



Derleme Makalesi – Review Article

Geliş Tarihi / Received: 08/12/2025

Kabul Tarihi / Accepted: 02/03/2026

Yayın Tarihi / Published: 31/05/2026

Türkiye’de Endemizm ve Endemik Bitkilerin Korunması

Endemism and Conservation of Endemic Plants in Türkiye

Gökhan Bozkurt¹, Begüm Güler^{2*}, Meltem Bayraktar³

¹ Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Genetik ve Biyomühendislik Anabilim Dalı, Kırşehir, Türkiye, bozkurt.gokhan@ogr.ahievran.edu.tr, <https://orcid.org/0009-0004-9759-2889>

^{2*} Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Genetik ve Biyomühendislik Bölümü, Kırşehir, Türkiye, begum.guler@ahievran.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-9970-2111>

³ Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Genetik ve Biyomühendislik Bölümü, Kırşehir, Türkiye, meltem.bayraktar@ahievran.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-7569-6925>

Etik Beyan: Bu çalışmanın hazırlanma sürecinde bilimsel ve etik ilkelere uyulduğu ve yararlanılan tüm çalışmaların kaynakçada belirtildiği beyan olunur.

Yapay Zeka Etik Beyanı: Yazar bu makalenin hazırlanma sürecinin hiç bir aşamasında yapay zekadan faydalanılmadığını; bu konuda tüm sorumluluğun kendilerine ait olduğunu beyan etmektedir.

Çıkar Çatışması: Çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Finansman: Bu araştırmayı desteklemek için dış fon kullanılmamıştır.

Lisans: CC BY-NC 4.0

Ethical Statement: It is declared that scientific and ethical principles were followed during the preparation of this study and that all studies used are stated in the bibliography.

Artificial Intelligence Ethical Statement: The author declares that artificial intelligence was not utilized at any stage of the preparation process of this article and accepts full responsibility in this regard.

Conflicts of Interest: The author(s) has no conflict of interest to declare.

Grant Support: The author(s) acknowledge that they received no external funding to support this research.

License: CC BY-NC 4.0

Türkiye’de Endemizm ve Endemik Bitkilerin Korunması

ÖZ

Doğada bulunan yaşam türlerinin çeşitliliği olarak tanımlanan biyolojik çeşitlilik (biyoçeşitlilik), büyük çoğunluğu insan kaynaklı olan birçok tehlikeyle karşı karşıyadır. Yayılışı sınırlı olan bitkileri tanımlamak için kullanılan endemik bitkiler ise, biyoçeşitliliğin kaybındaki en önemli göstergelerdir. Türkiye’nin, endemizm oranının yüksek olduğu ülkeler arasında olması sebebiyle, sahip olduğu tür çeşitliliğinin korunması, biyoçeşitliliğin devamı için gereklidir. Dünya genelinde endemik bitkilerin korunmasında çok sayıda yöntem kullanılmaktadır. Temelde *ex-situ* (doğal yaşam alanı dışında) ya da *in-situ* (doğal yaşam alanında) olarak gerçekleştirilen bu yöntemlerden hangisinin kullanılacağı bitkinin türüne ve şartlara göre değişebilmektedir. Öncelikli olan bitkinin doğal yaşam alanında yayılışına devam etmesidir. Ancak yaşam alanının çeşitli sebeplerle kaybolması, bölgede yayılışa engel olan durumlar gibi sebeplerle alternatif yöntemler tercih edilebilmektedir. Geleneksel yöntemlerin yanı sıra, gelişen bitki biyoteknolojisi yöntemleri ile kriyopreservasyon uygulamaları ve *in vitro* mikroçoğaltım tekniklerinin kullanımı da endemik bitkilerin korunmasında etkili birer araçtır. Türkiye’de endemik bitkilerin *in vitro* çoğaltımı hem türlerin sürdürülebilir şekilde çoğaltılması hem de genetik kaynakların korunması için büyük bir potansiyele sahiptir. Endemik bitkilerin *in vitro* çoğaltımı yalnızca türlerin korunması açısından değil, aynı zamanda biyolojik çeşitliliğin sürdürülebilir kullanımı ve ekonomik değere dönüştürülmesi yönüyle de kayda değer bir önem taşımaktadır. Endemik bitkiler açısından oldukça zengin olan ülkemizde, bu bitkilerin korunması için etkili stratejilerin geliştirilmesi kritik bir rol üstlenmektedir.

Anahtar Kelimeler- Endemik, Biyolojik çeşitlilik, Endemizm, Bitki biyoteknolojisi, Kriyopreservasyon,

Öne Çıkanlar

- Türkiye biyolojik çeşitlilik açısından son derece zengin bir konumdadır.
- Türkiye’nin sahip olduğu bu biyolojik çeşitlilik, endemik bitki açısından da zengin bir ülke olmasını sağlamaktadır.
- Endemik bitkilerin korunmasında çok sayıda klasik yöntem kullanılmakla birlikte, bitki biyoteknolojisinde son yıllarda görülen hızlı gelişmeler alternatif yöntemlerin bu alanda da kullanımına imkân vermiştir.
- Endemik bitkilerin korunmasından kriyopreservasyon ve *in vitro* çoğaltım gibi yenilikçi yöntemlerin kullanımı ile ülkemiz sınırları içerisinde bulunan çok değerli endemik türlerin korunması ve biyoçeşitliliğe katılmasına olanak sağlanmaktadır.

Endemism and Conservation of Endemic Plants in Türkiye

ABSTRACT

Biodiversity, defined as the diversity of life forms found in nature, faces numerous threats, the vast majority of which are human-induced. Endemic plants, used to describe plants with limited distribution, are the most important indicators of biodiversity loss. Because Türkiye is among the countries with a high rate of endemism, preserving its diversity of species is essential for the maintenance of biodiversity. Numerous methods are used for the conservation of endemic plants worldwide. These methods, typically *ex-situ* (outside of natural habitat) or *in-situ* (in natural habitat), vary depending on the plant species and conditions. The priority is to ensure the plant's continued distribution in its natural habitat. However, alternative methods may be preferred due to habitat loss or regional barriers to its distribution. In addition to traditional methods, developing plant biotechnology methods, cryopreservation practices, and the use of *in vitro* micropropagation techniques are also effective tools for the conservation of endemic plants. *In vitro* propagation of endemic plants in Türkiye holds great potential for both the sustainable propagation of species and the conservation of genetic resources. *In vitro* propagation of endemic plants is of significant importance not only for species conservation but also for the sustainable use of biodiversity

and its conversion into economic value. Given the abundance of endemic plants in our country, developing effective strategies for their conservation plays a critical role.

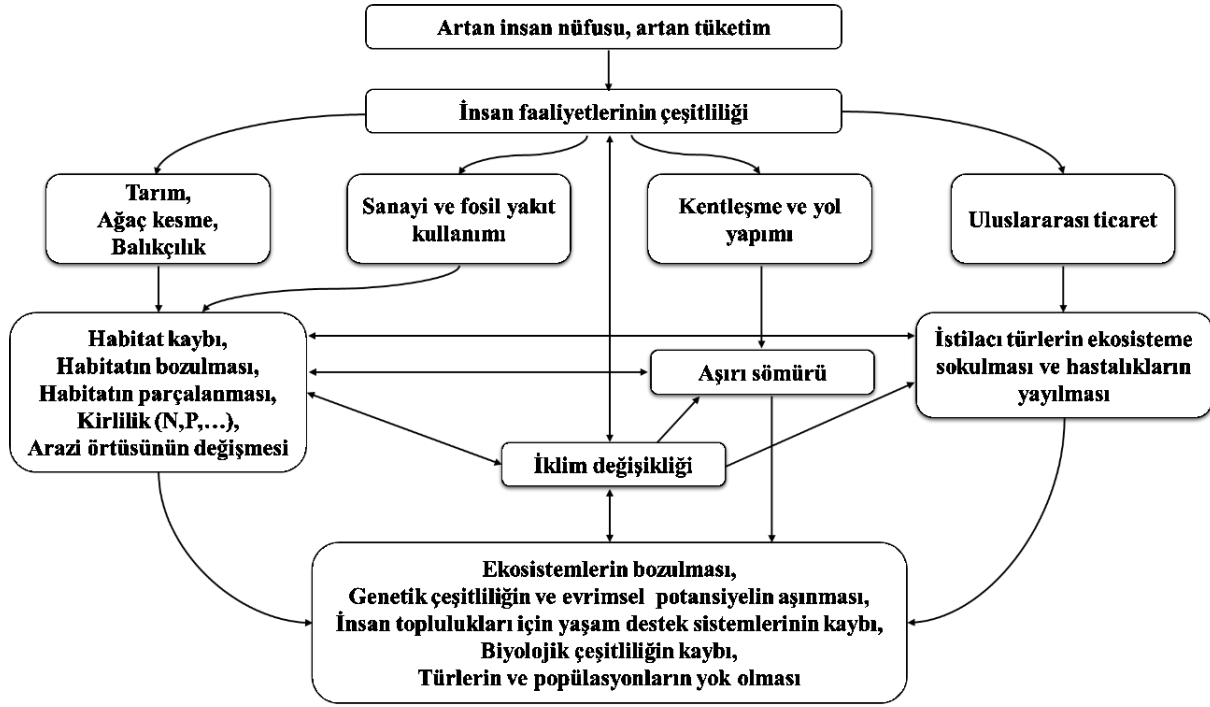
Keywords- Endemic, Biodiversity, Endemism, Plant biotechnology, Cryopreservation

Highlights

- Türkiye is in an extremely rich position in terms of biological diversity.
- This biological diversity that Türkiye has makes it a country rich in endemic plants.
- Although many classical methods are used in the protection of endemic plants, rapid developments in plant biotechnology in recent years have enabled the use of alternative methods in this field.
- The use of innovative methods such as cryopreservation and in vitro propagation in the conservation of endemic plants allows the conservation of valuable endemic species within our country and their contribution to biodiversity.

I. GİRİŞ

Ekosistemin önemli bir parçasını oluşturan bitkiler, dünyadaki yaşamlar için hayati öneme sahiptirler. Dünya genelindeki biyolojik kütlelerin yaklaşık %80'lik bir kısmını bitkiler oluşturmaktadır [1]. Ancak her yıl tehdit altındaki türlerin sayısının önemli ölçüde artmasından dolayı dünyada bitki biyoçeşitliliği her geçen yıl daha da risk altındadır [2]. Bitki dağılımı ve zenginliği açısından doğal popülasyonların ve hatta türlerin kaybına neden olan başlıca tehditler arasında; kirlilik ve iklim değişiklikleri sonucu yaşam alanlarının bozulması ve parçalanması, bitkilerin insanlar tarafından aşırı toplanması/sömürülmesi, istilacı yabancı türler, hava ve su kirliliği ve azot birikimi yer almaktadır. Bu tehditlerin çoğu insan kaynaklıdır ve tür ve dolayısıyla genetik çeşitliliğin kaybına yol açmaktadırlar (Şekil 1). Kaybolmaya yüz tutmuş bitkilerin çoğu endemiktir ve bir bölgede bulunan tüm türler arasında endemik taksonlar, en başta korunması gereken türleri temsil etmektedir. Çünkü genellikle küçük bir coğrafi aralıkta düşük yoğunlukta yayılışa sahiptirler ve bu durum yok oluşun habercisidir [2,3]. Biyolojik çeşitliliğin korunması, ekosistemlerin sürdürülebilirliği açısından temel bir gerekliliktir. Biyolojik çeşitliliğin önemli bir bileşenini oluşturan endemik bitkiler, yalnızca belirli bir coğrafi bölgeye özgü olmaları nedeniyle genetik, ekolojik ve bilimsel değer taşıdıklarından en öncelikli korunması gereken grup arasında yer almaktadır. Türkiye, üç farklı fitocoğrafik bölgenin kesişim noktasında yer alması nedeniyle iklimsel, topografik ve jeolojik çeşitlilik göstermektedir ve bu durum sayesinde son derece zengin bir bitki çeşitliliğine sahiptir. Türkiye'deki toplam bitki türlerinin yaklaşık üçte biri endemik nitelik göstermektedir. Ancak endemik türler, sınırlı yayılış alanları nedeniyle çevresel değişikliklere karşı son derece hassastırlar ve insan aktiviteleri nedeniyle endemik bitkilerin popülasyonları hızla azaltmakta ve birçok tür yok olma tehlikesiyle karşı karşıya kalmaktadır. Bu tehditlere karşı sürdürülebilir koruma stratejilerinin geliştirilmesi büyük ihtiyaç haline gelmiştir. Bu bağlamda, *in situ* korumanın mümkün olmadığı veya yeterli gelmediği durumlarda, *ex situ* koruma yöntemlerinden biri olan *in vitro* kültür teknikleri bitki dokularının steril koşullar altında yapay besin ortamlarında çoğaltılması ve uzun süreli muhafaza edilmesine olanak tanıyarak, genetik kaynakların sürekliliğini sağlamada etkili bir araç sunmaktadır. Bu derlemede, Türkiye'deki endemik bitki varlığı ve bu endemik bitkilerin korunması amacıyla yapılan *in vitro* çoğaltım çalışmalarına değinilecektir.



Şekil 1. Biyolojik çeşitliliği tehdit eden ve bir türün yok olmasına yol açan başlıca sebepler [4]

II. TÜRKİYE'DE ENDEMİZM

A. Endemik Nedir?

Yunanca “Indigenous endemos” yani “yerli” kelimesinden köken aldığı düşünülen ‘endemik’ ifadesi ilk kez 1855 yılında Augustin Pyranus de Candolle tarafından kullanılmıştır [1]. Doğal şekilde ve yalnızca belirli bir coğrafi bölgeye adapte olarak burada yayılış gösteren canlı tür veya organizma kategorileri “endemik” olarak tanımlanmaktadır. Bu coğrafi alan küçük bir alan olabildiği gibi ada, ülke, il, kıta gibi geniş bir alan da olabilmektedir [2,4,5]. Endemik türler, söz konusu alanın büyüklüğüne ve sınırlarına göre “yerel endemik” (küçük, yerel bir coğrafi alanla sınırlı), “il endemiği” (bir ilin sınırları içinde), “ulusal endemik” (sadece bir ülkenin sınırları içinde), “bölgesel endemik” (sadece belirli bir coğrafi bölgeyle sınırlı) ve “kıtasal endemik” (bir kıtayla sınırlı) olarak sınıflandırılabilir [4].

Endemik türlerin türleşmesi genellikle coğrafi engellerle veya organizmaların bulunduğu ortama güçlü bir şekilde uyum sağlamasını gerektiren benzersiz ekosistemlerle ilişkilidir. Belirli bir habitata (yaşam alanına) güçlü uyum sağlamaları ve sınırlı yayılış alanları nedeniyle, bu türler antropojenik (insan kaynaklı) ve doğal çevresel değişimlere karşı özellikle hassastır [6].

B. Türkiye'deki Endemik Bitki Varlığı

Üç ana kıtanın birleşme noktasında ve tarihi göç yolları üzerinde bulunması, tarih boyunca birçok medeniyet ev sahipliği yapması Anadolu'yu biyolojik çeşitlilik açısından zenginleştirmiştir. Topoğrafya, iklim ve jeomorfolojik çeşitliliğindeki avantajlarından dolayı habitat tiplerindeki zenginliği bitki türlerinin sayısına ve endemizm oranına yansımaktadır. Pek çok bitki ve hayvan türünün atalarının dünyaya bu topraklardan yayılmış olması Türkiye'yi jeo-biyotik önemi büyük bir ülke haline getirmiştir [7]. Çok çeşitli ekosistemlere ev sahipliği yapan ülkemizde yaklaşık 12.000 civarı bitki türünün bulunduğu, bu sayının ise üçte birinin endemik olduğu belirlenmiştir [8]. Türkiye'nin endemik tür bakımından en zengin familyaları sırasıyla; 572 endemik takson ile Asteraceae (Papatyagiller), 385 takson ile Fabaceae (Baklagiller) ve 326 takson ile Lamiaceae (Ballıbabagiller) familyalarıdır. Ayrıca 14 adet de endemik cins bulunmaktadır. Türkiye'deki endemizm oranı (%31.8) İspanya (%18), Yunanistan (%15), Fransa (%3) ve Polonya (sadece %0,1) gibi Avrupa ülkelerinden oldukça yüksektir. Türkiye endemik bitkiler çoğunlukla; Ilgaz Dağı, Amanos Dağları, Orta Toroslar, Bolkar ve Aladağlar, Kaz Dağı, Taşeli Yaylası, Uludağ, Gümüşhane ve Erzincan arasındaki dağlar, Munzur Dağları ve Tuz Gölü ve tuzlu bozkırları gibi belirli alanlarda yoğunlaşmıştır [5] (Şekil 2).

Anadolu, çeşitli iklim koşullarına ve karmaşık bir topografik yapıya sahip olması nedeniyle biyoçeşitlilik açısından zengindir. Bu durum endemik bitki çeşitliliğini de arttırmakta ve bölgeyi ekolojik açıdan dikkat çeker hale getirmektedir. Bu bölge, küresel açıdan değerlendirildiğinde yüksek koruma öncelikli üç önemli biyoçeşitlilik sıcak noktasının kesişimindedir. Ancak yapılan mekânsal değerlendirmelerin yetersiz olduğu ve kapsamlı çalışmalara ihtiyaç olduğu araştırmacılar tarafından belirlenmiştir. Küresel ısınma ve iklim değişimleri Anadolu

biyoçeşitliliği üzerinde etkili olmakta ve endemizim seviyelerini arttırmaktadır. Ancak Türkiye'nin "Çevresel Performans Endeksi- Environmental Performance Index" de "Biyçeşitlilik ve Habitat" kategorisinde 180 ülke arasından 178. sırada olması hazırlıklı olunmadığının ve çok sayıda çalışmaya ihtiyaç duyulduğunun bir göstergesidir [9].

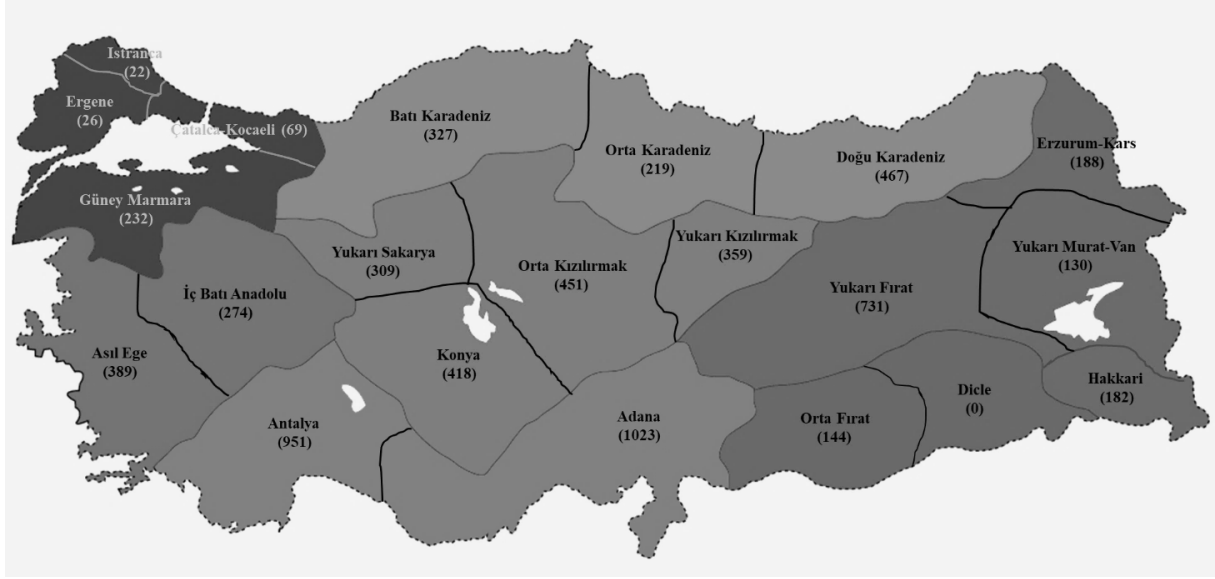
"Flora of Turkey and The East Aegean Islands" isimli çalışmada Türkiye florasında toplam 9.222 tür ve 12.006 takson bulunduğu kaydedilmiştir. Bu türlerden, 2981'inin endemik olduğu ifade edilmiştir. Son araştırmalara göre floramızda 3.963'ü endemik olmak üzere toplam 12.476 takson bulunmaktadır. Bu sayıyla Türkiye komşusu olan tüm ülkelerden ve Avrupa'daki her bir ülkeden daha zengin bir floraya sahiptir [10].

Buğday, yulaf, arpa, çavdar, keten, nohut, mercimek ve bezelye gibi bazı tarla bitkileri, yonca, korunga, üçgül, fiğ ve buğdaygil yem bitkileri gibi bazı mera bitkileri, üzüm, kiraz, erik, kayısı, incir ve badem gibi bazı bahçe bitkilerinin endemik taksonları dünyayı besleyen kültür bitkilerinin akrabalarıdır [5].

C. Türkiye'deki Endemik Bitkilerin Yayılmı

Yedi Coğrafi bölgeden biri olan Akdeniz Bölgesi en çok sayıda endemik türe sahiptir. Türkiye'deki 7 coğrafi bölgeye göre dağılımlarına bakıldığında, en yüksek sayı ve oranda endemik bitki dağılımına sahip bölgenin Akdeniz Bölgesi (3321 endemik lokasyonu ve %34,3 oranla), en az ise Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin (246 endemik lokasyonu ve %2,5 oranla) olduğu belirlenmiştir (Şekil 2) [11]. Bölümlere göre endemik bitkilerin sayıları incelendiğinde en yüksek endemik sayısı ve oranına sahip bölümün Adana Bölümü (1023) olduğu bunu Antalya Bölümü'nün (951) takip ettiği görülmektedir (Şekil 2). En az endemik bulunan bölümler ise sırasıyla Istranca (22), Ergene (26) ve Çatalca-Kocaeli (69)'dir [5,12].

Endemik bitkilerin illere göre dağılımına incelendiğinde en yüksek endemik sayı ve oranına sahip ilin Antalya (862 endemik bitki lokasyonu ve %8,9'lık bir oran) olduğu rapor edilmiştir [11]. Antalya ili 587 endemik bitki türüyle endemizim bakımından bölgenin ve Türkiye'nin en zengin ilidir [5]. Antalya'yı sırasıyla; Mersin (462 endemik bitki lokasyonu ve %4.8'lik bir oran), Konya (458 endemik bitki lokasyonu ve %4.7'lik bir oran), Sivas (413 endemik bitki lokasyonu ve %4.3'lük bir oran), Kayseri (337 endemik bitki lokasyonu ve %3.5'lik bir oran) ve Muğla (313 endemik bitki lokasyonu ve %3.2'lik bir oran) takip etmektedir. Endemik taksonların en az olduğu iller sırasıyla; Bartın (0 lokasyon), Yalova (1 endemik bitki lokasyonu ve %0'lık bir oran), Edirne (1 endemik bitki lokasyonu ve %0'lık bir oran), Düzce (3 endemik bitki lokasyonu ve %0'lık bir oran) ve Zonguldak (5 endemik bitki lokasyonu ve %0.1'lik bir oran) olarak belirlenmiştir [11]. Türkiye'de bitki endemizmi bakımından öne çıkan başlıca iki merkez batıda Antalya ve doğuda Erzincan çevresidir. Antalya, Toros Dağları'nın güney yamaçlarında yüksek dağ kütleleri ile Akdeniz arasında sıkışmış özgün topoğrafyası sayesinde kısa mesafelerde keskin yükselti değişimleri, güçlü mikroiklim farklılıkları ve karmaşık habitat mozaikleri sunarak yüksek bir yerel türleşme ve endemizim oranı geliştirmiştir. Erzincan ve yakın çevresi ise Yukarı Fırat Havzası'ndaki konumu, 850–3550 m arasında değişen belirgin yükselti gradyanı, İran-Turan fitocoğrafik bölgesi içindeki yeri ve Anadolu Çaprazı üzerindeki stratejik konumu ile benzer şekilde dikkat çekici bir endemizim merkezi durumundadır. Özellikle Munzur Dağları ve Keşiş Dağı gibi yüksek kütlelerin varlığı; serpantin, kalker ve jipsli substratlar başta olmak üzere farklı jeolojik birimlerin kısa mesafelerde yan yana bulunması; buna bağlı gelişen habitat çeşitliliği ve izolasyon mekanizmaları bölgede türleşme süreçlerini güçlü biçimde desteklemiştir. Bu bütüncül biyocoğrafik ve ekolojik çerçevede değerlendirildiğinde, Türkiye'de endemizmin en yoğunlaştığı alanların batıda Antalya ve doğuda Erzincan odaklı olarak kümelenildiği ve her iki ilin ülke florası açısından birincil endemizim merkezleri arasında yer aldığı açıkça görülmektedir. [13].



Şekil 2. Yedi coğrafi bölgenin bölümleri ve bu bölümlerde bulunan endemik takson sayıları [5,12]. (Parantez içindeki sayılar takson sayılarını belirtmektedir)

III. TÜRKİYE VE DÜNYADA ENDEMİK BİTKİLERİ KORUMA ÇALIŞMALARI

Dünya genelinde olduğu gibi, ülkemizde de çeşitli faktörler nedeniyle biyolojik çeşitlilik ve endemik türler yok olma riskiyle karşı karşıya kalmış, bu durum onların korunmasını zorunlu hale getirmiştir [14]. Uluslararası Doğayı Koruma Birliği (International Union for the Conservation of Nature-IUCN) (2022) kriterlerine göre Türkiye bitki zenginliğini oluşturan yaklaşık 117 endemik türün “Çok tehlikede (Critically Endangered-CR)”, 155 endemik türün “Tehlikede (Endangered-EN)” kategorisinde yer aldığı bildirilmiştir. 19 ve 20. yüzyıllarda Türkiye’deki 8 endemik bitki türün ise soyunun tükendiği belirlenmiştir. Bu durum biyolojik çeşitliliğin korunmasını, araştırılmasını ve akılcı kullanılmasını gerekli kılmaktadır [7].

Endemik bitkiler buldukları coğrafyada, kendi habitatlarında ulusal politika ve çıkarların ötesinde, uluslararası sözleşmeler gereği korunmak zorundadırlar. Türkiye’de bu değerlerin korunması ve sürdürülebilir kullanımı konusunda 2007 yılında uygulamaya konulan “Ulusal Biyolojik Çeşitlilik Stratejisi ve Eylem Planı” çerçevesine bu taksonların bir plan çerçevesinde tespiti, planlaması, izlenmesi ve korunması çalışmaları başlatılmış fakat çalışmalarda yeterince hızlı ilerleme kaydedilememiştir [7].

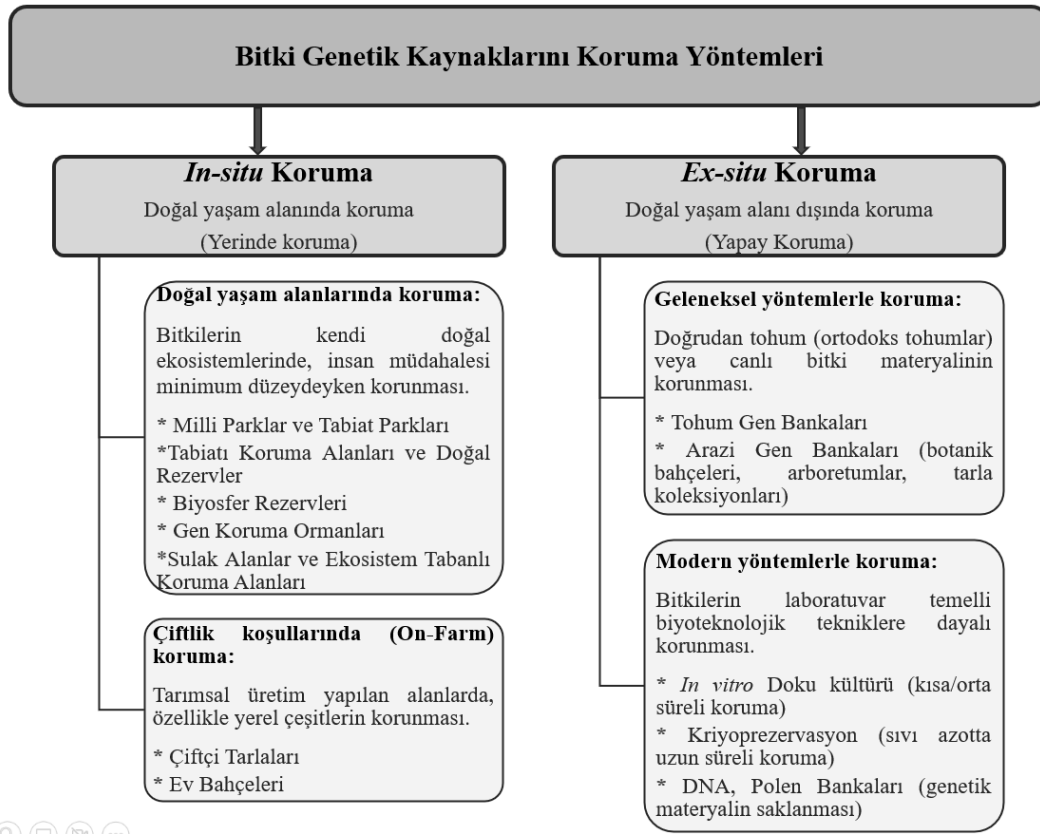
Başta çoğunluğu dar ve sınırlı yayılışa sahip endemikler olmak üzere dünyada üzerindeki bitki türlerinin korunmaları konusunda son yıllarda oldukça ciddi çalışmalar yapılmakta olup korunma önceliği nesli kaybolma tehdidi altında olan türlere verilmektedir (Tablo 1). Bu amaçla IUCN, Dünya Doğal Yaşamı Koruma Vakfı (World Wide Fund for Nature- WWF) gibi kuruluşların faaliyetleri yanında, her ülke kendi bitki türlerini korumaya yönelik çeşitli önlemler almaktadır. Ülkemizde de bu amaçla “Türkiye’nin Önemli Bitki Kaynakları” yayını, “Türkiye Bitkileri Kırmızı Kitabı (Eğrelti ve Tohumlu Bitkiler)” ve ilk baskısı 2012 olan “Türkiye Bitkileri Listesi, Damarlı Bitkiler” kitapları yayınlanmış ve tehdit altındaki bitki türlerinin listesi ve tehdit kategorileri belirlenmiştir. Bu çalışmalar ülkemizdeki bitki çeşitliliğinin belirlenmesi ve korunmasına yönelik önemli çalışmalar [14].

Tablo 1. IUCN’nin Kırmızı Liste çalışmalarında kullanılan kategoriler ve yaygın kısaltmaları [15]

EX	Extinct- Soyu Tükenmiş	
EW	Extinct in the Wild- Doğada Soyu Tükenmiş	
RE	Regionally Extinct- Bölgesel Ölçekte Soyu Tükenmiş	
CR	Critically Endangered- İleri Düzeyde Tehlikede	
EN	Endangered- Tehlike Altında	Threatened - Tehdit Altında
VU	Vulnerable- Hassas	
NT	Near Threatened- Tehlike Sınırına Yakın	
LC	Least Concern- En Az Endişe	
DD	Data Deficient- Yetersiz Veri (Durumu Belirsiz)	
NA	Not Applicable- Uygulanamaz	
NE	Not Evaluated- Değerlendirilmemiş	

C. Endemik Bitki Türlerinin Korunma Yöntemleri

Günümüzde bitki biyoçeşitliliğinin korunmasında birbirini tamamlayan *in situ* (doğal habitatında/yerinde koruma) ve *ex situ* (doğal habitatı/yaşam alanı dışında koruma) koruma yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır [16,17]. Nesli tehlike altındaki bitkilerin korunmasında öncelikli olan yöntem, bitkinin doğal yayılış alanı içerisinde sürdürülebilirliğinin sağlanmasıdır [17]. Yani biyolojik çeşitliliğin orijinal genetik ve coğrafi merkezleri korunduğundan *in situ* koruma endemik türler de dahil olmak üzere türlerin korunması için en uygun koruma yaklaşımıdır [2]. Ancak endemik bitki türünün yaşam alanı kaybı, yayılış alanının bir kısmının tarım arazileri içerisinde kalması, mera alanında olması gibi durumlarda doğal yayılış alanında sürdürülebilirliği zorlaştırmaktadır [3,17]. Ayrıca nadir, tehlike altındaki ve endemik bitki türlerinin *in situ* korunması oldukça maliyetlidir [16]. Daha etkili bir koruma programı için, *in situ* korumayı tamamlayacak ve destekleyecek farklı stratejiler ve yöntemler uygulanması daha uygundur. Hatta bazen nadir ve endemik türlerin korunması için tek seçenek *ex situ* koruma olabilmektedir [2]. Bu yüzden, *in situ* korumanın mümkün olmadığı durumlarda botanik bahçeleri, tohum bankaları, *in vitro* teknikler ve kriyopreservasyon gibi *ex situ* teknikler bir taksonun tamamen yok olmasının önlenmesinde değerli bir çözüm olabilmektedir [3,17] (Şekil 3).



Şekil 3. Bitki genetik kaynaklarının korunmasına yönelik genel yaklaşımlar

1) *Modern ex situ koruma yöntemleri*: mikroçoğaltım, somatik embriyogenez, yavaş büyütme ve kriyopreservasyon (bitki materyalini düşük sıcaklıkta ve sıvı azotta depolama) gibi *in vitro* kültür teknikleri ile DNA depolama, polen depolama gibi tekniklerden oluşmaktadır [14,18].

2) *In vitro kültür teknikleri ile ex-situ koruma yöntemleri*: *In vitro* kültür teknikleri, dünya genelinde genetik kaynakların korunması ve değiş tokuşuna yönelik geliştirilen stratejilerin en önemli parçasıdır [19]. *In vitro* kültür teknikleri, bitki germplazminin yapay besin ortamlarında, steril ve kontrollü çevre koşulları altında, sınırlı bir alanda, hastalıktan arı bir şekilde çok sayıda muhafazasına imkan sağlamaktadır. Bitkisel materyallerin, steril bir ortamda, enfeksiyon riski olmadan veya kötü hava koşullarının verebileceği bir zarar olmadan korunması ve varyetelerin bütün bir yıl boyunca kullanıma hazır olması *in vitro* koşullarda depolamanın avantajlarıdır [20].

Yavaş büyütme: “Azaltılmış ya da minimal büyüme” olarak bilinen yavaş büyütme tekniği, hücre bölünmesinin ve bitki metabolizmasının azaltılması ile uygulanmaktadır. Bu yöntemde bütüme tamamen durdurulmamakta ancak altkültürleme için gereken süre artmaktadır. *Yavaş büyütme yöntemleri ile bitki materyalleri doku kültürü koşulları altında periyodik altkültürlerle birkaç yıl muhafaza edebilmektedirler. In vitro* koşullarda büyümenin yavaşlatılması genellikle çevresel koşullar ve/veya besin ortamları modifiye edilerek gerçekleştirilmektedir [19].

In vitro koşullarda büyümenin yavaşlatılması 3 yolla gerçekleştirilmektedir:

- Sıcaklık ve ışık koşulları azaltılarak oluşturulan fiziksel yöntem: Bitkisel materyallerin büyümelerini sınırlandırmada en yaygın kullanılan teknik, düşük ışık yoğunluğu veya karanlık ile düşük sıcaklık uygulamalarının birleştirilmesidir. Soğuğa dayanıklı türlerde 0-5°C aralıklarındaki sıcaklıklar, soğuğa hassas tropik türlerde ise 15-20°C aralıklarındaki sıcaklıklar kullanılmaktadır. Örneğin, Muz bitkisine ait *in vitro* bitkicikler 15°C'de altkültür yapılmadan 15 aya kadar depolanabilirken, manyok bitkisi soğuğa karşı daha hassas olduğundan sürgün kültürleri 20°C'den daha yüksek sıcaklıklarda muhafaza edilmelidirler [14,20–25].
- Besin ortamında değişikliklerin yapıldığı kimyasal yöntem: Büyümenin sınırlandırılması aynı zamanda, besin ortamının modifiye edilmesi ile de mümkündür. Bu tür yaklaşımlarda, çoğunlukla şeker ve/veya mineral element konsantrasyonları düşürülmekte, büyüme düzenleyicilerinin konsantrasyon ve/veya çeşidinde değişiklikler yapılmakta, absisik asit (ABA) gibi büyüme gerileticileri uygulanmakta, ozmotik aktif bileşikler ilave edilmekte ve eksplantlar sıvı besin ortamı tabakası veya mineral yağ ile kaplanarak mevcut oksijen seviyesi azaltılabilmektedir. Nem %40-50 arasında olmalıdır. Büyüme gerileticilerin bitki morfolojisini değiştirmesi ve DNA metilasyonu ve somaklonal varyasyonları oluşturabilmesi dezavantajlarıdır [14,20–25].
- Bu ikisinin kombinasyonu ile oluşturulan yöntemler: Yavaş büyüme amacıyla çoğunlukla sıcaklığın düşürülmesi, mineral maddelerin ve ortamdaki karbon kaynağı konsantrasyonunun azaltılmasıyla birlikte düşük ışık yoğunluğu kullanılması gibi fiziksel ve kimyasal faktörlerin kombinasyonu ile gerçekleştirilmektedir [14].

Yavaş büyüme teknikleri, patates, muz, manyok gibi hem ılıman hem de tropik orijinli çok sayıda türün ve türüne ender rastlanan ve tehlike altındaki türlerin kısa ve orta süreli muhafazasında rutin olarak uygulanmaktadır [20,23]. Yavaş büyüme prosedürlerinde, türlere bağlı olarak bitkisel materyaller periyodik altkültürlemelerle doku kültürü koşullarında 1-15 yıla kadar saklanabilmektedirler. Ayrıca, depolanan bitkilere ıslah, çoğaltım vb. amaçlarla ihtiyaç duyulduğunda hızlı bir şekilde çoğaltılıp ihtiyaç duyulan yerlere kolay bir şekilde dağıtımı yapılabilir. Genellikle yavaş büyüme ile depolama için sürgünler gibi organize olmuş kültürler kullanılmaktadır çünkü kallus gibi farklılaşmamış dokular somaklonal varyasyonlara daha meyillidirler [21,22,24,25]. Yavaş büyüme tekniklerinin bir diğer avantajı da, mikroçoğaltım için kullanılan temel tekniklerin yavaş büyüme için de geçerli olması ve depolamada da bu tekniklerin modifikasyonlarının kullanılmasıdır. Bununla beraber mikroçoğaltım için geçerli olan yüksek laboratuvar maliyeti yavaş büyüme teknikleri için de söz konusudur ayrıca, *in vitro* kültürlerin somaklonal varyasyon riski taşıdığı da unutulmamalıdır [14]. Yavaş büyümenin bu dezavantajlarından dolayı son yıllarda bitki germplazmalarının uzun süreli muhafazasında kriyopreservasyon (dondurarak saklama) ön plana çıkmaktadır.

3) Kriyopreservasyon ile ex-situ koruma yöntemleri: Kriyopreservasyon, bitki hücre, doku ve organlarının laboratuvar koşullarında sıvı azot (LN, -196°C) veya sıvı azot buharı (LNV, yaklaşık -165 ila -195°C) içerisinde canlılığını kaybetmeden tekrar kullanılmak üzere ultra düşük sıcaklıklarda saklanması işlemidir [20,23,26].

Biyolojik sistemlerdeki kinetik enerjiyi ve moleküler hareketleri en aza indiren, hatta tamamen durduran aşırı düşük sıcaklıkların etkilerinden yararlanılarak gerçekleştirilen kriyopreservasyon tekniğinde madde taşınımı, enzimatik reaksiyonlar ve dolayısıyla yaşlanma hızı azaltılmaktadır [27]. Böylece bitkisel materyallerin hücre bölünmesi ve metabolik faaliyetleri en aza indirilmekte ve genetik modifikasyon veya değişiklik olmaksızın genetik bütünlük uzun süreli muhafaza edilebilmektedir. İhtiyaç duyulduğunda rejenerasyonla bu dokulardan yeniden bitki çoğaltılabilmektedir. Temel avantajı basitliği ve çok sayıda genotip için uygulanabilir olmasıdır [18,20,22,23].

Kriyopreservasyonun çok sayıda avantajı vardır. Uzun süreli saklamaya imkan veren bu yöntem, küçük alanlarda uygulanabilen ekonomik bir tekniktir. Ayrıca Ortodoks tohumlara da uygulanabilir olması, tekniği önemli bir alternatif haline getirmektedir [28]. Kriyopreservasyon sırasında ne somaklonal varyasyon ne de gametoklonal varyasyon görülmemektedir. Bu durum da genetik olan uniform klonların üretimine imkan veren bir vejetatif üretim tekniği sağlamaktadır [19].

Kriyopreservasyonda hücrelerin, dokuların veya organların işlevsel bütünlüğünün korunabilmesi için; protein ve zar işlevleri açısından önemli olan su moleküllerinin miktarı ve konumu uygun şekilde kontrol edilmelidir. Kriyopreservasyon ile başarılı bir koruma sağlanabilmesi için, biyolojik sistemlerin mümkün olduğunca az hücre su içeriği gerekir [26]. Aksi takdirde, 0 ile -40°C arasında su molekülleri buz kristallerine dönüşmekte ve hacimce genişleyen bu kristaller, hücre zarlarını parçalayarak onların yarı geçirgenlik özelliğini kaybetmesine ve hücre ölümüne yol açmaktadırlar [27]. Bu nedenle, bitki dokularının sıvı azot içerisinde dondurulması süreci, dokulardaki suyun, buz kristallerinin oluşumunu engelleyen ve hücre bütünlüğü koruyan

kriyo-koruyucu ajanlar ile yer değiştirmesini zorunlu kılar [18]. Suyun hücreler arası transportu ve ozmotik denge kriyopreservasyonda kritik adımı oluşturmaktadır. Donma sürecinde oluşabilecek hasarın önüne geçilmesi ve yeniden çözdürülme sonrasında canlılığın devamlılığının sağlanması, suyun ortamdan kontrollü şekilde uzaklaştırılması ile mümkündür [29]. Polen, ortodoks tohum, uyku (dormant) halindeki tomurcuklar gibi düşük su içeriğine sahip bitki kısımları kolay dehidrate edilebildiklerinden özel bir ön işlem gerektirmeksizin rahatlıkla kriyopreservasyon gerçekleştirilebilmektedir. Ancak hücre süspansiyonları, kalluslar, sürgün uçları ve embriyolar gibi su içeriği yüksek olan bitki kısımları ile gerçekleştirilen çalışmalarda, hücre içerisinde buz kristallerinin oluşmasına bağlı olarak hücreler patlamaktadır. Bu sebeple, kriyopreservasyonun daha geniş yelpazede bitkilere uygulanabilmesi için kriyopreservasyon öncesinde bu materyallerin dehidrasyon işlemine tabi tutulmaları ve çeşitli kriyoprotektanlar ile muamele edilmeleri gerekmektedir. Bu amaçla farklı teknikler geliştirilmeye çalışılmaktadır [19,26].

Kriyopreservasyon temelde iki farklı şekilde uygulanır.

Yavaş dondurma: Klasik kriyopreservasyon tekniği olan yavaş dondurma, bitkisel genetik kaynakların korunmasında yaygın biçimde kullanılmaktadır. Bu teknikte bitki materyali öncelikle 0,1-2°C/dk olacak şekilde yavaş yavaş kademeli olarak -40°C'ye (bazı durumlarda -20°C'nin altında olması yeterlidir) kadar soğutulur ve ardından sıvı azota daldırılarak hızlı soğutma yapılır [19,30].

İşlem sırasında sürecin başlangıcında hücreler, donma yerine aşırı soğutulmuş hale gelir. İçerisindeki çözünmüş maddelerin konsantrasyonu nedeniyle sitoplazma, donmadan kalır ve hücre duvarı, hücre zarını buz kristallerinin zararlı etkilerinden korur. Sıcaklık düştükçe, buz oluşumuna uğrayan hücre dışı çözeltinin oranı artar ve bu durum ozmotik basınç gradyanında bir artışa yol açar. Bu artış, hücre içindeki suyun hücreler arası boşluklara göç etmesiyle dengelenir ve su burada donar. Uygun koşullar altında, hücrelerdeki suyun büyük bir kısmı uzaklaştırılır; böylece sıvı azota daldırma sonrasında hücre içi buz kristallerinin oluşumu önlenmiş olur. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda bu yöntemin, özellikle kış dormansi (uyku) dönemindeki tomurcuklar, ılıman ve subtropikal bitkilerin sürgün uçları, farklılaşmamış hücre süspansiyonları ve kalluslar için etkili olduğu bulunmuştur [30].

Vitrifikasyon: Zamanla yavaş dondurma yöntemi, bitki materyalinin kriyoprotektan (kriyokoruyucu: özel koruyucu maddeler) solüsyonlarla ön muameleye tabi tutulmasıyla modifiye edilmiştir. Bu yeni geliştirilen modern kriyopreservasyon tekniğine vitrifikasyon adı verilmektedir. Teknik kriyopreservasyonun daha geniş bir bitki yelpazesine uygulanmasına olanak tanımış ve kriyopreservasyon sonrası rejenerasyon verimliliğini artırmıştır [30].

Vitrifikasyon işlemi, bitki hücre içi (intraselüler) sıvı çözeltisinin yüksek konsantrasyonlu kriyoprotektanlar yardımıyla camsı, yarı kararlı amorf yapıya dönüştüğü fiziksel bir süreçtir. Bu süreçte, hem hücre içi hem de hücre dışı (ekstraselüler) sıvıları ultra-hızlı soğutma ile vitrifiye hale geçerler [19].

Hücre içi buz kristali oluşumunu önlemek ve donma koşullarında hücre ölümünü engellemek amacıyla DMSO (dimetil sülfoksit), gliserol ve düşük moleküler ağırlıklı etilen glikol (EG) gibi donma noktasını düşürücü kriyoprotektan ajanlar kullanılmaktadır. Bu maddeler hücre zarından içeri girebilmede (penetrant kriyoprotektanlar) ve hücre içindeki su molekülleriyle etkileşerek donma noktasını düşürmektedirler. Böylece hücre içinde buz kristali oluşumunu engellemektedirler. Ayrıca, hücre içi çözeltiyi viskoz hale getirerek vitrifikasyonu (camsılaştırma) kolaylaştırmaktadırlar. Buna ek olarak, hücre dehidrasyonu da hayatta kalma oranlarını artırmada kritik öneme sahiptir. Bu nedenle, polisakkaritler, sükröz ve glikoz gibi karbonhidratlar, mannitol ve sorbitol gibi şeker alkollerinin yanı sıra polietilen glikol (PEG) (su çekici) gibi hücre dışında dehidrasyona neden olan ozmoprotektan maddeler kriyoprotektan ajanlar olarak kullanılmaktadır. Yüksek moleküler ağırlıklı bu maddeler hücre zarından geçememektedirler (non-penetrant: penetrant olmayan kriyoprotektanlar). Hücre dışındaki ortama eklendiklerinde ozmotik basıncı artırmakta ve böylece hücre içinden suyun dışarı çıkmasına neden olmaktadır (dehidrasyon etkisi). Bu şekilde hücre içi su miktarı azaldığından, donma sırasında buz kristali oluşma riski azalır. Yani hücreler kontrollü şekilde susuzlaştırılarak donmaya dayanıklı hale getirilmektedir [19,31].

Her biri farklı koruma sağlayan bu penetrant ve penetrant olmayan kriyoprotektan ajanların belirli konsantrasyonlarda karıştırılmasıyla ozmoprotektan solüsyonlar oluşturulmaktadır [30]. En yaygın kullanılan ozmoprotektan solüsyonu Yükleme solüsyonu 1 (LS: Loading solution 1) 2.0 M gliserol ve 0.4 M sükröz içermektedir. Bunun haricinde sükröz, gliserol, DMSO ve etilen glikol'ün farklı kombinasyon ve konsantrasyonlarını içeren yükleme solüsyonları da mevcuttur (Tablo 2). Bitki kriyopreservasyonunda yükleme solüsyonları ile sadece ozmotolerans indüklenmekte, dehidrasyon ile dokuların soğuk toleransı artırılmaktadır. Kriyopreservasyon işleminde eksplantların hayatta kalma oranını artırmak için vitrifikasyonun sağlanması gerekmektedir. Vitrifikasyonun gerçekleşebilmesi için ise mutlaka, bitkisel materyallerin bitki vitrifikasyon solüsyonu (PVS: plant vitrification solution) ile ayrıca muamele edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla modern kriyopreservasyon tekniklerinde kullanılan çeşitli PVS içerikleri mevcuttur (Tablo 2). Ancak, bu solüsyonların

içeriğindeki maddelerin (özellikle DMSO) toksik olmaları ve hücrelerde olumsuz reaksiyonlara neden olmaları sebebiyle günümüzde alternatif kriyoprotektanlar ile ilgili çalışmalar devam etmektedir. Bu amaçla; WCS120, TaTIL, WCS19 ve TaIRI-2 gibi buğday proteinleri, balık antifriz proteini AFP-I, altın ve çinko nanopartiküller alternatif kriyoprotektanlar olarak kriyopreservasyon çalışmalarında kullanılmaya başlanmıştır [19].

Tablo 2. En yaygın kullanılan yükleme ve vitrifikasyon solüsyonlarının içerikleri [19]

Solüsyon	İçerik (%w/v)					
	Sorbitol	EG	DMSO	PEG	Gliserol	Sükroz
LS1					18.4	13.7
LS2			5.0		13.8	13.7
LS3			10.0		4.6	10.3
LS4			10.0			24.0
PVS-1	9.1	15.0	7.0	15.0	22.0	
PVS-2		15.0	15.0		30.0	13.7
PVS-3					50.0	50.0
PVS-4		20.0			35.0	20.5
L-çözeltisi		30.0	7.0		22.0	15.0
T-çözeltisi		35.0	7.8	10.0		
W-çözeltisi	18.7		44.5			

Kriyopreservasyon teknikleri (Şekil 4 [19]):

1. Vitrifikasyon: Bu süreç ilk olarak antioksidan mekanizmasının artırılması ve stres toleransının (özellikle de dehidrasyonun) desteklenmesi ile başlar. Öncelikle eksplantlar jelleştirici ajan ve yüksek dozda (%6-9 w/v) sükroz içeren genellikle MS tuzları ile hazırlanmış bir ortama aktarılırlar. Buna ek olarak canlılığı arttırmak adına 1-3 hafta süreyle 4°C’de bekletme ön uygulaması da gerçekleştirilebilir. İkinci aşamada eksplantlar genellikle 20 dk süreyle LS’ye, ardından da üçüncü adım olarak PVS’ye maruz bırakılırlar. Dehidre hale gelen eksplantlar 2mL’lik kriyotüplerle sıvı azot içerisine aktarılırlar.

2. Enkapsülasyon-dehidrasyon: Bazı bitki türleri, dehidrasyon süreci uygulamalarında canlı kalamamakta ve çok zarar görmektedir. Bu teknik, eksplantların iyonik bir jel matris ile enkapsüle edilerek dehidre edilmesi prensibine dayanır. %2-3 v/w oranında sodyum aljinat ve bir taşıyıcı çözelti (gliserol ve/veya sükroz) ile karıştırılan eksplantlar bir katyonik çözeltiye (genellikle 100 mM CaCl₂) damlatılırlar. Elde edilen boncuklar artan sükroz konsantrasyonlarında laminar kabinde ya da silika jel üzerinde kademeli olarak dehidre edilerek sıvı azot içerisinde saklanırlar.

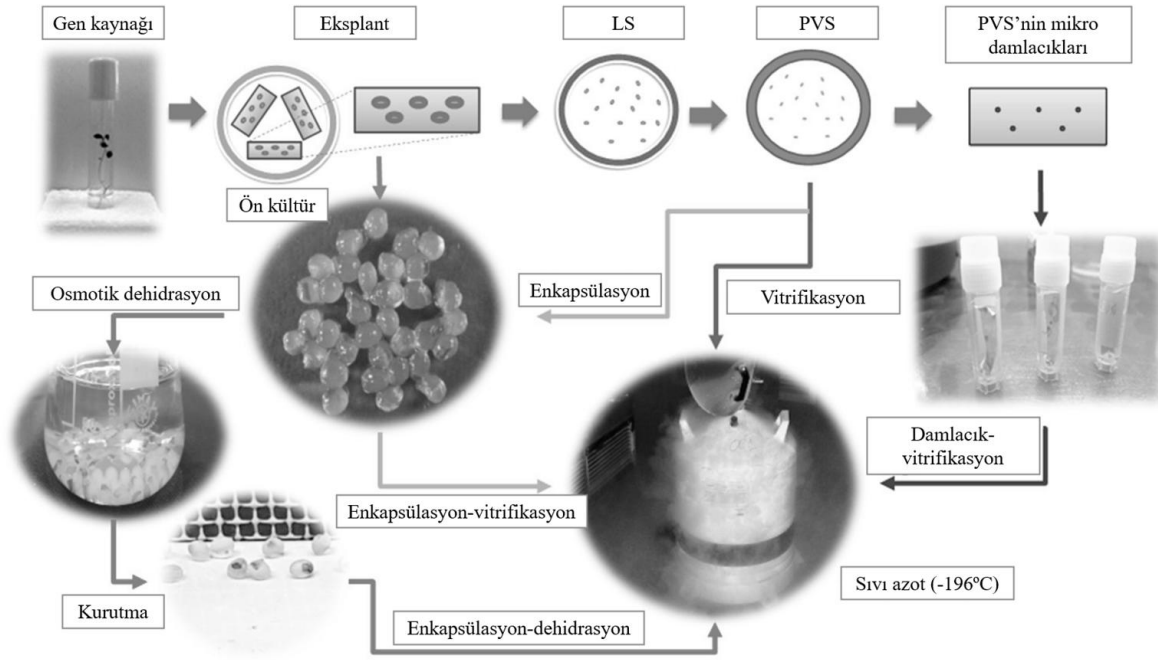
3. Enkapsülasyon-vitrifikasyon: Diğer iki tekniğin birleştirildiği bu teknikte, sükroz-gliserol içeren aljinat boncuklar PVS içerisinde dehidre edilirler ve doğrudan sıvı azotta saklanırlar. Enkapsülasyon-dehidrasyon tekniğinden farklı, PVS kullanımının daha hızlı sonuç vermesi ve laminar kabin ya da silika jel üzerinde kurumadan korunmuş olmasıdır.

4. Damlacık-vitrifikasyon: Bu teknikte direkt sıvı azot içerisine daldırılmış olan bir alüminyum levha üzerine PVS çözeltisi içerisindeki eksplantlar 3-6 µL’lik mikro damlacıklar şeklinde damlatılır ve 1000°C/dk’lık bir sıcaklık düşüşü olur. Eksplantların yeniden ısıtılması işlemi sırasında da alüminyum folyolar sükroz çözeltisi içerisinde ve oda sıcaklığında 20-30 dk süreyle bekletilir ve kristalleşmenin neden olduğu zarar azaltılmaya çalışılır.

5. Cryo-plate tekniği: Çok sayıda oval kuyucuklar içeren alüminyum tabaka ile gerçekleştirilen bu teknikte, aljinat ile bu kuyucuklara tutturulan eksplantlar dehidre edilir. PVS ile dehidrasyon yapıldığında V-cryoplate, hava dehidrasyonu yapıldığında ise d-cryoplate olarak adlandırılır.

6. Vakum-infiltrasyon-vitrifikasyon (VIV): Kriyoprotektan uygulamasının vakum altında yapıldığı ve bu şekilde penetrasyonun arttığı bir yöntemdir. Bu şekilde protokolün süresi kısaltılır.

Türkiye’de kriyopreservasyon çalışmalarının temelleri ilk Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü ile İtalya’daki Istituto per la Valorizzazione del Legno e delle Specie Arboree (IVALSA - CNR) arasında 2005 yılında gerçekleştirilen iş birliği ile atılmıştır. Her iki ülke için de ekonomik öneme sahip türler olan *Pistacia* spp. [32] ve yerfıstığı (*Arachis hypogaea* L.) [33], model bitkiler olarak seçilmiştir [34]. Ticari öneme sahip *Fraxinus excelsior* L. bitkisinde enkapsülasyon-vitrifikasyon, enkapsülasyon-dehidrasyon ve yavaş dondurma teknikleri [35]; hem tıbbi bitki hem de süs bitkisi olarak kullanılan *Lilium candidum* L. bitkisinde damlacık-vitrifikasyon ve vitrifikasyon teknikleri [36]; farklı turuncuğil çeşitlerinde [Bodrum Mandalinası (*Citrus deliciosa* Ten.), Klin Mandalinası (*Citrus nobilis* Lauriro), Beyaz greyfurt ve Kırmızı greyfurt (*Citrus paradisi* L.)] damlacık-vitrifikasyon tekniği [37] ile başarılı kriyopreservasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Türkiye’deki endemik bitkilerin korunmasına yönelik çalışmalarda daha çok *in vitro* çoğaltım/mikroçoğaltım tekniğine odaklanılmış olup kriyopreservasyon ile koruma üzerine çok az çalışma bulunmaktadır (Tablo 3).



Şekil 4. En sık kullanılan modern kriyopreservasyon yöntemleri [19]

4) *In vitro* çoğaltım/Mikroçoğaltım: Bitki hücre, doku ve organ kültürü teknikleri sayesinde izole edilmiş bitki hücre, doku veya organları steril yapay besin ortamlarında kültüre alınarak, kontrollü çevresel koşullarda muhafaza edilmekte ve bunun sonucunda yeni doku, organ, bitkicik ya da bitkisel ürünler elde edilebilmektedir [20]. Bu teknikler ile sınırlı popülasyonlara sahip olan endemik bitkilerin çoğaltılması mümkün olmaktadır [16]. Minimum bitki materyalinden çok sayıda ve hızlı bitki çoğaltımını imkan kılan bitki doku kültürü zamanla en önemli koruma tekniklerinden biri haline gelmiştir [38].

Doku kültürü tekniklerinden biri olan mikroçoğaltım, uygun besin ortamlarında ve aseptik koşullarda, bir bitkiden alınan ve totipotent özellik gösteren bitki parçalarından (eksplant) yeni bitkilerin *in vitro* olarak üretilmesini mümkün kılmaktadır [14]. Kültüre alınan eksplantlardan rejenerasyon, iki farklı gelişimsel yolla gerçekleşir: organogenez veya somatik embriyogenez. Organogenezde, eksplantlardan tek veya çoklu sürgünler oluşur ve bu sürgünler köklendirilerek tam bitkilere dönüştürülebilirler. Somatik embriyogenezde ise, tüm bir bitkiyi oluşturma yeteneğine sahip, embriyoya benzeyen iki kutuplu bir yapı meydana gelir. Mikroçoğaltım ile zararlılara karşı dirençli, strese karşı toleranslı, yüksek tıbbi içerikli vb. özelliklere sahip istenen genotiplerde çok sayıda düzgün ve sağlıklı bitki üretmek mümkündür [18]. Mikroçoğaltım, hastalık ve zararlılardan arı bitkisel materyallerin elde edilmesi, küçük alanlarda kısa sürede hızlı üretim sağlanması, çoğaltılması zor türlerin kolaylıkla üretilmesi ve yılın her döneminde bitki çoğaltımına olanak tanınması gibi pek çok avantaja sahiptir. Doku kültürü tekniklerini kullanarak etkili bir *in vitro* koruma protokolü geliştirebilmek için, öncelikle hedef bitki materyaline uygun doku kültürü koşullarının belirlenmesi ve bu bitkinin mikroçoğaltımının başarıyla gerçekleştirilmesi gerekmektedir [14]. Bitki genetik kaynaklarının korunması amacıyla, mikroçoğaltım, endemik ve nesli tükenmekte olan türlerin doğal ekolojik bölgelerine yeniden kazandırılmasında başarıyla kullanılmıştır [18].

D. Ülkemize Ait Endemik Bitkilerin *In Vitro* Çoğaltım/Mikroçoğaltımı Konusunda Yapılan Çalışmalar

Az sayıda bireyi olan türler veya tohum üretimini vejetatif üretime baskın olduğu türler için, tohumların prosedürü geliştirmek için, tohumlar eksplant olarak kullanılması tercih edilir. Bu nedenle, bazı türlerde mikroçoğaltım başlangıç materyali olarak kullanılmakta ve bu tohumların *in vitro* çimlendirilmesinden elde edilen *in vitro* fidelikler eksplant kaynağını oluşturmaktadır (Tablo 3). Tohumlar ve olgunlaşmamış embriyoların eksplant olarak kullanılmasının avantajı, bunların ontogenetik olarak genç olmaları nedeniyle olgun dokulara kıyasla daha yüksek rejenerasyon potansiyeline sahip olmalarıdır. Ayrıca, doğal popülasyonlardan elde edilen örnekler için tohumların eksplant olarak kullanılması, türün genetik çeşitliliğinin en üst düzeyde korunmasını sağlar [16].

Türkiye'ye ait endemik bitkilerin *in vitro* çoğaltımı konusunda yapılan çalışmalarda *in vitro* çimlendirilen tohumlardan gelişen *in vitro* fideliklerin yaprak ve petiolleri (yaprak sapı) [39], hipokotilleri [38], epikotilleri [40], kotiledon yaprakları ve kökleri [40], epikotil ve kotiledon yapraklarının sapları [41] ve kotiledonları [42], embriyogenik hücre süspansiyon kültürleri [43], tohum kaynaklı *in vitro* sürgünlerin yaprak ve petiolleri [44], serada yetiştirilen bitkilerin yaprak ve petiolleri [45], olgunlaşmamış zigotik embriyolar [46-51], soğan pulları

[48,52], nodlar [53], lateral tomurcuklardan [46–51] gelişen sürgünlerin yaprakları [54], aksiller tomurcuklardan izole edilen primordial sürgünler [55], sürgün uçları [56,57], *ex vitro*da yetişen bitkilerin yaprak ve gövdeleri [58] gibi eksplantlar kullanılarak dolaylı veya doğrudan organogenez yoluyla bitki üretimleri gerçekleştirilmiştir. Türkiye’de bulunan endemik bitkilerin mikroçoğaltım yoluyla korunmasına yönelik yapılan çalışmalar Tablo 3’de özetlenmiştir

Tablo 3. Türkiye’de yayılış gösteren bazı endemik bitki türlerinin *in vitro* çoğaltım/mikroçoğaltım üzerine yapılan çalışmalar

Bitki Türü	Familiya	IUCN Kategorisi	Uygulanan <i>In vitro</i> Çoğaltım / Mikroçoğaltım Yöntemi	Eksplant	K*
<i>Arabis drabiformis</i> Boiss.	Brassicaceae	-	Mikroçoğaltım	<i>In vitro</i> çimlendirilen tohumlardan gelişen <i>in vitro</i> fideciklerin sürgün uçları ve internodları	[59]
	Fabaceae	Tehdite Yakın (NT)	Dolaylı organogenez yoluyla mikroçoğaltım	<i>In vitro</i> çimlendirilen tohumlardan gelişen <i>in vitro</i> fideciklerin yaprak ve petiolleri (yaprak sapı)	[39]
<i>Astragalus chrysochlorus</i> Boiss. & Kotschy	Fabaceae	Tehdite Yakın (NT)	Embriyogenik hücre süspansiyon kültürlerinden dolaylı organogenez yoluyla mikroçoğaltım	Embriyogenik hücre süspansiyon kültürleri	[43]
		Tehdite Yakın (NT)	Dolaylı organogenez yoluyla mikroçoğaltım	<i>In vitro</i> çimlendirilen tohumlardan gelişen <i>in vitro</i> fideciklerin hipokotilleri	[38]
<i>Astragalus polemoniicus</i> Bunge	Fabaceae	Yetersiz Veri (Durumu Belirsiz) (DD)	Dolaylı organogenez yoluyla mikroçoğaltım	Tohum kaynaklı <i>in vitro</i> sürgünlerin yaprak ve petiolleri (yaprak sapı)	[44]
<i>Campanula phitosiana</i> Yıldırım & Şentürk	Campanulaceae	İleri Düzeyde Tehlikede (CR)	Dolaylı organogenez yoluyla mikroçoğaltım	Serada yetiştirilen bitkilerin yaprak ve petiolleri (yaprak sapı)	[45]
<i>Centaurea ichihatcheffii</i> Fisch. et. Mey	Asteraceae	İleri Düzeyde Tehlikede (CR)	Dolaylı organogenez yoluyla mikroçoğaltım	Olgunlaşmamış zigotik embriyolar	[46]
<i>Colchicum figlalii</i> (Varol) Parolly & Eren	Colchicaceae	Tehlike Altında (EN)	Mikroçoğaltım	Soğan	[60]
<i>Hypericum bilgehan-bilgili</i> Başköse & Savran	Hypericaceae	Tehlike Altında (EN)	Dolaylı organogenez yoluyla mikroçoğaltım	Büyüme dolabında tohum çimlenmesinden elde edilen fideciklerin nodları	[61]
<i>Iris sari</i> Schott ex Baker Ana kurtkulağı veya Bahar çiçeği	Iridaceae	Düşük Riskli (LC)	Mikroçoğaltım	Olgunlaşmamış embriyolar	[50]
		Düşük Riskli (LC)	Mikroçoğaltım	Olgunlaşmamış zigotik embriyolar	[49]
<i>Iris schachtii</i>	Iridaceae	Düşük Riskli (LC)	Mikroçoğaltım	Olgunlaşmamış zigotik embriyolar	[49]
<i>Lilium akkusianum</i> R. Gämperle	Liliaceae	-	Dolaylı organogenez yoluyla Mikroçoğaltım	Soğan pulları	[52]
<i>Linaria genistifolia</i> (L.) Miller ssp. <i>praealta</i> (Boiss.) Davis Nevruz otu	Plantaginaceae	Tehdite Yakın (NT)	Mikroçoğaltım	Nod	[53]
<i>Liquidambar orientalis</i> Miller	Hamamelidaceae	-	Doğrudan organogenez yoluyla mikroçoğaltım	Ağaçlardan alınan lateral tomurcuklardan gelişen sürgünlerin yaprakları	[54]
		-	Meristematik nodüller yoluyla Mikroçoğaltım	Aksiller tomurcuklardan izole edilen primordial sürgünler	[55]
		-	Doğrudan organogenez yoluyla mikroçoğaltım	<i>In vitro</i> çimlendirilen tohumlardan gelişen <i>in vitro</i> fideciklerin hipokotil ve kotiledonları	[42]
<i>Muscari azureum</i> Fenzl	Hyacinthaceae	Tehlike Altında (EN)	<i>In vitro</i> soğan üretimi	Olgunlaşmamış embriyo	[47]
<i>Muscari mirum</i> Speta	Hyacinthaceae	Tehlike Altında (EN)	Mikroçoğaltım	Soğan pulu, yaprak ve olgunlaşmamış embriyo	[48]
<i>Origanum sipyleum</i> L. Mor Mercan	Lamiaceae	Düşük Riskli (LC)	Mikroçoğaltım	<i>In vitro</i> çimlendirilen tohumlardan gelişen <i>in vitro</i> fideciklerin apikal sürgün uçları	[62]
		Düşük Riskli (LC)	Mikroçoğaltım	Sürgün ucu	[57]
		Düşük Riskli (LC)	Mikroçoğaltım	Sürgün ucu	[56]

Tablo 3. (Devamı)

Bitki Türü	Familya	IUCN Kategorisi	Uygulanan <i>In vitro</i> Çoğaltım / Mikroçoğaltım Yöntemi	Eksplant	K*
<i>Rhaponticoides mykalea</i> (Hub.-Mor.) M.V. Agab & Greuter veya <i>Centaurea mykalea</i> Hub.-Mor. Aydıngaşağı	Asteraceae	İleri Düzeyde Tehlikede (CR)	Doğrudan organogenez yoluyla mikroçoğaltım	<i>In vitro</i> çimlendirilen tohumlardan gelişen <i>in vitro</i> fideciklerin epikotil ve kotiledon yapraklarının sapları	[41]
<i>Thermopsis turcica</i> Kit Tan, Vural & Küçükökdük	Fabaceae	İleri Düzeyde Tehlikede (CR)	Dolaylı ve doğrudan organogenez yoluyla mikroçoğaltım	<i>In vitro</i> çimlendirilen tohumlardan gelişen <i>in vitro</i> fideciklerin kotiledon ve kökleri	[63]
		İleri Düzeyde Tehlikede (CR)	Dolaylı ve doğrudan organogenez yoluyla mikroçoğaltım	<i>In vitro</i> çimlendirilen tohumlardan gelişen <i>in vitro</i> fideciklerin epikotilleri	[40]
<i>Thermopsis turcica</i> Kit Tan, Vural & Küçükökdük	Fabaceae	Tehlike Altında (EN)	Dolaylı ve doğrudan organogenez yoluyla mikroçoğaltım	<i>Ex vitro</i> koşullardaki bitkilerin yaprak ve gövdeleri	[58]
<i>Tripleurospermum fissurale</i> (Sosn.) E.Hossain	Asteraceae	Tehlike Altında (EN)	Mikroçoğaltım	Olgun akenlerin <i>in vitro</i> kültüründen gelişen <i>in vitro</i> sürgünlerin nodları	[64]
<i>Tripleurospermum insularum</i> Inceer & Hayirlioglu-Ayaz	Asteraceae	İleri Düzeyde Tehlikede (CR)	Mikroçoğaltım	Olgun akenlerin <i>in vitro</i> kültüründen gelişen <i>in vitro</i> sürgünlerin nodları	[65]
		İleri Düzeyde Tehlikede (CR)	Mikroçoğaltım	Olgun akenlerin <i>in vitro</i> kültüründen gelişen <i>in vitro</i> sürgünlerin nodları	[66]

*K: Kaynaklar

IV. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Biyoçeşitlilik, ekosistemlerin sürdürülebilirliği, besin zincirinin devamlılığı, genetik kaynakların korunması açısından hayati bir öneme sahiptir ve biyoçeşitliliğin korunması tüm dünyayı ilgilendiren öncelikli bir konudur. Bitki biyoçeşitliliği, özellikle tarım, tıp ve ekolojik denge açısından stratejik bir öneme sahiptir. Türkiye, yaklaşık 12.000 kadar damarlı bitki türü ile Avrupa ve Ortadoğu'nun en zengin florasından birine sahip olup, bu türlerin yaklaşık üçte biri endemiktir. Ancak özellikle insan faaliyetleri sonucunda artan olumsuzlukların bitkilerin yaşam alanlarının tahribatı şeklinde geri dönmesi ve iklim değişikliği gibi nedenler ülkemizin ve dünyanın bitki zenginliğini ciddi şekilde tehdit etmektedir. Son yıllarda artan insan faaliyetleri, habitat kaybı ve iklim değişikliği gibi faktörler, endemik ve nesli tehlike altında olan bitki türlerinin popülasyonlarında ciddi azalmalar meydana getirmiştir. Endemik ve nesli tehlike altındaki türlerin korunmasında öncelikli olarak bitkinin doğal yayılış gösterdiği alanda (*in situ*) koruma tercih edilse de *in situ* korumanın maliyetli olması, endemik bitki türünün yayılış gösterdiği alanın tarım arazisi veya mera olarak kullanımı gibi sebeplerle doğal ortamında korunması zorlaşmaktadır. Bu nedenle, geleneksel koruma yöntemlerinin yanı sıra modern biyoteknolojik yaklaşımlar ve özellikle bitki doku kültürü teknikleri, bu türlerin *ex situ* (doğal ortamı dışında) korunmasında ve çoğaltılmasında önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır. Bitki doku kültürü teknikleri, nadir ve endemik türlerin klonal olarak çoğaltılmasına, genetik kaynakların korunmasına ve hastaliksız bitki materyali elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Türkiye florasının sahip olduğu yüksek endemizm oranı göz önünde bulundurulduğunda, bu tekniklerin önemi daha da artmaktadır. Son zamanlarda mikroçoğaltım, yavaş büyüme ve kriyopreservasyon gibi *in vitro* kültür teknikler (*ex situ* koruma) bitki genetik kaynakların korunmasında ön plana çıkmıştır.

In vitro kültür tekniklerinden biri olan mikroçoğaltım, endemik türlerin çoğaltılması ve korunmasında etkili bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Ancak, türler arası farklılıklar nedeniyle tek tip bir protokol geliştirilmesi mümkün değildir; bu nedenle, her türe özgü çoğaltım prosedürünün belirlenmesi gerekmektedir. Türkiye'nin zengin bitki genetik kaynaklarının korunabilmesi için, geleneksel yöntemlerin yanı sıra *in vitro* çoğaltım ve muhafaza tekniklerinin yaygınlaştırılması ve gelecekte bu alandaki çalışmaların moleküler düzeyde desteklenmesi büyük önem taşımaktadır. Endemik bitki türlerinin korunmasında multidisipliner yaklaşımlar, özellikle botanik, biyoteknoloji ve ekoloji disiplinlerinin entegrasyonu, günümüz koruma biyolojisinin en kritik gereksinimlerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Türkiye gibi yüksek endemizm oranına sahip ülkelerde, bu iş birliklerinin artırılması ve sürdürülebilirliğinin sağlanması, hem bilimsel hem de uygulamalı düzeyde yeni stratejilerin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Küresel ölçekte ise, iklim değişikliğinin endemik ve nadir bitki türleri üzerindeki etkileri giderek daha fazla araştırılmaktadır. Son yıllarda yapılan bibliyometrik analizlerde, iklim değişikliği ile endemik ve tehdit altındaki bitkiler arasındaki ilişkinin bilimsel üretimde öne çıktığı; sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu olarak disiplinlerarası iş birliklerinin arttığı belirtilmiştir [67].

Genetik çeşitliliğin korunmasında multidisipliner yaklaşımların önemi özellikle nadir veya tehdit altındaki türlerde daha da belirginleşmektedir. Örneğin, *Astragalus edulis*'in Batı Akdeniz'deki popülasyonlarında yapılan çalışmada, popülasyon genetiği verileriyle ekolojik ve filocoğrafik bilgiler birleştirilerek koruma için "Önemli Genetik Birimler" (Relevant Genetic Units for Conservation) tanımlanmıştır. Ayrıca *ex situ* korumanın *in situ* korumayı tamamlayıcı bir strateji olarak önerilmesi de biyoteknoloji ile ekolojinin entegrasyonunun başarılı bir örneğidir [68]. Bitki doku kültürü teknikleri ve nanoteknolojinin entegrasyonu ise biyoteknolojinin koruma biyolojisine sunduğu yeni olanaklara işaret etmektedir. Son yıllarda yapılan derlemelerde, nanopartiküllerin bitki doku kültürlerinde kullanılmasıyla tohum çimlenmesi, sürgün rejenerasyonu ve genetik modifikasyon gibi parametrelerde olumlu sonuçlar elde edildiği; ayrıca biyotik ve abiyotik strese karşı dayanıklılığın artırıldığı de bildirilmiştir [69].

Ülkemizin bitkisel genetik kaynaklarının korunması, sürdürülebilir kalkınmayı sağlayarak ekonomik değer oluşturulması açısından büyük önem taşımaktadır. Ülkemizde endemik bitki varlığı için en büyük tehditlerin habitat kaybı, yanlış arazi kullanımı, kentleşme, turizm faaliyetleri ve istilacı yabancı türlerin yayılması olduğu belirlenmiştir [70]. *Ex situ* koruma stratejileri, özellikle doğal popülasyonların yok olma riskiyle karşı karşıya olduğu durumlarda, türlerin genetik materyalinin korunması ve ileride yeniden doğal ortama kazandırılması açısından kritik bir rol oynamaktadır. Botanik bahçeleri, tohum gen bankaları ve doku kültürü laboratuvarları, *ex situ* korumanın başlıca uygulama alanlarıdır. Dünya genelinde botanik bahçeleri, en az 105.634 bitki türünü *ex situ* olarak muhafaza etmekte ve bilinen tehdit altındaki türlerin %41'inden fazlasını korumaktadır. Ancak, botanik bahçelerinin büyük çoğunluğunun ılıman bölgelerde yer alması ve koleksiyonların çoğunlukla bu bölgelere ait türlerden oluşması, tropikal kökenli türlerin *ex situ* koruma kapsamı dışında kalmasına neden olmaktadır [71]. Türkiye'de ise, ulusal tohum gen bankaları ve botanik bahçeleri aracılığıyla endemik bitkilerin *ex situ* korunmasına yönelik çeşitli projeler yürütülmektedir [72].

Sonuç olarak, Türkiye'de endemik bitkilerin korunmasında *in situ* ve *ex situ* koruma stratejileri, birbirini tamamlayan ve bütüncül bir yaklaşımla ele alınması gereken yöntemlerdir. Araştırmalar, bu iki stratejinin birlikte uygulanmasının, türlerin genetik çeşitliliğinin korunması, ekosistem hizmetlerinin sürdürülebilirliği ve biyolojik çeşitliliğin gelecek nesillere aktarılması açısından vazgeçilmez olduğunu ortaya koymaktadır. Türkiye'nin sahip olduğu zengin endemik flora, bu stratejilerin etkin ve entegre bir şekilde uygulanmasını gerektirmektedir. Bu bağlamda, bilimsel araştırmaların, biyoteknolojik uygulamaların, yasal düzenlemelerin ve toplumsal farkındalığın artırılması, Türkiye'de endemik bitkilerin korunmasında başarıya ulaşmanın anahtarı olarak öne çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Kaya Köse, S. (2024). Endemik Bitki Coğrafyaları: Sultan Dağları Örneği. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- [2] Coelho, N., Gonçalves, S. & Romano, A. (2020). Endemic plant species conservation: Biotechnological approaches. *Plants*, 9. <https://doi.org/10.3390/plants9030345>
- [3] Gianguzzi, V., Barone, G., Di Gristina, E., Sottile, F. & Domina, G. (2023). Micropropagation of Endemic Endangered Taxa of the Italian Flora: *Adenostyles alpina* subsp. *macrocephala* (Asteraceae), as a Case Study. *Plants*, 12. <https://doi.org/10.3390/plants12071530>
- [4] Işık, K. (2011). Rare and endemic species: Why are they prone to extinction? *Turk J Botany*, 35:411–7. <https://doi.org/10.3906/bot-1012-90>
- [5] FAO. (2019). Türkiye'nin Biyoçeşitliliği : genetik kaynakların sürdürülebilir tarım ve gıda sistemlerine katkısı. Birleşmiş Milletler Tarım ve Gıda Örgütü : T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı.
- [6] Banaszczyk, L., Starke, M.D., Szelbracikowski, D., Ścibior, J. & Kapusta, M. (2024). *In Vitro* Germination and Organogenesis of Endangered Neo-Endemic Baltic Dunes Species *Linaria loeselii* Schweigg. *Plants*, 13. <https://doi.org/10.3390/plants13172461>
- [7] Erken, K., Parlak, S. & Yılmaz, M. (2022). Endemik Taksonların Korunması ve Tür Koruma Eylem Planları. *Tree and Forest*, 1:33–46.
- [8] Karadeniz, E. (2024). Biyoçeşitliliğin Korunmasında Öncelikli Alanların (Sıcak noktaların) Belirlenmesi: Anadolu Diyagonalı'nın Güneyi. Doktora tezi, Fırat Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- [9] Tunç, B.A. (2025). Exploring the Biodiversity Patterns of Anatolia Under Changing Climatic Conditions. M.Sc. Thesis, Istanbul Technical University Graduate School.
- [10] Korkmaz, M. & Onkaş, İ. (2024). Dumanlı Dağları (Refahiye-Erzincan)'nın Endemik Bitki Çeşitliliği. *Süleyman Demirel Üniv. Fen Bilim. Enst. Derg.*, 28:19–26. <https://doi.org/10.19113/sdufenbed.1227704>
- [11] Şenkul, Ç. & Kaya, S. (2017). Türkiye'de Endemik Bitkilerin Coğrafi Dağılımı. *Türk Coğrafya Dergisi*, 109–20. <https://doi.org/10.17211/tcd.322515>.
- [12] Güner, A., Aslan, S., Ekim, T., Vural, M. & Babaç, M.T. (2012). Türkiye Bitkileri Listesi (Damarlı Bitkiler). *Nezahat Gökçüçü Botanik Bahçesi ve Flora Araştırmaları Derneği Yayını*
- [13] Kandemir, A., Korkmaz, M., Yıldız, F., Sevinç, A., Türkoğlu, H.İ. & Varol, T. (2023). Cumhuriyetin 100 Erzincan'ın Doğal Bitkileri-I. *Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Yayını*.

- [14] Bürün, B. (2021). Bitki Biyoçeşitliliğinin Korunmasında Biyoteknolojinin Kullanımı ve Türkiye'deki Çalışmalar. *Estuscience-Life*, 10:1–16. <https://doi.org/10.18036/estubtdc.590752>
- [15] Karataş, A. (2024). Türkiye'nin kırmızı listesi: Küresel ölçekte soyu tehlike altındaki canlı türleri. *Doğanın Sesi*, 7:93–101.
- [16] Tagimanova, D., Raiser, O., Danilova, A., Turzhanova, A. & Khapilina, O. (2024). Micropropagation of Rare Endemic Species *Allium microdictyon* Prokh. Threatened in Kazakhstani Altai. *Hortic.*, 10. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10090943>
- [17] Cenkcı, S., Yıldız, M. & Terzi, H. (2021). Afyonkarahisar Endemiği *Thermopsis turcica*: Dünü, Bugünü ve Ekonomiye Kazandırılması. *AKU J Sci*, 12:23–6.
- [18] Kulak, V., Longboat, S., Brunet, N.D., Shukla, M. & Saxena, P. (2022). In Vitro Technology in Plant Conservation: Relevance to Biocultural Diversity. *Plants*, 11. <https://doi.org/10.3390/plants11040503>
- [19] Roque-Borda, C.A., Kulus, D., de Souza, A.V., Kaviani, B. & Vicente, E.F. (2021). Cryopreservation of agronomic plant germplasm using vitrification-based methods: An overview of selected case studies. *Int J Mol Sci*, 22:1–33. <https://doi.org/10.3390/ijms22116157>
- [20] Gürel, A., Hayta, Ş., Nartop, P., Bayraktar, M. & Orhan Fedakar, S. (2016). Bitki Hücre, Doku ve Organ Kültürü Uygulamaları. *Ege Üniversitesi Yayınları Mühendislik Fakültesi Yayın No: 58*.
- [21] Rao, N.K. (2004). Plant genetic resources: Advancing conservation and use through biotechnology.
- [22] Kaviani Livani, B. (2011). Conservation of plant genetic resources by cryopreservation. *Aust J Crop Sci*, 6:778–800.
- [23] Engelmann, F. (2011). Use of biotechnologies for the conservation of plant biodiversity. *In Vitro Cell Dev Biol Plant*, 47:5–16. <https://doi.org/10.1007/s11627-010-9327-2>
- [24] Sarkar, D. & Naik, P.S. (1998). Cryopreservation of Shoot Tips of Tetraploid Potato (*Solanum tuberosum* L.) Clones by Vitrification. *Ann Bot.*, 82:455–61. <https://doi.org/10.1006/anbo.1998.0703>
- [25] Moges, A.D., Shibli, R.A. & Karam, N.S. (2004). Cryopreservation of African violet (*Saintpaulia ionantha* Wendl.) shoot tips. *In Vitro Cell Dev Biol Plant*, 40:389–95. <https://doi.org/10.1079/IVP2004536>
- [26] Malhotra, E.V., Bansal, S. & Gupta, S. (2024). Plant cryopreservation: a molecular perspective. *Plant Cell Tissue Organ Cult*, 158. <https://doi.org/10.1007/s11240-024-02803-8>
- [27] Nagel, M., Pence, V., Ballesteros, D., Lambardi, M., Popova, E. & Panis, B. (2024). Plant Cryopreservation: Principles, Applications, and Challenges of Banking Plant Diversity at Ultralow Temperatures. *Annu Rev Plant Biol*, 797–824. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-070623>
- [28] Yılmaz Gökdoğan, E. & Kaya, E. (2017). Bitki Biyoçeşitliliğinin Kısa, Orta ve Uzun Süreli Korunması: Biyoteknoloji ve Kriyopreservasyon. *Mkuzfd*, 22:87–111.
- [29] Öztürk, B. (2022). Endemik *Thymus cilicius* Boiss.&Bal. Bitkisinin Meristem Kültürü Yöntemiyle Genetik Kararlı İn Vitro Çoğaltımı ve Germplazmının Kriyojenik Yöntemlerle Uzun Süreli Koruma Altına Alınması. Yüksek Lisans Tezi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Moleküler Biyoloji ve Genetik Anabilim Dalı.
- [30] Białoskórska, M., Rucińska, A. & Boczkowska, M. (2024). Molecular Mechanisms Underlying Freezing Tolerance in Plants: Implications for Cryopreservation. *Int J Mol Sci.*, 25. <https://doi.org/10.3390/ijms251810110>
- [31] Kang, P., Kim, S.J., Park, H.J., Han, S.J., Kim, I.C., Lee, H.S. & Yim, J.H. (2025). Trends and Challenges in Plant Cryopreservation Research: A Meta-Analysis of Cryoprotective Agent Development and Research Focus. *Plants*, 14(3). <https://doi.org/10.3390/plants14030447>
- [32] Özden-Tokatlı, Y., Ozudogru, A., Gümüşel, F. & Lambardi, M. (2007). Cryopreservation of *Pistacia* spp. seeds by dehydration and one-step freezing. *Cryo Letters*, 28:83–94.
- [33] Ozudogru, E.A., Ozden-Tokatli, Y., Gumusel, F., Benelli, C. & Lambardi, M. (2009). Development of a cryopreservation procedure for peanut (*Arachis hypogaea* L.) embryonic axes and its application to local Turkish germplasm. *Adv Horti Sci* 23:41–8.
- [34] Ozudogru, E.A., Ozden-Tokatli, Y., Gumusel, F., Benelli, C. & Lambardi, M. (2007). The current status of plant genetic diversity in Turkey and implications for cryopreservation studies. *Adv Horti Sci*, 21:239–43.
- [35] Ozudogru, E.A., Capuana, M., Kaya, E., Panis, B. & Lambardi, M. (2010). Cryopreservation of *Fraxinus excelsior* L. Embryogenic Callus By One-Step Freezing and Slow Cooling Techniques. *CryoLetters* 31:63–75.
- [36] Tokgöz, H.B., Karakas, H., Kaya, E., Yıldırım, H., Pirhan, A.F. & Altan, F. (2023). Cryopreservation of *Lilium candidum* Germplasm: Analysis of Pre- and Post-freeze Treatments. *Cryo Letters*, 44:263–73. <https://doi.org/10.54680/fr23510110512>
- [37] Ozkaya, D.E., Souza, F.V.D. & Kaya, E. (2022). Evaluation of Critical Points for Effective Cryopreservation of Four Different *Citrus* spp. Germplasm. *Hortic*, 8:995. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8110995>
- [38] Hasançebi, S., Turgut Kara, N., Çakir, Ö. & Ari, Ş. (2011). Micropropagation and root culture of Turkish endemic *Astragalus chrysochlorus* (Leguminosae). *Turk J Botany*, 35:203–10. <https://doi.org/10.3906/bot-1007-48>

- [39] Erişen, S., Atalay, E. & Yorgancılar, M. (2011). Endemik *Astragalus cariensis* türünün *in vitro* sürgün gelişimine thidiazuron'un etkisi. *Turk J Botany*, 35:521–6. <https://doi.org/10.3906/bot-1009-74>
- [40] Cenkcı, S., Temel, M., Kargioğlu, M. & Dayan, S. (2009). Propagation of endangered *Thermopsis turcica* Kit Tan, Vural & Küçüködük using conventional and *in vitro* techniques. *Turk. J. of Bio.*, 33:327–33. <https://doi.org/10.3906/biy-0811-1>
- [41] Hayta, S., Bayraktar, M., Baykan Erel, S. & Gurel, A. (2017). Direct plant regeneration from different explants through micropropagation and determination of secondary metabolites in the critically endangered endemic *Rhaponticoides mykalea*. *Plant Biosyst*, 151:20–8. <https://doi.org/10.1080/11263504.2015.1057267>
- [42] Surgun Acar, Y., Ayaz, Ö.B. & Bürün, B. (2018). Adventitious shoot formation from hypocotyl and cotyledon explants of relict endemic *Liquidambar orientalis* Miller. *Muglajsci*, 4:137–42. <https://doi.org/10.22531/muglajsci.427722>
- [43] Turgut Kara, N. & Arı, U. (2008). *In vitro* plant regeneration from embryogenic cell suspension culture of *Astragalus chrysochlorus* (Leguminosae). *Afr J Biotechnol*, 7:1250–5.
- [44] Mirici, S. (2004). Endemik Geven (*Astragalus polemoniicus* Bunge) Bitkisinin Yaprak Sapı ve Yaprak Eksplantlarından Yüksek Oranda Adventif Sürgün Rejenerasyonu. *S.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18:31–4.
- [45] Pirhan, A.F., Sevindik, E. & Sevindik, B. (2022). Investigation of *in vitro* Propagation Possibilities of Endemic *Campanula phitosiana* Yıldırım & Şentürk. *Hortic. Studies*, 39:107–12. <https://doi.org/10.16882/hortis.1200592>
- [46] Ozel, C.A., Khawar, K.M., Mirici, S., Ozcan, S. & Arslan, O. (2006). Factors affecting *in vitro* plant regeneration of the critically endangered Mediterranean knapweed (*Centaurea tchihatcheffii* Fisch et. Mey). *Naturwissenschaften*, 93:511–7. <https://doi.org/10.1007/s00114-006-0139-5>
- [47] Uranbey, S. (2010). *In vitro* bulblet regeneration from immature embryos of *Muscari azureum*. *Afr J Biotechnol*, 9:5121–5. <https://doi.org/10.2298/ABS1101209U>
- [48] Nasırcılar, A.G., Mirici, S., Karagüzel, Ö., Eren, Ö. & Baktir, I. (2011). *In vitro* propagation of endemic and endangered *Muscari mirum* from different explant types. *Turk J Botany*, 35:37–43. <https://doi.org/10.3906/bot-0907-90>
- [49] Uzun, S., İlbaş, A.I., İpek, A., Arslan, N. & Barpete, S. (2014). Efficient *in vitro* plant regeneration from immature embryos of endemic *Iris sari* and *I. schachtii*. *Turk. J. Agric. For.*, 38:348–53. <https://doi.org/10.3906/tar-1306-47>
- [50] Doğan, S. & Çağlar, G. (2020). *Iris sari* SCHOTT ex BAKER'in *In Vitro* Çoğaltım ve Köklendirme Çalışmaları. *Anadolu*, 30:33–45. <https://doi.org/10.18615/anadolu.727197>
- [51] Uzun, S., İlbaş, A.İ., İpek, A., Beyzi, E., Uranbey, S. & Arslan, N. (2016). Endemik Kaba Navruz Bitkisinin (*Iris galatica* Siehe) *In Vitro* Çoğaltımı. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 25. <https://doi.org/10.21566/tbmaed.01228>
- [52] Tütüncü, M. (2024). Application of machine learning in *in vitro* propagation of endemic *Lilium akkusianum* R. Gämperle. *PLoS One*, 19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0307823>
- [53] Bulunuz Palaz, E., Doğan, S. & Çağlar, G. (2022). *In vitro* Micropropagation and Flowering of the Endemic Plant *Linaria genistifolia* (L.) Miller ssp. *praealta* (Boiss.) Davis. *TURKJANS*, 9:628–37. <https://doi.org/10.30910/turkjans.1088182>
- [54] Erdağ, B. & Emek, Y. (2005). *In vitro* adventitious shoot regeneration of *Liquidambar orientalis* Miller. *J. Biol. Sci.*, 5:805–8.
- [55] Bayraktar, M., Hayta, S., Parlak, S. & Gurel, A. (2015). Micropropagation of centennial tertiary relict trees of *Liquidambar orientalis* Miller through meristematic nodules produced by cultures of primordial shoots. *Trees-Struct Funct*, 29:999–1009. <https://doi.org/10.1007/s00468-015-1179-2>
- [56] Doğan, S., Adanacioğlu, N. & Oğur, E. (2022). Endemik Mor Mercan (*Origanum sipyleum* L.) Bitkisinin *In Vitro* Çoğaltımı. *Anadolu*, 32:124–32. <https://doi.org/10.18615/anadolu.1130869>
- [57] Sevindik, B., İzgü, T., Şimşek, Ö., Tütüncü, M., Çürük, P., Yılmaz, Ö., Kaynak, G., Aka Kaçar, Y., Teixeira da Silva, J. & Yalçın Mendi, Y. (2017). *In Vitro* Culture of Turkish *Origanum sipyleum* L. *Am. J. Plant Sci.*, 2:32–6. <https://doi.org/10.11648/j.ajpb.s.2017020501.16>
- [58] Tekdal, D., Cetiner, S. (2014). *In vitro* plant regeneration derived from leaf and stem explants of endemic *Thermopsis turcica*. *Biologia (Poland)*, 69:863–9. <https://doi.org/10.2478/s11756-014-0383-7>
- [59] Akin, B. & Kocaçalışkan, I. (2011). *In vitro* propagation of *Arabis drabiformis* Boiss. (Brassicaceae) an endemic rare species of Uludağ mountain (Bursa-Turkey). *Afr J Biotechnol*, 10:18356–61. <https://doi.org/10.5897/AJB11.2831>
- [60] Kaya, E., Koyuncu, E., Şimşek, Ö., Evci Çürük, P. & Yalçın Mendi, Y. (2024). Micropropagation and cryopreservation of the rare endemic *Colchicum figlalii* germplasm. *Cryo Letters*, 45:248–56. <https://doi.org/10.54680/fr24410110412>
- [61] Turker, H. & Unal, B.T. (2022). Development of a micropropagation protocol for endangered hypericum Bilgehan-bilgili başkose & savran (hypericaceae) species, local endemic to turkey. *Pak J Bot*, 54:1089–95. [https://doi.org/10.30848/PJB2022-3\(44\)](https://doi.org/10.30848/PJB2022-3(44))

- [62] Akçam Oluk, E. & Çakır, A. (2009). Micropropagation of *Origanum sipyleum* L., an endemic medicinal herb of Turkey. *Afr J Biotechnol*, 8:5769–72. <https://doi.org/10.5897/ajb09.1216>
- [63] Cenkcı, S., Kargıoğlu, M., Dayan, S. & Konuk, M. (2008). *In vitro* propagation of an endangered plant species, *Thermopsis turcica* (Fabaceae). *Biologia (Bratisl)*, 63:652–7. <https://doi.org/10.2478/s11756-008-0125-9>
- [64] Cuce, M., Inceer, H., Imamoglu, K.V., Ergin, T. & Ucler, A.O. (2022). Towards *ex situ* conservation of globally rare Turkish endemic *Tripleurospermum fissurale* (Asteraceae). *In Vitro Cell Dev Biol Plant*, 58:1002–11. <https://doi.org/10.1007/s11627-022-10289-2>
- [65] Inceer, H., Cuce, M., Imamoglu, K.V., Ergin, T. & Ucler, A.O. (2022). *In vitro* propagation and cytogenetic stability of *Tripleurospermum insularum* (Asteraceae)—A critically endangered insular endemic species from Turkey. *Plant Biosyst* 2022;156:1213–21. <https://doi.org/10.1080/11263504.2022.2029969>
- [66] Cuce, M. & Inceer, H. (2024). Micropropagation and reintroduction of the endemic *Tripleurospermum ziganaense* (Asteraceae) to its natural habitat. *In Vitro Cell Dev Biol Plant*, 60:646–58. <https://doi.org/10.1007/s11627-024-10457-6>
- [67] Kaya Köse, S. (2025). Climate change and threatened plant species: A bibliometric analysis of endangered, endemic, and rare plants. *Anatolian Journal of Botany*, 9:127–35. <https://doi.org/10.30616/ajb.1669524>
- [68] Peñas, J., Barrios, S., Bobo-Pinilla, J., Lorite, J. & Martínez-Ortega, M.M. (2015). Designing conservation strategies to preserve the genetic diversity of “*Astragalus edulis*” Bunge, an endangered species from western Mediterranean region. *PeerJ* 2015:1474. <https://doi.org/10.7287/peerj.preprints.1496v1>
- [69] Can, B. & Gürel, A. (2023). Nanopartiküllerin Bitki Sistemlerinde ve Bitki Doku Kültürlerinde Uygulamalarına Yönelik Genel Bir Bakış. *International Journal of Life Sciences and Biotechnology*, 6:335–70. <https://doi.org/10.38001/ijlsb.1293031>
- [70] Karaköse, M., Akbulut, S. & Bayramoğlu, M.M. (2018). Espiye (Giresun) Orman Planlama Birimi'nin istilacı yabancı türleri. *Turkish Journal of Forestry*, 2:120–9. <https://doi.org/10.18182/tjf.349894>
- [71] Mounce, R., Smith, P. & Brockington, S. (2017). *Ex situ* conservation of plant diversity in the world's botanic gardens. *Nat Plants*, 3:795–802. <https://doi.org/10.1038/s41477-017-0019-3>
- [72] Oğur, E. (2021). İzmir İlinde Bulunan Nadir, Endemik ve Tehdit Altındaki Bitki Türlerinin Toplanması ve *Ex Situ* Muhafazası. *Anadolu Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 31:226–44. <https://doi.org/10.18615/anadolu.1033609>