

Interreg



Co-funded by
the European Union

NEXT Black Sea Basin



BSB00208 Small scale project

NBS-CORES

**İklim Kaynaklı Afetlere Karşı Toplum Direncini
Artırmak için Doğa Temelli Çözümler**

**Küresel ve Avrupa Düzeyinde Doğa Temelli Çözümler Üzerine Masa
Başı Çalışması ve Literatür Taraması; Hedef Belediyelere En Uygun
ve Uygulanabilir Vaka Çalışmaları, Modeller ve Politikalar**



Bu rapor, INTERREG NEXT Karadeniz Havzasında Sınır Ötesi İş birliği Programı tarafından eş-finanse edilen ve kısaltması “NBS-CORES” olan projenin 1 No’lu Çıktısıdır.

Rapor, proje ortağı PP4- Forest Research Institute - HELLENIC AGRICULTURAL ORGANIZATION – DIMITRA tarafından, proje kapsamındaki diğer ortaklarla iş birliği içinde hazırlanmıştır.

INTERREG NEXT Karadeniz Havzasında Sınır Ötesi İş birliği Programı, AB Uyum Politikası ve katılımcı ülkeler (Ermenistan, Bulgaristan, Gürcistan, Yunanistan, Moldova Cumhuriyeti, Romanya, Türkiye ve Ukrayna) tarafından eş-finanse edilmektedir.

SORUMLULUK REDDİ: Bu materyalin içeriğinden yalnızca yazarları sorumlu olup, Avrupa Birliği’nin görüşlerini yansıtmamaktadır.

1. Giriş

Doğa temelli çözümler (NbS), **ekosistemleri koruyarak, restore ederek veya yöneterek** toplumsal sorunlara yanıt veren; aynı zamanda insanlar ve biyolojik çeşitlilik için faydalar sağlayan uygulamalardır. Kavram, 2000’li yılların sonunda (öncülüğünü Dünya Bankası ve Uluslararası Doğa Koruma Birliği [IUCN] yapmıştır) ortaya çıkmış, ardından küresel politika ve araştırmalarda yaygın biçimde benimsenmiştir. Örneğin IUCN, NbS’yi **“toplumsal zorluklara etkin ve uyarlanabilir biçimde çözüm getirirken, aynı zamanda insan refahı ve biyolojik çeşitlilik için faydalar sağlayan doğal veya değiştirilmiş ekosistemleri korumaya, sürdürülebilir şekilde yönetmeye ve restore etmeye yönelik eylemler”** olarak tanımlamaktadır (IUCN WCC-2016-Res-069; Nehren vd., 2023). Avrupa Komisyonu ise NbS’yi araştırma gündemine dahil etmiş ve **“doğadan ilham alan ve doğa tarafından desteklenen,”** maliyet açısından etkin, çevresel, sosyal ve ekonomik faydaları eşzamanlı olarak sunan ve şehirleri **daha dirençli kılmaya** yardımcı olan çözümler olarak öne çıkarmıştır (Avrupa Komisyonu, 2015; Nehren vd., 2023). 2020 yılında IUCN, uygulamaların hayata geçirilmesine rehberlik etmek üzere NbS Küresel Standardı’nı yayımlamış; 2022’de ise Birleşmiş Milletler Çevre Meclisi, aldığı bir kararla NbS’yi resmi olarak kabul etmiş ve bu, kavramın geniş ölçekte uluslararası düzeyde benimsendiğini göstermiştir (Nehren vd., 2023). NbS, ekosistem temelli uyum, yeşil altyapı, ekolojik mühendislik ve benzeri stratejileri kapsayan bir üst kavram olarak değerlendirilmektedir (Cohen-Shacham vd., 2019; Nehren vd., 2023).

Önemli bir nokta, doğa temelli çözümlerin (NbS) **afet risklerini azaltmada etkin olduğuna** dair kanıtların giderek artmasıdır. Yakın zamanda yapılan bir meta-analiz, **incelenen vakaların %65’inde NbS’nin tehlike azaltımında geleneksel mühendislik çözümlerinden daha tutarlı bir şekilde başarılı olduğunu** ortaya koymuştur. Ayrıca **çalışmaların %71’i, NbS’nin afetlerin etkilerini azaltmada maliyet açısından etkin olduğunu;** %24’ü ise belirli koşullar altında maliyet etkin olabileceğini tespit etmiştir (Vicarelli vd., 2024). Başka bir ifadeyle, *neredeyse tüm çalışmalar, doğayla birlikte çalışmanın riskleri uzun vadede en azından finansal açıdan uygulanabilir bir şekilde azaltabileceği sonucuna varmıştır* (Vicarelli vd., 2024). Bu bulgular, dirençliliğin artırılmasında doğal sistemlerin kullanılmasını teşvik eden 2015–2030 Sendai Afet Riskini Azaltma Çerçevesi ve Paris İklim Anlaşması gibi önemli uluslararası çerçevelerle de örtüşmektedir (Vicarelli vd., 2024). NbS, yalnızca tehlikelere karşı koruma sağlamanın ötesinde, çoğu zaman birden fazla ek fayda sunar. Örneğin, sulak alanların restore edilmesi taşkın zirvelerini azaltabilir, aynı zamanda su kalitesini ve biyolojik çeşitliliği iyileştirebilir. Bu nedenle, “yeşil” veya “mavi” altyapıyı geleneksel “gri” altyapıyla birleştiren **hibrit yaklaşımlar**, özellikle yüksek maliyet–fayda oranları sunabilmektedir (Debele vd., 2019). Yeşil NbS (ör. ormanlar, bitki örtüsü, parklar), çoğunlukla heyelanlar ve sıcak hava dalgaları gibi kara temelli tehlikelerde en etkili olurken; mavi NbS (ör. sulak alanlar, nehirler, resifler) taşkınlar ve fırtına dalgaları gibi suyla ilgili tehlikelerde daha etkilidir. Bunların mühendislik önlemleriyle entegre edilmesi, genel performansı en üst düzeye çıkarabilmektedir (Debele vd., 2019).

Bu rapor, afet risklerinin azaltılmasında doğa temelli çözümler (NbS) konusundaki en güncel bilgileri, **tehlike türlerine göre derleyerek** sunmaktadır. Her bir başlıca tehlike – **taşkınlar, kuraklıklar, orman yangınları, heyelanlar, çığlar ve çamur akıntıları** – için, kanıtlanmış NbS stratejileri özetlenmekte; bu müdahaleleri planlamak veya değerlendirmek için kullanılan izleme yöntemleri ve modelleme araçları tartışılmakta; ayrıca literatür ve uygulamalardan ilgili vaka çalışmaları vurgulanmaktadır. Ardından, NbS'nin uygulanmasına ilişkin ortak engeller ve kolaylaştırıcı faktörler, NbS'nin benimsenmesini destekleyen politika çerçeveleri (AB'de ve uluslararası düzeyde) ve uygulayıcıların erişebileceği temel platformlar ve kaynaklar ele alınmaktadır. Bu raporun amacı, çeşitli bağlamlarda doğayla birlikte çalışmanın afet risklerini nasıl azaltılabileceğine dair kapsamlı fakat anlaşılır bir bakış açısı sunmak olup, bu değerlendirme, yakın dönemde yayımlanan inceleme makaleleri ve vaka çalışmalarının şemsiye bir derlemesine dayanmaktadır.

2. Yöntem ve Literatür Taraması Meta Veri Analizi

Bu çıktının hedeflerine ulaşmak ve kapsamlı bir literatür taramasını başarıyla gerçekleştirmek amacıyla hazırlık çalışmaları yürütülmüştür. Bu kapsamda, hedef belediyelerin temel özelliklerini sistematik bir şekilde belgelemek üzere bir tablo tasarlanmıştır. Tablo, başlıca doğal afetler, çevresel ve sosyo-ekonomik koşullar, yönetim yapıları ile afet risk yönetimiyle ilgili bilgi ve kapasiteye dair verileri içermektedir. Tablonun formatı Tablo 1'de gösterilen biçimde tasarlanmıştır.

Tablo 1. Hedef Belediyelerin Özellikleri

Hedef Belediyelerin Özellikleri	Açıklama/Mevcut Veri Setleri
Yaygın doğal afet türleri	
Doğal afetlerin tarihsel mekânsal verileri (sıklık/etkilenen alanlar)	
Tehlike/kırılganlık haritaları	
Hedef belediyede uygulanmış NbS örnekleri	
Belediyenin büyüklüğü	
Coğrafi konum	
Çevresel koşullar (iklim bölgesi, arazi örtüsü vb.)	
Sosyo-ekonomik bağlamlar	
Yönetişim yapısı	

Tablo, projenin hedef belediyelerine dağıtılmıştır; söz konusu belediyeler, Gürcistan'ın Acara bölgesinde altı ve Türkiye'nin Kuzey Marmara bölgesinde yedi adettir. Tamamlanan tablolar toplandıktan sonra, elde edilen veriler analiz edilmiştir. Sağlanan verilere dayanarak, bu bölgeleri etkileyen başlıca iklim kaynaklı doğal tehlikeler şunlardır: heyelanlar, çamur akıntıları, çığlar, taşkınlar, kuraklık ve orman yangınları.

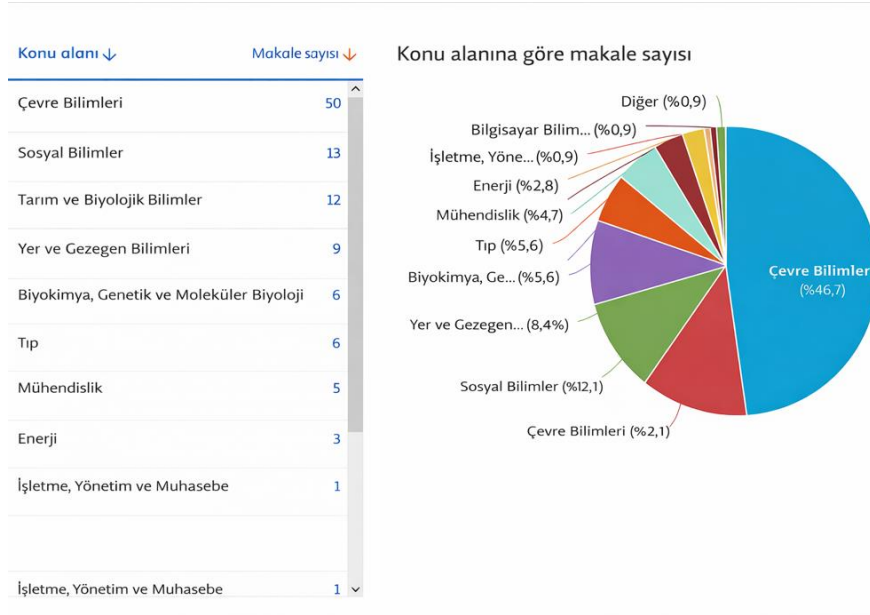
Ardından, ilgili bilimsel makaleleri belirlemek ve literatürün kapsamlı şekilde ele alındığından emin olmak amacıyla SCOPUS veri seti incelenmiştir. SCOPUS'ta aşağıdaki arama sorgusu ve kriterleri uygulanmıştır: (TITLE-ABS-KEY ("Natural- based solutions" OR "NbS" OR "NBS") AND TITLE-ABS-KEY ("landslide*" OR "mudflow*" OR "flood*" OR "avalanches*" OR "wildfires" OR "drought"). Elde edilen bulgulara dayanarak, şemsiye derleme yöntemi uygulanmıştır; yani, bilimsel dergilerde yayımlanmış derleme makaleleri analiz edilmiştir. Toplamda 2018–2024 yılları arasında yayımlanmış 60 makale tespit edilip indirilmiştir. Sonuçlar, son yıllarda doğal tehlikelerin azaltılmasında doğa temelli çözümlere yönelik ilginin giderek arttığını göstermektedir.

Yıl ↓	Makale sayısı ↑
2018	1
2019	3
2020	6
2021	6
2022	10
2023	12
2024	22



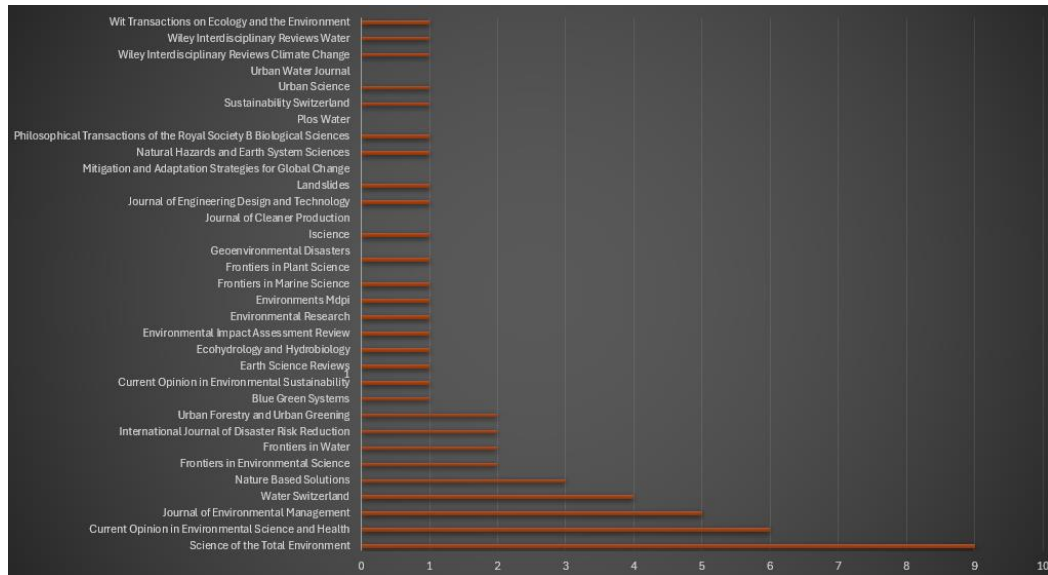
Şekil 1. SCOPUS Aramasına Göre Makalelerin Yıllara Göre Dağılımı

NEXT Black Sea Basin



Şekil 2. Makalelerin Konu Alanlarına Göre Dağılımı

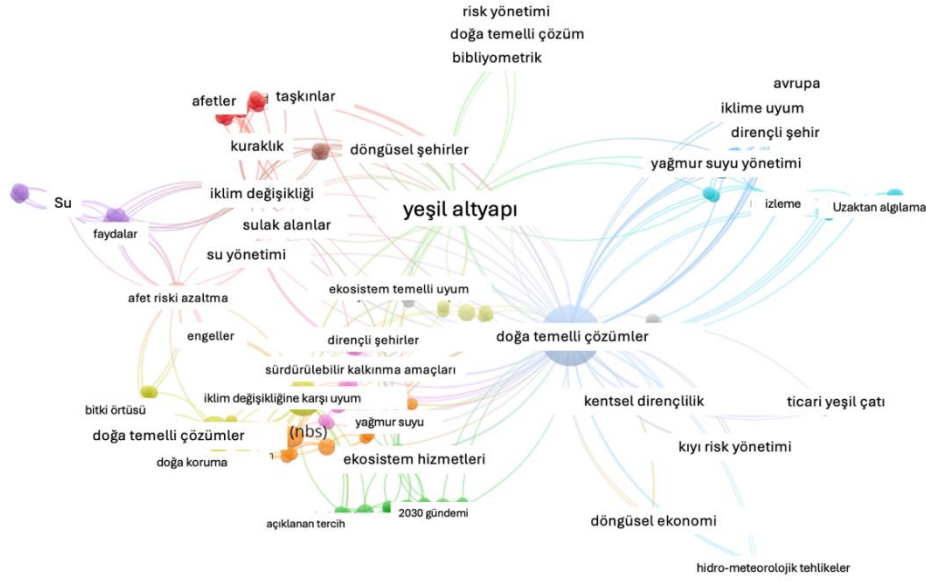
Şekil 3'te bu makalelerin yayımlandığı kaynak dergilerin isimleri de verilmiştir. Görüldüğü üzere, en fazla derleme makalesi *Science of the Total Environment* dergisinde yayımlanmıştır (9 makale), bunu *Current Opinion in Environmental Science and Health* (6 makale) ve *Journal of Environmental Management* (5 makale) takip etmektedir.



Şekil 3. Dergilere Göre Yayımlanan Makale Sayısı

NEXT Black Sea Basin

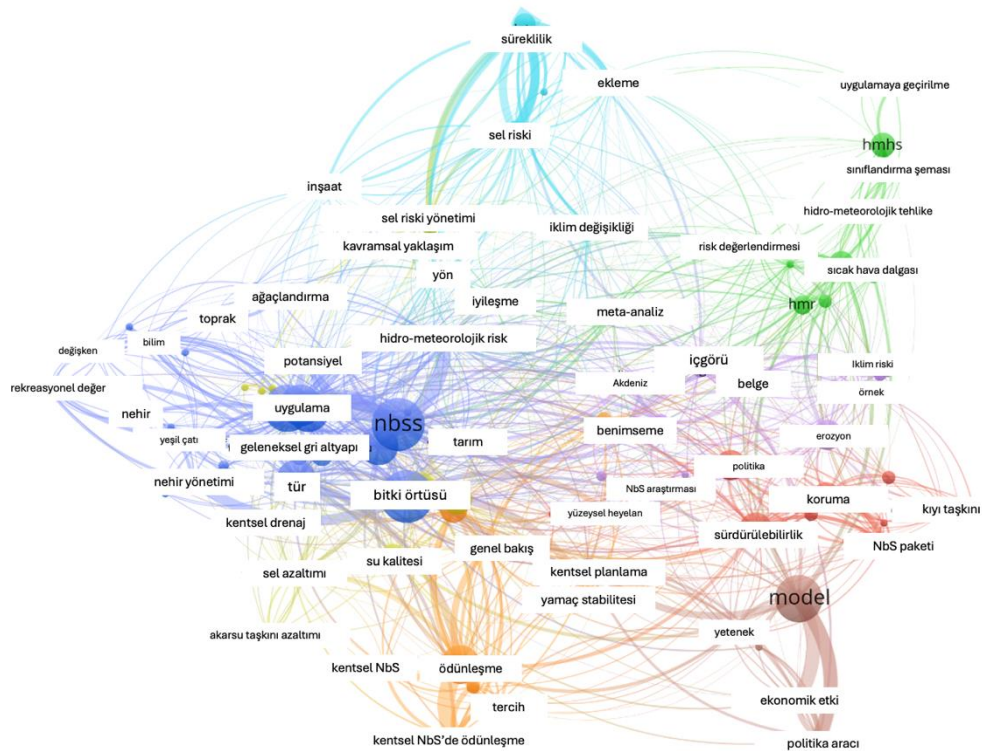
NbS literatüründeki tematik vurguları daha derinlemesine anlamak amacıyla, SCOPUS'tan 60 inceleme makalesini dışa aktardık ve VOSviewer yazılımında işledik. İki tamamlayıcı birlikte-bulunma (co-occurrence) haritası oluşturuldu. Öncelikle, yazarların her makaleye kendilerinin atadığı anahtar kelimeleri haritaladık (Şekil 4).



4. Yazarlar Tarafından Sağlanan Anahtar Kelimelerin Birlikte-Bulunma Haritası

Bu ağ, yazarların belirli anahtar kelimeleri ne sıklıkla seçtiğini (düğüm boyutu) ve anahtar kelime çiftlerinin aynı makalede birlikte görülme sıklığını (kenar kalınlığı) göstermektedir. Renk kümeleri tematik grupları ortaya koymaktadır – örneğin “sel” ve “afet riski azaltma” etrafındaki kırmızı küme, “yeşil altyapı” ve “risk yönetimi” etrafındaki yeşil küme ve “yağmur suyu yönetimi” ile “uzaktan algılama”yı öne çıkaran mavi küme.

Ardından, anahtar kelimelerin ötesinde hangi kavramların anlatıya hâkim olduğunu görmek için başlıklar ve özetlerde en sık kullanılan terimleri çıkardık (Şekil 5).

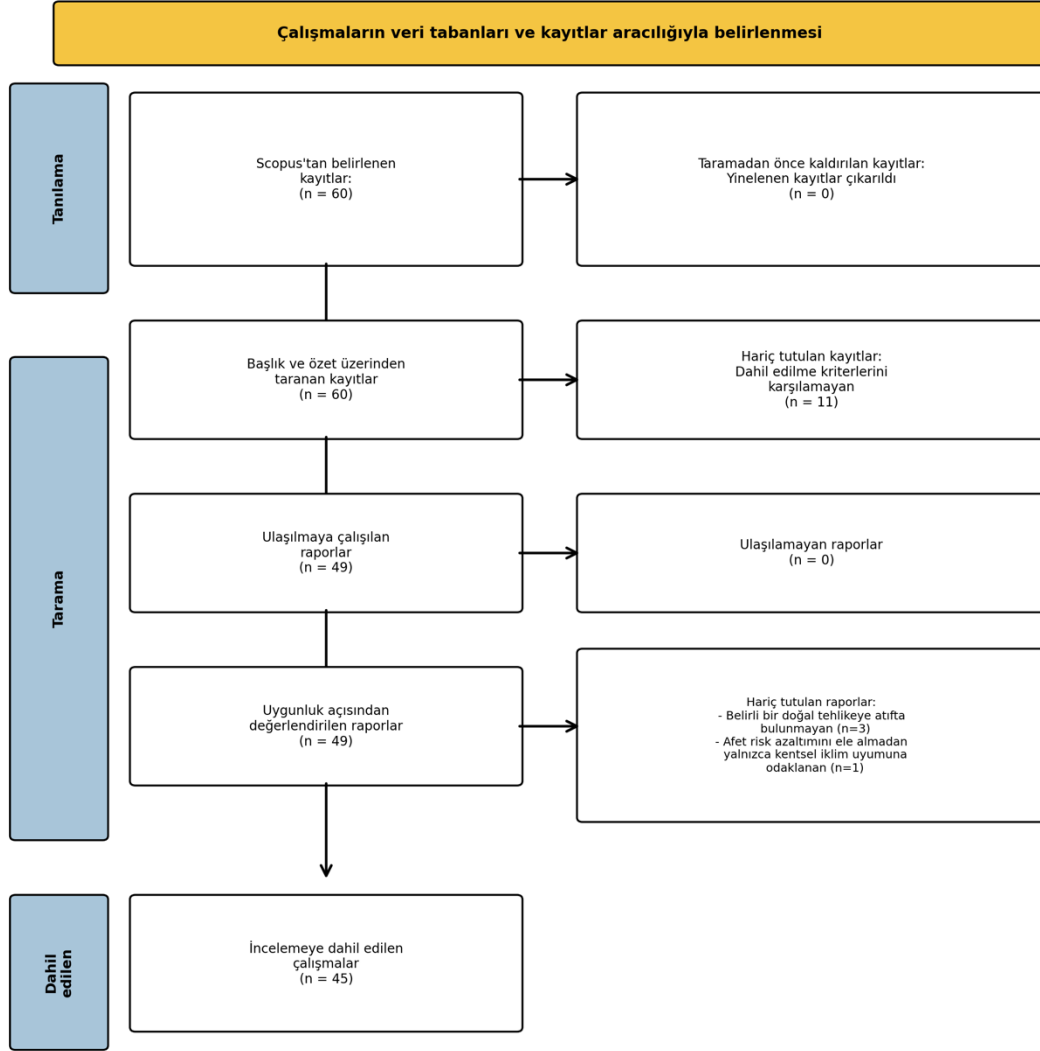


Şekil 5. Başlıklar ve Özetlerde Geçen Terimlerin Birlikte-Bulunma Haritası

Bu haritada düğüm boyutu, bir terimin tüm başlık ve özetlerde ne sıklıkla geçtiğini; kenar kalınlığı ise terimlerin birlikte anılma düzeyini göstermektedir. Kümeler araştırma alanlarını ayırmaktadır: mavi “uygulama/tür” kümesi (ampirik müdahale çalışmaları), yeşil “sıcak hava dalgası/risk değerlendirmesi” kümesi (iklim tehlikesi analizleri), turuncu “ödönleşme” kümesi (ekonomik ve sürdürülebilirlik değerlendirmeleri) ve kırmızı “model/politika” kümesi.

Bu şemsiye derleme, uluslararası alanda kabul görmüş PRISMA yönergeleri (SistematiK İncelemeler ve Meta Analizler için Tercih Edilen Raporlama Ögeleri) doğrultusunda yürütülmüştür. PRISMA 2020 Bildirisi, özellikle müdahalelerin etkilerini değerlendiren sistematik derlemelerde şeffaflığı ve bütünlüğü artırmak amacıyla standart bir çerçeve sağlar. Yazarlar için, derlemenin amacını, izlenen metodolojik süreçleri ve elde edilen bulguları açık ve düzenli bir şekilde raporlamaya yönelik yapılandırılmış rehberlik sunar (Moher vd., 2009). Temel PRISMA 2020 yönergesine ek olarak, kapsam incelemeleri gibi belirli tür veya boyutlardaki kanıt sentezlerinin raporlanmasını destekleyen çeşitli ek yönergeler geliştirilmiştir.

Kaydedilen makaleler, öncelikle alanında uzman kişiler tarafından başlık ve özetlerine göre taranmıştır. Başlangıçta belirlenen dahil etme kriterlerini karşılamayan 14 makale elenmiştir. Sonuç olarak, yapılandırılmış incelemeye toplam 46 makale dahil edilmiştir (Şekil 6. PRISMA Akış Şeması).



Şekil 6. PRISMA Akış Şeması

3. Kavramsal Çerçeve ve Tanımlar

Son on yılda, doğa temelli çözümler (NbS), çağdaş afet risklerini ele almak amacıyla biyolojik çeşitliliğin korunması, ekosistem restorasyonu ve iklimsel dirençlilik alanlarını birleştiren bütünleştirici bir paradigma olarak öne çıkmıştır. Tanımlar farklılık gösterse de yapılan sistematik sentez altı birbirine bağlı boyutu ortaya koymaktadır:

3.1 Amaç ve Kapsam

Bir NbS girişimi, **kasıtlıdır**; yani doğal süreçleri kullanmak veya taklit etmek suretiyle savunmasızlığı azaltmayı ve aynı zamanda biyolojik çeşitlilik ile insan refahına ek faydalar sağlamayı hedefler. Bu özellik, NbS'i pasif koruma veya zararsız hareketsizlikten ayırır. Örneğin, nehir kenarlarının ağaçlandırması yalnızca sel doruklarını azaltmakla kalmaz, aynı zamanda karbonu tutar ve habitat kalitesini artırır.

3.2 Ekosistem Hizmetleri ve Çok İşlevlilik

NbS, afet risklerini azaltmayı destekleyen düzenleyici, destekleyici ve kültürel ekosistem hizmetlerinin sağlanmasına dayanır. Tek bir müdahale (örneğin, sulak alan restorasyonu) hidrolojik rejimleri düzenleyebilir, suyu arıtabilir ve rekreasyon olanakları sunabilir. Bu **çok işlevlilik**, genellikle ekosistem üzerindeki olumsuz etkileri göz ardı eden ve ek faydaları sınırlandıran tek amaçlı gri altyapıdan farklılık gösterir.

3.3 Sınıflandırma ve Süreklilik

NbS, ekolojik müdahalenin en düşük seviyesinden tamamen mühendislik destekli hibrit sistemlere kadar uzanan bir spektrumda değerlendirilebilir. Bu kapsamda üç ana kategori öne çıkmaktadır:

- **Yeşil Altyapı:** Enerjiyi dağıtan, toprağı stabilize eden ve suyun infiltrasyonunu artıran tamamen biyolojik sistemler (ör. kentsel parklar, nehir kenarı ormanları).
- **Mavi Altyapı:** Akış rejimlerini düzenleyen ve fırtına dalgalarına karşı tampon görevi gören akarsu veya kıyı ekosistemleri (ör. sulak alanlar, taşkın ovaları, mangrovlar).
- **Hibrit Çözümler:** Güvenilirliği ekosistem faydalarıyla birleştiren, ekolojik bileşenler içeren mühendislik yapıları (ör. bitkilendirilmiş su tutma havuzları, geçirgen zeminler).

Bu sınıflandırma, **müdahale derecesinde bir kademeyi** vurgular ve paydaşların, NbS'i tehlikenin şiddetine, alan kısıtlarına ve sosyoekonomik hedeflere göre uyarlamalarını sağlar.

3.4 Yönetişim ve Paydaş Katılımı

Etkili NbS, sektörler arası koordinasyonu kolaylaştıran, katılımcı tasarımı destekleyen ve yinelemeli öğrenmeyi mümkün kılan uyarlanabilir yönetim çerçeveleri gerektirir. Temel özellikler şunlardır:

1. **Kurumsal uyum:** Su, arazi kullanımı ve biyolojik çeşitlilik politikaları arasındaki hedeflerin uyumlaştırılması.
2. **Ortak tasarım süreçleri:** Yerel topluluklar, bilim insanları ve politika yapımcıların sürece dahil edilmesi, böylece kültürel uygunluk ve adil yönetimin sağlanması.
3. **İzleme ve geri bildirim döngüleri:** Uyarlanabilir yönetim kararlarını desteklemek üzere standart göstergelerin tanımlanması (ör. maksimum akışın azaltılması, tür çeşitliliği).

Yönetimi kavramsal çerçeveye dahil etmek, NbS'nin teknik çözümlerin ötesine geçmesine ve sosyo-ekolojik karmaşıklığı kapsamına olanak tanır.

3.5 Tanımların Evrimi

Uluslararası kuruluşlar, NbS kavramını geliştirmiştir:

- **IUCN (Uluslararası Doğa Koruma Birliği) (2016):** NbS'yi, biyolojik çeşitlilik ve insan refahına katkı sağlayacak şekilde toplumsal sorunları ele almak için doğa temelli eylemler olarak tanımlamıştır.
- **Avrupa Komisyonu (2020):** NbS'nin ölçeklenebilirliğine ve eş zamanlı faydalarına dikkat çekerek, AB politikaları çerçevesinde maliyet-etkin ve dirençli çözümler olarak öne çıkarmıştır.
- **IPBES-IPCC (Biyolojik Çeşitlilik ve Ekosistem Hizmetleri Bilim-Politika Platformu ve Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli) (2021):** NbS'yi iklim risk yönetimine entegre ederek, ekosistem bütünlüğünü tehlike maruziyetiyle ilişkilendirmiştir.

Bu tanımlar, NbS'yi biyolojik çeşitlilik odaklı bir yaklaşımdan, Sendai Çerçevesi ve Paris Anlaşması ile uyumlu, bütüncül bir afet riski azaltma çerçevesine dönüştürmüştür.

3.6 Kurumsal Tanımlar ve Standartlaştırma

Son standartlar, kavramın netliğini artırmıştır:

- **IUCN Doğa Temelli Çözümler için Küresel Standart (2020):** Tasarım, uygulama ve izlemeyi yönlendiren sekiz kriter sunar; bu kriterler, yanlış uyarlamaları önlemeyi amaçlar (Nehren vd., 2023).

NEXT Black Sea Basin

- **Avrupa Komisyonu:** NbS'yi, çevresel, sosyal ve ekonomik faydaları eşzamanlı olarak sağlayan, "doğadan ilham alan ve doğa tarafından desteklenen" çözümler olarak tanımlar (Nehren vd., 2023).
- **OECD (Ekonomik İş Birliği ve Kalkınma Örgütü):** NbS'i, toplumsal sorunlara çözüm üretmek amacıyla ekosistem hizmetlerini artırmaya yönelik doğayı koruma, yönetme veya restore etme eylemleri olarak tanımlar (Lucatello vd., 2024).

Standartlaştırma, farklı uygulamaların karşılaştırılmasını kolaylaştırır, paydaşların güvenini ve yatırımları artırır.

4. Afet Türlerine Göre Doğa Temelli Çözümler

Bu bölümde, doğal afet türlerine göre sınıflandırılmış başlıca Nbs stratejileri incelenmiş ve sunulmuştur.

4.1 Taşkın Yönetimi için Başlıca NbS Stratejileri

Taşkın (nehir taşkınları ve kentsel yağmur suyu kaynaklı seller dâhil), afet riskini azaltmada NbS'nin en kapsamlı biçimde incelendiği alanlardan biridir. Taşkın risk yönetiminde doğa temelli çözümler, ekosistemlerin **sel sularını emme, yönlendirme veya geciktirme** kapasitesinden yararlanarak taşkın zirvelerini ve aşağı havzalardaki etkileri azaltır. **Taşkınlar için başlıca NbS stratejileri** şunlardır:

- **Sulak Alanların ve Taşkın Ovalarının Restorasyonu:** Nehirlerin taşkın ovalarıyla yeniden buluşturulması ve sulak alanların onarılması, doğal su depolama kapasitesini artırır. Sulak alanlar, **fazla yüzey akışını tutarak sünger görevi görür ve taşkın zirvelerini azaltır**. Çalışmalar, taşkın ovası sulak alanlarının restore edilmesinin, havzalarda taşkın tepe debisini **%20–60** oranında azaltabileceğini göstermektedir (Debele vd., 2019). Bu tür önlemler ayrıca yeraltı suyunu besler ve kirleticileri filtreleyerek su kalitesini iyileştirir. Örneğin, kıyı bataklıkları ve iç sulak alanların restorasyonu, birçok durumda fırtına dalgalarını ve nehir taşkın seviyelerini hafifletme etkisiyle öne çıkmıştır (Sahani vd., 2019; Nehren vd., 2023).
- **Nehirlerin Yeniden Doğallaştırılması (Yeniden Menderesleme) ve Kıyı Şeridi Tamponları:** Düzleştirilmiş nehirlerin yeniden menderesli hale getirilmesi ve kıyı şeridi bölgelerinin iyileştirilmesi, su akışını yavaşlatır ve sızmayı artırır. Bitki örtüsüyle kaplı kıyı tamponları, nehir kıyılarını sağlamlaştırır ve **akış enerjisini dağıtarak** erozyonu ve taşkın hızını azaltabilir (Rowinski vd., 2018; Han & Kuhlicke, 2019). Yukarı havzalardaki **ormanlaştırma** veya mevcut ormanların korunması da yağışı yakalayarak ve toprağın su alma kapasitesini artırarak yüzey akışını dengeler.

Rowinski vd. (2018), nehir yataklarındaki bitki örtüsünün yalnızca taşkın sularını yavaşlatmakla kalmadığını, aynı zamanda tortu tutarak nehirlerin genel ekolojik sağlığını da iyileştirdiğini belirtmektedir.

- **Kentsel Yeşil Altyapı (Mavi-Yeşil Çözümler):** Kentlerde sürdürülebilir drenaj sistemleri (SuDS) ve yeşil altyapı, yoğun yağışları yönetmeye ve ani kentsel su baskınlarını önlemeye yardımcı olur. Örnekler arasında **yeşil çatılar, biyotutma alanları (yağmur bahçeleri), geçirgen zeminler, biyosavaklar** ve yağmur suyunu emmek üzere tasarlanmış **kentsel parklar** yer alır. Bu uygulamalar, geçirimsiz yüzeylerden kaynaklanan yüzey akışını azaltır ve yağmur suyu için tutma alanları sağlar. Modelleme çalışmalarına göre, bu tür kentsel doğa temelli çözümler, tipik yağışlarda yüzey akışının pik değerini yaklaşık **%30–50 oranında azaltabilmektedir** (Debele vd., 2019). Huang ve diğerleri (2020) tarafından yapılan bir derleme, kentlerde yeşil altyapının yaygın olarak benimsenmesinin, plüviyal taşkın riskini önemli ölçüde azaltabileceğini vurgulamaktadır. Yol kenarı biyosavakları veya küçük cep parkları gibi küçük ölçekli müdahaleler dahi, yoğun yağışlar sırasında taşkın seviyelerinin düşmesine topluca katkı sağlar (Oral vd., 2020). Yeşil altyapı ayrıca kentsel soğutma ve estetik iyileştirmeler gibi yan faydalar da sunar (Hobbie & Grimm, 2020; Ferrario vd., 2024).
- **“Sünger Şehir” Yaklaşımları:** Kentsel alanlarda gözenekli zeminlerden yapay sulak alanlara kadar birçok doğa temelli çözümün entegre edilmesi, “sünger şehir” yaklaşımının özünü oluşturur (Çin’de ortaya çıkmıştır, ancak günümüzde küresel ölçekte uygulanmaktadır). Bu müdahaleler birlikte çalışarak şehir genelinde yağmur suyunun sızmasını ve depolanmasını artırır, **böylece yüzey akışını geciktirir ve drenaj sistemleri üzerindeki baskıyı azaltır** (Yimer vd., 2024). Örneğin, kentsel bir havzada sızdırma havuzları ve bitkilendirilmiş su tutma alanlarının kurulması, kentin hidrolojisini doğal koşullara daha yakın hale getirerek ani taşkınların sıklığını ve şiddetini azaltabilir.
- **Hibrit Çözümler ve Tutma Altyapısı:** Birçok durumda, yeşil çözümlerin mühendislik yapılarıyla tamamlandığı **hibrit yaklaşımlar** uygulanmaktadır. Örneğin, **tutma havuzları veya rezervuarların** yukarı havzalarda yapılan sulak alan restorasyonlarıyla birleştirilmesi: Sulak alanlar günlük yüzey akışını azaltır ve küçük taşkınları dengelerken, havuzlar veya sapma kanalları aşırı durumları yönetir. Bu tür hibrit çözümler, çeşitli senaryolarda en sağlam taşkın korumasını sağlayabilir (Debele vd., 2019). Hatta tamamen “gri” taşkın altyapısında bile doğa entegre edilebilir; örneğin, setler veya taşkın duvarları, kıyı bitki örtüsüne ve kara tarafındaki mevsimsel su taşkınlarına alan tanıyacak şekilde geri çekilebilir.

4.2 Kuraklık Yönetimi için Başlıca NbS Stratejileri

Kuraklık, yavaş başlayan ve su kıtlığı ile karakterize edilen bir afet türüdür; bu kıtlık tarımsal (toprak nemi eksikliği), hidrolojik (su kütlelerinin azalması) veya sosyo-ekonomik (su arzında yetersizlik) boyutlarda görülebilir. Kuraklık riskini azaltmaya yönelik doğa temelli çözümler, su **depolama kapasitesini artırmayı, toprak nemini korumayı ve kuru dönemlerde ekosistem işlevlerini sürdürmeyi** hedefler. Sadece mühendislik temelli su transferleri ile “kuraklıkla savaşmak” yerine, NbS yaklaşımları, ekosistemin kuraklığa karşı dirençli hâle gelmesini sağlayarak toplulukların ve ekosistemlerin uzun süreli kuru koşullara daha iyi dayanabilmesini amaçlar. **Kuraklık için başlıca NbS stratejileri** şunlardır:

- Sulak alanlar (bataklıklar, ıslak çayırlar ve turba alanlar dâhil), ekosistemde suyu tutan doğal rezervuarlar olarak işlev görür. **Yağışlı dönemlerde suyu depolayıp yavaşça serbest bırakarak**, kuraklık dönemlerinde nehirlerdeki taban akışını sürdürmeye ve yeraltı su seviyelerini korumaya yardımcı olurlar (Yimer vd., 2024). Bozulmuş sulak alanların restorasyonu veya yeni küçük göletlerin oluşturulması, bir bölgenin hidrolojik tampon kapasitesini artırabilir. Örneğin, kuraklığa yatkın bölgelerde turba alanlarının yeniden sulanması, yerel su tablasını yükselterek tarım ve biyolojik çeşitlilik üzerindeki kuraklık etkilerini azaltan nemli sığınaklar sağlayabilir (Yimer vd., 2024). **Yapay sulak alanlar** da suyun yeniden kullanımı için kullanılmaktadır (örneğin, atık suyun veya yüzey akışının arıtılıp sulama amacıyla depolanması). Bu sayede kurak dönemlerde su mevcudiyeti etkin biçimde artmaktadır (Oral vd., 2020).
- **Yağmur Suyu Hasadı ve Depolama:** Bu yaklaşım, ev tipi yağmur varilleri ve sarnıçlardan, arazi ölçeğindeki **kontrol barajları, tutma alanları ve yönetilir akifer beslemesi** (managed aquifer recharge) gibi müdahalelere kadar geniş bir teknik yelpazeyi kapsar. Yağışlı dönemlerde (çatı yüzeylerinden, kayalık havzalardan veya mevsimsel akarsulardan) akışı toplayarak doğal veya yarı-doğal sistemlerde depolamak, kuraklıkla başa çıkmak için uzun süredir kullanılan bir doğa temelli çözümdür. Kırsal kurak alanlarda basit toprak setler veya sızdırma çukurları, yeraltı suyu beslenmesini büyük ölçüde artırarak kuyuların kurak mevsimler boyunca su sağlamasını mümkün kılabilir. Daha büyük ölçeklerde, **taşkın ovalarındaki su depolama alanlarının** oluşturulması veya restore edilmesi, nehir akışlarını kuru mevsime kadar uzatarak kuraklığın etkilerini hafifletebilir (Yimer vd., 2024). Bu önlemler, yağışın yetersiz kaldığı durumlarda ek kaynaklar sağlayarak **su arzının dirençliliğini** artırır. Hindistan’daki basamaklı kuyular (stepwell) veya Afrika’daki su çukurları (water pan) gibi birçok geleneksel uygulama da özünde doğa temelli yağmur suyu hasadı çözümleridir ve günümüzde modern projelerle yeniden canlandırılmaktadır.

- **Nehirlerin ve Derelerin Yeniden Doğallaştırılması:** Beton kanalların veya barajların kaldırılarak nehirlerin daha doğal akmasına izin verilmesi, bir bölgenin kuraklığa karşı direncini artırabilir. Düzleştirilmiş derelerin **yeniden menderesli hale getirilmesi** ve taşkın alanlarıyla yeniden bağlantısının sağlanması, su akışını yavaşlatır ve akiferlere sızmayı teşvik eder (Yimer vd., 2024). Bu durum yeraltı suyu beslemesini artırır ve kuraklık dönemlerinde akarsu akışını sürdürmeye yardımcı olur (depolanan yeraltı suyu daha sonra taban akışı olarak nehri besler). Ayrıca, su yolları boyunca **kıyı ormanlarının** yeniden canlandırılması gölge sağlayarak (su sıcaklıklarını düşürür ve buharlaşmayı azaltır) ve kıyıları daha da sağlamlaştırarak su kaybını azaltır. Çoğu zaman taşkın riskini azaltma veya ekosistem restorasyonu amacıyla uygulanan bu tür yeniden doğallaştırma önlemleri, aynı zamanda suyun bitki örtüsünde daha uzun süre tutulmasını sağlayarak kuraklık etkilerini hafifletir.
- **Tarımsal Ormancılık ve Sürdürülebilir Arazi Yönetimi: Toprak sağlığını ve su tutma kapasitesini** iyileştiren arazi yönetimi uygulamaları, kuraklığa eğilimli tarımsal alanlar için kritik öneme sahiptir. Tarımsal ormancılık – tarım arazilerine veya meralara ağaç ya da çalılarının entegre edilmesi – gölge sağlayarak, rüzgârla oluşan buharlaşmayı azaltarak ve köklerle toprak yapısını iyileştirerek toprak nemini önemli ölçüde artırabilir. Koruma kuşakları ve rüzgâr kesici çitler, tarlalarda kurutucu rüzgârları azaltır. Malçlama, örtü bitkileri yetiştirme ve tesviye eğrili tarım gibi **koruyucu tarım teknikleri** ise toprağın yağmur suyunu emmesine ve tutmasına yardımcı olarak kuraklığa karşı tampon oluşturur (Nehren vd., 2023; Han ve Kuhlicke, 2019). Bu tür uygulamalar yüzey akışını ve erozyonu azaltarak, geleneksel sürüm yapılan tarlalara kıyasla **toprak nemini %20–40 oranında artırabilir** (Debele vd., 2019). Debele ve diğerleri (2019), tarımsal ormancılık ve toprak koruma önlemlerinin yalnızca erozyona karşı koruma sağlamakla kalmayıp aynı zamanda yerel nemliliği de anlamlı şekilde artırdığını belirtmiştir. Zaman içinde daha organik maddece zenginleşen sağlıklı topraklar bir sünger gibi davranarak yağışlı yıllardan suyu depolar ve kurak yıllarda ürünlerin su ihtiyacını karşılamaya yardımcı olur.
- **Kurak Alanlarda Ağaçlandırma ve Yeniden Ormanlaştırma:** Bozulmuş kurak alanlara yerel türler ekmek veya doğal rejenerasyona izin vermek, mikro iklimi ve su döngüsünü iyileştirebilir. **Ormanlar, bulut yoğunlaşması ve gölgeleme yoluyla nemi çeker** ve yaprak döküntü tabakası suyun toprak içine sızmasını destekler. Rüzgâr üstü alanlarda stratejik ağaçlandırma, uzun vadede bölgesel yağış modellerini iyileştirebilir. Yerel ölçekte, bir havzada ağaç ekimi **yeraltı suyu beslenmesini artırabilir ve nemliliği yükselterek kuraklık etkilerini hafifletebilir** (Nehren vd., 2023). Örneğin, kuraklığa dayanıklı türlerle yamaçların yeniden ormanlaştırılması, yüzey akışını azaltabilir ve sızmayı artırarak toplulukların suya ihtiyaç duyduğu kaynakları — kaynak suları ve dereleri — sürdürebilir. Ancak uygun tür ve yoğunlukların seçilmesine özen gösterilmelidir; bazı durumlarda ormanlar su tüketebilir, bu nedenle yaklaşım bağlama uygun şekilde planlanmalıdır.

Doğru uygulandığında, çalışmalar yeniden ormanlaştırmanın çevresindeki alanda **su mevcudiyetini %15–30 oranında artırabileceğini** göstermektedir (Debele vd., 2019). Ayrıca ormanlar, toprağı stabilize ederek çölleşmeye karşı doğal tampon görevi görür.

- **Suya Duyarlı Kentsel Tasarım:** Su kıtlığıyla karşı karşıya olan şehirler, **kentsel su dirençliliğini** artırmak için doğa temelli çözümlere yönelmektedir. **Yeşil çatı, geçirgen zeminler ve kentsel sulak alanlar gibi yeşil altyapılar** yalnızca taşkınları hafifletmekle kalmaz, aynı zamanda suyu depolamaya yardımcı olur ve kentsel ısı adası etkisini azaltır (bu da dolaylı olarak su talebini düşürür). Örneğin, geçirgen zeminler ve biyotutma alanları, kentsel yüzey akışından yerel yeraltı suyunun beslenmesini destekler. Bazı şehirlerde, çok amaçlı yeşil alanlar oluşturularak yağış sırasında su tutma havuzları, diğer zamanlarda ise rekreasyon alanları olarak kullanılmakta — böylece su, kurak dönemlerde kentsel bitki örtüsünü desteklemek veya su sistemlerine besleme yapmak için depolanmaktadır. Taşkınlar başlığı altında bahsedilen “sünger şehir” yaklaşımı, **kentsel kuraklığın hafifletilmesini** de hedeflemektedir: yağmur sularının toplanması ve yeniden kullanım için filtre edilmesi veya toprağı sızdırılarak akiferleri beslemesi yoluyla şehirler, kurak dönemlerde ek su kaynağı güvence altına alabilir (Yimer vd., 2024). Yapay sulak alanlar gibi doğal arıtma sistemlerini kullanarak **atık suyun yeniden kullanımı** da sulama veya endüstriyel kullanım için alternatif su kaynağı sağlayarak kuraklığa karşı dayanıklılığı artırır (Oral vd., 2020). Önemli bir örnek, Akdeniz bölgesinde uygulanan HYDROUSA projesidir; proje, yapay sulak alanlar ve doğa temelli süreçler kullanarak **atık suyu arıtmak ve yerel tarımda yeniden kullanmakta**, böylece sınırlı tatlı su kaynaklarını uzatmaktadır (Oral vd., 2020).

4.3 Orman Yangınlarının Yönetimi için Başlıca NbS Stratejileri

Orman yangınları (kontROLSÜZ bitki örtüsü yangınları) birçok ekosistemde doğal bir bozulma türü olmakla birlikte, iklim değişikliği ve arazi kullanımı uygulamaları nedeniyle son yıllarda daha sık ve şiddetli hâle gelmiştir. Orman yangınları riskini azaltmaya yönelik doğa temelli çözümler, **araziyi yöneterek yakıt yükünü azaltmayı ve yangına dirençli ekosistemler oluşturmaya**, ayrıca yangından sonra erozyon veya çamur akıntısı gibi dolaylı tehlikeleri önlemek için ekosistemleri restore etmeyi amaçlar. Orman yangınlarıyla ilişkili doğa temelli çözümler iki ana kategoriye ayrılabilir: **(1) Yangın öncesi önlemler:** Orman yangınlarının oluşumunu *engellenen veya şiddetini azaltan* müdahaleler. **(2) Yangın sonrası önlemler:** Yangın sonrası *alanı onaran* ve hasarı hafifleten müdahaleler.

- **Yangın Öncesi Önlemler (Orman Yangınlarının Önlenmesi ve Risk Azaltımı):** Bu önlemler, aşırı yangınların meydana gelme olasılığını en aza indirmeyi amaçlar ve şunları içerir:
 - **Planlı Yakma ve Kontrollü Otlatma:** Yangına eğilimli alanlarda, kuru bitki örtüsünün (yakıtın) birikimini bilinçli olarak azaltmak için düşük şiddetli kontrollü yangınlar veya hayvan otlatma yöntemleri kullanılır.

Bu uygulama, doğal yangın döngülerini ve geleneksel arazi yönetimini taklit eder. Fazla çalı ve otların düzenli olarak temizlenmesiyle, planlı yakmalar daha parçalı bir arazi oluşturur ve bu sayede alan, büyük yangınlara karşı daha az duyarlı hâle gelir (Wittenberg & Shtober-Zisu, 2023). Örneğin, Akdeniz ve Kuzey Amerika'daki yerli ve kırsal topluluklar, kış veya erken ilkbaharda yapılan yakmalarla alt bitki örtüsünü temizleyerek kurak dönemde büyük yangınları önlemişlerdir. Sığır, keçi veya koyunlarla yapılan kontrollü otlatma da benzer bir rol oynar; otları ve çalıları yiyerek yangınların hızla yayılmasını engeller. Bu uygulamalar dikkatli şekilde yürütüldüğünde, **dengeli bir ekosistemi korur** ve sonraki olası orman yangınlarının *şiddetini önemli ölçüde azaltabilir* (Wittenberg vd., 2023).

- **Yangına Dirençli Bitki Örtüsü ve Yeşil Yangın Emniyet Şeritleri:** Stratejik olarak yangına dirençli bitki türlerinin ekilmesi veya bakımı, arazide doğal yangın emniyet şeritleri oluşturabilir. Belirli ağaç ve çalı türleri (ör. meşe, zeytin, bazı akasya türleri) daha yüksek nem içeriğine veya daha düşük reçine içeriğine sahiptir ve örneğin çam veya okaliptüs gibi türler kadar kolay tutuşmazlar. Savunmasız alanların (yerleşim yerleri, altyapı veya değerli ormanlar) etrafında **daha az yanıcı bitkilerden tampon kuşaklar oluşturmak**, yangının yayılmasını yavaşlatabilir veya durdurabilir (Nehren vd., 2023). Bu “yeşil yangın emniyet şeritleri”, genellikle yalnızca boş bırakılmış alanlardan oluşan mekanik yangın emniyet şeritlerini tamamlayan canlı bariyerlerdir. Ayrıca stratejik noktalarda ağaçların seyreltilmesiyle yakıt boşlukları oluşturmak gibi açık alanlar veya aralıklar sağlamak, kesintisiz yakıt hatlarını durdurmaya yönelik bir doğa temelli çözüm yaklaşımıdır. Bir orman yangını bu tür alanlarla karşılaştığında, alevler genellikle söner ya da sadece yerde yayılır; bu da itfaiyeye yangını kontrol altına alma imkânı sağlar. Örneğin, İspanya ve Portekiz'in yangına eğilimli bölgelerinde topluluklar, köylerin çevresinde daha az yanıcı türlerden şeritler dikmeye ve otlatma alanlarını doğal yangın emniyet şeridi olarak tutmaya başlamıştır.
- **Orman Seyreltme ve Sürdürülebilir Orman Yönetimi:** Yangın baskısı nedeniyle doğal yoğunluğunun üstüne çıkan ormanlarda, seçilmiş ağaç ve alt bitki örtüsünün çıkarıldığı **aktif seyreltme**, yangına dirençli ve daha doğal bir orman yapısı oluşturmak için gerekli bir doğa temelli çözümdür. Ağaç yoğunluğunu azaltmak, su için rekabeti azaltır; bu da kalan ağaçların daha sağlıklı ve yangına daha dirençli olmasını sağlar. Ayrıca yüksek şiddetli tepe yangınlarını taşıyacak yakıt miktarı da azalır (Wittenberg vd., 2023). Açık kesim yerine seçici kesim gibi sürdürülebilir orman yönetimi uygulamaları ve tür çeşitliliğinin korunması, ormanları yıkıcı yangınlara karşı daha dirençli hâle getirebilir.

Karışık tür ve yaş yapısına sahip çeşitli ormanlar genellikle daha dayanıklıdır; örneğin iğne yapraklı ağaçların arasına geniş yapraklı ağaçlar eklemek yangını yavaşlatabilir, çünkü geniş yapraklı döküntü daha nemli ve daha az yanıcıdır. Bu uygulamalar, **Kaliforniya ormanları** veya **Avustralya çalılıkları** gibi yerlerde görülmektedir; yetkili kurumlar, geçmişteki büyük yangınlardan ders alarak yangın riskini azaltmak için seyreltme ve kontrollü yakmalar uygulamaktadır.

- **Yangın Sonrası Önlemler (Onarım ve İyileştirme):** Bir orman yangını sonrasında doğa temelli çözümler, arazinin stabilize edilmesi, ekosistemin iyileştirilmesi ve ikincil afet risklerinin (yangın sonrası bitki örtüsünün kaybı nedeniyle sık görülen heyelanlar veya ani seller gibi) azaltılması açısından kritik öneme sahiptir. Yangın sonrası başlıca NbS önlemleri şunlardır:
 - **Toprak Stabilizasyonu ve Erozyon Kontrolü:** Orman yangınları sonrasında, toprağı yerinde tutan bitki örtüsü yok olduğu için toprak çoğunlukla açıkta kalır. Bu durum, heyelanlara, moloz akıntılarına ve su yollarında tortu birikimine yol açabilir. Bu sorunlara yönelik doğa temelli çözümler arasında yanan yamaçlara **malç** (saman, odun yongası veya hidromalç) uygulanması yer alır. Malçlama, toprağı kapatarak nemi korur, yağmur damlalarının darbesini azaltır ve erozyonu %80'den fazla düşürürken, doğal bitki örtüsünün yeniden çıkmasını da kolaylaştırır (Wittenberg & Shtober-Zisu, 2023). Benzer şekilde, yamaç eğrileri boyunca yanmış kütüklerin yerleştirilmesiyle yapılan *kütük erozyon bariyerleri* veya küçük toprak setlerinin inşa edilmesi, yüzey akışını yavaşlatır ve taşınan toprağın tutulmasını sağlar. Bir diğer yenilikçi yöntem ise toprağı **biyokömür** (biochar) eklenmesidir. Genellikle yangından kalan odunsu artıklardan üretilen biyokömür, toprağın su tutma kapasitesini artırır, mikrobiyal faaliyetler için uygun bir zemin sağlar ve ekosistemin toparlanmasını hızlandırır (Wittenberg vd., 2023). Bu tür uygulamalar yalnızca araziye stabilize etmekle kalmaz, aynı zamanda bitki örtüsünün geri dönüşünü de hızlandırır.
 - **Doğal Yenilenmenin Desteklenmesi ve Yeniden Ağaçlandırma:** Şiddetli yangınlardan sonra ormanların veya çalılıkların doğal yenilenmesi oldukça yavaş ilerleyebilir ya da (özellikle tohum kaynakları yok olmuşa) engellenebilir. Bu gibi durumlarda, doğa temelli çözümler, yenilenme sürecine müdahale etmeyi kapsar; örneğin, **yerli türlerin ekilmesi veya dikilmesiyle** ekosistemin toparlanması desteklenir. Yöntemler arasında, otsu örtü bitkilerinin havadan ekimiyle toprağın hızla örtülmesi veya belirli alanlara fidan dikimi yer alır. Bazı durumlarda *öncü türler* (diğer türler için uygun mikro koşullar hazırlayan dayanıklı bitkiler) kullanılır.

Örneğin, yangın görmüş çam ormanlarında yöneticiler önce azot bağlayan hızlı büyüyen çalıları ekerek toprağı stabilize eder ve besin sağlar, ardından çam veya meşe fidanlarını yeniden diker. Doğal ekosistem tipleriyle uyumlu ve yerli türlerle yapılan **ağaçlandırma** çalışmaları, uzun vadeli ekosistem restorasyonunu güvence altına alır ve yangın sonrası sıklıkla yayılan istilacı türlerin kontrolüne de yardımcı olur. Başarılı bir örnek, 2017 yangınlarının ardından Portekiz'deki Leiria Ormanı'nda gerçekleştirilen yeniden ağaçlandırmadır; burada çamlarla birlikte yapraklı ağaç türleri karışık şekilde dikilerek ekosistem onarımı sağlanmıştır.

- **Toprak Canlılarının Yeniden Kazandırılması:** Yangın yalnızca bitki örtüsünü ortadan kaldırmakla kalmaz, aynı zamanda toprağı sterilize edebilir ve faydalı toprak organizmalarını yok edebilir. Yeni bir NbS stratejisi, yanmış topraklarda **toprak mikrobiyotasının yeniden kazandırılmasıdır**. Bu strateji, mikoriza mantarları, bakteriler ve siyanobakteriler gibi toprak canlılarının toprağı yeniden tanıtılmasıyla ekosistemin iyileşmesini hızlandırmayı amaçlar (Wittenberg & Shtober-Zisu, 2023). Örneğin, sağlıklı ve yanmamış alanlardan alınan toprak veya organik materyalin yanmış zeminlere serpilmesi, toprağın mikroplar ve sporlarla aşılmasını sağlayarak bitki örtüsünün yeniden oluşumunu destekler. Ayrıca, ciddi şekilde yanmış ve çıplak alanlarda biyolojik toprak kabuklarının (liken, yosun ve siyanobakteri toplulukları) oluşumu teşvik edilebilir. Bu *biyokabuklar*, karbon ve azotu bağlayarak toprağın yapısını stabilize eder ve damarlı bitkilerin geri dönmesine uygun koşullar oluşturur.
- **İkincil Afetlerin Önlenmesi:** Yangınlardan sonra, bitki örtüsü yeniden oluşana kadar yamaçlar heyelan ve ani sel riskine karşı hassastır. NbS müdahaleleri, heyelan kontrolü için uygulanan yöntemlerle büyük ölçüde örtüşür: Sediment birikimini önlemek amacıyla kanallara **iri odunsu artıkların** yerleştirilmesi veya canlı kontrol barajlarının inşa edilmesi; toprak tutmak için dere kenarlarına hızlı köklenen türlerin (ör. söğütler) dikilmesi veya silt çitlerinin kurulması gibi uygulamalar örnek verilebilir. Örneğin, İtalya ve Yunanistan'ın dağlık bölgelerinde, yangın sonrası çalışmalar yamaçlarda vetiver otu ve çalıların dikilmesini ve derelerde küçük bitkisel bariyerlerin kurulmasını içermiştir (Nehren vd., 2023). Bu önlemler, kül ve enkazın nehir sistemine taşınmasını önemli ölçüde azaltarak su kalitesini korur ve aşağı yöredeki toplulukları çamurlu sel riskinden korur. ABD ormanlarında da basit bir yöntem olan eğim boyunca yerleştirilen yanmış kütükler, yangın sonrası yüzey akışını ve erozyonu azaltmada etkili bir NbS olarak uygulanmaktadır.

4.4 Heyelan Önleme için Başlıca NbS Stratejileri

Heyelanlar ve diğer kütle hareketleri (örneğin, yamaç göçmeleri, toprak kaymaları ve kaya düşmeleri), genellikle şiddetli yağışlar, depremler veya yamaçlardaki insan kaynaklı müdahaleler sonucunda meydana gelen tehlikeli olaylardır. Doğa temelli çözümler, **bitki örtüsünü ve arazi tasarımı kullanarak yamaçların stabilitesini artırmak suretiyle** heyelan riskini azaltmayı amaçlar. Bitkiler ve toprak biyotası toprak yapısını güçlendirirken, belirli arazi yönetimi uygulamaları suyun toprağa sızmasını ve yüzey erozyonunu azaltarak heyelanı tetikleyen etkenleri sınırlar. **Heyelanlara yönelik NbS stratejileri** hem tamamen ekolojik yaklaşımları hem de hibrit biyomühendislik yöntemlerini içerir:

- **Muhafaza Ormanları ve Yamaç Bitki Örtüsü: Yamaçlarda derin köklü bitki örtüsünün** korunması veya yeniden oluşturulması, heyelan riskini azaltmada en etkili doğa temelli çözümlerden biridir. Ağaç kökleri ve yoğun çalı tabakası toprağı birbirine bağlayarak kayma direncini artırır; kök sistemleri toprak içinde doğal birer takviye gibi işlev görür (Rowinski vd., 2018; DiBiagio vd., 2024). Ayrıca kökler terleme (transpirasyon) yoluyla topraktaki suyu çekerek, yağış sonrası toprak nemini ve gözenek suyu basıncını düşürür; böylece heyelan öncesinde sıklıkla görülen toprak kohezyonu kaybı önlenir. Yamaçlardaki muhafaza ormanları — “yamaç stabilizasyon ormanları” olarak da adlandırılır — **yüzeysel heyelanların görülme sıklığını belirgin biçimde azaltabilir**. Bazı çalışmalarda, bu tür ormanların çıplak yamaçlara kıyasla heyelan riskini yaklaşık %60 oranında düşürdüğü gösterilmiştir (Debele vd., 2019). Örneğin Alpler’de yapılan araştırmalar, iyi yönetilen yaprak döken ormanlarla kaplı yamaçların, otlak veya bozulmuş bitki örtüsüne sahip yamaçlara kıyasla çok daha dayanıklı olduğunu ortaya koymuştur (Poratelli vd., 2020). Fransız Alpleri’nde yapılan gözlemler de kayın ve meşe gibi geniş yapraklı türlerden oluşan baltalık ormanların kaya düşmesi ve yüzeysel heyelan riskini azaltmada en yüksek etkiye sahip olduğunu; yalnızca iğne yapraklı türlerden oluşan ormanların ise daha sınırlı koruma sağladığını göstermiştir; bu da *orman türü ve yapısının önemini* vurgulamaktadır (Poratelli vd., 2020). Dolayısıyla, heyelan riski yüksek bölgelerde mevcut ormanların korunması ve derin köklü yerli türlerle yeniden ağaçlandırma yapılması, heyelanların önlenmesine yönelik doğa temelli çözümlerin temelini oluşturur (Nehren vd., 2023).
- **Toprak Biyomühendisliği Teknikleri:** Toprak ve su biyomühendisliği, eğimlerin stabilize edilmesi ve erozyonun kontrol altına alınması amacıyla canlı bitki materyallerinin mühendislik yapılarında kullanılmasını ifade eder. Yaygın uygulamalardan bazıları şunlardır:
 - *Canlı kafes duvarlar (live cribwalls):* Birbirine geçen kütük veya kerestelerle oluşturulan, içi toprakla doldurulan yapılardır. Bu yapılara söğüt çeliği gibi canlı bitki çelikleri dikilir.

Bitki kökleri zamanla yamaç içine doğru gelişirken, yapı başlangıçta anlık destek sağlar (Capobianco vd., 2024). Zaman içinde ahşap çürüdükçe bitkiler yapısal işlevi devralır.

- *Canlı demetler (live fascines)*: Genellikle söğüt veya hızlı köklenen diğer türlerin canlı dallarından oluşan demetlerin, yamacın eğri doğrultusu boyunca açılmış sığ hendeklere yerleştirilmesidir. Bu dallar köklenip çit benzeri sıralar oluşturarak yüzeyin stabilize olmasını ve yüzey akış hızının azalmasını sağlar (Capobianco vd., 2024).
- *Yerli tohumlar ve malçla püskürtme çim (hydroseeding)*: Dengesiz yamaçlara tohum, malç ve bağlayıcı maddelerden oluşan bir karışımın püskürtülmesidir. Hızla çimlenen otlar ve baklagiller yüzey toprağını tutarak üst örtünün sabitlenmesini sağlar ve daha derin köklü bitkilerin gelişmesine zemin hazırlar (Capobianco vd., 2024).
- *Dal katmanları ile güçlendirme ve canlı kazık dikimi (brush layering and live staking)*: Yamacın kesitleri boyunca açılmış basamaklara dalların veya kazıkların yerleştirilmesidir. Bu dallar zamanla çalı veya ağaç hâline gelerek katmanlar hâlinde eğimi güçlendirir (Nehren vd., 2023).

Bu biyomühendislik yöntemleri genellikle basit mühendislik yapılarıyla birlikte uygulanır ve dünyanın birçok yerinde küçük ve orta ölçekli yamaç kaymaları için başarılı olmuştur. Tamamen beton veya çelik yapılar yerine **maliyet etkin ve sürdürülebilir bir alternatif** sunar ve zamanla bitki örtüsü yerleştikçe dayanıklılığı artar (Rowinski vd., 2018). Örneğin, Nepal ve Hindistan'ın Himalaya eteklerinde, yerel kaynaklı odun ve bitki çeliklerinden yapılan canlı kontrol barajları, vadilerde yüzeysel toprak kaymaları ve moloz akışlarını durdurmak için inşa edilmiştir; bitki örtüsü kök saldıktan sonra topluluklar yamaç erozyonunda belirgin azalmalar gözlemlemiştir.

- **Teraslama ve Yamaç Düzenlemesi**: Yamaç profilini **teraslar veya hafif basamaklar** oluşturarak yeniden şekillendirmek, uzun ve dik yamaçları kısa ve daha yatay bölümlere ayırarak heyelan olasılığını büyük ölçüde azaltabilir. Teraslar, yalnızca toprağın hareketini tetikleyen yerçekimi bileşenini azaltmakla kalmaz, aynı zamanda suyun hızla akmak yerine infiltrasyon yapabileceği düz alanlar yaratır. **Bitkilendirme ile birleştirildiğinde (ör. teras kenarlarına meyve ağaçları veya vetiver otu dikmek)**, bu güçlü bir NbS hâline gelir: Teras yapısı geometrik dayanıklılığı sağlar, bitkiler ise teras yükselticilerinin toprağını sabitleyip suyu emer (Capobianco vd., 2024; Nehren vd., 2023). Geleneksel tarım toplumları, yamaçları tarım için teraslamışlardır (Güneydoğu Asya'daki pirinç terasları veya Alpler'deki bağ teraslarını düşünebilirsiniz) ve bu teraslar, dolaylı olarak yamaçların heyelana karşı stabilitesini de artırır. Günümüzde, terk edilmiş terasların restorasyonu veya yeni "yeşil terasların" inşası sadece tarım için değil, özellikle Akdeniz gibi bölgelerde yamaç stabilizasyonu amacıyla kullanılmaktadır.

Ayrıca, heyelan riski yüksek bir yamaçta tepeyi stratejik olarak düzleştirmek ve tabanı bitkilendirilmiş toprak setleri ile desteklemek, heyelan hareketini durdurabilir – bu, toprak işleri ile dikim uygulamalarının birleştirildiği hibrit bir yaklaşımdır.

- **Hibrit Mekanik-Ekolojik Stabilizasyon:** Yüksek riskli durumlarda, yalnızca bitkisel çözümler yeterli anlık destek sağlayamayabilir; bu nedenle mühendisler bunları mekanik önlemlerle birleştirir. Bir örnek olarak, **bitkilendirme ile toprak çivileme** (soil nailing) verilebilir: metal veya cam elyafı toprak çivileri (uzun çubuklar) yamaç içine yerleştirilerek derin toprak katmanları sabitlenir ve ardından yüzey yeniden bitkilendirilir veya bitkili bir örgü ile kaplanır (Capobianco vd., 2024). Bitkilendirme (genellikle biyolojik olarak çözünebilen erozyon kontrol matına dikilen çim ve çalılar), yüzey erozyonunu önler ve kök desteği sağlar, toprak çivileri ise derin stabiliteyi güvence altına alır. Bir diğer örnek, tohumların gömülü olduğu geotekstiller veya erozyon kontrol battaniyeleridir – bunlar başlangıçta yüzey stabilitesi sağlar ve bitkiler büyüdükçe biyolojik olarak çözünür. Bu hibrit çözümler, kısa vadede mühendislik ile, uzun vadede ekolojik kendi kendine iyileşme ile stabiliteyi güvence altına alır. Bazı dağ yolları ve demiryollarında, yamaçlar önce kaya cıvataları veya destek ağları ile sabitlendikten sonra, çatlak ve basamaklara hızlı büyüyen türler dikilerek yapının doğayla bütünleşmesi sağlanmıştır (Capobianco vd., 2024).

4.5 Çığ Riskinin Azaltılması için Başlıca NbS Stratejileri

Çığlar, dağ yamaçlarında hızlı akan kar kütleleri (çoğu zaman buz ve enkazla birlikte) olup, dağ toplulukları, altyapı ve kayak tesisleri için ciddi bir tehlike oluşturur. Geleneksel çığ kontrolü büyük ölçüde mühendislik yapıları (kar çitleri, bariyerler, çığ tünelleri) ve aktif önlemler (ör. kontrollü çığ düşmesi) üzerine kuruludur. Çığ riskini azaltmaya yönelik doğa temelli çözümler, kar yönetiminde **dağ ormanları ve bitki örtüsünün** koruyucu rolüne ve tehlikeli kar yüklerinin birikmesini önlemek için arazi kullanım planlamasına odaklanır. Taşkın veya heyelan NbS çalışmalarına kıyasla sayıları daha az olsa da alp bölgelerinde iyi yerleşmiş NbS uygulamaları mevcuttur:

- **Çığ Başlangıç Bölgelerindeki Muhafaza Ormanları:** Dağ ormanları, **çığlara karşı kritik doğal bir savunmadır**. Dik yamaçlardaki yoğun ağaçlık alanlar, kar tabakasını yerinde tutarak ve potansiyel kayan tabakaları parçalayarak büyük çığların oluşumunu engelleyebilir. Ağaç tepe örtüsü kar yağışını keser (zeminde biriken belli bir oranda azaltır) ve ağaç gövdeleri karı sabitleyen engeller olarak işlev görür. İsviçre ve Avusturya Alpleri'ndeki araştırmalar, sağlıklı orman örtüsüne sahip yamaçlarda çığ düşme olasılığının çok daha düşük olduğunu göstermiştir; çığlar meydana gelirse, ağaçların fren etkisi nedeniyle genellikle daha küçük ve yavaş olur (Capobianco vd., 2024). Bu nedenle, yüksek rakımlardaki ormanların korunması ve yönetimi – genellikle **çığ muhafaza ormanları** olarak adlandırılır – başlıca bir NbS uygulamasıdır.

Bu, ormansızlaşmanın önlenmesi, ormanı seyreltebilecek zararlı böcek veya hastalıkların kontrolü ve bazen başlangıç bölgeleri az ormanlı olan yerlerde ağaç dikimini kapsar. Uygun türler genellikle dayanıklı iğne yapraklılar ve ağır kar yüküne dayanabilen karma alp türleridir (ör. İsviçre fıstık çamı, karaçam, ladin). **İsviçre, Davos** çevresinde yapılan uzun süreli çalışmalar, ağaçlandırılmış çığ yollarına sahip alanlarda, ormansız çığ yollarına kıyasla çığ sıklığının ve çığ enerjisinin önemli ölçüde azaldığını doğrulamıştır (Capobianco vd., 2024). Bu nedenle, alp ülkeleri bu ormanları çığ riskini azaltmada doğal ve kendi kendini sürdüren bir yöntem olarak korumaya yatırım yapmaktadır.

- **Bitkisel Kar Bariyerleri ve Rüzgâr Kırınlar:** Ağaçsız veya ağaçların yetişmediği yüksek alanlarda, bazı **çalılar veya bodur ağaçlar** kar bariyerleri gibi kullanılabilir. Stratejik noktalara dikilen alçak bitki sıraları (ör. bodur çam veya söğüt çalıları), sürüklenen karı tutarak biriktiği yerleri kontrol eder (Capobianco vd., 2024). Karın güvenli alanlarda veya yamaç boyunca eşit olarak birikmesini sağlayarak, bu bitkisel yapılar çığ oluşturabilecek kar kornişleri ve derin kar plakalarının oluşumunu azaltır. Ayrıca, zemin seviyesindeki rüzgârı yavaşlatarak düzensiz kar birikimine katkıda bulunmasını engeller. Yapay kar bariyerleri kadar ilk etapta dayanıklı olmasa da bitkisel kar bariyerleri kendi kendini onarma ve adaptasyon avantajına sahiptir (zamanla büyür ve güçlenir, kar altında esneyebilirler). Japon Alpleri ve Colorado (ABD) bölgesinde yapılan bazı denemelerde, otoyolların üstündeki yamaçlarda karı tutmak için uzun yerli ot ve söğüt sıraları kullanılmış ve çığ oluşumunu azaltma açısından umut verici sonuçlar elde edilmiştir.
- **Arazi Kullanım Planlaması ve Yamaç Şekillendirme:** Çığlara yönelik daha kapsamlı bir NbS (veya NbS ile desteklenen) yaklaşım, **çığ riskini artıran arazi kullanımlarından kaçınmaktır**. Örneğin, dağ çayırıların korunması (inşaat yapılmaması veya kayak pistlerinin uygun şekilde yönetilmesi) çığları tetikleyebilecek arazi değişikliklerini engelleyebilir. Geleneksel otlatma, bazı dik alanların yoğun kar birikiminden arınmasını sağlıyordu (otlatılan alanlarda rüzgâr etkisi ve yüksek bitki örtüsünün olmaması nedeniyle kar birikimi daha azdır), bu nedenle bazı alpin bölgelerde otlatmanın yeniden uygulanması üzerinde gündemdedir. Ayrıca, çok dik ve bitkisiz yamaçlarda yapılan **teraslama veya yüzey pürüzlülüğü** (taşlar veya çim basamaklarla oluşturulan) kar örtüsünün sürekliliğini kesebilir ve benzer işlevi doğal yollarla yerine getirebilir. Büyük ölçekli teraslama alpin ortamda yaygın olmasa da küçük düzensizlikler ve bitki kümeleri bile çığ oluşumunu etkileyebilir. Temel ilke, **başlangıç bölgelerinde aşırı kar birikimini önlemektir**; bazı alanlarda rüzgârın karı uzaklaştırmasına izin vermek için rüzgâr altındaki ormanlar seçici olarak temizlenir veya arazi düzenlemesiyle karın yönlendirilmesi sağlanır. Bu önlemler genellikle sıkı imar planlamasıyla birlikte uygulanır: yerleşimlerin ve kritik altyapının bilinen çığ iniş yollarının dışında tutulması ve kayak pistlerinin riski en aza indirecek şekilde tasarlanması (örneğin, patikaların doğal çığ kırıcı işlevi gören ormanlık alanlardan geçirilmesi).

4.6 Çamur Seli ve Moloz Akışlarını Azaltmak için Başlıca NbS Stratejileri

Çamur selleri, moloz akışları ve benzeri hızlı hareket eden su, toprak ve kaya karışımları genellikle dik dağ havzalarında, özellikle şiddetli yağışların veya ani kar erimelerinin ardından meydana gelir. Bu olaylar heyelanlarla yakından ilişkili olmakla birlikte, daha akışkan bir nitelik taşır; ıslak beton kıvamında, dere yatakları veya vadiler boyunca hızla aşağı doğru akarlar. Doğa temelli çözümler (NbS), bu **yerçekimi kaynaklı tehlikelere karşı toprağı stabilize etmeyi, erozyonu azaltmayı ve risk altındaki havzalarda yüzey akışını yavaşlatmayı** amaçlayarak, çamur sellerinin ve moloz akışlarının oluşumunu önlemeyi veya şiddetini azaltmayı hedefler. Moloz akışlarının hem su hem de toprak bileşenlerini içermesi nedeniyle, birçok NbS stratejisi yamaç stabilizasyonu ve taşkın yönetimiyle örtüşmektedir. **Çamur selleri ve moloz akışlarına yönelik başlıca NbS stratejileri** şunlardır:

- **Yukarı Havzalarda Ağaçlandırma ve Bitki Örtüsü: Yoğun bitki örtüsü**, moloz akışlarını önlemede muhtemelen en önemli etkidir. Bitki kökleri, yamaçlardaki gevşek moloz ve toprakları birbirine bağlayarak sağlamlaştırırken, yer üstündeki kısımlar yağmurun etkisini kırar ve yüzey erozyonunu azaltır. İyi bitkilendirilmiş bir yamaç, daha az tortu içeren daha temiz bir yüzey akışı üretir; bu da çamur selini oluşturacak malzemenin azalması anlamına gelir. Ormanlar bu süreçte özellikle büyük rol oynar: Poratelli vd. (2020), Alpler'deki iyi orman örtüsüne sahip dağ havzalarında moloz akışlarının belirgin biçimde daha az gerçekleştiğini ve muhafaza ormanlarının olası çamur sellerinin **kinetik enerjisinin %40–70'ini** soğurarak akış üzerinde sürükleyici bir etki yarattığını göstermiştir. Ayrıca, nehir kıyısındaki bitki örtüsü (**riparyan bitkiler**) tortuları tutabilir ve küçük kaymaların su kanalı içine taşınarak moloz akışını beslemesini önleyebilir (Poratelli vd., 2020). Bu nedenle, dik yamaçlarda ve nehir yatakları boyunca kesintisiz orman örtüsünün korunması, dağlık bölgelerde öncelikli bir doğa temelli çözümdür. Eğer ormansızlaşma (örneğin, ağaç kesimi, yangın veya zararlı istilası sonucu) gerçekleşmişse, bu doğal kalkanın yeniden oluşturulması amacıyla ağaçlandırma yapılır. Avrupa Alpleri ve Karpatlar'daki bulgular, bozulmuş havzaların yeniden ormanlaştırılmasının, sonraki on yıllarda moloz akışlarının sıklığında belirgin bir azalmayla sonuçlandığını göstermektedir (Nehren vd., 2023). Tür seçimi de önemlidir: derin köklü ağaçlarla sağlam bir çalı ve ot tabakasından oluşan karışık ormanlar en iyi korumayı sağlar; çünkü farklı toprak katmanlarını sabitleyerek yıl boyunca koruma etkisi oluştururlar.
- **Yamaç Drenajı ve Su Sızma Yönetimi**: Gevşek molozların içine aşırı su sızması, çamur seli ve moloz akışlarının başlıca tetikleyicisidir (yamaçların doyup kaymasına neden olur). Bunu yönetmek için NbS yaklaşımları, **yer yüzeyinin pürüzlülüğünü ve geçirgenliğini** artırarak suyun ani değil, yavaş ve eşit şekilde sızmasını sağlamayı içerir. Boş topraklara malç veya kompost eklemek gibi teknikler, suyun tutulmasını artırır ve moloz akışlarını tetikleyen ani yüzey akışlarını önler.

Tarımsal veya otlatma yapılan dağlık alanlarda, yamaçlara küçük **sızma hendekleri veya setler** (mümkünse bitkilendirilmiş) inşa etmek, suyu yakalayıp yavaşça süzülmesini sağlayabilir; böylece su şiddetli akıntılar hâlinde akmaz. Bir diğer yöntem, suyu **“pompalayan” derin köklü çayır ve çalılar**ın büyümesini teşvik etmektir – örneğin vetiver, sadece mekanik olarak toprağı stabilize etmekle kalmaz, aynı zamanda yoğun miktarda su buharlaştırarak, yağış sırasında toprak nemini düşük tutar. Bu bitkiler, potansiyel kaynak alanlardaki **gözenek su basıncını azaltarak**, yamaç kaymasının moloz akışına dönüşme olasılığını düşürür. Esasen, bu yaklaşım ekosistemin kendi drenaj kapasitesini NbS olarak kullanmaktır. Bazı durumlarda, küçük çukurlara yerleştirilen basit bitkilendirilmiş kontrol barajları veya hindistancevizi lifi (coir) kütükleri, suyun akışını yavaşlatıp yukarı akışta sızmasını teşvik eder; böylece su ana kanala ulaştığında, akışı tetikleme olasılığı azalır.

- **Doğal Malzemelerle Moloz Akışı Bariyerleri:** Büyük moloz akışları genellikle mühendislik yapıları veya havuzlarla kontrol edilse de küçük ölçekli akışlar doğa temelli veya hibrit bariyerlerle önlenabilir. Örneğin, kaynak alanlarındaki derelerde **ahşap kontrol barajları** inşa etmek – kütükleri ve taşları doğal odunsu moloz tıkaçlarını taklit edecek şekilde üst üste dizmek – sedimenti yavaşça tutar ve gelişen bir moloz akışının sürekliliğini bozar (Nehren vd., 2023). Bu yapılara bazen “biyolojik kontrol barajları” denir ve yapıya ve dere yataklarına kök salacak şekilde canlı söğüt veya kavak kazıkları yerleştirilir; zamanla yapının dayanıklılığı artar. Bu yapılar kanalı bölümlere ayırmak için kullanılır: herhangi bir kayan malzeme bir barajın arkasında tutulur ve daha büyük bir akışa katılması olasılığı azalır. Zamanla, bu basamaklı kontrol barajları daha stabil bir dere profili oluşturur. Bir diğer yöntem, moloz akışının kaynak alanlarında **bitkilendirilmiş yamaç terasları** kullanmaktır (heyelan önleme teraslamasına benzer şekilde). Küçük basamaklar açıp bunları bitkilendirerek, yamaç eğimi azaltılır ve ayrıca sığ kaymaların birleşerek daha büyük bir akış oluşturmasını engelleyen bariyerler sağlanır. Temel olarak, bunlar oluşmakta olan akışlar için doğal “kası” görevi görür.
- **Yeşil Altyapı ile Taşkın Ovaları ve Alüvyal Yelpazelerin Yönetimi:** Moloz akışları dağlardan daha düz alanlara (alüvyal yelpazelere) ulaştığında, genellikle burada da yıkıma yol açar. Yelpazelerdeki NbS uygulamaları, akışların güvenli şekilde dağılabileceği açık alanların (örneğin bitkilendirilmiş tampon bölgeler) korunmasını ve akışların beton kanallar yerine **bitkilendirilmiş setlerle yönlendirilmesini** içerebilir. Örneğin, olası bir çamur selini bölen ve yavaşlatan şekilde dayanıklı bitki şeritlerinin dikilmesi, selin yerleşim alanlarına ulaşmadan önceki etkisini azaltabilir. Kavak veya bambu gibi hızlı büyüyen ağaçlar, yoğun sıralar hâlinde Çin’in Sichuan bölgesinde molozları tutmak ve akışları yelpazeler üzerinde yönlendirmek amacıyla denenmiştir. Böylesi önlemler büyük bir moloz akışını tamamen durduramayabilir, ancak akışı daha az hassas alanlara yönlendirerek ve çamur içindeki büyük kayaları akıştan ayırarak zararı azaltabilirler.

Önemle vurgulamak gerekir ki, **arazi kullanım planlaması** alüvyal yelpazelerde kritik bir NbS-benzeri yaklaşımdır: en aktif yelpaze yüzeylerinden yapılaşmayı uzak tutmak ve buraları park, mera gibi yeşil alan olarak korumak, bir moloz akışı meydana geldiğinde, akışın yayılmasına ve ağır sonuçlar doğurmadan kontrol edilmesine imkân tanır.

5. NbS Uygulama Örnekleri ve Vaka Çalışmaları

Bu bölüm, çeşitli coğrafi bölgeler ve doğal tehlikeler bağlamında NbS uygulama örnekleri ve vaka çalışmalarına kapsamlı bir bakış sunar. Akademik literatür ve Avrupa Birliği destekli projelerden elde edilen bilgiler doğrultusunda, NbS'nin afet risk azaltım çerçevelerinde nasıl hayata geçirildiği gösterilmektedir.

5.1 NbS Uygulamalarını Destekleyen Avrupa Projeleri ve Küresel Projeler

Çok sayıda büyük ölçekli Avrupa girişimi ve uluslararası girişim, NbS'yi kentsel planlama, su yönetimi, iklim uyumu ve afet azaltma stratejilerine entegre etmiştir. Bu projeler hem teorik çerçeveler hem de uygulama için pratik test alanları sunmaktadır. Bu bölüm, TURaS, Green Surge, OpenNESS, OPERAs gibi genellikle birden fazla ülkeyi kapsayan, koordineli araştırma ve politika odaklı büyük programlar ve çerçevelere odaklanmaktadır. Bu projelerin amacı, NbS'nin Avrupa'da ve ötesinde yaygınlaştırılması için bilgi, strateji, planlama araçları, yönetim modelleri ve platformlar geliştirmektir. Tablo 2, önde gelen girişimleri özetlemektedir.

Tablo 2 – Avrupa'daki Önde NbS Projeleri (Kumar vd., 2020'den uyarlanmıştır)

Proje Adı	Coğrafi Odak	Hedeflerin ve NbS Alanının Özeti	Finansman Mekanizması
TURaS (Transitioning towards Urban Resilience and Sustainability)	Belçika, İrlanda, İtalya, Hollanda, Slovenya, İspanya, Birleşik Krallık	Yeşil duvarlar kullanarak kentsel sürdürülebilirlik, taşkın azaltma, ekosistem temelli kentsel dirençlilik	EU FP7
GREEN SURGE (Green Infrastructure and Urban Biodiversity for Sustainable Urban Development and the Green Economy)	Danimarka, Almanya, Macaristan, İtalya, Hollanda, Polonya, Portekiz, İsveç, Birleşik Krallık	Kentsel yeşil alanlar, biyolojik çeşitlilik, topluluk katılımı	Horizon 2020

NEXT Black Sea Basin

OpenNESS (Operationalisation of Natural Capital and Ecosystem Services)	İspanya, Finlandiya, Hollanda, Belçika	Kentsel planlama ve su düzenlemesi için NbS	EU FP7
OPERAs (Operational Potential of Ecosystem Research Applications)	İspanya, Birleşik Krallık, Fransa, Almanya	Kıyı NbS (ör. yarı sabit kumullar), biyolojik çeşitlilik koruma	EU FP7
CONNECTING NATURE	Avusturya, Belçika, Bulgaristan, Fransa, İrlanda, İtalya, Portekiz, Sırbistan, İspanya, Birleşik Krallık	Büyük ölçekli kentsel NbS, ekonomik ve sosyal eş-faydalar	Horizon 2020
GrowGreen	Birleşik Krallık, İspanya, Polonya, Fransa, İtalya	Taşkınlar, ısı, hava kalitesi için kentsel yeşil altyapı	Horizon 2020
UNaLab (Urban Nature Labs)	Hollanda, İtalya, Finlandiya, Norveç, Çekya, Fransa	Kentsel Yaşam Laboratuvarları (ULL) ile uyum ve dirençlilik için NbS testleri	Horizon 2020
URBAN GreenUP	İspanya, Birleşik Krallık, Türkiye	Kentsel alanları yeniden doğallaştırarak kirlilik ve taşkınları azaltma	Horizon 2020
NATURVATION (Nature- Based Urban Innovation)	Avrupa çapında	Şehirlerde NbS politika/yönetim/finans modelleri	Horizon 2020
Nature4Cities	Avrupa çapında	Teknik NbS araç seti ve planlama araçları	Horizon 2020
NAIAD (Nature Insurance Value: Assessment and Demonstration)	Hollanda, İspanya, İtalya, Fransa	NbS tabanlı sigorta değer modelleri (sulak alanlar, akifer besleme, taşkın tutma göletleri)	Horizon 2020
OPERANDUM (OPEn-air laboRAtoRies for Nature based solUtions to Manage hydro-meteo risks)	Avusturya, Almanya, Yunanistan, İtalya, Finlandiya, Birleşik Krallık	Hidrometeorolojik tehlikeler için birlikte tasarlanıp test edilen NbS üzerine yerinde Açık Hava Laboratuvarları (OAL)	Horizon 2020

5.2 OPERANDUM Projesi: Tehlikeye Özgü NbS için Açık Hava Laboratuvarları (OAL)

OPERANDUM projesi, Açık Hava Laboratuvarları (OAL) aracılığıyla farklı bağlamlarda NbS'nin pratik uygulamalarını sunar. Bu laboratuvarlar, hidrometeorolojik tehlikeler (HMH) için NbS'nin birlikte tasarlanması ve etkinliğinin izlenmesi amacıyla yenilik sahaları olarak işlev görür. Tablo 3, temel sahaları ve uygulanan önlemleri özetlemektedir.

Tablo 3. OPERANDUM'un Açık Hava Laboratuvarlarında (OAL) Uygulanan NbS (Kumar vd., 2020)

Konum	Ülke	Ele Alınan Afet Türü	Uygulanan NbS
Elbe Vadisi	Almanya	Taşkın	Taşkın ovası restorasyonu, nehir kenarı bitkilendirmesi, sulak alan geliştirme
Dodder Nehri	İrlanda	Ani taşkınlar, fırtına dalgaları	Sürdürülebilir Kentsel Drenaj Sistemleri (SuDS), yapay sulak alanlar, nehir kenarı tampon bölgeler
Sperchios Nehri	Yunanistan	Taşkın, kuraklık	Bitkilendirme ile suyun infiltrasyonunun artırılması, çim tampon şeritler
Po Nehri	İtalya	Taşkın, kuraklık	Nehir kenarının yeniden ormanlaştırması, sulak alan koruma, tarımsal ormancılık
Catterline Kıyısı	İskoçya	Kıyı erozyonu, fırtına dalgaları	Kumul restorasyonu, bitkilendirilmiş tampon alanlar
Warten Vadisi	Avusturya	Heyelanlar, erozyon	Canlı demetler ile yamaç stabilizasyonu, yeniden ormanlaştırma, teraslama

5.3 Risk Azaltımı için Desteklenen Yerel ve Nbs Projeleri (Avrupa Odaklı)

Bu bölüm, taşkın veya kuraklık gibi belirli afet türlerine yönelik somut ve yer temelli doğa temelli çözüm uygulamalarını ele almaktadır. Oral ve diğerleri (2020), Avrupa genelinde finanse edilen ve afet etkilerini azaltmada farklı yaklaşımları örnekleyen öncü NbS projelerini vurgulamaktadır. Bu projeler, uygulamada gerçek koşullara odaklanmakta, paydaş katılımını teşvik etmekte ve ölçülebilir faydalar sağlamaktadır.

NEXT Black Sea Basin

Tablo 4. NbS Uygulamalarıyla Afet Risk Azaltımına Yönelik Desteklenen Projeler (Oral vd., 2020)

Proje Adı	Ele Alınan Afet Türü	Uygulanan NbS	Başlıca Faydalar	Konum	Finansman Kaynağı
Gorla Maggiore Water Park (GMWP)	Taşkın	Yapay sulak alanlar, yağmur suyu tutma alanları	Taşkın önleme, %86 tepe debisi azalımı, su kalitesi iyileştirme	Gorla Maggiore, İtalya	AB LIFE+
Coast to Coast Climate Challenge (C2C-CC)	Taşkın	Geçirgen zemin kaplamaları, sızma sistemleri	Kentsel taşkın önleme, su döngüsünün yeniden kurulması	Orta Danimarka Bölgesi, Danimarka	AB LIFE ve Belediye Fonları
KURAS	Taşkın ve Kuraklık	Yağmur suyu hasadı, depolama	Yağmur suyu akışının azaltılması, atık su sistemleriyle entegrasyon	Berlin, Almanya	Federal Almanya Eğitim ve Araştırma Bakanlığı
G.I.A.R.E.	Taşkın	Yeşil çatılar, geçirgen zemin kaplamaları, su tutma sistemleri	Taşkın riskinin azaltılması, kirletici giderimi	Milano, İtalya	İtalyan Bakanlığı ve Bölgeler
HYDROUSA	Kuraklık	Yapay sulak alanlar, yağmur suyu hasadı, tarımsal ormancılık	Suyun yeniden kullanımı, su korunumu, kurak bölge dayanıklılığı, besin geri kazanımı	Midilli, Mikonos, Tinos (Yunanistan) ve Akdeniz ile AB dışı ülkelerde genişletilmiş ağ	AB Horizon 2020

Tablo 5. NbS'nin Uygulandığı ve Paydaş Katılımının Sağlandığı Vaka Çalışmaları (Oral vd., 2020)

Vaka Çalışması	Yer Alan Temel Paydaşlar	NbS Uygulamasındaki Rolü
Gorla Maggiore Su Parkı (İtalya)	Gorla Maggiore Belediyesi, yerel topluluklar, STK'lar	Ortak tasarımıyla sulak alan restorasyonu, taşkın azaltım etkisinin izlenmesi
C2C-CC Projesi (Danimarka)	Belediye meclisleri, su yönetimi otoriteleri, iklim uyum plancıları	Taşkın riskini azaltmak için geçirgen zemin kaplamalarının uygulanması

NEXT Black Sea Basin

Vaka Çalışması	Yer Alan Temel Paydaşlar	NbS Uygulamasındaki Rolü
KURAS Projesi (Almanya)	Kamu hizmeti şirketleri, şehir plancılar, üniversiteler	Yağmur suyu tutma ve yeniden kullanım sistemlerinin geliştirilmesi
G.I.A.R.E. Projesi (İtalya)	Kamu-özel ortaklıkları, bina sahipleri, politika yapıcılar	Taşkın ve sıcak hava dalgalarına karşı yeşil çatıların teşvik edilmesi
HYDROUSA Projesi (Yunanistan)	Araştırma kurumları, yerel çiftçiler	Kuraklık direnci için sürdürülebilir su yeniden kullanım sistemlerinin geliştirilmesi

5.4 Küresel NbS Vaka Çalışmaları

Bu bölüm, Lucatello ve diğerleri (2024) tarafından belgelenen, Latin Amerika ve Karayipler’de uygulanan örnek NbS’leri öne çıkarır. Bu küresel vaka çalışmaları, iklim açısından hassas bölgelerde sel, kuraklık ve fırtına etkilerini azaltmak için yeniden ağaçlandırma, arazi restorasyonu ve kıyı NbS uygulamalarının nasıl hayata geçirildiğini vurgulamaktadır.

Tablo 6. Latin Amerika ve Karayipler’de Uygulanan NbS ve Etkileri (Lucatello vd., 2024)

Ülke	Uygulanan NbS	Etki ve İyi Uygulama	Ele Alınan Afet
Kolombiya	Yeniden ağaçlandırma ve havza restorasyonu	Aşırı hava koşullarına karşı tampon görevi gören yağmur ormanlarının korunması	Taşkınlar, toprak kaymaları
Meksika	Yucatán Yarımadası’nda akifer koruması	Uzun vadeli su güvenliği ve kuraklığa dirençliliğin sağlanması	Kuraklık
Brezilya	Atlantik Ormanı Kurtarma Pakti	Büyük ölçekli restorasyonun taşkın direncini ve karbon stokunu artırması	Taşkın
Jamaika	Mercan resifi restorasyonu	Fırtına dalgalarının etkisinin %70’e kadar azalması	Taşkın
Arjantin	Pampas’ta sürdürülebilir arazi yönetimi	Tarımsal kuraklığa karşı savunmasızlığının azalması	Kuraklık

Bu örnekler, NbS'in bağlama uygun şekilde uyarlanıp iyi yönetildiğinde ekosistemler, geçim kaynakları ve dirençlilik için eşzamanlı faydalar sağlayabileceğini göstermektedir. Latin Amerika ve Karayipler bölgesi, geleneksel bilginin, yeniden ormanlaştırmanın ve ekosistem korumanın daha geniş iklim uyum çerçeveleriyle bütünleştirilmesinin etkinliğini sergilemektedir.

5.5 Tehlike Türüne Göre Seçilen NbS Vaka Çalışmaları

Bu bölüm, farklı coğrafi bölgelerde ve tehlike türlerinde doğa temelli çözümlerin (NbS) gerçek uygulamalarına ilişkin toplu bir bakış sunmaktadır. Seçilen vaka çalışmaları, taşkınlar, kuraklık, heyelanlar, erozyon ve çığ gibi çeşitli afet risklerini azaltmak için NbS'nin nasıl uygulandığını göstermektedir. Aşağıdaki tablolar, NbS türlerini, etkinliğini ve mevcutsa performansını değerlendirmek için kullanılan izleme veya değerlendirme yöntemlerini özetlemektedir. Vaka çalışmaları, baskın tehlike türüne göre sınıflandırılmış ve Capobianco ve diğerleri (2024), Rosmadi ve diğerleri (2024) ile Yimer ve diğerleri (2024) tarafından yapılan derleme makalelerinden çıkarılmıştır.

Tablo 7. Taşkınlar, Heyelanlar, Erozyon ve Çığ için Seçilen NbS Vaka Çalışmaları (Capobianco vd., 2024)

Konum	Tehlike Türü	Uygulanan NbS	Etkinlik
Kopenhag, Danimarka	Kentsel Taşkın	Yeşil çatılar, geçirgen kaplamalar, bitki yağmur hendekleri (bioswale), yağmur bahçeleri, nehir restorasyonu, tutma havuzları	Yeraltı su seviyesinin düşürülmesi, taşkınların önlenmesi
Aşağı Tuna ve Thames Havzası (İngiltere)	Nehir Taşkını	Taşkın ovası bağlantısı, sulak alan restorasyonu, nehir genişletme, nehir kenarı ormanlandırması	Tepe taşkın seviyesinin uzun vadeli azaltılması
Näsäker, İsveç (Yol 975)	Heyelanlar	Hibrit çözüm: toprak çivileme, söğüt çelikleri, hindistancevizi lifli püskürtme çim	Kaymaların önlenmesi (2013 olayından sonra)
Bodø, Norveç	Erozyon	Yamaç stabilizasyonu için canlı demet kullanımı	Erozyonun azalması, yamaç stabilitesinin artması
Davos, İsviçre (İsviçre Alpleri)	Çığ	Kar kontrolü için muhafaza ormanları	Çığ enerjisinin azaltılması

NEXT Black Sea Basin

Bir sonraki tabloda (Tablo 8), Rosmadi ve diğerleri (2024) tarafından sunulan taşkın riski ile ilgili NbS vaka çalışmaları yer almaktadır. Bu tablo, Güneydoğu Asya ve diğer bölgelerde taşkın tehlikelerini azaltmak için uygulanan çeşitli NbS'leri öne çıkarmaktadır. Seçilen vaka çalışmaları, uygulanan çözümlerin çeşitliliğini, müdahalelerin ölçülebilir etkinliğini ve performans değerlendirmesinde kullanılan yöntemlerin çeşitliliğini (hidrodinamik modellemeye maliyet-fayda analizine kadar) göstermektedir.

Tablo 8. Taşkın Riski Yönetimi için Uluslararası NbS Vaka Çalışmaları

Vaka Çalışmasının Konumu	Uygulanan NbS	Etkinlik
Shah Alam, Malezya	Kentsel yeşil altyapı, tutma havuzları	Taşkınların azalması, drenaj kapasitesinin artması
Segamat Nehir Havzası, Malezya	Tutma havuzları	Taşkın seviyesinin belirgin şekilde azalması
Ayutthaya, Tayland	Hibrit NbS (yeni sulak alan restorasyonu ve mühendislik yapıları)	Küçük taşkınlarda etkili, şiddetli taşkınlarda hibrit çözüm gerekliliği
Bantul Bölgesi, Endonezya	Nehir kenarı alanları, gözenekli asfalt	Su birikintisi ve kentsel taşkınların azalması
Rangsit Kanalı, Tayland	Su depolama ve yeniden kullanım, eğitim temelli NbS	Yerel taşkın yönetiminin iyileşmesi, su kalitesinin artması
Sukhumvit Bölgesi, Bangkok	Yeşil çatılar	Taşkın kontrolü için en etkili kentsel NbS
Chindwin Nehir Havzası, Myanmar	Orman koruma, nehir havzası restorasyonu	Yıllık taşkın kayıplarının azalması
Thu Duc Şehri, Vietnam	Toprak tipine dayalı yeşil altyapı planlaması	Yüzey akışının azalması, yeraltı suyu dolumunun artması
Reok Bölgesi, Endonezya	Topluluk temelli NbS (gabion, bambu sistemleri)	Kısa vadede ölçülemeyen kazanımlar, uzun vadede direnç artışı
Bengawan Solo Havzası, Endonezya	Entegre NbS ve sosyo-ekonomik projeler	Topluluk direncinin artması, su tutma kapasitesinin artması

Ayrıca, kuraklık riskinin azaltılmasına yönelik NbS çözümlerine dair vaka çalışmaları, bilim camiasının dikkatini çekmiştir. Takip eden tablolar (Tablo 9-11), dünya genelinde taşkın ve kuraklık risklerinin azaltılması için uygulanmış gerçek NbS örneklerini özetlemektedir (Yimer vd., 2024). Seçilen vaka çalışmaları, kullanılan doğa temelli strateji türleri ve gözlemlenen etkinlikleri hakkında kritik bilgiler sunmaktadır. Bu karşılaştırmalı bilgiler, NbS'nin farklı sosyo-ekolojik bağlamlarda uygulanabilirliğini ve tekrarlanabilirliğini anlamada önemli rol oynamaktadır.

Tablo 9, farklı kıtalarda kuraklık riskinin azaltılması için uygulanan NbS çabalarına dair bir bakış sunmaktadır. Tabloda, geleneksel su hasadı yöntemlerinden ileri düzey şehir planlama müdahalelerine kadar geniş bir strateji yelpazesi ve ilgili etkinlik ölçütleri yer almaktadır.

Tablo 9. Kuraklık Riskinin Azaltılması için Uygulanan Küresel NbS Vaka Çalışmaları

Ülke/Bölge	Uygulanan NbS	Etkinlik
Kumamoto (Japonya)	Ekosistem Hizmetleri için Ödemeler (PES) ile yapay yeraltı suyu beslemesi	Yeraltı suyu beslenmesinde %33,61 artış (2016)
Fort Collins, Colorado (ABD)	Nehir ve sulak alan restorasyonu	Potansiyel kuraklık azaltımı; ek değerlendirme gerekli
Batı ABD	Kunduz ekosistemlerinin restorasyonu projeleri	Yeraltı suyu ve akarsu akışında beklenen iyileşmeler
New York City (ABD)	Yeşil çatı, yağmur bahçeleri	Beklenen faydalar; ek paydaş katılımı gerekli
Tucson, Arizona (ABD)	Yağmur suyu hasadı	Su arzında artış, içme suyu talebinde azalma
Cape Town (Güney Afrika)	Havza restorasyonu	Su sistemlerinde düşük akışlarda %3–16 artış
Burkina Faso, Etiyopya vb.	Su hasadı teknolojileri (WHaTeR Projesi)	Hane halkı su güvenliği ve gıda üretiminde artış
Kenya (Doğu Afrika)	Teraslar ve çimle kaplı su yolları	Temel akış +%8,38, akifer beslemesi +%5,08
Nikaragua	Havza koruma, mangrov ve sulak alanlar	Yeraltı suyu beslenmesinde artış ve su tablası stabilizasyonu

NEXT Black Sea Basin

Ülke/Bölge	Uygulanan NbS	Etkinlik
Hindistan (Racjastan)	Bitki örtüsü restorasyonu	Su güvenliği ve toprak nemi artışı
Çin (Sünger Şehirler)	Yeşil altyapı, sulak alanlar, geçirgen yüzeyler, yağmur suyunun yeniden kullanımı	Kentsel su tutma ve kuraklık direncinde artış

Tablo 10, kuraklığın etkilerini azaltmak amacıyla tasarlanan Avrupa'daki NbS örneklerini sunmaktadır. Bu örnekler, büyük ölçekli taşkın yatağı restorasyonundan yerel yağmur suyu toplama sistemlerine kadar uzanmaktadır. Müdahaleler, su güvenliği, biyolojik çeşitlilik ve ekosistem dayanıklılığını bir araya getirerek çok işlevli bir yapı sergilemektedir.

Tablo 10. Kuraklığın Etkilerini Azaltmaya Yönelik Avrupa'daki NbS Vaka Çalışmaları

Ülke/Bölge	Uygulanan NbS	Etkinlik
İzlanda (Rangárvellir)	Arazi restorasyonu	Tatlı su kaynaklarının dirençliliğinin artması ve yeraltı suyunun azalmasının önlenmesi
Portekiz	Su tutma alanları (yapay göller)	Faydalar öngörülmekte, ancak nicel olarak ölçülmemiş
Avusturya–Slovakya (Tuna Havzası)	Taşkın yatağı restorasyonu	Su mevcudiyetinin artması, taşkın ve kuraklık aşırılıklarının azaltılması
Hollanda (Regge Nehri)	Nehrin doğallaştırılması, taşkın yatağı restorasyonu	Su tutmanın artması, kuraklık koşullarının iyileşmesi
İspanya (Alicante)	Yapay sulak alanlar + artırılmış atık su kullanımı	Su arzının artması, su kirliliğinin azalması
İsveç (Tulltorpsån)	Çok işlevli sulak alan restorasyonu, nehir kıvrımlarının yeniden oluşturulması	Tarımsal kuraklık direncinin artması, su kalitesi ve biyolojik çeşitliliğin iyileşmesi
Birleşik Krallık (Turbalık Alanlar)	Turbalık restorasyonu, yeniden ağaçlandırma	Su güvenliği, iklim etkilerinin azaltılması ve biyolojik çeşitlilik açısından faydaların tanınması

NEXT Black Sea Basin

Ülke/Bölge	Uygulanan NbS	Etkinlik
Yunanistan (Mikonos)	Yenilikçi yağmur suyu toplama sistemleri	Uzak bölgeler için güvenilir ve düşük maliyetli su temini
Yunanistan (Ano Mera, Mikonos)	Entegre su yönetim sistemi (yağmur, fırtına, yüzey suları)	Akifer beslemesinin artması, tuzlu su girişinin azaltılması
Yunanistan (Tinos)	Yağmur suyu toplama ve buhar geri kazanımı + yapay sulak alanlar	Ekoturizm tesislerinde tam su öz yeterliliğinin sağlanması
İtalya (Gorla Maggiore Su Parkı)	Yapay sulak alanlar	Kuraklık riskinin azalması, biyolojik çeşitliliğin artması, su kalitesinin iyileşmesi

Son olarak, Tablo 11’de Belçika’da uygulanan entegre NbS stratejilerine odaklanılmaktadır. Bu çok işlevli uygulamalar hem taşkınlara hem de kuraklığa karşı dirençliliği artırmayı hedeflemektedir. Etkinlikleri genellikle yeraltı suyu besleniminin artması, mikro iklimin iyileşmesi ve uzun vadeli ekolojik kazanımlar açısından değerlendirilmektedir.

Tablo 11. Kuraklık ve Taşkın Azaltımına Yönelik Belçika’daki NbS Vaka Çalışmaları

Bölge/Proje	Uygulanan NbS	Etkinlik
Sigmaplan (Flandre)	Taşkın kontrol bölgeleri, sulak alan restorasyonu, nehir kıvrımlarının yeniden oluşturulması	Yeraltı suyu besleniminin artması, kuraklık ve taşkın risklerinin azaltılması
Flemish “Blue Deal”	Orman, sulak alan ve nehir restorasyonu	Ekosistem restorasyonu yoluyla su tutma kapasitesinin artırılması
Dijle-Zenne Havzası Projeleri	Taşkın ovası ve sulak alan restorasyonu (ör. Rumena, Pikhaken)	Yerel su dengesinin stabilizasyonu, biyoçeşitliliğin artması
Green Corridor (Yeşil Koridor) (Anvers)	Kentsel yeşil altyapı (yeşil koridorlar)	Yağmur suyunun tutulmasının ve kentsel mikro iklimin iyileşmesi
Genk Food & Nature Conservation (Gıda ve Doğa Koruma)	Mavi-yeşil altyapı ve organik tarım uygulamaları	Toprak neminin artması, tarımda iklim dirençliliğinin güçlenmesi

Küresel örneklerle ek olarak, Avrupa ve ulusal ölçekli vaka çalışmaları, kuraklık azaltımı için NbS'nin ölçeklenebilirliğini ve bağlama uyulanabilirliğini vurgulamaktadır. Avrupa ülkeleri, kuzey iklimlerinde sulak alan restorasyonundan Akdeniz adalarında yağmur suyu hasadı sistemlerine kadar çeşitli yaklaşımlar sergilemekte ve her biri su güvenliğini artırmaya ve iklim direncini güçlendirmeye katkıda bulunmaktadır. Özellikle Belçika, entegre nehir havzası ve peyzaj düzeyinde NbS'nin hem kuraklık hem de taşkın tehlikelerini eş zamanlı olarak ele alabileceğini göstermektedir.

Bu örnekler, çok işlevli NbS'nin farklı biyolojik ve yönetim bağlamlarında iklim uyumu ve afet risk azaltımı hedeflerini desteklemedeki rolünü pekiştirmektedir.

6. NbS'nin Etkinliğini Değerlendirmek için İzleme ve Modelleme Yaklaşımları

Afet risk azaltımı için doğa temelli çözümlerin (NbS) etkin uygulanması ve ölçeklendirilmesi, titiz ve bilimsel olarak sağlam izleme ve modelleme yaklaşımlarını gerektirir. Bu metodolojiler, uygulanmış NbS'nin farklı doğal tehlikelere karşı (taşkınlar, kuraklıklar, toprak kaymaları gibi) etkisini, eş-faydalarını ve uzun vadeli direncini nicel olarak belirlemeye yardımcı olur. Sistemik bir izleme yaklaşımı, etkinliğin yalnızca gösterilmesini değil, aynı zamanda farklı bağlamlarda karşılaştırılmasını, uyarlanmasını ve aktarılmasını da mümkün kılar.

Huang ve diğerleri (2020), Kumar ve diğerleri (2021a; 2021b) ile DiBiagio ve diğerleri (2024) çalışmalarına dayanan bu bölüm, izleme ve modelleme yöntemlerini tehlike türüne göre özetler ve kategorize eder; mekânsal ölçek, göstergeler ve değerlendirme hassasiyeti hakkında bilgi sunar. Ayrıca uzaktan algılama teknolojilerinin rolü, temel performans göstergeleri (KPI'lar) ve hibrit ile birden fazla tehlikeye uyumlu modellerin giderek artan kullanımı özel olarak ele alınmaktadır.

6.1 NbS Performansını İzleme Yöntemleri

Kumar ve diğerleri (2021a), farklı hidrometeorolojik tehlike türleri kapsamında NbS performansını izlemek için kullanılan araç ve yöntemlere ilişkin kapsamlı bir genel bakış sunmaktadır. Bu yöntemler, geleneksel yer tabanlı sensörlerden gelişmiş uydu tabanlı uzaktan algılama teknolojilerine ve İHA'lara (insansız hava araçlarına) kadar uzanmaktadır. Tablo 12, en yaygın kullanılan yaklaşımları özetlemektedir.

Tablo 12. Afet Yönetiminde NbS'nin İzleme Yöntemlerine Genel Bakış

Afet Türü	Yer Tabanlı İzleme Yöntemleri	Uzaktan Algılama ve Havadan İzleme Yöntemleri
Taşkınlar	- Ölçüm istasyonları: Su seviyesi, akış hızı ve debiyi ölçer. - Görsel sensörler (CCTV, video gözetimi). - Gerçek zamanlı taşkın izleme. - Hidrometrik istasyonlar: Akustik Doppler Akım Profilleyicisi (ADCP), akım ölçerler ve yağmur ölçerler (manuel & otomatik) kullanır.	- MODIS (Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektro-Radyometresi): Yüksek zamansal çözünürlükte taşkın izleme. - AVHRR: Yüksek frekanslı izleme. - Mikrodalga radyometreleri (37 GHz): Su yayılımını tespit eder. - SAR: Sentinel-1, TerraSAR-X, RADARSAT-2 ve ALOS kullanılarak taşkın haritalama. - NDWI: Yüzey suyu değişimlerini belirler. - SfM İHA fotogrametrisi: Yüksek çözünürlüklü taşkın ovası modelleri oluşturur.
Heyelanlar	- Yer değiştirme sensörleri (ekstansometreler, inklinometreler). - Kök dayanımı testleri. - Yer radarı (GPR).	- LiDAR: Arazi haritalama. - Diferansiyel GPS (DGPS). - SAR İnterferometrisi (DInSAR): Zemin deformasyonu ve yamaç hareketlerini izler.
Kuraklıklar	- Toprak nemi problemleri. - Piezometreler: Yeraltı suyu seviyesini izler. - Yağış simülatörleri.	- MODIS (NDVI, VH İndeksi, LST): Bitki örtüsü ve yüzey sıcaklığı değişimlerini izler. - SMAP uydusu: Toprak nemi ölçümü. - GRACE: Yeraltı suyu azalmasını izler. - Lazer ve radar altimetreleri: Göller ve rezervuarlardaki su seviyesini ölçer.

6.2 Avrupa'daki NbS Açık Hava Laboratuvarlarında (OPERANDUM Projesi) İzleme Uygulamaları

Genel yöntemlerin özetine ek olarak, Tablo 13, OPERANDUM Projesi'nin Açık Hava Laboratuvarlarında (Open-Air Laboratories – OAL) uygulanan gerçek izleme yaklaşımlarının bir sentezini sunmaktadır. AB destekli bu girişim, farklı biyocoğrafi bölgeler ve tehlike türleri kapsamında gerçekleştirilen NbS müdahalelerine ilişkin kapsamlı bir kanıt temeli sağlamaktadır.

Tablo 13. OPERANDUM'un Açık Hava Laboratuvarlarında (OAL) Uygulanan NbS'ler için Kullanılan İzleme Yöntemleri

Ülke	Konum	Afet Türü	NbS	İzleme Yöntemleri
Avusturya	Aşağı Warten Vadisi, Tirol	Heyelanlar	- Optimize edilmiş orman yönetimi - Drenaj hendekleri - Geçici sızma alanları - Kontrollü kar birikimi	- TDR ile toprak nemi ölçümü - UAV ve uydu tabanlı uzaktan algılama - LiDAR, TLS, InSAR analizleri
Almanya	Aşağı Saksonya Wadden Denizi (Biyosfer Rezervi)	Taşkınlar	- Merkezi olmayan su tutma bölgeleri	- Mikro ölçekli LiDAR - Gerçek zamanlı su seviyesi sensörleri
Yunanistan	Sperchios Nehir Havzası	Taşkınlar ve Kuraklık	- Toprak sızma kapasitesinin artırılması	- Sürekli sızma izleme - Hidrolojik modelleme
İtalya	Po Nehir Havzası	Taşkınlar	- Nehir kıyısında sulak alan güçlendirmesi - Taşkın ovası restorasyonu	- Sulak alan genişlemesinin uzaktan algılanması - UAV tabanlı değerlendirmeler
İrlanda	Dodder Nehri, Dublin	Taşkınlar	- Sürdürülebilir Kentsel Drenaj Sistemleri (SuDS) - Taşkın riski yüksek bölgelerde alternatif bitki türleri	- Su hızı, yağış ve nehir seviyesi izleme - SAR ve optik veri kullanımı

Bu vaka çalışmaları, sağlam bir NbS performans değerlendirmesi için **yerel saha verilerinin uzaktan algılama ve model çıktılarıyla** birleştirilmesinin önemini vurgulamaktadır. LiDAR, SAR, UAV ve hidrometrik sensörlerin kullanımı, temel ekosistem süreçlerinin **hem yatay hem de dikey boyutlarda kapsamlı bir şekilde** izlenmesini sağlamaktadır.

6.3 NbS Etkinliği için Temel Performans ve Etki Göstergeleri (KPI'lar ve KII'lar)

Doğa temelli çözümlerin (NbS) değerlendirilmesinde kritik bir unsur hem kısa vadeli performansı hem de uzun vadeli etkileri yansıtabilecek uygun göstergelerin belirlenmesidir.

NEXT Black Sea Basin

Literatürde, Temel Performans Göstergeleri (KPI'lar) genellikle anlık ve ölçülebilir çıktılar olarak; Temel Etki Göstergeleri (KII'lar) ise daha geniş kapsamlı, uzun vadeli ekosistem ve toplumsal faydalar olarak tanımlanmaktadır (Kumar vd., 2021a). Bu göstergeler, ele alınan tehlikenin türüne göre uyarlanmalıdır. Aşağıda, her bir afet türü için en yaygın kabul gören KPI ve KII'ların özetlendiği yapılandırılmış tablolar sunulmaktadır.

Tablo 14. Taşkın Yönetiminde NbS için Temel Performans ve Etki Göstergeleri

Kategori	KPI'lar (Kısa Vadeli)	KII'lar (Uzun Vadeli)
Hidroloji	Tepe debisinin azalması (m ³ /s)	Taşkın sıklığının azalması (%)
Toprak ve Bitki Örtüsü	Sızma hızında artış (mm/saat)	Yeraltı suyu besleniminin artması (m ³ /yıl)
Altyapı Dirençliliği	Yüzey akışında azalma (%)	Altyapı onarım maliyetlerinde azalma (€)
Ekosistem Sağlığı	Sulak alan alanında artış (ha)	Biyçeşitlilik indeksinde iyileşme (%)
Toplumsal Hazırlık	Erken uyarı sistemlerinin etkinliği (%)	Taşkınlardan etkilenen kişi sayısında azalma (%)

Tablo 15. Heyelan Yönetiminde NbS için Temel Performans ve Etki Göstergeleri

Kategori	KPI'lar (Kısa Vadeli)	KII'lar (Uzun Vadeli)
Yamaç Dayanıklılığı	Yamaç hareketinde azalma (mm/yıl)	Heyelan görülme sıklığında azalma (%)
Toprak ve Bitki Örtüsü	Bitki örtüsü oranında artış (%)	Toprak erozyonunda azalma (ton/yıl)
Altyapı Dirençliliği	Yol ve binalarda hasar oranında azalma (%)	Ekonomik kayıplarda azalma (€)
Ekosistem Sağlığı	Kök güçlendirme indeksi (kN/m ²)	Toprak dayanıklılığında uzun vadeli artış (%)
Toplumsal Hazırlık	Heyelan müdahalesi konusunda eğitilmiş nüfus oranı (%)	Tahliye maliyetlerinde azalma (€)

Tablo 16. Kuraklık Yönetiminde NbS için Temel Performans ve Etki Göstergeleri

Kategori	KPI'lar (Kısa Vadeli)	KII'lar (Uzun Vadeli)
Su Tutma	Toprak neminde artış (%)	Yeraltı su seviyelerinde artış (m ³ /yıl)
Tarımsal Dirençlilik	Ürün veriminde artış (%)	Kuraklığa bağlı ürün kaybında azalma (€)
Ekosistem Sağlığı	Bitki sağlığı indeksi (NDVI)	Ekosistem dirençliliği puanında artış (%)
Toplumsal Hazırlık	Uygulanan su tasarrufu önlemleri oranı (%)	Su temin kesintilerinde azalma (%)
Ekonomik Etki	Sulama suyu kullanımında azalma (%)	Ekonomik tasarruflarda artış (€)

Bu göstergeler, NbS projelerinde performans değerlendirmesi ve raporlama için birer kıstas işlevi görerek uyarlanabilir yönetimi kolaylaştırır ve sonuçların paydaşlara iletilmesini sağlar.

6.4 NbS Etkinliğini Değerlendirmek için Modelleme Yaklaşımları

Modelleme yaklaşımları, NbS'nin çeşitli koşullar altındaki etkilerini simüle ederek izleme sistemlerini tamamlar. Bu sayede, müdahalelerin planlama, tasarım ve sonrasında değerlendirilmesi için öngörücü analiz yapılabilir. Modeller, tehlike türüne ve çözünürlüğe göre farklılık gösterir.

6.4.1 Taşkın Azaltımına Yönelik Modeller

NbS'nin taşkınlara karşı performansını değerlendirmede en yaygın kullanılan hidrolik modeller şunlardır:

- **MIKE SHE:** Yüzey ve yer altı akışını entegre şekilde simüle eden hidrolik model.
- **SWMM** (Yağmur Suyu Yönetim Modeli): Kentsel drenaj modelleri; yeşil çatılar ve geçirgen yüzeyler için ideal.
- **HEC-RAS:** Nehir sistemi modeli, kanal akışı ve taşkın ovası analizleri için kullanılır.
- **LISFLOOD-FP:** Büyük ölçekli nehir havzaları için taşkın su basma modeli.

Önemli bulgu: **Hibrit NbS + gri altyapı modelleri**, yalnızca yeşil ya da gri çözümlerden daha iyi performans göstermektedir (Kumar vd., 2021b).

6.4.2 Heyelan Riskini Azaltmaya Yönelik Modeller

Heyelan odaklı modeller, jeoteknik stabiliteyi bitki örtüsü ve hidroloji ile bütünleştirir. Öne çıkan modeller şunlardır:

- **PLAXIS:** Toprak ve yamaç deformasyonlarını simüle eden sonlu eleman modeli.
- **SHETRAN:** Erozyon ve stabiliteyi bütünleştiren dağıtılmış havza modeli.
- **tRIBS-VEGGIE ve SPRIn-SL:** Kök takviyesi ve hidrolojik etkileri simüle eden modeller.
- **Root Bundle Model (RBMw):** Köklerin aşamalı olarak başarısız olmasını Weibull dağılımı ile modele dahil eder.

Temel bulgu: Bitki örtüsünün mekanik ve hidrolik etkilerini tamamen bütünleştiren model sayısı sınırlıdır; bu, ele alınması gereken bir boşluktur (DiBiagio vd., 2024).

6.4.3 Kuraklığa Karşı Dirençliliğe Yönelik Modeller

Kuraklık için doğa temelli çözümleri değerlendiren modeller genellikle su dengesi ile bitki-su etkileşimlerini simüle eder:

- **MODFLOW:** Yeraltı suyu akışını simüle eder.
- **SWAT:** Uzun vadeli hidroloji ve arazi kullanımı planlaması için kullanılan Toprak ve Su Değerlendirme Aracı.
- **ACRU ve SIMGRO:** Tarımsal su kullanımını değerlendirir.
- **ParFlow-TREES:** Bitki terlemesi (transpirasyon) ve yeraltı suyu beslenimini izler.

Temel bulgu: Süreç temelli modeller, kuraklığa karşı dirençliliğin **uzun vadeli değerlendirmesi** için daha uygundur ancak veri gereksinimleri yüksektir (Kumar vd., 2021b).

6.4.4 Yangın Riskini Azaltmaya Yönelik Modeller

Yangın riskini azaltmaya yönelik uygulanan doğa temelli çözümler (NbS) arasında yeşil yangın şeritleri, tarımsal ormancılık sistemleri, yakıt yükü yönetimi ve mozaik bitki örtüsü yapıları yer almaktadır. Bu müdahalelerin modellenmesi; yakıt özelliklerini, meteorolojik değişkenleri ve topoğrafik unsurları içeren yangın davranışı simülatörlerine dayanmaktadır.

Yaygın olarak kullanılan modeller şunlardır:

- **FARSITE:** Farklı bitki örtüsü ve yönetim senaryoları altında yangının yayılımını değerlendirmek için kullanılan mekânsal olarak ayrıntılı bir yangın yayılım simülatörüdür.
- **FlamMap:** Arazi özelliklerine göre alev boyu, yangın hattı yoğunluğu ve tepe yangını potansiyeli gibi çıktılar sağlar.

NEXT Black Sea Basin

- **Prometheus:** Kanada ormanlarında kullanılan operasyonel bir yangın yayılım modelidir.
- **BEHAVEPlus:** Yüzey yangını davranışını simüle eder ve yakıt yönetimi uygulamalarının değerlendirilmesinde etkilidir.

Temel bulgular: Yangın davranış modellerinin, bitki örtüsü ve yakıt yükü verileriyle birlikte kullanılması; NbS müdahalelerinin yangın davranışını nasıl değiştirdiğini, alev boyunu nasıl azalttığını ve tepe yangınlarını nasıl önlediğini nicel olarak değerlendirmeyi sağlar. Ayrıca bu modellerin, yangın sonrası etkileri değerlendirmek için erozyon modelleriyle (ör. RUSLE, WEPP) bütünleştirildiği de görülmektedir (Kumar vd., 2021b).

6.4.5 Çığ Riskini Azaltmaya Yönelik Modeller

Çığ riskini azaltmaya yönelik NbS; çığ hatlarında ağaçlandırma, bitki örtüsüyle güçlendirilmiş kar çitleri ve kontrollü kar birikimi alanları gibi uygulamaları içerir. Bu tür müdahalelerin değerlendirilmesi, çığın oluşumu, yayılımı ve enerji dağılımını analiz edebilen dinamik modellere ihtiyaç duyar.

Öne çıkan modeller şunlardır:

- **RAMMS::AVALANCHE:** Çığ dinamiklerini (akış derinliği, yayılım mesafesi, çarpma basıncı gibi) simüle eden fizik tabanlı bir modeldir. Orman yapısını direnç faktörü olarak modele dahil edebilir.
- **Alpine3D:** Kar örtüsü ve enerji dengesi süreçlerini üç boyutlu olarak simüle eden bir modeldir; orman örtüsünün karın birikimi ve dönüşümü üzerindeki etkilerini bütünleştirir.
- **CBS (GIS) tabanlı modeller:** Ampirik modeller olup çığ tehlike bölgelerini haritalandırır ve ormanlık yamaçların çığın yönünü saptırma veya hızını azaltma üzerindeki etkilerini simüle eder.

Temel bulgular: Bitki örtüsüne dayalı NbS uygulamaları çığ hızını ve yayılım alanını azaltır. Ancak bu etkilerin doğru şekilde modellenebilmesi için orman yapısı, kar örtüsünün tabakalaşması ve arazi özelliklerine ilişkin hassas girdiler gereklidir (DiBiagio vd., 2024).

6.4.6 Moloz Akışı ve Çamur Seli Riskini Azaltmaya Yönelik Modeller

Moloz akışı riskine yönelik NbS; biyomühendislik teknikleriyle güçlendirilmiş yamaçlar, bitkilendirilmiş bariyerler, tortu tutma havzaları ve nehir yatağı ağaçlandırması gibi uygulamaları kapsar. Bu tür müdahalelerin modellenmesi hem hidrolojik tetiklenme süreçlerini hem de kütle hareketi dinamiklerini simüle edebilen araçlar gerektirir.

Öne çıkan modeller şunlardır:

- **RAMMS::DEBRIS FLOW:** Moloz akışının yönlenmesini, hızını ve tortu birikimini simüle eder. Bitki örtüsünün kanal pürüzlülüğü ve tortu tutma kapasitesi üzerindeki etkilerini değerlendirmede etkilidir.
- **FLO-2D:** Karmaşık topoğrafyalar üzerinden tortu yüklü akışları iki boyutlu olarak modelleyen bir araçtır.
- **DAN3D:** Yerel ölçekte müdahale planlaması için kullanılan, üç boyutlu moloz çığı (debris avalanche) analiz modelidir.
- **WEPP-SLIP ve HEC-HMS:** Yağış kaynaklı yamaç kaymalarını ve kanal akışını birlikte modellemek amacıyla kullanılan entegre modellerdir.

Temel bulgular: Hidroloji, yamaç stabilitesi ve bitki örtüsü parametrelerini bir araya getiren modeller, NbS'nin performansını en doğru şekilde değerlendirmektedir. Bitkilendirilmiş kontrol barajları ve köklerle güçlendirilmiş yamaçlar, tortu taşınımı ve akış zirvesinde ölçülebilir azalmalar sağlamaktadır (Kumar vd., 2021b; DiBiagio vd., 2024).

Tablo 17. Mevcut Modellemede Kullanılan Yaklaşımların Güçlü Yönleri ve Kısıtları (Kumar vd., 2021b)

Güçlü Yönler	Kısıtlar
Yüksek çözünürlüklü taşkın modelleri ayrıntılı topoğrafyayı yakalar	Yüksek veri ve hesaplama gereksinimleri
Modeller, uygulama öncesi ve sonrası karşılaştırmalar yapılmasına olanak tanır	Birçok model, birlikte fayda entegrasyonundan (ör. biyoçeşitlilik, ekonomi) yoksundur
Birleşik iklim-hidroloji modelleri, doğa temelli çözümleri gelecekteki senaryolar altında değerlendirir	Yerel müdahalelerden daha geniş ölçeklere genelleme yapmak zordur
Hibrit NbS—gri altyapı yaklaşımları, tek başına çözümlerden daha iyi performans gösterir	Ekonomik değerlendirme araçları henüz yeterince geliştirilmemiştir

Bu bölüm, afet türleri arasında doğa temelli çözümlerin izlenmesi ve modellenmesine yönelik en güncel yöntemleri öne çıkarmıştır. Temel performans göstergeleri (KPI) ve temel etki göstergelerinin (KII) yüksek kaliteli simülasyon araçlarıyla birleştirilmesi, etkinliğin şeffaf ve bilim temelli biçimde değerlendirilmesini sağlar ve sürdürülebilir risk azaltımına yönelik stratejik yatırımlara rehberlik eder.

6.5 Masa Başı Literatür Taramasından Eğitim Temelli Değerlendirme Çerçevesine

Bu masa başı literatür taraması (Faaliyet 1.1) kapsamında ele alınan modeller, performans göstergeleri ve izleme çerçeveleri, kanıta dayalı değerlendirme sisteminin tasarımı için kritik bir temel oluşturmaktadır. Bu sistem, bir sonraki faaliyet olan “Faaliyet 1.4 – Doğa Temelli Çözümler Kapasite Geliştirme Eğitim Programının Geliştirilmesi ve Uygulanması” kapsamında geliştirilecektir. Özellikle, tehlike türüne özgü modelleme yaklaşımlarının (örneğin hidrolojik, hidrolik, yangın davranışı, çığ dinamikleri) belirlenmesi ile belgelenmiş etkinlik göstergeleriyle (KPI/KII) birleştirilmesi, sağlam ve bağlama duyarlı bir eğitim ve değerlendirme metodolojisinin oluşturulmasını destekleyecektir. Bu metodoloji, Gürcistan ve Türkiye’deki hedef belediyelerde doğa temelli çözümlerin (NbS) gerçek koşullar altındaki etkinliğini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Dolayısıyla, Faaliyet 1.1 kapsamında üretilen bilgi, uygulama aşamasında eyleme geçirilebilir, ölçülebilir ve aktarılabilir NbS temelli afet risk azaltma stratejilerinin birlikte geliştirilmesine doğrudan katkı sağlamaktadır.

Bir sonraki bölümde, bu araçların uygulanabilir çerçevelere entegre edilmesi için gerekli politika, yönetim ve çok paydaşlı mekanizmalar ele alınacaktır.

7. Uygulama Engelleri ve Kolaylaştırıcı Faktörler

7.1 Doğa Temelli Çözümlerin Uygulanmasında Engeller ve Kolaylaştırıcı Faktörler

Afet risk azaltımı için doğa temelli çözümlerin (NbS) uygulanması çok boyutlu bir zorluk alanı oluşturur; çünkü bu tür müdahaleler çoğu zaman kurumsal, teknik, finansal ve toplumsal kısıtlarla karşılaşmaktadır. Bu bölüm, şemsiye derleme ve mevcut çalışmaların bulgularını sentezleyerek, özellikle belediye düzeyinde etkili NbS uygulamaları önündeki yaygın engelleri ve bunlara karşılık gelen kolaylaştırıcı unsurları incelemektedir. Ayrıca, NbS’nin ölçeklenebilmesi için politika çerçevelerinin, bilgi platformlarının ve finansal araçların etkinleştirici rolüne de dikkat çekmektedir.

7.1.1 Kurumsal Engeller ve Yönetişimle İlgili Engeller

Parçalı yönetim yapıları, birbirinden kopuk politika çerçeveleri ve düzenleyici uyumsuzluklar, doğa temelli çözümlerin (NbS) benimsenmesinin önündeki en sık karşılaşılan engeller arasında yer almaktadır (Kumar vd., 2020). Afet risk yönetimi, arazi kullanım planlaması ve biyoçeşitliliğin korunması genellikle farklı kurumlar tarafından yürütülmekte; bu da sektörler arası sinerjilerin oluşmasını kısıtlamaktadır.

Ayrıca, birçok ulusal ve yerel düzenleme sistemi hâlâ ağırlıklı olarak gri altyapıya odaklanmakta, bu da NbS'nin meşruiyet kazanması ve yaygınlaştırılması önünde önemli zorluklar yaratmaktadır.

Kolaylaştırıcı Faktörler: NbS'nin ulusal uyum stratejilerine veya kentsel master planlara entegre edilmesi gibi üst düzey politika düzenlemeleri, kurumsal eşgüdümü kolaylaştırabilir. Sektörler arası çalışma grupları, bakanlıklar arası komiteler ve yerel NbS çalışma ekipleri, mevcut kurumsal ayrışmaları azaltabilir. Ayrıca, NbS'nin geçerli bir altyapı biçimi olarak yasal çerçevelerde (örneğin taşkın riski yönetmeliği kapsamında) tanınması ve standart kılavuzların oluşturulması, uygulamaların kurumsallaşmasını destekleyebilir (Han & Kuhlicke, 2019).

7.1.2 Ekonomik ve Finansal Kısıtlar

Doğa temelli çözümler (NbS), genellikle doğrudan piyasa değeriyle ölçülemeyen faydalar sağladıkları için bütçe kısıtlarıyla karşılaşmaktadır. Yüksek başlangıç yatırımları ve yatırım geri dönüş sürelerinin uzun olması, özellikle mali kaynakları sınırlı belediyelerde karar vericilerin bu tür çözümlere yönelmesini zorlaştırabilmektedir (Nelson vd., 2020).

Kolaylaştırıcı Faktörler: Ekosistem hizmetlerinin ekonomik olarak değerlendirilmesi, karbon tutma, rekreasyon ve biyolojik çeşitlilik gibi ortak faydaların hesaplamalara dâhil edilmesi ve NbS'ye özel maliyet-fayda modellerinin (örneğin InVEST, COAST) kullanılması ekonomik gerekçelendirmeyi güçlendirebilir. Yeşil tahviller, karma finans ve ekosistem hizmetleri için ödemeler (PES) gibi finansal yenilikler, daha sürdürülebilir finansman kaynaklarının oluşturulmasını mümkün kılmaktadır (Vicarelli vd., 2024).

7.1.3 Teknik Kapasite ve Bilgi and Eksiklikleri

NbS'in disiplinlerarası doğası, ekoloji, hidroloji ve mühendislik alanlarında uzmanlık gerektirir; ancak belediye planlama ekiplerinde bu beceriler sıklıkla eksiktir. Performans göstergelerinin, teknik standartların ve uzun vadeli izleme verilerinin sınırlı olması, planlamada belirsizlik yaratmaktadır (Han & Kuhlicke, 2019).

Kolaylaştırıcı Faktörler: Eğitim programlarıyla kapasite geliştirme, Açık Hava Laboratuvarları (Open-Air Laboratories, OALs) ve dijital araçların kullanımı, bu boşluğu kapatmaya yardımcı olmuştur. Oppla, PANORAMA ve Climate-ADAPT gibi platformlar, kanıta dayalı planlamayı destekleyen pratik araç setleri ve vaka çalışmalarını derlemektedir (Debele vd., 2019). OPERANDUM gibi AB projeleri, büyük ölçekli ve izlemeli NbS uygulamalarını deneyimleyerek aktarılabilir metodolojiler sunmuştur.

7.1.4 Sosyal ve Algısal Engeller

Kamunun NbS hakkında bilgi eksikliği, güvensizlik veya yanlış anlamaları direnç oluşmasına yol açabilir. Kentsel alanlarda NbS, arazi kullanımının yeniden düzenlenmesini veya mevcut kullanımlarda değişiklik yapılmasını gerektirebilir; bu da muhalefet yaratabilir.

Faydaların bazı gruplara, maliyetlerin ise başkalarına yüklenmesi algısı da kabulü zorlaştırır (Han & Kuhlicke, 2019).

Kolaylaştırıcı Faktörler: Katılımcı planlama, ortak tasarım ve paydaşların sürece dahil edilmesi kabulü ve ortak sahipliği artıran kanıtlanmış stratejilerdir. Uygulama projeleri, etkili iletişim ve görselleştirme araçları anlayışı ve güveni güçlendirir. Hava kalitesi, estetik değer veya istihdam yaratma gibi yerel faydaların vurgulanması, kamu desteğini genişletir.

7.2 Engeller ve Çözüm Önerilerine Genel Bakış

Tablo 18. NbS Uygulamasındaki Temel Engeller ve Önerilen Çözümler

Engel Kategorisi	Özel Sorunlar	Önerilen Çözümler
Yönetişim ve Politika	Parçalı düzenlemeler; zayıf koordinasyon	Yönetişim çerçevelerini güçlendirmek; sektörler arası iş birliği sağlamak
Bilgi ve Veri Eksiklikleri	Göstergelerin yokluğu; yetersiz izleme	Açık Hava Laboratuvarları (OAL) kurmak; standartlaştırılmış metrikler geliştirmek
Paydaş Katılımı	Sınırlı katılım; zayıf iletişim	Ortak tasarım süreçlerini uygulamak; paydaş odaklı süreçleri artırmak
Ekonomi ve Finans	Uzun vadeli faydaların görülmesi; kısa vadeli maliyet odaklılık	Ekosistem hizmetleri için ödeme (PES) mekanizmaları geliştirmek; hibrit finansman yöntemlerini kullanmak
Altyapı Entegrasyonu	Gri altyapı eğilimi; NbS performansının belirsizliği	Yeşil-gri yaklaşımları birleştirmek; izlemeye dayalı kanıtları artırmak

7.3 Bölgeye Özgü Bulgular

Avrupa Bağlamı: Avrupa'da karşılaşılan engeller arasında alan kısıtları, yerel düzeyde sınırlı finansman ve kurumsal atalet yer almaktadır. Kolaylaştırıcı faktörler olarak ise AB fonları (ör. LIFE, Horizon Europe), sektörler arası politikalar ve güçlü yasal zorunluluklar öne çıkmaktadır (Ferrario vd., 2024).

Gelişmekte Olan Ülkeler: Bu ülkelerde karşılaşılan sorunlar arasında sınırlı yönetim kapasitesi, kısıtlı finansman ve sosyo-politik direnç bulunmaktadır. Kolaylaştırıcı faktörler, topluluk temelli planlama, kapasite geliştirme ve karma finansman modellerini içermektedir (Lucatello vd., 2024).

7.4 NbS Uygulamasında Başarı için Temel Faktörler

1. Erken ve kapsayıcı paydaş katılımı
2. Entegre yönetim yapıları ve yasal zorunluluklar
3. Uyarlanabilir yönetim çerçeveleri
4. Uzun vadeli finansal mekanizmalar ve değerlendirme araçları
5. Teknik destek ve dijital platformlar

8. NbS'yi Destekleyen Politika ve Yönetişim Çerçeveleri

Doğa temelli çözümler (NbS), küresel, bölgesel ve ulusal düzeylerde modern çevre politikalarının, iklim uyum stratejilerinin ve afet risklerinin azaltılmasına yönelik yaklaşımların temel taşlarından biri haline gelmiştir. Bu bölüm, büyük ölçekli NbS uygulamaları için elverişli politika ortamı yaratan uluslararası ve Avrupa Birliği (AB) çerçevelerini, stratejik araçları ve yönetim mekanizmalarını kapsamlı biçimde incelemektedir. Ayrıca, politika hedeflerini uygulama düzeyine bağlayan, kanıta dayalı planlamayı ve sektörler arası eşgüdümü destekleyen dijital platformlar ve bilgi ağlarını da öne çıkarmaktadır.

8.1 NbS'ye İlişkin Uluslararası Politika Çerçeveleri

Sendai Afet Risk Azaltma Çerçevesi (2015–2030)

Birleşmiş Milletler Afet Risk Azaltma Ofisi (UNDRR) tarafından kabul edilen Sendai Çerçevesi (2015–2030), ekosistemlerin koruyucu rolünü açıkça tanıyan ilk küresel afet risk azaltma (DRR) anlaşmasıdır. Çerçeve, ülkeleri ulusal afet risk azaltma stratejilerine sulak alanları, ormanları ve doğal tampon bölgeleri entegre etmeye çağırarak ekosistem tabanlı afet risk azaltımını (Eco-DRR) teşvik etmektedir. NbS, “Dirençlilik için afet risk azaltımına yatırım yapmak” başlıklı Öncelik 3 ile uyumlu, maliyet etkin önleyici araçlar olarak vurgulanmaktadır. Örneğin, ağaçlandırma yoluyla yamaç stabilizasyonu ve nehir restorasyonu projeleri, bütünlük afet risk azaltma planlamasının bir parçası olarak desteklenmektedir (Vicarelli vd., 2024).

Paris Anlaşması (2015) ve Şarm El-Şeyh Uygulama Planı (2022)

Paris Anlaşması esas olarak sera gazı azaltımına (azaltım odaklı eylemlere) yönelse de ekosistem temelli yaklaşımlar aracılığıyla iklim uyumuna da vurgu yapmaktadır.

Birçok ülkenin sunduğu Ulusal Katkı Beyanları (NDC'ler), yeniden ağaçlandırma ve mangrov restorasyonu gibi doğa temelli çözümleri temel uyum mekanizmaları arasında göstermektedir. COP27 Şarm El-Şeyh Uygulama Planı ise iklim ve biyolojik çeşitlilik eylemleri arasında sinerji kurulmasını teşvik ederek, çoklu ortak faydalar sunan, pişman olunmayacak (no-regret) seçenekler olarak NbS'yi dolaylı biçimde öne çıkarmıştır (Nehren vd., 2023).

Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA'lar)

Bazı SKA'lar NbS'yi desteklemektedir; başlıca örnekler:

- **SKA 13 (İklim Eylemi):** Dirençlilik ve uyum kapasitesinin artırılmasına vurgu yapar.
- **SKA 15 (Karasal Yaşam):** Ekosistemlerin restorasyonu ve sürdürülebilir yönetimini destekler.
- **SKA 11 (Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar):** Kentsel dirençlilik için yeşil altyapıyı teşvik eder.

NbS, birden fazla SKA'ya aynı anda katkıda bulunarak çevresel, sosyal ve ekonomik kalkınma gündemleri arasında önemli politika bağlantıları yaratır.

UNEA-5 (Birleşmiş Milletler Çevre Asamblesi) Kararı (2022)

BM Çevre Asamblesi, IUCN (Uluslararası Doğa Koruma Birliği) tanımıyla uyumlu olarak NbS'yi resmi olarak tanımlayan bir karar kabul etmiştir ve NbS'nin ulusal kalkınma, iklim ve afet risk azaltımı stratejilerine dahil edilmesini teşvik etmektedir. Karar, NbS'yi SKA'ların gerçekleştirilmesi için kritik olarak tanımakta ve uygulanmalarına yönelik uluslararası uzlaşi ve meşruiyeti güçlendirmektedir (UNEA, 2022).

UNCCD ve CBD Çerçevesi

Birleşmiş Milletler Çölleşme ile Mücadele Sözleşmesi (UNCCD), arazi bozulmasının dengelenmesi (LDN) mekanizması aracılığıyla tarımsal ormancılık, su hasadı ve kurak arazi restorasyonu gibi NbS uygulamalarını desteklemektedir. **Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesi (CBD)** kapsamında geliştirilen 2020 Sonrası Küresel Biyoçeşitlilik Çerçevesi ise 2030 yılına kadar bozulan alanların %30'unun restorasyonunu hedeflemekte ve Ekosistem Temelli Uyumu (EbA)—temelde iklim dirençliliği ve afet risk azaltımı için NbS'yi—teşvik etmektedir.

8.2 Avrupa Birliği Politika Çerçevesi

AB, mevzuat düzenlemeleri, finansman mekanizmaları ve araştırma programları aracılığıyla doğa temelli çözümlerin (NbS) yaygınlaştırılmasında küresel bir lider konumuna gelmiştir (Kumar vd., 2020).

Öne Çıkan Stratejiler ve Direktifler

- **AB Yeşil Altyapı Stratejisi (2013):** Yeşil altyapının arazi kullanım planlamasına entegrasyonunu kapsayan Avrupa çapında bir çerçeve oluşturur ve ekosistem hizmetlerinin (ör. taşkın kontrolü, hava temizleme) sağlanmasını destekler.
- **AB 2030 Biyoçeşitlilik Stratejisi:** En az 25.000 km serbest akan nehir restorasyonunu ve 3 milyar ağacın dikilmesini hedefler; biyoçeşitlilik hedeflerini taşkın azaltma ve karbon tutma ile ilişkilendirir.
- **AB İklim Değişikliğine Uyum Stratejisi (2021):** NbS'yi temel uyum mekanizması olarak güçlendirir ve uyum planları ile finansman araçlarında sistematik olarak NbS'nin dikkate alınmasını sağlar.
- **Su Çerçeve Direktifi (2000):** Entegre su kaynakları yönetimi ve havza düzeyinde planlama yoluyla NbS'yi destekler.
- **Taşkın Direktifi (2007):** Doğal taşkın alanlarının restorasyonunu zorunlu kılar ve sürdürülebilir kentsel drenaj sistemlerini (SuDS) teşvik eder.
- **Kuraklık ve Su Kıtlığı Politikası (2007):** Doğal su tutma tedbirlerini (NWRM) ve sürdürülebilir arazi yönetimini teşvik ederek kırılganlığı azaltmayı amaçlar.

Mevzuat Desteği ve Finansman Araçları

AB, NbS gündemini şu araçlarla güçlendirmiştir:

- **Avrupa İklim Yasası (2021) ve Avrupa Yeşil Mutabakatı:** Karbon nötrlüğü ve dirençlilik hedeflerini destekleyen kapsamlı çerçeveler sunar.
- **LIFE Programı, Horizon Europe, AB Kurtarma ve Dirençlilik Mekanizması ile Ortak Tarım Politikası (CAP)** reformları: Ekosistem temelli uyum ve risk azaltımına önemli fonlar yönlendirir.

Hukuki Bağlantılar ve Referanslar

- Su Çerçeve Direktifi: [Direktif 2000/60/EC](#)
- Taşkın Direktifi: [Direktif 2007/60/EC](#)
- Yeşil Altyapı Stratejisi: [AB Yeşil Altyapı Stratejisi](#)
- Biyoçeşitlilik Stratejisi 2030: [AB Biyoçeşitlilik 2030](#)

8.3 Çok Düzeyli Yönetişim ve Kurumsal Mekanizmalar

Politika çerçevelerinin ötesinde, NbS'nin etkin uygulanabilmesi için sektörler arası yönetim şarttır. AB direktifleri, Nehir Havza Yönetim Planları ve Taşkın Risk Yönetim Komiteleri gibi kurumlar arası koordinasyon mekanizmalarının oluşturulmasını teşvik etmiştir. İtalya gibi bazı üye devletler, çevre bakanlıkları bünyesinde NbS çalışma grupları kurarken, Hollanda ve Almanya gibi ülkeler yerel yönetimler, STK'lar ve sivil toplumu bir araya getiren çok düzeyli platformları kullanmaktadır.

Bu yönetim mekanizmaları özellikle:

- Mekânsal planlama, ormancılık, tarım ve sivil koruma politikalarını uyumlu hâle getirmek,
- NbS'yi ulusal afet risk azaltımı ve uyum planlarına entegre etmek,
- Kurumsal siloların üstesinden gelmek ve yeşil altyapının uzun vadeli bakımını sağlamak için önemlidir.

8.4 NbS'yi Destekleyen Dijital Platformlar, Araçlar ve Bilgi Merkezleri

Dijital platformlar ve bilgi ağları, politika ile uygulama arasındaki boşluğu kapatarak, karar vericiler ve uygulayıcılara vaka çalışmaları, rehber setler ve etkileşimli araçlarla destek sağlar (Debele vd., 2019):

Tablo 19. NbS Uygulamalarını Destekleyen Önemli Platformlar

Platform	Kurum	Temel Özellikler	Hedef Kullanıcılar
Oppla	AB destekli	Vaka çalışmaları, "Ask Oppla" soru-cevap forumu ve NbS pazaryeri	Politika yapımcılar, araştırmacılar, uygulayıcılar
PANORAMA Solutions	IUCN, GIZ (Alman Uluslararası İşbirliği Kurumu)	Küresel vaka çalışmaları veri tabanı, aktarılabilir modüler "bina blokları"	STK'lar, plancılar, politika yapımcılar
ThinkNature	Horizon 2020	NbS el kitabı, web seminerleri, senaryo araçları ve paydaş diyalogları	Şehir plancıları, bölgesel yetkililer

NEXT Black Sea Basin

Urban Nature Atlas	NATURVATION	100 Avrupa şehrinde 1.000'den fazla NbS projesi, filtre ve profil seçenekleri	Şehir yetkilileri, mimarlar, DRR uzmanları
Dünya Bankası NbS Platformu (World Bank NbS Platform)	Dünya Bankası / Küresel Afet Azaltma ve İyileştirme Fonu (GFDRR)	Taşkın, kuraklık, erozyon ve kıyı koruma için NbS rehberleri	Proje yöneticileri, mühendisler (Küresel Güney)
Climate-ADAPT	Avrupa Çevre Ajansı / AB	Uyum seçenekleri, vaka çalışmaları ve politika destek araçları	Yerel yönetimler, ulusal otoriteler
Nature4Climate	Küresel koalisyon	Haritalama araçları, iklim-NbS ortak faydaları, hikâye anlatımı ve iletişim araçları	STK'lar, iletişim profesyonelleri

Bu platformlar statik bilgi depoları olmaktan öte, sürekli gelişen topluluklardır. Web seminerleri, eğitim oturumları ve teknik paylaşımlar sunarak yerel aktörlerin NbS'yi bağlama özgü, kanıta dayalı şekilde ölçeklendirmesine olanak tanır.

Politika ve yönetim çerçeveleri, NbS'nin afet risk azaltımı ve iklim uyumunda ana akım çözümler haline gelmesinde temel rol oynar. Uluslararası yükümlülükler (örn. Sendai, Paris, Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları), Avrupa direktifleri (örn. Taşkın Direktifi, Biyoçeşitlilik Stratejisi) ve finansman programları arasındaki sinerji, ekosistem temelli çözümlerin ölçeklenmesi için benzersiz fırsatlar sunar. Dijital platformlar ve yönetim inovasyonları, bu çabaları tamamlayarak ortak üretimi, bilgi paylaşımını ve kanıta dayalı uygulamayı destekler. NbS deneysel projelerden iklim dirençli kalkınmanın ayrılmaz bileşenlerine geçerken, sürdürülebilir siyasi kararlılık, düzenleyici netlik ve sektörler arası iş birliği, bu çözümlerin tam potansiyelinin açığa çıkarılmasında kritik öneme sahip olacaktır.

8.5 NbS'nin Hedef Belediyelere Uygulanabilirliği ve Aktarılabilirliği

Bu incelemenin bulguları, küresel ve Avrupa ölçeğindeki çalışmalarda belirlenen doğa temelli çözümlerin (NbS), Gürcistan ve Türkiye'deki hedef belediyelerin yerel koşullarına yüksek düzeyde uyarlanabilir olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Bu iki ülke; sel, heyelan, orman yangınları, çığ ve kuraklık gibi çok çeşitli iklim kaynaklı ve jeomorfolojik tehlikelerle karşı karşıyadır ve bu risklerin tümü bu raporda kapsamlı biçimde ele alınmıştır.

NEXT Black Sea Basin

Burada değerlendirilen NbS stratejileri, Akdeniz havzalarından Alp yamaçlarına, yarı kurak bölgelerden yoğun nüfuslu kentsel alanlara kadar farklı coğrafi, sosyo-politik ve iklimsel bağlamlarda tutarlı bir biçimde etkinlik göstermiştir.

NbS'nin uyarlanabilirliği büyük ölçüde şu unsurlara dayanmaktadır:

- **İklimsel ve jeomorfolojik benzerlikler:** Sunulan birçok örnek çalışma, Güney Kafkasya'dakilere oldukça benzeyen tehlikeler ve arazi tiplerini kapsamaktadır. Bunlar arasında ormanlarla kaplı dağ yamaçları, karstik araziler ve ani taşkın riski taşıyan havzalar yer almaktadır.
- **Modüler uygulama potansiyeli:** Yeşil koridorlar, bitkilendirilmiş hendekler ve kontrol barajları gibi doğa temelli çözümlerin modüler yapısı, yerel koşullara göre uyarlama olanağı sunmaktadır. Bu sayede, kırsal belediyelerde küçük ölçekli pilot uygulamalardan, daha geniş havza ölçekli planlamalara kadar farklı düzeylerde hayata geçirilebilirler.
- **Teknolojik ve metodolojik aktarılabilirlik:** SWAT, RAMMS, InVEST ve FLO-2D gibi modeller, farklı coğrafi bağlamlarda başarıyla uygulanmıştır. Bu modeller, veri mevcudiyetine ve mekânsal çözünürlüğe göre uyarlanabilecek biçimde tasarlandıkları için bölgesel koşullara uygun hale getirilebilmektedir.
- **Politika uyumluluğu:** Hem Gürcistan hem de Türkiye, Avrupa Birliği politikalarıyla uyumlu çevresel yönetim reformları yürütmektedir. Gürcistan'ın Ulusal Çevre Eylem Programı (NEAP) ve Türkiye'nin İklim Değişikliğine Uyum Stratejisi ve Eylem Planı, NbS ilkeleriyle örtüşen unsurlar içermektedir. Bu durum, politika düzeyinde NbS'nin ana akımlaştırılması ve uluslararası ya da AB kaynaklı finansman olanaklarına erişim açısından elverişli bir zemin oluşturmaktadır.

Bu unsurlar göz önünde bulundurulduğunda, bu masa başı çalışmasında öne çıkarılan doğa temelli çözüm (NbS) önlemleri yalnızca bilimsel olarak doğrulanmış değil, aynı zamanda hedef belediyelerde uygulanabilir sosyo-kurumsal koşullara da sahiptir. Bu önlemlerin belediye düzeyindeki iklim ve afet risk stratejilerine entegre edilmesi, ekosistem bozulması ve afetlere karşı kırılganlığın birleşik etkilerine yönelik ölçeklenebilir ve sürdürülebilir bir yanıt oluşturabilir. Ayrıca, bu masa başı literatür taramasından (Faaliyet 1.1) elde edilen bulgular, bir sonraki aşama olan Faaliyet 1.4 – Doğa Temelli Çözümler Kapasite Geliştirme Eğitim Programının Geliştirilmesi ve Uygulanması sürecini doğrudan beslemektedir. Bu kapasite geliştirme eğitimi, burada incelenen modelleri, izleme araçlarını ve performans göstergelerini hayata geçirerek Gürcistan ve Türkiye'deki yerel paydaşları NbS'nin uygulanmasına yönelik pratik yöntemler ve uygulamalı bilgilerle donatacaktır. Bu yaklaşım, yalnızca çözümlerin farklı bağlamlara aktarılabilirliğini değil, aynı zamanda uzun vadede benimsenmesini ve yerelleştirilmesini de güvence altına almaktadır.

Bu bulguların eğitim materyallerine entegre edilmesiyle, Faaliyet 1.4, çözümlerin yalnızca teoride aktarılabilir değil, aynı zamanda farklı biyofiziksel, idari ve sosyo-ekonomik koşullarda uygulamaya geçirilebilir olmasını sağlamaktadır.

9. NbS Uygulamalarının Ekonomik Fizibilitesi ve Finansman Mekanizmaları

9.1 Maliyet Etkinliğine Dair Kanıtlar

Doğa temelli çözümler (NbS), yalnızca ekolojik ve sosyal ortak faydalarıyla değil, aynı zamanda güçlü ekonomik performanslarıyla da giderek daha fazla kabul görmektedir. Vicarelli ve diğerleri (2024) tarafından yapılan kapsamlı araştırmaya göre, değerlendirilen çalışmaların %71'i NbS'nin afet risk azaltımı açısından maliyet-etkin olduğunu ortaya koyarken, ek olarak %24'ü belirli koşullar altında maliyet etkinliğinin sağlanabileceğini göstermektedir. Bu sonuç, incelenen çalışmaların toplam %95'inin, farklı afet türleri ve coğrafi bağlamlar genelinde NbS'nin ekonomik olarak uygulanabilir olduğunu doğruladığı anlamına gelmektedir. Bu bulgular, NbS'yi gri altyapı müdahalelerine karşı rekabetçi alternatifler veya tamamlayıcı yaklaşımlar olarak konumlandırmaktadır.

9.2 Ekonomik Fayda ve Yan Faydalar

NbS, hem doğrudan hem de dolaylı mekanizmalar aracılığıyla çok boyutlu ekonomik değer sağlar:

Doğrudan Risk Azaltma Faydaları:

- Doğal afetlerden (sel, kuraklık, toprak kayması, orman yangını) kaynaklanan ekonomik kayıpların azaltılması.
- Acil müdahale ve altyapı onarımına yönelik kamu harcamalarının düşürülmesi.
- Uzun vadeli altyapı bakım maliyetlerinin azaltılması.

Ekonomik Değeri Olan Yan Faydalar:

- Karbon tutumu: Karbon kredisi piyasalarına katkı sağlar.
- Su ve hava kalitesinin iyileştirilmesi: Arıtma maliyetlerini düşürür.
- Biyoçeşitliliğin korunması: Ekoturizmi ve kırsal geçim kaynaklarını destekler.
- Kamu sağlığı faydaları: Çevre kalitesinin iyileştirilmesi ve afetlere bağlı hastalıkların azalmasıyla ilişkilidir.

NEXT Black Sea Basin

- İstihdam yaratma: Özellikle ekosistem restorasyonu ve yeşil altyapı bakımında.
- Kentsel mülk değerlerinin artması: Restorasyon yapılan ekosistemler ve yeşil koridorlara yakın alanlarda.

Bu ekonomik yan faydalar, NbS'yi birden fazla kalkınma hedefine aynı anda ulaşmayı hedefleyen belediyeler için mali açıdan cazip hale getirmektedir.

9.3 NbS İçin Finansman Mekanizmaları

NbS'nin ölçeklendirilmesinde etkili finansman kritik öneme sahiptir. Bu amaçla birçok yenilikçi mekanizma geliştirilmiştir:

- **Ekosistem Hizmetleri için Ödeme (PES):** Arazi sahipleri ve yöneticiler, ekosistem hizmetlerini koruyan veya geliştiren faaliyetler için tazminat alır. PES uygulamaları, dünya genelinde havza koruma ve yeniden ağaçlandırma girişimlerinde başarıyla uygulanmıştır.
- **Yeşil Tahviller:** Sürdürülebilir çevre projelerini finanse etmeye yönelik finansal araçlardır. Bu tahviller, şehirler ve devletler için NbS projelerine sermaye sağlama imkânı sunar; yatırımcı getirileri ise çevresel sonuçlara bağlıdır.
- **Kamu-Özel Ortaklıkları (PPP):** Özellikle yatırım geri dönüşünün önlenmesi hasar maliyetleri veya artırılmış gayrimenkul değeri üzerinden hesaplanabildiği kentsel alanlarda, özel sektör yatırımı ve uzmanlığını kullanarak NbS projelerinin uygulanmasını sağlayan iş birliği modelleridir.
- **Sigorta Prim İndirimleri:** Bazı sigorta şirketleri, NbS ile korunan (ör. taşkın alanı restorasyonu) mülkler için prim indirimleri sunar; bu, NbS'nin risk azaltma potansiyelini tanıır.
- **AB Finansman Araçları:** Avrupa Bölgesel Kalkınma Fonu (ERDF), LIFE Programı ve Horizon Europe gibi mekanizmalar, NbS araştırmaları, uygulamaları ve çoğaltılmaları için önemli finansman sağlar.

Bu finansman mekanizmalarının yerel planlama süreçlerine ve ulusal iklim uyum stratejilerine entegre edilmesi, NbS uygulamalarının hayata geçirilmesini ve sürdürülebilirliğini artırır.

10. Belediye Düzeyinde NbS Uygulamalarına Yönelik Stratejik ve Operasyonel Öneriler

10.1 Stratejik Öneriler

Yapılan literatür taraması ve incelenen uluslararası vaka çalışmaları doğrultusunda, Gürcistan ve Türkiye'deki hedef belediyeler için aşağıdaki stratejik öneriler sunulmaktadır:

1. **Birden Fazla Tehlikeyi Kapsayan Planlama Yaklaşımını Benimseyin:** Etkinliği ve maliyet verimliliğini artırmak için sel ve kuraklık gibi birden fazla tehlikeyi aynı anda ele alan NbS tasarımları geliştirin.
2. **Hibrit Altyapılara Öncelik Verin:** Farklı tür ve şiddetteki tehlikelere odaklanmak için yeşil-mavi çözümleri mühendislik temelli (gri) altyapılarla entegre edin.
3. **Uzun Vadeli İzleme Sistemleri Kurun:** Temel göstergelere (KPI/KII) dayalı performans odaklı izleme çerçeveleri oluşturun ve bunları planlama ile uygulama süreçlerine entegre edin.
4. **Paydaş Katılımını ve Ortak Tasarımı Kurumsallaştırın:** Uygulamaların sahiplenilmesini ve etkinliğini artırmak için yerel toplulukları, su idarelerini, çiftçileri ve sivil toplum kuruluşlarını NbS'nin ortak tasarım süreçlerine dâhil edin.
5. **Uyarlanabilir Yönetişimi Teşvik Edin:** İzleme sonuçları ve değişen riskler doğrultusunda NbS uygulamalarında esnek ve yinelemeli düzenlemelere imkân tanıyan politika ve planlama araçları geliştirin.

10.2 Afet Türlerine Göre Uygulama Öncelikleri

Taşkın Yönetimi:

- Mümkün olan yerlerde sulak alanları restore edin ve taşkın yataklarını yeniden bağlayın.
- Yağmur bahçeleri, bitki yağmur hendekleri (bioswale) ve yeşil çatılar gibi kentsel yeşil altyapı çözümlerini uygulayın.
- NbS'yi içeren entegre yağmur suyu yönetim planları geliştirin.

Kuraklığa Karşı Dirençlilik:

- Merkezi olmayan yağmur suyu hasadı sistemleri kurun.
- Orman ve havza koruma yoluyla yeraltı suyu beslenme alanlarını koruyun.
- Suya duyarlı kentsel tasarım (WSUD) ve sünger şehir ilkelerini teşvik edin.

Heyelan Önleme:

- Eğimlerin stabilitesini artıran bitki örtüsünü koruyun ve yeniden ağaçlandırın.
- Stabil olmayan yamaçlarda canlı kazık dikimi ve bitkilendirilmiş geogrid gibi biyomühendislik yöntemlerini uygulayın.
- Toplum temelli izleme ve erken uyarı sistemlerini devreye alın.

Orman Yangını Riskinin Azaltılması:

- Tarımsal ormancılık uygulamalarıyla yeşil yangın şeritleri oluşturun ve yakıt yükünü yönetin.
- Kontrollü yakma ve geleneksel peyzaj yönetimi yöntemlerini kullanın.
- Yangına eğilimli ormanlarda ekolojik seyreltme çalışmalarını destekleyin.

Çığ Riskinin Azaltılması:

- Doğal bariyer işlevi gören ağaçlandırma alanları oluşturun ve koruyun.
- Bitki örtüsüyle kaplı saptırma bentleri ve kar çitleri kullanın.
- Erken uyarı sistemleri ve kar örtüsü izleme faaliyetleriyle birleştirin.

Moloz Akışı Kontrolü:

- Yukarı havzalarda bitki örtüsünü restore edin ve kontrol barajları inşa edin.
- Su yataklarını köklü bitkilendirme ve kıyı tampon bölgeleriyle stabilize edin.
- Yüksek riskli bölgelerde yağış eşiklerini ve toprak doygunluğunu izleyin.

10.3 Kapasite Geliştirme ve Bilgi Transferi

Bu önerilerin etkin bir şekilde uygulanabilmesi için belediyelerin:

- NbS tasarımı, izleme ve bakımına yönelik **teknik eğitime** yatırım yapması,
- Üniversiteler ve araştırma enstitüleri ile **kurumsal ortaklıklar** geliştirmesi,
- Afet riski, kentsel planlama ve çevre koruma alanlarını bütünleştiren **sektörel iş birliği grupları** oluşturması,
- Belediyeler arasında transnasyonal iş birliği yoluyla **bilgi ve deneyim paylaşımını** teşvik etmesi gerekir.

10.4 Literatür Taraması ile Kapasite Geliştirme Eğitimini Birleştirme

Bu literatür taramasının (Faaliyet 1.1) bulguları, doğrudan “Doğa Temelli Çözümler Kapasite Geliştirme Eğitim Programı”nın (Faaliyet 1.4) geliştirilmesine temel oluşturmaktadır. Burada ayrıntılı olarak sunulan stratejiler, modeller ve vaka çalışmaları, yerel eğitim modüllerinde uygulanacak aktarılabılır dersler ve değerlendirme araçları sunmaktadır. Bu sayede bilimsel kanıtlar ve pratik rehberlik, uygulanabilir bilgiye dönüştürülerek Gürcistan ve Türkiye’deki hedef belediyelerde bilinçli, toplum odaklı NbS uygulamalarıyla direnç geliştirilmesine katkı sağlamaktadır.

Kaynaklar

Aghaloo, K., Sharifi, A., Habibzadeh, N., Ali, T., & Chiu, Y. R. (2024). How nature-based solutions can enhance urban resilience to flooding and climate change and provide other co-benefits: A systematic review and taxonomy. *Urban Forestry & Urban Greening*, 128320.

Bogdzevič, K. (2023). Floods and nature-based solutions. A call for a legal approach. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 36, 100521.

Brasil, J., Macedo, M., Lago, C., Oliveira, T., Junior, M., Oliveira, T., & Mendiando, E. (2021). Nature-based solutions and real-time control: challenges and opportunities. *Water* 13 (5), 651.

Capobianco, V., Palau, R. M., Solheim, A., Gislås, K., Gilbert, G., Danielsson, P., & van der Keur, P. (2024). The potential use of nature-based solutions as natural hazard mitigation measure for linear infrastructure in the Nordic Countries. *Geoenvironmental Disasters*, 11(1), 27.

Dabas, M., & Molleti, S. (2024). A Critical Review of Existing Methods to Evaluate the Performance of Nature-Based Solutions (NBS) on Commercial Roofs (CR) to Mitigate Urban Flooding. *Water*, 16(5), 706.

Davids, P. R., Hartmann, T., Ferreira, C. S., Kalantari, Z., & Pereira, P. (2024). Multi-, inter-, and transdisciplinary approaches to nature-based flood risk management. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 38, 100537.

De Abreu, I. A., de Arimatéia Dias Valadão, J., & Da Silva, C. A. (2023). Nature-based solutions: literature review of the emerging field of sustainability in Brazilian academia. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 28(6), 32.

de Jesús Arce-Mojica, T., Nehren, U., Sudmeier-Rieux, K., Miranda, P. J., & Anhuf, D. (2019). Nature-based solutions (NbS) for reducing the risk of shallow landslides: Where do we stand?. *International journal of disaster risk reduction*, 41, 101293.

Debele, S. E., Kumar, P., Sahani, J., Marti-Cardona, B., Mickovski, S. B., Leo, L. S., ... & Di Sabatino, S. (2019). Nature-based solutions for hydro-meteorological hazards: Revised concepts, classification schemes and databases. *Environmental Research*, 179, 108799.

DiBiagio, A., Capobianco, V., Oen, A., & Tallaksen, L. M. (2024). State-of-the-art: Parametrization of hydrological and mechanical reinforcement effects of vegetation in slope stability models for shallow landslides. *Landslides*, 21(10), 2417-2446.

Dunlop, T., Glamore, W., & Felder, S. (2023). Restoring estuarine ecosystems using nature-based solutions: Towards an integrated eco-engineering design guideline. *Science of The Total Environment*, 873, 162362.

Eden, A., & Thorenz, F. (2024). Management of Wadden Sea Salt Marshes in the Context of Nature Conservation, Coastal Flooding and Erosion Risks: A Review. *Environments*, 11(9), 191.

Enu, K. B., Zingraff-Hamed, A., Rahman, M. A., Stringer, L. C., & Pauleit, S. (2023). Potential of nature-based solutions to mitigate hydro-meteorological risks in sub-Saharan Africa. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 23(2), 481-505.

Esraz-Ul-Zannat, M., Dedekorkut-Howes, A., & Morgan, E. A. (2024). A review of nature-based infrastructures and their effectiveness for urban flood risk mitigation. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 15(5), e889.

Fang, X., Li, J., Ma, Q., Zhou, R., & Du, S. (2024). A quantitative review of nature-based solutions for urban sustainability (2016–2022): From science to implementation. *Science of the Total Environment*, 172219.

Ferrario, F., Mourato, J. M., Rodrigues, M. S., & Dias, L. F. (2024). Evaluating Nature-based Solutions as urban resilience and climate adaptation tools: A meta-analysis of their benefits on heatwaves and floods. *Science of the Total Environment*, 175179.

Ferreira, C. S., Kašanin-Grubin, M., Solomun, M. K., Sushkova, S., Minkina, T., Zhao, W., & Kalantari, Z. (2023). Wetlands as nature-based solutions for water management in different environments. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 33, 100476.

Gebrael, K., Mitri, G., & Kalantzi, O. I. (2024). Overview of nature-based solutions for climate resilience in the MENA region. *Nature-Based Solutions*, 100159.

Gijssman, R., Horstman, E. M., van der Wal, D., Friess, D. A., Swales, A., & Wijnberg, K. M. (2021). Nature-based engineering: a review on reducing coastal flood risk with mangroves. *Frontiers in Marine Science*, 8, 702412.

Han, S., & Kuhlicke, C. (2019). Reducing hydro-meteorological risk by nature-based solutions: what do we know about people's perceptions?. *Water*, 11(12), 2599.

Hoegh-Guldberg, F., Visintin, C., Lentini, P., Selinske, M., & Bekessy, S. (2024). Where is nature in nature-based flood management? Biodiversity is not considered enough. *Science of The Total Environment*, 957, 177698.

Huang, Y., Tian, Z., Ke, Q., Liu, J., Irannezhad, M., Fan, D., ... & Sun, L. (2020). Nature-based solutions for urban pluvial flood risk management. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 7(3), e1421.

Inácio, M., Barboza, F. R., & Villoslada, M. (2023). The protection of coastal lagoons as a nature-based solution to mitigate coastal floods. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 34, 100491.

Kumar, P., Debele, S. E., Sahani, J., Aragão, L., Barisani, F., Basu, B., ... & Zieher, T. (2020). Towards an operationalisation of nature-based solutions for natural hazards. *Science of the Total Environment*, 731, 138855.

Kumar, P., Debele, S. E., Sahani, J., Rawat, N., Marti-Cardona, B., Alfieri, S. M., ... & Zieher, T. (2021a). An overview of monitoring methods for assessing the performance of nature-based solutions against natural hazards. *Earth-Science Reviews*, 217, 103603.

Kumar, P., Debele, S. E., Sahani, J., Rawat, N., Marti-Cardona, B., Alfieri, S. M., ... & Zieher, T. (2021b). Nature-based solutions efficiency evaluation against natural hazards: Modelling methods, advantages and limitations. *Science of the Total Environment*, 784, 147058.

Louarn, A., Meur-Ferec, C., & Hervé-Fournereau, N. (2025). The concept of 'nature-based solutions' applied to urban coastal risks: A bibliometric and content analysis review. *Ocean & Coastal Management*, 261, 107530.

Lucatello, S., & Alcántara-Ayala, I. (2024). Sustainable synergy: Strengthening disaster risk reduction in Latin America and the Caribbean through nature-based solutions. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 104860.

Mendonça, R., Roebeling, P., Fidélis, T., & Saraiva, M. (2021). Socio-economic models to assess and policy instruments to steer the impact of nature-based solutions: a review. *The Sustainable City XV*, 253, 551-564.

Moraes, R. P., Reguero, B. G., Mazarrasa, I., Ricker, M., & Juanes, J. A. (2022). Nature-based solutions in coastal and estuarine areas of Europe. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 829526.

Nadal-Romero, E., Llena, M., Cortijos-López, M., & Lasanta, T. (2023). Afforestation after land abandonment as a nature-based solution in Mediterranean mid-mountain areas: Implications and research gaps. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 34, 100481.

Nassary, E. K., Msomba, B. H., Masele, W. E., Ndaki, P. M., & Kahangwa, C. A. (2022). Exploring urban green packages as part of Nature-based Solutions for climate change adaptation measures in rapidly growing cities of the Global South. *Journal of Environmental Management*, 310, 114786.

Nehren, U., Arce-Mojica, T., Barrett, A. C., Cueto, J., Doswald, N., Janzen, S., ... & Walz, Y. (2023). Towards a typology of nature-based solutions for disaster risk reduction. *Nature-Based Solutions*, 3, 100057.

Nelson, D. R., Bledsoe, B. P., Ferreira, S., & Nibbelink, N. P. (2020). Challenges to realizing the potential of nature-based solutions. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 45, 49-55.

Oral, H. V., Carvalho, P., Gajewska, M., Ursino, N., Masi, F., Hullebusch, E. D. V., ... & Zimmermann, M. (2020). A review of nature-based solutions for urban water management in European circular cities: a critical assessment based on case studies and literature. *Blue-Green Systems*, 2(1), 112-136.

Orta-Ortiz, M. S., & Geneletti, D. (2022). What variables matter when designing nature-based solutions for stormwater management? A review of impacts on ecosystem services. *Environmental Impact Assessment Review*, 95, 106802.

O'Brien, C. M., Mossman, M., Chamberlain, L., Jenkins, J., Watson, J., Wilson, R., ... & Packman, A. I. (2024). Community-centered instrumentation and monitoring of nature-based solutions for urban stormwater control. *Frontiers in Water*, 6, 1370501.

Poratelli, F., Cocuccioni, S., Accastello, C., Steger, S., Schneiderbauer, S., & Brun, F. (2020). State-of-the-art on ecosystem-based solutions for disaster risk reduction: The case of gravity-driven natural hazards in the Alpine region. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 51, 101929.

Quagliolo, C., Roebeling, P., Mendonça, R., Pezzoli, A., & Comino, E. (2022). Integrating biophysical and economic assessment: Review of nature-based adaptation to urban flood extremes. *Urban Science*, 6(3), 53.

Radfar, S., Mahmoudi, S., Moftakhari, H., Meckley, T., Bilskie, M. V., Collini, R., ... & Moradkhani, H. (2024). Nature-based solutions as buffers against coastal compound flooding: Exploring potential framework for process-based modeling of hazard mitigation. *Science of The Total Environment*, 173529.

Rosmadi, H. S. B., Ahmed, M. F., Mokhtar, M. B., Halder, B., & Scholz, M. (2024). Nature-Based Solutions (NbS) for Flood Management in Malaysia. *Water*, 16(24), 3606.

Rowinski, P. M., Västilä, K., Aberle, J., Järvelä, J., & Kalinowska, M. B. (2018). How vegetation can aid in coping with river management challenges: a brief review. *Ecohydrol. Hydrobiol.* 18 (4), 345–354.

Sahani, J., Kumar, P., Debele, S., Spyrou, C., Loupis, M., Aragão, L., ... & Di Sabatino, S. (2019). Hydro-meteorological risk assessment methods and management by nature-based solutions. *Science of the Total Environment*, 696, 133936.

Skrydstrup, J., Löwe, R., Gregersen, I. B., Koetse, M., Aerts, J. C., de Ruiter, M., & Arnbjerg-Nielsen, K. (2022). Assessing the recreational value of small-scale nature-based solutions when planning urban flood adaptation. *Journal of Environmental Management*, 320, 115724.

Smith, A. C., Tasnim, T., Irfanullah, H. M., Turner, B., Chausson, A., & Seddon, N. (2021). Nature-based solutions in Bangladesh: evidence of effectiveness for addressing climate change and other sustainable development goals. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 737659.

Su, J., Wang, M., Razi, M. A. M., Dom, N. M., Sulaiman, N., & Tan, L. W. (2023). A bibliometric review of nature-based solutions on urban stormwater management. *Sustainability*, 15(9), 7281.

Turner, B., Devisscher, T., Chabaneix, N., Woroniecki, S., Messier, C., & Seddon, N. (2022). The role of nature-based solutions in supporting social-ecological resilience for climate change adaptation. *Annual Review of Environment and Resources*, 47(1), 123-148.

van Rees, C. B., Jumani, S., Abera, L., Rack, L., McKay, S. K., & Wenger, S. J. (2023). The potential for nature-based solutions to combat the freshwater biodiversity crisis. *PLoS Water*, 2(6), e0000126.

Vicarelli, M., Sudmeier-Rieux, K., Alsadadi, A., Shrestha, A., Schütze, S., Kang, M., ... & Mysiak, J. (2024). On the cost-effectiveness of Nature-based Solutions for reducing disaster risk. *Science of The Total Environment*, 174524.

Viti, M., Löwe, R., Sørup, H. J., Rasmussen, M., Arnbjerg-Nielsen, K., & McKnight, U. S. (2022). Knowledge gaps and future research needs for assessing the non-market benefits of Nature-Based Solutions and Nature-Based Solution-like strategies. *Science of the Total Environment*, 841, 156636.

Wittenberg, L., & Shtober-Zisu, N. (2023). Restoring fire-affected soils: The potential of nature-based solutions. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 36, 100520.

Yimer, E. A., De Trift, L., Lobkowicz, I., Villani, L., Nossent, J., & van Griensven, A. (2024). The underexposed nature-based solutions: A critical state-of-art review on drought mitigation. *Journal of Environmental Management*, 352, 119903.

Zanin, G. M., Muwafu, S. P., & Costa, M. M. (2024). Nature-based solutions for coastal risk management in the Mediterranean basin: A literature review. *Journal of Environmental Management*, 356, 120667.

Zhu, Q., Klaar, M., Willis, T., & Holden, J. (2025). A Quantitative Review of Natural Flood Management Research. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 12(1), e1765.