

Pendimethalin ve Salisilik Asit Uygulamalarının *Carthamus tinctorius* L. cv. “Remzibey” Yağ Asidi Desatüraz Genlerinin Anlatımı Üzerine Etkisi

Ekrem AKBULUT^{1*}

ÖZET: Aspir (*Carthamus tinctorius* L.), tohumlarında yüksek kaliteye sahip doymamış yağ asitlerinden oleik asit ve α -linolenik asit içeren endüstriyel hammadde kaynağı olma özelliğine sahip önemli bir yağ bitkisidir. Pendimethalin yabancı ot kontrolünün sağlanması için ekonomik değere sahip bitkilere uygulanan dinitroanilin grubu bir herbisittir. Salisilik asit biyotik ve abiyotik streslere karşı bitki savunmasında yer alan önemli bir bitkisel hormondur. Omega-3 yağ asidi desatürazlar (*FAD3* ve *FAD7*) α -linolenik asit biyosentezi için anahtar enzimlerdir. Bu çalışmada pendimethalin ve salisilik asitin yağ asidi metabolizmasında görev alan *FAD3* ve *FAD7* gen anlatım düzeyleri üzerindeki olası etkileri araştırılmıştır. Çalışmada toplam 36 saksıda kontrollü iklim şartlarında yetiştirilen aspir bitkilerine 0,004 ve 0,01 M pendimethalin uygulaması yapılmıştır. Pendimethalin uygulanan örnekler 0,05 mM salisilik asit uygulanmıştır. Uygulama sonrası RNA izolasyonu, cDNA sentezi ve kantitatif polimeraz zincir reaksiyonu gerçekleştirilmiştir. Test ve kontrol grupları arasındaki kat değişimi $2^{-\Delta\Delta CT}$ formülü ile hesaplanmıştır. Gen anlatım düzeyleri arasındaki değişim t testi ile değerlendirildi ($p<0,05$). Pendimethalinin *FAD3* ve *FAD7* genlerini aşağı yönde regüle ettiği, artan pendimethalin konsantrasyonuna bağlı olarak gen anlatım düzeylerinin azaldığı belirlenmiştir. Salisilik asitin pendimethalinin ortaya çıkardığı toksik etkiyi azaltıcı yönde etki gösterdiği, *FAD3* ve *FAD7* genlerini yukarı yönlü regüle ettiği tespit edilmiştir. Pendimethalinin *Carthamus tinctorius* L. Remzibey çeşidinde yağ asidi kalitesi ve α -linolenik asit biyosentezinde azalmaya neden olabileceği, salisilik asitin ise pendimethalinin olumsuz etkilerini giderici etkiye sahip olduğu ve α -linolenik asit miktarında kısmi artışa katkı sunabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: *Carthamus tinctorius*, pendimethalin, salisilik asit, omega 3-yağ asidi desatüraz

The Effect of Pendimethaline and Salicylic Acid Applications on Expression of *Carthamus tinctorius* L. cv. “Remzibey” Fatty Acid Desaturase Genes

ABSTRACT: Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) is an important oil plant, which is an industrial raw material source containing high quality unsaturated fatty acids, oleic acid and α -linolenic acid. Pendimethalin is a dinitroaniline group herbicide that is applied to plants of economic value for weed control. Salicylic acid is an important herbal hormone involved in plant defense against biotic and abiotic stresses. Omega-3 fatty acid desaturases (*FAD3* and *FAD7*) are key enzymes for α -linolenic acid biosynthesis. In present study, the effects of pendimethalin and salicylic acid on the gene expression levels of *FAD3* and *FAD7* involved in fatty acid metabolism were investigated. In this study, 0,004 and 0,01 M pendimethalin were applied to safflower plants grown under controlled climatic conditions in 36 pots. 0,05 mM salicylic acid was applied to the samples where pendimethalin was applied. After application, RNA isolation, cDNA synthesis and quantitative polymerase chain reaction were performed. The fold change between the test and control groups was calculated with the formula $2^{-\Delta\Delta CT}$ (delta delta CT). The change between gene expression levels was evaluated by t test ($p<0,05$). It was determined that pendimethalin downregulated *FAD3* and *FAD7* genes and decreased gene expression levels dependant to pendimethalin concentration. It was determined that salicylic acid had a decreasing effect on the toxic effects caused by pendimethalin and upregulated the *FAD3* and *FAD7* genes. Pendimethalin is thought to cause a decrease in fatty acid quality and α -linolenic acid biosynthesis in *Carthamus tinctorius* L. cv. Remzibey, salicylic acid has a negative effect on pendimethalin and contributes to partial increase in α -linolenic acid.

Keywords: *Carthamus tinctorius*, pendimethalin, salicylic acid, omega 3-fatty acid desaturase

¹ Ekrem AKBULUT (Orcid ID: 0000-0002-7526-9835), Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, Malatya, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Ekrem AKBULUT, e-mail: ekremakbulut@gmail.com

Geliş tarihi / Received: 14-06-2020

Kabul tarihi / Accepted: 25-06-2020

GİRİŞ

Aspir (*Carthamus tinctorius* L.) geniş bir coğrafi yayılım gösteren ekonomik değere sahip bir bitkidir (Namdjoyan ve ark., 2020). Yağışın az olduğu kurak ve yarı kurak bölgelerde yetiştirilebilir olması artan dünya nüfusu dikkate alındığında önemini artırmaktadır. Zengin yağ içeriği ile de kozmetik ve biyoyakıt alanında da önemli bir kaynak olarak öne çıkmaktadır (Nogales-Delgado ve ark., 2019; Zemour ve ark., 2019). Farklı renklerde olan çiçekleri gıdaları renklendirmede ve ilaç sanayinde kullanılmaktadır (Angelova ve ark., 2016). Aspir'in fitoremediasyon için potansiyel bir bitkisel kaynak olabileceği düşünülmektedir (Al Chami ve ark., 2015; Namdjoyan ve ark., 2017). Aspir, insan sağlığı ve günlük beslenme açısından önemli çoklu doymamış yağ asitlerinden linoleik asit (LA) ve α -linolenik asit (ALA) yüksek oranda içermektedir (Nazari ve ark., 2017; Akbari ve ark., 2019). ALA'nın özellikle insanlarda kardiyovasküler hastalıklar, obezite ve öğrenme güçlüğü gibi birçok hastalık riskini düşürdüğü bilinmektedir. Besinlerle yeterli düzeyde ALA alınımının bebeklerde nöral gelişim açısından da önemli olduğu bilinmektedir (Innis, 2008).

Yağ asidi desaturaz (*FAD*) 3 ve (*FAD*) 7, omega 6 yağ asitlerinin omega 3 yağ asitlerine dönüşümünü katalizler (Rani ve ark., 2018). *FAD3* ve *FAD7*, LA'nın karbon atomları arasında çift bağ oluşumunu katalize ederek ALA oluşumunu sağlar (Aronel ve ark., 1992).

Pendimethalin (PEN) modern tarım uygulamaları kapsamında tahıl, baklagil ve sebze tarımında yabancı ot mücadelesinde yaygın kullanılan dinitroanilin grubu bir herbisittir (Arici ve ark., 2020). Lipofilitesi ve güçlü toprak adsorpsiyon özellikleri ile insan sağlığı açısından önemli riskler taşımaktadır (Ahmad ve ark., 2016; Verma ve Srivastava, 2018). Özellikle insan DNA'sı ve önemli bazı biyomoleküllere bağlanarak kanser başta olmak üzere birçok hastalığın gelişimine olası etkileri nedeni ile kontrollü kullanılması önem arz etmektedir (Ahmad ve ark., 2016; Lee ve ark., 2017).

Salisilik asit (SA)'in farklı bitkisel organizmalarda antioksidan sistem verimliliğini ve oksidatif strese karşı toleransı arttırdığını gösteren çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Spormann ve ark., 2019; Yüzbaşıoğlu ve Dalyan, 2019).

Çalışmada önemli bir endüstriyel yağ bitkisi olan aspir'in Remzibey çeşidine uygulanan PEN herbisidinin *FAD3* ve *FAD7* gen anlatım düzeyleri üzerindeki etkileri ve 0,5 mM SA uygulaması sonrasında gen anlatım düzeylerindeki değişimler araştırıldı.

MATERYAL VE YÖNTEM

Stres Uygulamaları ve Yetiştirme Koşulları

Çalışmada kullanılan *Carthamus tinctorius* L. "Remzibey" çeşidine ait tohumlar Eskişehir Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü tarafından sağlanmıştır. PEN herbisiti ticari formu temin edilmiştir (BASF, 30356897). SA ticari formu Sigma Aldrich firmasından temin edilmiştir (Katalog no: S7401). Tohumlar 0,5 mM SA içeren solüsyon içerisinde 6 saat bekletildikten sonra saksılara aktarılmıştır. Örnekler $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ' de, %65 nem içeriği ile iklim odasında kontrollü şartlar altında toprak içeren plastik saksılar (10,5 x 8 cm) yetiştirilmiştir. Her bir gen için 6 grupta 3 tekrarlı olmak üzere toplam 36 örnek (saksı) oluşturulmuştur. Örnekler 3 günde bir Hoagland kültür solüsyonu (Hoagland ve Arnon, 1938) ile sulanmıştır. PEN uygulaması 21 günlük bitki yapraklarına toksisite denemeleri sonucunda belirlenen 0,004 ve 0,01 M konsantrasyonlarında gerçekleştirilmiştir (Akbulut, 2019). PEN spreyleme yöntemi ile uygulanmıştır. Örnekler Çizelge 1'de belirtilen şekilde uygulama gruplarına ayrılmıştır.

Çizelge 1. Uygulama grupları

Grup adı	Uygulama türü
Kontrol	Hiçbir uygulama yapılmadı
Grup 1	0,5 mM SA
Grup 2	0,004 M PEN
Grup 3	0,004 M PEN +0,5 mM SA
Grup 4	0,01 M PEN
Grup 5	0,01 M PEN +0,5 mM SA

RNA İzolasyonu

Kimyasal uygulama sonrası aspir yapraklarından 24., 48. ve 72. saatlerde yaklaşık olarak 100 mg yaprak örneği alınarak sıvı nitrojen içerisinde dondurulmuştur. Dondurulmuş örnekler homojenizasyon tüplerine alınarak üzerlerine 600'er µl lizis (RLT) tamponu eklenmiştir. Homojenizasyon tüplerine 2,5 mm seramik boncuklar konulmuş ve örnekler 7 m s⁻¹ hızda 1 dakika süre ile homojenize edilmiştir (Bioprep 24). Örnekler 56°C'de 30 dakika su banyosunda inkübe edilmiştir. Süre sonunda, 16.000 rpm'de 2 dakika santrifüj edilmiştir ve süpernatant yeni bir eppendorf tüpüne alınmıştır. RNA izolasyonu, kullanılan izolasyon kitinin üreticisinin talimatları çerçevesinde yapılmıştır (QIAGEN, Allprep Mini Kit Cat No:80004).

cDNA Sentezi

RNA izolasyonu sonrası elde edilen RNA'nın kalitesi spektrofotometrik yöntem ile tespit edilmiştir. Konsantrasyonu 4 µg ml⁻¹'nin altında olan örneklerden izolasyon tekrarlanmıştır. DNA'nın ortamdan uzaklaştırılması ve cDNA sentezi işlemi bir çevrim kiti aracılığı ile yapılmıştır (QIAGEN, RT2 HT First Strand Kit, Cat No: 330411). Her bir reaksiyon tüpü için RNA final konsantrasyonu 50 ng olarak ayarlanmıştır. cDNA sentezinde reaksiyon bileşenleri thermal cycler'da 42°C'de 15 dakika ve 95°C'de 5 dakika tutulmuştur.

Kantitatif PCR (qPCR)

Kantitatif PCR toplam reaksiyon hacmi 25 µl olarak gerçekleştirilmiştir. Reaksiyon karışımı; 12,5 µl master mix, 10,5 µl ddH₂O, 1,0 µl kalıp cDNA ve 1,0 µl (25 pmol µl⁻¹) primer karışımı içermiştir. Primer bilgileri Çizelge 2'de verilmiştir. Reaksiyon eşik değeri (CT cut off) 35 olarak ayarlanmıştır. qPCR reaksiyon koşulları; 95°C'de 10 dakika ön denatürasyon, 95°C'de 15 saniye, 53°C'de 40 saniye, 72°C'de 30 saniye ve 40 döngü olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada 3 teknik, 3 biyolojik tekrar uygulanmıştır. Çalışmada sybr green floresan boya kullanılmıştır (QIAGEN, RT2 SYBR Green qPCR Mastermix, Cat No:330500).

Çizelge 2. Primer dizi bilgileri

Sembol	Gen adı	Dizi	Tm (°C)
<i>ACTB</i> *	Actin 1 Referans gen	F- GCGGCTGGTATCCACGAGA	58.5
<i>Acc.KJ634809.1</i>		R- TCAGCAATGCCAGGGAACATAG	58.1
<i>FAD3</i>	Yağ asidi desaturaz-3	F- TCGTGGGTCCCGTTAAATGAAA	57.7
<i>Acc.HQ831356.1</i>		R- GCCACAAGTACAATGGGTATGC	57.4
<i>FAD7</i>	Yağ asidi desaturaz-7	F- TCCACCTCACTTCCAAGAGTTG	57.3
<i>Acc.HQ831349.1</i>		R- ACTCGCTATCTCCATCGTTCG	57.0

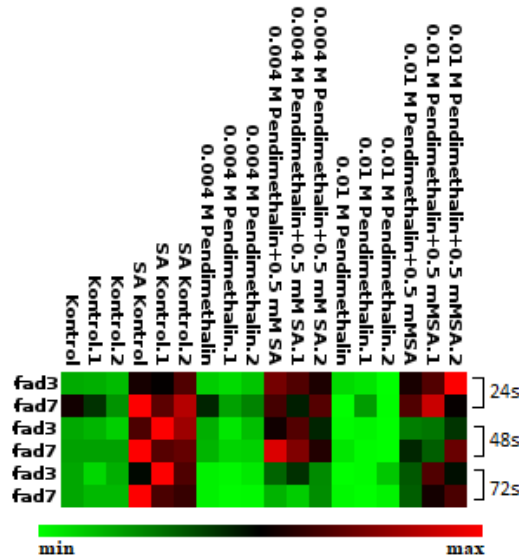
*Bu makalede kullanılan referans genin uygunluğu Liu ve ark. (2016) tarafından yapılan "Identification of reference genes for gene expression normalization in safflower (*Carthamus tinctorius*)" isimli çalışmada test edilmiştir.

Verilerin Analizi

qPCR sonrası elde edilen CT değerleri Qiagen GeneGlobe biyoinformatik aracı ile analiz edilmiştir. Kat değişimi ve kat düzeni değerleri delta delta CT metodu ile hesaplanmıştır (Livak ve Schmittgen, 2001). Test ve kontrol grupları arasındaki kat değişimi $2^{\Delta(-\Delta\Delta CT)}$ formülü ile hesaplanmıştır. Test ve kontrol grupları arasındaki anlatım değişiminin istatistiksel anlamlılığı için p değeri t testi ile analiz edilmiştir ($p < 0,05$).

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada PEN stresinin Remzibey çeşidinde *FAD3* ve *FAD7* gen anlatım düzeylerine etkisi ve SA'nın stres koşullarındaki etkileri araştırılmıştır. Kontrol ve 5 test grubunda 3 paralel olarak yürütülen çalışmada toplam 36 örnek ile *FAD3* ve *FAD7* gen anlatım düzeyleri analiz edilmiştir (Şekil 1). Uygulama gruplarında fenotipe yansıyan değişim gözlenmemiştir. 0,5 mM SA uygulanan 1. grup örneklerin tümünde *FAD3* ve *FAD7* gen anlatım düzeylerinde kontrol grubuna göre artış tespit edilmiştir. Tespit edilen artışlar istatistiksel olarak da anlamlı ($p < 0,05$) bulunmuştur (Çizelge 3).

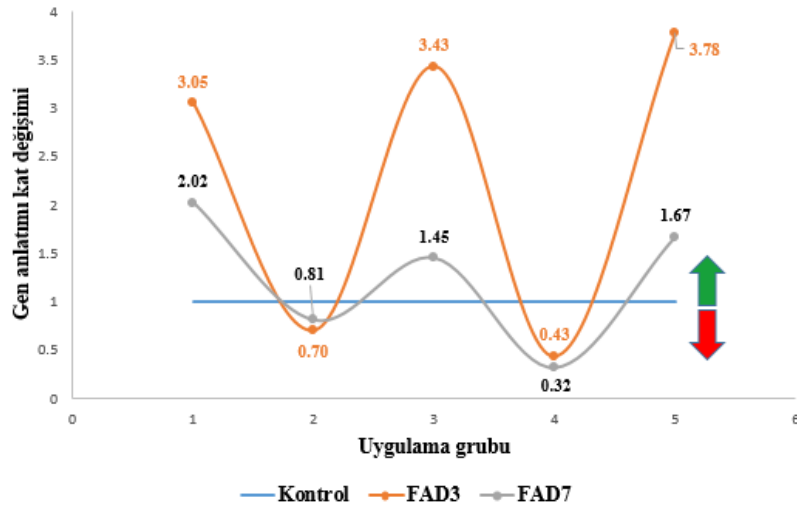


Şekil 1. *FAD3* ve *FAD7*'nin anlatım düzeylerindeki değişikliklerin ısı haritası ile gösterimi (Isı haritasında yeşile doğru yönelim azalan anlatım düzeyini, kırmızıya doğru yönelim artan anlatım düzeyini ifade eder)

Çizelge 3. PEN ve SA uygulaması sonrasında Remzibey çeşidindeki *FAD3* ve *FAD7* kat değişimi ve "p" değerleri

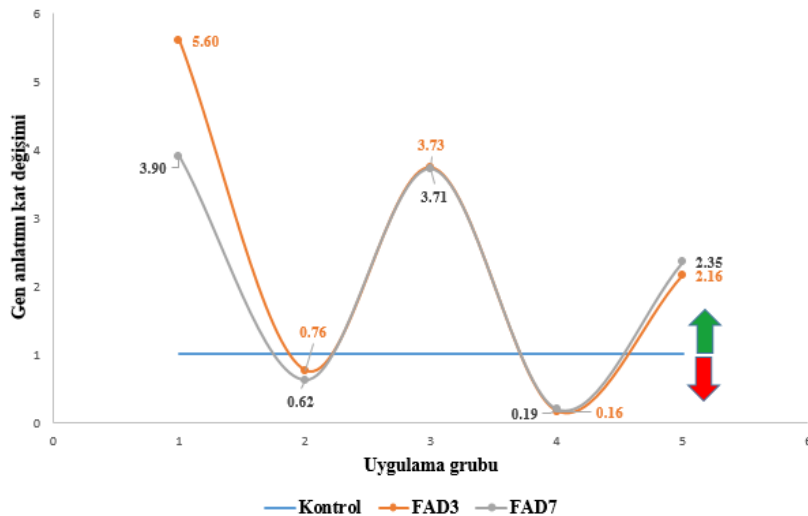
		<i>FAD3</i>			<i>FAD7</i>		
		24 s	48 s	72 s	24 s	48 s	72 s
Grup 1 0,5 mM SA Kontrol	Kat Değişimi	3,05	5,60	4,83	2,02	3,90	4,42
	P değeri	0,0008	0,0027	0,0201	0,0243	0,0046	0,0086
Grup 2 0,004 M PEN	Kat Değişimi	0,70	0,76	0,29	0,81	0,62	0,22
	P değeri	0,0189	0,5195	0,0239	0,4671	0,0176	0,0007
Grup 3 0,004 M PEN+0,5 mM SA	Kat Değişimi	3,43	3,73	2,20	1,45	3,71	1,01
	P değeri	0,0006	0,0043	0,0432	0,1667	0,0056	0,8533
Grup 4 0,01 M PEN	Kat Değişimi	0,43	0,16	0,25	0,32	0,19	0,20
	P değeri	0,0081	0,0047	0,1000	0,0499	0,0004	0,0006
Grup 5 0,01 M PEN+0,5 mM SA	Kat Değişimi	3,78	2,16	3,34	1,67	2,35	2,96
	P değeri	0,0126	0,0257	0,0254	0,1045	0,0602	0,0222

Kat değişim oranları farklılık göstermekle birlikte 24. saat örneklerinde; 0,004 M PEN ve 0,01 M PEN uygulamasının gen anlatım düzeylerinde kontrol grubuna göre azalmaya neden olduğu, PEN stresi altında SA uygulanan örneklerde *FAD3* ve *FAD7* düzeylerinde artış olduğu tespit edilmiştir. Artan PEN konsantrasyonu *FAD7* gen anlatım düzeyinde daha fazla azalmaya neden olurken, benzer değişim *FAD3* için gözlenmemiştir (Şekil 2).



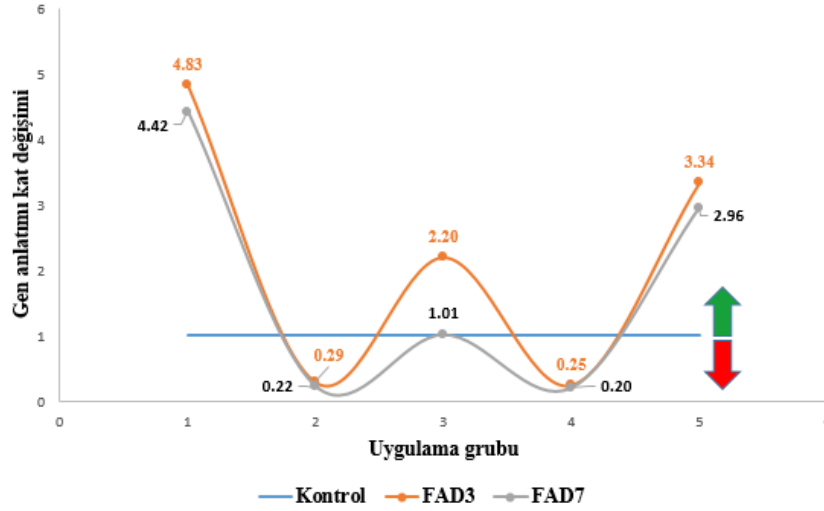
Şekil 2. PEN ve SA uygulaması altında *FAD3* ve *FAD7* anlatım düzeylerinin 24. saat örneklerindeki kat değişimi

PEN stresinin 48. saat örnekleri kontrol grupları ile kıyaslandıklarında *FAD3* ve *FAD7* gen anlatım düzeylerinde azalmaya neden olduğu, artan PEN konsantrasyonuna bağlı olarak anlatım düzeyinin daha fazla azaldığı tespit edilmiştir. 0,004 M ve 0,01 M PEN konsantrasyonlarında uygulama yapılan örneklerde, 0,5 mM SA uygulamasının *FAD3* ve *FAD7* anlatım düzeylerinde kat değişimleri farklı olmakla birlikte artışa neden olduğu gözlenmiştir (Şekil 3). *FAD3* için 2. gruptaki ve *FAD7* için 5. gruptaki değişimler dıőındaki gen anlatımı değişiklikleri istatistiki olarak anlamlı bulunmuştur (Çizelge 3).



Şekil 3. PEN ve SA uygulaması altında *FAD3* ve *FAD7* anlatım düzeylerinin 48. saat örneklerindeki kat değişimi

Uygulama sonrası 72. saat örnekleri değerlendirildiğinde *FAD3*'ün anlatım düzeyinin 1., 3. ve 5. Gruplarda artış gösterdiği, 2. ve 4. gruplarda ise azalma gösterdiği tespit edilmiştir. *FAD7*'nin anlatım düzeyi ise 1. ve 5. Gruplarda artış gösterirken 2., 3. ve 4. gruplarda azalma tespit edilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. PEN ve SA uygulaması altında *FAD3* ve *FAD7* anlatım düzeylerinin 72. saat örneklerindeki kat değişimi

PEN'in canlılarda çeşitli biyolojik süreçlerde toksik etkileri olduğunu gösteren çalışmalar bulunmaktadır (El-Awadi ve Hassan, 2011; Akbulut, 2019; Hamed ve El-Sayed, 2019). Akbulut (2019) çalışmasında 0,004 M ve 0,01 M PEN konsantrasyonunun karotenoid, toplam klorofil, toplam karbohidrat, toplam fenolik ve malondialdehid düzeylerinde değişime neden olduğunu belirtmiştir. Süzüntü ya da serpinti yolu ile gölet ve akarsulara karışan PEN'in balıklarda hepatik DNA hasarına neden olduğu ve nörotoksik etkiler oluşturabileceği bildirilmektedir (Hamed ve El-Sayed, 2019). Verma ve Srivastava (2018) çalışmalarında PEN uygulamasının *Allium cepa* bitkisinde sitogenotoksik ve morfotoksik etkiler ortaya çıkardığı ve artan konsantrasyonla birlikte toksik etkilerde artış olduğunu ifade etmektedir. Ali ve Wasfi (2016) PEN uygulamasının *Zea mays* fidelerinin bağıl su içeriğinde 20%'ye kadar azalmaya neden olabileceğini göstermektedir. Langaro ve ark. (2017) pirinç bitkisinde PEN uygulamasının metabolik aktivitelerin ve fotosentetik pigmentlerin bozulmasına ve protein miktarının azalmasına neden olan reaktif oksijen türlerinin üretildiğini bildirmektedir. Khyzhnyak ve ark. (2018) tarafından yapılan bir çalışmada PEN'in bal arılarında yağ asidi sentezinde azalma ve yağ asidi kompozisyonunda değişime neden olduğunu göstermişlerdir. SA'nın bitki savunma mekanizmasının aktivasyonunda önemli bir bileşik olduğu bilinmektedir. SA bitki üzerinde herbisitlerin oluşturduğu toksik etkileri azaltıcı/iyileştirici etkilere sahip olduğu belirtilmektedir (Yaman ve Nalbantoğlu, 2019). Radwan ve ark. (2019) tarafından yer fıstığı ile yapılan çalışmada SA'nın herbisit ortaya çıkardığı oksidatif stresin azaltılmasına katkı sunduğu gösterildi. Wang ve ark. (2020) herbisit uygulamasının pirinç fidelerinde ortaya çıkardığı toksik etkiyi ve SA'nın iyileştirici etkilerini hiperspektral görüntüleme yöntemi ile gösterdi. Bir diğer çalışmada soya fasülyesinde herbisit uygulaması ile ortaya çıkan toksik etkilerin SA'nın askorbat peroksidaz ve glutatyon redüktaz aktivitelerinde sağladığı artış sayesinde azaldığı gösterildi (Li ve ark., 2020).

Bitkiler herbisitlerin oluşturabileceği zararlı toksik etkilerin giderilmesi için çeşitli metabolik süreçlere sahiptir. Sitokrom P450 gen ailesi ve glutatyon S tranferaz genleri etkinliği ile herbisitlerin detoksifikasyonu sağlanmaktadır (Hatzios, 2003; Baek ve ark., 2019; Obenland ve Riechers, 2020).

Detoksifikasyon işlemleri üç ardışık aşamada gerçekleşir: Faz I, hidroliz veya oksidasyonu içerir ve Faz II, endojen şekerler veya azaltılmış glutatyon (GSH) ile konjugasyonu içerir. Faz III'te konjugatlar vakuol içinde ayrıştırılır ve sitozolden dışarıya atılır. Detoksifikasyon süreci transkripsiyonel ve post translasyonel düzeyde belirli hatları ile bilinse de tam olarak aydınlatılamamıştır (Zhang ve ark., 2007; Riechers ve ark., 2010). Doymamış yağ asitlerinin oksitlenmesi ile oluşan oxylipin aracılı sinyal yollarının detoksifikasyon süreçlerinin indüklenmesinde önemli roller üstlendiği bilinmektedir (Mueller ve ark., 2008; Mosblech ve ark., 2009). Yine detoksifikasyon sürecinde rol alan sitokrom P450 genlerinin lipid biyosentezinde de önemli roller üstlendiği bilinmektedir. Doymamış yağ asidi biyosentezinde rol oynayan yolların detoksifikasyon sürecinde etkinliğinin artışı *FAD3* ve *FAD7* gen anlatım düzeyinde azalmaya neden olabilir. Herbisitlerin organizmada özellikle hücre zar yapısında ve hormon öncülleri olarak rol alan çoklu doymamış yağ asitlerinin miktarında azalmaya neden olduğunu gösteren çok sayıda çalışma bulunmaktadır (El-Sheekh ve ark., 1994; Filimonova ve ark., 2016a, 2016b; Demailly ve ark., 2019). Zhang ve ark. (2007) *Triticum tauschii* bitkisinde yaptıkları çalışmada herbisit uygulamasının bitki gelişimini sınırladığı ve yağ asidi metabolizmasındaki proteinlerin ifade düzeyinde azalmaya neden olduğunu ifade etmiştir. Bir diğer yaklaşım ise herbisitlerin *FAD3* ve *FAD7*'nin de rol aldığı yağ asidi metabolizmasında reseptör bölgesinde etkinliklerin artışına bağlı olarak bu genlerin anlatım düzeylerinde azalmaya neden olabileceğine işaret etmektedir (Hatzios ve Hoagland, 1989).

SONUÇ

PEN kullanımının *Carthamus tinctorius* L. Remzibey çeşidinde bitkisel yağ verimini azaltıcı etkiler ortaya koyabileceği, beslenme ve metabolizma açısından önemli ALA oluşumunda azalmaya neden olabileceği düşünülmektedir. SA, PEN'in yağ asidi metabolizmasında oluşturduğu olumsuz etkiyi azaltıcı rol üstlenebilir.

KAYNAKLAR

- Ahmad I, Ahmad A, Ahmad M, 2016. Binding properties of pendimethalin herbicide to DNA multispectroscopic and molecular docking approaches. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 18: 6476-6485.
- Ahmad MI, Potshangbam AM, Javed M, Ahmad M, 2020. Studies on conformational changes induced by binding of pendimethalin with human serum albumin. *Chemosphere*, 243: 1-11.
- Akbari GA, Heshmati S, Soltani E, Dehaghi MA, 2019. Influence of seed priming on seed yield, oil content and fatty acid composition of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) grown under water deficit. *International Journal of Plant Production*, 14: 245-258.
- Akbulut GB, 2019. Some biochemical changes in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) plant exposed to pendimethalin stress. *Harran Journal of Agricultural and Food Science*, 23: 90-98.
- Ali SM, Wasfi MA, 2016. Effect of pendimethalin and oxyfluorfen herbicides on relative water content in leaves of *Zea mays* L. seedlings. *Journal of Plant Production*, 7: 757-758.
- Amjad KW, Chun MH, Khan N, Iqbal A, Lyu SW, Shah F, 2017. Bioengineered plants can be a useful source of omega 3 fatty acids. *BioMed Research International*, 7348919: 1-9.
- Angelova VR, Perifanova-Nemska MN, Uzunova GP, Kolentsova EN, 2016. Accumulation of heavy metals in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *International Journal of Biological Biomolecular Agricultural Food and Biotechnological Engineering*, 10: 410-415.
- Arici M, Abudayyak M, Boran T, Özhan G, 2020. Does pendimethalin develop in pancreatic cancer induced inflammation. *Chemosphere*, 252: 1-6.
- Aronel V, Lemieux B, Hwang I, Gibson S, Goodman HM, Somerville CR, 1992. Map based cloning of a gene controlling omega 3 fatty acid desaturation in *Arabidopsis*. *Science*, 258: 1353-1355.

- Al-Chami Z, Amer N, Al-Bitar L, Cavoski I, 2015. Potential use of sorghum bicolor and *Carthamus tinctorius* in phytoremediation of nickel lead and zinc. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12: 3957-3970.
- Baek YS, Goodrich LV, Brown PJ, James BT, Moose SP, Lambert KN, Riechers DE, 2019. Transcriptome profiling and genome-wide association studies reveal GSTs and other defense genes involved in multiple signaling pathways induced by herbicide safener in grain Sorghum. *Frontiers in Plant Sciences*, 10(192): 1-15.
- Demaiilly F, Elfeky I, Malbezin L, Le-Guédard M, Eon M, Bessoule JJ, Feurtet-Mazel A, Delmas F, Mazzella N, Gonzalez P, 2019. Impact of diuron and s-metolachlor on the freshwater diatom gomphonema gracile complementarity between fatty acid profiles and different kinds of ecotoxicological impact endpoints. *Science of The Total Environment*, 688: 960-969.
- El-Awadi ME, Hassan EA, 2011. Improving growth and productivity of fennel plant exposed to pendimethalin herbicide stress recovery treatments. *Nature and Science*, 9: 97-108.
- El-Sheekh MM, Kotkat HM, Hammouda OHE, 1994. Effect of atrazine herbicide on growth photosynthesis protein synthesis and fatty acid composition in the unicellular green alga *Chlorella kessleri*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 29: 349-358.
- Filimonova V, Goncalves F, Marques JC, De-Troch M, Goncalves AMM, 2016a. Biochemical and toxicological effects of organic herbicide primextra® gold tz and inorganic copper compounds on zooplankton and phytoplankton species. *Aquatic Toxicology*, 177: 33-43.
- Filimonova V, Gonçaves F, Marques JC, De-Troch M, Gonçaves AMM, 2016b. Fatty acid profiling as bioindicator of chemical stress in marine organisms a review. *Ecological Indicators*, 67: 657-672.
- Hamed HS, El-Sayed YS, 2019. Antioxidant activities of *Moringa oleifera* leaf extract against pendimethalin induced oxidative stress and genotoxicity in Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus* L. *Fish Physiology and Biochemistry*, 45: 71-82.
- Hatzios KK, Hoagland RE, 1989. Crop safeners for herbicides. Academic Press Incorporation, pp. 70-89, California-USA.
- Hatzios KK, 2003. Herbicide safeners: Effective inducers of plant defense gene-enzyme systems. *Phytoparasitica*, 31: 1-5.
- Hoagland, DR, Arnon DI, 1950. The water culture method for growing plants without soil. Circular-The College of Agriculture University of California, Berkeley-California, 32 sy.
- Innis SM, 2008. Dietary omega 3 fatty acids and the developing brain. *Brain Research*, 1237: 35-43.
- Khyzhnyak SV, Midyk SV, Sysoliatin SV, Kovalenko VL, Ishchenko LM, Voitsitskiy VM, Yakubchak OM 2018. The content of fatty acids in the tissues of honey bees after feeding with herbicide. *Ukrainian Journal of Ecology*, 8: 51-54.
- Langaro AC, Agostinetto D, Ruchel Q, Garcia JR, Perboni LT, 2017. Oxidative stress caused by the use of preemergent herbicides in rice crops. *Revista Ciência Agronômica*, 48: 358-364.
- Lee WQ, Affandi ISM, Feroz SR, Mohamad SB, Tayyab S, 2017. Evaluation of pendimethalin binding to human serum albumin insights from spectroscopic and molecular modeling approach. *Journal of Biochemical and Molecular Toxicology*, 31: 1-9.
- Li Y, Huang L, Liu X, Li X, Tan H, 2020. Exogenous salicylic acid alleviates halosulfuron methyl toxicity by coordinating the antioxidant system and improving photosynthesis in soybean (*Glycine max* Merr.). *Acta Physiologiae Plantarum*, 42: 1-10.
- Liu F, Guo DD, Tu YH, Xue YR, Gao Y, Guo ML, 2016. Identification of reference genes for gene expression normalization in safflower (*Carthamus tinctorius*). *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 26: 564-570.
- Livak KJ, Schmittgen TD, 2001. Analysis of Relative Gene Expression Data Using RealTime Quantitative PCR and the $2^{-\Delta\Delta C_T}$ Method. *Methods*, 25: 402-408.
- Mosblech A, Feussner I, Heilmann I, 2009. Oxylipins: Structurally diverse metabolites from fatty acid oxidation. *Plant Physiology and Biochemistry*, 47(6): 511-517.

- Mueller S, Hilbert B, Dueckershoff K, Roitsch T, Krischke M, Mueller MJ, Berger S, 2008. General detoxification and stress responses are mediated by oxidized lipids through TGA transcription factors in Arabidopsis. *The Plant Cell*, 20:768-785.
- Namdjoyan S, Kermanian H, Soorki AA, Modarres-Tabatabaei S, Elyasi N, 2017. Interactive effects of salicylic acid and nitric oxide in alleviating zinc toxicity of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Ecotoxicology*, 26: 752-761.
- Namdjoyan S, Soorki AA, Elyasi N, Kazemi N, Simaei M, 2020. Melatonin alleviates lead induced oxidative damage in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) seedlings. *Ecotoxicology*, 29: 108-118.
- Nazari M, Mirlohi A, Majidi MM, 2017. Effects of drought stress on oil characteristics of *Carthamus* species. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 94: 247-256.
- Nogales-Delgado S, Encinar JM, González JF, 2019. Safflower biodiesel improvement of its oxidative stability by using BHA and TBHQ. *Energies*, 12: 1-13.
- Obenland OA, Riechers DE, 2020. Identification of chromosomes in *Triticum aestivum* possessing genes that confer tolerance to the synthetic auxin herbicide halauxifen-methyl. *Scientific Reports*, 10(8713): 1-10.
- Radwan DEM, Mohamed AK, Fayez KA, Abdelrahman AM, 2019. Oxidative stress caused by basagran® herbicide is altered by salicylic acid treatments in peanut plants. *Heliyon*, 5: 1-8.
- Rani A, Panwar A, Sathe M, Chandrashekhara KA, Kush A, 2018. Biofortification of safflower an oil seed crop engineered for ala targeting better sustainability and plant based omega 3 fatty acids. *Transgenic Research*, 27: 253-263.
- Riechers DE, Kreuz K, Zhang Q, 2010. Detoxification without intoxication: Herbicide safeners activate plant defense gene expression. *Plant Physiology*, 153: 3-13.
- Spormann S, Soares C, Fidalgo F, 2019. Salicylic acid alleviates glyphosate induced oxidative stress in *Hordeum vulgare* L. *Journal of Environmental Management*, 241: 226-234.
- Verma S, Srivastava A, 2018. Morphotoxicity and cytogenotoxicity of pendimethalin in the test plant *Allium cepa* L. a biomarker based study. *Chemosphere*, 206: 248-254.
- Wang J, Zhang C, Shi Y, Long M, Islam F, Yang C, Yang S, He Y, Zhou W, 2020. Evaluation of quinclorac toxicity and alleviation by salicylic acid in rice seedlings using ground based visible near infrared hyperspectral imaging. *Plant Methods*, 16: 1-16.
- Yaman M, Nalbantoğlu B, 2019. Investigation of the effects of the fenoxaprop-p-ethyl herbicide and salicylic acid on the ascorbic acid and vitamin B6 vitamers in wheat leaves. *Journal of Plant Growth Regulation*, 39: 729-737.
- Yüzbaşıoğlu E, Dalyan E, 2019. Salicylic acid alleviates thiram toxicity by modulating antioxidant enzyme capacity and pesticide detoxification systems in the tomato (*Solanum lycopersicum* Mill.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 135: 322-330.
- Zemour K, Labdelli A, Adda A, Dellal A, Talou T, Merah O, 2019. Phenol content and antioxidant and antiaging activity of safflower seed oil (*Carthamus tinctorius* L.). *Cosmetics*, 6: 1-11.
- Zhang Q, Xu F, Lambert KN, Riechers DE, 2007. Safeners coordinately induce the expression of multiple proteins and MRP transcripts involved in herbicide metabolism and detoxification in *Triticum tauschii* seedling tissues. *Proteomics*, 7: 1261-1278.