



sustainability



Madde

Kıyı Bölgelerinde İklim Değişikliğinin Etkilerinin Değerlendirilmesine Yönelik Çoklu Risk Metodolojisi

Valentina Gallina, Silvia Torresan, Alex Zabeo, Andrea Critto, Thomas Glade ve Antonio Marcomini

Özel Sayı

Güvenlik Açığı Değerlendirmesi ve Afet Riskinin Azaltılması

Düzenleyen

Dr. Michael Hagenlocher ve Dr. Zinta Zommers



<https://doi.org/10.3390/su12093697>



Madde

Kıyı Bölgelerinde İklim Değişikliğinin Etkilerinin Değerlendirilmesine Yönelik Çoklu Risk Metodolojisi

Valentina Gallina¹, Silvia Torresan^{1,2} , Alex Zabeo¹, Andrea Critto^{1,2}, Thomas Glade³ ve Antonio Marcomini^{1,2,*}

¹ Çevre Bilimleri, Bilişim ve İstatistik Bölümü, Ca' Foscari Üniversitesi Venedik, Via Torino 155, Mestre, 30172 Venedik, İtalya; vategallina@yahoo.it (VG); silvia.torresan@cmcc.it (ST); alex.zabeo@unive.it (AZ); critto@unive.it (AC)

² Fondazione Centro-Euro Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC), Risk Değerlendirmesi ve Uyum Stratejileri Bölümü, Via della Libertà 12, Marghera, 30175 Venezia, İtalya

³ Coğrafya ve Bölgesel Araştırma Bölümü, Viyana Üniversitesi, Universitätsstraße 7, A-1010 Viyana, Avusturya; thomas.glade@univie.ac.at

* Yazışma: marcom@unive.it ; Tel.: +39-(0)41-2348-548

Alındı: 19 Aralık 2019; Kabul Edildi: 24 Nisan 2020; Yayımlandı: 2 Mayıs 2020



Soyut: İklim değişikliği kıyı bölgelerini tehdit ediyor ve kıyı erozyonu ve su baskını gibi doğal ve insan sistemleri için önemli riskler oluşturuyor. Bu makale, farklı mekansal birimler ve zamansal ölçekler boyunca birden fazla iklimle ilgili tehlikeyi ve maruz kalma ve savunmasızlık faktörünü entegre eden çoklu risk yaklaşımını sunmaktadır. Çoklu tehlike değerlendirme, tehlikeler (deniz seviyesinin yükselmesi, kıyı erozyonu ve fırtına dalgası) arasındaki ilişkileri ve bunların ayrı olasılıklarını analiz etmek için bir etki matrisi kullanır. Çoklu savunmasızlık, maruz kalan alıcıların (sulak alanlar, plajlar ve kentsel alanlar) birden fazla göstergeye (kumullar, kıyı şeridi evrimi ve kentleşme oranı) dayalı olarak farklı tehlikelere olan duyarlılığını dikkate alır. Metodoloji, Kuzey Adriyatik kıyısına uygulanmış ve GIS haritaları ve istatistikleri aracılığıyla çoklu tehlike risklerinin bir sıralaması üretilmiştir. Sonuçlar, daha yüksek çoklu tehlike puanının (araştırılan tüm tehlikelerin varlığı anlamına gelir) kıyı şeridine yakın olduğunu, çoklu savunmasızlığın ise özellikle plajlar, sulak alanlar, korunan alanlar ve nehir ağızları için tüm vaka çalışmasında nispeten yüksek olduğunu vurgulamaktadır. Genel çoklu risk puanı, çoklu tehlikeye benzer bir eğilim gösterir ve plajların çoklu risklerden en çok etkilenen alıcı olduğunu gösterir (yüksek çoklu risk sınıflarında yüzeyin %60'ı). Kıyı belediyeleri ve yerel paydaşlar için uyum önceliklerinin ve kıyı bölgesi yönetim planlarının belirlenmesini desteklemek amacıyla risk istatistikleri geliştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: çoklu risk haritaları; Çok Kriterli Karar Analizi; iklim adaptasyonu; Kuzey Adriyatik kıyısı

1. Giriş

Günümüzde, afet riskinin azaltılması, sürdürülebilir kalkınma ve iklim uyumuna yönelik uluslararası ve Avrupa politikaları, sistemik risklere giderek daha fazla vurgu yapmaktadır [1]. Bütünsel risk yönetimine duyulan ihtiyaç ilk olarak Hyogo Eylem Çerçevesi'nde dile getirildi [2] ve ardından BM'nin Afet Riskini Azaltma Sendai Çerçevesinde onaylandı [3]. Ayrıca, çoklu tehlike risk yönetimi, 2015 Sonrası Kalkınma Gündemi tarafından Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri'ne (SDG) ve Binyıl Kalkınma Hedefleri'ne (MDG) ulaşmanın önemli bir yolu olarak kabul edilmiştir [4]. Benzer şekilde, Avrupa Sivil Koruma Mekanizması, çevreyi, toplumu ve ekonomiyi çoklu mekansal ve zamansal ölçeklerde etkileyen tüm doğal ve insan yapımı tehlikelerin ele alınmasının gerekliliğini vurgulamıştır [5]. Daha yakın zamanda, IPCC'nin 1,5 milyar yıllık küresel ısınmanın etkilerine ilişkin özel raporu-Sanayi öncesi seviyelerin üzerindeki C, dünyanın bazı bölgelerinin çeşitli tehlike türlerindeki eşzamanlı değişikliklerden giderek daha fazla etkilenebileceğini göstermektedir [6]. Bu nedenle, çoklu risk paradigması güç kazanıyor

iklim uyum politikaları içinde de önemlidir (örneğin, Avrupa Uyum Stratejisi [7]) ve Avrupa Yeşil Mutabakatı'nın belirlediği iddialı hedefler Yeşil Mutabakatı [8].

Çoklu risk değerlendirmesinin dayanıklılık ve sürdürülebilir kalkınma yolları oluşturmada büyük bir fark yaratabileceği kabul edilse bile, mevcut afet yönetimi ve iklim adaptasyonu uygulamalarında çoklu risk yönetiminin başarılması hâlâ büyük bir zorluktur [9].

Çoklu risk değerlendirmeleri, iklim değişikliğine ve birbiriyle etkileşim halinde olan çeşitli tehlikelere ve etkilere (örneğin deniz seviyesinin yükselmesi, kıyı erozyonu ve fırtına dalgası) karşı hassas olan kıyı bölgelerinde özellikle önemlidir [10,11]. Kıyı bölgelerinin iklim değişikliği ve doğal afetlere karşı kırılganlığını değerlendirmek ve yönetmek için çeşitli yöntemler ve araçlar (örneğin, kırılganlık endeksi ve göstergeleri, GIS tabanlı karar destek sistemleri) geliştirilmiş olsa da [12], farklı sistemleri ve sektörleri etkileyen birden fazla tehlike ve riskin entegre bir değerlendirmesi için kolayca uygulanamazlar. Dahası, bunlardan bazıları (örneğin, dinamik bilgisayar modelleri) veri yoğun olup, uzmanlaşmış bilgi ve karmaşık programların kullanımını gerektirir [13,14].

Son on yılda çoklu risk değerlendirmesine olan ilgi artmış olsa da (örneğin, [11,15]), özellikle farklı doğal ve insan kaynaklı tehlikeli olaylardan kaynaklanan risklerin değerlendirilmesini amaçlayan uygulama ve girişimlerde, iklim değişikliği topluluğunda hala birkaç uygulama örneği bulunmaktadır [16]. Bilimsel literatürde mevcut metodolojilerin ayrıntılı bir açıklaması, varsayımları ve sınırlamaları [17,18]. Araştırılan tehlikelerin/risklerin taranmasını temsil eden daha pratik yaklaşım, son kullanıcı ve uzman yargısına dayalı olarak risklerin ilk tahminine izin veren nitel çoklu risk yöntemidir (örneğin, [19–22]). Yarı nicel yöntemler (örneğin, ağırlıklı toplam ve neden-sonuç matrisleri), araçlar ve süreçler arasındaki ilişkilerin daha derin bir değerlendirmesini sağlar [22] ve risk altındaki unsurların maruziyetleri [23]. Son olarak, niceliksel çoklu risk yöntemleri (örneğin, olasılıksal yaklaşımlar, Bayes ağları ve aracı tabanlı modeller) çoklu risk dinamiklerinin daha sağlam bir analizine olanak tanır [19–22,24,25] daha karmaşık hesaplama modellerine dayalı [26–28].

Çoklu risk metodolojilerinin iklim kaynaklı etkilere uygulanmasıyla ilgili bilimsel zorluklar, toplumsal veya çevresel riske katkıda bulunan birden fazla tehlikenin birleşimini (yani bileşik olayları) ve bunların olasılığını anlamakla ilgilidir [29]. Ayrıca, güncel konular şunlarla ilgilidir: hem kademeli iklim değişikliklerinin hem de aşırı olayların etkilerinin değerlendirilmesi için temel değişkenlerin ve eşiklerin belirlenmesi; potansiyel olarak risk altında olan birden fazla unsurun ve bunların birbirleriyle olan bağlantılarının değerlendirilmesi; ve aynı hedefi birlikte veya art arda etkileyebilecek birden fazla tehlikeye karşı dinamik kırılganlığın değerlendirilmesi [16]. Son olarak, paydaşlar ve karar vericiler tarafından kullanılabilir ve kolayca anlaşılabilir çoklu risk bilgilerinin geliştirilmesi, sürdürülebilir uyum yollarını tanımlamak için kritik bir noktadır [9].

Kıyı bölgelerindeki bireysel tehlikelerin etkisini değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan geleneksel risk bazlı yaklaşımın ötesine geçilmesi (örneğin, [30–36]), bu makale, iklim değişikliğinin maruz kalan hassas sektörlerdeki birden fazla (etkileşimli) tehlike üzerindeki etkisini ölçmek için öncü bir Çoklu Risk Değerlendirmesi (MRA) metodolojisi sunmaktadır. Metodoloji şunlara olanak tanır:

- Mevcut ve gelecekteki iklim koşulları altında kıyı bölgelerindeki çoklu tehlike risklerinin değerlendirilmesi için ortak ölçütler ve operasyonel adımlar kümesinin belirlenmesi;
- farklı tehlike türlerine karşı risk altında olan doğal ve beşeri unsurların hassasiyetini sınıflandırmak; ve
- Çok Kriterli Karar Analizi (MCDA) kullanılarak bölgesel (ulusal altı) ölçekte sıcak nokta çoklu risk alanlarının göreceli bir sıralamasının sağlanması.

Aşırı veri toplama veya bilgisayar işleme kapasitesine ihtiyaç duymadan kıyı bölgelerinde kullanılmak üzere bir tarama risk aracı olarak tasarlanmıştır ve nihai hedefi karar alma uygulamalarında çoklu tehlike risk perspektifini ana akıma sokmaktır. Bir test vakasında MRA metodolojisinin uygulanması, seçili bir tehlike kümesi için birden fazla risk yolunun niceliksel olarak belirlenmesini, entegre edilmesini ve karşılaştırılmasını mümkün kılar ve kümülatif risk analizinin sektörler arası karar alma, iklime dayanıklılık ve uyum planlamasını iyileştirmek için nasıl yararlı olabileceğini gösterir.

Kuzey Adriyatik kıyısının pilot vakasını ve mevcut girdi verilerini sunduktan sonra (Bölüm2), makale çoklu risk metodolojisinin metodolojik adımlarını tanıtmaktadır (Bölüm3), sonuçların tartışılması (Bölümler4Ve5), ve sonuç sözleri (Bölüm6).

2. Kuzey Adriyatik Kıyı Bölgesi

MRA metodolojisinin uygulanması için düşünülen çalışma alanı (Şekil1) İtalya ile Slovenya arasındaki ulusal sınırdan Po Delta sisteminin güney kolunun ağzına (yani Po di Goro) kadar Kuzey Adriyatik bölgesinin İtalyan kıyısını kapsar. Adriyatik Denizi boyunca yaklaşık 286 km'lik bir genel uzunluk için Veneto ve Friuli Venezia Giulia Bölgelerinin kıyısını içerir [37]. 2 m yükseklik kontur çizgisinin altındaki alanı kaplar, toplam 3531 km² yüzey alanına sahiptir.2. Morfolojik bir bakış açısından, kıyı, Po Nehri Ovası'nın alçak tortul kıyılarından Trieste'nin kayalık ve yüksek kıyı şeritlerine kadar uzanan çeşitli kıyı arazi şekillerini içerir ve birkaç nehir ağzı ve lagün tarafından kesilir. Dahası, iklim değişikliğine karşı oldukça hassas olan birkaç çevresel ve sosyoekonomik sisteme ev sahipliği yapar (örneğin, Po Nehri Deltası, tarihi Venedik şehri, sulak alanlar ve uluslararası öneme sahip habitatlar). Bölgeyi etkileyen iklimle ilgili etkilere bazı örnekler, Venedik şehrinde aşırı sel olaylarının yoğunlaşmasıdır [38,39], özellikle 2018 ve 2019 sonbaharında çok büyük hasara yol açmıştır (www.comune.venezia.it). Ayrıca, kentsel alanlardaki yoğun yağış olayları ve buna bağlı seller [40] kıyı bölgelerinde su kalitesinin bozulması ve ekosistem hizmetlerinin kaybolması riski de var [41] ve deniz suları [42] bölge için giderek artan bir endişe kaynağıdır. Yapay korumaların yaygın olarak bulunmasına rağmen (örneğin, Po Nehri Deltası'ndaki deniz duvarları, dalgakıranlar, su altı savunmaları ve nehir kıyıları), kıyı taşkınlarının ve erozyonunun olası etkileri kıyı bölgesi yönetimi için büyük bir sorun olmaya devam etmektedir [43–45] ve iklim değişikliği nedeniyle gelecekte artması bekleniyor [46,47]. Bu nedenlerden dolayı, İtalya Çevre Bakanlığı Kuzey Adriyatik kıyısını iklim değişikliği ve deniz seviyesinin yükselmesinin etkilerine karşı oldukça hassas bir bölge olarak tanımladı [48]. Venedik'i yüksek gelgitlerden korumak için tasarlanan mobil bariyerler gibi çeşitli önlemler (yani 2021 yılı sonuna kadar tamamlanması gereken MOSE projesi) uygulansa bile:www.mosevenezia.eu) ve diğer doğal ve yarı doğal kıyı koruma türleri (örneğin, plaj ve kum tepeliklerinin beslenmesi, kumul restorasyonu ve doğal bitki örtüsünün kullanımıyla yeni kumulların oluşturulması) [49–54] Çalışma alanını korumak için halihazırda yerinde olan sürdürülebilir ve bütünlük kıyı planlaması, kara-deniz arayüzünde birbirini artıracak etkileri göz önünde bulundurarak güçlendirilmelidir [55].



Şekil 1. Kuzey Adriyatik kıyısının vaka çalışması alanı (Google Haritalar'dan uyarlanmıştır). Vaka çalışmasının koordinatları: enlem 44.728931–45.766326, boylam 11.572495–13.913956.

Kuzey Adriyatik bölgesinde tek tehlike risk değerlendirmelerine odaklanan son çalışmalardan farklı olarak (örneğin, [30,32,37,43,55-57]), bu çalışma, bölgesel (ulusal altı ölçek) kamuya açık veri kümelerini kullanarak, Kuzey Adriyatik kıyısındaki iklimle ilgili etkilerin kümülatif etkilerini analiz etmek için çoklu tehlike riski perspektifini benimsemiş yönünde ilk girişimdir.

2.1. Çoklu Risk Değerlendirmesi için Kuzey Adriyatik Veri Seti

Önceki araştırma projelerinden ve yerel kamu yetkililerinden (çoğunlukla Veneto ve Friuli-Venezia Giulia bölgesi) iklimle ilgili tehlikeleri karakterize etmek için grafik formatında veya veritabanında çeşitli veriler talep edildi ve alındı. Potansiyel olarak risk altında olan unsurlar (yani, alıcılar) ve bunların savunmasızlığı, Kuzey Adriyatik kıyı bölgesinde çoklu tehlike yaklaşımını uygulamak için gerekli olan tek tehlike senaryoları, Kuzey Adriyatik kıyısı için geliştirilen son risk değerlendirme çalışmalarından seçildi [34-36,56,58], Tablo'da özetlendiği gibi1.

Tabloda açıklanan tek tehlike haritaları1DECision Support SYstem for COastal climate change impact evaluation (DESYCO) tarafından uygulanan tek tehlikeli Bölgesel Risk Değerlendirmesi yaklaşımı izlenerek elde edildi [57]. Bu haritalar, etki modelleri tarafından üretilen bireysel tehlike ölçümlerini (örneğin, tahmini deniz seviyesi yükselme senaryoları ve dalga yüksekliği) yol (örneğin, bölgenin yüksekliği) ve zayıflatma faktörleriyle (örneğin, yapay korumalar) entegre ederek deniz seviyesi yükselmesi su baskını, fırtına dalgası taşkını ve kıyı erozyonundan etkilenen potansiyel alanları değerlendirdi. Değerlendirmede kullanılan etki modelleri hakkında özel bilgiler Umgiesser ve diğerlerinin çalışmalarında bulunabilir. [59], Carniel ve diğerleri. [60] ve Torresan ve diğerleri. [35].

Kuzey Adriyatik bölgesi için üretilen deniz seviyesi yükselmesi tehlike haritaları, 2100'de deniz seviyesi yükselmesi nedeniyle sular altında kalabilecek alanların belirlenmesine ve tehlike yoğunluğunun her bir ızgara hücresi üzerindeki tahmini su yüksekliğine göre sıralanmasına olanak tanımıştır [34]. Bu haritaların amacı, bölgesel ölçekte kamuya açık en yüksek doğruluktaki yükseklik verilerine dayanarak kıyı taşkınlarına maruz kalabilecek alanların kapsamına ilişkin ön bir bakış sağlamaktır. Değerlendirmede kullanılan Sayısal Yükseklik Modelleri (DEM'ler), sırasıyla 5 ve 10 m yatay çözünürlüğe sahip Veneto ve Friuli-Venezia Giulia bölgesel teknik ofislerinden türetilmiştir. Her iki DEM de teknik bölgesel haritalardan (eşitlik çizgileri ve yer kontrol noktaları) hazırlanmıştır. Risk değerlendirmesinde kullanılan tüm raster haritaların mekansal çözünürlüğünü homojenleştirmek için her iki DEM de, mezo ölçekli bölgesel risk değerlendirmeleri için uygun bir çözünürlük olarak kabul edilen 25 m'lik ızgara katmanlarına dönüştürülmüştür [61,62]. Kıyı ovasının düz jeolojisi göz önüne alındığında, orijinal verilerle karşılaştırıldığında önemli bir doğruluk kaybı olmadan mekansal enterpolasyon gerçekleştirildi. Ancak, daha kesin çoklu risk sonuçları elde etmek için, daha yüksek çözünürlüklü bir DEM'e (örneğin, Işık Algılama ve Mesafe Belirleme (LiDAR) verileri) veya nicel hidrodinamik modellere dayalı su baskını haritaları kullanılarak analizin iyileştirilmesi önerilir.

Ayrıca, çökme gelecekteki su baskını riskinin değerlendirilmesi için önemli bir faktör olsa da, özellikle Venedik Lagünü'nün ve Po Nehri Deltası'nın alçak kıyı ovaları için (yılda 1-2 mm değerlerinde) [63,64], bu faktör, Veneto ve Friuli-Venezia Giulia Bölgelerinin genel kıyısı için fenomeni haritalayan homojen verilerin eksikliği nedeniyle mevcut analizde dikkate alınamadı. Dahası, Rizzi ve diğerleri tarafından vurgulandığı gibi [58], geçmiş eğilimlere dayanarak geleceğe yönelik çökme değerlerinin ekstrapolasyonu, özellikle çökmenin ana nedenlerinin insan kaynaklı olduğu durumlarda, örneğin Kuzey Adriyatik kıyıları, büyük hatalara yol açabilir.

Fırtına dalgası haritaları, farklı tekrar periyotlarındaki (örneğin, 20, 50, 100, 200 ve 500 yıl) aşırı olaylar nedeniyle potansiyel olarak sular altında kalabilecek alanları tahmin etti. Astronomik ve meteorolojik gelgitlerin etkisine ek olarak, değerlendirme 2100'de deniz seviyesindeki artışın potansiyel etkisini, bölgenin yüksekliğini ve kıyı şeridinden uzaklığı da dikkate aldı [56].

Son olarak, Gallina ve diğerleri tarafından açıklandığı gibi [36], mevsimsel kıyı erozyon haritaları (yani ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış) dalgaların ve dip stresinin yanı sıra yapay korumaların varlığı ve denizden uzaklık da göz önünde bulundurulduğunda, 2070-2100 gelecek senaryosunda iklim değişikliği nedeniyle daha yüksek oranda kıyı erozyonuna maruz kalma potansiyeli olan kıyı alanlarını temsil eder [34,35].

Tablo 1.Kuzey Adriyatik kıyısı için çoklu risk değerlendirmesinde kullanılan tek tehlike senaryolarının özeti ve teknik açıklaması.

Tek Tehlike Haritası	Tanım	Teknik Özellikler
Deniz seviyesinin yükselmesi (kaynak:[35])	Sular altında kalan alanların haritaları (cm) 2100 yılı için öngörülen deniz seviyesi yükselme senaryolarına (mekansal çözünürlük 25 m) göre.	- Emisyon senaryosu: A1B SRES; - İklim zorlama modeli: EBU-POM (mekansal çözünürlük 28 km). - Etki Modeli: SHYFEM yüksek çözünürlüklü okyanus ve deniz sirkülasyon modeli (Mekansal çözünürlük: 2,5 km–50 m); - Referans dönemi: 1960–1990 - Zaman senaryosu: 2070–2100; - Tehlike metriği: 2100'deki tahmini deniz seviyesi (en düşük 17 cm, en yüksek 42 cm).
Fırtına dalgası (kaynak:[58])	Sular altında kalan alanların haritaları (cm) farklı fırtına dalgası dönüş dönemlerine ve deniz seviyesinin yükselme senaryoları (mekansal çözünürlük 25 m).	- Yöntem: Ortak Olasılık Yöntemi (JPM, Pugh ve Vassie 1979); Fırtına dalgası dönüş periyodu: 20, 50, 100, 200, 500 yıl; - Mekansal çözünürlük: 28 gelgit ölçüm istasyonu; - Tehlike ölçümleri: 2100'de tahmini deniz seviyesi (en düşük 17 cm, en yüksek 42 cm, SHYFEM etki modelinden), ortalama deniz seviyesi, astronomik ve meteorolojik gelgit (JPM'den).
Kıyı erozyonu (kaynak:[36])	Mevsimsel kıyı erozyonu tehlikesi haritaları 2070-2100 otuz yıllık dönemi için (mekansal alan: kıyı şeridinden 1 km uzaklıkta, mekansal çözünürlük 25 m).	- Emisyon senaryosu: A1B SRES; - İklim zorlama modeli: COSMO-CLM Bölgesel İklim Modeli (mekansal çözünürlük 14 km); Etki modeli: birleşik dalga-okyanus ROMS-SWAN modeli (mekansal çözünürlük: 5–2 km); Referans dönemi: 1960–1990 - Zaman senaryosu: 2070–2100; - Tehlike ölçümleri: dalga yüksekliği, dip gerilimi.

Tüm tek tehlike haritaları, A1B emisyon senaryosunu iklim zorlaması olarak ele alır ve daha yoğun A2 ve daha zayıf B1 hikaye ailelerine kıyasla ara bir durum temsil eder [65]. A1B projeksiyonları eşit derecede makul ve Temsili Konsantrasyon Yolu'nun (RCP) 6 [daha yeni simülasyonlarıyla karşılaştırılabilir[66], RCP4.5 ile RCP8.5 arasında bir ara zorlama yolu. Aslında, Eşleştirilmiş Model Karşılaştırma Projesi Aşaması (CMIP) 5 topluluğunun genel performansı [66] eski CMIP3 topluluğunun değerlerine benzer değerler gösterir [65] 1,7-4,4 aralığındaki ortalama küresel sıcaklık projeksiyonlarını göz önünde bulundurarak A1B ve 1.8-3.7 için C-RCP'ler için C [67,68]. Ayrıca, bu başvuruda kullanılan tahmini deniz seviyesi artışı (yani 42 cm), Emisyon Senaryoları Özel Raporu'na (18-52 cm aralığında, [65]) ve daha yeni RCP'lere (yani, [26-98 cm10]).

Deniz seviyesinin yükselmesi söz konusu olduğunda, hem dikkate alınan sera gazı emisyonları hem de karasal buz erimesinin dinamikleri hakkında yapılan varsayımlar nedeniyle gelecekteki projeksiyonlarda yüksek bir belirsizlik bulunmaktadır [45]. Mevcut uygulama, Kuzey Adriyatik Denizi için iklim ve yüksek çözünürlüklü okyanus/deniz sirkülasyonu modellerinden oluşan özel bir model zinciri tarafından üretilen deniz seviyesi yükselme projeksiyonlarını kullanır [34,35], deniz seviyesinin yükselmesi, fırtına dalgası ve kıyı erozyonu ile ilişkili sonuçların doğru bir şekilde değerlendirilmesine olanak tanır.

Hedeflerin (örneğin plajlar, sulak alanlar ve tarım alanları) mekansal desenini ve dağılımını karakterize etmek ve çalışılan alanda kümülatif iklim değişikliği etkilerine karşı çoklu kırılganlığın (örneğin bitki örtüsü, kentleşme yüzdesi ve korunan alanların varlığı) uygun göstergelerini tanımlamak için çeşitli fiziksel ve çevresel verilere ihtiyaç vardır. Kuzey Adriyatik kıyısının vaka çalışması alanına maruz kalma ve çoklu kırılganlık değerlendirmesinin uygulanması için mevcut veri seti Tablo'da özetlenmiştir.2.

Tablo 2.Kuzey Adriyatik kıyısındaki (VE, Veneto Bölgesi; FVG, Friuli-Venezia Giulia Bölgesi) maruziyet ve hassasiyetin karakterizasyonu için mevcut veri seti.

Veri seti	Mekansal Alan	Referans
Arazi örtüsü Haritası (1:10.000)	VE	VE Bölgesi, 2009
Arazi Kullanımı/Örtü Dinamiklerinin İzlenmesi (MOLAND) (1:25.000)	FVG	FVG Bölgesi, 2000
Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) (5 m)	VE	VE Bölgesi, 2007
Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) (10 m)	FVG	FVG Bölgesi, 2006a
	VE	VE Bölgesi, 2005
	VE	VE Bölgesi, 2008
Doğal rezervler, Bölgesel Parklar, Toplum Önemi Olan Alanlar (SIC)/ Özel Koruma Alanları (ZPS) (1:150.000)	VE	VE Bölgesi, 2006
	FVG	FVG Bölgesi, 2007
	FVG	FVG Bölgesi, 2008
Toprak tipi, Jeolojik harita (1:100.000)	VE	VE Bölgesi, 2009
Toprak tipi, Jeolojik harita (1:150.000)	FVG	FVG Bölgesi, 2006b
	VE	ISTAT, 2001
Nüfus ve Konut Sayımı	FVG	ISTAT, 2001

Tüm vaka çalışması verileri, çevresel çoklu risk metodolojisinin uygulanması için 25 m'lik nihai çözünürlüğe sahip homojen bir raster veri seti sağlamak amacıyla GIS mekansal operatörleri kullanılarak önceden işlendi.×Analiz ölçeğine ve mevcut veri setine göre, mümkün olan en yüksek ayrıntıyı temsil eden 25 m.

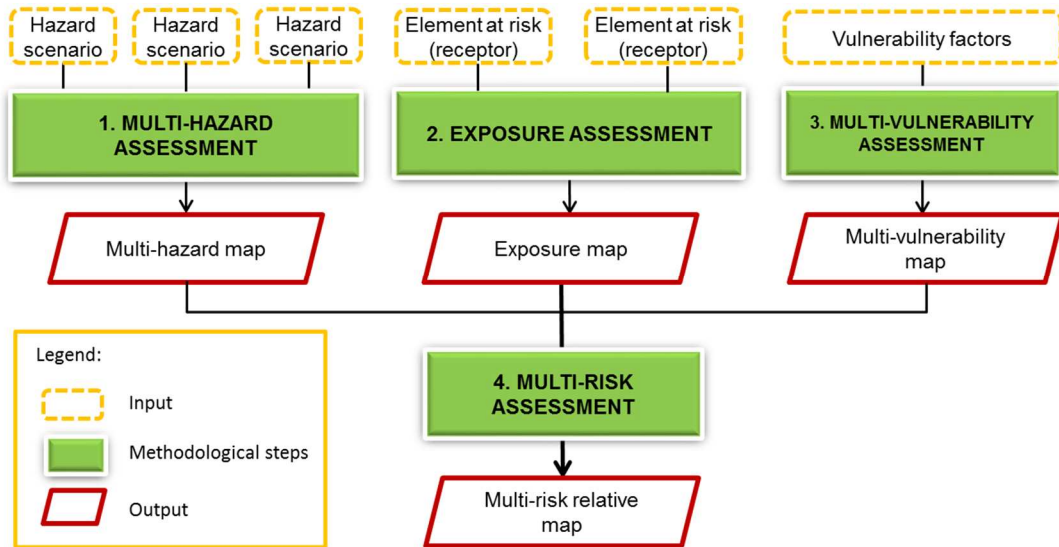
3. Doğal ve İklimle İlgili Etkilerin Değerlendirilmesinde Çoklu Risk Metodolojisi

MRA metodolojisinin temel amacı, iklimle ilgili tehlikelerin kümülatif etkilerini tahmin etmek, risk altındaki çok sayıda unsur (örneğin, plajlar, sulak alanlar, nüfus, kentsel ve tarımsal alanlar, vb.) üzerinde farklı tehlike türlerinden kaynaklanan risk altındaki alanları ve hedefleri tarayabilen hızlı bir değerlendirme aracı sağlamaktır. Bu tür metodolojilerin nihai hedefi, afet riskini azaltma ve iklimle uyum konusundaki en son uluslararası politikalarda iddia edildiği gibi, karar alma uygulamalarında çoklu tehlike riski perspektifini ana akıma sokmaktır [3-5,7].

Çoklu risk metodolojisi özellikle aşağıdaki hedefleri takip eder:

- Mevcut ve gelecekteki iklim değişikliği etkilerinin hassas doğal ve beşeri hedefler üzerindeki değerlendirilmesi için uygun çoklu tehlike riski ve hassasiyet göstergelerini belirlemek;
- bölgesel (ulusal altı) ölçekte iklim değişikliğiyle ilgili çoklu risklerden en fazla etkilenen alanların ve hedeflerin, uzman tabanlı Çok Kriterli Karar Analizi (MCDA) araçlarını kullanarak göreceli bir sıralamasını sağlamak; ve
- Yerel topluluklara ve paydaşlara (örneğin su, toprak ve kıyı yönetim otoriteleri) sürdürülebilir iklim adaptasyonu ve afet risk azaltma stratejilerinin tanımlanmasında yardımcı olmak.

IPCC'nin son tanımlarına uygun olarak [10,11], risk, iklimle ilgili tehlikelerin, maruz kalan sistemlerin (yani, risk altındaki unsurların) zayıflıklarıyla etkileşimlerinden kaynaklanan doğal ve insan sistemleri için olası olumsuz sonuçlar olarak kabul edilir. Dahası, kıyı risk değerlendirme topluluğu tarafından genellikle önerilen geleneksel tehlike bazındaki yaklaşımın ötesine geçmek (örneğin, [36,56,69–71]), bu makalenin risk çerçevesi, farklı tehlikelerin birbiriyle ilişkili olabileceğini ve potansiyel olarak farklı (tehlikeye bağlı) güvenlik açıkları ile öne çıkan çeşitli alıcıları (yani risk altındaki unsurları) etkileyebileceğini göz önünde bulundurarak çoklu risk perspektifini benimser. Özellikle, UNISDR tarafından önerilen son sözlüğe göre [72], çoklu tehlike, belirli bir bölge ve zaman diliminde aynı anda, ardışık olarak veya kümülatif olarak meydana gelebilecek tehlikeli (kronik veya akut) olayları ifade eder ve olası birbiriyle ilişkili etkileri hesaba katar; çoklu hassasiyet ise reseptörlerin duyarlılığının farklı tehlikelere göre nasıl değiştiğini dikkate alır [16]. Figür2MRA metodolojisinin dört ana adımını özetlemektedir: çoklu tehlikeler, maruz kalma, çoklu güvenlik açığı ve çoklu risk değerlendirmesi.



Şekil 2. Farklı iklim değişikliği ve doğal etkilerin değerlendirilmesinde çoklu risk metodolojisinin çerçevesi.

Sonraki alt bölümlerde açıklandığı gibi, MRA'nın her adımı, farklı ölçü birimlerine sahip heterojen girdi verilerinin (örneğin, iklim projeksiyonları, hidrodinamik simülasyonlar, kamuya açık arazi kullanımı ve jeo-biyofiziksel veriler) yönetilmesini gerektirir; bunlar önce coğrafi olarak referanslanır ve homojen ızgara haritalarına (raster veriler) dönüştürülür ve ardından farklı mekansal katmanlar arasında karşılaştırılabilirliği ve bunların MCDA ile birleştirilmesini sağlamak için normalleştirilir. Doğal tehlike ve çevresel risk değerlendirmesinde kabul görmüş bir uygulamaya göre [73], MRA'mız kaynak veya veri eksikliği nedeniyle tehlikelerin veya zayıflıkların niceliksel bir tahmininin elde edilemediği durumlarda uzman bilgisinin kullanımını entegre eder. Kuzey Adriyatik Kıyısı'ndaki MRA testinde yer alan uzmanlar esas olarak makalenin yazarlarıdır ve çevre bilimcileri, coğrafyacılar ve doğal tehlike ve iklim değişikliği risk uzmanlarından oluşan çok disiplinli bir ekibin yanı sıra,

Çok Kriterli Karar Analizi (MCDA) uygulaması. Uzmanların görüşleri öncelikle vaka çalışması alanındaki kıyı erozyonu ve taşkın tehlikesi risk değerlendirmesine ilişkin bilimsel literatür ve tarihsel verilerin incelenmesine dayanıyordu ve ardından hidrodinamik ve iklim modelleyicileri gibi ilgili alanlardaki diğer uzmanlarla ve ayrıca ulusal ve Avrupa projeleri çerçevesinde çeşitli çalıştaylara katılan bölgesel/yerel kıyı bölgesi yönetim otoritelerinden yerel paydaşlar ve bölge uzmanlarıyla (çoğunlukla inşaat mühendisleri) yapılan tartışmalarla tamamlandı (örneğin, FP7 CLIM-RUN ve PEGASO projeleri [74,75]). Analizin çıktısı (Bölümde sunulan çoklu risk haritaları ve istatistikler dahil)4) kapsamlı iklim adaptasyonu ve afet risk yönetimi stratejilerinin tanımlanmasını destekleyebilir.

3.1. Çoklu Tehlike Değerlendirmesi

Çoklu tehlike değerlendirmesi, genel riski artırabilecek olası etkileşimleri hesaba katarak, farklı tehlike türleri arasındaki potansiyel etkileri değerlendirir [76].

Aşağıdaki prosedürle gerçekleştirilir: (1) tehlikelerin ve analiz zaman çerçevesinin seçilmesi; (2) tehlike etkileşimlerini değerlendirin; (3) tehlike olasılıklarını analiz edin; ve 4) çoklu tehlike puanını toplayın ve normalleştirin.

MRA'da dikkate alınacak tehlikeler ve zaman dilimi, çalışmanın kapsamına ve veri kullanılabilirliğine bağlıdır. Tek tehlike ölçümleri iklim modellerinden (örneğin, sıcaklık veya yağış projeksiyonları) ve fiziksel etki modellerinden (örneğin, deniz seviyesinin yükselmesi, akıntı hızı ve dip stresi) türetilir [34,35] veya düşünülen bölgedeki önceki projelerden elde edilen tek tehlike senaryolarını inceleyerek. Seçilen metrikler tehlikenin yoğunluğunu (örneğin, su baskını için öngörülen su seviyesi ve kıyı erozyonu için dalga enerjisi) temsil etmeli ve iklim değişikliğinin etkisini (örneğin, temel senaryo ile gelecek senaryolar arasındaki anomaliler) yakalamalıdır.

Kuzey Adriyatik kıyısına yönelik analizimizde, 2070-2100 gelecek zaman dilimi için tehlike senaryoları önceki tek tehlike değerlendirmesinden alınmıştır (Tablo 1) ve ihtiyati bir yaklaşım izlenerek en kötü koşulları temsil etmek üzere MRA'da birleştirildi. Daha spesifik olarak, 2100'de 42 cm'lik daha yüksek deniz seviyesi yükselme projeksiyonu, daha aşırı fırtına dalgası olayı (500 yıllık tekrar süresi) ve kış kıyı erozyonu senaryosu (dip gerilimi ve dalga yüksekliği tehlike ölçümleri için en kötü deseni temsil eder) ile ilişkili olan çoklu tehlike değerlendirmesinde dikkate alındı. Farklı ölçü birimlerinde (örneğin, deniz seviyesi yükselmesi, dalga yüksekliği ve dip gerilimi) ifade edilen heterojen tehlike senaryoları, önce çalışma alanı üzerinde aynı 0-1 ölçeğinde normalleştirildi ve ardından tehlike etkileşimlerinin değerlendirilmesine entegre edildi.

Tehlikeler arasındaki ilişkilerin analizi (örneğin, bir tehlikenin aynı alanda ve aynı zaman penceresinde faaliyet gösteren başka bir tehlike tarafından nasıl olumsuz etkilenebileceği) bir tehlike etki matrisi aracılığıyla gerçekleştirilir [22] (Tablo S2). Bu matris, farklı tehlikelerin ne kadarını değerlendirir (H_{Ben}) birbirlerini (yani tehlikeler arasındaki sinerjileri) ağırlıklar vasıtasıyla etkilerler ($w_{bir,b}$). Örneğin, H_1 etkiler H_2 temsil edilen bir büyüklük ile $w_{1,2}$ ve tam tersi. Eğer sinerji arasında H_1 ve H_2 daha yüksektir (yani çok güçlüdür), $w_{1,2}$ 'lik maksimum değeri varsaymalı, araştırılan tehlikeler arasındaki eksik bir etkileşim ise en düşük değere (yani 0) çevrilecektir. Mümkün olduğunda, tehlike etkileşimlerinin nicel bir tahmini nicel bir şekilde ele alınmalıdır (örneğin, tehlikenin (birlikte) ortaya çıkmasının fiziksel modellemesi kullanılarak). Ancak, kaynakların ve verilerin sınırlı olduğu durumlarda, puanlar ve ağırlıklar genellikle bilimsel literatüre, mesleki sezgiye ve uzman yargısına göre atanır [72].

Bu uygulamada, bu makalenin yazarları tarafından temsil edilen bir çevre riski uzmanları ekibi etki ağırlıklarının atanmasını gerçekleştirdi (Tablo S5). Ağırlıklandırma prosedürü, Kuzey Adriyatik bölgesindeki fırtına dalgası taşkınları, deniz seviyesinin yükselmesi ve kıyı erozyonu riskleri hakkındaki son bilimsel kanıtlar dikkate alınarak gerçekleştirildi [35,36,58]. Süreçte yer alan nitel ve bireysel değerlendirmeler sonuçların geçerliliğini ve yeniden üretilebilirliğini sınırlayabilir. Tehlike etkileşimlerine ağırlık atamak için benimsenen ortak ölçeğin belirli bir miktarda özneliği ortadan kaldırdığını ve çoklu tehlike analizine güvenilirlik kattığını belirtmekte fayda var (Tablo S3).

Tablo S5, deniz seviyesindeki yükselmenin fırtına dalgası ve kıyı erozyonu etkisinden etkilenmediğini (yani etki ağırlığının 0'a eşit olduğunu) vurgulamaktadır, çünkü SHYFEM'in bu uygulama için kullandığı hidrodinamik model dikkate alındığında (Tablo 1), esas olarak atmosferik basınç ve rüzgarlarla ilgili bölgesel iklim değişkenleri tarafından zorlanmaktadır [35]. Bu nedenle, değerlendirmede dikkate alınan tehlike etkileri arasında fırtına dalgasını ve kıyı erozyonunu etkileyen deniz seviyesi yükselmesi ve kıyı erozyonunu etkileyen fırtına dalgası yer alır. Özellikle, deniz seviyesi yükselmesinin gelgit aralığı ve fırtına dalgalarının evrimi üzerinde güçlü etkileri olabileceği ve sel olaylarının yoğunluğunu artırabileceği için deniz seviyesi yükselmesinin fırtına dalgası olaylarına etkisine 0,8'e eşit bir etki ağırlığı atandı [11,58,77].

Deniz seviyesindeki yükselme aynı zamanda kıyı erozyonunu da etkileyecektir; ancak literatürde bu ilişkinin doğasıyla ilgili olarak hala tartışmalı çalışmalar bulunmaktadır (örneğin, [10,36,78,79]). Bu nedenle, deniz seviyesinin yükselmesi ile kıyı erozyonu arasındaki ilişkiye 0,5'e eşit bir etki ağırlığı atandı ve bu da araştırılan iki tehlikenin sahip olabileceği sinerjiye belirli ancak orta düzeyde bir önem sağladı. Son olarak, fırtına dalgası ile kıyı erozyonu arasındaki ilişkiye bakıldığında, 0,8'e eşit bir etki ağırlığı sağlandı. Aslında, fırtına dalgalarının kıyı erozyonu üzerinde sahip olabileceği etkiler bilimsel literatürde oldukça kesindir: bunlar plajın kaldırılma olasılığını ve oranını artıracaktır (örn. [2]).

Aynı mekansal birimler (yani, raster ızgara hücreleri) üzerinde etki eden tehlike etkileşimlerinin değerlendirilmesi daha sonra Tablo S4'teki İşlev 1'e göre gerçekleştirilir. Tehlikeler arasında ilişki yoksa, hücre başlangıç puanını korur. Aksi takdirde, çoklu tehlike ağırlıklı puan (H'_{Ben}) her hücrenin Çakışan tehlikelerin potansiyel sinerjisi göz önünde bulundurulduğunda, tehlike etkisi ile temsil edilen artış ağırlıklar. Normalleştirilmiş çoklu tehlike puanı sağlamak için (H'), tüm değerler (H'_{Ben}) ağırlıklı bir şekilde toplanır toplam (Tablo S4'teki Fonksiyon 2).

Daha sonra, uzman, mevcut tehlike verilerine dayanarak, aynı zaman diliminde (eş zamanlı olması gerekmez) tek tehlikelerin gerçekleşme olasılıklarını tanımlamalıdır. En iyi seçenek, olasılıkları sayısal modellemekten türetmektir, ancak ne yazık ki, iklim değişikliği projeksiyonları ve ilgili tehlikelerle ilişkili olasılıklar hakkında hala önemli bir bilgi eksikliği vardır [16]. İkinci seçenek, belirli bir zaman diliminde endişe yoğunluğuyla gerçekleşen geçmiş olayların analizini ele almaktır: olaylar ne kadar çoksa, ilgili tehlikenin olasılığı o kadar yüksektir. Ek olarak, geri dönüş periyodunun tersi, doğal tehlike risk değerlendirmesiyle ilgili birkaç çalışma ve direktif tarafından önerildiği gibi bir tehlike olayının olasılığını temsil etmek için kullanılabilir (örneğin, [73,80]). Ancak, her tehlike için olasılık tanımlanamıyorsa, en ihtiyatlı ve muhafazakar yaklaşım, araştırılan tehlikenin zaman diliminde kesin bir olay olduğunu varsayarak 1'e eşit bir olasılık puanı düşündürmektir. Kuzey Adriyatik kıyısındaki MRA'nın test uygulaması için, deniz seviyesinin yükselmesi ve kıyı erozyonu senaryolarına 1'e eşit bir değer atandı, çünkü bu fenomenler için tarihsel verilerden veya sayısal modellerden olasılıkları yeniden oluşturmak mümkün değildi. Bunun yerine, fırtına dalgası aşırı olayı için, dönüş periyodunun tersi (yani, $1/500 = 0,002$) çoklu tehlike değerlendirmesinde olasılık değeri olarak tanımlandı.

Tek tehlikelerin olasılıkları tanımlandıktan sonra, ayrı olasılık her hücreye uygulanarak toplam çoklu tehlike olasılığı değeri elde edilir. Her bir tehlikenin olasılığı genellikle 0 ile 1 arasında bir sayı olarak ifade edilir; burada 0 tehlikenin araştırılan hücreyi etkilemediğini (imkansız sonuç) ve 1 tehlikenin kesinlikle gerçekleşeceğini gösterir.

İşlev 3 (Tablo S4), tehlikelerin hem ayrı ayrı (yani tek bir tehlike) hem de H' veya H'_{Ben} hücreyi etkileyecektir veya aynı anda (örneğin, H' birlikte olur H'_{Ben} aynı hücrede). Buna göre, hücreyi etkileyen tehlikelerin sayısı ne kadar fazlaysa, toplam olasılık da o kadar yüksektir.

Çoklu tehlike değerlendirmesinin son adımı tehlike puanlarının ve olasılıkların toplanmasını hedefler. Bu nedenle, son puan normalleştirilmiş çoklu tehlike ağırlıklı puanın (H') ve Denklem (1)'e göre hücreyi etkileyen tehlikelerin meydana gelme olasılığı:

$$H_p = H' * P \quad (1)$$

Neresi H_i ilişkili olasılıkla birlikte çoklu tehlike puanıdır; H_i araştırılan hücrenin çoklu tehlike puanı $[0,1]$ 'de normalize edilmiş şekilde tartılır (İşlev 2); ve P_i araştırılan hücrenin ayırık olasılık fonksiyonuna (Fonksiyon 3) göre olasılığıdır.

Etki ağırlığının atanması, çalışma alanının her hücresi için ağırlıklı ve normalleştirilmiş çoklu tehlike puanı sağlayan Fonksiyon 1 ve 2'nin (Tablo S4) uygulanmasına olanak tanır. Çoklu tehlike haritasında (Bölüm 4.1), 0 ile 1 arasında değişir; burada 0, hücreyi etkileyen hiçbir tehlike olmadığı anlamına gelir ve 1, tehlike sayısının, ağırlıklarının, yoğunluklarının ve olasılıklarının nispeten daha yüksek olduğu hücreleri temsil eder.

3.2. Maruziyet Değerlendirmesi

Maruziyet değerlendirmesinin temel amacı, tehlikeler tarafından tehdit edilebilecek değerli doğal veya insan niteliklerini temsil eden risk altındaki tüm unsurları (yani alıcıları) belirlemektir [76]. Süreçte bölgenin çevresel kaynakları, fiziksel altyapısı, sosyoekonomik faaliyetleri ve insan sağlığı gibi tüm ilgili özellikleri dikkate alınır.

Maruz kalma puanı (v_e) aşağıdaki şekilde değerlendirilir:

$$v_e = \begin{cases} 0 & \text{Araştırılan hücrede reseptör yoksa bir veya} \\ 1 & \text{daha fazla reseptör varsa} \end{cases} \quad (2)$$

Bölgenin temel özelliklerine ve zayıflıklarına, analiz ölçeğine ve mevcut veri setine (Bölüm 2), Kuzey Adriyatik kıyısındaki maruziyet değerlendirme plajlar, nehir ağızları, sulak alanlar, korunan alanlar, doğal/yarı doğal sistemler ve tarım alanları gibi çevresel alıcılara odaklandı. Altyapı ve nüfus gibi ilgili sosyoekonomik unsurlar da analizde dikkate alındı ve kentsel alanlarda potansiyel risk noktaları olarak seçildi.

Bu adımın sonucu, araştırılan tüm reseptörlerin lokalizasyonunu ve coğrafi yayılımını, birden fazla reseptörün yer aldığı ve dolayısıyla daha fazla sosyoekolojik değerin potansiyel olarak risk altında olduğu alanları da içeren bir haritadır.

3.3. Çoklu Güvenlik Açığı Değerlendirmesi

Bu adımın temel amacı, vaka çalışması alanındaki alıcıların birden fazla tehlikeye karşı hassasiyetinin değerlendirilmesidir. Farklı risk unsurlarının varlığını ve bunların fiziksel-çevresel yatkınlıklarının (duyarlılıklarının) birden fazla doğal ve iklimle ilgili tehlikeden olumsuz etkilenmesini dikkate alır; bu da farklı alıcıların aynı riske karşı farklı şekilde duyarlı olduğu anlamına gelir [36].

Değerlendirme, birden fazla fiziksel ve çevresel kırılganlık faktörünün seçilmesi ve bir araya getirilmesine dayanmaktadır (v_f) reseptörlerin araştırılan farklı tehlikelere duyarlılığını temsil eder. Torresan ve diğerlerine göre [37], bu adım, ana sütunun analiz edilen alanı etkileyen seçilmiş doğal ve iklimle ilgili tehlikelerin bir envanteri olduğu ve ana satırın risk altındaki ana alıcıları listelediği bir kırılganlık matrisinin geliştirilmesi yoluyla gerçekleştirilir. Her alıcı için bir dizi kırılganlık faktörü (v_f , bir tehlike ile bir alıcı arasındaki kesişimdeki gri hücreler) farklı tehlikelere karşı kırılganlığı ölçmek için ilgili fiziksel, ekolojik ve sosyoekonomik parametreleri (örneğin, eğim, bitki örtüsü, sulak alan kapsamı ve kentleşme yüzdesi) temsil eden şekilde tanımlanır. Aynı bağıl puanlama sistemi ve kılavuz, nicel ve nitel kırılganlık faktörlerini, 0'ın kırılganlık olmadığını ve 1'in analiz edilen bölgedeki ve vaka çalışmasındaki maksimum kırılganlığı gösterdiği ortak bir ölçekte normalleştirmek için kullanılır (Tablo S3). Ardından, kırılganlık değerlendirme normalleştirilmiş v_f vaka çalışmasının her hücresi için. Bir hücre bir reseptörle karakterize edilirse (örneğin, R_1) bir tehlikeden etkilenen (örneğin, H_1), yalnızca biyofiziksel ve çevresel kırılganlık faktörleri ile ilgilidir H_1 ve R_1 matrisin dikkate alınır. Bir hücre iki veya daha fazla reseptör ve iki veya daha fazla tehlike ile karakterize edilirse, toplama işlemi tüm v_f sadece bir kez alınan reseptörler ve tehlikeler için tanımlanmıştır.

Ayrıca, bireysel kırılabilirlik faktörleri, seçili doğal ve iklimle ilgili tehlikelerle ilişkili kırılabilirliğin tahmininde göreceli önemlerini temsil edecek şekilde ağırlıklandırılabilir. Ek olarak, bu durumda uzmanlardan, yaygın bir 0-1 ölçeğine göre kırılabilirlik faktörlerine bir önem hiyerarşisi sağlamaları istenir (Tablo S3). Bu, belirli bir kırılabilirlik faktörünün (v_f) bir tehlike için oldukça önemli olabilir (örneğin, ağırlık 1) ve başka bir tehlike için çok daha az önemli olabilir (örneğin, 0,4).

Bu nedenle, bir kırılabilirlik faktörü için nihai ağırlık v_f , muhtemelen birkaç alıcının bir parçası ve birkaç tehlikeden etkilenen, her biri tarafından elde edilen ağırlıkların maksimumu olarak tanımlanır v_{fher} tehlikeyle ilgili olarak H_{Ben} .

Ağırlıklandırılmış güvenlik açığı faktörlerinin toplanması daha sonra "olasıksal veya" operatörünün uygulanmasıyla gerçekleştirilir [81], aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

$$v_f = \frac{\bigotimes_{|VWC|} (VWC)}{|VWC|} \quad (3)$$

Neresi:

v_f = Araştırılan hücrenin araştırılan etkiye(lere) karşı fiziksel ve çevresel çoklu kırılabilirlik puanı.

VWC = fiziksel ve kırılabilirlik faktörlerinin karşılık gelen ağırlıklarla ağırlıklandırıldığı set w_f, c . Onlar $VWC =$ $\bigotimes_{v_f \cdot w_f, c} v_f$ hücre c'de bulunan bir güvenlik açığı faktörüdür. $VWC =$ $\bigotimes_{v_f \cdot w_f, c} v_f$ hücre c'de bulunan bir güvenlik açığı faktörüdür.

Aşağıda "veya" operatörünün nasıl çalıştığına dair bir örnek gösterilmektedir (Denklem (4)):

$$\bigotimes_{Ben=1}^4 [F_{Ben} = F_1 \quad F_2 \quad F_3 \quad F_4] \quad (4)$$

Neresi

$F_{Ben} = Berth$ genel faktör F

$$\begin{aligned} F_1 & \bigotimes F_2 = F_1 + F_2 - F_1 F_2 = F_1 \\ F_1 & \bigotimes F_3 = F_1 + F_3 - F_1 F_3 = F_2 \\ F_2 & \bigotimes F_4 = F_2 + F_4 - F_2 F_4 = \bigotimes_{Ben=1}^4 [F_{Ben}] \end{aligned}$$

İlişkisel ve değişmeli özellikler nedeniyle, süreç tüm v_f vaka çalışmasının her hücresinde mevcut olanlar.

Bulanık "veya" operatörü, güvenlik açığı değerlendirme sürecinde muhafazakar bir yaklaşım uygulamak için kullanılır. Sadece bir güvenlik açığı faktörü (v_f) maksimum değer 1'i varsayar (örneğin, kumulların, çalılıkların ve aşınan kıyıların varlığı), genel çoklu kırılabilirlik endeksine daha yüksek puan 1 atanacaktır. Öte yandan, bir hücrede bulunan kırılabilirlik faktörleri ne kadar çoksa, düşük kırılabilirlik puanlarıyla bile, nihai çoklu kırılabilirlik o kadar büyük olur. Örneğin, bir hücrenin 3 v_f 0,2'lik bir puanla (örneğin, delta alanlarındaki büyük sulak alanların ilerlemesi), 0,6'lık nihai bir çoklu kırılabilirliğe neden olurlar.

Masa3 Kuzey Adriyatik kıyısı için geliştirilen çoklu kırılabilirlik matrisini gösterir. Kırılabilirlik faktörleri yalnızca fırtına dalgası ve kıyı erozyonu tehlikeleri dikkate alınarak belirlenmiştir, çünkü deniz seviyesindeki yükselmenin su baskını olayının tüm reseptörleri aynı şekilde etkileyeceği ve tüm su altındaki reseptörlerin kalıcı olarak kaybolmasına neden olacağı varsayılmıştır, yalnızca tehlike haritasında dikkate alınan hücrelerin yüksekliğine dayanarak. Bu nedenle, bölgenin her hücresinin deniz seviyesindeki yükselmeye karşı aynı kırılabilirliğe (yani 1'e eşit) sahip olduğu kabul edilmiştir.

Tablo 3.Kuzey Adriyatik kıyılarındaki vaka çalışmasına uygulanan çoklu güvenlik matrisi.

Çoklu Güvenlik Açığı Matrisi							
	Plajlar	Nehir Ağızlar	Sulak alanlar	Korunmuş Alanlar	Doğal ve Yarı doğal Sistemler	Tarımsal Alanlar	Kentsel Alanlar
Fırtına kabarmak	Eğim açısı	Eğim açısı	Eğim açısı	Eğim açısı	Eğim açısı	Eğim açısı	Eğim açısı
	Bitki örtüsü kapak	Bitki örtüsü kapak	Sulak alan tipolojisi	Bitki örtüsü kapak	Bitki örtüsü	Tarımsal kullanmak	
	Kıyı tipolojisi		Sulak alan kapsamı				
			Bitki örtüsü				
Kıyı Erozyon	Eğim açısı	Eğim açısı	Kıyı şeridi evrimi	Eğim açısı	Eğim açısı	Eğim açısı	Eğim açısı
	Kıyı tipolojisi	Kıyı şeridi evrimi	Sulak alan kapsamı	Kıyı şeridi evrimi	Bitki örtüsü	Tarımsal kullanmak	% ile ilgili kentleşme
	Kıyı şeridi evrimi	Ağız tipolojisi	Bitki örtüsü	Bitki örtüsü kapak			
	Kumullar	Bitki örtüsü kapak					
	Bitki örtüsü kapak						

Denklem (3)'ü uygulamak için, kırılabilirlik faktörlerinin sınıflandırılması ve puanlaması, yazarlar tarafından önceki çalışmalar dikkate alınarak sağlanmıştır [36,37] ve Tablo S6'da yer alan bilimsel literatür. Güvenlik açığı faktörlerinin derecelendirilmesinde kullanılan sınıflandırma ve varsayımlar Ek Malzemelerde (Tablo S6) özetlenmiştir.

Ayrıca, kıyı alanlarının çoklu kırılabilirliğindeki her kırılabilirlik faktörünün göreceli önemini tanımlamak için, Tablo S3'te sağlanan dilsel değerlendirmelere göre MCDA uzman ekibi tarafından ağırlıklar atandı. Bu süreç, özneliği ortadan kaldırma ve değerlendirmeye güvenilirlik katma eğilimindedir, araştırma topluluğu arasında ve bilginin son kullanıcılarına (örneğin, yerel yetkililer ve karar vericiler) yönelik sonuçların iletişimini iyileştirir. Ağırlıklandırma süreci, Kıyısız iklim değişikliği etki değerlendirmesi için DECision destek Sisteminin (DESYCO [74]). Masaya katılan yerel uzmanlar (inşaat mühendisleri ve kıyı jeologları dahil), ağırlıkların atanması sırasında görüşlerini etkileyen MRA'nın bazı ön sonuçlarının farkındaydı.

Genel olarak, yerel paydaşlar ve uzmanlar, FP7 araştırma projeleri CLIM-RUN ve PEGASO kapsamında makalenin yazarları tarafından düzenlenen bir dizi çalışmaya katıldılar. İlgili yayınlarda belirtildiği gibi [74,82], MRA'da yer alan yerel paydaşlar ve uzmanlar arasında Veneto ve Friuli-Venezia Giulia Bölgelerinde Entegre Kıyı Bölgesi Yönetimi (ICZM) için özel bir yetkiye sahip kamu kurumları (örneğin, çevre koruma ajansları, korunan alanların yöneticileri ve jeolojik araştırmaların ve bölgesel meteoroloji hizmetlerinin temsilcileri) yer aldı. Katılımcı süreç, anketler, yerel çalıştaylar ve odak grupları aracılığıyla dahil olan 37 kişiyi içeriyordu (Tablo S1). Paydaşların erken ve sürekli katılımı, MRA çerçevesinin geliştirilmesine ve iyileştirilmesine eşlik etti ve gelecekteki zaman senaryoları, coğrafi ölçek ve çözünürlük, tehlikelerin seçimi, alıcılar, kırılabilirlik faktörleri ve analizde dikkate alınacak risk eşikleri ve ağırlıkları açısından doğru araştırma sorularını çerçevelemek için çok yararlı olduğu ortaya çıktı. Dahası, gerçek son kullanıcıların ihtiyaçlarına yanıt veren ilgili araştırma ürünlerini (risk haritaları ve istatistikler) belirlemek yararlıydı.

Atanan ağırlıklar Tablo S7'de raporlanmıştır. Kıyı tipolojisi, eğim açısı ve kıyı şeridi evrimi, alıcıların kırılabilirliğinin değerlendirilmesi için diğerlerine kıyasla çok önemli jeofiziksel özellikleri temsil ettikleri için mevcut değerlendirmede daha yüksek ağırlıklar (yani 0,8) kazanmıştır.

kırılganlık faktörleri; bitki örtüsü ve kumulların orta-yüksek ağırlığa sahip olduğu kabul edildi (yani 0,6); ve ekolojik özelliklerle (yani sulak alan kapsamı, nehir ağızı, tarımsal kullanım ve sulak alan tipolojisi) ve kentleşme yüzdesiyle en ilgili olan kırılganlık faktörlerine sırasıyla orta ve düşük ağırlıklar (yani 0,5 ve 0,4) atandı.

Çoklu güvenlik açığı değerlendirmesinin sonucu bir haritadır (Bölüm4.3) Araştırılan bölgenin içsel özelliklerine göre birden fazla doğal ve iklimsel tehlikeye karşı daha savunmasız olan alanları vurgulamak.

3.4. Çoklu Risk Değerlendirmesi

Çoklu risk değerlendirmesinin temel amacı, çalışma alanını etkileyen kümülatif risklerin, analiz edilen tehlikelerin korelasyonu ve olasılıkları, risk altında olan birden fazla unsurun varlığı ve lokalizasyonu ve bunların farklı tehlike türlerine karşı kırılganlığı dikkate alınarak göreceli bir değerlendirmesidir [76].

IPCC'ye göre [10], tehlike, maruz kalma ve kırılganlık puanlarının toplanması, Denklem (5)'te gösterildiği gibi, vaka çalışmasındaki çoklu riskin değerlendirilmesine olanak tanır:

$$R=H \cdot ve \cdot vf \quad (5)$$

Neresi:

R =çoklu risk skoru;

H =ilişkili olasılıkla birlikte çoklu tehlike puanı (Denklem (1));

ve =araştırılan reseptörlerin coğrafi alanının birleşimine ilişkin maruz kalma puanı (Denklem (2)); ve

vf =Araştırılan hücrenin araştırılan etkiye(lere) karşı fiziksel ve çevresel çoklu kırılganlık puanı (Denklem (3)).

Önerilen çoklu risk denkleminde göre, bir veya daha fazla etkileşimli tehlike bir veya daha fazla alıcıyı etkileyebilir ve alıcıların kırılganlığı farklı tehlikelere göre değişebilir. Bu yaklaşım, belirli bir bölgeyi etkileyen çoklu tehlikeleri sistemik bir şekilde ele aldığından, tek tehlike risk değerlendirmesinden daha faydalıdır ve daha kapsamlı adaptasyon stratejilerinin tanımlanmasına olanak tanır [11].

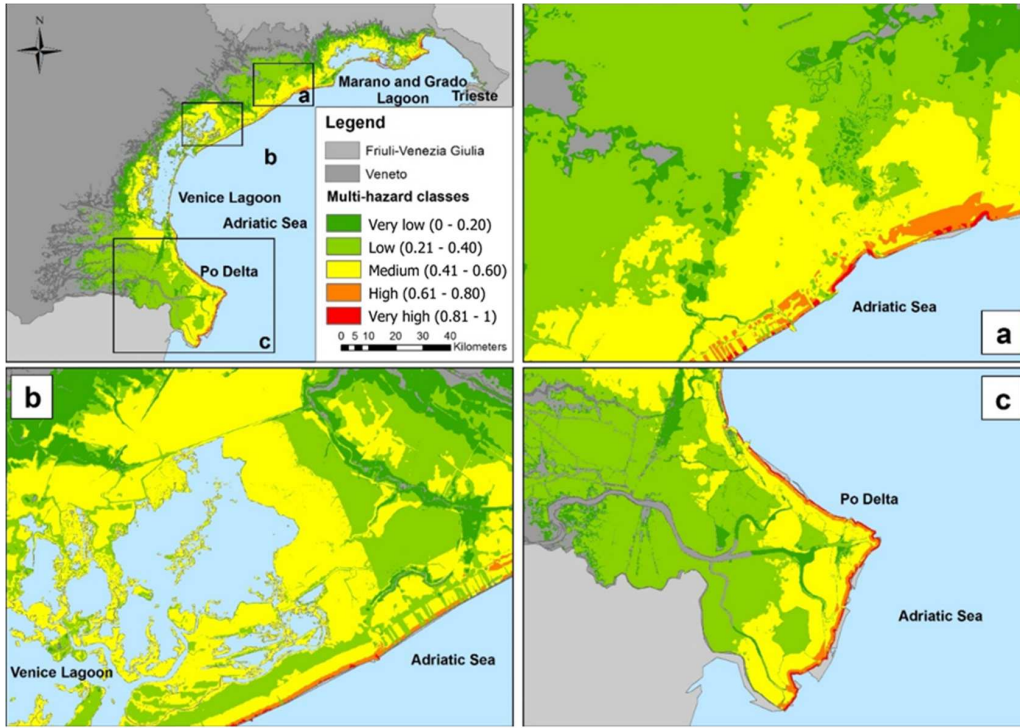
Çoklu risk denklemi, her adımın (çoklu tehlike, maruz kalma ve çoklu savunmasızlık) sonuçlarını toplar ve tek bir çoklu risk haritasında (Bölüm) farklı tehlike türlerinin nedenleri ve sonuçları hakkında genel bir görünüm sağlar.4.4).

4. Sonuçlar

Bu bölüm, Kuzey Adriyatik kıyısının pilot vakasına MRA uygulamasının sonuçlarını sunar, elde edilen çoklu risk haritalarını ve istatistiklerini ve iklim değişikliğine uyum ve afet riskinin azaltılması için olası politika çıkarımlarını açıklar. Bölümde açıklandığı gibi2.1, çoklu risk haritaları, Kuzey Adriyatik bölgesi için mevcut tek tehlike senaryolarının birleşiminden türetilmiştir. Kıyı erozyonu, fırtına dalgası taşkını ve deniz seviyesinin yükselmesiyle oluşan su baskını tehlikelerinin değerlendirilmesinde kullanılan tek tehlike haritalarına ilişkin özel ayrıntılar mevcuttur ve [adresinde bulunabilir35,36,58].

4.1. Çoklu Tehlike Haritaları

Çoklu tehlike değerlendirmesinin nihai sonucu (Şekil3) çalışma alanının yaklaşık %75'inin birden fazla iklimle ilgili tehlikeden etkilenebileceğini vurgulamaktadır. Çoklu tehlike haritası, puanların 5 eşit büyüklükteki sınıfa (yani çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek) bölünmesine izin veren eşit aralık yöntemi kullanılarak sınıflandırılmıştır. Eşit aralık, bir öznitelik değerinin diğer değerlere göre miktarını vurgulamak için veri aralıklarına en iyi şekilde uygulanır. Dahası, bu yöntem haritaların anlaşılmasını ve farklı senaryolar arasında karşılaştırılabilirliğini basitleştirmek için yaygın olarak kullanılır [83].



(BEN)

Tehlikeler	Vaka çalışması yüzey (Km) ₂	Vaka çalışması yüzde (%)
Deniz seviyesinin yükselmesi	811,77	22.95
Fırtına dalgası	454.60	12.86
Kıyı erozyonu	7.69	0,22
Deniz seviyesinin yükselmesi, fırtına kabarmak	1207.26	34.14
Kıyı erozyon, fırtına dalgası	65.86	1,86
Kıyı erozyon, fırtına dalgası, deniz seviyesi yükselmek	88.13	2,49
Hiçbir tehlike yok	901.04	25.48

(II)

Şekil 3. Kuzey Adriyatik kıyısının çoklu tehlike haritası (BEN) üç belirli alt alana odaklanarak (A-C); bir, iki veya üç tehlikeden etkilenen vaka çalışması alanının yüzeyi ve yüzdesi. Son satır, tehlikelerden etkilenmeyen vaka çalışması yüzeyini vurgular (II).

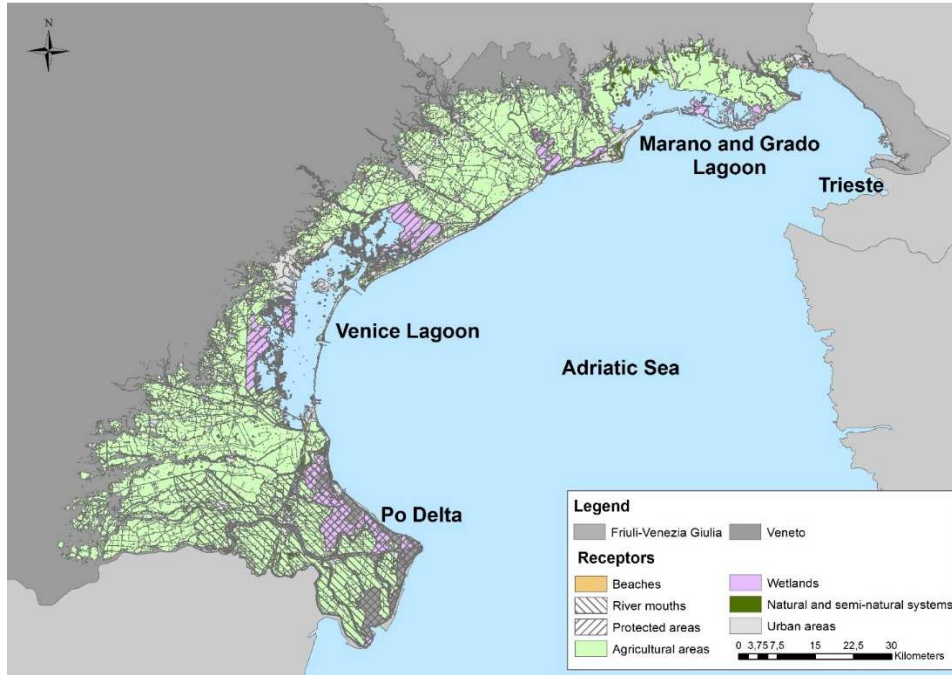
Şekildeki haritalardan Ben, daha yüksek çoklu tehlike sınıflarının, üç dikkate alınan tehlikenin (yani deniz seviyesinin yükselmesi, fırtına dalgası ve kıyı erozyonu) örtüştüğü kıyı şeridinin yakınında yer aldığını görmek mümkündür. Genellikle, çoklu tehlike kıyı şeridinden uzaklaştıkça azalır ve en yüksek puandan en düşük puana doğru kademeli olarak ilerler. Şekilde 3I(a,b), yapay korumaların varlığı kıyı şeridi yakınında çoklu tehlike puanını (çizgili etki) zayıflatır. Şekilde 3I, Venedik lagününün kuzey kısmını ifade eder (Şekilde 3I(b) ve Po Deltasının kırılma alanı (Şekilde 3I(c)). Bu alanlarda, yüksek ve çok yüksek çoklu tehlike sınıfları, kıyı erozyonu (Adriyatik Denizi'ne yakın), deniz seviyesindeki yükselme ve fırtına dalgası sürücülerinin ortak varlığını ifade eder.

Genel olarak, çoklu tehlike değerlendirmesi, birden fazla tehlikeden etkilenebilecek kıyı alanlarının belirlenmesine olanak tanır. Şekilde özetlendiği gibi3II, çalışma alanının yaklaşık %75'i (yani 2635 km2) farklı tehlikelerden etkilenecektir.2). Özellikle, %72'si bir veya iki tehlikeden (yani, daha düşük çoklu tehlike puanları) ve %3'ü (yani, daha yüksek çoklu tehlike puanları) üç tehlikenin hepsinden etkilenecektir.

Bu nedenle, çoklu tehlike haritası şunlar için yararlıdır: araştırılan kıyı tehlikelerinin genel bir resmini elde etmek; uzun vadede daha geniş planlama kararlarını desteklemek; ve çoklu tehlike sıcak noktalarını belirlemek. Dahası, tek tehlike katmanlarını araştırarak, bölgesel/alt bölgesel düzeyde sektörel planlama kararlarını desteklemek için kullanılabilir (örneğin, sel ve kıyı erozyonu haritalaması). Özellikle, gelecekteki iklim değişikliği senaryolarının etkisini entegre ederek, çoklu tehlike haritası, ileriye dönük analiz ve altyapı geliştirme, insan yerleşimleri ve ekosistem koruma ile ilgili uzun vadeli planlama kararları için önemlidir. Son olarak, bu bilgi, kıyı yöneticilerinin aynı bölgeyi etkileyen çoklu tehlikeler hakkındaki farkındalığını artırabilir, Avrupa Uyum Stratejisi tarafından açıkça talep edildiği gibi, afetlere ve iklim değişikliğine karşı daha yüksek düzeyde koruma ve dayanıklılık elde edilmesini destekleyebilir [7] ve 2015 Sonrası Kalkınma Gündemleri [3,4].

4.2. Pozlama Haritası

Maruz kalma haritası (Şekil4) Kuzey Adriyatik çalışma alanında risk altında olan araştırılan unsurların mekansal olarak görselleştirilmesine olanak sağlar.



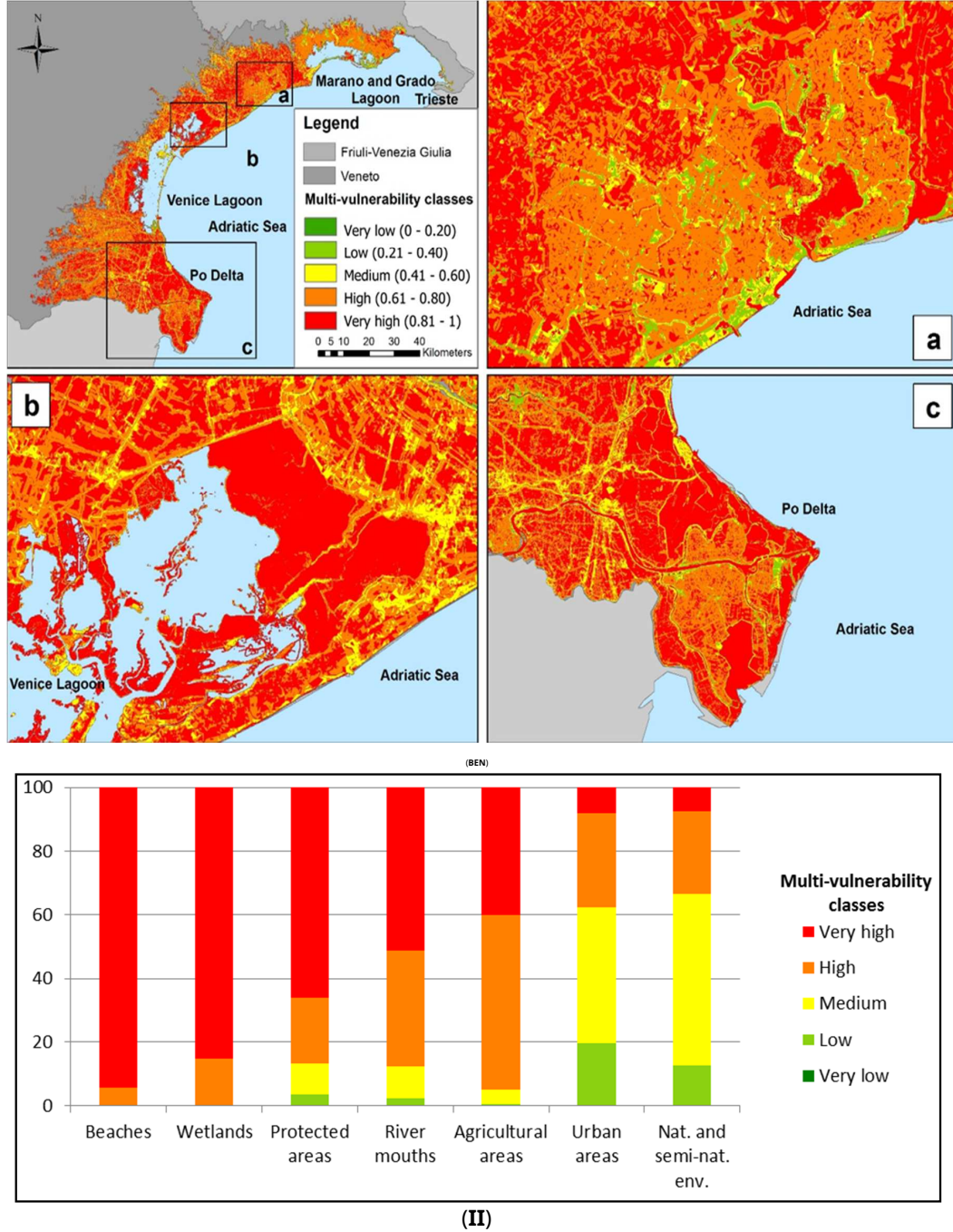
Şekil 4. Kuzey Adriyatik kıyısında çoklu risk değerlendirmesi için maruziyet haritası.

Bölgenin çoğu tarım alanlarıyla (yaklaşık %70'i açık yeşil) karakterize edilir ve bazı alanlarda korunan alanlar ve nehir ağızlarıyla (örneğin Po Nehri Deltası Doğal Rezervi) örtüşür ve korunması gereken karmaşık ve kırılgan ekosistemleri vurgular. Dahası, Kuzey Adriyatik kıyı alanının %11'i kentsel alanlarla (örneğin Venedik belediyesi ve Grado ve Marano lagünü çevresi) temsil edilir; bu alanlar altyapıları, binaları ve sakinleri içerir ve insanlara, ekonomik faaliyetlere ve çevreye zarar veren çoklu risklerden etkilenebilir. Yerel düzeyde önemli olan diğer küçük alıcılar (yani plajlar, doğal ve yarı doğal sistemler ve sulak alanlar) analiz edilir çünkü bunlar Kuzey Adriyatik kıyı alanı için önemli özellikler temsil eder ve bu bölgenin sosyoekolojik ve ekonomik önemini artırır. Genel olarak, maruziyetin değerlendirilmesi

Potansiyel olarak risk altında olan unsurların belirlenmesinde etkili (Bölüm4.4), örneğin, Sendai Afet Riski Azaltma Çerçevesi'nin gerektirdiği gibi, potansiyel olarak su basması riski altındaki alanlarda bulunan insan sayısı, binaların toplam yüzey alanı ve tarım arazileri (Hedefler A-C) [3].

4.3. Çoklu Güvenlik Açığı Haritası

Çoklu güvenlik açığı haritası (Şekil5) puanların beş eşit büyüklükteki sınıfa (yani çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek) bölünmesine izin veren eşit aralık yöntemi kullanılarak sınıflandırıldı [78].



Şekil 5.Kuzey Adriyatik Kıyısı için çoklu güvenlik haritası (BEN) ve üç belirli alt alana odaklanın (A-C); ve analiz edilen reseptörler için her çoklu güvenlik sınıfıyla ilişkili yüzey yüzdesinin dağılımı (II).

Figür5Genel olarak çoklu hassasiyetin tüm bölgede yüksek veya çok yüksek olduğunu vurgularım. Bunun nedeni, çalışma alanında düşük eğimli alanların yaygın olarak bulunması ve hassasiyet faktörü tarımsal kullanımı için daha hassas sınıf olarak kabul edilen ekilebilir arazilerin baskın olmasıdır (Tablo S6). Şekilde gösterildiği gibi5II, Bölümde tanımlanan risk altındaki unsurlar için savunmasız alanların yüzdesi de dahil olmak üzere savunmasız alıcıların sıralaması4.2) plajların, sulak alanların, korunan alanların ve nehir ağızlarının plajlar için %95'ten (yaklaşık 13 km) başlayan çok yüksek bir çoklu hassasiyet puanına sahip olduğunu gösterir2) nehir ağızları için %52'ye (yaklaşık 422 km)2), tarım alanları ise yüzeyin %54'üyle en yüksek çoklu kırılganlık sınıfında yer almaktadır. Ek olarak, kırılganlık faktörü "kentleşme yüzdesi" (Tablo S6), özellikle derecelendirmenin %10'dan yüksek olduğu yerlerde, örneğin Venedik lagününün iç kesimlerinde, çoklu kırılganlık puanını artırmada önemli bir rol oynamaktadır.

Kuzey Adriyatik bölgesinde düşük ve çok düşük çoklu kırılganlık sınıflarının nadir olduğunu, bunların yüzdesinin %1'den az (korunan ve kentsel alanlar için) ile yaklaşık %20 (örneğin, daha dik yamaçlara ve daha düşük kentleşme yüzdesine sahip Trieste yakınlarındaki kentsel alanlar için) arasında değiştiğini belirtmekte fayda var.

Son olarak, genel olarak çoklu hassasiyet sıcak noktalarının Po Deltası'nda ve korunan alanlar, nehir ağızları ve sulak alanlar gibi açık hassas alıcıların üst üste bindiği Venedik lagününde bulunduğunu görmek mümkündür. Korunan alanlar, farklı Avrupa direktifleri (örneğin, Nature 2000 ağı ve Habitat ve Kuş Direktifleri) için ekolojik ve biyolojik çeşitlilik alakaları nedeniyle oldukça hassastır.

Kara çökmesinin alçak kıyı ovalarında deniz girişini hızlandırabileceğini kabul ediyoruz. Bu nedenle, çökme oranlarına ilişkin veriler çoklu hassasiyet değerlendirmesinde dikkate alınmalıydı. Kuzey Adriyatik Denizi'nin İtalyan kıyısı, bazı yerel batma sıcak noktalarıyla birlikte dağınık ve düzensiz dikey kara hareketleriyle karakterizedir [46]. Veneto Bölgesi'nde, Venedik şehri ve lagünü özellikle toprak çökmesine karşı savunmasızdır [84], büyük yerel değişkenlikle [85]. Tarihi Venedik şehri ve merkezi lagün nispeten istikrarlı olsa da (yılda ortalama 1-2 mm'lik bir kara çökmesiyle), lagünü çevreleyen kuzeydoğu kıyı şeridi daha yüksek çökme oranlarıyla (yılda 4-6 mm) karakterize edilir. Dahası, lagün girişlerinde bazı sıcak noktalar (yılda 30 mm'ye kadar) gözlemlenebilir; burada MOSE çalışmalarının yeni yapıları (yani, şehri yüksek gelgitlerden korumak için tasarlanmış mobil bariyerler) inşa edilmektedir. Tuz bataklıkları (doğal olarak Venedik lagününü fırtına dalgalarından ve erozyondan korur) da yılda 20 mm'ye ulaşan değişken çökme oranlarıyla öne çıkar. Yeni inşa edilen alanların (örneğin, Venedik lagününün kuzeyindeki Jesolo şehrinin yakınındaki turistik köyler) karşılıklarında başka önemli -ancak yerel- çökme hareketleri gözlemlenmiştir; bu da yeni yerleşimlerin, yapıların ve altyapıların kurulması nedeniyle antropojenik kara çökmesinin izlenmesi ihtiyacını vurgulamaktadır. Venedik lagününün güneyinde, Chioggia şehri ve çevresi daha istikrarlıdır (yılda yaklaşık 1 mm'lik çökme oranı), buna karşın Brenta ve Adige Nehirlerinin ağızlarına yakın yerlerde daha yüksek çökme oranları gözlemlenebilir. Po Nehri Deltası'nda yılda 10-15 mm'ye kadar çökme ölçülmüştür [86], göreceli deniz seviyesi artışına karşı bilinen hassas bir sıcak noktadır [87].

Friuli Venezia Giulia Bölgesi'ne giderken, Grado ve Marano lagününün kıyı alanı etrafındaki arazi çökmesinin yakın zamanda yapılan bir analizi [88] bölgesel bir güneybatı eğimi (iç kesimlerden denize doğru) gösterdi ve Tagliamento Nehri'nin ağızına bitişik alanda yılda 4 mm'ye ulaşan çökme oranları vardı. Grado-Marano lagününün ortalama çökmesi yılda yaklaşık 2 mm olsa bile, lagünü çevreleyen kuzey kıyı alanı sabit bir durumdan yılda yaklaşık 8 mm'lik bir çökmeye kadar değişmektedir. Son olarak, Grado-Marano lagününün kıyı bölgesi, doğal ve yerel antropojenik faktörlerin birleşiminden (örneğin, yeraltı suyu sömürüsü, turizm sektörü için yeni inşa edilen alanların neden olduğu yükler) dolayı düzensiz çökme oranları göstermektedir.

Mevcut çoklu güvenlik değerlendirmesi, analizimiz sırasında homojen mekansal kapsama sahip erişilebilir niceliksel verilerin eksikliği nedeniyle çökme bilgilerini entegre etmedi. Ancak, bu eksiklik Şekil'de gösterilen ana sıcak noktaların genel çoklu güvenlik puanını değiştirmezdi.5Ben (yani Po Nehri Deltası etrafındaki kırmızı alanlar ve merkezi ve kuzeydoğu sınırındaki alanlar)

Venedik lagününün kuzey kısmı). Aksine, çoklu hassasiyet haritasında son çökme çalışmalarının dikkate alınması, Venedik'in kuzey kıyı bölgesindeki (Jesolo belediyesi) ve Grado ve Marano lagününün kıyı şeridi boyunca bazı yerel alanların hassasiyet puanını artırmış olabilir; burada çökmenin son antropik itici güçleri (örneğin, yeni kentleşmiş alanlar) yerel çökme fenomenlerine katkıda bulunmaktadır. Bu nedenle, deniz girişine karşı mevcut ve gelecekteki hassasiyeti artırabilecek çökme alanlarının araştırılmasını iyileştirmek için bu parametrenin gelecekteki sahaya özgü analizde izlenmesini önerdik.

Çoklu savunmasızlık haritası, maruz kalma değerlendirmesiyle birleştirildiğinde, yerel ve bölgesel otoritelerin, çoklu tehlikelere (yani, kalıcı/geçici su baskını ve kıyı erozyonu) karşı dayanıklılığın artırılması gereken savunmasız noktaları belirlemesi için yararlı olabilir. Örneğin, karar vericilere kıyı taşkınlarına karşı hassas altyapı veya binaların (örneğin, hafif eğimli ve alçak alanlarda bulunan yollar ve evler) ilk taramasında ve drenaj sistemlerinin iyileştirilebileceği kentsel alanların belirlenmesinde yardımcı olabilir. Kıyı topluluklarının dayanıklılığını artırmayı (veya savunmasızlığı azaltmayı) amaçlayan önlemlerin ilgili örnekleri, insan ve çevre refahı için çoklu faydalar sağlayan doğa temelli çözümlerle temsil edilmektedir [89]. Bu önlemler, birden fazla tehlikeyi azaltmak için farklı alıcılar için belirlenebilir ve ekosistemleri korumayı, onarmayı ve yeniden inşa etmeyi amaçlayan tüm eylemleri içerebilir (örneğin, taşkınlara maruz kalan alanlarda ağaç topluluklarının güçlendirilmesi; taşkınların etkilerini azaltmak için sulak alanların onarılması; kıyı erozyonunu azaltmak için kumulların bitki örtüsüyle sabitlenmesi).

4.4. Çoklu Risk Haritası

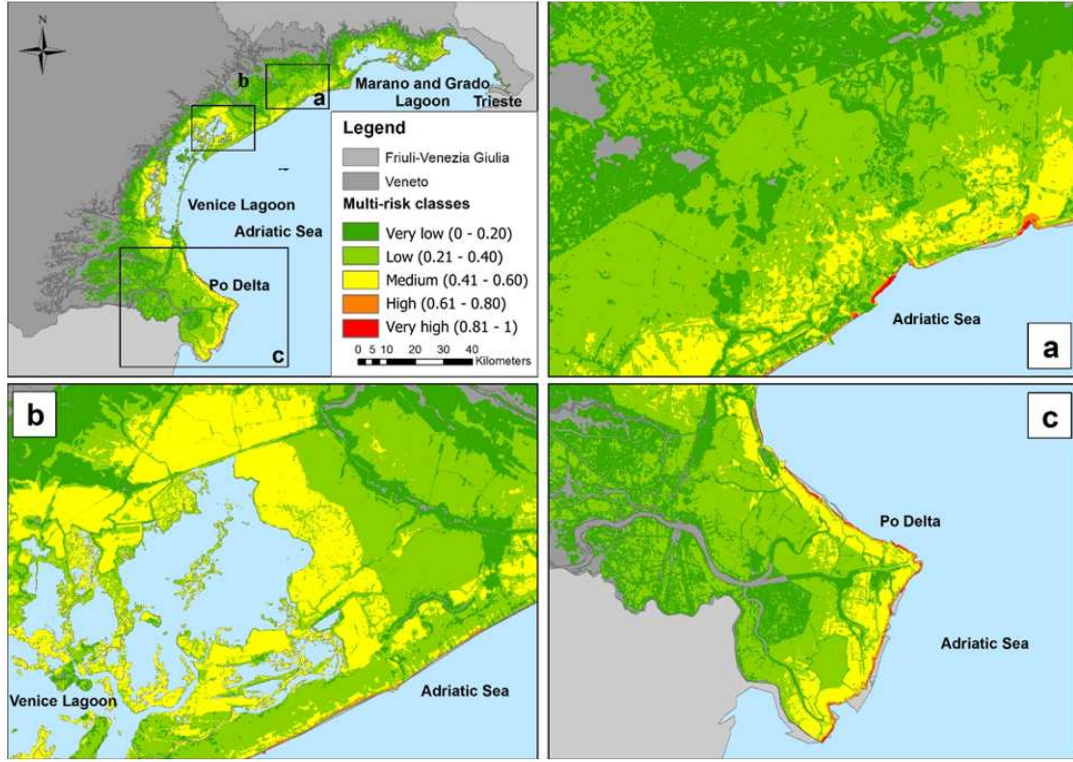
Çoklu risk haritası (Şekil6I) MRA'nın nihai sonucudur. Önceki haritalara benzer şekilde, puanların beş eşit büyüklükteki sınıfa (yani çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek) bölünmesine olanak tanıyan eşit aralık yöntemi kullanılarak sınıflandırılır [71].

Genellikle, çoklu risk puanları çoklu tehlike puanlarından daha düşüktür çünkü çoklu savunmasızlıkla çarpılırlar (yani, 0-1 aralığında puanlar). Ancak, Şekil6Ben, çoklu tehlike haritasının aynı eğilimi hala görülebilmektedir. Şekilde gösterilen sıcak nokta risk bölgeleri6I(a) plajlardır, çok yüksek ve yüksek çoklu risk sınıflarında yaklaşık %60'lık bir yüzdeyle çoklu risklerden en çok etkilenen alıcıdır (Şekil6 II). Venedik ve Marano/Grado lagünleri etrafındaki orta düzeyde çoklu riskli alanlar ise esas olarak alıcı sulak alanlar ve korunan alanlarla ilişkilidir (Şekil6I(a,b)). Son olarak, Po Nehri Deltası çevresinde (Şekil6 I(c)), çoklu tehlike haritasının eğilimini izleyerek, daha yüksek çoklu risk sınıfları kıyı şeridine yakın konumlanırken, iç kesimlere doğru gidildikçe azalan risk puanları gözlemlenebilir.

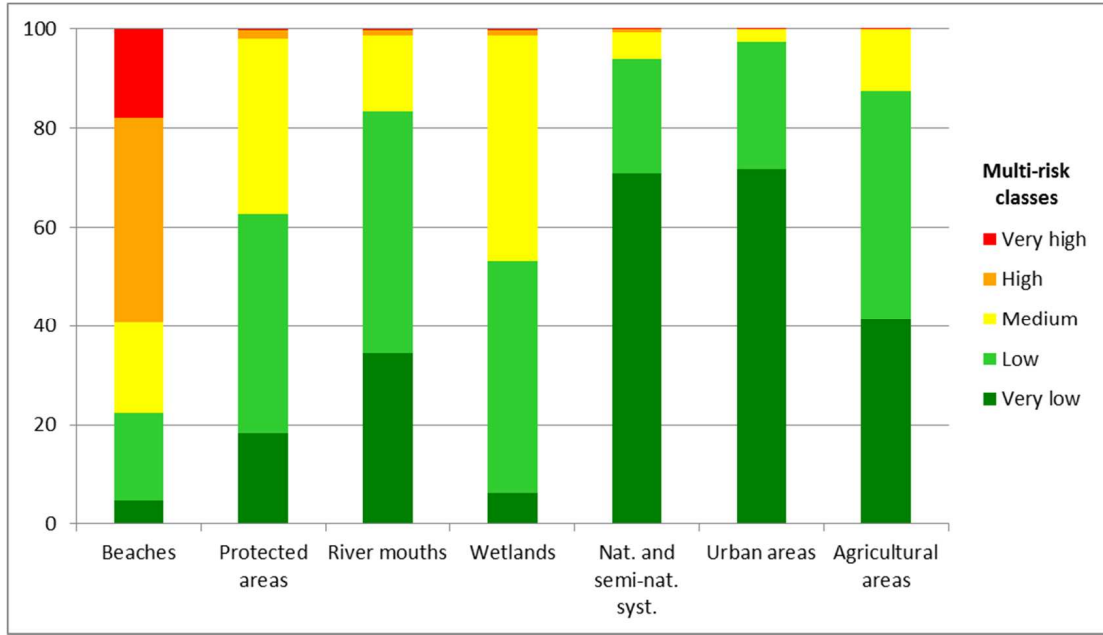
Figür6II, birden fazla riskten etkilenen alıcıların sıralamasını göstermektedir ve Şekil S1'de yer alan istatistiklerle birlikte çalışma alanındaki en fazla etkilenen belediyelerin (örneğin, Staranzano, Porto Tolle, Grado, Cavallino-Treporti, Caorle ve Venedik) belirlenmesini desteklemektedir.

Genel olarak, çoklu risk değerlendirmesi, Entegre Kıyı Bölgesi Yönetim planları içinde gelecekteki kıyı şeridi koruması için önemli noktaları (örneğin, plaj erozyonu ve deniz seviyesi savunmaları için öncelikli alanlar) vurgulamak için yararlı olabilir. Dahası, bu tür haritalar, uluslararası çevre kısıtlamalarına (örneğin, Nature 2000 alanları) ve kıyı bölgesinin savunulması için ulusal ve bölgesel yasalara uygun ekosistem yönetimini desteklemek için yararlı olabilir [88]. Çoklu risk haritaları, iklim değişikliğinin potansiyel etkileri göz önünde bulundurularak, birden fazla tehlikeden risk altında olan unsurların bütünsel bir vizyonunu sağladıkları için özellikle yararlıdır. Bu sistemsel görünüm, bir tür etkiyi hedefleyen risk azaltma çabalarının diğer etkilere maruziyeti veya kırılganlığı artırma olasılığını azaltmak için çok yararlı olabilir [11,88].

Kıyı yöneticileri için yararlı ek bilgiler, Şekil'de sunulan istatistiklerden elde edilebilir.7Çalışma alanındaki kıyı belediyeleri için kentsel alanlardaki altyapı ve risk altındaki nüfusa ilişkin.



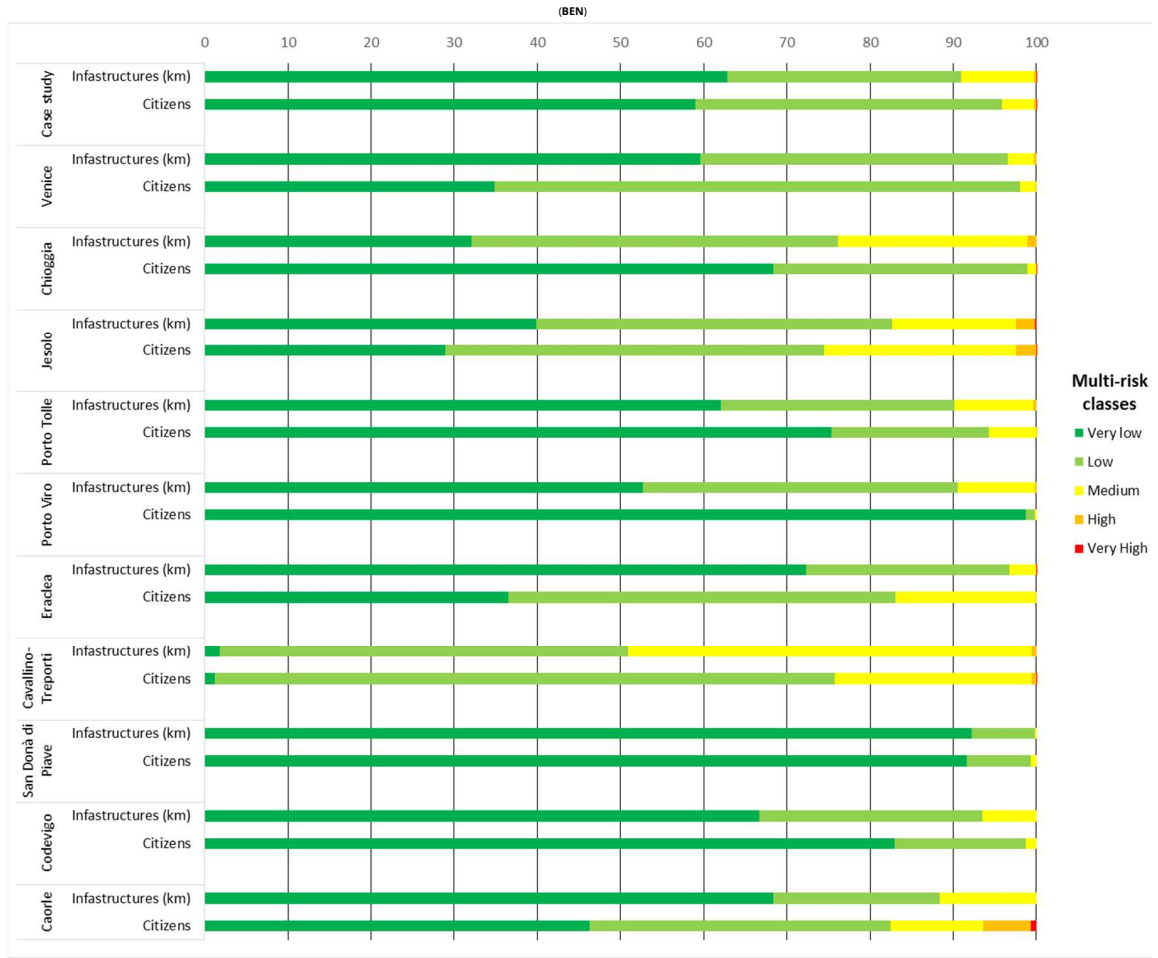
(BEN)



(II)

Şekil 6. Kuzey Adriyatik kıyısının çoklu risk haritası (BEN) ve üç belirli alt alana odaklanının (A-C); ve analiz edilen reseptörler için her çoklu risk sınıfıyla ilişkili yüzey yüzdesinin dağılımı (II).

	Çok düşük		Düşük		Orta		Yüksek		Çok Yüksek	
	Altyapı	Nüfus	Altyapı	Nüfus	Altyapı	Nüfus	Altyapı	Nüfus	Altyapı	Nüfus
	(km)	(vatandaşlar)	(km)	(vatandaşlar)	(km)	(vatandaşlar)	(km)	(vatandaşlar)	(km)	(vatandaşlar)
Dava	1532	247.985	686	154.984	214	15.840	7	1.279	0	60
Venedik	124	49.686	77	90.178	7	2651	1	140	0	0
Şiogia	65	32.170	47	14.383	12	505	0	5	0	0
İsa	44	6074	60	9591	31	4861	2	510	0	0
Porto Tolle	80	8876	36	2229	12	672	0	2	0	0
Porto Virüs	70	11.587	21	128	12	18	0	0	0	0
Eraclea	65	7457	29	2523	6	318	0	12	0	1
Cavalino'lu - Treporti	1	121	34	7213	34	2294	0	53	0	1
San Donà Piave'de	60	8806	5	744	0	62	0	0	0	0
Kodevigo	41	7639	16	1451	4	119	0	0	0	0
Caorle	53	3936	57	3078	20	947	3	493	0	54



(II)

Şekil 7. Kuzey Adriyatik bölgesindeki kıyı belediyelerinin kentsel alanlarındaki altyapıların uzunluğu (km) ve çoklu riskten etkilenen vatandaş sayısı (BEN); ve bunların yüzdelik dağılımları (II).

Tüm belediyeler daha düşük çoklu risk sınıflarında nispeten daha yüksek altyapı (km) ve nüfus (vatandaş sayısı) yüzdeleri gösterse bile, yüksek oranda kentleşmiş belediyelerin (örneğin, Jesolo ve Caorle) daha yüksek çoklu risk puanlarından kısmen etkilendiğine dikkat çekmek mümkündür. Bu bilgi, bölgesel otoritelerin çoklu riskten daha fazla tehdit altındaki belediyeleri belirlemesine yardımcı olarak risk yönetimi fonlarının verimli bir şekilde tahsis edilmesini destekleyebilir.

Genel olarak, çoklu risk haritaları ve istatistikleri, afet riskini azaltma ve iklim adaptasyon stratejilerinin (örneğin, kıyı tortusu yönetim planları, taşkın koruması veya mevcut gelişmelerin taşınması) uygulanması için daha fazla dikkat gerektiren kıyı alanlarını ve belediyeleri sıralamak için hızlı bir tarama aracı olarak kullanılabilir. Sonuçlar, özellikle Avrupa Adaptasyon Stratejisi tarafından gerekli kılınan Ulusal Adaptasyon Planlarının uygulanması için yararlı olabilir [73].

5. Tartışma

Önerilen MRA metodolojisi, çoklu tehlike etkileşimlerinin taşkına eğilimli kıyı bölgelerinde kümülatif riskleri nasıl tetikleyebileceğini ele almak için ilk girişimdir. Bu, geleneksel tek tehlike risk değerlendirmelerine kıyasla önemli bir ilerlemedir, çünkü şunları dikkate alabilen sistemik ve ileriye dönük bir analiz sağlar: (1) bileşik tehlikelerin aynı mekansal birimlerde ve zaman diliminde risk artışlarını nasıl tetikleyebileceği; ve (2) risk altındaki birden fazla unsurun kırılabilirliğinin farklı tehlike türlerine göre nasıl değişebileceği.

MRA'mız bölgesel/alt ulusal ölçekte çoklu risk taramasını destekleyen bir karar destek aracı olarak tasarlanmıştır. Yaklaşımın güçlü yönlerinden biri, yerel yetkililere, paydaşlara ve karar vericilere çoklu risk modellerini anlamak ve iletmek için geliştirilmiş bir temel sunmak üzere kamuya açık veri kümeleriyle uygulanabilmesidir. Dahası, MRA modelinin parametrelerini değiştirerek, çoklu riski etkileyen ana faktörlerin göreceli önemini ve farklı iklim ve risk yönetimi senaryolarının etkisini anlamak mümkündür. Değerlendirmenin nihai hedefi, iklim değişikliği açısından alçak kıyı alanlarını etkileyen çoklu tehditlerin genel bir resmini sunmak ve uyumsuzluğu önleyen bütünsel uyum stratejilerinin tanımını desteklemektir (örneğin, parçalanmış tek tehlike veya tek sektör önlemleri nedeniyle). Genel olarak, MRA, karar vericilere afet riskini azaltma ve iklim uyum politikalarının tanımlanmasında yardımcı olmak için yaygın olarak kullanılan çok çeşitli fiziksel, çevresel ve sosyoekonomik göstergeler kullanır [72,90–92].

Ancak, Çok Kriterli Karar Analizinin risk altındaki bireysel unsurlara, ekolojik işlevlere veya hizmetlere odaklanan olağan uygulamalarından farklı olarak [93–98], metodolojimiz çoklu neden-sonuç ilişkilerini göz önünde bulundurarak kavramsal bir çerçeve kurar ve hem doğal hem de insan sistemlerini etkileyen kıyı risklerinin bütünsel bir tahminini elde etmek için farklı deneysel ve modelleme verisi kaynaklarının kademeli olarak sistemleştirilmesine olanak tanır. Ayrıca, Kuzey Adriyatik bölgesindeki kıyı savunmasızlığını değerlendiren son çalışmalarla karşılaştırıldığında [35,36,58] ve Akdeniz bölgesi [99], MRA'nın operasyonel adımları, kıyı sistemindeki çoklu tehlike etkileşimlerinin ve bunların risklerin nihai kategorizasyonundaki kümülatif etkilerinin daha iyi anlaşılmasını sağlar.

Önerilen MRA, seçili iklimle ilgili tehlike türleri arasındaki potansiyel ilişkileri göz önünde bulundurarak geleneksel tehlike değerlendirmesinin ötesine geçse bile, metodoloji diğer doğal veya insan yapımı tehlike türleriyle (örneğin nehir taşkınları, çökme ve su kaynaklarının kirlenmesi) ilgili bilgileri entegre ederek iyileştirilebilir. Özellikle, arazi çökmesi, hem deniz seviyesinin yükselmesini hem de fırtına dalgalarının neden olduğu su baskınlarını ve Kuzey Adriyatik kıyı ovalarındaki ilgili risk senaryolarını artırabileceğinden, çoklu tehlike analizinde dikkate alınması gereken önemli bir faktördür [30,58]. Bununla birlikte, Venedik lagünü üzerindeki çökme oranını değerlendirmek için özel çalışmalar yürütülmüş olsa bile [64,85,87,88], bu olguyu MRA analizimizde dikkate alamadık çünkü çalışmayı geliştirdiğimizde tüm çalışma alanı için kapsamlı ve homojen mekansal veriler (yani, bölgelerarası/ulusal altı ölçek) mevcut değildi. Bununla birlikte, MRA, kıyı tehlikeleri veya kırılabilirlik göstergeleriyle ilgili yeni veri kümeleri mevcut olduğunda düzenli olarak güncellenmesi gereken yinelemeli bir süreçtir. Bir diğer önemli kısıtlama, özellikle çökmenin nedenleri hem doğal hem de insan yapımı olduğunda, örneğin Kuzey Adriyatik bölgesi için, gelecekteki çökme değerlerinin geçmiş eğilim gözlemlerine dayalı olarak ekstrapolasyonunda hala büyük bir belirsizlik olmasıydı [100]. Belirli bölgelere (örneğin Venedik şehri veya Po Nehri Deltası) odaklanan daha ayrıntılı bir analizin, çoklu tehlike değerlendirmesinde ilgili bir tetikleyici faktör olarak çökmeyi dikkate alması gerektiğini kabul ediyoruz.

Çoklu doğal afetlerin ve iklimle ilgili risklerin değerlendirilmesi ve yönetimi, yaygın olarak uygulanan risk değerlendirme ve yönetim çerçevelerinin, risklerin tanımlanmasına doğru genişletilmesini gerektirir.

ve çoklu stres etkileşimlerinin niceliklendirilmesi [16]. Bu makalede benimsenen MCDA tabanlı yaklaşım, risk etkileşimlerinin (hala iyi anlaşılmamış olan) ön değerlendirmesi için uygundur ve çoklu risk sıcak noktalarının göreceli (mutlak değil) bir niceliğini sağlar. Ancak, MCDA'da açıklanan değişkenlerin çoğu uzman bilgisine dayanır ve sistemin bireysel algısına bağlıdır, güçlü bir niceliksel değerlendirme ve sonuçların doğrulanması sağlanamaz [28].

Bu nedenle, çoklu risk kalıpları hakkında daha ayrıntılı bilgi, Bayes ağları, aracı tabanlı modeller veya sistem dinamikleri gibi daha gelişmiş karmaşık sistem analiz araçları uygulanarak, yerel ölçekte niceliksel bir analiz düzeyine ilerlenerek elde edilebilir [27]. Bu tür yöntemler, çoklu risk değerlerinin stokastik bir değerlendirmesini sağlayabildikleri ve belirsizliklerin daha iyi karakterize edilebildiği için, farklı bağlamlarda (dağlık bölgeler, tatlı su kaynaklarının yönetimi ve deniz alanları) iklim ve antropojenik tehlikelerin kümülatif etki değerlendirmeleri için giderek daha fazla uygulanmaktadır [101,102].

6. Sonuçlar

Karar vericilerin ve yerel yetkililerin, sağlam uyum yolları geliştirmek için insan sağlığını ve güvenliğini, çevreyi, ekonomiyi ve toplumu etkileyen sistemik riskler konusunda net bir vizyona sahip olması gerekir. [103,104]. Ancak, bu tür bir değerlendirme, meydana gelebilecek tehlikeli olayların karmaşık ve belirsiz kombinasyonları, söz konusu fiziksel süreçlerin çokluğu ve savunmasız sosyoekolojik sistemlerin sürekli değişimleri ve etkileşimleri nedeniyle oldukça zordur. Dahası, çoklu risk dinamikleri, maruz kalan unsurlar üzerindeki genel etkiyi artırabilecek karmaşık domino etkileriyle karakterize edilir. Bunlar arasında tehlikeli olaylar zinciri ve reseptörlerin artan savunmasızlığı ile farklı risk bileşenleri arasındaki diğer korelasyon türleri yer alır [9]. Farklı tehlikelerin ve zayıflık kaynaklarının ortaya çıkan risk durumlarını belirlemek için nasıl etkileşime girdiğini anlamak, tek risk paradigmasından daha zorlu sistemik risk kavramına doğru kaymaya çalışan bilimsel topluluk için açık konulardan biridir [29].

Önerilen metodoloji, aynı alandaki farklı tehlikeler (ve zaafılar) arasındaki ilişkilerin yarı nicel değerlendirmesine izin veren hızlı bir tarama aracı olarak düşünülmelidir. Daha ayrıntılı ve nicel bir değerlendirme, tek ve bileşik tehlikelerin ortak olasılıklarını ve zaafın farklı tehlike eşiklerine göre nasıl değiştiğini dikkate almalıdır [83]. Büyük miktarda veri gerektirmediğinden, önerilen MRA çok çeşitli koşullar ve coğrafi bölgelerde esnek ve ölçeklenebilir. Dahası, modüler bir yaklaşımla tasarlanmıştır ve ek doğal afetlere, iklim değişikliği etkilerine veya savunmasız sektörlerle kolayca yükseltilebilir. Örneğin, şimdiye kadar bölgesel ölçekte kıyı şeridini etkileyen iklim kaynaklı afetlere (örneğin fırtına dalgaları, deniz seviyesinin yükselmesi ve erozyon) odaklanan çoklu tehlike değerlendirmesi, bu fenomen hakkında daha ayrıntılı verilerin mevcudiyeti göz önünde bulundurulduğunda, prensip olarak yerel ölçekte ilgili ek afetlerin (örneğin yerel çökme, yoğun yağış olayları ve kentsel ısı adaları) analizine genişletilebilir. Özellikle, gelecekteki deniz girişine katkıda bulunan iklim ve iklim dışı etkenler arasındaki potansiyel korelasyonların daha iyi anlaşılması için dikey arazi hareketlerinin kapsamlı bir analizi düşünülmelidir. Ek olarak, artık kırılganlığın fiziksel ve çevresel boyutlarına odaklanan çoklu kırılganlık değerlendirmesi, uyarlanabilir ve başa çıkma kapasitesi göstergelerinin (örneğin, gelir düzeyi, eğitim ve güvenlik ağı) ve bireysel ve kolektif davranışlar ve risk algılarıyla ilgili diğer sosyal faktörlerin entegre edilmesiyle iyileştirilebilir. Dahası, ekonomik değerlendirme için parametreler ve algoritmalar prensipte çoklu risk modellemesine dahil edilebilir ve bu da sonuçların doğrudan ve dolaylı maliyetler açısından tahmin edilmesine olanak tanır.

Son olarak, özellikle kıyı bölgelerinde çoklu risk modellerini analiz etmek için maruz kalma ve kırılganlık dinamiklerinin çok önemli olduğunu kabul ediyoruz [105]. Bu nedenle, MRA metodolojimizin gelecekteki iyileştirmeleri, risk altındaki unsurların uzay ve zaman içindeki dağılımları (örneğin arazi kullanımı, nüfus ve altyapı dinamikleri) ve bunların kırılganlığı hakkında daha gerçekçi bir anlayış sağlamalıdır.

Karar alma süreçlerini uygun şekilde desteklemek ve farklı adaptasyon yollarının etkinliğini değerlendirmek için, MRA'nın gelecekteki testlerinde farklı yönetim seçeneklerinin genel çoklu risk puanının azaltılmasına nasıl katkıda bulunabileceği dikkate alınmalıdır.

Son olarak, çoklu risk metodolojisinin kümülatif araştırılan etkilerin ve risklerin göreceli bir sıralamasına izin verdiğini ve her seferinde iyileştirilmiş girdi bilgisi ve verisi (örneğin, yeni modeller ve daha doğru sahaya özgü göstergeler) mevcut olduğunda yeniden uygulanması gerektiğini vurgulamak önemlidir. Bu bağlamda, MRA'nın gelecekteki iddialı bir iyileştirmesi, çok sayıda risk senaryosu ve uzay ve zamandaki kademeli belirsizlikleri çalıştırmak için büyük veri analitiğinin ve Bilgi ve İletişim Teknolojilerinin (BİT) kullanılmasını içerir, böylece çoklu risk perspektifinde karar alma için sağlam bilim tabanlı çıktılar sağlanır.

Ek Malzemeler:Aşağıdakiler çevrimiçi olarak şu adreste mevcuttur:<http://www.mdpi.com/2071-1050/12/9/3697/s1>, Tablo S1: Kuzey Adriyatik kıyısında çoklu risk değerlendirme metodolojisinin uygulanması sırasında paydaş ve bölgesel uzman olarak yer alan kamu kurumları [kaynak: (Santoro ve diğerleri, 2013)'ten uyarlanmıştır]. Tablo S2: Tehlike etki matrisi örneği. Tehlike puanları gri hücrelere yerleştirilmiştir. Tehlike etkileşimlerini ölçmek için kullanılan ağırlıklar (örneğin, deniz seviyesinin yükselmesinin (h1) kıyı erozyonu (h2) üzerindeki etkisi) beyaz hücrelere yerleştirilmiştir, Tablo S3: Uzmanın bağıl puanların ve ağırlıkların atanmasında destekleyici dilsel değerlendirme ([1]), Tablo S4: Çoklu tehlike değerlendirmesinde uygulanan çoklu tehlike fonksiyonları ve açıklamaları, Tablo S5: Kuzey Adriyatik vaka çalışmasına uygulanan tehlike etki matrisi. Beyaz hücrelerde etki ağırlıkları listelenmiştir, Tablo S6: Kuzey Adriyatik vaka çalışmasında analiz edilen reseptörler için hassasiyet faktörleri, sınıflar ve puanlar. NA Uygulanmadı anlamına gelir ve dikkate alınan tehlikeler için ilgili olmayan hassasiyet sınıflarını içerir, Tablo S7: Kuzey Adriyatik vaka çalışmasında hassasiyet faktörlerine atanan ağırlıklar, Şekil S1: Kuzey Adriyatik kıyısındaki çoklu riskten en çok etkilenen on kıyı belediyesinde araştırılan reseptörler için çok yüksek ve yüksek çoklu risk sınıflarıyla ilişkili yüzey yüzdesi.

Yazar Katkıları:Kavramsallaştırma, VG, ST ve AC; metodoloji, VG, ST, AZ, AC, TG ve AM; biçimsel analiz, VG; yazma - orijinal taslak hazırlama, VG, ST ve AC; ve yazma - inceleme ve düzenleme, ST ve AC Tüm yazarlar, makalenin yayınlanmış versiyonunu okumuş ve kabul etmiştir.

Finansman:Bu sonuçlara yol açan araştırma, GEMINA projesi kapsamında İtalya Eğitim, Üniversite ve Araştırma Bakanlığı ile İtalya Çevre, Toprak ve Deniz Bakanlığı'ndan fon aldı.

Teşekkürler:Yazarlar Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici'ye (CMCC,www.cmcc.it) mali destek için. Yazarlar ayrıca meslektaşları Jonathan Rizzi ve Elisa Furlan'a GIS analizindeki yardımları için teşekkürlerini sunarlar.

Çıkar Çatışmaları:Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Referanslar

1. Renn, O.; Lucas, K.; Haas, A.; Jaeger, C. Bugün her şey farklı: Küresel sistemik risklerin yarattığı zorluk. *J. Risk Res.* **2019**, *22*, 401–415. [[ÇaprazRef](#)]
2. UNISDR. Hyogo Eylem Çerçevesi 2005–2015: Milletlerin ve Toplulukların Afetlere Dayanıklılığının İnşası. Afet Azaltma Dünya Konferansı'nın Son Raporundan Alıntı. 2005. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.unisdr.org/2005/wcdr/intergover/official-doc/L-docs/Hyogo-framework-for-actionenglish.pdf> (24 Nisan 2020'de erişildi).
3. UNISDR. Sendai Afet Riskini Azaltma Çerçevesi 2015–2030. *BM Raporu UNISDR/ Genel 015*; Birleşmiş Milletler Afet Riskini Azaltma Ofisi: Cenevre, İsviçre, 2015.
4. BM. Dünyamızı Dönüştürmek: Sürdürülebilir Kalkınma için 2030 Gündemi. 2015. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld/publication> (24 Nisan 2020'de erişildi).
5. AB. *Komisyon Staff Çalışma Belgesi: Avrupa Birliği'nde Karşılaşılabilecek Doğal ve İnsan Kaynaklı Afet Risklerine Genel Bakış*; SWD: Bruxelles, Belçika, 2017. [[ÇaprazRef](#)]
6. IPCC. IPCC Özel Raporu 1.5—Politika Yapıcılar İçin Özet. *1.5 Küresel Isınma-C*; IPCC'nin 1,5 milyar yıllık küresel ısınmanın etkilerine ilişkin özel raporu-Sanayi Öncesi Seviyelerin Üzerinde C ve İlgili Küresel Sera Gazı Emisyon Yolları, İklim Değişikliği Tehditlerine Küresel Tepkiyi Güçlendirme, Sürdürülebilir Kalkınma ve Yoksulluğu Ortadan Kaldırma Çabaları Bağlamında; Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H.-O., Roberts, D., Skea, J., Shukla, P., Pirani, A., Moufouma-Okia, W., Pean, C., Pidcock, R., ve diğerleri, Editörler; Dünya Meteoroloji Örgütü: Cenevre, İsviçre, 2018; s. 32. ISBN 9789291691432.

7. AB.Komisyon'dan Avrupa Parlamentosu'na, Konsey'e, Avrupa Ekonomik ve Sosyal Komitesi'ne ve Bölgeler Komitesi'ne İklim Değişikliğine Uyum Konusunda AB Stratejisi İletişimi; EC: Bruxelles, Belçika, 2013.
8. AB.Komisyon'dan Avrupa Parlamentosu'na, Konsey'e, Avrupa Ekonomik ve Sosyal Komitesi'ne ve Bölgeler Komitesi'ne İletişim. Avrupa Yeşil Mutabakatı. COM; EC: Bruxelles, Belçika, 2019.
9. Scolobig, A.; Komendantova, N.; Mignan, A. Çoklu Risk Yaklaşımlarının Politikaya Ana Akımlaştırılması. *Jeoloji Bilimleri* **2017**, *7*, 129. [[ÇaprazRef](#)]
10. IPCC. *İklim Değişikliği 2014: Etkiler, Uyum ve Savunmasızlık. Bölüm A: Küresel ve Sektörel Yönler. Çalışma Grubu II'nin Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin Beşinci Değerlendirme Raporuna Katkısı*; Field, CBVR, Barros, DJ, Dokken, KJ, Eds.; Cambridge University Press: Cambridge, Birleşik Krallık; New York, NY, ABD, 2014.
11. IPCC. *İklim Değişikliğine Uyumun İlerletilmesi İçin Aşırı Olaylar ve Afet Risklerinin Yönetimi—Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli Çalışma Grupları I ve II'nin Özel Raporu*; Cambridge University Press: Cambridge, İngiltere, 2012; ISBN 9781139177245.
12. Ramieri, E.; Hartley, A.; Office, M.; Barbanti, A.; National, I.; Santos, FD Kıyı bölgelerinin iklim değişikliğine karşı hassasiyetini değerlendirme yöntemleri. *ETC CCA Teknik. Pap.* **2011**, *1*, 1–93.
13. Hinkel, J.; Klein, RJT DINAS-COAST projesi: Kıyısız kırılganlığın dinamik ve etkileşimli değerlendirilmesi için bir araç geliştirilmesi. *Küresel. Çevre. Değişim.* **2009**, *19*, 384–395. [[ÇaprazRef](#)]
14. Mcleod, E.; Poulter, B.; Hinkel, J.; Reyes, E.; Salm, R. Deniz seviyesinin yükselmesinin etkisi modelleri ve çevre koruma: Modellerin ve uygulamalarının bir incelemesi. *Okyanus Kıyısı. Yön.* **2010**, *53*, 507–517. [[ÇaprazRef](#)]
15. Dilley, M.; Chen, RS; Deichmann, U.; Lerner-Lam, AL; Arnold, M. *Doğal Afet Sıcak Noktaları: Küresel Bir Risk Analizi*; Dünya Bankası ve Columbia Üniversitesi: Washington, DC, ABD, 2005; ISBN 0821359304.
16. Gallina, V.; Torresan, S.; Critto, A.; Sperotto, A.; Glade, T.; Marcomini, A. Doğal afetler için çoklu risk metodolojilerinin incelenmesi: İklim değişikliği etki değerlendirmesi için sonuçlar ve zorluklar. *J. Çevre Yönetimi* **2016**, *168*, 123–132. [[ÇaprazRef](#)]
17. Tilloy, A.; Malamud, BD; Winter, H.; Joly-laugel, A. Çoklu tehlike için kantifikasyon metodolojilerinin incelenmesi. *Dünya Bilimi Rev.* **2019**, *196*, 102881. [[ÇaprazRef](#)]
18. Kappes, MS; Keiler, M.; von Elverfeldt, K.; Glade, T. Çoklu tehlike riskini analiz etmenin zorlukları: Bir inceleme. *Nat. Tehlikeler* **2012**, *64*, 1925–1958. [[ÇaprazRef](#)]
19. Greiving, S.; Fleischhauer, M.; Lückenkötter, J. Mekansal açıdan önemli tehlikelerin bütünlük risk değerlendirmesi için bir metodoloji. *J. Çevre Plan. Yön.* **2006**, *49*, 1–19. [[ÇaprazRef](#)]
20. Olfert, A.; Greiving, S.; Batista, MJ Bölgesel çoklu risk incelemesi, tehlike ağırlıklandırması ve riske mekansal planlama yanıtı - Avrupa vaka çalışmalarından elde edilen sonuçlar. *Özel Pap. Surv. Finl.* **2006**, *42*, 125.
21. Schmidt-Thomevet, P. *Doğal ve Teknolojik Tehlikeler ve Riskler Aff Avrupa Bölgelerinin Mekansal Gelişimini Etkilemek*; Finlandiya Espoo Jeolojik Araştırması: Espoo, Finlandiya, 2006; Cilt 42, ISBN 9516909442.
22. Farrokh, N.; Zhongqiang, L.; Gordon, W.; Jochen, Z. Çoklu risk değerlendirmesi çerçevesi, Çıktı D5.2. *MATRIX Projesi* **2013**. Hibe sözleşmesi ID: 265138.
23. Kappes, MS; Gruber, K.; Frigerio, S.; Bell, R.; Keiler, M.; Glade, T. MultiRISK platformu: Bölgesel ölçekli çoklu tehlike maruziyeti analiz aracının teknik konsepti ve uygulaması. *Jeomorfoloji* **2012**, *151–152*, 139–155. [[ÇaprazRef](#)]
24. Liu, Z.; Nadim, F.; Garcia-Aristizabal, A.; Mignan, A.; Fleming, K.; Quan Luna, B. Çoklu risk değerlendirmesi için üç seviyeli bir çerçeve. *Georisk Değerlendir. Yönet. Risk Mühendisliği Sist. Geotehlikeler* **2015**, *9*, 59–74. [[ÇaprazRef](#)]
25. Marzocchi, W.; Garcia-Aristizabal, A.; Gasparini, P.; Mastellone, ML; Di Ruocco, A. Çoklu risk değerlendirmesinin temel ilkeleri: İtalya'da bir örnek olay. *Nat. Tehlikeler* **2012**, *62*, 551–573. [[ÇaprazRef](#)]
26. Kappes, MS *Çoklu Tehlike Risk Analizleri: Bir Kavram ve Uygulanması*; yayın tarihi: Viyana, Avusturya, 2011.
27. Terzi, S.; Torresan, S.; Schneiderbauer, S.; Critto, A.; Zebisch, M.; Marcomini, A. Dağlık bölgelerde çoklu risk değerlendirmesi: İklim değişikliğine uyum için modelleme yaklaşımlarının bir incelemesi. *J. Çevre Yönetimi* **2019**, *232*, 759–771. [[ÇaprazRef](#)]
28. Sperotto, A.; Molina, JL; Torresan, S.; Critto, A.; Marcomini, A. İklim değişikliği etkilerinin değerlendirilmesi ve yönetimi için Bayes Ağlarının potansiyellerinin incelenmesi: Çoklu risk perspektifi. *J. Çevre Yönetim* **2017**, *202*, 320–331. [[ÇaprazRef](#)]

29. Zscheischler, J.; Westra, S.; Van Den Hurk, BJM; Seneviratne, SI; Ward, PJ; Pitman, A.; Aghakouchak, A.; Bresch, DN; Leonard, M.; Wahl, T.; ve ark. Bileşik olaylardan kaynaklanan gelecekteki iklim riski. *Nat. Clim. Chang.* **2018**, *8*, 469–477. [ÇaprazRef]
30. Gambolati, G.; Teatini, P.; Gonella, M. Kuzey Adriyatik Denizi'nin kıyı ovalarındaki su baskını riskine ilişkin GIS simülasyonları. *Matematik. Bilgisayar. Model.* **2002**, *35*, 963–972. [ÇaprazRef]
31. Thorne, C.; Thorne, CR; Evans, EP; Penning-Rowsell, EC *Gelecekteki Taşkın ve Kıyı Erozyonu Riskleri*; Thomas Telford: Londra, İngiltere, 2007; ISBN 0727734490.
32. Lionello, P.; Cogo, S.; Galati, MB; Sanna, A. Gelecekteki senaryo simülasyonlarından çıkarılan Akdeniz yüzey dalgası iklimi. *Küre. Gezegen. Değişim.* **2008**, *63*, 152–162. [ÇaprazRef]
33. Hinkel, J.; Brown, S.; Exner, L.; Nicholls, RJ; Vafeidis, AT; Kebede, AS Deniz seviyesindeki yükselmenin Afrika üzerindeki etkileri ve azaltma ve uyumun etkileri: DIVA'nın bir uygulaması. *Bölge. Çevre. Değişim.* **2012**, *12*, 207–224. [ÇaprazRef]
34. Torresan, S. *Kıyı Bölgelerinde İklim Değişikliği Etki Değerlendirmesi ve Yönetimi için Bölgesel Risk Değerlendirme Metodolojisinin Geliştirilmesi*; ÜniversiteACa' Foscari Venezia: Venedik, İtalya, 2011.
35. Torresan, S.; Gallina, V.; Gualdi, S.; Bellafore, D.; Umgieser, G.; Carniel, S.; Sclavo, M.; Benetazzo, A.; Giubilato, E.; Critto, A. Kuzey Adriyatik kıyı bölgesinde iklim değişikliği etkilerinin değerlendirilmesi. Bölüm I: İklim değişikliği tehlike senaryolarının tanımlanması için çoklu model zinciri. *su* **2019**, *11*, 1157. [ÇaprazRef]
36. Gallina, V.; Torresan, S.; Zabeo, A.; Rizzi, J.; Carniel, S.; Sclavo, M.; Pizzol, L.; Marcomini, A.; Critto, A. Kuzey Adriyatik kıyı bölgesinde iklim değişikliği etkilerinin değerlendirilmesi. Bölüm II: Bölgesel ölçekte kıyı erozyonu etkilerine ilişkin sonuçlar. *su* **2019**, *11*, 1300. [ÇaprazRef]
37. Torresan, S.; Critto, A.; Rizzi, J.; Marcomini, A. Bölgesel ölçekte iklim değişikliği tehlikelerine karşı kıyasal kırılganlığın değerlendirilmesi: Kuzey Adriyatik Denizi vaka çalışması. *Nat. Tehlikeleri Dünya Sistemleri Bilim* **2012**, *12*, 2347–2368. [ÇaprazRef]
38. Pirazzoli, PA Akdeniz bölgesinden sekiz geç Holosen görelî deniz seviyesi geçmişinde olası östatik, izostatik ve tektonik katkılarının incelenmesi. *Kuat.Bil.R.* **2005**, *24*, 1989–2001. [ÇaprazRef]
39. Ferrarin, C.; Chiggiato, J.; Bajo, M.; Schroeder, K.; Zaggia, L.; Benetazzo, A. *VENEZYA: L'acqua Alta Eccezionale Del 12 111/2019. Della Fenomenolojisinin Ön İncelemesi ve Açıklaması*, CNR: Venedik, İtalya, 2019; s. 1–6.
40. Sperotto, A.; Torresan, S.; Gallina, V.; Coppola, E.; Critto, A.; Marcomini, A. Değişen iklim koşullarında yağışlı taşkın riskini değerlendirmek için disiplinler arası bir yaklaşım: Venedik Belediyesi (İtalya) vaka çalışması. *Bilim. Toplam Çevre.* **2015**, *562*, 1031–1043. [ÇaprazRef]
41. Pesce, M.; Critto, A.; Torresan, S.; Giubilato, E.; Santini, M.; Zirino, A.; Ouyang, W.; Marcomini, A. İklim değişikliğinin kıyı sularındaki besinler ve birincil üretim üzerindeki etkilerinin modellenmesi. *Bilim. Toplam Çevre.* **2018**, *628–629*, 919–937. [ÇaprazRef]
42. Rizzi, J.; Torresan, S.; Critto, A.; Zabeo, A.; Brigolin, D.; Carniel, S.; Pastres, R.; Marcomini, A. İklim değişikliğinin deniz suyu kalitesine etkileri: Kuzey Adriyatik Denizi vaka çalışması. *Mar. Kirliliği. Boğa.* **2016**, *102*, 271–282. [ÇaprazRef]
43. Bondesan, M.; Castiglioni, GB; Elmis, C.; Gabbianellis, G.; Marocco, R.; Pirazzoli, PA; Tomasin, A. Kuzeydoğu İtalya'daki fırtına dalgaları ve deniz seviyesinin yükselmesinden kaynaklanan risk altındaki kıyı bölgeleri. *J. Sahili. Res.* **1995**, *11*, 1354–1379.
44. Ferretti, O.; Delbono, I.; Furia, S.; Barsanti, M. Elementi Di Gestione Costiera-Parte I Tipi morfo-sedimentologici dei litorali italiani. *Rapp. Tec. ENEA RT/2003/42/İKLİM* **2003**, *42*, 146.
45. Umgieser, G.; Anderson, JB; Artale, V.; Breil, M.; Gualdi, S.; Lionello, P.; Marinova, N.; Orlic, M.; Pirazzoli, P.; Rahmstorf, S. Küreselden bölgele: Yerel Deniz Seviyesi Yükselme Senaryoları. Akdeniz ve Adriyatik Denizi'ne Odaklanma. Çalıştay Raporu Bildirilerinde: UNESCO, Venedik, İtalya, 2-6 Temmuz 2011; Cilt 1.
46. Antonioli, F.; Anzidei, M.; Amorosi, A.; Lo Presti, V.; Mastronuzzi, G.; Deiana, G.; De Falco, G.; Fontana, A.; Fontolan, G.; Lisco, S.; ve ark. Deniz seviyesinin yükselmesi ve İtalyan kıyı ovalarının potansiyel boğulması: 2100 yılı için sel riski senaryoları. *Kuat.Bil.R.* **2017**, *158*, 29–43. [ÇaprazRef]
47. Marsico, A.; Lisco, S.; Lo Presti, V.; Antonioli, F.; Amorosi, A.; Anzidei, M.; Deiana, G.; De Falco, G.; Fontana, A.; Fontolan, G.; ve ark. Üç göreceli deniz seviyesi yükselme modeli kullanılarak dört İtalyan kıyı ovaları için su baskını senaryosu. *J. Haritalar* **2017**, *13*, 961–967. [ÇaprazRef]
48. Çevre Bakanı. *BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi kapsamında Yedinci Ulusal Bildirim*; Ministero dell'Ambiente: Roma, İtalya, 2017.

49. Cecconi, G.; Ardone, V. La protezione dei litorali con ripascimento delle spiagge. L'esperienza dei litorali di Cavallino ve Pellestrina. *Proc. La Progett. Ortam. Nei Sist. Costieri Cura M Pietrobelli Atti X Semin. Roma İtalya* **1998**, *10*, 20–32.
50. Caniglia, G.; Casetta, D.; Nascimbeni, P.; Pizzinato, C. Aspetti del dinamismo della vegetazione nell'edificazione di un sistema dunoso Artificiale (Venezia – Cavallino). *La Progett. Ortam. Nei Sist. maliet Cura M Pietrobelli Atti X Semin. Roman* **1998**, *10*, 42–47.
51. Cecconi, G.; Ardone, V. La fonte di approvvigionamento della sabbia nel ripascimento dei litorali veneti. *Röportaj Alla Present Della Costa Ligure Reg Liguria Genova* **2000**, *1*, 2–4.
52. Visintini Romanin, M.; Rismondo, A.; Scarton, F.; Leita, L. Venezia'nın lagününün morfolojik iyileşmesi için müdahaleler. *La Barena Fosse Est Laguna Sud. Dörtlü. Trimest* **2000**, *3*, 3–35.
53. Bölge, FVG Piano di gestione del SIC IT3320037 Laguna di Grado ve Marano. *Sepet. Delle Aree Di Tutela E Di Röportaj. Scala* **2008**, *1*, 50000.
54. Cecconi, G. Venedik Lagünü mobil bariyerleri Deniz seviyesinin yükselmesi ve bariyer kapatmalarının etkisi. İtalyan Kıyı Mühendisliği Günleri Bildirileri, Venedik, İtalya, 16 Mayıs 1997. Uluslararası Tartışma-PIC 97.
55. UNEP-MAP-RAC/SPA. *İklim Değişikliğinin Akdeniz'deki Deniz ve Kıyı Biyolojik Çeşitliliği Üzerindeki Etkisi: Mevcut Bilgi Durumu*, Ben Haj, S., Limam, A., Editörler; Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) Akdeniz Eylem Planı (MAP) Özel Koruma Alanları Bölgesel Faaliyet Merkezi (RAC/SPA): Tunus, Tunus, 2010.
56. Rizzi, J. *Coğrafi Bilgi Sistemi Tabanlı Bölgesel Risk Değerlendirmesi ve Kıyusal İklim Değişikliği Etkilerinin İncelenmesine Yönelik Karar Destek Sistemlerinde Uygulanması*, ÜniversiteACa' Foscari Venezia: Venedik, İtalya, 2014.
57. Torresan, S.; Rizzi, J.; Zabeo, A.; Critto, A.; Gallina, V.; Furlan, E.; Marcomini, A. Bölgesel ölçekte iklim değişikliğinin çevresel etkilerinin değerlendirilmesi ve uyum hizmetleri sağlanması: Kıyusal iklim değişikliği etki değerlendirmesi için DEcision destek sistemi (DESYCO). İklim Değişikliği ve Ekosistem ve Toplum Üzerindeki Etkileri Konulu İlk Yıllık SISC Konferansı Bildirilerinde, Venedik, İtalya, 23-24 Eylül 2013; s. 468-476.
58. Rizzi, J.; Torresan, S.; Zabeo, A.; Critto, A.; Tosoni, A.; Tomasin, A.; Marcomini, A. Gelecekteki deniz seviyesinin yükselme senaryoları altında fırtına dalgası riskinin değerlendirilmesi: Kuzey Adriyatik kıyısında bir vaka çalışması. *J. Sahili. Muhafaza* **2017**, *21*, 453–471. [[ÇaprazRef](#)]
59. Umgiesser, G.; Canu, DM; Cucco, A.; Solidoro, C. Venedik Lagünü için sonlu elemanlar modeli. Geliştirme, kurulum, kalibrasyon ve doğrulama. *J. Mar. Sist.* **2004**, *51*, 123–145. [[ÇaprazRef](#)]
60. Carniel, S.; Warner, JC; Chiggiato, J.; Sclavo, M. Bir rüzgar fırtınası olayı sırasında Kuzey Adriyatik Denizi'ndeki sürüklenenlerin yörüngelerinin modellenmesinde yüzey dalgası kırılmasının etkisinin araştırılması. *Okyanus Modeli*. **2009**, *30*, 225–239. [[ÇaprazRef](#)]
61. Ronco, P.; Bullo, M.; Torresan, S.; Critto, A.; Olschewski, R.; Zappa, M.; Marcomini, A. Suyula ilgili doğal afetler için KULTURisk bölgesel risk değerlendirme metodolojisi - Bölüm 2: Zürih vaka çalışmasına uygulama. *Hidrolik Yer Sistemleri Bil.* **2015**, *19*, 1561–1576. [[ÇaprazRef](#)]
62. Pasini, S.; Torresan, S.; Rizzi, J.; Zabeo, A.; Critto, A.; Marcomini, A. Veneto ve Friuli Ovası yeraltı sularında iklim değişikliği etki değerlendirmesi. Bölüm II: Mekansal olarak çözümlenmiş bölgesel risk değerlendirmesi. *Bilim. Toplam Çevre*. **2012**, *440*, 219–235. [[ÇaprazRef](#)] [[PubMed](#)]
63. Carminati, E.; Martinelli, G. Kuzey İtalya'daki Po Ovası'ndaki çökme oranları: Doğal ve antropojenik nedenselliğin göreceli etkisi. *İng. Geo.* **2002**, *66*, 241–255. [[ÇaprazRef](#)]
64. Carbognin, L.; Teatini, P.; Tomasin, A.; Tosi, L. Venedik'te küresel değişim ve göreceli deniz seviyesi artışı: Taşkın açısından ne gibi etkileri olacak? *İklim. Dinamiği*. **2010**, *35*, 1039–1047. [[ÇaprazRef](#)]
65. IPCC. *İklim Değişikliği 2007: Etkiler, Uyum ve Savunmasızlık: Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin Dördüncü Değerlendirme Raporuna Çalışma Grubu II'nin Katkısı*, Parry, ML, Canziani, OF, Palutikof, JP, van der Linden, PJ, Hanson, CE, Editörler; Cambridge University Press: Cambridge, İngiltere, 2007; ISBN 0521880106.
66. IPCC. *Uzun Vadeli İklim Değişikliği: Tahminler, Taahhütler ve Geri Dönülemezlik. İklim Değişikliği. 2013 Fizik Bilimi Temel. Katkı Çalışması. Sınıf I ila Beşinci Değerlendirme. Temsilci Intergov. Panel İklim Değişikliği*; Collins, M., Knutti, R., Arblaster, J., Dufresne, J.-L., Fichet, T., Friedlingstein, P., Gao, X., Gutowski, WJ, Johns, T., Krinner, G., ve diğerleri, Editörler; Cambridge University Press: Cambridge, BK; New York, NY, ABD, 2013; s. 1029–1136.
67. Cattiaux, J.; Douville, H.; Peings, Y. CMIP5'te Avrupa sıcaklıkları: Günümüzdeki önyargıların ve gelecekteki belirsizliklerin kökenleri. *İklim. Dinamiği*. **2013**, *41*, 2889–2907. [[ÇaprazRef](#)]

68. Knutti, R.; Sedlayek, J. Yeni CMIP5 iklim modeli projeksiyonlarındaki sağlamlık ve belirsizlikler. *Nat. Clim. Chang.* **2013**, *3*, 369. [[ÇaprazRef](#)]
69. Pantusa, D.; D'Alessandro, F.; Riefolo, L.; Principato, F.; Tomasicchio, GR Bir kıyusal kırılabilirlik endeksinin uygulanması. İtalya'nın Apulian kıyı şeridi boyunca bir vaka çalışması. *su* **2018**, *10*, 1218. [[ÇaprazRef](#)]
70. McLaughlin, S.; Andrew, J.; Cooper, G. Çok ölçekli bir kıyusal kırılabilirlik endeksi: Kıyı yöneticileri için bir araç mı? *Çevre. Tehlikeler* **2010**, *9*, 233–248. [[ÇaprazRef](#)]
71. Burada, Mısır'ın Akdeniz kıyısının ME Kıyı kırılabilirlik değerlendirmesi. *Geomat. Nat. Tehlikeler Risk* **2015**, *6*, 342–355. [[ÇaprazRef](#)]
72. BİNİSDR. *Sendai Afet Riskini Azaltma Çerçevesinin Küresel Hedeflerine Ulaşmada İlerlemenin İzlenmesi ve Raporlanması İçin Teknik Kılavuz*, Birleşmiş Milletler: Cenevre, İsviçre, 2018; s. 1–180.
73. Crozier, MJ; Glade, T. Heyelan tehlikesi ve riski: Sorunlar, kavramlar ve yaklaşım. *Heyelan Tehlikesi Risk* **2005**, *8*, 1–40.
74. Santoro, F.; Tonino, M.; Torresan, S.; Critto, A.; Marcomini, A. İyileştirmek için dahil edin: Kıyı iklim değişikliği etkilerinin değerlendirilmesi için bir Karar Destek Sistemi için katılımcı bir yaklaşım. Kuzey Adriyatik örneği. *Okyanus Kıyısı. Yön.* **2013**, *78*, 101–111. [[ÇaprazRef](#)]
75. Torresan, S.; Critto, A.; Rizzi, J.; Zabeo, A.; Furlan, E.; Marcomini, A. DESYCO: Kıyı bölgelerinde iklim değişikliği etkilerinin bölgesel risk değerlendirmesi için bir karar destek sistemi. *Okyanus Kıyısı. Yön.* **2016**, *120*, 49–63. [[ÇaprazRef](#)]
76. Gallina, V. *Çoklu Risk Değerlendirmesi için Gelişmiş Bir Metodoloji: Kuzey Adriyatik'teki İklim Değişikliği Etkilerine Yönelik Bir Uygulama Vaka Çalışması (İtalya)*, ÜniversiteACA' Foscari Venezia: Venedik, İtalya, 2015.
77. Tebaldi, C.; Knutti, R. Olasılıksal iklim projeksiyonlarında çoklu model topluluğunun kullanımı. *Felsefe. Çev. R. Soc. Lond. A Matematik. Fizik. Müh. Bilim.* **2007**, *365*, 2053–2075. [[ÇaprazRef](#)] [[PubMed](#)]
78. Woodroffe, CD; Murray-Wallace, C. V Deniz seviyesinin yükselmesi ve kıyı değişimi: Geçmiş, geleceğe bir rehber olarak. *Kuat. Bil. R.* **2012**, *54*, 4–11. [[ÇaprazRef](#)]
79. Tebaldi, C.; Strauss, BH; Zervas, CE ABD kıyılarındaki fırtına dalgaları üzerindeki deniz seviyesindeki yükselme etkilerinin modellenmesi. *Çevre. Res. Lett.* **2012**, *7*, 14032. [[ÇaprazRef](#)]
80. AB. *Yönerge 2007/60/Avrupa Parlamentosu ve Konseyinin 23 Ekim 2007 tarihli Taşkın Risklerinin Değerlendirilmesi ve Yönetimine İlişkin Kararı*, AB: Bruxelles, Belçika, 2007.
81. Ronco, P.; Gallina, V.; Torresan, S.; Zabeo, A.; Semenzin, E.; Critto, A.; Marcomini, A. Suyla ilgili doğal afetler için KULTURisk Bölgesel Risk Değerlendirme metodolojisi - Bölüm 1: Fiziksel-çevresel değerlendirme. *Hidrolik Yer Sistemleri Bil.* **2014**, *18*, 5399–5414. [[ÇaprazRef](#)]
82. Giannini, V.; Bellucci, A.; Torresan, S. İklim hizmetleri oluşturmak için iklim bilgisi sağlayıcıları ve kullanıcıları arasında beceri ve ihtiyaçların paylaşılması: Kuzey Adriyatik vaka çalışmasından alınan dersler. *Dünya Perspektifi.* **2016**, *3*, 1–12. [[ÇaprazRef](#)]
83. Wade, T.; Sommer, S. *A'dan Z'ye GIS, Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Resimli Sözlüğü*, Esri Press: Redlands, CA, ABD, 2006; ISBN 1589481402.
84. Da Lio, C.; Teatini, P.; Strozzi, T.; Tosi, L. SAR İnterferometrisi ve yer tabanlı araştırmalardan Venedik Lagünü'nün tuz bataklıklarındaki arazi çökmesinin anlaşılması. *Uzaktan Algılama Çevre* **2018**, *205*, 56–70. [[ÇaprazRef](#)]
85. Tosi, L.; Da Lio, C.; Teatini, P.; Strozzi, T. Kıyı ortamlarında toprak çökmesi: TerraSAR-X PSI ile Venedik kıyı şeridinde bilgi ilerlemesi. *Uzaktan Algılama* **2018**, *10*, 1191. [[ÇaprazRef](#)]
86. Teatini, P.; Tosi, L.; Strozzi, T. Holosen tortularının sıkışmasının İtalya'daki Po Deltası'ndaki mevcut kara çökmesini yönlendirdiğine dair nicel kanıtlar. *J. Geophys. Res. Katı Dünya* **2011**, *116*, 1–10. [[ÇaprazRef](#)]
87. Da Lio, C.; Tosi, L. Po nehri deltasında (İtalya) göreceli deniz seviyesinin yükselmesine karşı hassasiyet. *Haliç. Kıyı. Raf Bilim.* **2019**, *228*, 106379. [[ÇaprazRef](#)]
88. Da Lio, C.; Tosi, L. İtalya'daki Friuli-Venezia Giulia kıyı ovasındaki toprak çökmesi: 1992–2010, SAR tabanlı interferometrinin sonuçları. *Bilim. Toplam Çevre.* **2018**, *633*, 752–764. [[ÇaprazRef](#)] [[PubMed](#)]
89. Avrupa Komisyonu. *Doğa Tabanlı Çözümler ve Yeniden Doğaya Kavuşturulan Şehirler için AB Araştırma ve Yenilik Politikası Gündemine Doğru. "Doğa Tabanlı Çözümler ve Yeniden Doğaya Kavuşturulan Şehirler" Konulu Horizon 2020 Uzman Grubunun Son Raporu (Tam Sürüm)*, Avrupa Komisyonu: Brüksel, Belçika, 2015; ISBN 978-92-79-46051-7.
90. Lung, T.; Laval, C.; Hiederer, R.; Dosio, A.; Bouwer, LM İklimsel ve iklimsel olmayan değişim göstergelerini birleştiren Avrupa için çoklu tehlike bölgesel düzeyde etki değerlendirmesi. *Küresel. Çevre. Değişim.* **2013**, *23*, 522–536. [[ÇaprazRef](#)]

91. Makinen, K.; Prutsch, A.; Karalı, E.; Leitner, M.; Voller, S.; Lyytimäki, J.; Pringle, P.; Vanneuville, W. *Ulusal Düzeyde İklim Değişikliğine Uyum Göstergeleri—Avrupa'daki Ortaya Çıkan Uygulamalardan Dersler*; Teknik makale 2018/3; Avrupa İklim Değişikliği Etkileri, Savunmasızlık ve Uyum Konu Merkezi (ETC/CCA): Kopenhag, Danimarka, 2018; s. 1–68.
92. Mysiak, J.; Torresan, S.; Bosello, F.; Mistry, M.; Amadio, M.; Marzi, S.; Furlan, E.; Sperotto, A. İtalya için iklim risk endeksi. *Felsefe. Çeviri. R. Soc. A Matematik. Fizik. Müh. Bil.* **2018**, *376*, 20170305. [[ÇaprazRef](#)]
93. Bai, J.; Cui, B.; Chen, B.; Zhang, K.; Deng, W.; Gao, H.; Xiao, R. Çin'deki tipik bir plato gölü sulak alanındaki yüzey tortularındaki ağır metallerin mekansal dağılımı ve ekolojik risk değerlendirmesi. *Ekol Modeli*. **2011**, *222*, 301–306. [[ÇaprazRef](#)]
94. Bateman, I.; Agarwala, M.; Binner, A.; Coombes, E.; Day, B.; Ferrini, S.; Fezzi, C.; Hutchins, M.; Lovett, A.; Posen, P. İklim kaynaklı arazi kullanım değişikliğinin ve dolaylı etkilerinin mekansal olarak açık entegre modellemesi ve ekonomik değerlemesi. *J. Çevre Yönetim* **2016**, *181*, 172–184. [[ÇaprazRef](#)]
95. Chen, S.; Chen, B.; Fath, BD Enerji ağı modeline dayalı olarak nehir sistemlerinde hidroelektrik santral inşaatının kümülatif çevresel etkisinin değerlendirilmesi. *Yenile. Sürdür. Enerji Rev.* **2015**, *42*, 78–92. [[ÇaprazRef](#)]
96. Hobbs, TJ; Neumann, CR; Meyer, WS; Moon, T.; Bryan, BA Güney Avustralya'da arazi kullanımı ve iklim değişikliğine uyum planlaması için ormanlandırma verimliliği ve karbon tutulması modelleri. *J. Çevre Yönetim* **2016**, *181*, 279–288. [[ÇaprazRef](#)]
97. Tervonen, T.; Sepehr, A.; Kadziński, M. Çölleşme karşıtı yönetim için çok kriterli çıkarım yaklaşımı. *J. Çevre Yönetim* **2015**, *162*, 9–19. [[ÇaprazRef](#)]
98. Marignani, M.; Bruschi, D.; Garcia, DA; Frondoni, R.; Carli, E.; Pinna, MS; Cumo, F.; Gugliermetti, F.; Saatkamp, A.; Doxa, A. Akdeniz kıyı bölgelerinde yüksek çevresel risk taşıyan alanların belirlenmesi ve önceliklendirilmesi: Esnek bir yaklaşım. *Bilim. Toplam Çevre*. **2017**, *590*, 566–578. [[ÇaprazRef](#)]
99. Satta, A.; Snoussi, M.; Puddu, M.; Flayou, L.; Hout, R. Kıyı bölgelerinde iklimle ilgili tehlikelerin risklerini değerlendirmek için endeks tabanlı bir yöntem: Tetouan örneği. *Haliç. Kıyı. Raf Bilim*. **2016**, *175*, 93–105. [[ÇaprazRef](#)]
100. Wolff, C.; Vafeidis, AT; Lincke, D.; Marasmi, C.; Wolff, C. Kıyı Taşkınlarının Gelecekteki Etkilerinin Değerlendirilmesinde Ölçek ve Girdi Verilerinin Etkileri: Emilia-Romagna Kıyısı için DIVA Uygulaması. *Ön. Deniz Bilimleri*. **2016**, *3*, 1–15. [[ÇaprazRef](#)]
101. Sperotto, A.; Molina, JL; Torresan, S.; Critto, A.; Pulido-Velazquez, M.; Marcomini, A. Besin maddelerinin yüklenmesi üzerindeki iklim değişikliği etkilerinin değerlendirilmesi için bir Bayes Ağları yaklaşımı. *Çevre. Bilim. Politikası* **2019**, *100*, 21–36. [[ÇaprazRef](#)]
102. Furlan, E.; Slanzi, D.; Torresan, S.; Critto, A.; Marcomini, A. Adriyatik Denizi'nde çoklu senaryo analizi: Denizsel mekansal planlamayı desteklemek için GIS tabanlı bir Bayes ağı. *Bilim. Toplam Çevre*. **2020**, *703*, 134972. [[ÇaprazRef](#)] [[PubMed](#)]
103. Uluslararası Risk Yönetim Merkezi (IRGC). *Karar Alma Algoritmalarının Yönetimi*; Ecole Polytechnique FeDe Lozan Rale'si (EPFL): Lozan, İsviçre, 2018; Cilt 1, s. 1–32.
104. Uluslararası Risk Yönetim Merkezi (IRGC). *Sistemik Risklerin Yönetimine İlişkin Kılavuzlar*; Ecole Polytechnique FeDeLozan Rale'si (EPFL): Lozan, İsviçre, 2018; Cilt 1, s. 1–182.
105. Kulp, SA; Strauss, BH Deniz seviyesinin yükselmesine ve kıyı taşkınlarına karşı hassasiyet. *Ulusal Topluluk*. **2019**, *10*, 1–12.



©2020 yazarlar tarafından. Lisans sahibi MDPI, Basel, İsviçre. Bu makale, Creative Commons Atıf (CC BY) lisansının (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hüküm ve koşulları altında dağıtılan açık erişimli bir makaledir.