



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<http://dergipark.gov.tr/yyufbed>



Araştırma Makalesi

Atrazin ve Metolachlor' un Bazı Buğday (*Triticum aestivum* L.) Varyetelerinde Büyüme Parametreleri ve GST Aktivitesi Üzerine Etkileri

Songül ÇANAKCI GÜLENGÜL^{*1}, Fadime KARABULUT¹

¹ Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 23169, Elâzığ, Türkiye
Songül ÇANAKCI GÜLENGÜL, ORCID No:0000-0002-5731-6175, Fadime KARABULUT, ORCID No:0000-0001-5186-2303

* Sorumlu yazar e-posta: scanakci77@gmail.com

Makale Bilgileri

Geliş: 24.09.2020
Kabul: 24.02.2021
Yayınlanma Nisan 2021

Anahtar Kelimeler

Buğday
Triticum aestivum L.,
Atrazin,
Metolachlor,
Oksidatif Stres,
GST

Öz: Bu çalışmada, üç buğday varyetesine ait fidelerde, atrazin ve metolachlor herbisitlerinin farklı konsantrasyonlarının yarattığı toksik etkiye bağlı fizyolojik ve biyokimyasal değişiklikler araştırılmıştır. Bitki materyali olarak, *Triticum aestivum* L. türüne ait buğday Bayraktar, İkizce ve Tosunbey cv. tohumları kullanılmıştır. Her bir buğday varyetesi için 15 günlük fideler, aynı sayıda fideden oluşan 4 gruba ayrılmış ve adı geçen herbisitler her birine 4 farklı (0, 100, 300 ve 1000 μM) dozda uygulanmıştır. Fidelere yapılan tüm uygulamalar için hidroponik ortam tercih edilmiştir. Genel olarak, fidelerin büyüme parametrelerinde (kök-sürgün uzama büyümesinde, fide mg KA. g^{-1} TA) azalmaya sebep olmuştur. Yapraklarda; klorofil a+b miktarında atrazinde sadece bayraktar için artışa (100 μM) sebep olsa da, metolachlor her üç varyetede de artışa (100 μM ve 300 μM) sebep olmuştur. Bu konsantrasyonların dışında kalan tüm konsantrasyonlarda hep azalma olmuştur. Karotenoid miktarı ise her iki herbisit için, üç varyetede de azalmayla sonuçlanmıştır. Buğday yapraklarında GST aktivitesinde kontrole kıyasla; atrazin için bayraktar fidelerinde azalış, diğerlerinde ise artış tespit edilmiştir. Metolachlorda ise her üç varyetede artış olup en yüksek dozlarında da (1000 μM) azalış görülmüştür.

Effects of Atrazine and Metolachlor on Growth Parameters and GST Activity in Some Wheat (*Triticum aestivum* L.) Varieties

Article Info

Received: 24.09.2020
Accepted: 24.02.2021
Published April 2021

Keywords

Wheat
Triticum aestivum L.,
Atrazine,
Metolachlor,
Oxidative Stress,
GST

Abstract: In this study, physiological and biochemical changes due to toxic effects created by different concentrations of atrazine and metolachlor herbicides in seedlings of three wheat varieties were investigated. As plant material, wheat of the species *Triticum aestivum* L. Bayraktar, İkizce and Tosunbey cv. seeds were used. For each wheat variety, 15-day-old seedlings were divided into 4 groups consisting of the same number of seedlings, and the aforementioned herbicides were applied at 4 different (0, 100, 300 and 1000 μM) doses to each. Hydroponic environment was preferred for all applications on seedlings. In general, it caused a decrease in the growth parameters of the seedlings (root-shoot elongation growth, seedling mg KA. g^{-1} TA). On the leaves; Although chlorophyll a+b caused an increase in atrazine only for Bayraktar (100 μM), metolachlor caused an increase in all three varieties (100 μM and 300 μM). There was always a decrease in all concentrations outside of these concentrations. The amount of carotenoid were resulted in a decrease in all three varieties for both herbicides. GST activity in wheat leaves compared to the control; For atrazine, a decrease in Bayraktar seedlings and an increase in others were detected. Metolachlor, on the other hand, increased in all three varieties and decreased at the highest doses (1000 μM).

1. Giriş

Canlılar toksik bileşiklere maruz kalabilmektedir. Endüstriyel yaşam, doğal yaşamla birlikte birçok zehirli molekül oluşturmaktadır. Toksik moleküller metabolizmanın bozulmasına ve hücrenin ölmesine sebep olur. Canlılarda toksik moleküllerin etkisini azaltmak için detoksifikasyon sistemleri mevcuttur. Ksenobiyotiklerin enzimatik detoksifikasyonu üç farklı fazda gerçekleşmektedir. Faz I tepkimeleri yükseltgenme-indirgenme yani redoks tepkimeleri ve hidroliz reaksiyonları ile aktif grupları substrata ekleyerek, faz II tepkimelerine substrat hazırlar. Faz II konjugasyon sisteminde yer alan en önemli enzimlerden biri glutatyon S-transferazlardır. Faz III reaksiyonlarında faz II'de oluşan daha fazla suda eriyebilen nonpolar ksenobiyotikler ve dolayısıyla daha az toksik olan metabolitler elde edilirler (Sheehan ve ark., 2001). Herbisitlerin, kültür bitkisi tohumları veya yabancı ot tohumları tarafından çimlenme esnasında topraktan absorbe edildiği bilinmektedir. Fakat herbisitlerin çok yavaş hareket etmesi, kil ve topraktaki organik maddelere tutunması onların taşınmasını engellemektedir. Toprak uygun hale getirildikten sonra herbisit uygulanırsa, bitkiye alınımı artmaktadır. Ayrıca herbisitlerin etkisini kontrol altına almak ve çevreye zarar vermesini önlemek için çözültü içerisinde belli miktarda herbisit katılarak yapılmaktadır. Fakat uygulanan çözültü içerisinde herbisit az miktarda olması sebebi ile zararlı otlar tarafından yeterli miktarda alınmayıp, yer altı sularına karışabileceği de belirtilmektedir. Herbisitler yabancı ot verildiğinde daha etkili olması için katyon değişim kapasitesinin artırılması önemlidir. Katyon değişim kapasitesi arttıkça, herbisit toprağa daha fazla tutunmaktadır. Ayrıca toprak pH'ı 7'nin altında olduğunda çözültünün hidrojen iyonları (H⁺) artarak, herbisitler ile pozitif etkileşim sonucu asidik ortam oluşmaktadır ve herbisitlerde negatif halde toprağa tutunarak orada kalmaktadır. Diğer bir önemli etken olarak toprağın nemli olmasının gerekliliği belirtilmektedir. Çünkü kuru topraktaki herbisit toprakta tamamı ile çözünemeyip, toksik hale gelebileceği tespit edilmiştir. Herbisitler, mevsimsel süreçte uygulanmasa bile önceki dönemlerde toprakta bulunan herbisit kalıntılarını bitki bünyesine alabilmektedir (Güngör, 2005). Bu yüzden, herbisit oksidatif strese yol açan reaktif oksijen türlerin oluşumunu tetiklemektedir.

Alla & Hassan (1998), 6 ve 8 günlük mısır yapraklarına uygulanan metolachlor'un etkisi ile kuru ağırlıkta önemli bir azalma ve GSH (redükte glutatyon) içeriği ile GST (Glutatyon-S-transferaz) aktivitesinde ise artış olduğunu tespit etmişlerdir. Başka bir çalışmada, mısır bitkisinin kök ve yapraklarında, 18 µM racemic-metolachlor ve s-metolachlor sırası ile 80.6 ve 60.3 saat, 37.2 µM konsantrasyonda 119.5 ve 90 saat bekletilmiş ve 74.4 µM konsantrasyonda ise 169 ve 164.8 saat bekletilmiştir. Mısırın kök ve yapraklarının uzamasında herbisit konsantrasyon miktarı arttıkça azalma olduğu tespit edilmiştir (Xie ve ark., 2014). Stajner ve ark., (2003), marul, fasulye ve bezelye tohumlarında ve yapraklarında metolachlor'un etki ettiği pigment içeriği incelemişlerdir. Bu bitkiler, 0.2-200 µM arası konsantrasyonlarında 48 saat bekletilmiştir. Çalışma sonucunda ise pigment içeriğinde azalma olduğu görülmüştür. Yapılan bir diğer çalışmada, şeker pancarı tarımı yapılan alanda iki farklı deneme yapılmıştır. Birinci denemede; üç farklı dönemde alınan şeker pancarlarında metolachlorun ve atrazin en düşük dozlarında bile tohumların çimlenmesini engellediği gözlemlenmiştir. İkinci denemede ise; 30 günlük şeker pancarının yeşil aksamında ve köklerin yaş ve kuru ağırlıklarında azalış olduğu tespit edilmiştir (Demircioğlu, 2007). Zhang ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada; pirinç bitkisinin kök ve yapraklarına 4 gün boyunca farklı dozlarda atrazin uygulamışlardır. Toplam klorofil içeriğinde azalma görülmüştür. Kontrolde göre yaprak uzunluğunun % 67.1 azaldığı, kökte ise % 79.5 azalış olduğu tespit edilmiştir. Pirinç bitkisinin kök ve yaprak ağırlıklarında sırası ile % 48.9 ve % 79.8 azalma olduğu görülmüştür. Yapılan bir başka çalışmada ise; 10 günlük 2 farklı mısır bitkisine (*Zea mays* L. Hybrid 351 ve Giza 2) farklı dozda atrazin uygulanmış, 20. gün sonunda birçok parametrelere bakılmıştır. Mısır yapraklarının yaş ve kuru ağırlıklarında önemli derecede azalış olmuştur (Alla & Hassan, 2006). Marcacci ve ark. (2006) yaptıkları çalışmada, Deve otu (*Chrysopogon zizanioides*) ve mısır bitkisine 5. haftadan sonra 8 µM dozda atrazin uygulayarak 20 gün hidroponik ortamda bekletmişlerdir. Bu bitkilerin yaprak ve köklerinde GST enzim aktivitesinde artış olduğu görülmüştür. İbrahim ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada, mısır ve buğday bitkilerinde farklı konsantrasyonlarda atrazin uygulamışlar ve bitkilerin kök ve yaprak uzunluklarında azalış olduğunu tespit etmişlerdir. *Acorus calamus* (eğir otu), *Lythrum salicaria* (Kırmızı hevhulma) ve *Scirpus tabernaemontani* (yumuşak saplı saz) fideleri üzerine atrazin etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, bitki büyümesinde gecikme ve klorofil içeriğinde azalma olduğu bildirilmiştir (Wang ve ark., 2015).

Bu çalışmada, üç buğday varyetesine ait fidelerde atrazin ve metolachlor herbisitlerinin farklı konsantrasyonlarının oluşturduğu toksik etkiye bağlı olarak çeşitli büyüme parametreleri (fidelerin kök ve sürgün boyu, fidelerin kuru ağırlık miktarı) ve yapraklarda pigment analizi ve glutatyon-S-transferaz (GST) aktivitesinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Bitki materyaline yapılan uygulama

Çalışmanın ana materyali Bayraktar cv., İkizce cv. ve Tosunbey cv. Buğday varyetelerine ait tohumlardır. Fide yetiştirme aşamasına geçilmeden önce tamamen homojen olan tohumlar seçilmiş, musluk suyu ile ıslatılmış ve karanlıkta 6 saat 23-25 °C'de bekletilmiştir. Bu sürenin sonunda tohumlar hava alabilecekleri kapaklı çimlendirme kutularına dizilerek, 3 gün süreyle 23-25 °C'de karanlıkta çimlenmeye bırakılmıştır. Daha sonra radikula uzunlukları eşit büyüklükte olan çimlenmiş tohumlar seçilerek önceden hazırlanan sulu-toprak karışımıyla hazırlanan beherlere yerleştirilmiştir. Burada fideler uzun gün periyodunda (16/8) normal gün ışığında 15 günlük oluncaya kadar yetiştirilmiş ve 15 günlük fidelerden, tamamen homojen büyüyen fideler seçilerek çalışma materyali olarak kullanılmıştır. Her bir buğday varyetesi için 15 günlük fideler, aynı sayıda fideden (20 'şerli) oluşan 4 gruba ayrılmış ve herbisitlerin 4 farklı dozu uygulanmıştır. Herbisitler, fidelere hidroponik yöntem kullanılarak uygulanmıştır. Fidler atrazin ve metolachlor ile hazırlanan farklı doz (0, 100 µM, 300 µM ve 1000 µM) konsantrasyonlara 1 gün boyunca maruz bırakılmıştır. Bütün bu farklı doz herbisit uygulamaları, eş zamanlı olarak farklı fidelere yapılmıştır. Daha sonra farklı herbisit uygulanan fidelere ait çeşitli büyüme parametreleri (kök, sürgün boyu ve kuru ağırlıkları) tespit edilmiş ve yapraklarda pigment analizi yapılmıştır.

2.2. Fidelerin büyüme parametreleri ve GST aktivitesi

Büyüme parametreleri ve pigment analizleri (Witham ve ark., 1971)' na göre yapılmıştır. Glutathion-S-transferaz aktivitesi 100 mM potasyum fosfat tamponu (pH 6.5), 1 mM 1-kloro-2,4-dinitrobenzen (CDNB) ve 1 mM GSH 340 nm'de aktivitesi ölçülerek belirlenmiştir. Böylece 100 mM potasyum fosfat tamponu (pH 6.5) ihtiva eden kuartz deney tüplerine GSH ve CDNB eklenip ve reaksiyon doku örneklerinin ilavesiyle absorban ölçümleri başlatılmıştır (Bell ve ark., 1985). Spesifik aktivite 9.6 mM⁻¹ cm⁻¹ ekstinksiyon katsayısı kullanılarak belirlenmiştir. Tüm fizyolojik ve biyokimyasal analizler her uygulama için üç kez tekrarlanmış ve her analiz için 3 g yaprak dokusu kullanılmıştır.

2.3. İstatistiksel analizler

Sonuçlar, tek yönlü ANOVA (SPSS 15.0 Değerlendirme Sürümü Üretim Modu Olanak) kullanılarak analiz edildi. Uygulamalar arasındaki fark p<0.01-0.05'te önemli kabul edildi. Ortalamaları karşılaştırmak için ise Duncan testi yapılmıştır.

3. Bulgular

3.1. Büyüme parametreleri

Fidelere yapılan uygulamaların kök ve yapraktaki büyüme parametreleri üzerine etkileri incelendiğinde, genelde kontrol grubu fidelerine kıyasla atrazin ve metolachlor uygulanan bütün gruplarda istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir.

Atrazin herbisiti ile uygulama yapılan fidelerin kök uzunluklarında kontrole kıyasla; Bayraktar buğdayda 100 µM, 300 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarında sırasıyla, %75.93, %79.62 ve %87.04 oranlarında azalma tespit edilmiştir. İkizce buğdayda 100 µM, 300 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarında sırasıyla, %97.56, %68.29 ve %95.12 oranlarında azalma olduğu belirlenmiştir. Tosunbeyde ise 100 µM, 300 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarında sırasıyla, %45.61 azalma, %12.28 ve %17.54 oranlarında artış tespit edilmiştir (P≤0.05) (Çizelge 1).

Metolachlor herbisiti ile uygulama yapılan fidelerin kök uzunluklarında kontrole kıyasla; Bayraktar buğdayda 100 µM, 300 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarında sırasıyla, %97.97, %92.89 ve %82.74 oranlarında azalma tespit edilmiştir. İkizce buğdayda 100 µM, 300 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarında sırasıyla, %77.42, %67.74 ve %54.84 oranlarında azalma olduğu belirlenmiştir. Tosunbeyde 100 µM, 300 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarında sırasıyla, %81.82, %4.55 ve %22.73 oranlarında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0.05$) (Çizelge 2).

Atrazin herbisiti ile uygulama yapılan fidelerin sürgün uzunluklarında kontrole kıyasla; Bayraktar buğdayda 100 µM, 300 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarında sırasıyla; %80, %37.5 ve %95 oranlarında azalma tespit edilmiştir. İkizce buğdayda 100 µM, 300 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarında sırasıyla, %18.75, %96.87 ve %93.75 oranlarında azalma olduğu belirlenmiştir. Tosunbey buğdayda ise; 100 µM, 300 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarında sırasıyla, %66.67, %78.79 ve %78.79 oranlarında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0.05$) (Çizelge 1).

Metolachlor herbisiti ile uygulama yapılan fidelerin sürgün uzunluklarında kontrole kıyasla; Bayraktar buğdayda 100 µM, 300 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarında sırasıyla, %80.39, %90.20 ve %90.20 oranlarında azalma tespit edilmiştir. İkizce buğdayda 100 µM, 300 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarında sırasıyla, %4.17, %95.83 ve %91.67 oranlarında azalma olduğu belirlenmiştir. Tosunbey buğdayda ise; 100 µM, 300 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarında sırasıyla, %97.5, %70 ve %92.5 oranlarında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0.05$) (Çizelge 2).

Atrazin herbisiti ile uygulama yapılan fidelerde kuru ağırlık miktarları (mg KA. g⁻¹ TA) kontrole kıyasla; Bayraktar buğdayda 100 µM, 300 µM, 1000 µM konsantrasyonlarında sırasıyla, %10.67, %11.24 ve %24.77 oranlarında azalma tespit edilmiştir. İkizce buğdayda 100 µM, 300 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarında sırasıyla, %1.91, %13.95 ve %23 oranlarında azalma olduğu belirlenmiştir. Tosunbey buğdayda ise; 100 µM, 300 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarında sırasıyla, %3.80, %16.30 ve %30.15 oranlarında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0.05$) (Çizelge 1).

Metolachlor herbisiti ile uygulama yapılan fidelerde kuru ağırlık miktarları (mg KA.g⁻¹ TA) kontrole kıyasla; Bayraktar buğdayda 100 µM, 300 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarında sırasıyla, %16.42, %29.85 ve %49.83 oranlarında azalma tespit edilmiştir. İkizce buğdayda 100 µM, 300 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarında sırasıyla, %23.21, %31.10 ve %36.46 oranlarında azalma olduğu belirlenmiştir. Tosunbey buğdayda ise; 100 µM, 300 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarında sırasıyla, %10.88, %28.53 ve %43.22 oranlarında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0.05$) (Çizelge 2).

3.2. Klorofil (a+b) ve Karotenoid Miktarındaki Değişiklikler

Fidelere yapılan uygulamaların yaprakta klorofil (a+b) miktarı üzerine etkileri incelendiğinde, kontrol grubu fidelerine kıyasla; atrazin ve metolachlor herbisitlerinin uygulandığı bütün gruplarda istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir.

Metolachlor herbisiti ile uygulama yapılan fidelerin yapraklarında fotosentetik pigment üzerine etkisinin kontrole kıyasla; Bayraktar buğdayda; 100 µM, 300 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarında sırasıyla, %3.85, %4.29 ve %17.07 oranlarında artış tespit edilmiştir. İkizce buğdayda; 100 µM, 300 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarında sırasıyla; %6.17 artış, %4.77 artış ve %8.75 oranlarında azalma olduğu belirlenmiştir. Tosunbey buğdayda ise; 100 µM, 300 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarında sırasıyla, %16.98 artış, %14.05 artış ve %6.59 oranlarında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0.05$) (Çizelge 2).

Atrazin herbisiti ile uygulama yapılan fidelerin yapraklarında fotosentetik pigment üzerine etkisinin kontrole kıyasla; Bayraktar buğdayda 100 µM, 300 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarında sırasıyla, %18.75 artış, %3.41 artış ve %3.19 oranlarında azalma tespit edilmiştir. İkizce buğdayda; 100 µM, 300 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarında sırasıyla, %14.61, %17.72 ve %15.86 oranlarında azalma olduğu belirlenmiştir. Tosunbey buğdayda ise; 100 µM, 300 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarında sırasıyla, %2.86, %6.06 ve %9.46 oranlarında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0.05$) (Çizelge 1).

Karotenoid miktarları için; atrazin herbisitiyle uygulama yapılan fidelerin yapraklarında kontrole kıyasla; Bayraktar buğdayda 100 µM, 300 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarında sırasıyla, %1.18, %8.25 ve %21.41 oranlarında azalma tespit edilmiştir. İkizce buğdayda; 100 µM, 300 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarında sırasıyla, %0.21 artış, %3.35 ve %6.29 oranlarında azalma olduğu belirlenmiştir. Tosunbey buğdayda ise; 100 µM, 300 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarında sırasıyla, %0.75, %2.07 ve %6.02 oranlarında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0.05$) (Çizelge 1).

Karotenoid miktarları için; metolachlor herbisitiyle uygulama yapılan fidelerin yapraklarında kontrole kıyasla, Bayraktar buğdayda 100 µM, 300 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarında sırasıyla, %1.26, %0.25 ve %4.52 oranlarında azalma tespit edilmiştir. İkizce buğdayda; 100 µM, 300 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarında sırasıyla, %5.91, %8.10 ve %12.69 oranlarında olduğu belirlenmiştir. Tosunbey buğdayda ise; 100 µM, 300 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarında sırasıyla, %3.92, %11.18 ve %17.06 oranlarında azalma tespit edilmiştir ($P \leq 0.05$) (Çizelge 2).

3.3. Glutatyon-S-Transferaz enzim aktivitesindeki değişiklikler

GST aktivitesi için; atrazin herbisitiyle uygulama yapılan fidelerin yapraklarında kontrole kıyasla; Bayraktar buğdayda 100 µM, 300 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarında sırasıyla, %11.9, %19.35 ve %30.76 oranlarında azalma tespit edilmiştir. İkizce buğdayda; 100 µM, 300 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarında sırasıyla, %63.75, %71.18 ve %87.01 oranlarında artış olduğu belirlenmiştir. Tosunbey buğdayda ise; 100 µM, 300 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarında sırasıyla, %25.31, %42.38 ve %60.34 oranlarında artış tespit edilmiştir ($P \leq 0.05$) (Çizelge 1).

GST aktivitesi için; metolachlor herbisitiyle uygulama yapılan fidelerin yapraklarında kontrole kıyasla, Bayraktar buğdayda 100 µM, 300 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarında sırasıyla, %10.32 artış, %19.85 artış ve %10.21 azalış tespit edilmiştir. İkizce buğdayda; 100 µM, 300 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarında sırasıyla, %21.45 artış, %27.3 artış ve %13.53 oranlarında azalış olduğu belirlenmiştir. Tosunbey buğdayda ise; 100 µM, 300 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarında sırasıyla, %15.08 artış, %29.47 artış ve %21.33 azalış oranları tespit edilmiştir ($P \leq 0.05$) (Çizelge 2).

Çizelge 1. Atrazin *Triticum aestivum* L. Bayraktar cv., İkizce cv. ve Tosunbey cv. fidelerinde kök- sürgün uzunluğu, kuru ağırlık, fotosentetik pigment miktarları ve GST aktivitesine etkileri

Gruplar (Atrazin)	Fide büyümesi (mm/cm ⁻¹)		Kuru ağırlık (mg Ka/g ⁻¹ Ta)	Klorofil (a+b) (mg.g ⁻¹ Ta)	Karotenoid (mg.g ⁻¹ Ta)	GST aktivitesi (EU/ml)
	Kök	Sürgün				
B-Kontrol	0.054±0.013	0.040±0.004	0.872±0.003	1.349±0.058	0.509±0.001	44.773±2.352
B-100	0.013±0.017*	0.008±0.007*	0.779±0.012*	1.602±0.140*	0.503±0.003	39.443±1.068
B-300	0.011±0.015*	0.025±0.003*	0.744±0.018*	1.395±0.016	0.467±0.017*	36.110±1.312*
B-1000	0.007±0.014*	0.002±0.005*	0.656±0.026*	1.306±0.016	0.400±0.000*	31.00±0.577*
İ-Kontrol	0.041±0.006	0.032±0.003	0.839±0.013	1.608±0.122	0.477±0.001	35.827±2.312
İ-100	0.001±0.008*	0.026±0.007	0.823±0.008	1.373±0.016*	0.478±0.002	58.667±4.349*
İ-300	0.013±0.009*	0.001±0.016*	0.722±0.011*	1.323±0.016*	0.461±0.002*	61.333±4.072*
İ-1000	0.002±0.016*	0.002±0.005*	0.646±0.035*	1.353±0.055*	0.447±0.001*	67.00±3.273*
T-Kontrol	0.057±0.005	0.033±0.001	0.816±0.021	1.469±0.016	0.532±0.002	18.600±1.540
T-100	0.031±0.009*	0.011±0.007*	0.785±0.012	1.427±0.016	0.528±0.002	23.307±1.258
T-300	0.064±0.008*	0.007±0.009*	0.683±0.014*	1.380±0.016*	0.521±0.002*	26.483±1.443*
T-1000	0.067±0.007*	0.007±0.004*	0.570±0.030*	1.330±0.017*	0.500±0.000*	29.823±1.864*

*:Kontrole kıyasla olasılık seviyesi $p \leq 0.05$. Değerler, üç tekrarın ortalamasıdır, Bayraktar: B, İkizce: İ, Tosunbey: T, K: Kontrol

Çizelge 2. Metolachlorun *Triticum aestivum* L. Bayraktar cv., İkizce cv. ve Tosunbey cv. fidelerinde kök-sürgün uzunluğu, kuru ağırlık, fotosentetik pigment miktarları ve GST aktivitesine etkileri

Gruplar (Metolachlor)	Fide büyümesi (mm/cm ⁻¹)		Kuru ağırlık (mg Ka/g ⁻¹ Ta)	Klorofil (a+b) (mg.g ⁻¹ Ta)	Karotenoid (mg.g ⁻¹ Ta)	GST aktivitesi (EU/ml)
	Kök	Sürgün				
B-Kontrol	0.197±0.128	0.051±0.013	0.871±0.008	1.142±0.003	0.398±0.006	23.680±0.746
B-100	0.004±0.011*	0.010±0.007*	0.728±0.022*	1.186±0.004*	0.393±0.003	26.123±1.097
B-300	0.014±0.016*	0.005±0.006*	0.611±0.037*	1.191±0.003*	0.397±0.001	28.380±0.375*
B-1000	0.034±0.016*	0.005±0.006*	0.437±0.024*	1.337±0.002*	0.380±0.000*	21.263±0.748
İ-Kontrol	0.031±0.014	0.024±0.003	0.672±0.038	1.280±0.003	0.457±0.003	22.453±1.202
İ-100	0.007±0.011	0.023±0.009	0.516±0.036*	1.359±0.002*	0.430±0.000*	27.270±0.581*
İ-300	0.010±0.011	0.001±0.009*	0.463±0.031*	1.341±0.002*	0.420±0.000*	28.583±0.330*
İ-1000	0.014±0.005	0.002±0.006*	0.427±0.021*	1.168±0.003*	0.399±0.000*	19.416±0.736*
T-Kontrol	0.022±0.030	0.040±0.006	0.708±0.044	1.260±0.008	0.510±0.000	24.716±1.303
T-100	0.004±0.021	0.001±0.011*	0.631±0.049	1.474±0.002*	0.490±0.000*	28.443±0.802*
T-300	0.021±0.015	0.012±0.007*	0.506±0.019*	1.437±0.002*	0.453±0.003*	32.003±0.881*
T-1000	0.017±0.009	0.003±0.003*	0.402±0.018*	1.177±0.004*	0.423±0.001*	19.443±1.660*

*:Kontrolle kıyasla olasılık seviyesi p≤0.05. Değerler, üç tekrarın ortalamasıdır, Bayraktar: B, İkizce: İ, Tosunbey: T, K: Kontrol

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, buğday fideleri üzerinde atrazin ve metolachlor adlı herbisitlerin farklı konsantrasyonlarının yol açtığı sorunlar araştırılmıştır. Büyüme parametrelerinden kök uzunluğu üzerindeki inhibitif etkinin atrazin herbisiti için İkizce varyetesinde, metolachlor uygulandığı da ise, Bayraktar varyetesinde daha belirgin olduğu tespit edilmiştir (Wang ve ark., 2015; Fayez & Kristen, 1995; Xie ve ark., 2014; Zhang ve ark., 2014; İbrahim ve ark., 2013; Fayez & Kristen, 1995). Tosunbey varyetesinde artış görülerek daha dirençli olduğu tespit edilmiştir. Buğday fidelerinin sürgün uzunluğu üzerinde, metolachlor uygulamasının özellikle Tosunbey de çok etkili büyüme gecikmelerine yol açtığı tespit edilmiştir (Xie ve ark., 2014; Wang ve ark., 2015; Kaya & Doğanlar, 2016). Atrazin ise, İkizce varyetesinde daha inhibitif etki göstermiştir (Zhang ve ark., 2014; İbrahim ve ark., 2013). Buğday fidelerinde kuru ağırlık miktarları bakımından; atrazin herbisiti özellikle Tosunbey varyetesinde anlamlı bir azalmaya yol açmıştır (Alla & Hassan, 2006; Santos & Silva, 2015). Metolachlor'da ise, Bayraktarda daha anlamlı bir azalma görülmüştür (Alla & Hassan, 1998; Demircioğlu, 2007; Santos & Silva, 2015). Herbisitlerin neden olduğu karotenoid içeriğindeki azalma ve stomatal kapanma, ksantofillerin (karotenoidler) absisik asit (ABA) biyosentezine bölünmesiyle açıklanabilir. Oksin-mimetik herbisitler, yaprakların epinastisine neden olmanın yanı sıra, absisik asit (ABA) biyosentezini uyaran etilen biyosentezini uyarır, bu da bitkilerin büyümesini engelleyerek stomaların kapanmasına neden olarak CO₂ asimilasyonunu ve dolayısıyla biyokütle üretimini sınırlamaktadır (Agostinetto ve ark., 2016). Bitkilerin klorofil içeriği, strese maruz kaldığında değişime uğramaktadır. Burada klorofil içeriğinin azalış nedeni herbisitler tarafından teşvik edilen oksidatif strestir. Çünkü stres şartları altında klorofilaz enzimi ile klorofil yıkımı artmaktadır (Kaya & Doğanlar, 2016). Herbisit uygulaması fotoinhibisyon ile fotosistemde önemli fotodinamik hasarlara yol açmakta ve fotosentez verimini düşürmektedir. Klorofil (a+b) miktarları bakımından; atrazinde en fazla İkizce buğday varyetesinde anlamlı azalmalara yol açmıştır (Zhang ve ark., 2014; Santos ve Silva, 2015; Wang ve ark., 2015; Kaya & Doğanlar, 2016; Fayez, 2000; Kraus ve ark., 1995; Wang & Zhou, 2006). Metolachlor herbisitinde ise, İkizce ve Tosunbey buğdaylarında en yüksek konsantrasyonda azalma görülürken, diğer konsantrasyonlarda artma görülmüştür (Stajner ve ark., 2003; Santos & Silva, 2015; Wang ve ark., 2015; Kaya & Doğanlar, 2016; Fayez, 2000; Kraus ve ark., 1995; Wang & Zhou, 2006). Buğday fidelerinde karotenoid miktarları

bakımından; atrazin herbisitinden en fazla Bayraktar buğdayda, metolachlor herbisitinden ise en fazla Tosunbey buğdayı etkilenmiş, yani pigment yıkımı artmıştır (Santos & Silva, 2015; Kraus ve ark., 1995; Stajner ve ark., 2003; Santos & Silva, 2015; Kraus ve ark., 1995). Makroskobik anlamda söz konusu herbisitlerin uygulandığı fidelerin yapraklarında nekrozis ve klorozis yoğun bir şekilde gözlenmiş, özellikle köklerde doku yıkımlarına bağlı yumuşamalar rapor edilmiştir. Karotenoidler, oksidatif hasara karşı bir kalkan-koruma mekanizması olarak rol oynamaktadır. Kloroplastta bulunan karotenoidler, fotooksidasyon riskine karşı klorofilleri serbest radikallere karşı korumaktadır. Bunu serbest radikaller ile bizzat reaksiyona girerek yapmaktadırlar. Fotonu alarak uyarılan klorofil molekülleri oksijen, singlet oksijen şekli, süperoksit anyonu, hidroksil radikalleri ve hidrojen peroksit ile reaksiyona girmektedir. Bu durum özellikle hücrede ve zar sistemlerinde bulunan lipit türevi bileşiklere zarar vermektedir. Böylece, bu pigmentler stresten dolayı oksidatif hasara uğramaktadır (Santos & Silva, 2015).

Buğday fidelerinin yapraklarında GST aktivitesinde kontrole kıyasla; atrazin için bayraktar fidelerinde azalış, diğerlerinde ise artış tespit edilmiştir (Marcacci ve ark., 2006; Buono & Ioli, 2011). Metolachlorda ise her üç varyetede artış olup (Marcacci ve ark., 2006), en yüksek dozlarında da (1000 µM) azalış görülmüştür (Buono & Ioli, 2011). GST'ler, canlıları sitotoksik elektrofilik kimyasallara karşı koruyan ve oksidatif strese karşı uyumu sağlayan dinamik, interaktif bir savunma mekanizmasının önemli parçalarıdır ve ksenobiyotiklerin biyotransformasyonunda önemli işlevlere sahiptirler (Hee-Joong ve ark., 2005). GST'ler, hassas yabancı otlara göre herbisit detoksifikasyonunda yer alan daha yüksek seviyelerde izoenzim içeren toleranslı ürün ile seçicilikte ana belirleyiciler olabilmektedir (Hatton ve ark., 1998).

Sonuç olarak, bitkilerde doğal olarak sentezlenmeyen atrazin ve metolachlor herbisitlerinin çok düşük konsantrasyonlarda dahi buğday bitkisi için toksik olduğu tespit edilmiştir. Keza atrazin ve metolachlorun toprakta nem düzeyi, buharlaşma ve güneşlenme durumu, organik madde miktarı ve tekstürüne bağlı olarak kalıntı miktarlarının buğdaya fitotoksik düzeylerde olabileceği unutulmamalıdır. Bunu önlemek için de söz konusu herbisitlerin ruhsatlı olduğu tavsiye dozlarında uygulanması büyük önem arz etmektedir. Sıklıkla yapılan bu hatanın temelinde ise çiftçilerimizin bilinçsiz olarak herbisit uygulaması yapmaları yatmaktadır. Bu konuda yeni yapılacak çalışmaların da konunun tam olarak anlaşılmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Teşekkürler

Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) birimine katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

Kaynakça

- Agostinetto, D., Perboni, L. T., Langaro, A. C., Gomes, J., Fraga, D. S., & Franco, J. J. (2016). Changes in photosynthesis and oxidative stress in wheat plants submitted to herbicides application. *Planta Daninha*, 34(1), 1-9. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582016340100001>
- Alla, M. M. N., & Hassan, N. M., (1998). Efficacy of exogenous GA3 and herbicide safeners in protection of Zea mays from metolachlor toxicity, *Plant Physiology Biochemistry*, 36(11),809-815.
- Alla, M. M. N., & Hassan, N. M., (2006). Changes of antioxidants levels in two maize lines following atrazine treatments, *Plant Physiology and Biochemistry*, 44: 202-210.DOI: 10.1016/j.plaphy.2006.05.004
- Bell, J. G., Cowey, C. B., Adron, J. W., & Shanks, A. M. (1985). Some effects of vitamin E and selenium deprivation on tissue enzyme levels and indices of tissue peroxidation in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *British Journal of Nutrition*, 53: 149–157. DOI: 10.1079/bjn19850019
- Buono, D. D., & Ioli, G. (2011). Glutathione S-Transferases of Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*): activity toward some chemicals, safener modulation and persistence of atrazine and fluorodifen in the shoots, *Journal Agriculture Food Chemistry*, 59, 1324–1329. DOI: [10.1021/jf1043713](https://doi.org/10.1021/jf1043713)
- Demircioğlu, A., (2007). *Mısırdaki kullanılan bazı herbisitlerin şekerpancarında fitotoksik etkilerinin araştırılması*, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Fayez, K., A. & Kristen, U., (1995). The influence of herbicides on the growth and proline content of primary roots and on the ultrastructure of root caps, *Environmental and Experimental Botany*, 36,71-81.

- Fayez, K., A., (2000). Action of photosynthetic diuron herbicide on cell organelles and biochemical constituents of the leaves of two soybean cultivars, *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 66,105-115.
- Güngör, M., (2005). *Investigating the importance of chemical weeding in maize cultivation areas in the city of Adana and the emerging problems*, postgraduate thesis, Çukurova University, Institute of Science, Adana.
- Hatton, P. J., Cummins, I., Price L. J., Cole D. J., & Edwards R., (1998). Glutathione transferases and herbicide detoxification in suspension-cultured cells of giant foxtail (*Setaria faberi*), *Pesticide Science*, 53, 209-216.
- Hee-Joong, P., Hyun-Young, C. & Kwang-Hoon, K., (2005). Purification and biochemical properties of Glutathione S-Transferase from *Lactuca sativa*. *Journal of Biochemistry and Molecular Biology*, Vol. 38, No. 2, 232-237. DOI : <http://dx.doi.org/10.5483/BMBRep.2005.38.2.232>
- İbrahim, S. İ., Abdel-Lateef, M. F., Khalifa, H. M. S. & Abdel-Monem, A. E., (2013). Phytoremediation of atrazine-contaminated soil using *Zea mays* (maize), *Annals of Agricultural Science*, 58(1), 69-75. DOI: [10.1016/j.aogas.2013.01.010](https://doi.org/10.1016/j.aogas.2013.01.010)
- Kaya, A. & Doğanlar, Z., B., (2016). Exogenous jasmonic acid induces stress tolerance in tobacco (*Nicotiana tabacum*) exposed to imazapic, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 124,470-479. DOI: [10.1016/j.ecoenv.2015.11.026](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.11.026)
- Kraus, T., E., Mckersie, B., D. & Fletcher, R., A., (1995). Paclobutrazol-induced tolerance of wheat leaves to paraquat may involve increased antioxidant enzyme activity, *Journal Plant Physiology*, 145,570-576.
- Marcacci, S., Raveton, M., Ravanel, P. & Schwitzguebel, J.-P., (2006). Conjugation of atrazine in vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) grown in hydroponics, *Environmental and Experimental Botany*, 56, 205-215. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.02.004>
- Santos, C. M., & Silva, M.A., (2015). Physiological and biochemical responses of sugarcane to oxidative stress induced by water deficit and paraquat, *Acta Physiol. Plant*, 37, 172. <https://doi.org/10.1080/09291016.2019.1587838>
- Sheehan, D., Meade, G., Foley, V.M., & Dowd, C. A., (2001). Structure, function and evolution of glutathione transferases: implications for classification of nonmammalian members of an ancient enzyme superfamily. *Biochemistry Journal*,360,1- 6. doi: [10.1042/0264-6021:3600001](https://doi.org/10.1042/0264-6021:3600001)
- Stajner, D., Popovic, M., & Stajner, M., (2003). Herbicide induced oxidative stress in lettuce, beans, pea seeds and leaves, *Biologia Plantarum*, 47 (4): 575-579. DOI: [10.1023/B:BIOP.0000041064.04385.c7](https://doi.org/10.1023/B:BIOP.0000041064.04385.c7)
- Wang, M., & Zhou, Q., (2006). Effects of herbicide chlorimuron-ethyl on physiological mechanisms in wheat (*Triticum aestivum*), *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 64, 190-197. DOI: [10.1016/j.ecoenv.2005.03.032](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2005.03.032)
- Wang, Q., Que, X., Zheng, R., Pang, Z., Li, C., & Xiao, B., (2015). Phytotoxicity assessment of atrazine on growth and physiology of three emergent plants, *Environmental Science Pollution Research*, 22,9646-9657.
- Witham, F., H., Blaydes, D., F., & Dewlin, R., M., (1971). *Experiments in Plant Physiology New york*, Von Nonstrand Reinhold Company, 55-56.
- Xie, F., Liu, H. J., & Cai, W.D., (2014). Enantioselectivity of racemic metolachlor and S-metolachlor in maize seedlings, *Journal of Environmental Science and Health Part B: Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, 45, 774-782. <https://doi.org/10.1080/03601234.2010.515173>
- Zhang, J. J., Lu, Y. C., Zhang, J. J., Tan, L. R. Yang, H., (2014). Accumulation and toxicological response of atrazine in rice crops, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 102, 105-112 DOI: [10.1016/j.ecoenv.2013.12.034](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.12.034)