



Effects of Biochar Applications on the Growth and Bioactive Compound Content of Red Pansy (*Viola wittrockiana*)

Güzella Yılmaz Vural^{1,a,*}

¹Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, 60240, Tokat, Türkiye

*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Research Article</i></p> <p>Received : 07.10.2025 Accepted : 21.11.2025</p> <p><i>Keywords:</i></p> <p>Antioxidant Activity Individual Phenolic Edible Flower Biochar Yield</p>	<p>The study examined the effects of biochar applications on the individual phenolic compounds, bioactive compound content, and yield of the edible flower Red Pansy (<i>Viola Wittrockiana</i>). The study was carried out in a greenhouse with a temperature of 18°C. A randomized plot design was used with three replications, with two pots per replicate. Two-liter pots were used in the study. Walnut shell and walnut pruning waste were used as the main biochar materials. Biochar was applied at a rate of 2%. Biochar applications caused an increase in some bioactive compounds and individual phenolics, while causing a decrease in others. To examine plant yield, the number of flowers, flower diameter, plant height, stem weight, root length, and root weight were determined. Significant increases were observed in all these parameters in both biochar applications compared to the control group. For example, the number of flowers recorded as 4.7 in the control group could be increased to 22.9 with biochar application. The data obtained from the study revealed that biochar is a good material for producing more productive Red Pansy flowers, but when the goal is to increase functional phytochemicals, characteristics such as application dose, biochar base material, and production temperature must be carefully selected.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 13(12): 4252-4257, 2025

Biyokömür Uygulamalarının Kırmızı Hercai Menekşe (*Viola wittrockiana*) Bitkisinin Gelişimi ve Biyoaktif Bileşik İçeriği Üzerindeki Etkileri

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p><i>Araştırma Makalesi</i></p> <p>Geliş : 07.10.2025 Kabul : 21.11.2025</p> <p><i>Anahtar Kelimeler:</i></p> <p>Antioksidan Aktivite Bireysel Fenolik Yenilebilir Çiçek Biyokömür Verim</p>	<p>Çalışmada biyokömür uygulamalarının yenilebilir çiçek Kırmızı Hercai Menekşe (<i>Viola Wittrockiana</i>) bitkisinin bireysel fenolik bileşikleri, biyoaktif bileşik içeriği ve verimi üzerine etkileri incelenmiştir. Çalışma sıcaklığı 18°C derece olan serada yürütülmüştür. Çalışma her tekerrürde 2 saksı olacak şekilde, 3 tekerrürlü olarak tesadüf parselleri deneme desenine göre yapılmıştır. Çalışmada 2 litrelik saksılar kullanılmıştır. Biyokömür hammaddesi olarak fındık kabuğu ve ceviz budama atığı kullanılmıştır. Biyokömür %2 oranında uygulanmıştır. Biyokömür uygulamaları bazı biyoaktif bileşiklerde ve bireysel fenoliklerde artma eğilimine bazılarında ise azalma eğilimine neden olmuştur. Bitki verimini incelemek için bitkilerin çiçek sayıları, çiçek çapları, bitki uzunlukları, gövde ağırlıkları, kök uzunlukları ve kök ağırlıkları belirlenmiştir. Bu parametrelerin tamamında kontrol grubuna kıyasla her iki biyokömür uygulamasında da önemli derecede artış gözlemlenmiştir. Örneğin; kontrol grubunda 4,7 olarak kaydedilen çiçek sayısı biyokömür uygulaması ile 22.9'a kadar yükseltilebilmiştir Çalışmadan elde edilen veriler biyokömürün Kırmızı Hercai Menekşe çiçeklerini daha verimli üretmek için iyi bir materyal olduğunu ancak fonksiyonel fitokimyasalların artırılması hedeflendiğinde uygulama dozu, biyokömür ana materyali, yapım sıcaklığı gibi özelliklerin dikkatle seçilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.</p>

guzella.yilmaz@gop.edu.tr <https://orcid.org/0000-0002-9284-9698>



This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International License

Giriş

Yenilebilir çiçekler, son yıllarda adını sıkça duyduğumuz yeni gıda ürünleri arasında yer almaktadır. Yenilebilir çiçekler, birçok ülkeye ait geleneksel yemekler içerisinde ya da tatlılarda, salatalarda, içeceklerde süsleme veya tamamlayıcı gıda amacı ile kullanılmaktadır (Fernandes ve ark., 2020). Bu çiçeklerin kullanım amaçlarının yanı sıra yeni bir gıda sektörü oluşturmaları önem arz etmektedir. Çünkü Dünya genelinde düzensiz nüfus artışı beraberinde birçok sorunu beraberinde getirmektedir. Bu sorunlardan biri de değişen iklim ve çevre koşulları sonucu insan beslenmesindeki büyük bir payı kapsayan gıdaların artık yeterli kadar üretiminin yapılamaması durumunu ortaya çıkarmasıdır. Bu sorunlara karşılık yeni gıda arayışları başlamıştır. Yeni gıda sektöründe yerini alan yenilebilir çiçekler hem besin değerlerinin yüksek oluşuyla hem de biyoaktif bileşenlerinin zengin oluşuyla önemini arttırmaktadır. Yemek kitapları, güncel yemek programları, dergiler bu çiçeklere sıklıkla yer vermektedir (Rop ve ark., 2012, Marchioni ve ark., 2020). Bu çiçeklere verilen önemin artması bu çiçeklerle ilgili pazar payındaki artışın habercisi niteliğindedir (Takahashi ve ark., 2020).

Yenilebilir çiçek kavramının güncel olması ve bu çiçeklerin öneminin anlaşılması, bu çiçeklerle ilgili yapılan çalışmaların sayısının artmasını beraberinde getirmiştir (Fernandes ve ark., 2020). Yapılan çalışmalar büyük oranda bu çiçeklerin içerikleri ve sağlıkla ilişkileri ile ilgilidir. Bu çiçeklerin yetiştiriciliği ve içeriklerini daha da arttırabilecek uygulamalarla ilgili çalışma yok denecek kadar azdır. Bu çalışma, fındık ve ceviz kökenli biyokömürlerin *Viola wittrockiana*'nın fenolik profili ve verim parametreleri üzerindeki etkilerini inceleyerek bu alandaki boşluğu doldurmayı amaçlamaktadır. Bu çalışma sınırlı sayıda literatür bulunan bu konuya katkı sağlayacaktır. Çalışmada Kırmızı Hercai Menekşe (*Viola Wittrockiana*) bitkisinin biyoaktif bileşik miktarını, bireysel fenolik miktarını ve verimi arttırmak amacı ile biyokömür materyalinin kullanımı çalışmaya dahil edilmiştir. Organik materyallerin, 250°C ve daha yüksek sıcaklıkta, havasız veya çok az hava olan ortamlarda proliz edilmesi sonucunda ortaya çıkan maddeye biyokömür denir (Karhu ve ark., 2011). Biyokömür materyali bitki büyüme ve gelişimini destekleyip atmosferik karbonu da düşürdüğü için siyah altın olarak da anılmaktadır (Sohi ve ark., 2010). Ayrıca son yıllarda büyük bir sorun haline gelen toprakta biriken ağır metal kirliliğine karşılık biyokömür kullanımının etkili çözüm yolu olduğu düşünülmektedir (Yılmaz Vural ve ark., 2025). Yapılan çalışmalar biyokömür su tutma kapasitesini arttırdığı, besin tutma kapasitesinin yüksek olduğu, besin elementi içeriğine katkı sunduğu, toprak düzenleyici özellikte olduğu ve bitkiler için daha birçok fayda sağladığını göstermektedir (Sigua ve ark., 2016; Tag ve ark., 2016; Githinji, 2014, Yuan ve ark., 2011; Conte ve ark., 2013). Ayrıca toprak kökenli patojenleri engelleme ve topraktaki fitotoksik organik molekülleri absorbe etme konusunda biyokömürün etkili olduğu belirlenmiştir (Eo ve ark., 2018; Oleszczuk ve ark., 2012).

Yapılan bu çalışmada, biyokömür uygulamaları ile son yıllarda sıklıkla karşımıza çıkan yenilebilir çiçekler içinde en çok kullanılan çiçeklerden biri olan Kırmızı Hercai Menekşe bitkisinin biyoaktif bileşik miktarını, bireysel fenolik miktarını ve verimini arttırmak amaçlanmıştır.

Materyal ve Yöntem

Denemenin Kurulması ve Yürütülmesi

Çalışma Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Tarımsal Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde yer alan ve sıcaklığı 18 °C olarak ayarlanan serada 24 Kasım – 30 Mart tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada 2 lt'lik saksılar kullanılmıştır. Çalışmanın yürütüldüğü saksılarda kullanılan toprak özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çalışmada, bitki materyali olarak, yenilebilir çiçekler arasında en çok kullanılan çiçeklerden biri olan Kırmızı Hercai Menekşe (*Viola Wittrockiana*) kullanılmıştır. Gösterişli çiçeklere sahip olan Hercai Menekşe bitkileri Violaceae familyasında yer alır. Antioksidan değerleri yüksek olan bu bitkiler en çok kokteyller ve tatlılarda süsleme amaçlı, salata ve yemekler için de tamamlayıcı ürün olarak kullanılır (González-Barrio ve ark., 2018).

Çalışmada biyokömür yapımı için iki farklı hammadde kullanılmıştır. Bunlardan biri Giresun ilinden toplanan fındık kabukları diğeri de Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi'ne ait araziden elde edilen ceviz budama atıklarıdır. Hammaddeler hava kuru halde kurutulup 0.5 mm büyüklükte öğütüldükten sonra hava almayacak şekilde çelik kaplara yerleştirilerek kül fırını içerisinde 500 °C'de yavaş piroliz işlemine tabi tutulmuş ve biyokömür materyalleri elde edilmiştir (Şekil 1 ve Şekil 2). (Ronse ve ark., 2013). Çalışmada kullanılan biyokömürlere ait özellikler Çizelge 2'de verilmiştir.

Çalışma her tekerrürde 2 saksı olacak şekilde, 3 tekerrürlü olarak tesadüf parselleri deneme desenine göre hazırlanmıştır. Çalışmaya konu olan biyokömür uygulamaları, yapılan çalışmalarda %2 biyokömür uygulaması ile diğer uygulanan dozlara kıyasla daha iyi verim artışı elde edildiği gerekçesi ile (Acir ve Erdem, 2020), bu oranda yapılmıştır. Dolayısıyla çalışmada biyokömür ilavesi olmayan kontrol grubu (1/1 oranında toprak/torf karışımı), ceviz biyokömür eklenmiş uygulama grubu (1/1 oranında toprak/torf karışımı + %2 ceviz biyokömürü) ve fındık biyokömür eklenmiş uygulama grubu (1/1 oranında toprak/torf karışımı + %2 fındık biyokömürü) olmak üzere 3 farklı yetiştirme ortamı kullanılmıştır. Biyokömürler saksılara homojen olarak karıştırılmıştır. Bitki tohumları torfa ekilmiş ve 2-3 yapraklı hale geldiklerinde bitkiler yetiştirme ortamlarına alınmıştır. Deneme boyunca saksılar saf su ile sulanmış ve biyokömürün besleyici özelliğinin de ön plana çıkması için herhangi bir gübreleme yapılmamıştır.

Deneme süresince, her saksıdan elde edilen çiçekler ayrı ayrı falkon tüplere konularak -80 °C'de derin dondurucuda depolanmıştır. Deneme sona erdirilirken bitkilerde, verim için belirlenen parametrelere yönelik ölçümler yapılmıştır.

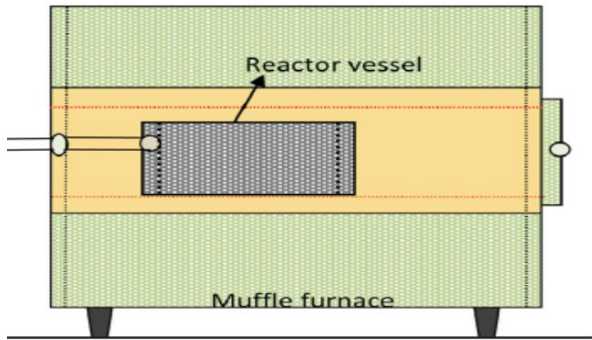
Laboratuvar Analizleri

Toplam fenolik, toplam flavonoid ve toplam antosiyanin içeriklerinin belirlenmesi ve antioksidan analizi için depolanmış çiçeklerden homojen örnekler alınarak analizde kullanılmıştır. Analiz süresince çiçekler sıvı azot içinde homojen bir şekilde parçalanmış ve ardından metanol çözeltisi ile ekstrakte edilmiştir. Elde edilen ekstrakt analizlerde kullanılmıştır.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan toprağın özellikleri

Table 1. Properties of the soil used in the study

Toprak Özellikleri		Analiz Sonucu	Değerlendirme	Sınır Değeri
PH Saturasyon Çamurunda		7.63	Hafif alkali	6,5-7,5
% Kireç		68.81	Çok kireçli	5,0-15,0
% Tuz Saturasyon Çamurunda		0.017	Az tuzlu	0,0-0,15
% Organik Madde		1.55	Orta	3-4
Yarayışlı (kg/da) Potasyum (K ₂ O)		55.87	Yeterli	>30
Fosfor (P ₂ O ₅)		1.51	Yetersiz	>13
Bünye Sınıfı			Killi tınlı	
Yarayışlı Mikro element (mg/kg)	Çinko	0.369	Yetersiz	>1
	Demir	5.54	Yeterli	>4,5
	Mangan	2.521	Yeterli	>1
	Bakır	0.412	Yeterli	>0,2



Şekil 1. Biochar üretiminde kullanılan piroliz ünitesinin gösterimi
Figure 1. Illustration of the pyrolysis unit used in biochar production)



Şekil 2. Biochar üretimi için özel imal edilmiş kabın kül fırını içerisindeki görüntüsü
Figure 2. Image of the specially manufactured container for biochar production inside the muffle furnace)

Çizelge 2. 500°C piroliz sıcaklığında üretilen ceviz ve fındık biyomömürlerinin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Table 2. Some physical and chemical properties of walnut and hazelnut biomaterials produced at 500°C pyrolysis temperature

Biyokömür Materyali	Spesifik yüzey alanı (M ² g ⁻¹)	PH	EC (mS)	C (%)	N (%)	P (Mg kg ⁻¹)	K (Mg kg ⁻¹)	Fe (Mg kg ⁻¹)	Zn (Mg kg ⁻¹)
Ceviz	318,7	9,25	0,47	79,6	0,12	224	6132	322	11,6
Fındık	290,6	8,66	0,35	58,9	0,16	165	7302	377	65,2

Fenolik asitlerin ultra yüksek performanslı sıvı kromatografisi (UHPLC; Ultimate 3000, Thermo Scientific, CA, ABD) ile ayrılması, Ozturk ve ark. (2019) tarafından kullanılan yöntemle göre belirlenmiştir. Analizde aminobenzoik, proto-katekuik, hidroksi-benzoik, kateşin, klorojenik, kafeik, kumarik,, ferulic ve rutin, olmak üzere bireysel fenolikler ölçülmüştür. Örnekler, 1:1 oranında damıtılmış su ile damıtılmış ve ardından 15.000 × g'de 15 dakika süreyle santrifüjlenmiştir. Süpernatant, 0,45 µm millipore filtrelerle filtrelenmiş ve ardından UHPLC için enjekte edilmiştir. Kromatografik ayırma, UHPLC sisteminde DAD dedektörü (DAD3000, CA, ABD) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analitler, sıcaklık 30 °C olarak ayarlanmış 250 × 3,0 mm, 5 µm Hypersil GD fenil kolonu (Thermo Scientific, CA, ABD) ile ayrılmıştır. Elüsyon çözücü için %0,28 sulu sülfürik asit (çözücü A) ve %100 metanol (çözücü B) kullanılmıştır. Ayırma 250 nm'de gerçekleştirilmiş ve toplam çalışma süresi 40 dakika sürmüştür. Enjeksiyon hacmi 20 µl ve mobil faz akış hızı 1 ml/dk olarak ayarlanmıştır. Sonuçlar miligram/kilogram (mg kg⁻¹) cinsinden ifade edilmiştir.

Toplam fenoller, Beyhan ve ark. (2010) tarafından kullanılan yöntemle göre Folin-Ciocalteu reaktifi kullanılarak belirlenmiştir. Buna göre, hazırlanan çözelti

bir spektrofotometrede 760 nm dalga boyunda ölçülmüş ve sonuçlar gallik asit eşdeğeri (GAE) olarak hesaplanmış ve g GAE kg⁻¹ taze ağırlık fw olarak ifade edilmiştir.

Toplam flavonoidler, Zhishen ve ark. (1999) 'nın yöntemine göre belirlenmiştir. Buna göre, hazırlanan çözelti spektrofotometrede 510 nm dalga boyunda ölçülmüş ve sonuçlar quercetin eşdeğeri (QE) olarak hesaplanmış ve g QE kg⁻¹ fw olarak ifade edilmiştir.

Giusti ve ark. (2001) tarafından açıklanan pH farkı yöntemi, pH 1,0 ve 4,5 tamponlarda hazırlanan çiçek özütlerindeki toplam monomerik antosiyanin miktarını (TMA) belirlemek için kullanılmıştır. Absorbans, UV-Vis spektrofotometre kullanılarak 533 ve 700 nm'de ölçülmüştür. Toplam antosiyanin miktarı (29.600 siyanidin-3-glukozit molar ekstinksiyon katsayısı) ve absorbans değerleri [(A520-A700) pH 1,0- (A520-A700) pH 4,5] taze ağırlığın gramı başına mikrogram (µg) siyanidin-3-glukozit cinsinden ifade edilmiştir.

Ferrik iyon (Fe⁺³) indirgeyici antioksidan gücü testi (FRAP) ve 1,1-difenil-2-pikril-hidrazil (DPPH) testi, antioksidan aktivitesini belirlemek için kullanılmıştır. FRAP yöntemi, Benzie ve Strain (1996) tarafından kullanılan yöntemle göre uygulanmıştır. Buna göre, hazırlanan çözelti spektrofotometrede 593 nm dalga

boyunda ölçülmüş ve elde edilen değerler mmol Trolox eşdeğeri (TE) kg-1 olarak ifade edilmiştir. DPPH testi, Blois'un (1958) yönteminin bir modifikasyonu ile gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan çözelti, bir spektrofotometrede (Shimadzu UV 1280, Tokyo, Japonya) 517 nm dalga boyunda ölçülmüş ve sonuçlar mmol TE kg-1 fw olarak ifade edilmiştir.

Yapılan analizlerin yanı sıra bitki gelişimlerinin incelenmesi açısından, bitkilerin çiçek sayıları, çiçek çapları, bitki uzunlukları, gövde ağırlıkları, kök uzunlukları ve kök ağırlıkları belirlenmiştir.

İstatistik Analizler

Elde edilen veriler varyans analizi ile analiz edildikten sonra uygulama ortalamaları Duncan çoklu karşılaştırma testi ile karşılaştırılmıştır. İstatistik analizler SAS paket programı kullanılarak yapılmıştır.

Bulgular

Deneme sonunda yapılan analiz sonuçlarına göre biyokömür uygulamalarının kırmızı menekşelerin biyoaktif bileşik içeriği üzerine etkileri ile ilgili net bir sonuca varılamamıştır. Biyokömür uygulamaları bu bileşiklerin içeriklerinin bazılarının artmasına bazılarının da azalmasına neden olmuştur. Fakat tüm bu artış ve azalışlar istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (Çizelge 3).

Bireysel fenolik analiz sonuçları incelendiğinde de aynı duruma karşılaşılmış, biyokömür uygulamaları bazı fenolik değerleri arttırdığı bazı fenolik değerleri azalttığı gözlemlenmiştir. Proto-catechuic için en iyi sonuç ceviz biyokömürü uygulamasında elde edilirken, bu sonuç istatistiksel olarak da önemli bulunmuştur. Hydroxybenzoic için ise yine en iyi sonuç ceviz biyokömürü uygulamasından alınırken, bu sonuç kontrol grubuna göre istatistiksel olarak önemli bulunmazken fındık biyokömürü uygulamasına göre önemli bulunmuştur. Caffeic içeriği incelendiğinde en düşük sonuç biyokömür uygulamasından alınmıştır. Ceviz biyokömürü uygulaması

ve kontrol grubu bitkilerindeki artış istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Coumaric içeriğinde ise en yüksek değer kontrol grubuna aitken en düşük değer ceviz biyokömürü olan saksılardan elde edilmiştir. Bu içerik için uygulamalar arası farklar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. En yüksek değerler ferulic içeriğinde kontrol grubuna, rutin içeriğinde de fındık biyokömürüne aittir. Her iki içerik içinde en yüksek değerler diğer iki uygulamadan elde edilen sonuçlara göre istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4).

Biyokömür uygulamalarının biyoaktif bileşenlerde ve bireysel fenoliklerde belirgin değişimler oluşturmamasına karşılık, iki biyokömür uygulaması da bitkinin büyüme ve gelişiminde ciddi artışlara neden olmuştur. Biyokömür uygulamaları sonucunda gövde ağırlığı dışındaki bütün verim parametrelerinde istatistiksel olarak çok önemli artışlar elde edilmiştir. Kontrol grubunda 4,7 olarak kaydedilen çiçek sayısı biyokömür uygulaması ile 22,9'a kadar yükseltilebilmiştir. Çiçek çapları incelendiğinde; kontrol grubunda 3,12 olan çiçek çapının, fındık biyokömürü uygulaması ile 4,23'e, ceviz biyokömürü uygulaması ile de 4,49'a kadar arttırıldığı belirlenmiştir. Kontrol grubunda, 12,65 cm olan bitki uzunluğu, ceviz biyokömürü uygulamasında 17,23 cm, fındık biyokömürü uygulamasında 18,24 olarak kaydedilmiştir. Gövde ağırlığında kontrol grubuna göre biyokömür uygulamaları ile artış sağlanırken, bu artışlar istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Kontrol grubunda, 14,4 cm olarak ölçülen kök uzunluğu, ceviz biyokömürü uygulaması ile neredeyse iki katına (27,9 cm) çıkarılmıştır.

Kök uzunluğunda fındık biyokömürü uygulamasında 21,5 cm ölçülmüştür. Fındık biyokömürü ve ceviz biyokömürü ile kontrol grubuna göre elde edilen kök uzunluğundaki artışlar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Kök ağırlığında da diğer parametrelerde olduğu gibi biyokömür uygulamaları ile istatistiksel olarak önemli artışlar sağlanmıştır. Kontrol grubunda 22,6 cm ölçülen kök ağırlığı, fındık biyokömürü uygulamasında 33,5 cm, ceviz biyokömürü uygulamasında 38,7 cm ölçülmüştür.

Çizelge 3. Bitkilerin Biyoaktif Bileşik İçerikleri
(Table 3. Bioactive Compound Contents of Plants)

Uygulamalar	Toplam Flavonoid (Mg QE 100 g ⁻¹)	Toplam Fenolik (Mg GAE 100 g ⁻¹)	DPPH Antioksidan Aktivitesi (Mmol TE 100 g ⁻¹)	FRAP Antioksidan Aktivitesi (Mmol TE 100 g ⁻¹)	Toplam Monomerik Antosiyanin (Mg cyn-3 glu eq kg ⁻¹ fw)
Kontrol	692 A	311 A	52,7 A	15,3 A	99,7 A
%2 Cvz	582 A	309 A	31,4 A	15,4 A	101,8 A
%2 Fndk	680 A	285 A	45 A	13,8 A	83,2 A

Aynı harf ile gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel fark yoktur ($p>0.05$). (There is no statistical difference between means indicated with the same letter ($p>0.05$)).

Çizelge 4. Bitkilerin Bireysel Fenolik İçerikleri
(Table 4. Individual Phenolic Contents of Plants)

Uygulamalar	Aminobenzoik (Mg/kg)	Proto-katekuik(mg/kg)	Hidroksi-benzoik(mg/kg)	Kateşin (Mg/kg)	Klorojenik (Mg/kg)	Kafeik (Mg/kg)	Kumarik (Mg/kg)	Ferulik (Mg/kg)	Rutin (Mg/kg)
Kontrol	0,28 A	3,35 B	128,4 A	9,5 A	76,23 A	359,0 A	559,4 A	1919,9 A	936 B
%2 Cvz	0,25 A	5,53 A	135,2 A	4,2 A	63,44 A	304,8 A	277,8 B	754,2 B	573 B
%2 Fndk	0,37 A	2,63 B	103,5 B	10,1 A	64,42 A	146,0 B	319,2 AB	872,8 B	1763 A

Aynı harf ile gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel fark yoktur ($p>0.05$). (There is no statistical difference between means indicated with the same letter ($p>0.05$)).

Çizelge 5. Bitkilerin Verim Parametreleri
(Table 5. Yield Parameters of Plants)

Uygulamalar	Çiçek Sayısı	Çiçek Çapı	Bitki Uzunluğu	Gövde Ağırlığı	Kök Uzunluğu	Kök Ağırlığı
Kontrol	4,7 B	3,12 B	12,65 B	28,2 A	14,4 B	22,6 B
C2PGR	22,9 A	4,49 A	17,23 A	37,2 A	27,9 A	38,7 A
F2PGR	21,3 A	4,23 A	18,24 A	36,8 A	21,5 A	33,5 A

Aynı harf ile gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel fark yoktur ($p>0.05$).

(There is no statistical difference between means indicated with the same letter ($p>0.05$).

Yalnızca bitki uzunluğunda fındık biyokömürü ceviz biyokömürü uygulamasından daha etkili olurken, aralarındaki fark istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Diğer bütün verim parametrelerinde en yüksek değerler ceviz biyokömürü uygulamasından elde edilmiştir. Her iki biyokömür verim parametrelerinde kontrol grubuna kıyasla önemli artışlar sağlarken iki biyokömür uygulaması arasında istatistiksel olarak önemli fark kaydedilmemiştir (Çizelge 5).

Tartışma

Yapılan birçok çalışmada biyokömür uygulamaları ile verim ve biyoaktif içerik oranında önemli artışlar sağlandığı gözlemlenmiştir. Akhtar ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada biyokömür uygulamasının, toprak yapısını iyileştirerek, kök bölgesinde su ve besin içeriği yönünden daha dengeli bir ortam sağladığı ve bitkinin biyoaktif içeriğini arttırdığı sonucuna varmışlardır. Benzer şekilde, çay bitkisi ile yapılan çalışmada biyokömür uygulaması ile toplam flavonoidlerde artış sağlanmıştır (Yang ve ark., 2025). Fakat yapılan bu çalışmada uygulamalar fenolik bileşikler ve diğer biyokimyasal içerikler üzerinde belirgin etkiler oluşturmamıştır. İki çalışmadan benzer sonuç alınamamasının, biyokömürün etkisinin biyokömürün yapıldığı ana materyal ve yapıldığı sıcaklık gibi etkilerle değişebileceğinden kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

Yapılan bazı çalışmalarda düşük doz biyokömür uygulamalarının fenolik bileşikler arttırdığı, yüksek doz biyokömür uygulamalarının ise besin dengesizliklerine yol açarak metabolit sentezini baskılayabildiği sonucuna varılmıştır (El-Naggar ve ark., 2019). Viola cornuta çiçekleri ile yapılan bir çalışmada, düşük doz biyokömür uygulamasının bazı fenolik bileşikler azalttığı, daha yüksek doz biyokömür veya aynı dozla beraber gübre uygulaması yapmanın bu fenoliklerde artışa neden olduğu gözlemlenmiştir (Regmi ve ark., 2023). Bu yüzden biyokömürün fenolik metabolizmaya etkileri incelenirken çevresel koşulların ve uygulama dozunun farklılık göstereceği unutulmamalıdır.

Deng ve ark. (2022) 500 °C’de ürettikleri biyokömürün bazı biyoaktif bileşikler arttırdığını, 700 °C’de ürettikleri biyokömürün ise bu biyoaktif bileşiklerin bazılarını azalttığını gözlemlemişlerdir. Bu çalışmada üretilen biyokömürün 500 °C’de üretildiği halde artışa neden olmayışı, biyokömürün üretim sıcaklığının, biyokömürün etkisini tek başına belirlemediğini ortaya koymaktadır.

Bazı bireysel fenoliklerde gözlemlenen artış, biyokömür uygulamalarının fenolik sentezini tamamen baskılamadığını, belirli bileşikler için teşvik edici olduğunu düşündürmektedir. Benzer olarak Anteh ve ark. (2023), yaptıkları çalışmada biyokömür uygulaması ile bazı fenolik değerlerinde artış bazı fenolik değerlerinde ise

azalma eğilimi elde etmişlerdir. Aynı şekilde kırmızı menekşe bitkisine uygulanan biyokömürün de bazı enzim aktivitelerini destekleyerek bazı fenoliklerin sentezlenmesini teşvik ettiği düşünülmektedir.

Deng ve ark. (2022) düşük stres koşullarında fenolik birikiminin düşük olduğunu ve toprak verimliliğinin arttığını bildirmişlerdir. Bu çalışmaya benzer olarak Chen ve ark. (2025) biyokömür uygulamalarının ürün kalitesini arttırdığını gözlemlemişlerdir. Bizim çalışmamız da bu çalışmalara benzer sonuçlar ortaya koymaktadır. Çalışma sonucuna göre biyoaktif bileşenlerde ve bireysel fenoliklerde azalmalar görüldüğü için biyokömürün kırmızı menekşe bitkisi için kullanımının olumsuz olduğu sonucuna varılmaz. Tam aksine bitkinin verim parametrelerinde gözlemlenen önemli artış, biyokömür uygulamalarının bitkinin enerjisini stres metabolitleri yerine büyüme ve gelişmeye yönlendirdiğini göstermektedir.

Sonuç

Bu çalışmada ceviz ve fındık biyokömürlerinin %2 oranında uygulanması yenilebilir kırmızı menekşe bitkisinde biyoaktif bileşenlerin ve bireysel fenoliklerin bir kısmında azalmaya, ancak tüm verim parametrelerinde anlamlı artışlara neden olmuştur. Çiçek sayısı, kök uzunluğu ve kök ağırlığı gibi ölçütlerde gözlenen bu artışlar, biyokömürün bitki gelişimini teşvik eden fiziksel ve kimyasal etkilerinin bir sonucu olarak değerlendirilebilir. Buna karşın fenolik bileşiklerdeki azalma, biyokömürün oluşturduğu daha dengeli kök bölgesi koşullarında bitkinin stres metabolizmasını azaltmasıyla ilişkilendirilebilir.

Sonuçlar son yıllarda sıklıkla karşımıza çıkan yenilebilir çiçeklerin, biyokömür uygulamaları ile bitki gelişimi ve verimin önemli derecede artırılabilirliğini göstermektedir. Elde edilen sonuçlar farklı üretim sistemler sonucunda ortaya çıkan organik atıkların biyokömüre dönüştürülerek böylesine faydalı bir amaç için değerlendirilebileceğini ortaya koymaktadır. Diğer taraftan farklı biyokömür oranları ve özellikleri konusunda detaylı çalışmalara gerek duyulmaktadır.

Kaynaklar

- Acir, Y., Erdem, H. (2020). “Biochar uygulamalarının ekmeçlik buğdayın kadmiyum (Cd) alımına etkisi”, Akademik Ziraat Dergisi 9(2): 327-336 (2020) Araştırma ISSN: 2147-6403 e-ISSN: 2618-5881 DOI: <http://dx.doi.org/10.29278/azd.813360>, son erişim tarihi: 04.02.2022.
- Akhtar, S. S., G. Li, M. N. Andersen, and F. Liu. (2014). Biochar enhances yield and quality of tomato under reduced irrigation. *Agric. Water Manag.*

- Anteh, J.D., Almugrabi, E., Mostyakova, A., Timofeeva, O. (2023). Biochar influences on phytochemical composition and expression genes of curly kale at different treatment times. *Turk. J. Bot.* 47 (6), 5. <https://doi.org/10.55730/1300-008X.2782>.
- Benzie, I.F.F. and Strain, J.J. (1996). The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of "Antioxidant Power": The FRAP Assay, *Anal. Biochem.*, 239 (1), 70-76, 1996.
- Beyhan, Ö., Elmastaş, M., & Gedikli, F. (2010). Total phenolic compounds and antioxidant capacity of leaf, dry fruit and fresh fruit of feijoa (*Acca sellowiana*, Myrtaceae). *Journal of Medicinal Plant Research*, 4, 1065-1072. <https://doi.org/10.5897/JMPR10.008>
- Blois, M.S. (1958). Antioxidant Determinations by the Use of a Stable Free Radical. *Nature* 1958, 181, 1199-1200.
- Chen, X., Mao, X., Ding, Y., Chen, T., Wang, Y., Bao, J., Guo, L., Fang, L., Zhou, J. (2025). Biochar-induced microbial and metabolic reprogramming enhances bioactive compound accumulation in *Panax quinquefolius* L. *BMC Plant Biol.* 2025 May 20;25(1):669. doi: 10.1186/s12870-025-06656-x.
- Conte, P., Marsala, V., De Pasquale, C., Bubici, S., Valagussa, M., Pozzi, A., Alonzo, G. (2013). "Nature of water-biochar interface interactions", *GCB Bioenergy* 5:116-121.
- Deng, R., Lan, Z., Shang, X., Fang, S. (2022). Effects of Biochar application pyrolyzed at different temperatures on soil properties, growth and leaf secondary metabolite accumulation in *Cyclocarya paliurus*. *Forests* 13:1572. <https://doi.org/10.3390/f13101572>.
- El-Naggar, A., Lee, S.S., Rinklebe, J., Farooq, M., Song, H., Sarmah, A.K., Zimmerman, A.R., Ahmad, M., Shaheen, S.M., Ok, Y.S. (2019). Biochar application to low fertility soils: a review of current status, and future prospects. *Geoderma*, 337: 536-554.
- Eo, J., Park, K.C., Kim, M.H., Kwon, S.I., Song, Y.J. (2018). "Effects of rice husk and rice husk biochar on root rot disease of ginseng (*Panax ginseng*) and on soil organisms", *Biological Agriculture & Horticulture*, 34(1), 27-39.
- Fernandes, L., Casal, S., Jose, A., Pereira, J.A., Saraiva, J.A. and Elsa Ramalhosa, E. (2020). An overview on the market of edible flowers. *Food Reviews International*, 36, 258-275.
- Githinji, A. (2014). "Effects of Training on Employee Performance: A Case Study of United Nations Support Office for the African Union Mission in Somalia", (MBA Thesis) retrieved from <http://erepo.usiu.ac.ke/handle/11732/71>, son erişim tarihi: 04.02.2022.
- Giusti, M.M., Wrolstad, R.E. (2001). Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. In: Wrolstad, R.E, Editor. *Current protocols in food analytical chemistry*. John & Wiley, Inc. P F1.2.1- F1.2.13 New York, USA.
- González-Barrío, R.; Periago, M.J.; Luna-Recio, C.; García-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 Chem.* 2018, 252, 373-380.
- Karhu, K., Mattila, T., Bergstrom, I., Regina, K. (2011). "Biochar addition to agricultural soil increased CH₄ uptake and water holding capacity results from a short-term pilot field study", *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 140: 309-313. doi.org/10.1016/j.agee.2010.12.005.
- 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>.
- Oleszczuk, P., Rycaj, M., Lehmann, J., Cornelissen, G. (2012). "Influence of activated carbon and biochar on phytotoxicity of air-dried sewage sludges to *Lepidium sativum*", *Ecotoxicol. Environ.* 80, 321-326.
- Ozturk, B., Erdal, A., Karakaya, O., Saracoglu, O., Gün, S. (2019). Effects of preharvest GA3, CaCl₂ and modified atmosphere packaging treatments on specific phenolic compounds of sweet cherry. *Turk J. Food Agric. Sci.* 2019, 1 (2): 44-56
- Regmi, A., Poudyal, S., Singh, S., Coldren, C., Moustaid-Moussa, N. (2023). Biochar Influences Phytochemical Concentrations of *Viola cornuta* Flowers. *Sustainability* 15: 3882. doi.org/10.3390/su15053882.
- Ronsse, F., Van Hecke, S., Dickinson, D., & Prins, W. (2013). Production and characterization of slow pyrolysis biochar: influence of feedstock type and pyrolysis conditions. *Gcb Bioenergy*, 5(2), 104-115.
- Rop, O., Mlcek, J., Jurikova, T., Neugebauerova, J. and Vabkova, J. (2012). Edible flowers—A New Promising Source of Mineral Elements in Human Nutrition. *Molecules*, 17, 6672-6683. Doi: 10.3390/molecules17066672
- Sigua, G.C., Novak, J.M., Watts, D.W., Johnson M.G., Spokas, K. (2016). "Efficacies of designer biochars in improving biomass and nutrient uptake of winter wheat grown in a hard setting subsoil layer", *Chemosphere*, 142, 176-183.
- Sohi, S., Lopez-Capel, E., Krull, E., Bol, R. (2010). "Biochar climate change and soil: A review to guide future research", *Rep. No. 05/09*. CSIRO.
- Tag, A.T., Duman, G., Ucar, S., Yanik, J. (2016). "Effects of feedstock type and pyrolysis temperature on potential applications of biochar", *J. Anal Appl Pyrol* 120:200-206.
- Takahashi, J. A., Rezende, F., Moura, M., Dominguet, L., Sande, D. (2020). Edible flowers: Bioactive profile and its potential to be used in food development. *Food Research International* 129: 108868.
- Yang, Z.Y. Ren, Z.T. Zhu, X.Z. Yang, W.Y. Ye, Z.Q. Tian, L.M. Ma, J.W. (2025). Biochar-based fertilizer increases soil nutrients and enhances tea quality: a metabolomics-based analysis. *Front Plant Sci.*, 16 (2025), Article 1552759, 10.3389/fpls.2025.1552759.
- Yılmaz-Vural, G., Erdem, H., Yıldız, K. (2025). "Optimizing Biochar Applications for Improved Growth and Nutritional Quality of Basil Plants Using Rice and Corn Biochars", *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*. Vol. 13 No. 4.
- Yuan, J., Xu, R.K., Zhang, H. (2011). "The forms of alkalis in the biochar produced from crop residues at different temperatures", *Bioresource Technology* 102(3):3488-97.
- 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. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00102-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00102-2)