

Çevresel Toksinler ve Kimyasal Maruziyetlerin Değerlendirilmesi

Şahin Yıldırım¹

İbrahim Furkan Sarkım²

Özet

Çevresel toksinler hava, su, toprak, gıda ve iç mekanlarda bulunabilen canlıların sağlıklarına zarar veren çeşitli gruplardan kimyasallardan oluşur. Afet sonrası kimyasal atık depolama tesislerinden, endüstriyel üretim tesislerinden ve enkazlardan doğaya salınan çevresel kimyasal kirleticiler insanlara ve doğaya ciddi zararlar verir. İnsanlarda malign mezotelyoma gibi çeşitli kanser türlerinin kimyasal toksinlere maruziyetle doğrudan ilişkisi vardır. Bunun yanı sıra çevresel toksinler tüm sistemlerde kronik hastalıklarla ilişkilidir. Ekosistemlerde biriken çevresel toksinler canlı çeşitliliğinin azalmasına, genotoksisiteye ve biyoakümülyasyon yoluyla besin zincirinde birikmeye neden olmaktadır. Başlıca çevresel toksinler ekinlere zarar veren organizmaları öldürmek için kullanılan pestisitler, istenmeyen yabancı otları temizlemek için kullanılan herbisitler, endüstriyel süreçler sonucu çevreyi kirleten ağır metaller, petrokimya süreçlerinde ve yangınlar sonucu çevreye yayılabilen uçucu organik bileşikler, polisiklik aromatik hidrokarbonlar, poliklorlu bifeniller, dioksinler, furanlar, partikül maddeler, asbest ve diğer tehlikeli fibröz mineraller olarak sayılabilir. Kimyasal maruziyet risklerinin hastalık gelişmeden önce tespit edilerek gerekli önlemlerin alınması gereklidir. Kimyasal zehirlenme durumunda önce müdahalede bulunacak personelin kimyasal zehirlenmenin türüne uygun kişisel koruyucu donanımlarla donatılması gerekmektedir. Kimyasal zehirlenmelerin hastanede yönetimi ise stabilizasyon, laboratuvar değerlendirmesi, gastrointestinal sistem, cilt ve gözlerin dekontaminasyonu, antidot uygulanması, toksin itrahının artırılması, gözlem ve taburculuk süreçlerini içerir. Taburculuk öncesinde veya tedavi başlangıcında müdahaleyi geciktirmeksizin Ulusal Zehir Danışma

- 1 Prof. Dr., Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Tıp Fakültesi Tıbbi Farmakoloji Anabilim Dalı 58140 Sivas, email: ysahin@cumhuriyet.edu.tr, ORCID ID: 0000-0003-1312-7283
- 2 Arş. Gör. Dr., Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Tıp Fakültesi Tıbbi Farmakoloji Anabilim Dalı 58140 Sivas, email: isarkim@cumhuriyet.edu.tr, ORCID ID: 0009-0000-9904-9530

Merkezin (UZEM) danışılarak karar alınması klinisyenin karar süreçlerine destek olacaktır. Sonuç olarak afetlerde kimyasal zehirlenmelerin yönetimi çok sayıda disiplinin iç içe geçtiği çevre ve insan sağlığı açısından önemli bir konudur. Doğru müdahaleler sadece insan sağlığını korumakla kalmayıp aynı zamanda çevre sağlığını da koruyacaktır. Bu da ancak afetlere bilgi, tecrübe, planlama ve altyapıyla hazır olmakla mümkün olacaktır.

1. Giriş

Çevresel toksinler; hava, su, toprak, gıda ve iç mekanlarda bulunabilen, farklı organ sistemlerinin fizyolojik fonksiyonlarını bozan kimyasal gruplardır (Shetty et al., 2023). Bu kimyasalların insan ve ekosistem sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri toksinlerin tanımlanmasını ve sağlık üzerindeki sonuçlarının değerlendirilmesini gerektirmektedir. Özellikle afet dönemlerinde endüstriyel tesisler, sağlık kuruluşları, uygun olmayan yapı malzemeleriyle inşa edilmiş binalar ve atık depolama alanlarından doğaya salınan toksinler, halk sağlığı üzerinde ciddi bir tehdit oluşturmaktadır (Berry et al., 2022). Afet sonrası enkaz ve atık alanlarından çevreye yayılan kirleticiler hem insan popülasyonlarında hem de doğal ekosistemlerde majör hasarlara neden olabilmektedir. Mevcut kanıtlar, kimyasal toksinlere maruziyetin malign mezotelyoma başta olmak üzere çeşitli neoplastik hastalıklarla doğrudan korelasyon gösterdiğini bildirmektedir (Zandwijk et al., 2020; Kurzhunbaeva et al., 2024). Bunun yanı sıra, çevresel toksinler kronik hastalıkların etiolojisiyle de ilişkilendirilmektedir (Cheng et al., 2025). Ekosistemlerde biriken bu maddeler, biyoakümülyasyon yoluyla besin zincirine entegre olarak genotoksisiteye ve biyoçeşitliliğin azalmasına zemin hazırlamaktadır (Ergenler ve Turan, 2023). Sağlık profesyonelleri, riskli endüstriyel tesis çalışanları, afet müdahale ekipleri ve genel popülasyonun çevresel toksinler hakkında yeterli bilgi düzeyine sahip olması esastır. Afetlere müdahale eden personelin ilgili çevresel toksinlere karşı kişisel koruyucu donanımlarının olması mutlaka sağlanmalı, personel de bunun farkında olmalıdır (Kaliszewski et al., 2021). Bu farkındalık, potansiyel kimyasal maruziyetlerin önlenmesinde ve maruziyet sonrası klinik tabloların erken dönemde tanınmasında önemli rol oynayacaktır. Hastalık patogenezi başlamadan önce kimyasal maruziyet risklerinin tespit edilmesi ve profilaktik önlemlerin alınması ikincil halk sağlığı afetlerinin yaşanmasının önüne geçecektir.

2. Çevresel Toksinler ve Kimyasal Maruziyetlerin Değerlendirilmesi

Çevresel toksinler, hava, su, toprak, gıda ve iç mekanlarda bulunabilen organizmalar üzerinde farklı organ gruplarının sağlıklı çalışmasına engel olan ve hücrelere zarar verici çeşitli gruplardan kimyasallardan oluşur (Shetty et al., 2023). Hem çevre hem de insan sağlığına zarar veren ciddi olumsuz

tesirleri çevresel toksinleri tanımlamayı, sağlık ve ekolojik etkilerini anlamayı ve karmaşık karışımlar içerisinde bu kirleticileri çok düşük seviyelerde tespit etmek için analitik araçları geliştirmeyi gerekli kılmaktadır (Vandenberg et al., 2023). Özellikle afetlerde endüstri tesisleri, sağlık kuruluşları, sağlıksız materyallerle inşa edilmiş yapılar ve atık depolama tesislerinden salınan çok sayıda çevresel toksin halk sağlığını olumsuz etkilemektedir (Berry et al., 2022). Bunun yanı sıra sağlık çalışanları başta olmak üzere; riskli tesislerde çalışanlar, afet müdahale ekipleri ve tüm vatandaşların çevresel toksinler üzerine bilgi sahibi olması hem kimyasal maruziyetin öncesinde hem de kimyasal maruziyetinin tanınması hususunda farkındalık sağlayacaktır.

2.1. Afet sonrası ortaya çıkabilecek çevresel kimyasal kirleticilerin sağlık etkilerinin değerlendirilmesi

Afet sonrası ortaya çıkabilecek çevresel kimyasal kirleticiler hem insan hem de çevre sağlığına ciddi zararlar verebilecek kapasitededir. Endokrin sistem bozuklukları, antibiyotik direnci, ağır metal zehirlenmesine bağlı nörolojik bozukluklar, silikozis gibi akciğer hastalıkları, karsinojenite, böbrek ve karaciğer bozuklukları afet sonrası ortaya çıkabilecek çevresel kimyasal kirleticilere bağlı olarak ortaya çıkabilecek komplikasyonlardan başlıcalarıdır (Xu et al., 2022). Bu kimyasal kirleticilerin sağlık üzerine olumsuz tesirleri sadece insan sağlığıyla sınırlı olmayıp çevre ekosistemi de önemli ölçüde kimyasal kirleticilerden zarar görür. Örneğin pestisit ve endüstriyel kirleticiler balıkların gelişmesine, immünesine ve üremelerine zarar verir (Ghafarifarsani et al., 2024; Ergenler ve Turan, 2023). Balıkların ekosistemde kaybı sonucu tehlikeli alg türleri ve bunların toksin ara ürünleri çevresel kirlenmeyi artırır. Bu etki arılarda da belirgindir. Arıların zarar görmesi ise bitki çeşitliliğinin azalmasına neden olur (Wan et al., 2025). Kurşun, civa ve kadmiyum gibi ağır metaller canlılarda birikme eğilimi gösterir. Antibiyotik artıklarıyla birlikte bu ağır metaller besi hayvanlarından elde edilen gıdaların tüketilmesiyle insanlarda ciddi sağlık sorunlarına neden olabilir. Pestisit ve herbisitler tarım ürünlerinde bazen basit tarımsal hastalıklardan daha tehlikeli sonuçlar doğurabilen önemli kirleticilerdir. Tarımsal ilaçlarla kontamine olmuş ürünleri tüketen besi hayvanları da bu toksik bileşiklere maruz kalmakta biriken kimyasallar nihai tüketici olan insanlarda kanser, nörolojik ve endokrin hastalıklar başta olmak üzere çok sayıda ciddi hastalıkla ilişkilendirilmiştir (Alengebawy et al., 2021). Kimyasal kirleticilerin sağlık etkilerinin değerlendirilmesinde her zaman tek bir kimyasal suçlanmamalıdır. Çünkü afet durumunda çoğu zaman çok sayıda kirletici bulunur ve bu karışımların sinerjik toksisiteleri tek bir kimyasalın mevcut tablodan sorumlu tutulamadığı durumlarda açıklanamayan toksisitenin açıklaması olabilir. Açıklanamayan toksisitenin başka bir nedeni de afet nedeniyle

serbestleşen bu kimyasalların doğada birbirleriyle etkileşmesi sonucu yeni ve bilinmeyen bileşenlere sahip toksik kimyasal karışımlardır (Li et al., 2024). Afetlerde toksisite şüphesi oluşması durumunda olası moleküller GC-MS, LC-MS, HR-MS gibi kromatografik ve spektrofotometrik uygulamalarla ya da HRMS gibi kapsamı geniş hedeflenmemiş şüpheli tarama araçlarıyla taranabilir. Bunların yanı sıra in vitro, in vivo ve algal testler karışım etkisini yakalamada katkı sağlar (Phillips et al., 2021; Omagari et al., 2021). Bu uygulamalar afet sonrası yayılan kimyasalların sağlık etkilerinin değerlendirilmesinde hem rutin olarak hem de acil durumlarda kullanılmaktadır. Tanımlanan ve henüz tanımlanmamış birçok çevresel kirletici olmakla beraber pestisitler, herbisitler, ağır metaller, uçucu organik bileşikler (VOC), polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH), poliklorlu bifeniller (PCB), dioksinler, furanlar, partikül maddeler ve asbest başta olmak üzere tehlikeli fibröz mineraller kimyasal kirleticilere örnek olarak verilebilir. Bu kirleticiler hem insan hem de çevre sağlığına verdiği büyük boyutlu zararlar nedeniyle iyi tanınmalıdır.

2.1.1. Pestisit ve herbisitler

Pestisitler, ekinlere, depolanmış gıdalara zarar veren veya hastalık yayan zararlıları öldürmek veya kontrol altına almak için kullanılan kimyasallardır. Pestisitler arasında böcek ve sinek ilaçları, istenmeyen yabancı bitkileri hedef alan herbisitler, mantar öldürücü fungusitler, rodentisitler, nematit ilaçları gibi farklı amaçlarla kullanılabilen çeşitli toksik kimyasallar bulunur (Lushcak et al., 2018). Bunlar tarımda, ormancılıkta, su ürünleri yetiştiriciliğinde, evlerde ve kamusal alanlarda yaygın olarak kullanılır. Hedef canlıya bağlı olarak fotosentez, hormon üretimi, hücre bölünmesi, enzim inhibisyonu, DNA/protein sentezi gibi metabolik süreçleri bozarak etkilerini gösterirler (Ergenler ve Turan, 2023). Kullanım amaçları genel olarak tarım alanlarını böceklerden, hastalıklardan, yabancı otlardan koruyarak hem tarla hem de gıda güvenliğini arttırmak ve finansal üretim maliyetlerini azaltmaktır. Böcek ve sinek ilaçlarının ek olarak sinekler ve keneler aracılığıyla yayılabilen sıtma, şark çıbanı, kırim kongo kanamalı ateşi hastalıklarının kontrol altına alınmasında da kullanımı mevcuttur. Tüm pestisitler doğaları gereği toksik üretilir ve maruziyetleri cilt, inhalasyon, gıda ve su aracılığıyla olabilir (Garud et al., 2024). Afetlerde pestisit ve herbisit depolanan alanların veya taşıtların zarar görmesi bu toksik kimyasalların kontrolsüz salınımları kısa vadede cilt ve gözlerde iritasyon, baş ağrısı, bulantı, kusma, nefes almada güçlük hatta zehirlenme dozuna ve ciddiyetine göre komadan ölüme kadar gidebilen yan tesirlere neden olabilir. Uzun dönem kronik etkileri ise artmış kanser riski, nörolojik bozukluklar, endokrin sistem düzensizlikleri, allerji, astım benzeri semptomlar ve genetik hasar olarak sayılabilir. Pestisit ve herbisitlerin sağlık

etkileri insanlarla sınırlı olmayıp çevreye ve diğer organizmalara da ciddi zararlar verebilmektedirler (Wan et al., 2025; Alengebawy et al., 2021). Pestisitler aşırı yağışlı durumlarda sel sularıyla, kasırgalarda rüzgarla taşınma ve buharlaşma yoluyla buldukları yerlerden uzaklaşarak toprağı, suyu, havayı ve besin zincirlerini kirletir (Ergenler ve Turan, 2023). DDT gibi birçoğu kalıcıdır biyolojik olarak birikir ve besin zincirlerinde biyolojik olarak büyüyerek en üst düzeyden en alt düzeye biyolojik çeşitliliğı olumsuz etkiler. Afet sırasındaki kontrolsüz dağılımları hedef olmayan bitkilere, hayvanlara ve mikroplara zarar vererek hem karasal hem de su ekosistemlerindeki birçok türün büyümesini, üremesini ve hayatta kalmasını azaltır (Ergenler ve Turan, 2023). Genellikle aşırı miktarda veya uygun güvenlik önlemleri alınmadan kullanılması, gıdalarda, içme suyunda ve daha geniş çevrede kalıntılara yol açmakta afet durumlarında riskin katlanmasına neden olmaktadır ve son olarak farklı pestisit ve herbisit ilaçlarının karışımları, birleşik veya daha güçlü toksik etkilere sahip olabilir. Mahsulleri korumak ve hastalıkları kontrol etmek için faydalı olan pestisit ve herbisitler doğaları gereğı zehirlidir aşırı kullanıldıklarında, yanlış kullanıldıklarında veya kötü şartlarda depolandıklarında sadece afet durumlarında değil her zaman insan sağlığına ve ekosistemlere önemli hasarlar verebilirler (Wan et al., 2025).

2.1.2. Ağır metaller

Kurşun, cıva, kadmiyum, arsenik, krom gibi ağır metaller hava, su, toprak ve gıdalarda yaygın olarak bulunur ve zamanla vücutta birikebilir. Düşük seviyelerde bile, birçoğı sistemik toksisite oluşturarak birçok organa zarar verir ve kronik hastalıklar ile kanser riskini artırır (Cheng et al., 2025). Özellikle kirli hava/toz parçacıklarının solunmasıyla, kontamine suların içilmesiyle, ağır metalle kirlenmiş gıdalarla ve cilt temasıyla bulaşır. Mesleki maruziyet de sıklıkla görülür. Ağır metaller maruziyet dozu, kimyasal formu, kontaminasyon yolu, maruziyet süresi, yaş, cinsiyet, genetik ve kişinin beslenme durumu toksisiteyi etkileyen faktörlerdendir. Ağır metaller sinir sisteminde, kardiyovasküler sistemde, böbreklerde ve karaciğerde ciddi toksisiteler oluşturabilmektedir (Jomova et al., 2024). Afet durumlarında endüstriyel tesisler ve atık depolama merkezlerden salınan ağır metaller toz fırtınaları, sel suları ve nehirler aracılığıyla yayılabilir (Luo et al., 2021). Düşük dozlarda maruziyet bile ciddi toksisitelere neden olabileceğinden halk sağlığı uzmanları ve toksikologlar afetlerde ağır metal maruziyetine karşı dikkatli olmalıdır (Balali-Mood et al., 2021).

2.1.3. Uçucu organik bileşikler (UOB)

Uçucu organik bileşikler havada oda sıcaklığında kolay buharlaşabilen ve insanların her gün düşük dozlarda maruz kaldıkları karbon bazlı kimyasal bileşiklerdir. Benzen, toluen, etil benzen ve ksilen zehirli uçucu organik bileşiklere (UOB) örnek verilebilen insan sağlığı için tehdit oluşturan atmosferik kirleticilerdir. Bu bileşikler, kentsel alanlarda hareketli kaynaklardan çevreye salınmaktadır. Kirlenmiş alanlar veya kırsal kesimlerde hızlanan sanayileşmenin yaşandığı ülkelerde giderek önemi artmaktadır (Montero et al., 2018). UOB maruziyetinin sağlık üzerine etkileri, maruz kalmanın süresine ve dozuna bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Maruziyetin hem dozu hem de süresinin artmış olması UOB'lerin kronik ya da toksik etkiler yaratmasına neden olmaktadır. Afet durumlarında yangınlardan ve kimyasal tesislerin harap olmasından kaynaklı çok çeşitli UOB doğaya salınmakta bu kimyasallar akut ve kronik toksisite oluşturabilmektedir. Mesleki maruziyet, UOB'lerin etkileri ve yaratacağı sağlık sorunları açısından önem arz etmektedir. Üniversite kampüslerine ulaşım amaçlı özel araçların ve toplu taşımanın kullanılması, araç egzoz emisyonlarından kaynaklanan karbonmonoksit, partikül madde, azot oksitler ve uçucu organik bileşik gibi kirleticilerin kampüs hava kalitesini etkilemesine neden olmaktadır. Hem afetlerde hem de doğal koşullarda UOB önemli bir çevresel kirleticidir.

2.1.4. Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar (PAH)

Polisiklik aromatik hidrokarbonlar doğada yaygın olarak bulunan ve genellikle yakıt, odun, plastik gibi materyallerin yanması sonucu ortaya çıkan çevresel kirleticilerdir. Birçoğu DNA'ya zarar veren, kanser riskini arttıran, solunum yolu hastalıkları başta olmak üzere çok sayıda kronik hastalığa sebebiyet veren kimyasal birleşiklerdir. 2 veya daha fazla birleşmiş benzen halkasından oluşurlar, çoğunlukla renksiz ya da sarı renktedirler ve lipofilik karakterdedirler. İnhalasyon, oral ve cilt temasıyla insanlar PAH'lara maruz kalabilirler. PAH ve türevleri temel olarak inflamasyon, immün disfonksiyon ve oksidatif stresi arttırmak başta olmak üzere çok çeşitli mekanizmalarla tüm organ sistemlerine zarar verirler. Afetlerde kimyasal depolama tesislerindeki sızıntılar, atık arıtma sistemlerinin hasar görmesi ve özellikle endüstriyel tesislerdeki geniş çaplı yangınlarla doğaya salınır (Mallah et al., 2022). Polisiklik aromatik hidrokarbonların çevreye ve insanlara verdiği zararlar hava temizleme cihazlarının detoksifiye hedeflerinden biri olmalarına neden olmuştur. PAH'ların toksisitesi ve çevresel döngüsü, merkezi halka yapısı etrafında çeşitli moleküler yan grupların varlığıyla daha da değiştirilebilir. Bağlı karbon hidrojen zincirlerine sahip olan alkillenmiş PAH'lar çevresel numunelerde sıkça tanımlanmıştır. Alkillenmiş PAH'larla ilgili olası endişeler, hem hidrokarbonla

kirlenmiş çevresel numunelerde nispeten yüksek konsantrasyonların rutin olarak ortaya çıkmasından hem de canlı organizmalar üzerindeki olumsuz etkilerin potansiyelinden kaynaklanmaktadır (Güneş et al., 2022). Çok sayıda sistem üzerine olumsuz etkileri olan PAH'ların bilinmesi ve öneminin farkına varılması afetlerde bu kimyasal bileşiklerin toksisitesinin sınırlanmasına katkı sağlayacaktır.

2.1.5. Poliklorlu Bifeniller (PCB)

2 benzen halkası ve 1-10 klorin atomundan oluşan geniş bir kimyasal ailesidir. Lipofilik karakterde, kimyasal açıdan stabil, yanıcı olmayan ve toksik moleküllerdir. Antropojenik endüstriyel kimyasallardır. Doğaya salındıklarında havada, toprakta, suda ve gıdalarda birikirler. Uzun süre çevrede kalırlar ve gıda zincirinde yukarı çıkıldıkça birikirler. Kontamine olmuş gıda ürünlerinden, inhalasyon yoluyla veya cilt temasıyla insanlar bu toksini alır. Her ne kadar 1970'lerin sonlarına doğru birçok ülkede üretimi kısıtlansa da tarihi eşyalar ve inşa malzemeleri hala bu toksini salmaktadır. Bunun yanı sıra yeni poliklorlu bifeniller üretim veya bekleme süreçlerinde hala boya ve pigment endüstrisinde ortaya çıkabilmektedir. Özellikle deprem gibi doğal afetlerde PCB taşıyan binaların tahrip olmasıyla bu toksinler çevreye saçılabilir. İnsanlarda PCB maruziyeti nörogelişimsel bozukluklar, düşük IQ ve bilişsel bozukluklar gibi birçok anomali ile ilişkilendirilmiştir (Balalian et al., 2024). İmmün sistem tahribatı poliklorlu bifenillere bağlı gelişebilir ve poliklorlu bifeniller immün supresyona yol açar. Poliklorlu bifeniller karsinojenik ve genotoksik potansiyeliyle kanser ve reproduktif toksisiteyle ilişkilendirilmiştir (Montano et al., 2022). Bu sebeplerden dolayı afet bölgesinde çalışan kişiler eski binalardan yayılacak kontamine tozlara karşı önlem almalı, mutlaka kişisel koruyucu donanımlarla çalışmalıdır.

2.1.6. Dioksinler ve Furanlar

Klorine veya halojene organik bileşikler sınıfında yer alırlar. Dibenzop-dioksinler ve poliklorine dibenzofuranlar örnek olarak bu bileşiklere verilebilir. Bu bileşikler kimyevi atıkların yanması, metal sanayi, kâğıt ağartma ve böcek ilacı üretimi gibi süreçlerde yan ürün olarak ortaya çıkarlar. Orman yangınları ve volkanik faaliyetler de hem dioksin hem de furan salınımına yol açabilir. İnsanlarda dioksin ve furanlar davranışsal, üreme, gelişimsel, endokrin, nörolojik ve immünolojik ciddi sağlık tesirleriyle ilişkilendirilmiştir. Hayvanlardaysa bazı kuş türleri, balıklar ve memeliler de dahil olmak üzere birçok canlıda hastalıklara ve anormalliklere neden olurlar. Üretim veya salınım noktalarından uzun mesafeler boyunca taşınarak küresel halk sağlığı problemlerine neden olurlar. Toprakta buharlaşabilirler, havada rüzgarlarla

uzak yerlere ulaşabilirler ve soğuk bölgelerde yoğunlaşarak önemli sağlık sorunlarına neden olabilirler (Kanan ve Samara, 2018). Aşırı yağışlar sırasında depolama alanlarının tahrip olmasıyla sel sularına karışarak nehirleri ve su havzalarını kirletirler. Buralarda sucul yaşamı bozarlar ve gıda döngüsünde birikirler. İnsanların bu toksinlere maruz kalması durumunda yağ dokusunda yıllarca birikerek endokrin sisteme, immün fonksiyonlara, üreme ve gelişmeye zarar verirler. Düşük çevresel maruziyet bile kanser ve kronik hastalık gelişme riskinde artışla sonuçlanabilir. Bu yüzden afet alanlarında toksikologların ve kimyagerlerin ölçümler yapması önemlidir.

2.1.7. Partikül maddeler

Partikül maddeler yangın ve parçalanma sonucu ortaya çıkabilen boyutlarına göre sınıflandırılan çevresel kirleticilerdir. Orman yangınları sırasında, depremlerde, volkanik olaylarda, endüstriyel işlemlerde, mermer, kömür ve taş işçiliğinde doğaya salınırlar. Boyutlarına göre sınıflandırılabilirler. PM10 $10 \mu\text{m}$ 'den daha düşük boyutlu partikül madde anlamına gelir. PM10 partikül maddeler trakea ve bronşiolerde birikerek solunum rahatsızlıklarına neden olabilir. PM2.5 partikül boyutu $2.5 \mu\text{m}$ 'den daha küçük partiküller olup ultra ince partikül olarak da sınıflandırılabilirler. PM2.5 partiküller alveoler kapillerlerden penetre olarak dolaşıma geçerler. Partikül maddeler saf fiziksel parçalar değildir. Bu bileşikler aynı zamanda aerosol maddelerde ihtiva edebilir. Bunlara örnek olarak karbon monoksit, nitrat, sülfat, ozon, ağır metaller, piren ve PAH verilebilir. Partikül maddelere bağlı olarak başta akciğer olmak üzere tüm organ ve sistemlerde tahribat oluşabilmektedir. Bu hasarın mekanizmasında reaktif oksijen türlerinin (ROS), p38 ve c-Jun N-terminal kinazlar gibi hücre içi stres sinyal moleküllerini aktive etmesi nükleer faktör kappa B (NF κ B) ve aktivatör protein 1 (AP-1) dahil olmak üzere transkripsiyon faktörlerinin etkisiyle IL1 ve IL6 gibi inflamatuvar sitokinlerin ekspresyonunun artması buna bağlı olarak kronik inflamasyon gelişmesi ve nihayetinde skar dokusuyla dokunun fonksiyon gören elemanlarının yerini bağ dokusu alması olduğu ileri sürülmüştür (Lim ve Kim, 2024). Partikül maddelerin doğaya karışması sadece insanlar ve hayvanlarda solunum sıkıntısına neden olmaz aynı zamanda güneş ışığının bitkilere yeterince ulaşmasına engel olarak bitkisel solunumu da bozar. Özellikle yangın ve deprem gibi doğal afetlerde enkazlar ve duman ile yayılan partikül maddeler sağlık tehlikesi oluşturur. Bu nedenle afet görevlileri maskelerle bu partikül maddelerden korunmalıdır. Hastane veya solunum yolları hastalıklarına duyarlı olabilecek insanların yaşadığı huzurevi ve kreş gibi yerlerde havalandırma sistemleri partikül maddeleri filtreleyebilecek alt yapıya sahip olmalıdır.

2.1.8. Asbest ve diğer tehlikeli fibröz mineraller

Asbest ve diğer tehlikeli fibröz mineraller, binalarda ve endüstriyel tesislerde bulunabilen küçük, ince iğne benzeri partiküllerdir. Deprem, yangın, sel ve yıkıma yol açan diğer durumlarda asbest ve fibröz mineral barındıran yapılar tahrip olarak bu maddeleri açığa çıkartır. Toz halinde havaya karışan veya yüzeyleri kaplayan bu maddeler gerek insan sağlığını gerekse de çevre sağlığını olumsuz etkiler. Bu fibröz minerallerden asbest ayrıca önemlidir. Asbest lifleri gözle görülmeyecek kadar küçüktür, kokusuz ve tatsızdır. Asbest kaynaklı kanserler ilk maruziyetten yıllar sonra teşhis edilir ve bu yüzden asbest sıklıkla gizli katil olarak adlandırılır. Asbeste bağlı kanser gelişen birçok hasta kanser gelişmeden önce çoğunlukla maruz kaldıkları maddenin ne denli tehlikeli olduğunun farkında değildir (Zandwijk et al., 2020). Asbeste bağlı akciğer kanserinin bilinirliği asbest maruziyetinin yoğun olduğu bölgede yaşayan insanların sigara bırakma programlarına dahil edilmesini ve akciğer kanseri tarama programlarına alınmasını hastalığın gelişmesini önleme ve erken teşhis açısından gerekli kılmaktadır (Metintas et al., 2024). Asbestin sağlık tehlikeleri sadece akciğer kanseriyle sınırlı olmayıp laringeal, ovaryan, testiküler kanserlerle de ilişkilidir (Kurzunbaeva et al., 2024) Erionite, Ferrierite, Mazzite, Mordenite ve Natrolite diğer tehlikeli fibröz minerallerdir ve bu gruptan daha birçok tanımlanmış veya tanımlanmamış fibröz mineral vardır. Bu mineraller mezotelyoma gibi akciğer kanserleriyle ilişkilendirilmiş olup özellikle erionite Türkiye ve Meksika'da çok sayıda malign mezotelyoma vakasından sorumlu tutulmuştur (Berry et al., 2022). Afet alanlarında çalışanlar, hafriyat temizliğinden sorumlu işçiler ve diğer risk altındaki insanlar asbest ve diğer tehlikeli fibröz minerallerin sağlık risklerinin bilincinde olmalıdır. Kişisel koruyucu donanımların uygun şekilde kullanılması, kronik maruziyeti önlemek, değiştirilebilir ek risk faktörlerinin azaltılması ve tarama programlarına katılım sağlanması gerek bireylerin gerek bireylerin sağlığına gerekse de halk sağlığına katkı sağlayacaktır.

2.2. Pestisitler, ağır metaller ve diğer toksik maddelere maruziyet risklerinin analiz edilmesi

Pestisitler, ağır metaller ve diğer toksik maddeler hem insan sağlığına hem de çevre sağlığına zarar veren maruziyet risklerinin mutlaka kontrol edilmesini gerektiren tehlikeli maddelerdir. Bu moleküllere maruziyet durumunun bulgular ve semptomlar üzerinden takip edilmesi reaktif bir yaklaşımdır ve asbestos örneğindeki gibi çoğunlukla geç kalınmış bir yanıtıdır (Metintas et al., 2024). Maruziyet risklerinin hastalık gelişmeden önce tespit edilerek gerekli önlemlerin alınması çevre ve insan sağlığını korumaya katkı sağlayacaktır.

2.2.1. Pestisitlere Maruziyet Risklerinin Analiz Edilmesi

Pestisit maruziyet riskinin analiz edilmesinde ilk basamak örnekleme ve örneklerin hazırlanmasıdır. Bunun için sulardan, meyvelerden, sebzelerden, topraktan, balıklardan ve çiftlik hayvanlarından farklı dönemlerde ve farklı alanlardan örnekler alınır. GC-MS, LC-MS, LC-HRMS ve UV-Vis başlıca analiz teknikleridir. Yapılan ölçümlerden alınan sonuçlar maksimum kalıntı limitleriyle karşılaştırılır (Su et al., 2023).

2.2.2. Ağır Metallere Maruziyet Risklerinin Analiz Edilmesi

Ağır metal maruziyet riskleri pestisit maruziyet risklerinin analiz edilmesinden temel farklılıklar taşır. ICP-OES, ICP-MS, AAS veya voltmetre ile elementel düzeyde analizlerle örnekteki ağır metaller kuantifiye edilebilir. Özellikle kömür madenleri gibi endüstriyel tesislerin yakınında bulunan tarım alanları deprem ve doğal afetlerde yaşanan tahribatla ağır metal kontaminasyonuna maruz kalabilir (Yang et al., 2022; Martinez et al., 2023). Bu bölgelerde ölçümler yapılması ve maruziyet risklerinin analiz edilmesi ağır metal kirlenmesinin hem gıdalar hem de su kaynakları aracılığıyla besin piramidinde birikerek gerek insan sağlığı gerek çevre sağlığı açısından tehdit oluşturmadan alınması gereken önlemlerden biridir.

2.2.3. Diğer Toksik Maddelere Maruziyet Risklerinin Analiz Edilmesi

Afetler doğaya çok sayıda toksik maddenin salınmasına sebebiyet verir. Kromatografik yöntemler gıda maddeleri de dahil olmak üzere çeşitli örneklerde moleküllerin kantitatif hızlı ve güvenilir analizi için öncelikli yaklaşımlardandır. Kromatografik yöntemler sıvı kromatografisi ve gaz kromatografisi şeklinde uygulanabileceği gibi kütle spektrofotometresinin bu yöntemlerle kombine edilmesi toksik maddelere maruziyet riskinin ortaya konmasına katkı sağlar. Toksik bileşenlerin tespiti ve bu bileşenlerin maruziyet risklerinin azaltılması için geliştirilmeye devam eden analiz sistemleri çok büyük örneklerde eser miktarda bulunan toksik maddelerin hızlı ve verimli şekilde tespitini hedeflemektedir (Casado et al., 2024). Yüksek performanslı sıvı kromatografisi bu amaçla geliştirilen, çok sayıda örnekleme çalışılabilen, isabetli ve duyarlı bir yöntemdir (Karageorgou et al., 2025). Bunlara ek olarak gerek insan kaynaklı gerek doğal afetlerde müdahale ekibinde gaz detektörlerinin olması maruziyet riskinin proaktif değerlendirilmesine olanak sağlayacaktır. Özellikle son zamanlarda geliştirilen insansız hava aracı veya insansız kara aracı destekli çok amaçlı kimyasal tespit sistemlerinin yaygınlaşması tehlikeli maddelere maruziyet risklerinin analiz edilmesinin daha güvenli şekilde yapılmasına olanak sağlamıştır. Bu sistemler afetlere müdahale eden görevlileri korumakla kalmayıp

aynı zamanda örneklerin daha sağlıklı ve yüksek miktarlarda toplanmasına dolayısıyla risk analizinin daha güçlü yapılmasına olanak sağlamaktadır (Kaliszewski et al., 2021).

2.3. Kimyasal Zehirlenmelerin Erken Tanınması Ve Yönetimi Konusunda Danışmanlık Sağlanması

Kimyasal zehirlenmeler tüm dünyada önemli bir morbidite ve mortalite nedenidir. Zehirlenme tehlikeli bir maddenin yenilmesi, içilmesi veya solunması sonucu ortaya çıkabilir. Zehirli kimyasallar kendilerine has karakterde koku ve tada sahip olabilecekleri gibi asbest örneğindeki gibi maruziyetin farkına varılması uzun zaman alabilir. Akut veya kronik maruziyet ölümlü sonuçlanabilen genetik toksisite, kanserler ve kronik hastalıklarla ilişkilidir (Lei et al., 2025). Çocuklar, yaşlılar ve gebeler zehirli maddelere maruziyetin sonuçları açısından en dikkat edilmesi gereken sosyal gruptur. Çocuklar ve yaşlılarda düşük doz kimyasalların bile ciddi toksisiteler oluşturabilmesi gebelerde ise çocukta hayat boyu sürecek teratojen etkilerin görülebilmesi hatta hem anne hem de bebeğin hayatının tehlikeye girebilmesi kimyasal zehirlenmelerin erken tanınması ve yönetimi konusunda danışmanlık sağlanmasını gerekli kılmaktadır. Bunun yanı sıra meslekleri gereği kimyasal zehirlenme riskiyle sıkça karşılaşan maden işçileri, endüstriyel tesislerde çalışanlar, ilaç bilimciler, arıtma tesislerinde çalışanlar ve afetlere müdahale eden ekipler mutlaka kimyasal zehirlenmeler konusunda danışmanlık almalıdır.

2.3.1. Kimyasal Zehirlenmelerin Hastane Öncesi Yönetimi

Zehirlenme; hayati fonksiyonları bozan ve bazen de yaşamı tehdit eden maddelerin vücuda solunum, dolaşım, ağız, deri ve benzeri yollardan alınması sonucu organizmanın zarar görmesi durumudur. Paraselsus (1493-1541) “Tüm maddeler zehirdir. İlaç zehirden ayıran dozudur.” diyerek zehirlenmelerde doz kavramının önemine vurgu yapmıştır (Avşaroğulları, 2020). Zehirlenmelere yaklaşımda öncelikle ortamdaki zehrin yardım personeline olası etkileri göz önünde bulundurulmalıdır. Bunun için insansız hava aracı veya insansız kara aracıyla müdahale edilecek bölgedeki kimyasal gazlar tespit edilerek ortamın ilk yardım ekipleri için olası tehlikeleri değerlendirilebilir (Kaliszewski et al., 2021). Müdahale öncesinde acil durum ekipleri, arama, kurtarma, ilk yardım ekipleri belirlenmiş olmalıdır. Kişisel koruyucu donanımlar zehirlenmenin türüne ve seviyesine göre seçilmelidir. Eğer endüstriyel bir tesis ya da maden gibi bir iş yeri içinde zehirlenme gerçekleşiyse iş yerinde ve iş yerinin diğer kuruluşlarla iş birliğini sağlayarak organizasyonel süreçleri yürütecek olay müdahale ekipleri ve kurulu ile bu kurulun görevleri iyi tanımlanmış olmalıdır. Atıkların yayıldığı ve kimyasal zehirlenmeden etkilenebilecek yerleşim yerlerindeki mutlakla

önceden bilgilendirilmiş ve olası hayatı tehdit edici durumlarda hızla iletişime geçebilecekleri haberleşme yöntemleri belirlenmiş olmalıdır. Bir afet meydana geldiğinde önceden öngörülmüş ve öngörülememiş tehlikelerin giderilmesi, yaralıların ve etkilenme potansiyeli olanların kurtarılması, arama-kurtarma, ilk yardım ve temel ihtiyaçların karşılanması sürdürülmesi önem taşır (Büyükkıdan ve Gümüş, 2020).

2.3.2. Kimyasal Zehirlenmelerin Hastane Ve Taburculuk Sonrası Yönetimi

Kimyasal zehirlenmelerde hastanede yönetimi altı başlık altında değerlendirilebilir. Bunlar sırasıyla stabilizasyon; laboratuvar değerlendirmesi, gastrointestinal sistemin, cildin ve gözlerin dekontaminasyonu; antidot uygulanması, toksin itrahının arttırılması; gözlem ve taburculuk olarak sınıflandırılabilir (Shannon et al., 2020) Taburculuk sonrasında ise tekrar kimyasal maruziyetin yaşanmaması ve zehirlenmenin tekrarlanmaması adına kimyasal zehirlenmeye kaynak oluşturan etkenlerin saptanarak kaynağında ortadan kaldırılması gereklidir. Kimyasal zehirlenmeye bağlı olarak şiddetli alerji durumlarında taburculuk sonrasında da aynı klinik tablonun tekrarlanmaması için acil durumda hızlı müdahaleyi sağlayacak şekilde adrenalin oto enjektörü ve nasıl kullanılacağı konusunda hastalar bilgilendirilmelidir. Bunun yanı sıra atropin oto enjektörleri sinir gazı gibi kimyasal zehirlenmelerinde zehirlenme durumunun tekrarlanması halinde veya piridostigmin örneğindeki gibi profilaktik olarak uygulanabilir.

2.3.2.1. Stabilizasyon

Tüm zehirlenmeler özellikle akut ve kasıtlı olanlar hızlı ilerleme eğilimi gösterebilmektedir. Bu yüzden ilk yapılması gereken hava yolu açıklığının, solunum, dolaşım ve nörolojik fonksiyonların ayrıntılı değerlendirilmesidir. Herhangi bir olumsuzluk saptanması durumunda endotrakeal entübasyon, ventilasyon, sıvı, inotrop ve vazopresör desteği sağlanmalıdır. İntravasküler hacim kaybını düzeltmek için hacim replasmanı hemodinamiği iyileştirmekle kalmayıp aynı zamanda digoksin, lityum ve dabigatran gibi ilaçların eliminasyonunu arttırdığı için ayrıca önemlidir. Nöbetler ve ajitasyon gelişmesi durumunda benzodiazepinler hastaya müdahale etmek için kullanılabilir. Şiddetli zehirlenmelerde stabilizasyonun sağlanması genellikle yoğun bakım ünitesine yatışı ve sürekli kardiyak izlemi gerektirir. Klinik toksisite ortadan kalktığında ve zehirli kimyasalın emiliminin daha fazla artmayacağı düşünüldüğünde minimum bir gözlem süresinden sonra hastanın taburcu edilmesi düşünülebilir (Ghannoum ve Roberts, 2023).

2.3.2.2. Laboratuvar Değerlendirmesi

Laboratuvar değerlendirme, zehirlenmelerde mutlaka yapılmakla beraber özellikle zehirlenme şüphesi olan ancak maruz kalma öyküsü belirsiz hastalarda tanı ve tedavide ayrıca önemli bir rol oynar. Bununla birlikte, toksikolojik analizin klinik uygulamada kullanımı, testin yüksek maliyeti, testin yapıldığı yere erişim zorluğu, test için gereken süre ve analiz için gönderilen örnek yetersizliği gibi sorunlar laboratuvar değerlendirmesinin kapsamını kısıtlamaktadır (Shi et al., 2024). Zehirlenme şüphesiyle başvuran hastaların hemogram, glikoz, elektrolit, karaciğer enzim düzeylerinin ve böbrek fonksiyonlarının takibi toksikolojik analizin yanı sıra mutlaka laboratuvar değerlendirmeyle yapılmalıdır.

2.3.2.3. Gastrointestinal Sistemin, Cildin ve Gözlerin Dekontaminasyonu

Zehirlenmeye neden olabilecek kimyasalların akut maruziyetinden sonra gastrointestinal kanal, cilt ve gözlerden emilim devam edebileceği için dekontaminasyon yapılmalıdır. Gastrointestinal sistemden dekontaminasyon metotları orogastrik lavaj, aktif kömür, tüm bağırsak irrigasyonu, özellikle paket halinde yutulmuş toksik moleküllerin elimine edilmesi için nadiren kullanılan endoskopi ve laparotomi sayılabilir. Orogastrik gavajın aspirasyon ve perforasyon riskleri, ancak çok erken ve potansiyel öldürücü oral alımlarda faydaları kullanımını kısıtlamaktadır (Gosselin et al., 2025). Cilt dekontaminasyonu penetrasyonu kısıtlamak ve sistemik absorpsiyonu azaltmak için cilt aracılı zehirlenmelerde atlanmamalıdır. Standart yaklaşım giysileri çıkararak cildin su ile arıtılmasıdır. Sabunlu su kullanımı ise VX gibi düşük volatiliteye sahip sinir gazlarında emilimi arttırabilmektedir (Thors et al., 2021). Bu yüzden kimyasal zehirlenmelerinde cilt dekontaminasyonu sürecinde zehirlenmeye yol açan kimyasalın iyi tanımlanması önemlidir. Gözlerin dekontaminasyonunda çok hızlı hareket edilmesi ve titiz olarak kontamine eşyaların çıkartılarak gözlerin her yönden toksik kimyasaldan arındırılması gerekir. Şayet oküler pH asidite veya alkali yönde değiştiyse irrigasyon pH değeri normalize olana kadar sürdürülmelidir. Oküler dekontaminasyon ağrı, yanık ve fotofobi gibi semptomlar gösteren akut hasarı azalttığı gibi korneal greft ihtiyacı duyulabilecek ciddi uzun süreli komplikasyonları da azaltır (Menke et al., 2023).

2.3.2.4. Antidot Uygulanması

Antidot zehirlenmelerde toksisiteyi azaltan maddelerdir. Aslında, genel olarak antidotlar spesifik kimyasal bileşiklerdir ve “hayat kurtarıcı farmasötikler” olarak da ifade edilir. Antidotlar tek doz olarak veya gerekli durumlarda kısa süre içerisinde tekrar tekrar uygulanarak kullanılır ve sıklıkla toksik maddeye maruziyetten sonra kullanılması gereklidir. Ancak piridostigmin gibi kitlelerin

toksik kimyasallara maruziyeti söz konusu olduğu durumlarda profilaktik olarak da kullanılabilir. Antidotlar tıp tarihinin en erken dönemlerinden bu yana kullanılmaktadır (Karaca, 2020) Ağır metal şelatörü dimerkaprol ve suksimer, fomepizol, folinik asit, atropin, kalsiyum kloride, dantrolen, flumazenil, glukagon, asetilsistein ve normalde başlı başına toksik bir molekül olmasına rağmen metanol zehirlenmesinde kullanılan etanol antidotlara örnek olarak verilebilir (Kobylarz et al., 2023)

2.3.2.5. Toksin İtrahının Arttırılması

Zehirlenmelerde kimyasal toksinlerin uzaklaştırılmasının bir diğer yolu vücuttan eliminasyonlarının arttırılmasıdır. Üriner pH'da değişiklikler lipofilik karakterde olmayan ve idrarla ıtrah edilen ilaçlarda iyon tuzağı yoluyla ıtrahın hızlandırılmasını sağlar. Hemodiyaliz ve hemoperfüzyon gibi ekstrakorporiyel tedaviler toksisite ciddi olduğunda ve toksin diyaliz ile ıtrah edilmeye uygun olduğunda düşünülmelidir (Yaxley ve Scott, 2022). Hemodiyaliz ile ıtrah edilecek ilacın küçük moleküler yapıda, hidrofilik, plazma proteinlerine düşük oranda bağlanması, sekestre olmaması ve dağılım hacminin küçük olması önemlidir. Lityum ve etilen glkol bu moleküllere örnek olarak verilebilir.

2.3.2.6. Gözlem ve Taburculuk

Çoğu durumda 6 saatlik bir gözlem ciddi toksisiteyi dışlamak ve hastayı taburcu etmek için yeterlidir. Ciddi toksisite gelişen veya hemodinamik instabilitesi olan hastalar yoğun bakım ünitesine yatırılmalı ve gözlemleri burada yapılmalıdır. Uzun etkili ilaç almış olan veya irreversible enzim inhibisyonu gibi uzun etkili toksisite altında olan hastalar hastanede daha uzun süre gözetim altında tutularak takip edilmelidir. Şiddetli zehirlenmelerde taburculuk en erken zehirlenmenin ortadan kalktığı 24 saatten sonra yapılmalıdır (Kaya, 2022). Şüpheli durumlarda tedaviyi geciktirmemek kaydıyla Ulusal Zehir Danışma Merkezine (UZEM) danışılarak taburculuk kararı alınmalıdır.

Sonuç

Afetlerde kimyasal zehirlenmelerin yönetimi çok sayıda disiplinin iç içe geçtiği hem kısa dönemde hem de uzun dönemde çevre ve insan sağlığı açısından önemli bir konudur. Riskli tesislerde çalışanlar ve afetlerde görev alanlar kimyasal zehirlenmeler, tehlikeli kimyasallar, korunma ve detoksifikasyon yolları konusunda bilgi sahibi olmalıdır. Kimyasal maddelerin depolanması ve nakliyesi güvenli şekilde yapılmalı, alt yapı afetlere dayanıklı olmalı buna rağmen olumsuz bir durum yaşandığında müdahale planı etkili şekilde uygulanmalıdır. Doğru müdahaleler sadece insan sağlığını korumakla kalmayıp aynı zamanda çevre sağlığını da koruyacaktır. Bu da ancak afetlere bilgi, tecrübe, planlama ve altyapıyla hazır olmakla mümkün olacaktır.

Kaynakça

- Alengebawy, A., Abdelkhalek, S., Qureshi, S., & Wang, M. (2021). Heavy Metals and Pesticides Toxicity in Agricultural Soil and Plants: Ecological Risks and Human Health Implications. *Toxics*, 9. <https://doi.org/10.3390/toxics9030042>.
- Balalian, A., Stingone, J., Kahn, L., Herbstman, J., Graeve, R., Stellman, S., & Factor-Litvak, P. (2024). Perinatal Exposure to Polychlorinated Biphenyls (PCBs) and Child Neurodevelopment: A Comprehensive Systematic Review of Outcomes and Methodological Approaches.. *Environmental research*, 118912 . <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118912>.
- Balali-Mood, M., Naseri, K., Tahergerabi, Z., Khazdair, M., & Sadeghi, M. (2021). Toxic Mechanisms of Five Heavy Metals: Mercury, Lead, Chromium, Cadmium, and Arsenic. *Frontiers in Pharmacology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.643972>.
- Berry, T., Belluso, E., Vigliaturo, R., Gieré, R., Emmett, E., Testa, J., Steinhorn, G., & Wallis, S. (2022). Asbestos and Other Hazardous Fibrous Minerals: Potential Exposure Pathways and Associated Health Risks. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19. <https://doi.org/10.3390/ijerph19074031>.
- Büyükkıdan, B., & Gümüş, H. (2020). Altın ve Gümüş Madencilğinde Siyanür Kaynaklı Kimyasal Kazalarda Acil Durum Yönetimi Örneği. *Afet ve Risk Dergisi*, 3(2), 181-194. <https://doi.org/10.35341/afet.720539>
- Casado, N., Berenguer, C. V., Câmara, J. S., & Pereira, J. A. M. (2024). What Are We Eating? Surveying the Presence of Toxic Molecules in the Food Supply Chain Using Chromatographic Approaches. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 29(3), 579. <https://doi.org/10.3390/molecules29030579>
- Cheng, Y., Zhao, Y., Chen, C., & Zhang, F. (2025). Heavy Metals Toxicity: Mechanism, Health Effects, and Therapeutic Interventions. *MedComm*, 6. <https://doi.org/10.1002/mco2.70241>.
- Ecevit Kaya, A. (2022). General Approach to Patients Admitted to The Emergency Department with Poisoning. *Eurasian Journal of Toxicology*, 4(1), 11-16. <https://doi.org/10.51262/ejtox.1093234>
- Emergency Management of Poisoning. (2007). *Haddad and Winchester's Clinical Management of Poisoning and Drug Overdose*, 13–61. <https://doi.org/10.1016/B978-0-7216-0693-4.50007-4>
- Ergenler, A., & Turan, F. (2023). DNA Damage in Fish Due to Pesticide Pollution. *Natural and Engineering Sciences*. <https://doi.org/10.28978/nesciences.1405171>.
- Garud, A., Pawar, S., Patil, M., Kale, S., & Patil, S. (2024). A Scientific Review of Pesticides: Classification, Toxicity, Health Effects, Sustainability, and Environmental Impact. *Cureus*, 16. <https://doi.org/10.7759/cureus.67945>.

- Ghafariarsani, H., Rohani, M., Racezadeh, M., Ahani, S., Yousefi, M., Talebi, M., & Hossain, M. (2024). Pesticides and Heavy Metal Toxicity in Fish and Possible Remediation – A Review. *Annals of Animal Science*, 24, 1007 - 1024. <https://doi.org/10.2478/aoas-2024-0012>.
- Ghannoum M, Roberts DM. Management of Poisonings and Intoxications. *Clin J Am Soc Nephrol*. 2023 Sep 1;18(9):1210-1221. doi: 10.2215/CJN.000000000000057. Epub 2023 Jan 13. PMID: 37097121; PMCID: PMC10564369.
- Gosselin, S., Hoegberg, L., & Hoffman, R. (2025). Gut decontamination in the poisoned patient. *British Journal of Clinical Pharmacology*, 91, 595 - 603. <https://doi.org/10.1111/bcp.16379>.
- Güneş, E., Kaykıoğlu, G., Hanedar, A., & Güneş, Y. (2022). Su Kaynakları ve Sedimentlerde Polisiklik Aromatik Hidrokarbonların (PAH) Kaynakları ve Toksik Etkileri. *European Journal of Engineering and Applied Sciences*, 5(1), 42-48. <https://doi.org/10.55581/ejeas.1132393>
- Jomová, K., Alomar, S., Nepovimova, E., Kuča, K., & Valko, M. (2024). Heavy metals: toxicity and human health effects. *Archives of Toxicology*, 99, 153 - 209. <https://doi.org/10.1007/s00204-024-03903-2>.
- Kaliszewski M, Włodarski M, Młyńczak J, Jankiewicz B, Auer L, Bartosewicz B, Liszewska M, Budner B, Szala M, Schneider B, Povoden G, Kopczyński K. The Multi-Gas Sensor for Remote UAV and UGV Missions-Development and Tests. *Sensors (Basel)*. 2021 Nov 16;21(22):7608. doi: 10.3390/s21227608. PMID: 34833684; PMCID: PMC8620992.
- Karaca, O. (2020). ANTİDOTLAR. *Aksaray Üniversitesi Tıp Bilimleri Dergisi*, 1(özel sayı), 58-62. <https://izlik.org/JA66RD52DP>
- Karageorgou, E. G., Kalogiouri, N. P., & Samanidou, V. F. (2025). Green Approaches in High-Performance Liquid Chromatography for Sustainable Food Analysis: Advances, Challenges, and Regulatory Perspectives. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 30(17), 3573. <https://doi.org/10.3390/molecules30173573>
- Kobylarz, D., Noga, M., Frydrych, A., Milan, J., Morawiec, A., Glaca, A., Kucab, E., Jastrzębska, J., Jabłońska, K., Łuc, K., Zdeb, G., Pasierb, J., Toporowska-Kazmierak, J., Pólchłopek, S., Słoma, P., Adamik, M., Banasik, M., Bartoszek, M., Adamczyk, A., Rędziniak, P., ... Jurowski, K. (2023). Antidotes in Clinical Toxicology-Critical Review. *Toxics*, 11(9), 723. <https://doi.org/10.3390/toxics11090723>
- Kurzhunbaeva Z, Dzhusupov K, Spinazzè A, Visonà SD, Sulaimanova C, Kasymov O, Belluso E, Colosio C. Human Exposure to Asbestos in Central Asian Countries and Health Effects: A Narrative Review. *Med Lav*. 2024 Dec 19;115(6):e2024042. doi: 10.23749/mdl.v115i6.15453. PMID: 39697085; PMCID: PMC11734637.

- Lei, R., Yue, C., Yue, F., Gao, H., He, X., Yan, Q., Yang, Z., Bao, W., Hu, C., , Q., & Yang, M. (2025). Burden of non-CO poisoning in 204 countries and territories, 1990–2021: results from the global burden of disease study 2021. *Frontiers in Public Health*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2025.1620523>.
- Li, X., Zhou, J., Bai, Y., Qiao, M., Xiong, W., Schulze, T., Krauss, M., Williams, T., Brown, B., Orsini, L., Guo, L., & Colbourne, J. (2024). Bioactivity Profiling of Chemical Mixtures for Hazard Characterization. *Environmental Science & Technology*, 59, 291 - 301. <https://doi.org/10.1021/acs.est.4c11095>.
- Lim, E. Y., & Kim, G.-D. (2024). Particulate Matter-Induced Emerging Health Effects Associated with Oxidative Stress and Inflammation. *Antioxidants*, 13(10), 1256. <https://doi.org/10.3390/antiox13101256>
- Luo, H., Wang, Q., Guan, Q., , Y., Ni, F., Yang, E., & Zhang, J. (2021). Heavy metal pollution levels, source apportionment and risk assessment in dust storms in key cities in Northwest China.. *Journal of hazardous materials*, 422, 126878 . <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126878>.
- Lushchak, V., Matviishyn, T., Husak, V., Storey, J., & Storey, K. (2018). Pesticide toxicity: a mechanistic approach. *EXCLI Journal*, 17, 1101 - 1136. <https://doi.org/10.17179/excli2018-1710>.
- Magnano, G., Rui, F., & Filon, F. (2021). Skin decontamination procedures against potential hazards substances exposure.. *Chemico-biological interactions*, 109481 . <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2021.109481>.
- Mallah, M., Changxing, L., Mallah, M., Noreen, S., Liu, Y., Saeed, M., Xi, H., Ahmed, B., Feng, F., Mirjat, A., Wang, W., Jabar, A., Naveed, M., Li, J., & Zhang, Q. (2022). Polycyclic aromatic hydrocarbon and its effects on human health: An updated review.. *Chemosphere*, 133948 . <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133948>.
- Martínez, J. R., Alcalde-Rico, M., Jara-Videla, E., Rios, R., Moustafa, A. M., Hanson, B., Rivas, L., Carvajal, L. P., Rincon, S., Diaz, L., Reyes, J., Quesille-Villalobos, A., Riquelme-Neira, R., Undurraga, E. A., Olivares-Pacheco, J., García, P., Araos, R., Planet, P. J., Arias, C. A., & Munita, J. M. (2023). Heavy Metal Pollution From a Major Earthquake and Tsunami in Chile Is Associated With Geographic Divergence of Clinical Isolates of Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus* in Latin America. *bioRxiv : the preprint server for biology*, 2023.05.18.541300. <https://doi.org/10.1101/2023.05.18.541300>
- Menke, B., Ryu, C., Justin, G., Chundury, R., Hayek, B., Debiec, M., & Yeh, S. (2023). Ophthalmic manifestations and management considerations for emerging chemical threats. *Frontiers in Toxicology*, 5. <https://doi.org/10.3389/ftox.2023.1281041>.

- Metintas M, Ak G, Metintas S. Environmental asbestos exposure and lung cancer. *Lung Cancer*. 2024 Aug;194:107850. doi: 10.1016/j.lungcan.2024.107850. Epub 2024 Jun 20. PMID: 38945005.
- Montano, L., Pironti, C., Pinto, G., Ricciardi, M., Buono, A., Brogna, C., Venier, M., Piscopo, M., Amoresano, A., & Motta, O. (2022). Polychlorinated Biphenyls (PCBs) in the Environment: Occupational and Exposure Events, Effects on Human Health and Fertility. *Toxics*, 10. <https://doi.org/10.3390/toxics10070365>.
- Montero-Montoya, R., López-Vargas, R., & Arellano-Aguilar, O. (2018). Volatile Organic Compounds in Air: Sources, Distribution, Exposure and Associated Illnesses in Children. *Annals of global health*, 84(2), 225–238. <https://doi.org/10.29024/aogh.910>
- Omagari, R., Miyabara, Y., Hashimoto, S., Miyawaki, T., Toyota, M., Kadokami, K., & Nakajima, D. (2021). The rapid survey method of chemical contamination in floods caused by Typhoon Hagibis by combining in vitro bioassay and comprehensive analysis.. *Environment international*, 159, 107017 . <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.107017>.
- Phillips, A., Williams, A., Sobus, J., Ulrich, E., Gundersen, J., Langlois-Miller, C., & Newton, S. (2021). A Framework for Utilizing High-Resolution Mass Spectrometry and Nontargeted Analysis in Rapid Response and Emergency Situations. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 41. <https://doi.org/10.1002/etc.5196>.
- Shetty, S., D., D., S, H., Sonkusare, S., Naik, P, N, K., & Madhyastha, H. (2023). Environmental pollutants and their effects on human health. *Heliyon*, 9. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19496>.
- Shi, Q., Ba, G., Xia, Z., Mao, Z., Sun, H., & Zhang, J. (2024). The value of toxicological analysis in acute poisoning patients with uncertain exposure histories: a retrospective and descriptive study from an institute of poisoning. *World journal of emergency medicine*, 15(2), 98–104. <https://doi.org/10.5847/wjem.j.1920-8642.2024.022>
- Sofian Kanan, Fatin Samara, Dioxins and furans: A review from chemical and environmental perspectives, *Trends in Environmental Analytical Chemistry*, Volume 17, 2018, Pages 1-13, ISSN 2214-1588, <https://doi.org/10.1016/j.teac.2017.12.001>.
- Su, Y., Lu, J., Liu, J., Li, F., Wang, N., Lei, H., & Shen, X. (2023). Optimization of a QuEChERS-LC-MS/MS method for 51 pesticide residues followed by determination of the residue levels and dietary intake risk assessment in foodstuffs.. *Food chemistry*, 434, 137467 . <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137467>.
- Thors, L., Wigenstam, E., Qvarnström, J., & Bucht, A. (2021). Efficient agent degradation within skin is important for decontamination of percutaneo-

- usly exposed VX. *Cutaneous and Ocular Toxicology*, 40, 95 - 102. <https://doi.org/10.1080/15569527.2021.1902342>.
- van Zandwijk N, Reid G, Frank AL. Asbestos-related cancers: the 'Hidden Killer' remains a global threat. *Expert Rev Anticancer Ther*. 2020 Apr;20(4):271-278. doi: 10.1080/14737140.2020.1745067. Epub 2020 Mar 29. PMID: 32223452.
- Wan, N., Fu, L., Dainese, M., Kiær, L., Hu, Y., Xin, F., Goulson, D., Woodcock, B., Vanbergen, A., Spurgeon, D., Shen, S., & Scherber, C. (2025). Pesticides have negative effects on non-target organisms. *Nature Communications*, 16. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-56732-x>.
- Xu, H., Jia, Y., Sun, Z., Su, J., Liu, Q., Zhou, Q., & Jiang, G. (2022). Environmental pollution, a hidden culprit for health issues. *Eco-Environment & Health*, 1, 31 - 45. <https://doi.org/10.1016/j.eehl.2022.04.003>.
- Yang, X., Cheng, B., Gao, Y., Zhang, H., & Liu, L. (2022). Heavy metal contamination assessment and probabilistic health risks in soil and maize near coal mines. *Frontiers in public health*, 10, 1004579. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.1004579>
- Yaxley, J., & Scott, T. (2022). Dialysis and extracorporeal therapies for enhanced elimination of toxic ingestions and poisoning. *Therapeutic Apheresis and Dialysis*, 26, 865 - 878. <https://doi.org/10.1111/1744-9987.13843>.

