlığını tehdit eden küresel sorunların ve tehlikelerin önüne geçme ve üstesinden gelme ihtiyacıdır.

Yeşil Mutabakat, AB tarafından 2019'da yayımlanarak "iklim nötr olan ilk kıta olma" hedefiyle dikkat çekmiştir. Birlik içindeki Almanya gibi pek çok ülke de kendi yaklaşımlarını geliştirmiştir. Yeşil Kimya ise ABD ile özdeşleşmiş tarihsel olarak daha eskiye dayanan stratejileri ve ilkeleri taşısa da günümüzde aynı hedeflere odaklı süreçleri içermektedir. Sürdürülebilirlik yaklaşımlarıyla gerçekleştirilen her adımın tüm dünyada yeni ekonomik ve ortak pazarlar oluşturması ve endüstride yeni rekabetçi fırsatlara olanak sağlaması sağlıklı toplum ve çevre gözetilerek atılmaktadır. Dolayısıyla regülasyonlardan sorumlu otoriteler stratejilerini geliştirirken kurallarını belirlerken 'yeşil' süreçleri öncelemektedir.

Türkiye ilaçtan kozmetiğe, gıdadan çevresel etkenlere her türlü yasal düzenlemesinde AB mevzuatını izlemektedir. Uluslararası ticaret, ruhsatlandırma ve kayıt altına alma politikalarını da belirlerken planlarına, uygulamalarına 'yeşil' yaklaşımları ivedilikle dahil etmektedir. Bilimsel literatür sürdürülebilirlik başlığında incelendiğinde Türkiye'nin konumunu ve yaklaşımlarını konu alan çalışmaların özellikle 2020 yılından sonra arttığı gözlenmiştir. Türkiye'de sürdürülebilirlik, YK, YM, yeşil kozmetik, yeşil ekonomi ve yeşil uygulamalarda tedarik zincirinin konu edildiği çalışmalar yer almaktadır. Sağlıklı bireylerin ve çevrenin sürekli kılınması küresel çabalar, yasal düzenlemeler ve bunlara katı uyumla mümkün olacaktır. Konu ile ilgili Ulusal yaklaşımlar öncü ülke ve yasal düzenleyici otoritelerin işleyişleri ile incelenmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI/ÇAKIŞMASI BİLDİRİMİ

Yazarlar arasında çıkar çatışması/çakışması bulunmamaktadır.

TEŞEKKÜR

Arş. Gör. İrem İYİGÜNDOĞDU' ya Web of Science taramaları sırasındaki katkısından dolayı teşekkür ederiz.

YAZAR KATKI ORANI

Rumeysa Çetin: Araştırma, Makalenin yazımı-Orijinal taslak. **Fatma Okuş:** Araştırma, Makalenin yazımı-Orijinal taslak **Gonca Çakmak:** Makalenin kurgusu- Makalenin yazımı-İnceleme ve Düzenleme

KAYNAKLAR

- [1] İnternet: Secretary-General, U. ve Development, W. C. o. E. a. Report of the World Commission on Environment and Development "Our Common Future". URL: <https://digitallibrary.un.org/record/139811>.
- [2] Kuhlman, T. ve Farrington, J. (2010). What is Sustainability? *Sustainability*, 2(11), 3436-3448.
- [3] Eizenberg, E. ve Jabareen, Y. (2017). Social sustainability: A new conceptual framework. *Sustainability*, 9(1), 68.
- [4] İnternet: Energy, U.S.D.O. Environmental Sustainability. URL: <https://www.energy.gov/lm/listings/envi-ron-mental-sustainability>, Son Erişim Tarihi: 04.02.2023.
- [5] Morelli, J. (2011). Environmental sustainability: A definition for environmental professionals. *Journal of environmental sustainability*, 1(1), 2.
- [6] Moldan, B., Janoušková, S., ve Hák, T. (2012). How to understand and measure environmental sustainability: Indicators and targets. *Ecological indicators*, 17, 4-13.
- [7] Gedik, Y. (2020). Sosyal, Ekonomik Ve Çevresel Boyutlarla Sürdürülebilirlik Ve Sürdürülebilir Kalkınma. *Uluslararası Ekonomi Siyaset İnsan ve Toplum Bilimleri Dergisi*, 3(3), 196-215.
- [8] İnternet: Commission, E. A European Green Deal URL: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en, Son Erişim Tarihi: 04.02.2023.
- [9] İnternet: Act, U. S. E. P. Pollution Prevention Act of 1990. URL: <https://www.epa.gov/p2/pollution-prevention-act-1990#pol>, Son Erişim Tarihi: 20.12.2023.
- [10] Anastas, P. T. ve Warner, J. C. (1998). Green chemistry. *Frontiers*, 640, 1998.
- [11] İnternet: Union, E. Founding Agreements. URL: https://european-union.europa.eu/principles-countries-history/principles-and-values/founding-agreements_en, Son Erişim Tarihi: 04.04.2023.
- [12] İnternet: Başkanlığı, T.C.D.İ.B.A.B. AB Yapısı ve İşleyişi. URL: https://www.ab.gov.tr/bir-bakista-ab_3.html, Son Erişim Tarihi: 04.04.2023.
- [13] İnternet: Union, E. Institutions, law, budget. URL: https://european-union.europa.eu/institutions-law-budget_en, Son Erişim Tarihi: 04.04.2023.
- [14] İnternet: Union, E. Treaty of Lisbon Amending the Treaty on European Union and the Treaty Establishing the European Community, 2007/C 306/01. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:12007L/TXT&from=EN#d1e575-1-1>, Son Erişim Tarihi: 08.05.2023.
- [15] İnternet: Commission, E. Delivering the European Green Deal. URL: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_en Son Erişim Tarihi: 04.02.2023.
- [16] İnternet: Agency, E. E. The European Green Deal. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52019DC0640>, Son Erişim Tarihi: 09.04.2023.
- [17] İnternet: Parliament, T. E. REGULATION (EU) 2021/1119 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL, establishing the framework for achieving climate neutrality and amending Regulations (EC) No 401/2009 and (EU) 2018/1999 ('European Climate Law'). URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32021R1119&qid=1680644407078&from=EN>, Son Erişim Tarihi: 08.05.2023.
- [18] İnternet: Council, E. European Council meeting (12 December 2019) – Conclusions. URL: <https://www.consilium.europa.eu/media/41768/12-euco-final-conclusions-en.pdf>, Son Erişim Tarihi: 08.05.2023.
- [19] Golubchikov, O. (2011). Climate neutral cities: How to make cities less energy and carbon intensive and more resilient to climatic challenges. *New York and Geneva: United Nations, Economic Commission for Europe (UNECE)*.
- [20] Skjærseth, J. B. (2021). Towards a European Green Deal: The evolution of EU climate and energy policy mixes. *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics*, 21(1), 25-41.
- [21] İnternet: Gregor Erbach, L. J. Fit for 55 package. European Parliamentary Research Service. URL: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2022/733513/EPRS_BRI\(2022\)733513_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2022/733513/EPRS_BRI(2022)733513_EN.pdf), Son Erişim Tarihi: 31.03.2023.
- [22] İnternet: Council, E. Timeline - European Green Deal and Fit for 55. URL: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/timeline-european-green-deal-and-fit-for-55/>, Son Erişim Tarihi: 31.03.2023.
- [23] Brooks, B. W. (2019). Greening chemistry and ecotoxicology towards sustainable environmental quality. *Green Chemistry*, 21(10), 2575-2582.
- [24] Sanyé-Mengual, E. ve Sala, S. (2022). Life Cycle Assessment support to environmental ambitions of EU policies and the Sustainable Development Goals. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 18(5), 1221-1232.

- [25] Molteni, R., ve Alonso-Prados, J. L. (2020). Study of the different evaluation areas in the pesticide risk assessment process. *EFSA Journal*, 18, e181113.
- [26] Bronzwaer, S., Alves, F., das Neves, C. G., Byrne, P., ve Url, B. (2023). EFSA's second Risk Assessment Research Assembly (RARA) delivered on its objectives. *Trends in Food Science & Technology*.
- [27] Ronzon, T., Piotrowski, S., Tamosiunas, S., Dammer, L., Carus, M., ve M'barek, R. (2020). Developments of economic growth and employment in bioeconomy sectors across the EU. *Sustainability*, 12(11), 4507.
- [28] Fanea-Ivanovici, M. ve Siemionek-Ruskañ, M., *Green Finance—A Necessity in the Context of the Green Deal and Sustainable Development Goals. A Bibliometric Analysis*, in *International Conference on Business Excellence*. 2022, Springer. p. 65-78.
- [29] Dolge, K., Balode, L., Laktuka, K., Kirsanovs, V., Barisa, A., ve Kubule, A. (2023). A Comparative Analysis of Bioeconomy Development in European Union Countries. *Environmental Management*, 71(2), 215-233.
- [30] İnternet: Agency, E.C. ECHA ready to help the EU achieve its ambitions for safe and sustainable chemicals. URL: <https://echa.europa.eu/-/echa-ready-to-help-the-eu-achieve-its-ambitions-for-safe-and-sustainable-chemicals>, Son Erişim Tarihi: 19.01.2023.
- [31] İnternet: Agency, E.C. Legislation. URL: <https://echa.europa.eu/legislation>, Son Erişim Tarihi: 04.04.2023.
- [32] İnternet: Commission, E. Parliament, The Council, The European Economic and Social Committee and The Committee of The Regions: Chemicals Strategy for Sustainability Towards a Toxic Free Environment COM(2020) 667 final. URL: <https://ec.europa.eu/environment/pdf/chemicals/2020/10/Strategy.pdf>. Son Erişim Tarihi: 08.05.2023.
- [33] İnternet: Commission, E. Chemicals strategy for sustainability, Roadmap. URL: <file:///C:/Users/ctnr/Downloads/090166e5cf11a8c8.pdf>, Son Erişim Tarihi: 08.05.2023.
- [34] İnternet: Chemicals – strategy for sustainability (toxic-free EU environment). URL: https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12264-Chemicals-strategy-for-sustainability-toxic-free-EU-environment-_en, Son Erişim Tarihi: 10.01.2023.
- [35] İnternet: Agency, E. C. Annual Report 2021. URL: <https://echa.europa.eu/annual-report-2021>, Son Erişim Tarihi: 19.01.2023.
- [36] İnternet: Commission, E. Chemicals strategy. URL: https://environment.ec.europa.eu/strategy/chemicalsstrategy_en#main-content, Son Erişim Tarihi: 10.01.2023.
- [37] İnternet: Authority, E.F.S. Mission and values. URL: <https://www.efsa.europa.eu/en/about/mission-values>, Son Erişim Tarihi: 04.04.2023.
- [38] İnternet: Authority, E.F.S. Climate change and food safety. URL: <https://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/climate-change-and-food-safety>, Son Erişim Tarihi: 04.04.2023.
- [39] İnternet: Authority, E.F.S. EFSA Strategy 2027 Science, Safe food, Sustainability. URL: <https://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/2021-07/efsa-strategy-2027.pdf>, Son Erişim Tarihi: 08.04.2023.
- [40] İnternet: Agency, E. M. History of European Medicines Agency URL: <https://www.ema.europa.eu/en/about-us/history-ema>, Son Erişim Tarihi: 04.04.2023.
- [41] İnternet: Agencies, E. M. Network Strategy. URL: <https://www.ema.europa.eu/en/about-us/how-we-work/european-medicines-regulatory-network/european-medicines-agencies-network-strategy>, Son Erişim Tarihi: 09.04.2023.
- [42] İnternet: Commission, E. A pharmaceutical strategy for Europe. URL: https://health.ec.europa.eu/medicinal-products/pharmaceutical-strategy-europe_en#modal, Son Erişim Tarihi: 06.04.2023.
- [43] İnternet: Commission, E. Pharmaceutical Strategy for Europe. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0761> Son Erişim Tarihi: 06.04.2023.
- [44] İnternet: (OFR), O.o.t.F.R. Title 40: Protection of Environment. URL: <https://www.archives.gov/federal-register/cfr/subject-title-40.html#page-header>, Son Erişim Tarihi: 04.04.2023.
- [45] De Marco, B. A., Rechelo, B. S., Tótolı, E. G., Kogawa, A. C., ve Salgado, H. R. N. (2019). Evolution of green chemistry and its multidimensional impacts: A review. *Saudi pharmaceutical journal*, 27(1), 1-8.
- [46] İnternet: (EPA), E.P.A. Basics of Green Chemistry. URL: <https://www.epa.gov/greenchemistry/basics-green-chemistry#ppa>, Son Erişim Tarihi: 13.02.2022.
- [47] Linthorst, J. (2010). An overview: origins and development of green chemistry. *Foundations of chemistry*, 12(1), 55-68.
- [48] İnternet: Agency, U.S.E.P. Basics of Green Chemistry. URL: <https://www.epa.gov/greenchemistry/basics-green-chemistry#ppa>, Son Erişim Tarihi: 19.01.2023.
- [49] Council, N. R. (2011). *Sustainability and the U.S. EPA*. Washington, DC: The National Academies Press, 162.

- [50] İnternet: Fiksel, J., Eason, T., Frederickson, H., ve A Framework for Sustainability Indicators at EPA National Risk Management Research Laboratory. URL: <https://www.epa.gov/sites/default/files/201410/documents/framework-for-sustainability-indicators-at-epa.pdf>, Son Erişim Tarihi: 08.05.2023.
- [51] İnternet: Agency, U.S.E.P. Learn About Sustainability. URL: <https://www.epa.gov/sustainability/learn-about-sustainability#what>, Son Erişim Tarihi: 19.01.2023.
- [52] İnternet: Agency, U.S.E.P. Climate Adaptation Action Plan. URL: <https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-09/epa-climate-adaptation-plan-pdf-version.pdf>, Son Erişim Tarihi: 03.04.2023.
- [53] İnternet: Agency, U.S.E.P. EPA Strategic Plan 2022-2026. URL: <https://www.epa.gov/system/files/documents/2022-03/fy-2022-2026-epa-strategic-plan.pdf>, Son Erişim Tarihi: 03.04.2023.
- [54] Felter, C. (2020). What Does the CDC Do? *Council on Foreign Relations*.
- [55] İnternet: Prevention, C.f.D.C.a. Sustainability, Mission and Vision URL: <https://www.cdc.gov/sustainability/index.htm>, Son Erişim Tarihi: 20.01.2023.
- [56] İnternet: Prevention, C.f.D.C. Sustainability, Goals and Reporting. URL: <https://www.cdc.gov/sustainability/goals/>, Son Erişim Tarihi: 20.01.2023.
- [57] İnternet: Prevention, C.f.D.C.a. Sustainability at CDC. URL: <https://www.cdc.gov/sustainability/cdc/index.htm>, Son Erişim Tarihi: 20.01.2023.
- [58] İnternet: Services, U.S.D.o.H.a.H. National Institutes of Health URL: <https://www.nih.gov/>, Son Erişim Tarihi: 20.01.2023.
- [59] Collins, F. S. (2010). Opportunities for research and NIH. *Science*, 327(5961), 36-37.
- [60] İnternet: Sustainability, N.I.o.H. URL: <https://nems.nih.gov/sustain/Pages/default.aspx> Son Erişim Tarihi: 20.01.2023.
- [61] İnternet: Health, N. I. o. 2021 Sustainability Implementation Plan URL: <https://nems.nih.gov/Documents/NIH%20FY21%20Sustainability%20Plan.pdf>, Son Erişim Tarihi: 08.05.2023.
- [62] Schulte, P. A., McKernan, L. T., Heidel, D. S., Okun, A. H., Dotson, G. S., Lentz, T. J., Geraci, C. L., Heckel, P. E., ve Branche, C. M. (2013). Occupational safety and health, green chemistry, and sustainability: a review of areas of convergence. *Environmental Health*, 12(1), 1-9.
- [63] İnternet: Administration, U.S.D.o.L.-O. S. a. H. Sustainability in the Workplace, OSH-Sustainability Connection. URL: <https://www.osha.gov/sustainability/sustainability-connection>, Son Erişim Tarihi: 19.01.2023.
- [64] İnternet: Administration, U.S.D.o.L.-O.S.a. H. Sustainability in the Workplace, Sustainability Spotlight. URL: <https://www.osha.gov/sustainability/spotlight>, Son Erişim Tarihi: 19.01.2023.
- [65] İnternet: Mansdorf, Z. CSHS Best Practice Guide for Occupational Health and Safety in Sustainability Reports. URL: https://www.centershhs.org/assets/docs/CSHS_Best_Practice_Guide_Final.pdf, Son Erişim Tarihi: 08.05.2023.
- [66] İnternet: Health, T.N.I.f.O.S.a. NIOSH Strategic Plan: FYs 2019–2026. URL: https://www.cdc.gov/niosh/about/strategicplan/pdf/NIOSH-Strategic-Plan_V6_Oct-2022.pdf, Son Erişim Tarihi: 08.05.2023.
- [67] İnternet: Branche, C. Going Green: Safe and Healthy Jobs. URL: <https://blogs.cdc.gov/niosh-science-blog/2009/07/01/green/>, Son Erişim Tarihi: 26.02.2023.
- [68] Stanef-Puică, M.-R., Badea, L., Şerban-Oprescu, G.-L., Şerban-Oprescu, A.-T., Frâncu, L.-G., ve Creţu, A. (2022). Green Jobs—A Literature Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(13), 7998.
- [69] İnternet: Services, D.o.H.a.H. Summary of the Making Green Jobs Safe Workshop. URL: <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2011-201/pdfs/2011-201.pdf?id=10.26616/NIOSH-PUB2011201>, Son Erişim Tarihi: 23.03.2023.
- [70] İnternet: (NIOSH), T.N.I.f.O.S.a. H. Prevention through Design. Centers for Disease Control and Prevention. URL: <https://www.cdc.gov/niosh/topics/PtD/>, Son Erişim Tarihi: 26.02.2023.
- [71] Schulte, P. A., Rinehart, R., Okun, A., Geraci, C. L., ve Heidel, D. S. (2008). National prevention through design (PtD) initiative. *Journal of safety research*, 39(2), 115-121.
- [72] Misono, M. (2000). Green/sustainable chemistry in Japan. *Catalysis Surveys from Asia*, 4, 93.
- [73] Ushikubo, b. T. (2013). Green Chemistry in Japan. *Chemistry International -- Newsmagazine for IUPAC*, 35(4), 9-11.
- [74] İnternet: Innovation, J.A.f.C. Green & Sustainable Chemistry Network (GSCN). URL: https://www.jaci.or.jp/english/gscn/page_01.html, Son Erişim Tarihi: 20.01.2023.

- [75] İnternet: Commission, E. The EU and Japan commit to a new Green Alliance to work towards climate neutrality. URL: https://climate.ec.europa.eu/news-your-voice/news/eu-and-japan-commit-new-green-alliance-work-towards-climate-neutrality-2021-05-27_en#:~:text=Both%20the%20EU%20and%20Japan,global%20biodiversity%20framework%20at%20COP15, Son Erişim Tarihi: 09.04.2023.
- [76] İnternet: Action, D.-G. f. C. Towards a Green Alliance to protect our environment, stop climate change and achieve green growth. URL: https://www.consilium.europa.eu//media/49932/eu-japan-green-alliance-may-2021.pdf?utm_source=dsms-auto&utm_medium=email&utm_campaign=EU-Japan+Green+Alliance, Son Erişim Tarihi: 08.05.2023.
- [77] İnternet: Ministry of Economy, T. a. I. M. Green Growth Strategy Through Achieving Carbon Neutrality in 2050. URL: https://www.meti.go.jp/english/policy/energy_environment/global_warming/ggs2050/index.html, Son Erişim Tarihi: 20.01.2023.
- [78] İnternet: Development, G.C.f.S. Projects. URL: <https://www.nachhaltigkeitsrat.de/en/projects/>, Son Erişim Tarihi: 20.01.2023.
- [79] Hauff, V. (2004). The German Council for Sustainable Development. Eco-efficiency and Beyond Towards the Sustainable Enterprise. ed. C.L. Jan-Dirk, Seiler-Hausmann, Ernst Ulrich von Weizscker. London, 4.
- [80] İnternet: Development, G.C.f.S. Sustainability Policy in Germany. URL: <https://www.nachhaltigkeitsrat.de/en/sustainability-policy-in-germany/>, Son Erişim Tarihi: 20.01.2023.
- [81] Kalt, T. (2021). Jobs vs. climate justice? Contentious narratives of labor and climate movements in the coal transition in Germany. *Environmental Politics*, 30(7), 1135-1154.
- [82] İnternet: Commission, E. EU Cohesion Policy: €2.5 billion for a just climate transition in Germany. URL: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_6275, Son Erişim Tarihi: 08.05.2023.
- [83] OECD. (2017). OECD Environmental Performance Reviews: Korea 2017.
- [84] Lee, J.-H. ve Woo, J. (2020). Green new deal policy of South Korea: Policy innovation for a sustainability transition. *Sustainability*, 12(23), 10191.
- [85] İnternet: Agency, T. I. E. Korean New Deal - Digital New Deal, Green New Deal and Stronger Safety Net. URL: <https://www.iea.org/policies/11514-korean-new-deal-digital-new-deal-green-new-deal-and-stronger-safety-net>, Son Erişim Tarihi: 27.02.2023.
- [86] İnternet: Agency, T.I.E. Carbon Neutrality and Green Growth Act for the Climate Change. URL: <https://www.iea.org/policies/14212-carbon-neutrality-and-green-growth-act-for-the-climate-change>, Son Erişim Tarihi: 31.03.2023.
- [87] İnternet: Bakanlığı, T.C.D. Kyoto Protokolü. URL: <https://www.mfa.gov.tr/kyoto-protokolu.tr.mfa>, Son Erişim Tarihi: 07.04.2023.
- [88] İnternet: Bakanlığı, T.C.D. Paris Anlaşması. URL: <https://www.mfa.gov.tr/paris-anlasmasi.tr.mfa#:~:text=Anla%20C5%9Fma%20C%205%20Ekim%202016%20itibariyle,y%C3%BCr%C3%BCr%C3%BCr%C4%9Fe%20giren%20ilk%20k%C3%BCresel%20anla%C5%9Fmad%C4%B1r.>, Son Erişim Tarihi: 17.02.2023.
- [89] İnternet: Başkanlığı, T.C.S.v.B. On Birinci Kalkınma Planı. URL: https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/07/On_Birinci_Kalkinma_Planı-2019-2023.pdf Son Erişim Tarihi: 30.03.2023.
- [90] İnternet: Başkanlığı, T.C.S.v.B. On İkinci Kalkınma Planı (2024 - 2028). URL: <https://onikinciplan.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/12/On-Ikinci-Kalkinma-Planı-Ozel-Ihtisas-Komisyonlari-El-Kitabi-08122022.pdf>, Son Erişim Tarihi: 04.04.2023.
- [91] İnternet: T.C. Çevre, Ş. v. İ.D.B. “Türkiye Çevre Etiket Sistemi” Küresel Eko-Etiket Ağı'ndan Tam Üyelik Aldı. URL: <https://csb.gov.tr/turkiye-cevre-etiket-sistemi-kuresel-eko-etiket-agi-ndan-tam-uyelik-aldi-bakanlik-faaliyetleri-36274>, Son Erişim Tarihi: 07.04.2023.
- [92] İnternet: Bakanlığı, T.C.T. Yeşil Mutabakat Eylem Planı 2021. URL: <https://ticaret.gov.tr/data/60f1200013b876eb28421b23/MUTABAKAT%20YE%20C5%9E%20C4%B0L.pdf>.
- [93] Sogut, O. ve Çelebi, B. (2020). Daha temiz analizler: yeşil kimya. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(1), 160-175.
- [94] Keskin, B. ve Güneş, E. (2023). The European Green Deal: Implications for Turkey. *Mediterranean Politics*, 1-13.
- [95] Acar, S., Aşıcı, A. A., ve Yeldan, A. E. (2022). Potential effects of the EU's carbon border adjustment mechanism on the Turkish economy. *Environment, Development and Sustainability*, 24(6), 8162-8194.
- [96] Birpınar, M. E., Serkan, A., ve Yetiş, Ü. (2023). Sürdürülebilir Üretim ve Tüketimde Eko-Etiketlerin Önemi: Türkiye Çevre Etiket Sistemi. *Çevre Şehir ve İklim Dergisi*, 2(3), 60-81.
- [97] İnal, Ö. (2023). Yeşil Kozmetikler. *Journal of Faculty of Pharmacy of Ankara University/Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Dergisi*, 47(2).

- [98] İnternet: Development, T.O.f.E.C.-o.a. Who we are. URL: <https://www.oecd.org/about/>, Son Erişim Tarihi: 04.04.2023.
- [99] İnternet: Development, T.O.f.E.C.-o.a. Green growth indicators framework. URL: <https://www.oecd.org/greengrowth/green-growth-indicators/>, Son Erişim Tarihi: 05.04.2023.
- [100] İnternet: Development, T.O.f.E.C.-o.a. Environmental indicators, modelling and outlooks. URL: <https://www.oecd.org/environment/indicators-modelling-outlooks/>, Son Erişim Tarihi: 07.07.2023.
- [101] İnternet: Development, T.O.f.E.C.-o.a. Green patents. URL: <https://www.oecd.org/environment/indicators-modelling-outlooks/green-patents.htm>, Son Erişim Tarihi: 07.04.2023.
- [102] İnternet: Development, T.O.f.E.C.-o.a. Making the Green Recovery work for jobs, income and growth. URL: https://read.oecd-ilibrary.org/view/?ref=136_136201-ctwt8p7qs5&title=Making-the-Green-Recovery-Work-for-Jobs-Income-and-Growth_, Son Erişim Tarihi: 08.05.2023.
- [103] İnternet: Development, T.O.f.E.C.-o.a. Assessing the Economic Impacts of Environmental Policies Evidence from a Decade of OECD Research. URL: <https://www.oecd.org/environment/assessing-the-economic-impacts-of-environmental-policies-bf2fb156-en.htm>, Son Erişim Tarihi: 03.04.2023.

MMT Katkılı IPN Tipi Hidrojellerin Sentez ve Karakterizasyonu

Evrım Sever , Mehlika Pulat 

Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, Fizikokimya Anabilim Dalı, 06500, Ankara, Türkiye

Öne Çıkanlar

- Sentezlenen hidrojeller doğal polimerlerin bir araya getirilmesi ile elde edilmiştir.
- Söz konusu hidrojeller yüksek su absorpsiyon kapasitesine sahiptirler.
- Montmorilonit kilinin ağ yapısı içerisinde sağladığı fiziksel etkileşimler ile hidrojel özellikleri iyileştirilmiştir.

Makale Bilgileri

Geliş: 28/08/2023
Kabul: 23/10/2023

Anahtar Kelimeler

Hidrojel,
Jelatin,
Karboksümetil Selüloz,
Montmorilonit.

Öz

Bu çalışmanın amacı iç içe geçmiş polimer ağ yapılar (Interpenetrating Polymer Network, IPN) sentezleyerek potansiyel bir salım sistemi geliştirmektir. IPN tipi hidrojeller, doğal polimerlerden karboksümetil selüloz ve jelatin kullanılarak, jelatinin çapraz bağlayıcısı olan glutaraldehit varlığında sentezlenmiştir. Sentez sırasında hidrojel karışımına tabakalı yapıdaki Montmorilonit kili eklenmiştir. Elde edilen hidrojeller Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR), X-Işını Kırınımı (XRD), Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) analizleriyle ve hidrojel oluşum verimi, şişme/bozunma testleri ile karakterize edilmiştir. Şişme testleri ağ yapısındaki MMT varlığının hidrojelin şişme özelliğini azalttığını göstermiştir. SEM görüntülerinden, yapıya eklenen MMT kilinin polimer ağ içerisinde homojen bir şekilde dağıldığı ve gözenek içlerine yerleştiği gözlenmiştir. Sentezlenen hidrojeller bu özellikleri sayesinde tarım, gıda, boya giderme ve biomedikal uygulamalarda alternatif bir salım sistemi olabilir.

The Synthesis and Characterization of MMT Added IPN Type Hydrogels

Highlights

- Synthesized hydrogels were obtained by combining natural polymers.
- These hydrogels have high water absorption capacity.
- The hydrogel properties have been improved by the physical interactions provided by the montmorillonite clay within the network structure.

Article Info

Received: 25/08/2023
Accepted: 23/10/2023

Keywords

Hydrogel,
Gelatin,
Carboxymethyl cellulose,
Montmorillonite.

Abstract

The purpose of this study is to develop a controlled releasing system by synthesizing of Interpenetrating polymer network (IPN) type of hydrogels. The IPN type hydrogels were synthesized by using natural polymers carboksümetil cellulose and gelatin in the presence of Glutaraldehyde that crosslinker of gelatin. At the stage of synthesis, Montmorillonite clay that have layered structure was added to mixture of hydrogel. The obtained hydrogels were characterized via Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR), X-Ray Diffraction (XRD) and Scanning Electron Microscopy (SEM) analysis and hydrogel formation, swelling/degradation measurements. Swelling tests presented that the presence of MMT in the structure of network reduces the swelling properties of hydrogel. From the SEM images, it was observed that the MMT clay added to the structure was homogeneously distributed in the polymer network and settled into the pores. Because of these properties, synthesized hydrogels can be an alternative releasing system in fields such as agriculture, food industry, paint removal and biomedical applications.



1. GİRİŞ

Hidrojel hidrofilik polimerlerin çapraz bağlanmasıyla oluşmuş üç boyutlu ağ yapılarıdır. Yapısında bulunan hidrofilik polimerler sayesinde sıvı absorplama kapasiteleri oldukça yüksektir. Kuru ağırlıklarının en az on katı kadar su tutabilirler. Hidrojellerin şişme kapasiteleri hidrojel oluşturulan bileşenler, birleşim oranı, sıcaklık, pH veya çözelti doğası gibi parametrelerden etkilenir. Hidrojeller iç içe geçmiş en az iki polimerin çapraz bağlanmasıyla oluşur. Bu polimerler doğal veya yapay kaynaklı olabilirler ve kimyasal, fiziksel ya da enzimatik olarak çapraz bağlanabilirler [1]. İç içe geçmiş polimer ağlar (Interpenetrating Polymer Network, IPN) eğer ağ yapıdaki polimerlerden en az birisi çapraz bağlandıysa yarı-IPN, ikisi ya da tamamı çapraz bağlandıysa tam-IPN olarak adlandırılırlar. IPN tipi hidrojel yapılarında farklı özellikteki polimerlerin sağladığı avantajlar sayesinde gıda endüstrisi, tarım, su saflaştırma, boya giderme ve biyosensör, farmasötik, ilaç salım gibi biyomedikal uygulamalarda geniş bir kullanım alanı bulurlar [2].

IPN tipi hidrojel kitosan, nişasta, heparin, hyalüronik asit, karboksimetil selüloz (CMC), jelatin gibi doğal polimerler ile birlikte polivinilalkol, akrilat bazlı monomerler vb. gibi yapay kaynaklı polimerlerin kullanımından da elde edilebilmektedir. CMC selüloz türevi bitkisel bir polimerdir ve selülozun aksine yapısındaki hidrofilik karboksil grupları sayesinde suda çözünebilen ve oldukça fazla miktarda su absorplayabilen bir yapısı vardır [3]. CMC hidrojelinin yapısındaki karboksil gruplarının anyon-anyon arasındaki itme kuvvetleri pH değişimiyle kontrol edilerek hidrojel genişlemesi kontrol edilebilmektedir. Heparin, hyalüronik asit gibi anyonik doğal polimerlere göre daha uygun fiyatlı olan CMC'nin dezavantajı zayıf mekanik dayanımıdır. Bu özelliğini iyileştirmek ve su tutma kapasitesinden yararlanabilmek için genellikle mekanik dayanımı yüksek olan monomer/polimerler ile bir araya getirilir [4,5]. Jelatin kolajen hidroliziyle elde edilen hayvansal kaynaklı bir doğal proteindir. Protein yapısından kaynaklı amino, hidroksil ve karboksil grupları içeren jelatin CMC gibi biyobozunur, su tutma kapasitesi yüksek ve nispeten düşük maliyeti nedeniyle biyomühendislik, gıda vb. birçok alanda tercih edilmektedir [6].

Killer ise son yıllarda birçok sektöre yayılan kullanım alanlarıyla kontrollü salım uygulamalarında da sıklıkla tercih edilmektedir. Geniş yüzey alanları, katyon değişim kapasiteleri, mikro/nano boşluklu yapısı ve güçlü fiziksel etkileşimleri killerin kullanım sebepleridir. Montmorilonit (MMT) smektit kil grubunun bir üyesidir. Smektit killer, 2:1 oranında iki tetrahedral $[\text{SiO}_4]^{4-}$ tabakası ve bir oktahedral $[\text{AlO}_3(\text{OH})_3]^{6-}$ tabakasından oluşan tabakalı alümin silikatlardır. Moleküller veya katyonlar MMT'nin tabakalar arası boşluklu yapısıyla etkileşerek bu tabakalar arasını açabilir. Bu durum hidrofilik özelliğinin kontrol edilerek MMT kilinin polimer ağlarda veya polimer adsorbanlarda kullanımına olanak sağlar [7, 8]. Ayrıca nano boyutta olması polimer matrikste iyi dağılma ve enerjiyi dağıtma olanağı sağlamaktadır [9].

Bu çalışmanın amacı, CMC ve jelatin doğal polimerlerini bir araya getirerek IPN tipi hidrojel sentezlemek ve karakterize etmektir. Sentez aşamasında MMT kili polimer ağ yapıya dâhil edilmiş ve yapılan karakterizasyon çalışmalarıyla yapıdaki varlığı doğrulanmış, şişme/bozunma özelliklerine etkisi araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

2.1.1. Kullanılan kimyasallar

Sentezler için CMC (toz, viskozite: 400-800 cP), glütaraldehit (%25, h/h sulu çözelti) ve MMT Sigma-Aldrich'ten temin edilmiştir. Jelatin (toz, Kod:04055) Fluka markadır. Şişme ve bozunma testlerinde kullanılan Britton-Robinson Tamponu (BRT) literatüre göre hazırlanmıştır [10]. Tampon çözeltiyi hazırlarken, H_3BO_3 (Merck), H_3PO_4 ve CH_3COOH (Sigma-Aldrich) çözeltilerinin karışımı hedeflenen pH değerlerini elde etmek üzere 0,2 M NaOH (Sigma-Aldrich) ile titre edilmiştir.

2.1.2. Hidrojellerin sentezi

IPN tipi hidrojellerin sentezi için hazırlanan kütlece %3'lük CMC ve %10'luk jelatin çözeltileri ayrıntıları Çizelge 1'de verilen miktarlarda 1:3, 1:1 ve 3:1 birleşim oranlarında homojen birer karışım elde edilene kadar karıştırılmıştır. Ardından jelatinin çapraz bağlayıcısı olan glüteraldehit homojen polimer karışımlarına eklenerek karışımlar hızla silikon kalıplara dökülmüştür. Hidrojel karışımları fiziksel ve kimyasal olarak çapraz bağlanma ve jelleşmenin tamamlanması için 37°C'de 1 saat süreyle bekletilmiştir. Süre sonunda kalıplardan çıkarılan hidrojeller dilimlenerek şeritler elde edilmiştir. Bu şeritler tepkimeye girmeyen bileşenlerin ortamdan uzaklaştırılması amacıyla distile su ile yıkanmıştır. Elde edilen hidrojellerde tek bir polimer zincirinin çapraz bağlanması gerçekleştirildiği için yapılar yarı-IPN olarak adlandırılmaktadır. Bu yarı-IPN hidrojel şeritler yıkama sonrası sabit bir ağırlığa gelene kadar 37°C sıcaklıktaki etüvde kurutulmuştur.

MMT eklenen hidrojeller ise sentez aşamasında ağırlıkça %1 oranında MMT kilinin homojen polimer karışımlarına eklenip çapraz bağlayıcı varlığında kalıplara hızla dökülmesiyle elde edilmiştir. Bu MMT eklenen yarı-IPN hidrojel şeritler yukarıdaki hidrojeller ile aynı şekilde (CJ)₁-MMT, (CJ)₂-MMT ve (CJ)₃-MMT olarak kodlanmıştır.

Karşılaştırma yapmak amacıyla, CMC ve CMC-MMT, jelatin ve jelatin-MMT hidrojeller sentezlenmiştir. Bunun için CMC (%3) çözeltisi CMC çapraz bağlayıcısı olan CaCl₂ (%10) çözeltisi içerisine şırınga ile sıkılarak 15 dakika süreyle çapraz bağlanmak üzere bırakılmıştır. Jelatin hidrojel ise jelatin çözeltisi (%10) içerisine glüteraldehit eklenip hızla kalıba dökülmesiyle hazırlanmıştır. Benzer işlemler sentez sırasında yapıya ağırlıkça %1 oranında MMT kili eklenerek tekrarlanmıştır. Elde edilen hidrojeller yıkama ve kurutma işlemleri sonrasında analizlerde kullanılmıştır.

2.2. Karakterizasyon

2.2.1. FT-IR analizi

Hidrojel şeritlerin ve MMT kilinin FT-IR spektrumları Thermo Scientific Nicolet İS5 spectrometre ile belirlenmiştir. Spektrumlar 128 tarama sonrası 4cm⁻¹ çözünürlükte elde edilmiştir.

2.2.2. XRD analizi

Hidrojel şeritlerin ve MMT kilinin XRD desenleri APD 2000 PROXRD marka difraktometre ile elde edilmiştir. Kırınım için CuK α (40kV, 30mA) radyasyon kullanılmıştır.

2.2.3. Hidrojel oluşum verimi

Yarı-IPN tipi hidrojellerin hidrojel oluşum verimleri gravimetrik olarak hesaplanmıştır. Sentez sonrası dilimlenmiş hidrojel şeritler sabit bir ağırlığa gelene kadar kurutulmuştur. Sonrasında tepkimeye girmemiş bileşenlerin uzaklaştırılması için hidrojeller 48 saat süreyle su banyosuna bırakılmıştır. Hidrojel yapı içerisinden sulu çözelti ortamına difüzlenen tepkimeye girmemiş bu bileşenler bu süre sonunda hidrojellerin ortamdan alınıp kurutulmasıyla yapının ağırlığında fark yaratmaktadır. Yıkanmış hidrojel şeritler önce oda sıcaklığında kurutulmuş ardından da sabit bir ağırlığa gelene kadar 37°C sıcaklıktaki etüvde kurutulmuştur. Hidrojel oluşum verimi aşağıda verilen Eşitlik (1) ile belirlenmiştir:

$$\text{Hidrojel Oluşum (\%)} = \frac{m}{m_0} \times 100. \quad (1)$$

Burada m_0 ve m hidrojel şeritlerin yıkama öncesi ve sonrasındaki ağırlıklarıdır. Tüm ölçümler üçer kez tekrarlanmıştır.

2.2.4. Şişme testleri

Hidrojellerin şişme testleri üç aşamada gravimetrik olarak yürütülmüştür. Birinci aşamada, sabit ağırlığa kadar kurutulmuş hidrojel şeritler BRT çözeltisine (pH=7,4) alınmış ve 37°C’de şişmeye bırakılmıştır. Şişmiş hidrojeller belirli aralıklarla BRT çözeltisinden alınıp tartılıp tekrar şişme ortamına bırakılmıştır. Zamana bağlı şişme oranları (%) aşağıda verilen Eşitlik (2) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Şişme oranı (\%)} = \frac{M_y - M_k}{M_k} \times 100. \quad (2)$$

Burada M_y ve M_k şişmiş (yaş) ve kuru hidrojel şeritlerin ağırlıklarıdır. Zamana bağlı şişme testleri, şişmiş hidrojeller sabit bir ağırlığa ulaşana kadar yani denge şişme değerine varana kadar devam etmiştir. Bu süre 24 saat olarak belirlenmiştir.

Şişme testlerinin ikinci aşamasında, şişme oranlarına sıcaklığın etkisi araştırılmıştır. Gravimetrik ölçümler 4°C ile 60°C arasında sıcaklıklarda pH=7,4’te 24 saat süreyle gerçekleştirilmiştir. Hidrojellerin şişme oranları Eşitlik (2) kullanılarak belirlenmiştir.

Üçüncü aşamada ise şişme oranlarına pH etkisi incelenmiştir. pH=2-12 arasında 37°C’de 24 saat süreyle hidrojellerin şişme değerleri takip edilmiştir. Hidrojellere ait şişme oranları yine Eşitlik (2) ile hesaplanmıştır. Tüm ölçümler 3 kez tekrar edilerek kaydedilmiştir.

2.2.5. Bozunma testi

Sabit ağırlığa kadar kurutulmuş hidrojel şeritler 37°C’de BRT çözeltisine (pH=7,4) şişmeye bırakılmıştır. 24 saat sonunda denge şişme değerine ulaşan hidrojeller BRT ortamından alınıp tartılmıştır. Bu değer hidrojellerin en şişmiş hallerine ait ağırlıkları olarak kaydedilmiştir (M_m). Tartım sonrası tekrar BRT çözeltisine alınan hidrojeller 30 gün boyunca belirli zaman aralıklarıyla çıkarılıp tartılmıştır ve bu değerleri M_t olarak kaydedilmiştir. Bozunma oranları Eşitlik (3) kullanılarak belirlenmiştir. Tüm ölçümler üç tekrar halinde yürütülmüştür.

$$\text{Bozunma (\%)} = \frac{M_m - M_t}{M_m} \times 100. \quad (3)$$

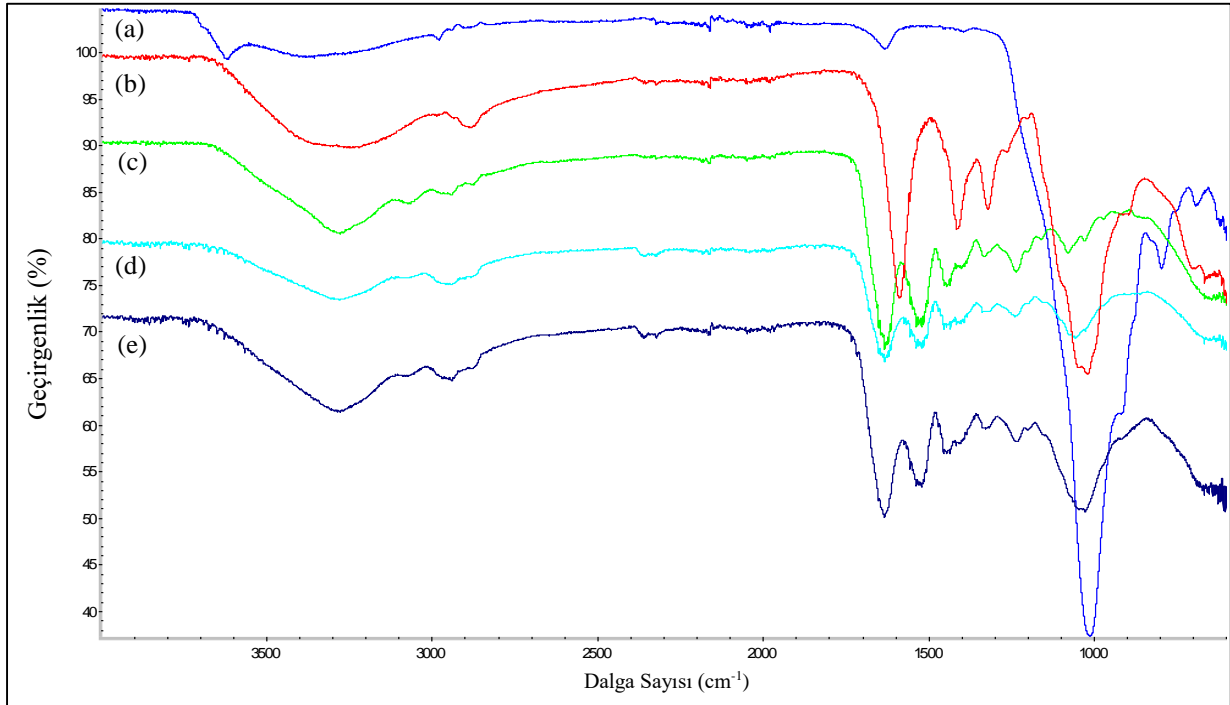
2.2.6. SEM analizi

SEM analizi için hidrojel şeritler öncelikle denge şişme değerine dek BRT çözeltisinde 37°C’de şişmeye bırakılmıştır. Şişen hidrojeller -20°C’de 24 saat dondurulmuştur. Ardından -85°C’de 24 saat süreyle dondurularak kurutulmuştur (Christ-Alfa 2-4 Model, Martin Christ GmbH). Kurutulmuş hidrojel numunelerden alınan kesitler 200 Å Au ile kaplanmıştır. Hidrojel şeritlerin morfolojileri JEOL JSM 6060 LV marka SEM ile incelenmiştir.

3. BULGULAR

3.1. FT-IR Analizi

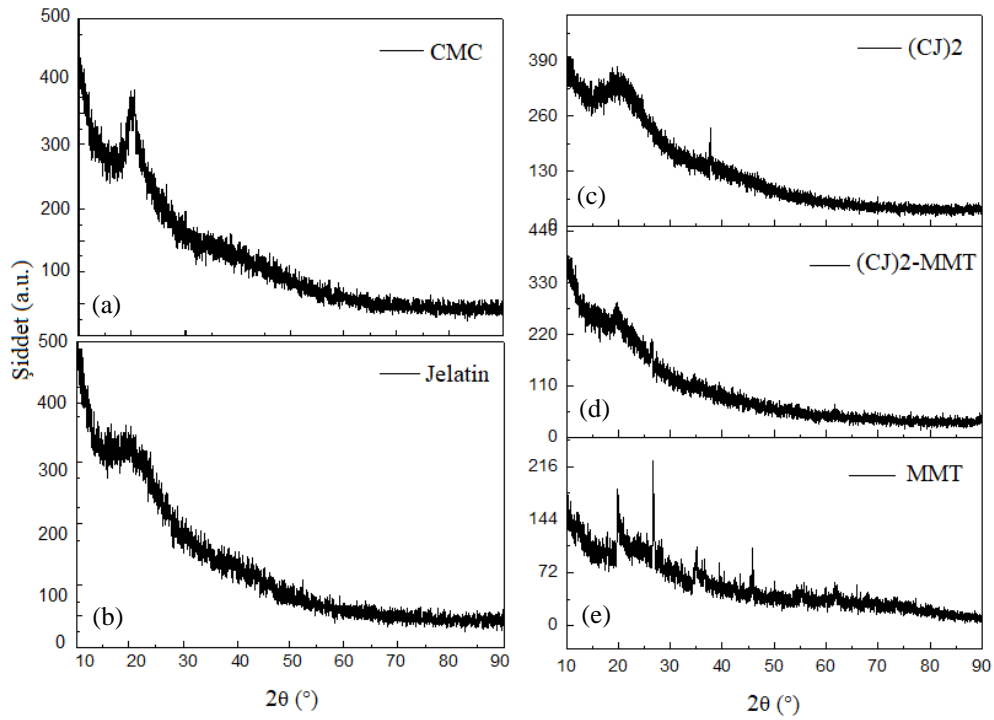
Şekil 1’de (a) MMT, (b) CMC hidrojel, (c) jelatin hidrojel, (d) (CJ)₂ ve (e) (CJ)₂-MMT şerit hidrojellerine ait FT-IR spektrumları yer almaktadır. (a) eğrisinde 3624 cm⁻¹’de MMT tabakalı kiline ait Al-OH gerilme titreşimi, 1636 cm⁻¹’de hidroksil gruplarının deformasyon titreşimi ve 1013 cm⁻¹’de oldukça şiddetli Si-O gerilme titreşimine ait pikler bulunmaktadır [11]. (b) eğrisinde CMC zincirlerindeki OH bant titreşimi 3500 cm⁻¹ ile 3200 cm⁻¹ arasında, C-H gerilme titreşimi 2900 cm⁻¹ ve 2800 cm⁻¹ arasında yer almaktadır. 1586 cm⁻¹, 1411 cm⁻¹ ve 1026 cm⁻¹’deki pikler ise sırasıyla asimetric ve simetric karboksilat grubu (-COO⁻) titreşimlerine ve CMC’nin -OH eğilme titreşimlerine atfedilmiştir [12, 13]. (c) eğrisinde ise 3291 cm⁻¹’deki geniş pik jelatinin N-H gerilme titreşimine, 3074 cm⁻¹ ve 2935 cm⁻¹’deki pikler alifatik C-H gerilme ve 1446 cm⁻¹’de alifatik C-H eğilme titreşimlerine aittir. Ayrıca 1632 cm⁻¹, 1533 cm⁻¹ ve 1234 cm⁻¹ sırasıyla jelatinin amit I, II ve III bantlarına atfedilir [14]. (CJ)₂ ve (CJ)₂-MMT hidrojellerine ait (d) ve (e) eğrilerinde genel olarak jelatine ait pikler gözlenmiştir. Ağ yapıda CMC’ye göre daha yoğun bulunan jelatin zincirleri hidrojelde jelatin karakterinin baskın olmasına neden olmuştur. (d) eğrisinde 1071 cm⁻¹ ve (e) eğrisinde 1028 cm⁻¹’de yer alan piklerin yapılarıdaki CMC varlığından ileri geldiği düşünülebilir. Ancak (CJ)₂-MMT hidrojeline ait pik şiddetinin (CJ)₂ hidrojelinkinden daha büyük olması ve 1071 cm⁻¹’de çıkan pikinin MMT katkısıyla 1028 cm⁻¹’e kaymış olması; 1013 cm⁻¹’de gözlenen MMT tabakalarındaki tetrahedral Si-O gerilme titreşimine atfedilebilir. Literatürde CMC ve MMT’ye ait bu piklerin örtüşmesi hidrojel ve biyokompozit çalışmalarında rapor edilmiştir [15,16]. Bu fark yapıda bulunan kil katkısını doğrulamaktadır.



Şekil 1. (a) MMT, (b) CMC hidrojel, (c) jelatin hidrojel, (d) (CJ)₂ ve (e) (CJ)₂-MMT şerit hidrojellerine ait FT-IR spektrumları

3.2. XRD Analizi

Şekil 2’de (a) CMC, (b) jelatin, (c) (CJ)₂ ve (d) (CJ)₂-MMT şerit hidrojellerine ve (e) MMT kiline ait XRD desenleri yer almaktadır. CMC’ye ait (a) kırınım deseninde $2\theta=20,63^\circ$ ’teki keskin pik CMC’nin kristalin yapısını gösterir. Literatürde CMC yapısındaki -OH ve -COOH fonksiyonel grupları arasındaki hidrojen bağı etkileşimlerinin CMC kristalinitesine katkı sağladığı rapor edilmiştir [17]. Jelatine ait (b) kırınım deseninde ise $2\theta=20,88^\circ$ civarındaki geniş pik jelatinin amorf yapısına atfedilir [18]. (e) kırınım deseninde MMT’ye ait $2\theta=19,88^\circ, 28,33^\circ, 35,15^\circ$ ve $61,76^\circ$ sırasıyla (100), (005), (110) ve (300) kristal düzlemlerini gösterir. (CJ)₂ şerit hidrojeline ait (c) deseninde $2\theta=20^\circ$ civarındaki pikin CMC’deki pike göre daha yayvanlaştığı ve jelatine ait pike benzediği görülmüştür. Bu durum hidrojel yapı içerisinde jelatin varlığının baskın olduğunu doğrulamaktadır. Pik şiddetinin düşmüş olması da literatürde CMC ile jelatin arasındaki Van der Waals etkileşimlerinin varlığına atfedilmiştir [19]. (CJ)₂-MMT şerit hidrojeline ait (d) kırınım deseninde ise $2\theta=19,88^\circ, 28,33^\circ$ ve $35,15^\circ$ ’lerdeki keskin piklerin belirginliği CMC ve jelatin amorf karakterinden dolayı azalmıştır. Bu durum tabakalı MMT kilinin eksfoliasyon ile dağılması olarak yorumlanabilir [20].



Şekil 2. (a) CMC, (b) jelatin, (c) (CJ)₂ ve (d) (CJ)₂-MMT şerit hidrojellerine ve (e) MMT kiline ait XRD desenleri

3.3. Hidrojel Oluşum Verimi

(CJ) ve MMT eklenen (CJ)-MMT hidrojel şeritleri serisine ait sentez koşulları ve hidrojellerin oluşum oranları Çizelge 1’de sunulmuştur. (CJ) serisi hidrojellerinin oluşum oranları incelendiğinde, (CJ)₁ hidrojelinin ağ yapısı içerisindeki jelatin oranının fazlalığı hidrojel oluşum değerini arttırırken, (CJ)₃ hidrojelindeki CMC oranının fazlalığı bu oranı düşürmüştür. Bu durum, semi-IPN hidrojel sentezinde yalnızca jelatinin çapraz bağlayıcısı gluteraldehit kullanıldığı için yıkama işlemi sırasında yapı içerisinde çapraz bağlanmayan CMC zincirleri yıkama ortamına dağılmış olabileceği şeklinde yorumlanabilir. Yapıya MMT dâhil edildiğinde, (CJ)-MMT serisi incelenirse, hidrojel oluşum oranlarının (CJ) serisinin değerleriyle paralellik göstererek bir miktar düştüğü görülmektedir. Yıkama sırasında ağ yapısı içerisinde difüzyonlanan su molekülleri yapıdaki MMT kilinin tabakaları arasına girerek bu tabakaların arasını açmıştır. Oluşan boşluklarda, çapraz bağlanmadığı için, serbest halde dolaşabilen CMC zincirleri CMC oranının

fazla olduğu (CJ)₃-MMT hidrojelinin ağ yapısı dışına yani yıkama ortamına daha kolay dağılmıştır. Bu durum hidrojel oluşum oranını düşürmüştür. Jelatin oranının fazla olduğu (CJ)₁-MMT hidrojelinde ise çapraz bağlanmış jelatin zincirlerinin fonksiyonel amin, hidroksil, karboksil grupları ile MMT etkileşimi MMT'nin su molekülleri ile etkileşimin önüne geçmiş olabilir. Yapıda CMC oranı az olduğu için de yapıdan ayrılan CMC zincirlerinin hidrojel oluşum oranını çok düşürmediği gözlenmektedir.

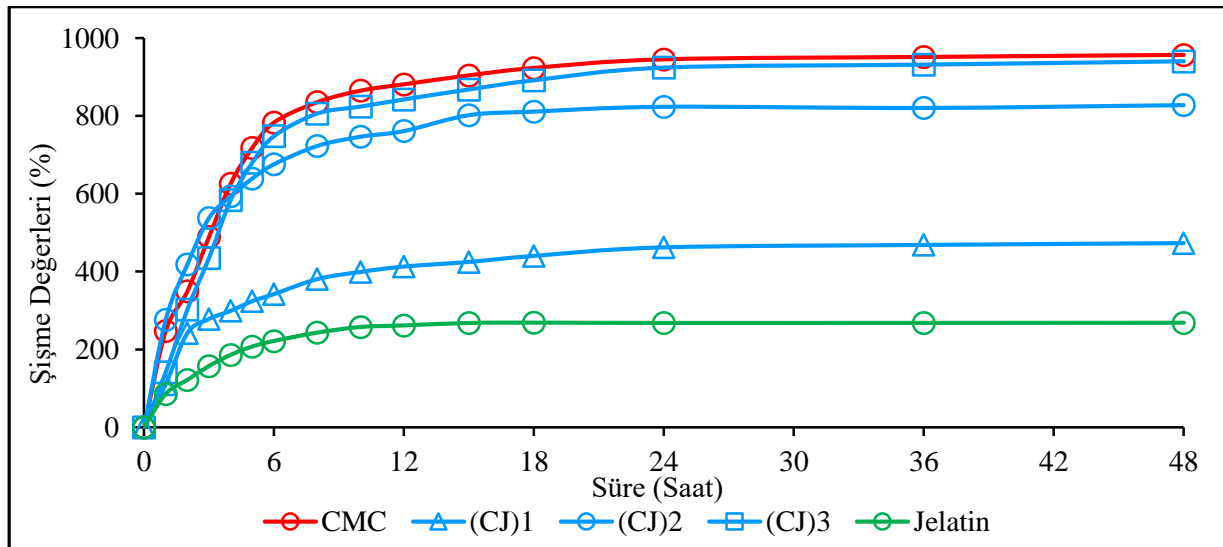
Çizelge 1. Hidrojel şeritlerin sentezinde kullanılan bileşen miktarları ve hidrojel oluşum verimi

Hidrojel	Karboksimetilselüloz (%3, a/h), mL	Jelatin (%10, a/h), mL	MMT (a/a) (%)	Hidrojel Oluşumu (%)
(CJ) ₁	20	60	-	97,20
(CJ) ₂	40	40	-	96,78
(CJ) ₃	60	20	-	90,83
(CJ) ₁ -MMT	20	60	1,0	95,56
(CJ) ₂ -MMT	40	40	1,0	92,30
(CJ) ₃ -MMT	60	20	1,0	77,15

*Tüm sentezlerde 1 mL glüteraldehit (%25, h/h) kullanılmıştır.

3.4. Şişme Testleri

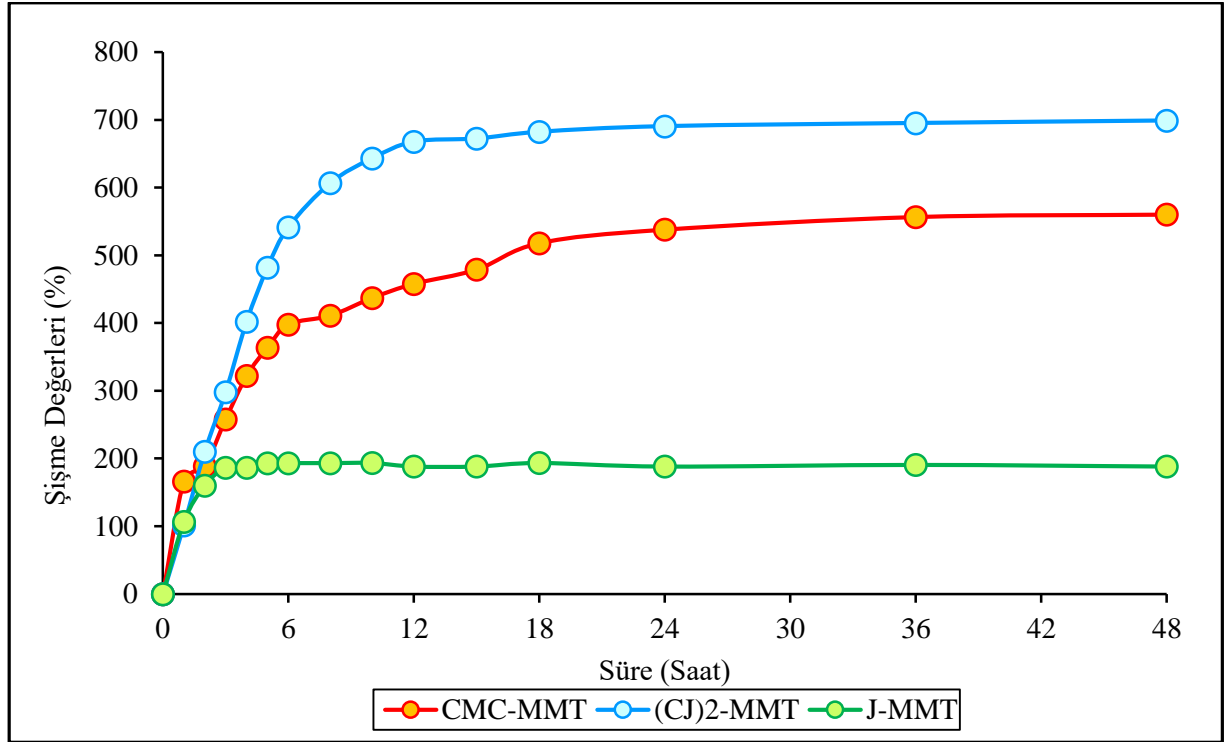
Hidrojel şeritlerin şişme testlerinin ilk aşaması zamana karşı pH=7,4 tamponunda 37°C'de gerçekleştirilmiştir. CMC ve jelatin hidrojel ile bu polimerlerin farklı oranlarda bir araya getirilmesiyle elde edilen (CJ)₁, (CJ)₂ ve (CJ)₃ hidrojelere ait zamana bağlı şişme değerleri Şekil 3'te yer almaktadır. Şişme değerleri ilk 6 saatte hızla artış gösterirken 24 saat sonrasında sabit kalmıştır. 48 saat sürdürülen testlerden hidrojelere ait 24 saat sonunda denge şişme değerlerine ulaştığı sonucuna varılmış ve sonraki sıcaklık ve pH testleri 24 saat süreyle gerçekleştirilmiştir. Jelatin hidrojele ait şişme değeri %260 iken CMC hidrojele ait şişme değerinin %950 olduğu görülmektedir. CMC hidrojel ilk 12 saatte aşırı şişme gösterdiği için 48 sonrasında dağılmaya başlamıştır. (CJ)₁ hidrojel yapılarında jelatin oranı yüksek olduğu için şişme değeri jelatin hidrojele daha yakın değerlerdedir. (CJ)₃ hidrojel ise yapısındaki yüksek CMC oranı hidrojel hidrofilik özelliğini arttırmış ve aşırı şişme göstermiştir. Hidrojel şişme değerinin CMC hidrojel şişme değerine oldukça yakın olduğu görülmektedir. (CJ)₂ hidrojel ise daha dengeli şişme değerlerine sahiptir. Genel olarak ağ yapıdaki CMC oranı arttıkça şişme değerleri de buna paralel olarak artmıştır.



Şekil 3. Hidrojel şeritlere ait zamana bağlı şişme değerleri

Elde edilen hidrojel oluşum oranları ve zamana bağlı şişme değerleri sonuçlarından, sonraki çalışmalar için (CJ)₂ hidrojel şeritlerin uygun olduğuna karar verilmiştir. Kil eklenen hidrojel eldesinde de (CJ)₂ birleşim oranı kullanılmış ve (CJ)₂-MMT şerit hidrojel hazırlanmıştır.

Şekil 4’te kil eklenerek hazırlanan CMC-MMT, (CJ)₂-MMT ve J-MMT hidrojellerine ait şişme değerleri yer almaktadır. Kil katkısının tüm hidrojel için şişme değerlerini düşürdüğü görülmektedir. Bu durum MMT kilinin güçlü hidrojen bağı etkileşimleri nedeniyle ikincil bir çapraz bağlayıcı etkisi olarak yorumlanabilir. Literatürde MMT kilinin, mekanik özellikleri geliştiren fiziksel etkileşimleri sayesinde polimer matrisle çapraz bağlanabildiği rapor edilmiştir [21]. Ayrıca polimer-MMT arasındaki bu güçlü hidrojen bağı etkileşimi nedeniyle MMT kendini iyileştirme çalışmalarında da kullanılmaktadır [22].



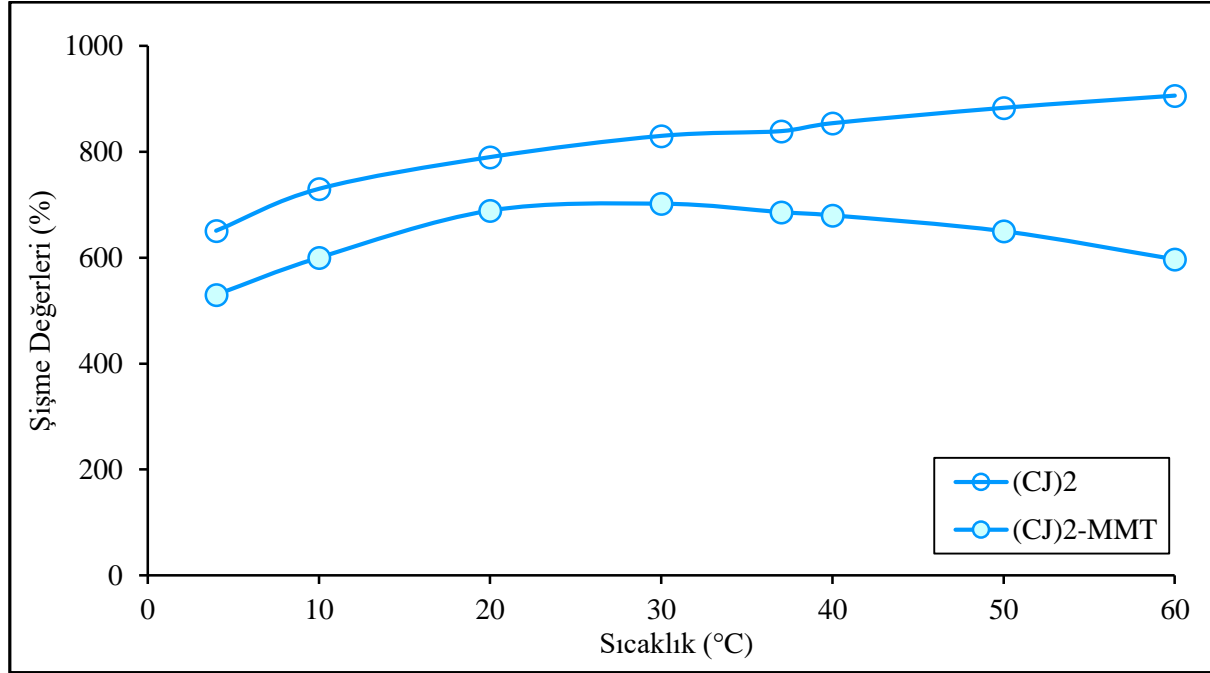
Şekil 4. MMT eklenen hidrojelere ait zamana bağlı şişme değerleri

Çizelge 2’de, Şekil 3 ve 4’te yer alan şişme testlerinden elde edilen tüm hidrojel şeritlere ait şişme değerleri yer almaktadır. Değerlerden görüldüğü üzere MMT katkısı şişme değerlerini düşürmüştür. Bu durum şişmeye bağlı salının yavaşlaması ve kontrollü salımı belirlemede etkilidir.

Çizelge 2. Hidrojel şeritlere ait şişme değerleri ($t=48$ saat, $T=37^{\circ}\text{C}$)

Hidrojel	CMC	(CJ) ₁	(CJ) ₂	(CJ) ₃	Jelatin
Şişme (%) Değerleri	956,67	473	827,9	940,37	268,1
	CMC-MMT		(CJ) ₂ -MMT	Jelatin-MMT	
Şişme (%) Değerleri	560,2		698,94	188,21	

Şişme testlerinin ikinci aşamasında pH=7,4 tamponunda 24 saat süreyle 4-60°C aralığındaki farklı sıcaklıklarda şişme testleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 5'te (CJ)₂ ve (CJ)₂-MMT hidrojellerine ait sıcaklığa bağlı şişme değerleri yer almaktadır. Ortam sıcaklığının artması moleküler hareketliliği arttırdığı için su difüzyonunu kolaylaştırarak şişmeyi artırır [23]. Bu durum (CJ)₂ hidrojelinde gözlenmektedir. (CJ)₂-MMT hidrojelinde ise MMT killeri sıcaklık arttıkça moleküler hareketlilik ile birlikte Hidrojen bağı etkileşimlerinin yetersiz kalmasıyla gözenekli yapıdan uzaklaşmış olabilir. Bununla birlikte matris içerisinde serbest halde bulunan CMC zincirleri de mevcut boşluklara daha fazla dağılabilmektedir. Bu durum su molekülleriyle daha çok etkileşime girebilen zincirlerin sıcaklık artmasıyla birlikte yapıdan uzaklaşarak şişme değerlerini düşürmüş olabileceği şeklinde yorumlanabilir.

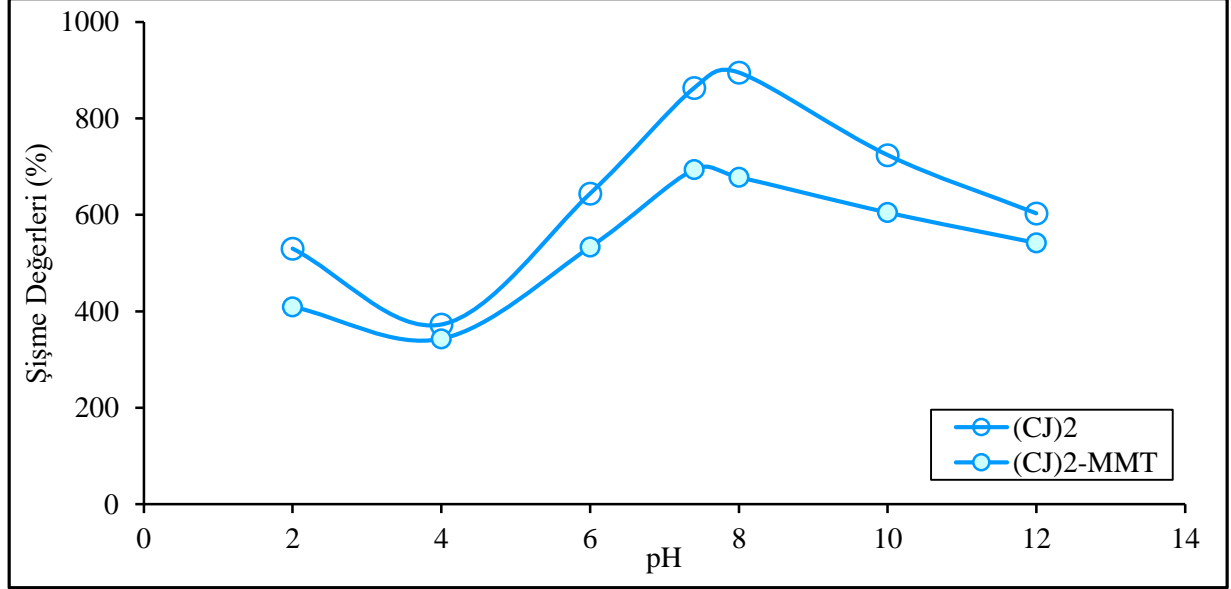


Şekil 5. (CJ)₂ ve (CJ)₂-MMT hidrojellerine ait sıcaklığa bağlı şişme değerleri

Şişme testlerinin son aşamasında, (CJ)₂ ve (CJ)₂-MMT şerit hidrojellerinin pH=2-12 arasındaki tamponlarda 37°C'de 24 saat süreyle şişme davranışları incelenmiştir. Elde edilen grafik Şekil 6'da yer almaktadır. Şişme profilleri birbirine oldukça benzemektedir. Diğer şişme testlerinde olduğu gibi MMT kili yapıya dâhil edildiğinde şişme değerlerini düşürmüştür.

(CJ)₂ ve (CJ)₂-MMT hidrojelleri serbest anyonik CMC zincirleri ve çapraz bağlanmış amfoterik jelatin zincirleri içermektedir. Ağ yapıda yer alan CMC zincirlerinin anyonik karboksilat (-COO⁻) uçları ve jelatin zincirlerindeki amin (-NH₂) grupları asidik pH'larda nötral karboksilik asit uçlara ve amonyum uçlara dönüşür. Nötr varlığından dolayı şişmeyi engelleyen karboksilik asit grupları (-COOH) hem CMC hem de jelatin zincirlerinde yer aldığı için jelatin zincirlerindeki amonyum uçlarının (-NH₃⁺) şişmeyi artırma etkisi yetersiz kalır. Dolayısıyla asidik pH değerlerinde şişme azdır. Nötr pH değerlerinde ağ yapısı içerisindeki serbest CMC zincirleri çapraz bağlanmadığı için bu zincirlere ait karboksilat uçlar şişmede oldukça etkilidir. Bu yüzden nötr pH'larda şişme değerleri yüksektir. Benzer durum jelatin ve poli(akrilik asit) bazlı IPN hidrojellerde [24], CMC bazlı süper absorban polimerlerde [25] de rapor edilmiştir. Bazik pH'larda ise karboksilik asit grupları karboksilat gruplarına dönüşür ve yine şişmeyi olumlu etkiler. Şişme değerleri bazik ortamlarda yüksektir. Jelatin gibi aminoasit yapıların karboksilik asit ve amin gruplarının iyonlaşmalarının eşit olduğu pH izoelektrik nokta (pI) olarak adlandırılmaktadır. Jelatinin pI değeri 4,68-5,26 arasındadır [26].

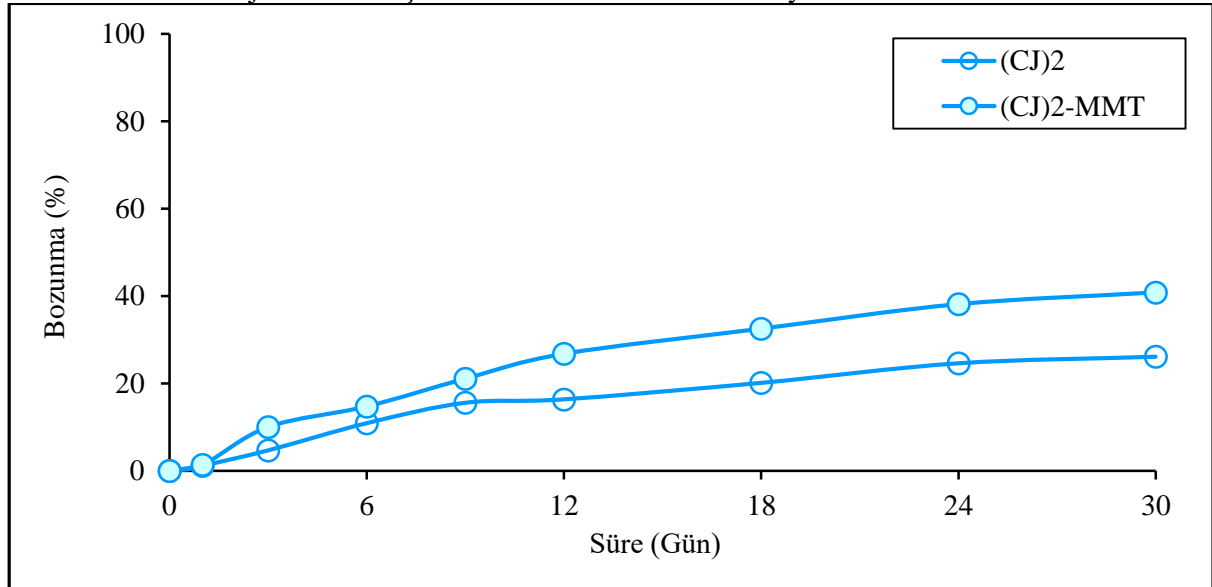
Bu noktada şişme minimumdur. Şekil 6'dan da görüldüğü üzere hidrojelilerin pH=4 civarında en düşük şişme değerlerine sahip olması bir pI gibi düşünülebilir. (CJ)₂ ve (CJ)₂-MMT hidrojelindeki jelatin yoğunluğu (%10, a/h) hidrojel yapıda jelatin karakterinin CMC (%3, a/h) özelliklerine baskın geldiğini göstermektedir.



Şekil 6. (CJ)₂ ve (CJ)₂-MMT hidrojellerine ait pH'a bağlı şişme değerleri

3.5. Bozunma Testi

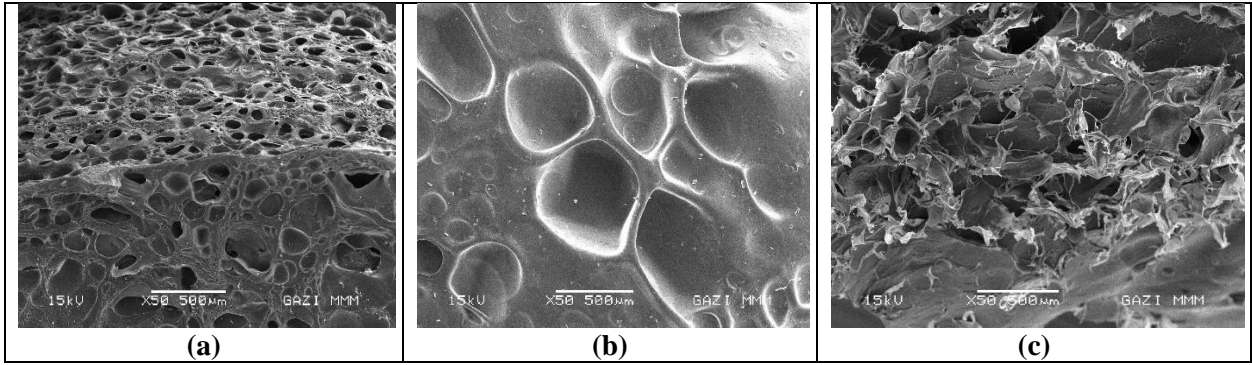
Şekil 7'de (CJ)₂ ve (CJ)₂-MMT hidrojellerine ait bozunma testi sonuçları yer almaktadır. Bozunma testinde 30 gün süreyle BRT çözeltisi içerisinde (pH=7,4) yer alan hidrojelilerin belirli aralıklarla gravimetrik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. (CJ)₂ ve (CJ)₂-MMT hidrojellerine ait bozunma oranları sırasıyla %26,1 ve %40,8'dir. (CJ)₂-MMT hidrojelinin ağ yapısındaki MMT tabakaları, hidrojel içerisine difüzyonlanan su moleküllerinin tabakalar arasına girmesi nedeniyle genişler. Bu durum hidrojel içerisinde serbest halde bulunan CMC zincirleri için fazladan boşluk sağlar. Bulunan boşluklara dağılan CMC zincirleri bir süre sonra su molekülleriyle etkileşimleri sonucu hidrojel dışına dağılır, yapıdan ayrılır. Bu durum yapıda MMT bulunan hidrojelilerin daha çok bozunmasının sebebi olarak yorumlanabilir.



Şekil 7. (CJ)₂ ve (CJ)₂-MMT hidrojellerine ait bozunma değerleri

3.6. SEM Analizi

Şekil 8’de jelatin, (CJ)₂ ve (CJ)₂-MMT hidrojel şeritlerine ait SEM görüntüleri yer almaktadır. Şekil 8 (a)’da jelatin hidrojelinde oldukça sık, küçük ve çok gözenekli yapıya sahip olduğu görülmektedir. Şekil 8 (b)’de (CJ)₂ hidrojelinde ise yapıya CMC’nin dâhil olması gözenekleri büyütür. Gözenekli yapı su absorpsiyonunu mümkün kılar ve matris içerisine absorplanan su molekülleri hidrofilik gruplarla etkileşir. Bu durum şişme davranışını etkiler. Dolayısıyla elde edilen yapıların gözenek özellikleri yapıyı karakterize eden önemli parametrelerden biridir [27]. Şişme değerlerinin sırasıyla %268,1 ve %827,9 olması da bu durumu kanıtlar niteliktedir. Şekil 8 (c)’de ise (CJ)₂-MMT hidrojelinde kilin gözenek içlerine homojen bir şekilde dağıldığı ve gözeneklerin küçülmesine neden olduğu görülmektedir. MMT katkısıyla birlikte hidrojelinde şişme değerinin %698,94’e düşmesi de bu durumu doğrulamaktadır.



Şekil 8. Jelatin (a), (CJ)₂ (b) ve (CJ)₂-MMT (c) hidrojellerine ait SEM görüntüleri

4. TARTIŞMA

Bu çalışmada potansiyel bir salım sistemi olarak kullanılmak üzere CMC ve jelatin doğal polimerlerinin kil katkı ve katkısız şerit hidrojelleri sentezlenmiştir. Polimer çözeltilerinin farklı oranlarda (1:3, 1:1, 3:1) birleştirilmesiyle elde edilen üç çeşit hidrojelinde şişme testlerinin ilk aşama çalışmaları yapıldıktan sonra sonraki aşamalar için (CJ)₂ hidrojelinde uygun olduğuna karar verilmiştir. Seçilen oran ile MMT katkı (CJ)₂-MMT şerit hidrojel hazırlanmıştır. Hidrojellerin FT-IR, XRD analizleri, oluşum verimleri, şişme/bozunma testleri ve SEM gözlemleri ile karakterizasyonları yapılmıştır. Şişme testleri MMT kilinin hidrojel yapı içerisindeki varlığının şişme değerlerini düşürdüğünü göstermiştir. Bu durum MMT tabakaları ile ağ yapıdaki polimer zincirleri arasındaki fonksiyonel grup etkileşimlerinden kaynaklanmaktadır. SEM görüntülerinden hidrojelinde gözenekleri içine homojen dağıldığı gözlenen MMT’nin güçlü hidrojen bağı etkileşimleri, yarı-IPN yapıdaki hidrojelde ikinci bir çapraz bağlayıcı görevi görmüştür. MMT kilinin tabakalı yapısının su ile etkileşimi tabakalar arasındaki açılmasına neden olur. Tabakalar arasında oluşan boşluklar yapıda çapraz bağlanmamış CMC zincirlerinin serbestçe dağılmasına imkân sağlar. Hidrofilik CMC zincirleri su molekülleri ile daha fazla etkileşimi sonucunda da ağ yapıdan ayrılır. Bu durumu hidrojel oluşum oranları ve bozunma testi de doğrulamaktadır. Hidrojellerin şişme ve bozunma davranışları salım profili hakkında bilgi verir. Yapılan karakterizasyon çalışmalarından (CJ)₂ ve (CJ)₂-MMT şerit hidrojellerinin salım sistemleri için potansiyel birer aday olabileceği görülmüştür. Kil katkı hidrojelinde MMT özellikleri sayesinde kontrollü salım çalışmalarında hedeflenen süreyi ve salım miktarını düzenlemede daha etkili olabileceği sonucuna varılmıştır.

TEŞEKKÜR

Sunulan bu çalışma Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FDK-6920 kodlu proje kapsamında desteklenmiştir. Aynı zamanda Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalında, “Tendon ve Kıkırdak Doku Tedavisi İçin Biyouyumlu Hidrojel Üretimi ve Karakterizasyonu” isimli doktora tezinden türetilmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI/ÇAKIŞMASI BİLDİRİMİ

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

YAZAR KATKI ORANLARI




Evrım Sever: Araştırma, Makalenin yazımı-Orijinal taslak. **Mehlika Pulat:** İnceleme ve Düzenleme, Danışman/Kontrolörlük

KAYNAKLAR

- [1] Ahmed, E. M. (2015). Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review. *Journal of Advanced Research*, 6, 105–121.
- [2] Varaprasad, K., Raghavendra, G. M., Jayaramudu, T., Yallapu, M. M. and Sadiku, R. (2017). A mini review on hydrogels classification and recent developments in miscellaneous applications. *Material Science and Engineering C*, 79, 958–971.
- [3] Chang, C., Duan, B., Cai, J. and Zhang, L. (2010). Superabsorbent hydrogels based on cellulose for smart swelling and controllable delivery. *European Polymer Journal*, 46(1), 92–100.
- [4] Lin, F., Lu, X., Wang, Z., Lu, Q., Lin, G. and Huang, B. (2019). In situ polymerization approach to cellulose–polyacrylamide interpenetrating network hydrogel with high strength and pH-responsive properties. *Cellulose*, 26(3), 1825–1839.
- [5] Chang, C. and Zhang, L. (2011). Cellulose-based hydrogels: Present status and application prospects. *Carbohydrate Polymers*, 84 (1), 40–53.
- [6] Ye, J., Yang, G., Zhang, J., Xiao, Z., He, L., Zhang, H. and Liu, Q. (2021). Preparation and characterization of gelatin-polysaccharide composite hydrogels for tissue engineering. *Peer J.*, 11022.
- [7] Lawchoochaisakul, S., Monvisade, P. and Siriphannon, P. (2021). Cationic starch intercalated montmorillonite nanocomposites as natural based adsorbent for dye removal. *Carbohydrate Polymers*, 253, 117230.
- [8] Kevadiya, B. D., Patel, H. A., Joshi, G. V., Abdi, S. H. R. and Bajaj, H. C. (2010). Montmorillonite-Alginate Composites as a Drug Delivery System: Intercalation and In vitro Release of Diclofenac sodium, *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 72(6), 732-737.
- [9] Qi, X., Guan, Y., Chen, G., Zhang, B., Ren, J., Peng, F. and Sun, R. (2015). A non-covalent strategy for montmorillonite/xylose self-healing hydrogels. *RSC Advances*, 5, 41006-41012.
- [10] Pulat, M. and Asil, D. (2009). Fluconazole release through semi-interpenetrating polymer network hydrogels based on chitosan, acrylic acid, and citraconic acid. *Journal of Applied Polymer Science*, 113, 2613–2619.
- [11] Xu, S. W., Zheng, J. P., Tong, L. and Yao, K. D. (2006). Interaction of Functional Groups of Gelatin and Montmorillonite in Nanocomposite. *Journal of Applied Polymer Science*, 101, 1556–1561.
- [12] Jeong, D., Kim, C., Kim, Y. and Jung, S. (2020). Dual crosslinked carboxymethyl cellulose/polyacrylamide interpenetrating hydrogels with highly enhanced mechanical strength and superabsorbent properties. *European Polymer Journal*, 127, 109586.
- [13] Bauli, C. R., Lima, G. F., Souza, A. G., Ferreira, R. R. and Rosa, D. S. (2021). Eco-friendly carboxymethyl cellulose hydrogels filled with nanocellulose or nanoclays for agriculture applications as soil conditioning and nutrient carrier and their impact on cucumber growing. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 623, 126771.
- [14] Kim, S., Kang, Y., Krueger, C. A., Sen, M., Holcomb, J. B., Chen, D., Wenke J. C. and Yang, Y. (2012). Sequential delivery of BMP-2 and IGF-1 using a chitosan gel with gelatin microspheres enhances early osteoblastic differentiation. *Acta Biomaterialia*, 8, 1768-1777.
- [15] Fortunati, E., Peltzer, M., Armentano, I., Jim'enez, A., and Kenny, J. M. (2013). Combined effects of cellulose nanocrystals and silver nanoparticles on the barrier and migration properties of PLA nano-biocomposites. *Journal of Food Engineering*, 90, 948–956.
- [16] Irani, M., Ismail, H., Ahmad, Z. and Fan, M. (2015). Synthesis of linear low-density polyethyleneg- poly (acrylic acid)-co-starch/organo-montmorillonite hydrogel composite as an adsorbent for removal of Pb(II) from aqueous solutions. *Journal of Environmental Sciences*, 27, 9–20.
- [17] Bidyadhar, M. and Ray, S. K. (2016). Removal of safranin T and brilliant cresyl blue dyes from water by carboxymethyl cellulose incorporated acrylic hydrogels: isotherms, kinetics and thermodynamic study. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 60, 313–327.
- [18] Wen-Bo, W., Da-Jian, H., Yu-Ru, K. and Ai-Qin, W. (2013). One-step in situ fabrication of a granular semi-IPN hydrogel based on chitosan and gelatin for fast and efficient adsorption of Cu²⁺ ion. *Colloids Surf. B: Biointerfaces*, 106, 51–59.

- [19] Sethi, S., Kaith, B.S., Saruchi and Kumar, V. (2019). Fabrication and characterization of microwave assisted carboxymethyl cellulose-gelatin silver nanoparticles imbibed hydrogel: Its evaluation as dye degradation. *Reactive and Functional Polymers*, 142, 134–146.
- [20] Ma, Q., Wang, W., Ge, W., Xia, L., Li, H. and Song, S. (2021). Preparation of Carboxymethyl Cellulose-Based Hydrogel Supported by Two-Dimensional Montmorillonite Nanosheets for Methylene Blue Removal. *Journal of Polymers and the Environment*, 29, 3918–3931.
- [21] Niu, J., Wang, J., Daia, X., Shao, Z. and Huang, X. (2018). Dual physically crosslinked healable polyacrylamide/cellulose nanofibers nanocomposite hydrogels with excellent mechanical properties. *Carbohydrate Polymers*, 193, 73-81.
- [22] Weerawan, N., Chalitangkoon, J. and Monvisade, P. (2022). Self-Healing Hydrogels Based on Sodium Carboxymethyl Cellulose/Poly(vinyl alcohol) Reinforced with Montmorillonite. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 12(4), 4770-4779.
- [23] Rathna, G. V. N., Rao, D. V. M. and Chatterji, P. R. (1996). Hydrogels of Gelatin-Sodium Carboxymethyl Cellulose: Synthesis and Swelling Kinetics, *Journal of Macromolecular Science, Part A: Pure and Applied Chemistry*, 33(9), 1199-1207.
- [24] Burugapalli, K., Bhatia, D., Koul, V., Choudhary, V. (2001). Interpenetrating Polymer Networks Based on Poly(acrylic acid) and Gelatin. I: Swelling and Thermal Behavior, *Journal of Applied Polymer Science*, 82, 217–227.
- [25] Hameed, A., Khurshid, S., Adnan, A. (2020). Synthesis and characterization of carboxymethyl cellulose based hydrogel and its applications on water treatment, Desalination and Water Treatment, 196, 214–227.
- [26] Johlin, J.M. (1930). The Isoelectric Point of Gelatin and Its Relation to the Minimum Physical Properties of Gelatin. *Journal of Biological Chemistry*, 86(1), 231-243.
- [27] Kenawy E.R., Azaam M. M., El-nshar EM. (2019). Sodium alginate-g-poly (acrylic acid-co-2-hydroxyethyl methacrylate)/ montmorillonite superabsorbent composite: Preparation, swelling investigation and its application as a slow-release fertilizer, *Arabian Journal of Chemistry*, 12(6) 847-856.

Türkiye'den ilk kayıt bir akar gali: *Vasates quadripedes* (Shimer, 1869) (Acari: Trombidiformes: Eriophyidae)

Suat Kıyak* , Zekiye Suludere , Zeki Aytaç 

Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 06500, Ankara, Türkiye

Öne Çıkanlar

- Türkiye'den ilk kayıt akar gali.
- Vasates quadripedes* (Trombidiformes).
- Türkiye'den ilk konukçu kaydı.

Makale Bilgileri

Geliş: 02/11/2023

Kabul: 20/11/2023

Anahtar Kelimeler

Vasates quadripedes,
Acari, Eriophyidae,
Yeni Kayıt,
Taramalı Elektron
Mikroskop (SEM).

Öz

Bu çalışmada bir safra akarı türü olan *Vasates quadripedes* (Shimer, 1869) (Acari: Trombidiformes: Eriophyidae) Türkiye'den ilk kayıt olarak rapor edilmiştir. *Vasates quadripedes*, Kuzey Amerika'ya özgü bir türdür ve bazı Amerikan akçaağaç türlerinin yapraklarında safra kesesi galleri oluşturur. Son yıllarda Avrupa'da da yalnızca dikilmiş gümüş akçaağaç *Acer saccharinum* L.'de bulunmuş, bazı Avrupa ülkelerinde de yayılışı verilmiştir.

The first record a mapple bladder gall from Türkiye: *Vasates quadripedes* (Shimer, 1869) (Acari: Trombidiformes: Eriophyidae)

Highlights

- The first record a mapple bladder gall from Türkiye.
- Vasates quadripedes* (Trombidiformes).
- The first hostplant record from Türkiye.

Article Info

Received: 02/11/2023

Accepted: 20/11/2023

Keywords

Vasates quadripedes,
Acari, Eriophyidae,
New Record,
Scanning Electron
Microscope (SEM).

Abstract

In this study, a gall mite species, *Vasates quadripedes* (Shimer, 1869) (Acari: Trombidiformes: Eriophyidae) was reported as the first record from Türkiye. *Vasates quadripedes* is a species native to North America. This species forms galls on the leaves of some American maple species. In recent years, the only planted silver maple tree, *Acer saccharinum* L., has been found in Europe, and it has also been distributed in some European countries.



Makale, Creative Commons 4.0 (CC BY NC SA) uluslararası lisansı altında açık erişim olarak yayımlanmaktadır.

* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Suat Kıyak, skiyak@gazi.edu.tr

1. GİRİŞ

Türkiye üçte biri yerli olmak üzere 14.000' den fazla damarlı bitki türünden oluşan floristik zenginlik ile karakterize edilen bitkisel kaynaklara sahiptir [1, 2]. Bu floristik çeşitlilik üzerinde yaşayan ve çeşitli gal oluşturan hayvansal organizmalar vardır. Cynipidae (Hymenoptera) ve akar (Acari) türleri gal oluşumuna sebep olan organizmalara örnek verilebilir.

Türkiye'de akarlar (Acari) ile ilgili olarak birçok çalışma yapılmış olup çalışmamıza konu olan türle ilgili olarak yayınlanmış [3-6] çalışmalar ile Erman ve ark. [7] ve Sevsay [8]' in Türkiye faunası için kontrol listeleri gözden geçirilmiştir. Bu çalışmalardan biri de Denizhan ve arkadaşlarının [3] Türkiye' deki eriophyid akarları (Acari: Trombidiformes: Eriophyidae)' nın kapsamlı bir monograf çalışmasıdır.

Bu çalışmada ele aldığımız gal akarı türü olan *Vasates quadripedes* (Shimer, 1869) bir eriophyid akarıdır [9]. “*Vasates quadripedes* (Shimer, 1869)” türünün anavatanı Kuzey Amerika' dır. Bu gal akarları bazı akçaağaç ağaç türlerinin yaprak ayalarında esas olarak ana damarlar civarında gregar gal oluşumuna sebep olurlar [10].

Eriophyid gal akarlarının morfolojisi Keifer ve ark. [11] tarafından çalışılmıştır. Bu gal akarları yalnızca iki çift bacağı olan mikroskobik eriophyid akarlardır. Meydana getirdikleri gallerin içerisinde morfolojik ve davranışsal olarak farklı olan hem protogyne dişiler hem de deutogyne dişiler gelişir; deutogyne' ler kehribar rengine sahiptir, protogyne' ler süt beyazı renktedir [12]. Deutogyne' ler protogyne' lere göre olumsuz koşullara daha dayanıklı olup, bu dimorfizmaya sahip olan ve yaprak döken ağaçlarda yaşayan türlerde kışlama aşamasını oluştururlar [13].

Vasates quadripedes (Shimer, 1869) türünün kışı ev sahibi ağaçların kabuklarında geçiren erginleri erken ilkbaharda yaprakla beslenirken akçaağaç yaprakları üzerinde safra gali oluştururlar. Akarların beslenmeleri esnasında bitki dokusunun reaksiyonu sonucunda yaprağın dokusu büyüyerek gali oluşturur. Bu gal içine bırakılan yumurtalardan çıkan yavrular gelişimlerini gal içinde sürdürürler. Yaprakların üst tarafında küçük siğil benzeri oluşan galler 5 mm yüksekliğe kadar da büyüyebilirler. Kışa doğru bu akarlar, galleri terk eder ve kışı geçirmek için ağaç kabuğu altına yerleşerek kışlarlar. *V. quadripedes* galleri genellikle yuvarlaktır, bazen uzundur ve kısa, ince bir boyuna sahiptir. Tipik olarak gal çapı 2–3 milimetredir [14, 15].

Akçaağaç akarlarının galleri, ilkbaharın sonlarında, gümüş akçaağaç (*Acer saccharinum*) yaprakları üzerinde küçük siğil kümeleri şeklinde oluşmaya başlar. Gal oluşumları yeşilimsi veya sarımsı-yeşil pembe topraklar olarak fark edebilirler. Bu tür galler, devam eden zamanlarda giderek pembeye ve daha sonra siyaha dönüşmeye başlarlar. Bu galler Haziran ortasından Ekim ayı ortalarına kadar yapraklar üzerinde bol miktarda bulunabilir. Eriophyid akarı gallerinin bolluğu yıldan yıla değişiklik gösterebilir. *Vasates quadripedes* türünün asıl tercih ettiği konak ağaç türü *Acer saccharinum*' dur. Ancak *Acer saccharum* (Şeker Akçaağaç) ve *Acer rubrum* (Kırmızı Akçaağaç)' larda da daha az derecede gal oluşturabilir [16, 17]. Çok genç yapraklarda, yaprak yüzeyinde tahrişe neden olan küçük akarların beslenmesi sonucu kese benzeri bir gal oluşmakta, bu gallerin içinde bir veya daha fazla akar içeren boşluklar bulunmaktadır. Akarlar hem boşluğun içindeki yaprak materyalleri ile beslenir hem de safra gali tarafından korunmuş olur.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Gazi Üniversitesi Merkez kampüsünde (Ankara) bulunan *Acer hyrcanum* Fisch. & C.A.Mey. subsp. *hyrcanum* ağaçlarının üzerinde (Şekil 1, 2), 2023 yılı Eylül ve Ekim aylarında tespit edilen gal oluşmuş yapraklar etiketlenerek polietilen torbalar içine alınmış ve laboratuvara getirilmiştir. Laboratuvarda gözle ve Olympus SZX7 stereo mikroskopla incelenen örneklerin resimleri çekilmiştir.

Gallerin bulunduğu kısımlardan alınan yaprak parçaları çift taraflı yapışkan bantlarla SEM staplarına yapıştırılmıştır. Örneklerin üzeri *Polaron* SC 502 Sputter Coater ile altınla kaplandıktan sonra “Prof. Dr. Zekiye Suludere Elektron Mikroskop Merkezinde Jeol JSM6060 Taramalı Elektron Mikroskopunda 5-10kv de incelenmiş ve fotoğrafları çekilmiştir. Gal örnekleri Prof. Dr. Suat Kıyak tarafından teşhis edilmiş,

mikroskobik incelemeler ve fotoğraf çekimleri Prof. Dr. Zekiye Suludere tarafından, konukçu bitkinin teşhisi Prof. Dr. Zeki Aytaç tarafından yapılmıştır.

Araştırma materyaline ait herbaryum örnekleri (*Acer hyrcanum* subsp. *hyrcanum*) Z.A. 11250 numara ile GAZI Herbaryumunda saklanmaktadır.

Bu çalışma için E-21264211-288.04-11829631 sayı numaralı araştırma izni Tarım ve Orman Bakanlığı Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğünden alınmıştır.

3. BULGULAR

Şube: Arthropoda

Alt şube: Chelicerata

Sınıf: Arachnida

Alt sınıf: Acari

Takım: Trombidiformes

Familya: Eriophyidae Nalepa, 1898

Altfamilya: Phyllocoptinae Nalepa, 1892

Species: *Vasates quadripedes* (Shimer, 1869)

Sinonimleri: *Eriophyes confusus*, *Eriophyes quadripedes*, *Phytoptus quadripedes*

Konukçu bitki: Sapindaceae familyasından *Acer hyrcanum* Fisch. & C.A.Mey, (1838) türünün yapraklarının üzerinde bulunmuştur.

Galleri: *V. quadripedes* galleri bir yaprak ayasında; yoğun çok sayıda gal oluşturur, galler esas olarak damarlar boyunca bulunurlar (Şekil 3, 4, 5, 6), yaprağın tamamı da galler ile kaplanabilir. Bu çalışmada incelenen *Vasates quadripedes* galleri yuvarlak, kısa, bazıları uzamış ve galler dar ince bir boyuna sahiptir. Tipik olarak galler 2-3 milimetre çapında (Şekil 3), yuvarlak keseler şeklinde olup, üst yüzeyi şişkin, yumrulu, buruşuk ve parlaktır. Galin iç boşluğu yaprağın alt yüzeyine bir delikle açılır ve beyazımsı tüylerle yoğun bir şekilde kaplıdır (Şekil 4). Gallerin iç boşluğu da yumak şeklinde ve yoğun iplikçiklerle doludur (Şekil 6). Olgun gal yüzeyinin elektron mikroskop resimlerinde (Şekil 5, 6, 7) çöküntü ve kırışık-buruşuk yüzeye sahip oldukları görülür. Gallerde renk yaprak yeşilinden soluk sarımsı yeşile giderek kahverengimsiye kadar değişir (Şekil 5).

Bu çalışma ile *Vasates quadripedes* türünün galleri *Acer hyrcanum* Fisch. & C.A.Mey, (1838) türü üzerinden Türkiye'den ilk kez kaydedilmiştir.

4. TARTIŞMA

V. quadripedes Kuzey Amerika'dan sonra Avrupa'da ilk olarak 1957'de Letonya'da bulunmuştur [10]. Bundan sonra Avrupa'daki dağılışı ile ilgili olarak Bruun & Soika [10], Macaristan'da 1976; Sırbistan'da 1993; Hollanda'da 1999; Polonya'da 1999; Luksemburg'da 2000; İngiltere'de 2002 ve Danimarka'da 2012 yıllarında ilk defa tespit edildiğinden bahsetmişlerdir. Kamali ve ark. [18] ise İran'dan kaydetmiştir. Yine Glavendekić ve Mihajlović [8], Sırbistan ve Karadağ'dan *V. quadripedes*'in varlığını bildirmektedir.

Indomalayan ve Nearktik bölge yayılışlı olan *Vasates* cinsine ait bir diğer tür olan *Vasates immigrans* Denizhan ve arkadaşları [3] tarafından Türkiye'den ilk kez kaydedilmiş olup, yazarların bildirdiğine göre türün konukçularının önceki kayıtlarda *Tamarix gallica* L. ve *Tamarix plumosus* L (Tamaricaceae) olduğu bildirilmiştir. Türkiye ve palearktik bölge için *V. immigrans* türünün konukçu bitkisi olarak *Tamarix parviflora* türü yeni konukçu kaydı olarak 2005 yılında ve Ankara'dan verilmiştir.

Yaptığımız bu çalışmada *Acer hyrcanum* Fisch. & C.A.Mey, (1838) akçaağaç türü yaprakları üzerinde tespit edilen *Vasates quadripedes* türü galleri aslında Kuzey Amerika' ya özgüdür ve bazı Amerikan akçaağaç türlerinin yapraklarında (*A. saccharinum*, *A. saccharum*, *A. rubrum*) gal oluşturur. Avrupa' da 1957 yılından itibaren, yukarıda bahsi geçen ülkelerde yalnızca dikilmiş gümüş akçaağaç *A. saccharinum* L.' de bulunmuştur. Türün son yıllarda Avrupa ve İran' da yayılış kayıtları da yukarıda verilmiştir [10, 18-21].

Yaptığımız bu çalışma ile hem ülkemiz için *Vasates* cinsine ait ikinci bir tür olan *Vasates quadripedes* türünün galleri hem de yaprakları üzerinde tespit edilen konukçusu *Acer hyrcanum* (Fisch. & C.A.Mey. 1838) ilk kayıtlar olarak verilmektedir.

TEŞEKKÜR

Eriophyidae familyasına ait *Vasates quadripedes* türünün teşhis teyidini yapan Prof. Dr. Yusuf Katılmış (Pamukkale Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü, Denizli)'a ve gal örnekleri için Prof. Dr. Demet Çetin (Gazi Üniversitesi, Gazi Eğitim Fakültesi, Fen Bilgisi Eğitimi, 06500, Ankara)'e teşekkür ediyoruz.

ÇIKAR ÇATIŞMASI/ÇAKIŞMASI BİLDİRİMİ

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

YAZAR KATKI ORANLARI

Suat Kıyak: Kavramlaştırma, Araştırma, İçerik analizi, Makalenin yazımı- İnceleme ve Düzenleme.
Zekiye Suludere: Metodoloji, Araştırma, Materyal temini. **Zeki Aytaç:** Metodoloji, Araştırma, İçerik analizi.

KAYNAKLAR

- [1] Ekim, T., Güner, A. (2000). Introduction: the floristic richness of Turkey. *Curtis's Botanical Magazine*, 17 (2), 48-59.
- [2] Karagöz, A. (2003). Plant Genetic Resources Conservation in Turkey. *Acta Horticulturae*, 598, 17-26.
- [3] Denizhan, E. Monfreda, R., De Lillo, E., Çobanoğlu, S. (2015). Eriophyoid mite fauna (Acari: Trombidiformes: Eriophyoidea) of Turkey: new species, new distribution and an updates catalogue. *Zootaxa*, 3991 (1), 001-063.
- [4] Denizhan, İ. E., Erdoğan, T. (2022). İzmir, Türkiye'deki Eriophyoid akarlar. *Bitki Koruma Bülteni*, 62-1. DOI: 10.16955/bitkorb.1030952.
- [5] Denizhan, E. (2007). Ankara İlinde Park ve Süs Bitkilerinde Eriophyoidea (Acarina) Türlerinin, Konukçularının, Yaygınlıklarının ve Doğal Düşmanlarının Saptanması ile Zararlı *Aculus schlehtendali* (Nalepa, 1892)'nin Popülasyon Dalgalanması Üzerine Araştırmalar. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Basılmamış Doktora Tezi).
- [6] Özman, S. K. (1999). An annotated List of Eriophyid Mites (Acarina: Eriophyoidea) from Turkey. 8th International Congress on the Zoogeography and Ecology of Greece and Adjacent Regions, 17-21 May. 110.
- [7] Erman, O., Özkan, M., Ayyıldız, N., Doğan, S. (2007). Checklist of the mites (Arachnida: Acari) of Turkey, Second supplement. *Zootaxa*, 1532, 1-21.
- [8] Sevsay, S. (2017). A checklist of the Erythraeoidea and Trombidioidea (Actinotrichida: Prostigmata) of Turkey, *Türkiye Entomoloji Bülteni*, 7 (2), 91-112.
- [9] Keifer, H. H. (1952). The Eriophyid Mites of California (Acarina: Eriophyidae). *Bulletin of the California Insect Survey, by University of California press Berkeley and Los angeles*, 2 (1), 1-128.
- [10] Bruun, H. H., Soika, G. (2013). The gall mites *Vasates quadripedes* and *Cecidophyopsis psilaspis* (Acari: Eriophyidae) new to Denmark. *Ent. Medd.*, 81 (1): 21-25.
- [11] Keifer, H. H., Baker, E. W., Kono, T., Delfinado, M., Styer, W. E. (1982). An illustrated guide to plant abnormalities caused by eriophyid mites in North America. *Agriculture Handbook*, 573, 1-178.
- [12] Ellis, W. N., Ulenberg, S. A. (2005). *Vasates quadripedes*, een galmijt (niet meer zo) nieuw voor Nederland. *Entomologische Berichten*, 65, 52-55.

- [13] Manson, D. C. M., Oldfield, G. N. (1996). Life forms, deutero-gyny, diapause and seasonal develop-ment. In: Lindquist, E. E., Sabelis, M. W. & Bruin, J. (eds) Eriophyoid mites, their biology, na-tural enemies and control. Amsterdam: Elsevier. 173-183.
- [14] Jeppson, L. R., Keifer, H. H., Baker, E. W. (1975). Mites Injurious to Economic Plants. University of California Press, Berkeley, 646 pp.
- [15] Redfern, M., Shirley, P. (2011). British Plant Galls (2nd ed.). Preston Montford: Field Studies Council publications, 2011- 432, p. 23.
- [16] Wurzell, B. (2002). The maple bladder gall of the gall mite *Vasates quadripedes* new to Britain. *Cecidology*, 17 (1), 31-35.
- [17] İnternet: Maple bladdergall mite <https://tidcf.nrcan.gc.ca/en/insects/factsheet/94> (Son Erişim Tarihi:22.10.2023).
- [18] Kamali, K., Ostovan, H., Atamehr, A. (2001). A Catalogue of Mites and Ticks (Acari) of Iran. Islamic Azad University Scientific Publication Center, Tehran, 198 pp.
- [19] Glavendekić, M., Mihajlović, L. (2005). Introduction and spread of invasive mites and insects in Serbia and Montenegro, 1-2.
- [20] Petanovic, R. (2000). One New Genus Four New Species of Eriophyoid Mites (Acari:Eriophyoidea) from Yugoslavia. *Acarologia* XLI (4), 437- 444.
- [21] Ripka, G., Lillo, E. (1997). New Data to the on The Eriophyoidea fauna in Hungary (Acari: Eriophyoidea). *Folia Entomologica Hungarica Rovartani Közlemenyek*, 147-157.

RESİMLER/FOTOĞRAFLAR:



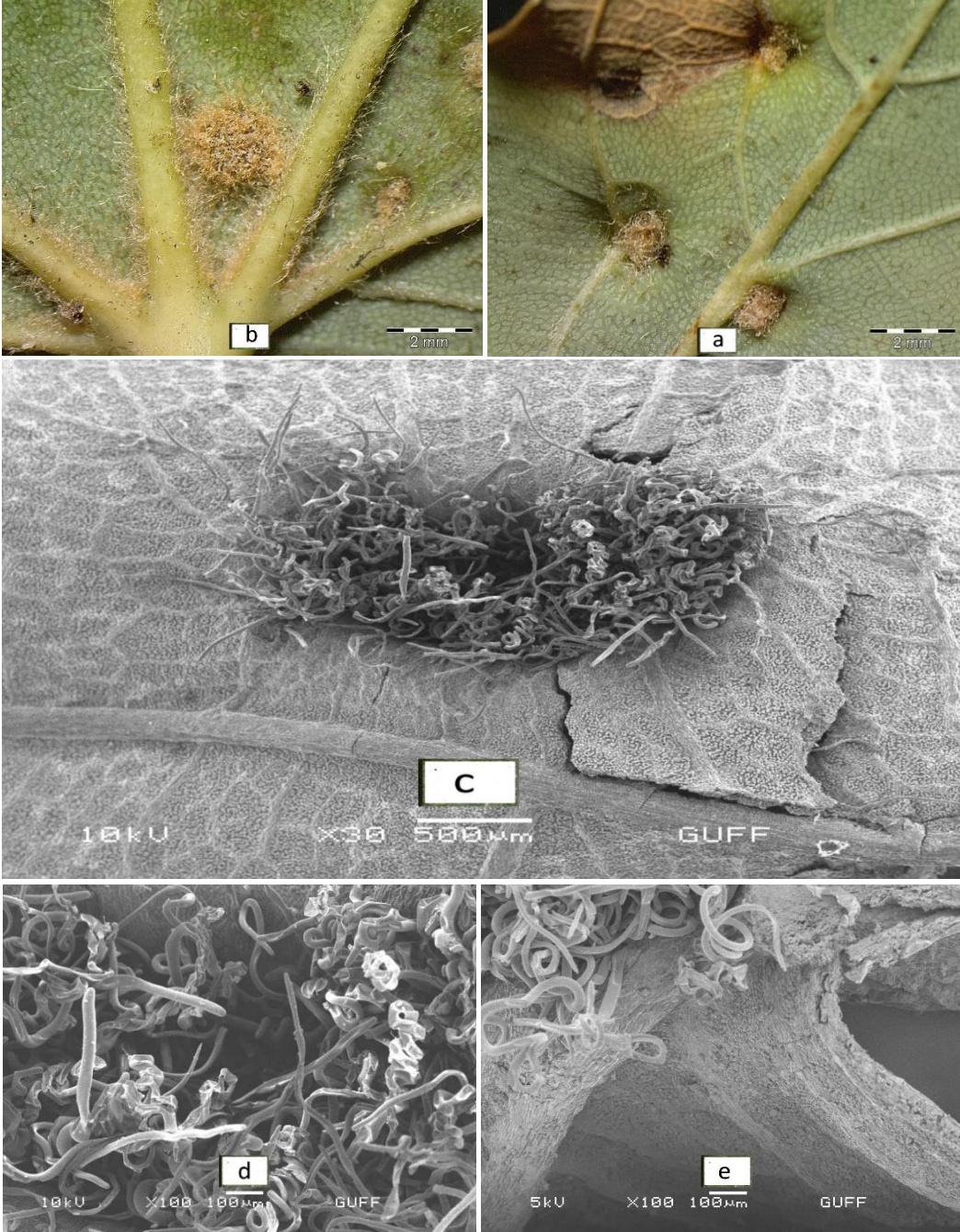
Şekil 1. Yapraklarında *Vasates quadripedes* galleri bulunan *Acer hyrcanum* Fisch. & C.A.Mey., (1838) - Gazi Üniv. Merkez kampüsü (Foto: Prof. Dr. Z. Suludere)



Şekil 2. *Vasates quadripedes* galleri bulunan *Acer hyrcanum* Fisch. & C.A.Mey., (1838) yaprakları - Gazi Üniv. Merkez kampüsü (Foto: Prof. Dr. Z. Suludere)



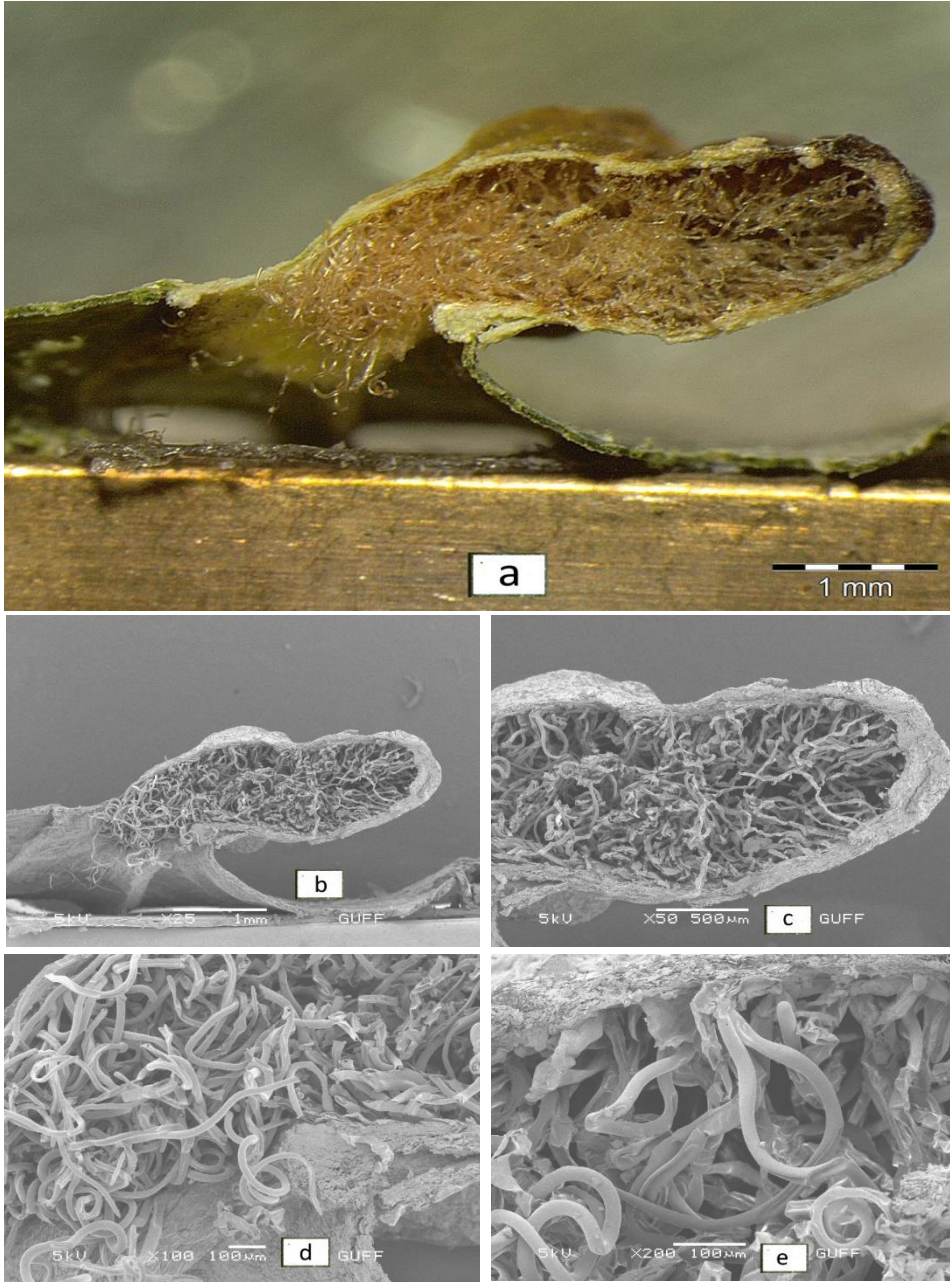
Şekil 3. *Acer hyrcanum* Fisch. & C.A.Mey, (1838) yaprağının üst yüzeyinde (a, b, c) bulunan *Vasates quadripedes* gallerinin görünüşü (Foto: Prof. Dr. Z. Suludere)



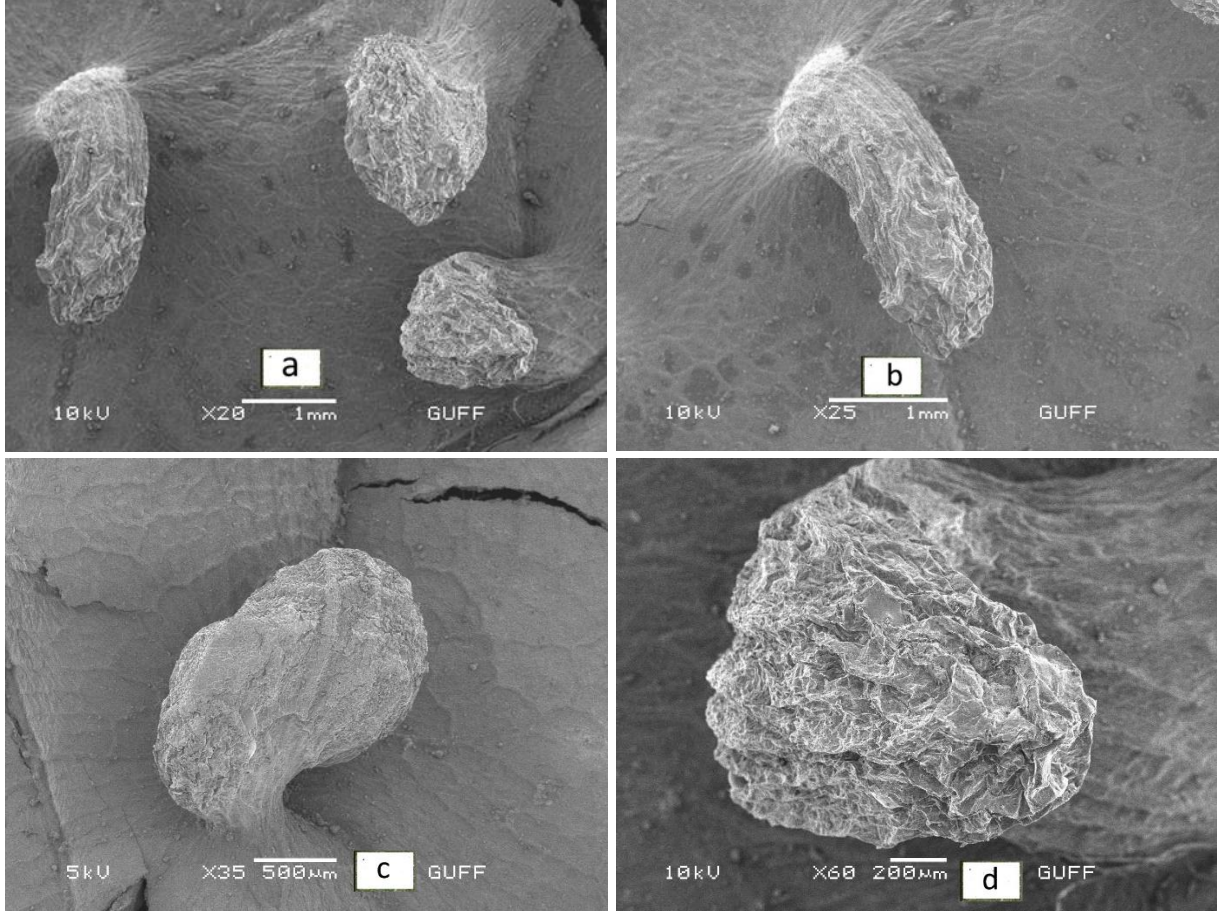
Şekil 4. *Acer hyrcanum* Fisch. & C.A.Mey, (1838) yaprağının alt yüzeyinde (a,b) bulunan *Vasates quadripedes* gal açıklıklarının stereo mikroskop (a, b) ve elektron mikroskop fotoğrafları (c,d,e) (Foto: Prof. Dr. Z. Suludere)



Şekil 5. *Acer hyrcanum* Fisch. & C.A.Mey, (1838) yaprağının üst yüzeyinde (a, b) bulunan *Vasates quadripedes* gallerinin yeşil sarımsı yeşil kahverengi görünüşü (Foto: Prof. Dr. Z. Suludere)






Şekil 6. *Acer hyrcanum* Fisch. & C.A.Mey, (1838) yaprağı üzerindeki *Vasates quadripedes* galinin kesitinin a) stereo mikroskop fotoğrafı: gal duvarı, iç boşluk ve boşluktaki yoğun iplikçikler; b-d)elektron mikroskop fotoğrafları: gal duvarı, iç boşluk ve boşluktaki yoğun iplikçikler (Foto: Prof. Dr. Z. Suludere)



Şekil 7. *Acer hyrcanum* Fisch. & C.A.Mey, (1838) yaprağı üzerindeki *Vasates quadripedes* gallerinin yüzeyinin elektron mikroskop fotoğraflar (a-d) (Foto: Prof. Dr. Z. Suludere)

Süperiletken CoZr₂ Bileşiğinin Termodinamik Özelliklerinin Teoriksel Olarak İncelenmesi

Yasemin Öztekin Çiftci* , İrem Gemici , Gülçin Çorbacı 

Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, 06500, Ankara, Türkiye

Öne Çıkanlar

- CoZr₂ bileşiği süperiletken bir malzemedir.
- CoZr₂ mekaniksel olarak kararlıdır.
- CoZr₂ elektronik özelliklerden metalik özellik seğılediğı görülmektedir.
- Termodinamik özellikleri incelenmiştir.

Makale Bilgileri

Geliş: 26/10/2023

Kabul: 22/11/2023

Anahtar Kelimeler

İlk-prensip metot,
Süperiletken,
CoZr₂,
Termodinamik,
Mekanik özellikler.

Öz

Tetragonal CuAl₂ yapıda kristalleşen CoZr₂ bileşiği T_c= 5.5- 6K geçiş sıcaklığına sahip olan süperiletken bir malzemedir. Kuşkusuz, malzemelerin yapı-özellik korelasyonlarının araştırılması, söz konusu malzeme ailesinin temel yönlerinin anlaşılmasına yardımcı olmaktadır. Sonuç olarak, süperiletkenlik mekanizmasını daha iyi anlamak için CoZr₂ süperiletken malzemesinin yapısal, mekanik, elektronik, ve termodinamik yönlerini analiz etmek için ilk-prensip hesaplamaları yapılmıştır. İlk olarak hesapladığımız örgü parametresi daha önceki verilerle mükemmel uyum göstermektedir. Ayrıca, mekanik parametreler, bulk modülü, kayma modülü, Young modülü, Poisson oranı, anizotropi faktörü elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre anizotrop ve kırılğan bir malzemedir. Elektronik band yapısı CoZr₂ nin metalik özelliğini göstermektedir. CoZr₂ ile ilgili bazı makroskopik özellikleri üzerindeki termal etkiler yarı-harmonik Debye modeli kullanılarak 0-1000K ve 0-20 GPa hidrostatik basınç aralığında tahmin edilmiştir.

Theoretical Investigation of Thermodynamic Properties of Superconducting CoZr₂ Compound

Highlights

- The compound CoZr₂ is a superconducting material.
- CoZr₂ is mechanically stable.
- CoZr₂ appears to exhibit metallic properties from electronic properties.
- Thermodynamic properties were investigated.

Article Info

Received: 26/10/2023

Accepted: 22/11/2023

Keywords

First-principles methods,
Super conductivity,
CoZr₂,
Thermodynamic,
Mechanic properties.

Abstract

The compound CoZr₂ crystallized in a tetragonal CuAl₂ structure is a superconducting material with a transition temperature of T_c=5.5-6 K. Undoubtedly, the investigation of structure-property correlations of materials helps to understand the fundamental aspects of this family of materials. Consequently, first-principles calculations have been performed to analyze the structural, mechanical, electronic, and thermodynamic aspects of CoZr₂ superconducting material to better understand the mechanism of superconductivity. First, the lattice parameter we calculated is in excellent agreement with previous data. Furthermore, the mechanical parameters, bulk modulus, shear modulus, Young's modulus, Poisson's ratio, anisotropy factor were obtained. According to the results obtained, it is an anisotropic and brittle material. The electronic band structure shows the metallic characteristic of CoZr₂. Thermal effects on some macroscopic properties of CoZr₂ were predicted using the quasi-harmonic Debye model in the range of 0-1000K and 0-20 GPa hydrostatic pressure.



Makale, Creative Commons 4.0 (CC BY NC SA) uluslararası lisansı altında açık erişim olarak yayımlanmaktadır.

* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Yasemin Çiftci, yasemin@gazi.edu.tr



1. GİRİŞ

Süperiletkenlik, direncin kaybolduğu ve manyetik akının dışarı atıldığı sadece belirli malzemelerde meydana gelen ilgi çekici bir fiziksel özelliktir [1, 2]. Temel olarak, bir süper iletken belirli bir kritik sıcaklığa (T_c) sahiptir. Normal bir metalik iletkenin aksine, direnç hızla sıfıra düşer, sıcaklık arttığında direnci giderek azalan mutlak sıfıra yakın bir değere kadar düşmüştür [1-3]. Böylece, herhangi bir güç kaynağı, bir elektrik akımı süper iletken tel bir bobin boyunca sonsuza kadar akabilir [1-3]. Elbette, süper iletkenler çok sayıda manyetik rezonans görüntüleme cihazlarından cep telefonu kulelerine ve rüzgar türbinleri için yüksek performanslı jeneratörlere kadar çeşitli teknolojik uygulamalarda kullanılır [1-7].

Geçiş metali zirkonidler (TrZr_2) geniş bir geçiş sıcaklığı aralığına sahip süperiletkenlerdir: $\text{Tr} = \text{Ni, Co, Rh, Ir}$ için sırasıyla $T_c = 1.6, 5.5-6.0, 11.3, 7.5 \text{ K}$ [8]. Mükemmel termal dayanım direnci ve termal korozyon direncine sahip Co bazlı süper alaşımlar, havacılık jet motorları, endüstriyel gaz türbinleri, deniz gaz türbinleri için kılavuz kanatlar ve otomatik süperşarj nozul halka kanatları alanlarında geniş uygulama olanaklarına sahiptir. Negatif termal genleşme veya sıfır termal genleşme sergileyen malzemeler, hassas aletler de dâhil olmak üzere çeşitli uygulamalarda kullanılabilirler için çok çeşitli malzemeler için geliştirilmiştir [8-12]. Süperiletkenlerin negatif termal genleşme katsayısının (NTE) çoğu durumunda, nedeni süperiletken düzen parametresinin ortaya çıkmasıyla bağlantılıdır; bu nedenle, NTE tipik olarak geçiş sıcaklığının (T_c) altında gözlenir [10]. Deneysel olarak, CoZr_2 , a eksenini boyunca sürekli pozitif termal genleşme (PTE) ve c eksenini boyunca NTE sergilemiştir. Zıt genleşmelerin bir sonucu olarak, örgü hacmi sıcaklıktaki bir düşüşle kayda değer bir şekilde azalmamıştır [13]. Bu yüzden tetragonal CuAl_2 yapıda CoZr_2 süperiletken malzemesinin termodinamik özelliklerinin ortaya çıkarılması önemlidir. Termodinamik özellikleri ile ilgili herhangi bir teoriksel çalışma mevcut değildir. Bu çalışmada, CoZr_2 bileşiği için Yoğunluk Fonksiyoneli Teorisi kullanılarak yapısal, mekanik, elektronik ve termodinamik özellikleri incelenmiştir.

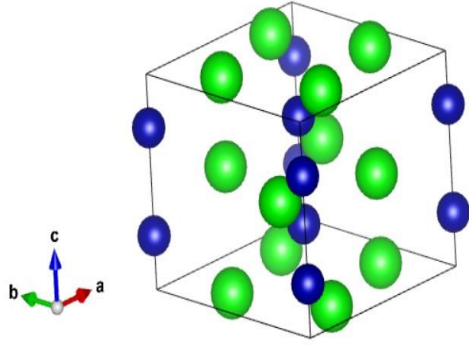
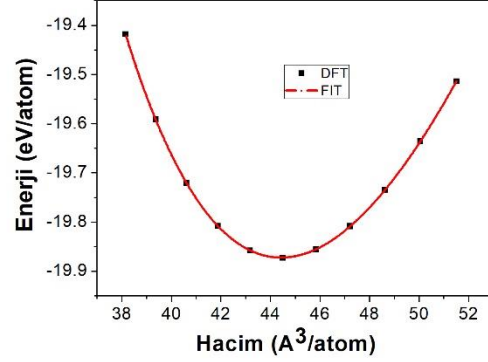
2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada sunulan tüm sonuçlar, Viyana ab initio Simülasyon (VASP) kodu [14-18] aracılığı ile, çekirdek ve çekirdek elektronları ile etkileşimi tanımlayan projektör-artırılmış dalga uygulaması (PAW) yöntemi [17] kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Taban durum parametrelerini hesaplamak için değiş-tokuş korelasyon potansiyeli olarak Perdew-Burgh-Ernzerh tarafından geliştirilen genelleştirilmiş gradient yaklaşımı (GGA-PBE) [19] kullanılmıştır. Dikkatli testlerden sonra, tüm hesaplamalar için düzlem dalga açılımı için kinetik enerji kesme 700 eV , Brillouin bölgesi $16 \times 16 \times 18$ özel k-noktalı ızgara kullanılarak örneklenmiş ve yapısal optimizasyon için yakınsama kriteri 10^{-7} eV olmuştur. Geometrik optimizasyon tam yapı gevşemesi ile gerçekleştirilmiştir. Elektronik durum yoğunluğunun hesaplanması için yoğun bir ağı ihtiyacı vardır ve bu nedenle $24 \times 24 \times 27$ k-noktalı bir ızgara ile gerçekleştirilmiştir. Elastik sabitleri zorlanma yöntemine göre hesaplanmıştır. Termodinamik nicelikler ise yarı- harmonik Debye yaklaşımı kullanılarak farklı sıcaklık ve basınç değerleri için elde edilmiştir.

3. BULGULAR

3.1. Yapısal Özellikler

CoZr_2 tetragonal $I4/mcm$ (140) uzay grubunda kristalleşmektedir [8] (Şekil.1). Örgü parametreleri, toplam enerjinin minimum yapıldığı optimizasyon sonucunda elde edilmiştir. Farklı hacimlerden elde edilen toplam kristal enerjisi (Şekil 2) Murnaghan'ın hal denklemine fit edilmiştir [20]. CoZr_2 için hesaplanan denge örgü sabiti (a, c) ve bulk modülü (B) ve bulk modülün basınç türevi (B') değerleri, mevcut diğer literatür sonuçlarıyla birlikte Çizelge 1'de listelenmiştir. Çizelge 1'den, mevcut hesaplanan örgü sabiti değerlerinin teorik sonuçlarla iyi bir uyum içinde olduğu görülebilir. CoZr_2 bileşiğinin elde edilen enerji-hacim eğrisi Şekil 2'de gösterilmiştir.

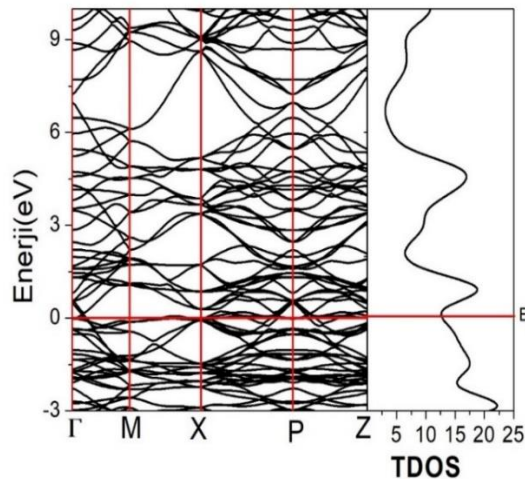
Şekil 1. CoZr₂'nin birim hücresiŞekil 2. CoZr₂ için enerji-hacim eğrisi

Çizelge 1. CoZr₂ için hesaplanmış denge örgü sabiti (a_0, c_0), bulk modülü (B), bulk modülünün basınç türevidir (B') ve toplam enerji (eV) değerleri

	a_0 (Å)	c_0 (Å)	Vol (Å ³)	B(GPa)	B'	$E_{\text{toplam}}(\text{eV})/\text{atom}$
Bu çalışma	6.338	5.537	221.58	128.24	3.74	-19.87
Diğer sonuç	6.327	5.52				
Deney[5](7K)						
Teori[6]	6.33	5.56	221.04			

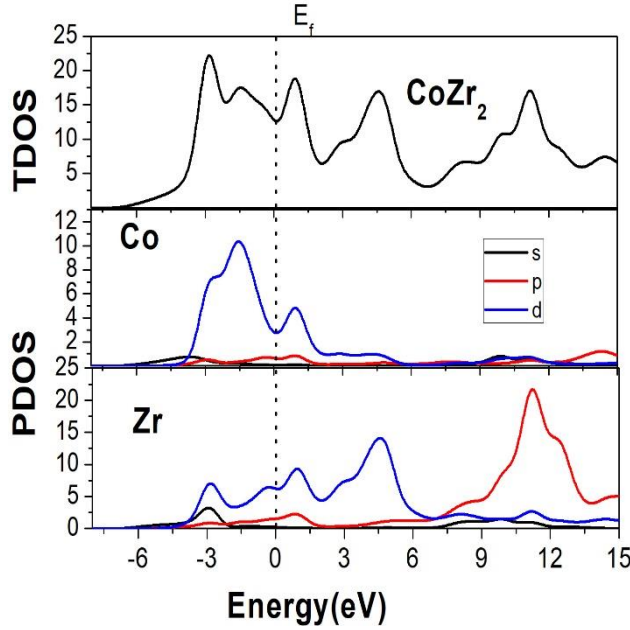
3.2. Elektronik Özellikler

CoZr₂ bileşiğinin elektronik özelliklerini doğrulamak için elektronik enerji bandları hesaplanmıştır. Şekil 3'te, CoZr₂ için sıfır basınç ve sıcaklık altında Brillouin bölgesindeki yüksek simetri noktaları boyunca elektronik bant yapısını ve toplam durum yoğunluğunu (TDOS) bir araya getirdik. Valans ve iletim bantlarının Fermi seviyesinde önemli ölçüde örtüştüğünü ve sonuç olarak E_f 'de enerji boşluğu olmadığından dolayı bu bileşik metal özellik göstermektedir. Bu sonuç daha önceki literatür sonuçları [8] ile uyumludur.



Şekil 3. Elektronik band yapısı ve toplam durum yoğunluğu

Bu atomların her bir orbitalinin katkısını netleştirmek için, CoZr_2 'nin kısmi durum yoğunluğunun (PDOS) grafiği, GGA- PBE yaklaşımı kullanarak hesaplandı ve Şekil 4'de verildi. PDOS, hibridizasyon ve durumların orbital karakteri hakkında bilgi verdiği için çok kullanışlıdır. Toplam DOS eğrisinde üç ana pik vardır. Bu Şekil 4'de, en düşük valans bantlarında ve Fermi enerjisi civarında esasen Co ve Zr-d durumları tarafından domine edildiği görülebilir. İletkenlik bandında ise Zr-p bandı baskındır. TDOS'taki enerji boşluğunun kaybolması bu bileşiğin metalik doğasını doğrulamaktadır. Ayrıca, CoZr_2 'yi içeren elementler arasındaki elektronegatiflik farkından dolayı, bir miktar iyonik karakter beklenebilir.



Şekil 4. Kısmi Durum Yoğunluğu

3.3. Mekanik Özellikler

Elastik sabitler, elastik malzemelerin kuvvet dağılımını anlamak için çok önemlidir. Kristal katı malzemenin dinamik ve mekanik özellikleri, temel olarak malzemedeki kuvvetin kapsamlı bir tepkisini verir. Ayrıca, elastik sabitlerin ölçümü kararlılık, sertlik, anizotropi, kırılma, süneklik gibi nicelikler hakkında bilgi vermektedir ve ab initio hesaplamaları gibi hassas yöntemler gerektirir. Kuvvetler ve elastik sabitler, potansiyellerin birinci dereceden ve ikinci dereceden türevlerinin fonksiyonları olduğundan, bunların hesaplanması katılardaki kuvvetlerin hesaplanmasının doğruluğu hakkında daha fazla kontrol sağlayacaktır. Bu nedenle, bu bileşiğin tetragonal yapısındaki kararlılığını incelemek için, denge örgü parametresindeki elastik sabitleri hesaplandı. İkinci dereceden elastik sabitler (C_{ij}) 'zor-zorlanma' [21-24] tekniği kullanılarak hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 2'de listelenmiştir. Tetragonal kristal yapılar için Born kararlılık kriterleri[25] :

$$\begin{aligned} C_{11} > 0, C_{33} > 0, C_{44} > 0, C_{66} > 0, \\ C_{11} - C_{12} > 0, C_{11} + C_{33} - 2C_{12} > 0, \\ 2C_{11} + C_{33} + 2C_{12} + 4C_{13} > 0. \end{aligned} \quad (1)$$

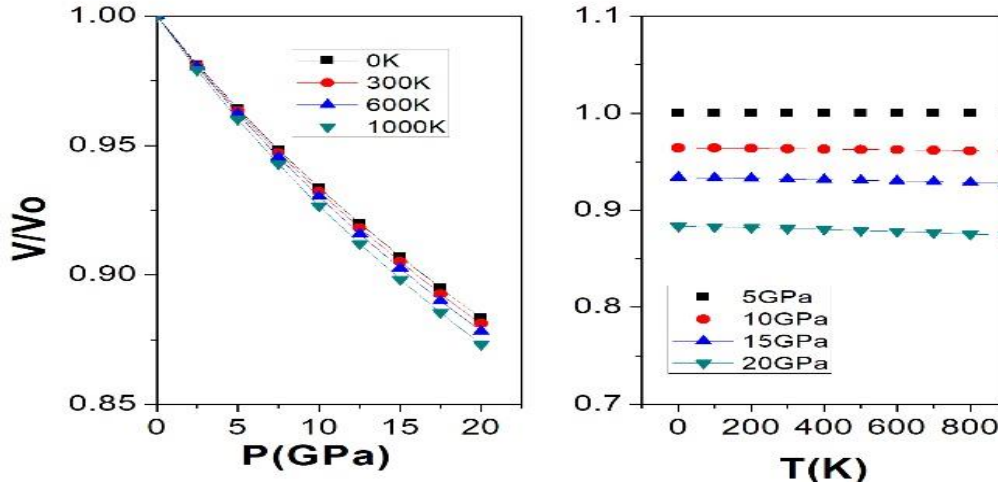
şeklinde. İncelenen bileşik Born kararlılık kriterlerini sağladığı için mekanik olarak kararlıdır ve elde edilen sonuçlar mevcut diğer teorik sonuçlarla uyumludur. Poisson oranı değeri 0.41 dir ve bu değer malzemenin metalik bağın baskın olduğunu göstermektedir. 0.66 ve 3.48 anizotropi değeri ise elastik olarak farklı doğrultularda farklı özellik sergilediğini göstermektedir.

Çizelge 2. $CoZr_2$ için hesaplanan elastik sabitler(GPa), shear modulu (GPa), poisson oranı ve anizotropi sabiti

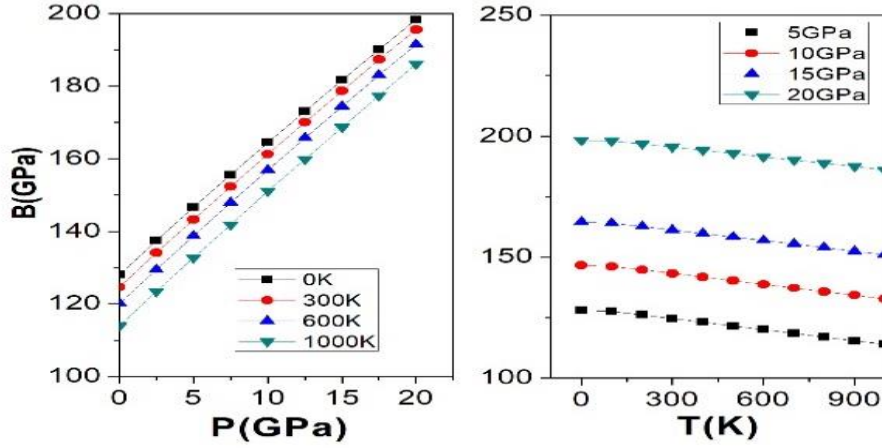
	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{33}	C_{44}	C_{66}	G	V	$A_1=A_2$	A_3
Bu çalışma	163.2	148.2	77.1	137.5	24.3	26.1	21.9	0.41	0.66	3.48
Diğer sonuç Teori[6]	161	152	89	171	23	24				

3.4. Termodinamik Özellikler

$CoZr_2$ 'nin termodinamik özelliklerini araştırmak için yarı- harmonik Debye modeli [26] uygulanmıştır. Yarı harmonik Debye modeli, Debye sıcaklığı Θ_D , sabit hacimde ısı kapasitesi C_V ve Gibbs serbest enerji, ΔH_f entalpisini elde etmemizi sağlar [27-29]. Termal özellikler yarı- harmonik yaklaşımın geçerli olduğu 0-1000 K sıcaklıklarda ve 0-20 GPa basınç etkisi altında belirlenmiştir. Farklı sıcaklıklarda, hacim oranının basınçla ve farklı basınçlarda sıcaklıkla değişimi Şekil 5'te verilmiştir. Hacim artan sıcaklıkla birlikte çok az miktarda azalmaktadır. Basınç arttıkça, artış oranı biraz daha fazladır. Basınç arttığında hücredeki atomlar birbirine yaklaşır ve bunlar arasındaki etkileşimler atomları daha güçlü hâle gelir.

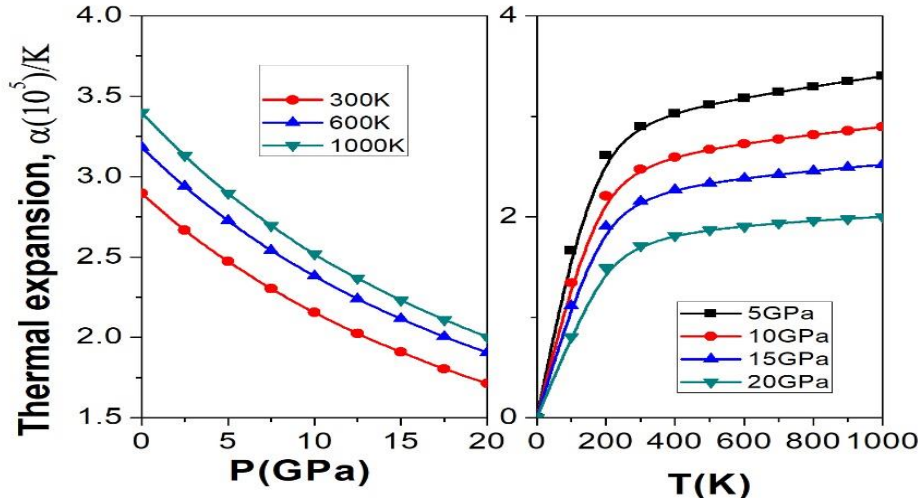


Şekil 5. $CoZr_2$ için farklı sıcaklık ve basınçlarda hacmin değişimi



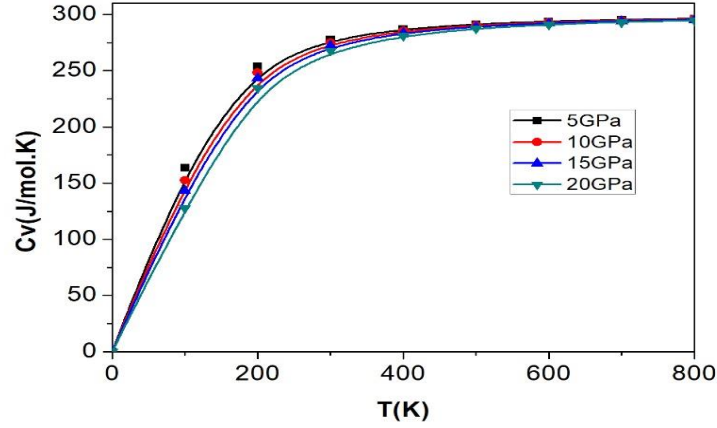
Şekil 6. CoZr₂ için sıcaklık ve basınca göre bulk modülün değişimi

Şekil 6, bulk modülünün basınç ve sıcaklıkla değişimi verilmiştir. Farklı sıcaklıklar için basınç ile birlikte artmaktadır. Sıcaklıkla ise azalmaktadır. Bulk modülünün sıcaklıkla azalmasına hacmin azalması sebep olmaktadır. Bu malzemenin bulk modülü üzerine basınç etkisi sıcaklık etkisinden daha baskındır.



Şekil 7. CoZr₂ için farklı sıcaklık ve basınçlarda termal genleşme katsayısının değişimi

Şekil 7'den görüldüğü gibi termal genleşme katsayısı (α) düşük sıcaklıklarda T^3 ile artar ve kademeli olarak yüksek sıcaklıklarda doğrusal bir artış ve daha sonra artan eğilim daha yumuşak hale gelir. Şekil 7'den termal genleşme katsayısı üzerindeki basınç etkisinin küçük olduğu görülmektedir. Basınç arttıkça, termal genleşme katsayısı azalır ve sıcaklığın etkileri daha az belirgin hâle gelir



Şekil 8. $CoZr_2$ için farklı basınçlarda sabit hacim altındaki ısı kapasitesinin (C_v) sıcaklıkla değişimi

Belirli basınç altında ısı kapasitesinin sıcaklıkla değişimi Şekil 8’de verilmiştir. Sıcaklık 400 K'nin altına düştüğünde ısı kapasitesi sıcaklığa güçlü bir şekilde bağlıdır ve sıcaklık arttıkça hızla artar, bu da Debye'nin anharmonik yaklaşımı nedeniyledir. Ancak, anharmonik etki sıcaklık arttığında ısı kapasitesi üzerindeki etkisi bastırılır. Isı kapasitesi 400 K'nin üzerindeki yüksek sıcaklıklarda tüm katılar için ortak olan Dulong-Petit limiti ile sabit değere ulaşır.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada süperiletken $CoZr_2$ bileşiği üzerine yoğunluk fonksiyoneli yöntemi kullanılarak yapısal, elektronik, mekanik ve termodinamik özellikleri incelenmiştir. Elde edilen yapısal parametreler ve elastik sabitleri literatürdeki deney ve teori sonuçları ile uyumludur. Hesaplanan elastik sabitleri değeri bu malzemenin mekanik olarak kararlı olduğunu göstermektedir. Elektronik band yapısı metalik özellik gösterdiğini doğrulamaktadır. Ayrıca yarı-harmonik Debye metoduna göre $CoZr_2$ 'nin farklı sıcaklık ve basınçla hacim, bulk modülü, termal genleşme ve ısı kapasitesi gibi termodinamik nicelikler incelenmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI/ÇAKIŞMASI BİLDİRİMİ

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

YAZAR KATKI ORANLARI

Yasemin Öztekin Çiftci: Kavramlaştırma, Metodoloji, Araştırma, Yazılım, Makalenin yazımı, **İrem Almına Gemici:** İnceleme ve Düzenleme, Kontrol. **Gülçin Çorbacı:** İnceleme ve Düzenleme, Kontrol.

KAYNAKLAR

- [1] Castelvechi D.(2020). First room-temperature superconductor excites and baffles scientists. *Nature*, 5867829.
- [2] Bardeen J., Cooper L.N., Schrieffer J.R. (1957). Theory of superconductivity. *Phys. Rev.*, 108 (5), 1175–1204.
- [3] Chajewski G., Wiśniewski P., Gnida D., Pikul A.P., Kaczorowski D. (2019). Crystal growth and physical properties of the YPd_2Si_2 superconductor. *Cryst. Growth Des.*, 19(5), 2557–2563.
- [4] Van Delft D., Kes P. (2010). The discovery of superconductivity. *Phys. Today*. 63(9), 38–44.
- [5] Rahaman M.Z., Rahman M.A. (2017). ThCr₂Si₂-type Ru-based superconductors $LaRu_2M_2$ (M = P and As): An ab-initio investigation. *J. Alloy. Compd.*, 695, 2827–2834.
- [6] Rahaman M.Z., Rahman M.A. (2017). Novel 122-type Ir-based superconductors $BaIr_2Mi_2$ (Mi = P and As): A density functional study *J. Alloy. Compd.*, 711, 327–334.
- [7] Snider E., et al. (2020). Room-temperature superconductivity in a carbonaceous sulfur hydride. *Nature*, 586 (7829), 373–377,

- [8] Takenaka K. (2012). Negative thermal expansion materials: technological key for control of thermal expansion, *Sci. Technol. Adv. Mater.*, 13, 013001.
- [9] Barrera G. D., Bruno J. A. O., Barron T. H. K, and Allan N. L. (2005). Negative thermal expansion. *J. Phys.: Condens. Matter*, 17, R217.
- [10] Chen J., Hu L., Deng J., and X. Xing. (2015). Negative thermal expansion in functional materials: controllable thermal expansion by chemical modifications. *Chem. Soc. Rev.*, 44, 3522.
- [11] Mary T. A., Evans J. S. O., Vogt T., and Sleight A. W. (1996). Negative Thermal Expansion from 0.3 to 1050 Kelvin in ZrW_2O_8 . *Science*, 272, 90.
- [12] Takenaka K., Okamoto Y., Shinoda T., Katayama N., and Sakai Y. (2017). Colossal negative thermal expansion in reduced layered ruthenate. *Nat. Commun.*, 8, 14102.
- [13] Mizuguchi Y., Kasem Md. R., and Matsuda T. D. (2021). Superconductivity in $CuAl_2$ -type $Co_{0.2}Ni_{0.1}Cu_{0.1}Rh_{0.3}Ir_{0.3}Zr_2$ with a high-entropy-alloy transition metal site. *Mater. Res. Lett.*, 9, 141.
- [14] Kresse G., Hafner J. (1993). *Ab initio* molecular dynamics for liquid metals. *Phys. Rev. B*, 47, 558.
- [15] Kresse G., Furthmüller J. (1996). Efficiency of *ab-initio* total energy calculations for metals and semiconductors using a plane-wave basis set. *Comput. Mat. Sci.*, 6, 15.
- [16] Kresse G., Furthmüller J. (1996)ç Efficient iterative schemes for *ab initio* total-energy calculations using a plane-wave basis set. *Phys. Rev. B*, 5, 11-169.
- [17] Kresse G., Hafner J.(1994). Norm-conserving and ultrasoft pseudopotentials for first-row and transition elements. *J.Phys.:Condens.Matt.*, 6, 8245.
- [18] Kresse G., Joubert D. (1999). From ultrasoft pseudopotentials to the projector augmented-wave method. *Phys. Rev.*, 59, 1758.
- [19] Perdew J.P., Burke K., Ernzerhof M. (1996). Generalized gradient approximation made simple. *Phys. Rev. Lett.*, 77(18), 3865.
- [20] Murnaghan F. D. (1944). The compressibility of media under extreme pressures. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 50, 697.
- [21] Le Page Y., Saxe P. (2002). Symmetry-general least-squares extraction of elastic data for strained materials from *ab initio* calculations of stress. *Phys. Rev. B*. 65, 104104.
- [22] W. Voigt (1928). Lehrbuch der Kristallphysik. *Taubner Leipzig*, 29.
- [23] A. Reuss A., Angew. Z. (1929)ç ZnikBerechnung der Fließgrenze von Mischkristallen auf Grund der Plastizitätsbedingung für Einkristalle. *Math Mech.*, 9-49.
- [24] Hill R. (1952). Proc. The Elastic Behaviour of a Crystalline Aggregate. *Phys. Soc.*, 65, 349.
- [25] Sinko C. V., Smirnow N. A. (2002). *Ab initio* calculations of elastic constants and thermodynamic properties of bcc, fcc, and hcp al crystals under pressure. *J. Phys.: Condens. Matter*, 14, 6989.
- [26] Blanco M. A., Francisco E., Luana V. (2004). GIBBS: isothermal-isobaric thermodynamics of solids from energy curves using a quasi-harmonic Debye model. *Comput. Phys. Commun.*, 158, 57.
- [27] Lu Y., Li D. F., Wang B. T., Li R. W and Zhang P. (2011), Electronic structures, mechanical and thermodynamic properties of ThN from first-principles calculations. *J. Nucl. Mater.*, 408, 136.
- [28] Wang R., Wang S. F., Wu X. Z. (2013). First-principles phonon calculations on the lattice dynamics and thermodynamics of rare-earth intermetallics TbCu and TbZn. *Intermetallics*, 43, 65.
- [29] Wen X. L., Liang Y. X., Bai P. P., Luo B. W., Fang T., Yue L., An T., Song W. Y., Zheng S. Q. (2017). First-principles calculations of the structural, elastic, and thermodynamic properties of mackinawite (FeS) and pyrite (FeS₂). *Physica B Condens. Matter.*, 525, 119.