

İstanbul depremi senaryosunda asbest içeren inşaat ve yıkıntı atıklarının oluşturacağı çevresel riskler

Şölen DİKTEPE¹

1.Giriş

Kuzey Anadolu Fayı (KAF), dünyanın en aktif sismik fay zonlarından biri olup, son yüzyılda meydana gelen depremler ciddi can ve mal kayıplarına yol açmıştır. KAF'ın Marmara Denizi içerisindeki devamlılığının tek parça olup olmadığı tartışmalı olmakla birlikte, yakın gelecekte bölgede büyük bir depremin meydana gelme olasılığının yüksek olup beraberinde ciddi kayıplara neden olabileceği ifade edilmektedir. İstanbul Büyükşehir Belediyesi ve Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ile birlikte hazırlanan Mw 7,5 büyüklüğündeki bir deprem senaryosu sonucuna göre yaklaşık 50 bin yapının yıkılması muhtemeldir.

Depremler sonrasında kontrolsüz bir şekilde ortaya çıkacak inşaat ve yıkıntı atıkları (İYA), çeşitli kimyasalların ve toksik gazların yanı sıra özellikle asbestin çevreye yayılımına yol açabilir. Asbest, geçmişte fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle yapı malzemelerinde yaygın olarak kullanılan bir madde olmasına rağmen günümüzde Dünya Sağlık Örgütü tarafından kanserojen olarak sınıflandırılmıştır. Ancak, dünya genelinde asbest kullanımına ilişkin düzenlemelere rağmen, çevresel ortamdaki (toprak, hava ve su) davranışları hakkında sınırlı bilgi bulunmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, büyük bir Marmara depremi sonrası oluşabilecek asbest içeren inşaat ve yıkıntı atıklarının çevresel etkilerini incelemektir.

2. Asbestin Özellikleri ve Kullanım Alanları

Antik Yunancada “*suya doymaz*” anlamına gelen günümüzde halk arasında ak toprak, çorak toprak,

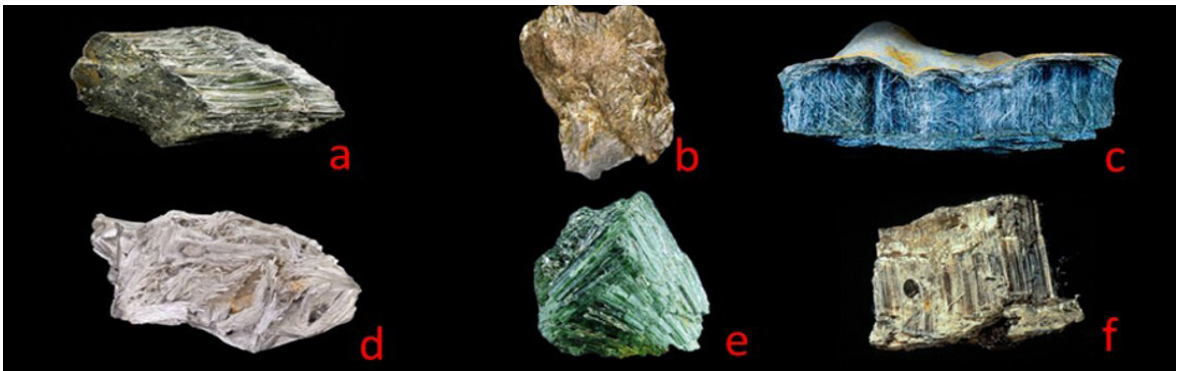
gök toprak, çelpek, höllük veya ceren toprağı gibi isimlerle bilinen asbest lifli bir morfolojiye sahiptir. Şekil 1’de gösterilen asbest türleri serpantin (krizotil) ve amfibol (amosit, krokidolit, tremolit, aktinolit, antofillit) olmak üzere iki ana grupta sınıflandırılır.

Krizotil asbest, ultrabazik kayaların hidrotermal alterasyon ve serpantinleşme süreciyle oluşur. Olivin ve piroksen gibi magnezyumca zengin mineraller serpantin minerallerine dönüşür; deformasyon zonları ve çatlaklarda yeniden kristalleşerek damarlar halinde krizotil lifleri gelişir (Deer vd., 1992; Virta, 2002).

Amfibol asbestler ise genellikle yüksek sıcaklık ve basınç koşullarındaki metamorfik süreçler sonucunda meydana gelir. Bu minerallerin bileşimi, kayaların litolojik özelliklerine ve metamorfizma derecesine bağlı olarak değişkenlik gösterir (Virta, 2002; Klein ve Dutrow, 2007).

Çizelge 1’de kimyasal ve fiziksel özellikleri verilen asbest minerali elastik olmayan, kimyasal tepkimelere dirençlidir (WHO, 2018). Ayrıca yüksek derecede ısıya, aşınma ve paslanmaya karşı dayanıklıdır, erime noktası 1200°C’nin üzerindedir, asitlere ve bazlara karşı dirençlidir. Sahip olduğu teknik özelliklerin yanında üretim maliyetinin düşük olması sebebiyle Çizelge 2’de görüldüğü üzere çatı ve duvar kaplamaları, su ve kanalizasyon boruları boru kaplamaları tekstil malzemeleri gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmıştır (USGS, 2002; Gövercin, 2011). En bilinen kullanım alanları inşaat sektörü uygulamalarıdır.

Arkeolojik bulgular, milattan önce 3000 yılına tarihlenen İskandinav çanak çömlekleri ile Yunan, Roma ve Mısır uygarlıklarına ait çeşitli eserlerde asbest liflerinin kullanımına işaret etmektedir



Şekil 1 - Asbest türleri; a)Krizotil, b)Antofillit; c)Krokidolit, d)Tremolit), e)Aktinolit, f)Amosit.

¹Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Deniz Araştırmaları Dairesi Başkanlığı, Ankara, Türkiye.

Çizelge 1 - Asbest grubu minerallerin adı, kimyasal bileşimleri ve bazı fiziksel özellikleri (Virta, 2005).

| Mineral adı | Kimyasal bileşim | Renk | Sertlik | Bağıl yoğunluk | Esneklik |
|-------------|---|--------------------|---------|----------------|----------------|
| Krizotil | $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ | Beyaz | 2,5-4,0 | 2,4-2,6 | Yüksek |
| Amozit | $(Fe^{+2})_3(Fe^{+2},Mg)_7Si_8O_{22}(OH)_2$ | Kahverengi | 5,5-6,0 | 3,1-3,25 | Orta |
| Krokidolit | $Na_2(Fe^{+2},Mg)_3Fe^{+3}Si_8O_{22}(OH)_2$ | Mavi | 4,0 | 3,2-3,3 | Orta-iyi |
| Antofillit | $Mg_7Si_8O_{22}(OH)_2$ | Gri, Kahverengimsi | 5,5-6,0 | 2,9-3,2 | Zayıf-Kırılgan |
| Tremolit | $Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$ | Krem rengi | 5,5 | 2,9-3,2 | Zayıf-kırılgan |
| Aktinolit | $Ca_2(Mg,Fe^{+2})_3Si_8O_{22}(OH)_2$ | Yeşil | 5,0-6,0 | 3,0-3,3 | Zayıf |

Çizelge 2 - Asbestin kullanım alanları ve ürünlere kazandırdığı özellikler (Arseven vd., 2005).

| Uygulama Alanı | Kullanılan Asbest Türü | Ürüne Kazandırdığı Önemli Özellikler |
|------------------------------------|------------------------|---|
| Asbestli çimentodan mamul borular | Krizotil, Krokidolit | <ul style="list-style-type: none"> • Yüksek direnç • Gerilme ve sıkışma direnci • Alkali etkilere ve ısıya dayanıklılık • İmalat sırasında suyun tamamen ayrışması |
| Asbestli çimentodan mamul levhalar | Krizotil, Krokidolit | <ul style="list-style-type: none"> • Yüksek gerilme direnci • Kimyasal etkilere ve ısıya dayanıklılık • Çürüme, aşınma ya da yanmaya karşı yüksek performans |
| Kaplama malzemeleri | Krizotil | <ul style="list-style-type: none"> • Kimyasal etkilere, eğilmeye, bükülmeye ve ısıya dayanıklılık • Oksidasyon ve çürümeyi azaltıcı özellik • Yüksek akışkanlık • Düşük maliyet |
| Sürtünme malzemeleri | Krizotil | <ul style="list-style-type: none"> • Isıya karşı mukavemet • Düşük ısı iletkenliği • Düşük maliyet |
| Ambalaj ve ambalaj dolgu malzemesi | Krizotil | <ul style="list-style-type: none"> • Esneklik • Basınç altında bozulmama • Isı izolasyonu • Aşınma, yırtılma, kopma, parçalanma ve kimyasal etkilere karşı dayanıklılık |
| Kağıt | Krizotil | <ul style="list-style-type: none"> • Kimyasal etkilere, aşınma, yanmaya ve ısıya dayanıklılık • Yüksek gerilme direnci ve sertlik • Kolay işlenebilme |
| Plastik malzemeler | Krizotil | <ul style="list-style-type: none"> • Isıya dayanıklılık • Sertlik • Kolay işlenebilme • Gelişmiş dielektrik direnci |
| Çatı kaplama malzemeleri | Krizotil | <ul style="list-style-type: none"> • Eğilmeye ve bükülmeye dayanıklılık • Oksidasyonu ve bozulmayı azaltıcı özellik • Yüksek akışkanlık • Düşük maliyet |
| Tekstil malzemeleri | Krizotil | <ul style="list-style-type: none"> • Isıya ve kimyasal etkilere dayanıklılık • Esneyebilme • Düşük ısı izolasyonu • Yüksek dielektrik direnci |

(Barbalace, 2004). İkinci Dünya Savaşından sonra kullanımı hızlı bir şekilde artan asbestin 1970 yılına gelindiğinde birçok hastalığa sebep olduğu anlaşılmıştır (EEA, 2001). Bilimsel kanıtlar, ticari asbestin liflerinin solunmasının, kronik akciğer hastalıkları olan asbestozis ve pleura ile akciğerde gelişen ölümcül mezotelyoma riskini artırdığını ve asbestin ciddi halk sağlığı tehdidi oluşturan bir mineral grubu olduğunu ortaya koymaktadır (La Dou vd., 2010).

Günümüzde asbestin tüm formları, Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı (IARC), Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) tarafından 'kesin kanserojen' olarak sınıflandırılmaktadır (ILO ve WHO, 2007; IARC, 2012). Dünya genelinde 55 ülke asbest kullanımını yasaklamış durumdadır (Uluslararası Asbest Yasağı Sekretaryası (IBAS), 2018). Türkiye'de ise, kademeli bir geçiş sürecinin ardından 29 Ağustos 2010 tarihinde yayımlanan ve 31 Aralık 2010 tarihi

itibariyle yürürlüğe giren Resmî Gazete'deki 'Bazı Tehlikeli Maddelerin, Müstahzarların ve Eşyaların Üretimine, Piyasaya Arzına ve Kullanımına İlişkin Kısıtlamalar Hakkındaki Yönetmelik' kapsamında gerçekleştirilmiştir.

3. Yöntem

Bu çalışmada kullanılan Mw = 7,5 büyüklüğündeki İstanbul depremi senaryosu, İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) Deprem Risk Yönetimi ve Kentsel İyileştirme Daire Başkanlığı tarafından yayımlanan "Olası Yıkıcı Bir İstanbul Depreminde Oluşabilecek Enkaza Dair Yönetim Planı" (İBB, 2021) raporunda sunulan simülasyon temelli modele dayanmaktadır.

Söz konusu senaryo, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) tarafından üretilen yer hareketi benzetimleri ve bölgesel sismotektonik parametrelerin kullanılmasıyla oluşturulmuş, İstanbul'un mevcut yapı stoku ve zemin sınıfları ile entegre edilmiştir.

Dolayısıyla bu çalışmada kullanılan 7.5 Mw büyüklüğündeki deprem senaryosu, İBB-KRDAE iş birliği ile geliştirilmiş bilimsel bir benzetim modeline dayanan resmi bir senaryodur ve bina hasarı, enkaz miktarı, altyapı hasarları gibi tüm tahminler ilgili raporda yer alan model çıktılarından alınmıştır.

3.1. Veri Toplama ve Kaynak Seçimi

Çalışmada kullanılan bilgiler aşağıdaki kaynak gruplarından elde edilmiştir:

- İstanbul 7,5 Mw senaryo depremi [Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE), 2019],

- İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin 7.5 Mw büyüklüğündeki deprem senaryosu için 2021 enkaz yönetim planı,
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı düzenlemeleri ve güncel mevzuat,
- TÜBİTAK MAM'ın DİPTAR Projesi kapsamında hazırlanan teknik raporlar,
- 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerine ilişkin sahadan toplanmış atık miktarı verileri,
- WHO, EPA, IARC, USGS ve TMMOB gibi ulusal ve uluslararası kurumların yayımladığı teknik raporlar,
- Asbestin çevresel davranışı, toksisitesi ve taşınım mekanizmalarını inceleyen bilimsel makaleler.

Belirlenen kaynaklar, çalışmada kullanılacak veri setlerinin güvenilirlik ve güncellik kriterlerine göre seçilmiş; deprem sonrası oluşabilecek atık miktarı, mevcut döküm sahalarının kapasitesi ve asbest içeren malzemelerin yayılım dinamikleri bu veriler ışığında değerlendirilmiştir.

4. Depremler Sonrası İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Oluşumu

İnşaat ve yıkıntı atıkları, konut, köprü, yol ve benzeri yapıların tamirata, tadilatı, yenilenmesi, yıkımı ve doğal afetler sonucu oluşan atıklardır (Şekil 2). Afet anında ya da sonrasında yıkılan binaların oluşturduğu İnşaat ve Yıkıntı Atıkları (İYA) Şekil 3'de görüldüğü gibi eski binalarda elektrikte, taban ve tavan kaplamalarında, su borularında kullanılan yalıtım malzemelerinde, su deposu, küvet



Şekil 2 - İnşaat ve yıkıntı atığı örneği (Anadolu Ajansı, 22 Şubat 2023).

gibi çeşitli yerlerde yararlanılan asbest minerali toplum sağlığını tehlikeye atmaktadır.

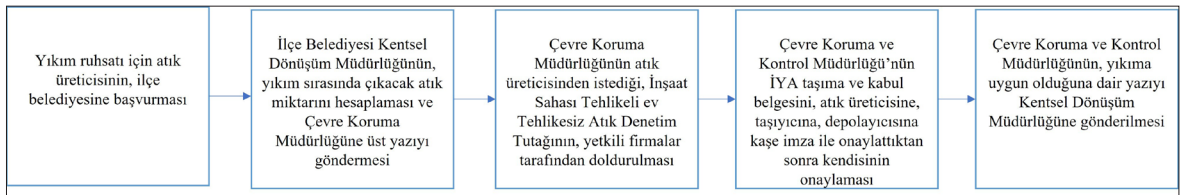
Asbest içeren yapı malzemeleri, yenileme, yıkım veya ıslah çalışmaları yüksek risk unsurları içermektedir. Bu sebeple asbest söküm işlemleri, TS 13895 Asbest İçeren Malzemelerin Sökümü ve Asbest Bertaraf Yöntemleri Kılavuzuna uygun şekilde yürütülmelidir (Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, 2013). Bu kılavuza göre; şantiyenin ve ekipmanların uygunluğu, çevre koruması, günlük hava ölçümleri ve raporlaması, tam asbest arındırması ile “Asbest İçermez” belgesinin düzenlenmesi zorunludur.

Türkiye’de yeni inşa edilen binalarda 31.12.2010 tarihi ile asbest kullanımı yasaklanmıştır. Bu sebeple yeni yapılarda oluşacak herhangi bir yıkım durumunda risk azdır fakat kentsel dönüşüm ve yıkımlar genellikle 2000 yılından önce yapılan binalarda gerçekleştirilmektedir. Yıkım esnasında riski minimuma indirmek için Şekil 4’de verilen yıkım öncesi “Tehlikeli ve Tehlikesiz İnşaat Yıkıntı Atığı, Denetimi Onay Süreci” uygulanmaktadır (Maçin ve Demir, 2018).

Deprem gibi büyük ölçekli afetler sonrasında oluşan atık hacmi, yıllık üretilen inşaat ve yıkıntı atığı miktarının yaklaşık 5 ila 15 katı düzeyinde gerçekleşmektedir. Bu durum, afet sonrası süreçte



Şekil 3 - Binalarda asbestli malzemelerin kullanıldığı yerler (TMMOB, İstanbul Asbest Raporu, 2017).



Şekil 4 - Tehlikeli ve tehlikesiz inşaat yıkıntı atığı (İYA) atık denetim tutanağı onay süreci (Maçin ve Demir, 2018).

asbest yönetmeliğine tam uyum sağlanmasını ve asbest tespit çalışmalarının etkin şekilde yürütülmesini güçleştirmektedir (Aslan, 2023). Örneğin, 6 Şubat 2023'teki Kahramanmaraş depremleri sonucunda yaklaşık 13 milyon kişinin etkilendiği bölgede, 350 ila 580 milyon ton arasında inşaat ve yıkıntı atığı (İYA) olduğu tahmin edilmektedir (Çizelge 3). Kütleli olarak nispeten düşük bir orana sahip olan tehlikeli maddeler, buna karşın insan sağlığı ve çevre açısından yüksek risk oluşturmaktadır (Doğdu ve Alkan, 2023). Ayrıca, oluşan atıkların önemli bir kısmının geri dönüştürülebilir nitelikte olduğu ve bu atıkların ekonomiye yeniden kazandırılması halinde önemli bir katma değer sağlayacağı öngörülmektedir.

Çizelge 3- 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremi sonrasında oluşan atık miktarı (Doğdu ve Alkan, 2023).

| Atık Türü | Miktar (ton) |
|-------------------------------------|---------------|
| Tehlikeli Atık | 1.453.015,25 |
| Toprak ve Taş Karışımı | 16.273.770,74 |
| Bitümlü Karışımlar ve Ahşap Atıklar | 21.698.360,99 |
| Mineral Fraksiyon Atığı | 57.151.932,97 |
| Betonarme Atık | 37.747.073,20 |
| Hurda Demir Atığı | 935.317 |

Türkiye’de, can ve mal kayıplarına yol açabilecek büyüklükteki deprem tehlikesinin oldukça yüksek olduğu, mevcut yapı stokunun depreme karşı dayanım açısından yetersiz bulunmaktadır. Nüfus ile sanayi yoğunluğunun büyük ölçüde deprem riski yüksek olan bölgelerde yer aldığı bilinmektedir. Beklenen afetlere karşı etkin önlemlerin alınabilmesi, öncelikle mevcut yapı stoğunun güncel ve doğru bir şekilde belirlenmesini gerektirmektedir.

Bilimsel çalışmalar, gelecekte İstanbul’da meydana gelmesi olası yıkıcı bir depremde şehir genelinde bulunan yaklaşık 1,17 milyon binanın önemli bir kısmının yüksek risk altında olduğunu vurgulamaktadır. 7,5 büyüklüğündeki bir deprem senaryosuna göre, 194 bin binanın orta veya üst düzeyde, 48 bin binanın ise ağır ya da çok ağır hasar görebileceği tahmin edilmektedir. Bu senaryo, binlerce can kaybı ve kritik altyapı hasarlarını beraberinde getirme potansiyeline sahiptir. Ayrıca, 463 içme suyu hattı, 1.045 atık su hattı ve 355 doğalgaz hattının zarar görmesi olasıdır. İstanbul’un yapı stoğu incelendiğinde, 1980 öncesinde inşa edilen bina sayısının 255 bin, 1980–2000 yılları arasında yapılanların 538 bin 800, 2000–2019 döneminde yapılanların ise 376 bin olduğu tespit edilmiştir (İBB, 2021). Eski yapılaşmadan dolayı olası deprem senaryosu sonrasında asbest sorununun da gündeme gelmesi kaçınılmazdır.

İstanbul’un Avrupa Yakası’nda bulunan enkaz döküm sahaları (Şekil 5); Silivri Ecemoba, Silivri Büyükkılıçlı, Eyüp Akpınar ve Arnavutköy Boğazköy alanlarıdır. Anadolu Yakası’ndaki sahalar ise Şile Ahmetli, Şile Avcıköy ve Şile Sahilköy bölgelerinde yer almaktadır. Nisan 2021 verilerine göre, bu sahalar toplam 2.357.649 m² alan kaplamaktadır ve yaklaşık 36.484.329 m³ hacme sahiptir. Ancak sahaların aktif olarak kullanılmaya devam edilmesi nedeniyle 14.317.078 m³’lük kısmı dolmuş, 22.167.251 m³’lük kısmı ise hâlen kullanılabilir durumdadır (İBB, 2021).

Her bir döküm sahasına ait alan, hacim, doluluk oranı ve boş kalan hacimlerin hafriyat kamyonlarıyla kaç seferde doldurulabileceği bilgileri Şekil 6’da ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



Şekil 5 - Enkaz döküm sahalarının konumları (İBB,2021).

Olası bir deprem sonrası enkaz taşımak üzere ayrılan kamyon sayısı 228'dir. Bir kamyonun günde 4 sefer yapabileceği varsayıldığında, günlük toplam 912 sefer gerçekleştirilebilir. Ancak, yaklaşık 1 milyon seferlik bir enkaz kaldırma ihtiyacı olduğu düşünüldüğünde, mevcut kapasiteyle bu sürecin 1096 gün (yaklaşık 3 yıl) süreceği hesaplanmıştır. (İBB, 2021). Bu bağlamda, karasal enkaz döküm alanlarının kapasite açısından yetersiz kalabileceği senaryolarda denizel alanların potansiyel depolama sahaları olarak değerlendirilmesi çeşitli çalışmalarda değerlendirilmektedir.

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından 14 Ocak 2020 tarihli ve 31008 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan "Dip Tarama Malzemesinin Çevresel Yönetimi Yönetmeliği", TÜBİTAK MAM koordinasyonunda 2016 yılında tamamlanan DİPTAR Projesi sonuçlarına temel alınarak oluşturulmuştur. Proje kapsamında Türkiye denizlerinin fiziksel, kimyasal, biyolojik ve jeolojik özellikleri değerlendirilmiş; ekosisteme en az zarar verecek döküm alanları belirlenmiştir (TÜBİTAK MAM, 2016). Yönetmelik, denize boşaltılacak malzemelerinin toksik özellik taşımasını, bileşenlerinin sınır değerlerin altında olmasını ve Bakanlık onayı alınmasını şart koşmaktadır.

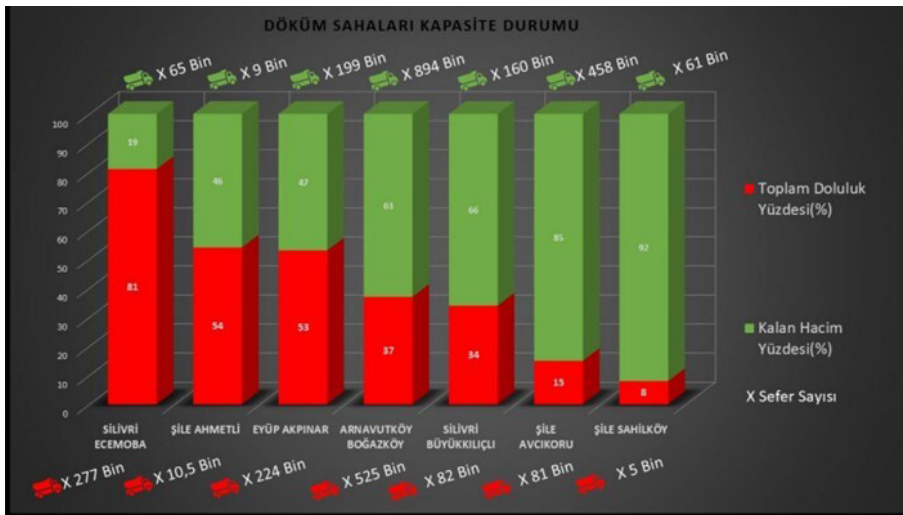
Marmara Denizi'nde DİPTAR (Deniz Döküm Alanlarının Planlanması ve Tespiti Araştırma Raporu) kapsamında asgari sayıda döküm alanı belirlenmiş olmasına rağmen, son yıllarda gözlenen deniz salyası (müsilaj) oluşumu ve buna bağlı ekosistem bozulmaları, bu denize yapılacak her türlü döküm faaliyetini ekolojik açıdan son derece sakıncalı hale getirmiştir. Şekil 7'de görülen döküm

alanlarının belirlenmesi sürecinde, Karadeniz'in özgün hidrolojik koşulları özellikle oksijensiz dip su tabakası (anoksik koşullar) dikkate alınmıştır. Ayrıca, pelajik balık türlerinin göç ve avcılık dönemleri göz önünde bulundurularak, bu zaman aralıklarında döküm faaliyetlerine sınırlama getirilmesi önerilmiştir. Bu kapsamda, toksik özellik taşımayan ve kum oranı yüksek döküm malzemelerinin, azoik (canlısız) bölgelerde bertaraf edilmesi için uygun sahalar belirlenmiştir. Buna göre, 100.000 m³'ün üzerindeki dökümler haritada kırmızı ile gösterilen alanlara, 100.000 m³'ün altındaki dökümler ise yeşil ile gösterilen alanlara yapılabilecek şekilde sınıflandırılmıştır (TÜBİTAK MAM, 2016).

Afet sonrasında hazırlanacak enkaz yönetimi acil eylem planlarında, denize dökülmesi öngörülen malzemelerin türü ve yönetimi, iklim değişikliğine bağlı denizel koşullardaki değişiklikler ile kentsel dönüşüm süreciyle yenilenen yapı stoğu oranları dikkate alınarak düzenli aralıklarla güncellenmelidir.

5. Asbest Liflerinin Çevresel Riskleri

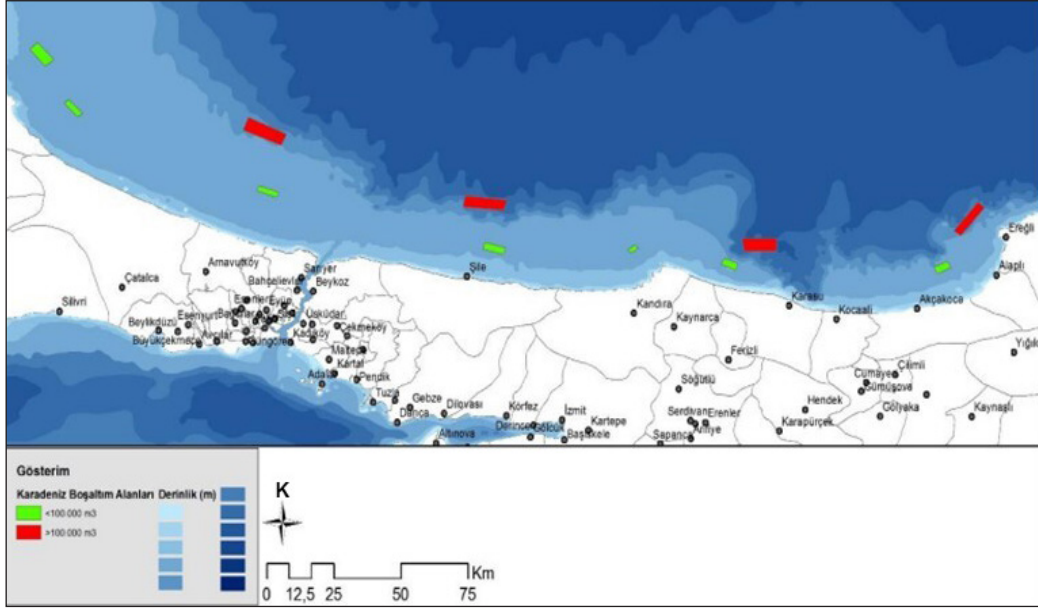
Asbest lifleri, çimento içerisine eklenerek malzemenin gerilme dayanımları ve ısı dirençlerini artırmaktadır. (Wang vd., 2017; Vimalanathan, 2022). Bu ürünlerde asbest, bileşimin %8-10'unu oluştururken, geri kalan %90-92'lik kısım çimento bağlayıcısından oluşmaktadır (Tóth ve Weiszburg, 2011). Asbest maruziyeti ile ilişkili tehlikeler göz önüne alındığında, inşaat ve yıkım atıklarından asbest içeren malzemelerin kontrolsüzce yıkımı ve çevreye yayılması büyük endişe konusudur.



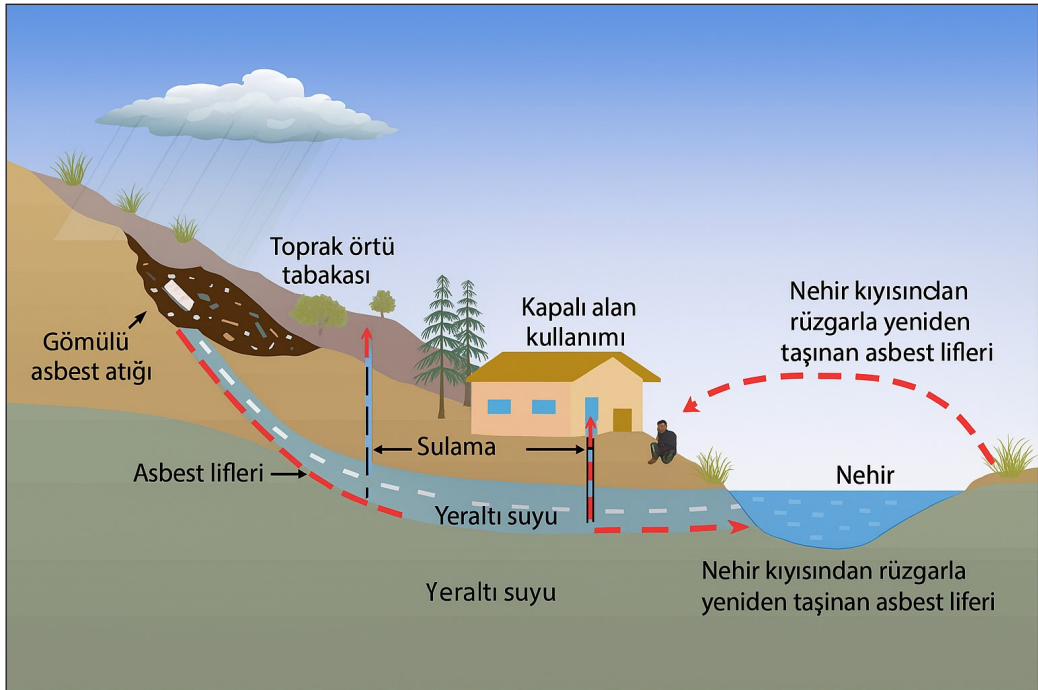
Şekil 6 - Avrupa ve Anadolu Yakası döküm sahaları kapasite bilgileri (İBB, 2021).

Kentsel dönüşüm, deprem gibi afetler ya da iklimsel faktörlerden kaynaklanan şiddetli hava olayları asbest içerikli malzemenin bozulmasına sebep olarak çevre için risk teşkil etmektedir. Çevresel koşullar; yağış, su hareketi, buharlaşma, erozyon ve güneş ışınımı gibi faktörlerin yanı sıra, insan faaliyetleri olan araç taşımacılığı, arazi kayması, toprak işleme ve tarım, asbest liflerinin hareketini ve yayılmasını kolaylaştırabilmektedir.

Şekil 8’de gösterildiği üzere, toprağa gömülen asbest lifleri taşıma veya depolama sırasında meydana gelen aşınma sonucu daha küçük ve hareketli hale gelebilir. Bu lifler, sızan sular aracılığıyla atık yığınlarından yeraltı suyuna taşınarak su kalitesini olumsuz etkileyebilmekte; ayrıca solunum yoluyla maruziyet riskini artırmaktadır (Turci vd., 2016; Rocco ve Vagliasindi, 2018). Dolayısıyla, bu kirliliğin hava, su ve toprak kalitesi üzerindeki etkileri bütüncül bir çevresel risk olarak değerlendirilmektedir.



Şekil 7 - Diptar Projesi kapsamında önerilen Karadeniz Döküm Alanları (TÜBİTAK MAM, 2016).



Şekil 8 - Kirlenmiş alanlardan yeraltı suyundaki asbest liflerinin potansiyel taşınma yolları (Mohanty vd., 2021).

5.1. Havadaki Asbest Liflerinin Neden Olduğu Riskler

Asbest lifleri, atmosfere karışmaları durumunda, liflerin boyutu, yoğunluğu, meteorolojik koşulları ve yüzey özellikleri gibi faktörlere bağlı olarak havada geniş alanlara yayılabilirler (Furuya vd., 2018; Nielsen vd., 2014). Liflerin havada asılı kalma süresi, aerodinamik çaplarına bağlıdır; 5 µm'den kısa ve 3 µm'den ince lifler, yerçekimiyle çökelmeden önce günlerce atmosferde kalabilir (WHO, 2006). Yağış, yerçekimi ve yüzey birikimi gibi süreçler ise liflerin yayılmasına sebep olabilir. Bu nedenle, atmosferik taşınım yalnızca yerel düzeydeki bir bölgeyi etkilemekle kalmayıp, asbestin bölgesel ölçekte de önemli riskler oluşturabileceğini göstermektedir.

5.2. Topraktaki Asbest Liflerinin Neden Olduğu Riskler

Asbest karasal ortama doğal veya insan kaynaklı sebeplerle girebilir. Doğal asbest yatakları kesintili, yüksek tektonize olmuş ve kırılğan olup, minimal mekanik stres altında bozulabilir (Evans, 2004), bu da asbestin toprağa kolayca karışabilen gevşek bir malzemeye dönüşmesine yol açar.

Toprakta bulunan asbest, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini birçok şekilde değiştirebilir ve bu da toprak kalitesini ve ekosistem sağlığını etkileyebilir (Steffan vd., 2018). Fiziksel olarak, asbest lifleri toprak dokusunu ve gözenek yapısını değiştirebilir, bu da su tutma ve sızma hızlarını etkileyebilir. Bu değişiklikler, toprağın havalanmasını etkileyerek kök büyümesini ve mikrobiyal aktiviteyi etkileyebilir (Mohanty vd., 2021). Asbest liflerinin topraktaki hareketliliği, lif özellikleri, toprak özellikleri ve çevresel koşullar gibi çeşitli faktörlerden etkilenir. Özellikle kil ve silt gibi ince dokulu topraklardaki tipik gözenek boyutlarını aşan büyük lifler, mekanik filtrasyon veya süzülme yoluyla tutulma eğilimindedir. Buna karşılık, daha küçük lifler makro gözenekli topraklardaki çatlaklar boyunca daha kolay taşınabilir.

Kimyasal faktörler, asbest liflerinin toprak içerisindeki hareketini önemli ölçüde etkiler. Toprağın pH'ı asbest minerallerinin yüzey yükünü belirleyen ve dolayısıyla toprak parçacıklarına olan yapışmalarını etkileyen önemli bir unsurdur (Bergendahl ve Grasso, 1999). Asidik koşullar altında, asbest lifleri pozitif yüklü olması durumunda negatif yüklü kil mineralleri ve organik maddeyle olan etkileşimini artırarak tutulmayı güçlendirebilir. Buna karşın, alkali koşullar liflerin dağılmasını teşvik ederek yeraltı suyu ve yüzey akışı yoluyla hareketliliğini artırabilir. Genellikle tuzlu veya kirlenmiş topraklarda bulunan yüksek

iyonik güç ortamları, lif taşınım olasılığını azaltabilir. Buna karşılık, düşük iyonik güç, liflerin dağılmasını teşvik ederek yeraltı suyu kirliliği potansiyelini artırabilir. Fosfatlar ve diğer çözülmüş maddelerin varlığı (Hofmann ve Liang, 2007) da elektrostatik etkileşimleri değiştirerek asbest hareketliliğini etkileyebilir; bu da liflerin askıda kalmasını veya mineral yüzeylerine adsorpsiyonun artmasını sağlayabilir (Turci vd., 2016). Bazı çalışmalar, asbest içeren minerallerin magnezyum, demir ve silika salabileceğini ve bunun da besin döngüsünü ve bitki alım dinamiklerini değiştirebileceğini öne sürmektedir (David vd., 2020; Berry vd., 2024).

Biyolojik olarak, asbest kirliliği, mikrobiyal toplulukları etkileyerek onların bileşimini ve metabolik işlevlerini bozabilir. Silikat mineralleriyle etkileşime girebilen bazı mantar ve bakteriler asbestin bozulmasında rol oynayabilir (David ve Geoffroy, 2020; Luniewski vd., 2024). Yüzeysel akış ve erozyon, asbest parçacıklarını su sistemlerine taşıyarak çevresel ve sağlık risklerini artırabilir (Kim vd., 2015).

5.3. Sudaki Asbest Liflerinin Neden Olduğu Riskler

Asbest lifleri, asbest içeren kayaların doğal aşınması ve asbestli atıkların uygunsuz biçimde bertaraf edilmesi yoluyla yeraltı su kaynaklarına sızabilir (IARC, 2012). Asbestin su içerisinde nasıl bir davranış göstereceği liflerin mineralojik özellikleri, boyutları, yüzey yükleri, çözülmüş iyonlar ve organik maddelerin varlığı gibi fizikokimyasal faktörlere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

Asbest içeren suyun yutulmasının ardından asbest liflerinin hastalık yapıcı (patojenik) etkisi, hâlâ kritik ve devam eden bir araştırma alanıdır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), suda güvenli asbest konsantrasyon seviyesini henüz belirlememiştir; bu durum, kuruluşun küresel sağlık standartları üzerindeki etkisi düşünüldüğünde önemli bir eksikliktir (WHO, 2020). Buna karşılık, Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (US-EPA), içme suyundaki asbest için maksimum kirletici düzeyini 7×10^6 lif/L olarak belirlemiştir; bu standart, esas olarak 10 µm'den uzun lifleri kapsamaktadır (EPA, 1994, 2024). Bu düzenleme, suda asbestle ilişkili risklerin yönetilmesinde daha proaktif bir yaklaşımı yansıtmaktadır.

Genellikle inert olarak kabul edilse de, asbest lifleri su ortamında çözünme, agregasyon ve yeniden süspansiyon süreçleriyle meydana gelebilir (Gualtieri vd., 2019). Krizotil gibi bazı asbest türleri, suyun pH'ına bağlı olarak yüzey yükünü değiştirebilir;

nötr veya alkali koşullarda pozitif yüklü hale gelen lifler, negatif yüklü kolloidler veya çözünmüş organik maddelerle elektrostatik etkileşime girerek hareketlilik kazanabilir (Morales vd., 2011.) Liflerin yüzeyinde gerçekleşen iyon değişimi ve çözünme süreçleri, özellikle magnezyum ve silika iyonlarının serbest kalmasına yol açarak, asbestin kimyasal stabilitesini etkiler (Pacella vd., 2015). Ayrıca, çözünmüş organik karbon (DOC) ve fosfatların varlığı, lif yüzeyinde adsorpsiyon tabakaları oluşturarak liflerin birbirine tutunmasını engeller ve su kolonunda askıda kalma sürelerini uzatır (Hofmann ve Liang, 2007). Bu süreçler sonucunda, özellikle ince taneli krizotil liflerinin yeraltı ve yüzey sularında taşınım potansiyeli artmaktadır (Fortunato ve Rushton, 2015; Roccaro ve Vagliasindi, 2018).

Deniz ve okyanus ortamlarına karasal kaynaklı atık sular, liman faaliyetleri, gemi söküm endüstrisi ve doğal kayaç aşınması yoluyla taşınan asbest lifleri, uzun süre kararlı kalabilmeleri ve biyolojik olarak parçalanmamaları nedeniyle denizel ekosistemlerde kalıcı kirleticiler arasında yer almaktadır (Gualtieri ve Pollastri, 2018; Amoroso vd., 2021). Liflerin küçük boyutları ve yüksek yüzey reaktiviteleri, planktonik organizmalar tarafından kolaylıkla alınmalarına neden olur; bu da trofik zincir boyunca biyobirikim ve potansiyel biyobüyütme riskini artırır (Turci vd., 2016). Yapılan laboratuvar çalışmaları, asbest liflerinin mikroalglerde hücre zarına yapışarak fotosentetik etkinliklerini azalttığını, oksidatif stres ve hücrel deformasyonlara yol açtığını göstermiştir (Ceschin vd., 2020). Ayrıca, bentik omurgasızlarda (özellikle midye ve kabuklularda) lif birikiminin lizozomal membran dengesizliği, DNA hasarı ve enzimatik aktivite bozulmaları gibi subletal etkilere neden olduğu belirtilmiştir (Gasperi vd., 2022). Bu tür etkiler, besin zincirinde enerji akışını ve biyokimyasal döngüleri bozarak ekosistem sağlığını tehdit eder. Dolayısıyla, deniz ortamlarında asbestin yalnızca fiziksel bir kirletici olarak değil, aynı zamanda biyolojik stres faktörü olarak da değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır (Amoroso vd., 2021).

6. Asbestin İnsan Sağlığı Açısından Riskleri

Asbest, lifsi yapısı nedeniyle solunum yoluyla alındığında ciddi sağlık sorunlarına yol açan kanserojen bir mineraldir. Uzun süreli maruziyet sonucunda mezotelyoma, akciğer kanseri ve asbestozis gibi ölümcül hastalıkların geliştiği bilimsel olarak kanıtlanmıştır (WHO, 2006; Furuya vd., 2018).

Türkiye, hem 1960'lardan itibaren yoğun asbest kullanımı hem de jeolojik yapısı nedeniyle birçok yerleşim alanında asbest kaynaklı sağlık riskleriyle karşı karşıyadır. Asbestli ürünlerin dolaşımının sürmesi, kentsel dönüşüm süreçlerindeki eksiklikler, denetimsiz ithalat ve gemi söküm faaliyetleri gibi etkenler bu riskleri giderek artırmaktadır (Demir vd., 2018)

Özellikle depremler sonucunda oluşan kontrolsüz yıkım, enkaz kaldırma ve bina yenileme faaliyetleri sırasında havaya karışan asbest lifleri, solunum yoluyla vücuda girerek akciğer dokusuna yerleşir ve yıllar içinde geri dönüşü olmayan patolojik değişimlere neden olur (Nielsen vd., 2014). İstanbul gibi yüksek nüfus yoğunluğuna sahip mega kentlerde, hava sirkülasyonunun sınırlı olduğu bölgelerde asbest liflerinin uzun süre askıda kalabilmesi, çocuklar, yaşlılar ve kronik solunum hastalığı bulunan bireyler gibi hassas gruplar için riski daha da artırmaktadır (Kalyoncu vd., 2020). Olası bir deprem veya büyük ölçekli afet sonrası, yıkıntı tozları içerisinde bulunan asbestin kontrolsüz biçimde atmosfere yayılması, enkaz kaldırma personeli, kurtarma ekipleri ve çevrede yaşayan halk için ciddi mesleki tehdit ve çevresel maruziyet tehdidi oluşturur (Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, 2013; Turci vd., 2016). Bu nedenle, afet sonrası müdahale planlarında asbest izleme, kişisel koruyucu donanım kullanımı ve güvenli atık yönetimi uygulamaları hayati önem taşımaktadır.

7. Sonuçlar ve Öneriler

Büyük ölçekli depremler sonrasında oluşacak inşaat ve yıkıntı atıkları, yalnızca fiziksel bir atık yönetimi sorunu olmakla kalmayıp, aynı zamanda ciddi bir çevresel ve halk sağlığı riski oluşturmaktadır. Özellikle 2000 yılı öncesinde inşa edilmiş olan yapılarda yaygın şekilde kullanılan asbestli malzemeler, kontrolsüz yıkım ve taşınma esnasında çevreye yayılarak hava, toprak ve su ortamlarında kalıcı kirlilik yaratma potansiyeline sahiptir. Bu lifler, biyolojik olarak parçalanmadıkları için uzun süre ekosistemlerde varlığını sürdürebilmekte; sucul organizmalar, bitkiler ve insanlar üzerinde toksik ve genotoksik etkilere neden olabilmektedir.

İstanbul özelinde yapılan senaryolarda, olası bir deprem sonrası milyonlarca ton enkazın oluşacağı, mevcut döküm sahalarının ve taşımacılık kapasitesinin bu yükü karşılamada yetersiz kalacağı görülmektedir. Bu durum, asbest içeren atıkların geçici depolanma, taşınma ve bertaraf süreçlerinde ciddi kontrol

zafiyetine yol açma riskini artırmaktadır. Ayrıca, Marmara Denizi gibi yarı kapalı bir su kütesine sahip bir bölgede, kontrolsüz dökümler denizel ekosistemler için geri dönüşü zor hasarlar oluşturabilmektedir.

Bu nedenle, afet yönetimi stratejilerinde yalnızca enkaz kaldırma değil, asbest ve tehlikeli madde yönetimi boyutunun da bütünleşik şekilde ele alınması zorunludur. Özellikle iklim değişikliğine bağlı olarak artan ekstrem meteorolojik olayların, deniz suyu seviyesi ve akıntı rejimlerinde yaratacağı değişimlerin de dikkate alınarak döküm sahalarının seçiminin yapılması ve izlenmesi gerekmektedir.

Öneriler:

- Asbestli yapı envanteri oluşturulmalı; riskli bölgeler coğrafi bilgi sistemleri (CBS) tabanlı haritalarla belirlenmelidir.
- Kentsel dönüşüm süreçlerinde, yıkım öncesi tehlikeli madde tespiti ve asbest ölçümleri zorunlu hale getirilmelidir.
- Enkaz kaldırma faaliyetleri, TS 13895 standardına ve “Asbest İçeren Malzemelerin Sökümü ve Bertarafı” kılavuzuna uygun olarak yürütülmelidir.
- Asbest içeren atıkların geçici depolama sahaları, çevresel hassasiyet, su kaynaklarına uzaklık ve rüzgâr yönleri dikkate alınarak belirlenmelidir.
- DİPTAR Projesi sonuçları doğrultusunda belirlenen denizel döküm alanları, iklim değişikliği etkileri ve yeni yapı stoğu oranları ışığında düzenli olarak revize edilmelidir.
- Denize dökülecek malzemelerin fizikokimyasal ve toksikolojik analizleri yapılarak, deniz canlıları üzerindeki olası etkileri izlenmelidir.
- Enkaz kaldırmaya ve yıkım ekiplerine yönelik asbest farkındalığı ve kişisel koruyucu donanım (KKD) kullanımı konusunda eğitim verilmelidir.
- Afet sonrası bölgelerde hava kalitesi izleme istasyonları kurulmalı; özellikle hassas gruplar için erken uyarı sistemleri oluşturulmalıdır.
- Türkiye’de asbestin çevresel davranışı, taşınımı ve ekotoksik etkileri konusunda multidisipliner saha ve laboratuvar çalışmaları artırılmalıdır.
- Ulusal Asbest İzleme Programı oluşturularak, afet sonrası çevresel risk değerlendirmesi standart hale getirilmelidir.

Değinilen Belgeler

- Amoroso, A., Fornero, E., Gaggero, L., Luigi, G. 2021. Asbestos contamination in marine environments: Sources, dispersion, and ecological risks. *Marine Pollution Bulletin*, 165, 112-130.
- Anadolu Ajansı. (2023, 22 Şubat). Antakya ve Defne’de depremde yıkılan 54 binanın enkazı kaldırılıyor. <https://www.aa.com.tr/tr/asrin-felaketi/antakya-ve-defnede-depremde-yikilan-54-binanın-enkaz-kaldiriliyor/2827881> (Son Erişim Tarihi 14.11.2025).
- Arseven, F., Yavuzarslan, G.Z., Kocabeyoğlu, M., Üzel, Z., Çetinceli, S., İnam, H.M. 2005. Asbest ve Asbestli Malzeme ile Üretim Yapılan İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Önlemleri, Türkiye.
- Aslan, İ. 2023. Yıkım işlerinde ve deprem sonrasında yıkılan binalarda asbest tehlikesi ve 2022 yılında yürürlüğe giren binaların yıkılması hakkındaki yönetmeliğin uygulanması ve ortaya çıkan sorunlar, in *Proceedings of 4th International Conference on Health, Engineering and Applied Sciences (ICSHSR)*, Dubai, April 2023. [Online]. <https://www.researchgate.net/>.
- Barbalace, R.C. 2004. A Brief History of Asbestos Use and Associated Health Risks, *EnvironmentalChemistry.com*, October 2004.
- Bergendahl, J., Grasso, D. 1999. Prediction of colloid detachment in a model porous media: Thermodynamics, *Journal of the American Institute of Chemical Engineers*, 45, 475-484.
- Berry, T.-A., Wallis, S., Doyle, E., de Lange, P., Steinhorn, G., Vigliaturo, R., Belluso, E., Blanchon, D. 2024. A preliminary investigation into the degradation of asbestos fibres in soils, rocks and building materials associated with naturally occurring biofilms, *Minerals*, 14, 106.
- Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE), Deprem Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 2019. İstanbul İli Olası Deprem Kayıp Tahminlerinin Güncellenmesi Projesi, İstanbul.
- Ceschin, S., Pinna, D., Crespi, V. 2020. Toxicological responses of marine microalgae to chrysotile asbestos exposure, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 200, 110776.
- Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, TS 13895 Asbest İçeren Malzemelerin Sökümü ve Asbest Bertaraf Yöntemleri Kılavuzu, 2013. TSE Yayınları, Ankara.

- David, S.R., Geoffroy, V.A. 2020. A review of asbestos bioweathering by siderophore-producing *Pseudomonas*: A potential strategy of bioremediation, *Microorganisms* 8, 1870.
- David, S.R., Fritsch, S., Forster, A., Ihiwakrim, D., Geoffroy, V.A. 2020. Flocking asbestos waste, an iron and magnesium source for *Pseudomonas*, *Science of the Total Environment* 709, 135936.
- Deer, W.A., Howie, R.A., Zussman, J. 1992. An Introduction to the Rock-Forming Minerals, 2nd Ed., Harlow, UK: Longman Scientific and Technical.
- Demir, B. M., Ercan, S., Aktan, M., Öztaşkın, H. 2018. Türkiye'nin asbest profili ve asbest güvenliği sorunu. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi* 42(2), 215-232.
- Doğdu, G., Alkan, S.N. 2023. Deprem sonrası oluşan inşaat ve yıkıntı atıklarının değerlendirilmesi: 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri, *Artvin Çoruh University Journal of Engineering and Science*, 1 (1), 38-50.
- European Environment Agency (EEA), 2001. Asbestos: From 'Magic' to Malevolent Mineral, Environmental Issue Report No. 22, Copenhagen.
- Evans, B.W. 2004. The serpentinite multisystem revisited: Chrysotile is metastable, *International Geology Review* 46, 479-506.
- Fortunato, L., Rushton, L. 2015. Stomach cancer and exposure to asbestos: An overview of current evidence, *Environmental Health* 14 (1), 1-9.
- Furuya, S., Chimed-Ochir, O., Takahashi, K., David, A., Takala, J. 2018. Global asbestos disaster, *International Journal of Environmental Research and Public Health* 15 (5), 1000.
- Gasperi, T., Di Giacomo, C., Gualtieri, A. F. 2022. Bioaccumulation and cellular effects of asbestos fibers in marine invertebrates, *Environmental Research* 212, 113374.
- Gövercin, M. 2011. Türkiye'nin Asbest Profili ve Asbest Güvenliği Sorunu, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
- Gualtieri, A.F., Pollastri, S. 2018. Environmental persistence and reactivity of asbestos minerals in seawater, *Science of the Total Environment*, 640-641, 1128-1136.
- Gualtieri, A. F., Bursi Gandolfi, N., Pollastri, S. 2019. Chemical and structural transformations of asbestos fibers in aqueous environments, *Journal of Hazardous Materials* 374, 33-45.
- Hofmann, A., Liang, L. 2007. Mobilization of colloidal ferrihydrite particles in porous media—An inner-sphere complexation approach, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 71, 5847-5861.
- IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Asbestos (Chrysotile, Amosite, Crocidolite, Tremolite, Actinolite and Anthophyllite), in Arsenic, Metals, Fibres and Dusts, 2012. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer.
- International Agency for Research on Cancer (IARC), 2012. Arsenic, Metals, Fibres and Dusts, 100C, IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Lyon: IARC.
- International Ban Asbestos Secretariat (IBAS), 2018. Global Asbestos Update: Current Situation and Developments, London: IBAS.
- International Labour Organization (ILO) and World Health Organization (WHO), 2007. Outline for the Development of National Programmes for the Elimination of Asbestos-Related Diseases, Geneva: ILO/WHO.
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi, 2021. Olası Yıkıcı Bir İstanbul Depreminde Oluşabilecek Enkaza Dair Yönetim Planı (Haziran 2021 Raporu). Deprem Risk Yönetimi ve Kentsel İyileştirme Daire Başkanlığı. <https://depremezmin.ibb.istanbul/uploads/prefix-enkaz-yonetim-planı-rapor-666ad9a07d134.pdf>.
- Kalyoncu, C., Duman, H., Akgün, Y. 2020. Asbestos exposure and related health risks in urban environments of İstanbul, *Environmental Monitoring and Assessment*, 192, 5, 321.
- Kim, Y.C., Hong, W.H., Zhang, Y.L. 2015. Development of a model to calculate asbestos fiber from damaged asbestos slates depending on the degree of damage, *Journal of Cleaner Production*, 86, 88-97.
- Klein, C., Dutrow, B. 2007. Manual of Mineral Science, 23rd Ed., Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- La Dou, J., Castleman, B., Frank, A., Gochfeld, M., Greenberg, M., Huff, J., Joshi, T.K., Landrigan, P.J., Lemen, R., Myers, J., Soffritti, M., Soskolne, C.L., Takahashi, K., Teitelbaum, D., Terracini, B., Watterson, A. 2010. The case for a global ban on asbestos, *Environmental Health Perspectives* 118 (7), 897-901.
- Luniewski, S., Rogowska, W., Łozowicka, B., Iwaniuk, P. 2024. Plants, microorganisms and their metabolites in supporting asbestos detoxification—A biological perspective in asbestos treatment, *Materials* 17, 1644.

- Maçın, K.E., Demir, İ. 2018. Kentsel dönüşüm sürecinde İstanbul'da inşaat ve yıkıntı atıkları yönetimi, Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 9, 188-201.
- Mohanty, S.K., Salamatiipour, A., Willenbring, J.K. 2021. Mobility of asbestos fibers below ground is enhanced by dissolved organic matter from soil amendments, Journal of Hazardous Materials Letters, 2, 100015.
- Morales, J., Hermosin, M.C., Cornejo, J. 2011. Surface charge and mobility of chrysotile asbestos fibers under variable pH and organic matter conditions, Applied Clay Science 53 (3), 421-428.
- Nielsen, L.S., Bælum, J., Rasmussen, J., Dahl, S., Olsen, K.E., Omland, Ø. 2014. Occupational asbestos exposure and lung cancer: A systematic review of the literature, Scandinavian Journal of Work, Environmental and Health 40 (1), 19-35.
- Pacella, A., Andreozzi, G.B., Gualtieri, A.F. 2015. Dissolution behavior of chrysotile asbestos in water and in biologically relevant fluids, American Mineralogist 100 (1), 208-218.
- Roccaro, P., Vagliasindi, F.G.A. 2018. Asbestos fibers in drinking water: Occurrence and human health risk assessment, Environmental Monitoring and Assessment 190 (1),16.
- Steffan, J.J., Brevik, E.C., Burgess, L.C., Cerdà, A. 2018. The effect of soil on human health: An overview, European Journal of Soil Science 69, 159-171.
- TMMOB, İstanbul Asbest Raporu, 2017. (Online). <https://www.tmmob.org.tr/icerik/tmmob-istanbul-asbest-raporu-yayimlandi>. (Son Erişim Tarihi: 04.05.2022).
- Tóth, E., Weiszburg, T. 2011. Környezeti Ásványtan. Budapest, Hungary: Typotex Kiadó.
- Turci, F., Favero-Longo, S. E., Gazzano, C., Tomatis, M., Gentile-Garofalo, L., Bergamini, M. 2016. Assessment of asbestos exposure during a simulated agricultural activity in the proximity of the former asbestos mine of Balangero, Italy, Journal of Hazardous Materials 308, 321-327.
- Turci, F., Pavan, C., Leinardi, R., Tomatis, M., Fubini, B. 2016. Interactions between asbestos fibers and biological systems, Journal of Hazardous Materials 308, 321-327.
- TÜBİTAK MAM, 2016., Deniz Dip Tarama Uygulamaları ve Tarama Malzemesinin Çevresel Yönetimi (DİPTAR), Final Raporu, Proje No: 111G036, TÜBİTAK KAMAG 1007 Projesi, Kocaeli, Türkiye.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Safe Drinking Water Act, EPA 816-F-04-030, Washington, DC, USA, 2004. (Online). <https://www.epa.gov/sdwa>. (Son Erişim Tarihi:20.03.2024).
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 1994. Method 100.2: Determination of Asbestos Structures over 10 µm in Length in Drinking Water, EPA/600/R-94/134, Washington, DC, USA.
- U.S. Geological Survey (USGS), 2002. Asbestos: Geology, Mineralogy, Mining, and Uses, Open-File Report 02-149.
- Vimalanathan, M. 2022. Study on fiber reinforced concrete using asbestos, International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology 10, 4531-4534.
- Virta, R.L. 2002. Asbestos: Geology, Mineralogy, Mining, and Uses, U.S. Geological Survey, Open-File Report 02-149, Reston, VA.
- Virta, R.L. 2005. Asbestos: Geology, Mineralogy, Mining, and Uses, U.S. Geological Survey, Reston, VA.
- Wang, J., Schlagenhauf, L., Setyan, A. 2017. Transformation of the released asbestos, carbon fibers and carbon nanotubes from composite materials and the changes of their potential health impacts, Journal of Nanobiotechnology 15, 15.
- World Health Organization (WHO), 2006. Elimination of Asbestos-Related Diseases. Geneva: WHO Press.
- World Health Organization (WHO), 2018. Asbestos: Eliminating Asbestos-Related Diseases – Fact Sheet, Geneva: WHO.
- World Health Organization (WHO), International Programme on Chemical Safety—Asbestos. (Online). https://www.who.int/health-topics/chemical-safety#tab=tab_1/. (Son Erişim Tarihi: 11.11.2020).