

Silisyum ve Biyoçar Uygulamalarının Hercai Menekşe (Viola Wittrockiana) Çiçeklerinin Fitokimyasal İçerikleri Üzerine Etkileri

*Makale Bilgisi / Article Info

Alındı/Received: 27.05.2025

Kabul/Accepted: 01.12.2025

Yayımlandı/Published: 08.04.2026

Effects of Silicon and Biochar Applications on Phytochemical Contents of Pansy (Viola Wittrockiana) Flowers

Güzella YILMAZ VURAL* , Mehmet Akif DEMİREL , Osman Nuri ÖCALAN 

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Tokat, Türkiye



© 2026 The Authors | Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 (CC BY-NC) International License

Öz

Bu çalışmada, silisyum (200 ppm) ve biyoçar (%2) uygulamalarının hercai menekşelerin (*Viola wittrockiana*) toplam fenolik madde, flavonoid, antosiyanin içeriği ve antioksidan aktivitesi üzerine etkileri incelenmiştir. Elde edilen verilere göre, biyoçar ve silisyum uygulamalarının toplam fenolik madde ve flavonoid içeriğine etkisi kontrol ile benzer seviyede kalmıştır. Antosiyanin içeriğinde tek başına uygulanan biyoçar ve silisyum uygulamaları kontrole kıyasla azalmaya neden olurken, silisyum ve biyoçarın birlikte uygulanması sonucunda kontrol ile benzer etki göstermiştir. Uygulamaların antioksidan aktivite üzerindeki etkileri kontrolle benzer olmasına rağmen, silisyum ve silisyum + biyoçar uygulamaları yalnızca biyoçar uygulamasına göre daha etkili bulunmuştur. Bu çalışma, silisyum ve biyoçar kombinasyonlarının yenilebilir çiçeklerin fonksiyonel özelliklerini iyileştirmede potansiyel bir strateji olabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Silisyum, Biyoçar, Fenolik madde, Antosiyanin, Antioksidan aktivite

Abstract

In this study, the effects of silicon (200 ppm) and biochar (2%) applications on the total phenolic substance, flavonoid, anthocyanin content and antioxidant activity of pansies (*Viola wittrockiana*) were investigated. According to the obtained data, the effects of biochar and silicon applications on the total phenolic substance and flavonoid content remained at similar levels with the control. While biochar and silicon applications applied alone caused a decrease in anthocyanin content compared to the control, the combined application of silicon and biochar showed similar effects with the control. Although the effects of the applications on antioxidant activity were similar to the control, silicon and silicon + biochar applications were found to be more effective than biochar application alone. This study showed that silicon and biochar combinations may be a potential strategy to improve the functional properties of edible flowers.

Keywords: Silicon, Biochar, Phenolic substance, Anthocyanin, Antioxidant activity

1. Giriş

Son yıllarda yenilebilir çiçeklerin sağlık açısından yararları ve gıda sanayisinde kullanımları üzerine olan ilgi giderek artmaktadır. Süs bitkilerine ait yenilebilir çiçekler yüzyıllardır mutfaklarda kullanılmaktadır. Ancak son zamanlarda, bu çiçeklerin içerdiği birçok faydalı kimyasal bileşik ve bunlara bağlı besleyici ve farmasotik özellikleri nedeniyle gıdalarda kullanımına olan ilgi artmıştır (Fernandes ve ark., 2017; Lu ve ark., 2016; Marchioni ve ark., 2020). Yenilebilir çiçekler aynı zamanda karotenoidler gibi temel mineraller ve vitaminler de sağlamaktadır (Drava ve ark., 2020; González-Barrio ve ark., 2018). Ayrıca, fenoller gibi biyolojik olarak aktif bileşikler içererek, serbest radikallere (örneğin reaktif oksijen türleri- ROS, ve reaktif azot türleri- RNS) karşı antioksidan aktivite gösterirler. Bu sayede DNA, proteinler, lipitler ve enzimlerdeki hasar önlenir (Chen ve ark., 2018; Mlček ve Rop, 2011). Yenilebilir çiçekler arasında önemli bir yere sahip olan hercai menekşe (*Viola*

wittrockiana), içerdiği biyoaktif bileşikler nedeniyle fonksiyonel gıdalar alanında potansiyel bir hammaddedir. Özellikle fenolik maddeler, flavonoidler ve antosiyaninler gibi fitokimyasal bileşenler, antioksidan aktiviteleri sayesinde insan sağlığı açısından faydalı bileşenlerdir.

Bitkilerin fitokimyasal içerikleri üzerine çevresel faktörlerin yanı sıra yetiştirme ortamlarının bileşimleri de önemli derecede etki etmektedir. Bu kapsamda silisyum (Si), bitkilerin strese karşı toleransını artıran ve büyümelerini teşvik eden önemli bir besin elementi olarak tanımlanmaktadır (Epstein, 1999). Yapılan çalışmalarda, silisyumun bitkilerde antioksidan kapasiteyi artırdığı, fenolik bileşikler gibi sekonder metabolitlerin üretimini teşvik ettiği bildirilmektedir (Ma ve Takahashi, 2002). Diğer taraftan biyoçar, organik materyallerin yüksek sıcaklıkta oksijensiz ortamda pirolizi sonucu elde edilen karbon bakımından zengin bir maddedir. Yapılan araştırmalar, biyoçarın toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirerek bitki gelişimini desteklediğini,

bitki verimini ve besin maddesi alımını artırdığını göstermektedir (Lehmann ve Joseph, 2009). Ayrıca biyoçar uygulamalarının bitkilerde antioksidan aktiviteyi ve fenolik bileşikler artırıcı yönde etkileri olduğu belirlenmiştir (Vaccari ve ark., 2011). Her ne kadar silisyum ve biyoçar uygulamalarının bitkilerin fitokimyasal içeriklerine olumlu etkileri bilinse de bu iki maddenin birlikte kullanımının *Viola wittrockiana* türündeki etkileri yeterince araştırılmamıştır. Yapılan bu çalışmada, silisyum ve biyoçar uygulamalarının hercai menekşenin (*Viola wittrockiana*) fenolik madde, flavonoid, antosiyanin içeriği ve antioksidan aktivitesi üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada bitkisel materyal olarak yenilebilir çiçekleri olan mor hercai menekşe (*Viola Wittrockiana*) kullanılmıştır. Menekşe tohumları torf içeren viollerde çimlendirilmiştir. Fideler 2-3 yapraklı oldukları aşamada her saksıda bir bitki olacak şekilde 2.5 litrelik saksılara şaşırtılmıştır. Çalışma tesadüf parselleri deneme desenine göre her tekerrürde 1 bitki olacak şekilde 3 tekerrürlü olarak kurulmuştur. Yapılan çalışmalarda bitkiye verilmesi gereken optimum silisyum dozunun 200 ppm ve optimum biochar dozunun %2 olduğu düşünüldüğü için çalışmada bu dozlar denenmiştir. (Horuz ve Korkmaz (2012), Acir ve Erdem, 2020). Buna göre her bir uygulama için 3 bitki (saksı) kullanılmıştır. Çalışmada kontrol uygulaması (1/1 torf/toprak) yanında, %2 biyoçar uygulaması (1/1 torf/toprak + %2 biyoçar), 200 ppm silisyum uygulaması (1/1 torf/toprak +200 ppm silisyum) ve silisyum+ biyoçar uygulaması (1/1 torf/toprak + %2 biyoçar + 200 ppm silisyum) olmak üzere 4 çeşit yetiştirme ortamı kullanılmıştır. Çiçeklenme döneminde alınan çiçeklerde aşağıdaki analizler yapılmıştır.

2.1 Biyoaktif Bileşikler

Biyoaktif bileşiklerin analizi için her tekerrürden 20 yaprak seçilmiştir. Daha sonra bu yapraklar, 50 mL'lik falcon tüpler içinde -20 °C'de depolanmıştır. Analiz için numuneler oda sıcaklığında (≈21 °C) çözdürülmüş ve homojenizatör (IKA T 18 Digital Ultra-Turrax®) ile parçalanarak homojenize edilmiştir. Elde edilen ekstraktlar, sıvı kısmı posadan ayırmak için 4 °C'de 4 dakika boyunca 4.000 g'de santrifüj edilmiştir. Yeni elde edilen özüt, flavonoid, antosiyanin ve antioksidan analizleri için kullanılmıştır. Toplam fenolik madde analizi için ekstraktların posalı halinden numune alınmıştır.

2.2 Toplam fenolik madde miktarı

Toplam fenolik madde içeriği, Singleton ve Rossi (1965) tarafından tanımlanan yöntemle göre yapılmıştır. Kısaca, yaprak örnekleri (1:39 w/v), aseton, su ve asetik asit

(%70:29.5:0.5 v/v/v) içeren bir tampon ile karanlık ortamda 72 saat boyunca 4 °C'de ekstrakte edilmiştir (Ekstraksiyon işlemi bir kez, fenolik analiz her bir örnek için 3 kez yapılmıştır). Elde edilen ekstraktlar, Folin-Ciocalteu fenol reaktifi ve su ile karıştırılmış, oda sıcaklığında 8 dakika inkübe edildikten sonra %7'lik sodyum karbonat eklenmiştir. İki saatlik inkübasyonun ardından, 750 nm dalga boyunda absorbans değeri otomatik bir UV-vis spektrofotometrede (Model T60U, PG Instruments) ölçülmüştür. Standart olarak gallik asit kullanılmıştır. Sonuçlar, gram taze ağırlık (ta) başına mikrogram (µg) gallik asit eşdeğeri (GAE) olarak ifade edilmiştir (µg GAE g⁻¹ ta).

2.3 Toplam flavonoid tayini

Toplam flavonoid içeriği, Zhishen ve ark. (1999) tarafından tanımlanan yöntemle göre yapılmıştır. Absorbans değerleri 510 nm dalga boyunda kaydedilmiştir. Sonuçlar, litre başına miligram (mg) kateşin eşdeğeri (KE) olarak ifade edilmiştir (mg KE L⁻¹ ta).

2.4 Toplam monomerik antosiyanin tayini

Toplam antosiyanin düzeyleri, Giusti ve Wrolstad (2005) tarafından tanımlanan pH diferansiyel yöntemi ile ölçülmüştür. Yaprak ekstraktları, ayrı kaplarda potasyum klorür (pH 1.0) ve sodyum asetat (pH 4.5) tamponları ile 1:10 oranında (v/v) karıştırılmıştır. Dengeleme süresinin (15 dakika) ardından, her çözeltinin ham absorbans değeri 517 ve 700 nm dalga boylarında ölçülmüştür. Düzeltme yapılmış absorbans değeri şu şekilde hesaplanmıştır:

$$A=(A_{517}-A_{700})_{pH\ 1.0} - (A_{517}-A_{700})_{pH\ 4.5}$$

Numunelerdeki toplam antosiyanin değerlerini hesaplamak için şu formül kullanılır:

$$\%w/w = \frac{A}{\epsilon L} \times MW \times DF \times \frac{V}{Wt} \times 100\%$$

A = Absorbans

ε = molar absorbans (Cyd-3-glu 26 900)

MW = antosiyanin molekül ağırlığı (Cyd-3-glu 449.2)

DF = seyreltme faktörü

V = son hacim (mL)

Wt = örnek ağırlığı (mg)

L = Hücre (küvet) ışık yolu uzunluğu (genellikle 1 cm)

Antosiyanin içeriği, gram taze ağırlık (fw) başına siyanidin 3-glukozid eşdeğeri mikrogram olarak ifade edilmiştir (µg cy-3-glu g⁻¹ ta).

2.5 Trolox Eşdeğer Antioksidan Kapasitesi (TEAC) Analizi

7 mmol/L ABTS (2,2-azino-bis-3-etilbenzotiyazolin-6-sülfonik asit), asetat tamponunda çözülerek potasyum persülfat ile Ozgen ve ark. (2006) tarafından tanımlandığı şekilde hazırlanmıştır. Karışım, 20 mM sodyum asetat tamponu (pH 4.5) kullanılarak asidik ortamda seyreltilmiş

ve 734 nm'de 0.700 ± 0.01 absorbans değerine ulaşacak şekilde ayarlanmıştır, bu da daha uzun süreli stabilite sağlamıştır. Spektrofotometrik analiz için, 2.90 mL ABTS⁺ çözeltisi ile 100 µL yaprak ekstraktı karıştırılmış ve oda sıcaklığında, karanlık koşullarda 10 dakika inkübe edilmiştir. Daha sonra 734 nm'de absorbans ölçümü yapılmıştır. Sonuçlar, taze ağırlık (fw) başına mikromol (µmol) Trolox eşdeğeri (TE) olarak ifade edilmiştir (µmol TE g⁻¹ ta).

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmada yapılan analizler sonucunda hercai menekşe yapraklarının toplam fenol içeriklerinin 2963.9 µg GAE/g (200 ppm silisyum uygulaması) ile 3205,6 µg GAE/g (silisyum+biyoçar) arasında değiştiği belirlenmiştir. Bu değerler arasındaki farkların önemsiz ($p < 0.05$) bulunması yapılan biyoçar ve silisyum uygulamalarının gerek tek başına gerekse birlikte toplam fenol içeriği üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını göstermektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Biyoçar ve silisyum uygulamasının toplam fenolik madde içeriğine etkisi



Şekil 2. Biyoçar ve silisyum uygulamasının toplam flavonoid içeriğine etkisi

Şekil 2'de görüldüğü üzere, biyoçar ve silisyum uygulamaları hercai menekşe çiçeklerinin toplam flavonoid içeriklerinde de önemli bir değişime neden olmamıştır ($p < 0.05$). Çalışmada yapılan analizler sonucunda hercai menekşe çiçeklerinin 732.96 mg KE/L (%2 biyoçar) ile 927.41 mg KE/L (silisyum+biyoçar)

arasında toplam flavonoid içeriğine sahip olduğu saptanmıştır.

Antioksidan özelliği ile ön plana çıkan biyoaktif maddelerin başında fenolik maddeler gelmektedir (Fernandes ve ark., 2017). Yine fenolik maddeler içinde önemli bir yer tutan flavonoidlerde birçok fizyolojik olaydaki etkisi yanında besinlerin antioksidan özelliklerine önemli katkılar sağlayan biyoaktif maddelerdendir. Çok sayıda yenilebilir çiçekle çalışan Zeng ve ark. (2014), bu çiçeklerin zengin fenol ve flavonoid içeriğine sahip olduklarını belirlemiştir. Bu araştırmacıların elde ettikleri değerlerle kıyaslandığında, menekşe çiçeklerinin toplam fenol ve flavonoid içeriği açısından önemli bir besin kaynağı olduğu belirlenmiştir.

Bitkilerin içerdiği biyoaktif maddelerin sağlık açısından önemi anlaşıldıktan sonra, bu maddelerin içeriklerini artıracak kültürel uygulamaları belirlemeye yönelik çalışmalara olan ilgi artmıştır. Bu çalışmaların bazılarında da Si ve biyoçar uygulamalarının etkisi incelenmiştir. Si uygulamasının polifenol sentezinde rol alan enzimlerin aktivitesini ve sentezini artırarak bazı bitkilerde toplam fenolik madde ve flavonoid içeriğinde artışlara neden olduğu bildirilmiştir (Bhatta ve Sharma, 2018; Carneiro-Carvalho ve ark., 2020). Ma ve ark. (2016) ise Si uygulamasının buğdayda flavonoid içeriğinde azalmaya neden olduğunu bildirmiştir. Bu çalışmada, çiçekleri yenen hercai menekşe bitkisinde yapılan Si uygulaması toplam fenol ve flavonoid içeriğinde önemli bir değişime neden olmamıştır. Bu sonuçlar Kim ve ark. (2017) tarafından bildirilen Si uygulamasının bitkilerin biyoaktif madde içerikleri üzerine etkisinin bitki türüne bağlı olarak değiştiği şeklindeki görüşü ile uyumaktadır.

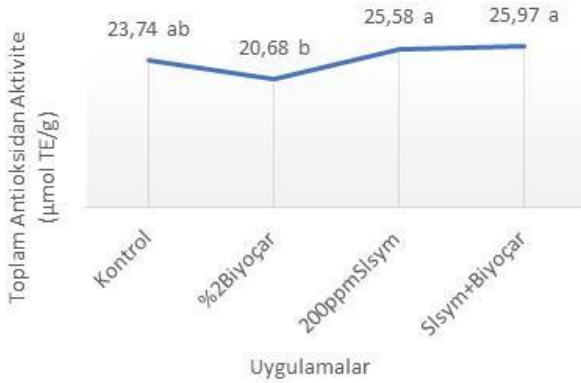
Şekil 3'te TMA değerleri yer almaktadır. Buna göre, biyoçar ve silisyumun tek başına uygulandığında antosiyanin içeriğinde belirgin azalışa neden olduğu saptanmıştır. Kontrol bitkilerinin çiçeklerinde 1695.5 µg cy-3-glu g⁻¹ olarak ölçülen antosiyanin miktarı %2 biyoçar uygulamasında 1488.4 µg cy-3-glu g⁻¹, 200 ppm silisyum uygulamasında ise 1452.8 µg cy-3-glu/g 'a kadar düşmüştür. Silisyum ve biyoçarın birlikte uygulandıklarında, toplam antosiyanin içeriğinde önemli bir artış gözlenmiş olup, kontrol grubuyla benzer etkiler sergilemiştir (Şekil 3).

Silva ve ark. (2013) topraktan ve yapraklardan uyguladıkları silikonlu gübrelemenin çilek meyvesinde antosiyanin içeriğini artırdığını bildirmişlerdir. Bu çalışmada ise Si uygulaması çiçeklerin antosiyanin içeriğinde belirgin bir azalışa neden olmuştur. Bu durum bitki türüne ve bitkinin analiz yapılan kısmına göre Si etkisinin değişebileceğini göstermektedir.



Şekil 3. Biyoçar ve silisyum uygulamasının toplam monomerik antosiyanın içeriğine etkisi

Menekşe çiçeklerinin, trolox eşdeğeri olarak ölçülen kapasiteleri 20.68 ile 25.97 µmol TE/g arasında bulunmuştur. Çalışmada etkisi incelenen biyoçar ve silisyum uygulamaları çiçeklerin antioksidan kapasitesinde önemli bir değişime neden olmamıştır ($p < 0.05$) (Şekil 4). Bunun yanı sıra, yalnızca silisyum uygulaması ve silisyum ile birlikte biyoçar uygulaması, yalnızca biyoçar uygulamasına kıyasla antioksidan içeriğinde belirgin bir artışa yol açmıştır.



Şekil 4. Biyoçar ve silisyum uygulamasının toplam antioksidan aktiviteye etkisi

Yenilebilir çiçekler içerdikleri besin elementi ve biyoaktif maddeler sayesinde yeni nutrasötik kaynaklar arasına dahil edilmektedir. Çin'de yetişen 19 farklı yenilebilir çiçeklerle yapılan çalışmada incelenen çiçeklerin bol miktarda biyoaktif madde içeriğine sahip oldukları belirlenmiştir (Zeng ve ark. 2014). Benzer şekilde bu çalışmada incelenen hercai menekşe çiçeklerinin de önemli düzeyde biyoaktif madde içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir. Özgen ve ark. (2006)'nın antioksidan içerikleri yüksek olan bazı meyve türlerinde belirledikleri miktarlarla kıyaslandığında, menekşe çiçeklerinin siyah ahududu meyvelerinden daha düşük buna karşılık kırmızı ahududu, çilek, böğürtlen ve mor renkli üzüm meyveleri ile benzer seviyede antioksidan kapasitesine sahip oldukları görülmüştür.

Biyoçar uygulamalarının bitkilerin biyoaktif madde içerikleri ve antioksidan kapasiteleri üzerine yapılan

çalışmalarda, biyoçarın tipine, uygulama yapılan ortamın özelliklerine ve uygulama şekline bağlı olarak farklı sonuçları bildirilmiştir (Quartacci ve ark., 2017; Ghazouani ve ark., 2023). Çiçekleri yenen *Viola cornuta* türüne ait 4 çeşitle çalışan Regmi ve ark. (2023), biyoçar uygulamasının çiçeklerin toplam fenol, flavonoid ve antioksidan kapasitesinde azalmaya neden olduğunu bildirmişlerdir. Bu çalışmada ise biyoçar uygulaması toplam fenol ve flavonoid içeriğinde önemli bir değişim yapmazken antioksidan içeriğinde azalmaya neden olmuştur. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ve literatür bilgileri biyoçar uygulamalarının etkisinin diğer birçok faktöre bağlı olarak değişkenlik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Biyoçar ve Si birlikte uygulandıklarında da menekşe çiçeklerinin fitokimyasal içeriklerinde anlamlı bir değişime neden olmamıştır.

4. Sonuçlar ve Tartışma

Sağlık için faydalı fitokimyasal maddeleri yüksek oranda içeren ve güçlü antioksidan kapasitesine sahip ürünlere olan ilgi artarken, bu ürünlerin bu özelliklerini artırmak için yapılan kültürel uygulamalara olan ilgi de giderek artmaktadır. Bu amaçla bu çalışmada, çiçekleri yenilen hercai menekşe bitkisine yapılan Si ve biyoçar uygulamalarından her ne kadar olumlu bir sonuç alınamamış olsa da uygulamaların etkisinin bitki türüne biyoçar tipine, uygulama şekline ve uygulama dozuna bağlı olarak değişebileceği göz önünde bulundurularak daha fazla çalışmanın yapılmasının gerekliliği ortaya konmuştur.

Etik Standartlar Bildirgesi

Yazarlar tüm etik standartlara uyduklarını beyan ederler.

Yazarlık Katkı Beyanı

Yazar 1: Araştırma, Deney, Fikir Sahibi, Deney tasarımı, Yazma – orijinal taslak Görselleştirme

Yazar 2: Kaynaklar, Yazma – orijinal taslak

Yazar 3: Analizler

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarların bu makalenin içeriğiyle ilgili olarak beyan edecekleri hiçbir çıkar çatışması yoktur.

Verilerin Kullanılabilirliği

Bu çalışma sırasında oluşturulan veya analiz edilen tüm veriler, yayınlanan bu makaleye dahil edilmiştir.

5. Kaynaklar

Acir, Y., Erdem, H., 2020. Biochar Uygulamalarının Ekmeklik Buğdayın Kadmiyum (Cd) Alımına Etkisi. Akademik Ziraat Dergisi 9(2): 327-336 (2020) Araştırma ISSN: 2147-6403 e-ISSN: 2618-5881 <http://dx.doi.org/10.29278/azd.813360>

- Bhatta, D., & Sharma, G. (2018). Role of silicon in counteracting abiotic and biotic plant stresses. *International Journal of Chemical Studies*, 6(2), 1434–1442.
- Carneiro-Carvalho, A., Aires, A., Anjos, R., Martins, L., Pinto, T., Peixoto, F., & Gomes-Laranjo, J. (2020). The role of silicon fertilization in the synthesis of phenolic compounds on chestnut plants infected with *P. cinnamomi* and *C. parasitica*. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 127, 211–227. <https://doi.org/10.1007/s41348-019-00288-9>
- Chen, G. L., Chen, S. G., Xiao, Y., & Fu, N. L. (2018). Antioxidant capacities and total phenolic contents of 30 flowers. *Industrial Crops and Products*, 111, 430–445. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.10.051>
- Debona, D., Rodrigues, F. A., & Datnoff, L. E. (2017). Silicon's role in abiotic and biotic plant stresses. *Annual Review of Phytopathology*, 55, 85–107. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080516-035312>
- Drava, G., Iobbi, V., Govaerts, R., Minganti, V., Copetta, A., Ruffoni, B., & Bisio, A. (2020). Trace elements in edible flowers from Italy: Further insights into health benefits and risks to consumers. *Molecules*, 25(12), 2891. <https://doi.org/10.3390/molecules25122891>
- Epstein, E. (1999). Silicon. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 50(1), 641–664. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.50.1.641>
- Fernandes, L., Casal, S., Pereira, J. A., Saraiva, J. A., & Ramalhosa, E. (2017). Edible flowers: A review of the nutritional, antioxidant, antimicrobial properties and effects on human health. *Journal of Food Composition and Analysis*, 60, 38–50. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.03.017>
- Ghazouani, H., Ibrahim, K., Amami, R., Helaoui, S., Boughattas, I., Kanzari, S., & Sher, F. (2023). Integrative effect of activated biochar to reduce water stress impact and enhance antioxidant capacity in crops. *Science of the Total Environment*, 905, 166950. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166950>
- Giusti, M. M., & Wrolstad, R. E. (2005). Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. In R. E. Wrolstad & S. J. Schwartz (Eds.), *Handbook of food analytical chemistry* (pp. 19–31). Wiley.
- González-Barrio, R., Periago, M. J., Luna-Recio, C., Garcia-Alonso, F. J., & Navarro-González, I. (2018). Chemical composition of the edible flowers, pansy (*Viola wittrockiana*) and snapdragon (*Antirrhinum majus*) as new sources of bioactive compounds. *Food Chemistry*, 252, 373–380. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.103>
- Horuz A, Korkmaz A. 2012. Terme ve Bafra yöresinde çeltik yetiştirilen asit, tuzlu ve sodyumlu toprakların silisyum durumu ile ihtiyaçlarının belirlenmesi ve bu topraklarda elverişli silisyum miktarının belirlenmesinde kullanılacak yöntemlerin seçimi. OMÜ PYO.ZRT. 1901.11.008 BAP projesi sonuç raporu. Samsun.
- Kim, Y. H., Khan, A. L., Waqas, M., & Lee, I. J. (2017). Silicon regulates antioxidant activities of crop plants under abiotic-induced oxidative stress: A review. *Frontiers in Plant Science*, 8, 510. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00510>
- Landi, M., Tattini, M., & Gould, K. S. (2015). Multiple functional roles of anthocyanins in plant-environment interactions. *Environmental and Experimental Botany*, 119, 4–17. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.05.012>
- Lehmann, J., & Joseph, S. (2009). *Biochar for environmental management: Science and technology*. Earthscan.
- Lu, B., Li, M., & Yin, R. (2016). Phytochemical content, health benefits, and toxicology of common edible flowers: A review (2000–2015). *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(1), 130–148. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.757929>
- Ma, D., Sun, D., Wang, C., Qin, H., Ding, H., Li, Y., et al. (2016). Silicon application alleviates drought stress in wheat through transcriptional regulation of multiple antioxidant defense pathways. *Journal of Plant Growth Regulation*, 35(1), 1–10. <https://doi.org/10.1007/s00344-015-9500-2>
- Ma, J. F., & Takahashi, E. (2002). *Soil, fertilizer, and plant silicon research in Japan*. Elsevier Science.
- Marchioni, I., Najar, B., Ruffoni, B., Copetta, A., & Pistelli, L. (2020). Bioactive compounds and aroma profile of some Lamiaceae edible flowers. *Plants*, 9(6), 691. <https://doi.org/10.3390/plants9060691>
- Mlček, J., & Rop, O. (2011). Fresh edible flowers of ornamental plants – A new source of nutraceutical foods. *Trends in Food Science & Technology*, 22(10), 561–569. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.04.006>
- Ozgen, M., Reese, R. N., Tulio, A. Z., Scheerens, J. C., & Miller, A. R. (2006). Modified 2,2'-azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid (ABTS) method to measure antioxidant capacity of selected small fruits and comparison to ferric reducing antioxidant power (FRAP) and 2,2'-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) methods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(4), 1151–1157. <https://doi.org/10.1021/jf051960d>

- Quartacci, M. F., Sgherri, C., & Frisenda, S. (2017). Biochar amendment affects phenolic composition and antioxidant capacity restoring the nutraceutical value of lettuce grown in a copper-contaminated soil. *Scientia Horticulturae*, *215*, 9–14.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.12.007>
- Regmi, A., Poudyal, S., Singh, S., Coldren, C., Moustaid-Moussa, N., & Simpson, C. (2023). Biochar influences phytochemical concentrations of *Viola cornuta* flowers. *Sustainability*, *15*(5), 3882.
<https://doi.org/10.3390/su15053882>
- Shetty, R., Fretté, X., Jensen, B., Shetty, N. P., Jensen, J. D., Jørgensen, H. J. L., & Christensen, L. P. (2011). Silicon-induced changes in antifungal phenolic acids, flavonoids, and key phenylpropanoid pathway genes during the interaction between miniature roses and the biotrophic pathogen *Podosphaera pannosa*. *Plant Physiology*, *157*(4), 2194–2205.
<https://doi.org/10.1104/pp.111.185215>
- Silva, T., Umburanas, R. C., Garcia, C., Bennemann, G. D., Giloni-Lima, P. C., Rusin, C., Sousa, A. J. de, & Botelho, R. V. (2023). Agronomic, Physiological, and Post-Harvest Aspects of Different Blueberry Cultivars Treated with Silicon. *Comunicata Scientiae*, *14*, e4043.
<https://doi.org/10.14295/cs.v14.4043>
- Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, *16*(3), 144–158.
<https://doi.org/10.5344/ajev.1965.16.3.144>
- Soundararajan, P., Sivanesan, I., Jana, S., & Jeong, B. R. (2018). Influence of silicon supplementation on the growth and tolerance to high temperature in *Salvia splendens*. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, *59*(3), 321–329.
<https://doi.org/10.1007/s13580-018-0032-5>
- Vaccari, F. P., Baronti, S., Lugato, E., Genesio, L., Castaldi, S., Fornasier, F., & Miglietta, F. (2011). Biochar as a strategy to sequester carbon and increase yield in durum wheat. *European Journal of Agronomy*, *34*(4), 231–238.
<https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.01.006>
- Zeng, Y., Deng, M., Lv, Z., & Peng, Y. (2014). Evaluation of antioxidant activities of extracts from 19 Chinese edible flowers. *SpringerPlus*, *3*, 315.
<https://doi.org/10.1186/2193-1801-3-315>
- Zhishen, J., Mengcheng, T., & Jianming, W. (1999). The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*, *64*(4), 555–559.