

## Kuraklık Stresi Uygulanan Kayacık (*Ostrya Carpinifolia* Scop.) Fidanlarında Morfolojik, Fizyolojik ve Biyokimyasal Değişimlerin Araştırılması

### Investigation of Morphological, Physiological and Biochemical Changes in Hophornbeam (*Ostrya Carpinifolia* Scop.) Saplings under Drought Stress

 Çiğdem YILMAZ<sup>1</sup>,  Şemsettin KULAÇ<sup>1</sup>,  Fadime BEYAZYÜZ<sup>1\*</sup>

#### Özet

Kuraklık tarımsal üretimi sınırlayan en kritik çevresel stres faktörlerinden biridir. Kurak koşullara dayanıklı türlerin belirlenmesi ıslah çalışmaları için büyük önem arz etmektedir. Türkiye’de doğal yayılış gösteren kayacığın kuraklığa tepkisinin belirlenmesi ağaçlandırma programlarının başarısına katkıda bulunabilir. Bu çalışmada, yedi farklı popülasyondan alınan kayacık fidanlarının kuraklık stresine karşı morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal tepkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma tesadüf parselleri deneme desenine göre haftada iki, haftada bir ve iki haftada bir olmak üzere üç farklı sulama kademesinde yürütülmüştür. Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında hasat edilen bitkilerin fidelerinin boy, çap, toplam biyokütle, su potansiyeli, stoma iletkenliği, prolin ve toplam çözülebilir karbohidrat içeriği ölçülmüştür. En düşük boy artışının Adana-Saimbeyli ile Antalya-Finike popülasyonlarında olduğu belirlenmiştir. Elde edilen veriler, en yüksek bitki su geriliminin, çözünür karbohidrat ve prolin miktarının şiddetli kuraklık grubunda grupta olduğunu göstermiştir. Ağustos ayında yapılan klorofil konsantrasyon indeksi ölçümlerinde Adana-Saimbeyli, Antalya-Akseki, Antalya-Finike popülasyonlarında diğerlerine göre daha düşük değerler ölçülmüştür. Stoma iletkenliği en düşük olan popülasyonun Antalya-Akseki ve şiddetli kuraklık grubunda grup olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak Adana-Saimbeyli, Antalya-Akseki, Antalya-Finike popülasyonlarının kuraklığa daha dirençli olması nedeniyle gelecekteki ağaçlandırma çalışmalarında tercih edilebilir.

**Anahtar Kelimeler:** Abiyotik stres, Kayacık (*Ostrya carpinifolia* Scop.), Kuraklık stresi

#### Abstract

Drought is one of the most critical environmental stress factors limiting agricultural production. Determining species resistant to drought conditions is of great importance for breeding studies. Investigation of the drought response of the hophornbeam, which naturally distributes in Turkey, could contribute to the success of afforestation programs. In these sense the study, it was aimed to analyze hop-hornbeam seedlings taken from seven different populations' morphological, physiological and biochemical responses to drought stress. The study was carried out in three different irrigation levels (irrigated twice a week, once a week, and once every two weeks) depending on a randomized plot design. Plants that were harvested in June, July, August, September, and October seedlings' height, diameter, total biomass, water potential, stomatal conductivity, proline, and total soluble sugar content were measured. The lowest height growth was determined from the Adana-Saimbeyli and Antalya-Finike populations. The results determined the highest plant water tension, amounts of soluble sugar, and proline in the group that was irrigated every two weeks. In the chlorophyll concentration index measurements in August, Adana-Saimbeyli, Antalya-Akseki, Antalya-Finike populations had lower values were measured. It was determined that the population with the lowest stomatal conductivity was Antalya-Akseki and the group that was irrigated every two weeks. In conclusion Adana-Saimbeyli, Antalya-Akseki, Antalya-Finike populations were more resilient to drought, so they should be preferred for future afforestation programs.

**Keywords:** Abiotic stress, Drought stress, Hophornbeam (*Ostrya carpinifolia* Scop.)

Geliş Tarihi: 04.11.2022, Düzeltme Tarihi: 07.12.2022, Kabul Tarihi: 26.12.2022

Adres: <sup>1</sup>Orman Mühendisliği Bölümü, Orman Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

E-mail: fadimebeyazyuz@gmail.com

\*Bu çalışma, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı’nda “Kuraklık Stresine Maruz Bırakılan Kayacık (*Ostrya Carpinifolia* Scop.) Fidanlarında Morfolojik, Fizyolojik ve Biyokimyasal Değişimlerin Araştırılması” isimli yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

## 1. Giriş

Küresel ısınmanın neden olduğu iklim değişikliği ekosistemdeki canlılar üzerindeki olumsuz etkilerini artırmıştır. Bu bağlamda yapılan projeksiyonlarda sıcaklık artışına bağlı olarak küresel ısınmanın etkileri giderek arttığı (Koç, 2022) ve bu artışın bitkilerde özellikle ağır metal (Çobanoğlu ve ark., 2022; Isinkaralar ve ark., 2022a; Key ve ark., 2022) ve kuraklık (Ozturk ve ark., 2020; Koç ve Nzokou, 2022) stresinde de artışa neden olarak bitki tür ve dağılımının olumsuz etkilenerek bazı türlerin yok olmasına sebep olduğu (Koç, 2021) bildirilmiştir. Kuraklık son iki yüzyılda dünyanın en çok uğraşmak zorunda kaldığı çevresel problemlerin en önemlisi (Seleiman ve ark., 2021; Batool ve ark., 2022; Koç ve Nzokou, 2022) olmakla birlikte diğer bir çevresel problem ise kirliliktir (toprak, su ve hava) (Şahin ve ark., 2020; Çobanoğlu ve ark., 2022; Isinkaralar ve ark., 2022b; Uzun ve ark., 2022).

Yapılan çalışmalarda bitki büyümesi ile topraktaki kullanılabilir su miktarı arasında bir ilişki olduğu ortaya konulmuştur (Kulaç ve ark., 2012; Koç ve Nzokou, 2022). Bunun yanı sıra özellikle topraktaki bitki besin elementleri hem türlerin doğal yayılış alanlarında hem de ekstrem yetişme koşullarında bitki büyümesinde önemli bir yere sahiptir (Shults ve ark., 2020). Dolayısıyla kuraklık bitkilerin sürgün boyu, çap artışı gibi morfolojik karakterlerinin yanı sıra fizyolojik ve biyokimyasal özelliklerini olumsuz yönde etkileyerek (Seleiman ve ark., 2021; Koç ve ark., 2022) bitki büyümesini yavaşlattığı belirtilmektedir. Kurak koşullar bitkilerin karbohidrat, protein ve lipid metabolizması gibi fonksiyonlarını olumsuz etkilemektedir. Böylece bitkinin zar kararlılığı, stoma iletkenliği, transpirasyon gibi fizyolojik bozukluklara neden olmaktadır (Zheng ve ark., 2021, Yalçın ve ark., 2021). Bu açıdan kuraklığa dayanıklı popülasyonların belirlenmesi tohum transferi, ıslah çalışmaları ve genetik korumanın da altyapısını oluşturmak ve en önemlisi ağaçlandırma stratejilerinin geliştirmesi açısından büyük önem arz etmektedir (Demir ve Bora, 2021). Bu nedenle, herhangi bir orman amenajman faaliyetinin planlanmasına başlamadan önce türlerin ve popülasyonların genetik yapısı ile ilgili çalışmalar yapılmalı ve çoklu genetik kaynakların seçimi ve korunması temel alınmalıdır (Pach ve ark., 2022). Bu bağlamda Kandemir (2002)'in yapmış olduğu bir çalışmada bitki su gerilimi ile prolin içeriğinin doğru orantılı olduğu belirlenmiştir. Kandemir ve ark.'nın (2016) yaptığı diğer bir çalışmada bu çalışmaya paralel olarak kuraklığa bırakılan çam fidanlarında prolin miktarında yükselme gözlenmiştir. Kulaç'ın (2010) yapmış olduğu bir araştırmada bunlara paralel olarak prolin seviyesinin vejetasyon dönemi başında en yüksek değerlere sahip iken yaz ortasında azaldığı, vejetasyon dönemi sonunda ise tekrar yükseldiği gözlemlenmiştir.

Genel olarak bitkideki stres miktarının artışı prolin seviyelerinde de yükselişe neden olduğu belirtilmektedir (Yang ve ark., 2007; Gao ve ark., 2009; Kulaç, 2010). Ayrıca *Quercus pubescens* ağaçlarında yapılan bir çalışmada şiddetli kuraklık sürecinde bir fotokoruyucu mekanizma ağı bu türün potansiyel işlevselliğini koruduğu ve sulama işleminin ardından bu mekanizma sayesinde fotosentez aktivitelerinin hızlı bir şekilde geri kazandığı tespit edilmiştir (Gallé ve ark., 2007).

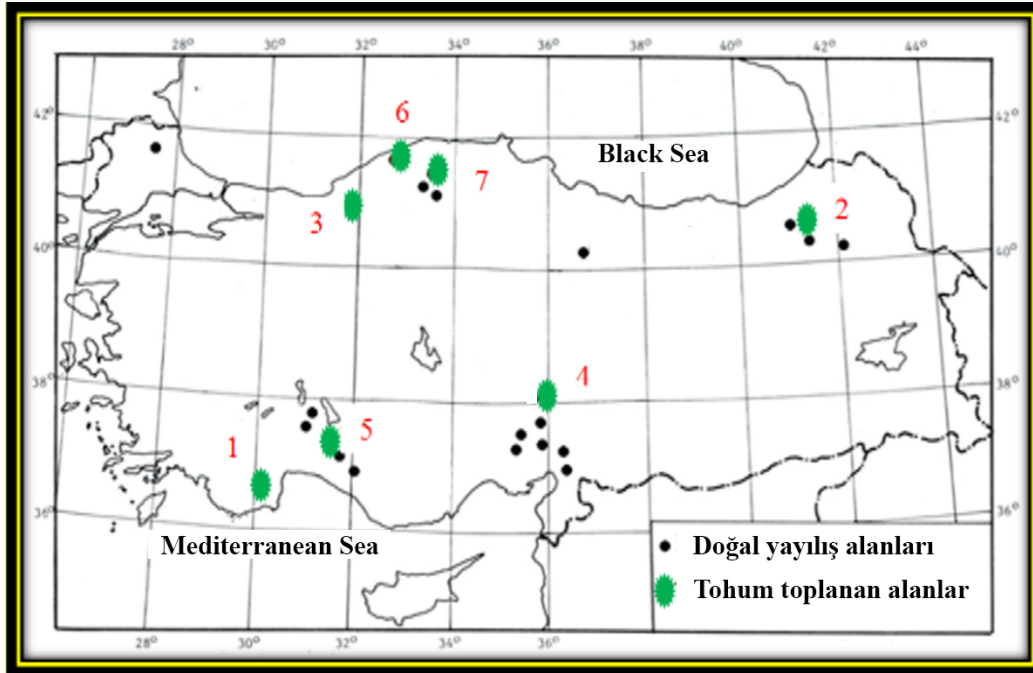
Kayacık Betulaceae ailesine ait, yaklaşık 18-20 m boyu olan ve kış aylarında yaprak döken bir ağaç türü (Sekulić ve ark., 2021) olmakla birlikte ülkemizde Antalya, Adana ve Antakya'da doğal yayılışa sahiptir (Saribaş, 2000). Değerli Yapraklılar Ağı'na göre öncelikli türler kapsamında yer alan kayacık, bitki tehlike sınıflandırmasında "Az Tehdit Altında (Lower Risk [LR])" kategorisindedir. Literatürde, kayacık türünün sistematigi ve botanigi konusunda (Kayacık, 1977), bu türün tohumu ile ilgili (Çelik, 2008; Kulaç ve ark., 2013; Kulaç ve ark., 2014) ve odun yapısına yönelik (Korkut ve ark., 2007) çeşitli çalışmalar bulunmuştur. Ayrıca gölgeye dayanma, rölatif büyüme oranlarının ve fotosentez yapma oranları bakımından diğer Betulaceae familyasına ait türler nazaran daha yüksek değerler gösterdikleri tespit edilmiştir. Diğer bir çalışmada, yaprak kalitesindeki değişimlerin vejetasyon süresi esnasında nasıl değiştiği irdelenmiş ve erken dönemlerde kaliteli yaprakların biyotik faktörlerden biri olan böcek zararlarına karşı dayanıklı olduğu tespit edilmiştir (Hunter ve Lechowicz, 1992). Bitki kanalların anatomisi ve su taşıma verimliliği, türe özgü ve çevresel faktörlerden etkilenir. Bitkilerde bir damarın boyutu ile iletkenliği arasında güçlü bir ilişki vardır, bu da damar boyutundaki küçük farklılıkların bile su taşıma verimliliğini ve güvenliğini büyük ölçüde değiştirdiği anlamına gelmektedir (Tyree ve ark. 2010). Aynı zamanda, kuraklık stresi altında emboli nedeniyle su sütununun kırılma riski, daha geniş kanallarda küçük olanlardan daha yüksektir ve ağacın yaşayabilirliğini tehlikeye atabilir. Bu bağlamda Gričar ve ark. (2020) yapmış olduğu çalışmada *Quercus pubescens* W., *Fraxinus ornus* L. and *Ostrya carpinifolia* S. türleri arasında en az verimli su taşınmasının *O. carpinifolia*'da olduğunu ve kuraklığın bu türün yaşamı için tehlike arz edebileceğini belirtmiştir. Bunun aksine, Aichner (2017)'nin yapmış olduğu bir çalışmadan kuraklık stresi uygulanan kayacığın klorofil içeriği parametrelerinde önemli bir değişikliğe rastlanmamıştır. Bu bağlamda gelecek yıllarda bu türün olası yaygınlığının daralması veya yok olması tehlikesine karşı koruma altına alınması gerekebilecektir (Kulaç ve ark., 2013; Fenu ve ark., 2019).

Literatür taramalarına göre eksikliği gözle görülen kayacık türünün kuraklık stresine karşı verebileceği morfolojik, biyokimyasal ve fizyolojik tepkilerin belirlenmesine yönelik olan bu çalışmanın ülkemiz kapsamında yapılan ilk araştırma olduğu düşünülmektedir.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Materyal

Araştırmada kullanılan kayacık tohumu Kastamonu-Şehdağ, Düzce-Yığılca, Sinop-Duvarsöküğü, geçiş iklimi gösteren Erzurum-İspir, Adana-Saimbeyli, Antalya-Finike ve Antalya-Akseki popülasyonlarından (Şekil 1) ve her bir popülasyon için 10 farklı ağaçtan olmak üzere 2012 yılında Ekim-Kasım aylarında toplanmıştır. Tohum toplanan popülasyonların konum bilgileri Tablo1’de verilmiştir.



Şekil 1. Kayacığın Türkiye’deki doğal yayılış alanları ve tohum toplanan popülasyonlar.

### 2.1. Yöntem

Fidanlık koşulları altında yetiştirilen 1+0 yaşındaki kayacık fidanları tesadüf parselleri deneme desenine göre haftada 2 kez sulanan (kontrol), haftada 1 kez sulanan (az kuraklık), iki haftada bir kez sulanan (şiddetli kuraklık) olmak üzere 3 farklı sulama sistemine tabi tutulmuştur. Kanatlarıyla beraber laboratuvar ortamına getirilip bekletilen tohumlar, el yardımıyla tohum kanatlarından ve yabancı maddelerden ayrılmıştır. Boş tohumlar %50 alkollü su içerisinde yüzdürme yöntemiyle belirlenip dolu tohumlardan ayrılmıştır. Daha sonra dolu tohumlar 24 saat kadar oda sıcaklığında hava kurusu hale getirildikten sonra ağzı

kilitli poşetlere konularak testler başlayana kadar buzdolabında ( $3\pm 2^{\circ}\text{C}$ ) bekletilmiştir. Katlama işlemi için kayacak tohumları, içerisinde perlit bulunan tül torbalar içerisinde yerleştirilmiştir. Tohumlar iki haftada bir poşetlerinden çıkarılıp bir saat havalandırıldıktan sonra saf suyla yıkanıp tekrar saklama kaplarında istiflenmiştir.

**Çizelge 1. Çalışmada kullanılan popülasyonların koordinatları.**

| Numara | Popülasyon        | Enlem   | Boylam  | Rakım (M) |
|--------|-------------------|---------|---------|-----------|
| 1      | Antalya-Finike    | 36° 19' | 30° 05' | 820       |
| 2      | Erzurum-İspir     | 34° 27' | 41° 00' | 1947      |
| 3      | Düzce-Yığılca     | 40° 55' | 31° 20' | 550       |
| 4      | Adana-Saimbeyli   | 38° 01' | 36° 06' | 1225      |
| 5      | Antalya-Akseki    | 37° 05' | 31° 46' | 1300      |
| 6      | Sinop-Duvarsöküğü | 41° 47' | 34° 37' | 450       |
| 7      | Kastamonu-Şehdağ  | 41° 47' | 33° 07' | 700       |

Çimlendirme işlemleri  $+4 - +6^{\circ}\text{C}$ 'de gerçekleştirilmiştir. Çimlenen tohumlar polietilen tüplere ekilmiştir. Yetiştirme ortamı olarak perlit, torf ve orman toprağı (1/1/1 oranında) kullanılmıştır.

Haziran ve Ekim 2013 tarihleri arasında kök boğazı çapı (KBÇ) dijital mikro kumpas yardımıyla 0,01 cm hassasiyetle, fidan boyu (FB) cetvel yardımı ile 0,1cm hassasiyetle ve toplam biyokütle (kök + gövde) ise 0,001 gr hassasiyetle ölçülmüştür. Kök boğazından kesilen fidan yapraklardan kök kısmı topraklardan temizlenerek yaş ağırlıkları ve 48 saat süre ile  $65^{\circ}\text{C}$  etüvde inkübe edilerek kuru ağırlıkları ölçülmüştür.

Fizyolojik ve biyokimyasal parametreler için ksilemdeki su potansiyeli, toplam karbohidrat içerikleri, prolin, yapraklardaki stoma iletkenliği ve klorofil konsantrasyon indeksi üç tekrarlı olarak ölçülmüştür. Ksilem su potansiyelinin belirlenmesinde Scholander ve ark. (1965)'in basınç odası yöntemi kullanılmıştır. Bitkilerin gelişme dönemi başlangıcından itibaren ksilem ölçümleri her hasat döneminde tekrarlanmıştır. Şafak öncesinde fidanların toprak nemi ve sıcaklıkları ölçüldükten sonra kök boğazı hizasının üst kısmından pürüzsüz ve hafif bir eğimle kesilerek ölçüme hazır hale getirilmiştir. Ksilemi açığa çıkarılan bitkinin basınç miktarı okunmuştur.

Prolin tayini Bates ve ark. (1973) yöntemine göre yapılmıştır. Kontrol ve kuraklık stresi altında yetiştirilen bitkilerin yapraklarından 0,5 gr tartılarak %3'lük sülfosalisilik içerisinde homojenize edildikten sonra süzölmüştür. Süzölen özütten 2 ml alınarak üzerine 2 ml asit-ninhidrin çözeltisi ve 2 ml glasiyel asetik asit eklenmiş ve karışım  $95^{\circ}\text{C}$ 'de 1 saat

bekletilmiştir. Soğuyan karışıma 4 ml toluen ilave edilmiş ve vorteksle karıştırılan örnekler ölçüm için hazır hale getirilmiştir. Ölçümler spektrofotometre cihazı ile 520 nm dalga boyunda gerçekleştirilmiştir. Prolin konsantrasyonu kalibrasyon eğrisi kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar  $\mu\text{mol prolin g}^{-1}$  taze ağırlık olarak ifade edilmiştir.

Toplam çözünebilir karbohidrat tayini (Dubois ve ark., 1956)'nin yöntemine göre gerçekleştirilmiştir. Kontrol ve kuraklık stresi altında yetiştirilen bitkilerin yapraklarından 0,1 gr tartılarak 5 gr cam kırığı ile öğütüldükten sonra +4 °C'de 48s inkübe edilmiştir. Ardından 5000 rpm'de 5 dakika santrifüj edildikten sonra süpernatant yeni tüpe alınmış ve 1 ml'lik numune hazırlanmıştır. Hazırlanan 1 ml bitki örneklerine 1 ml %5 fenol ve 5 ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> eklenerek vorteks ile karıştırıldıktan sonra 490 nm dalga boyunda ölçüm gerçekleştirilmiştir.

Bitki yapraklarındaki klorofil içeriği indeksi (CCI) değerleri SPAD-502 Plus cihazıyla belirlenmiştir. Kontrol ve kuraklık stresi uygulanmış fidanlara ait yapraklar üzerinde damarlara gelmeyen kısımlarında ölçüm gerçekleştirilmiştir. Stoma iletkenliği, taşınabilir porometre aleti (AP4 Delta T, Cambridge, UK) kullanılarak ölçülmüştür. Ölçüm yapılan fidanlarda standart olarak tepenin uç kısmından geriye doğru 3. 4. ve 5. yapraklar kullanılmıştır. Her bir kuraklık koşulu ve orjin için seçilen yapraklardan 8 değer okunup bu değerlerin ortalaması kullanılmıştır.

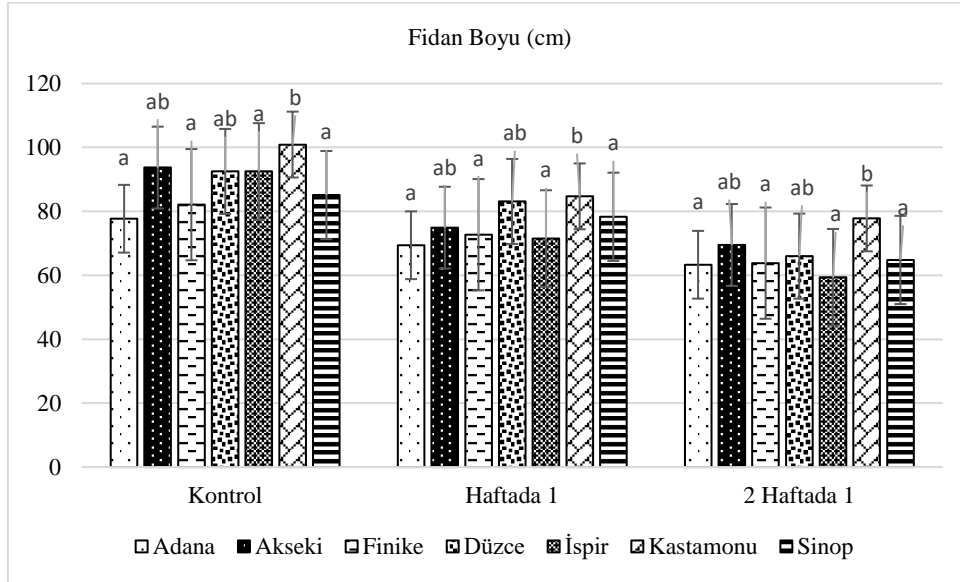
## 2.2. İstatistiksel Analiz

Yapılan ölçümler sonucu elde edilen verilerin değerlendirilmesinde SPSS 19.0 paket programı ile varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. Varyans analizi sonucunda aralarında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunan ( $p < 0.05$ ) ortalamaların karşılaştırılmasında Duncan Testi ( $\alpha = 0.05$ ) kullanılmıştır.

## 3. Bulgular ve Tartışma

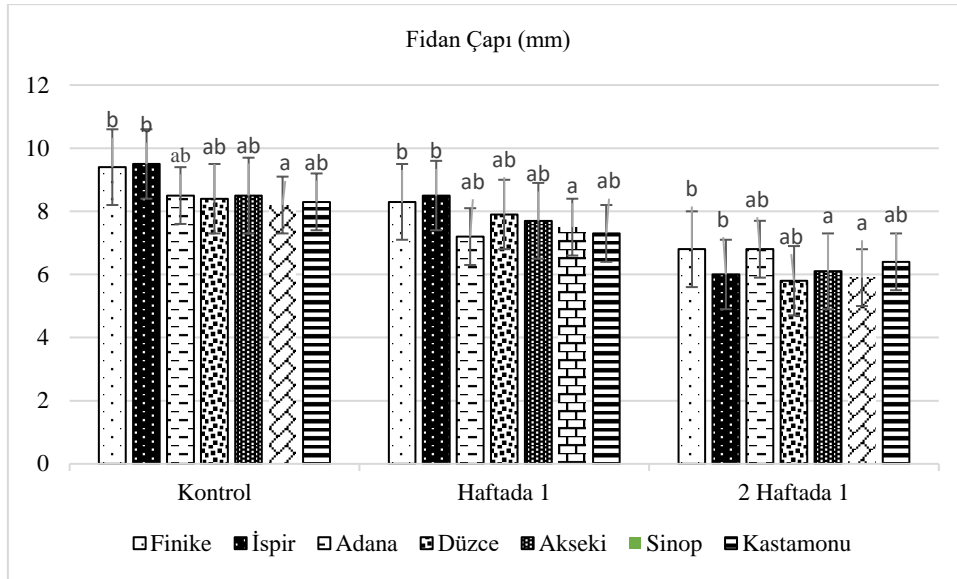
Bu çalışmada kuraklık stresi arttıkça morfolojik karakterlerde (çap, boy ve biyokütle) azalmalar meydana gelmiştir. Popülasyonlar arasında tüm uygulaman gruplarında ortalama boy gelişimi en düşük ölçülen popülasyonlar sırasıyla Adana-Saimbeyli (70.10 cm), Antalya-Finike (72.88 cm), Erzurum-İspir (74.47 cm), Sinop (76.07 cm), Akseki (79.40 cm), Düzce (80.51 cm) ve Kastamonu (87.80 cm) olmuştur ( $p > 0.05$ ). Kısaca kontrol gruplarına göre az kuraklık uygulanan grupta Adana-Saimbeyli popülasyonunda boy uzamasında %10 azalma ölçülmüş, şiddetli kuraklık uygulanan grupta ise boy uzamasında %20 azalma

görülmüştür. Antalya-Finike popülasyonu kontrol grubuna göre az kuraklık uygulanan grupta %13 boy uzamasında azalma, şiddetli kuraklık uygulanan grupta ise %24 azalma görülmüştür. Erzurum-İspir popülasyonunda ise boy uzamasında kontrol grubuna göre az kuraklık uygulanan grupta %23 azalma olurken şiddetli kuraklık uygulanan grupta ise %36 azalma ölçülmüştür.



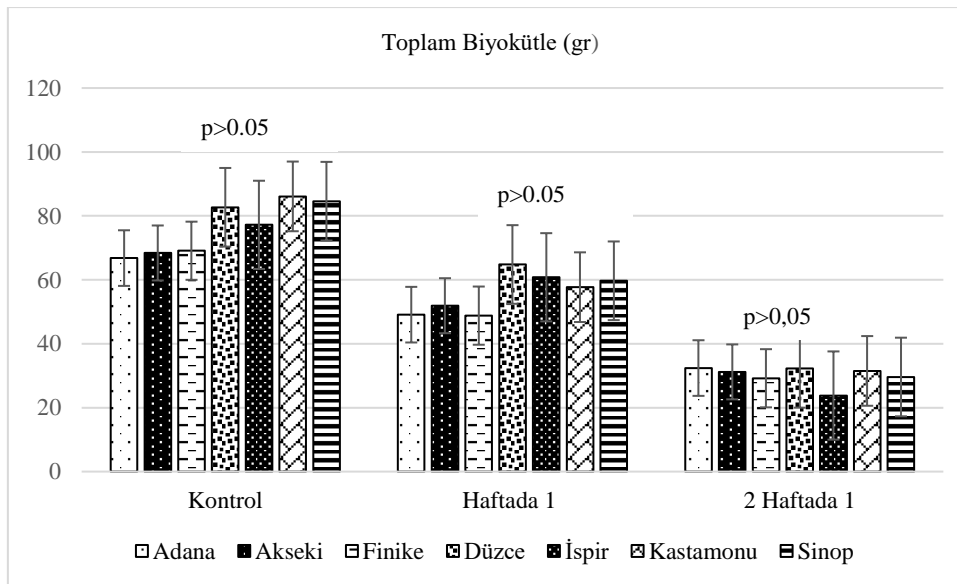
**Şekil 2.** Fidan boylarının sulama gruplarına göre dağılımı.

Fidan çaplarına ilişkin veriler Şekil 3'te gösterilmekte olup, çap artışı en çok sırasıyla Antalya-Finike (8.17 mm), Erzurum-İspir (7.99 mm) ve Adana-Saimbeyli (7.47 mm) popülasyonlarında tespit edilmiştir. Fidan çaplarına ilişkin sonuçlarda fidan boyları gibi benzer iki grup olduğu görülmüşken, en düşük çap artışı gösteren popülasyonlar sırasıyla Sinop-Duvarsöküğü (7.16 mm), Kastamonu (7.33 mm), Düzce (7.35 mm) ve Akseki (7.43 mm) olmuştur. Kısaca, çap artışları değerlendirildiğinde kontrol gruplarına göre az kurak grupta Antalya-Finike popülasyonuna ait fidanlarda yaklaşık %20 azalırken, şiddetli kuraklık uygulanan gruba ait fidanlarda %30 azalmıştır. Diğer popülasyonlara ait sulama gruplarında da benzer sonuçlar tespit edilmiştir.



**Şekil 3.** Ortalama fidan kök boğazı çaplarının popülasyonlara ve sulama gruplarına göre dağılımı.

Toplam biyokütleye bakıldığında en yüksek biyokütleyle sahip popülasyonlar Düzce-Yığılca (59.93 g), Kastamonu-Şehdağ (58.43 g) ve Sinop (57.96 g) olmuştur. İspir (53.9 g), Akseki (50.49 g), Adana-Saimbeyli (49.46 g) ve Antalya-Finike (49.02 g) popülasyonlarında yapılan ölçümlerde en düşük biyokütleyle sahip olduğu görülmüştür ve istatistiki olarak aralarında fark bulunamamıştır ( $p > 0.05$ ).

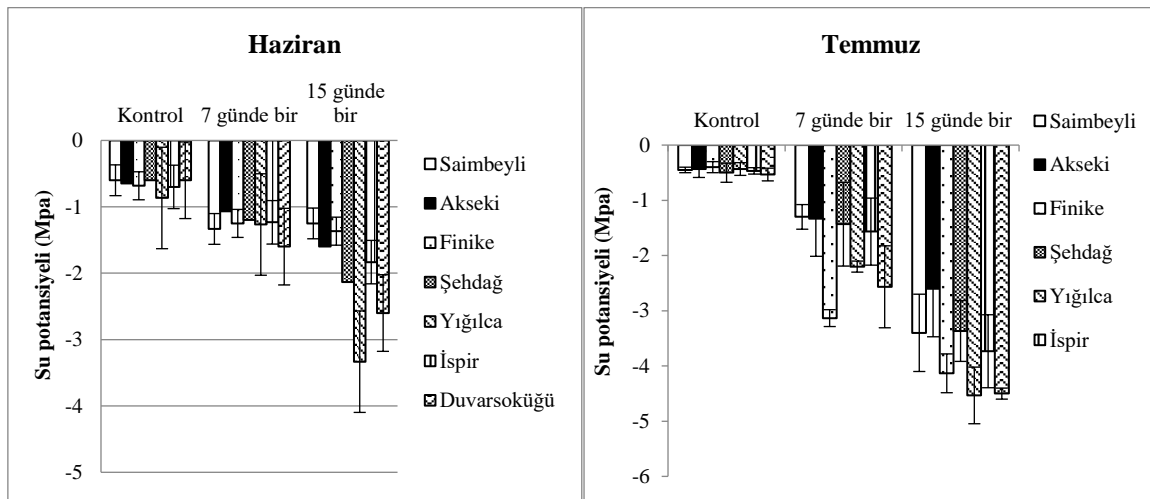


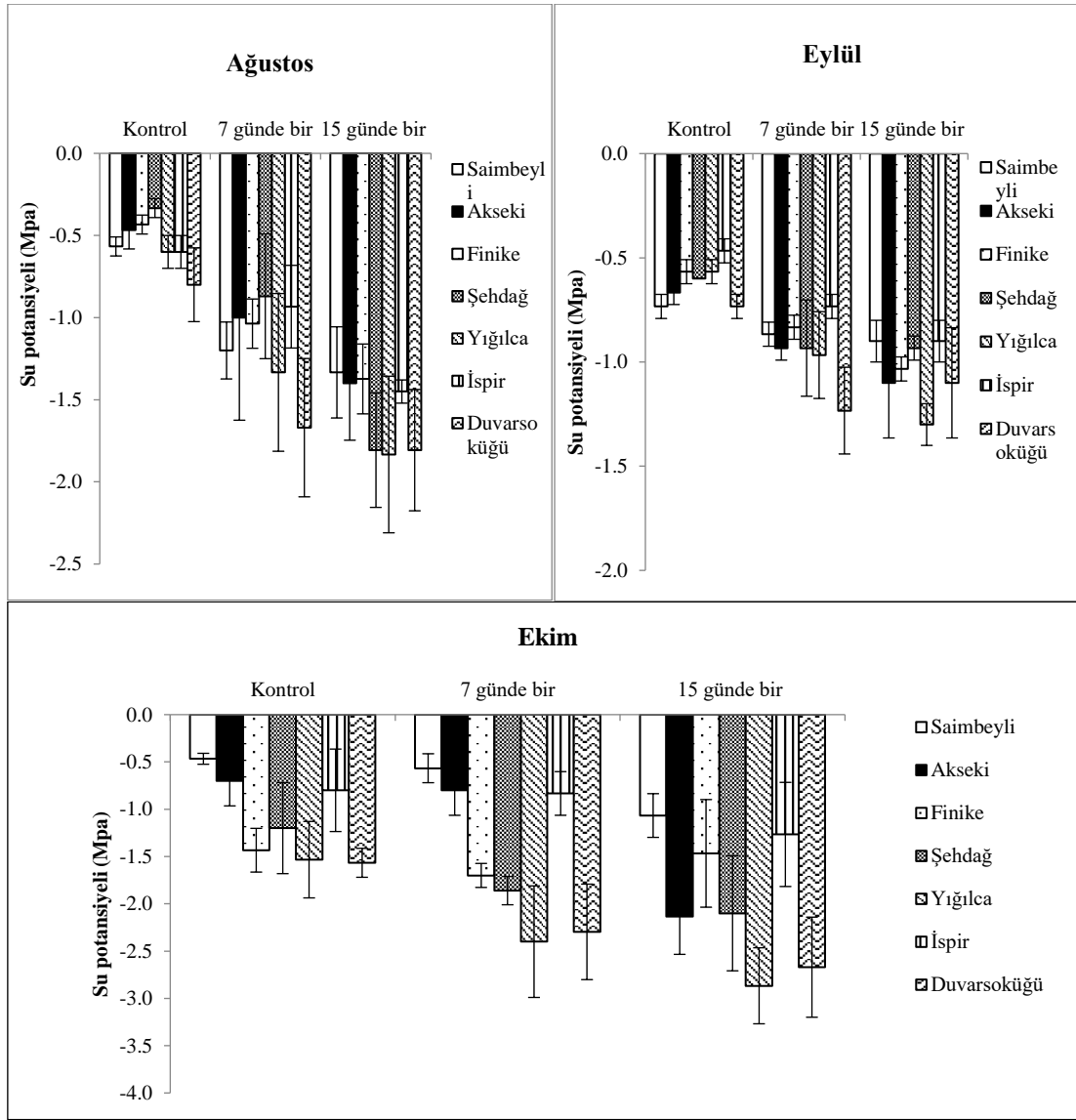
**Şekil 4.** Toplam biyokütle'nin popülasyonlara ve sulama gruplarına göre dağılımı.

Yapılan çalışmalarda şafak öncesi bitki su gerilimleri (BSG) genellikle yaz ortasına kadar devamlı olarak yükselip temmuz-ağustos ayında en düşük seviyelere ulaştığı ve sonrasında genellikle yükseldiği tespit edilmiştir (Sircelj ve ark., 2007; Kulaç, 2010).



Bu çalışmada ise benzer şekilde ağustos ayında gerçekleştirilen ölçümlerde BSG değerleri tüm sulama gruplarında yükselişe geçip Eylül ayında ise en yüksek değerlere ulaştığı belirlenmiştir (Şekil 5). Sulama gruplarına göre BSG değerleri en yüksek şiddetli kuraklık grubunda, en düşük ise kontrol gruplarında tespit edilmiştir. Su stresi uygulamaları olarak bitki su gerilimi en yüksek şiddetli kuraklık gruplarında ölçülmüştür. Bitki su gerilimi en yüksek Adana-Saimbeyli, Antalya-Finike ve Antalya-Akseki popülasyonlarında gözlemlenirken en düşük değerler ise Düzce-Yığılca, Sinop-Duvarsöküğü popülasyonlarında tespit edilmiştir. BSG kontrol gruplarına göre az kuraklık grubunda fidanlarda %20 artarken, şiddetli, kuraklık uygulanan grupta ise %40 oranında artış göstermiştir. Kayacık popülasyonlarının kuraklığa dayanıklılığı ile temsil ettikleri yetiştirme ortamlarının yaz kuraklığı şiddeti arasında bir korelasyon olduğu tespit edilmiştir (Dirik, 2000). Diğer bir çalışmada, ağaç türlerine ait popülasyonların kuraklığa toleransları ile temsil ettikleri doğal yayılış alanlarındaki iklimlerin kuraklık derecesi arasında bir paralelliğin var olduğu belirtilmiştir (Vejpustková ve Čihák, 2019). Benzer sonuçlar bu çalışmada da gözlemlenmiştir. Bu çalışmada farklı popülasyonlardan alınan ve kuraklık stresi uygulamaları gerçekleştirilen kayacık fidanlarındaki en düşük BSG değeri temmuz ayında Düzce-Yığılca ve Sinop-Duvarsöküğü popülasyonlarında ölçülmüş olup, en yüksek BSG değerleri ise eylül ayında Adana-Saimbeyli, Antalya-Akseki, Antalya-Finike ve Erzurum-İspir popülasyonlarında gözlenmiştir (Şekil 5).

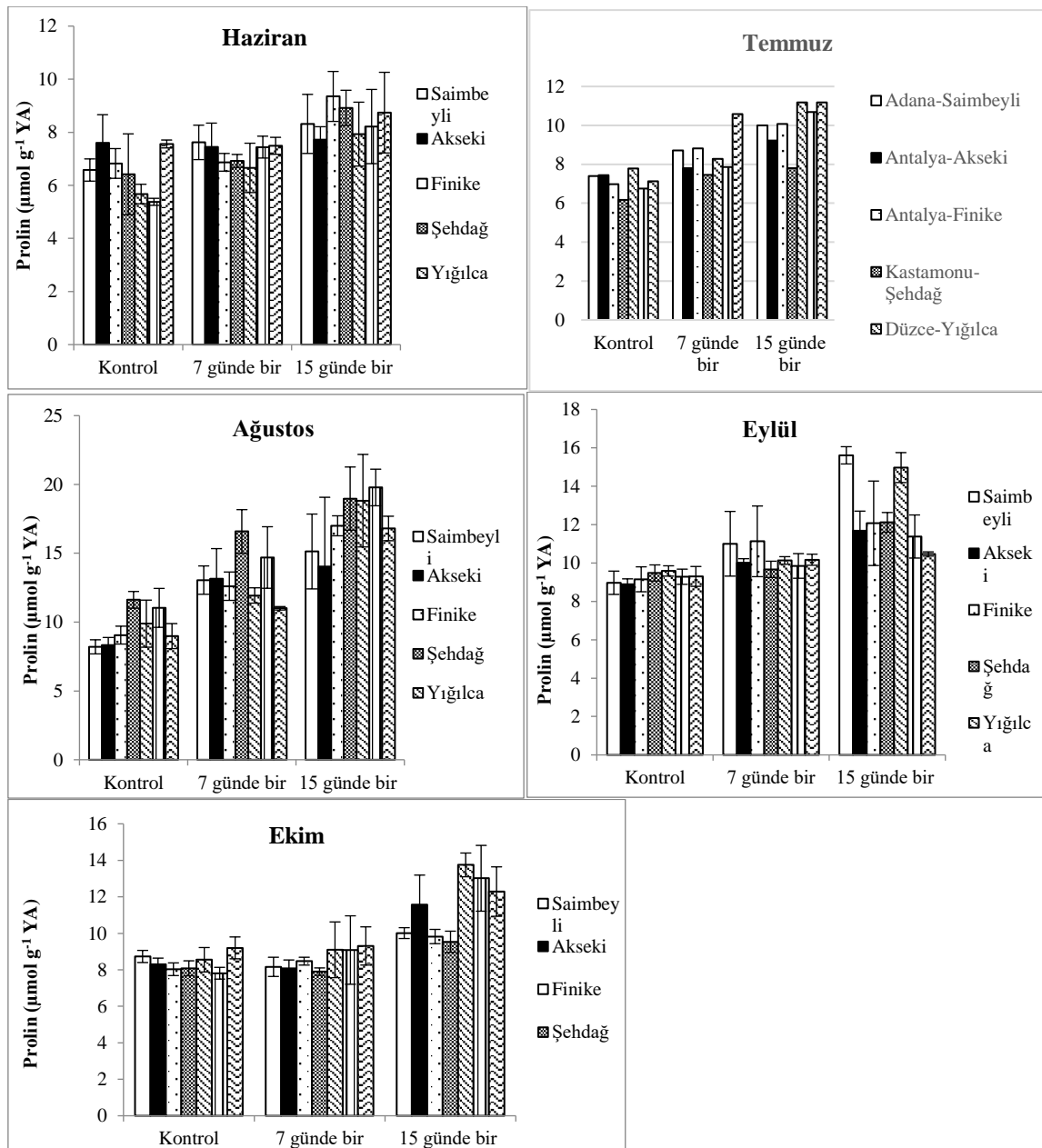




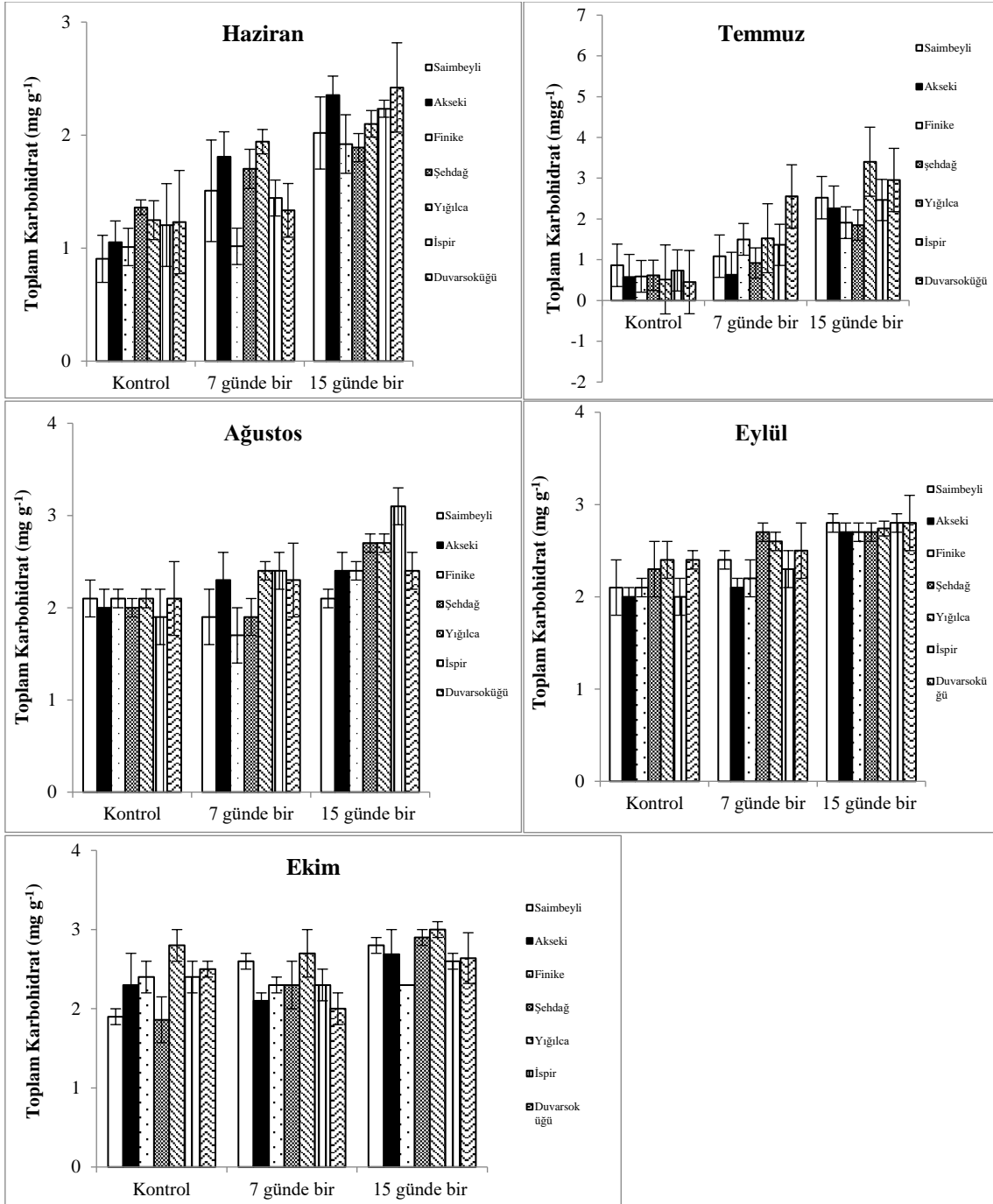
**Şekil 5.** Kayacak fidanlarını popülasyonlara göre su potansiyelinin ölçüm aylarına göre değişimi.

Bitkiler, hücrelerindeki metabolik hasarlarını onarmak için prolin miktarlarını artırmaktadırlar (Sircelj ve ark., 2005; Kulaç, 2010). Çalışmamızda, *Ostrya carpinifolia*'nın iki farklı kuraklık uygulamasının prolin birikimi üzerindeki değişimleri Şekil 6'da gösterilmiştir. Prolin miktarı az kuraklık uygulanan grupta ortalama %120 oranında artış göstermişken, şiddetli kuraklık uygulanan grupta %140 oranında artış gözlenmiştir. Strese maruz bırakılan popülasyonlara bakıldığında prolin miktarı en yüksek şiddetli kuraklık uygulanan grupta tespit edilmiştir. Prolin miktarlarının en yüksek değerlere ağustos ayında ulaştığı belirlenmiştir. Popülasyon arası değerlere bakıldığında, stresli dönemlerde en yüksek değerler Düzce-Yığılca, Kastamonu-Şehdağ ve Sinop-Duvarsöküğü popülasyonlarında ölçülmüştür. En düşük değerlerin ise Adana-Saimbeyli, Antalya-Akseki ve Antalya-Finike popülasyonlarında olduğu görülmektedir (Şekil 6).

Elde edilen sonuçlarımıza benzer şekilde, kuraklık stresi uygulanan *Stevia* (Yalçın ve ark., 2022), *Oryza sativa* (Dien ve ark., 2019), *Populus euphratica* (Zhao ve ark., 2021), ve *Quinoa sp* (Nadali ve ark., 2021). *Pinus brutia* (Kandemir ve ark., 2016), *Pinus sylvestris* (Kulaç, 2010) bitkilerinde de kuraklık stresi prolin birikiminde artışa neden olmuştur. Bu çalışmalara benzer birçok çalışmada stres miktarının artmasına bağlı olarak prolin miktarında da artış olduğu vurgulanmaktadır (Kulaç, 2010; Gao, 2009; Yang ve ark., 2007; Shvaleva ve ark., 2005; Akça ve Yazıcı, 1999; Lansac ve ark., 1994). Stres uygulanan kayacak fidanlarının prolin miktarındaki artış, bu türün artan kuraklık koşullarında ozmotik etkilerini azaltmada yardımcı olarak su durumunu korumuş olabileceğini göstermektedir.



Şekil 6. Kayacak fidanlarının popülasyonlara göre prolin miktarının değişimi.



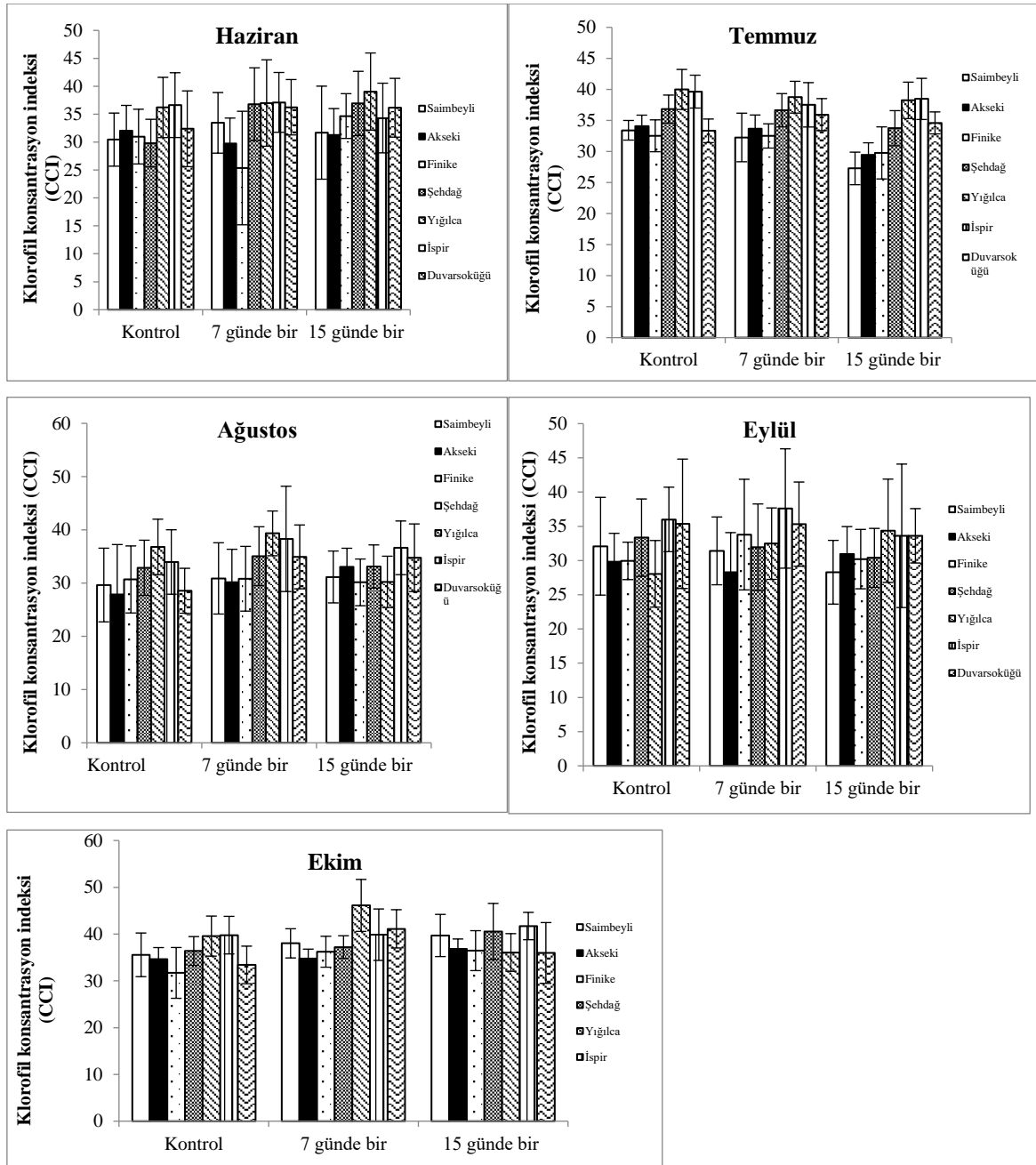
**Şekil 7.** Kayacık yapraklarının popülasyonlara göre toplam karbohidrat miktarının ölçüm aylarına göre değişimi.

Çözünür şekerler, hücrelerdeki karbon ve enerji kaynaklarıdır ve bazıları ozmotik ayarlama yoluyla bitkilerde stres toleransında sinyal molekülleri olarak da rol oynar (Dien ve ark., 2019). Ayrıca ROS temizliği ile sonuçlanabilecek oksidatif pentoz yolunu da besleyebilirler (Bayati ve ark., 2022). Sonuç olarak, ortamdaki değişikliklerle bağlantılı olarak şeker konsantrasyonundaki değişiklikler genellikle ROS üretimini etkiler ve şekerleri bitkilerde redoks dengesinde en kritik 'oyunculardan' biri yapar (Mittler, 2002).

Ayrıca bitkiler, bitkinin su tutma kapasitesini artıran ve su stresini azaltan çözümler şekerlerin birikimini artırmak için ozmotik potansiyellerini düzenleyebilirler (Arabzadeh, 2011). Moloi ve ark., (2021) çözümler şekerlerin birikiminin önemli bir kuraklık tolerans tepkisi olduğunu bildirmiştir.

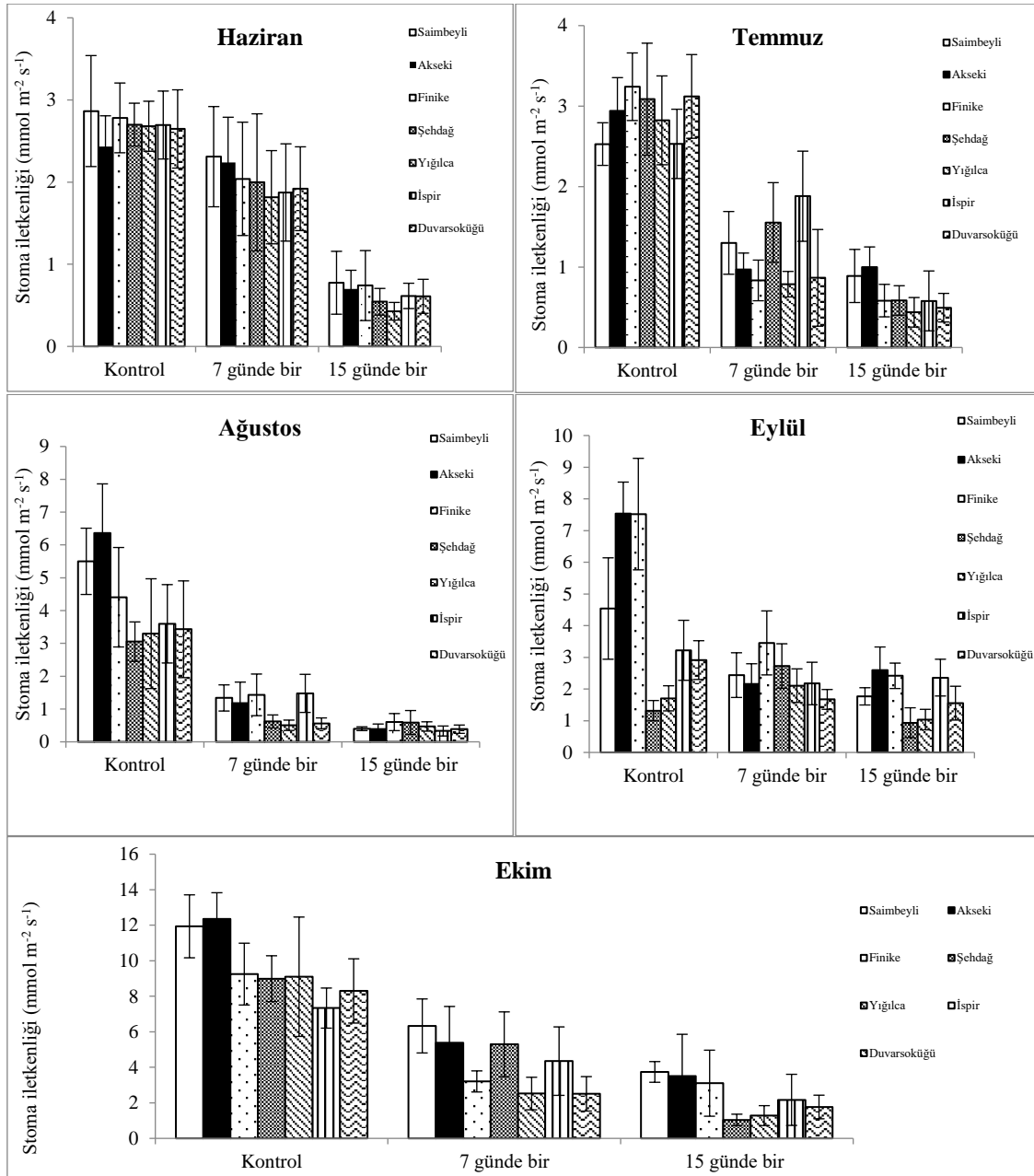
Toplam çözümler karbohidrat miktarı Şekil 7’de gösterilmiş olup, en yüksek değerler şiddetli kuraklık grubunda yer almaktadır. En düşük ölçülen karbohidrat miktarı ise kontrol gruplarında yer aldığı görülmektedir. En yüksek ölçülen karbohidrat miktarları ise Düzce-Yığılca, Sinop-Duvarsöküğü ve Erzurum-İspir popülasyonlarında ölçülmüştür. En düşük toplam çözümler karbohidrat miktarı ise Adana-Saimbeyli, Antalya-Finike ve Antalya-Akseki popülasyonlarında ölçülmüştür (Şekil7). Kandemir (2002), bitki su gerilimi ile prolin içeriği arasında pozitif bir ilişki olduğunu belirtmektedir. Kuraklığa dayanıklı *Foeniculum vulgare* genotiplerin yaprakta (Askari ve Ehsanzadeh 2015), *Nigella sativa* genotiplerinin (Bayati ve ark., 2022), *Oryza sativa* (Lu, ve ark., 2019), *Cicer arietinum* (Makonya, ve ark.,2019) daha yüksek toplam çözümler karbonhidrat ürettiğini bildirdi.

Klorofil konsantrasyon indeksi değerleri, mahsullerin N-gübrelenmesi için bir karar destek aracı olarak kullanılabilir ve hatta mahsul verimi ve biyokütle tahminini iyileştirmek için kullanılabilir (Veleva ve ark., 2022). Çalışmamızda, CCI en düşük şiddetli kuraklık uygulanan fidanlarda tespit edilirken en yüksek değerler ise kontrol grubunda bulunmuştur (Şekil 8). CCI’nın aylara göre dağılımda benzer sonuçlar tespit edilmiştir. CCI ağustos ayından itibaren benzer değerlerle haziran, temmuz ayından daha düşük bulunmuştur. CCI en yüksek değerleri Sinop-Duvarsöküğü, Erzurum-İspir ve Düzce-Yığılca olan kuzey popülasyonlarına ait fidanlarda iken, en düşük CCI değerleri ise Adana-Saimbeyli, Antalya-Akseki ve Antalya-Finike’nin içinde olduğu güney popülasyonlarında tespit edilmiştir. Artan kuraklık koşullarında, *Carthamus tinctorius* (Chavoushi ve ark. 2020), *Hibiscus sabdariffa* (Besharative ark.,2022), *Triticum aestivum* (Nikolaeva ark.,2010), *Ipomoea batatas* (Solis ve ark., 2014), *Triticum aestivum* (Khan ve ark., 2022) türlerinin klorofil konsantrasyon indeksi değerlerinde azalma meydana geldiğini bildirmiştir.



**Şekil 8.** Kayacık yapraklarının popülasyonlara göre klorofil konsantrasyon indeksinin ölçüm aylarına göre değişimi.

Stoma iletkenliği fotosentez için ana sınırlayıcı faktördür ve bitki su durumuna duyarlıdır. Stoma iletkenliğinin su eksikliği stresi altındaki davranışını doğru bir şekilde değerlendirmek, bitki örtüsü biyokütle üretimini ve dinamiklerini yöneten bitkiler karbon ve su akışını modellemek için esastır (Li ve ark., 2022). Artan kuraklık stresi stoma iletkenliğini azalmaktadır (Deligöz ve Bayar, 2017; Özbayram ve Kulaç, 2018). Kuraklık stresinin stoma iletkenliği üzerindeki etkileri aylara göre en yüksek kontrol grubunda, en düşük şiddetli kuraklık grubunda ölçülmüştür (Şekil 9).



**Şekil 9.** Kayacık yapraklarının popülasyonlara göre stoma iletkenliğinin ölçüm aylarına göre değişimi.

Benzer sonuçlar aylara göre dağılımda da tespit edilmiştir. Stoma iletkenliğinin en düşük olduğu ay ağustos olarak görülmektedir. Ağustos ayından sonra tekrar stoma iletkenliklerinde artış meydana geldiği görülmektedir. Kuraklık stresine karşı stoma açıklığı en çok kapanan popülasyonlar Düzce-Yığılca ve Sinop-Duvarsoküğü olurken, Adana-Saimbeyli, Antalya-Akseki ve Antalya-Finike popülasyonlarında ise stoma açıklığı en yüksek ölçülmüştür. Kuraklık stresi koşullarında çilek bitkisinde stoma iletkenliği, terleme hızı ve fotosentez miktarı azaldığı belirlenmiştir (Li ve ark., 2022). Buna ek olarak artan

kuraklık koşullarında *Quercus cerris* fidanlarının stoma iletkenliğinde istatistiksel olarak anlamlı olmasa da azalmalar meydana geldiği bildirilmiştir (Deligöz ve Bayar, 2017)

#### 4. Sonuçlar

Su açığı ile kuraklığa maruz bırakılan farklı popülasyonlara sahip kayacık fidanlarının morfolojik özelliklerine ilişkin sonuçlara bakıldığında genel olarak kontrol gruplarındaki fidanlar morfolojik karakterler bakımından daha iyi gelişim göstermişlerdir. Bu çalışmada, strese bağlı olarak boy gelişiminde genel olarak azalma meydana geldiği, kök boğazı çaplarının ise boy gelişimine göre farklılık gösterdiği gözlenmiştir. Bu çalışmanın sonuçlarına dayanarak, iklim özellikleri daha ılıman bölgelerde Kastamonu-Şehdağ popülasyonundan yetiştirilen fidanların kullanılmasının uygun olacağı söylenebilir. Antalya Akseki popülasyonu da hem bu bölgeler hem de iklim geçişi gösteren yerler için önerilebilir. Kök boğazı çapı gelişimi iyi olan ve genel olarak güney popülasyonu olan Adana-Saimbeyli popülasyonu ve İç Anadolu Erzurum-İspir popülasyonundan yetiştirilen fidanlar kurak ve yarı kurak bölgelere ağaçlandırma çalışmaları için önerilebilir. Genel olarak fizyolojik ve biyokimyasal karakterler birlikte değerlendirildiğinde Adana-Saimbeyli, Antalya-Akseki ve Antalya-Finike popülasyonları kuraklık stresine daha dayanıklıyken bunlara en yakın Erzurum-İspir popülasyonu olması İspirin lokal iklim koşulları ile ilgili olabileceği düşünülmektedir. Su açığı ile koşullandırma çalışmasında strese en dayanıksız popülasyonların Düzce-Yığılca ve Sinop-Duvarsöküğü olması bu popülasyonlar ile ilgili ileride yapılacak olan ağaçlandırma çalışmalarında çok daha nemli ve ılıman iklim koşullarına sahip bölgeler önerilebilir. Bu çalışmaya göre kurak ve yarı kurak bölgelerde yapılacak ağaçlandırma çalışmalarında özellikle su açığı ile koşullandırılmış Adana-Saimbeyli, Antalya-Akseki ve Antalya-Finike popülasyonlarının tohumlardan elde edilen fidanların kullanımı başarıyı önemli ölçüde artıracığı ön görülmektedir.



## Kaynaklar

- Aichner, N. (2017). Drought response strategies and post-drought recovery in two European trees/author: Aichner Natalie, BSc (Doctoral dissertation, Karl-Franzens-Universität Graz).
- Arabzadeh, N. (2011). The effect of drought stress on soluble carbohydrates (sugars) in two species of *Haloxylon persicum* and *Haloxylon aphyllum*. *Asian J. Plant Sci.*, *11*, 44–51.
- Askari, E.; Ehsanzadeh, P. (2015). Drought stress mitigation by foliar application of salicylic acid and their interactive effects on physiological characteristics of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) genotypes. *Acta physiologiae plantarum*, *37*(2), 1-14.
- Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, *39*(1), 205-207.
- Batool, M., El-Badri, A. M., Hassan, M. U., Haiyun, Y., Chunyun, W., Zhenkun, Y., ... & Zhou, G. (2022). Drought stress in Brassica napus: Effects, tolerance mechanisms, and management strategies. *Journal of Plant Growth Regulation*, 1-25.
- Bayati, P., Karimmojeni, H., Razmjoo, J., Pucci, M., Abate, G., Baldwin, T. C., & Mastinu, A. (2022). Physiological, biochemical, and agronomic trait responses of *Nigella sativa* genotypes to water stress. *Horticulturae*, *8*(3), 193.
- Besharati, J., Shirmardi, M., Meftahizadeh, H., Ardakani, M. D., & Ghorbanpour, M. (2022). Changes in growth and quality performance of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) in response to soil amendments with hydrogel and compost under drought stress. *South African Journal of Botany*, *145*, 334-347.
- Chavoushi, M., Najafi, F., Salimi, A., & Angaji, S. A. (2020). Effect of salicylic acid and sodium nitroprusside on growth parameters, photosynthetic pigments and secondary metabolites of safflower under drought stress. *Scientia Horticulturae*, *259*, 108823.
- Li, D., Li, X., Xi, B., & Hernandez-Santana, V. (2022). Evaluation of method to model stomatal conductance and its use to assess biomass increase in poplar trees. *Agricultural Water Management*, *259*, 107228.
- Çobanoğlu, H., Şevik, H., & Koç, İ. (2022). Havadaki Ca konsantrasyonunun tespitinde ve trafik yoğunluğu ile ilişkisinde yıllık halkaların kullanılabilirliği. *ICONTECH International Journal*, *6*(3), 94-106.

- Deligöz, A., & Bayar, E. (2017). Kuraklık stresli *Quercus cerris* fidanlarının fizyolojik ve biyokimyasal özelliklerindeki değişimler. *Turkish Journal of Forestry*, 18(4), 269-274.
- Demir, E., & Bora, İ. (2021). Anadolu karaçamı (*Pinus nigra* JF Arnold ssp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) tohumlarında polietilen glikol ile erken kuraklık testi. *Turkish Journal of Forestry*, 22(2), 65-72.
- Dien, D.C.; Mochizuki, T.; Yamakawa, T. (2019). Effect of various drought stresses and subsequent recovery on proline, total soluble sugar and starch metabolisms in Rice (*Oryza sativa* L.) varieties. *Plant Prod. Sci.* 22, 530–545.
- Dirik, H. (2000). Farklı biyoiklim kuşaklarını temsil eden kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) orijinlerinin kurak dönemdeki su potansiyellerinin basınç-hacim (p-v) eğrisi yöntemi ile analizi. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 50(2), 93-104.
- Elmaslar Özbaş, E., Akın, Ö., Güneysu, S., Özcan, H. K., & Öngen, A. (2022). Changes occurring in consumption habits of people during COVID-19 pandemic and the water footprint. *Environment, Development and Sustainability*, 24(6), 8504-8520.
- Fenu, G., Bacchetta, G., Charalambos, S. C., Fournaraki, C., Del Galdo, G. P. G., Gotsiou, P., ... & De Montmollin, B. (2019). An early evaluation of translocation actions for endangered plant species on Mediterranean islands. *Plant Diversity*, 41(2), 94-104.
- Gao, D., Gao, Q., Xu H.Y., Ma, F., Zhao, C.M., & Liu, J.Q. (2009). Physiological responses to gradual drought stress in the diploid hybrid *Pinus densata* and its two parental species. *Trees*, 23, 717-728.
- Gerçek, Z., Merev, N., Ansin, R., Ozkan, Z.C., Terzioglu, S., Serdar, B., & Birturk, T. (1998). Ecological wood anatomical characters of European hophornbeam (*Ostrya carpinifolia* Scop.) grown in Turkey, Kasnak Oak and Turkey Flora Symposium, 21–23, September, Istanbul, Turkey, 302–316.
- Hunter, A.F. & Lechowicz M.J. (1992). Foliage quality change during canopy development of some northern hardwood trees. *Oecologia*, 89, 316-323.
- Isinkaralar, K., Koc, I., Erdem, R., & Sevik, H. (2022a). Atmospheric Cd, Cr, and Zn deposition in several landscape plants in Mersin, Türkiye. *Water, Air, ve Soil Pollution*, 233(4), 65-76.
- Isinkaralar, K., Koç, İ., Kuzmina, N. A., Menshchikov, S. L., Erdem, R., & Aricak, B. (2022b). Determination of heavy metal levels using *Betula pendula* Roth. Under various soil contamination in Southern Urals, Russia. *International Journal of*

- Environmental Science and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s13762-022-04586-x>.
- Kandemir, G., Önde, S., Temel, F. & Kaya, Z. (2016). Population variation in drought resistance and its relationship with adaptive and physiological seedling traits in Turkish red pine (*Pinus brutia* Ten.). *Turkish Journal of Biology*, 41, 256-267.
- Kayacık, H. (1977). *Orman ve Park Ağaçlarının Özel Sistematiği*, İstanbul Orman Fakültesi Yayınları.
- Key, K., Kulaç, Ş., Koç, İ., & Sevik, H. (2022). Determining the 180-year change of Cd, Fe, and Al concentrations in the air by using annual rings of *Corylus colurna* L. *Water, Air, ve Soil Pollution*, 233(7), 1-13, <https://doi.org/10.1007/s11270-022-05741-3>
- Khan, M. A., Iqbal, H. S. M. A., & Akram, M. W. (2022). Characterization of drought tolerance in bread wheat genotypes using physiological indices. *Gesunde Pflanzen*, 74(2), 467-475.
- Koç, İ. (2021). Küresel iklim değişikliğinin Bolu’da bazı iklim parametreleri ve iklim tiplerine etkisi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 23(2), 706-719.
- Koç, İ. (2022). Determining the near-future biocomfort zones in Samsun province by the global climate change scenarios. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 22(2), 181-192.
- Koç, İ., & Nzokou, P. (2022). Do various conifers respond differently to water stress? A comparative study of white pine, concolor and balsam fir. *Kastamonu University Journal of Forest Faculty*, 22(1), 1-16.
- Koç, İ., Nzokou, & P., Cregg, B. (2022). Biomass allocation and nutrient use efficiency in response to water stress: insight from experimental manipulation of balsam fir, concolor fir and white pine transplants. *New Forests*, 53, 915-933.
- Korkut, S. & Korkut, D.S. (2007). Determination of the shear and cleavage strenghts of European hophornbeam (*Ostrya carpinifolia* Scop.) wood. *Journal of Science and Technology*, 2(1), 131-137.
- Kulaç, Ş. (2010). ‘Kuraklık stresine maruz bırakılan sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) fidanlarında bazı morfolojik fizyolojik ve biyokimyasal değişimlerinin araştırılması’, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.(s.131-158)
- Kulaç, Ş., Güney, D., Çiçek, E., Somay, Ş. & Özbayram, A.K. (2013). Farklı orijinli kayacık (*Ostrya carpinifolia* Scop.) tohumlarının bazı tohum özelliklerinin belirlenmesi. *Ormancılık Dergisi*, 9(1), 62-70.

- Kulaç, Ş., Güney, D., Gürpınar, A. & Karaca, Z. (2014). *Farklı popülasyonlardan toplanan kayacık (Ostrya carpinifolia Scop.) tohumlarında popülasyonlar arası ve içi çimlenme varyasyonları*. II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, (ss. 111-116).
- Lansac, A.R., Zaballos, J.P. & Martin, A. (1994). Seasonal water potential changes and proline accumulation in mediterranean shrubland species. *Vegetatio*, 13(2), 141-154.
- Li, D., Li, X., Xi, B., & Hernandez-Santana, V. (2022). Evaluation of method to model stomatal conductance and its use to assess biomass increase in poplar trees. *Agricultural Water Management*, 259, 107228.
- Lu, J.; Sun, M.H.; Ma, Q.J.; Kang, H.; LIU, Y.J.; Hao, Y.J., & You, C.X. (2019). A sugar transporter in apple, enhances drought tolerance in tomato. *Journal of Integrative Agriculture*, 18, 2041–2051.
- Makonya, G.M.; Ogola, J.B.O.; Muthama Muasya, A.; Crespo, O.; Maseko, S.; Valentine, A.J. & Ottosen, C.O. (2019). Chlorophyll fluorescence and carbohydrate concentration as field selection traits for heat tolerant chickpea genotypes. *Plant Physiology and Biochemistry*. 141, 172–182.
- Mittler, R. (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends Plant Sci.* 7, 405–410.
- Moloi, M.J. & Van der Merwe, R. (2021). Drought Tolerance Responses in Vegetable-Type Soybean Involve a Network of Biochemical Mechanisms at Flowering and Pod-Filling Stages. *Plants* 10, 1502.
- Nadali, H. R. Asghari, H. Abbasdokht, Dorostkar, V. & Bagheri, M. (2021). Improved *Quinoa* growth, physiological response, and yield by hydropriming under drought stress conditions.
- Nikolaeva, M.K.; Maevskaya, S.N.; Shugaev, A.G. & Bukhov, N.G. (2010). Effect of drought on chlorophyll content and antioxidant enzyme activities in leaves of three wheat cultivars varying in productivity. *Russ. J. Plant Physiol.* 57, 87–95
- Onat, B., Şahin, Ü. A., Uzun, B., Akın, Ö., Özkaya, F., & Ayvaz, C. (2019). Determinants of exposure to ultrafine particulate matter, black carbon, and PM2. 5 in common travel modes in Istanbul. *Atmospheric Environment*, 206, 258-270.
- Özbayram, A. K., & Kulaç, Ş. (2018). Bir doğu kayını meşceresinde farklı sosyal sınıftaki ağaçlarda günlük ekofizyolojik tepkiler. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 21(3), 297-303.

- Ozturk, M., Turkyilmaz Unal, B., García-Caparrós, P., Khursheed, A., Gul, A., & Hasanuzzaman, M. (2021). Osmoregulation and its actions during the drought stress in plants. *Physiologia Plantarum*, *172*(2), 1321-1335.
- Pach, M., Bielak, K., Bončina, A., Coll, L., Höhn, M., Kašanin-Grubin, M., ... & Zlatanov, T. (2022). *Climate-smart silviculture in mountain regions. Climate-Smart Forestry in Mountain Regions*. Springer, Cham.
- Sarıbaşı, M. (2000). Bazı bitki tohumlarında çimlenmenin aktivasyonu. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, *24*(5), 579-584.
- Sekulić, D., Karadžić, B., Kuzmanović, N., Jarić, S., Mitrović, M., & Pavlović, P. (2021). Diversity of *Ostrya carpinifolia* forests in ravine habitats of Serbia (Se Europe). *Diversity*, *13*(2), 59.
- Seleiman, M. F., Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y., ... & Battaglia, M. L. (2021). Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. *Plants*, *10*(2), 259.
- Shults, P., Nzokou, P., & Koc, I. (2020). Nitrogen contributions of alley cropped *Trifolium pratense* may sustain short rotation woody crop yields on marginal lands. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, *117*(2), 261-272.
- Shvaleva, A. L., Costa F., Silva, E., Breia, E., Ouve, L., Hausman, F., Almeida, M. H., Maroco, J.P., Rodrigues, M.L., Pereira, S. & Chaves, M.M. (2005). Metabolic responses to water deficit in two *Eucalyptus globulus* clones with contrasting drought sensitivity. *Tree Physiology*, *26*, 239-248.
- Sircelj, H., Tausz, M., Grill, D., & Batic, F. (2007). Detecting different levels of drought stress in apple trees (*Malus domestica* Borkh.) with selected biochemical and physiological parameters. *Scientia Horticulturae*, *113*(4), 362-369.
- Solis, J.; Villordon, A.; Baisakh, N.; LaBonte, D.; Firon, N. (2014). Effect of drought on storage root development and gene expression profile of sweetpotato under greenhouse and field conditions. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, *139*(3), 317–324.
- Şahin, Ü. A., Onat, B., Akın, Ö., Ayvaz, C., Uzun, B., Mangır, N., ... & Harrison, R. M. (2020). Temporal variations of atmospheric black carbon and its relation to other pollutants and meteorological factors at an urban traffic site in Istanbul. *Atmospheric Pollution Research*, *11*(7), 1051-1062.
- Tyree, M. T., & Zimmermann, M. H. (2013). Xylem structure and the ascent of sap. *Springer Science & Business Media*.

- Uzun, B., Onat, B., Ayvaz, C., Akin, Ö., & Alver Şahin, Ü. (2022). Effect of time-activity patterns and microenvironments on the personal exposure of undergraduate students to black carbon. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(9), 1-14.
- Vejpustková, M., & Čihák, T. (2019). Climate response of Douglas fir reveals recently increased sensitivity to drought stress in Central Europe. *Forests*, 10(2), 97.
- Veleva, P., Todorova, M., Atanasova, S., Georgieva, T., Yorgov, D., & Atanassova, S. (2022, June). The relationships between different vegetation indices and chlorophyll content index values (CCI) in strawberry leaves. In *2022 8th International Conference on Energy Efficiency and Agricultural Engineering (EE&AE)* (pp. 1-5). IEEE.
- Walters, M. B. & Reich, P. B. (1999). Low-light carbon balance and shade tolerance in the seedlings of woody plants: do winter deciduous and broad-leaved evergreen species differ? *The New Phytologist*, 143(1), 143-154.
- Weatherall, A., Nabuurs, G. J., Velikova, V., Santopuoli, G., Neroj, B., Bowditch, E., ... & Tognetti, R. (2022). *Defining Climate-Smart Forestry. In Climate-Smart Forestry in Mountain Regions* (pp. 35-58). Springer, Cham.
- Yalçın, V., Torun, H., Eroğlu, E. & Usta, E. Ü. (2021). Şeker Otu (*Stevia rebaudiana* Bertoni) bitkisinde kuraklık stresinin fizyolojik ve biyokimyasal etkileri, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 10(3), 1165-1176.
- Yang, Y., Liu, Han, C., Iao, Y.Z., Yao, X.Q. & Yin, H.J. (2007). Influence of water stress and low irradiance on morphological and physiological characteristics of *Picea asperata* Masters. seedlings. *Photosynthetica*, 45(4), 613-619.
- Zhao, C. Y., Si, J. H., Feng, Q., Yu, T. F., Luo, H., & Qin, J. (2021). Ecophysiological responses to drought stress in *Populus euphratica*. *Sciences in Cold and Arid Regions*, 13(4), 326-336.
- Zheng, Y., Xia, Z., Wu, J. & Ma, H. (2021). Effects of repeated drought stress on the physiological characteristics and lipid metabolism of *Bombax ceiba* L. during subsequent drought and heat stresses, *BMC Plant Biology*, 21, 2021.