



## Derleme (Review)

Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 2023, 60 (3):539-552  
<https://doi.org/10.20289/zfdergi.1338227>

Mehmet Arif ÖZYAZICI <sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Merkez, Siirt, Türkiye

\* Sorumlu yazar (Corresponding author):

[arifozyazici@siirt.edu.tr](mailto:arifozyazici@siirt.edu.tr)

# Baklagil yem bitkilerinde sekonder metabolitlerin tozlaşmadaki etkileri

## Effects of secondary metabolites on pollination in legume forage crops

Alınış: (Received):06.08.2023

Kabul Tarihi (Accepted): 20.09.2023

### ÖZ

Bitkiler, otoburlara karşı toksik, itici ve/veya beslenme karşıtı etkileri olan sekonder metabolitlerin sentezini içeren bir dizi savunma stratejisi geliştirmişlerdir. Genel olarak flavonoidler, alkaloidler ve terpenoidler sınıfında yer alan bu sekonder metabolitlerin, bitki savunmasındaki ekolojik işlevi iyi bilinmemekte; ancak, bitki-tozlayıcı etkileşimlerdeki rolleri henüz yeterince açık değildir. Mevcut bilgilere göre, çiçeğin nektar ve poleninde bulunan sekonder metabolitler; renk ve koku gibi cezbedici özellikleri ile tozlaşmada aracılık etme, tozlaşmada çok fazla katkısı olmayan böceklerden çiçeği ve nektarı koruma ve mikrobiyal aktiviteleri sayesinde tozlayıcılardaki hastalık etmenlerinin seviyesini azaltma gibi faydaları özellikleri ile tozlaşmada etkili olmaktadır. Bu derleme çalışmasında, baklagil yem bitkilerindeki sekonder metabolitlerin tozlaşmadaki etkileri üzerinde durulmuştur.

**Anahtar sözcükler:** Alkaloid, flavonoid, polifenol, sekonder metabolit, tozlayıcı

**Keywords:** Alkaloid, flavonoid, pollinator, polyphenol, secondary metabolite

### ABSTRACT

Plants have developed a number of defense strategies against herbivores, including the synthesis of secondary metabolites with toxic, repellent, and/or anti-nutritional effects. The ecological function of these secondary metabolites, which are generally classified as flavonoids, alkaloids and terpenoids, in plant defense is well known; however, their role in plant-pollinator interactions is not yet clear enough. According to available information, secondary metabolites found in flower nectar and pollen are effective in pollination like mediating pollination with the help of its attractive odour and color, protecting flowers and nectar from insects that do not contribute much in pollination, and reducing the level of disease factors in pollinators thanks to their microbial activities. In this review study, the effects of secondary metabolites in forage legumes on pollination were emphasized.

## GİRİŞ

Yeryüzünde biyoçeşitliliği ve ekosistem fonksiyonlarını koruyan bir ekosistem hizmeti olan tozlaşma (Barberis et al., 2023), bitkilerin üremesinde ve türlerin devamlılığının sağlanmasında (Kekillioğlu & Bostan, 2023) önemli bir süreçtir. Kapalı tohumluların çoğu kendi kendine uyumsuz olup, başarılı bir dölleme için tozlayıcılar tarafından polenin dişiçik borusuna taşınmasını gerektirir. Bu anlamda her bitki, uygun bir tozlayıcıya uyacak şekilde çiçek yapılarını geliştirmiştir (Harborne, 2001). Korolla tüpünün uzunluğu ve genişliği gibi çiçek morfolojisi, çiçeğin rengi ve kokusu ile nektar ve polenin özellikleri tozlayıcıları çekmede etkili çiçek yapıları olarak bilinmektedir. Bununla birlikte bitki-tozlayıcı ilişkileri çok sayıda faktörün etkisi altındadır (Bozek et al., 2023). Dolayısıyla doğada, farklı tozlaşma sistemleri bulunmaktadır (Harborne, 2001). Bu yönüyle de Leguminosae familyasında yer alan baklagil yem bitkilerine ait cins ve türler, farklı ve gösterişli çiçek yapıları ile dikkat çekmektedir.

Baklagil yem bitkileri hayvancılık sektörü açısından büyük önem taşımaktadır. Baklagil yem bitkilerinin, diğer bitkilere göre; daha az sera gazı salınımı nedeniyle sürdürülebilir tarım için de önemli yeri olması, biyolojik azot fiksasyon kapasitesine sahip olması ve bu sayede toprak verimliliğini iyileştirmesi ile buna bağlı olarak ekosistem bozulmasına karşı toprağın direncini arttırabilme potansiyeline sahip olması, ekim nöbeti sistemlerinin en önemli bileşenleri arasında yer alması, hayvansal üretimin kaba yem kaynaklarını oluşturması gibi bir dizi tarımsal yararları bulunmaktadır. Ayrıca, birçok baklagil yem bitkisi cins ve türleri; protein, vitamin ve minerallerce zengin olması nedeni ile, kaliteli yem kaynakları olarak tanımlanmaktadır. Bunun yanında baklagil yem bitkilerinin farklı gruplara sahip sekonder metabolitleri ürettikleri bilinmektedir (Özyazıcı, 2022).

Bitkiler, çeşitli organik bileşik gruplarını üretme ve sentezleme yeteneğine sahiptirler (Seigler, 1998). Bu anlamda sentezlenen birincil metabolitler, temel hücrel işlevlerle ilişkili bileşikler olup, bitkilerde yaygın olarak bulunurlar (Böttger et al., 2018). Buna karşılık, bitkilerin büyümesi ve yaşamsal faaliyetleri için gerekli olmayan, daha çok bitkilerin çevreleriyle etkileşimi için gerekli olan ve strese yanıt olarak üretilen metabolik ürünler veya ara ürünler olarak bilinen sekonder metabolitler (Meena, 2020), çok daha spesifik işlevlere sahiptirler (Jamieson et al., 2017; Böttger et al., 2018). Genellikle türe özgü olan bu bileşiklerin (Böttger et al., 2018), önemli fonksiyonlarından biri de tozlaşmadaki rolleridir. Bu anlamda çiçekteki sekonder metabolitler ve renk pigmentleri kimyasal cezbedicilerin biyokimyasını oluşturmaktadır. Bu derleme çalışmasında, baklagil yem bitkilerinde sekonder metabolitlerin tozlaşmadaki cezbedici özelliklerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

## Sekonder Metabolitler

### Sekonder metabolitlerin tanımı ve önemli işlevleri

Birincil metabolizmadan farklı olarak, ikincil metabolizma, organizmanın büyümesi ve çoğalması için gerekli olmayan metabolik yolları ifade eder; ve bunlarla ilişkili küçük moleküler ürünler de sekonder metabolitler olarak bilinir (Yang et al., 2018). Bir başka ifade ile, bitkilerde; bu ikincil metabolik yollar, bitki sekonder metabolitleri adı verilen çeşitli bileşikler üretir (Pang et al., 2021).

Bitki sekonder metabolitlerinin bazı önemli işlevleri aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir:

- Tohum çimlenmesinin uyarıcılarıdır. Örneğin, strigolaktonlar (Brun et al., 2018).
- Bitki büyümesi ve gelişme süreçlerinde, bağışıklık sistemlerinde rol oynarlar (Piasecka et al., 2015).
- Bitkilerde savunma mekanizmalarının gelişmesinde savunma yanıtı sinyali olarak görev alırlar (Isah, 2019).
- Bitkilerde abiyotik ve biyotik streslere karşı tolerans mekanizmasının geliştirilmesinde etkili olurlar (Yang et al., 2018; Ku et al., 2020).

e) Simbiyotik azot fiksasyonunda rol oynarlar (Ku et al., 2020). Örneğin, flavonoidler, baklagil-rhizobium etkileşimi için sinyal molekülleridir (Abdel-lateif et al., 2012).

f) Sekonder metabolitler simbiyotik arbusküler mikorhizal mantarları çekerler (Jia et al., 2018).

g) Zararlıları ve patojenleri kovmak amacıyla sinyal görevi görürler (Guerrieri et al., 2019).

h) İnsan sağlığı (Ullrich et al., 2019) ve tarımsal üretim (Pang et al., 2021) üzerinde yararlı etkileri söz konusudur.

i) Tarımsal girdileri azaltarak tarım sistemlerinin sürdürülebilirliğine katkı sağlarlar (Clemensen et al., 2017).

j) Sekonder metabolitlerin bir diğer önemli fonksiyonları ise bitkilerde tozlaşma (Bakır, 2020) süreçlerindeki önemli katkılarıdır.

Özetlenecek olursa, sekonder metabolitler arasında, örneğin; tozlayıcılar için cezbedici maddeler, otçullara karşı itici ve beslenme önleyici maddeler, patojen saldırılarına karşı anti-mikrobik maddeler, abiyotik stres durumunda koruyucu maddeler bulunmaktadır (Faehnrich et al., 2021). Bununla birlikte sekonder metabolitlerin içerikleri, farklı bitki türleri arasında farklılık gösterir (Böttger et al., 2018). Baklagiller; polifenoller, alkaloidler ve saponinler gibi sekonder metabolitler açısından zengindirler (Gupta, 1987).

### **Sekonder metabolitlerin sınıflandırılması**

Bitki sekonder metabolitleri farklı özelliklerine göre (biyosentez yolları, kimyasal yapı gibi) sınıflandırılabilir. En yaygın sınıflandırma şekli olan biyosentetik yollarına göre sekonder metabolitler; fenolikler, terpenler ve alkaloidler olmak üzere 3 ana gruba ayrılırlar (Tiwari & Rana, 2015; Chomel et al., 2016; Tiring vd., 2021).

Polifenoller, bitkiler tarafından üretilen en büyük ve en karmaşık sekonder metabolit sınıflarından biri olup; basit fenoller, fenolik asitler, flavonoidler ve tanenler gibi farklı alt sınıflara ayrılırlar (Ku et al., 2020; Chiocchio et al., 2021). Polifenoller, tüm bitki organlarında yaygın olarak bulunmakla birlikte (Harborne, 1989); fenolik asitler genel olarak kök, gövde, yaprak ve tohumlarda (Robbins, 2003), tanenler kök, kabuk ve tohumda, flavonoidler ise çiçek kısımlarında en belirgin şekilde bulunurlar (Tuominen et al., 2013). Bitkilerde farklı rollerde görev alan bu karmaşık grup bileşiklerinden örneğin flavonoidler; çiçeklere renk verir, böcekleri çeker ve tozlaşmayı teşvik eder (He et al., 2011). Flavonoidler çiçeklerde, nektarda ve polende en sık kaydedilen bileşikler arasındadır (Palmer-Young et al., 2019).

Sekonder metabolitlerin geniş bir bölümünü oluşturan terpenler; hemiterpenler, steroidler ve tetraterpenler olmak üzere farklı grupları içermektedir (Ku et al., 2020; Chiocchio et al., 2021). Uçucu yağların ana bileşenleri olan bu grup sekonder metabolitler, çok sayıda bitki türünün çiçek nektarlarında bulunmaktadır. Bu sınıfın en önemli üyesini yonca (*Medicago* sp.) ve korunga (*Onobrychis* sp.)'da da yer alan saponinler oluşturmaktadır. Terpenler, bitkilerde tozlayıcıları çekmek, yaralı dokuları otçullardan, böceklerden ve parazit saldırılarından korumak gibi geniş bir işleve hizmet edebilirler (Chiocchio et al., 2021). Bu grup içerisinde yer alan seskiterpenler ( $C_{15}H_{24}$  moleküler formülüne sahip), bitkilerde, böcekler ve mikroplarla etkileşimlerde önemli ekolojik roller oynarlar ve cezbedici, caydırıcı, beslenmeyi önleyici ve fitoaleksin gibi davranırlar (Modzelewska et al., 2005).

Sekonder metabolitler içerisinde yer alan çok sayıda molekül, alkaloidler olarak sınıflandırılır (Aniszewski, 2015). Ekolojik öneme sahip muazzam bir fitokimyasal grubu teşkil eden alkaloidler, çiçekli bitkilerde (Angiospermae) son derece bol olup bitkilerin hemen hemen tüm organlarında geniş bir dağılım gösterir (Chiocchio et al., 2021). Alkaloidler, bitki savunma mekanizmasında (Trigo, 2011), allelopatik etkileşimde (Liu & Lovett, 1993), tozlayıcı çekiciliğinde (Kessler et al., 2012; Mustard, 2020) önemli rol oynarlar. Ayrıca, alkaloidler güçlü farmakolojik etkileriyle iyi bilinirler; nektarı, bakterilere ve çiçek nektarlarını tüketen ancak tozlaşmayan böceklerle karşı koruyabilen antimikrobiyal ve böcek caydırıcı özelliklere sahiptirler (Barlow et al., 2017).

Birçok baklagil yem bitkisi türü kendine özgü sekonder bileşikleri içermektedir. Örneğin; yonca (*Medicago sativa* L.)'daki fenolik asitler ve flavonoidler, Lespedeza [*Lespedeza cuneata* (Dumont) G. Don] içindeki tanenler, ak üçgül (*Trifolium repens* L.)'de siyanojenik glikozitler, yonca ve üçgül türlerindeki bitki östrojenleri, taş yoncası (*Melilotus* sp.)'ndaki kumarin, çemen (*Trigonella foenum-graecum* L.) bitkisindeki trigonellin, acı bakla türleri (*Lupinus* sp.)'ndeki fenolik bileşikler ve alkaloidler, bunların arasında yer almaktadır (Bajkaczi et al., 2018; Sowa et al., 2019; Ferchichi et al., 2021; Iqbal et al., 2021; Horvat et al., 2022; Özyazıcı, 2020, 2022). Bazı önemli baklagil yem bitkilerinde bulunan sekonder metabolitler Çizelge 1'de özetlenmiştir.

**Çizelge 1.** Kültürü yapılan bazı baklagil yem bitkilerindeki sekonder metabolitler

**Table 1.** Secondary metabolites in some cultivated legume forage crops

Sekonder metabolit sınıfı	Cins veya türler	Kaynak	
Saponinler	<i>Medicago</i> sp.	Rafińska et al. (2017)	
	<i>Trifolium pratense</i> L.	Esmaeili et al. (2015)	
	<i>Trigonella foenum-graecum</i> L.	Joshi et al. (2022) Naika et al. (2022)	
	<i>Lathyrus sativus</i> L.	Fazly Bazzaz et al. (1997)	
	<i>Lotus corniculatus</i> L.	Baali et al. (2020) Abdel-alim et al. (2023)	
	<i>Astragalus</i> sp.	Platikanov et al. (2005) Benchadi et al. (2013)	
	Flavonoidler	<i>Medicago</i> sp.	Butkutė et al. (2017) Rafińska et al. (2017) Raeeszadeh et al. (2022)
		<i>Onobrychis sativa</i> L.	Quijada et al. (2015)
		<i>Lupinus</i> sp.	Ruiz-López et al. (2019)
		<i>Vicia</i> sp.	Gamal-Eldeen et al. (2004) Lee et al. (2017) Mardani-Korrani et al. (2021)
<i>Trifolium pratense</i> L.		Medina (2022) Kazlauskaitė et al. (2023)	
<i>Trifolium repens</i> L.		Petrović et al. (2016)	
<i>Trigonella foenum-graecum</i> L.		Joshi et al. (2022) Naika et al. (2022)	
<i>Lathyrus sativus</i> L.		Bhattacharjee et al. (2018) Bandana et al. (2022)	
<i>Lotus corniculatus</i> L.		Baali et al. (2020) Abdallah et al. (2021) Abdel-alim et al. (2023)	
<i>Astragalus</i> sp.		Platikanov et al. (2005) Benchadi et al. (2013) Liu et al. (2023)	
Kumarin (fenolik bileşik)		<i>Melilotus</i> sp.	Luo et al. (2016) Wu et al. (2021)
		Tanenler	<i>Astragalus</i> sp.
<i>Medicago</i> sp.			Fazly Bazzaz et al. (1997)
<i>Melilotus</i> sp.	Ayadi et al. (2021)		
<i>Lupinus</i> sp.	Lampart-Szczapa et al. (2003) Mavromatis et al. (2023)		
<i>Lathyrus sativus</i> L.	Bhattacharjee et al. (2018) Bandana et al. (2022)		
<i>Lotus corniculatus</i> L.	Abdel-alim et al. (2023)		
<i>Trifolium repens</i> L.	Fazly Bazzaz et al. (1997)		
<i>Trigonella foenum-graecum</i> L.	Fazly Bazzaz et al. (1997)		
Yoğunlaştırılmış tanenler	<i>Onobrychis sativa</i> L.		Quijada et al. (2015)
	<i>Lupinus</i> sp.	Mavromatis et al. (2023)	
	<i>Melilotus</i> sp.	Ayadi et al. (2021)	
Alkaloidler	<i>Astragalus</i> sp.	Fazly Bazzaz et al. (1997)	
	<i>Lupinus</i> sp.	Cortés-Avendaño et al. (2020) Hama et al. (2022)	

Çizelge 1. (Devamı)

Table 1. (Continued)

Sekonder metabolit sınıfı	Cins veya türler	Kaynak
Alkaloidler	<i>Trifolium repens</i> L.	Fazly Bazzaz et al. (1997)
	<i>Trigonella foenum-graecum</i> L.	Güzel & Özyazıcı (2021) Joshi et al. (2022) Naika et al. (2022)
	<i>Lathyrus sativus</i> L.	Bhattacharjee et al. (2018) Bandana et al. (2022)
	<i>Lotus corniculatus</i> L.	Fazly Bazzaz et al. (1997)
	<i>Melilotus officinalis</i> (L.) Pall.	Fazly Bazzaz et al. (1997)
	<i>Vicia villosa</i> Roth	Fazly Bazzaz et al. (1997) Mardani-Korranı et al. (2021)
Karotenoidler	<i>Lupinus</i> sp.	Boukid & Pasqualone (2022)
Polifenoller	<i>Vicia</i> sp.	Megías et al. (2018) Vioque et al. (2020)
	<i>Lotus corniculatus</i> L.	Baali et al. (2020)
Uçucu yağlar	<i>Vicia</i> sp.	Boussaha et al. (2023)
	<i>Trigonella foenum-graecum</i> L.	Joshi et al. (2022) Naika et al. (2022)
	<i>Astragalus</i> sp.	Stambolov et al. (2023)
Terpenler	<i>Trifolium pratense</i> L.	Medina (2022)
	<i>Trigonella foenum-graecum</i> L.	Joshi et al. (2022)
	<i>Lathyrus sativus</i> L.	Bhattacharjee et al. (2018)
	<i>Lotus corniculatus</i> L.	Baali et al. (2020)

## Sekonder Metabolitlerin Tozlaşmadaki Rollerini

Sekonder metabolitler, güzel renk ve kokularıyla tozlayıcı ve dağıtıcı ajanları çekerek tozlaşma mekanizmasını kolaylaştırırlar. Baklagil yem bitkilerinde tozlaşmada, genel olarak böcekler etkin bir şekilde görev alırlar; ayrıca, bazı eklembacaklılar ve omurgalılar da bu amaçla rol oynarlar. Bu tozlayıcıların çiçekleri ziyaretinde, çiçek renkleri ve kokuları etkili olurlar.

Bitki tür ve çeşitlerine göre değişkenlik gösteren çiçek renkleri, çiçek dokularının kromoplastlarında veya hücre vakuollerinde bulunan pigmentlerin varlığından kaynaklanmakta (Harborne, 2001); çiçeğin rengini veren bu pigmentlerin en önemli grubunu flavonoidler, antosiyaninler, karotenoidler ve bazı alkaloidler oluşturmaktadır (Harborne, 2001; Wink, 2018); farklı kokuların sergilenmesinde ise terpenoidler, aminler ve fenilpropanoidlerin neden olduğu bilinmektedir (Wink, 2018). Monoterpenlerden  $\beta$ -ocimene, çok sayıda bitki familyasına ait türlerin çiçek kokularında yüksek miktarda bulunmaktadır (Farré-Armengol et al., 2017, 2020). Monoterpenler çeşitli tozlayıcıları çekebilir (Slavković & Bendahmane, 2023). Nitekim Wink (2013), bazı monoterpenlerin (Linalool, citronellol, limonene), tetraterpenlerin (Carotenoids) ve çiçek renk pigmentleri olan antosiyaninlerin (Delphinidin, peonidin, cyanidin gibi) tozlaşan böcekleri çekmek gibi aktiviteye sahip olduğunu bildirmiştir. Birçok baklagil yem bitkilerinin tozlaşmasında etkili olan arıların beslenme kararını verirken sarı ve mavi çiçekleri, kelebeklerin ise kırmızı çiçekleri tercih ettikleri ifade edilmiştir (Nicolson, 2011; Faegri & Van Der Pijl, 2013).

Benzer şekilde örneğin,  $\beta$ -myrcene'nin bombus arılarını çektiği belirlenmiştir (Byers et al., 2013). Bombus arıları çiçek yapıları nedeniyle çayır üçgülü (*Trifolium pratense* L.)'nün tozlaşmasında en etkili polinatörler olarak bilinir. Bu itibarla, çayır üçgölünde bulunan  $\beta$ -myrcene (Vlaisavljević et al., 2014; Kazlauskaitė et al., 2023)'nin bombus arılarının tozlaşmasında etkili olduğu söylenebilir. Ayrıca, Vlaisavljević et al. (2014) çayır üçgölünde monoterpenler, seskiterpenler ve diterpenleri tanımlayarak, bitkinin farklı büyüme devrelerinde (30 cm, 50 cm ve çiçeklenme-kömeç oluşum) farklı sekonder metabolitlerin varlığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar, bitkiler 30 cm'de iken, p-cymene (%3.59), limonen (%3.86),  $\beta$ -ionone (%9.46); 50 cm'de iken, fitol (%14.54) ve 2-pentanon (%6.66) ve kömeç devresinde ise sadece dihidrokarvon (%6.47) tespit etmişlerdir.

Gazalboynuzu (*Lotus corniculatus* L.) çiçeğinin sarı rengi, yönü, boyutu, taç yaprağı morfolojisi, sükroza hakim nektar bileşimi ve çiçeğin kokusu ile birlikte kuşların tozlaşmaya geçişine katkıda bulunan bir faktör olarak bildirilmiştir (Cronk & Ojeda, 2008).

*Çiçeklerdeki nektar ve polenin yapısı-kimyasal özellikleri tozlaşmada etkili bir faktördür.* Nektarların çoğu, tozlayıcılar için önemli bir besin kaynağı olan şeker çözeltilerinden oluşur. Nektarın tadı genel olarak çok tatlı olup, şeker içeriği % 15-75 arasında değişir (Harborne, 2001). Bunun yanı sıra, bazı bitkilerin nektarı, çiçek ziyaretçileri için caydırıcı ve hatta zehirli (Adler, 2000; Stevenson et al., 2017), bazıları için de çekici olabilir. Nektarın bu özelliği yapısındaki sekonder bileşiklerden kaynaklanmaktadır. Bitki sekonder metabolitleri sadece yapraklarda bulunmamakta olup, aynı zamanda nektar gibi çiçek salgılarında da yaygındır (Adler, 2000). Yapılan bir araştırmada, genel olarak çiçek nektarlarında % 36 oranında fenolik bileşiklerin, % 8 oranında da alkaloidlerin yer aldığı bildirilmektedir (Baker, 1977). Çeşitli bitki türlerinin nektarlarının analizi, özellikle alkaloidlerin mevcut olabileceğini doğrulamıştır (Harborne, 2001). Bununla birlikte son çalışmalar, nektardaki konsantrasyonlarının diğer bitki kısımlarından daha düşük olduğunu göstermektedir (Cook et al., 2013). Nektardaki bu sekonder bileşikler bitki-tozlayıcı etkileşimlerine aracılık edebilmektedir (Baker, 1977). Couvillon et al. (2015), nektarın sekonder metabolitlerinin, tozlayıcılar için cezbedici olabileceğini ve tozlaşma davranışlarını artırabileceğini bildirmektedirler. Nitekim, nektardaki fenollerin istenmeyen ziyaretçileri ilginç bir biçimde caydırabildiği (Verónica et al., 2014; Nicolson et al., 2015); aynı zamanda da, etkili tozlayıcıları çekebildikleri ve bitkiye tozlayıcı bağlılığını güçlendirebildikleri belirlenmiştir (Zhang et al., 2018).

Nektardan daha erişilebilir durumda olan polen, birçok çiçek ziyaretçisi (böcekler ve arılar) tarafından toplanır. Polen genel olarak % 16-30 protein, % 1-7 nişasta, % 0-15 serbest şeker ve % 3-10 yağ içermekte; eser miktarda vitamin ve inorganik tuzlar ile değişen miktarlarda da sekonder bileşikler bulunmaktadır. Polene rengini veren genel olarak karotenoid ve flavonoidlerdir (Harborne, 2001). Farklı bitki türlerine ait polenlerin böcekler tarafından algılanabilen karakteristik kokularına neden olan bileşikler, yine kimyasal açıdan çiçeğin koku ilkelerine benzediği bildirilmekte; polendeki bu bileşiklerin farklılığı, arı gibi tozlayıcıların belirli bir bitki türünün çiçekleri ile poleni arasında ayırım yapmasını sağlamaktadır (Harborne, 2001). Flavonoid alt sınıfında yer alan ve organik bir bileşik olan quercetin (Riddick, 2021), polenlerde bulunan en bol flavonollerden biridir (Özcan et al., 2019; Yang et al., 2020). Çiçek taç yapraklarına rengi veren bu bileşik, tozlayıcıları çiçeklere ve polenlere çeker. Baklagil yem bitkileri içerisinde *Medicago sativa* (Abouzeid et al., 2023; Mittal et al., 2023), *Onobrychis* sp. (Hashemzaei et al., 2017), *Vicia* sp. (Saleem et al., 2014; Vioque et al., 2020; Salehi et al., 2021; Ogoale et al., 2023), *Trifolium pratense* (Tava et al., 2015; Çölgeçen et al., 2020) *Trifolium repens* (Ahmad et al., 2020), *Trifolium subterraneum* (Molinu et al., 2023), *Lotus corniculatus* (Fumić et al., 2019; Yerlikaya et al., 2019), *Pisum sativum* (Neugart et al., 2015) türlerinde, quercetin gibi fenolik bileşiklerin varlığına işaret edilmiştir. Kazlauskaite et al. (2023), çayır üçgülü (*Trifolium pratense* L.) çiçek ekstraktında, yüksek miktarda toplam fenolik bileşikler ( $74.00 \pm 0.15$  mg GA/g dw) ve toplam flavonoidler ( $19.50 \pm 0.04$  mg RU/g dw) bulunduğunu rapor etmişlerdir. Yine çayır üçgülü bitkisi çiçeklerinde Tundis et al. (2015), luteolin (16.7 mg/g), kaempferol (0.8 mg/g) ve mirisetin (0.5 mg/g) flavonoidlerinin tanımlanmasını gerçekleştirmişlerdir. Aynı bitkide yapılan diğer bazı çalışmalarda da apigenin, daidzein, genistein (Vlaisavljević et al., 2017), formononetin ve biyokanin (Quiroz et al., 2017) gibi izoflavonlar belirlenmiştir. Dolayısıyla polendeki sekonder bileşikler ve bunların bileşenleri, tozlayıcıların bitkileri ziyaret etmesinde etkili olmakta ve tozlaşmanın gerçekleşmesinde önemli rol oynamaktadır.

*Öte yandan bitki sekonder metabolitlerinin tozlaşmada dolaylı yünden de olumlu etkileri söz konusudur.* Nektar, antimikrobiyal işlevler de sağlayabilen çeşitli özel sekonder metabolitler de içerir (Schmitt et al., 2021). Çiçek nektarı ve polende bulunan sekonder metabolitler, antimikrobiyal etkilerine bağlı olarak (Wallace, 2004), tozlayıcıları parazitlere ve patojenlere karşı koruyabilir. Bu anlamda,

sekonder metabolitler arıların iç bağırsak parazitlerine karşı aktif olarak etkili olabilmekte ve yiyecek arayan arılarda patojen enfeksiyon yükünü azaltabilirler (Richardson et al., 2015; Koch & Stevenson, 2017; Koch et al., 2019). Bu durum, arıların tozlaşmada daha etkin hale gelmesini sağlayabilir ve tozlaşma artabilir. Bununla birlikte, tozlayıcıların çoğu için sekonder metabolitlerin sağlık yararları bilinmemektedir (Nicolson, 2022). Sekonder bileşiklerin nektarda antimikrobiyal aktivite gösterip göstermediğini dair daha çok çalışmanın yapılması gerekliliği bulunmaktadır.

Sekonder metabolitlerin bir diğer dolaylı etkilerinden biri de; çiçek nektarında bulunan bu bileşikler, nektarı kolonize eden mikroorganizmalar da dâhil olmak üzere tozlayıcı olmayanlar tarafından yapılan hırsızlığı azaltarak bitki-tozlayıcı ilişkisinde etkinliği arttırmasıdır. Bununla birlikte, az sayıda çalışma bu hipotezi test etmiştir (Vannette & Fukami, 2016).

*Sekonder metabolitlerin arılar üzerindeki etkileri, metabolitlerin bileşenlerine, doza ve mevsime* (Singaravelan et al., 2006; Stevenson et al., 2017) *bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir.* Örneğin, kafeik ve genistik asitler gibi fenolik maddelerin düşük konsantrasyonları bal arıları için çekici özellik gösterirken, yüksek konsantrasyonları tersi bir etkileşim ortaya çıkardığı rapor edilmiştir (Hagler & Buchmann, 1993). Benzer şekilde, yaz başlarında düşük konsantrasyonlardaki amigdalin bileşikleri salgısı arılar için tercih sebebi iken, daha sonraki dönemlerde cezbedici özellik göstermediği bildirilmiştir (London-Shafir et al., 2003). Serbest uçan bal arılarının çiçek nektarında doğal olarak oluşan dört farklı sekonder bileşik (nicotine, anabasine, caffeine, ve amygdalin) konsantrasyonuna tepkisini ortaya çıkarmayı amaçlayan bir araştırmanın sonuçlarına göre, anabasin dışında doğal olarak oluşan sekonder bileşik konsantrasyonlarının caydırıcı bir etkisi olmadığı, düşük nikotin ve kafein konsantrasyonları önemli bir beslenme tercihi olduğu belirlenmiştir (Singaravelan et al., 2005).

Baklagil yem bitkilerinden acı bakla türleri (*Lupinus* sp.), özellikle tohumlarda çok yüksek konsantrasyonlarda (ağırlıkça % 3) bulunan spartein ve lupanin dahil olmak üzere birkaç kinolizidin (quinolizidine) alkaloidi üretirler (Hatzold et al., 1983). Yapılan araştırma sonuçları, toksik ve böcekler için itici olan bu alkaloidlerin birincil işlevlerinin bitkileri böcek saldırısından korumak olduğunu göstermiştir (Kordan et al., 2012). Lupanin ve onun bazı türevlerinin polende 2 mg/g'ı aşan konsantrasyonlarının acı baklalar için tozlaşan *Bombus terrestris* arı türünde ölüm oranını arttırmasa da, arı popülasyonunu etkilemiştir (Arnold et al., 2014).

*Bitki sekonder metabolitleri, tozlaşan hayvanları çekmek için sinyal bileşikleri olarak işlev görür* (Wink, 2020). Bu anlamda baklagil yem bitkisi türlerinin nektarındaki bitki sekonder metabolitleri, örneğin; *Lupinus angustifolius*'da yer alan izoflavonlar (licoisoflavone A) caydırıcı (Lane et al., 1987), lüpen türlerindeki (*Lupinus* sp.) alkaloidler (pyrrolizidines, quinolizidines) toksik (Wink, 2019), *Trifolium repens*'te bulunan siyanojenik glikozitler (linamarin) cezbedici (Zagrobelyny & Møller, 2011) özellikleri ile tozlayıcılar üzerindeki etkileri söz konusudur.

## SONUÇ

Renk ve çiçek kokusu ile birlikte çiçek yapısını oluşturan nektar ve polenin kimyasal bileşimi çiçek ziyaretçileri için cazibe özellikleri arasındadır. Bu özellik, nektar ve polendeki pigmentlerin, kimyasal ve organik bileşiklerin ana kaynağı olan ikincil metabolitlerin üretiminin sonucudur. Sekonder metabolitler tozlayıcıları çekmenin yanı sıra, bu metabolitler bitkilerin doğal düşmanlarını (nektar hırsızları, mikroorganizmalar) veya patojen tozlayıcıları uzaklaştırabilir; bu durum, tozlaşmayı arttırabilir ve dolaylı olarak nihayetinde meyve ve tohumların üretimini etkileyebilir.

Sekonder metabolitler, bir hücrenin veya organizmanın yaşaması için gerekli olmayan, ancak onların çevresiyle etkileşiminde rol oynayan bileşiklerdir. Bu yönüyle sekonder metabolitler, yaşamsal bir döngü içerisinde sürdürülebilir ekosistemin önemli bir parçası olan tozlaşmanın, en önemli bileşenleridir.

## KAYNAKLAR

- Abdallah, R.M., H.M. Hammada, M.M. Radwan, N.S. El-Gazzar, A.S. Wanas, M.A. ElSohly, M.A. El-Demellawy, N.M. Abdel-Rahman & S.M. Sallam, 2021. Phytochemical and pharmacological appraisal of the aerial parts of *Lotus corniculatus* L. growing in Egypt. *Natural Product Research*, 35 (24): 5914-5917.
- Abdel-alim, M.E., M.S. Serag, H.R. Moussa, M.A. Elgendy, M.T. Mohesien & N.S. Salim, 2023. Phytochemical screening and antioxidant potential of *Lotus corniculatus* and *Amaranthus viridis*. *Egyptian Journal of Botany*, 63 (2): 665-681.
- Abdel-lateif, K., D. Bogusz & V. Hocher, 2012. The role of flavonoids in the establishment of plant roots endosymbioses with arbuscular mycorrhiza fungi, rhizobia and Frankia bacteria. *Plant Signaling & Behavior*, 7: 636-641.
- Abouzeid, S., U. Beutling, E. Elekhaway & D. Selmar, 2023. Antibacterial and antibiofilm effects of allelopathic compounds identified in *Medicago sativa* L. seedling exudate against *Escherichia coli*. *Molecules*, 28: 2645.
- Adler, L.S., 2000. The ecological significance of toxic nectar. *Oikos*, 91 (3): 409-420.
- Ahmad, S., A. Zeb, M. Ayaz, & M. Murkovic, 2020. Characterization of phenolic compounds using UPLC–HRMS and HPLC–DAD and anti-cholinesterase and anti-oxidant activities of *Trifolium repens* L. leaves. *European Food Research and Technology*, 246: 485-496.
- Aniszewski, T., 2015. *Alkaloids: Chemistry, Biology, Ecology, and Applications*. 2nd Ed., Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 496pp.
- Arnold, S.E.J., M.E.P. Idrovo, L.J.L. Arias, S.R. Belmain & P.C. Stevenson, 2014. Herbivore defence compounds occur in pollen and reduce bumblebee colony fitness. *Journal of Chemical Ecology*, 40: 878-881.
- Ayadi, M., M.L. Bennani, A. Aarab, J. Brigui & M. Benicha, 2021. "Content of polyphenolic compounds in *Melilotus officinalis* ecotypes from Morocco, 559-563". In: *Efficiency and Resilience of Forage Resources and Small Ruminant Production to Cope with Global Challenges in Mediterranean Areas*. (Eds. A. López-Francos, M. Jouven, C. Porqueddu, H. Ben Salem, A. Keli, A. Araba, & M. Chentouf), Zaragoza, CIHEAM, 716 pp.
- Baali, N., A. Mezrag, M. Bouheroum, F. Benayache, S. Benayache & A. Souad, 2020. Anti-inflammatory and antioxidant effects of *Lotus corniculatus* on paracetamol-induced hepatitis in rats. *Anti-Inflammatory & Anti-Allergy Agents in Medicinal Chemistry*, 19: 128-139.
- Bajkacz, S., I. Baranowska, B. Buszewski, B. Kowalski & M. Ligor, 2018. Determination of flavonoids and phenolic acids in plant materials using SLE-SPE-UHPLC-MS/MS method. *Food Analytical Methods*, 11: 3563-3575.
- Baker, H.G., 1977. Non-sugar chemical constituents of nectar. *Apidologie*, 8: 349-356.
- Bakır, Ö., 2020. Sekonder metabolitler ve rolleri. *Uluslararası Anadolu Ziraat Mühendisliği Bilimleri Dergisi*, 2 (4): 39-45.
- Bandana, C., P. Khanin, D. Priyanka, B.A. Ranjan, K. Hemen & B. Samindra, 2022. Nutritional evaluation of few grass pea (*Lathyrus sativus* L.) genotypes of Assam. *Indian Journal of Agricultural Biochemistry*, 35 (2): 155-158.
- Barberis, M., D. Calabrese, M. Galloni, & M. Nepi, 2023. Secondary metabolites in nectar-mediated plant-pollinator relationships. *Plants*, 12: 550.
- Barlow, S.E., G.A. Wright, C. Ma, M. Barberis, I.W. Farrell, E.C. Marr, A. Brankin, B.M. Pavlik & P.C. Stevenson, 2017. Distasteful nectar deters floral robbery. *Current Biology*, 27 (16): 2552-2558.e3.
- Benchadi, W., H. Haba, C. Lavaud, D. Harakat & M. Benkhaled, 2013. Secondary metabolites of *Astragalus cruciatus* Link. and their chemotaxonomic significance. *Records of Natural Products*, 7 (2): 105-113.
- Bhattacharjee, S., A. Waqar, K. Barua, A. Das, S. Bhowmik & S.R. Debi, 2018. Phytochemical and pharmacological evaluation of methanolic extract of *Lathyrus sativus* L. seeds. *Clinical Phytoscience*, 4: 20a.
- Boukid, F. & A. Pasqualone, 2022. Lupine (*Lupinus* spp.) proteins: characteristics, safety and food applications. *European Food Research and Technology*, 248: 345-356.
- Boussaha, S., M. Bramucci, K. Rebbas, L. Quassinti, R. Mekkiou & F. Maggi, 2023. Chemical composition and anticancer activity of the essential oil from *Vicia ochroleuca* Ten., quite rare plant in Kabylia (Algeria). *Natural Product Research*, DOI: 10.1080/14786419.2023.2176492.
- Bozek, M., B. Denisow, M. Strzałkowska-Abramek, E. Chrzanowska & K. Winiarczyk, 2023. Non-forest woody vegetation: A critical resource for pollinators in agricultural landscapes-A review. *Sustainability*, 15: 8751.



- Böttger, A., U. Vothknecht, C. Bolle & A. Wolf, 2018. "Plant secondary metabolites and their general function in plants, 3-17". In: Lessons on Caffeine, Cannabis & Co. (Eds. A. Böttger, U. Vothknecht, C. Bolle & A. Wolf), Learning Materials in Biosciences, Springer, Cham, 217pp.
- Brun, G., L. Braem, S. Thoiron, K. Gevaert, S. Goormachtig & P. Delavault, 2018. Seed germination in parasitic plants: What insights can we expect from strigolactone research? *Journal of Experimental Botany*, 69 (9): 2265-2280.
- Butkutė, B., A. Padarauskas, J. Cesevičienė, A. Pavilionis, L. Taujenis & N. Lemežienė, 2017. Perennial legumes as a source of ingredients for healthy food: proximate, mineral and phytoestrogen composition and antibacterial activity. *Journal of Food Science and Technology*, 54 (9): 2661-2669.
- Byers, K.J.R.P., H.D. Bradshaw & J.A. Riffell, 2013. Three floral volatiles contribute to differential pollinator attraction in monkeyflowers (*Mimulus*). *The Journal of Experimental Biology*, jeb.092213.
- Chiocchio, I., M. Mandrone, P. Tomasi, L. Marincich & F. Poli, 2021. Plant secondary metabolites: an opportunity for circular economy. *Molecules*, 26: 495.
- Chomel, M., M. Guittonny-Larchevêque, C. Fernandez, C. Gallet, A. DesRochers, D. Paré, B.G. Jackson & V. Baldy, 2016. Plant secondary metabolites: a key driver of litter decomposition and soil nutrient cycling. *Journal of Ecology*, 104 (6): 1527-1541.
- Clemensen, A.K., F.D. Provenza, S.T. Lee, D.R. Gardner, G.E. Rottinghaus & J.J. Villalba, 2017. Plant secondary metabolites in alfalfa, birdsfoot trefoil, reed canarygrass, and tall fescue unaffected by two different nitrogen sources. *Crop Science*, 57 (2): 964-970.
- Cook, D., J.S. Manson, D.R. Gardner, K.D. Welch & R.E. Irwin, 2013. Norditerpene alkaloid concentrations in tissues and floral rewards of larkspurs and impacts on pollinators. *Biochemical Systematics and Ecology*, 48: 123-131.
- Cortés-Avenidaño, P., M. Tarvainen, J.P. Suomela, P. Glorio-Paulet, B. Yang & R. Repo-Carrasco-Valencia, 2020. Profile and content of residual alkaloids in ten ecotypes of *Lupinus mutabilis* sweet after aqueous debittering process. *Plant Foods for Human Nutrition*, 75: 184-191.
- Couvillon, M.J., H. Al Toufalia, T.M. Butterfield, F. Schrell, F.L.W. Ratnieks & R. Schürch, 2015. Caffeinated forage tricks honeybees into increasing foraging and recruitment behaviours. *Current Biology*, 25 (21): 2815-2818.
- Cronk, Q. & I. Ojeda, 2008. Bird-pollinated flowers in an evolutionary and molecular context. *Journal of Experimental Botany*, 59: 715-727.
- Çölgeçen, H., U. Koca & H.N. Büyükkartal, 2020. "Use of red clover (*Trifolium pratense* L.) seeds in human therapeutics, 421-427". In: Nuts and Seeds in Health and Disease Prevention. (Eds. V.R. Preedy & R.R. Watson), Academic Press, Elsevier.
- Esmaeili, A.K., R.M. Taha, S. Mohajer & B. Banisalam, 2015. antioxidant activity and total phenolic and flavonoid content of various solvent extracts from in vivo and in vitro grown *Trifolium pratense* L. (Red clover). *BioMed Research International*, 643285.
- Faegri, K. & L. Van Der Pijl, 2013. Principles of Pollination Ecology; Pergamon Press: Oxford, UK.
- Faehrich, B., C. Franz, P. Nemaz & H.P. Kaul, 2021. Medicinal plants and their secondary metabolites-State of the art and trends in breeding, analytics and use in feed supplementation-with special focus on German chamomile. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 94: 61-74.
- Farré-Armengol, G., I. Filella, J. Llusià & J. Peñuelas, 2017.  $\beta$ Ocimene, a key floral and foliar volatile involved in multiple interactions between plants and other organisms. *Molecules*, 22: 1148.
- Farré-Armengol, G., M. Fernández-Martínez, I. Filella, R.R. Junker & J. Peñuelas, 2020. Deciphering the biotic and climatic factors that influence floral scents: a systematic review of floral volatile emissions. *Frontiers in Plant Science*, 11: 1154.
- Fazly Bazzaz, B.S., G. Haririzadeh, S.A. Imami & M.H. Rashed, 1997. Survey of Iranian plants for alkaloids, flavonoids, saponins, and tannins [Khorasan Province]. *International Journal of Pharmacognosy*, 35 (1): 17-30.
- Ferchichi, N., W. Toukabri, U. Vrhovsek, I. Nouairi, A. Angeli, D. Masuero, R. Mhamdi & D. Trabelsi, 2021. Proximate composition, lipid and phenolic profiles, and antioxidant activity of different ecotypes of *Lupinus albus*, *Lupinus luteus* and *Lupinus angustifolius*. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15: 1241-1257.
- Fumić, B., M. Jug & M. Zovko Končić, 2019. Optimization of ultrasound-assisted extraction of phenolic antioxidants from *Lotus corniculatus*. *Croatica Chemica Acta*, 92 (3): 369-377.

- Gamal-Eldeen, A.M., S.A. Kawashty, L.F. Ibrahim, M.M. Shabana & S.I. El-Negoumy, 2004. Evaluation of antioxidant, anti-inflammatory, and antinociceptive properties of aerial parts of *Vicia sativa* and its flavonoids. *Journal of Natural Remedies*, 4 (1): 81-96.
- Guerrieri, A., L. Dong & H.J. Bouwmeester, 2019. Role and exploitation of underground chemical signaling in plants. *Pest Management Science*, 75: 2455-2463.
- Gupta, Y.P., 1987. Anti-nutritional and toxic factors in food legumes: a review. *Plant Foods for Human Nutrition*, 37: 201-228.
- Güzel, Y. & G. Özyazıcı, 2021. Adoption of promising fenugreek (*Trigonella foenum-graceum* L.) genotypes for yield and quality characteristics in the semiarid climate of Turkey. *Atmosphere*, 12: 1199.
- Hagler, J. & L.S. Buchmann, 1993. Honeybee (Hymenoptera: Apidae) foraging responses to phenolic-rich nectars. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 66: 223-230.
- Hama, J.R., D.B.G. Jorgensen, E. Diamantopoulos, T.D. Bucheli, H.C.B. Hansen & B.W. Strobel, 2022. Indole and quinolizidine alkaloids from blue lupin leach to agricultural drainage water. *Science of The Total Environment*, 834: 155283.
- Harborne, J.B., 1989. "Methods in plant biochemistry: 1- General procedures and measurement of total phenolics, 1-28". In: *Plant Phenolics*. (Ed. J.B. Harborne), Academic Press Limited, Cambridge, MA, USA.
- Harborne, J.B., 2001. Secondary Metabolites: Attracting Pollinators. *Encyclopedia of Life Sciences*, John Wiley & Sons, Ltd, 5pp.
- Hashemzadeh, M., A. Delarami Far, A. Yari, R.E. Heravi, K. Tabrizian, S.M. Taghdisi, S.E. Sadegh, K. Tsarouhas, D. Kouretas, G. Tzanakakis, D. Nikitovic, N.Y. Anisimov, D.A. Spandidos, A.M. Tsatsakis & R. Rezaee, 2017. Anticancer and apoptosis-inducing effects of quercetin in vitro and in vivo. *Oncology Reports*, 38 (2): 819-828.
- Hatzold, T., I. Elmadfa, R. Gross, M. Wink, T. Hartmann & L. Witte, 1983. Quinolizidine alkaloids in seeds of *Lupinus mutabilis*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 31 (5): 934-938.
- He, Q., Y. Shen, M. Wang, M. Huang, R. Yang, S. Zhu, L. Wang, Y. Xu & R. Wu, 2011. Natural variation in petal color in *Lycoris longituba* revealed by anthocyanin components. *PLoS One*, 6: e22098.
- Horvat, D., M. Viljevac Vuletic, L. Andric, R. Balicevic, M. Kovacevic Babic & M. Tucak, 2022. Characterization of forage quality, phenolic profiles, and antioxidant activity in alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Plants*, 11: 2735.
- Iqbal, Y., E.N. Ponnampalam, H.A.R. Suleria, J.J. Cottrell & F.R. Dunshea, 2021. LC-ESI/QTOF-MS profiling of chicory and lucerne polyphenols and their antioxidant activities. *Antioxidants*, 10: 932.
- Isah, T., 2019. Stress and defense responses in plant secondary metabolites production. *Biological Research*, 52: 39.
- Jamieson, M.A., L.A. Burkle, J.S. Manson, J.B. Runyon, A.M. Trowbridge & J. Zientek, 2017. Global change effects on plant–insect interactions: the role of phytochemistry. *Current Opinion in Insect Science*, 23: 70-80.
- Jia, K., L. Baz & S. Al-babili, 2018. From carotenoids to strigolactones. *Journal of Experimental Botany*, 69: 2189-2204.
- Joshi, A.S., P. Nagda, S. Bugade & S.S. Barve, 2022. Investigation of anti-inflammatory and immunomodulatory effects of methanolic extracts of fenugreek leaves and seeds to justify its use in topical creams for preventing inflammation and joint-pain. *International Journal of Agro Nutrifood Practices*, 2 (3): 9-15.
- Kazlauskaitė, J.A., I. Matulyte, M. Marksa, R. Lelesius, A. Pavilonis & J. Bernatoniene, 2023. Application of antiviral, antioxidant and antibacterial *Glycyrrhiza glabra* L., *Trifolium pratense* L. extracts and *Myristica fragrans* Houtt. essential oil in microcapsules. *Pharmaceutics*, 15 (2): 464.
- Kekillioğlu, A. & Ö.E. Bostan, 2023. Polinatör Hymenopterler (Arthropoda: Insecta). *Uluslararası İleri Doğa Bilimleri ve Mühendislik Araştırmaları Dergisi*, 7 (6): 402-409.
- Kessler, D., S. Bhattacharya, C. Diezel, E. Rothe, K. Gase, M. Schöttner & I.T. Baldwin, 2012. Unpredictability of nectar nicotine promotes outcrossing by hummingbirds in *Nicotiana attenuata*. *Plant Journal*, 71 (4): 529-538.
- Koch, H. & P.C. Stevenson, 2017. Do linden trees kill bees? Reviewing the causes of bee deaths on silver linden (*Tilia tomentosa*). *Biology Letters*, 13: 20170484.
- Koch, H., J. Woodward, M.K. Langat, M.J.F. Brown & P.C. Stevenson, 2019. Flagellum removal by a nectar metabolite inhibits infectivity of a bumblebee parasite. *Current Biology*, 29 (20): 3494-3500.

- Kordan, B., K. Dancewicz, A. Wroblewska & B. Gabrys, 2012. Intraspecific variation in alkaloid profile of four lupine species with implications for the pea aphid probing behaviour. *Phytochemistry Letters*, 5 (1): 71-77.
- Ku, Y.S., C.A. Contador, M.S. Ng, J. Yu, G. Chung & H.M. Lam, 2020. The effects of domestication on secondary metabolite composition in legumes. *Frontiers in Genetics*, 11: 581357.
- Lampart-Szczapa, E., J. Korczak, M. Nogala-Kalucka & R. Zawirska-Wojtasiak, 2003. Antioxidant properties of lupin seed products. *Food Chemistry*, 83: 279-285.
- Lane, G.A., O.R.W. Sutherland & R.A. Skipp, 1987. Isoflavonoids as insect feeding deterrents and antifungal components from root of *Lupinus angustifolius*. *Journal of Chemical Ecology*, 13: 771-783.
- Lee, K.J., J.R. Lee, H.J. Kim, S. Raveendar, G.A. Lee, Y.A. Jeon, E. Park, K.H. Ma, S.K. Lee & J.W. Chung, 2017. Comparison of flavonoid contents and antioxidant activities of *Vicia* species. *Plant Genetic Resources*, 15 (2): 119-126.
- Liu, D.L. & J.V. Lovett, 1993. Biologically active secondary metabolites of barley. II. Phytotoxicity of barley allelochemicals. *Journal of Chemical Ecology*, 19: 2231-2244.
- Liu, Q., J. Li, M. Gu, W. Kong, Z. Lin, J. Mao, M. Zhang, L. Jiang, C. Liu, Y. Wang & J. Liu, 2023. High-throughput phytochemical unscrambling of flowers originating from *Astragalus membranaceus* (Fisch.) Bge. var. *mongholicus* (Bge.) P. K. Hsiao and *Astragalus membranaceus* (Fisch.) Bug. by applying the integrative plant metabolomics method using UHPLC-Q-TOF-MS/MS. *Molecules*, 28: 6115.
- London-Shafir, I., S. Shafir & D. Eisikowitch, 2003. Amygdalin in almond nectar and pollen-facts and possible roles. *Plant Systematics and Evolution*, 238: 87-95.
- Luo, K., M.Z.Z. Jahufer, F. Wu, H. Di, D. Zhang, X. Meng, J. Zhang & Y. Wang, 2016. Genotypic variation in a breeding population of yellow sweet clover (*Melilotus officinalis*). *Frontiers in Plant Science*, 7: 972.
- Mardani-Korrani, H., M. Nakayasu, S. Yamazaki, Y. Aoki, R. Kaida, T. Motobayashi, M. Kobayashi, N. Ohkama-Ohtsu, Y. Oikawa, A. Sugiyama & Y. Fujii, 2021. L-canavanine, a root exudate from hairy vetch (*Vicia villosa*) drastically affecting the soil microbial community and metabolite pathways. *Frontiers in Microbiology*, 12: 701796.
- Mavromatis, A., I. Naniou-Obeidat, A. Polidoros, Z. Parissi, E. Tani, M. Irakli, K.A. Aliferis, I. Zafeiriou, P.V. Mylona, E. Sarri, E.A. Papadopoulou, R. Tagiakas, L. Kougiteas, S. Kostoula & E.M. Abraham, 2023. Characterization of lupin cultivars based on phenotypical, molecular and metabolomic analyses. *Agronomy*, 13: 370.
- Medina, C.M.M., 2022. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi inoculation and p-fertilization on terpene emitted from red clover (*Trifolium pratense* L.) leaf. Doctoral Dissertation, Universidad De La Frontera, Facultad de Ingeniería y Ciencias Doctorado en Ciencias de Recursos Naturales, 108 pp.
- Meena, R., 2020. Secondary metabolites in organic chemistry. *International Journal of Multidisciplinary Research in Science, Engineering and Technology*, 3 (1): 78-83.
- Megías, C., I. Cortés-Giraldo, J. Girón-Calle, M. Alias & J. Vioque, 2018. Characterization of *Vicia* (Fabaceae) seed water extracts with potential immunomodulatory and cell antiproliferative activities. *Journal of Food Biochemistry*, 42: e12578.
- Mittal, M., V. Pandey, B. Rathi, H.C. Verma, B.K. Singh, R. Chauhan & S. Kumar, 2023. The nutraceutical nexus: unveiling the complete nutrient solution in one place. *European Chemical Bulletin*, 12 (Special Issue 5): 6788-6796.
- Modzelewska, A., S. Sur, S.K. Kumar & S.R. Khan, 2005. Sesquiterpenes: natural products that decrease cancer growth. *Current Medicinal Chemistry-Anti-Cancer Agents*, 5 (5): 477-499.
- Molinu, M.G., L. Sulas, G. Campesi, G.A. Re, F. Sanna & G. Piluzza, 2023. Subterranean clover and sulla as valuable and complementary sources of bioactive compounds for rainfed mediterranean farming systems. *Plants*, 12: 417.
- Mustard, J.A., 2020. Neuroactive nectar: Compounds in nectar that interact with neurons. *Arthropod Plant Interactions*, 14: 151-159.
- Naika, M.B.N., N. Sathyanarayanan, R.S. Sajeevan, T. Bhattacharyya, P. Ghosh, M.S. Iyer, M. Jarjapu, A.G. Joshi, K. Harini, K.M. Shafi, N. Kalmankar, S.D. Karpe, B. Mam, S.N. Pasha & R. Sowdhamini, 2022. Exploring the medicinally important secondary metabolites landscape through the lens of transcriptome data in fenugreek (*Trigonella foenum graecum* L.). *Scientific Reports*, 12: 13534.

- Neugart, S., S. Rohn & M. Schreiner, 2015. Identification of complex, naturally occurring flavonoid glycosides in *Vicia faba* and *Pisum sativum* leaves by HPLC-DAD-ESI-MSn and the genotypic effect on their flavonoid profile. *Food Research International*, 76: 114-121.
- Nicolson, S.W., 2011. Bee food: The chemistry and nutritional value of nectar, pollen and mixtures of the two. *Afr. Zool.*, 46: 197-204.
- Nicolson, S.W., 2022. Sweet solutions: nectar chemistry and quality. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 377 (1853): 20210163.
- Nicolson, S.W., S. Lerch-Henning, M. Welsford & S.D. Johnson, 2015. Nectar palatability can selectively filter bird and insect visitors to coral tree flowers. *Evolutionary Ecology*, 29: 405-417.
- Ogbole, O.O., O.D. Akin-Ajani, T.O. Ajala, Q.A. Ogunniyi, J. Fettke & O.A. Odeku, 2023. Nutritional and pharmacological potentials of orphan legumes: Subfamily faboideae. *Heliyon*, 9: e15493.
- Özcan, M.M., F. Aljuhaimi, E.E. Babiker, N. Uslu, D.A. Ceylan, K. Ghafoor, M.M. Özcan, N. Dursun, I.M. Ahmed, F.G. Jamiu & O.N. Alsawmahi, 2019. Determination of antioxidant activity, phenolic compound, mineral contents and fatty acid compositions of bee pollen grains collected from different locations. *Journal of Apicultural Science*, 63: 69-79.
- Özyazıcı, G., 2020. Responses of sulfur and phosphorus doses on the yield and quality of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *Applied Ecology and Environmental Research*, 18 (5): 7041-7055.
- Özyazıcı, M.A., 2022. "Legume forage crops with medicinal value and their secondary metabolite contents: *Medicago* sp., *Onobrychis* sp., *Melilotus* sp., and *Lupinus* sp., 33-70". In: *New Development on Medicinal and Aromatic Plants-II*. (Ed. G. Özyazıcı), Iksad Publishing House, Ankara, Türkiye.
- Palmer-Young, E.C., I.W. Farrell, L.S. Adler, N.J. Milano, P.A. Egan, R.R. Junker, R.E. Irwin & P.C. Stevenson, 2019. Chemistry of floral rewards: Intra- and interspecific variability of nectar and pollen secondary metabolites across taxa. *Ecological Monographs*, 89: 1-20.
- Pang, Z., J. Chen, T. Wang, C. Gao, Z. Li, L. Guo, J. Xu & Y. Cheng, 2021. Linking plant secondary metabolites and plant microbiomes: a review. *Frontiers in Plant Science*, 12: 621276.
- Petrović, M.P., M.S. Stanković, B.S. Anđelković, S.Z. Babić, V.G. Zornić, S.Lj. Vasiljević & Z.P. Dajić-Stevanović, 2016. Quality parameters and antioxidant activity of three clover species in relation to the livestock diet. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 44 (1): 201-208.
- Piasecka, A., N. Jedrzejczak-Rey & P. Bednarek, 2015. Secondary metabolites in plant innate immunity: conserved function of divergent chemicals. *New Phytologist*, 206: 948-964.
- Platikanov, S., S. Nikolov, D. Pavlova, L. Evstatieva & S. Popov, 2005. Volatiles from four *Astragalus* species: phenological changes and their chemotaxonomical application. *Zeitschrift für Naturforsch C*, 60 (7-8): 591-599.
- Quijada, J., C. Fryganas, H.M. Ropiak, A. Ramsay, I. Mueller-Harvey & H. Hoste, 2015. Anthelmintic activities against *Haemonchus contortus* or *Trichostrongylus colubriformis* from small ruminants are influenced by structural features of condensed tannins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63 (28): 6346-6354.
- Quiroz, A., L. Mendez, A. Mutis, E. Hormazabal & F. Ortega, 2017. Antifeedant activity of red clover root isoflavonoids on *Hylastinus obscurus*. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 17 (1): 231-239.
- Raeeszadeh, M., J. Beheshtipour, R. Jamali & A. Akbari, 2022. The antioxidant properties of alfalfa (*Medicago sativa* L.) and its biochemical, antioxidant, anti-inflammatory, and pathological effects on nicotine-induced oxidative stress in the Rat Liver. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2691577.
- Rafińska, K., P. Pomastowski, O. Wrona, R. Górecki & B. Buszewski, 2017. *Medicago sativa* as a source of secondary metabolites for agriculture and pharmaceutical industry. *Phytochemistry Letters*, 20: 520-539.
- Richardson, L.L., L.S. Adler, A.S. Leonard, J. Andicoechea, K.H. Regan, W.E. Anthony, J.S. Manson & R.E. Irwin, 2015. Secondary metabolites in floral nectar reduce parasite infections in bumblebees. *Proceedings Royal Society B*, 282: 20142471.
- Riddick, E.W., 2021. Potential of quercetin to reduce herbivory without disrupting natural enemies and pollinators. *Agriculture*, 11: 476.
- Robbins, R.J., 2003. Phenolic acids in foods: An overview of analytical methodology. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51: 2866-2887.

- Ruiz-López, M.A., L. Barrientos-Ramírez, P.M. García-López, E.H. Valdés-Miramontes, J.F. Zamora-Natera, R. Rodríguez-Macias, E. Salcedo-Pérez, J. Bañuelos-Pineda & J.J. Vargas-Radillo, 2019. Nutritional and bioactive compounds in Mexican lupin beans species: a mini-review. *Nutrients*, 11: 1785.
- Saleem, M., M. Karim, M.I. Qadir, B. Ahmed, M. Rafiq & B. Ahmad, 2014. In vitro antibacterial activity and phytochemical analysis of hexane extract of *Vicia sativa*. *Bangladesh Journal of Pharmacology*, 9 (2): 189-193.
- Salehi, B., I.M. Abu-Reidah, F. Sharopov, N. Karazhan, J. Sharifi-Rad, M. Akram, M. Daniyal, F.S. Khan, W. Abbaass & R. Zainab, 2021. *Vicia* plants-a comprehensive review on chemical composition and phytopharmacology. *Phytotherapy Research*, 35 (2): 790-809.
- Schmitt, A., R. Roy & C.J. Carter, 2021. Nectar antimicrobial compounds and their potential effects on pollinators. *Current Opinion in Insect Science*, 44: 55-63.
- Seigler, D.S., 1998. *Plant Secondary Metabolism*. Springer New York, NY, 759pp.
- Singaravelan, N., M. Inbar, G. Ne'eman, M. Distl, M. Wink & I. Izhaki, 2006. The effects of nectar-nicotine on colony fitness of caged honeybees. *Journal of Chemical Ecology*, 32: 49-59.
- Singaravelan, N., G. Nee'man, M. Inbar & I. Izhaki, 2005. Feeding responses of free-flying honeybees to secondary compounds mimicking floral nectars. *Journal of Chemical Ecology*, 31 (12): 2791-2804.
- Slavković, F. & A. Bendahmane, 2023. Floral phytochemistry: impact of volatile organic compounds and nectar secondary metabolites on pollinator behavior and health. *Chemistry & Biodiversity*, 20: e202201139.
- Sowa, P., M. Tarapatsky, C. Puchalski, W. Jarecki & M. Dżugan, 2019. A novel honey-based product enriched with coumarin from *Melilotus* flowers. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13: 1748-1754.
- Stambolov, I., A. Shkondrov & I. Krasteva, 2023. *Astragalus glycyphyllos* L.: phytochemical constituents, pharmacology, and biotechnology. *Pharmacia*, 70 (3): 635-641.
- Stevenson, P.C., S.W. Nicolson & G.A. Wright, 2017. Plant secondary metabolites in nectar: impacts on pollinators and ecological functions. *Functional Ecology*, 31 (1): 65-75.
- Tava, A., L. Pecio, A. Stochmal & L. Pecetti, 2015. Clovamide and flavonoids from leaves of *Trifolium pratense* and *T. pratense* subsp. *nivale* grown in Italy. *Natural Product Communications*, 10: 933-936.
- Tiring, G., S. Satar & O. Özkaya, 2021. Sekonder metabolitler. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 35 (1): 203-215.
- Tiwari, R. & C.S. Rana, 2015. Plant secondary metabolites: a review. *International Journal of Engineering Research and General Science*, 3 (5): 661-670.
- Trigo, J.R., 2011. Effects of pyrrolizidine alkaloids through different trophic levels. *Phytochemistry Reviews*, 10: 83-98.
- Tundis, R., M. Marrelli, F. Conforti, M.C. Tenuta, M. Bonesi, F. Menichini & M.R. Loizzo, 2015. *Trifolium pratense* and *T. repens* (Leguminosae): Edible Flower Extracts as Functional Ingredients. *Foods*, 4: 338-348.
- Tuominen, A., E. Toivonen, P. Mutikainen & J.P. Salminen, 2013. Defensive strategies in *Geranium sylvaticum*. Part 1: Organ-specific distribution of water-soluble tannins, flavonoids and phenolic acids. *Phytochemistry*, 95: 394-407.
- Ullrich, C.I., R. Aloni, M.E.M. Saeed, W. Ullrich & T. Efferth, 2019. Comparison between tumors in plants and human beings: mechanisms of tumor development and therapy with secondary plant metabolites. *Phytomedicine*, 64: 153081.
- Vannette, R.L. & T. Fukami, 2016. Nectar microbes can reduce secondary metabolites in nectar and alter effects on nectar consumption by pollinators. *Ecology*, 97 (6): 1410-1419.
- Verónica, C.S., F.M. de los Ángeles, R.G. Claudio & S.M. Fernanda, 2014. Analysis of phenolic compounds in onion nectar by miniaturized off-line solid phase extraction-capillary zone electrophoresis. *Analytical Methods*, 6: 4878-4884.
- Vioque, J., J. Giron-Calle, V. Torres-Salas, Y. Elamine & M. Alaiz, 2020. Characterization of *Vicia ervilia* (bitter vetch) seed proteins, free amino acids, and polyphenols. *Journal of Food Biochemistry*, 44 (7): e13271.
- Vlaisavljević, S., B. Kaurinović, M. Popović, M. Djurendić-Brenesel, B. Vasiljević, D. Cvetković & S. Vasiljević, 2014. *Trifolium pratense* L. as a potential natural antioxidant. *Molecules*, 19 (1): 713-725.
- Vlaisavljević, S., B. Kaurinović, M. Popović, & S. Vasiljević, 2017. Profile of phenolic compounds in *Trifolium pratense* L. extracts at different growth stages and their biological activities. *International Journal of Food Properties*, 20 (12): 3090-3101.

- Wallace, R.J., 2004. Antimicrobial properties of plant secondary metabolites. *Proceedings of the Nutrition Society*, 63: 621-629.
- Wink, M., 2013. Evolution of secondary metabolites in legumes (Fabaceae). *South African Journal of Botany*, 89: 164-175.
- Wink, M., 2018. Plant secondary metabolites modulate insect behavior-steps toward addiction?. *Frontiers in Physiology*, 9: 364.
- Wink, M., 2019. Quinolizidine and pyrrolizidine alkaloid chemical ecology – a mini-review on their similarities and differences. *Journal of Chemical Ecology*, 45: 109-115.
- Wink, M., 2020. "Evolution of the angiosperms and co-evolution of secondary metabolites, especially of alkaloids, 151-174". In: *Co-Evolution of Secondary Metabolites*. (Eds. J.M. Mérillon & K.G. Ramawat), Reference Series in Phytochemistry, Springer, Cham.
- Wu, F., Z. Duan, P. Xu, Q. Yan, M. Meng, M. Cao, C.S. Jones, X. Zong, P. Zhou, Y. Wang, K. Luo, S. Wang, Z. Yan, P. Wang, H. Di, Z. Ouyang, Y. Wang & J. Zhang, 2021. Genome and systems biology of *Melilotus albus* provides insights into coumarins biosynthesis. *Plant Biotechnology Journal*, 20 (3): 592.
- Yang, L., K.S. Wen, X. Ruan, Y.X. Zhao, F. Wei & Q. Wang, 2018. Response of plant secondary metabolites to environmental factors. *Molecules*, 23: 762.
- Yang, Y., M. Liu, K. Wang, Y. Yang, N. Su, W. Huang & Y. Wu, 2020. Chemical and cytological evaluation of honeybee pollen antioxidant ability. *Journal of Food Science*, 85: 824-833.
- Yerlikaya, S., M.C. Baloglu, A. Diuzheva, J. Jekő, Z. Cziáky & G. Zengin, 2019. Investigation of chemical profile, biological properties of *Lotus corniculatus* L. extracts and their apoptotic-autophagic effects on breast cancer cells. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 174: 286-299.
- Zagrobelny, M. & B.L. Møller, 2011. Cyanogenic glucosides in the biological warfare between plants and insects: the burnet moth-birdsfoot trefoil model system. *Phytochemistry*, 72: 1585-1592.
- Zhang, J., Z. Wang, P. Wen, Y. Qu, K. Tan & J.C. Nieh, 2018. The reluctant visitor: A terpenoid in toxic nectar can reduce olfactory learning and memory in Asian honey bees. *The Journal of Experimental Biology*, 221: jeb.168344.