

# PETROL KİRLİLİĞİNİN ÇEVRE ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

TEKNİK BİLGİ KİTAPÇIKLARI

13



## Giriş

Kazara dökülen petroler hem fiziksel boğucu hem de zehirli etkilerinin bir sonucu olarak deniz ortamını etkileyebilmektedir. Etkinin şiddeti alışlageldik biçimde kazara dökülen petrolün miktarı ve türü, ortam koşulları ve etkilenen organizmaların ve doğal yaşam alanlarının petrole karşı hassasiyetine bağlı olmaktadır.

Bu kitapçıkta, gemi kaynaklı olarak kazara dökülen petrolerin etkileri ve deniz flora ve faunada ve yaşam alanlarında sonuç olarak ortaya çıkan temizlik faaliyetleri tanımlanmaktadır. Yıllardır çeşitli araştırmaların konusu olmuş olan, petrol ve biyolojik sistemler arasındaki karmaşık etkileşimlerin tartışılmasına özel ilgi gösterilmiştir. Ayrı ITOPF kitapçıklarında petrolün balık üretme çiftlikleri ve deniz ürünleri yetiştirme tesisleri üzerindeki ve daha geniş insan faaliyetleri üzerindeki özel etkileri göz önünde bulundurulmaktadır.

## Genel Bakış

Kazara dökülen petroler deniz ortamında çok sayıda etkiye neden olmaktadır ve genellikle medya tarafından deniz flora ve faunasının hayatta kalması için tahmin edilen vahim sonuçlarla birlikte "çevresel felaketler" olarak sergilenmektedir. Büyük boyutlu bir kazara dökülmeye, kısa vadeli çevresel etki şiddetli olabilmekte, ekosistemlerde ve kirletilen sahil şeridinin yakınında yaşayan insanlarda ciddi rahatsızlığa neden olabilmekte, geçim kaynaklarını etkileyebilmekte ve yaşam kalitelerini bozabilmektedir (Şekil 1). Kazara dökülen bir petrol sonrasında petrol bulaşmış kuşların görüntüleri deniz kaynaklarında kaçınılmaz kayıpla yaygın ve kalıcı çevresel hasar algısını teşvik etmektedir. Genellikle kazara petrol dökülmeleriyle ilgili olarak ziyadesiyle yüklü ve duygusal tepki göz önünde bulundurulduğunda, kazara dökülme etkilerinin gerçekleri ve sonrada eski haline getirmeyle ilgili dengeli bir bakış açısı sağlanması güç olabilmektedir.

Kazara dökülmelerin etkileri onlarca yıl boyunca bilimsel ve teknik literatürde araştırılmış ve belgelendirilmiştir. Sonuç olarak, kazara dökülen petrolün etkileri belirli bir vaka için hasarın ölçek ve süresinin yaygın göstergelerine olanak sağlamaya yetecek kadar iyi anlaşılabilir. Kazara dökülen petrolün alışlageldik etkilerinin bilimsel bir değerlendirmesi, kaza meydana gelirken ve bireysel organizmalar seviyesinde derin olabilirken nüfusların kendini çabuk toparlayabildiğini ortaya koymaktadır. Zaman içerisinde, doğal toparlanma süreçleri hasarı onarabilmektedir ve sistemi normal işlevlerine geri döndürebilmektedir. Toparlanma sürecine iyi yönetilen temizlik çalışmaları sayesinde petrolün kaldırılması yardımcı olabilmektedir ve bazen dikkatli bir şekilde yönetilen onarım çalışmalarıyla hızlandırılabilir. Birkaç vakada uzun vadeli hasar kaydedilmiştir. Bununla birlikte, çoğu vakada, en büyük kazara petrol dökülme vakalarından sonra dahi, etkilenen doğal yaşam alanları ve ilgili deniz hayatının birkaç mevsim içerisinde geniş bir şekilde toparlanması beklenebilmektedir.

## Kazara dökülen petrolün verdiği hasar için mekanizmalar

Petrol, aşağıdaki mekanizmalardan bir veya daha fazlasıyla bir çevreyi etkileyebilmektedir:

- ölümcül veya ikinci dereceden ölümcül etkilere yol açan ve hücresel işlevlerde bozulmaya neden olan kimyasal zehirlilik;
- ekolojik değişiklikler, esasen bir topluluktan temel



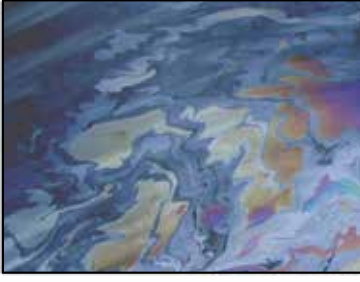
▲ Şekil 1: Bir balıkçı kasabasının bitişiğindeki sahil şeridi üzerinde karaya oturmuş olan petrol.

- organizmaların kaybolması ve fırsatçı türlerin doğal yaşam alanlarını ele geçirmesi;
- doğal yaşam alanı veya koronak kaybı ve bunun sonucu olarak ekonomik olarak önemli türlerin ortadan kalkması gibi dolaylı etkiler.

Kazara dökülen bir petrolün etkilerinin niteliği ve süresi çok sayıda etkene bağlı olacaktır. Bu etkenler şunları içermektedir: kazara dökülen petrolün miktarı ve türü; deniz ortamındaki davranışı; kazara dökülmenin ortam koşulları ve fiziki özellikler bağlamında yeri; ve özellikle mevsim ve hakim hava koşullarıyla ilgili olarak zamanlama. Başka temel etkenler, etkilenen ortamın biyolojik bileşimi, tamamlayıcı türlerin ekolojik önemi ve kazara petrol dökülmesine karşı hassasiyetleridir. Uygun temizlik tekniklerinin seçilmesi ve çalışmaların yürütülme verimliliği de bir kazara dökülmenin etkileri üzerinde büyük bir etkiye sahip olabilmektedir.

Bir kazara dökülmenin olası etkileri ayrıca kirletici maddenin seyrelme ve doğal süreçlerle yok olma hızına bağlı olmaktadır. Bu, etkilenen alanın coğrafi boyutunu ve hassas çevresel kaynakların yüksek petrol yoğunluklarına maruz kalıp kalmadığını veya büyük bir zaman dilimi boyunca zehirlilik etkilerini belirlemektedir. Organizmaların petrol kirliliğine maruz kalma ve hassasiyet boyutu da benzer öneme sahiptir. Maruz kalan organizmalar deniz ortamında alışlageldik biçimde deniz yüzeyi veya suyun kenarında olan konumları nedeniyle petrolle temasa geçme ihtimali daha fazla olanlar olmaktadır. Hassas organizmalar petrole veya bileşenindeki kimyasallar maruziyetten yoğun bir şekilde





▲ Şekil 2: Deniz organizmaları üzerindeki alışlageldik etkiler zehirlilikten (özellikle hafif petroler ve petrol ürünleri için) boğmaya kadar (orta dereceli ve ağır yağ yakıtlar (IFO ve HFO) ve hava etkisiyle aşınmış artıklar) değişiklik göstermektedir.

etkilenebilecek olanlardır. Daha az hassas organizmaların uzun vadeli maruziyete dayanma ihtimalleri daha fazla olmaktadır. Birtakım ülkelerde sahil şeritlerinin haritası çıkartılmıştır ve hassasiyete göre farklı doğal yaşam alanlarına işaretler verilmiştir. Örneğin, ortaya çıkan haritalar veya hassasiyet atlasları Hindistan sakız ağacı ormanlarına ve tuz bataklıklarına yüksek bir gösterge verirken kum sahiller genel olarak düşük bir göstergeyle ön plana çıkmaktadır.

Kazara dökülen petrolün özellikleri, herhangi bir hasarın boyutunun belirlenmesinde önemli olmaktadır (Şekil 2). Ağır yağ yakıt (HFO) gibi büyük miktarda son derece inatçı petrolün kazara dökülmesi boğma yoluyla sahil şeritlerinin gelgit alanlarında yaygın hasara neden olma olasılığına sahip olmaktadır. Bununla birlikte, petrolün kimyasal bileşenleri düşük bir biyolojik bulunabilirliğe sahip olduğundan zehirli etkilerin HFO ve suda çözünürlüğü düşük olan yüksek derecede akışmaz diğer petroler için daha düşük olması olasıdır. "Asfalt kaplama" (hava etkisiyle son derece aşınmış petrol ve ince çakıl taşı) bünyesinde birleşmiş petrol, doğal yaşam alanındaki değişiklik nedeniyle dolaylı hasar meydana gelebilmesine rağmen, sahil şeridindeki süresine bakılmaksızın, benzer bir şekilde daha az biyolojik bulunabilirliğe sahip olmaktadır.

Buna karşın, kerosen veya başka hafif petrolerin kimyasal bileşenleri daha yüksek bir biyolojik bulunabilirliğe sahip olmaktadır ve zehirlilik yoluyla hasarın olması daha olasıdır. Bununla birlikte, buharlaşma ve dağılma sayesinde hızlı bir şekilde yok olma, hassas kaynakların kazara dökülmenin olduğu yerden yeterince uzak oldukça hafif petrolerin genel olarak daha az hasar verici olduğu anlamına gelmektedir. Öte yandan, kirlenici maddenin çamurlu tortularda veya etrafı çevrili alanlarda örneğin su alışverişinin yetersiz olduğu sığ lagünlerde hapsedildiğindeki gibi seyrelmenin yavaş olduğu durumlarda etkilerin en büyük ve daha uzun süre devam etmesi beklenilmektedir. Ölüme sebebiyet vermeye yeterli olandan daha düşük maruz kalma seviyelerinde, zehirli bileşenlerin mevcudiyeti beslenme veya üreme bozukluğu gibi ikincil dereceden ölümcül etkilere yol açabilmektedir.

Deniz ortamı son derece karmaşıktır ve türlerin bileşimi, bolluğu ve alan ve zamandaki dağılımındaki doğal dalgalanmalar normal işlevinin temel bir özelliği olmaktadır. Bu ortam içerisinde, deniz hayvanları ve bitkileri kendi doğal yaşam alanlarının sınırları içerisindeki değişikliklere değişik derecelerde doğal dirence sahip olmaktadır. Organizmaların üreme stratejileriyle birleşik olarak çevresel gerilime doğal olarak uyum sağlamaları, ortam koşullarında günlük ve mevsimsel dalgalanmaların üstesinden gelmek için

önemli mekanizmalar sağlamaktadır. Bu yerleşik direnç, bazı bitkilerin ve hayvanların petrol tarafından belirli bir kirlenme seviyesine dayanabildiği anlamına gelmektedir. Buna rağmen, kazara dökülmeler denizdeki doğal yaşam alanlarındaki tek insan kaynaklı baskı değildir. Doğal kaynakların yaygın aşırı tüketimi ve süregelen şehir ve sanayi kaynaklı kirlenme de denizdeki ekosistemler içerisindeki değişiklik derecesine de kayda değer ölçüde katkıda bulunmaktadır. Yüksek doğal bulunabilirliğin bir arka planına karşı, üreme başarısı, üretkenlik veya biyolojik çeşitlilik gibi, bir petrolün kazara dökülmesinin uğrattığı daha hafif hasarın tespit edilmesi güç olabilmektedir.

## Deniz ortamının eski normal haline dönmesi

Deniz ortamının şiddetli bozulmadan toparlanma kabiliyeti karmaşıklığı ve direncinin bir işlevi olmaktadır. Kasırgalar ve tsunamiler gibi son derece yıkıcı doğal olaylardan toparlanma, ekosistemlerin geniş ölüm oranlarıyla şiddetli bozulmalar sonrasında bile zamanla nasıl yeniden kurulabildiğini göstermektedir. Bir ekosistemin toparlandığının söylenebileceği bir nokta ve toparlanmanın tanımının üzerinde kayda değer münakaşa mevcut olmakla birlikte ekosistemlerde doğal değişkenliğin beklenilmedik bir şekilde kazara dökülme öncesi koşullara tamamen bir geri dönüş sağladığı hakkında yaygın kabul mevcuttur. Toparlanma tanımlarının çoğu buna karşılık doğal yaşam alanının özelliği olan ve biyolojik çeşitlilik ve üretkenlik bağlamında normal olarak çalışan bir flora ve fauna topluluğunun tekrar kurulması üzerine odaklanmaktadır.

Bu ilke, zehirli temizlik etken maddelerinin kayalık sahil şeritlerinde uygulanmasının büyük hasara yol açtığı, 1967 yılında İngiltere kıyıları açıklarında TORREY CANYON tankerinin kaybını müteakip uygun olmayan temizlik çalışmalarından elde edilen deneyimle gösterilebilmektedir. Mevcut belirli türlerin ayrıntılı dağılımı değişmiş ve bozulmanın etkileri yirmi yıldan fazla bir süre boyunca izlenebilecek olmasına rağmen, ekosistemin genel işleyişi, biyolojik çeşitliliği ve üretkenliği bir veya iki yıl boyunca yeniden kurulmuştur. Yukarıda önerilen tanım uyarınca, kayalık sahil topluluğunun iki yıllık bir zaman dilimi içerisinde toparlandığı söylenebilir. Buna rağmen, bileşiminde bulunan organizmaların yaş dağılımı göz önünde bulundurularak bu tanımın kısıtlamalarının farkına varılabilmektedir. Vaka öncesinde genç organizmalardan olgun organizmalara kadar tüm yaş aralığının yerine yeni iyileşen bitkiler ve

hayvanlar dar bir yaş aralığında yer almıştır ve sonuç olarak topluluk başlangıçta daha az sağlıklı olmuştur.

Benzer bir şekilde, bir Hindistan sakız ağacı topluluğu hem bir kazara dökülmenin hem de tropik fırtına gibi doğal olayların etkileriyle hasar görmüşse, zaman içerisinde etkilenen alanda bitişik alanlardan genç bitkiler tarafından yeniden koloniler oluşturulacaktır. Bununla birlikte, bu ikame bitkilerin tamamı benzer bir yaşta olacaktır ve ağaçlar olgunluğa ulaşıncaya kadar çevresel hizmetlerin tamamen aynı şekilde tamamlanmasını sağlamayacaktır. Bu gözlemler, bazı durumlarda daha az etkilerin (bir ekosistemin normal işleyişi bağlamında) bir ekosistem kirliliğinin yol açtığı hasardan toparlandıktan sonra daha az önemli etkilerin hala tespit edilebileceği hallerde etkiler ve hasar arasında bir ayrıma yol açmaktadır.

İyileşme mekanizmaları yırtıcılık baskıları ve diğer ölüm nedenlerinin üstesinden gelmek için değişim geçirmiştir. Örneğin, deniz organizmaları için en önemli üreme stratejilerinden birisi yaygın yumurtlamadır, bu stratejide çok büyük miktarda yumurta ve larvanın plankton içerisine serbest bırakılmakta ve akıntılarla geniş çapta dağılmaktadır. Çoğu durumda, bir milyon bireyden sadece birkaçı yetişkinliğe kadar hayatta kalmaktadır. Bu yüksek doğurganlık genç aşamaların aşırı üretimine yol açmaktadır, bu suretle de sadece yeni alanlarda koloni kurulması ve kazara dökülmenin etkilediği alanlarda iyileşmenin sağlanması için değil ama aynı zamanda nüfustan eksilen bireylerin yerine başkalarının koyulması için kayda değer bir birikim sağlamaktadır. Buna karşın, yıllar boyunca cinsel olgunluğa ulaşmayan ve birkaç döl üreten uzun ömürlü türlerin bir kirlenme vakasının etkilerinden toparlanmasının daha uzun süre alması muhtemeldir.

Çoğu durumda, iyileşme birkaç mevsimsel döngü içerisinde ve doğal yaşam alanlarının çoğu için bir ila üç yıl içerisinde gerçekleşmektedir, Hindistan sakız ağaçları aşağıdaki Tabloda gösterildiği gibi kayda değer bir istisna olmaktadır.

## Deniz ortamları

Aşağıdaki bölümlerde çeşitli ortamlarda kazara dökülen gemi kaynaklı petrolerin neden olduğu farklı hasar türleri göz önünde bulundurulmaktadır.

### Kıydan uzak ve kıyısız sular

Deniz yüzeyi üzerinde yüzen çoğu petrol tabakası dalgalar, rüzgar ve akıntılarla geniş alanlara yayılmaktadır. Akışmazlığı düşük olan bazı petroler özellikle hızlı bir şekilde seyredikleri kırılan dalgaların mevcudiyetinde su sütununun en üstteki birkaç metresi içerisinde doğal olarak dağılabilmektedir. Zaman içerisinde petrol sürekli olarak serbest bırakılıyorsa, su sütununun daha üst seviyelerinde

Doğal yaşam alanı	Toparlanma süresi
Plankton	Haftalar/aylar
Kum sahiller	1 – 2 yıl
Açık kayalık sahiller	1 – 3 yıl
Korunaklı kayalık sahiller	1 – 5 yıl
Tuz bataklıkları	3 – 5 yıl
Hindistan sakız ağaçları	10 yıl ve daha fazla

▲ *Tablo 1: Çeşitli doğal yaşam alanları için petrol bulaşma sonrasında gösterge niteliğinde toparlanma süreleri. Süre, kazara dökülen petrolün miktarı ve türü dahil olmak üzere birçok etkene bağlı olmaktadır. Toparlanma, burada doğal yaşam alanının normal bir şekilde işlediği nokta olarak tanımlanmaktadır.*

dağılan petrol yoğunluklarının serbest kalma noktasına yakın bir yerde varlığını devam ettirebilmektedir. Buna rağmen, kazara dökülen petrolün su sütununda daha altta veya deniz yatağının üstünde olan türler üzerindeki etkisi düşük olmakla birlikte batmış gemi enkazlarından, çok ağır petrolerin (veya düşük oAPI'li)\* kazara dökülmesinden veya petrol yangınlarından sonra geriye kalan katranlı artıklardan hasar meydana gelebilmektedir.

## Plankton

Denizler ve okyanusların derin alanları bakteri, bitkiler (bitkisel plankton) ve hayvanlar (hayvansal plankton) içeren çok sayıda basit plankton organizmaları desteklemektedir. Bunlar, nihayetinde deniz yatağına veya sahil şeridine yerleşenler dahil olmak üzere balık ve omurgasız hayvanların yumurtaları ve larvalarını içermektedir. Plankton doğal olarak esasen sadece yırtıcı hayvanlar nedeniyle değil ama aynı zamanda çevresel koşullarda yaşanan değişiklikler ve hayatta kalmanın sürdürülebilir olmadığı bölgelere nakliye sayesinde de aşırı derecede yüksek ölüm oranlarından mustarip olmaktadır. Buna karşın, özellikle bol miktarda besinin tedarik edildiği elverişli koşullar nüfusların bilhassa ılıman iklimlerde baharın çarpıcı bir biçimde artış gösterdiği plankton çiçeklerine yol açabilmektedir. Besin girdisi bitmeye yüz tuttuğunda veya besinler tüketildiğinde nüfuslar çökmektedir ve ölü organizmalar biyolojik olarak bozunmaktadır ve deniz yatağına düşmektedir. Ekosistem kısa üreme süreleri içerisinde bereketli üretimle bu aşırılıklara karşılık vermek üzere değişim geçirmiştir. Sonuç olarak, plankton hem mekan hem de zaman olarak alışlageldik biçimde aşırı derecede düzensiz dağılım sergilemektedir, bu da planktonu tüm deniz topluluklarının en değişken olanları arasında derecelendirmektedir.

Planktonik organizmaların petrole maruz kalmadaki hassasiyeti çok iyi anlaşılmıştır ve kapsamlı etkiler oluşturma gücünün olduğu görülebilmektedir. Bununla birlikte, genç yaşam aşamalarının alışlageldik biçimde muazzam fazla üretimi, kazara dökülmeleri müteakip yetişkin nüfuslarda kayda değer gerilemelerin gözlemlenmeyeceği şekilde, yumurtaların ve larva aşamalarının kayıplarının telafi edilmesine yeterli miktarda, kazara dökülmeden etkilenmeyen alanlardan takviye için bir tampon sağlamaktadır.

## Balık

Balıkların genç aşamalarının su sütunu içerisinde nispeten düşük petrol seviyelerine duyarlılığına rağmen, yetişkin balık çok daha fazla dirençli olmaktadır ve yabani stokların üzerindeki etkileri nadiren tespit edilmiştir. Serbest yüzen balıkların petrolden etkin bir şekilde kaçındıkları düşünülmektedir. İstisnai durumlarda, belirli bir tür için yıllık tükenme kaydedilmiştir ancak kitlesel ölümler nadir olmaktadır. Meydana gelen ölümler büyük miktarlarda hafif petrolün bir sahil şeridi boyunca kırılıp parçalanmış dalgaların içerisine serbest bırakılmasıyla veya nehirlerdeki kazara dökülmelerle birlikte fırtına koşullarında su sütunu içerisinde dağılan çok yüksek, yerel petrol yoğunluklarıyla ilişkilendirilmiştir. Kazara dökülen bir petrolün işletilen balık stoklarının ve yetiştirilen deniz ürünlerinin üzerindeki etkisi Petrol Kirliliğinin Balık Çiftlikleri ve Su Ürünleri Üretim Tesisleri Üzerindeki Etkileri hakkındaki ayrı ITOPI kitapçığında daha fazla detaylı olarak göz önünde bulundurulmaktadır.

## Deniz kuşları

Deniz kuşları en hassas açık su canlılarıdır ve büyük çaplı

\* Amerikan Petrol Enstitüsü yerçekimi.





▲ Şekil 3: Petrol bulaşmış olan Afrika penguenlerinin (*Spheniscus demersus*) yakalanması.



▲ Şekil 4: Penguenler temizlikten diğer kuş türlerinden daha fazla yararlanmaktadır. Burada, kısa gagalı penguenler (*Eudyptes moseleyi*) iyileştirilmektedir.

vakalarda büyük sayılarda ölümler olabilmektedir. Deniz ördekleri, martılar ve deniz yüzeyinde sürüler halinde hareket eden diğer türler özellikle tehlike altında olmaktadır. Bununla birlikte, deniz kuşu nüfuslarındaki büyük ölüm oranı fırtınalar ve bir besin kaynağı veya doğal yaşam alanı kaybı gibi alakasız nedenlerden de kaynaklanabilmektedir. Ölüm nedeninin ve bunun belirli bir vakaya atfedilebilirlik atfedilemeyeceğinin tespit edilmesi için ölüm sonrası incelemeler gerekli olabilmektedir.

Tüylerin kirlenmesi, petrolün kuşlar üzerindeki en açık etkisidir. Tüyler havanın deriyle arasında havayı hapsedilmesine yaramaktadır, hem batmazlık hem de yalıtım sağlamaktadır. Petrol bulaştığında, tüylerin koruyucu tabakasının nazik yapısı ve yalıtım bozulmaktadır, deniz suyunun deriyle doğrudan temas etmesine olanak sağlamaktadır, beden sıcaklığında kayıpla sonuçlanmaktadır ve kuş nihayetinde beden sıcaklığının aşırı düşmesine direnememektedir. Soğuk iklimlerde, bir kuşun tüyleri üzerindeki küçük bir petrol lekesi ölüme sebebiyet vermeye yeterli olabilmektedir. Birçok türde, kuşun derisinin altındaki bir yağ tabakası hem ek bir yalıtım tabakası olarak hem de bir yedek enerji kaynağı olarak hareket etmektedir. Bu enerji kaynağı, kuş kendisini ısıtma girişiminde buldukça hızlı bir şekilde tüketilmektedir. Soğuktan, bitkinlikten ve bir batmazlık kaybından acı çeken bir kuş boğulabilmektedir. Ayrıca, petrol bulaşmış tüyler kuşun kalkış ve yemek arama için uçuş veya yırtıcı hayvanlardan kaçma kabiliyetini azaltmaktadır.

Petrol bulaştığında bir kuşun doğal içgüdüleri kendisini gagasıyla temizlemektir, bu da petrolü vücudunun temiz alanlarına başka türlü yayabilmektedir. Petrolün yutulma olasılığı çok fazladır, bu da akciğer tıkanması, bağırsak veya akciğer kanaması, zatürree ve karaciğer ve böbrek hasarı gibi ciddi etkilere sahip olabilmektedir. Yuvaya geri dönüşte, petrol bir kuşun tüylerinden canlı genç yavrusunun tüylerine ve civciv çıkaran yumurtalara aktarılabilir. Yumurtalara petrol bulaşması yumurta kabuğunun incelmeye, yumurtanın kabuktan çıkamamasına ve gelişim anormalliklerine yol açabilmektedir.

Kazara dökülen petrolün miktarı ve deniz kuşları üzerindeki olası etkisi arasında açık herhangi bir bağlantı olmamaktadır. Üreme mevsimi boyunca veya geniş deniz kuşu nüfuslarının bir araya geldiği yerlerde küçük çaplı bir kazara dökülme yılın farklı bir zamanında veya başka bir çevrede daha büyük çaplı bir kazara dökülmeden daha zararlı olabilmektedir. Bazı türler daha fazla yumurta

birakarak, daha sıklıkla üreyerek veya üreme grubuna daha erken katılan daha genç kuşlarla koloninin tükenmesine cevap vermektedir. Bu süreçler toparlanmaya yardımcı olabilmekle birlikte toparlanma birkaç yıl alabilmektedir ve aynı zamanda besin tedariki, doğal yaşam alanı mevcudiyeti ve diğer etkenlere de bağlı olmaktadır. Kısa ve orta vadeli kayıpların kaydedilmesi için yaygın olmakla birlikte, yukarıdaki toparlanma mekanizmaları bir nüfus seviyesinde uzun vadeli etkileri başarılı bir şekilde önleyebilmektedir. Bununla birlikte, bazı durumlarda, kazara dökülen bir petrolün kenarda olan bir koloniyi kalıcı olarak gerilemeye sokabilme tehlikesi olabilmektedir.

Petrol bulaşmış olan kuşların temizlenmesi ve ıslah edilmesi girişiminde bulunabilmektedir fakat birçok tür için alışlageldik biçimde, tedavi edilen kuşların sadece küçük bir parçası temizlik işleminden sonra hayatta kalmaktadır. Serbest bırakılan bu kuşların daha da küçük bir kısmı yaban ortamında hayatta kalma ve başarılı bir şekilde üreme eğiliminde olmaktadır. Penguenler genellikle bir istisnadır ve genellikle diğer türlerden daha dirençlidir. Düzgün bir şekilde ele alındıklarında, çoğunluğunun temizlik işleminden sonra hayatta kalması ve üreyen nüfuslara tekrar katılması muhtemel olmaktadır (Şekil 3 ve Şekil 4). Penguenler için dahi, temizlenmiş olan kuşların üreme başarısının petrol bulaşmasından hep birlikte kaçanlardan daha az olmaktadır. Buna rağmen, kuş temizliğinin en iyi uygulamasının geliştirilmesi ve yayılması sonuçların geliştirilmesine yardımcı olmaktadır.

## Deniz memelileri ve sürüngenler

Balinalar, yunuslar ve diğer memeli deniz hayvanları nefes almak veya yarmak için yüzeye çıktıklarında yüzeydeki petrol tabakasından dolayı tehlike altında olabilmektedir. Petrolün burun dokusuna ve gözlere hasar verildiği kabul edilmiştir. Bununla birlikte, ölümlerin kaydedildiği hallerde, otopsielerde genel olarak ölümün petrolden başka nedenlerle meydana geldiği sonucuna varılmıştır. Ocul deniz inekleri (deniz ayıları ve Asyadenizineklere) gibi büyük tropikal deniz memelilerinin de hassas olmaları beklenebilirken, bu hayvanlarda petrol kirliliğinin verdiği hasarın raporları çok ender olmaktadır. Bununla birlikte, foklar, susamurları ve sudan dışarıya çıkan ve sahilde vakit geçiren diğer deniz memelilerinin petrolün etkileriyle karşılaşma ve zarar görme olasılığı daha fazla olmaktadır. Kendi vücut sıcaklıklarını ayarlamak için kürklerine bel bağlayan türler petrole karşı en hassas olan türler olmaktadır çünkü



▲ Şekil 5: Petrol, fok yavrusu (*Arctocephalus australis*) gibi memelilerin hayati fizyolojik işlevlerini sürdürme kabiliyetini olumsuz yönde etkileyebilmektedir.

hayvanlar mevsime bağlı olarak, kürk petrole keçeleşirse vücut ısısının aşırı derecede düşmesi veya aşırı ısınmadan dolayı ölebilmektedir (Şekil 5).

Su yüzeyindeki petrol tabakası kaplumbağalar deniz iguanaları ve deniz yılanları gibi deniz sürüngenleri için bir tehdit olabilmektedir. Özellikle de kaplumbağalar yuva yapma mevsimi boyunca tehlikeye açık olmaktadır. Petrol kum sahillerde karaya oturduğunda veya yuvalar temizlik çalışmaları boyunca bozulduğunda yumurta ve yuva kaybı meydana gelebilmektedir. Yetişkinler, enfeksiyona karşı hassasiyeti artıran sümük zarı iltihabından acı çekebilmektedir. Bununla birlikte, petrol bulaşmış olan kaplumbağaların başarılı bir şekilde temizlendiği ve denize geri gönderildiği birçok durum mevcuttur (Şekil 6). Deniz kaplumbağası türlerinin tamamı öncelikle balık avlarken kasıtsız olarak avlanan yan avlar, yemek ve kabukları için kasıtlı olarak hedef alma ve doğal yaşam alanı kaybı nedeniyle insan faaliyetleri yoluyla tehdit ve tehlike altında olmaktadır.

## Kıyıya yakın sığ sular

Sığ sulardaki hasara genellikle güçlü dalga etkisiyle veya dağıtıcı maddelerin kıyıya çok yakın bir yerde uygunsuz bir şekilde kullanılmasıyla su sütununun içerisine karışan petrol yol açmaktadır. Birçok durumda, örneğin gelgit dalgalarının yıkaması nedeniyle seyrelme kapasitesi su içerisinde petrol yoğunluklarının tehlikeli seviyelerin altında tutulmasına yeterli olmaktadır. Buna karşın, hafif artırılmış türünler veya hafif ham petroler, zehirli petrol bileşenlerinin yüksek yoğunluklarına yol açarak sığ su içerisinde dağıldığı hallerde, dipte yaşayan (deniz dibi) hayvanları ve tortu içerisinde yaşayan hayvanlarda büyük ölçüde can kaybı meydana gelmiştir.

## Deniz yosunu

Ilıman ve tropik sularda farklı deniz yosunu türleri bulunmaktadır. Başka birçok organizmaya barınak olan son derece çeşitli ve üretken bir ekosistemi desteklemektedirler. Deniz yosunu yatakları su akıntılarını azaltırken, böylelikle tortulaşmayı artırırken köklü yapılar deniz yatağını dengeli hale getirmekte, kıyı bölgelerini aşınmadan korumaktadır. Su yüzeyindeki petrol tabakasının herhangi bir ryan etki olmaksızın deniz yosunu yataklarının üzerinden geçip gitmesi çok muhtemeldir. Bununla birlikte, petrol veya zehirli bileşenleri yeterince yüksek yoğunluklarda kıyıya yakın bu sığ sulara karışırsa, deniz yosunu ve ilgili organizmalar



▲ Şekil 6: Olgunlaşmamış bir şahin gagalı kaplumbağa (*Eretmochelys imbricate*) temizlenirken (Görüntü USCG'nin izniyle yayınlanmıştır).

etkilenmektedir. Deniz yosununun yakınındaki temizlik çalışmalarının dikkatli bir şekilde gerçekleştirilmesi gerekmektedir çünkü bitkiler gemi pervaneleri veya yüzer engel çapalarıyla yırtılabilmekte veya yerinden sökülebilmektedir.

## Mercanlar

Mercan resifleri aşırı derecede zengin ve çeşit çeşit bir deniz ekosistemi sağlamaktadır ve son derece üretkendir ve başka bir şekilde açığa çıkan sahil şeritlerine kıyasal koruma sağlamaktadır. Mercanlar petrol kirliliğinden iyileşmek için uzun bir süre alabilecek olan son derece hassas organizmalardır. Dağılan petrol mercan resifleri için son derece büyük tehlike arz etmektedir. Bu tehlike, kırılan dalgalar nedeniyle artan burgaçlanmanın kazara dökülen petrolün doğal olarak dağılmasını teşvik ettiği ve dağıtıcı maddelerin kullanıldığı yerlerde en yüksek olmaktadır. Mercanların kendisine ilaveten doğal yaşam alanının desteklediği topluluklar da petrole karşı hassas olmaktadır. Sonuç olarak, dağıtıcı maddelerin mercan resiflerinin yakınında kullanılmaması gerekmektedir. Ender durumlarda, mercan resifleri ilkbahar gelgitlerinde kuruyabilmektedir, su yüzeyindeki petrol tabakasıyla havasız bırakılarak boğulma tehlikesi sergilemektedir.

Gemilerin karaya oturması mercan resiflerine petrol kirliliğinden daha yaygın bir tehlike kaynağı arz etmektedir. Aşırı avlanma veya yıkıcı balık avlama uygulamaları, besinlerin kirlenmesi ve ormanların tahrip edilmesi ve kıyıda inşaat projeleri gibi insan kaynaklı diğer etkiler de mercanlarda baskıya yol açabilmektedir.

## Sahil şeritleri

Sahil şeritleri, petrolün etkilerine deniz ortamının başka herhangi bir kısmından daha fazla maruz kalmaktadır. Bununla birlikte, sahildeki flora ve faunanın çoğu tabiatı gereği dirençlidir çünkü gelgit döngüsüne ilaveten çarpan dalgalara, kurutucu rüzgarlara, aşırı sıcaklıklara, yağmur ve diğer şiddetli baskılar yoluyla tuzlulukta değişikliklere tahammül edebilmektedirler. Bu tahammül aynı zamanda birçok sahil şeridi organizmasına kazara dökülmenin etkilerine dayanma ve toparlanma kabiliyeti vermektedir.

## Kayalık ve kumluk sahiller

Dalga hareketinin süpürüp götürücü etkilerine ve gelgit akıntılarının maruz kalma kayalık ve kum sahillerin bir kazara dökülmenin etkilerinin daha dirençli olduğu anlamına



gelmektedir (Şekil 7). Bu süpürüp götürme aynı zamanda doğal ve hızlı kendi kendine temizliğin gerçekleşmesine de olanak sağlamaktadır. Ilıman iklimlerde kayalık sahiller üzerindeki etkinin alışlageldik bir örneği kilit bir deniz salyangozu türü olan yaygın deniz kulağının (Patella vulgata) geçici olarak kaybolmasıdır. "Kilit" türler kendi biyolojik kütleleriyle orantısız olan ekosistem üzerinde kontrol edici bir etki uygulayan bitkiler veya hayvanlardır ve bunların kaldırılmasının o ekosistemde çarpıcı bir değişikliğe neden olması muhtemeldir. Kaya yüzeyleri üzerinde mikro algler üzerinde otlayan deniz kulakları alg büyümesini ve başka faunanın oturmasını sınırlandırmaktadır. Kayıpları alışlageldik biçimde fırsatçı yeşil algin hızlı bir şekilde büyümesine yol açmaktadır (ekli Şekil 7). Zamanla bu alg büyümesinin yerini başka alg türleri almaktadır ve kaya yüzeyinde yeniden koloniler oluşturmak için deniz kulakları için yer mevcut olduğunda ekolojik denge kademeli olarak eski durumuna iyileşmektedir. Tropik ve alt tropik kum sahillerde, hayalet yengeçler (Ocypode sp.) deniz kulaklarıyla benzer çevresel yuvayı işgal etmektedir ve yüksek ölüm oranları sahil şeridinde petrol kirliliğinin ortak bir özelliği olmaktadır. Buna rağmen, sahil şeridinin temizlenmesinden itibaren haftalar içerisinde, yengeçler genellikle sahillerde genellikle öncekine benzer sayılarda yeniden koloniler oluşturmaktadır.

## Yumuşak tortu sahiller

İnce kumlar ve çamur haliçler dâhil olmak üzere dalga etkisinden korunaklı alanlarda bulunmaktadır ve biyolojik olarak son derece üretken olma eğilimindedir (Şekil 8). Genellikle göç eden kuşların ve çift kabuklular dâhil olmak üzere tortuda yaşayan yerli omurgasız hayvanların büyük nüfuslarını desteklemektedirler ve aynı zamanda bazı türler için üreme alanlarıdır.

İnce tortular diğer alt katmanlar kadar kolaylıkla etkilenmemekle birlikte petrol fırtına hareketiyle veya solucan yuvaları ve açık bitki gövdelerinden karıştırılan tortuyla topaklanma sayesinde birleşebilmektedir. İnce tortulara nüfuz etmeyen kirletici maddeler, yıllarca varlığını devam ettirebilmektedir, daha uzun vadeli etkilerin olma olasılığını artırabilmektedir.

## Tuz bataklıkları

Yumuşak tortul sahillerin üst kenarına genellikle odunsu çok yıllık bitkiler, taze ve sulu yıllık bitkiler ve otları içeren tuz bataklığı bitki örtüsü hâkim olmaktadır. Tuz bataklıkları genellikle ılıman iklimlerle ilişkilidir fakat alt kutup bölgelerinden tropik bölgelere kadar dünyanın dört bir yanında meydana gelmektedir. Tropik sahillerde, tuz bataklıkları genellikle Hindistan sakız ağaçlarıyla ilişkili olmaktadır, sırasıyla üst ve alt gelgitler arası bölgeleri işgal etmektedir. Türlerin bileşimi büyük oranda tuzlulukla belirlenmektedir. Örneğin, haliçlerin üst uzantılarında bulunan düşük tuzlulukta veya hafif tuzlu sularda, bataklık bitki örtüsü kamış yataklarına yol açmaktadır. Bataklıklardan taşınan bitki döküntüleri de haliçlerdeki ve kıyıya yakın sularda besin ağlarının katkıda bulunmaktadır. Birçok tuz bataklığına, kuşlar için, özellikle de göç eden türler için doğal yaşam alanları olarak önemleri nedeniyle, Uluslararası Önemli Haiz Sulak Alanlara ilişkin Ramsar Antlaşması uyarınca özel koruma alanı statüsü verilmiştir.

Bir petrolün kazara dökülmesinin tuz bataklıklarındaki etkisi, yılın bitki büyüme dönemleriyle ilgili süresine bağlı olmaktadır. Ilıman veya soğuk bölgedeki bataklıklar kış ayları boyunca kış uykusuna yatarken Akdeniz büyümesi yüksek yaz sıcaklıkları boyunca düşük olmaktadır. Tek bir olayın geçici etkilerden daha fazlasına neden olması olası değildir fakat



▲ Şekil 7: Kayalık sahil şeritleri genellikle rüzgar ve dalgalara maruz kalmaktadır ve kendi kendine hızlı bir şekilde temizlenmektedir. Deniz kulakları dahil olmak üzere bir bölgede yaşayan derin deniz bitki ve hayvan türleri petrolden etkilenebilmektedir. Büyük ölüm oranları, deniz hayvanları tarafından yenilme sayesinde başka bir şekilde kontrol altında tutulabilecek olan fırsatçı floranın (alg ve deniz yosunu) sonradan bollaşmasıyla sonuçlanabilmektedir. Zamanla, türler tekrar oluşmaktadır ve denge eski haline geri gelmektedir.





▲ Şekil 8: Yumuşak tortular genellikle korunaklı, daha az dinamik sahil şeritleri boyunca bulunmaktadır ve genellikle biyolojik olarak son derece üretkendirler. Temizlik çalışmaları hasarı genişletme ve ağırlaştırma ihtimali taşıdığından petrol bulaşmış olan bir bataklıkta doğal olarak temizlenmeye bırakılması göz önünde bulundurulmalıdır. Enkesit numunesinde gösterildiği gibi, alt katmana nüfuz eden petrol yıllar boyu kalabilmektedir.

muhtemelen uzun yıllar boyunca, ayakla çiğneme, ağır donanımların kullanılması veya kirletilmiş alt katmanın kaldırılması gibi saldırgan temizlik faaliyeti veya tekrarlı süregelen petrol bulaşmasından daha uzun vadeli hasara uğranabilmektedir. Ek hasar verme tehlikesi olmaksızın bir bataklıkta temizlenmesi güç olmaktadır ve bu nedenle genellikle bataklıkların doğal bir şekilde temizlenmeye bırakılması tavsiye edilmektedir. Bununla birlikte, bitki örtüsünün yakılması veya kesilmesi düşünülüyorsa, bu işlem en iyi bitki öldükten sonra yapılmaktadır. Genel olarak, bitkilerin kökleri veya soğanlarına temizlik boyunca ciddi petrol bulaşması veya sıkıştırma nedeniyle zarar verilmedikçe, temizliği mevsimsel tekrar büyümenin takip etmesi beklenebilmektedir.

## Hindistan sakız ağaçları

Hindistan sakız ağaçları korunaklı tropik ve alt tropik suların kenarlarında büyüyen tuza karşı dayanıklı ağaçlar ve çalılardır. Hindistan sakız ağacı topluluğu yengeçler, istiridyeler ve başka omurgasız hayvanlar için değerli bir doğal yaşam alanına ilaveten balıklar ve karidesler için önemli bir üreme alanı sağlamaktadır. Buna ilaveten, karmaşık kök yapısı tortuyu hapsedmekte ve kararlı hale getirmektedir, bu suretle de sahil şeritlerindeki aşınmayı azaltmakta ve bitişikteki deniz yosunu yatakları ve mercan resifleri üzerine toprak tortularının çökmesini en aza indirmektedir.

Konumları, Hindistan sakız ağaçlarının kazara petrol dökülmelerine karşı son derece hassas oldukları anlamına gelmektedir. Hindistan sakız ağaçlarının aynı zamanda büyük oranda Hindistan sakız ağaçlarının büyüdüğü alt katmana bağlı olarak, petrol tarafından kirletilmeye karşı aşırı derecede hassas oldukları düşünülmektedir. Hindistan sakız ağaçları alışlageldik biçimde yoğun oksijensiz yaşayabilen tortularda büyümektedir ve havalı gözenekler

üzerindeki küçük gözeneklerden temin edilen oksijene bel bağlamaktadır (Şekil 9). Kök sistemlerini petrolün ağır bir şekilde basması bu oksijen teminini engelleyebilmektedir ve Hindistan sakız ağaçlarının ölmesine neden olabilmektedir. Bununla birlikte, nispeten serbest su alışverişine olanak sağlayan açık havalandırılan tortularda, kök sistemleri oksijeni deniz suyundan çekmektedir ve bu nedenle petrol tarafından boğulmaya daha yüksek bir dayanıma sahiptir. İkinci mekanizmada, petrolün zehirli bileşenleri, özellikle de hafif arıtılmış ürünlerdeki zehirli bileşenleri tuz dengesinin muhafaza edilmesi için bitkilerin sistemlerine müdahale etmektedir, bu suretle de tuzlu suya dayanma kabiliyetlerini etkilemektedir. Deneyimler, ağır petrolle boğulma nedeniyle Hindistan sakız ağaçlarındaki kayıp ihtimalinin ağaç örtüsünde yerel kayıpla sonuçlanabilecek olan bazı temizlik etken maddeleri dahil olmak üzere daha hafif ürünlerle basılma nedeniyle ölüm ihtimalinden daha az olduğunun görüldüğüne işaret etmiştir.

Hindistan sakız ağacı ekosistemi içerisinde yaşayan organizmalar hem petrolün doğrudan etkileriyle hem de doğal yaşam alanında daha uzun vadeli kayıplar nedeniyle etkilenebilmektedir. Karmaşık Hindistan sakız ağacı sisteminin doğal toparlanması uzun bir süre alabilmektedir ve eski durumuna getirme tedbirleri bu gibi doğal yaşam alanlarında toparlanma sürecini gerçekten hızlandırma imkanına sahip olabilmektedir.

## Uzun vadeli hasar

Etkili bir temizlik çalışması genellikle hacimli petrol kirliliğinin kaldırılmasını, kirliliğin yol açtığı hasarın coğrafi boyutu ve süresinin azaltılmasını ve doğal toparlanmanın başlamasına izin verilmesini içermektedir. Bununla birlikte, saldırgan temizlik yöntemleri ek hasara neden olabilmektedir ve doğal temizlik süreçleri tercih edilebilir olabilmektedir. Zaman içerisinde, birçok etken petrolün zehirliliğini





▲ Şekil 9: Hindistan sakız ağaçları petrole karşı son derece hassastır. Uzun köklerin ve yerin ve suyun üstündeki köklerin (alt katmandan düşey olarak büyüyen hava alan yapılar) kovucukları (gözenekleri) tıkalıdır, gazların alınıp verilmesini engelleyebilmekte ve nefes alamamaya yol açabilmektedir.

azaltılmaktadır dolayısıyla kirlenmiş alt katman yeni büyümeyi destekleyebilmektedir (Şekil 10). Örneğin, petrol yağmur ve gelgitlerle yıkanıp süpürülebilmektedir ve petrol hava etkisiyle aşındıkça, uçucu parçalar buharlaşmaktadır, daha az zehirli petrol kalıntısı bırakmaktadır.

Deniz ortamı doğal toparlanma için böylesine güçlü bir kapasiteye sahip olduğundan, kazara dökülen bir petrolün etkisi genel olarak yerel ve geçici olmaktadır ve uzun vadeli hasarın belgelendirilmiş birkaç örneği mevcuttur. Bununla birlikte, bazı özel durumlar altında hasar devamlılık gösterme eğiliminde olabilmektedir ve bir ekosistemde alışlageldik biçimde beklenebilecek olandan daha uzun süreli bir bozulma olabilmektedir. Süreğen uzun vadeli hasara yol açma eğiliminde olan durumlar özellikle petrol tortu içerisinde hapsedildiğinde ve hava etkisiyle normal aşınma süreçlerinden korunduğunda petrolün devamlılık göstermesiyle alakalı olmaktadır. Örnekleri, özellikle bir kazara petrol dökülmesi fırtına koşullarıyla aynı zamana rastladığında bataklıklar, ince çakıl taşı sahiller ve kıyıya yakın sular gibi korunaklı doğal yaşam alanlarını içermektedir. İlgili burgaçlı koşullarla birlikte bir bataklığı basan, fırtınanın neden olduğu bir dev dalğanın ince tortuları asıltı haline getirmesi ve doğal olarak dağılmış olan petrolle temasa geçirmesi olası olmaktadır. Fırtına hafiflediğinde tortuyla birleşen petrol bataklık tabanına çökmektedir. Benzer koşullar, petrolün ince tabakaların içerisine karışması ve kıyıya yakın sularda dibe oturması ile sonuçlanmaktadır. Her iki durumda da, oksijensiz koşullar petrolün herhangi bir bozunmasını yavaşlatmaktadır. İnce çakıl taşı sahil şeritlerde, petrol ve ince çakıl taşı karışımının hava etkisiyle aşınması bir süre boyunca devamlılığını devam ettirebilen bir asfalt kaplamanın oluşmasıyla sonuçlanabilmektedir. Çok ağır petroler veya yangın artıkları gibi, deniz suyundan daha yoğun olan petrol ürünleri belirsiz süreler boyunca bozulmadan kalabilecekleri deniz yatağına düşmektedirler

ve deniz dibi organizmalarının yerel olarak boğulmasıyla sonuçlanabilmektedirler.

## Kazara dökülme sonrası araştırmalar

Petrol kirliliğinin etkileri hakkında yapılan araştırmada TORREY KANYONU'ndaki kayıptan buyana hemen hemen her büyük vaka talip edilmiştir. Sonuç olarak, bir kazara dökülmenin olası çevresel etkileri üzerinde şimdi çok büyük miktarda bilgi mevcuttur. Bu nedenle, bu bilgi seviyesi göz önünde bulundurulduğunda, her bir kazara dökülme sonrasında kazara dökülme sonrasında göz önünde bulundurulması ne gerekli olmaktadır ne de uygun. Bununla birlikte, özel boyutun, bir vakanın özel durumlarından kaynaklanan etkinin özel kapsamı, doğası ve süresinin tespit edilmesi amacıyla, kazara dökülme sonrası araştırmalar bazen gerekli olabilmektedir. Petrol kirliliğinin etkileri çoğu zaman çok iyi anlaşıldığından ve tahmin edilebildiğinden, araştırmaların geniş bir varsayımlar dizisini araştırma girişiminde bulunmaktan ziyade dikkat çeken hasarın miktarının belirlenmesi üzerine odaklanması önem arz etmektedir. Deniz ortamının sergilediği değişkenlik büyük bir yelpazede olası etkilerin araştırılmasının inandırıcı olmayan sonuçlara neden olması çok muhtemel olduğu anlamına gelmektedir.

Kirletici maddelerin kimyasal analizi için mevcut olan teknikler sürekli olarak gelişim göstermektedir. Petrolün muhtemelen zehirli bileşenlerinin yoğunlukları şimdi trilyon başına parça (ppt, ng/kg,  $1 \times 10^{-12}$ ) seviyelerine kadar ölçülebilmektedir. Hasar değerlendirme araştırmalarının en önemli amaçlarından birisi hem gözlemlenen hasar için bir yol oluşturulması hem de özellikle süreğen bir şekilde kirlenmiş olan ortamlarda kirlilikten sorumlu olan özel petrol kaynaklı kirletici maddenin niteliksel olarak tespit edilmesidir. Bu genellikle Gaz Kromatografisi bağlantılı Kütle Spektrometrisi (GC-MS) analizi sayesinde yapılmaktadır. Biyolojik işaretçiler





Şekil 10a: Bataklığın içerisine girilerek yapılan temizlik, petrolün verdiği çok üstünde ek hasara neden olmuştur.



Şekil 10b: Gözle görülür yeni büyüme işaretleriyle yedi hafta sonrasında temizlenmiş bataklık



Şekil 10c: 22 ay sonra, bataklık zemini tam olarak iyileşmiştir.



Şekil 10d: Üç yıl sonra, bataklık tam tür çeşitliliğine geri dönmüştür.

▲ Şekil 10: Hasar görmüş bir bataklığın doğal olarak toparlanması.

ham petrolde ve petrol ürünlerinde bulunan policiklik aromatik hidrokarbonlara (PAH) maruziyet için hayvanların incelenmesi amacıyla düzenli olarak kullanılmaktadır. Örneğin, EROD (Etoksiresorufin-O-deetilaz) faaliyetinin ölçümünde hem zehirlerin metabolizmaya alınmasına ve yok edilmesine hem de kanserli hücrelerin gelişimine dahil olan akciğer dokusundaki enzim seviyeleri tespit edilmektedir. Bu teknik tespit edilebilir beden ağırlığı olmaksızın PAH'ye maruziyetin gösterilmesi için yeterince hassas olmaktadır ve bu nedenle olası hasarın erken bir uyarısını sağlayabilmektedir. Bununla birlikte, bu enzimin etkinlik seviyelerindeki değişimler de petrole ilişkili olmayan başka benzer zehirli maddelerin mevcudiyeti gibi başka baskı nedenlerinin de göstergesi niteliğinde olmaktadır. Etkinlik seviyeleri aynı zamanda hayvanın yaşı ve üreme durumuna ilaveten sıcaklıktaki değişimleri de yansıtmaktadır. Bu nedenle, bu araştırmalarda bu kafa karıştırma olasılığı olan etkenlerin hesaba katılması önem arz etmektedir.

Çalışmalara birtakım etkenlere göre öncelik verilebilmektedir. Öncelikle, etkilerin oluşturacağı ana hat: ister mevcut olduğunda kazara dökülme öncesi verilerle; ister etkilenen alanın dışarısındaki referans sahalardaki eşdeğer türlerle, topluluklarla veya ekosistemlerle karşılaştırma yoluyla; isterse deniz kuşlarının veya kabuklu deniz hayvanlarının ölüm oranları gibi, göze çarpan hasarın bir özelliğinin iyileşmesi izlenerek. Plankton, inceleme için yetersiz konu sağlamaktadır. Hem laboratuvar hem de saha araştırmaları petrole maruziyet üzerine ölümler ve ikincil dereceden ölüm etkileri göstermesine rağmen, planktonun değişkenliği o kadar yüksektir ki kazara dökülme öncesi ve sonrası durumların güvenilir olmaması muhtemeldir. Göz önünde bulundurulacak olan diğer etkenler etkilenen alanın coğrafi boyutu, kirlilik derecesi ve ilgili maruziyet seviyeleri (yoğunluk ve süre) ve etkilenen kaynağın önemi, örneğin enderliği veya ekolojik işlevini içermektedir. Son olarak, araştırmaların yönetilmesinin uygulamalı yapılabilirliğinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Yapılabilirlik, mali destekle veya basitçe araştırmacının yapılacağı sahalara erişimin elverişliliği veya araştırma dönemi boyunca sahada bozulma meydana gelme tehlikesi ile ilgili olabilmektedir. Kazara dökülme sonrası araştırmaların tasarlanması ve yürütülmesi hakkında ek rehber bilgiler Denizde Kazara Dökülen Petrollerin Numunesinin Alınması ve İzlenmesi hakkındaki ayrı kitapçıktan elde edilebilir.

## Onarım, eski durumuna geri getirme ve iyileştirme

Eski durumuna getirme düzeltme olarak da bilinen onarım, tek başına doğal toparlanma süreçlerinden beklenebilecek olandan normalde daha hızlı bir şekilde işleyebildiği koşullarda hasar gören çevrenin eski durumuna geri getirilmesi için tedbirlerin alındığı süreçtir. Terimler genellikle, çevresel hasar bağlamında birbirinin alternatif olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, 1992 tarihli Sivil Sorumluluk ve Fon Anlaşmalarının uluslararası sistemiyle Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa Birliğindeki çevresel yasalar karşılaştırıldığında terimlerin yorumu farklı olabilmektedir. 1992 tarihli Fon Hak Talepleri Kılavuzunda\*\* verilen rehber bilgilerde, uluslararası sistemde, eski durumuna geri getirme tedbirlerinin başka doğal veya ekonomik kaynaklar için kötü sonuçlar olmaksızın doğal toparlanmayı kayda değer bir şekilde hızlandırmak için gerçekçi bir fırsata sahip olması gerektiği belirtilmektedir. Tedbirlerin aynı zamanda boyutla orantılı olması ve hasarın süresinin ve faydalarının başarılmasının muhtemel olması da gerekmektedir. Eski

\*\* <http://www.iopcfund.org/publications.htm>



durumuna getirme düzeltme olarak da bilinen onarım, tek başına doğal toparlanma süreçlerinden Hasar, bu bağlamda bozulmanın bir biyolojik toplulukta kazara dökülmenin neden olduğu anormal işleyiş veya organizmaların yokluğu olarak tanımlanabildiği hallerde deniz ortamının bozulması olarak göz önünde bulundurulmaktadır.

1980 tarihli Petrol Kirliliği Anlaşması (OPA '90) uyarınca yürürlüğe koyulan A.B.D. yönetmeliklerinde ayrıca doğal toparlanma onarım için bir anahtar mekanizma olarak kabul edilmektedir fakat iki kavram ortaya koymaktadır: temel ve telafi edici onarım. Telafi edici onarımın amacı çevrenin toparlanma geçirdiği dönem boyunca "kayıp" çevresel hizmetlerin telafi edilmesiyken, temel onarım onarmak veya toparlanmayı hızlandırmak için atılan adımlara atıfta bulunmaktadır ve uluslararası sistem uyarınca eski durumuna geri getirmeye eşdeğer olmaktadır. Avrupa Birliği'nin 2004 Yılı Çevre Sorumluluk Yönergesi (ÇSY) de iyileştirme anlamında bu kavramları içermektedir. Bununla birlikte, uluslararası sistem telafi edici onarım veya iyileştirme kavramını tanımamaktadır.

Bir temizlik çalışmasını müteakip, hasar gören kaynakların onarılması ve özellikle onarımın başka bir şekilde nispeten yavaş olabileceği durumlarda doğal toparlanmanın teşvik edilmesi için ek etkin adımlar da haklı çıkarılabilmektedir. Bir kazara dökülmeyi müteakip böyle bir yaklaşımın bir örneği tuz bataklığı veya Hindistan sakız ağacı bitkilerinin yeniden dikilmesi olabilmektedir (Şekil 11). Yeni biyolojik büyüme oluştuğunda, biyolojik hayatın başka biçimleri geri gelmektedir ve alandaki aşınma olasılığı en aza inmektedir.

Fauna için eski durumuna geri getirmeye yarayan anlamlı stratejilerin tasarlanması çok daha büyük bir sorundur. Hasar görmüş olan doğal yaşam alanları korunabilmektedir ve örneğin erişim ve insan faaliyeti kısıtlanarak, kum yılan balıkları ve kutup martıları durumunda olduğu gibi sınırlı bir besin kaynağı için rekabetin azaltılması için balıkçılık üzerinde denetimler uygulanarak veya yuva yapma mevsimi boyunca kaplumbağalar tarafından kullanılan sahiller kapatılarak



▲ Şekil 11: Bir ızgara kafeste bireysel fidelerin dikilmesiyle oluşturulan bir Hindistan sakız ağacı alanı.

ekosistemlerin toparlanması teşvik edilebilmektedir. Bazı durumlarda, hasar gören alanlarda yeniden koloniler kurulmasının meydana gelebileceği bir havza sağlanması için örneğin yırtıcı hayvanlar denetim altında tutularak yakındaki petrol bulaşmamış bir sahada yavrulayan doğal bir nüfusun korunması temin edilebilmektedir. Bununla birlikte, birçok karmaşık biyolojik, ekolojik ve çevresel etkenin bitişikteki nüfusların kirlenilen bir alanda yeniden koloniler kurma kabiliyetini yönlendirmesi muhtemel olmaktadır.

Gerçekte, deniz ortamının karmaşıklığı, ekolojik hasarın yapay olarak onarabilecek kapsamda kısıtlamalar olduğu anlamına gelmektedir. Çoğu durumda, doğal toparlanmanın nispeten hızlı olması olasıdır ve eski durumuna getirme tedbirleriyle sadece nadiren geçecektir.

## Anahtar noktalar

- Deniz ortamında çok sayıda son derece karmaşık ekosistem mevcuttur ve normal işleyişlerinin bir özelliği olarak bolluk ve çeşitlilikte büyük dalgalanmalar meydana gelmektedir.
- Deniz ortamı, doğa olaylarına ilaveten kazara petrol dökülmelerinin neden olduğu şiddetli bozulmalardan doğal olarak toparlanmak için güçlü bir kapasiteye sahiptir.
- Kazara petrol dökülmelerinden çevresel hasar için anahtar mekanizmalar boğulma ve zehirlenme olmaktadır fakat hasarın şiddeti kazara dökülen petrolün türüne ve petrol kirliliğine hassas olan kaynakların yeriyile ilgili olarak ne kadar hızlı kaybolduğuna çok fazla bağlı olmaktadır.
- En hassas organizmalar deniz yüzeyinde veya sahil şeritlerinde bulunanlardır.
- Tuz bataklıkları ve Hindistan sakız ağaçları sahil şeridindeki en hassas doğal yaşam alanlarıdır.
- Deniz kuşları özellikle tehlike altında olmaktadır. Bazı türler ve özellikle de penguenler temizliğe çok iyi yanıt vermektedir, bununla birlikte, diğerleri temizlikten sonra yabana geri salındıklarında uzun süreler boyunca hayatta kalamayabilmekte ve başarılı bir şekilde yavrulama güçlüğü çekebilmektedir.
- Kısa vadeli etkiler şiddetli olmasına rağmen, en büyük vakalardan sonra bile hasarın devam etmesi alışılmadık bir durumdur. Gözlemlendiğinde uzun vadeli hasar koşulların petrol birikintilerinin devam etme eğilimi göstermesine izin verdiği coğrafi olarak farkı alanlarla sınırlı olmuştur.
- Müdahale çalışmalarının etkili bir şekilde planlanması ve uygulanması hem hasarı hafifletmekte hem de petrolün kaldırılmasıyla onarım için ilk adımı sağlamaktadır.
- Çok iyi tasarlanmış eski durumuna geri getirme tedbirleri bazen doğal toparlanma süreçlerini teşvik edebilmektedir.

## TEKNİK BİLGİ KİTAPÇIKLARI

1. Denizdeki Petrol Döküntülerinin Havadan Gözlemlenmesi
2. Denizdeki Petrol Döküntülerinin Geleceği
3. Petrol Kirliliğine Müdahalede Vinç Kollarının Kullanımı
4. Petrol Döküntülerine İşlem Uygulanması Sırasında Dağıtıcıların Kullanımı
5. Petrol Kirliliğine Müdahalede Sıyırıcı Kullanımı
6. Petrolün Kıyı Şeritlerinde Fark Edilmesi
7. Petrolün Kıyı Şeritlerinden Temizlenmesi
8. Petrol Döküntüsüne Müdahalede Emici Maddelerin Kullanımı
9. Petrolün ve Kalıntının Bertaraf Edilmesi
10. Petrol Döküntülerinde Liderlik, Kumanda VE Yönetim
11. Petrol Kirliliğinin Balık Yatakları ve Deniz Kültürü Üzerindeki Etkileri
12. Petrol Kirliliğinin Sosyal ve Ekonomik Faaliyetler Üzerindeki Etkileri
13. Petrol Kirliliğinin Çevre Üzerindeki Etkileri
14. Denizdeki Petrol Döküntülerinde Numune Alma ve İzleme
15. Petrol Kirliliği Tazminat Taleplerinin Hazırlanması ve Sunulması
16. Denizdeki Petrol Döküntüleri için Acil Durum Planlaması
17. Denizdeki Kimyasal Olaylara Müdahale



Uluslararası Tanker Sahipleri Kirlilik Federasyonu Limited (ITOPF) petrol, kimyasallar ve diğer tehlikeli maddelerin denize kazara dökülmesine etkili bir şekilde müdahale edilmesini desteklemek için dünyadaki gemi sahipleri ve sigortacıları adına kurulan kar amacı gütmeyen bir kuruluştur. Teknik hizmetler acil durum müdahalesi, temizlik teknikleri hakkında tavsiye, kirlilik hasar değerlendirmesi, kazara dökülmeye müdahale planlamasına yardım ve eğitim sağlanmasını içermektedir. ITOPF, denizde petrol kirliliği hakkında kapsamlı bir bilgi kaynağıdır ve bu kitapçık ITOPF'un teknik personelinin deneyimini temel alan bir dizinin birincisidir. Bu kitapçıkta bilgiler ITOPF'tan önceden açık izin alınarak kopyalanabilir. Daha fazla bilgi için lütfen temasa geçiniz:



### ITOPF Ltd

1 Oliver's Yard, 55 City Road, Londra EC1Y 1HQ, İngiltere

Telefon: +44 (0)20 7566 6999  
24 Saat: +44 (0)20 7566 6998

E-posta: [central@itopf.org](mailto:central@itopf.org)  
Web: [www.itopf.org](http://www.itopf.org)