

Tekstil Materyallerinin Renklendirilmesinde Kullanılan Antibakteriyel Azo Bileşikleri

Pınar SARAL ÖZDEMİR ^{1*} 

¹Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Tekstil, Giyim, Ayakkabı ve Deri Bölümü, Rize, Türkiye

Sorumlu Yazar/Corresponding Author
e-mail: pinar.saral@erdogan.edu.tr

Derleme Makalesi/Review Article
Geliş Tarihi/Received: 21.11.2024
Kabul Tarihi/Accepted: 02.06.2025

Öz

Azo bileşikleri, kimyasal yapısında en az bir azo grubu bulunduran ($-N=N-$) renkli organik bileşiklerdir. Azo bileşikleri; tekstil, boyalar, kaplamalar, baskı mürekkepleri ve plastikler gibi farklı uygulamalarda uzun süredir parlak renk veren renklendiriciler olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, tıp, analitik kimya, koordinasyon ve kompleks kimyası, boya-üretim kimyası ile organik reaktiflerin geliştirilmesi dâhil olmak üzere çeşitli alanlarda giderek artan bir ilgiyle yeni çalışmalar yürütülmektedir. Diazolama ve kenetleme adımlarında kullanılan başlangıç maddelerini çeşitlendirmek ve bunları farklı sübstitüentler ile metal iyonlarıyla birleştirmek suretiyle çok çeşitli azo bileşikleri sentezlenebilir. Farklı bileşenleri birleştirerek çok geniş bir yelpazede antibakteriyel tekstil boyaları hızla üretilebilir ve yalnızca boyama yoluyla antibakteriyel teknik tekstil ürünleri tek bir adımda elde edilebilir. Terbiye aşamalarının sayısını azaltmak, girdi maliyetlerini düşürür ve tekstil üretiminde sürdürülebilirliği artırır; su, ana ve yardımcı kimyasallar, enerji ve zaman tasarrufu sağlar. Bu çalışmada, azo bileşiklerinin kimyasal yapıları, sentez aşamaları, özellikleri ve kullanım alanlarına ilişkin bir genel bakış sunulmuştur. Tekstilde yaygın kullanımının temelini oluşturan kromofor özelliklere, rengi belirleyen yapısal faktörlere ve antibakteriyel etkinlikten sorumlu mekanizmalara özellikle vurgu yapılmaktadır. Ayrıca, tekstil malzemelerine yalnızca boyama yoluyla ek bitim işlemlerine gerek kalmaksızın antibakteriyel işlev kazandırabilen antibakteriyel azo boyalar üzerine seçilmiş çalışmalar incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Azo, antibakteriyel, tekstil, boya

Antibacterial Azo Compounds Used in Coloration of Textile Material

Abstract

Azo compounds that contain at least one azo group ($-N=N-$) in their chemical structure, are colorful organic compounds. Azo compounds have long been utilized as vibrant colorants in different applications, such as textiles, paints, coatings, printing inks, and plastics. Meanwhile, new studies are now being carried out with growing interest in diverse fields- including medicine, analytical chemistry, coordination and complex chemistry, dye-making chemistry, and the development of organic reagents. A wide variety of azo compounds can be synthesized by diversifying the starting materials used in the diazotization and coupling steps and by combining them with different substituents and metal ions. A broad range of antibacterial textile dyes can be produced rapidly by combining various components, and antibacterial technical-textile products can be obtained in a single step through dyeing alone. Reducing the number of finishing stages lowers input costs and enhances sustainability in textile manufacturing, delivering savings in water, primary and auxiliary chemicals, energy, and time. An overview of the chemical structures, synthesis steps, properties, and applications of azo compounds has been provided in this study. Particular emphasis is given to the chromophoric features that underpin their widespread use in textiles, the structural factors governing color, and the mechanisms responsible for antibacterial activity. In addition, selected studies on antibacterial azo dyes - capable of endowing textile materials with antibacterial functionality through dyeing alone, without additional finishing processes have been reviewed.

Keywords: Azo, antibacterial, textile, dye

Cite as;

Saral Özdemir, P.(2025). Tekstil materyallerinin renklendirilmesinde kullanılan antibakteriyel Azo bileşikleri. *Recep Tayyip Erdogan University Journal of Science and Engineering*, 6(1), 452-475. Doi: 10.53501/rteufemud.1588729

1. Giriş

Antibakteriyel teknik tekstil ürünleri; hijyen ve tek kullanımlık ürünlere olan ilginin artmasıyla her geçen gün artan ürün çeşitliliği ile günlük yaşamımızda daha fazla yer almaktadırlar. Halka açık alanlarda ve evlerde çok daha temiz ve hijyenik ortamlar aranmaktadır. Antimikrobiyal tekstil materyallerinin başta medikal tekstiller olmak üzere teknik anlamda çok geniş bir pazar alanı bulunmaktadır: Giyim ve spor tekstilleri, filtreler, endüstriyel tekstiller, otomotiv tekstilleri, ev mobilyaları ve döşemelikler.

Bu çalışmada; azo bileşiklerinin kimyasal yapısı, sentez yöntemleri, farklı endüstri dallarında birçok kullanım alanı sağlayan üstün özellikleri, insan sağlığı ve çevre üzerine etkileri hakkında genel bilgi verilmiştir. Antibakteriyel azo boyaları ve tekstil renklendirilmesinde kullanımları hakkında yapılan birçok çalışma incelenerek, azo boyalarının fonksiyonel tekstil üretimindeki önemleri vurgulanmıştır.

2. Azo Boyarmaddelerinde Kimyasal Yapı, Sınıflandırma ve Renklilik

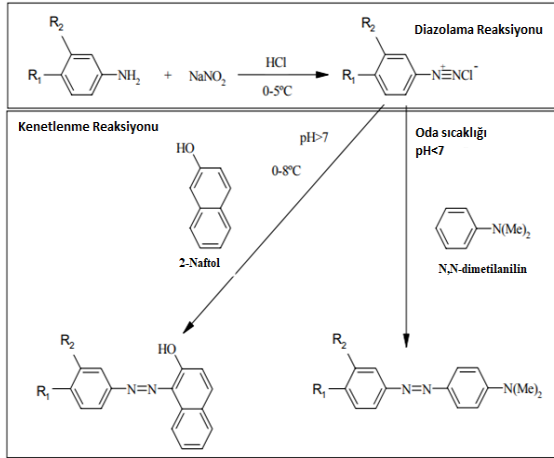
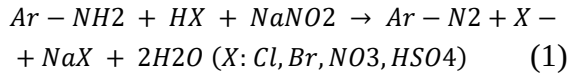
Boyarmaddeler yapısal olarak kromofor grup içeren kromojen gruplarına, oksokrom veya anti-oksokrom gruplarının bağlanmasıyla oluşmaktadır. Boyarmaddelerin reaktivitesi, sudaki çözünürlükleri, renk tonları; yapıda bulunan oksokrom gruplarının çeşidine, sayısına ve yapıda bulunma yerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Seventekin, 1988; Başer ve İnanıcı, 1989; Yurdakul ve Atav, 2006; Özgüney vd., 2007).

Azo boyarmaddeler yapısında azo fonksiyonel kromofor grubu ($-N=N-$) içeren; endüstride ticari olarak kullanılan

tüm boyaların %70'ini oluşturan; organik ve sentetik boyarmadde grubudur. Yapısında bulunan azo grubu sayısına göre; mono, di-, tri-, tetra-, poli-azo boyarmaddeleri şeklinde sınıflandırılabilir (Koçak, 2011).

Azo boyarmaddeleri boya ve pigment şeklinde üretilmektedir. Yaygın olarak sarı, kırmızı, turuncu renk tonlarına sahip olan, hatta boyarmaddenin tam kimyasal yapısına bağlı olarak mavi ve yeşil renk tonlarına bile sahip olabilen çok türevli boyarmaddelerdir. Çeşitli substituentlere sahip farklı aromatik grupların kenetlenmesi ve farklı sayıda azo grubunun aynı yapıda bulunması renk çeşitliliğini arttırmaktadır. Azo boyarmaddeler, çok yaygın kullanılan birçok tekstil uygulama sınıfında (asit, reaktif, direkt, metal kompleks, dispers, pigment, bazik boyarmaddeler...) yer alan bir kimyasal sınıftır (Hunger, 2003; Ramalho, 2005; İçoğlu, 2006).

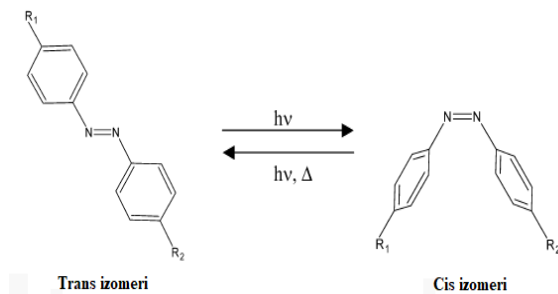
Endüstriyel azo bileşikler; birincil aromatik aminlerin diazolanması sonrasında oluşan diazonyum tuzunun; $-OH$, $-NH_2$, $-NHR$ gibi elektron sağlayan grupları bulunan bileşiklerle (aromatik amin, fenol, naftol bileşikler veya alifatik enol bileşikler...) kenetlenmesiyle elde edilirler (Christie, 2001). Azo boyalarının genel sentez yöntemi ve adımları Şekil 1'de verilmiştir (Ramalho, 2005). Mineral asit varlığında (yaygın olarak kullanılan HCl) amin çözeltisinin sodyum nitrit ile reaksiyonu sonucu diazonyum tuzları oluşur (Denklem 1). Diazonyum tuzlarının nükleofilik bileşiklere kenetlenmesi, hidroksil veya amino grubuna bağlı olarak para (çoğunlukla) veya orto konumundan gerçekleşebilmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Azo bileşiklerinin genel sentez yöntemi (Ramalho, 2005).

Figure 1. General synthesis route of azo compounds (Ramalho, 2005).

Azo bileşikler iki farklı geometrik izomer yapısında (Şekil 2) bulunabilmektedir; trans veya cis. UV veya görünür bölgedeki ışık ile uyarılan kromoforlarda fotokimyasal trans ↔ cis izomerizasyonu gerçekleşir. İki farklı konfigürasyon, ısı ve ışık etkisi altında kolayca birbirlerine dönüşebilmektedir. Işıktan yeterli enerjiyi absorblayan azo kromoforun trans yapısı, daha az kararlı olan cis formuna dönüşebilmektedir: Trans-azobenzen izomeri, 320-350 nm ışık altında kolayca cis izomer yapısına dönüşebilir. Tersinir reaksiyonda cis formu, görünür bölgedeki (400-450nm) ışık altında veya ısıtılarak trans formuna hızlıca dönüşebilmektedir.



Şekil 2. Azobenzen türevlerinin geometrik izomerleri (Cojocariu ve Rochon, 2004).

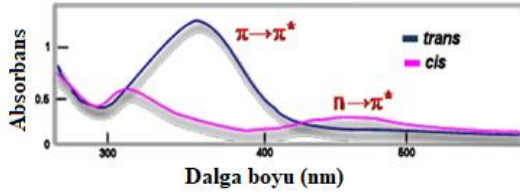
Figure 2. Geometric isomers of azobenzene derivatives (Cojocariu and Rochon, 2004).

Azo polimerlerinde gerçekleşen fotoizomerizasyon; polimer zincirlerinde konformasyonel değişimlere, dipol momentlerinde, absorpsiyon spektrumlarında değişimlere neden olabilmektedir. Bu değişimler bulundukları ortamın fiziksel ve kimyasal özelliklerinde de değişimlere sebep olurlar. Bu özelliklerinden dolayı, azo kromoforları nonlinear optik polimerlerde yaygın biçimde kullanılmaktadır (Cojocariu ve Rochon, 2004; Merino ve Ribagorda, 2012; Bujak vd., 2019).

Azobenzen yapısının UV-vis absorpsiyon spektrumu $\pi \rightarrow \pi^*$ ve $n \rightarrow \pi^*$ elektron geçişlerine bağlı iki karakteristik bant gösterir (Şekil 3). Karbon sistemlerinde (stilben gibi) ortak gözlenen $\pi \rightarrow \pi^*$ geçişi, UV bölgesi yakınında oluşurken; azot atomlarının paylaşılmamış elektron çiftinin varlığından kaynaklanan $n \rightarrow \pi^*$ elektron geçişi ise görünür bölgede gözlenir. Cis-trans-cis izomerizasyonları, absorpsiyon bantlarının şiddetlerinde değişimlere neden olur. Kararlı trans izomer yapısının ışık altında yeterli enerjiyi sağlamasıyla cis izomerine dönüşümü gerçekleşirken; $\pi \rightarrow \pi^*$ geçiş bantı daha kısa dalga boylarına kayarken (hipsokromik etki), $n \rightarrow \pi^*$ geçiş bantının şiddeti artar. Maksimum absorpsiyon dalga boyu (bileşiğin rengi) ve foto kimyasal ve termal izomerizasyon süresi, azobenzen yapısında fenil gruplarına bağlı bulunan substituent çeşidine bağlı olarak değişir (Merino ve Ribagorda, 2012; Bujak vd., 2019).

Aromatik azo bileşiklerinin yapıları, UV-vis spektrum bant geçişlerine göre azobenzen, aminoazobenzen ve pseudo-stilben tipi olmak üzere üç grupta

sınıflandırılabilir (Abdulloğlu, 2018). Substituentsiz azobenzen tipi yapılar sarı renk, aminoazobenzen tipi yapılar turuncu renk ve pseudo-stilben tipi yapılar kırmızı renk tonlarındadır. UV-vis spektrumları kıyaslandığında, substituentler azobenzen yapısında batokromik etki yaratmaktadır (Sert, 2023).



Şekil 3. Azo benzen tipi azo bileşiklerinin UV spektrumunun örnek gösterimi (Merino ve Ribagorda, 2012).

Figure 3. Example representation of the UV spectrum of azo benzene type azo compounds (Merino and Ribagorda, 2012).

3. Azo Bileşiklerinin Antimikrobiyal Özellikleri

Azo bileşiklerin başlangıç hammaddelerinin kolay bulunabilmesi ve ucuz olması, diazolama ve kenetlenme reaksiyonlarının kolay ve düşük maliyetle hazırlanabilmesi; sarı, turuncu, kırmızı, hatta mavi ve yeşil renklerin bileşik yapısına bağlı olarak canlı tonlarda yüksek haslıklara sahip biçimde elde edilebilmesi, azo bileşiklerinin günlük hayatımızda birçok alanda pigment ve boya yapısında renklendirici olarak yaygın kullanılmasını sağlamaktadır: duvar ve resim boya, baskı mürekkepleri, kauçuk, plastik, tekstil boya, renkli tebeşirler, pastel boya (Berrie ve Lomax, 1997; Rabbi vd., 2018; Rabbani vd., 2020).

Başlangıç maddelerinin çeşitlendirilmesiyle farklı özelliklere sahip çok çeşitli azo bileşikleri elde edilebilmekte ve sahip oldukları çeşitli

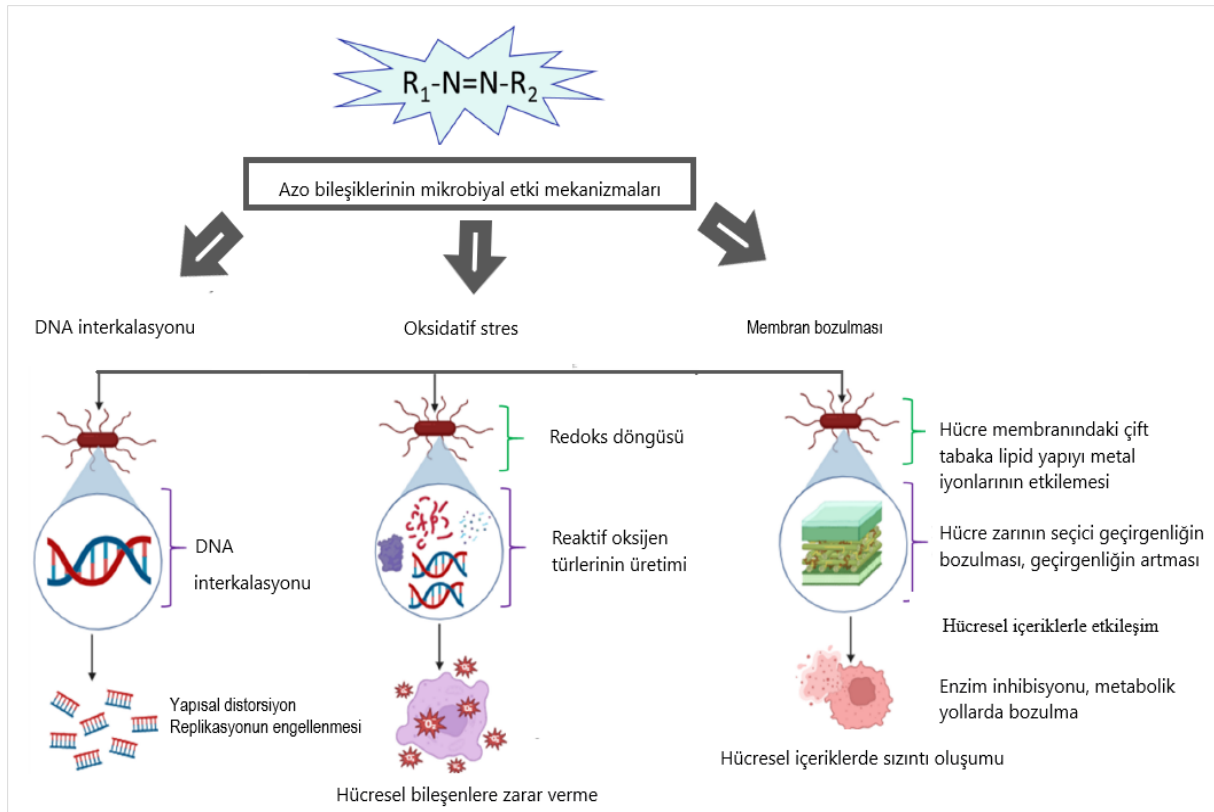
fizikokimyasal ve biyolojik özellikleri sayesinde geniş uygulama alanları bulabilmektedirler. Mimari, otomotiv, sanatsal ve tekstil alanlarında yaygın olarak renklendirme özelliklerinden yararlanan azo bileşikler; farmakoloji, kozmetik, gıda, tarım, analitik kimya, ink jet yazıcılar, elektro optik cihazlar veya lazerler, moleküler anahtarlar, kemosensörler, biyomedikal çalışmalar gibi farklı yüksek teknoloji alanlarında da kullanılmaktadırlar. Fotosensitizer olarak sıvı kristal ekranlarda, kompleksometrik titrasyon indikatörü ve asit-baz indikatörü olarak kimyada uygulama alanı bulmaktadırlar. Bazı heterosiklik azo bileşikler korozyon inhibitörü olarak da kullanılmaktadır (Yıldız ve Boztepe, 2002; Addnan, 2016; Aljamali ve Hassen, 2021; Nagasundaram vd., 2022).

Azo bileşikler kimyasal yapısına bağlı olarak çok çeşitli farklı biyolojik aktivitelere: herbisidal, antiinflamatuvar, antimikrobiyal veya antiparaziter, anti-ülser, anti-mantar, antibakteriyel, antitüberküloz, antioksidan, antidiyabetik, antimalaryal, antiseptik, antibiyotik ve diğer kemoterapötik etkilere sahip olabilmektedir. Tıbbi açıdan, bu bileşiklerin antibiyotik, antifungal ve anti-HIV özellikleri çok iyi bilinmektedir (Węglarz-Tomczak ve Górecki, 2012; Addnan, 2016; Aljamali ve Hassen, 2021; Nagasundaram vd., 2022; Di Martino vd., 2022; Mezgebe ve Mulugeta, 2022).

Azo moleküllerinin; DNA, RNA, kanser oluşumu ve protein sentezi inhibisyonuna dahil olduğu bilinmektedir (Al-Joboury vd., 2021). Azo moleküllerinin yapısında bulundurduğu azo bağı, proteinin aktif bölgeleri ile etkileşime geçerek inhibisyon sağlamaktadır. Azo boya, DNA

interkalasyonu (DNA çift sarmalının baz çiftleri arasına boya molekülü yerleşerek, DNA'nın işlevini etkileyebilmekte: gen ekspresyonunu veya çoğalmasını engelleyebilmektedir. Transkripsiyon ve translasyon adımlarını bozabilmektedir.), zar bozulması, enzim inhibisyonu ve reaktif oksijen türlerinin oluşumunu içeren çeşitli mekanizmalar yoluyla antimikrobiyal aktivite gösterirler (Şekil 4) (Mishra vd., 2024). Azo bileşiklerinin yapısında bulunabilen ligandlar, metal iyonları, boya metal kompleks yapısında yapının geometrisi, lipofilitesi ve farmakokinetik faktörler antimikrobiyal etkinliğini etkilemektedir. Bakterilerin membranlarına zarar vererek, ATP sentezini etkileyip, enzim ve toksin sentezi gibi enerjiye bağlı hücre işlevlerini yerine getirememesine

neden olarak biyolojik aktivite kazanırlar. Mikrobiyal enzimlerin aktif bölgelerine bağlanarak katalitik aktivitelerini inhibe ederler. Azo boyaları amfipatik doğası nedeniyle lipid tabakalarla etkileşime geçerek, zarda geçirgenlik artışına ve fiziksel bozunmaya neden olur. Yapıda bulunan yüklü gruplar (metal iyonları: Cu, Fe, Co, Zn, Ni, Ag) negatif yüklü zar bileşenleriyle etkileşime girerek, membran lipidleri ile koordine olarak; reaktif oksijen türlerinin üretimini (O_2^{-1} , OH^- , H_2O_2 radikaller) katalizleyip, lipid peroksidasyonuna yol açar ve oluşan membran hasarı yapının stabilitesini bozar. Reaktif oksijen türleri, mikrobiyal yapıda bulunan hücre bileşenlere: DNA, protein ve yağlara zarar verir.



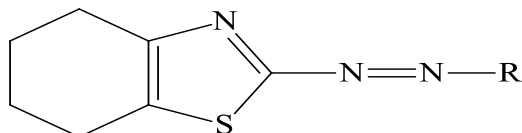
Şekil 4. Azo bileşiklerinin mikrobiyal etki mekanizmaları (Mishra vd., 2024).

Figure 4. Microbial effect mechanisms of azo compounds (Mishra et al., 2024).

Hamid vd. (2011)'ne göre; 2-Amino-4,5,6,7-tetrahydrobenzotiazol maddesinin

diazolanması sonrası, çeşitli naftol ve fenol bileşikleriyle kenetlenmesi sonucu azo

bileşikler sentezlenip (Şekil 5, Tablo 1), bu bileşiklerin antibakteriyel özellikleri incelenmiştir. Yapılardan özellikle azo-2-naftol bileşiğinin *Klebsiella pneumonia*, *Pseudomonas aeruginosa* ve *Escherichia coli* bakterilerine karşı yüksek derecede etkili olduğu gözlenmiştir.



Şekil 5. Sentezlenen azo bileşiklerinin kimyasal yapısı (Hamid vd., 2011).

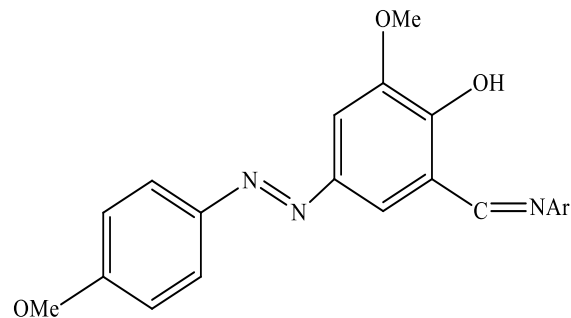
Figure 5. Chemical structure of synthesized azo compounds (Hamid et al., 2011).

Tablo 1. Sentezlenen azo bileşiklerinin yapısında bulunan değişken gruplar (R *Boya 1-5*) (Hamid vd., 2011).

Table 1. The radical groups (R *Dye 1-5*) on synthesized azo compounds (Hamid et al., 2011).

	Boya 1	Boya 2	Boya 3	Boya 4	Boya 5
R	2-naftol	1-naftol	fenol	m-resorsinol	p-metoksifenol

Jarrahpour vd. (2004)'ne göre; sentezlenen on farklı Azo Schiff bazı yapısının (Şekil 6, Tablo 2 ve Şekil 7, Tablo 3), beş farklı mikroorganizmaya (*Staphylococcus aureus* (Gram + ve metisilin dirençli), *Bacillus subtilis* (Gram+), *K. pneumonia*, *P. aeruginosa*, *E. coli*) karşı etkinliği incelenmiştir. Çalışmada azo, metoksi ve azometin bağlarının antibakteriyel etkinlikleri tek yapıda birleştirilmeye çalışılmıştır. 1, 3, 4, 7 ve 10 bileşiklerinin gram pozitif *S. aureus* ve *B. subtilis* bakterilerine karşı antibakteriyel etkili olduğu gözlenmiştir.



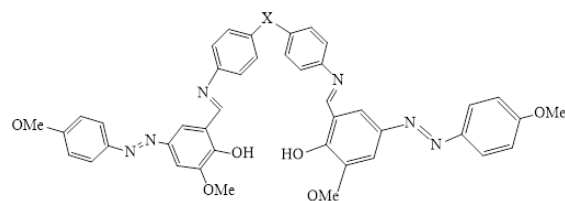
Şekil 6. Sentezlenen sekiz farklı azo shiff bazı bileşiklerinin kimyasal yapısı (Jarrahpour vd., 2004).

Figure 6. Chemical structure of synthesized eight different azo schiff base compounds (Jarrahpour et al., 2004).

Tablo 2. Sentezlenen sekiz farklı azo shiff bazında (1-8) bulunan farklı aromatik gruplar (Ar) (Jarrahpour vd., 2004).

Table 2. The different aromatic groups (Ar) on synthesized eight different aromatic azo schiff bases (1-8) (Jarrahpour et al., 2004).

Bileşikler	Ar
1	C ₆ H ₅
2	C ₆ H ₅ CH ₂
3	m-HOC ₆ H ₄
4	m-CH ₃ C ₆ H ₄
5	o-CH ₃ C ₆ H ₄
6	p-MeOC ₆ H ₄
7	m-MeOC ₆ H ₄
8	o-MeOC ₆ H ₄



Şekil 7. Sentezlenen bis azo shiff bazı bileşiklerinin kimyasal yapısı (Jarrahpour vd., 2004).

Figure 7. Chemical structure of synthesized bis azo schiff bases compounds (Jarrahpour et al., 2004).

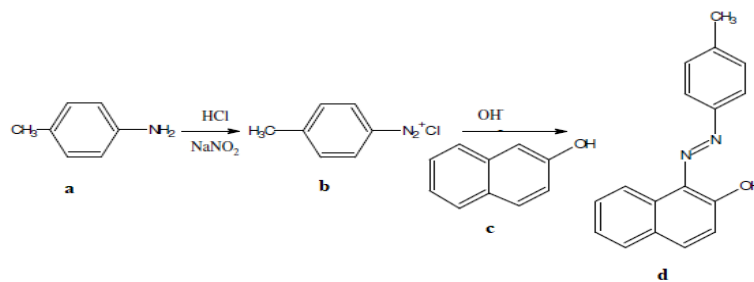
Tablo 3. Sentezlenen bis azo schiff bazı bileşiklerinde (9,10) bulunan değişken gruplar (X) (Jarrahpour vd., 2004).

Table 3. The variable groups (X) on synthesized bis azo schiff base compounds (9,10) (Jarrahpour et al., 2004).

Birleşikler		
	9	10
X	O	SO ₂

Mkpenie vd. (2008)'ne göre; 4-metil anilin (a) maddesinin diazolanması sonucu oluşan

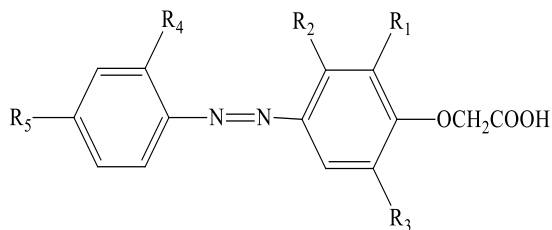
diazonyum klorid formu (b) ile 2-naftol bileşiğinin (c) kenetlenmesi sonucu 1-(4-metilfenilazo)-2-naftol (azo-2-naftol) (d) bileşiği sentezlenmiştir (Şekil 8). Azo-2-naftol ve 2-naftol bileşiklerinin beş farklı tür (*E. coli*, *S. aureus*, *B. subtilis*, *P. aeruginosa* ve *Streptococcus faecalis*) bakteriye karşı antibakteriyellikleri kıyaslandığında; yapıda azo grubunun varlığının yapının antibakteriyel etkinliğini önemli ölçüde arttırdığı gözlenmiştir.



Şekil 8. Azo-2-naftol bileşiğinin sentez reaksiyonu (Mkpenie vd., 2008).

Figure 8. Synthesis reaction of azo-2-naphthol compounds (Mkpenie et al., 2008).

Moanță ve Radu (2009)'na göre; on bir farklı 4-fenilazofenoksiasetik asit azo bileşikleri sentezlenip (Şekil 9, Tablo 4); bileşiklerin disk difüzyon metoduna göre *E. coli*, *S. aureus*, *P. aeruginosa*, *Streptococcus pyogenes*, *Proteus vulgaris* bakterilerine karşı etkinlikleri incelenmiştir. Metilen grubu içeren bileşiklerin iyi antimikrobiyal etki gösterdiği gözlenmiştir.



Şekil 9. Sentezlenen 4-fenilazofenoksiasetik asit azo bileşiklerinin kimyasal yapısı (Moanță ve Radu, 2009).

Figure 9. Chemical structure of synthesized 4-phenylazo-phenoxyacetic acids azo compounds (Moanță and Radu, 2009).

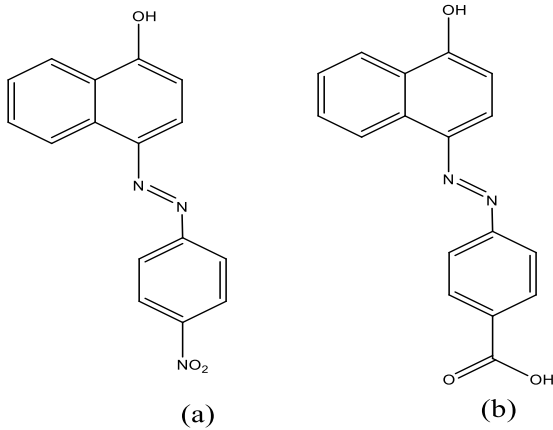
Tablo 4. Sentezlenen 4-fenilazofenoksiasetik asit azo yapılarının içerdiği substituentler (Moanță ve Radu, 2009).

Table 4. Substituents of synthesized 4-phenylazo-phenoxyacetic acids azo structures (Moanță and Radu, 2009).

Bileşikler	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅
1.	CH ₃	H	H	H	H
2.	H	CH ₃	H	H	H
3.	H	H	H	CH ₃	H
4.	CH ₃	CH ₃	H	H	H
5.	CH ₃	H	CH ₃	H	H
6.	CH ₃	H	H	H	CH ₃
7.	H	H	H	H	Cl
8.	CH ₃	H	H	H	Cl
9.	H	CH ₃	H	H	Cl
10.	Cl	H	H	H	Cl
11.	H	Cl	Cl	H	Cl

Kofie vd. (2014)'ne göre; sentezlenen yedi farklı azo bileşiğinin, boya çözeltilerinin *E. coli*, *S. aureus*, *Mycobacterium smegmatis*, *Micrococcus luteus*, *P. aeruginosa*

bakterileri ve *Candida albicans* mantarına karşı antimikrobiyal özellikleri incelenmiştir. Sadece 4-((4-nitrofenil) diazenil)naftalen-1-ol bileşiği ve 4-(4-hidroksinaftalen-1-il)diazenil)benzoik asit bileşiğinin (Şekil 10); *P. aeruginosa* bakterisi hariç diğer mikroorganizmalar üzerinde etkili olduğu gözlenmiştir.

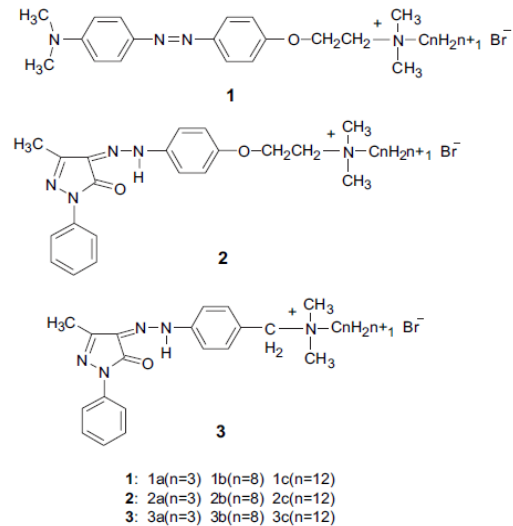


Şekil 10. Antimikrobiyal etkinlik gösteren bileşiklerin kimyasal yapısı: (a) 4-((4-nitrofenil)diazenil)naftalen-1-ol, (b) 4-(4-hidroksinaftalen-1-il)diazenil)benzoik asit (Kofie vd., 2014).

Figure 10. Chemical structure of compounds showing antimicrobial activity: (a) 4-((4-nitrophenyl)diazenyl)naphthalen-1-ol, (b) 4-((4-hydroxynaphthalen-1-yl)diazenyl)benzoic acid (Kofie et al., 2014).

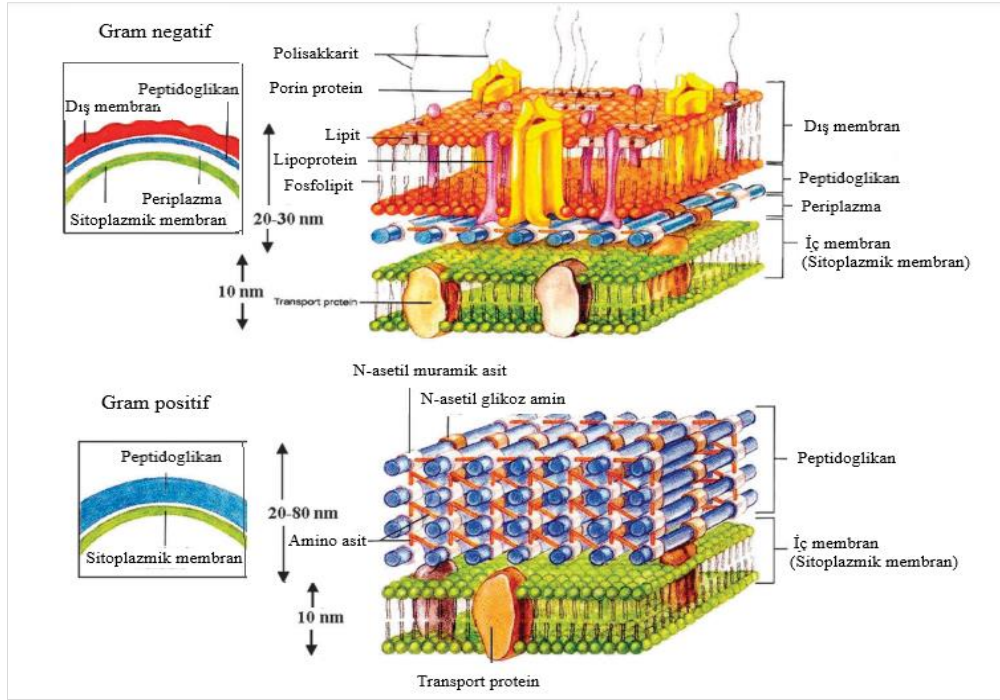
Liu vd. (2007)'ne göre; kuarterner amonyum tuzu içeren katyonik monoazo boyaları (1,2,3) (Şekil 11) sentezlenmiştir. Bu boyalar; *E. coli* bakterisine göre, *S. aureus* bakterisine karşı daha fazla etkili çıkmıştır. Gram negatif bakterilerin hücre zarlarının daha komplike yapıda (Şekil 12) olmasından dolayı bu sonucun çıktığı

düşünülmektedir. Gram negatif bakterilerin sahip oldukları hücre duvarı; dış membranı (polisakkarit, lipoprotein, lipit içerikli) dirençlerini arttırmaktadır. Kuaterner amonyum tuzu yapısındaki üç farklı yapıda (Şekil 11); diğer değişkenler sabit tutulduğunda, yapıdaki hidrokarbon alkil zincir uzunluğu arttıkça (n değeri arttıkça) antibakteriyel özellik artmıştır (Liu vd., 2007). Ma vd. (2003)'ne göre, kuarterner amonyum tuzu içeren bileşiklerde, sekiz karbon sayısının altında alkil uzunluğuna sahip yapıların daha düşük antibakteriyel özellik gösterdiği belirtilmiştir. Buna bağlı olarak disubstitue boyarmaddelerin antibakteriyelliğinin mono substituentlilere göre daha yüksek olması beklenmektedir.



Şekil 11. Üç farklı alkil uzunluğuna sahip (n:3 (a), n:8 (b), n:12 (c)) olarak sentezlenen katyonik monoazo boyalarının (1),(2),(3) kimyasal yapıları (Liu vd., 2007).

Figure 11. Chemical structures of synthesized cationic monoazo dyes (1),(2),(3) including three different alkyl lengths (n:3 (a), n:8 (b), n:12 (c)) (Liu et al., 2007).



Şekil 12. Gram pozitif ve negatif bakterilerin hücre membranlarının şematik görüntüsü (Josset vd., 2008).

Figure 12. Schematic image of cell membranes of gram-positive and negative bacteria (Josset et al., 2008)

4. Antibakteriyel Azo Bileşiklerinin Tekstilde Kullanımı

Tekstil materyalleri ve giysiler; mikroorganizmaların büyümesi için gerekli nemi absorblar, üreyebilecekleri gözenekli, büyük yüzey alanını ve yeterli sıcaklığı sağlarlar. Tekstilde kullanılan protein (keratin) ve selüloz içerikli doğal lifler; hidrofilik kimyasal yapılarıyla, bakteriyel büyüme ve çoğalma için gerekli nem, oksijen, besin ve sıcaklık temel gereksinimlerini daha iyi sağladıklarından; sentetik esaslı ürünlere göre mikroorganizma kökenli problemlere daha hassastır. Mikrobiyal çoğalma; üründe kötü koku, lekelenme, zarar (parçalanma veya mekanik dayanımda azalma), kullanan kişide dermal enfeksiyon, alerjik sonuçlar ve diğer alakalı patojenik hastalıklara sebep olabilmektedir. Mikroorganizma terimi genel olarak bakteriler, mantarlar (küfler ve mayalar) ve virüsleri içerir. Tekstil

ürünlerini ilgilendiren özellikle bakteriler ve daha sonra mantarlardır. İnsan sağlığı açısından patojenik bazı bakteri türleri ve etkileri Tablo 5’de verilmiştir.

Mikroorganizmalar, kumaş yüzeyleri üzerine tutunarak (adhezyon) tekstil materyalleri tarafından taşınabilmektedir. Tekstil sanayisinde uygulanan antimikrobiyal ve antibakteriyel işlemler, bu organizmaların tekstil yüzeylerinde yerleşmelerini veya çoğalabilmelerini önlemek amacıyla yapılmaktadır. Bu işlemlerin esası, tekstil ürününe antibakteriyel maddeler aktararak mikroorganizmaların etkinliklerinin durdurulmasıdır. Bu işlemlerin sonucunda, rahatsız edici kokuların oluşumu, enfeksiyon ve reenfeksiyon oluşumu ve yayılması, lif materyalinin zarar görmesi önlenir (Singh vd., 2005; Taşlıalan, 2008; Yi ve Yoo, 2010; Simoncic ve Tomsic, 2010; Akaydın ve Kalkancı, 2014).

Tablo 5. Bazı mikroorganizmaların patojenik etkileri (Akaydın ve Kalkancı, 2014).**Table 5.** Pathogenic effects of some microorganisms (Akaydın and Kalkancı, 2014).

Mikroorganizma	Patojenlik	Etkileri
<i>B. subtilis</i> (Gr +)	Genel olarak patojen değildir	Gıdaların bozulmalarına sebep olur
<i>E. coli</i> (Gr -)	Düşük oranda patojendir	Gıdaların bozulması ve idrar enfeksiyonlarına neden olur
<i>K. pneumoniae</i> (Gr -)	Patojendir	Zatürree, idrar torbası enfeksiyonlarına yol açar
<i>P. aeruginosa</i> (Gr -)	Düşük patojendir	Çeşitli enfeksiyonlara neden olur
<i>P. vulgaris</i> (Gr -)	Düşük patojendir	İltihaplanmalara neden olur
<i>Staphylococcus epidermis</i> (Gr +)	Düşük patojendir	Cerrahi yara enfeksiyonlarına neden olur
<i>S. aureus</i> (Gr +)	Patojendir	Toksik şok, cerahat toplama, apse, fibrin pıhtılaşması, endocarditis

Tıbbi tekstiller ve bununla ilgili olan bakım ve hijyen sektörü, tekstil endüstrisinin önemli ve büyüyen bir alanıdır. Söz konusu büyüme ise hem tekstil teknolojisindeki hem de tıbbi yöntemlerdeki sürekli devam eden ilerleme ve yenilikler sayesinde olmaktadır. Yumuşak tutumu, iyi absorban yeteneği, rahat ve nefes alabilir yapısı, yıkanabilir özelliklere sahip olması nedeniyle doğal bir lif olan pamuk lifi özellikle bakım ve hijyen ürünlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Tıbbi tekstiller (doktor, hemşire kıyafetleri, hasta bakım kıyafetleri, takımlar), askeri üniformalar, çocuk kıyafetleri gibi özellikle ciltle direk temas eden tekstillerde antimikrobiyal işlemler oldukça önem kazanmaktadır (Rigby, 1997).

Antibakteriyel özellikler, tekstil materyallerine katkı maddeleriyle eğirme (Eğirme çözeltisine veya eriyik içerisine biyoaktif maddeler eklenerek yapılan, sentetik liflere antimikrobiyal özellik vermede yaygın olarak kullanılan yöntemdir.), emdirme, sprey, polimer modifikasyonu (Biyoaktif fonksiyonel gruplar ile monomerlerin

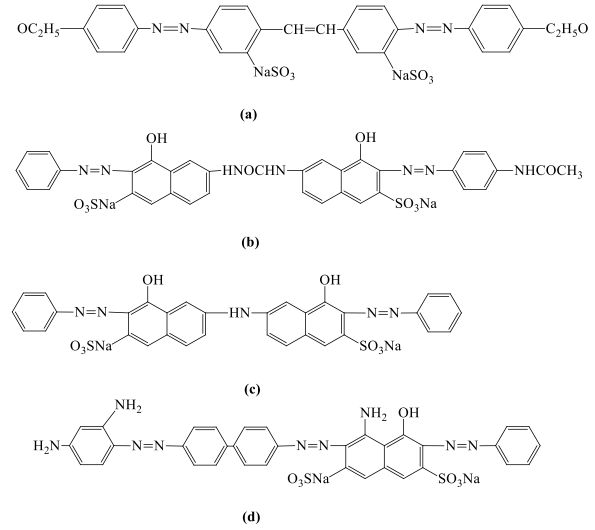
kopolimerizasyonu sayesinde gerçekleştirilir.), mikroenkapsülasyon gibi çeşitli yöntemlerle verilmektedir. Tekstil uygulamalarına uygun farklı antimikrobiyal madde sayısı pazarda önemli ölçüde artmaktadır. Bu antimikrobiyal maddeler fiyatlarının yanı sıra kimyasal yapıları, etkinlikleri, uygulanma metodları, antimikrobiyal aktivite mekanizmaları (bakterisid/fungisid, bakteriostat/fungistat), yıkama dayanıklılığı, insanlar ve çevre üzerine etkileri açısından farklıdırlar. İstenilen antibakteriyel etkiyi sağlamak için tek veya kombinasyon olarak kullanılabilirler. Kullanılan antibakteriyel bileşikler, orjinlerine göre iki sınıfa ayrılırlar: doğal ve sentetik antimikrobiyal maddeler. Kitosan, Chitin'den türetilmiş etkili, doğal antimikrobiyal bir maddedir. Nim ağacı yaprakları, fesleğen, nar, aloe vera, zerdeçal, karanfil, kaba saman çiçeği gibi doğal bitkisel ürünlerde antimikrobiyal aktivite gösterir. Anorganik yapıli zeolitler, NaAl silikatlarda antibakteriyel madde olarak kullanılmaktadır. Kuaterner amonyum bileşikleri, poliheksametilen biguanidler, triklosan, rejenere N-halamin

ve peroksiasidler sentetik antimikrobiyal maddelerdir. Metaller ve metal tuzları da (gümüş, çinko, bakır...) antibakteriyel etkinlik gösterirler. Bitim işlemleri ile antimikrobiyal etki sağlanması için uygulanan en yaygın yöntemler püskürtme, emdirme ve kaplamadır. En çok kullanılan katkı maddeleri, halojenleştirilmiş salisilik asit, anilidler, orgonotin bileşikler, kuarterner amonyum bileşikler, organosilikon kuarterner amonyum tuzları ve kuarterner amonyum sülfonamid türevleri gibi organik esaslı bileşiklerdir (Rajendran, 2002; Süpüren vd., 2006; Palamutçu vd., 2009; Landage ve Wasif, 2012)

Antibakteriyel azo bileşiklerinin antibakteriyel özelliği; yapısında temel bulundurduğu azo grubunun etkisinin yanı sıra; eklenen çeşitli substitue gruplar, içerdiği metal çeşidine göre, seçilen kendisi antibakteriyel özellik taşıyan kenetlenme komponentleri ile çok çeşitlendirilebilmektedir.

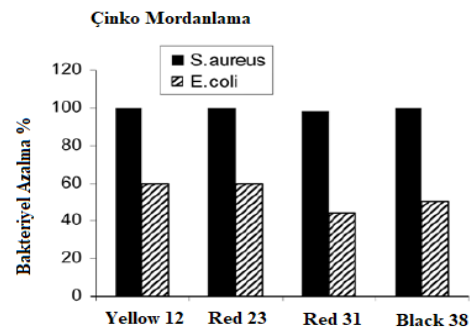
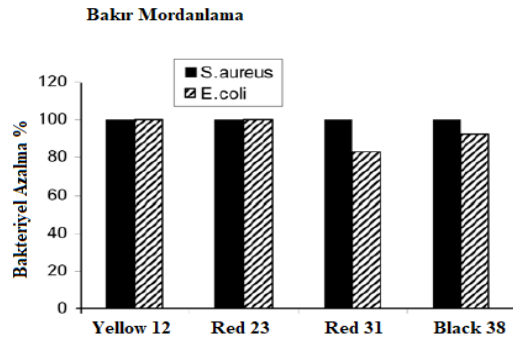
Khajeh Mehrizi vd. (2009)'ne göre; bakır ve çinko sülfat ile yapılan mordanlama işlemleri çeşitli azo substantif boyarmaddeler (Şekil 13) ile gerçekleştirilen boyama prosesleriyle kombine edilerek akrilik kumaşa

uygulanmış ve boyanan kumaşların *E. coli* ve *S. aureus* bakterilerine karşı etkinlikleri incelenmiştir. Çinkoya göre; bakır mordanlama sonucu elde edilen antibakteriyellik sonuçları daha yüksek çıkmıştır (Şekil 14). Sülfonat ve azo gruplarının bakır iyonları ile daha iyi etkileşim gösterdiği düşünülmektedir.



Şekil 13. (a) C.I. Direct Yellow 12, (b) C.I. Direct Red 23, (c) C.I. Direct Red 31, (d) C.I. Direct Black 38 boyarmaddelerinin kimyasal yapısı (Khajeh Mehrizi vd., 2009).

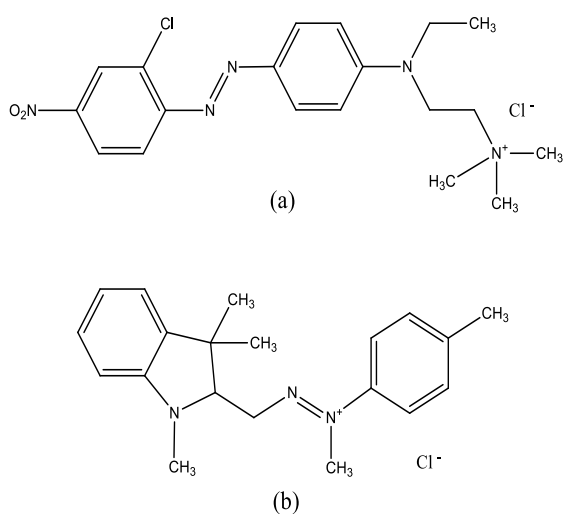
Figure 13. Chemical structures of dyes: (a) C.I. Direct Yellow 12, (b) C.I. Direct Red 23, (c) C.I. Direct Red 31, (d) C.I. Direct Black 38 (Khajeh Mehrizi et al., 2009).



Şekil 14. Direkt boyalarla (Şekil 22) boyanmış ve bakır ya da çinko sülfat ile mordanlanmış akrilik kumaşların antibakteriyel etkinlik sonuçları (Khajeh Mehrizi vd., 2009).

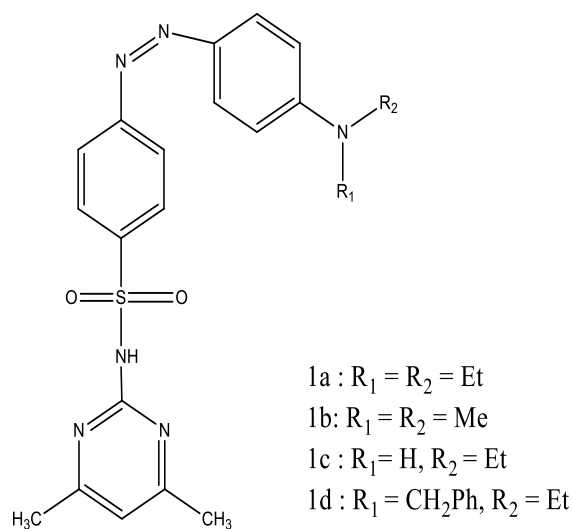
Figure 14. Antimicrobial activity results of acrylic fabrics which are dyed with direct dyes (Figure 22) and mordanted with copper or zinc sulfates (Khajeh Mehrizi et al., 2009).

Tutak ve Gün (2011)'ne göre; (a) C.I. Basic Red 18:1 ve (b) C.I. Basic Yellow 51 katyonik boyarmaddeleri (Şekil 15) ile akrilik kumaş boyanıp, hem boyanmış kumaşların hem de boya çözeltilerinin *E. coli*, *S. aureus* ve *P. aeruginosa* patojenlerine karşı antibakteriyel özellikleri incelenmiştir. C.I. Basic Red 18:1 yapısının bütün bakterilere karşı etkinliğinin, çözelti halinde (Tablo 6) de kumaş üzerinde de C.I. Basic Yellow 51 boyasına göre çok daha yüksek olduğu gözlenmiştir.



Şekil 15. C.I. Basic Red 18:1 (a) ve C.I. Basic Yellow 51 (b) katyonik boyarmaddelerinin kimyasal yapısı (Tutak ve Gün, 2011).
Figure 15. Chemical structures of cationic dyes: (a) C.I. Basic Red 18:1 and (b) C.I. Basic Yellow 51 (Tutak and Gün, 2011).

Gaffer vd. (2012)'ne göre; kitosan/sulfadimidin boyalarının (Şekil 16, 1a-d) koloidal çözeltileri ile emdirip (%100 pick-up), kurutulup, fikse edilerek hazırlanan pamuklu kumaşların *E. coli* ve *S. aureus* bakterilerine karşı antibakteriyel özellikleri incelenmiştir. Sonuçlara göre; sadece kitosanla kaplanan kumaşların antibakteriyel özelliklerinin, kitosan/boya karışımı ile kaplanarlardan daha düşük olduğu gözlenmiştir (Tablo 7).



Şekil 16. Sulfadimidin boyalarının (1a-d) kimyasal yapısı (Gaffer vd., 2012).

Figure 16. Chemical structure of sulfadimidine azo dyes (1a-d) (Gaffer et al., 2012).

Tablo 6. C.I. Basic Red 18:1 ve C.I. Basic Yellow 51 katyonik boyarmaddelerinin çözelti halinde antibakteriyel etkinlik değerleri (Tutak ve Gün, 2011).

Table 6. Antibacterial activity values of solution of C.I. Basic Red 18:1 and C.I. Basic Yellow 51 cationic dyes (Tutak and Gün, 2011).

Boya Konsantrasyonu %		İnhibisyon bölgesi (mm)		
		<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>	<i>P. aeruginosa</i>
C.I. Basic Red 18:1	1	16,66	11,0	12,0
	3	18,33	13,33	14,66
	5	19,66	17,0	18,33
C.I. Basic Yellow 51	1	-	-	-
	3	-	-	-
	5	-	19,33	12,0

Tablo 7. Sülfadimidin boyaları/kitosan ile kaplanmış pamuklu kumaşların *S. aureus* ve *E. coli* bakterilerine karşı antibakteriyel etkinlikleri (AATCC 100-1999 test metodu) (Gaffer vd., 2012).

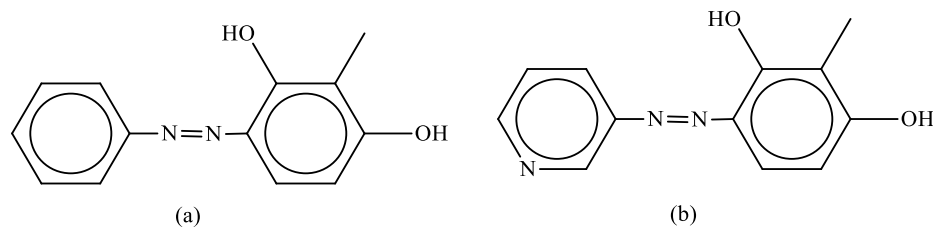
Table 7. Antibacterial activities (AATCC 100-1999 test method) of cotton fabrics coated with sulfadimidine dyes/chitosan against *S. aureus* and *E. coli* (Gaffer et al., 2012).

Numuneler	<i>S. aureus</i>		<i>E. coli</i>	
	Miktar/mL	RBC %	Miktar/mL	RBC %
Sadece kitosan kaplama	3×10^7	80	5×10^7	70,5
Kitosan + 1a koloidal kaplama	11×10^6	96,6	2×10^7	88,2
Kitosan + 1b koloidal kaplama	6×10^6	96	15×10^6	91
Kitosan + 1c koloidal kaplama	6×10^6	96,2	13×10^6	92,3
Kitosan + 1d koloidal kaplama	6×10^6	98,2	13×10^6	94,3

Bakteri miktarında azalma yüzdesi (RBC %)

Sara Özdemir vd. (2016)'ne göre; azo grubu içeren suda çözünür çinko ftalosiyanın yapısı ve Sara Özdemir vd. (2023)'ne göre aynı yapının azaftalosiyanın halka yapısı sentezlenmiştir. Bu bileşiklerin boyanmış pamuklu kumaş üzerindeki *K. pneumoniae* ve *S. aureus* bakterilerine karşı antibakteriyel özellikleri incelendiğinde; ftalosiyanın halka yapısının kumaş üzerindeki bakteriyel etkinliğinin azaftalosiyanın yapısına göre çok daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

Sara Özdemir vd. (2024)'ne göre; anilin ve 3-aminopridinin başlangıç maddelerini diazolayıp, 2-metil rezorsinol ile kenetlemesi sonucu iki farklı azo bileşiği yapısı elde edilmiştir (Şekil 17). Bu yapılarla boyanan pamuklu kumaşların *K. pneumoniae* bakterisine karşı etkili olmadığı ve sadece 2-metil-4-[pridin-3-ildiazenil]benzen-1,3-diol yapısının (Şekil 17, (b)) *S. aureus* bakterilerine karşı etkili olduğu gözlenmiştir.



Şekil 17. Sentezlenen azo bileşiklerinin yapısı: (a) 2-metil-4- [fenildiazenil]benzen-1,3-diol ve (b) 2-metil-4- [pridin-3-ildiazenil]benzen-1,3-diol (Sara Özdemir vd., 2024).

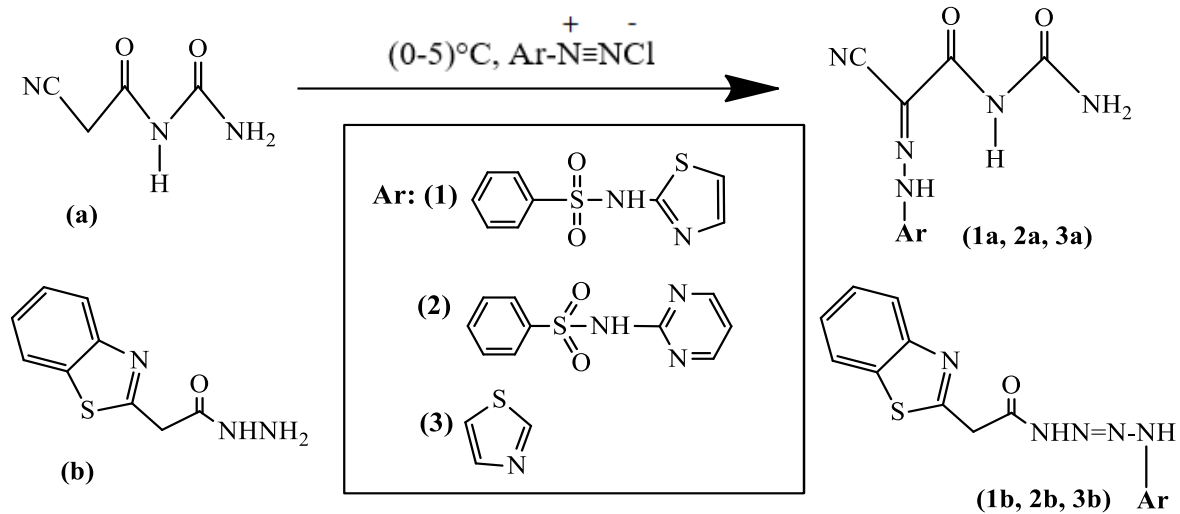
Figure 17. Chemical structure of synthesized azo compounds: (a) 2-Methyl-4-[phenyldiazenyl]benzene-1,3-diol and (b) 2-Methyl-4-[pyridin-3-ylldiazenyl]benzene-1,3-diol (Sara Özdemir et al., 2024).

Zaher vd. (2023)'ne göre; antibakteriyel sulfa ilacındaki temel işlevsel grupları içeren altı farklı azo bileşiği (Şekil 18, (1a, 2a, 3a, 1b, 2b, 3b)) sentezlenip, poliester kumaş üzerine baskı yöntemiyle uygulayıp, renklenmiş kumaşın dört farklı tip bakteriye karşı (*E. coli*, *S. aureus*, *B. subtilis*, *P.*

aeruginosa) antibakteriyel özelliği incelenmiştir. Bileşiklerin herbirinin farklı oranlarda (Tablo 8) tüm bakteri türlerine karşı etkinliği olduğu gözlenmiştir. Siyanoasetil üre (a) ve benzotiazol-2-ilasetohidrazid (b) maddeleri diazolanıp, aril/aril sülfonamid grupları (1,2,3) ile

kenetlenmiştir (Şekil 18). Sülfonamidler, yapısında sülfonamid grubu bulunduran (-

SO₂NH₂) antibakteriyel özellikleriyle bilinen bir ilaç sınıfıdır.



Şekil 18. Sulfa ilaçlarındaki temel işlevsel grupları içeren azo bileşiklerinin (1a-3a, 1b-3b) sentezi (Zaher vd., 2023).

Figure 18. Synthesis routes of azo compounds containing sulfa drug moieties (1a-3a, 1b-3b) (Zaher et al., 2023).

Tablo 8. Sentezlenen boyalarla (1-3a, 1-3b) basılmış poliester kumaşların dört yıkama sonrası antibakteriyel etkinlikleri (İnhibisyon alanları) (Zaher vd., 2023).

Table 8. Antibacterial activities of the polyester fabrics printed with synthesized dyes (1-3a, 1-3b) after four washes (Inhibition zones)(Zaher et al., 2023).

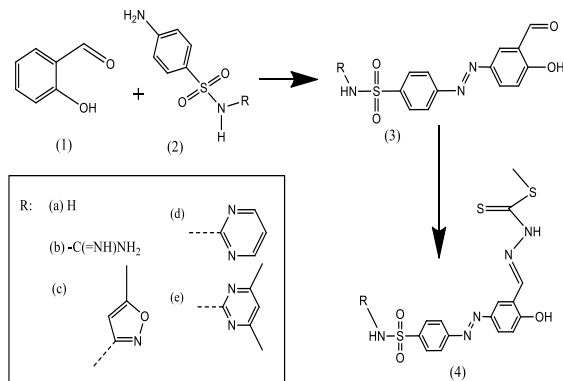
İnhibisyon alanı çapı (mm/mg numune)				Materyal
<i>P. aeruginosa</i>	<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>	<i>B. subtilis</i>	
26	25	21	26	Ampisilin
15	16	18	16	1a baskılı kumaş
14	15	17	15	2a baskılı kumaş
8	8	9	7	3a baskılı kumaş
15	12	12	16	1b baskılı kumaş
12	12	14	12	2b baskılı kumaş
8	10	9	8	3b baskılı kumaş

Abd El Salam vd. (2023)'ne göre; azo, sülfonamid kromoforlarının Schiff bazı bağlayıcısı ile hibritleştirilmesiyle elde edilen azo dispers boyaları (Şekil 19) ile poliester kumaş üzerine baskı yapılmış ve kumaşın antibakteriyel özellikleri (*E. coli*, *S. aureus*) incelenmiştir. 4b, 4c ve 4d yapıları boyarmaddelerin, basılmış kumaşlar üzerinde gram negatif ve pozitif bakterilere

karşı daha etkili olduğu gözlenmiştir (Tablo 9)

Ragab vd. (2022)'ne göre; spirociklik 2-tiopirimidinon yapısı ile aril, aril/sülfonamid gruplarının diazotlama-kenetlenme reaksiyonları sonucunda; azo ve sülfonamid kromoforu içeren spiroprimidinon türevleri (Şekil 20, 1a-e) sentezlenmiştir. Sentezlenen azo dispers boyaları ile poliester kumaşa baskı yapıp,

kumaşların antibakteriyel özellikleri incelenmiştir. 1b boyarmadde yapısının *E.*



Şekil 19. Sentezlenen dispers azo bileşiklerinin (3a-e, 4a-e) kimyasal yapısı (Abd El Salam vd., 2023).

Figure 19. Chemical structure of synthesized disperse azo compounds (3a-e, 4a-e) (Abd El Salam et al., 2023).

Tablo 9. Sentezlenen azo bileşikleri (3e,4a-d) ile basılmış polyester kumaşların antibakteriyel etkinlikleri (Abd El Salam vd., 2023).

Table 9. Antibacterial activities of the polyester fabrics printed with synthesized dyes (3e, 4a-d) (Abd El Salam et al., 2023).

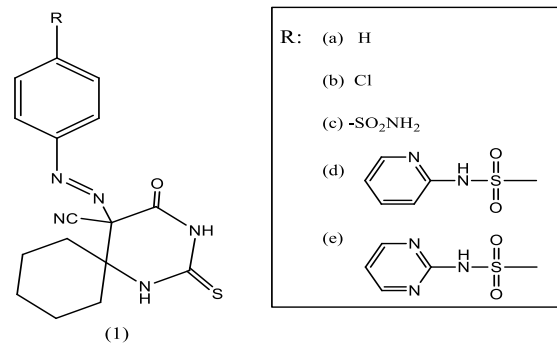
Bakteri Çeşidi	Numuneler	CFU (10 ⁴)	R (%)
<i>S. aureus</i>	Kontrol	115	-
	3e	38	66,96
	4a	51	55,65
	4b	6	94,78
	4c	0	100
	4d	0	100
<i>E. coli</i>	Kontrol	74	-
	3e	61	17,57
	4a	56	24,32
	4b	49	33,78
	4c	35	52,70
	4d	40	45,94

CFU: Koloni oluşturan birim, R (%): Azalma yüzdesi

Nawwar vd. (2020)'ne göre; farklı aril aminler (anilin, 2-aminotiazol ve sulfatiazol) diazolanıp, toksik olmayan antibakteriyel özellikteki siyanoasetil mikrokristalin selüloz türevi (a) ile

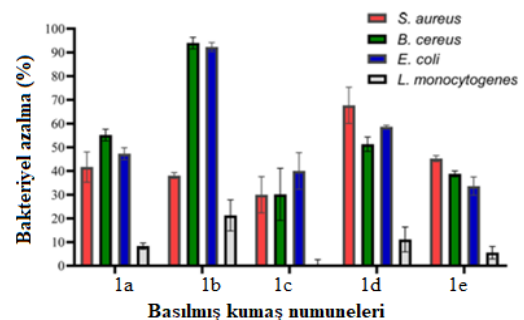
coli ve *Bacillus Cereus* bakterilerine karşı etkinliği yüksek çıkmıştır (Şekil 21).

kenetlenmesi sonucu; üç yeni (1b, 1c, 1d) antibakteriyel özellikli azo dispers boyarmaddesi üretilmiştir (Şekil 22). Bu boyarmaddeler ile poliester ve nylon 6 kumaşa baskı yapıp, kumaş üzerindeki antibakteriyel özellikleri incelenmiştir. *E. coli*, *S. aureus*, *B. subtilis*, *P. aeruginosa* bakterilerine karşı etkin oldukları gözlenmiştir (Tablo 10). Kirby-Bauer disk diffüzyon metoduna göre çözültiden çalışılan antibakteriyellik sonuçlarına göre azo grubunun yapıya eklenmesi sinerjistik antibakteriyel etki yaratmıştır.



Şekil 20. Azo ve sülfonamid kromoforu içeren spiropirimidinon türevleri (Ragab vd., 2022).

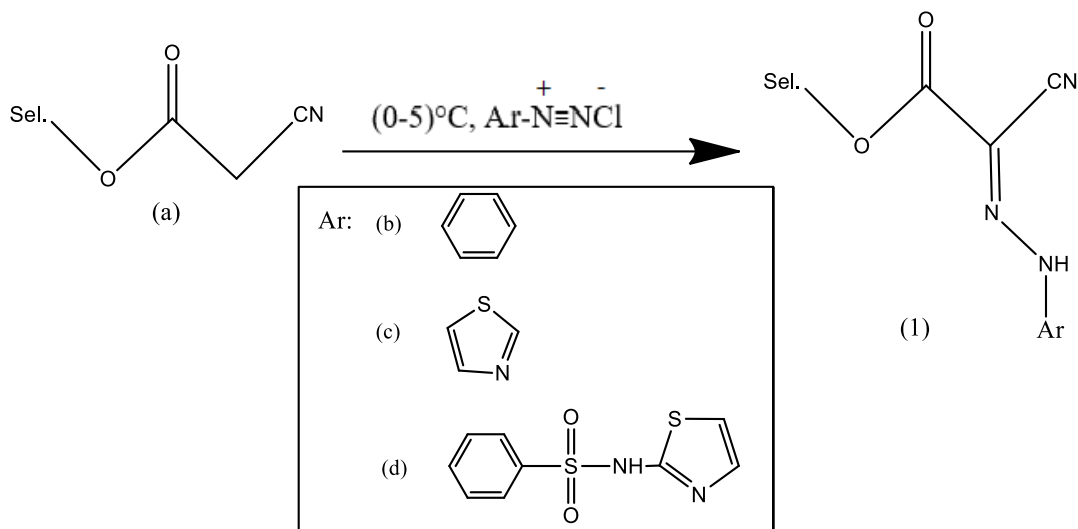
Figure 20. Spiropyrimidinone derivatives containing azo and sulfonamide chromophore (Ragab et al., 2022).



Şekil 21. Poliester kumaş üzerinde sentezlenen azo bileşiklerinin antibakteriyel etkinlikleri (AATCC 100-1999 test metodu) (Ragab vd., 2022).

Figure 21. Antibacterial activities of synthesized azo compounds on polyester

fabrics (AATCC 100-1999 test method) (Ragab et al., 2022).



Şekil 22. Azo grubu içeren siyanoasetil mikrokristalin selüloz türevleri (Nawwar vd., 2020).

Figure 22. Cyanoacetyl microcrystalline cellulose derivatives containing azo groups (Nawwar et al., 2020).

Tablo 10. Sentezlenen azo bileşiklerinin dört yıkama sonrası poliester ve nylon 6 kumaş üzerindeki antibakteriyel etkinlikleri (Nawwar vd., 2020).

Table 10. Antibacterial activities of synthesized azo compounds on polyester and nylon 6 fabrics after four washes (Nawwar et al., 2020).

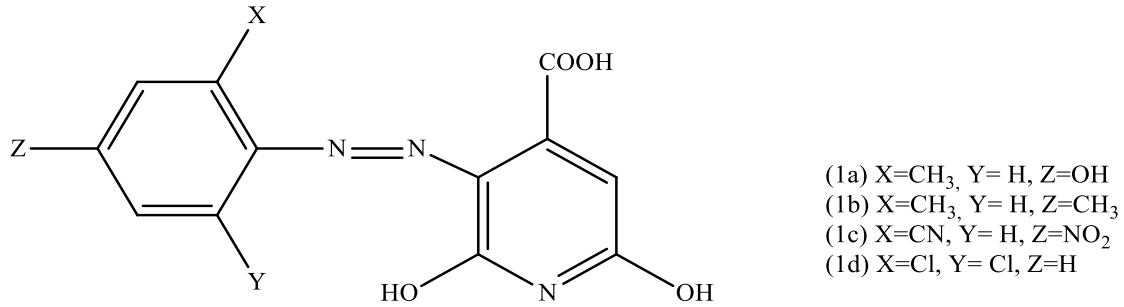
Numuneler	İnhibisyon alanı çapı (mm/mg numune)			
	<i>B. subtilis</i>	<i>S. aureus</i>	<i>E. coli</i>	<i>P. aeruginosa</i>
Poliester (1b)	12	13	12	10
Poliester (1c)	11	12	10	11
Poliester (1d)	12	13	11	13
Nylon 6 (1d)	11	11	12	12

Elkhabiry vd. (2024)'ne göre; farklı anilin türevlerinin diazonyum tuzlarının, 2,6-dihidroksiizonikotinik asit ile kenetlenmesi sonucu dört yeni antibakteriyel özellikli azo dispers boyarmadde (1a, 1b, 1c, 1d) elde edilmiştir (Şekil 23). Çalışmada piridin türevlerinden birisi olan sitrazinik asit grubunun ve azo grubunun antibakteriyel özellikleri tek bir yapıda birleştirilmeye çalışılmıştır. Piridin türevleri farmakolojik açıdan çok ilgi görmektedir. Sentezlenen boyarmaddeler ile baskı yapılmış poliamid

ve ipekli kumaş numunelerinin renk özellikleri incelenmiştir. Dispers azo boyarmadde yapısında bulunan substituent grupları (X,Y,Z) değiştikçe, renk tonunda belirgin değişim meydana gelmiştir (1a ile basılmış numuneler kırmızımsı kahve, 1b ile basılmış numuneler sarı, 1c ve 1d ile basılmış olanlar kahve renk tonlarındadır.) Bileşiklerin; *Streptococcus mutans*, metisilin dirençli *S. aureus* (MDSA), *P. aeruginosa*, *Serratia marcescens* bakterilerine karşı antibakteriyel özellikleri

disk diffüzyon metoduna göre incelenmiş ve çeşitli oranlarda etkili oldukları gözlenmiştir. En yüksek antibakteriyel

etkinlik siyano ve nitro grubu içeren 1c yapısında olduğu gözlenmiştir.



Şekil 23. Sitrazinik asit temelli dispers azo bileşikleri (Elkhabiry vd., 2024).

Figure 23. Disperse azo compounds based on citrazinic acid (Elkhabiry et al., 2024).

5. Azo Bileşiklerinin İnsan Sağlığı ve Çevre Üzerine Etkileri

Azo boyar maddeler tekstilden plastiğe kadar birçok ürüne kalıcı, parlak renk verirken; atık hâline geldiklerinde çevrede ciddi toksisite riski oluştururlar. Normal kullanımda ışık ve oksijenli koşullarda kararlı kalmalarına karşın; atık su çamuru, kanalizasyon veya derin toprak gibi anaerobik ortamlarda kararlı kalamazlar. Heterotrof bakteriler (*Pseudomonas*, *Enterococcus*, *Shewanella*) ve kısmen maya mantarları (*Saccharomyces*, *Candida spp.*) tarafından salgılanan azo-redüktaz enzimleri, azo bağını elektron kabul edici olarak kullanıp indirger; böylece boya kısa sürede renk kaybeder ve anilin, toluidin, benzidin türevli kanserojen aromatik aminler açığa çıkar. İndirgeme sonrası aerobik fazda devreye giren filamentöz mantar lakkazları, geniş özgülüklü peroksidazlar ile bazı alg ve siyanobakteri oksidazları, bu toksik aminleri halka açarak karbondioksit ve suya kadar mineralize edebilir. Ancak sülfonat veya nitro grupları içeren yüksek molekül ağırlıklı poliazo pigmentler mikrobiyal enzimlere dirençli kalıp arıtma tesislerinden bozulmadan geçerek ekosistemde

birikebilir. Sucul canlılarda akut toksisiteye ve insanlarda özellikle mesane kanseri riskine yol açabilir. Terbiye işletmelerden arıtılmadan doğrudan su kaynaklarına boşaltıldıklarında sularda oluşan yoğun renklilik ışığın geçişini engelleyerek fotosentezi azaltır. Su ekosistemindeki alglerin planktonların büyümesini engelleyerek mükemmel bir döngü içindeki sistemin biyolojik çeşitliliğinin azalmasına neden olabilmektedir. Tekstil boyalarının gideriminde mikrobiyal tekniklerin kullanımı çevre dostudur, fiziko-kimyasal işlemlere iyi bir alternatiftir. Bu nedenle azo bileşiklerinin güvenli bertarafı için atık su hatlarında iyileştirme, entegrasyon zorunludur: önce anaerobik indirgenme (renk giderimi), ardından aerobik oksidasyon (aromatik amin detoksifikasyonu); gerektiğinde ön-oksidasyon/koagülasyon ve bakteri-mantar konsorsiyumlarıyla desteklenmiş lakkaz-peroksidaz adımları uygulanmalıdır. Son yıllarda yapılan çalışmalarla geliştirilen nanoparçacık enzim konjugatları tekstil atık sularında bulunan azo boyarmaddelerini birkaç dakikalık bir sürede etkili biçimde uzaklaştırabilmektedir (Saravanabhavan vd., 2020; Sarkar vd., 2017).

Tekstil ürünlerinde kullanılacak olan azo boyarmaddelerin boyamada kullanılan kimyasallarla etkileşimi, yıkanmaya karşı dayanıklı olması, ışığa karşı dayanıklı olması (fotolize uğramaması) oldukça önemlidir. Kullanım esnasında açığa çıkardıkları amin miktarı ve çeşidi insan sağlığı açısından önem teşkil etmektedir. Günümüzde kullanılan ticari boyarmaddelerin %60'ından fazlası azo grubudur. Azo pigmentlerin çoğu güvenle kullanılabilir; ancak özellikle anilin, toluidin ve benzin diazo bileşenlerinden türetilen bazıları mutajenik ve kanserojendir. Tekstilde AB tarafından kullanımı kısıtlanan aromatik aminlerin listesi literatürde yer almaktadır (Imtiazuddin ve Tiki, 2020). OEKO-TEX® Standard 100'e göre, bir tekstil numunesi ISO 14362-1 (selülozik, proteinli veya karışık lifler için) ya da ISO 14362-3 (sentetik lifler için) yöntemleriyle analiz edildiğinde, azo boyarmaddelerin parçalanmasıyla ortaya çıkabilecek listelenmiş 24 aromatik aminin her biri için sınır değeri ayrı ayrı 20 mg/kg'dır. Yeni boyarmaddelerin tasarımında toksikolojik gereklilikleri karşılamak amacıyla aromatik diazo bileşenlerinin heteroaromatik olanlarla değiştirilmesi uygun bir çözüm olabilir. (Kareem vd., 2022; Imtiazuddin ve Tiki, 2020; Meštrović vd., 2012).

6. Sonuç ve Öneriler

Azo bileşikleri; medikal, tekstil, kimya (koordinasyon kimyası, kompleks kimyası, organik kimyasal madde ve boyarmadde üretimi) sektörleri açısından oldukça önemli özelliklere sahip, yaygın kullanım alanı bulmuş bileşiklerdir. Bu çalışmada; azo bileşiklerinin tekstil terbiye sektöründe kullanılan boyarmadde sınıfları içerisindeki yeri ve önemi vurgulanarak; boyarmadde

olarak yaygın kullanımlarını sağlayan, canlı renk tonlarına sahip renklilik özelliklerinin, boyarmaddenin kimyası ile ilişkisi açıklanmıştır. Bazı azo bileşiklerinin antibakteriyel fonksiyonel özelliklerinin etki mekanizmaları genel olarak anlatılarak; tekstilde renklendirme özellikleri yanı sıra antibakteriyel özelliklerinin de ön plana çıkabileceği vurgulanmıştır. Tekstil materyallerine sadece renklendirme prosesiyle (herhangi bir apreleme, bitim işlemine gerek duyulmadan) uygulanan bazı azo bileşiklerinin kumaş üzerinde sağladığı antibakteriyel fonksiyonel özellikleri literatür çalışmaları ile desteklenerek gösterilmiştir. Farklı substituent gruplar ve antibakteriyel özelliği bilinen metal iyonları ile kombine edilebilen, kendisinin antibakteriyel özelliği kanıtlanmış başlangıç maddeleriyle diazola-kenetlenme reaksiyonlarıyla hızlı biçimde çok çeşitli antibakteriyel özellikli tekstil boyaları üretilebilir, hijyenin oldukça önemli olduğu günümüzde sürdürülebilir antibakteriyel tekstil ürünlerinin üretimi renklendirmeye tek adımda sağlanabilir.

Tekstilde kullanılmak üzere geliştirilecek antibakteriyel boyarmaddelerin: antibakteriyel etkinliğinin geniş spektrumlu olması ve yüksek olması, insan sağlığı açısından sitotoksik olmaması, çevreye atık yük oluşumunun az olması, kullanım ömrünü belirleyen haslık değerlerinin iyi düzeyde olması ve ucuz üretilebilmesi oldukça önemlidir. Gelecekte yapılacak çalışmalar bu istenilen adımları geliştirmek üzerine yoğunlaşacaktır: Polikationik sistemler (Antibakteriyel özelliği bilinen kuaterner amonyum bileşiklerinin azo yapıları ile kombine edilmesi...), enkapsüle/kontrollü salınım sistemleri ile multifonksiyel tekstillerin geliştirilmesi

(UV koruyucu, kendi kendini temizleyebilen, buruşmaz, kötü koku gideren gibi özelliklerin antibakteriyel özellikle kombinlendiği ürünlerin geliştirilmesi...), daha düşük toksisiteli doğal kökenli (bio-azo) antimikrobiyallerin üretilmesi, nano-enzim destekli bitim işlemleri, kendi kendini arıtan yüzeyler (fotokatalitik metal oksitlerle kombinlenmiş azo bileşikleri...), akıllı (pH veya UV ışığına göre hem rengi değişen hem de antibakteriyel özellikte olan...) kumaşların geliştirilmesi...

Günümüzde antibakteriyel ve antifungal tedavilerde ilaca etkinlik ve seçicilik yetersizliği ciddi bir sorun hâline gelmiş; bu da bakteriyel ve fungal enfeksiyonların tedavisinde artan morbidite ve mortaliteye yol açmaktadır. Çoklu ilaca dirençli mikroorganizmaların tedavisindeki bu eksiklikleri gidermek için yeni kimyasal yapılara ihtiyaç vardır. Antibakteriyel azo bileşiklerinin medikal alanda hem ilaç olarak kullanımları hem de tekstil materyalleri üzerine entegre edilmeleriyle elde edilen ürünlerde (çeşitli enfeksiyonların oluşumunu engelleyen yara örtüleri ve bantları, antibakteriyel cerrahi kıyafetler ve yatak örtüleri gibi) kullanımları oldukça önem kazanacaktır. Geliştirilecek antibakteriyel azo bileşiklerinin diğer olası kullanım alanları: akıllı askeri kıyafetler, koruyucu iş giysileri, spor kıyafetleri, nemli alan boyaları, filtre ve maske malzemeleri olacağı düşünülmektedir.

Yazar katkısı (Author contribution)

Yazar Saral Özdemir, bu çalışmanın hazırlanmasına konu olan fikir, tasarım, literatür taraması, yazım vs.. tüm unsurları yaptığını beyan eder.

Finansman beyanı

Bu araştırma herhangi bir fon kuruluşundan, ticari veya kar amacı gütmeyen sektörlerden özel bir hibe almamıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Etik Beyan

Bu çalışma için Etik Kurul Kararı gerekmemektedir

Kaynaklar

- Abd El Salam, H.A., Abdel-Aziz, M.S., El-Sawy, E.R., Shaban, E. (2023). Synthesis and antibacterial activity of azo-sulfa-based disperse dyes and their application in polyester printing. *Fibers and Polymers*, 24, 2751-2760. <https://doi.org/10.1007/s12221-023-00255-z>
- Abdüloğlu, Y. (2018). Diazo Grup İçeren İletken Polimerlerin Elektrokimyasal ve Elektrokromik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek lisans tezi, Pamukkale Üniversitesi, Türkiye.
- Addnan, L. (2016). Synthesis and characterization of new azo dye (1-(4-sulfonyl phenyl azo)-2-(7-chloro-4-[[4-(diethyl amino)-1-methyl butyl] amino]quinidine from chloroquine diphosphate and study antibacterial activity. *Basrah Journal of Veterinary Research*, 15(1), 271-277.
- Akaydın, M. ve Kalkancı, M. (2014). Hastane giysisi olarak kullanılan kumaşların antibakteriyel özellikleri üzerine bir araştırma. *Süleyman Demirel University Faculty of Arts and Science Journal of Science*, 9(1), 20-34.

- Aljamali, N.M. and Hassen, H.S. (2021). Review on azo-compounds and their applications. *Journal of Catalyst and Catalysis*, 8(2), 8-16.
- Al-Joboury, W.M.R., Al-Badrany, K.A., Asli, N.J. (2021). Synthesis of new azo dye compounds derived from 2-aminobenzothiazole and study their biological activity. *Materialstoday: Proceedings*, 47 (17), 5977–5982. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.04.538>
- Başer, İ., İnancı, Y. (1989). Boyarmadde Kimyası. Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Döner Sermaye İşletmesi Matbaa Birimi, ISBN 975-400-024-7, İstanbul.
- Berrie, B.H., Lomax, S.Q. (1997). Azo pigments: their history, synthesis, properties, and use in artists' materials, *Studies in the History of Art*, 57, 8–53. (Monograph series II, conservation research 1996/1997, Washington, DC: National Gallery of Art).
- Bujak, K., Orlikowska, H., Małeck, J.G., Schab-Balcerzak, E., Bartkiewicz, S., Bogucki, J., Sobolewska, A., Konieczkowska, J. (2019). Fast dark cis-trans isomerization of azopyridine derivatives in comparison to their azobenzene analogues: Experimental and computational study. *Dyes and Pigments*, 160, 654-662. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2018.09.006>
- Christie, R.M. (2001). *Colour Chemistry*, The Royal Society of Chemistry, ISBN 0-85404-573-2, UK.
- Cojocariu, C., Rochon, P. (2004). Light-induced motions in azobenzene containing polymers. *Pure and Applied Chemistry*, 76 (7–8), 1479–1497.
- Di Martino, M., Sessa, L., Di Matteo, M., Panunzi, B., Piotto, S., Concilio, S. (2022). Azobenzene as antimicrobial molecules. *Molecules*, 27(17), 5643. <https://doi.org/10.3390/molecules27175643v>
- Elkhabiry, S., Sharaf, A., Sadek M.E., Elasy M E.A., El-Sayed A.A., Mousa A. (2024). Azo disperse dyes based on citrazinic acid: synthesis, antibacterial activity and printing application in silk and polyamide-6 fabrics. *Pigment & Resin Technology*, Vol. ahead-of-print No. ahead-of-print. <https://doi.org/10.1108/PRT-06-2024-0061>
- Gaffer, H.E., Gouda, M., Abdel-Latif, E. (2012). Antibacterial activity of cotton fabrics treated with sulfadimidine azo dye/chitosan colloid. *Journal of Industrial Textiles*, 42(4), 392-399. <https://doi.org/10.1177/1528083712441959>
- Hamid, H.M., Zeinab, N.M., Istabraq, M.A. (2011). Synthesis and studies the biological activity of new azo compounds. *Journal of Kerbala University*, 9(3), 75 -83.
- Hunger, K. (2003). *Industrial Dyes: Chemistry, Properties, Applications*, Wiley-VCH, ISBN: 3-527-30426-6, Germany.
- İçoğlu, H.İ. (2006). Pamuklu Dokunmuş Kumaşların Reaktif Boyarmaddelerle Boyanması ve Uygulama Yöntemlerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Türkiye.
- Imtiazuddin, S.M., Tiki, A. (2020). Textile azo dyes; significance, ecological, health, and safety issues. *Pakistan Journal of Chemistry*, 10(1–4), 35–38.

- <https://doi.org/10.15228/2020.v10.i01-4.p05>
- Jarrahpour, A.A., Motamedifar, M., Pakshir, K., Hadi, N., Zarei, M. (2004). Synthesis of novel azo Schiff bases and their antibacterial and antifungal activities. *Molecules*, 9(10), 815-824. <https://doi.org/10.3390/91000815>
- Josset, S., Keller, N., Lett, M.C., Ledoux, M.J., Keller, V. (2008). Numeration methods for targeting photoactive materials in the UV-A photocatalytic removal of microorganisms. *Chemical Society Reviews*, 37, 744–755. <https://doi.org/10.1039/B711748P>
- Kareem, A.F, Thejeel, K.A., Ismael, H.I. (2022). Review, analyses of azo dyes' synthesis, characterization and biological activity. *Texas Journal of Multidisciplinary Studies*, 12, 14–20.
- Khajeh Mehrizi, M., Mortazavi, S.M., Abedi, D. (2009). The antimicrobial characteristic study of acrylic fiber treated with metal salts and direct dyes. *Fibers and Polymers*, 10(5), 601-605. <https://doi.org/10.1007/s12221-010-0601-z>
- Koçak, G. (2011). Bacillus Subtilis ile Reaktif Black 5 Boyarmaddesinin Renk Giderim Kinetiğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Türkiye.
- Kofie, W., Dzidzoramengor, C., Adosraku, K. R. (2014). Synthesis and evaluation of antimicrobial properties of azo dyes. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 7(4), 398-401.
- Landage, S.M., Wasif, A.I. (2012). Nanosilver – An effective antimicrobial agent for finishing of textiles. *International Journal of Engineering Sciences and Emerging Technologies*, 4 (1), 66-78.
- Liu, S., Ma, J., Zhao, D. (2007). Synthesis and characterization of cationic monoazo dyes incorporating quaternary ammonium salts. *Dyes and Pigments*, 75, 255-262. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2006.05.004>
- Ma, M., Sun, Y., Sun, G. (2003). Antimicrobial cationic dyes: part 1: synthesis and characterization. *Dyes and Pigments*, 58, 27-35. [https://doi.org/10.1016/S0143-7208\(03\)00025-1](https://doi.org/10.1016/S0143-7208(03)00025-1)
- Merino, E., Ribagorda, M. (2012). Control over molecular motion using the cis–trans photoisomerization of the azo group. *Beilstein Journal of Organic Chemistry*, 8, 1071–1090. <https://doi.org/10.3762/bjoc.8.119>
- Meštrović, P., Racané, L., Sutlović, A., Tralić-Kulenović, V. (2012). Synthesis and dyeing properties of new azo dyes. 12th World Textile Conference AUTEX, 13–15 June 2012, Zadar, Croatia.
- Mezgebe, K. and Mulugeta, E. (2022). Synthesis and pharmacological activities of azo dye derivatives incorporating heterocyclic scaffolds: A review. *RSC Advances*, 12, 25932–25946. <https://doi.org/10.1039/D2RA04934A>
- Mishra, D.P., Sahu, P.K., Acharya, B., Mishra, S.P., Bhati, S. (2024). A review of the synthesis and application of azo dyes and metal complexes for emerging antimicrobial therapies. *Results in Chemistry*, 10, 101712. <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2024.101712>

- Mkpenie, V., Ebong, G., Obot, I.B., Abasiokong, B. (2008). Evaluation of the effect of azo group on the biological activity of 1-(4-Methylphenylazo)-2-naphthol. *Journal Of Chemistry*, 5, 438946, 4p. <https://doi.org/10.1155/2008/438946>
- Moanță, A., Radu, S. (2009). Spectroscopic analysis and antimicrobial activity of some 4-phenylazo-phenoxyacetic acids. *Revue Roumaine de Chimie*, 54(2), 151-156.
- Nagasundaram, N., Padmasree, K., Santhosh, S., Vinoth, N., Sedhu, N., Lalitha, A. (2022). Ultrasound promoted synthesis of new azo fused dihydropyrano [2,3- c]pyrazole derivatives: in vitro antimicrobial, anticancer, DFT, in silico ADMET and molecular docking studies. *Journal of Molecular Structure*, 1263, 133091. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2022.133091>
- Nawwar, G.A.M., Zaher, K.S.A., Shaban, E., El-Ebiary, N.M.A. (2020). Utilizing semi-natural antibacterial cellulose to prepare safe azo disperse dyes and their application in textile printing. *Fibers and Polymers*, 21(6), 1293-1299. <https://doi.org/10.1007/s12221-020-9083-9>
- Özgüney, A.T., Özkaya, K., Özerdem, A. (2007). Reaktif boyalı örgü kumaşların parça baskıdaki ısı işlem sonrasında renk değiştirme eğilimlerinin incelenmesi. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 3, 192-199.
- Özdemir Saral, P., Özgüney, A.T., Kaya Kantar, G., Şaşmaz, S., Seventekin, N. (2016). An investigation of fastness and antibacterial properties of cotton fabric coloured with water-soluble zinc phthalocyanine containing azo groups. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 26(1), 92-99.
- Özdemir Saral, P., Kaya Kantar, G., Özgüney, A.T., Şaşmaz, S. (2023). A new water-soluble zinc azaphthalocyanine containing azo groups: synthesis, characterization, fastness and antibacterial properties on cotton fabric. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 33(2), 169-175. <https://doi.org/10.32710/tekstilvekonfeksiyon.1166800>
- Özdemir Saral, P., Kaya Kantar, G., Özgüney, A.T., Şaşmaz, S. (2024). An investigation of fastness and potential antibacterial features on cotton fabric colored with novel azo compounds. *AATCC Journal of Research*, 11(4), 289-299. <https://doi.org/10.1177/24723444241246306>
- Palamutçu, S., Keskin, R., Devrent, N., Sengül, M., Hasçelik, B. (2009). Fonksiyonel tekstiller II: Antimikrobiyal tekstiller. *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 3(3), 95-108.
- Rabbani, M.A.D., Khalili, B., Saeidian, H. (2020). Novel edaravone-based azo dyes: efficient synthesis, characterization, antibacterial activity, DFT calculations and comprehensive investigation of the solvent effect on the absorption spectra. *RSC Advances*, 10(59), 35729-35739. <https://doi.org/10.1039/D0RA06934E>
- Rabbi, M.A., Mahasin, A Md., Roy, P.K., Rahman, S. Md., Akhter, A. (2018). Preparation of azo dye from Acacia catechu and its application on silk fabrics. *International Journal of Advanced Chemical Science and Applications*, 6 (1), 1-4.

- Rajerndran, S., and Anand, C.S. (2002). Development in medical textiles. *Textile Progress*, 32(4), 1-42. <https://doi.org/10.1080/00405160208688956>
- Ragab, S.S., Sweed, A.M.K., Hamza, Z.K., Shaban, E., El-Sayed, A.A. (2022). Design, synthesis, and antibacterial activity of spiropyrimidinone derivatives incorporated azo sulfonamide chromophore for polyester printing application. *Fibers and Polymers*, 23(8), 2114-2122. <https://doi.org/10.1007/s12221-022-4032-4>
- Ramvalho, P.A. (2005). Degradation of Dyes with Microorganisms: Studies with Ascomycete Yeasts, Doctoral Thesis, University of Minho, Portugal.
- Rigby, A.J., Anand, S.C., Horrocks, A.R. (1997). Textile materials for medical and healthcare applications. *Journal of Textile Institute*, 88(3), 83-93. <https://doi.org/10.1080/00405009708658589>
- Saravanabhavan, S., Govindasamy, M., Natesan, S., Gopal, S. (2020). Beneficial Microbes for Sustainable Agriculture and Environmental Management, Apple Academic Press, USA.
- Sarkar, S., Banerjee, A., Halder, U. Biswas, R., Bandopadhyay, R. (2017). Degradation of synthetic azo dyes of textile industry: a sustainable approach using microbial enzymes. *Water Conservation Science and Engineering*, 2, 121–131. <https://doi.org/10.1007/s41101-017-0031-5>
- Sert, S. (2023). Azobenzen ile Fonksiyonelleştirilmiş Polikarbazol Bazlı İletken Polimer Filmlerin Sentezi ve Solar Termal Depolama Uygulamaları, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Türkiye.
- Seventekin, N. (1988). Boyarmadde Kimyasına Giriş, Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Tekstil Mühendisliği Yayını, Türkiye.
- Simonic, B. and Tomsic, B. (2010). Structures of novel antimicrobial agents for textiles – A review. *Textile Research Journal*, 80(16), 1721 – 1737. <https://doi.org/10.1177/0040517510363193>
- Singh, R., Jain, A., Panwar, S., Gupta, D., Khare, S.K. (2005). Antimicrobial activity of some natural dyes. *Dyes and Pigments*, 66(2), 99-102. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2004.09.005>
- Süpüren, G., Çay, A., Kanat, Z.E., Tarakçıoğlu, I. (2006). Antimikrobiyal lifler. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 16(2), 80-89.
- Taşlıalan, O. (2008). Quaterner Amonyum Tuzu İçeren Azo Boyarmaddelerinin Sentezi, Karakterizasyonu, Tekstil Elyafına Uygulanması ve Antimikrobiyal Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Türkiye.
- Tutak, M., Gün, F. (2011). Antimicrobial effect of C.I. Basic Red 18:1 and C.I. Basic Yellow 51 on some pathogenic bacteria. *Fibers and Polymers*, 12(4), 457-460. <https://doi.org/10.1007/s12221-011-0457-x>
- Węglarz-Tomczak, E., Górecki, Ł. (2012). Azo dyes – Biological activity and synthetic strategy. *Chemik Science-Technique-Market*, 66 (12), 1298-1307.

- Yıldız, E., Boztepe, H. (2002). Synthesis of novel acidic mono azo dyes and an investigation of their use in the textile industry. *Turkish Journal of Chemistry*, 26(6), 897-904.
- Yi, E, Yoo, E.S. (2010). A novel bioactive fabric dyed with unripe Citrus grandis osbeck extract part I: dyeing properties and antimicrobial activity on cotton knit fabrics. *Textile Research Journal*, 80(20), 2117-2123.
<https://doi.org/10.1177/0040517510373633>
- Yurdakul, A., Atav, R. (2006). Boya Baskı Esasları, Ege Üniversitesi Tekstil ve Konfeksiyon Araştırma-Uygulama Merkezi Yayını, Türkiye.
- Zaher, K.S.A., Shaban, E., Nawwar, G.A.M. (2023). Antibacterial azo dyes containing sulfa drug moieties and their colour assessment on printing polyester fabric. *Chemistry Select*, 8(30), 1-8.
<https://doi.org/10.1002/slct.202300804>