

## Endüstriyel amaçlı kullanılan bazı boyar maddelerin mutajenik etkilerinin *Drosophila* kanat benek testi ile *in vivo* olarak belirlenmesi

Hatice Çelik<sup>1</sup> , Handan Uysal<sup>2\*</sup> 

<sup>1</sup>Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, Türkiye

<sup>2</sup>Atatürk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Erzurum, Türkiye

\*Corresponding author : [hauysal@atauni.edu.tr](mailto:hauysal@atauni.edu.tr)  
Orcid No: <https://orcid.org/0000-0002-4290-8223>

Received : 18/10/2023  
Accepted : 05/11/2023

**Özet:** Sentetik boyar maddeler tekstil, kozmetik, gıda, mobilya, ilaç ve otomotiv endüstrisi gibi yaygın kullanım alanları nedeniyle ticari öneme sahip endüstriyel ürünlerdir. Birçok ülkede kullanılan bu boyaların yaklaşık 10.000 çeşidi bulunmaktadır. Yıllık 700.000 ton üretim hacmine sahip olan boyar maddeler, tüm endüstriyel atık miktarının önemli bir kısmını (1/5) oluşturmaktadırlar. Tekstil endüstrisine ait deşarjların tarım alanlarına ve su kaynaklarına karışması toprak gözeneklerinin tıkanıp verimin düşmesine, içme ve sulama suyunun insan tüketimi için elverişsiz hale gelmesine neden olmaktadır. Bu çalışmada üç farklı tekstil boyasının (Süperfix Black NNX (SBNNX), Syanacryl Black XFDL (SBXFDL) ve Reaktif Blue 19 (RB19) mutajenik ve rekombinojenik etkileri *in vivo* olarak *Drosophila* kanat benek testi ile belirlenmiştir. Bu amaçla distile su negatif ve EMS pozitif kontrol grupları hazırlanmıştır. Ayrıca uygulama grupları için de farklı dozlarda her üç tekstil boyası (150, 300 ve 450 ppm) kullanılmıştır. Elde edilen verilere göre, tüm tekstil boyaları hem mutajenik hem de rekombinojenik etkili bulunmuştur. Uygulama gruplarına ait veriler, distile su kontrol grubu ile karşılaştırıldığında aralarındaki fark istatistiki olarak anlamlıdır ( $p < 0,05$ ). Kullanılan boyaların genotoksitesi için de dominansi sırası SBNNX > SBXFDL > RB19 olarak belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** model organizma, somatik mutasyon, tekstil boyası

### *In vitro* determination of the mutagenic effects of some dyestuffs used for industrial purposes using the *Drosophila* wing spot test.

**Abstract:** Synthetic dyes are industrial products of commercial importance due to their widespread use in the textile, cosmetics, food, furniture, pharmaceutical and automotive industries. There are approximately 10.000 types of these paints used in many countries. With an annual production volume of 700.000 tons, dyestuffs constitute a significant portion (1/5) of all industrial waste. The mixing of the discharges from the textile industry into agricultural areas and water resources causes the soil pores to become clogged, resulting in a decrease in productivity and making drinking/irrigation water unsuitable for human consumption. In this study, the mutagenic and recombinogenic effects of three different textile dyes (Superfix Black NNX (SBNNX), Syanacryl Black XFDL (SBXFDL) and Reactive Blue 19 (RB19) were determined *in vivo* by *Drosophila* wing spot test. For this purpose, distilled water negative and EMS positive control groups were prepared. In addition, different doses of all three textile dyes (150, 300 and 450 ppm) were used for the application groups. According to the data obtained, all textile dyes were found to be both mutagenic and recombinogenic. When the data of the application groups are compared with the distilled water control group, the difference between them is statistically significant ( $p < 0.05$ ). For the genotoxicity of the dyes used, the dominance order was determined as SBNNX > SBXFDL > RB19.

**Keywords:** model organism, somatic mutation, textile dye

\*Bu makale Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Ana Bilim dalında, Prof. Dr. Handan UYSAL danışmanlığında hazırlanmış olan Hatice ÇELİK'in " *Drosophila* kanat hücrelerinde bazı sentetik tekstil boyalarına bağlı mitotik rekombinasyonların *in vivo* olarak belirlenmesi " isimli yüksek lisans tezinden çıkarılmıştır.

## 1.Giriş

Yaşadığımız dünya düzeninde hızlı değişimin ve küreselleşmenin getirdiği rekabete ayak uydurabilmenin en önemli etkeni teknolojidir. Dünya nüfusundaki artışa paralel olarak teknolojinin ilerlemesiyle sanayi kuruluşları, fabrikalar ve diğer endüstriyel üretimlerde de artış söz konusudur. Türkiye ise sanayisi gelişmekte olan bir ülkedir ve son yıllarda Türkiye'de sanayinin hızla gelişmesine paralel olarak tekstil endüstrisinde de dev adımlar atılmaktadır (Mercimek 2007). Tekstil ve hazır giyim sektörü, elyaf ve ipliği kullanım eşyasına dönüştürecek süreçleri kapsayan işlemleri içermektedir (Sarıoğlu ve Kayadibi 2012). Tekstil endüstrisinde özellikle daha küçük ölçekli ve alt yapı bakımından yetersiz tesislerin varlığı da kontrolsüz büyümeyi beraberinde getirmiştir. Ayrıca bu sektörde kullanılan elyafın elde edilme işlemleri, iplik yapımı, dokuma ve terbiye hazırlık aşamalarında kuru ve ıslak prosesler oldukça önemlidir. İplik yapımı ve dokuma hazırlık aşamaları, kuru işlemler diye tanımlanan süreçleri kapsarken terbiye işlemi (haşıl dökme, yıkama, pişirme, merserizasyon, boyama, apreleme) bol miktarda suyun kullanıldığı ıslak proseslerden meydana gelmektedir. En çok su harcanan işlemlerden birisi ise boyamadır. Tekstil endüstrisi deşarjları, kullanılan boyar maddenin yapısına göre çözünmüş halde ya da kolloidal yapıda bulunabilen çok renkli atık suları içermekte ve bu atık suların bulunduğu alanlarda ise çevresel bakımdan çok önemli olan endüstriyel kirlenme meydana gelmektedir (Tünay ve ark. 1996; Ölmez 1999).

Cisimleri renkli hale getirmek için kullanılan maddelere boyar madde denir. Boyar madde, herhangi bir nesneye renk vermek veya onu korumak için uygulanan kaplama amaçlı maddeler olarak da tanımlanmaktadır. Boya ile korumadaki temel amaç, uygulama alanının su veya hava ile temasının kesilmesidir. Boyalar sanat, tasarım ve endüstriyel amaçlı kullanıldıkları gibi örneğin karayollarında şerit çizgilerinin çekilerek güvenli ulaşımın sağlanması gibi farklı alanlarda da kullanılmakta ve oldukça farklı malzemelere uygulanabilmektedir.

Boyar maddelerin sürekli kullanıldığı bir diğer sektör tekstildir. Boyar maddeler, organik bileşikler olup boyanacak materyalle kimyasal veya fiziko-kimyasal etkileşime girerek cisimleri renkli hale getirirler. Rengarenk hazırlanan tekstil ürünleri çeşitli işlemlerden geçerek boyanmaktadır. Boyar madde kullanarak değiştirilen malzemelerin boyandıktan sonraki ilk haline tekrar dönmesi de mümkün olamamaktadır.

Tarihsel süreçte insanların cisimlere ve kendisine özel bir görünüm kazandırmak istemesi ile boyar maddelere ihtiyaç doğmuş ve ilk çağdan beri doğal ürünlerden birçok boyar madde elde edilmiştir. Doğal boyar maddeler maya ve bakteri gibi mikroorganizmalardan, bitkilerin kök, kabuk, tohum, meyve, çiçek kısımlarından, bazı böcekler ve balıklardan, hayvanların deri ve salgı bezlerinden basit bir takım işlemler sonucu elde edilmektedir. Örneğin;

Fabaceae familyasından *Indigofera tinctoria* (indigo ağacı) bitkisi mavi, *Kermesidea* (Insecta)'ya ait *Kermes ilicis* (kermes böceği) kırmızı, *Janthinobacterium lividum* bakterisi mor, bir çeşit mantar olan *Aspergillus niger* de siyah renk eldesi için kaynak teşkil etmektedir (Başer ve İnanıcı 1990; Önal 2000; Hunger 2003; Gürcüm ve Öneş 2018). Fakat sanayi devriminden sonra birçok sektörün gelişmesi ile doğal boyar maddelere olan ihtiyaç ve kullanım artmış ve doğal ürünlerden elde edilen boyar maddelerin elde edilmesinin zor, pahalı ve miktar olarak az olması, renk skalasının dar, kalitelerinin de düşük oluşu, artan nüfus ve gelişen teknoloji gibi nedenlerden dolayı yetersiz kalmıştır. Bu nedenle sentetik boyar madde arayışına geçilmiştir. 1856 yılında İngiliz kimyager William Henry Perkin tarafından anilin yağından tesadüfen elde edilmiş olan anilin moru, ilk sentetik boya olarak bilinmektedir (Kant 2012).

Dünyada endüstrinin gelişmesiyle birlikte daha fazla kullanılan boyar maddelere çeşitli canlılar ve özellikle insanlar dolaylı ya da dolaysız olarak maruz kalmaktadır. Giysilerimizin, ev ve ofis mobilyalarımızın çoğu sentetik veya doğal boyalarla renklendirilmektedir. Ancak doğal boyar maddelerin üretilmesinin uzun, maliyetli ve elde edilmesinin zor olması nedeniyle sentetik boyar maddeler tercih edilmektedir. Kullanılan sentetik boyalar, buldukları ortamdaki tüm canlı türleri üzerinde olumsuz etki yaratabilirler. Farklı endüstriyel alanlara ait sentetik boyar maddelerin üretildiği ve kullanıldığı yerlere ait atıkların, alıcı ortamları arasında içme suyu kanalları, nehirler, göller, denizler gibi sucul ekosistemler ve bu suların geçtiği ve sulama yapılan tarlalar gibi kara ekosistemleri bulunmaktadır. Bu tip kirliliğe maruz kalmış alanlardan alınan atık su örnekleri ile yapılan mutajenite testleri, boyar maddelere ait atıkların farklı canlı gruplarında orta dereceli risk oluşturabildiklerini göstermiştir. Carmen ve Daniela (2012) tarafından yapılan bir çalışmada, Reactive Blue 19 tekstil boyasının sucul ortamlarda 25°C'de ve pH: 7.0'de yaklaşık 46 yıllık yarılanma ömrüne ve yüksek çevresel kalıcılığa sahip olduğu gösterilmiştir. Gottlieb ve ark. (2003)'a göre *Vibrio fischeri* ile yapılan çalışmada Reactive Black 5 tekstil boyasının toksik etkili olduğu tespit edilmiştir. Novotny ve ark. (2006)'a göre ise Reactive Orange 16 azo boyası *Salmonella typhimurium*'da nokta mutasyona neden olmuştur. Ayrıca sentetik boyar maddeler konjenital malformasyonlara (doğumsal kusurlara) ve gıda sektöründeki kullanımlarına dayalı olarak gıda güvenliği sorunlarına yol açabilen, kanserojenik etki gösterebilen genotoksik ajanlar olarak da değerlendirilmektedir (Öztürk ve Uysal 2021; 2022). Gıda endüstrisinde kullanılan tatrazin (sarı), amaranth (kırmızı), sunset yellow (gün batımı sarısı) ve ponceau 4R (kırmızı) gibi azo boyalarının *D. melanogaster* Oregon-R'nin yabancıl soyunda ömür uzunluğu üzerine etkileri Uysal ve ark. (2017) tarafından araştırılmış ve bu boyaların *D. melanogaster*'in hem dişi hem de erkek popülasyonunda ortalama ve maksimum yaşam süresini azalttığı belirlenmiştir.

Yine besin zinciri yoluyla günlük besinlerle birlikte alımı ve vücutta birikime bağlı olarak üreme ve merkezi sinir sistemi, beyin, böbrek, karaciğer gibi organlarda fonksiyon bozukluklarının şiddetlenmesine de neden olabilmektedirler. Üreme ve merkezi sinir sistemi, beyin, böbrek, karaciğer gibi organlardaki fonksiyon bozukluklarının şiddetlenmesine de neden olabilmektedirler (Guo ve ark. 2019). Benzidin (sentetik boyaların üretiminde kullanılan kimyasal bir türev) Dünya Sağlık Örgütü tarafından kanserojen etkilerinin yanı sıra DNA hasarına da yol açan genotoksik ajanlardan birisi olarak kabul edilmiştir. Das ve ark. (1994), benzidine maruz kalan farelerin lenfosit hücrelerinde kromozomal aberasyonların oranında artış gözlemiştir. Bu maddeye soluma, yutma veya enjeksiyon yoluyla maruz kalma sonucunda kemirgenlerin karaciğer ve böbreğinde ağırlık azalması, şişlik, dalakta büyüme ve idrarda kan gibi komplikasyonlar da gözlenmiştir (Choudhary 1996; Ching Chen ve ark. 2011; Chen ve ark. 2014). Benzer bir başka çalışma da Lentz ve ark. (2010) tarafından yapılmış ve kronik benzidin maruziyeti yaşayan *Gambusia affinis* (sivrisinek balığı)'de apoptoz ile insan karaciğer dokusunda tümör oluşumu görülmüştür. Zebra balığı embriyolarının benzidine maruz bırakılması ile de doz-süre etkileşimine bağlı olarak beyin telencephalon bölgesinde malformasyonlar, beyin ve dorsal nöronlarda yaygın apoptoz, embriyo gelişiminde yavaşlama ve embriyonal anomaliler gözlenmiştir.

Tüm bu sistemik disfonksiyonlara bağlı olarak boyar maddeler, hem güçlü bir çevresel kirleticiler hem de canlılardaki metabolik süreçler için "ket vurucu toksikantlar" olarak tanımlanabilirler. Özellikle kanserleşmenin potansiyel kaynağı olan aromatik aminler, su ortamına bırakılan ve bu ortamda biyodegradasyona uğrayan boyar maddelerden evrilebilmektedir (Majcen-Le Marechal ve ark. 1997; Şenel 2006). Doğada biyolojik parçalanma özelliği göstermeyen aromatik aminler, biyobirikim göstererek kanseojenik olabilmektedirler (Keşkek Karabulut 2020).

Daha önce yapılan çalışmalarda tekstil boyalarının çeşitli organizmalarda biyotoksik etkili olduğu görülmüştür.. Sunulan bu çalışmada, tekstil endüstrisinde kullanılan, Süperfix Black NNX (SBNNX), Syanacryl Black XFDL (SBXFDL) ve Reaktive Blue 19 (RB19) sentetik boyalarının genotoksik etkili olup/olmadığı genetik denemeler için önemli bir model organizma olan *D. melanogaster*'de kanat benek testi (Somatik Mutasyon ve Rekombinasyon Testi /SMART) ile araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

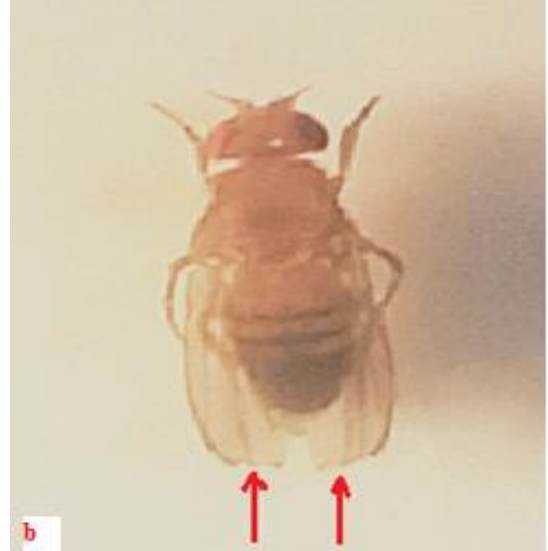
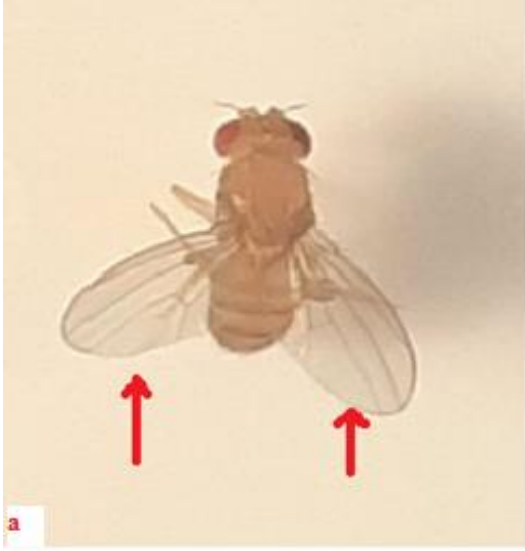
### 2.1. Kullanılan Kimyasal Maddeler

Çalışmada genotoksik etkilerinin belirlenmesi için kullanılan Süperfix Black NNX (SBNNX), Syanacryl

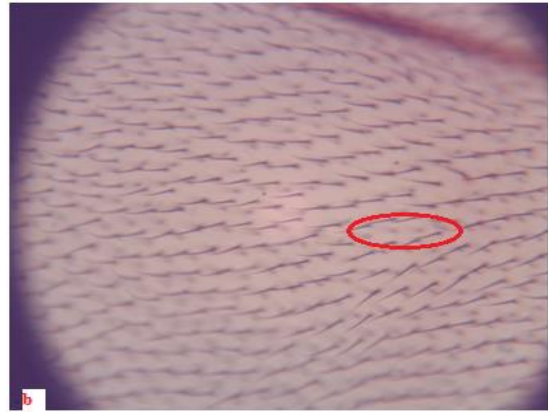
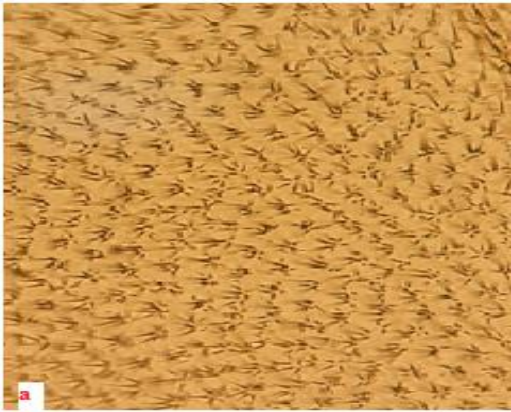
Black XFDL (SBXFDL) ve Reaktive Blue 19 (RB19) tekstil boya ile mutajenik etkili olan ve genotoksikite çalışmalarında pozitif kontrol olarak tercih edilen etil metansülfonat (EMS: CAS No.62-50-0) Sigma-Aldrich Şirketi'nden (St Louis, Missouri, ABD), *Drosophila* Instant Medium (DIM, Formül 4-24) ise Carolina Biyolojik Tedarik Şirketi'nden (2700 York Road, Burlington, ABD) satın alınmıştır. Çalışma kapsamında stok kültürlerin beslenmesi için kullanılan Standart *Drosophila* besiyerinin (SDB) içeriğini oluşturan ve kanat preparatlarının hazırlanması için gerekli olan agar agar, dietil eter, propionik asit, gliserol, kloral hidrat, arap zambakı, entellan, etil alkol gibi kimyasal maddeler de yine Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA) şirketinden temin edilmiştir.

### 2.2. Kullanılan *Drosophila* Soyuları

Mendel genetiği alanında sürdürülen genotoksikite çalışmaları, farklı model organizmalar ile yapılmaktadır. Bu organizmaların en önemlilerinden birisi olan *Drosophila melanogaster* (meyve/sirke sineği) Atatürk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Genetik Araştırma Laboratuvarı'nda uzun yıllardan beri kendileştirilmiş genetik olarak homozigot, hiçbir mutant karakter taşımayan yabancıl bir laboratuvar stoğudur. Bu çalışmada kullanılan mutant soylar ise *D. melanogaster*'in normal metabolik aktiviteye sahip multiple wing hair (*mwh*) ile *flare* (*flr<sup>3</sup>*) soylarıdır ve diğer yabancıl soylar gibi Genetik Araştırma Laboratuvarı'nda uzun yıllardan beri kendileştirilerek yaşatılmaktadır. *mwh* mutant soyunda bulunan *mwh* resesif geni, III. kromozomun telomere yakın kısmında (3-0.3) bulunmaktadır. *flr<sup>3</sup>* geni de yine III. kromozomda sentromere yakın (3- 38.8) yer almaktadır ve bu gen homozigot resesif durumda embriyoda letaliteye sebep olduğu için ergin bireyler oluşmamaktadır. *flr<sup>3</sup>* geninin embriyonik letal etkisinden dengeleyici bir kromozom olan TM3 kromozomu ile heterozigotluk sağlanarak korunulmakta ve embriyonun kanat imajinal disklerinden mutant kanat hücrelerinin gelişimi sağlanmaktadır. Ayrıca dengeleyici *TM3* kromozomunda bulunan *BdS* geni, mutant bireyin kanat kenarlarının testere dişi şeklinde fenotip göstermesine neden olmaktadır. Fenotipik olarak yuvarlak-kırmızı gözlü, uzun kanatlı ve kahverengi vücutlu olan mutant soylarda (Şekil 1a ve 1b) resesif belirleyici genler kanat kıllarının (trikom) şeklinde değişikliğe sebep olmaktadır. *mwh* geni, fenotipte normal kanat (Şekil 1a) ve hücre başına bir kanat kılı yerine çoklu kanat kıllarını oluştururken (Şekil 2a) *flr<sup>3</sup>* geni sineklerin testere dişi şeklinde kanatlara (Şekil 1b) ve kanatlarındaki normal, düz ve uzun kıllar yerine körelmiş, amorfik kıl (Şekil 2b) oluşmasına sebep olmaktadır (Graf ve ark. 1998).



Şekil 1a. *mwh* genotipli bireylerde normal kanat yapısı, b. *flr<sup>3</sup>* genotipli bireylerde testere dişi kanat yapısı (10x40)



Şekil 2a. *mwh* genotipli bireylerde çoklu kanat kılları (10x40), b. *flr<sup>3</sup>* genotipli bireylerde körelmiş kanat kılları (10x40)

### 2.3. Kanat Benek Testinin Yapılışı

Bir diğer bilinen adıyla “Somatik Mutasyon ve Rekombinasyon Testi” (SMART) için öncelikle *mwh* ve *flr<sup>3</sup>* mutant türlerine ait erkek ve dişi bireylerin sayılarının artırılması gereklidir. Bu amaçla hazırlanan kültür şişelerine *flr<sup>3</sup>* ve *mwh* türleri ayrı ayrı konulmuş ve her iki tür için çok sayıda ön çaprazlamalar yapılmıştır. Çaprazlamalar sonucunda metamorfozu tamamlayan 1-3 günlük (yaklaşık 72±4 saatlik) aynı yaşlı *flr<sup>3</sup>* ve *mwh* ergin bireyleri, 4'er saatlik periyotlar halinde henüz çiftleşmeden yine ayrı ayrı toplanmıştır. Daha sonra çalışma kapsamında kullanılacak olan trans-heterozigot larvaların elde edilmesi için 20 *flr<sup>3</sup>* dişi ve 20 *mwh* erkek kullanılarak yeni çaprazlamalar yapılmıştır.

SMART için kontrol ve uygulama grubu olmak üzere iki farklı deney seti hazırlanmıştır. İlk deney seti, distile su negatif kontrol grubu ile 1 ppm etil metansülfonat (EMS) içeren pozitif kontrol grubundan oluşmaktadır. Diğer deney seti ise üç farklı tekstil boyasının farklı konsantrasyonlarını içeren (150, 300 ve 450 ppm) uygulama gruplarıdır. Yapılan ön denemelerde 150

ppm'den daha düşük uygulamalarda genotoksik etki gözlenmezken 450 ppm'den yüksek uygulamalarda larvaların yaşama oranı düştüğü için kanat preparatı hazırlayacak kadar ergin birey elde edilememiştir. Bu nedenle 150 ppm'den daha düşük ve 450 ppm'den daha yüksek konsantrasyonlar ile çalışılmamıştır. Kontrol ve uygulama gruplarına ait kültür şişelerine, 100'er adet 3. evre trans-heterozigot larva konulmuş ve larvalar metamorfozu tamamlayıp erginleşinceye kadar ısıtmalı-soğutmali etüvlerde (25±1°C) muhafaza edilmiştir. Larvalardan hayat devrini tamamlayıp ergin hale gelen bireyler normal kanatlı ve testere dişi kanatlı ayrımı yapılarak toplanmış ve kanat preparatları hazırlanmaya kadar %70'lik etil alkol içeren ependorf tüpleri içerisinde +4°C'de muhafaza edilmiştir.

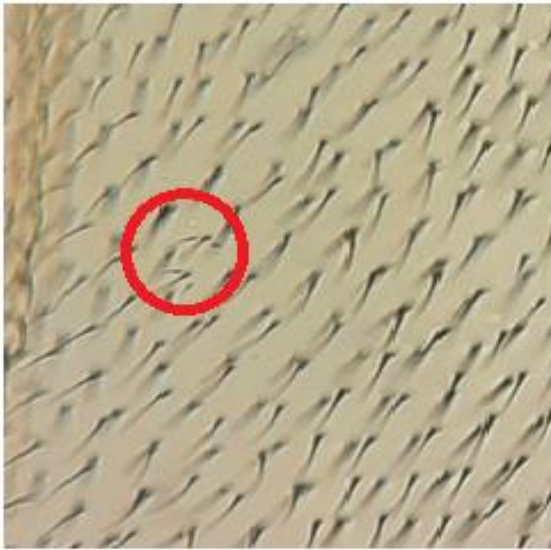
### 2.4. Kanat Preparatlarının Hazırlanması

Trans-heterozigot larvalardan elde edilen ergin sineklere ait kanat preparatlarının hazırlanması için erginler öncelikle çukur lamda bulunan faure solüsyonuna alınmışlardır. Nikon marka binoküler mikroskop altında ince uçlu pensler ile ergin bireylere ait kanatlar vücuda bağlandı

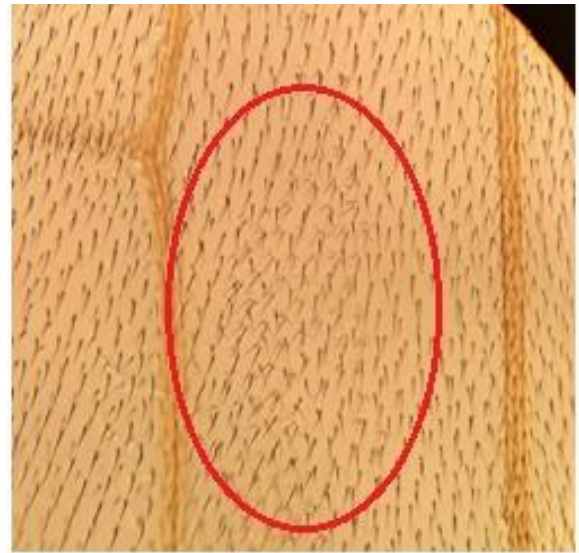
yerden ayrılarak kanat preparatları hazırlanmıştır. Her bir bireyin kanatları çiftler halinde yan yana gelecek şekilde lam üzerinde belirli aralıklarla dizilmiş ve lam üzerine ortalama 40 çift kanat yerleştirildikten sonra preparatlar bir gün kurumaya bırakılmıştır. Kuruyan preparatlara 1-2 damla entellan damlatılarak üzerlerine lamel kapatılıp daimi preparatlar hazırlanmıştır. Tüm preparatlar Boeco marka digital kameralı trinoküler ışık mikroskobu ile incelenmiş ve belirlenen mutant hücre klonları tekli ve ikili benekler şeklinde gruplandırılmıştır. Elde edilen sonuçların tümüne ait istatistiksel analiz, Microsta bilgisayar programı ile yapılmıştır ve hesaplanan orijinal ve alternatif hipotezlerin sonuçları, Frei ve Würzler (1988)'in çoklu karar prosedürüne göre değerlendirilmiştir.

### 3. Bulgular

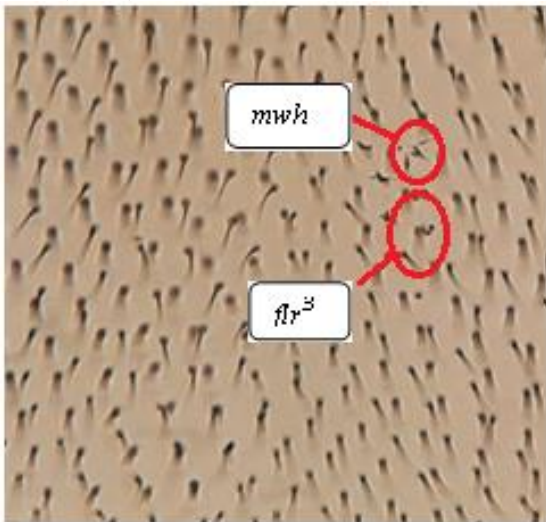
Çalışma kapsamında hem uygulama hem de pozitif ve negatif kontrol gruplarına ait kanat preparatları, mutant klon oluşup oluşmadığı yönüyle incelenmiştir. Uygulama gruplarında kullanılan boyar maddelerin sebep olduğu somatik mutasyonlar ile gerçekleşen genotoksik etkilerin göstergesi olan mutant klonlar; küçük tek tip (KTT, Şekil 3), büyük tek tip (BTT, Şekil 4) ve ikiz klon (Şekil 5) olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Bu mutant klonlar, normal ve serrat kanatlara ait tüm kanat sektörleri (Şekil 6) için ayrı ayrı olmak üzere sayılarak kaydedilmiş ve istatistiksel değerlendirmeler yapılmıştır. İstatistiksel değerlendirmeler, öncelikle kontrol grubunu oluşturan distile su negatif kontrol grubu ile EMS pozitif kontrol grubu arasında ve daha sonra tüm uygulama gruplarına ait sonuçlar ile distile su kontrol grubu arasında yapılmıştır.



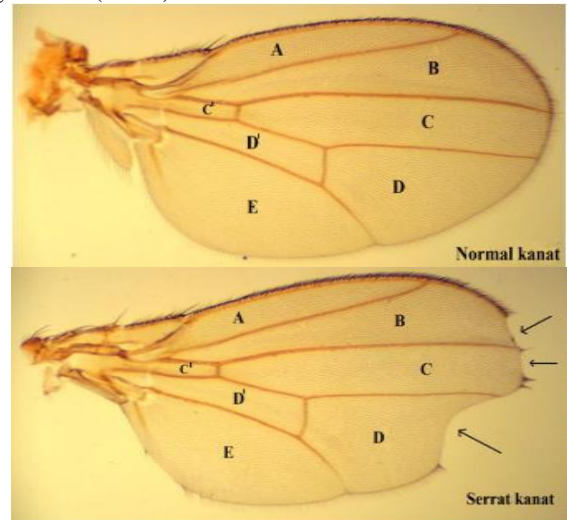
Şekil 3. Küçük tek tip *mwh* mutant klonların mikroskobik görüntüsü (10x40)



Şekil 4. Büyük tek tip *mwh* mutant klonların mikroskobik görüntüsü (10x40)



Şekil 5. İkiz mutant klonların mikroskobik görüntüsü (10x40)



Şekil 6. Normal ve serrat kanatlara ait sektörler (10X40)

Yapılan incelemelerde, distile su negatif kontrol grubunda normal kanat fenotipi (*mwh/flr<sup>3</sup>*) için yalnızca 8 KTT gözlenirken BTT ve ikiz klon gözlenmemiştir. EMS pozitif kontrol grubunda ise tüm mutant klonlar; 27 KTT, 11 BTT ve 8 ikiz klon kaydedilmiştir. Serrat kanat fenotipi (*mwh/TM3*) için de distile su negatif kontrol grubunda yalnızca 6 KTT gözlenirken EMS pozitif kontrol grubunda 20 KTT ve 6 BTT gözlenmiştir. Negatif ve pozitif kontrol gruplarına ait sonuçlar istatistiki olarak birbiri ile karşılaştırıldığında EMS pozitif kontrol grubundamutant klonlarda gözlenen artış her iki kanat fenotipi için  $p < 0,05$  düzeyinde önemli olarak değerlendirilmiştir.

Çalışma kapsamında genotoksik etkisi araştırılan SBNNX tekstil boyasına ait normal kanat fenotipi için en düşük doz olan 150 ppm uygulama grubunda 17 KTT, 7 BTT ve 2 ikiz klon olmak üzere toplam 26 toplam mutant klon; 300 ppm'de 20 KTT, 9 BTT ve 3 ikiz klon ve toplam 32 mutant klon gözlenmiştir. En yüksek uygulama grubu olan 450 ppm'de ise doz artışına bağlı olarak daha fazla mutant klon oluşmuştur ve bunlarda 24 KTT, 10 BTT ve 5 ikiz mutant klon olarak değerlendirilmiştir. 450 ppm uygulama grubunda KTT, BTT ve ikiz olmak üzere toplam 39 klon sayılmıştır. Üç uygulama grubuna ait  $\Sigma$  klon frekansları da sırasıyla 0,32, 0,40, 0,45 olarak hesaplanmıştır (Tablo 1). Tablo 1' de de görüldüğü gibi SBNNX'in için 150 ve 300 ppm'de elde edilen veriler distile su kontrol grubu ile istatistiki olarak karşılaştırıldığında ikiz klon tiplerinin oluşumu  $p > 0,05$  düzeyinde önemsiz (i) iken KKT, BTT,  $\Sigma$  *mwh* klon ve  $\Sigma$  klon tipleri için elde edilen sonuçlar  $p < 0,05$

düzeyinde pozitif önemli (+) bulunmuştur. 450 ppm'de ise ikiz klon oluşumu da dahil olmak üzere tüm klon tiplerindeki artış  $p < 0,05$  düzeyinde pozitif önemlidir (+). Uygulama grupları için KİF değerleri 1,22, 1,48 ve 1,74 olarak hesaplanırken distile su kontrol grubunda bu değer 0,40'dır (Tablo 1). Artan SBNNX konsantrasyonuna bağlı olarak KİF değerlerindeki artış tekstil boyasının genotoksik etkili olduğunun göstergesi olarak kabul edilmiştir.

SBNNX tekstil boyasının uygulama gruplarına ait serrat kanat fenotipi için hazırlanan tüm kanat preparatları, mutant klon oluşup oluşmadığı bakımından incelenmiştir. En düşük uygulama olan 150 ppm'de 11 KTT ve 3 BTT olmak üzere toplam 14 mutant klon; 300 ppm'de 14 KTT ve 5 BTT olmak üzere toplam 19 mutant klon ve 450 ppm'de ise 16 KTT ve 6 BTT olmak üzere toplam 22 mutant klon gözlenmiştir. 150 ppm uygulama grubu için elde edilen veriler, distile su kontrol grubu ile karşılaştırıldığı zaman sonuçlar KTT, BTT için istatistiki olarak  $p > 0,05$  düzeyinde önemsiz (i),  $\Sigma$  *mwh* klon ve  $\Sigma$  klon tipleri için ise  $p < 0,05$  düzeyinde pozitif önemli (+) bulunmuştur. 300 ve 450 ppm uygulama gruplarında ise tüm klon tiplerinde sonuçlar  $p < 0,05$  düzeyinde pozitif önemlidir (+). Üç uygulama grubuna ait KİF değerleri de sırasıyla 0,71, 0,97 ve 1,12 olarak hesaplanmıştır. Serrat kanat fenotipinde, distile su kontrol grubuna göre her üç uygulama grubu için gözlenen KİF değerindeki artış, somatik mutasyonların artışı olarak değerlendirilmiştir (Tablo 1).

**Tablo 1.** SBNNX uygulama gruplarına ait kanat benek testi bulguları ve istatistiki analiz sonuçları

Kontrol ve uygulama grupları (ppm)	Kanat sayısı	KTT klon (m=2)			BTT klon (m=5)			İkiz klon (m=5)			$\Sigma$ <i>mwh</i> klon (m=2)			$\Sigma$ klon (m=2)			Klon indüksiyon frekansı (KİF)
		No	Fr.	D	No	Fr.	D	No	Fr.	D	No	Fr.	D	No	Fr.	D	
<b>Normal kanat (Trans-heterozigot kanat - <i>mwh/flr<sup>3</sup></i>)</b>																	
Kontrol (distile su)	80	8	(0,10)		0	(0,00)		0	(0,00)		8	(0,10)		8	(0,10)		0,40
Kontrol (EMS)	80	27	(0,33)	+	11	(0,13)	+	8	(0,10)	+	38	(0,47)	+	46	(0,57)	+	1,94
150	80	17	(0,21)	+	7	(0,08)	+	2	(0,02)	i	24	(0,30)	+	26	(0,32)	+	1,22
300	80	20	(0,25)	+	9	(0,11)	+	3	(0,03)	i	29	(0,36)	+	32	(0,40)	+	1,48
450	80	24	(0,30)	+	10	(0,12)	+	5	(0,06)	+	34	(0,42)	+	39	(0,45)	+	1,74
<b>Serrat kanat (Dengeleyici heterozigot - <i>mwh/TM3</i>)</b>																	
Kontrol (distile su)	80	6	(0,07)		0	(0,00)		Dengeleyici <i>TM3</i> kromozomu			6	(0,07)		6	(0,07)		0,30
Kontrol (EMS)	80	20	(0,25)	+	6	(0,07)	+	varlığında <i>flr<sup>3</sup></i> mutasyonu			26	(0,32)	+	26	(0,32)	+	1,33
150	80	11	(0,13)	i	3	(0,03)	i	meydana			14	(0,17)	+	14	(0,17)	+	0,71
300	80	14	(0,17)	+	5	(0,07)	+	gelmediğinden			19	(0,23)	+	19	(0,23)	+	0,97
450	80	16	(0,20)	+	6	(0,10)	+	ikiz klon gözlenmez.			22	(0,27)	+	22	(0,27)	+	1,12

No: Klon Sayısı, Fr: Mutasyon Frekansı, D: İstatistiki Tanı, +: Pozitif (Genotoksik Etkili), -: Negatif (Genotoksik Etkisiz), i: Önemsiz Etkili, m: Tesir Faktörü, Distile su: Negatif Kontrol, EMS: Pozitif Kontrol

Bazık boya özelliği gösteren SBXFDL, çalışmanın ikinci tekstil boyasıdır ve bu boya için de SBNNX tekstil boyası ile aynı konsantrasyonlarda uygulama grupları oluşturulmuştur. SBXFDL'nin verileri normal kanat fenotipi ( $mwh/flr^3$ ) için incelendiğinden düşük uygulama grubu olan 150 ppm uygulama grubunda 15 KTT, 5 BTT ve 2 ikiz klon olmak üzere toplam 22 toplam mutant klon; 300 ppm uygulama grubunda 18 KTT, 8 BTT ve 4 ikiz klon ve toplam 30 mutant klon; en yüksek uygulama grubu olan 450 ppm'de ise 20 KTT, 9 BTT ve 5 ikiz mutant klon olmak üzere 34 toplam klon gözlenmiştir. Üç uygulama grubuna ait KİF değerleri de sırasıyla 1,02, 1,33 ve 1,48 olarak hesaplanmıştır (Tablo 2).

Tablo 2'de de görüldüğü gibi özellikle 150 ppm uygulama grubunda tüm klon tipleri için (KTT, BTT ve ikiz klon) gözlenen artış, distile su kontrol grubu ile istatistiki olarak karşılaştırıldığında aradaki fark  $p>0,05$  düzeyinde önemsiz (i) iken  $\Sigma mwh$  klon ve  $\Sigma$  klon tiplerinde pozitif etkili (+) ve önemli ( $p<0,05$ ) bulunmuştur. 300 ppm'de ise yalnızca ikiz klon oluşumu  $p>0,05$  düzeyinde önemsiz (i), KKT, BTT,  $\Sigma mwh$  klon ve  $\Sigma$  klon tiplerinin oluşumu  $p<0,05$  düzeyinde önemli

ve pozitif etkilidir (+). 450 ppm uygulama grubunda da istatistiki sonuçlar tüm klon tiplerinde pozitif önemli (+) bulunmuştur ( $p<0,05$ ). Distile su kontrol grubunda KİF değeri 0,40 iken uygulama gruplarına (150, 300 ve 450 ppm) ait KİF değerleri de sırasıyla 1,02, 1,33 ve 1,48 olarak hesaplanmıştır.

SBXFDL uygulama grupları için serrat fenotipine ( $mwh/TM3$ ) ait veriler de Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2'de de görüldüğü gibi 150 ppm'de 10 KTT, 1 BTT ve toplam 11 mutant klon; 300 ppm'de 11 KTT ve 4 BTT olmak üzere toplam 15 mutant klon; 450 ppm'de ise 15 KTT ve 6 BTT olmak üzere toplam 21 mutant klon gözlenmiştir. Distile su kontrol grubu ile 150 ppm uygulama grubuna ait veriler karşılaştırıldığı zaman tüm klon tipleri için istatistiki sonuçlar  $p>0,05$  düzeyinde önemsiz (i) bulunmuştur. 300 ppm'de KTT, BTT için sonuçlar  $p>0,05$  düzeyinde önemsiz (i) iken  $\Sigma mwh$  klon ve  $\Sigma$  klon tiplerinde  $p<0,05$  düzeyinde pozitif etkili (+) ve önemli bulunmuştur. 450 ppm'de ise tüm klon tiplerine ait sonuçlar pozitif etkili (+) ve önemlidir ( $p<0,05$ ). Üç uygulama grubuna ait KİF değerleri de sırasıyla 0,56, 0,76 ve 1,07 olarak hesaplanmıştır (Tablo 2).

**Tablo 2.** SBXFDL uygulama gruplarına ait kanat benek testi bulguları ve istatistiki analiz sonuçları

Kontrol ve uygulama grupları (ppm)	Kanat sayısı		KTT klon (m=2)			BTT klon (m=5)			İkiz klon (m=5)			$\Sigma mwh$ klon (m=2)		$\Sigma$ klon (m=2)		Klon indüksiyon frekansı (KİF)	
	No	Fr.	D	No	Fr.	D	No	Fr.	D	No	Fr.	D	No	Fr.	D		
<b>Normal kanat (Trans-heterozigot kanat - <math>mwh/flr^3</math>)</b>																	
Kontrol (distile su)	80	8	(0,10)	0	(0,00)	0	(0,00)	8	(0,10)	8	(0,10)	8	(0,10)	8	(0,10)	0,40	
Kontrol (EMS)	80	27	(0,33)	+	11	(0,13)	+	8	(0,10)	+	38	(0,47)	+	46	(0,57)	+	1,94
150	80	15	(0,18)	i	5	(0,06)	i	2	(0,02)	i	20	(0,25)	+	22	(0,27)	+	1,02
300	80	18	(0,22)	+	8	(0,10)	+	4	(0,05)	i	26	(0,32)	+	30	(0,37)	+	1,33
450	80	20	(0,25)	+	9	(0,11)	+	5	(0,06)	+	29	(0,36)	+	34	(0,42)	+	1,48
<b>Serrat kanat (Dengeleyici heterozigot - <math>mwh/TM3</math>)</b>																	
Kontrol (distile su)	80	6	(0,07)	0	(0,00)	Dengeleyici $TM3$ kromozomu			6	(0,07)	6	(0,07)	6	(0,07)	6	(0,07)	0,30
Kontrol (EMS)	80	20	(0,25)	+	6	(0,07)	+	varlığında $flr^3$ mutasyonu meydana			26	(0,32)	+	26	(0,32)	+	1,33
150	80	10	(0,12)	i	1	(0,01)	i	gelmediğinden			11	(0,13)	i	11	(0,13)	i	0,56
300	80	11	(0,13)	i	4	(0,05)	i	ikiz klon			15	(0,18)	+	15	(0,18)	+	0,76
450	80	15	(0,18)	+	6	(0,08)	+	gözlenmez.			21	(0,26)	+	21	(0,26)	+	1,07

No: Klon Sayısı, Fr: Mutasyon Frekansı, D: İstatistiki Tanı, +: Pozitif (Genotoksik Etkili), -: Negatif (Genotoksik Etkisiz), i: Önemsiz Etkili, m: Tesir Faktörü, Distile su: Negatif Kontrol, EMS: Pozitif Kontrol

Çalışmada kullanılan diğer tekstil boyası RB19 için de aynı dozlarda uygulama yapılmıştır (150, 300 ve 450 ppm). Normal kanat fenotipi için 150 ppm uygulama grubunda 12 KTT, 6 BTT ve 3 ikiz olmak üzere toplam 21 toplam mutant klon; 300 ppm'de 14 KTT, 7 BTT ve 4 ikiz ve toplam 25 mutant klon; en yüksek uygulama grubu olan 450 ppm'de ise 19 KTT, 8 BTT ve 6 ikiz ve toplam 33 klon gözlenmiştir. Üç uygulama grubuna ait KİF değerleri sırasıyla 0,92, 1,07 ve 1,38 olarak hesaplanmıştır (Tablo 3). Tablo 3'de görüldüğü gibi RB19'un için özellikle 150

ppm'de elde edilen veriler, distile su kontrol grubu ile karşılaştırıldığında sonuçlar  $p>0,05$  düzeyinde KTT ve ikiz klon tipleri için önemsiz (i) iken, BTT,  $\Sigma mwh$  klon ve  $\Sigma$  klon tiplerinde sonuçlar  $p<0,05$  düzeyinde pozitif önemli (+) olarak bulunmuştur. 300 ppm'de KTT ve ikiz klon tipleri  $p>0,05$  düzeyinde önemsiz (i) iken BTT,  $\Sigma mwh$  klon ve  $\Sigma$  klon tiplerinde sonuçlar  $p<0,05$  düzeyinde pozitif önemlidir (+). 450 ppm'de ise tüm klon tiplerindeki artış, yine  $p<0,05$  düzeyinde pozitif önemlidir (+). Distile su kontrol grubunda KİF değeri 0,40 iken RB19 uygulama

gruplarına (150, 300 ve 450 ppm) ait KİF değerleri de sırasıyla 0,92, 1,07 ve 1,48 olarak hesaplanmıştır. Artan RB19 konsantrasyona bağlı olarak KİF değerlerindeki artış mutant klon uyarımını göstermektedir.

Uygulama gruplarının serrat kanat fenotipinin verileri incelendiğinde ise 150 ppm uygulama grubunda 6 KTT ve 2 BTT toplam 8 mutant klon; 300 ppm'de 10 KTT ve 3 BTT olmak üzere toplam 13 mutant klon; 450 ppm' de ise 14 KTT ve 5 BTT olmak üzere toplam 19 mutant klon

gözlenmiştir. 150 ppm uygulama grubunda elde edilen veriler, distile kontrol grubu ile karşılaştırıldığı zaman tüm klon tiplerinde sonuçlar  $p>0,05$  düzeyinde önemsiz (i) bulunmuştur. 300 ppm'de KTT, BTT için istatistiki olarak önemsiz (i) olan sonuçlar,  $\Sigma$  mwh klon ve  $\Sigma$  klon tiplerinde pozitif önemlidir (+). 450 ppm'de ise tüm klon tiplerinde sonuçlar  $p<0,05$  düzeyinde pozitif önemlidir (+). Üç uygulama grubuna ait KİF değerleri de sırasıyla 0,40, 0,66 ve 0,97 olarak hesaplanmıştır (Tablo3).

**Tablo 3.** RB19 uygulama gruplarına ait kanat benek testi bulguları ve istatistiki analiz sonuçları

Kontrol ve Uygulama grupları (ppm)	Kanat sayısı			KTT klon (m=2)			BTT klon (m=5)			İkiz klon (m=5)			$\Sigma$ mwh klon (m=2)			$\Sigma$ klon (m=2)			Klon indüksiyon frekansı (KİF)
	No	Fr.	D	No	Fr.	D	No	Fr.	D	No	Fr.	D	No	Fr.	D	No	Fr.	D	
<b>Normal kanat (Trans-heterozigot kanat - mwh/flr<sup>3</sup>)</b>																			
Kontrol (distile su)	80	8	(0,10)	0	(0,00)	0	(0,00)	8	(0,10)	8	(0,10)	8	(0,10)	0,40					
Kontrol (EMS)	80	27	(0,33)	+	11	(0,13)	+	8	(0,10)	+	38	(0,47)	+	46	(0,57)	+	1,94		
150	80	12	(0,15)	i	6	(0,07)	+	3	(0,03)	i	18	(0,22)	+	21	(0,26)	+	0,92		
300	80	14	(0,17)	i	7	(0,08)	+	4	(0,05)	i	21	(0,26)	+	25	(0,31)	+	1,07		
450	80	19	(0,23)	+	8	(0,10)	+	6	(0,07)	+	27	(0,33)	+	33	(0,41)	+	1,38		
<b>Serrat kanat (Dengeleyici heterozigot - mwh/TM3)</b>																			
Kontrol (distile su)	80	6	(0,07)	0	(0,00)	Dengeleyici TM3 kromozomu			6	(0,07)	6	(0,07)	0,30						
Kontrol (EMS)	80	20	(0,25)	+	6	(0,07)	+	varlığında flr <sup>3</sup> mutasyonu meydana			26	(0,32)	+	26	(0,32)	+	1,33		
150	80	6	(0,07)	i	2	(0,02)	i	gelmediğinden ikiz klon gözlenmez.			8	(0,10)	i	8	(0,10)	i	0,40		
300	80	10	(0,12)	i	3	(0,03)	i				13	(0,16)	+	13	(0,16)	+	0,66		
450	80	14	(0,17)	+	5	(0,06)	+				19	(0,23)	+	19	(0,23)	+	0,97		

No: Klon Sayısı, Fr: Mutasyon Frekansı, D: İstatistiki Tanı, +: Pozitif (Genotoksik Etkili), -: Negatif (Genotoksik Etkisiz), i: Önemsiz Etkili, m: Tesir Faktörü, Distile su: Negatif Kontrol, EMS: Pozitif Kontrol

#### 4. Tartışma

Boyar maddeler, Dünya genelinde çeşitli endüstriyel alanlardayaygın olarak kullanılmaktadır. Zollinger (1987) tarafından 10.000 çeşit pigment ve boyar maddenin dünya çapında kullanıldığı rapor edilmiştir. Bu maddeler, kullanım sonrası doğrudan ya da dolaylı olarak sektörel alanların dışına doğaya az veya çok olarak salınmakta ve ekosistem üzerinde olumsuz etkilere sebep olmaktadır. Dünyada artan nüfusa paralel olarak yaşama dair ihtiyaçların artışı ile birlikte endüstrinin gelişmesi, çok daha fazla miktarda kullanılan/kullanılacak boyar maddelere çeşitli canlıların ve özellikle insanların dolaylı ya da dolaysız olarak maruz kalmasına sebep olmaktadır. Khan ve Jain (1995) yaptıkları araştırmalarda, tekstil atık suları ile sulanan arazide yetiştirilen buğdayda (*Triticum aestivum*) büyümenin inhibe edildiğini gözlemişlerdir. Sharma ve Sobti (2000) tarafından Hindistan'da yaygın olarak kullanılan dört farklı boyanın (Sulphur Red Brown 360, Jade Gren 2G, Reactofix Turquoise Blue 5GFL ve Direct Scarlet 31 4BS) prokaryotik organizmalarda (*Bacillus subtilis*) doz artışına bağlı olarak büyümeyi inhibe ettiği gözlenmiştir. İçeriğinde boyar madde bulunan

atık suların genotoksik etkilerinin *Allium* testi (çevresel kirliliğin hızlı bir şekilde belirlenmesi için kullanılan standart bir yöntem) ile araştırıldığı bir başka çalışmada, özellikle kağıt sanayi atık sularının oldukça toksik etkili olduğu görülmüştür (Nielsen ve Rank 1994). Marwari ve Khan (2012)'ın yaptığı çalışmaya göre, tekstil atık suyu ile muamele edilen domates bitkisinde toplam klorofil, karbonhidrat, protein ve nitrojen içeriği önemli ölçüde azalmıştır. Tekstil boyası olarak kullanılan DB15'in de *Pseudokirchneriella subcapitata* (bir çeşit mikro alg)'da karotenoid miktarını azalttığı gözlenmiştir (Hernández-Zamora ve Martínez-Jerónimo 2019). Daha önce yapılan bir başka çalışmada da, Direct Black 38 (DB38) ve Reactive Blue 15 (RB15) tekstil boyalarının, hayvansal ve bitkisel organizmalarda akut toksik ve genotoksik etkileri araştırılmıştır. *Cucumis sativus* (salatalık), *Lactuca sativa* (marul) ve *Lycopersicon esculentum* (domates)'da, çimlenme ve kök uzamasında bu boyaların sebep olduğu herhangi bir toksik etki gözlenmemiştir (de Olivera ve ark. 2018). Ancak 42 çeşit ticari tekstil boyasının sucul toksisitesi, *Daphnia magna* (su piresi) ve *Raphidocelis subcapitata* (bir çeşit yeşil alg) kullanılarak Croce ve ark. (2017) tarafından araştırılmış



ve tüm boyaların her iki grupta özellikle alglerde toksik etkili olduğu bildirilmiştir.

Tekstil boyası olarak kullanılan San G-GELB-GLE, Red FBL, Blue FGRL ve Black FDL boyalarının genotoksik etkileri, önemli genetik model organizmalardan birisi olan *D.melanogaster*'de Eroğlu Doğan (2002) tarafından da araştırılmış ve bu boyaların mutajenik olduğu bildirilmiştir. Özata (2006) tarafından yapılan başka bir çalışmada da, yine bazı tekstil boyalarının *D.melanogaster* üzerinde hem toksik hem de genotoksik etkileri araştırılmış ve tekstil boyalarının bütün konsantrasyonlarının hayatta kalış oranını azalttığı ve somatik mutasyonları uyardığı tespit edilmiştir. Öztürk ve Uysal (2021, 2022), *D.melanogaster*'in erkek ve dişi popülasyonlarında ergin bireylerin ömür uzunluğunu kronik uygulanan Superfix Navy Blue BF ve Synacryl Black XFDL sentetik boyalarının kısalttığını gözlemişlerdir. Boyar maddelerin doz artışına bağlı olarak larval toksisitenin ve malformasyonların arttığı da yine aynı yazarlar tarafından bildirilmiştir. Benzeri sonuçlar, Şahin ve Türkoğlu (2014) tarafından da gözlenmiştir. Yine Direct Yellow 86, Direct Orange 39, Direct Blue 200, Direct Yellow 142 ve Direct Red 243 gibi sentetik boyar maddelerin farklı dozları da farelerde mutajenik etkili bulunmuştur (Şenel ve ark. 2012).

Sunulan bu çalışmada, *Drosophila* kanat benek testi için değerlendirilen benek tiplerinden tek tip klonlar (KTT ve BTT) transisyonal, transversiyonal, insersiyonal veya delesyon tipi gibi nokta mutasyonlar, ayrılmama, delesyon ve mitotik rekombinasyon sonucu meydana gelirken ikiz klon tipi üçüncü kromozomun sentromeri ve *flr<sup>3</sup>* geni arasındaki mitotik rekombinasyon ile oluşmaktadır. Rai ve ark. (2005)'a göre, Dispers Blue 291 boyası da DNA'da insersiyon veya delesyona sebep olarak genetik kodda hata oluşturmaktadır.

Uygulama gruplarında kullanmış olduğumuz üç farklı tekstil boyasının (SBNNX, SBXFDL, RB19) somatik hücrelerde meydana getirdiği oksidatif strese dayalı hasarların, DNA yapısında değişikliklere neden olabileceğini ve bunun da mutant klonların oluşumunu indüklediğini düşünmekteyiz. Somatik hücrelerde beklenilmeyen/görülmemen özellikle mitotik rekombinasyon, hem tek tip klonların hem de ikiz klonların oluşumuna yol açmaktadır. Mutant klonların oluşumu da tekstil boyalarının hem mutajenik hem de rekombinojenik olduğunun göstergesi olarak kabul edilebilir. Ayrıca Graf ve ark. (1998)'a göre, somatik mutasyonlar hücre bölünmelerinin yoğun olduğu erken embriyonal evrelerde gerçekleşirse mutant hücrelerin sayısı da artmaktadır. Uygulamalardan elde ettiğimiz veriler, Graf ve ark. (1998)'ın bu görüşüyle uyumludur ve tekstil boyalarının artan dozları ile benek sayısı arasında pozitif bir korelasyon olduğu Tablo 1-3'de görülmektedir. Kullanılan boyaların genotoksitesisi içinde belirlenen dominansi sırası SBNNX > SBXFDL > RB19 şeklindedir.

## 5. Sonuç

Bu çalışmada, tekstil endüstrisinde kullanılan SBNNX, SBXFDL ve RB19 sentetik boyar maddelerinin genotoksik

etkileri *Drosophila* kanat benek testi ile araştırılmış ve doz artışına bağlı olarak her üç boyanın da mutajenik ve rekombinojenik etkili olduğu belirlenmiştir.

Gelecekte bize ödünç olan Dünya mirasını florası, faunası, havası ile sucul ve karasal ekosistemleriyle koruyup bu mirasa sahip çıkabilmek, Dünya'nın gittikçe artan sessiz çılgınlıklarını duyabilmek, bizlerin gidebileceği başka bir Dünya'nın olmadığını bilmek insanlığın en önemli görevleri arasındadır. Ancak, "çevre için renkli bir tehlike" olarak tanımlayabileceğimiz, bir o kadar da hayatımızın vazgeçilmezleri arasında yer alan tekstil endüstrisine ait tehlikeye de dikkat çekebilmek gerekmektedir. Küresel bir düzen içinde sucul ve karasal ekosistem ile elbette ki teneffüs ettiğimiz havanın ait olduğu atmosfer artık kendine ait olmayan kirleticileri bize geri göndermektedir. Yapılacak tek ve en önemli işlev, gelecek nesillere daha az yıpranmış bir yeryüzü bırakabilmektir.

## Teşekkür

Bu çalışmayı FYL-2023-12019 numaralı proje ile destekleyen Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimine teşekkür ederiz.

## Kaynaklar

- Başer İ, İnanıcı, Y. 1990. Boyarmadde Kimyası, Marmara Üniv. Teknik Eğitim Fak. 482(2): İstanbul.
- Carmen Z, Daniela S. 2012. Textile organic dyes-characteristics, polluting effects and separation/elimination procedures from industrial effluents-a critical overview (pp. 55- 86). IntechOpen.
- Chen MHC, Hsu LC, Wu JL, Yeh CW, Tsai JN, Hseu YC, Hsu LS. 2014. Exposure to benzidine caused apoptosis and malformation of telencephalon region in zebra fish. Environ Toxicol. 29(12): 1428-1436.
- Ching Chen S, Hseu YC, Sung JC, Chen CH, Chen LC, Chung KT. 2011. Induction of DNA damage signaling genes in benzidine treated HepG2 cells. Environ Mol Mutagen. 52(8): 664-672.
- Choudhary G. 1996. Human health perspectives on environmental exposure to benzidine: a review. Chemosphere. 32(2): 267-291.
- Croce R, Cinà F, Lombardo A, Crispeyn G, Cappelli CI, VianM, Maiorana S, Benfenati E, Baderna D. 2017. Aquatic toxicity of several textile dye formulations: acute and chronic assays with *Daphnia magna* and *Raphidocelis subcapitata*. Ecotoxicol Environ Safe. 144: 79-87.
- Das L, Das SK, Hooberman BH, Chu EH, Sinsheimer JE. 1994. Chromosomal aberrations in mouse lymphocytes exposed *in vitro* and *in vivo* to benzidine and 5 related aromatic amines. Mutat Res/Genet Toxicol. 320(1-2): 69-74.
- de Oliveira GAR, Leme DM, de Lapuente J, Brito LB, Porredón C, de Brito Rodrigues L, Brull N, Serret, JT, Borrás M, Disner GR, Cestari MM, de Oliveira DP. 2018. A test battery for assessing the ecotoxic effects of textile dyes. Chem-Biol Interact. 291: 171-179.
- Eroğlu Doğan E. 2002. Bazı Astrazon Grubu Tekstil Boyalarının Genotoksik Etkisinin *Drosophila melanogaster* Somatik Mutasyon ve Rekombinasyon Testi (SMART) ile

- Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniv. Fen Bilimleri Ens. Malatya.
- Frei H, Würzler FE. 1988. Statistical methods to decide whether mutagenicity test data from *Drosophila* assays indicate a positive, negative or inconclusive result. *Mutat Res*. 203: 297- 308.
- Graf U, Abraham SK, Guzmán-Rincón J. Würzler FE. 1998. Antigenotoxicity studies in *Drosophila melanogaster*. *Mutat Res/ Fund Mol Mech Mutagen*. 402(1-2): 203-209.
- Gottlieb A, Shaw C, Smith A, Wheatley A, Forsythe S. 2003. The toxicity of textile reactive azo dyes after hydrolysis and decolourisation. *J Biotechnol*. 101(1): 49-56.
- Guo R, Wang R, Yin J, Jiao T, Huang H, Zhao X, Zhang L, Li Q, Zhou J, Peng Q. 2019. Fabrication and highly efficient dye removal characterization of betacyclodextrin-based composite polymer fibers by electrospinning. *Nanomaterials*. 9(1): 127.
- Gürçüm BH, Öneş A. 2018. Bakteri ve mikroalglerin tekstil boyacılığında ve baskıcılığında kullanım olanakları. *İdil Sanat ve Dil Derg*. (46): 701-709.
- Hernández-Zamora M, Martínez-Jerónimo F. 2019. Congo red dye diversely affects organisms of different trophic levels: a comparative study with microalgae, cladocerans, and zebrafish embryos. *Environ Sci Pollut Res*. 26(12): 11743-11755.
- Hunger K. 2003. "Industrial Dyes", Wiley-VCH, Verlag, 1-6
- Kant R. 2012. Tekstil Boyama Endüstrisi Çevresel Bir Tehlike. *Doğa Bilimleri*. 4: 22-26.
- Keşkek Karabulut Y. 2020. Bazı aromatik aminlerin toksikolojik ve ekolojik özelliklerinin QSAR yöntemi ile incelenmesi. Doktora Tezi, Namık Kemal Üniv. Fen Bilimleri Ens. Kimya Ana Bilim Dalı, Tekirdağ.
- Khan IT, Jain V. 1995. Effect of textile industry wastewater on growth and some biochemical parameters of *Triticum aestivum*. *J Environ Pollut*. 2: 97-102.
- Lentz S, Eversole R, McHugh Law J, Means JC. 2010. Cellular proliferation, cell death, and liver histology in *Gambusia affinis* after dietary exposure to benzidine and 2-Aminofluorene. *Int J Toxicol (IJT)*. 29(3): 247-258.
- Majcen-Le Marechal A, Slokar YM, Taufer T. 1997. Decoloration of Chlorotriazine Reactive Azo Dyes with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV. *Dyes Pigm*. 33: 281-298.
- Marwari R, Khan TI. 2012. Effect of textile wastewater on tomato plant, *Lycopersicon esculentum*. *J Environ Biol*. 33(5): 849.
- Mercimek HA. 2007. *Trametes versicolor*' in tekstil boyalarının gideriminde kullanım olanakları, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniv. Biyoteknoloji Anabilim Dalı, Adana.
- Nielsen MH, Rank J. 1994. Screening of toxicity and genotoxicity in wastewater by the use of the *Allium* test. *Hereditas*. 121: 249- 254
- Novotný Č, Dias N, Kapanen A, Malachová K, Vándrovová M, Itävaara M, Lima N. 2006. Comparative use of bacterial, algal and protozoan tests to study toxicity of azo-and anthraquinone dyes. *Chemosphere*. 63(9): 1436-1442.
- Ölmez T. 1999. Tekstil Endüstrisinde Reaktif Boya Banyolarında Ozon ile Renk Giderimi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniv. Fen Bilimleri Ens. İstanbul.
- Önal A. 2000. Doğal boyarmaddeler (Ekstraksiyon-Boyama) ders notları. Gaziosmanpaşa Üniv. Fen-Edebiyat Fak Yay. 7: 1-4.
- Özata L. 2006. Bazı Tekstil Boyalarının *Drosophila melanogaster* Üzerine Toksik ve Genotoksik Etkilerinin Araştırılması, Doktora Tezi, İnönü Üniv. Fen Bilimleri Ens. Malatya.
- Öztürk E, Uysal H. 2021. Investigation of in vivo Biotoxic Effects of Synacryl Black XFDL Textile Dye on Larval Viability and Longevity in Male and Female Populations in *Drosophila melanogaster* Oregon-R. 3rd International Symposium on Biodiversity Research ISBR 2021 , Erzurum, Turkey pp.1-2.
- Öztürk E, Uysal H. 2022. The effects of superfix navy blue bf (snbbf) synthetic textile dye on larval viability and longevity in *Drosophila melanogaster* Oregon-R wild strain. 6th International Conference on Advances in Natural and Applied Sciences 11-13 October 2022, Ağrı/Türkiye International, Interdisciplinary, Online , Ağrı, Turkey, pp.67.
- Rai HS, Bhattacharyya MS, Singh J, Bansal TK., Vats P, Banerjee UC. 2005. Removal of dyes from the effluent of textile and dyestuff manufacturing industry: A review of emerging techniques with reference to biological treatment. *Crit Rev EnvironSci Technol*. 35(3): 219-238.
- Şahin N, Türkoğlu Ş. 2014 Bazı Tekstil Boyalarının *Drosophila melanogaster*'de Ömür Uzunluğu, Yaşama Yüzdesi ve Yavru Birey Sayısına Etkileri. *Cumhuriyet Üniv. Fen Edebiyat Fak. Fen Bilimleri Derg*. 35:73-93.
- Sarıoğlu H, Kayadibi P. 2012. Tekstil işletmelerinin profili ve üretime ilişkin uygulamaları üzerine bir araştırma. *Tekstil Teknolojileri Elektronik Derg*. 6 (1): 1- 12.
- Sharma MK, Sobti RC. 2000. Rec effect of certain textile dyes in *Bacillus subtilis*. *Mutat Res/Genet Toxicol EnvironMutagen*. 465(1-2): 27-38.
- Şenel M. 2006. Suggestions for Beautifying the Pronunciation of EFL Learners in Turkey. *J Lang Linguist Stud*. 2: 111 125.
- Şenel U, Sur HI, Demirtas M. 2012. Tekstil endüstrisinde kullanılan bazı sentetik reaktif boyarmaddelerin mutajenik etkisinin umu-test ile araştırılması. *Ekoloji*. 21(85): 49-56.
- Tünay O, Kabdasi I, Eremektar G, Orhon D. 1996. Color removal from textile wastewaters. *Water Sci Technol*. 34(11): 9-16.
- Uysal H, Şişman T, Aşkın H. 2006. *Drosophila* Biology and Crossover Methods (Extended 2nd Edition). Atatürk University Publications, ISBN: 975-442-111-0, Erzurum, Türkiye.
- Uysal H, Genç S, Ayar A. 2017. Toxic Effects of Chronic Feeding with Food Azo Dyes on *Drosophila melanogaster* Oregon R. *Sci Iran*. 24(6): 3081-3086. doi: 10.24200/sci.2017.4523
- Zollinger H. 1987. *Color Chemistry: Syntheses, Properties and Applications of Organic Dyes and Pigments*. 1st Edition, Weinheim, New York.