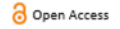


Original Article



Fenolik Bileşiklerin Ekolojik Rolü Ve Bitkilerin Biyolojik Aktivitesine Katkısı

Ecological Roles of Phenolic Compounds and Their Contribution to the Biological Activities of Plants

Dilara Sunakbaeva^a^a Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Faculty of Natural Sciences, Department of Ecology and Chemistry, Turkestan, Kazakhstan

Article Information

Received 4 Jan 2026

Accepted 11 Mar 2026

Available online 30
Mar 2026

Özet / Abstract

Bu makalede, fenolik bileşiklerin bitkilerdeki ekolojik önemi ve biyolojik aktiviteleri, bitkilerin ikincil metabolitlerinin ana gruplarından biri olarak ele alınmıştır. Fenolik bileşiklerin temel sınıfları, bitkilerin savunma mekanizmalarındaki rolleri ve biyotik ve abiyotik streslere adaptasyondaki işlevleri analiz edilmiştir. Fenolik bileşiklerin antioksidan özellikler gösterdiği, serbest radikalleri nötralize edebildiği, metal iyonlarını şelatlayabildiği ve enzimatik aktiviteleri düzenleyebildiği gösterilmiştir. Ayrıca, fenolik bileşiklerin yapı ve işlevleri arasındaki ilişkilerin ortaya çıkarılmasına ve pratik uygulama potansiyelinin artırılmasına yönelik gelecekteki araştırmaların umut verici olduğu belirtilmiştir.

This study examines the ecological significance and biological activities of phenolic compounds in plants, considering them as one of the principal groups of plant secondary metabolites. The main classes of phenolic compounds, their roles in plant defense mechanisms, and their functions in adaptation to biotic and abiotic stresses are analyzed. Phenolic compounds are shown to possess antioxidant properties, enabling them to neutralize free radicals, chelate metal ions, and regulate enzymatic activities. Furthermore, future research aimed at elucidating the relationships between the structural characteristics and functional properties of phenolic compounds is considered promising for enhancing their potential for practical applications.

Anahtar Kelimeler:

Biyolojik aktivite, ikincil metabolitler, bitkiler, fenolik bileşikler, flavonoidler

Giriş

Bu çalışmada, bitkisel kaynaklı fenolik bileşiklerin antioksidan potansiyeli ve sağlık üzerindeki etkileri, güncel biyoteknolojik araştırmalar çerçevesinde ele alınmıştır. Fenolik bileşikler, ekolojik süreçlerde ve bitki organizmalarının işleyişinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu maddeler, aromatik halka ile bağlı bir veya birden fazla hidroksil grubuna sahip organik bileşikler sınıfına aittir ve çeşitli biyolojik ve ekolojik işlevlere sahiptir.

Fenolik bileşikler, belirgin antioksidan özelliklere sahip bitki ikincil metabolitlerinin ana grubunu oluşturur. Tüm bitkilerde bulunan ikincil metabolitler, geniş bir pratik kullanım alanına sahiptir [1]. Son yıllarda, bu bileşiklerin önemi analitik çalışmalarda da giderek kabul görmüştür. Doğal gıdalarda bulunan fenolik bileşikler, antioksidan aktiviteleri sayesinde ciddi hastalıkların gelişme riskini azaltabilir [2]. Bu bileşiklerin tüketimi, birçok patolojiyi önleyerek genel riski azaltabilir ve biyoteknoloji, bu bileşikler ile ilaçların hedeflenmiş dağılımını, çözünürlüğünü ve

toksitesini iyileştirmek için yeni tıbbi ürünlerin geliştirilmesinde giderek daha fazla kullanılmaktadır [3].

Günümüzde antioksidan, antitümör, antimitojen, antiinflamatuvar ve antimikrobiyal özelliklere sahip birçok bitkisel ürün, çeşitli hastalıkların önlenmesi ve tedavisinde kullanılmaktadır. Bu ürünlerin tüketimi, antioksidan, antiinflamatuvar, sinyal yollarını düzenleyici, antimikrobiyal ve antiproliferatif aktiviteleri sayesinde kardiyovasküler ve nörodejeneratif hastalıklar, belirli kanser türleri, tip II diyabet ve osteoporoz gibi kronik hastalıkların riskini azaltmaktadır [1,2]. Diyetteki fenolik bileşikler ek sağlık faydaları sağlar ve hastalıkların ortaya çıkma olasılığını düşürür.

Çoğu çalışma, kronik hastalıklarda fenolik bileşiklerin koruyucu ve terapötik etkilerini göstermektedir. Fenoller açısından zengin bitkisel ürünlerin tüketimi, kardiyovasküler ve nörodejeneratif hastalıklar, tip 2 diyabet dahil olmak üzere çeşitli akut ve kronik hastalıkların riskini azaltabilir [1,2]. Son yıllardaki epidemiyolojik çalışmalar ve ilgili meta-analizler,

uzun süreli bitkisel ürün tüketiminin, oksidatif stresle ilişkili hastalıklara karşı koruma sağladığını doğrulamaktadır; bunlar arasında kanser, kardiyovasküler hastalıklar, diyabet, osteoporoz ve nörodejeneratif hastalıklar yer almaktadır.

Fenolik bileşiklerin etkileri yalnızca oksidatif stresin modülasyonu ile sınırlı değildir. Bu bileşikler, gen ekspresyonu, protein sentezi, enzim aktivitesi ve membran veya nükleer reseptörlere alternatif ligand veya ligand taklidi olarak bağlanma gibi hücrel işlevlerin çeşitli seviyelerinde etkileşimlere sahiptir [3]. Ayrıca, bazı fenolik bileşiklerin çoklu dirençli bakterilere karşı antibakteriyel aktivitesi de yakın zamanda gösterilmiştir [4].

Sonuç olarak, bu çalışma, fenolik bileşiklerin kökeni, etki mekanizmaları ve antioksidan özellikleri sayesinde bitkisel ikincil metabolitlerin sağlık üzerindeki faydaları hakkında kapsamlı bilgiler sunmaktadır. Önemli ilerlemelere rağmen, bu bileşiklerin biyokimyası ve metabolizması ile ilgili hâlâ keşfedilmeyi bekleyen çok sayıda alan bulunmaktadır; bu da gelecekteki araştırmalar için geniş fırsatlar sunmaktadır [5].

❖ Bitkisel Kaynaklı Besin Fenolik Bileşikleri

Fenolik bileşikler, bitkilerin ikincil metabolitleri olarak, bitkilerin büyümesi için gerekli olmasa da, ekolojik, farmakolojik ve biyolojik açıdan büyük öneme sahiptir [6]. Geniş anlamda, tüm bitkisel ikincil metabolitler üç ana gruba ayrılır: fenoller (fenolik asitler, lignanlar, stilbenler, tanenler, kumarinler, flavonoidler ve lignin), terpenoidler (kardiyoglikozitler, karotenoidler, sterinler ve uçucu bileşikler) ve azot içeren bileşikler (alkaloidler ve glukozinolatlar) [7]. Bu organik bileşikler, birincil metabolik süreçlere katılmasalar da, bitkileri otoburlar, zararlılar ve patojenlerden korumada kritik bir rol oynar [8]. Bu grupta, en önemli olanı antioksidan özelliklere sahip fenolik bileşiklerdir.

Doğal bileşiklerin temel işlevi, bitkilerin yırtıcılar ve patojenlere karşı savunma mekanizmalarını desteklemektir [9]. Ayrıca, bu fitokimyasal bileşikler, tozlayıcıları ve tohum taşıyıcılarını çeken atraktanlar olarak üreme avantajı sağlar. Bazıları başka önemli işlevler de üstlenir; örneğin pigment görevi gören antosiyaninler veya bitkiye yapısal destek sağlayan lignin [10].

İlaçlarda ve gıdalarda sağlık açısından potansiyel faydaları nedeniyle kullanılan ikincil metabolitler, tüm bitkilerde bulunur ve geniş bir pratik kullanım yelpazesine sahiptir [11]. Doğal gıdalardaki fenolik bileşikler, antioksidan aktiviteleri sayesinde çeşitli hastalıkların gelişme riskini azaltabilir [12,13].

Polifenolik bileşikler arasında yer alan flavonoidler, antik çağlardan beri tıp ve gıda endüstrisinde kullanılmaktadır [14]. Son yıllarda, flavonoidlerin farklı alanlardaki kullanımı üzerine yapılan araştırmalar artarak devam etmektedir. Flavonoidlerin ana alt grupları flavonlar, flavonoller, izoflavonlar, flavanonlar, flavanonoller, flavanoller ve antosiyanidinlerdir. Flavonollerin başlıca temsilcileri

kuersetin, kemferol ve mirisetindir; bunlar arasında kuersetin en yaygın olanıdır. Siklik difenilpropan, özellikle bitkisel gıdalarda yaygın olarak bulunan bir formdur.

Fenolik bileşiklerin kullanımı, antioksidan özellikleri nedeniyle gıda, tıp ve tarım endüstrilerinde giderek daha önemli hale gelmektedir. Bu bileşikler, basit fenolik moleküllerden karmaşık yapıya yüksek moleküler polimerlere kadar çeşitli biyolojik ve farmakolojik işlevlere sahiptir. Basit fenoller (C6), katekol ve hidroksibenzoik asit türevlerini içerir. Stilbenler (C6-C2-C6) ve flavonoidler (C6-C3-C6), orta moleküler ağırlığa sahip fenolik bileşiklerdir. Yüksek moleküler polimerler arasında katekol-melaninler, ligninler ve kondanse tanenler bulunur [15].

Fenolik bileşikler, gıda katkı maddelerinin vazgeçilmez bir grubu haline gelmiş; ürünlerin bozulmasını kontrol etmek, raf ömrünü uzatmak ve besin değerini korumak için toksik oksidasyon ürünlerinin oluşumunu yavaşlatmakta kullanılmaktadır. Sentetik antioksidanlarla ilgili endişeler nedeniyle, bu bileşiklerin bitkiler ve yenilebilir yan ürünler gibi doğal kaynaklardan elde edilmesine olan ilgi artmaktadır.

İzoflavonlar, "fitoöstrojenler" olarak adlandırılır ve östrojenik, antitümör ve antioksidan aktivite gösterir. Tanenler ise, geleneksel tıpta kullanılan yüksek etkili antioksidanlardır ve antidiarreal, sitotoksik ve antiparaziter özellikleri ile bilinir.

❖ Bitkisel Fenolik Bileşikler ve İnsan Sağlığı

Fenolik bileşikler (polifenoller), bitkisel ürünlerde bulunur ve bir veya daha fazla hidroksil grubu içeren aromatik halka yapısına sahiptir. Yapıları basit moleküllerden karmaşık polimerlere kadar değişebilir [16].

Fenolik bileşiklerin tüketimi, antioksidan, antiinflamatuvar, antimikrobiyal ve antiproliferatif özellikleri ile hücrel sinyal yollarını modüle etme yetenekleri sayesinde, kardiyovasküler ve nörodejeneratif hastalıklar, bazı kanser türleri, tip II diyabet ve osteoporoz dahil olmak üzere kronik hastalık riskini azaltmakla ilişkilidir [17,18].

Fenoller, flavonoidler ve flavonoid olmayan polifenoller olarak sınıflandırılır [19]. Fenolik bileşikler gibi bitkisel ikincil metabolitler, birincil metabolik süreçlere doğrudan katılmasalar da, bitkileri otoburlar, patojenler ve rekabet eden bitkilerden korur, tozlayıcılar ve tohum taşıyıcıları için sinyal görevi görür ve oksidatif stres ile UV ışınlarına karşı koruma sağlar [20,21].

Bitkisel fenolik bileşikler, insan vücudu üzerinde koruyucu etki gösterir; düşük yoğunluklu lipoproteinlerin oksidasyonunu ve DNA hasarını önler, reaktif oksijen türlerinin oluşumunda rol oynayan enzimleri inhibe eder ve hücrel reseptörler ile sinyal yollarını etkiler.

İzoflavonlar, stilbenler ve lignanlar yapısal olarak östrojenle benzerlik gösterir ve hormon bağımlı tümörlerin büyümesini inhibe edebilir. Flavonoidler, glukoz emilimini düzenleyerek,

hemoglobinin glikasyonunu inhibe ederek, insülin salgısını artırarak ve insülinin etkinliğini yükselterek glicemiyi kontrol etmeye yardımcı olur [21].

Fenolik bileşikler açısından zengin gıdaların tüketimi ayrıca oksidatif hasarın azalması, bağışıklık sistemi işlevinin iyileşmesi ve çeşitli kronik hastalıklara karşı koruma ile ilişkilidir [22].

Materyal ve Yöntemler

Bitkisel kökenli fenolik bileşiklerin incelenmesinde, standart kimyasal analiz ve biyolojik aktivite değerlendirme yöntemleri kullanılmıştır [23]. Araştırmanın temel objeleri, flavonoidler, fenolik asitler, lignanlar ve diğer ikincil metabolitler dahil olmak üzere polifenoller açısından zengin bitki ekstraktlarıdır.

Numune Hazırlığı: Bitkisel materyaller kurutulmuş, öğütülmüş ve organik çözücüler (etanol, metanol, aseton) kullanılarak ekstrakte edilmiştir; ekstraktlar vakum altında yoğunlaştırılmıştır.

Kimyasal Analiz: Fenolik bileşiklerin kantitatif ve kalitatif tayini spektrofotometri ve yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC) yöntemleriyle yapılmıştır. Toplam fenolik içerik, flavonoid miktarı ve bireysel fenolik asitler belirlenmiştir.

Antioksidan Aktivite Belirleme: Ekstrelerin antioksidan özellikleri, serbest radikalleri ve metal iyonlarını nötralize etme kapasitelerini kantitatif olarak değerlendiren DPPH, ABTS ve FRAP testleri ile ölçülmüştür.

İstatistiksel Analiz: Tüm deneyler üçlü tekrarlarla gerçekleştirilmiş ve sonuçlar ortalama değerler ile standart sapmalar hesaplanarak analiz edilmiştir.

Bu metodolojik yaklaşım, fenolik bileşiklerin kimyasal bileşimini ve biyolojik aktivitesini sistematik olarak değerlendirmeyi ve insan sağlığı üzerindeki potansiyel faydalarını belirlemeyi sağlar [24].

Bulgular ve Tartışma

Bitkisel kökenli fenolik bileşiklerin incelenmesi, yüksek biyolojik aktiviteye sahip olduklarını göstermiştir. Fenoller açısından zengin bitki ekstraktları, belirgin antioksidan özellikler, serbest radikalleri nötralize etme ve metal iyonlarını şelatlama yeteneği sergilemiştir.

Analiz edilen örneklerde tespit edilen flavonoidler arasında kuersetin, kemferol ve mirisetin bulunmuştur. Bu bileşikler antioksidan, antiinflamatuvar, antimikrobiyal ve antiproliferatif aktiviteye sahiptir ve hücrel sinyal yollarını modüle eder [25].

Fenolik asitler ve lignanlar, reaktif oksijen türlerinin oluşumunda rol oynayan enzimlerin aktivitesini inhibe etme yetenekleri ile oksidatif strese karşı koruyucu etkilerini göstermiştir.

DPPH, ABTS ve FRAP testleri, bitki ekstraktlarının serbest radikalleri nötralize etme kapasitesinin yüksek olduğunu ve bunların doğal antioksidan olarak potansiyelini doğrulamıştır.

Bazı fenolik bileşiklerin antibakteriyel aktivitesi, çoklu dirençli bakterilere karşı kanıtlanmış olup, bu durum farmakoloji ve gıda endüstrisi için önemlidir [26].

Birden fazla ikincil metabolit içeren ekstraktların kullanımı, her bileşenin tek başına etkisinden daha yüksek toplam etki gösteren sinerjik bir etki ortaya koymuştur. Bu durum, özellikle fitopreparatların ve fonksiyonel gıda ürünlerinin geliştirilmesinde önemlidir.

Fenolik bileşikler ayrıca antikanser etkiler göstermektedir. Flavonoidler, apoptoz, hücre proliferasyonu ve metastaz süreçlerini modüle ederek tümör gelişimi riskini azaltır. İzoflavonlar, stilbenler ve lignanlar, yapısal olarak östrojen ile benzerlik gösterir ve hormon bağımlı tümörlerin büyümesini inhibe eder [27-29].

Buna ek olarak, flavonoidler karbonhidrat metabolizmasını etkileyerek glukoz alımını düzenler, hemoglobinin glikasyonunu inhibe eder ve insülin etkinliğini artırır; bu da tip II diyabetin önlenmesinde önemlidir.

Sonuç olarak, incelenen fenolik bileşikler geniş bir biyolojik aktivite yelpazesi sergiler: antioksidan, antiinflamatuvar, antimikrobiyal, antiproliferatif ve düzenleyici. Bu özellikleri onları gıda, farmasötik ve kozmetik endüstrisi için umut verici kılar.

Fenolik bileşiklerin etki mekanizmalarının belirlenmesi, yapı-etki ilişkilerinin ortaya çıkarılması ve tıp ve beslenmede kullanımının optimize edilmesi için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

Sonuç

Bu derleme, doğal polifenollerin biyolojik aktivitesi ve insan sağlığı üzerindeki faydalarına ilişkin güncel bilgileri sunmuştur. Başlangıçta bu bileşiklerin koruyucu aktiviteleri, antioksidan özellikleri, serbest radikalleri nötralize etme ve metal iyonlarını şelatlama kapasiteleri ile ilişkilendirilmiş; daha sonra çeşitli enzimlerin aktivitesini inhibe etme veya azaltma yetenekleri ile açıklanmıştır. Doğal polifenollerin biyolojik etkileri ve insan sağlığının desteklenmesindeki önemi ele alınmıştır.

Çevresel kirlilik, stres faktörleri, beslenme alışkanlıkları ve yaşam tarzı nedeniyle kronik hastalıkların yaygınlığının artmasıyla birlikte, önleme ve etkili tedavi daha da önem kazanmıştır. Geleneksel tedavi yöntemlerinin sınırlı etkinliği ve yan etki riskleri, sentetik ilaçlar yerine bitkisel biyoaktif bileşiklerin kullanımına olan ilgiyi artırmaktadır. Yukarıda belirtilen avantajlar göz önüne alındığında, bitkisel kökenli fenolik bileşiklerin kullanımı giderek daha fazla talep görmektedir.

Bununla birlikte, bu bileşiklerin yapı-etki ilişkilerinin daha ayrıntılı olarak belirlenmesi, potansiyel faydalarının ve olası yan etkilerinin değerlendirilmesi ve güvenli ve etkili kullanım

yöntemlerinin geliştirilmesi için ileri araştırmalara ihtiyaç vardır.

Conflict of Interest: NIL

Funding Sources: NIL

Kaynakça

- [1] Dai J, Mumper RJ. Plant phenolics: extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. *Molecules*. 2010;15(10):7313–7352.
- [2] Cushnie TP, Lamb AJ. Antimicrobial activity of flavonoids. *Int J Antimicrob Agents*. 2005;26(5):343–356.
- [3] Harborne JB, Williams CA. Advances in flavonoid research since 1992. *Phytochemistry*. 2000;55(6):481–504.
- [4] Daglia M. Polyphenols as antimicrobial agents. *Curr Opin Biotechnol*. 2012;23(2):174–181.
- [5] Wink M. Functions of plant secondary metabolites and their exploitation in biotechnology. *Annu Plant Rev*. 2010; 39:1–19.
- [6] Treutter D. Significance of flavonoids in plant resistance: a review. *Environ Chem Lett*. 2006; 4:147–157.
- [7] Manach C, Scalbert A, Morand C, Rémésy C, Jiménez L. Polyphenols: food sources and bioavailability. *Am J Clin Nutr*. 2004; 79:727–747.
- [8] Scalbert A, Manach C, Morand C, Rémésy C, Jiménez L. Dietary polyphenols and the prevention of diseases. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2005;45(4):287–306.
- [9] Havsteen BH. The biochemistry and medical significance of the flavonoids. *Pharmacol Ther*. 2002;96(2–3):67–202.
- [10] Middleton E Jr, Kandaswami C, Theoharides TC. The effects of plant flavonoids on mammalian cells: implications for inflammation, heart disease, and cancer. *Pharmacol Rev*. 2000;52(4):673–751.
- [11] Rice-Evans CA, Miller NJ, Paganga G. Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free Radic Biol Med*. 1996;20(7):933–956.
- [12] Hagerman AE, Butler LG. Condensed tannin purification and characterization of tannin fractions from purple prairie clover. *J Agric Food Chem*. 1981; 29:600–603.
- [13] Porter LJ, Hrstich LN, Chan BG. The conversion of procyanidins and prodelphinidins to cyanidin and delphinidin. *Phytochemistry*. 1986;25(1):223–230.
- [14] Scalbert A. Antimicrobial properties of tannins. *Phytochemistry*. 1991;30(12):3875–3883.
- [15] Bravo L. Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. *Nutr Rev*. 1998;56(11):317–333.
- [16] Shahidi F, Ambigaipalan P. Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: antioxidant activity and health effects – a review. *J Funct Foods*. 2015; 18:820–897.
- [17] Middleton E Jr. The flavonoids: chemistry, metabolism, cardioprotective effects, and dietary sources. *J Nutr*. 1998;128(3):567S–574S.
- [18] Peterson JJ, Dwyer JT. Flavonoids: dietary occurrence and biochemical activity. *Nutr Res*. 1998;18(12):1995–2018.
- [19] Haslam E. Plant polyphenols: vegetable tannins revisited. Cambridge: Cambridge University Press; 1998.

[20] Hagerman AE, Rice RE, Ritchard NT. Mechanisms of protein precipitation by tannins: structure–activity relations. *J Agric Food Chem*. 1998;46(9):3729–3735.

[21] Middleton E Jr, Kandaswami C. Effects of flavonoids on immune and inflammatory cell functions. *Biochem Pharmacol*. 1992; 43:1167–1179.

[22] Kandaswami C, Middleton E Jr. Free radical scavenging and anticancer activities of flavonoids. *Curr Opin Drug Discov Devel*. 1994; 3:27–35.

[23] Rice-Evans CA, Miller NJ. Antioxidant activities of flavonoids as bioactive components. *Biochem Soc Trans*. 1996; 24:790–795.

[24] Hertog MG, Feskens EJ, Hollman PC, Katan MB, Kromhout D. Dietary antioxidant flavonoids and risk of coronary heart disease: the Zutphen Elderly Study. *Lancet*. 1993; 342:1007–1011.

[25] Hollman PC, Katan MB. Dietary flavonoids: intake, health effects and bioavailability. *Food Chem Toxicol*. 1999;37(9–10):937–942.

[26] Middleton E Jr, Kandaswami C. The impact of flavonoids on chemotherapy efficacy: in vitro and in vivo studies. *Cancer Lett*. 1999;147(1–2):89–97.

[27] Arts IC, Hollman PC. Polyphenols and disease risk in epidemiologic studies. *Am J Clin Nutr*. 2005; 81:317–325.

[28] Scalbert A, Johnson IT, Saltmarsh M. Polyphenols: antioxidants and beyond. *Am J Clin Nutr*. 2005; 81:215S–217S.

[29] Bahorun T, Gressier B, Troitin F, Brunet C, Dine T, Luyckx M, Cazin M, Pinkas M, Vasseur J. Oxygen species scavenging activity of phenolic extracts from plants. *J Agric Food Chem*. 1996; 44:3793–3799.

Declarations:

Author's Contribution:

- Conceptualization, data collection, interpretation, drafting of the manuscript and intellectual revisions
- The author agrees to take responsibility for every facet of the work, making sure that any concerns about its integrity or veracity are thoroughly examined and addressed

Correspondence:

Dilara Sunakbaeva

dilara.sunakbayeva@ayu.edu.kz