



Effects of Drought Stress on Leaf Gas Exchange Parameters and Proline Accumulation in Chestnut (*Castanea Sativa* Mill.) Saplings

Fadime Beyazyüz^{1,a,*}, Şemsettin Kulaç^{1,b}

¹Department of Forestry Engineering, Faculty of Forestry, Düzce University, 81620 Düzce, Türkiye

*Corresponding author

| ARTICLE INFO | ABSTRACT |
|--|---|
| <p><i>Research Article</i></p> <p>Received : 05-04-2023 Accepted : 19-07-2023</p> <p>Keywords: <i>Castanea sativa</i> Mill. Photosynthesis Drought Amount of proline Water use efficiency</p> | <p>Water scarcity caused by global warming limits the growth and development of trees and causes drought stress. Chestnut (<i>Castanea sativa</i>) belonging to the Fagaceae family, which grows naturally in Turkey, is affected by drought. In this study, seedlings obtained from <i>C. sativa</i> seeds collected from three different populations of the Mediterranean region (Akseki, İbradı and Selge), the Aegean region (İzmir-Ovacık), the Marmara region (Bursa) and the Black Sea region (Düzce) of Turkey were used. The effects of three-year-old (3+0) chestnut seedlings on leaf gas exchange parameters [net assimilation (photosynthesis) rate (A), stomatal conductivity (gs), transpiration rate (E), intrinsic water use efficiency (iWUE= A/g_s) and instant plant water use efficiency (WUE= A/E)] and proline accumulation under drought stress, which were subjected to different irrigation regimes in the greenhouse environment, were investigated. As a result, it was observed that the E, A, g_s values of all populations decreased significantly compared to the control groups, and proline accumulation increased compared to the control groups. In addition, it was observed that the six different <i>C. sativa</i> populations drought adaptation potentials were varied, but the drought adaptation potential of the Mediterranean populations could be higher.</p> |

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 11(7): 1231-1237, 2023

Kuraklık Stresinin Kestane (*Castanea Sativa* Mill.) Fidanlarında Yaprak Gaz Değişkenlerine ve Prolin Miktarlarına Etkisi

| MAKALE BİLGİSİ | ÖZ |
|--|---|
| <p><i>Araştırma Makalesi</i></p> <p>Geliş : 05-04-2023 Kabul : 19-07-2023</p> <p>Anahtar Kelimeler: <i>Castanea sativa</i> Mill. Fotosentez Kuraklık Prolin miktarı Su kullanım etkinliği</p> | <p>Küresel ısınma nedeniyle ortaya çıkan su kıtlığı ağaçların büyümesini ve gelişmesini sınırlayarak kuraklık stresine neden olmaktadır. Türkiye’de doğal olarak yetişmekte olan Fagaceae familyasına ait kestane (<i>Castanea sativa</i>) kuraklıktan etkilenmektedir. Bu çalışmada Türkiye’nin Akdeniz bölgesinin üç farklı popülasyonundan (Akseki, İbradı ve Selge); Ege bölgesinden (İzmir-Ovacık), Marmara bölgesinden (Bursa) ve Karadeniz bölgesinden (Düzce) toplanan <i>C. sativa</i> tohumlarından elde edilen fidanlar kullanılmıştır. Sera ortamında farklı sulama rejimlerine tabi tutulan üç yaşında (3+0) kestane fidanlarının kuraklık stresi altındaki yaprak gaz değişim parametreleri [net asimilasyon (fotosentez) oranı (A), stoma iletkenliği (g_s), terleme miktarı (E), içsel su kullanım etkinliği (iWUE=A/g_s) ve anlık bitki su kullanım etkinliği (WUE=A/E)] ve prolin birikimine etkisi araştırılmıştır. Sonuç olarak, bütün popülasyonların E, A, g_s değerlerinin kontrol gruplarına göre önemli ölçüde azalmasının yanı sıra prolin birikiminin kontrol gruplarına göre arttığı gözlenmiştir. Sonuç olarak altı farklı <i>C. sativa</i> popülasyonlarının kuraklığa adaptasyon potansiyellerinin değişkenlik gösterdiği ancak Akdeniz popülasyonlarının kuraklığa adaptasyon potansiyellerinin daha yüksek olabileceği gözlenmiştir.</p> |

^a fadimebeyazyuz@gmail.com

^b <https://orcid.org/0000-0003-3629-0559>

^c semsettinulac@duzce.edu.tr

^d <https://orcid.org/0000-0002-8398-3246>



Giriş

Karasal ekosistemlerin bileşeninde bulunan bitki toplulukları antropojenik etkilerle iklimlerin değişmesi (Varol ve ark., 2022; Cetin ve ark., 2023) yanında orman yangınları (Barlow ve ark., 2020), kuraklık (Koç ve Nzokou, 2023), hava (Cobanoglu ve ark., 2023), toprak (Isinkaralar ve ark., 2022) ve su kirliliği (Uncumuzaoglu ve Mutlu, 2022) gibi birçok olumsuz faktörle karşı karşıya kalmaktadır. Su, bitkiler de dahil olmak üzere tüm canlı organizmaların yaşamının devamı için temel unsurlardan biridir. Dünyamızda bulunan su kaynakları hem kirlenmekte veya kalitesi düşmekte (Demir ve ark., 2021; Tokatlı ve ark., 2021) hem de miktar olarak azalmaktadır. Bu durumlar tüm canlılar gibi bitki topluluklarını da olumsuz etkilemektedir. Bu olumsuz durumlarla karşılaşan bitkiler kendilerini korumak için farklı mekanizmalar geliştirmişlerdir.

Kuraklık stresinin etkileri arasında bitki hücresi büyümesinin azalması, stoma kapanması, düzensiz turgor basıncı, azalan yaprak su içeriği, biyokimyasal maddelerin birikmesi, zayıf kök emilim fonksiyonu, azalmış fotosentetik aktivite, bozulmuş metabolizma ve bitki ölümleri sayılabilir (Koç, 2019; Tarafdar ve ark., 2022). Tüm yeşil bitkilerde büyüme, gelişme ve verimle doğrudan ilişkili en önemli fizyolojik süreç olan fotosentez kuraklık stresi koşullarından olumsuz olarak etkilenir (Ashraf ve Harris, 2013; Koç, 2021a; Koç ve Nzokou, 2022a). Bitkilerin kuraklık stresini kontrol etme yeteneği, tolerans mekanizmalarına bağlıdır (Rezayian ve ark., 2020; Torun ve ark., 2021). Özellikle su kıtlığı veya kuraklık stresine karşı bitkilerin verdiği tepkiler moleküler, biyokimyasal ve fizyolojik mekanizmalar tarafından yönetilir (Oguz ve ark., 2022; Koç ve Nzokou, 2023). Prolin birikimi ve metabolizması, bitkilerde abiyotik stresten kaçınma mekanizmalarıyla ilişkilidir (Furlan ve ark., 2020).

Fagaceae familyasına ait olan kestane ekonomik açıdan önemli bir ağaçtır. Kestane meyvesi C vitamini açısından zengin olmasının yanı sıra iyi bir antioksidan kaynağıdır (Atasoy ve Altıngöz, 2011). Anadolu kestanesi (*Castanea sativa* Mill.) Türkiye’de doğal bir kestane türüdür (Uyanık ve ark., 2022). Türkiye’de 262.045 hektar doğal kestane ormanı bulunmaktadır. Bu ormanların 28 804 hektarı saf kestane ormanı, geri kalan 233 241 hektarı ise karışık kestane ormanlarını içermektedir (OGM, 2020). Kestane, ülkemizin Marmara ve Kuzey Anadolu bölgelerinde kayın, meşe, gürgen, gibi yapraklı türler olmak üzere çeşitli türlerle karışık meşcereler kurmaktadır (Yaltırık, 1993). Kestane meşcereleri Marmara ile birlikte Doğu Karadeniz ve Batı Anadolu’da yayılmıştır ve Türkiye’de de yerel olarak Akdeniz (Isparta-Merkez, Isparta-Sütçüler, Antalya-Serik, Antalya-Alanya) bölgesinde bulunmaktadır (Uyanık ve ark., 2022). Mezofit bir bitki türü olan kestane, bağıl nemin yüksek olduğu ve yıllık yağış toplamının 600-1600 mm arasında olan yerlerde sulama yapılmadan yetişebilir. Bu nedenle yağış miktarı kestane yetiştiriciliği için önemli bir etkidir (Atasoy ve Altıngöz, 2011).

Kuraklık şartları altında farklı kestane orijinleri farklı düzeyde tepki verebilirler. Bitkilerdeki fizyolojik tepkimeleri belirlemenin en ucuz ve kolay yolu gaz değişim parametrelerini izlemektir. Bu çalışmada, kuraklık stresi koşullar altında Akseki, Düzce, Selge, İzmir, İbradi

popülasyonlarından yetiştirilen *C. sativa* fidanlarının yapraklarında net asimilasyon oranı, terleme miktarı, stoma iletkenliği, su kullanım verimliliği ve içsel su kullanım verimliliği yanında biyokimyasal parametrelerden prolin miktarında meydana gelen değişimlerin nasıl olduğunun belirlenmesi amaçlanmıştır.

Materyal ve Yöntem

Bitki Materyali ve Kuraklık Stresi

Çalışma için Akdeniz bölgesinin İbradi, Selge ve Akseki popülasyonundan; Marmara bölgesinin Bursa popülasyonundan, Ege bölgesinin İzmir-Ovacık popülasyonundan ve Karadeniz bölgesinin Düzce popülasyonundan 30-80 cm çaplarında ve birbirlerine olan uzaklıkları 15-50 m arasında değişmekte olan 10 farklı kestane ağaçlarından tohumlar alınmıştır. Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Silvikültür ABD laboratuvarlarında +2°C olan ortamda 15 gün süreyle çıplak-soğuk katlamaya alındıktan sonra +8°C’de çimlenmeye bırakılmıştır. Çimlenen tohumlar Orman Fakültesine ait tünel seralar içerisinde yetiştirilmiştir. Damla sulama sistemi ile haftada iki gün sulanmışlardır. Vejetasyon süresince düzenli ot bakımları yapılmıştır.

Seralarda yetiştirilen kestane fidanları Mart 2022’de replikaj yapmak üzere sökülmiş ve çıplak köklü fidanlar kök budaması yapılarak 1:1:1 oranında tarla toprağı, perlit, torf içeren 25×50 cm altı delikli polietilen tüplere konulup köklerin yeterince gelişip toprağı adapte olması beklenmiştir. Kontrol ve kuraklık stresi grupları için her bir popülasyonu temsil eden 3+0 yaşında fenolojik özellikleri birbirine benzer beş fidan kullanılmıştır.

Kuraklık ve kontrol uygulamaları Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi tünel serasında gerçekleştirilmiştir. Köklerin toprağı tutunduğundan emin olunduktan sonra 22 Temmuz 2022 ile 12 Ağustos 2022 tarihleri arasında kontrol grubundaki fidanlar her gün kontrol edilmiş ve bitkilerin suya ihtiyacı olduğu gözlemlendiğinde tarla kapasitesine ulaşana kadar sulanırken kuraklık uygulanan gruplara hiç sulama yapılmamıştır. Uygulama döneminde sera içerisinde kaydedilen en düşük ve en yüksek sıcaklıklarının 16.7°C ile 46.6°C olduğu belirlenmiştir.

Yaprak Gaz Değişkenleri

Yaprak gaz değişkenlerinin ölçümleri bir ışık kaynağına bağlı (Kırmızı, yeşil, mavi) LI-COR cihazı (LI-6800, Lincoln, NE, ABD) kullanılarak her fidan için seçilen dört yaprak (üsten 3-6. yapraklar) üzerinde gerçekleştirildi. Her ölçüm öncesinde cihazın kalibrasyonu fotosentez foton akı yoğunluğu (PPFD), referans CO₂ ve hava akış hızı sırasıyla 1200 $\mu\text{mol}^{-1} \text{s}^{-1}$, 400 $\mu\text{mol}^{-1} \text{s}^{-1}$, 500 $\text{umol}^{-1} \text{s}^{-1}$ olarak ayarlanmıştır. Yaprak gaz değişkenleri kapsamında net fotosentez (A, $\mu\text{mol}^{-1} \text{s}^{-1}$), stoma iletkenliği (gs, $\mu\text{mol} \text{H}_2\text{O} \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$), terleme miktarı (E, $\text{mmol} \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$), içsel su kullanım verimliliği (iWUE) ve anlık su kullanım verimliliği (WUE= A/E) 13 Ağustos 2022 ‘de her deneme grubu için fidanın üstten 3. ile 5. yaprağında üç tekrarlı olacak şekilde 13 Ağustos tarihinde ve 11-13 saatleri arasında gerçekleştirilmiştir.

Prolin Tayini

Kontrol ve kuraklık uygulanan popülasyonların her birinden fotosentez ölçümlerinin yapıldığı gün kontrol ve kurak gruplardan yaprak örnekleri toplanarak sıvı azotta dondurulmuş ve prolin analizi gerçekleştirilene kadar -80°C buzdolabında muhafaza edilmiştir. Bitki yapraklarındaki prolin miktarının analizi Bates ve ark. (1973)'nin kullandığı yöntemin modifiye edilmesi ile yapılmıştır. Bitki örneklerinden 0,5gr alınıp %3'lük sülfosalisilik içerisinde doku parçalayıcı (Qiagen Tissue Lyser II) yardımıyla homojenize edilmiştir. Homojenize edilen bitki özütünden 2 ml alınarak üzerine 2 ml asit-nihidrin çözeltisi ve 2 ml glasiyel asetik asit eklenerek ve karışım 95°C'de 1 saat inkübe edilmiştir. Bu karışıma 4 ml toluen eklenerek iyice karıştırıldıktan sonra spektrofotometre cihazı ile 520 nm dalga boyunda gerçekleştirilmiştir. Prolin konsantrasyonu kalibrasyon eğrisi kullanılarak hesaplanmıştır.

İstatistiksel Analiz

İstatistiksel analiz SSPS (Statistical Package for the Social Sciences 20.0) veri analizi programı kullanılarak yapılmıştır. Karşılaştırma yapmak üzere Kolmogorow testi kullanılmış olup, normal dağılıma uyup uymadığı kontrol edildi. Kolmogorow testi sonucuna göre $P>0,05$ olanlara tek yönlü varyans analiz (One-Way Anova); $P<0,05$ olanlara ise Kruskal Wallis Testi uygulandı. Bu testlerin sonuçlarına göre $P<0,05$ olan sonuçlar istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir.

Bulgular

Yaprak Gaz Değişimleri

Yaprak gaz değişim parametrelerinin (A, gs, E, iWUE ve WUE) kuraklık ve kontrol grupları arasındaki istatistik sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir. Altı farklı popülasyona ait *C. sativa* popülasyonlarının E, A, gs değerlerinin önemli ölçüde azaldığı ($P<0,05$); WUE ve iWUE değerlerinin (Düzce popülasyonu hariç) çok fazla değişim göstermediği belirlenmiştir. Akseki ve Düzce popülasyonlarının WUE

ve iWUE değerleri istatistiki olarak önemli olmasa bile azalırken bu parametreler Bursa, Ovacık ve İbradı popülasyonlarında artmıştır. Selge popülasyonunda ise WUE değeri azalırken iWUE değeri artmıştır. Kuraklık stresi uygulanan popülasyonların E, A, gs, WUE ve iWUE parametrelerinin popülasyonlar arasındaki One way Anova analiz sonuçları Çizelge 2'de gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre popülasyonlar arasındaki yaprak gaz değişkenlerinde belirgin bir farklılık gözlenmemiştir ($P>0,05$).

Prolin Analizi Sonuçları

Bu çalışmaya göre, popülasyonların kuraklık gruplarının kontrol gruplarına göre prolin miktarlarında (mg/g) Bursa ve Ovacık popülasyonu hariç yaklaşık iki katı artış meydana geldiği belirlenmiştir (Şekil 1). Elde edilen verilere göre popülasyonlar arasındaki hem kontrolde hem de kuraklık uygulamasında prolin miktarları önemli ölçüde istatistiksel olarak anlamlı derecede farklı olduğu gözlenmiştir ($P<0,05$). En yüksek prolin miktarı Akseki popülasyonunda görülürken en düşük prolin miktarı Ovacık popülasyonunda ölçülmüştür (Çizelge 3). Ayrıca bütün popülasyonlarda kuraklığa karşı prolin miktarlarında artış olurken Bursa popülasyonunda artış görülmemiştir. Bu çalışmaya göre kuraklığa adaptasyon potansiyellerinin sırasıyla Akseki, İbradı popülasyonlarında yüksek, Ovacık ve Bursa popülasyonlarında düşük olduğu söylenebilir.

Korelasyon analizi değerlendirilmesi

Popülasyonların prolin, E, A, gs, WUE ve iWUE değerlerinin korelasyon analizi Pearson korelasyon yöntemi ile yapılmış ve değerler Çizelge 4'de gösterilmiştir. Elde edilen verilere göre prolin analizinin sonuçları ile E, WUE ve iWUE parametrelerinin sonuçlarının arasında pozitif yönlü istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunduğu belirlenmiştir ($p<0,005$). Ayrıca, E ile A ve gs değerleri arasında pozitif yönlü istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmaktadır. Bunun yanı sıra net A ve gs, WUE ve iWUE parametreleri arasında pozitif yönlü istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmaktadır (Çizelge 4).

Çizelge 1. Popülasyonların gaz değişim parametrelerinin kuraklık ve kontrol grupları arasındaki değişim parametrelerinin istatistik sonuçları.

Table 1. Statistical results of gas exchange parameters of populations between drought and control groups.

| Popülasyon | | E | A | gs | WUE (A/E) | iWUE (A/g) |
|------------|-------------|---------------|-----------|-----------|----------------|-------------|
| Akseki | Kontrol | 0,0043±0,0011 | 7,54,44 | 0,13±0,03 | 2180,46±369,41 | 77,36±15,72 |
| | Kurak | 0,0005±0,0003 | 0,60±0,06 | 0,01±0,00 | 1626,50±413,13 | 56,72±15,71 |
| | Önem düzeyi | ** | *** | *** | ns | ns |
| Düzce | Kontrol | 0,0036±0,0007 | 6,16±0,60 | 0,10±0,02 | 1842,78±182,65 | 65,05±7,07 |
| | Kurak | 0,0003±0,0001 | 0,52±0,07 | 0,01±0,00 | 1670,13±259,41 | 41,00±7,36 |
| | Önem düzeyi | *** | *** | *** | ns | ** |
| Selge | Kontrol | 0,0051±0,0009 | 8,67±1,01 | 0,15±0,03 | 1851,07±232,07 | 63,86±10,28 |
| | Kurak | 0,0006±0,0002 | 1,11±0,42 | 0,01±0,00 | 1638,62±329,45 | 72,60±14,59 |
| | Önem düzeyi | *** | *** | *** | ns | ns |
| Bursa | Kontrol | 0,0056±0,0008 | 8,25±0,45 | 0,16±0,02 | 1576,44±168,42 | 54,97±7,97 |
| | Kurak | 0,0008±0,0001 | 1,29±0,22 | 0,01±0,00 | 1636,73±217,98 | 70,35±8,99 |
| | Önem düzeyi | *** | *** | *** | ns | ns |
| Ovacık | Kontrol | 0,0052±0,0005 | 8,61±0,51 | 0,14±0,01 | 1685,03±74,03 | 61,44±3,14 |
| | Kurak | 0,0004±0,0000 | 0,89±0,18 | 0,01±0,00 | 1971,84±358,46 | 83,16±15,20 |
| | Önem düzeyi | *** | *** | *** | ns | ns |
| İbradı | Kontrol | 0,0055±0,0007 | 8,85±0,63 | 0,15±0,02 | 1678,10±119,67 | 61,14±6,23 |
| | Kurak | 0,0007±0,0001 | 1,24±0,13 | 0,01±0,00 | 2139,62±452,65 | 93,84±20,45 |
| | Önem düzeyi | *** | *** | *** | ns | ns |

** = $P<0,05$; *** = $P<0,001$; ns = $P>0,05$

Çizelge 2. Kuraklık uygulanan popülasyonlar arasındaki gaz değişim parametrelerinin Tek yönlü Anova testi sonuçları.
Table 2. One-way Anova test results of gas exchange parameters between drought-treated populations.

| Parametre | Grup | N | Ortalama | Std Hata | F değeri | P değeri |
|-----------|--------|---|----------|----------|----------|----------|
| E | Akseki | 6 | 0,0005 | 0,0001 | 9,607 | 0,087 |
| | Düzce | 5 | 0,0003 | 0,0001 | | |
| | Selge | 5 | 0,0006 | 0,0002 | | |
| | Bursa | 5 | 0,0008 | 0,0001 | | |
| | Ovacık | 5 | 0,0004 | 0,0000 | | |
| | İbradı | 5 | 0,0007 | 0,0001 | | |
| A | Akseki | 6 | 0,6040 | 0,0661 | 2,191 | 0,089 |
| | Düzce | 5 | 0,5240 | 0,0724 | | |
| | Selge | 5 | 1,1120 | 0,4223 | | |
| | Bursa | 5 | 1,2960 | 0,2270 | | |
| | Ovacık | 5 | 0,8980 | 0,1890 | | |
| | İbradı | 5 | 1,2460 | 0,1386 | | |
| gs | Akseki | 6 | 0,0140 | 0,0024 | 7,482 | 0,187 |
| | Düzce | 5 | 0,0120 | 0,0020 | | |
| | Selge | 5 | 0,0160 | 0,0040 | | |
| | Bursa | 5 | 0,0180 | 0,0020 | | |
| | Ovacık | 5 | 0,0100 | 0,0000 | | |
| | İbradı | 5 | 0,0160 | 0,0025 | | |
| WUE | Akseki | 6 | 1626,50 | 413,14 | 0,400 | 0,844 |
| | Düzce | 5 | 1670,13 | 259,42 | | |
| | Selge | 5 | 1638,63 | 329,46 | | |
| | Bursa | 5 | 1636,73 | 217,98 | | |
| | Ovacık | 5 | 1971,84 | 358,46 | | |
| | İbradı | 5 | 2139,62 | 452,65 | | |
| iWUE | Akseki | 6 | 56,71 | 15,71 | 1,702 | 0,173 |
| | Düzce | 5 | 41,01 | 7,37 | | |
| | Selge | 5 | 72,61 | 14,59 | | |
| | Bursa | 5 | 70,35 | 9,00 | | |
| | Ovacık | 5 | 83,16 | 15,21 | | |
| | İbradı | 5 | 93,85 | 20,46 | | |

Çizelge 3. Prolin analizinin değerlendirme sonuçları.

Table 3. Evaluation results of proline analysis.

| Grup | Popülasyon | Ortalama | P değeri |
|---------|-------------|-----------|----------|
| Kontrol | Ovacık | 0,09±0,03 | 0,028 |
| | Bursa | 0,15±0,02 | |
| | İbradı | 0,18±0,02 | |
| | Selge | 0,11±0,03 | |
| | Düzce | 0,14±0,01 | |
| | Akseki | 0,28±0,04 | |
| | Önem düzeyi | ** | |
| Kurak | Ovacık | 0,12±0,02 | 0,015 |
| | Bursa | 0,15±0,00 | |
| | İbradı | 0,32±0,18 | |
| | Selge | 0,20±0,02 | |
| | Düzce | 0,30±0,07 | |
| | Akseki | 0,74±0,22 | |
| | Önem düzeyi | ** | |

** = P<0,05

Tartışma

Kuraklık stresinin bitkilerdeki yaprak gaz değişim özelliklerini engelleyebileceği ve bunun sonucunda bitkilerin fotosentetik kapasitesini etkileyebileceği bilinmektedir (Subrahmanyam ve ark., 2006; Koç ve Nzokou, 2022b; Koç ve Nzokou, 2023). Bunun yanı sıra, gaz değişim parametrelerinin kuraklığa dayanıklı genotipler ile dayanıksız olanlar arasında önemli ölçüde farklılık gösterdiği belirlenmiştir (Gomes-Laranjo ve ark., 2012; Koç, 2021b). Bitkilerde terleme (E), köklerin topraktan su emmesi ile doğru orantılıdır. Kuraklık

koşulları, bitkinin stomalarının kapanarak solmasına neden olur ve terleme hızını azaltır (Koç, 2022). Bu doğrultuda çalışmamızdaki bütün popülasyonlarda E değeri kontrol gruplarına göre anlamlı bir biçimde düşüş göstererek bitkilerin kuraklık koşullarında olduğunu göstermiştir.

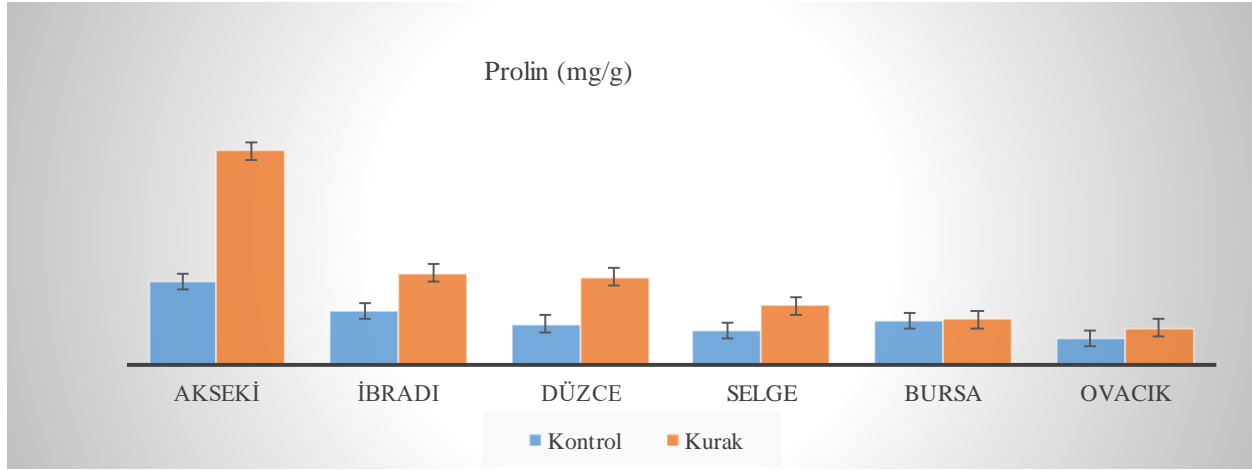
Ayrıca, stomalar, bitkinin fotosentezini ve terlemesini kontrol eden gaz değişimi penceresidir. gs, stoma açıklığının derecesidir. Bitkiler kuraklık stresi altındayken stomalarını kapatarak su kaybını en aza indirir ve net CO₂ alımını azaltır.

Çizelge 4. Bütün bölgelerdeki değişkenlerin korelasyon analizi sonuçları.

Table 4. Correlation analysis results of variables in all regions.

| | | Prolin | E | A | gs | WUE | iWUE |
|--------|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Prolin | Pearson Korelasyon | 1 | 0,08 | 0,36 | 0,09 | 0,41* | 0,52** |
| | Önem düzeyi (iki yönlü) | | 0,65 | 0,05 | 0,63 | 0,02 | 0,00 |
| | N | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| E | Pearson Korelasyon | 0,08 | 1 | 0,74** | 0,85** | -0,20 | 0,08 |
| | Önem düzeyi (iki yönlü) | 0,65 | | 0,00 | 0,00 | 0,27 | 0,67 |
| | N | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| A | Pearson Korelasyon | 0,36 | 0,74** | 1 | 0,66** | 0,42* | 0,58** |
| | Önem düzeyi (iki yönlü) | 0,05 | 0,00 | | 0,00 | 0,02 | 0,00 |
| | N | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| gs | Pearson Korelasyon | 0,09 | 0,85** | 0,66** | 1 | -0,14 | -0,04 |
| | Önem düzeyi (iki yönlü) | 0,63 | 0,00 | 0,00 | | 0,45 | 0,82 |
| | N | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| WUE | Pearson Korelasyon | 0,41* | -0,20 | 0,42* | -0,14 | 1 | 0,79** |
| | Önem düzeyi (iki yönlü) | 0,02 | 0,27 | 0,02 | 0,45 | | 0,00 |
| | N | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| iWUE | Pearson Korelasyon | 0,52** | 0,08 | 0,58** | -0,04 | 0,79** | 1 |
| | Önem düzeyi (iki yönlü) | 0,00 | 0,67 | 0,00 | 0,82 | 0,00 | |
| | N | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |

*Korelasyon 0,05 düzeyinde anlamlıdır. ** Korelasyon 0,001 düzeyinde anlamlıdır.



Şekil 1. Proline analiz sonuçları
Figure 1. Proline analysis results

Bu değişimler bitkinin anlık su kullanım etkinliğini yükseltebilir (Koç, 2022). Bu bilgilere paralel olarak, çalışmamızda popülasyonların kuraklık uygulanan grupların kontrol gruplarına göre gs ile WUE ve iWUE parametreleri arasında negatif yönlü bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, gs değerleri A değerlerini etkilediği bilinmektedir. Bu bağlamda bütün popülasyonlarda A değerleri de gs değerleri gibi popülasyonların kontrol gruplarına göre önemli ölçüde azalmıştır.

Bitkilerin su kullanım etkinliği fizyolojik bir kontroldür ve fotosentetik aktiviteye yanıt veren (Baca Cabrera ve ark., 2021) bir adaptasyon mekanizmasıdır (Mashilo ve ark., 2017). Literatürde, kuraklık stresinin çeşitli bitki türlerinde WUE değerinin artışına neden olduğu (Ye ve ark., 2013; Koç, 2021b; Koç, 2022) ve bu artışın kuraklığa adapte olabilen popülasyonlarda gözlemlendiği bildirilmiştir (Chaves ve ark., 2004). Çalışmamızda yalnızca Selge, Bursa Ovacık ve İbradı popülasyonlarında WUE değerlerinin kontrol gruplarına göre artış gösterdiği belirlenmiştir.

Ayrıca, prolin birikimi bitkilerin adaptif tepkileri için önemlidir. Hücrel hasar, bitki dokularında biriken çok fazla prolin miktarı ile ilişkilendirilmiştir (Vendruscolo ve ark., 2007).

Prolin birikimi sadece su kıtlığına tepki olarak sonuçlanan hücrel hasarın bir işareti değil, aynı zamanda stresli koşullara maruz kalan bitkilerde belirli bir osmoregülatör rolü olan stres toleransının bir belirteçidir (Jabeen ve ark., 2008). Çalışmamıza göre bütün popülasyonlarda prolin miktarları kontrol gruplarına kıyasla istatistiksel olarak anlamlı şekilde artmıştır (Çizelge 3). Bizim sonuçlarımıza benzer şekilde çeşitli bitkilerle yapılan çalışmalarda da kuraklık uygulanan bitkilerin prolin seviyelerinde artış meydana geldiği bildirilmiştir (Shvaleva ve ark., 2005; Yang ve ark., 2007; Kulaç, 2010; Dien ve ark., 2019; Zhao ve ark., 2021; Yalçın ve ark., 2022; Yılmaz ve ark., 2022).

Akdeniz ekotiplerinin diğer ekotiplere göre kuraklığa karşı daha fazla tolerans gösterebileceği bildirilmiştir (Lauteri ve ark., 2004). Çalışmamızda prolin bulguları ile

E, WUE ve iWUE parametreleri arasında pozitif yönlü istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunması göz önünde bulundurulduğunda Akdeniz bölgesinin Akseki, İbradi popülasyonlarından alınan kestane fidanlarının diğer popülasyonlara göre adaptasyon potansiyelinin daha yüksek olabileceği söylenebilir. Sonuç olarak, prolin bulguları değerlendirildiğinde Akdeniz bölgesine ait İbradi Akseki ve Selge popülasyonlarının kuraklığa adaptasyon potansiyellerinin daha fazla olabileceği düşünülmektedir.

Sonuçlar ve Öneriler

Kuraklık stresinin gaz değişim özelliklerini engelleyebileceği ve bunun sonucunda bitkilerin fotosentetik kapasitesini etkileyebileceği bilinmektedir. Gaz değişim parametrelerinin kuraklığa dayanıklı genotipler ile daha dayanıksız olanlar arasında önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Kuraklık stresi durumunda bitkiler stomalarını kapatarak su kaybını en aza indirir ve böylece net CO₂ alımını azaltarak anlık su kullanım etkinliğini yükseltebilir. Bunun yanı sıra çeşitli stres koşullarının bitki dokularındaki prolin miktarında artışa neden olduğu bilinmektedir. Bu bağlamda prolin birikimi strese adaptasyon potansiyelini değerlendirmede daha etkili olabilmektedir.

Çalışmamızda değerlendirilen Karadeniz, Akdeniz, Ege ve Marmara bölgesi olmak üzere dört farklı bölgeden altı popülasyona ait *C. sativa* popülasyonlarının kuraklığa adaptasyon mekanizması geliştirmesinin yanı sıra bu adaptasyon potansiyellerinin birbirleri arasında değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. Değerlendirilen sonuçlarda Akdeniz popülasyonlarının adaptasyon potansiyelinin diğerlerine göre daha yüksek olabileceği gözlenmiştir. Buna ek olarak, farklı *C. sativa* popülasyonlarından alınan fidanların aynı koşullarda ve aynı uygulamaya maruz bırakılması sonucunda farklı değer vermesi bu bitkilerin genetik yapısının değişmesinden kaynaklı olabileceği söylenebilir.

Kuraklığın olumsuz etkilerinin hızlanarak artacağı düşünüldüğünde ülkemizdeki ağaçlandırma çalışmalarında Akdeniz popülasyonlarına ait fidanlar önerilebilir. Ancak bu çalışmadaki gibi fotosentetik parametrelerin ve biyokimyasal analizlerin uygulama sonunda tek bir ölçüm yerine haftalık ölçümler şeklinde düzenli yapılmasıyla daha sağlıklı ve kapsamlı sonuçların elde edilebileceği ön görülmektedir. Bu tarz çalışmaların küresel iklim değişikliği de dikkate alındığında tüm bitki türlerimizde yapılması önem arz etmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalı'nda gerçekleştirilmiştir. 2021.02.02.1154 nolu Bilimsel Araştırma Projesi ile desteklenen tezin ön deneme sonuçlarıdır.

Kaynaklar

Ashraf M, Harris PJC. 2013. Photosynthesis under stressful environments: an overview. *Photosynthetica*, 51: 163–190.
Atasoy E, & Altıngöz Y. 2011. Dünya ve Türkiye'de kestane önemi ve üretimi. *Coğrafya Dergisi*, 1(22), 1-13.

- Baca Cabrera JC, Hirl RT, Schäufele R, Macdonald A, & Schnyder, H. 2021. Stomatal conductance limited the CO₂ response of grassland in the last century. *BMC Biology*, 19, 1-14.
- Barlow J, Berenguer E, Carmenta R & França F. 2020. Clarifying Amazonia's burning crisis. *Glob Change Biol.*, 26, 319–321.
- Bates LS, Waldren RP, & Teare ID. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant Soil*, 39, 205–207. <https://doi.org/10.1007/BF0001806>
- Cetin M, Sevik H, Koc I, & Cetin IZ. 2023. The change in biocomfort zones in the area of Muğla province in near future due to the global climate change scenarios. *J Therm Biol*, 112, 103434.
- Chaves MM, Osorio J & Pereira JS. 2004. Water use efficiency and photosynthesis. *Water Use Eff Plant Biol*, 42-74.
- Cobanoğlu H, Sevik H & Koç İ. 2023. Do annual rings really reveal Cd, Ni, and Zn pollution in the air related to traffic density? An example of the cedar tree. *Water Air Soil Pollut*, 234(2), 65.
- Demir T, Mutlu E, Aydın S, & Gültepe N. 2021. Physicochemical water quality of Karabel, Çaltı, and Tohma brooks and blood biochemical parameters of *Barbus plebejus* fish: assessment of heavy metal concentrations for potential health risks. *Environ Monit Assess*, 193:1-15.
- Dien DC, 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.
- Furlan AL, Bianucci E, Giordano W, Castro S, Becker DF. 2020. Proline metabolic dynamics and implications in drought tolerance of peanut plants. *Plant Physiol Biochem*, 151, 566-578.
- Gomes-Laranjo J, Dinis LT, Martins L, Portela E, Pinto T, Ciordia M. ... & Pereira S. 2012. Characterization Of Chestnut Behavior With Photosynthetic Traits. In *Applied Photosynth*, 47-80. London: IntechOpen.
- Isinkaralar K, Koç İ, Kuzmina NA, Menshchikov SL, Erdem R & Arıcaç B. 2022. Determination of heavy metal levels using *Betula pendula* Roth. under various soil contamination in Southern Urals, Russia. *Int J Environ Sci Tech*, 19(12), 12593-12604.
- Jabeen F, Shahbaz M, & Ashraf M. 2008. Discriminating some prospective cultivars of maize (*Zea mays* L.) for drought tolerance using gas exchange characteristics and proline contents as physiological markers. *Pak. J. Bot*, 40(6), 2329-2343.
- Koç İ, Nzokou P. 2023. Combined effects of water stress and fertilization on the morphology and gas exchange parameters of 3-year-old *Abies fraseri* (Pursh) Poir. *Acta Physiologiae Plantarum*, 45(3), 49.
- Koç İ, Nzokou P. 2022a. Do various conifers respond differently to water stress. A comparative study of white pine, concolor and balsam fir. *Kastamonu Univ J Forest Faculty*, 22(1), 1-16.
- Koç İ, Nzokou P. 2022b. Gas exchange parameters of 8-year-old *Abies fraseri* (Pursh) Poir. seedlings under different irrigation regimes. *Turkish JAF Sci Tech*, 10(12), 2421-2429.
- Koç İ. 2019. Conifers Response to Water Stress: Physiological Responses and Effects on Nutrient use Physiology. PhD Thesis. Michigan State University.
- Koç İ. 2021a. Examining seed germination rate and seedlings gas exchange performances of some Turkish red pine provenances under water stress. *Düzce Univ J Sci & Technol*, 9(3), 48-60.
- Koç İ. 2021b. Examination of gas exchange parameters of *Abies balsamea* (L) Mill. and *Abies concolor* saplings, grown under various water regime, exposed to extreme drought stress at the end of the growing season. *Turkish JAF Sci Tech*, 5(2), 592-605

- Koç İ. 2022. Comparison of the gas exchange parameters of two maple species (*Acer negundo* and *Acer pseudoplatanus*) seedlings under drought stress. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 24(1), 65-76
- 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, Türkiye.
- Lauteri M, Pliura A, Monteverdi MC, Brugnoli E, Villani F. 2004. Genetic variation in carbon isotope discrimination in six European populations of *Castanea sativa* Mill. originating from contrasting localities. J Evol Biol, 17,1286-1296
- Mashilo J, Odindo AO, Shimelis HA, Musenge P, Tesfay SZ, Magwaza LS. 2017. Drought tolerance of selected bottle gourd [*Lagenaria siceraria* (Molina) Standl.] landraces assessed by leaf gas exchange and photosynthetic efficiency. Plant Physiol. Biochem, 120, 75–87.
- OGM, 2020 Türkiye orman varlığı, <https://www.ogm.gov.tr/tr/ormanlarimiz-sitesi/TurkiyeOrmanVarligi/Yayinlar/2020%20T%C3%BCrkiye%20Orman%20Varligi%20C4%B1%20C4%9F%20C4%B1.pdf>.
- Oguz M, Aycan M, Oguz E, Poyraz I & Yıldız M. 2022. Drought stress tolerance in plants: interplay of molecular, biochemical and physiological responses in important development stages. Physiologia, 2(4), 180-197.
- Rezayian M, Ebrahimzadeh H, Niknam V. 2020. Nitric oxide stimulates antioxidant system and osmotic adjustment in soybean under drought stress. J Soil Sci Plant Nutr, 20,1122–1132.
- Shvaleva AL, Costa F, Silva E, Breia E, Ouve L, Hausman F, Almeida MH, Maroco JP, Rodrigues ML, Pereira S, & Chaves MM. 2005. Metabolic responses to water deficit in two Eucalyptus globulus clones with contrasting drought sensitivity. Tree Physiology, 26, 239-248.
- Subrahmanyam D, Subash N, Haris A. 2006. Influence of water stress on leaf photosynthetic characteristics in wheat cultivars differing in their susceptibility to drought. Photosynthetica, 44, 125–129.
- Tarafdar M, Bahadur V, Rana S, Singh RKA. 2022. Review: abiotic stress on transpiration, stomatal diffusive resistance and photosynthetic rate. Pharma Innov J, 11, 1632–1635.
- Tokatlı C, Mutlu E, & Arslan N. 2021. Assessment of the potentially toxic element contamination in water of Şehriban Stream (Black Sea Region, Turkey) by using statistical and ecological indicators. WER, 93(10):2060-2071.
- Torun H, Eroğlu E, Yalçın V, Elmas U. 2021. Physicochemical and antioxidant responses of st. john's wort (*Hypericum perforatum* L.) under drought stress. Düzce Univ J Sci & Technol, 9(1), 40-50.
- Uncumusaoglu AA, & Mutlu E. 2022. Water quality index and multivariate statistical approach in assessing the quality of irrigation water of the Caykoy Pond. Fresenius Environ Bull, 31(3 A), 3447-3459.
- Uyanık EG, Kulaç Ş, Beyazyüz F. 2022. Effect of grafting method and time on grafting success in Anatolian chestnut (*Castanea sativa* Mill.). Turkish JAF Sci Tech, 10(10), 1972-1981.
- Varol T, Canturk U, Cetin M, Ozel HB, Sevik H, & Zeren Cetin I. 2022. Identifying the suitable habitats for Anatolian boxwood (*Buxus sempervirens* L.) for the future regarding the climate change. Theoretical and Appl Climatol, 150(1-2): 637-647.
- Vendruscolo ECG, Schuster I, Pileggi M. vd., 2007. Stress-induced synthesis of proline confers tolerance to water deficit in transgenic wheat. J Plant Physiol, 164:1367–76.
- Yalçın V, Torun H, Eroğlu E, Usta EÜ. 2021. Şeker Otu (*Stevia rebaudiana* Bertoni) bitkisinde kuraklık stresinin fizyolojik ve biyokimyasal etkileri, Düzce Univ J Sci and Technol, 10(3), 1165-1176.
- Yaltrık F. 1993. Dendroloji Ders Kitabı I Gymnospermae (Açık Tohumlular). İstanbul: İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayınları.
- Yang Y, Liu Han C, Iao YZ, Yao XQ, Yin HJ. 2007. Influence of water stress and low irradiance on morphological and physiological characteristics of *Picea asperata* Masters seedlings. Photosynthetica, 45(4), 613-619.
- Ye YS, Liang XQ, Chen YX, Liu J, Gu JT, Guo R, Li L. 2013. Alternate wetting and drying irrigation and controlled-release nitrogen fertilizer in late-season rice. Effects on dry matter accumulation, yield, water and nitrogen use. FieldCrop Res, 144, 212–224.
- Yılmaz Ç, Kulaç Ş, Beyazyüz F. 2022. Kuraklık Stresi Uygulanan Kayacık (*Ostrya Carpinifolia* Scop.) Fidanlarında Morfolojik, Fizyolojik ve Biyokimyasal Değişimlerin Araştırılması. Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Ormanlık Dergisi, 18(2), 169-190.
- Zhang Q, Ficklin DL, Manzoni S, Wang L, Way D, Phillips RP & Novick KA. 2019. Response of ecosystem intrinsic water use efficiency and gross primary productivity to rising vapor pressure deficit. Envir Res Lett, 14(7), 074023.
- Zhao CY, Si JH, Feng Q, Yu TF, Luo H, Qin J. 2021. Ecophysiological responses to drought stress in *Populus euphratica*. Sci Cold and Arid Regions, 13(4), 326-336.