

NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
NEVŞEHİR BİLİM VE TEKNOLOJİ DERGİSİ

Nevşehir Hacı Bektaş Veli University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Nevşehir Journal of Science and Technology

Cilt/Volume : 11
Sayı/Issue : 2
e-ISSN: 2148-4651

Aralık 2022
December 2022

SAHİBİ/
Prof. Dr. Semih AKTEKİN - Nevşehir HBV Üniversitesi Rektörü
EDİTÖR / EDITOR-IN-CHIEF
Doç.Dr. Cemal ÇARBOĞA - Nevşehir HBV Üniversitesi ccarboga@nevsehir.edu.tr
YARDIMCI EDİTÖR/CO-EDİTÖR
Doç.Dr. Musa KAR - Nevşehir HBV Üniversitesi musa.kar@nevsehir.edu.tr
Dil Editörü
Öğrt. Gör. Erçin ÖZZADE- Nevşehir HBV Üniversitesi
Yayın Kurulu/ Bölüm Editörleri
Prof. Dr Bülent AKTAŞ – Harran Üniversitesi
Prof. Dr. Aslıhan KARATEPE - Nevşehir HBV Üniversitesi
Prof. Dr. Bayram DEVİREN - Nevşehir HBV Üniversitesi
Prof. Dr. Bilge DEMİR – Karabük Üniversitesi
Prof. Dr. Bülent BOSTAN- Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Ersan KABALCI - Nevşehir HBV Üniversitesi
Prof. Dr. Mustafa ACARER – Selçuk Üniversitesi
Prof. Dr. Nesimi AKTAŞ - Nevşehir HBV Üniversitesi
Prof. Dr. Süleyman YILMAZ – Aksaray Üniversitesi
Doç. Dr. Kubilay KARACİF – Hitit Üniversitesi
Dr. Öğretim Üyesi - Ahmet ORHAN - Nevşehir HBV Üniversitesi
Dr. Öğretim Üyesi Ömer BİLHAN - Nevşehir HBV Üniversitesi

Danışma/Bilim Kurulu
Prof. Dr Bülent AKTAŞ – Harran Üniversitesi
Prof. Dr. Abdullah ALGAN – Pamukkale Üniversitesi
Prof. Dr. Ahmet ARIKAN - Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Beril AKIN - Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Gül GÜLPINAR – Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. Halil İbrahim OĞUZ – Adıyaman Üniversitesi
Prof. Dr. Murat AYGÜN – Bitlis Eren Üniversitesi
Prof. Dr. Mustafa Serdar GENÇ – Erciyes Üniversitesi
Prof. Dr. Okan KARAHAN – Erciyes Üniversitesi
Prof. Dr. Orhan BAYRAK – Akdeniz Üniversitesi
Prof. Dr. Salih ATEŞ – Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Şükrü ÇELİK – Sinop Üniversitesi
Prof. Dr. Yüksel ALTUN - Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Zehra Nur YÜKSEKDAĞ - Gazi Üniversitesi
Prof.Dr Neslihan DOĞAN – Niğde Ömer Halis Demir Üniversitesi
Prof.Dr. Adnan SÖZER – Gazi Üniversitesi
Prof.Dr. Ali GENCER – Gazi Üniversitesi
Prof.Dr. Ali KAYA – Fırat Üniversitesi
Prof.Dr. Bilal DEMRE – Erciyes Üniversitesi
Prof.Dr. GENÇAĞA PÜRÇEK – Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof.Dr. Metin GÜRÜ – Gazi Üniversitesi
Prof.Dr. Mustafa Hilmi ÇOLAKOĞLU- Nevşehir HBV Üniversitesi
Prof.Dr. Serkan ÖZEL – Bitlis Eren Üniversitesi
Prof.Dr. Serkan TEKİN- Ankara Üniversitesi
Prof.Dr. Sevil ALBAYRAK – Erciyes Üniversitesi
Prof.Dr. Uğur TIRNAKLI – Ege Üniversitesi
Prof.Dr. Hayrettin AHLATÇI – Karabük Üniversitesi
Doç. Dr. Abdullah DİKİCİ – Uşak Üniversitesi
Doç. Dr. Hikmet KATIRCIOĞLU - Gazi Üniversitesi
Doç. Dr. Mustafa TÜRKMEN – Erciyes Üniversitesi

İçindekiler/Contents	Sayfa /Page
Derleme Makalesi (Review Article) Biyomedikal Uygulamalar için Biyobozunur Mg-Esaslı Alaşımların Geliştirilmesi – Derleme Improvement of Biodegradable Mg-Based Alloys for Biomedical Applications – A Review Nilüfer KÜÇÜKDEVECİ	1-7
Derleme Makalesi (Review Article) Zeolitlerin Özellikleri ve Doku Mühendisliği Uygulamaları The Properties of Zeolites and Tissue Engineering Applications Fatma Zehra Koçak, Nilüfer Küçükdeveci, Esmâ Daldiken	8-15
Araştırma Makalesi (Research Article) Drought Analysis and Impact of Drought on Crop Yield in Nevşehir City Nevşehir İlinde Kuraklık Analizi ve Kuraklığın Tarımsal Ürün Verimi Üzerine Etkileri Kahraman OĞUZ, Gülten ÇAMALAN, Muhammet Ali PEKİN	16-30
Araştırma Makalesi (Research Article) Türkiye’de Yayılış Gösteren <i>Lomelosia argentea</i> ve <i>Lomelosia polykratis</i> (Caprifoliaceae) Türlerinin Anatomik Karşılaştırılması Anatomical Comparison of <i>Lomelosia argentea</i> and <i>Lomelosia polykratis</i> (Caprifoliaceae) Species Distributed in Turkey Aleyna AYKUT, Uğurcan BARAN, Jale ÇELİK, Ahmet AKSOY	31-39
Araştırma Makalesi (Research Article) Cloud Point Extraction Of Pb (II)-Vitamin B6 Complex In Aqueous Samples Su Örneklerindeki Pb(II)-Vitamin B6 Kompleksinin Bulutlanma Noktası Ekstraksiyonu Nilgün BAŞATA, Yavuz SÜRME	40-47
Araştırma Makalesi (Research Article) Yemlik Kolza (<i>Brassica napus L. ssp. oleifera</i> Metzg) için İdeal Ekim Normunun Belirlenmesi Determination of Ideal Sowing Norm for Forage Rape (<i>Brassica napus L. ssp. oleifera</i> Metzg) Erdal ÇAÇAN, Kağan KÖKTEN, Selim ÖZDEMİR, Rıdvan UÇAR, Muammer EKMEKÇİ, Sam MOKHTARZADEH, Mehmet Ali KUTLU	48-54



Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi

Derleme Makalesi (Review Article)

Makale Doi: 10.17100/nevbiltek.1178268

Geliş Tarihi:21-09-2022

Kabul Tarihi:23-11-2022



Biyomedikal Uygulamalar İçin Biyobozunur Mg-Esaslı Alaşımların Geliştirilmesi – Derleme*

Nilüfer KÜÇÜKDEVECİ

Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği,
Nevşehir, TÜRKİYE
ORCID ID: 0000-0002-4579-9915

Öz

Magnezyum 21. Yüzyılın en hafif yapı metali olarak geçici ortopedik implantlarda ve koroner stentlerde kullanılabilme potansiyeline sahip yeni nesil biyobozunur malzeme olarak kabul edilir. Biyomedikal uygulamalar için umut vaat eden Mg/Mg-esaslı alaşımların özellikleri, avantajları ve dezavantajları bu derleme çalışmasında ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır. Biyobozunur malzemelerin kemik dokusunun iyileşmesi sürecinde kemiğin kendini yenilemeye başladığı zamana kadar mukavemetini yitirmemesi, mekanik özelliklerini koruması istenmektedir. Ancak Mg ve Mg-esaslı alaşımlar vücutta çok hızlı bir şekilde korozyona uğradıklarından mekanik özelliklerini kısa süre içerisinde kaybetmektedirler. Magnezyum esaslı alaşımların implant malzemelerinde kullanılabilmesi için korozyon dirençlerini artırmak ve mekanik özelliklerini iyileştirmek gerekmektedir. Bu alaşımların korozyon dirençlerinin artırılmasında ve mekanik özelliklerinin geliştirmesinde kullanılan yöntemler, bu çalışmada detaylı olarak araştırılmış ve anlatılmıştır.

Anahtar Kelimeler: : Mg-esaslı alaşımlar; biyobozunurluk; biyomedikal; korozyon direnci; mekanik özellikler

Improvement of Biodegradable Mg-Based Alloys for Biomedical Applications – A Review

Abstract

As the lightest structural metal of the 21st century, magnesium is considered as a new generation biodegradable materials with the potential to be used in temporary orthopedic implants and coronary stents. Properties, advantages and disadvantages of promising Mg/Mg-based alloys for biomedical applications are described in detail in this review. It is desired that biodegradable materials do not lose their strength and maintain their mechanical properties until the bone starts regenerating itself during the healing process of the bone tissue. However, since Mg and Mg-based alloys corrode very quickly in the body, they lose their mechanical properties in a short time. In order to use Mg-based alloys in implant materials, it is necessary to increase their corrosion resistance and improve their mechanical properties. The processes used to increase the corrosion resistance of these alloys and to improve their mechanical properties have been investigated and explained in detail in this study.

Keywords: Mg-based alloys; biodegradability; biomedical; corrosion resistance; mechanical properties

*Bu çalışma 5. International Conference on Materials Science, Mechanical and Automotive Engineering and Technology (IMSMATEC'22) September 2-4 2022, konferansında bildiri olarak sunulmuştur.

Sorumlu yazar e-mail: niluferkucukdeveci@nevsehir.edu.tr

1. Giriş

Magnezyum 21. Yüzyılın en hafif yapı metali olarak düşünüldüğünde en iyi alaşım malzemesi olarak kabul edilmesi kaçınılmazdır. 2000-2019 yılları arasında magnezyum alaşımları üzerine yapılan araştırmalarda %491[1] oranında bir artış meydana gelmiştir. Bu değerler göz önüne alındığında magnezyumun dünyadaki en yaygın kullanılan yapısal metal malzeme olarak nitelendirilmesi doğru olacaktır [2].

Magnezyum ve alaşımları, geçici ortopedik implantlarda ve koroner stentlerde kullanılabilme potansiyeline sahip olduklarından yeni nesil biyobozunur malzemeler olarak kabul edilir ve dünya çapında araştırmaların ilgi odağında yer almaktadırlar. Magnezyum ve alaşımları manyetik değildir. Ancak nispeten yüksek ısı ve elektriksel iletkenlik gösterirler [3]. Saf Magnezyumun yoğunluğu $1,74\text{g/cm}^3$ ve elastisite modülü 45-48GPa olduğundan, mekanik özellikler bakımından kortikal kemikler (Kortikal kemik yoğunluğu $1,75\text{-}2,1\text{g/cm}^3$ ve elastisite modülü 30-57GPa) ile çok yakın değerlere sahiptir [4,5]. Bu nedenle mekanik özellikleri bakımından doğal kemik yapısıyla benzer özellikler gösterirler. Kalıcı implant malzemelerinin yoğunluğu ve elastisite modülleri kortikal kemiklere göre yüksektir, bu uyumsuzluk implant taşıma problemlerine (yük etkisi nedeniyle) yol açabilir ve kemiğin travmaya karşı savunmasına neden olabilir (Stress shielding etkisi). Bu durum erken dönemde implant gevşemesi, iyileşme sürecinde hasar ve kronik inflamasyon gibi tıbbi sorunları ortaya çıkarmaktadır. İnsan vücudunda, metabolik reaksiyonlarda ve biyolojik mekanizmalarda çok sayıda Mg^{2+} iyonu bulunmaktadır. Bir insan vücudunda; %65'i kemiklerde ve dişlerde, geri kalan %35'i kanda, vücut sıvılarında, organlarda ve diğer dokularda olmak üzere yaklaşık 25-35g Mg minerali bulunmaktadır ve günlük beslenmede 320-380mg Mg minerali alınması gerekmektedir [4,6]. Vücuda yerleştirilen Mg-esaslı implantlardan sürekli Mg^{2+} iyonu salınımı gerçekleştiğinden, kemik oluşumu istikrarlı bir şekilde uyarılmakta ve böylece kemik iyileşme süreci kolaylaşmaktadır. Magnezyum esaslı implantların araştırıldığı *in-vivo* deneylerinde, magnezyum iyon salınımının vücuda zarar vermediği bildirilmektedir. Ayrıca Mg-esaslı alaşımlar klor içeren ve pH değeri 7,4-7,6 arasında olan (vücut sıvısı ve kan) ortamlarda hızla bozunmaktadır. Biyobozunur malzemelerden beklenen, kemik dokusunun oluşumuna yardımcı olarak, kemik dokusunun yeniden şekillenme sürecine eş zamanlı olarak belirli bir hızda korozyona uğrayarak biyolojik olarak vücut tarafından emilerek tamamen yok olmasıdır [7]. Böylelikle kemik dokusunun iyileşmesine yardımcı olan kalıcı implantlar için gerekli olan ikinci ameliyatlara, biyobozunur implant malzemesi kullanılmasıyla ihtiyaç duyulmaz. Bu açıdan Mg-esaslı alaşımlar biyobozunur olduklarından biyomedikal uygulamalarda potansiyel olarak kullanılabilir.

Biyobozunur malzemelerin kemik dokusunun iyileşmesi sürecinde, kemik dokusunun oluşması ve kemiğin mukavemeti yerine gelene kadar malzemenin mukavemetini yitirmemesi yani mekanik özelliklerini koruması istenmektedir. Ancak Mg ve Mg-esaslı alaşımlar vücutta çok hızlı bir şekilde korozyona uğradığından mekanik özelliklerini kısa süre içerisinde kaybetmektedirler. İmplantların vücut içerisinde korozyona uğramaları sürecinde oluşan elektrokimyasal reaksiyonlarla, aşırı miktarda hidrojen gazı ortaya çıkabilmektedir. Böylelikle kan damarlarında gaz embolisinin oluşması ile birlikte ciddi medikal problemlere yol açabilmektedir. Oluşan gaz kabarcıkları, osteositlerin birbirine bağlanmasına engel olarak kortikal kemik iyileşme sürecini sınırlandırmakta, böylelikle nasır ve kortikal defekt gibi medikal problemlere neden olmaktadır [6]. Bu nedenle Mg ve Mg-esaslı alaşımların vücut sıvıları içerisindeki korozyon hızının düşürülmesi için farklı üretim yöntemleri ve farklı alaşım elementleri ile sentezleme veya kompozit oluşturma gibi çok sayıda çalışma yapılmaktadır.

Bu çalışmanın amacı medikal uygulamalarda kullanılabilmesi için Mg-esaslı alaşımların korozyon dirençlerini ve mekanik özelliklerini iyileştirmek için kullanılan yöntemleri kapsamlı bir şekilde sunmaktır.

2. Magnezyum Alaşımlarının Korozyon Dirençlerini Artırmak için Kullanılan Yöntemler

2.1 Alaşımlama

Magnezyum için alaşımlama elementleri seçilirken o elementin biyoyumluluğuna ve mekanik özelliklerini geliştirmesine dikkat edilmesi gerekmektedir.

Saf demir; Magnezyum gibi kardiyovasküler stentler ve ortopedik implantlarda biyobozunur biyomalzemelerde kullanımlarında umut vaat eden aday malzemelerdir. Magnezyumun ve magnezyum esaslı alaşımların elastisite modülü ($\approx 45-48\text{GPa}$) saf demirin elastisite modülü ($\approx 211\text{GPa}$) ile karşılaştırıldığında saf demirin elastisite modülü oldukça yüksektir. Ayrıca, saf demirin plastik deformasyon kabiliyeti daha iyidir. Biyoyumluluk açısından demir, vücutta eser miktarda bulunan bir elementtir. Yetişkin bir bireyde 4-5g elementel demir bulunur [2,8,9]. Xie ve arkadaşları yaptıkları çalışmada 773K'de Spark Plazma Sinterleme ile sinterlenerek üretilen $\text{Mg}_{30}\text{Fe}_{70}$ alaşımının yüksek sertliğe, mukavemete ve yoğunluğa sahip olduğunu keşfetmişlerdir. Ayrıca simule edilen vücut sıvısı içerisinde biyobozunurluk hızının arttığı böylelikle bu alaşımın ideal bir biyobozunur implantlar için aday olduğunu vurgulamışlardır [10].

Çinko; insan vücudunda bulunan en temel besin elementlerinden biridir. İnsan vücudunda bulunan Çinko mineralinin %85'i kaslarda ve kemiklerde bulunmaktadır [11]. Bir bireyin günlük Zn minerali ihtiyacı 15mg'dır. Çinko (Elastisite modülü 86-96GPa) magnezyuma göre biraz yüksek elastisite modülüne sahiptir. Çinko'nun en önemli özelliklerinden biri de fizyolojik şartlarda gerçekleşen korozyon sırasında çıkan hidrojen gaz miktarını azaltmasıdır [11,12]. Magnezyum alaşımlarına %2'den daha fazla Zn ilavesi korozyon direncini düşürdüğünden bu oran optimum olarak düşünülebilir [13].

Kalsiyum; bir insanda en çok bulunan minerallerden biridir. Bir insanın toplam ağırlığının %1,5-2'sini kalsiyum oluşturur. Yetişkin bir bireyde %99'dan daha fazlası kemiklerde olmak üzere toplam 1200g kalsiyum bulunmaktadır. Kalsiyum Magnezyuma göre yumuşaktır (Elastisite modülü 20GPa). Kalsiyum ilave edilen Mg-esaslı alaşımların, korozyon direnci arttığı ve mekanik özelliklerini geliştiği (yaşlandırma ile) gözlemlenmiştir [11,12].

Gümüş çoğu bakteri çeşidi üzerinde güçlü biosidal etkiye sahip olmasıyla birlikte anti-viral (bir hücre reseptörüne etkili bir şekilde bağlanır ve bir viral zarfı yırtabilir) özellikleri nedeniyle de enfeksiyonları önlemek ve tedavi etmek için en yaygın kullanılan alaşım elementidir [14]. *In-vitro* deneylerinde; Mg ve Mg-esaslı alaşımların korozyonu sırasında Mg'un anti-bakteriyel özellik gösterdiği lokal bazik bölge oluşturabildiği gözlemlenmiştir. Ancak bu alaşımların *in-vivo* deneylerinde çok hızlı bir şekilde korozyona uğradıkları anlaşılmıştır. Bu alaşımların yeterli anti-bakteriyel özelliklere sahip olmaları biyomedikal uygulamalarda kullanımları için gereklidir [15].

Mangan; kemiklerde, karaciğerde, böbrekte, pankreas ve böbreküstü bezde yüksek konsantrasyonlarda bulunur ve insan vücudu için önemli bir elementtir. Sağlıklı bir bireyde eser miktarda mangan minerali 4-15 $\mu\text{g/L}$ bulunmaktadır. [16,17]. Magnezyum, mangan ile alaşımlandığında, alaşımın çekme mukavemetinde önemli bir değişiklik gözlemlenmezken, elastisite modülünü artırdığı bulunmuştur [18].

Alaşımlama yaparken tek bir alaşım elementi kullanılmaz. Özellikle kemik implantları için Mg-Zn-Mn [13], Mg-Zn-Ca [19], Mg-Zn-Ag [20], Mg-Zn-Ca-Ag [21], Mg-Zn-Ca-Mn [22] gibi alaşım kompozisyonları ile Mg-esaslı alaşımlar sentezlenmektedir.

2.2 Yüzey Modifikasyonları

Magnezyum esaslı alaşımlar enfeksiyonu önleyerek kemikle bağ oluşturmasını kolaylaştıran biyoaktif yüzeye sahip değillerdir. Bu nedenle araştırmacılar klinik özellikleri tamamlamaya yardımcı olan kaplama yöntemleri geliştirmeye çalışmaktadırlar. Bu kaplama yöntemlerinin bazıları aşağıda anlatılmaktadır.

2.2.1 *Sol-jel Yöntemi*

Korozyona karşı korumada etkin bir yöntem olan sol-jel kaplama yöntemi, kimyasal olarak metalik yüzeylere ve fiziksel olarak kürlenmiş sol-jel uygulanan organik en üst kaplamalara iyi yapışma özelliği gösterir [23]. Sol-jel yöntemi ile oluşturulan ince film tabaka, diğer kaplama yöntemleri ile elde edilenlere göre daha homojendir [24]. Sol-jel metodu nadiren tek başına uygulanır, genellikle diğer yöntemlerle kombine edilerek gerçekleştirilmektedir [25,26].

2.2.2 *Mikro-Ark Oksidasyon Yöntemi*

Mikro ark oksidasyon kaplama yöntemi, bir elektro-kaplama tekniğidir ve bu teknikle mükemmel özelliklere sahip seramik kaplama gerçekleştirilir. Oluşan seramik kaplama ile sadece aşım, korozyondan korunmakla kalmaz aynı zamanda aşımın aşınma direncini, yüzey sertliğini, termal karlılığını ve dielektrik özelliği de geliştirmektedir [26,27]. Mikro ark oksidasyon yöntemiyle kaplamanın ilk aşamalarında ince ve yoğun katman ve daha sonrasında mikro çatlakların ve gözeneklerin bulunduğu poroz bir yüzey olmak üzere Mg-esaslı alaşımların yüzeyinde iki katman oluşmaktadır. Oluşan bu katmanlar nedeniyle Mg-esaslı alaşımların korozyon hızı oldukça düşmektedir [28].

2.2.3 *Lazer İşleme Prosesi*

Lazer işleme prosesi, alaşımların korozyon ve aşınma direncini artırmanın yanı sıra biyouyumluluğunu da artırmaktadır. Bu proses, Mg-esaslı alaşımların iç yapısını değiştirmeden sadece yüzey özelliklerini değiştirmek için kullanılmaktadır. Lazer işleme süreci; lazer yüzey eritme, seçici lazer yüzey eritme, lazer yüzey alaşımlama/kaplama ve lazer yüzey sertleştirme olarak aşım yüzeyine gerçekleştirilebilir. Lazer tekniğinin, karmaşık geometrileri kolaylıkla gerçekleştirebilme ve biriken tabakanın konsantrasyon kontrolünü kolaylıkla sağlayabilme gibi avantajları vardır. Ayrıca bu proseste lazer ışınları için genellikle işlem sırasında vakum gerektirmez [29].

2.2.4 *Kimyasal Dönüşüm Kaplama*

Kimyasal dönüşüm işlemi, aşım yüzeyindeki atomların ortamdaki anyonlarla etkileşime girerek aşım yüzeyinde çözünmeyen bileşik bir katman oluşturduğu bir işlemdir. Diğer kaplamalarla karşılaştırıldığında aşım yüzeyine kaplama daha iyi yapışma göstermektedir. Yüksek yapışma özelliği aşımın korozyon direncinin artırmasına sebep olur[18].

Birçok çalışmada kimyasal dönüşüm kaplama yöntemiyle Mg ve alaşımlarının yüzeyinin Ca-P ile kaplandığı bildirilmiştir. Kalsiyum-fosfor kaplamalar, kemiklere ve dişlere sertlik sağlayan hidroksi apatit oluşumunu gerçekleştirdiğinden, Ca-P kaplamaları ortopedik implantlarda yaygın olarak kullanılmaktadır [30].

2.2.5 *İyon İmplantasyonu*

Yüksek enerjili iyonları bombardıman yoluyla yüzey üzerine eklemeyi sağlayan bir yöntemdir. Aşım yüzeyinin tribolojik özelliklerini değiştirerek aşım yüzeyi ile kaplama arasında daha kuvvetli bağ oluşumu sağlamaktadır [29]. İyon implantasyonu, Mg alaşımlarının yüzey modifikasyonu için etkili bir kaplama tekniği olarak bilinmektedir [30].

3. **Magnezyum Alaşımlarının Mekanik Özelliklerini Geliştirmek için Kullanılan Yöntemler**

3.1 *Isıl İşlem*

Isıl işlem prosesleri; Mg-esaslı alaşımların mekanik özelliklerini geliştirmek için kullanılan proseslerdir. Aşım elementlerin çözünürlüğü, tane boyutu ve ikincil intermetalik fazların dağılımı Mg-esaslı alaşımların mekanik özelliklerini belirler. Biyomalzemelerin sentezlenmesinde öncelikle kullanılan ısıl işlem prosesleri su verme ve yaşlandırma. Isıl işlem, implant malzemelerinin mekanik özelliklerini ve bozunma davranışlarını iyileştirmenin yanı sıra korozyon direncini de artırmaktadır [11,31,32].

3.2 Plastik Deformasyon Sertleştirilmesi

Biyomalzemelerde plastik deformasyon sertleştirme prosesleri ekstrüzyon, dövme, haddeleme, yüksek basınç torsiyonu ve eşit kanal açılmal presleme vb. olarak sıralanabilir. Mg ve Mg-esaslı alaşımların mekanik özelliklerini iyileştirmek için plastik deformasyon sertleştirme yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu metot ile alışımda yeniden kristalleşme gerçekleşmesiyle, ince taneli yapı artar, yapı içindeki segragasyon azalır ve alaşımdın yoğunluğu artar. Böylece alaşımdın mekanik özellikleri iyileşme göstermektedir [11,18].

4. Sonuç

Bu çalışma, biyomedikal uygulamalar için umut vaat eden Mg/Mg-esaslı alaşımların özelliklerini ayrıntılı olarak kapsamaktadır. Magnezyumun biyoyumluluk, biyobozunma özelliklerinin yanında, nispeten yüksek mekanik dayanıma sahip olması, diğer implant malzemelere göre magnezyumu üstün kılmaktadır. Magnezyumun implant malzemesi olarak kullanılmasındaki zorluk, magnezyum implantlarının insan vücudu içinde, yapısını ve mekanik özelliklerini hızlı kaybetmesine neden olan hızla bozunmasıdır. Ayrıca bu malzemelerin implant malzemelerde kullanılabilmesi için mekanik özelliklerinin de geliştirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, magnezyum ve alaşımlarının implant malzemelerinde kullanılabilmesi için korozyon ve mekanik özelliklerinin geliştirilmesinde kullanılan yöntemler, bu derleme çalışmasında detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

5. Kaynaklar

- [1]. Xu, T., Yang, Y., Peng, X., Song, J., Pan, F., “Overview of Advancement and Development Trend on Magnesium Alloy”, *Journal of Magnesium and Alloys*, 7 (3), 536–544, 2019.
- [2]. Tsakiris V., Tardei C., Clicinschi FM., “Biodegradable Mg alloys for orthopedic implants – A review” *Journal of Magnesium and Alloys*, 9, 1884–905, 2021
- [3]. Razzaghi M., Kasiri-Asgarani M., Bakhsheshi-Rad H., R., Ghayour H., “In Vitro Degradation, Antibacterial Activity and Cytotoxicity of Mg-3Zn-xAg Nanocomposites Synthesized by Mechanical Alloying for Implant Applications” *Journal of Materials Engineering and Performance*, 28, 1441–55, 2019.
- [4]. Salleh E.M., Zuhailawati H., Ramakrishnan S., “Synthesis of biodegradable Mg-Zn alloy by mechanical alloying: Statistical prediction of elastic modulus and mass loss using fractional factorial design” *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 28:687–99, 2018
- [5]. Rosalbino F., De Negri S., Saccone A., Angelini E., Delfino S., “Bio-corrosion characterization of Mg-Zn-X (X = Ca, Mn, Si) alloys for biomedical applications.” *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 21, 1091–8, 2010
- [6]. Bommala V.,K., Krishna M.,G, Rao C.,T. “Magnesium matrix composites for biomedical applications: A review.” *Journal of Magnesium and Alloys*, 7, 72–9. 2019
- [7]. Zhao D., Witte F., Lu F., Wang J., Li J., Qin L., “Current status on clinical applications of magnesium-based orthopaedic implants: A review from clinical translational perspective.” *Biomaterials*, 112, 287–302.2017.
- [8]. Huang T., Cheng J., Bian D., Zheng Y.” Fe-Au and Fe-Ag composites as candidates for biodegradable stent materials: Fe-Au and Fe-Ag Composites For Stent Materials.” *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, 104:225–40,2016
- [9]. Purnama A., Hermawan H., Couet J., Mantovani D., “Assessing the biocompatibility of degradable metallic materials: State-of-the-art and focus on the potential of genetic regulation.” *Acta Biomaterialia*,6, 1800–7, 2010
- [10]. Xie G., Takada H., Kanetaka H., “Development of high performance MgFe alloy as potential biodegradable materials.”, *Materials Science and Engineering: A*, 671:48–53, 2016.

- [11]. Radha R., Sreekanth D., “Insight of magnesium alloys and composites for orthopedic implant applications – a review.” *Journal of Magnesium and Alloys*, 5, 286–312, 2017.
- [12]. Li H.F., Xie X.H., Zheng Y.F., Cong Y., Zhou F.Y., Qiu K.J., et al. “Development of biodegradable Zn-1X binary alloys with nutrient alloying elements Mg, Ca and Sr.” *Scientific Reports*;5, 10719, 2015.
- [13]. Yin D., Zhang E., Zeng S., “Effect of Zn on mechanical property and corrosion property of extruded Mg-Zn-Mn alloy”. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 18, 763–8, 2008.
- [14]. Zhang, E., Zhao, X., Hu, J., Wang, R., Fu, S., “Qin, G. Antibacterial Metals and Alloys for Potential Biomedical Implants”. *Bioactive Materials*, 6 (8), 2569–2612, 2021.
- [15]. Mohammadi Zerankeshi M., Alizadeh R. “Ag-incorporated biodegradable Mg alloys.” *Materialia* 2022;23:101445. <https://doi.org/10.1016/j.mtla.2022.101445>.
- [16]. Gąsior G., Szczepański J., Radtke A.. “Biodegradable Iron-Based Materials—What Was Done and What More Can Be Done?” *Materials*;14, 3381, 2021.
- [17]. Venezuela J., Dargusch M.S. “Addressing the slow corrosion rate of biodegradable Fe-Mn: Current approaches and future trends.” *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, 24,100822. 2020.
- [18]. Wang J., Dou J., Wang Z., Hu C., Yu H., Chen C.. “Research progress of biodegradable magnesium-based biomedical materials: A review.” *Journal Alloys Compound*;923, 166377, 2022.
- [19]. Rosalbino F., De Negri S., Saccone A., Angelini E., Delfino S. “Bio-corrosion characterization of Mg–Zn–X (X = Ca, Mn, Si) alloys for biomedical applications”. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 21, 1091–8, 2010
- [20]. Razzaghi M., Kasiri-Asgarani M., Bakhsheshi-Rad H.R, Ghayour H., “Microstructure, mechanical properties, and in-vitro biocompatibility of nano- NiTi reinforced Mg–3Zn-0.5Ag alloy: Prepared by mechanical alloying for implant applications.” *Composites Part B: Engineering*, 190, 107947, 2020.
- [21]. Ma Y., Wang D., Li H., Yuan F., Yang C., Zhang J., “Microstructure, mechanical and corrosion properties of novel quaternary biodegradable extruded Mg–1Zn–0.2Ca-xAg alloys.” *Materials Research Express*, 7,015414, 2020.
- [22]. Kavyani M., Ebrahimi G.R., Ezatpour H.R., Jahazi M., “Microstructure refinement, mechanical and biocorrosion properties of Mg–Zn–Ca–Mn alloy improved by a new severe plastic deformation process.” *Journal of Magnesium and Alloys*, 10, 1640–62, 2022.
- [23]. Li Q., “Sol-gel coatings to improve the corrosion resistance of magnesium (Mg) alloys.”, *Corrosion Prevention of Magnesium Alloys*, 469–85. 2013
- [24]. Mozafari M., Ramedani A., Zhang Y.N., Mills D.K. “Thin films for tissue engineering applications. Thin Film” *Coatings for Biomedical Applications, Elsevier*, 167–95, 2016.
- [25]. Du M., Huang L., Peng M., Hu F., Gao Q., Chen Y., et al. “Preparation of vancomycin-loaded alginate hydrogel coating on magnesium alloy with enhanced anticorrosion and antibacterial properties.” *Thin Solid Films*, 693, 137679, 2020
- [26]. Gu Y., Zheng X., Liu Q, Ma H., Zhang L., Yang D.,” Investigating Corrosion Performance and Corrosive Wear Behavior of Sol-gel/MAO-Coated Mg Alloy.” *Tribology Letters*, 66, 101, 2018.
- [27]. Dou J., Chen Y., Yu H., Chen C., “Research status of magnesium alloys by micro-arc oxidation: a review”, *Surface Engineering*, 33,731–8, 2017
- [28]. Lin Z., Wang T., Yu X., Sun X., Yang H., “Functionalization treatment of micro-arc oxidation coatings on magnesium alloys: a review” *Journal of Alloys and Compounds*, 879, 160453, 2021.

- [29]. Ali M., Elsherif M., Salih A.E., Ul-Hamid A., Hussein M.A., Park S., et al. "Surface modification and cytotoxicity of Mg-based bio-alloys: An overview of recent advances." *Journal of Alloys and Compounds*, 825, 154140, 2020.
- [30]. Riaz U., Shabib I., Haider W., "The current trends of Mg alloys in biomedical applications—A review" *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, 107, 1970–96 ,2019.
- [31]. Lotfabadi A.F., Bakhsheshi-Rad H.R., Idris M.H., Hamzah E., Kasiri-Asgarani M., "The role of solution heat treatment on corrosion and mechanical behaviour of Mg–Zn biodegradable alloys" *Canadian Metallurgical Quarterly*, 55, 53–64, 2016.
- [32]. Tipan N., Pandey A., Mishra P., "Selection and preparation strategies of Mg-alloys and other biodegradable materials for orthopaedic applications: A review" *Materials Today Communications*, 31, 103658, 2022.



Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi

Derleme Makalesi (Review Article)

Makale Doi: 10.17100/nevbiltek.1178348

Geliş Tarihi: 21-09-2022

Kabul Tarihi: 23-11-2022



Zeolitlerin Özellikleri ve Doku Mühendisliği Uygulamaları¹

Fatma Zehra Koçak^{1*}, Nilüfer Küçükdeveci², Esmâ Daldiken³

¹ Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Nevşehir, TÜRKİYE
ORCID ID: 0000-0001-6397-322X

² Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Nevşehir, TÜRKİYE
ORCID ID: 0000-0002-4579-9915

³ Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nanobilim ve Nanoteknoloji Anabilim Dalı, Nevşehir, TÜRKİYE

Öz

Zeolitler, volkanik aktiviteler sonucu yeryüzünde doğal olarak oluşan ve sentetik olarak da yüzlerce çeşitte üretilen zengin element içerikli alüminasilikat mineralleridir. Zeolitler ayırt edilebilir homojen poroz yapıya sahip, yüksek yüzey alanlı iyonik bileşiklerdir. Bu kimyasal ve mikroyapısal özellikler zeolitlere yüksek adsorpsiyon ve absorpsiyon kapasitesi, iyon-değişimi, moleküler seçicilik gibi etkinlikler sağlar. Bu çok yönlü üstün özellikler de zeolitlerin tarım ve hayvancılık sektörlerinden, enerji, teknoloji ve biyomedikal sektörlerine kadar çok geniş bir yelpazede etkin olarak araştırılıp kullanılmasının önünü açmıştır. Bu çalışmada zeolitlerin temel özellikleri, uygulama alanları ve spesifik olarak biyomedikal ve doku mühendisliğinde zeolitlerin önemi, güncel, potansiyel uygulama alanları araştırılarak öz bir şekilde ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Alüminosilikat; biyomedikal; doku mühendisliği; zeolit

The Properties of Zeolites and Tissue Engineering Applications

Abstract

Zeolites are aluminosilicate minerals with rich element content which form on the earth due to volcanic activities, and can also be produced synthetically at hundreds of types. Zeolites are ionic compounds with high surface area having a well-defined porous structure. This chemical and microstructural properties provide efficiencies of high adsorption and absorption, ion-exchange and molecular selectiveness capacities etc. This versatile properties have paved the way of investigation and utilisations of zeolites in a wide range from agriculture and farming to the energy, technology, and

¹ Bu çalışma '5. International Conference on Materials Science, Mechanical and Automotive Engineerings and Technology (IMSMATEC'22)' kapsamında bildiri olarak sunulmuştur.

* Sorumlu yazar e-mail: fzkocak@nevsehir.edu.tr

biomedical sectors. In this study, the fundamental properties of zeolites, applications and specifically the status of zeolites and current potential applications at biomedical and tissue engineering fields have been dealt with concisely.

Keywords: Aluminosilicate; biomedical; tissue engineering; zeolite

1. Giriş

Zeolitler, alüminyum ve silisyum temelli oksit iyonlarının üç boyutlu, tetrahedral kristalin dizilimiyle oluşan gözenekli yapıya sahip minerallerdir. Türkiye’de yeteri kadar doğal rezervinin bulunması da zeolitlerin ülkemizdeki araştırma ve çalışmalarda kullanılmasının önünü açmaktadır. Eşsiz mikroyapıları ile zeolitler iyon değişimi, adsorbsiyon ve moleküler seçicilik kapasitesi gibi özellikleri sayesinde çok çeşitli alanlarda kullanılabilir. Zeolitlerin kullanım alanının tarımsal, teknolojik, çevre mühendisliği, doku mühendisliği ve tıp gibi geniş bir alanı kapsamaması nedeniyle zeolitler bilimsel araştırma ve uygulamalarda artarak yerini almaktadır [1,2].

2. Zeolitlerin Yapısal ve Kimyasal Özellikleri

Zeolitler toprak alkali iyonları içeren sulu alüminosilikat mineralleridir. Zeolitler, alüminyum merkez atomlarının oksijen atomları ile çevrelendiği $[SiO_4]^{4-}$ ve $[AlO_4]^{5-}$ tetrahedronlarının birbirine bağlanması ile boşluk ve kanallar içeren bir ağ yapısı oluştururlar [3]. Bileşimindeki yapı suyu, zeolitlerin oluşum sıcaklığı ve basıncını düşürürken poroz yapısına katkı sağlar. Zeolitlerin yoğunluğu, bu gözenekli yapısı nedeniyle, diğer silikat minerallerine göre daha düşüktür. Gözenekli yapısı ve yüzey alanının geniş olması, zeolitleri endüstriyel alanda oldukça önemli kılmaktadır. Gözenekli yapı, malzemeye adsorban özellik kazandırır [1].

Zeolitlerin genel kimyasal formülü $[Al_nSi_{n(4-x)}O_{n8}]^{nx-}$ şeklindedir. Kristal yapıdaki alüminyum ve silisyum katyonları yer değiştirdiğinde negatif yüklü bir ağ oluşur ve boşluklarda kafese tutunan katyonlar sayesinde toplam yük dengelenir. Bu katyon yer değiştirme özelliği sayesinde çeşitli moleküller zeolitler içerisinde adsorbe ya da absorbe edilebilmektedir. Zeolitler farklı büyüklükteki molekülleri tutma ve geçirme gibi özellikleri sayesinde ‘moleküler elekler’ olarak da adlandırılmaktadır [1].

3. Zeolitlerin Çeşitleri

Zeolitler, volkanik bölgelerde doğal olarak oluştuğu gibi sentetik olarak da üretilebilmektedir. Bilinen 40 adet doğal zeolit türünün yanı sıra, 200’ü aşkın sentetik zeolit türü olduğu rapor edilmiştir [4]. Bu sınıflar genellikle kimyasal bileşim ve morfolojik yapıları nedeniyle birbirinden ayrılırlar [5]. Zeolitler farklı morfolojilerde oluşmalarının yanı sıra klinoptilolit ve heulandit gibi eş yapılı zeolitler aynı grupta sınıflandırılırlar. Heulandit grubu mineraller genellikle tabakalı ve yassı çubuk şeklinde kristalleşirler. Mordenit türleri ince lifler, çubuklar ve iğneler şeklinde bir morfoloji sergilerler. Rombohedral yapıdaki kabazit türü ise küp şeklinde bir kristal görünüme sahiptir [6].

3.1. Doğal Zeolitler

Doğal zeolitler volkanik külün bazik göl sularıyla hidrotermal reaksiyonları sonucunda oluşmuştur. Esas volkanik kökenli olan doğal zeolitler, magmatik ve metamorfik kayalarda kristalize formlarda bulunurken, tortul kayalarda küçük çaplı taneler halinde bulunabilirler. İnsanların erişemediği okyanus dibi tortullar, zeolitler açısından zengindir ve diğer kayalarda bulunan zeolitlere göre oldukça büyük yapıdadır [7].

Doğal zeolitler; fibroz, tek bağlı-4 halka zincirli, çift bağlı-4 halka zincirli, 6 halkalı, mordenit grubu, heulandit grubu ve diğer zeolitler olmak üzere 7 ana gruba ayrılmaktadır. Mordenit grup zeolitler: ‘mordenite, dachiardite, epistilbite, ferriente, bikitaite’ olmak üzere ve heulandit grup zeolitler: ‘clinoptilolite, heulandite, stilbite, setellerite, barrenite, brewsterite’ gibi farklı türlere sahiptir [8]. Doğal zeolitlerin en fonksiyonel türleri arasında klinoptilolit, mordenit ve kabazit sayılabilir [7].

3.2. *Sentetik Zeolitler*

Sentetik zeolitler laboratuvar koşullarında doğal hammaddeler ve sentetik silikatlar kullanılarak, yüksek sıcaklık veya basınç altında hidrotermal sentezleme yöntemleri ile üretilmektedirler. Doğal zeolitlerin oluşumu birkaç bin yıl alırken sentetik zeolitlerin üretimi çok kısa sürede gerçekleştirilir. Ancak, sentez reaksiyonları uygun ekipman, temiz altlık ve enerji gerektirdiği için doğal zeolitlere göre daha pahalıdır [7]. Bilinen iki yüzü aşkın sentetik zeolit tipi mevcut iken en çok kullanılan türler arasında; zeolite Y, zeolite A, zeolite L ve ZSM-5 kodlu zeolitler sayılabilir [4,5,7].

4. **Zeolitlerin Kullanım Alanları**

Zeolitler çok yüksek iç yüzey alanına sahip mineral yapı ailesi olarak tanımlanabilir. Bazı büyük molekülleri elek gibi yakalarken, daha küçük molekülleri geçirirler. Reaksiyonlarda büyük bir yüzey alanı sağlarlar. Zeolitler katyon/iyon değiş tokuşu sağlarlar, moleküler seçicilik ve adsorbsiyon/desorbsiyon özelliği gösterirler, su yumuşatıcıdır, mükemmel katalizörlerdir ve ayrıca biyolojik olarak aktiflerdir [9]. Bu üstün özellikler zeolitlerin çok çeşitli uygulama alanlarında kullanımını mümkün kılmaktadır. Zeolitlerin önemli temel kullanım alanları Tablo 1’de sunulmuştur.

Zeolitler çevresel uygulamalarda, su arıtımında ağır metal iyonlarının (nikel, bakır, kadmiyum, çinko, kurşun ve civa gibi) ve amonyak gibi organik bileşenlerin uzaklaştırılmasında kullanılmaktadır. Zeolitler modifiye edilerek adsorban aktivitesi daha da güçlendirilebilmektedir [10]. Ayrıca, zeolitler nükleer atıklardaki iyonların, petrolü içeriklerin ve çöplerin ayrıştırılması gibi diğer çevresel uygulamalarda da kullanılmaktadır [2].

Zeolitler elektrokimyasal, optik ve kalorimetrik gaz sensörlerinde kullanıldığında algılama ve seçiciliği arttırmaktadır. Geniş yüzey alanı sayesinde gözenekler içerisinde adsorpsiyon kapasitesi, madde iletimi ve optik özelliklere etki ederek sensörlerde iletimi sağlamaktadır. Nano-boyutlu zeolit kristaller ve membranlar, mini tip üstün performanslı gaz sensörleri geliştirilmesinin önünü açmıştır [5]. Enerji sektöründe, doğal gaz ve kömürün saflaştırılmasında gazların uzaklaştırılmasında, solar sistemlerde ısı dönüştürücü olarak ve petrol-bazlı ürünlerin sentezinde katalizör olarak kullanılmaktadır [2].

Tarımsal ve hayvansal faaliyetlerde gübre ve ilaçların kontrollü salınımı için ve hayvan yemlerinde besleyici katkı maddesi olarak kullanılmaktadır [2]. Ayrıca, biyoyumlu klinoptilolit zeolitler insanlarda bağışıklık sistemini destekleyici mineral takviyesi ve zehirli toksinleri giderici gıda takviyesi olarak da kullanılmaktadır [2,17].

Tablo 1. Zeolitlerin Temel Kullanım Alanları

Genel Uygulamalar	Özel Uygulamalar	Zeolit Türü	Açıklama	Referanslar
			Ağır metal ve amonyak Uzaklaştırma	[10][11]
	Su arıtımı		Su arıtıcı membran kompozitler (nano zeolit katkılı polisülfon membranlar)	[12]
			Endüstriyel sıvı atıklar, organik atıklar ve nükleer atıkların ayrıştırılması	[2,13]
Çevresel Uygulamalar	Atıkların ayrıştırılması	Doğal zeolitler (klinoptilolit ve kabazit gibi)	Doğal gaz ve kömürün saflaştırılması	
	Katalizör	NaX zeolitler	Gazların ayrıştırılması	[14]
		ZSM-5 Zeolit-Y		
	zeolitler	Brønsted asidik	İçten yanmalı motorlarda Foto-katalizör	[13]
	H-USY)	(H-ZSM-5 (MFI) ve	Petrokimya endüstrisinde hidrokarbon bileşiklerinin yakıtta dönüştürülmesi	
	Yakıt hücreleri	Zeolit H-beta	Biyoküklelerden yakıt dönüşümü	[14]
	(MOR)	Zeolit Silikalit-1	Laktik asit dönüşümü	
	Enerji depolama	Cu/Fe- zeolit mordenit	Hidrojen üretiminde nano-katalizör	[14]
	SAPO-34,	Zeolit- X, Y, A,	Metan sıvı yakıtlarda metanol dönüşümü	
Enerji Uygulamaları	Gaz sensörleri	AIPO-34 SnO ₂ /ZSM-5	Su adsorpsiyonu ile enerji depolama	[15]
			Yarıiletken gaz sensörlerinde seçiciliği artırma (formaldehit vb.)	
			Kemik kaybını önleyici takviye Kemik yenilenmesi için teşvik edici ajan Antioksidan ve ağır metal tutucu Titanyum ve çelik gibi kemik implant kaplamalarında osteoentegrasyon sağlama, kemik ile elastik modül uyumsuzluğunu giderme gibi biyoyumluluk özelliklerini ve korozyon direncini artırıcı	[16,17]
		Doğal mordenit Sodyum zeolit A	Kemik implantı ve diş dolgu malzemesi olarak	[18,19]
		Zeolit MFI (ZSM-5)	Yara ve yanık örtü malzemelerinde (jelatin ve hyaluronik asit ile kompozit olarak). Fibroblast hücre büyümesini teşvik edici poroziteye ve oksijen teminine katkı sağlayıcı	[3,20] [20,21]
		Faujasite	Antibakteriyel ve antioksidan özellikli diş kökü hasarlarını onarmak için gümüş iyon değişimli zeolit	[20]
Biyolojik Uygulamalar	Mineral ve gıda takviyesi		İlaç salınım sistemleri	
	Doku mühendisliği	Na A ve Zn A Zeolitler	Hemostatik ajan, biyosensör, tıbbi teşhis/görüntüleme	[22] [20]

4.1. Zeolitlerin Biyomedikal ve Doku Mühendisliği Uygulamaları

Poroz ve hidrofilik yapısı, iyon değişimi, moleküler adsorpsiyon kapasitesi gibi özelliklerin yanı sıra, yapılan araştırmalar, zeolitlerin çoğunlukla biyoyumlu olduğunu ve anti-bakteriyel/mikrobiyal, antioksidan, antiadjuvant gibi üstün özellikler sergilediklerini göstermektedir [3]. Zeolitlerin uzun süreli kimyasal ve biyolojik kararlılığa sahip olmaları, tersinir olarak küçük molekülleri bağlayabilmeleri ve immünodülatör aktiviteye sahip olmaları sayesinde biyomedikal uygulamalarda önemli bir yere sahiptir. Zeolitler arasında erionit, offretite and skolecite gibi fibroz kristalin formlardaki

birkaç türünün sitotoksik özellikler sergileyebildiği bildirilmiştir [4]. Fakat yapılan araştırmalarda zeolitlerin diğer çoğu türünün biyouyumlu olduğu ve hücre büyümesini teşvik ettiği bildirilmiştir. Bu çalışmalar arasında, zeolitlerin yenileyici tıp uygulamalarında kompozit skafold (doku iskelesi) malzeme bileşimlerinde kullanıldığında incelenen fibroblast, osteoblast kondrosit, atar damar kas hücreleri gibi pek çok hücre türü ile oldukça biyouyumlu özellikler göstererek, hücre çoğalması ve doku yenilenmesinde önemli potansiyel katkılar sağladığı görülmüştür [4,21,23–25]. Ayrıca, klinoptilolit gibi biyouyumlu bir zeolit türünün kanser tedavisinde adjuvant olarak kullanımı bildirilmektedir [26]. Doku mühendisliği alanında zeolitler kemik implantı ve diş dolgu malzemesi olarak [27], yara ve yanık örtü malzemelerinde [28], antibakteriyel implantlar ve kaplamalarda [19,29] ilaç salınım sistemlerinde [30], hemostatik ajan ve tıbbi teşhis/görüntüleme ajanı olarak çeşitli alanlarda aktif olarak araştırılmakta ve kullanılmaktadır [3].

Uygun mekanik mukavemete, homojen gözenek yapısıyla geniş yüzey alanına sahip zeolitlerin kemikler ve diş dokularının onarımı ve yenilenmesinde implant ve skafold malzemesi olarak kullanım potansiyeli oldukça yüksektir. Zeolit kristallerinin üç-boyutlu mikroyapıları, gözenekli yapısı ve özel topografyası, kemik hücresi, osteoblastların bağlanması, çoğalması ve farklılaşması için oldukça uygun bir yapıdır [31]. Bedi, (2012) ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada paslanmaz çelik ve titanyum alaşımı üzerine yeni bir kompozit, zeolit-hidroksiapatit kaplaması gerçekleştirilmiştir. Kompozit kaplama süper hidrofilik özellik göstererek, kaplama ile kemik arasındaki elastik modülü uyumsuzluğunu gidermiştir. Bu durumun ameliyat sonrası kemik iyileşmesini hızlandırması öngörülmektedir [19].

Ninan ve arkadaşları (2013) bakır ile aktifleştirilmiş faujasite türü zeoliti jelatin bazlı skafoldlar içerisinde entegre ederek liyofilizasyon yöntemiyle oldukça poroz ve geniş gözenek dağılımına sahip bir yapıda üretmiştir. Zeolit ilavesi, matrisi yapısal ve mekanik açıdan güçlendirerek kompozitin doku mühendisliği uygulamaları için optimizasyonunu sağlamıştır [32]. Bu araştırmacıların takip eden diğer çalışmalarında, hyaluronik asitin de ilave edildiği jelatin-faujasite skafoldları yara iyileşmesi için *iv-vitro* ve *in-vivo* testler ile karakterize edilmiştir. Kompozit skafoldların fibroblast hücrelerine karşı yüksek biyouyumluluk sergiledikleri ve kontrollü absorpsiyon ve bozunma kapasiteleri sayesinde doku büyümesini teşvik ettiği bildirilmiştir. Ayrıca fareler üzerinde gerçekleştirilen *in-vivo* testlerde kompozitlerin yumuşak doku büyümesini ve kolajen üretimini sağlayarak yara iyileşmesini teşvik ettiği görülmüştür [21].

Yapısındaki silikat içeriği nedeniyle zeolitler, yapay vücut sıvısına daldırıldığında apatit tabakası üretme kapasitesi nedeniyle biyoaktif özellik göstererek implant ve insan kemiği arasındaki bağın indüklenmesinde önemli bir etkinlik göstermektedirler [27]. Zeolitlerin hidrofilik ve gözenekli yapılarında Na, K ve Ca gibi mineral elementleri içermeleri gibi biyomimetik özellikleri de skafold ile doku arasında etkin bir bağ oluşumunu destekler [20]. A ve X tipi zeolitler, metakrilik reçinesi temelli diş dolgu maddesi olarak UV etkisi ile çapraz bağlanabilen ve çeşitli yüzey aktif ajanlar varlığı sayesinde mezoporoz bir yapıda üretilmiştir. Çürük ya da yaralanma sonucu dişlerin dentin ve diş minesini tabakasında meydana gelebilecek hasarların onarımında kullanılacak bu kompozit malzemeler iyon değişimi özelliği sayesinde kalsiyum ve fosfat iyon salınımı ile apatit oluşumunu teşvik edip yeniden mineralleşmeyi güçlendirmiştir [33].

Zeolitler kırık doku yenilenmesi çalışmalarında da araştırılmıştır. Bir çalışmada, elektrospining yöntemiyle üretilen PVA ve kolajen matrisli fiber kompozitler içerisine nano-boyutlu silikat ve zeolit bileşikleri eklenmesinin kondrosit, kırık doku hücrelerinin çoğalmasını arttırdığı görülmüştür [24].

Zeolitler yüksek yüzey alanı/hacim oranına sahip mikro-gözenekli yapısı sayesinde antibakteriyel ajanları etkili bir şekilde adsorbe ederek depolayabilmekte ve bu ajanların kontrollü salınımını gerçekleştirmektedir [29]. Antibakteriyel çalışmalarda gümüş [34], bakır [35] ve çinko [36] gibi inorganik metal iyonları zeolitler içerisine katkı olarak ilave edildiğinde malzemelerin antibakteriyel özelliklerini güçlendirildiği görülmüştür [37]. İyon değişimi ile gümüş iyonları zeolitler içerisine adsorbe edildiğinde gümüşün kontrollü salınımı sayesinde uzun süreli antibakteriyel etki başarılmıştır.

Gümüş iyonu Ag^0 veya Ag^+ içeren ultra küçük EMT-tip nano-zeolitin suda dağıtılmış formlarına maruz kalan E-koli hücrelerini tamamen yok ettiği bildirilmiştir [29].

Zeolitler, absorpsiyon/desorpsiyon ve iyon-değişimi özellikleri ile tek başlarına ya da polimerler ile birleştirilerek kompozit ve ya hidrojel gibi formlarda kontrollü ilaç salınım sistemlerinde kullanım için de oldukça elverişlidir [38]. Pavelić v.d., (2000), klinoptilolit türü zeolitin kanser tedavisinde adjuvant olarak kullanımını araştırmıştır. *In-vitro* testlerde, klinoptilolit kullanımının pek çok kanserli hücreye karşı tümör önleyici protein oluşumunu desteklediği görülmüştür. *In-vivo* çalışmalarda ise, köpeklerde ve farelerde deri kanserinde tümör oluşumunu ve büyümesini azalttığı görülmüştür [26]. Zeolitler, ibuprofen ve diklofenak gibi anti-inflamatör ilaçların, anti-diyareik ve doksorubisin gibi kemoterapi ilaçların salınımının yansira hücrelere DNA salınımında da kullanılmaktadır [31,38].

Zeolitler, kanser gibi çeşitli hastalıkların teşhisinde biyobelirteçleri algılayan biyosensör uygulamalarında da kullanılmaktadır. Enzimlerin içerisine enkapsüle edildiği klinoptilolit ve β -zeolit türleri pH-duyarlı potansiyometrik transistörler ile kombine edilen biyosensörler geliştirilmiştir. Buna ilaveten, klinik olarak büyük öneme sahip olan üre tespitinde, amonyum seçiciliğine sahip transistörlerde üreaz enzimini bağlayan klinoptilolit içeren polimer kompozit membranların biyosensör olarak kullanımı bildirilmiştir [3].

5. Sonuçlar

Poroz ve iyonik yapıda inorganik mineraller olup, mekanik ve biyolojik kararlılığa sahip olan zeolitler çeşitli endüstriyel ve bilimsel alanlarda yapılan araştırma ve çalışma faaliyetlerinde oldukça ilgi çeken malzemelerdir. Üstün adsorpsiyon ve moleküler seçicilik kapasitesi sayesinde zeolitler, ayırma, saflaştırma, katalizör ve sensör gibi teknolojik uygulamalarda önemli etkinliğe sahiptirler. Ayrıca, biyouyumlu ve biyoaktif olmaları nedeniyle, zeolitler biyomedikal uygulamalarda ilaç salınımı, teşhis, görüntüleme, biyosensör gibi uygulamaların yanı sıra doku mühendisliğinde özellikle kemik yenilenmesi ve tedavisinde kullanım için oldukça yüksek potansiyele sahip malzemelerdir.

6. Teşekkür ve Katkı Beyanı

Bu çalışma, *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü tarafından desteklenen 'KBP22F01' nolu proje* kapsamında gerçekleştirilmiştir. F.Z.K.; çalışmanın dizaynı, literatür araştırması, makale yazımı ve makale son formatının oluşturulması. N.K.; literatür araştırması ve makale yazımı. E.D.; literatür araştırması ve makale yazımı.

7. Kaynaklar

- [1]. Sahin, M.B. "Zeolitler". *MTA Doğal Kaynaklar ve Ekon. Bülteni*, 17, 53–60, 2014
- [2]. Gülen, J.; Zorbay, F.; Arslan, S. "Zeolitler ve Kullanım Alanları". *Karaelmas Sci. Eng. J.* 2, 63–68, 2012
- [3]. Serati-Nouri, H.; Jafari, A.; Roshangar, L.; Dadashpour, M.; Pilehvar-Soltanahmadi, Y.; Zarghami, N. "Biomedical Applications of Zeolite-Based Materials: A Review". *Mater. Sci. Eng. C*, 116, 111225, 2020
- [4]. Bacakova, L.; Vandrovцова, M.; Kopova, I.; Jirka, I. "Applications of Zeolites in Biotechnology and Medicine- a Review". *Biomater. Sci.*, 6, 974–989, 2018
- [5]. Zheng, Y.; Li, X.; Dutta, P.K. "Exploitation of Unique Properties of Zeolites in the Development of Gas Sensors". *Sensors*, 12, 5170–5194, 2012
- [6]. Moshoeshoe, M.; Nadiye-Tabbiruka, M.S.; Obuseng, V. "A Review of the Chemistry, Structure, Properties and Applications of Zeolites". *Am. J. Mater. Sci.*, 7, 196–221, 2017
- [7]. Krol, M. "Natural vs. Synthetic Zeolites". *Crystals*, 10, 1–8, 2020.
- [8]. Hardi, G.W.; Maras, M.A.J.; Riva, Y.R.; Rahman, S.F. "A Review of Natural Zeolites and Their Applications: Environmental and Industrial Perspectives". *Int. J. Appl. Eng. Res.*, 15, 730–734, 2020.
- [9]. Sobuś, N.; Czekaj, I.; Diichuk, V.; Kobasa, I.M. "Characteristics of the Structure of Natural Zeolites and Their Potential Application in Catalysis and Adsorption Processes". *Tech. Trans.*, 1–20, 2020

- [10]. Wang, S.; Peng, Y. "Natural Zeolites as Effective Adsorbents in Water and Wastewater Treatment". *Chem. Eng. J.*, 156, 11–24, 2010
- [11]. Sprynskyy, M.; Buszewski, B.; Terzyk, A.P.; Namieśnik, J. "Study of the Selection Mechanism of Heavy Metal (Pb²⁺, Cu²⁺, Ni²⁺, and Cd²⁺) Adsorption on Clinoptilolite". *J. Colloid Interface Sci.*, 304, 21–28, 2006
- [12]. Yurekli, Y.; Yildirim, M.; Aydın, L.; Savran, M. "Filtration and Removal Performances of Membrane Adsorbers". *J. Hazard. Mater.*, 332, 33–41, 2017
- [13]. Rhodes, C.J. "Properties and Applications of Zeolites". *Sci. Prog.* **2010**, 93, 223–284,
- [14]. Li, Y.; Li, L.; Yu, J. "Applications of Zeolites in Sustainable Chemistry". *Chem*, 3, 928–949, 2017
- [15]. Sun, Y.; Wang, J.; Du, H.; Li, X.; Wang, C.; Hou, T. "Formaldehyde Gas Sensors Based on SnO₂/ZSM-5 Zeolite Composite Nanofibers". *J. Alloys Compd.*, 868, 159140, 2021
- [16]. Banu, J.; Varela, E.; Guerra, J.M.; Halade, G.; Williams, P.J.; Bahadur, A.N.; Hanaoka, K.; Fernandes, G. Dietary "Coral Calcium and Zeolite Protects Bone in a Mouse Model for Postmenopausal Bone Loss". *Nutr. Res.*, 32, 965–975, 2012
- [17]. Ivkovic, S.; Deutsch, U.; Silberbach, A.; Walraph, E.; Mannel, M. "Dietary Supplementation With the Tribomechanically Activated Zeolite Clinoptilolite in Immunodeficiency : Effects". *Adv. Nat. Ther.*, 21, 135–148, 2004.
- [18]. Bedi, R.S.; Beving, D.E.; Zanello, L.P.; Yan, Y. "Biocompatibility of Corrosion-Resistant Zeolite Coatings for Titanium Alloy Biomedical Implants". *Acta Biomater.*, 5, 3265–3271, 2009
- [19]. Bedi, R.S.; Chow, G.; Wang, J.; Zanello, L.; Yan, Y.S. "Bioactive Materials for Regenerative Medicine: Zeolite-Hydroxyapatite Bone Mimetic Coatings". *Adv. Eng. Mater.*, 14, 200–206, 2012
- [20]. Zarrintaj, P.; Mahmodi, G.; Manouchehri, S.; Mashhadzadeh, A.H.; Khodadadi, M.; Servatan, M.; Ganjali, M.R.; Azambre, B.; Kim, S.J.; Ramsey, J.D.; et al. "Zeolite in Tissue Engineering: Opportunities and Challenges". *MedComm*, 1, 5–34, 2020
- [21]. Ninan, N.; Muthiah, M.; Park, I.K.; Elain, A.; Wong, T.W.; Thomas, S.; Grohens, Y. "Faujasites Incorporated Tissue Engineering Scaffolds for Wound Healing: In Vitro and in Vivo Analysis". *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 5, 11194–11206, 2013
- [22]. Kocaaga, B.; Kurkuoglu, O.; Tatlier, M.; Batirel, S.; Guner, F.S. "Low-Methoxyl Pectin–Zeolite Hydrogels Controlling Drug Release Promote in Vitro Wound Healing". *J. Appl. Polym. Sci.*, 136, 1–16, 2019
- [23]. Iqbal, N.; Abdul Kadir, M.R.; Mahmood, N.H. Bin; Yusoff, M.F.M.; Siddique, J.A.; Salim, N.; Froemming, G.R.A.; Sarian, M.N.; Balaji Raghavendran, H.R.; Kamarul, T. "Microwave Synthesis, Characterization, Bioactivity and in Vitro Biocompatibility of Zeolite-Hydroxyapatite (Zeo-HA) Composite for Bone Tissue Engineering Applications". *Ceram. Int.*, 40, 16091–16097, 2014
- [24]. Mehra, M.; Anarkoli, A.O.; Rafienia, M.; Ghasemi, N.; Davary, N.; Bonakdar, S.; Naeimi, M.; Agheb, M.; Salamat, M.R. "Incorporation of Zeolite and Silica Nanoparticles into Electrospun PVA/Collagen Nanofibrous Scaffolds: The Influence on the Physical, Chemical Properties and Cell Behavior". *Int. J. Polym. Mater. Polym. Biomater.*, 65, 457–465, 2016
- [25]. Seifu, D.G.; Isimjan, T.T.; Mequanint, K. "Tissue Engineering Scaffolds Containing Embedded Fluorinated-Zeolite Oxygen Vectors". *Acta Biomater.*, 7, 3670–3678, 2011
- [26]. Pavelić, K.; Hadžija, M.; Bedrica, L.; Pavelić, J.; Crossed D signikić, I.; Katić, M.; Kralj, M.; Bosnar, M.H.; Kapitanović, S.; Poljak-Blaži, M.; et al. "Natural Zeolite Clinoptilolite: New Adjuvant in Anticancer Therapy". *J. Mol. Med.*, 78, 708–720, 2000

- [27]. Iqbal, N.; Abdul Kadir, M.R.; Iqbal, S.; Razak, S.I.A.; Shahid Rafique, M.; Bakhsheshi-Rad, H.R.; Hasbullah Idris, M.; Khattak, M.A.; Raghavendran, H.R.B.; Abbas, A.A. "Nano-Hydroxyapatite Reinforced Zeolite ZSM Composites: A Comprehensive Study on the Structural and in Vitro Biological Properties". *Ceram. Int.*, *42*, 7175–7182, 2016
- [28]. Barbosa, G.P.; Debone, H.S.; Severino, P.; Souto, E.B.; Da Silva, C.F. "Design and Characterization of Chitosan/Zeolite Composite Films - Effect of Zeolite Type and Zeolite Dose on the Film Properties". *Mater. Sci. Eng. C*, *60*, 246–254, 2016
- [29]. Dong, B.; Belkhair, S.; Zaarour, M.; Fisher, L.; Verran, J.; Tosheva, L.; Retoux, R.; Gilson, J.P.; Mintova, S. "Silver Confined within Zeolite EMT Nanoparticles: Preparation and Antibacterial Properties". *Nanoscale*, *6*, 10859–10864, 2014
- [30]. Zhang, Y.; Yan, W.; Sun, Z.; Pan, C.; Mi, X.; Zhao, G.; Gao, J. "Fabrication of Porous Zeolite/Chitosan Monoliths and Their Applications for Drug Release and Metal Ions Adsorption". *Carbohydr. Polym.*, *117*, 657–665, 2015
- [31]. Derakhshankhah, H.; Jafari, S.; Sarvari, S.; Barzegari, E.; Moakedi, F.; Ghorbani, M.; Varnamkhasti, B.S.; Jaymand, M.; Izadi, Z.; Tayebi, L. "Biomedical Applications of Zeolitic Nanoparticles, with an Emphasis on Medical Interventions". *Int. J. Nanomedicine*, *15*, 363–386,
- [32]. Ninan, N.; Grohens, Y.; Elain, A.; Kalarikkal, N.; Thomas, S. "Synthesis and Characterisation of Gelatin/Zeolite Porous Scaffold". *Eur. Polym. J.*, *49*, 2433–2445, 2013
- [33]. Sandomierski, M.; Buchwald, Z.; Koczorowski, W.; Voelkel, A. "Calcium Forms of Zeolites A and X as Fillers in Dental Restorative Materials with Remineralizing Potential". *Microporous Mesoporous Mater.*, *294*, 109899, 2020
- [34]. Sánchez, M.J.; Mauricio, J.E.; Paredes, A.R.; Gamero, P.; Cortés, D. "Antimicrobial Properties of ZSM-5 Type Zeolite Functionalized with Silver". *Mater. Lett.*, *191*, 65–68, 2017
- [35]. Alswat, A.A.; Ahmad, M. Bin; Hussein, M.Z.; Ibrahim, N.A.; Saleh, T.A. "Copper Oxide Nanoparticles-Loaded Zeolite and Its Characteristics and Antibacterial Activities". *J. Mater. Sci. Technol.*, *33*, 889–896, 2017
- [36]. Fox, S.; Wilkinson, T.S.; Wheatley, P.S.; Xiao, B.; Morris, R.E.; Sutherland, A.; Simpson, A.J.; Barlow, P.G.; Butler, A.R.; Megson, I.L.; et al. "NO-Loaded Zn²⁺-Exchanged Zeolite Materials: A Potential Bifunctional Anti-Bacterial Strategy". *Acta Biomater.*, *6*, 1515–1521, 2010
- [37]. Top, A.; Ülkü, S. "Silver, Zinc, and Copper Exchange in a Na-Clinoptilolite and Resulting Effect on Antibacterial Activity". *Appl. Clay Sci.*, *27*, 13–19, 2004
- [38]. Servatan, M.; Zarrintaj, P.; Mahmodi, G.; Kim, S.J.; Ganjali, M.R.; Saeb, M.R.; Mozafari, M. "Zeolites in Drug Delivery: Progress, Challenges and Opportunities". *Drug Discov. Today*, *25*, 642–656, 2020



Nevşehir Journal of Science and Technology

Research Article (Araştırma Makalesi)

Article Doi: 10.17100/nevbiltek.1180084

Date Submitted:25-09-2022

Date Accepted:23-11-2022



Nevşehir İlinde Kuraklık Analizi ve Kuraklığın Tarımsal Ürün Verimi Üzerine Etkileri

Kahraman OĞUZ^{1,*}, Gülten ÇAMALAN², Muhammet Ali PEKİN³

¹ Turkish State Meteorological Service, Keçiören, Ankara, TÜRKİYE
ORCID ID: 0000-0001-5305-6145

² Turkish State Meteorological Service, Keçiören, Ankara, TÜRKİYE
ORCID ID: 0000-0001-7598-9771

³ Turkish State Meteorological Service, Keçiören, Ankara, TÜRKİYE
ORCID ID: 0000-0002-6807-890X

Öz

Türkiye, iklim değişikliğine karşı en hassas bölgelerden birisidir. İklim değişikliğinin tetiklediği kuraklık olayları bölgede sıklıkla meydana gelmekte ve önemli çevre sorunlarına neden olmaktadır. Tarım sektörü ve mahsul verimi kuraklıktan olumsuz etkilenen alanlar arasındadır. Bu çalışmada, Nevşehir Merkez ve Ürgüp istasyonları kullanılarak SPI ve SPEI yöntemleri ile meteorolojik ve hidrolojik kuraklık durumu ve yağış eğilimi incelenmiştir. Ayrıca bölgede uzun süreli kuvvetli kuraklıkların şiddeti ve süresi araştırılmıştır. Kuraklık olaylarının en önemli olumsuz etkileri tarım sektöründe bitkisel üretim üzerinde görülmektedir. Bu etkiyi analiz etmek için bölgede yetiştirilen tarım ürünlerinin verim değerleri Türkiye İstatistik Kurumu'ndan (TÜİK) alınmış ve Z-Skor yöntemi ile standardize edilmiştir. Ardından kuraklık olaylarının bölgede yetiştirilen tarım ürünlerinin verimi üzerine etkisi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kuraklık analizi; veri standartlaştırma; kuraklığın tarıma etkileri; Nevşehir bölgesi.

Drought Analysis and Impact of Drought on Crop Yield in Nevşehir City¹

Abstract

Türkiye is one of the most sensitive regions to climate change. Drought events triggered by climate change occur frequently in the region and cause important environmental problems. The agricultural sector and crop yield are among the areas that are adversely affected by drought. In this study, meteorological and hydrological drought situation and precipitation trend are studied with SPI and SPEI methods by using Nevşehir Center and Ürgüp stations. Besides, the severity and duration of long-lasting strong droughts in the region are studied. The most important negative effects of drought events are seen in the agricultural sector on crop production. In order to analyze this effect, the yield values of agricultural products grown in the region were obtained from Turkish Statistical Institute (TUIK) and standardized with Z-Score method. Afterwards, the impact of drought events on the yield of agricultural products grown in the region are examined.

Keywords: Drought analysis; data standardization; effect of drought on agriculture; Nevşehir region.

*Corresponding e-mail: koguz@mgm.gov.tr

1. Introduction

Drought, which is directly related to climate change, is increasing day by day all over the world and causes significant environmental problems. This effect may be even more critical for the sensitive regions to the effects of climate change such as Türkiye. Drought is an event that can have different effects over regions depending on the impact process. It is classified as meteorological, agricultural, hydrological and socioeconomic in terms of its effects. While meteorological drought occurs when precipitation falls below the average, agricultural drought occurs as a result of the inability of the plant to meet the water it needs from the soil in a certain period of time. Hydrological drought occurs as a result of the lack of underground and surface water resources. Socioeconomic drought occurs with the food crisis after other droughts [1].

The most important negative effects of the drought event are seen on agriculture and plant production. Drought is one of the abiotic stress factors that negatively affect the growth and development of the plant in its living environment, causing a decrease in product quality, quantity and yield, and preventing it from reaching the optimum product potential. The reason for the yield losses in agricultural production is based on abiotic stress factors at a rate of 71% and biotic stress factors at a rate of 29% [2]. Besides, drought has several negative effects on crop plants evolution. Drought causes low number of plants per acre, low quality and quantity of harvested yield and lower seed germination rate in next generation (Figure 1).

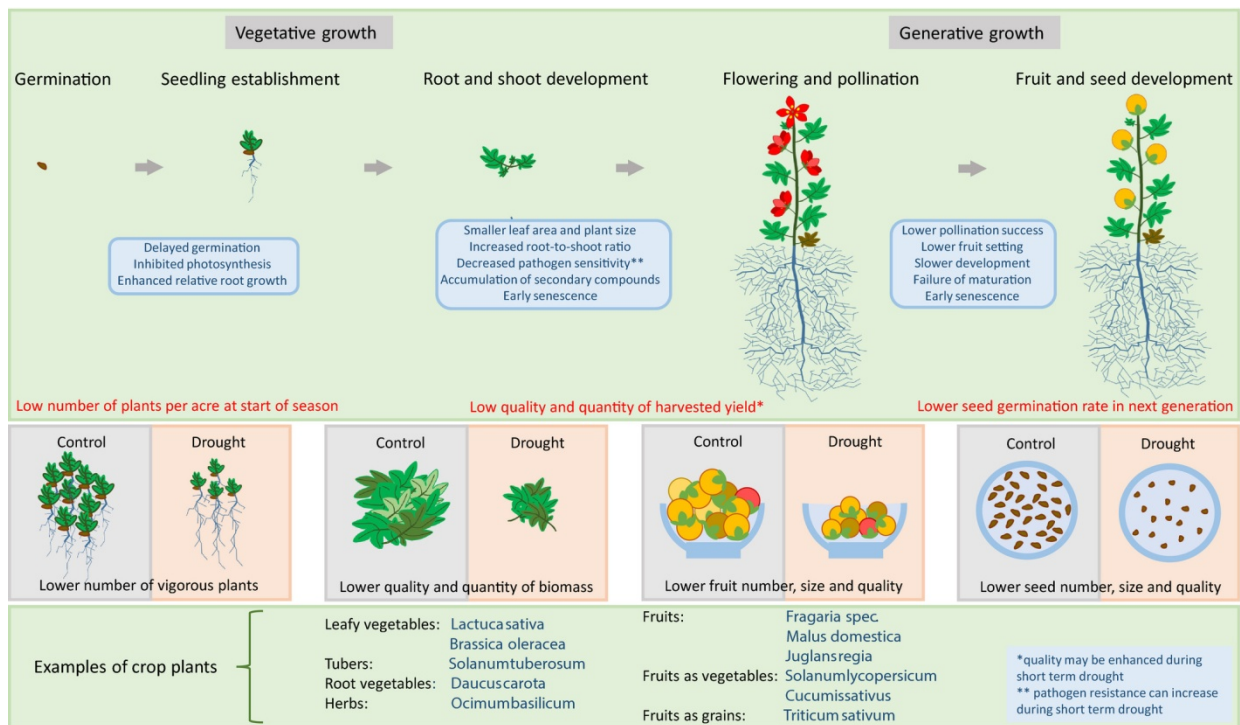


Figure 1. A scheme showing effects of drought on crop plants evolution [3].

There have been some studies around the world examining the effects of drought on agricultural crops. [4] investigated effects of drought on crop production and cultivation areas over 10 climate zones in Texas from 2008 to 2016. They found that drought had a greater impact on winter wheat and corn and lesser impact on cotton and sorghum production. [5] studied drought variability and the yield sensitivity of winter wheat, maize, sugar beet, and sunflower to drought in the Republic of Moldova. They found that agricultural production was sharply reduced by extreme drought periods. [6] investigated effects of a constructed index of degree-days, precipitation intensity, and a standardized precipitation index (SPI) on the mean yield and yield variability of three major crops in eight countries in the Sahelian region. It is found that an increase in the drought and degree-days tends to be harmful to crop yields, even though the

cultivated crops are heat-tolerant. [7] analysed the interaction between temperature and drought variability in crop yield variability for the four most important crops worldwide (maize, rice, soybeans, and wheat) both at the global and country scale. They found that while there were no significant global effects of temperature for maize and soybeans yields for average SPEI, the combined effects of high temperatures and drought significantly decreased yields of maize, soybeans, and wheat by 11.6, 12.4, and 9.2%, respectively. [8] investigated the impacts and evidence of Australian droughts on agricultural crops. It is found that drought reduced various crops production in Australia up to 53% due to its intensity and duration. [9] investigated the influence of extreme weather disasters on global crop production. It is found that droughts and extreme heat significantly reduced national cereal production by 9–10%. [10] investigated the global-scale relationship between crop yield anomaly and multiscalar drought index. They found that global crop areas significantly affected by drought during the study period were around 23%, 8%, 30%, and 29% for maize, rice, soybean, and wheat, respectively, induced mainly by medium to longer drought timescale (5–12 months).

In this study, 3- and 12-month (meteorological and hydrological) drought status (with SPI and SPEI methods), and the severity and duration of long-lasting strong droughts as well as precipitation trend of the region were studied using Nevşehir Center and Ürgüp meteorological station data. Besides, yield values of agricultural products grown in the region were obtained from TUIK and standardized with the Z-Score method. Afterwards, the effects of drought events on the yield of agricultural products grown in the region were examined.

2. Materials and Methods

2.1. Study Location

Nevşehir province is located between 38.137° and 39.637° North latitudes and 33.616° and 35.733° East longitudes of the Central Anatolia Region. It has typical continental climate characteristics with hot and dry summers and cold and rainy winters. The annual average temperature is 10.7°C, and the total annual precipitation is 420.1 mm. Steppe plants are seen throughout the province. Forest areas make up approximately 1.3% of the province's surface area [11, 12].

In this study, we used precipitation data of Nevşehir Center and Ürgüp stations operated by Turkish State Meteorological Service. These stations were preferred because the data set is regular and uninterrupted. The locations of the meteorological stations are shown in Figure 2. We used Excel program for calculations.

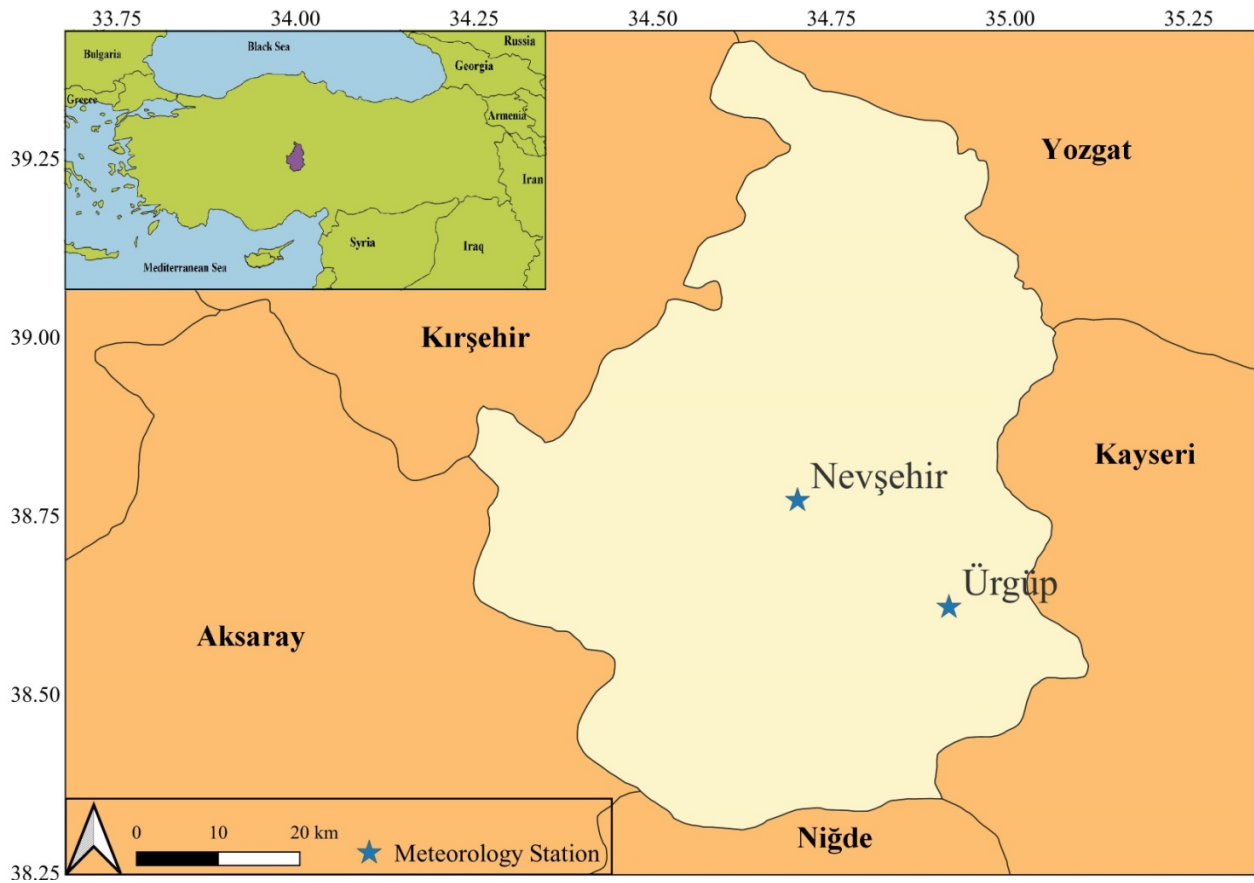


Figure 2. Locations of meteorological stations used in the study

2.2. *The Standardised Precipitation Index (SPI)*

SPI is a method developed by [13] for the identification and monitoring of drought. It provides the determination of the drought in a certain time scale with the precipitation data measured at any precipitation station. Negative values of SPI indicate drought, while positive values indicate humidity. The SPI is calculated by equation 1:

$$SPI = (X_i - X_{ort}) / \sigma \quad \text{(Equation 1)}$$

Here, X_i : is the measured precipitation data, X_{ort} : is the precipitation mean and σ : is the standard deviation [14].

2.3. *The Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index (SPEI)*

Based on calculation principles similar to SPI, SPEI uses precipitation and temperature data as input. Unlike SPI, the evapotranspiration effect is also taken into account in the calculation of SPEI. Therefore, SPEI can explain effects beyond global warming, especially for cases of temperature variability and extremes [15, 16]. In the first step of the SPEI calculation, potential evapotranspiration is calculated. SPEI is calculated by equation 2, with W , C_0 , C_1 , C_2 , d_1 , d_2 , d_3 constants being fixed values:

$$SPEI = W - \frac{C_0 + C_1 + C_2 W^2}{1 + d_1 W + d_2 W^2 + d_3 W^3} \quad \text{(Equation 2)}$$

When $P \leq 0.5$, $W = -2 \ln(P)$, and when $P > 0.5$, P is replaced by $1 - P$. The constants are: $C_0 = 2.515517$, $C_1 = 0.802853$, $C_2 = 0.010328$, $d_1 = 1.432788$, $d_2 = 0.189269$, $d_3 = 0.001308$.

2.4. Drought Severity and Duration

A drought event is considered a period with negative SPI values, as drought is defined when SPI values fall below zero. The duration of the drought event is equal to the number of months between the beginning (inclusive) and the ending month (not included). Drought duration (D) is the length of the period starting from values where the SPI index values are negative and ending when the SPI values are positive and equal to 0 (zero) consecutively. The severity is the absolute value of the integral area between the SPI line and the horizontal axis (SPI = 0) up to the beginning month of the drought. Drought severity (S) is the cumulative SPI values obtained by adding up the remaining indices during the drought period, giving the total drought severity and expressing the magnitude of the drought [14]. The severity (S) of the drought is calculated by equation 3 and the intensity (I) by equation 4:

$$S = -\sum_{i=1}^D SPI_i \quad (\text{Equation 3})$$

$$I = S/D \quad (\text{Equation 4})$$

2.5. Z-Score

Z-Score (standardization) refers to the number of standard deviations above the mean for a data set. The Z-Score method is an effective transformation technique that can be used to compare two sets of data that are not of the same type. The Z-score value is calculated by equation 5:

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (\text{Equation 5})$$

Here, x: data to be converted, μ : arithmetic mean of the data set, σ : standard deviation of the data set. Yield values of agricultural products grown in the region were obtained from TUIK and standardized with the Z-Score method. In our country, the harvest is usually done in July months. From March to the end of May, flowering occurs and the plant experiences the most active period in terms of development. Therefore, the drought index values of May and July were analyzed by correlation analysis with Z-score yield values.

3. Results and Discussion

Nevşehir province and Ürgüp district are classified as having semi-arid-less humid climates according to Thornthwaite Climate Classification [17]. The annual total precipitation average (1991-2021) of Nevşehir center meteorological station (17193) is 412 mm, and the average temperature is 11.2°C. The annual total precipitation average of Ürgüp meteorological station (17835) is 350 mm and the average temperature is 10.6°C.

There is a significant increase in the 95% confidence interval in the annual average temperature Mann-Kendall (M-K) trend analysis at both stations. It is seen that the increase has started to become evident since 2005. According to the annual total precipitation M-K trend analysis, a significant decrease and/or increase is not expected at Nevşehir Station, while a significant decrease is observed at Ürgüp station (Figure 3).

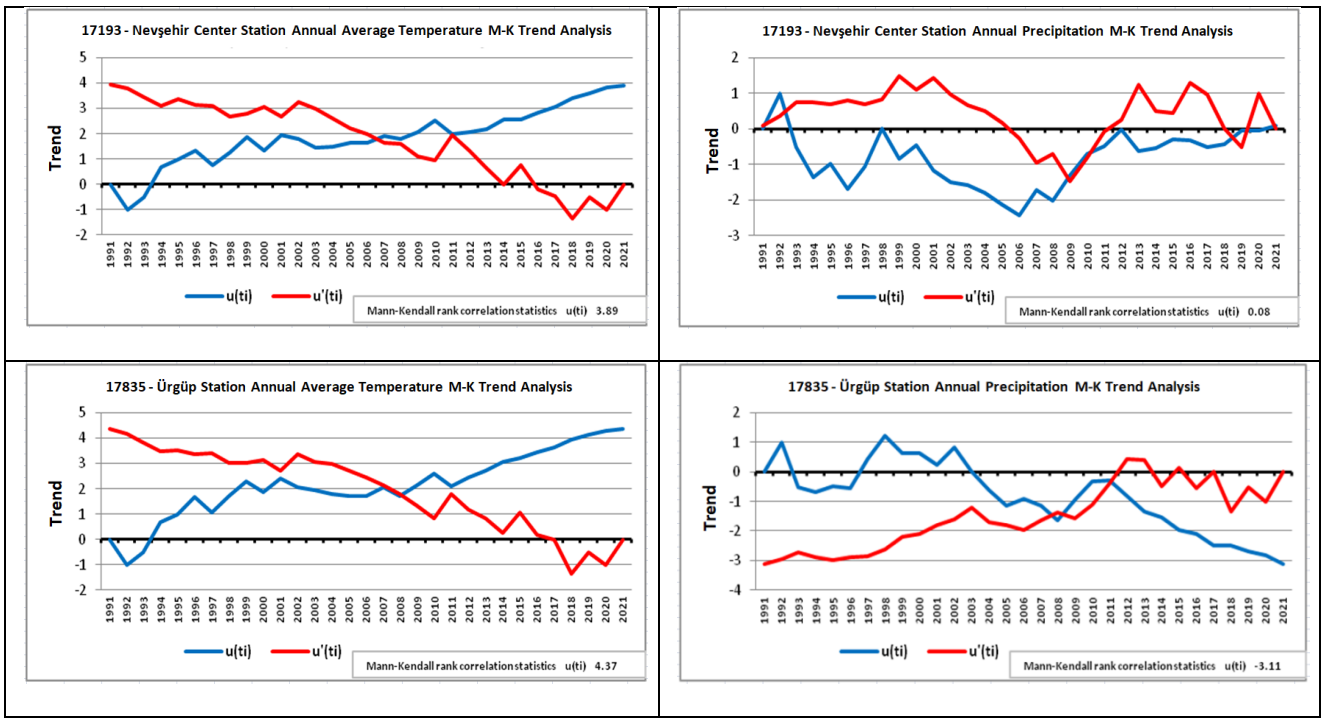


Figure 3. Mann-Kendall Trend Analysis of Nevşehir Center and Ürgüp Stations for Annual Average Temperature and Total Annual Precipitation (Blue line $u(t_i)$ indicate the forward sequential statistics and red line $u'(t_i)$ indicates the backward sequential statistics).

At the 3-month scale at Nevşehir Center Station; the normal grade (slightly dry and slightly wet) is 46% in SPI while it is 44% in SPEI. The moderate dry class is 5% in SPI and 7% in SPEI. Severe dry is 5% in SPI and 4% in SPEI. The extreme dry class is 2% in SPI and 1% in SPEI.

At the 12-month scale; the normal grade is 43% in SPI and 40% in SPEI. The moderate dry class is 7% in SPI and 11% in SPEI. The extreme dry class is 1% in SPI but not in SPEI (Figure 4).

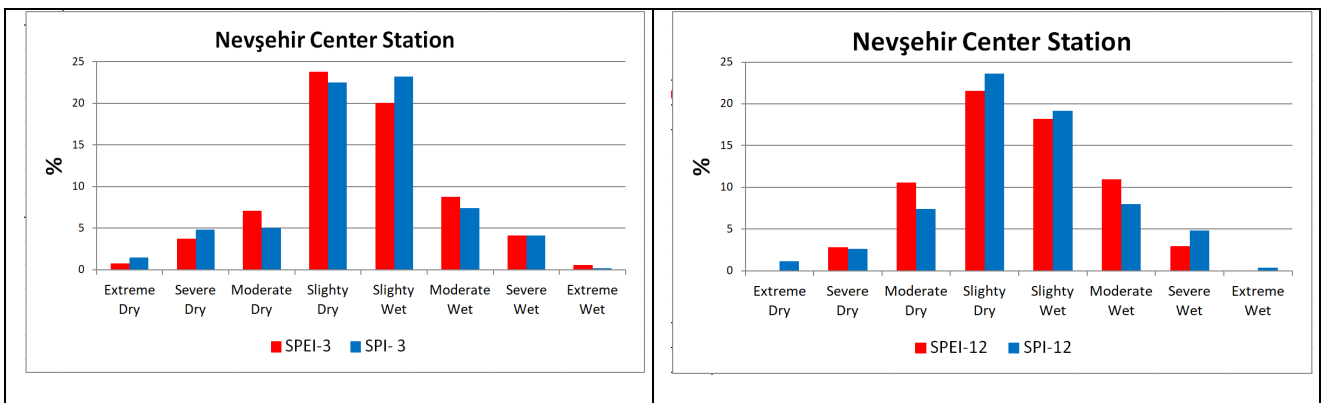


Figure 4. Occurrence Percentages of Drought Classes at Nevşehir Center Station (SPI-12 and SPEI-12)

At the 3-month scale at Ürgüp Station; the normal class is 46% in SPI and 45% in SPEI. Moderate dry class is 7% in SPI and 7% in SPEI. Severe dry is 3% in SPI and 4% in SPEI. Extreme dry class is 2% in SPI and 1% in SPEI. On the 12-month scale; the normal class is 44% in SPI and 41% in SPEI. Moderate dry class is 8% in SPI and 10% in SPEI. Severe dry is 3% in SPI and 3% in SPEI. The extreme dry class is 2% in SPI but not in SPEI (Figure 5).

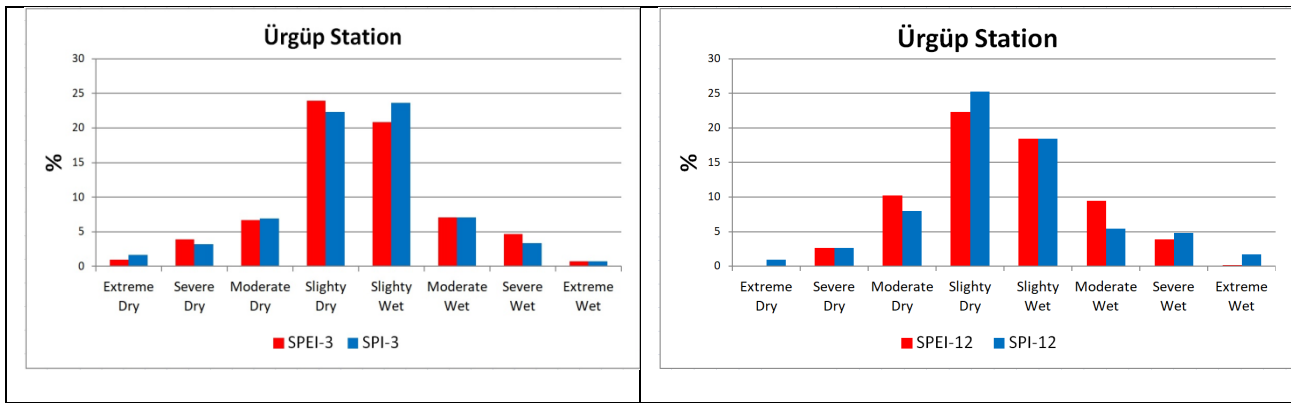


Figure 5. Occurrence Percentages of Drought Classes at Ürgüp Station (SPEI-12 and SPI-12)

At the 3-month scale, temporal variations between wet and dry periods are high in frequency, making it difficult to define distinct dry/wet periods during the analysis period. On the other hand, at the 12-month scale; As the frequency decreases, the duration of the drought increases. In addition, it was observed that the severity of drought differed on the time scale in some dry periods (Figure 6 and Figure 7).

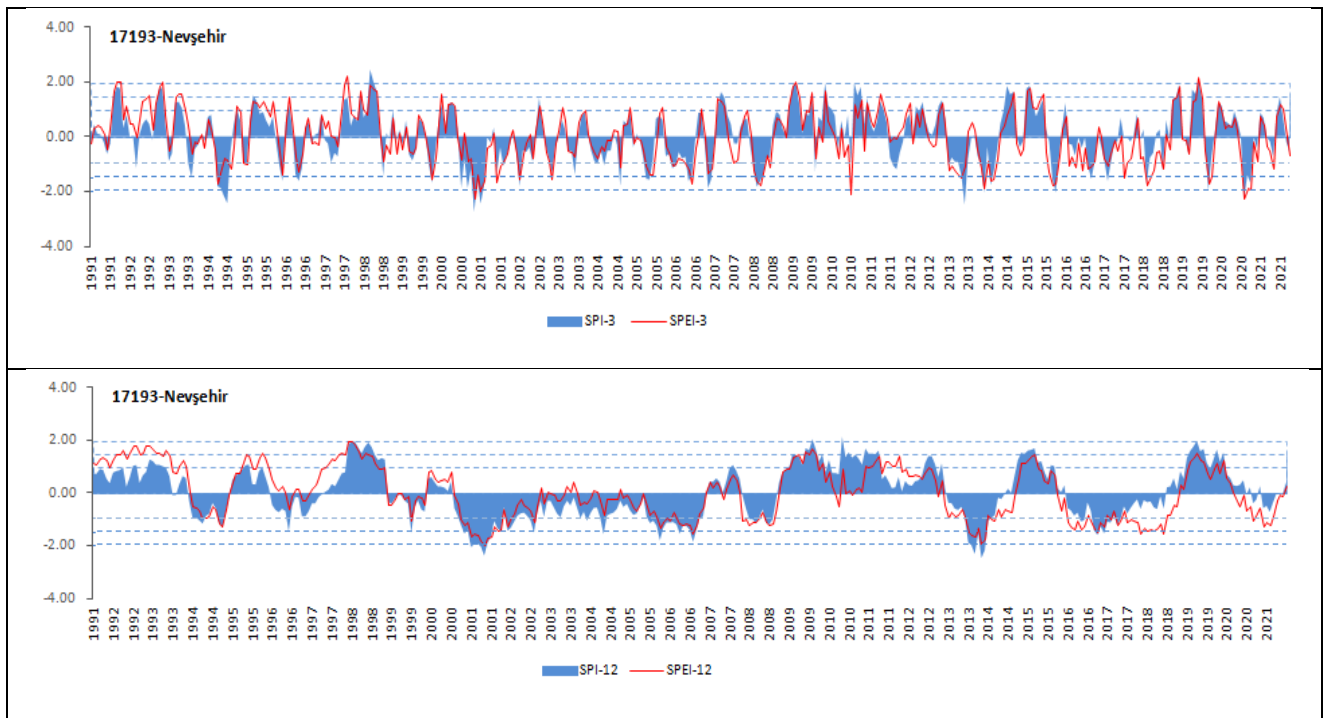


Figure 6. 3-12 months SPI and SPEI values of Neveshir center station

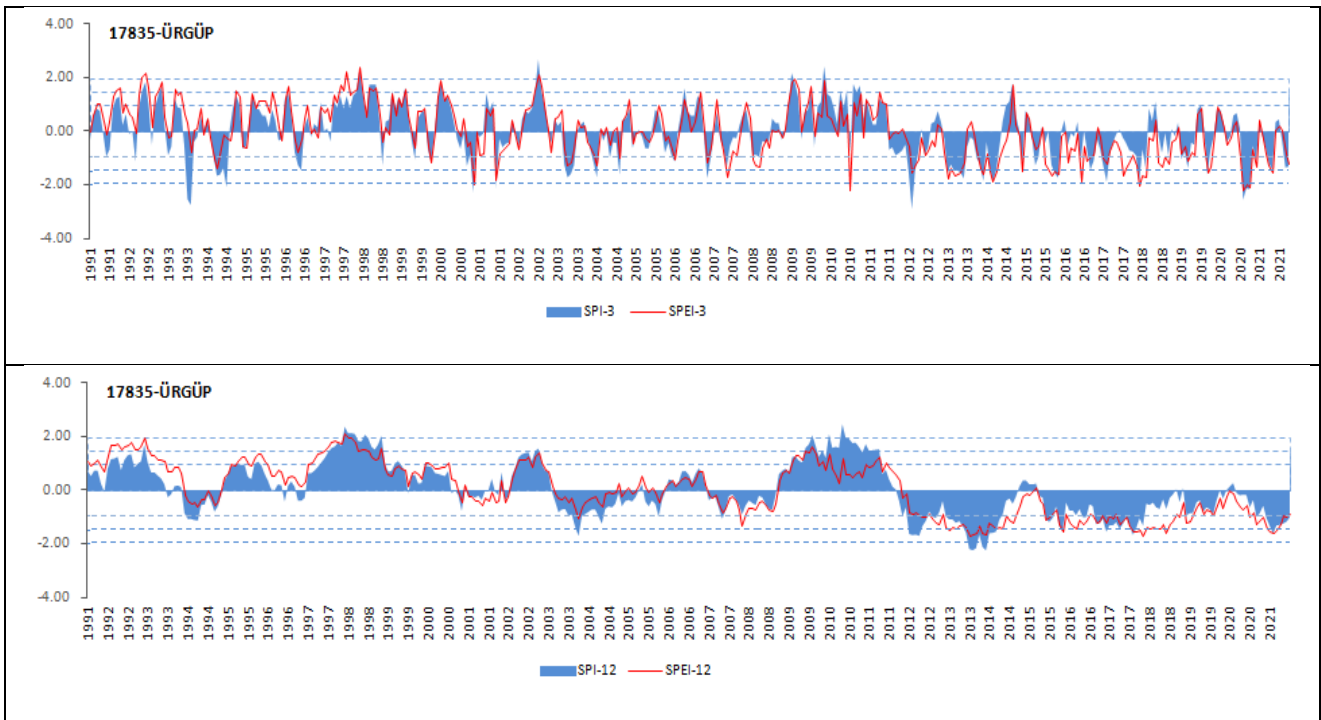


Figure 7. 3-12 months SPI and SPEI values of Ürgüp station

SPEI-12 and SPI-12 dry periods of both stations are patterned in Figure 8. The main drought periods at Nevşehir center and Ürgüp stations were determined according to whether they were abnormally dry ($SPI-SPEI \leq -1$) at SPEI-12 and SPI-12 time scales.

At Nevşehir center station; the main drought periods are 1994-1995, 1999, 2001-2008, 2013-2014, 2016-2017 at SPI-12 time scale and 1995, 1999, 2001-2003, 2006-2008, 2013-2014, 2016-2018 and 2021 at SPEI-12 time scale. Drought periods of 1995, 2001-2003, 2006-2008, 2014, and 2016-2018 are well detected by both indexes at Nevşehir center station. SPI showed higher drought severity compared to SPEI. While SPI-12 in 1994 showed an earlier onset in the dry period, it was higher than SPEI-12 in terms of severity. 2016-2018 and 2021 droughts were seen at SPEI-12 with higher intensity and longer duration than SPI-12.

At Ürgüp station; the main drought periods are 1994, 2004, 2007, 2012-2018, and 2021 at SPI-12 and 2004, 2008, 2012-2019, and 2021 at SPEI-12 (Figure 8). Drought periods that occurred between 2012-2021 are well detected by both indexes at Ürgüp station. While the summer months of 1994 were moderately dry in SPI-12, it was slightly dry in SPEI-12. SPI showed higher drought severity compared to SPEI in 2012 and 2014. On the other hand, drought severity experienced in SPEI-12 in 2016, 2018, and 2019 is higher than in SPI-12.

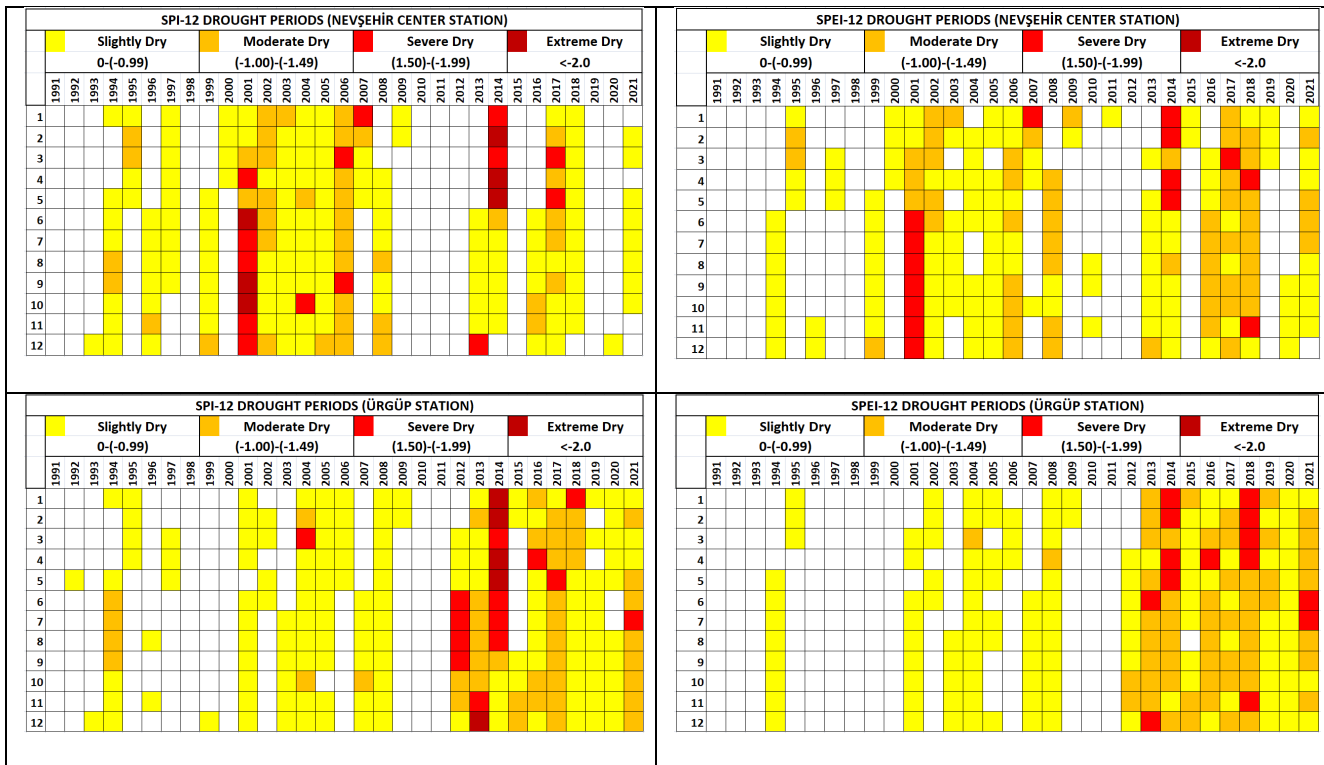


Figure 8. SPI-12 and SPEI-12 Droughts Periods at Nevşehir Center and Ürgüp Stations

The correlation between the two indices on a 3-month scale is 0.90 at Nevşehir center station and 0.87 at Ürgüp station. It is 0.87 at Nevşehir center station and 0.90 at Ürgüp station on a 12-month scale. The high correlation between the two indices indicates that the effect of temperature through evaporative water demand plays a role in determining droughts, while the lack of precipitation is a clear indication that drought is a dominant driver.

Although precipitation is an important indicator of water availability, the temperature is also an important factor that can affect water availability as it controls evapotranspiration rates. Whereas SPI only uses monthly precipitation data as input, SPEI uses different data between precipitation and PET. SPEI uses data on the difference between precipitation and PET. At both stations, both indices recorded similar patterns, but there were some notable differences in temporal evolutions. In cases where these differences occurred, SPI overestimated the severity of the drought, especially during the dry spring months at Nevşehir center station, and during the dry winter and spring months at Ürgüp Station.

This is because both indices mainly respond to precipitation variability in climatic conditions where inter-year temperature variability is suppressed and irregular precipitation changes are observed throughout the year. The intensity, duration, and intensities of consecutive maximum droughts in the SPEI and SPI series of Nevşehir center and Ürgüp stations at 3- and 12-month scales are shown in Table 1 and Table 2. The strongest and longest drought experienced in Nevşehir center station at the SPI-12 monthly scale was higher and longer than SPEI-12 recorded with a temporal difference. While the extreme maximum drought intensity experienced at Nevşehir center station at SPEI-12 scale was recorded as -1.98 in October 2001, SPI-12 was recorded as -2.45 in April 2014.

The strongest and longest drought at Ürgüp station on SPI-12 monthly scale was shorter and lower than that recorded in SPEI-12. The extreme maximum drought intensity experienced at Ürgüp station at SPEI-12 scale was recorded as -1.71 in December 2013, while it was recorded at SPI-12 as -2.25 in May 2014. It was observed that the drought events overlapped throughout the study area and in some cases they differed only in duration and magnitude.

Table 1. Start and End Dates of Long Lasting Strong Droughts in SPEI and SPI Series of Nevşehir Center Station at 3-month and 12-month scales

	NAME	NO	The Strongest			The Longest			The Highest				
			S Severity	Start-End Year/Month		D Duration	Start-End Year/Month		I Intensity	Start-End Year/Month		S Severity	Start Year/Mont
SPEI-3	Nevşehir	17193	-9,77	2000 /11	2001 /06	10	2005 /12	2006 /09	-1,37	2020 /09	2021 /02	-2,27	2001 /01
SPI-3	Nevşehir	17193	-14,52	2000 /09	2001 /06	10	2000 /09	2001 /06	-1,50	1994 /05	1994 /10	-2,74	2001 /01
SPEI-12	Nevşehir	17193	-39,70	2016 /03	2019 /03	37	2016 /03	2019 /03	-1,08	2001 /01	2003 /02	-1,98	2001 /10
SPI-12	Nevşehir	17193	-76,10	2001 /01	2007 /04	76	2001 /01	2007 /04	-1,05	2013 /06	2014 /11	-2,45	2014 /04

Table 2. Start and End Dates of Long Lasting Strong Droughts in SPEI and SPI Series of Ürgüp Station at 3-month and 12-month scales

	NAME	NO	The Strongest			The Longest			The Highest				
			S Severity	Start-End Year/Month		D Duration	Start-End Year/Month		I Intensity	Start-End Year/Month		S Severity	Start Year/Mont
SPEI-3	Ürgüp	17835	-17,26	2017 /02	2018 /06	17	2017 /02	2018 /06	-2,22	2010 /09	2010 /09	-2,24	2020 /10
SPI-3	Ürgüp	17835	-19,78	2013 /02	2014 /07	18	2013 /02	2014 /07	-1,68	2020 /10	2021 /02	-2,88	2012 /04
SPEI-12	Ürgüp	17835	-79,45	2015 /09	2021 /12	76	2015 /09	2021 /12	-1,08	2012 /04	2015 /07	-1,71	2013 /12
SPI-12	Ürgüp	17835	-44,67	2012 /03	2015 /02	41	2015 /09	2019 /01	-1,24	2012 /03	2015 /02	-2,25	2014 /05

The droughts experienced in both indices at Ürgüp station between 2001 and 2008 were not as high as the droughts experienced at Nevşehir center station. It was experienced in a slightly dry manner. On the other hand, the droughts experienced at Ürgüp station between 2012-2021 were more uninterrupted and severe especially in SPEI-12 compared to Nevşehir center station. At Nevşehir center station, SPI-12 was interrupted in 2015, 2019-2020, and the first months were slightly dry in SPEI-12. It was observed that both indices can detect historical drought disaster events [18].

The dry periods experienced in Nevşehir and Ürgüp stations and the low yield of agricultural products grown in the region correspond to almost the same periods (Figure 9-10).

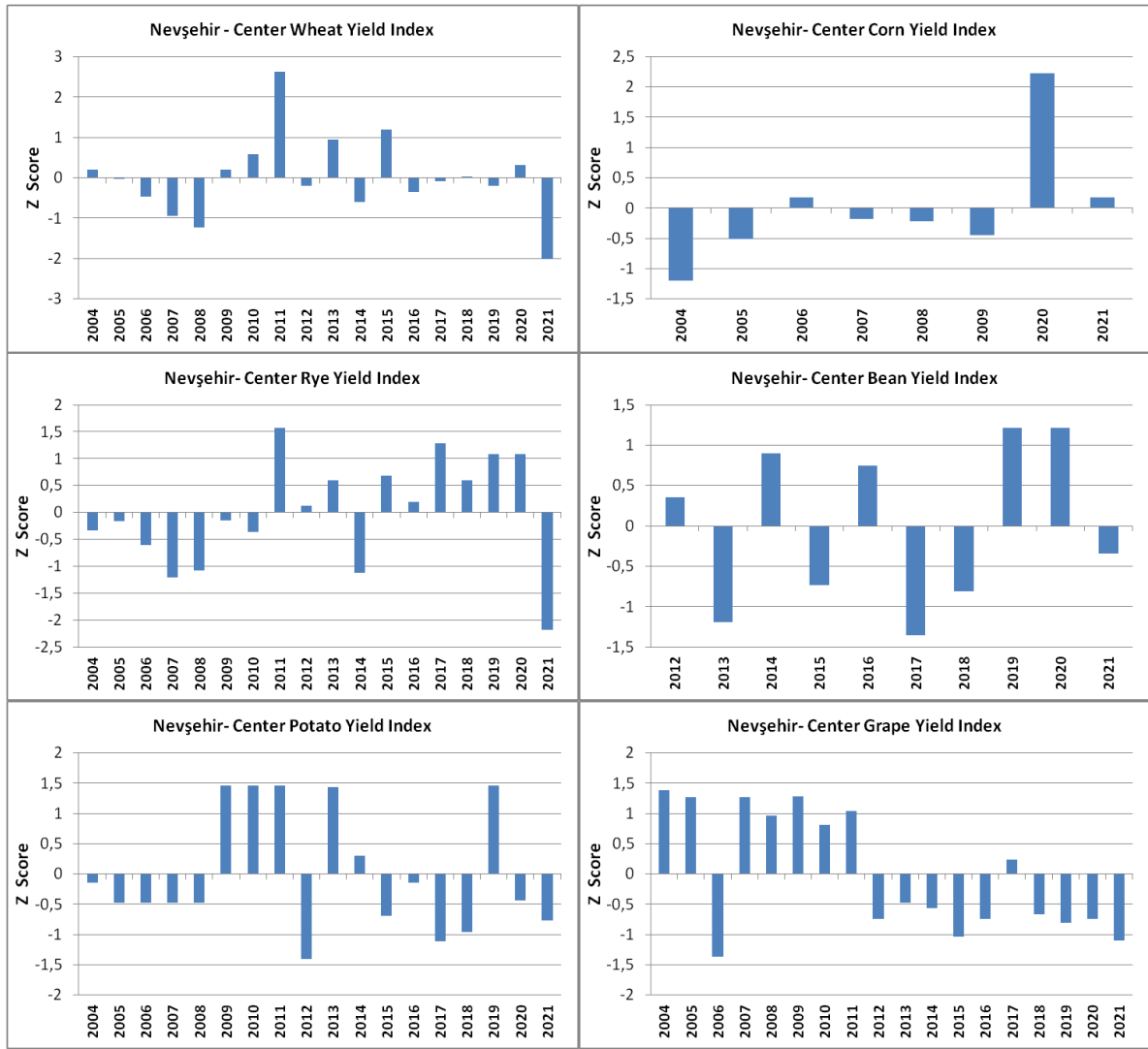


Figure 9. Z-Score index of yields of some agricultural products grown in Nevşehir Center

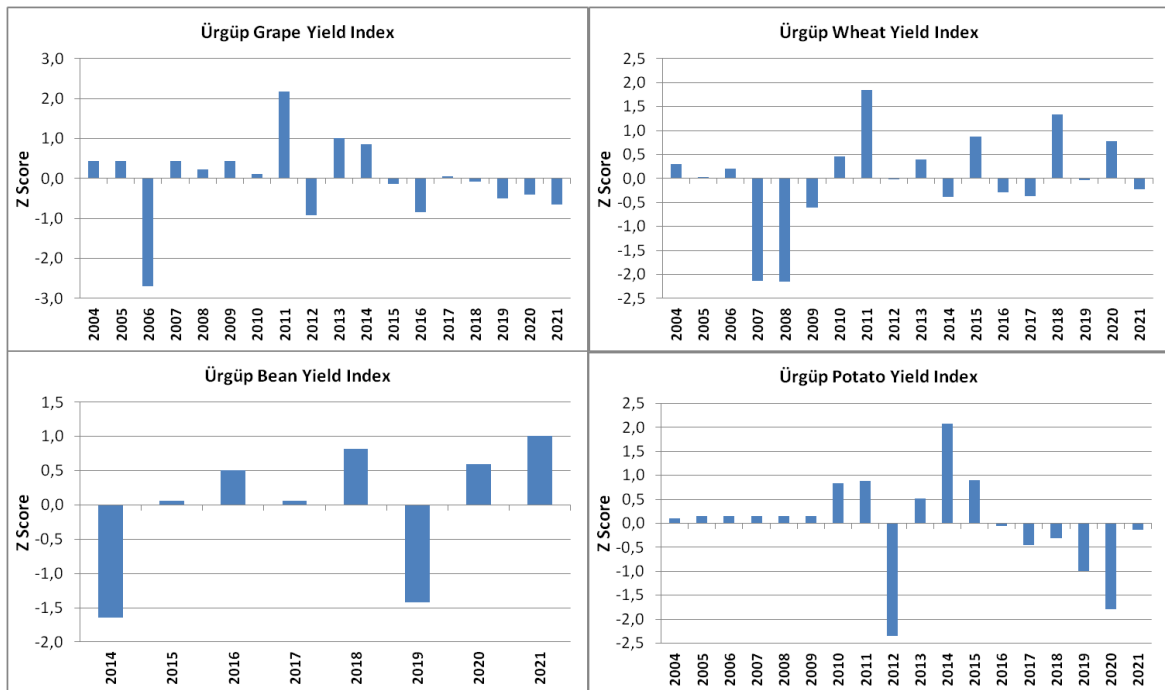


Figure 10. Z-Score index of yields of some agricultural products grown in Ürgüp

The correlations between yield index values and drought index values are given in Tables 3 and 4.

Table 3. Correlations between SPI and crop yield (Nevşehir Center station)

Index	Crop	Pearson's r
SPEI-12	Wheat	0.54*
SPEI-12	Potato	0.41
SPEI-12	Rye	0.39
SPEI-12	Bean	0.31
SPEI-12	Grape	0.20
SPEI-12	Corn	0.04
SPEI-3	Wheat	0.32
SPEI-3	Grape	0.21
SPEI-3	Rye	0.18
SPEI-3	Corn	0.15
SPEI-3	Bean	0.13
SPEI-3	Potato	0.02
SPI-12	Wheat	0.56*
SPI-12	Potato	0.50*
SPI-12	Rye	0.44
SPI-12	Bean	0.30
SPI-12	Corn	0.24
SPI-12	Grape	0.10
SPI-3	Corn	0.26
SPI-3	Wheat	0.21
SPI-3	Bean	0.12
SPI-3	Rye	0.09
SPI-3	Grape	0.05
SPI-3	Potato	-0.04

* p < .05, ** p < .01, *** p < .001

Table 4. Correlations between SPI and crop yield (Ürgüp station)

Index	Crop	Pearson's r
SPEI-12	Wheat	0.19
SPEI-12	Potato	0.17
SPEI-12	Grape	0.14
SPEI-12	Bean	0.01
SPEI-3	Bean	0.77*
SPEI-3	Wheat	0.24
SPEI-3	Potato	0.07
SPEI-3	Grape	0.01
SPI-12	Wheat	0.30
SPI-12	Bean	0.29
SPI-12	Potato	0.24
SPI-12	Grape	0.19
SPI-3	Bean	0.82*
SPI-3	Wheat	0.25
SPI-3	Potato	0.09
SPI-3	Grape	-0.13

* p < .05, ** p < .01, *** p < .001

Statistically significant ($p < .05$) correlations were found between Wheat and SPI-12 ($r=0.56$) and SPEI-12 ($r=0.54$) and Potato and SPI-12 ($r=0.50$) in Nevşehir Center. On the other hand, a statistically insignificant but relatively high correlation was obtained between potato and SPEI-12 ($r=0.41$) and between rye and SPI-12 ($r=0.44$). In Ürgüp, a statistically significant ($p < .05$) correlation was obtained between bean and SPEI-3 ($r=0.77$) and SPI-3 ($r=0.82$). Another important finding in the table is that the correlation of grape, which is a perennial plant, is quite low. This may be since perennial plants are often grown by irrigation. On the other hand, the correlations of wheat and rye plants grown with dry farming are higher than expected. It can be concluded that these plants are more sensitive to drought.

The graph of the products with statistically significant correlations is shown in Figures 11 and 12.

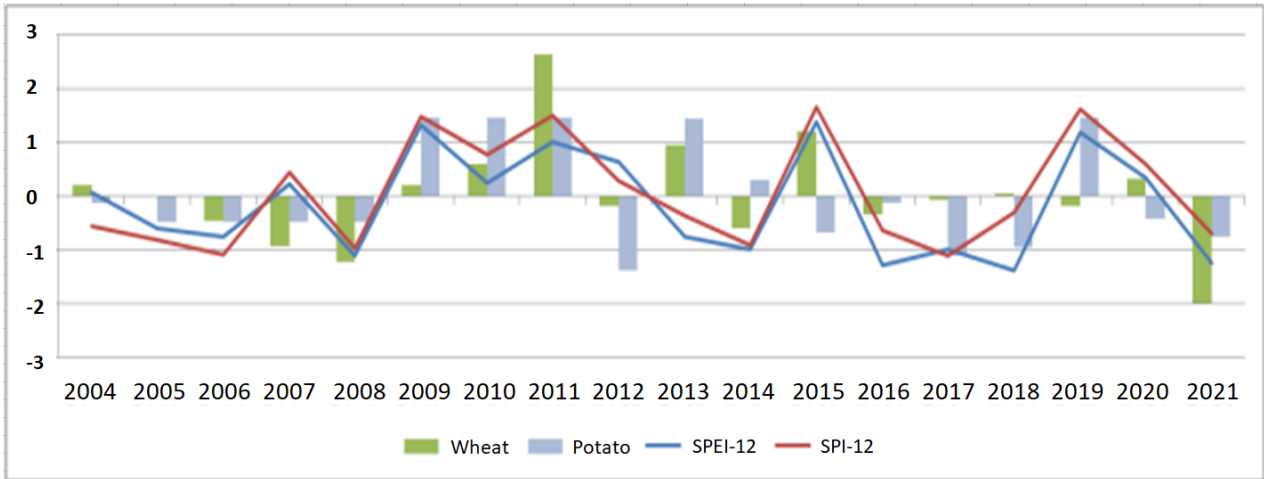


Figure 11. Nevşehir Center Station wheat yield index and drought index graph

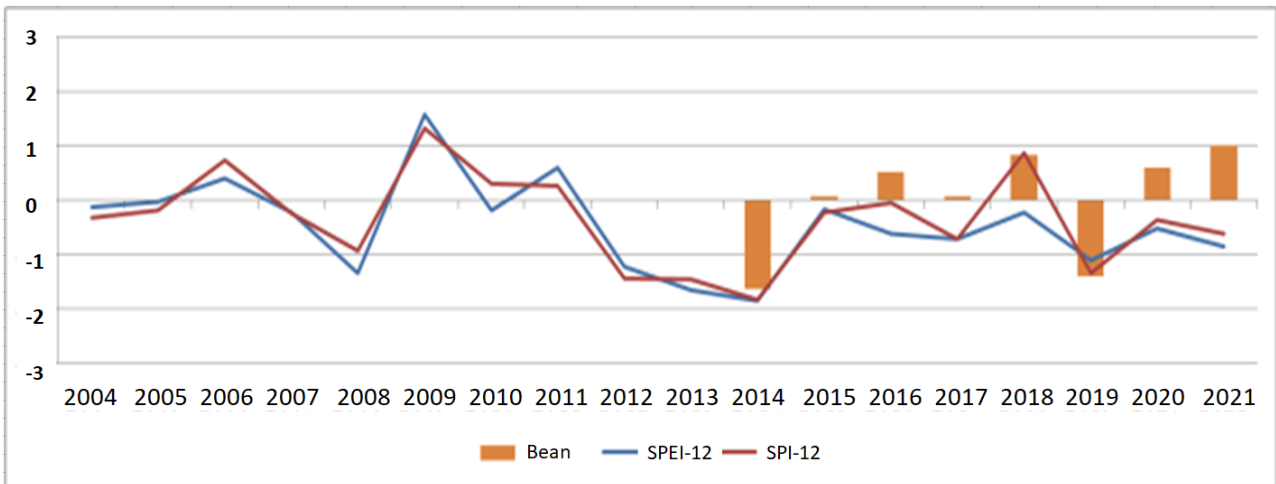


Figure 12. Nevşehir Center Station bean yield index and drought index graph

Only climatic conditions alone cannot determine plant yield. Plant breeding studies and culture-technical practices have a significant effect on plant yield. However, since it is not possible to control climatic conditions, it is the most important source of problems that can be encountered during aquaculture. Drought is one of these problems.

The fact that temperature increase experienced in the region since 2005 has caused higher water demand on PET and has been effective on the severity of droughts, especially at Nevşehir center station in 2016-2018 and 2021, along with other stress factors, the stress created by the dry conditions on the yield of agricultural products grown in the region. Droughts experienced during these periods were seen at a higher intensity in SPEI-12.

Plants with a high correlation between drought and plant yield (especially wheat, and potato) should not be deprived of irrigation in periods when drought is effective. It would be beneficial to irrigate more frequently and intensely for dry periods by closely monitoring the periods when drought is effective in the region. The results of this study constitute an important base for the prevention of drought-indexed crop yield loss, diversification of crop production, and future adaptations according to drought severity in the Nevşehir region.

As a result, drought, which has been experienced in recent years with global warming, poses significant dangers to plant production. Especially in the 21st century, when there is strong evidence of global temperature increase

and the severity of drought is predicted to increase in the same way, it becomes more and more necessary to use indices containing temperature (SPEI, etc.) to describe drought characteristics.

A better understanding of the effects of drought characteristics such as severity, impact, and duration of drought on agricultural product yield will guide countries on the right decisions and investments for agriculture under long-term strategic planning against expected climate change.

This study can be extended to cover wider areas where agricultural production is widespread.

4. Conclusions

In this section, the results obtained from the study are compared with other studies in the literature. [7] found that combined effects of high temperatures and drought significantly decreased yields of maize, soybeans, and wheat by 11.6, 12.4, and 9.2%, respectively. [8] found that drought reduced various crop production in Australia by up to 53% due to its intensity and duration. [9] found that droughts and extreme heat significantly reduced national cereal production by 9–10%. [10] found that global crop areas significantly affected by drought during the study period were around 23%, 8%, 30%, and 29% for maize, rice, soybean, and wheat, respectively. In this study, the relationship (correlation) of crop yields with drought was studied. As a result, the relationship of wheat and potato products with drought (SPI) in Nevşehir Center was found to be $r=0.56$ and $r=0.54$, respectively. In Ürgüp, this relationship was found to be $r=0.82$ for beans.

Along with drought, other factors such as soil nutrients, soil water holding capacity, soil water condition, surface runoff, and soil inorganic matter content also affect crop yield. These conditions also affect the differences in regional reductions in crop yields. However, the general conclusion in the findings is that the correlations (yield loss) with drought are higher for plants grown with dry farming.

5. Statement of contribution

KO (%33), GC (%34), and MAP (%33) design of the study. KO (%33), GC (%34), and MAP (%33) data acquisition and analysis. KO (%33), GC (%34), and MAP (%33) writing up. KO (%34), GC (%33), and MAP (%33) submission and revision.

6. References

- [1] İrcan M. R., Duman N., “Drought Analysis of the Şanlıurfa Province Using the Standardized Precipitation Index (SPI) Method” *Journal of geography*, 42, 1-18, 2021.
- [2] Boyer J. S., “Plant Productivity and Environment Potential for Increasing Crop Plant Productivity, Genotypic Selection” *Science*, 218(4571), 443-448, 1982.
- [3] Dietz K. J., Zörb C., Geilfus C. M., “Drought and crop yield” *Plant Biology*, 23(6), 881-893, 2021.
- [4] Ray R. L., Fares A., Risch E., “Effects of Drought on Crop Production and Cropping Areas in Texas” *Agricultural & Environmental Letters*, 3(1), 1-5, 2018.
- [5] Potopová V., Boroneant C., Boincean C., “Impact of agricultural drought on main crop yields in the Republic of Moldova” *International Journal of Climatology*, 36(4), 2063-2082, 2015.
- [6] Boubacar I., “The Effects of Drought on Crop Yields and Yield Variability in Sahel” *Southern Agricultural Economics Association Annual Meeting*, 6-9 February, Orlando, FL, USA, 2010.
- [7] Matiu M., Ankerst D. P., Menzel A., “Interactions between temperature and drought in global and regional crop yield variability during 1961-2014” *PLoS ONE*, 12(5), e0178339, 2017.

- [8] Roy R. N. , Kundu S., Kumar, R. S., “The impacts and evidence of Australian droughts on agricultural crops and drought related policy issues--A review article” *International Journal of Agricultural Technology*, 17(3), 1061-1076, 2021.
- [9] Lesk C., Rowhani P., Ramankutty N., “Influence of extreme weather disasters on global crop production” *Nature*, 529, 84–87, 2016.
- [10] Hendrawan V. S. A., Kim W., Touge Y., Ke S., Komori D., “A global-scale relationship between crop yield anomaly and multiscalar drought index based on multiple precipitation data” *Environmental Research Letters*, 17(1), 014037, 2022.
- [11] Nevşehir İl Özel İdaresi Yöremizi Tanıyalım. <http://www.nevsehirozelidare.gov.tr/yoremizi-taniyalim>. Data accessed August 1, 2022a.
- [12] Meteoroloji Genel Müdürlüğü Resmi İstatistikler. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=NEVSEHIR>. Data accessed August 5, 2022b.
- [13] McKee T. B., Doesken N. J., and Kleist J., “The relationship of drought frequency and duration of time scales” *Eighth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society*, 17-23 Jan, Abstract Book, 179-186 s, Anaheim CA, 1993.
- [14] Oğuz K, Pekin M. A., Çamalan G., “Drought Analysis of Muğla City for 1960-2018 Period” *Journal of Natural Hazards and Environment*, 7(1), 89-100, 2021.
- [15] Kermen Ç., “Determination of The Relationship Between Meteorological and Hydrological Drought in Küçük Menderes Basın” Dokuz Eylül University, *Graduate School of Natural and Applied Sciences, Master Thesis*, Izmir, Turkey, 2019.
- [16] Çamalan G., Akgündüz A. S., Ayvacı H., Çetin S., Coşkun M., “Turkey-wide drought change and trend projections according to SPEI index” *IV. Turkey Climate Change Congress*, 5-7 July, Istanbul, Turkey, 2017.
- [17] Meteoroloji Genel Müdürlüğü İklim Sınıflandırması Nevşehir. <https://www.mgm.gov.tr/iklim/iklim-siniflandirmalari.aspx?m=NEVSEHIR>. Data accessed August 10, 2022c.
- [18] Çamalan G., Akgündüz A. S., Çetin S., Arabacı H., “Analysis of Drought Events in Turkey with SPEI Drought Index” *10. National Hydrology Congress*, 9-12 October, Muğla, Turkey, 2019.



Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi (Research Article)

Makale Doi: **10.17100/nevbiltek.1141259**

Geliş Tarihi:06-07-2022

Kabul Tarihi:09-08-2022



Türkiye’de Yayılış Gösteren *Lomelosia argentea* ve *Lomelosia polykratis* (Caprifoliaceae) Türlerinin Anatomik Karşılaştırılması

Aleyna AYKUT¹, Uğurcan BARAN², Jale ÇELİK³, Ahmet AKSOY^{4*}

¹Akdeniz Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 07070, Antalya, TÜRKİYE
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4334-5685>

²Akdeniz Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 07070, Antalya, TÜRKİYE
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5403-2444>

³Akdeniz Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 07070, Antalya, TÜRKİYE
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3624-2146>

⁴Akdeniz Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 07070, Antalya, TÜRKİYE
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9696-7122>

Öz

İki yakın akraba tür olan *Lomelosia argentea* ve *Lomelosia polykratis* türlerinin anatomik özellikleri ilk defa bu çalışmada incelenerek farklılıklarının ortaya konulması ve taksonomik çalışmalarda yaşanabilecek potansiyel karışıklıkların önüne geçilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla mikroskopik gözlemler için parafin metodu kullanılarak türlerin kök, gövde ve yapraklarından HM310 Mikrotom yardımıyla kesitler alınmıştır. Alınan enine kesitler safranin ve fast-green boyaları ile boyandıktan sonra Leica DM750 ışık mikroskopunda incelenmiş ve ölçümleri alınarak fotoğraflanmıştır. *L. argentea* ve *L. polykratis* türlerinin bazı benzer anatomik özellikleri bulunmasına rağmen, çeşitli anatomik farklılıkları olduğu da ortaya konulmuştur. Kökte korteks parankiması, floem ve trake; gövdede epidermis, korteks parankiması, floem, öz parankiması, trake ve kutikula; yaprak için üst ve alt kutikula, üst epidermis, trake ve mezofil ölçüm sonuçları, *L. polykratis* ile *L. argentea* bitkileri karşılaştırıldığında istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Anatomi; Caprifoliaceae; *Lomelosia argentea*; *Lomelosia polykratis*; Türkiye

Anatomical Comparison of *Lomelosia argentea* and *Lomelosia polykratis* (Caprifoliaceae) Species Distributed in Türkiye

Abstract

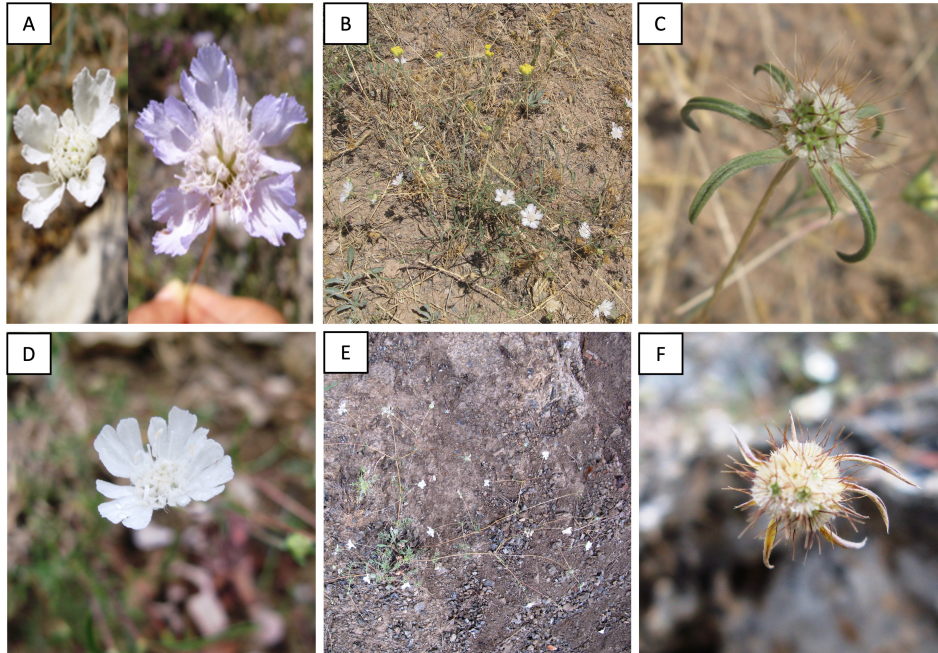
The anatomical features of two closely related species, *Lomelosia argentea* and *Lomelosia polykratis*, were examined for the first time in this study, and it was aimed to determine their differences and prevent possible confusion in taxonomic studies. For this purpose, cross-sections were taken from the roots, stems and leaves of the species with the help of HM310 Microtome using the paraffin method for microscopic observations. The cross-sections taken were stained with safranin and fast-green, and their measurements were taken under a Leica DM750 light microscope and photographed. Although *L. argentea* and *L. polykratis* have some similar anatomical features, they have also been found to have various anatomical differences. Measurement results of cortex parenchyma, phloem and trachea in the root; epidermis, cortex parenchyma,

phloem, core, trachea, and cuticle in the stem; upper and lower cuticle, upper epidermis, trachea and mesophyll in the leaf are statistically significant when comparing *L. polykratis* and *L. argentea* plants.

Keywords: Anatomy; Caprifoliaceae; *Lomelosia argentea*; *Lomelosia polykratis*; Türkiye

1. Giriş

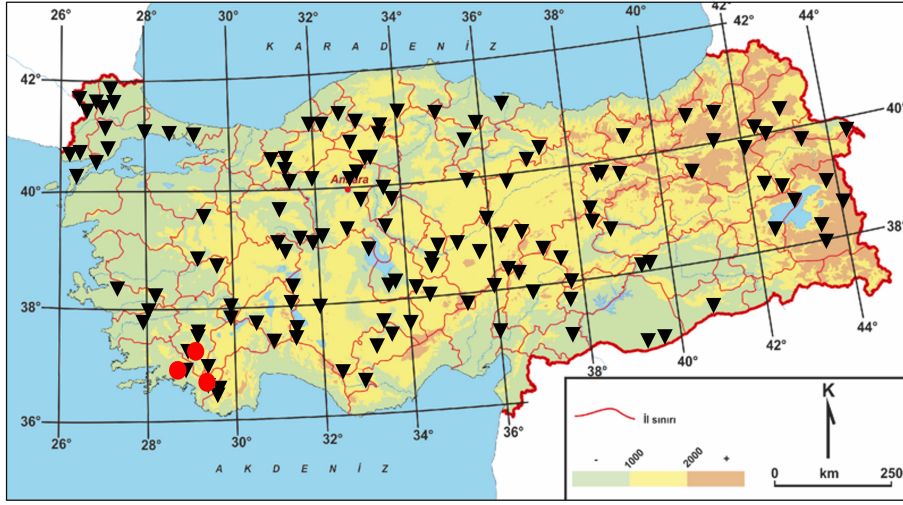
Tırmanıcı, çalı ya da küçük ağaç formunda odunsu bitkilerden ve nadiren otsu bitkilerden oluşan Caprifoliaceae familyası [1], dünya genelinde 41 cins ve yaklaşık 960 tür [2], Türkiye’de ise 12 cins ve 158 tür ile temsil edilmektedir [3]. Türkiye’nin hemen hemen her bölgesinde görülen Caprifoliaceae cinslerinden biri olan *Lomelosia* cinsi, Rafinesque (1838) tarafından "Flora Telluriana" adlı eserde ilk kez tanımlanmıştır. Bu cins, 7’si endemik olmak üzere 22 takson (21 tür) ile temsil edilmektedir [4]. Yapılan moleküler filogenetik analizler ve morfolojik çalışmalar sonucunda Dipsacaceae familyası altında yer alan ve taksonomik açıdan karışıklık içerdiği bilinen *Scabiosa* L. cinsine ait bazı türler *Lomelosia* Raf. cinsine ve Caprifoliaceae familyasına aktarılmıştır. Ayrıca *Lomelosia argentea* (L.) Greuter & Burdet ve *Lomelosia polykratis* (Rech.fil.) Greuter & Burdet türlerinin *Scabiosa* cinsinden çıkarılıp, *Lomelosia* cinsine dahil edilen yakın akraba iki tür olduğu bildirmiştir [4-6]. *L. argentea*, "yazı süpürgesi" olarak bilinmektedir ve Şekil 1-A’da gösterildiği gibi çok yıllık otsu bir bitki olup tabandan ve gövdeden dallanma göstermektedir. Kök sistemi kazık, gövde dik ve 27-90 cm uzunluğunda, taban yapraklar saplı, çiçekleri 5 parçalı, soluk sarı, sarı veya kenara doğru mavimsi renktedir ve Haziran-Kasım aylarında çiçeklenme dönemidir. Şekil 2’de gösterildiği üzere Türkiye’nin tüm bölgelerinde; yol ve tarla kenarları, nemli alanlar, kumul, step, taşlı yamaçlar, orman açıklıklarında, 41-2100 m arasında yayılış göstermektedir [4 ve 7].



Şekil 1. *L. argentea* (A-C) ve *L. polykratis* (D-F) bitkilerine ait görseller.

L. polykratis, "kırk uyuzotu" olarak bilinmektedir ve Şekil 1-B’de gösterildiği gibi çok yıllık cılız otsu bir bitki olup tabandan ve gövdeden dallanma göstermektedir. Kök sistemi kazık, gövde yatık 19-55 cm uzunluğunda, yapraklar genelde tabanda ve saplı, çiçekler 5 parçalı, beyaz, krem veya kenara doğru mavimsi, kuru çiçekler soluk sarı, sarı veya kenara doğru leylak renktedir ve Temmuz-Ağustos aylarında çiçeklenme dönemidir. Şekil 2’de gösterildiği üzere Türkiye’nin Aydın, Denizli, Muğla illerinde; subalpin, kalker ve serpantin yamaç, orman açıklıklarında, 850-2400 m

yüksekliklerde yayılış göstermektedir [4 ve 7]. Daha önceleri endemik olduğu düşünülen bu türün, Yunanistan'da yayılışa sahip olduğu bilgisi ile endemik kategorisinden çıkarılmasının uygun olduğu bildirilmiştir [4 ve 8].



Şekil 2. *L. argentea* (siyah-üçgen) ve *L. polykratis* (kırmızı-yuvarlak) bitkilerinin Türkiye'deki yayılışı

Bu çalışmanın konusunu oluşturan *L. argentea* ve *L. polykratis* türleri arasındaki morfolojik farklar oldukça azdır ve teşhis sürecinde birbirleri ile karıştırılmaları söz konusudur. Bu yüzden bu iki yakın akraba türün kök, gövde ve yaprak anatomileri ilk defa bu çalışmada incelenerek farklılıklarının ortaya konulması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada incelenen *L. polykratis* örneği, Muğla; Fethiye, Dalaman, Çal Dağı, Taşlı Yamaçlar, 1760 m, 36° 51' 44'' K, 029° 06' 44'' D, 4 Ağustos, 2017 (Aksoy 2794) tarihinde toplanmıştır. *L. argentea* örneği, Kırklareli; Kırklareli'nden Pınarhisar'a gidiş, yol kenarı meşe açıklığı, 230 m, 41° 40' 117'' K, 027° 26' 682'' D, 14 Temmuz 2018 (Aksoy 2894) tarihinde toplanmıştır. Anatomik çalışmalar için toplanan bitkinin kök, gövde ve yaprak organları toplanır toplanmaz %70'lik etil alkolde, 50 ml vida kapaklı santrifüj tüplerinde muhafaza edilmiştir. Mikroskopik gözlemler için parafin metodu kullanılmıştır [9]. Etil alkolde fikse edilmiş bitki materyallerinden enine kesitler alınıp parafin kasetlerine koyulduktan sonra %70, %90, %96'lık etil alkol serilerinden ve ardından ksilol serisinden geçirilmiştir. Serilerden geçirilmiş materyaller bir gece parafinde bekletilip parafinin dokulara geçmesi sağlanmıştır. 24 saatin sonunda mikrotomda kesitlerin alınabilmesi için örnekler doku kalıplarının içine yerleştirilip üzerine parafin dökülmüştür. Kalıplar 1 gün boyunca 4°C'de bekletildikten sonra HM310 Mikrotom yardımıyla 10-15 mikron kalınlığında kesitler alınmıştır. Alınan kesitler 40°C'deki sıcak su banyosuna konularak parafinin açılması sağlanmıştır. Yumurta akı ve glisin karışımı hazırlanarak lam üzerine sürülmüş ve sıcak su havuzundaki örnekler lam yüzeyine yapıştırılmıştır. Lam üzerinde kalan fazla parafinin erimesi için 65°C'lik etüvde 2 saat bekletilmiştir. Etüvden alınan örnekler ksilol ve etil alkol serilerinden geçirilip bir gece safraninde bekletilmiştir. Safranin boyasından çıkarılan kesitler fast green boyası ile 20 saniye boyanmıştır. Boyama serilerinden sonra örnekleri kalıcı preparat haline getirmek için entellan kullanılmıştır. Preparatlar Leica DM750 ışık mikroskopunda incelenmiş ve ölçümleri alınarak, fotoğrafları çekilmiştir.

Stoma görüntüleri için %70'lik etil alkolde bulunan yaprak örneklerinin alt yüzeylerinden, yaprak damarının sağ ve sol kısımlarından, farklı yapraklar kullanılarak kesitler alınmıştır. Alınan kesitler yaprak tüylerinden kurtulması için traşlama yapıp daha sonra saydamlaşması ve stomaların daha iyi görünebilmesi için %2.5'lik sodyum hipoklorit çözeltisi içerisinde 15 saat, oda sıcaklığında bekletilmiştir. Örnekler saydamlaşınca preparat hazırlanarak Leica DM750 ışık

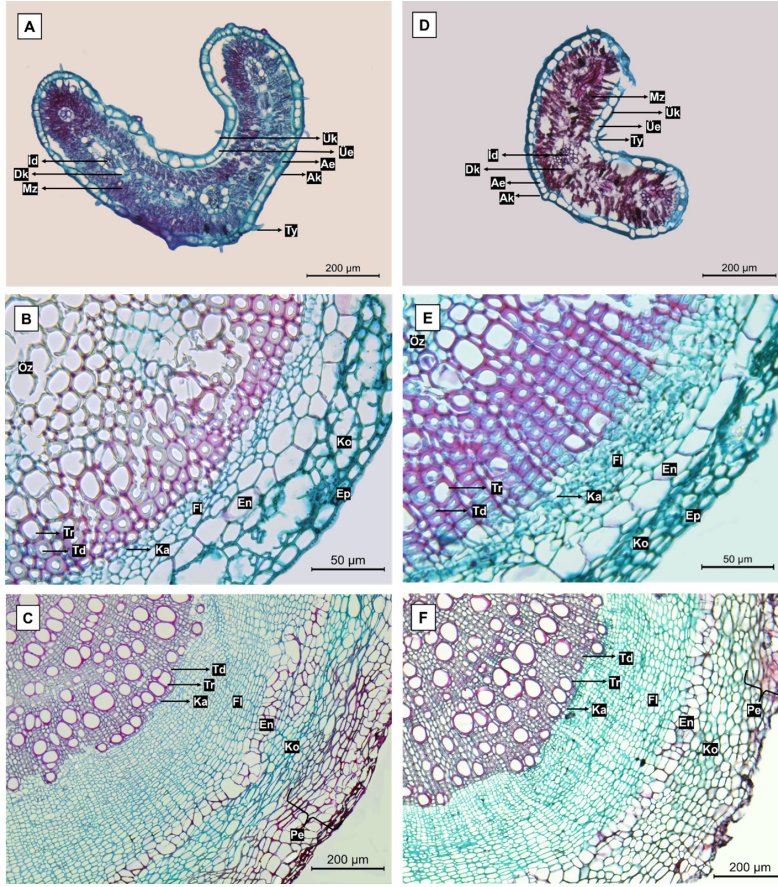
mikroskobunda incelenmiş ve fotoğraflanmıştır. 40x0.65'lik büyütmede ve 50.6 µm²'lik alanda stoma ve epidermis sayımları yapılmıştır. Stoma indeksi Meinder ve Mansfield'in [10] formülü kullanılarak hesaplanmıştır.

Çalışılan her iki tür için alınan kesitlerde örneklem sayıları (n) kökte korteks (en-boy), endodermis (en-boy) ve trakeid için 30, floem (en-boy) ve trake için 50; gövdede epidermis (en-boy), floem (en-boy) ve öz için 50, korteks (en-boy), endodermis (en-boy), trake ve trakeid için 30; yaprakta üst kutikula, üst epidermis (en-boy), demet kını, trake, alt kutikula ve alt epidermis (en-boy) için 50, mezofil için ise 17 olarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler, istatistik paket programı (SPSS, versiyon 20) kullanılarak bağımsız örneklem T-Testi ile analiz edilmiş ve değişkenlerin arasındaki farkın önemli kontrolü, anlamlı önemli fark (AÖF) %5 düzeyinde hesaplanmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışılan her iki türde de kökten alınan enine kesitlerin (Şekil 3-C, F) en dış kısımda periderm tabakası bulunmaktadır. Benzer şekilde *Scabiosa rotata* (M.Bieb.) Greuter & Burdet ve *Scabiosa columbaria* L. taksonlarının köklerinde de periderm varlığı bildirilmiştir [11 ve 12].

Peridermin altında dikdörtgen şekilli hücrelerden oluşmuş korteks tabakası bulunmaktadır. *L. polykratis*'in floem ve korteks tabakasında druz kristaline rastlanırken, *L. argentea*'da rastlanmamıştır. Yapılan bazı diğer çalışmalarda *L. rotata* ve *S. columbaria* kök korteksinde druz kristaline rastlanırken [11 ve 12]. *Scabiosa hispidula* (Boiss.) Greuter & Burdet (Kıllı uyuzotu) bitkilerinin kök korteksinde druz kristalinin bulunmadığı bildirilmiştir [13]. Her iki türde de floem ve korteks parankima hücreleri arasında kalan endodermis tabakası net bir şekilde ayırt edilebilir olup 1-2 sıralıdır. Bu tabaka *L. hispidula*'da 1-3 sıralı şekilde ayırt edilebilir olduğu bildirilmiştir [13]. Buna karşın *Scabiosa atropurpurea* (L.) Greuter & Burdet ve *S. columbaria* türlerinde endodermis tabakasının yapılan çalışmalar kapsamında ayırt edilemediği bildirilmiştir [12 ve 14]. *L. polykratis* kökünde bitkinin yaşam süresine ve habitatına bağlı olarak değişebilen floem tabakası 18-31 sıralı olup, *L. argentea*'da floem tabakası 12-30 sıralıdır. Yapılan diğer çalışmalara göre floem tabakasının *S. columbaria*'da 15-40, *S. atropurpurea*'da ise birkaç sıralı olduğu bildirilmiştir [12 ve 14].



Şekil 3. *L. polykratis* A) yaprak; B) gövde; C) kök enine kesiti, *L. argentea* D) yaprak; E) gövde; F) kök enine kesiti (Pe: peridermis, Ko: korteks, En: endodermis, Fl: floem, Ka: kambiyum, Tr: trake, Td: trakeid, Öz: öz, Ep: epidermis, Üe: üst epidermis, Ae: alt epidermis, Ük: üst kutikula, Ak: alt kutikula, Mz: mezofil, Dk: demet kını, İd: iletim demeti, İy: tüy)

Kök anatomisi ölçüm sonuçları Şekil 4-A'da verilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda, *L. argentea*'nın *L. polykratis*'e kıyasla korteks en, floem en-boy ve trake çap ölçümünün sırasıyla %30, 52, 51 ve 18 oranında daha büyük olduğu; buna karşın endodermis en-boy, korteks boy ve trakeid çap ölçümlerinde ise iki tür arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farkın bulunmadığı tespit edilmiştir.

Gövdeden alınan enine kesitler (Şekil 3-B, E) incelendiğinde, *L. argentea*'da en dışta 1-3 sıralı, *L. polykratis*'de tek sıralı olacak şekilde çoğunlukla dikdörtgenimsi nadiren kare şeklinde hücrelerden oluşan epidermis tabakası gözlemlenmiştir. Diğer araştırmacılar tarafından epidermis tabakasının *S. columbaria*'da çift sıralı, *S. atropurpurea*'da ve *L. hispidula*'da ise tek sıralı olduğu bildirilmiştir [12-14]. *L. argentea* gövdesinde basit trikoma rastlanırken, *L. polykratis*'de nadiren trikoma rastlanmıştır. Diğer çalışmalara göre, *S. atropurpurea*'da epidermiste tek hücreli basit ve kanca şeklinde eglandular trikomların tespit edildiği, *S. rotata* da ise kutikulası noktacıklı, tek hücreli trikomların bulunduğu bildirilmiştir [11 ve 14]. Epidermisin altında yer alan kortekste klorenkimatik yapıdaki hücrelerin varlığı *L. argentea*'da belirgin bir şekilde gözlenirken, *L. polykratis*'de görülmemiştir. Korteks tabakasının en iç kısmında bulunan endodermisin *L. argentea*'da 1-2 sıralı, *L. polykratis*'de ise tek sıralı olduğu görülmüştür. Yapılan diğer çalışmalarda, gövde endodermis tabakasının *S. atropurpurea* ve *L. rotata*'da tek sıralı olduğu [11 ve 14]; *S. columbaria* türünde ise endodermis tabakasının ayırt edilemediği bildirilmiştir [12].

Gövde kesitlerinde floem tabakası ise dikdörtgenimsi hücrelerden meydana gelmiş olup *L. argentea*'da 5-6 sıralı, *L. polykratis*'de 2-6 sıralı olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4-B'de verilen gövde anatomi ölçüm sonuçlarına göre, *L. argentea*'nın *L. polykratis*'e kıyasla; korteks en, korteks boy, epidermis en, floem en, floem boy, trake çap, öz çap ve kutikula kalınlığı ölçümleri bakımından sırasıyla %40, 42, 14, 17, 25, 30, 35 ve 28 oranında daha büyük ve aradaki

farkların istatistiksel olarak anlamlı olduğu bulunmuştur. Bunun aksine, iki tür açısından epidermis boy, endodermis en-boy ve trakeid çap ölçüm sonuçları arasındaki farklar anlamlı bulunmamıştır. Her iki türün de gövdelerinin içlerinin dolu olduğu gözlemlenmesine rağmen, *L. rotata* gövdesinin öz boşluğuna sahip olduğu bildirilmiştir [11].

Yapraktan alınan enine kesitlerde iki türün de yaprağının unifasiyal yapıda olduğu gözlenmiştir. Literatürde bulunan diğer çalışmalara göre, *L. hispidula* ve *S. columbaria* türlerinde de unifasiyal yaprak tipi gözlemlenirken, *S. atropurpurea*'da bifasiyal; *S. rotata*'da monofasiyal yapıda olduğu bildirilmiştir [11-14]. Çalışılan iki türün de stoma tipleri komşu hücre tipine göre anizositik ve ekolojik özelliklerine göre mezomorfik stoma tipte olduğu görülmüştür. Stoma indeksleri ise *L. argentea*'da 15.9 iken *L. polykratis*'de 11.94'tür (Tablo 1; Şekil 5).

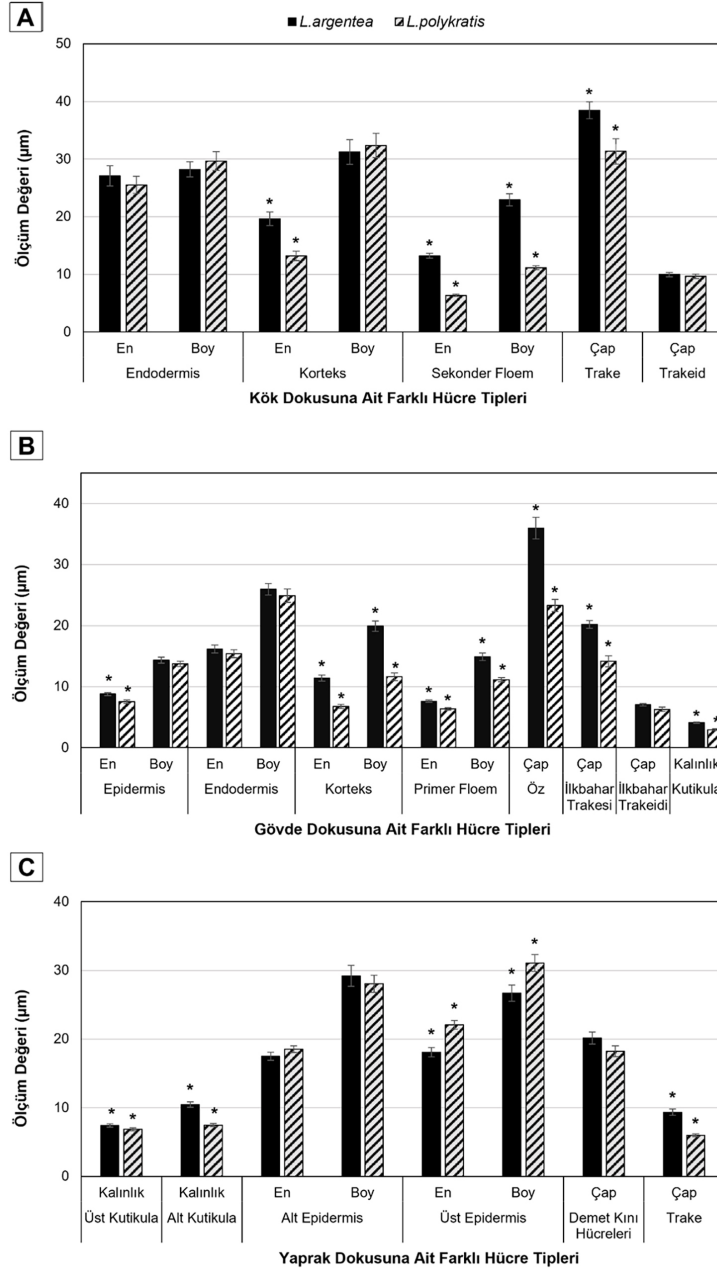
Tablo 1. *L. argentea* ve *L. polykratis* bitkisinin stoma ve mezofil verileri

Bitki Türleri	SI	Komşu Hücre Tipine Göre Stoma Tipi	Ekolojik Özelliklerine Göre Stoma Tipi	Mezofil Boy
<i>L. argentea</i>	15.90	Anizositik	Mezomorfik	176.91 ± 4.50*
<i>L. polykratis</i>	11.94	Anizositik	Mezomorfik	129.85 ± 3.70*

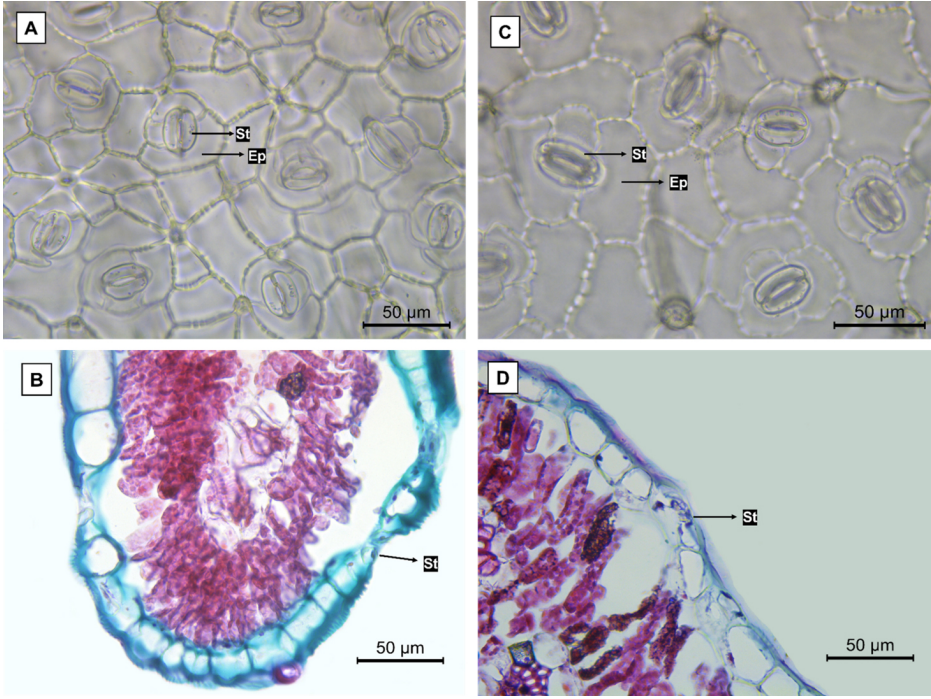
*anamlı önemli fark

L. rotata ve *L. hispidula* türlerinde de stoma tiplerinin anizositik olduğunu bildirilmiştir [13]. *S. atropurpurea* türünde ise stomaların hücre tipine göre anizositik, ekolojik özelliklerine göre mezomorfik olduğu; stoma indeksinin ise üst yüzey için 24.5, alt yüzey için 26.2 ve stoma indeks oranının 0.9 olduğu bildirilmiştir [14]. *S. columbaria*, *S. atropurpurea* ve *L. hispidula* türünün yaprak mezofil tabakasında druz kristalleri gözlemlenmesine rağmen [12 ve 13], bu çalışmada incelenen *L. polykratis* ve *L. argentea* türlerinin ikisinin mezofil tabakasında da druz kristaline rastlanmamıştır. Her iki türde de epidermis üzerinde tek hücreli basit trikomal gözlemlenmiştir. Benzer şekilde *S. columbaria*'nın da basit trikomlara sahip olduğu ancak, *S. atropurpurea*'nın üst ve alt epidermisinde glandular ve eglandular tüylerin, *L. hispidula*'da ise salgı tüyü varlığı bildirilmiştir [12-14].

Yapraktan alınan enine kesitler incelendiğinde (Şekil 3-A, D), her iki tür için de epidermis hücrelerini saran kutikula tabakası ve kutikula tabakasının altında, tek sıralı dikdörtgen şekilli hücrelerden meydana gelen epidermis tabakası bulunduğu gözlemlenmiştir. Epidermis üzerinde basit yapıdaki trikomalın varlığı görülmüştür. Alt ve üst epidermis arasında kalan mezofil tabakasında 1-2 sıralı palizat ve sünger parankiması hücrelerinin yer aldığı ve bu tabakada bulunan iletim demetlerinin etrafının klorofilsiz demet kını hücreleri ile çevrelenmiş olduğu görülmüştür. Yaprak anatomisi ölçüm sonuçları Şekil 4-C'de verilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda, *L. argentea* türünün *L. polykratis* türüne göre üst kutikula, alt kutikula, trake ve mezofil ölçümlerinin sırasıyla %8, 29, 36 ve 27 oranında daha büyük olmasına rağmen üst epidermis en ve üst epidermis boy ölçümlerinin sırasıyla %18 ve 14 oranında daha küçük olduğu saptanmıştır. Bunun aksine, iki tür açısından alt epidermis ve demet kını hücrelerinin ölçüm sonuçları arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır



Şekil 4. *L. argentea* ve *L. polykratis*, A) Kök dokusuna ait farklı hücre tipleri, B) Gövde dokusuna ait farklı hücre tipleri, C) Yaprak dokusuna ait farklı hücre tipleri (* = anlamlı önemli fark).



Şekil 5. *L. polykratis* yaprağının yüzeysel (A) ve enine (B) kesit görüntüsü; *L. argentea* yaprağının yüzeysel (C) ve enine (D) kesit görüntüsü (st: stoma, ep: epidermis).

4. Sonuç

Çelik, çalışmasında [4] Caprifoliaceae familyasında bulunan *L. argentea* ve *L. polykratis* türlerini taksonomik olarak ayırmak için gövdenin dik veya yatay oluşu, yaprakların tabanda toplanması veya bitki genelinde dağınık bulunması ve kaliks kılınının koronanın 3 katı veya daha büyük oluşu gibi özellikleri kullanmıştır. Bu çalışmada *L. argentea* ve *L. polykratis* türleri anatomik açıdan incelenerek iki türün bazı benzer ve farklı anatomik özellikleri ortaya konulmuştur. Elde edilen sonuçların, iki türün anatomik özelliklerinin literatüre kazandırılması ile ileriki çalışmalara katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

5. Teşekkür ve Katkı Beyanı

Bu araştırmanın laboratuvar çalışmalarına katkı sağlayan Cansu GÜLCEMAL ile Mert Can VARDAR'a ve çalışmayı maddi olarak destekleyen TÜBİTAK'a (Proje No: KBAG-117Z826) ve Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (Proje No: FDK 2017-2429) teşekkür ederiz. A.A: laboratuvar çalışması ve veri analizi; U.B: veri analizi ve makale yazımı; J.Ç: örneklerin fotoğraflanması ve laboratuvar çalışması; A.AK: çalışma kurgusunun oluşturulması, materyal temini ve makale yazımı.

6. Kaynaklar

- [1]. Yıldız, B., Aktoklu, E., "Bitki Sistematığı (İlkin Karasal Bitkilerden Bir Çeneklilere)" *Palme Yayıncılık*, Ankara, Türkiye, 2010.
- [2]. Wang, H. X., Moore, M. J., Landrein, S., Liu, B., Zhu, Z. X., Wang, H. F., "Plastid phylogenomic insights into the evolution of the Caprifoliaceae sl. (Dipsacales)" *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 142: 106641, 2020 doi: 10.1016/j.ympev.2019.106641
- [3]. Güner, A., Akyıldırım, B., Alkayış, M.F., Çingay, B., Kanoğlu, S.S., Özkan, A.M., Öztekin, M., Tuğ, G.N., "Türkçe Bitki Adları" Edited by Güner, A., Aslan, S., Ekim, T., Vural, M. ve Babaç, M.T., *Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi ve Flora Araştırmaları Derneği Yayınları*, TR, 2012
- [4]. Çelik, J., "Türkiye'de Yayılış Gösteren *Scabiosa* L. *Sensu Lato* (Caprifoliaceae) Cinsinin Taksonomik Revizyonu.", Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Antalya, Türkiye, 2021

- [5]. Aksoy, A., Çelik, J., Bozkurt, M., Uysal, T., “Türkiye Florası İçin Yeni Bir Tür Kaydı: *Scabiosa lucida* Vill. (Caprifoliaceae)” **Bağbahçe Bilim Dergisi**, 7(3), 49-57, 2020 doi: 10.35163/bagbahce.800995
- [6]. Angiosperm Phylogeny Group, “An update of the Angiosperm phylogeny group classification for the orders and families of flowering plants: APG III” **Botanical Journal of the Linnean Society**, 161 (2): 105-121, 2009
- [7]. Matthews, W.A., “*Scabiosa* L.” Edited by Davis, P.H, “Flora of Turkey and the East Aegean Islands” *Edinburgh at the University Press*, ENG, 583-625, 1972
- [8]. Dimopoulos, P., Raus, T., Bergmeier, E., Constantinidis, T., Iatrou, G., Kokkini, S., Strid, A., Tzanoudakis, D, “Vascular plants of Greece: an annotated checklist”, Berlin; Athens: Botanic Garden and Botanical Museum Berlin Dahlem. *Hellenic Botanical Society*, 372, 2013
- [9]. Johansen, D. A., “Plant microtechnique”, *McGraw-Hill Book Company Press*, Newyork, 1940
- [10]. Meinder H., Mansfield, T.A., “Physiology of stomata” *Mc Graw-Hill Book Company Press*, Newyork, 179s, 1969
- [11]. Panayır, T., Baykal, T., “*Scabiosa rotata* Bieb. (Dipsacaceae) Üzerine Morfolojik ve Anatomik Araştırmalar” **Ankara Eczacılık Fakültesi Dergisi**, 26(1): 22-35, 1997 doi: 10.1501/Eczfak_0000000311
- [12]. Girişken, H., “Türkiye’de Yayılış Gösteren *Scabiosa columbaria* L. Taksonlarının Morfolojik, Anatomik ve Palinolojik Özelliklerinin Araştırılması” Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Antalya, Türkiye, 2020
- [13]. Akyol, Y., Kocabaş, O., Kayacan, E., Minareci, E., Özdemir, C., “*Scabiosa hispidula* Boiss. (Caprifoliaceae) Türüne Ait Anatomik Bir Çalışma” **Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi**, 5(1), 10-15, 2016 doi:10.17100/nevbiltek.52239
- [14]. Erarslan, Z.B., Yeşil, Y., The anatomical properties of *Scabiosa atropurpurea* L. (Caprifoliaceae). **İstanbul Journal of Pharmacy**, 48(1): 1-5, 2018



Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi (Research Article)

Makale Doi: [10.17100/nevbiltek.1192873](https://doi.org/10.17100/nevbiltek.1192873)

Geliş Tarihi: 21-10-2022

Kabul Tarihi: 15-11-2022



Su Örneklerindeki Pb(II)-Vitamin B6 Kompleksinin Bulutlanma Noktası Ekstraksiyonu

Nilgün BAŞATA¹, Yavuz SÜRME^{2*}

¹Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Niğde, TÜRKİYE
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9106-0759>

²Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Niğde, TÜRKİYE
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4368-6658>

Öz

Bu çalışma esas olarak kurşun iyonlarının bulutlanma noktası ekstraksiyonu (CPE) prosedürü ile zenginleştirme ve alevli atomik absorpsiyon spektrometrik tayinine odaklanmıştır. Yöntemde, Pb²⁺ ve B6 vitamininin, önderiştirilmesinden önce, bulutlanma noktası ekstraksiyonu ile kompleksleştirilmesi sağlanmıştır. Çözelti pH'sı, yüzey aktif madde ve B6 vitamini konsantrasyonları, girişim yapan iyonlar, inkübasyon sıcaklığı ve numune hacmi optimize edilmiştir. Yöntemin gözlenebilirlik sınırı (LOQ) ve tayin sınırı (LOD) değerleri sırasıyla 7,88 ve 25,99 olarak bulunmuştur. CPE yönteminin validasyonu, doğal kaynak suları ve maden suları gibi su örneklerine analit eklenmesi (bilinen Pb²⁺ konsantrasyonu) ile sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bulutlanma noktası ekstraksiyonu; Pb²⁺; seçicilik; doğal sular; B6 vitamini

Cloud Point Extraction Of Pb (II)-Vitamin B6 Complex In Aqueous Samples¹

Abstract

This study mainly centered on the preconcentration and flame atomic absorption spectrometric determination of lead ions by the cloud point extraction (CPE) procedure. Complexation of Pb²⁺ and vitamin B6 prior to its preconcentration by cloud point extraction was achieved in the method. The solution pH, surfactant, and vitamin B6 concentrations, interfering ions, incubation temperature, and sample volume were optimized. The limit of quantification (LOQ) and limit of detection (LOD) values of the method were found as 7.88 and 25.99 respectively. The validation of the CPE method was achieved by the analyte adding (known concentration of Pb²⁺) to water samples such as natural spring waters and mineral waters.

Keywords: Cloud point extraction; Pb²⁺; selectivity; natural water; vitamin B6

¹ This study is a part of master's thesis of Nilgün Başata

* **Corresponding author:** ysirme@ohu.edu.tr

1. Introduction

The rapid increase in human population and fast industrialization causes environmental pollution by vast variety of metal ions releasing from industrial processes into the nature.

Another source of heavy metals is the natural processes such as volcanic eruptions. Cadmium, arsenic, mercury, chromium, antimony and lead can be considered as toxic metals released from both sources to the environment. These metal ions have significant negative effects on the human, animals, plants and aquatic life. The lower concentration of heavy metal ions –even at trace concentrations- can pollute the soil, air and water [1].

The accumulative characteristics of Pb^{2+} , causes its pollution as an environmental priority because Pb^{2+} is one of the most dangerous toxic elements [2].

Some of the known adverse health effects of lead are anaemia, abdominal pains and headaches. The further effects are the disorders of central nervous system, kidney nephritis and brain damage. The concentration of lead even at the trace levels may cause chronic exposure of lead [3].

Consequently, the maximum tolerable limit of lead in drinking waters is 10 ng mL^{-1} . This level is determined by the world health organization (WHO) in 1996. Therefore, it is of prime importance to monitor and determine the lead concentrations in aquatic environmental samples which are the main indicators of drinking waters [2].

The removal, pre-concentration and separation of the analytes in aqueous medium can be achieved by various procedures such as solid phase extraction (SPE), co-precipitation, liquid-liquid extraction (LLE), ion exchange and electrochemical methods. All of these methods represent an increase in sensitivity and selectivity for the methodology in analytical chemistry. In recent years, a greener preconcentration method was developed called CPE. This separation method is an environmentally friendly method for many analytes from organic molecules to metal ions and has evident benefits over the elder extraction methods. The CPE procedure is simple, inexpensive, accurate, fast, precise and in some circumstances selective and also consuming of toxic organic chemicals is minimal for procedure [4].

The CPE technique is relied on the complexing of a metal ion by using an appropriate chelating agent and its extraction into a micelle medium. The overall process is depending on the basic characteristics of surfactant molecules. These are becoming cloudy to form organized assemblies called micelles over a certain concentration and temperature. The volume of the micelle phase is much lower than the aqueous phase after separation that phenomena allows the preconcentration of analytes.

So, this technique is very useful for pre-concentration and separation of analytes exist in aqueous and other environmental samples [5].

In this work, Pb^{2+} ions were complexed with vitamin B6 prior to separation and preconcentration by CPE from aqueous solutions utilizing a Tergitol NP-7 (TNP-7) as an anionic surfactant, followed by its determination by flame atomic absorption spectrometer (FAAS). Effect of solution pH, the concentrations of TNP-7 and vitamin B6, temperature and incubation time were optimized. The optimization of these parameters is important for determining the efficiency of CPE method. The advanced CPE method has been victoriously practised for the determination and separation of lead ions in water samples.

2. Material and method

2.1. Apparatus

The concentration values of Pb^{2+} ions were measured by Shimadzu AA 7000 FAAS (equipped an air-acetylene burner and combined a lead hollow cathode lamp). The hollow cathode lamp of lead was utilized as the radiation source. The signal of lead was measured as absorbance of it according to Beer's Law. The cloud point temperature of the method was obtained by using a thermostatic bath (Nuve model BM 402, Nuvu Ltd. Türkiye). The centrifuge (Nuve model NF-

400, Nuve Ltd. Türkiye) was utilized for the phase separations. The pH values of solution were measured by a WTW level 1 model pH meter.

2.2. Reagents

Non-ionic Tergitol NP-7 surfactant was bought from Sigma-Aldrich. The chelating agent solution (1.0×10^{-3} mol L^{-1} of VitB6) was prepared by dissolving appropriate amount of VitB6 in distilled water. An appropriate amount of $Pb(NO_3)_2$ was dissolved in distilled water and a $1000 \text{ mg } L^{-1}$ stock Pb^{2+} solution was prepared. Different concentrations of Pb^{2+} solutions were prepared by diluting from stock solution. Various citrate and phosphate buffer solutions were prepared and used to keep the solution pH stable in the experiments. The correlation coefficient of calibration curve was 0.999. Fig. 1 shows a sample of the calibration curve used in the CPE experiments. The working conditions of FAAS for Pb^{2+} measurements are given in Table.1 and chemical structure of VitB6 is given in Fig. 2.

Table 1. The operation conditions of the FAAS for lead measurement

Current	10mA	Burner height	7mm
Wavelength	283.3 nm	Burner angle	0 deg
Slit width	0.5 nm	Fuel gas and flow rate	Acetylene/2.0 $L \text{ min}^{-1}$
Lighting mode	BCG-D ₂	Type of oxidant	Air

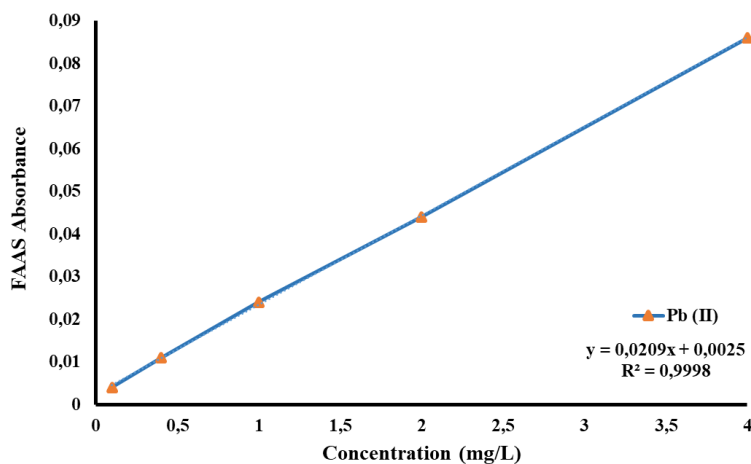


Figure 1. The calibration curve of Pb (II) ions used in experiments

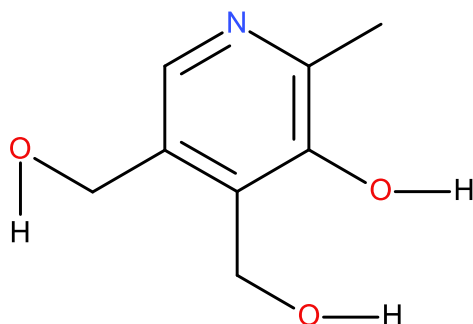


Figure 2. Chemical structure of Vitamin B6 molecule

The ligand and its Pb^{2+} complex must be soluble and highly stable and also should be nontoxic and selective for Pb^{2+} . The vitamin B6 molecules are suitable for all these aspects.

2.3. Procedure for cloud point extraction

1.00 mL Pb^{2+} analyte solution (from 10 ppm stock) and 2 mL 1×10^{-3} M vitamin B6 solution were mixed and transferred into a 15 mL conical plastic tubes containing 5 mL of buffer. After complexation, 1 mL of 2% (w/v) TNP-7 with the chemical name of nonylphenol ethoxylate was added to the mixture, and diluted to 10 mL with distilled water and shaken. The phase separation was achieved by incubation of the mixture in a thermostatic bath (40 °C, 30 min.) and centrifugation (5 min. at 4100 rpm). The aqueous phase was removed by decantation. The phase of surfactant-rich was dissolved in up to 2 mL of ethanol using 1.0 mL of 1.0 M HNO_3 . The concentration of Pb^{2+} was examined by FAAS. Recovery values were determined according to equation 1.

$$R(\%) = \frac{c_t}{c_0} \times 100 \quad (\text{Equation 1})$$

Where c_t and c_0 are the concentrations of Pb^{2+} in sample and reference respectively.

2.4. Sample preparation

In order to validate the proposed CPE method, three different natural spring water and three different brand natural mineral water samples were purchased from the local market, two different tap water samples were gathered from Niğde city centre (37.966135, 34.659311) and Niğde Ömer Halisdemir University (37.942345, 34.626984) and all the samples were subjected for Pb^{2+} analysis. For this purpose, 45 mL from each sample was used in the optimized CPE procedure without an outer purifying process. The pH of the samples studied was determined by utilizing buffer solution at pH 6.

3. Results and Discussion

3.1. Effect of pH

The acidity of the solution acts significant role in cloud point extraction procedure by involving mainly in the complex formation and also micelle aggregation [6]. In our experiments, the Pb^{2+} extraction was examined in various solution pH between pH2-pH8. A suitable complexing is one of the key parameter for separation of Pb^{2+} with a ligand by CPE technique. This phenomenon firstly depends on the pH of the solution at which an appropriate Pb (II)-VitB6 complex formation takes places. For this purpose, experiments were conducted between pH 2 and pH 8. The acquired results were shown in Fig 3.

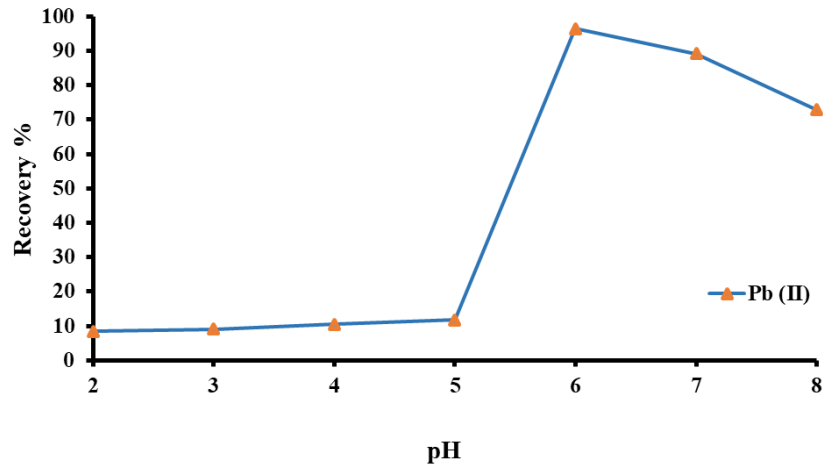


Figure 3. The effect of solution pH on the preconcentration of Pb (II) ions.

According to Fig 3. Pb (II)-VitB6 complexes were quantitatively extracted at pH 6. The extraction values were lower than 20% up to pH 5 and 90%, 78% for pH 7 and pH 8 respectively. This behaviour can be explained with complexation characteristics, thermodynamic interactions and the chemical structure of the VitB6 molecule. In conclusion, the optimum pH was found as pH 6 and this value was utilized for all experiments.

3.2. Effect of temperature

The temperature of the extraction medium is a tool parameter in CPE systems [7]. This behaviour is directly related with the micelle formation by the surfactant used in experiments. Because any surfactant that forms micelles requires a temperature above its specific CPT (Cloud Point Temperature). So, the effect of equilibrium temperature was studied between 20 °C to 60 °C. The obtained results were indicated in Fig 4.

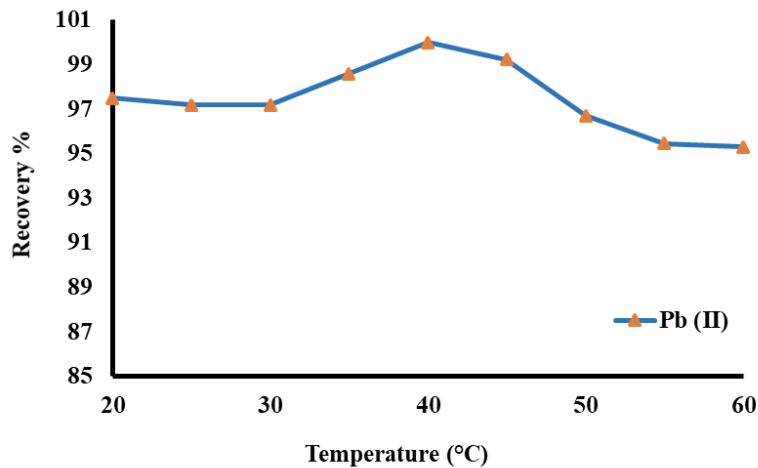


Figure 4. The effect of solution temperature on the recovery of Pb (II) ions.

According to Fig. 4, the recovery values were quantitative for all studied temperatures. But the highest recovery value was gained at 40 °C. This can be explained by the chemical property of the surfactant TNP-7 of which has a very low CPT (20 °C) [8].

The phase separation is correlated with micelle formation in a cloud point extraction so it also depends on the temperature. The phase separation was not complete at temperatures lower than 20 °C. The obtained results revealed that the 40 °C of temperature was optimum and the experiments were completed at this value.

3.3. Effect of TNP-7 concentration

The optimization of surfactant concentration in CPE experiments is of prime important [9]. The reason is that the technique is rest on the characteristics of surfactants. In this method, surfactant molecules become cloudy at a certain concentration which is called as critical micelle concentration.

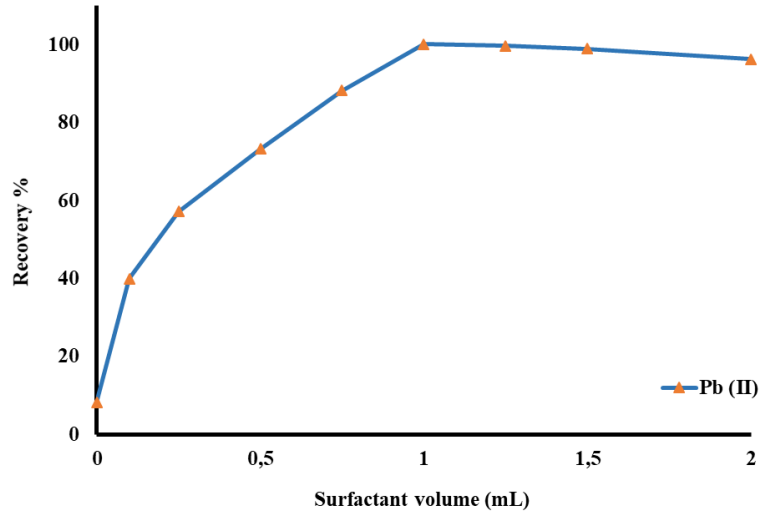


Figure 5. The effect of surfactant volume on the recovery of lead ions.

Thus, volume of TNP7 (from 2%, v/v stock solution) was investigated between 0 and 2,0 mL to determine the concentration of maximum recovery value. The obtained results were given in Fig. 5. The recovery of Pb^{2+} ions were raised up to 1,0 mL of surfactant volume and reached to a maximum value of 100% and after this point recovery values remained quantitative although small changes. First manner can be explained as reaching the CMC and latter is a result of equilibrium between formed micelles and TNP7 monomers in aqueous solution [10]. In conclusion the optimum surfactant was chosen as 1,0 mL and applied for all the experiments.

3.4. Effect of sample volume

Sample volume is a substantial analytical parameter in pre-concentration studies. In this work, the sample volume effect was examined in the range between 10–50 mL. This can be a small value for pre-concentration but same limitations seem as a drawback for CPE studies. According to obtained results all recovery values for Pb^{2+} were quantitative (10–50 mL). According to sample volume results the maximum preconcentration factor is obtained as 25.

3.5. Interferences

The VitB6 ligand was used as a chelating agent to bind the Pb^{2+} ions to extract. So, the possibility of complexation with several transition metals, alkaline, alkaline-earth and other ions in aqueous media was investigated by using proposed method at pH 6. It is obvious from the chemical structure of VitB6 (Figure 2) that the molecule can bind the Pb^{2+} ions from –O and/or –N atoms. The interference experiments were performed by replacing each variable matrix ion separately at a time. Obtained results were shown in Table 2.

Table 2. Effect of matrix ions on recovery of lead ions

Ion	Added as	Concentration (mg l ⁻¹)	Pb ²⁺ recovery (%)
K ⁺	KNO ₃	1000	102 ± 7*
Cl ⁻	NaCl	1000	98 ± 4
SO ₄ ²⁻	Na ₂ SO ₄	1000	97 ± 3
Mg ²⁺	Mg(NO ₃) ₂	1000	97 ± 1
Ca ²⁺	Ca(NO ₃) ₂	50	98 ± 2
Al ³⁺	Al(NO ₃) ₃	50	99 ± 4
Co ²⁺	Co(NO ₃) ₂	50	142 ± 9
Ni ²⁺	Ni(NO ₃) ₂	50	138 ± 2
Cu ²⁺	Cu(NO ₃) ₂	50	136 ± 4
Cd ²⁺	Cd(NO ₃) ₂	50	130 ± 9
Cr ³⁺	Cr(NO ₃) ₃	50	135 ± 9

*Mean ± standard deviation

Table 2 shows that the recovery of Pb²⁺ did not significantly change in the existence of selected interfering ions in isolated solution. The table 2 also proved there is no possible competitive chelating effect.

3.6. Analysis of real samples

The real sample analyses were performed on three different natural mineral waters and five different drinking water samples. These tests were applied by analyte addition of Pb²⁺ in to the samples. Obtained data were given in Table 3.

Table 3. Analyte addition-recovery tests by optimized CPE method.

Pb ²⁺			
Samples	Added (µg)	Found (µg)	Recovery (%)
Natural Spring Water I	5.0	4.9	98
Natural Spring Water II	5.0	4.8	96
Natural Spring Water III	5.0	4.9	98
Tap Water I (City centre)	5.0	5.1	102
Tap Water II (City centre)	5.0	5.0	100
Natural Mineral Water I	5.0	5.2	104
Natural Mineral Water II	5.0	4.9	98
Natural Mineral Water III	5.0	5.1	102

*Mean ± standard division

The recovery values given in table 3 clearly indicates that the CPE technique could successfully be practised to analyze the Pb²⁺ in water samples.

4. Conclusions

A selective and efficient CPE procedure was optimized for isolation, determination and pre-concentration of Pb²⁺ in aqueous samples prior to their FAAS determination. Obtained results showed that the VitB6 ligand was highly selective for Pb²⁺ at pH 6. The matrix studies revealed that the method is successful to isolate the Pb²⁺ in the existence of earth, earth-alkaline and major common ions. The developed method successfully applied to analyse of Pb²⁺ ions in real samples. The optimized CPE method is inexpensive, eco-friendly and time saving to operate. In conclusion, the method may be considered as a useful tool for definition of Pb²⁺ ions in water samples.

5. Statement of contribution

Graduate student N.B: Collecting real samples, conducting extraction studies, discussing results and writing article. Y.S: Development of methodology, design and execution of optimization studies, discussion of results and article writing.

6. References

- [1]. Ravi Kumar K., Shyamala P., “Catanionic mixed micellar cloud point extraction of metal ions in coal fly ash samples and their determination by CS-ETAAS” *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7, 103119-103124, 2019
- [2]. Mohammadi S.Z., Shamspur T., Afzali D., Taher M. A., Baghelani Y. M., “Applicability of cloud point extraction for the separation trace amount of lead ion in environmental and biological samples prior to determination by flame atomic absorption spectrometry” *Arabian Journal of Chemistry*, 9, 610-615, 2016
- [3]. Blanchet-Chouinard G., Larivière D., “Determination of Pb in environmental samples after cloud point extraction using crown ether” *Talanta*, 179, 300-306, 2018
- [4]. Mortada W. I., “Recent developments and applications of cloud point extraction: A critical
- [5]. review” *Microchemical Journal*, 157, 105055-105068, 2020
- [6]. Mortada W.I., Kenawy I.M.M, Abdel-Rhman M.H., El-Gamal G.G., Moalla S.M.N., “A new thiourea derivative [2-(3-ethylthioureido)benzoic acid] for cloud point extraction of some trace metals in water, biological and food samples” *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 44, 266-273, 2017
- [7]. Talpur S., Kazi T.G., Afridi H.I., Talpur F.N., Nizamani S., Lashari A., Akhtar A., Khan M., “Ultrasonically dispersed ionic liquid-based microextraction of lead in biological samples of malnourished children prior to analysis by flame atomic absorption spectrometry” *Journal of AOAC International*, 101, (3), 883–890, 2018
- [8]. Vatankhah G., Ebrahimi M., Kahani M., “Determination of trace amount of lead (II) and cadmium (II) ions in real water and real samples by flame atomic absorption spectrometry after cloud point extraction using selective synthesis ligand 2-(3-indolyl)-4,5 di phenyl imidazole” *Eurasian Journal of Analytical Chemistry*, 2, (7), 987-1000, 2017
- [9]. <https://www.dow.com/content/dam/dcc/documents/en-us/productdatasheet/119/119-01915-01-tergitol-np-7-surfactant-tds.pdf>.
- [10]. Rihana -Abdallah A., Li Z., Lanigan K. C., “Using cloud point extraction for preconcentration and determination of iron, lead, and cadmium in drinking water by flame atomic absorption spectrometry” *Analytical Letters*, 55, (8), 1296–1305, 2021
- [11]. E.L. Silva and P. Santos Roldan, “Simultaneous flow injection preconcentration of lead and cadmium using cloud point extraction and determination by atomic absorption spectrometry”, *Journal of Hazardous Materials* 161, 42–147, 2009.



Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi (Research Article)

Makale Doi: **10.17100/nevbiltek.1142511**

Geliş Tarihi:08-07-2022

Kabul Tarihi:18-08-2022



Yemlik Kolza (*Brassica napus* L. ssp. *oleifera* Metzg) İçin İdeal Ekim Normunun Belirlenmesi*

Erdal ÇAÇAN¹, Kağan KÖKTEN², Selim ÖZDEMİR³, Rıdvan UÇAR⁴, Muammer EKMEKÇİ⁵, Sam MOKHTARZADEH⁶, Mehmet Ali KUTLU⁷

¹Bingöl Üniversitesi, Gıda Tarım ve Hayvancılık Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Bingöl, TÜRKİYE

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9469-2495>

²Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknoloji Fakültesi, Bitkisel Üretim ve Teknolojileri Bölümü, Sivas, TÜRKİYE

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5403-5629>

³Bingöl Üniversitesi, Gıda Tarım ve Hayvancılık Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Bingöl, TÜRKİYE

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1840-9907>

⁴Bingöl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Bingöl, TÜRKİYE

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6365-7200>

⁵Bingöl Üniversitesi, Tarımsal Uygulama ve Araştırma Merkezi, Bingöl, TÜRKİYE

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0610-8552>

⁶Düzce Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Düzce, TÜRKİYE

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3927-0855>

⁷Bingöl Üniversitesi, Gıda Tarım ve Hayvancılık Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Bingöl, TÜRKİYE

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0862-9690>

Öz

Yemlik kolza için ideal ekim normunun belirlenmesi amacıyla bu çalışma, Bingöl ili ekolojik koşullarında 2020-2021 yetiştirme sezonunda yürütülmüştür. Çalışmada dekara 400 g, 800 g, 1200 g, 1600 g, 2000 g ve 2400 g olmak üzere altı ekim normu kullanılmıştır. Ekimler 02 Ekim 2020 tarihinde, hasatlar ise 29 Nisan 2021 tarihinde yapılmıştır. Çalışmada farklı ekim normlarının bitki boyu, yeşil ot verimi, kuru ot verimi, ham protein, ADF, NDF ve sindirilebilir kuru madde oranları, nispi yem değeri, kalsiyum, magnezyum, fosfor ve potasyum içerikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. En yüksek bitki boyu, yeşil ot verimi ve kuru ot verimi 1600, 2000 ve 2400 g da⁻¹ ekim normlarından elde edilmiştir. Ekim normlarının ham protein, ADF, NDF, sindirilebilir kuru madde oranları ve nispi yem değeri üzerindeki etkisi önemsiz bulunmuştur. En yüksek fosfor ve potasyum oranları 1600 g da⁻¹, en yüksek kalsiyum oranı ise 800 g da⁻¹ ekim normundan alınmıştır. Ekim normlarının magnezyum oranı üzerindeki etkisi de istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Bu bilgiler ışığında çalışmanın yürütüldüğü Bingöl ili ve ekolojik koşulları benzer olan bölgelerde yemlik kolza için 1600-2400 g da⁻¹ arasında tohumluk kullanılmasının avantajlı olacağı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Brassica napus*; ekim oranı; verim; kalite

* Sorumlu yazar e-mail: ecacan@bingol.edu.tr

Determination of Ideal Sowing Norm for Forage Rape (*Brassica napus* L. ssp. *oleifera* Metzg)

Abstract

In order to determine the ideal sowing norm for forage rape, this study was carried out in the ecological conditions of Bingöl province in the 2020-2021 growing season. Six sowing norms were used in the study, namely 400 g, 800 g, 1200 g, 1600 g, 2000 g and 2400 g per decare. Sowing was done on 02 October 2020 and harvests on 29 April 2021. In the study, the effects of different sowing norms on plant height, forage yield, dry matter yield, crude protein, ADF, NDF and digestible dry matter rates, relative feed value, calcium, magnesium, phosphorus and potassium contents were investigated. The highest plant height, forage yield and dry matter yield were obtained from sowing norms of 1600, 2000 and 2400 g da⁻¹. The effect of sowing norms on crude protein, ADF, NDF, digestible dry matter rates and relative feed value was found to be insignificant. The highest phosphorus and potassium ratios were obtained from 1600 g da⁻¹, and the highest calcium ratio was obtained from the sowing norm of 800 g da⁻¹. The effect of sowing norms on magnesium ratio was found to be statistically insignificant. In the light of this information, it was concluded that it would be advantageous to use seeds between 1600-2400 g da⁻¹ to forage rape in the province of Bingöl where the study conducted, and in regions with similar ecological conditions.

Keywords: *Brassica napus*; sowing rate; yield; quality

1. Giriş

Her tarla toprağının besleyebileceği belli miktarda bitki sayısı bulunmaktadır. Bu nedenle kullanılacak tohumluk miktarının iyi ayarlanması gerekmektedir. Yem bitkileri genel olarak sık ekilirler, ancak bu sıklık ihtiyaçtan daha fazla olmamalıdır. İhtiyaçtan daha fazla kullanılan tohumluk, aynı oranda verimde artış sağlamamaktadır [1]. Genel olarak gereğinden fazla tohumluk kullanmak verimi azaltmaz, ancak gereğinden fazla tohumluk kullanmak ekonomik olmamaktadır [2]. Ekim oranının ayarlanması bitkiler arasında bitki besin elementleri ve su açısından ortaya çıkan rekabeti dengede tutmaktadır [3].

Kolza önemli bir yağ bitkisidir. Kolzanın daha geniş yapraklı olan çeşitleri sonbahar ve erken ilkbahar döneminde yeşil yem üretimi amacıyla kullanılmaktadır. Kısa sürede yeşil ot üretmesi, hayvanların otunu severek yemesi ve sindirilme oranının yüksek olmasından dolayı birçok ülkede tarımı yapılmaktadır [4].

Avcıoğlu ve ark. [5] ve Açıkgöz [4] yemlik kolzada kullanılacak tohumluk miktarının makinalı ekimde 1 kg da⁻¹, serpme ekimde biraz daha fazla olması gerektiğini, Soya ve ark. [6] ise yemlik kolzada kullanılacak tohumluk miktarının 1.0-1.5 kg da⁻¹ aralığında olması gerektiğini bildirmişlerdir. Birim alana atılacak tohumluk miktarı birçok faktöre bağlıdır. Bu faktörler; tohum iriliği, tohumun canlılığı, fide gücü, toprak verimliliği, toprağın reaksiyonu, yağışın miktarı, yağışın mevsimlere göre dağılışı, ekim şekli (serpme ekim, mibzerle ekim), sulama olanakları ve üretim amacıdır [7]. Dolayısıyla farklı ekolojik koşullarda her bitki için kullanılacak tohumluk miktarı da farklı olmaktadır. Bunu belirlemenin en kolay yolu da değişik iklim ve toprak koşullarında araştırmalar yapmaktır [1].

Bingöl ve benzeri ekolojik koşullarda yemlik kolza için kullanılacak tohumluk miktarının belirlenmesi amacıyla bu araştırma yürütülmüştür.

2. Materyal ve Metot

Bu araştırma, Bingöl Üniversitesi Tarımsal Araştırma ve Uygulama Merkezi alanında yürütülmüştür. Bu alan Bingöl il merkezine 15 km uzakta olup, rakımı ortalama 1080 m'dir. Bingöl ilinde yıllık ortalama sıcaklık değeri 12.1 °C, yıllık toplam yağış miktarı da 948.4 mm'dir [8].

Yapılan toprak analizine göre toprak yapısının killi-tınlı yapıda olduğu, hafif derecede asidik (pH: 6.26), tuzsuz (%0.014), organik madde içeriği az (%1.09), az kireçli (%0.41), potasyum içeriğinin az (18.27 kg da⁻¹) ve fosfor oranının orta (7.60 kg da⁻¹) olduğu tespit edilmiştir.

Deneme, 02 Ekim 2020 tarihinde dekara 400 g, 800 g, 1200 g, 1600 g, 2000 g ve 2400 g olacak şekilde tohumluk miktarları kullanılarak kurulmuştur. Deneme, tesadüf blokları deneme desenine göre üç tekrarlamalı, sıra uzunluğu 20 m, sıra arası mesafe 40 cm ve her uygulama için 4 sıra olacak şekilde planlanmıştır. Deneme 13 Nisan - 03 Mayıs 2021 tarihleri arasında arı merası olarak değerlendirilmiştir [9]. 29 Nisan 2021 tarihinde ot amaçlı hasat yapılmıştır. Hasat yapılmadan önce her parsel için 10 bitki üzerinden bitki boyu ölçülmüştür. Kenar tesiri alındıktan sonra her parselden bir metrekaarelik alan biçilip tartılarak yeşil ot verimi elde edilmiştir. Hasat edilen alandan 500 gram bitki örneği alınarak 70 °C'de 48 saat kurutularak kuru ot oranı elde edilmiştir. Kuru ot oranı yardımıyla kuru ot verimi hesaplanmıştır [10].

Kurutulan örnekler el değirmeni yardımıyla öğütüldükten sonra Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi'nde NIRS (Near Infrared Spectroscopy) cihazı yardımıyla (HP) ham protein, ADF (asit deterjanda çözünmeyen lif), NDF (nötr deterjanda çözünmeyen lif), P (fosfor), K (potasyum), Ca (kalsiyum) ve Mg (magnezyum) içerikleri belirlenmiştir. Elde edilen ADF ve NDF değerleri kullanılarak SKM (sindirilebilir kuru madde) oranı ve NYD (nispi yem değeri) hesaplanmıştır [11].

Elde edilen verilere, JMP istatistik paket programı kullanılarak tesadüf blokları deneme desenine uygun şekilde varyans analizi uygulanmıştır. Ortalamaların farklılıkları, 0.05 düzeyinde LSD testi ile değerlendirilmiştir [12].

3. Bulgular ve Tartışma

Farklı ekim normlarının yemlik kolzanın boyu, yeşil ot ve kuru ot verimleri üzerindeki etkisi Tablo 1'de verilmiştir. Farklı ekim normlarının istatistiksel olarak yemlik kolzanın bitki boyu, yeşil ot ve kuru ot verimleri üzerindeki etkisinin önemli olduğu görülmüştür.

Tablo 1. Ekim normlarının yemlik kolzanın bitki boyu, yeşil ot verimi ve kuru ot verimi üzerindeki etkisi

Ekim normu (g da ⁻¹)	Bitki boyu (cm)	Yeşil ot verimi (kg da ⁻¹)	Kuru ot verimi (kg da ⁻¹)
400	59.9 b*	560 d**	108 d**
800	73.9 ab	1067 c	200 c
1200	76.3 a	1173 bc	229 bc
1600	86.3 a	1395 ab	272 ab
2000	82.1 a	1360 ab	261 ab
2400	87.0 a	1584 a	309 a
Ortalama/Mean	77.6	1190	230
CV (%)	11.2	13.0	14.4

*: P≤0.05, **: P≤0.01 düzeylerinde önemli

En düşük bitki boyu 400 g da⁻¹ ekim normu uygulamasından elde edilmiştir. Geriye kalan diğer tüm ekim normlarının en yüksek bitki boyunu veren grupta yer aldıkları görülmektedir. Yeşil ot ve kuru ot verimleri, bitki boyunda olduğu gibi, en düşük değerlerini 400 g da⁻¹ ekim normunda verdikleri görülmektedir. Ekim normunda kullanılan

tohumluk miktarının artması ile birlikte yeşil ot verimi ve kuru ot verimlerinin arttığı, en yüksek değerlerin 1600, 2000 ve 2400 g da⁻¹ ekim normu uygulamalarından elde edildiği görülmektedir (Tablo 1).

Çalışmada yemlik kolzanın ortalama bitki boyu 77.6 cm, yeşil ot verimi 1190 kg da⁻¹ ve kuru ot verimi de 230 kg da⁻¹ olarak elde edilmiştir. Daha önce yapılan çalışmalarda; Bingöl koşullarında farklı sıra aralıklarının yemlik kolzanın verim ve kalitesine etkisi araştırılmış ve yemlik kolzaya ait bitki boyunun 122.1-144.4 cm, yeşil ot veriminin 2114-4267 kg da⁻¹ ve kuru ot veriminin 426-805 kg da⁻¹ arasında değiştiği saptanmıştır [13]. Samsun ili koşullarında kışlık ara ürün olarak yetiştirilen yemlik kolza ve bazı ikili yem bitkisi karışımlarının verim ve kalitesinin araştırıldığı çalışmada, yemlik kolza bitki boyunun 58-132 cm ve kuru ot veriminin 427-590 kg da⁻¹ arasında değiştiği belirtilmiştir [14]. Siirt ili koşullarında farklı dozlardaki azotlu gübrelemenin yemlik kolzanın bazı tarımsal özelliklerine etkisinin incelendiği çalışmada, uygulanan azot dozlarına göre yemlik kolzada bitki boyunun 144-152 cm, yeşil ot veriminin 2536-3409 kg da⁻¹ ve kuru ot veriminin 459-643 kg da⁻¹ arasında değiştiği tespit edilmiştir [15]. Bingöl ili koşullarında farklı ekim zamanlarının yemlik kolzanın verim ve kalitesine etkilerinin araştırıldığı çalışmada ise, ekim zamanlarına göre yemlik kolzaya ait bitki boyunun 105-157 cm, yeşil ot veriminin 662-5391 kg da⁻¹ ve kuru ot veriminin 137-997 kg da⁻¹ arasında değiştiği bildirilmiştir [16]. Araştırmacıların elde etmiş olduğu bu sonuçların, çalışma bulgularından daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun muhtemel nedeni 2020-2021 yetiştirme sezonunda bölgenin diğer yıllara göre daha az yağış almasından kaynaklanmaktadır. Yağışa dayalı olarak yemlik kolza yetiştiriciliği yapıldığı için sezonda yağışın azlığı, yemlik kolzada verimin (bitki boyu, yeşil ot ve kuru verimi) az olmasına yol açmıştır. Uzun yıllar ortalaması olarak Bingöl ili Eylül ayından bir sonraki Nisan ayına kadar ortalama 819 mm yağış alırken, yemlik kolzanın tarlada olduğu 2019 yılının Eylül ayından 2020 yılının Nisan ayına kadar bölge toplam 498 mm yağış almıştır. Kısacası bölge, 2020-2021 yetiştirme sezonunda uzun yıllar ortalamasının yarısı kadar yağış almıştır [8]. Bu durumun yemlik kolzada verim düşüklüğüne yol açtığı düşünülmektedir.

Farklı ekim normlarının yemlik kolzanın ham protein, ADF, NDF, sindirilebilir kuru madde oranları ve nispi yem değeri üzerindeki etkisi Tablo 2’de verilmiştir. Farklı ekim normlarının istatistiksel olarak, yemlik kolzanın ham protein, ADF, NDF ve sindirilebilir kuru madde oranları ile nispi yem değeri üzerindeki etkisinin önemsiz olduğu görülmüştür.

Çalışmada yemlik kolzanın ham protein oranı %11.3-12.6 arasında değişim göstererek ortalaması %11.8, ADF oranı %42.3-43.7 arasında değişim göstererek ortalaması %43.0, NDF oranı %54.2-56.7 arasında değişim göstererek ortalaması %55.8, sindirilebilir kuru madde oranı %54.9-55.9 arasında değişim göstererek ortalaması %55.4 ve nispi yem değeri de 90.4-96.2 arasında değişim göstererek ortalaması 92.6 olarak elde edilmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Ekim normlarının yemlik kolzanın ham protein, ADF, NDF, SKM oranları ve NYD değerleri üzerindeki etkisi

Ekim normu (g da ⁻¹)	HP (%)	ADF (%)	NDF (%)	SKM (%)	NYD
400	11.5	43.7	56.5	54.9	90.4
800	11.9	42.6	55.2	55.8	94.0
1200	11.3	43.3	56.7	55.2	90.5
1600	12.6	42.3	54.2	55.9	96.2
2000	11.7	43.0	56.1	55.4	92.0
2400	11.9	43.1	55.8	55.3	92.5
Ortalama/Mean	11.8	43.0	55.8	55.4	92.6
CV (%)	4.19	2.83	2.20	1.71	3.88

Daha önce yemlik kolzanın kalite özellikleri ile ilgili yapılan çalışmalara bakıldığında; Balıkesir ekolojik koşullarında farklı olgunlaşma dönemlerinde hasat edilen yemlik kolzanın ham protein, ADF, NDF ve SKM oranları ile nispi yem değerinin sırasıyla %6.93-21.12, %23.48-56.75, %36.08-77.16, %44.69-70.61 ve 54.04-181.61 arasında değiştiği [17], Bingöl ekolojik koşullarında farklı sıra arası mesafelerde ekilen yemlik kolzanın ham protein, ADF, NDF ve SKM oranları ile nispi yem değerinin sırasıyla %15.5-18.1, %40.7-44.1, %46.4-50.5, %54.5-57.2 ve 101.8-114.9 arasında değiştiği [13], Samsun ekolojik koşullarında kışlık olarak ekilen yemlik kolzanın ham protein, ADF, NDF oranları ile nispi yem değerinin sırasıyla %14.7-21.0, %29.5-33.0, %36.5-41.5 ve 141.4-167.6 arasında değiştiği [14], Siirt ekolojik koşullarında farklı azot dozları ile gübrelenen yemlik kolzanın ham protein, ADF ve NDF oranlarının sırasıyla %8.68-11.21, %47.49-52.33 ve %54.59-64.00 arasında değiştiği [15] ve Bingöl ekolojik koşullarında farklı ekim zamanlarında ekilen yemlik kolzanın ham protein, ADF, NDF ve SKM oranları ile nispi yem değerinin sırasıyla %14.3-15.7, %31.1-40.7, %37.9-47.5, %57.2-64.7 ve 115.0-158.8 arasında değiştiği [16] bildirilmiştir.

Genel olarak mevcut çalışmadan elde edilen bulguların, araştırmacıların elde etmiş oldukları bulgular ile yakınlık gösterdiği görülmektedir. Hasat zamanlarının farklılığı ve bölgelerin sahip olduğu ekolojik koşullara (özellikle yağış miktarları) bağlı olarak ham protein, ADF ve NDF oranlarında bir miktar farklılıkların olması olasıdır. Ayrıca 2020-2021 yetiştirme sezonunda bölgenin az yağış alması bitkilerin vejetatif olarak tam potansiyellerini göstermeden generatif döneme geçmelerine, daha erken olgunlaşmalarına neden olarak ham protein oranlarının biraz daha düşük, ADF ile NDF oranlarının daha yüksek ve dolayısıyla sindirilme oranları ile nispi yem değerlerinin biraz düşük olmasına yol açtığı ön görülmektedir.

Farklı ekim normlarının yemlik kolzanın fosfor, potasyum, kalsiyum ve magnezyum oranları üzerindeki etkisi Tablo 3'te verilmiştir. Farklı ekim normlarının yemlik kolzanın fosfor, potasyum ve kalsiyum oranları üzerindeki etkisinin önemli, magnezyum oranı üzerindeki etkisinin ise istatistiksel anlamda önemsiz olduğu görülmektedir.

Tablo 3. Ekim normlarının yemlik kolzanın P, K, Ca ve Mg oranları üzerindeki etkisi

Ekim normu (g da ⁻¹)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
400	0.26 d**	1.71 d**	1.27 c*	0.22 öd
800	0.29 ab	1.99 b	1.44 a	0.23
1200	0.27 cd	1.80 cd	1.32 bc	0.22
1600	0.30 a	2.17 a	1.33 bc	0.21
2000	0.28 abc	1.87 bc	1.34 bc	0.21
2400	0.28 bc	1.74 cd	1.37 ab	0.21
Ortalama/ <i>Mean</i>	0.28	1.88	1.34	0.21
CV (%)	3.41	3.76	3.16	4.01

*: P≤0.05, **: P≤0.01 düzeylerinde önemli, öd: önemli değil

En düşük fosfor, potasyum ve kalsiyum oranları 400 g da⁻¹ ekim normundan, en yüksek fosfor ve potasyum oranlarının 1600 g da⁻¹, en yüksek kalsiyum oranı ise 800 g da⁻¹ ekim normu uygulamalarından alındığı görülmektedir (Tablo 3).

Çalışmada yemlik kolzanın ortalama fosfor oranı %0.28, potasyum oranı %1.88, kalsiyum oranı %1.34 ve magnezyum oranı %0.21 olarak elde edilmiştir. Daha önce yapılan çalışmalarda; İran ekolojik koşullarında yemlik kolzanın P, K, Ca ve Mg içeriklerinin sırasıyla %1.02, %1.17, %0.67 ve %0.56 olarak elde edildiği [18], Bingöl ekolojik koşullarında yemlik kolzanın P, K, Ca ve Mg içeriklerinin sırasıyla %0.33-0.35, %1.83-2.18, %1.23-1.31 ve %0.19-0.23 arasında değiştiği [13], Samsun ekolojik koşullarında yemlik kolzanın P, K, Ca ve Mg içeriklerinin sırasıyla %0.34-

0.39, %2.55-2.87, %1.44-1.54 ve %0.29-0.40 arasında değiştiği [14], Siirt ekolojik koşullarında yemlik kolzanın P içeriğinin %0.23-0.27, K içeriğinin %2.19-2.49, Ca içeriğinin %1.39-1.55 ve Mg içeriğinin %0.16-0.18 arasında değiştiği [15] ve Bingöl ekolojik koşullarında yemlik kolzanın P, K, Ca ve Mg içeriklerinin sırasıyla %0.31-0.41, %1.51-2.71, %1.24-1.38 ve %0.21-0.31 arasında değiştiği [16] bildirilmiştir. Araştırmacıların elde etmiş olduğu bu bulguların, çalışma bulguları ile büyük oranda benzerlik gösterdiği görülmektedir.

4. Sonuç ve Öneriler

Yemlik kolza için uygun ekim normunun belirlenmeye çalışıldığı bu çalışmada verim açısından en yüksek bitki boyu, yeşil ot ve kuru ot verimlerinin 1600, 2000 ve 2400 g da⁻¹ ekim normu uygulanan parsellerden alındığı belirlenmiştir. Kalite açısından ekim normlarının ham protein, ADF, NDF, sindirilebilir kuru madde oranları ve nispi yem değerleri üzerinde, istatistiksel anlamda herhangi bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Element içeriği açısından ise en yüksek fosfor ve potasyum oranlarının 1600 g da⁻¹ ekim normu uygulanan parsellerden alındığı belirlenmiştir. Bu bilgiler ışığında yemlik kolza için farklı bölgelerin iklim ve toprak koşulları göz önünde bulundurularak Bingöl ili ve benzer ekolojik koşullarda 1600-2400 g da⁻¹ arasında tohumluk kullanılmasının daha avantajlı olduğunun sonucuna varılmıştır.

5. Teşekkür ve Katkı Beyanı

Bu çalışma, Bingöl Üniversitesi Pilot Üniversite Koordinasyon Merkez Birimi Tarafından (Proje No: PİKOM-Bitki.2019.001) desteklenmiştir. Verilen destekten dolayı Pilot Üniversite Koordinasyon Merkez Birimine teşekkür ederiz. E.Ç., K.K. ve S.M.: Çalışmanın dizayn edilmesi, veri analizi ve makale yazımı. M.A.K., S.Ö., M.E. ve R.U.: Arazi çalışmaları, laboratuvar çalışmaları ve makale yazımı.

6. Kaynaklar

- [1]. Avcıoğlu, R., Hatipoğlu, R., Karadağ, Y., "Yem Bitkileri Genel Bölüm Cilt I", Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Tarımsal Üretim ve Geliştirme Genel Müdürlüğü, İzmir., 2009
- [2]. Kurt, O., "Tarla Bitkileri Yetiştirme Tekniği", Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ders Kitabı No:44, Samsun., 2012
- [3]. Serin, Y., Tan, M., "Yem Bitkileri Kültürüne Giriş", Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Yayınları No: 206, Erzurum., 2001
- [4]. Açıkgöz, E., "Yem Bitkileri I. Cilt", Tarım ve Orman Bakanlığı Bitkisel Üretim Genel Müdürlüğü, Ankara., 2021
- [5]. Avcıoğlu, R., Hatipoğlu, R., Karadağ, Y., "Yem Bitkileri Buğdaygil ve Diğer Familyalardan Yem Bitkileri Cilt III", Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Tarımsal Üretim ve Geliştirme Genel Müdürlüğü, İzmir., 2009
- [6]. Soya, H., Avcıoğlu, R., Geren, H., "Yem Bitkileri", Hasad Yayıncılık, İstanbul., 2004
- [7]. Açıkgöz, E., "Yem Bitkileri Yetiştiriciliği", Süttaş Süt Hayvancılığı Eğitim Merkezi Yayınları No:8, Bursa., 2013
- [8]. MGM., "Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü", <http://www.mgm.gov.tr>, 2021
- [9]. Çaçan, E., Kutlu, M. A., Uçar, R., Özdemir, S., Ekmekçi, M., Mokhtarzadeh, S., Kökten, K., "Yemlik Kolzanın Farklı Ekim Normlarının Bazı Verim Özelliklerine Etkisi ve Arı Merası Olarak Değerlendirilmesi", **Uludağ Arıcılık Derg.**, 22, 5–15, 2022
- [10]. Anonim., "Tarımsal Değerleri Ölçme Denemeleri Teknik Talimatı", Fiğ Türleri (*Vicia L. species*), Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Tohumluk Tescil ve Sertifikasyon Merkezi Müdürlüğü, Ankara., 2001
- [11]. Morrison, J. A., "Hay and pasture management", Chapter 6. In: Illinois Agronomy Handbook, 72., 2003
- [12]. JMP., "Statistical Discovery from SAS", USA., 2018
- [13]. Cacan, E., Kokten, K., "The Effect of Different Row Spacing on the Yield and Quality of Forage Rape (*Brassica napus L. ssp. oleifera* Metzg)", **Eurasian J. Biol. Ecol.**, 2, 7–13, 2017

- [14]. Zeybek, S., "Kışlık Ara Ürün Olarak Yemlik Kolza (*Brassica napus* L.) ve Bazı İkili Karışımlarının Yem Verimi ve Kalitesinin Belirlenmesi", Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Samsun., 2017
- [15]. Özyazıcı, M. A., Açıkbaş, S., Turhan, M., "Yemlik Kolza (*Brassica napus* L. ssp. *oleifera* Metzg)'da Bazı Tarımsal Özelliklerin Azotlu Gübrelemeye Göre Değişimi", **ISPEC Tarım Bilim. Derg.**, 4, 387–404, 2020
- [16]. Çaçan, E., Nursoy, H., "Yemlik Kolzanın (*Brassica napus* L. ssp. *oleifera* Metzg) Farklı Ekim Zamanlarına Göre Verim, Kalite ve Besin Elementleri İçeriklerinin Değişimi", **Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Derg.**, 24, 561–569, 2021
- [17]. Canbolat, Ö., "Farklı Olgunlaşma Dönemlerinin Kolza Otunun (*Brassica napus* L.) Potansiyel Besleme Değeri Üzerine Etkisi", **Ankara Üniversitesi Vet. Fakültesi Derg.**, 60, 145–150, 2013
- [18]. Khajali, F., Slominski, B. A., "Factors that affect the nutritive value of canola meal for poultry", **Poult. Sci.**, 91, 2564–2575, 2012