



JRC Politika için Bilim Raporu

Avrupa'da iklim değişikliğinin etkileri ve adaptasyon

JRC PESETA IV nihai raporu

Feyen L., Ciscar J.C., Gosling S.,
Ibarreta D., Soria A. (editörler).

Yazarların tam listesi Teşekkür bölümünde

Bu yayın, Avrupa Komisyonu'nun bilim ve bilgi servisi olan Ortak Araştırma Merkezi (JRC) tarafından hazırlanan Politika için Bilim raporudur. Avrupa politika oluşturma sürecine kanıta dayalı bilimsel destek sağlamayı amaçlamaktadır. İfade edilen bilimsel çıktı, Avrupa Komisyonu'nun bir politika pozisyonu anlamına gelmez. Ne Avrupa Komisyonu ne de Komisyon adına hareket eden herhangi bir kişi bu yayının kullanımından sorumlu değildir. Bu yayında kullanılan ve kaynağı Eurostat ya da diğer Komisyon hizmetleri olmayan verilerin altında yatan metodoloji ve kalite hakkında bilgi isteyen kullanıcılar, atıfta bulunulan temasa geçmelidir. Haritalarda kullanılan tanımlamalar ve materyallerin sunumu, Avrupa Birliği'nin herhangi bir ülke, bölge, şehir veya alanın veya yetkililerinin yasal statüsü veya sınırlarının veya sınırlarının sınırlandırılmasıyla ilgili herhangi bir görüş ifade ettiği anlamına gelmez.

AB Bilim Merkezi

<https://ec.europa.eu/jrc>

JRC119178

EUR 30180 TR

ISBN 978-92-76-18123-1

ISSN 1831-9424

doi:10.2760/171121

Lüksemburg: Avrupa Birliği Yayınlar Ofisi, 2020

© Avrupa Birliği, 2020



Avrupa Komisyonu'nun yeniden kullanım politikası, Komisyon belgelerinin yeniden kullanımına ilişkin 12 Aralık 2011 tarihli ve 2011/833/EU sayılı Komisyon Kararı ile uygulanmaktadır (OJ L 330, 14.12.2011, s. 39). Aksi belirtilmedikçe, bu belgenin yeniden kullanımına Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) lisansı altında izin verilmektedir. Bu, uygun kredi verilmesi ve herhangi bir değişikliğin belirtilmesi koşuluyla yeniden kullanıma izin verildiği anlamına gelir. AB'ye ait olmayan fotoğrafların veya diğer materyallerin kullanımı veya çoğaltılması için doğrudan telif hakkı sahiplerinden izin alınmalıdır.

Benjavis Ruangvaree'nin kapak görseli ve IgorZh, oxinovi ve Trueffelpix'in 14. sayfadaki görselleri hariç tüm içerik © Avrupa Birliği, 2020 (tümü stock.adobe.com adresinden alınmıştır)

Feyen L., Ciscar J.C., Gosling S., Ibarreta D., Soria A. (editörler) (2020). *Avrupa'da iklim değişikliğinin etkileri ve adaptasyon*. JRC PESETA IV nihai raporu. EUR 30180EN, Avrupa Birliği Yayınlar Ofisi, Lüksemburg, ISBN 978-92-76-18123-1, doi:10.2760/171121, JRC119178.

İçindekiler

Özet	1
Teşekkür	2
Yönetici özeti	3
1 Giriş	12
2 Metodoloji	14
2.1 Proje uygulaması	14
2.2 Senaryo tasarımı	14
2.3 Gelecekteki iklim projeksiyonları	15
2.4 Sosyoekonomik projeksiyonlar	15
2.5 Etki modellerine genel bakış	16
3 Küresel ısınma ile Avrupa'da iklim	20
4 Aşırı sıcak ve soğuklardan kaynaklanan insan etkileri	23
5 Rüzgar fırtınalarının etkileri	26
6 Su kaynakları üzerindeki etkiler	29
7 Kuraklığın etkileri	32
8 Nehir taşkını etkileri ve adaptasyon	35
9 Kıyı taşkın etkileri ve adaptasyon	38
10 Orman yangını tehlikesi ve kırılganlık	41
11 Alp tundrası habitat kaybı	44
12 Orman ekosistemlerinin kırılganlığı	47
13 Tarım üzerindeki etkiler	50
14 Elektrik üretimi üzerindeki etkiler	53
15 Ekonomik analiz	56
16 Sınırlamalar ve ileriye dönük yol	59
Referanslar	61
Şekillerin listesi	64
Tabloların listesi	66

Özet

JRC PESETA IV çalışması, sera gazı emisyonlarını acilen azaltmaz veya iklim değişikliğine uyum sağlamazsak, ABdeki ekosistemlerin, insanların ve ekonomilerin iklim değişikliğinden kaynaklanan büyük etkilerle karşı karşıya kalacağını göstermektedir. İklim değişikliğinin yükü, Avrupa'nın güney bölgelerinin aşırı sıcaklar, su kıtlığı, kuraklık, orman yangınları ve tarımsal kayıplar yoluyla çok daha fazla etkilendiği açık bir kuzey-güney ayrımı göstermektedir. Küresel ısınmanın 2°C'nin çok altında sınırlandırılması, Avrupa'da iklim değişikliğinin etkilerini önemli ölçüde azaltacaktır. İklim değişikliğine adaptasyon, kaçınılmaz etkileri maliyet etkin bir şekilde daha da azaltacak ve doğa temelli çözümlerden önemli ölçüde ortak fayda sağlayacaktır.

Teşekkür

JRC PESETA IV projesi, DG Research tarafından finanse edilen projeler (örneğin FP7 HELIX, ECONADAPT) ve AgMIP tarım ve ISIMIP etki modelleme gibi önceki ilgili çalışmalardan yararlanmıştır.

Bu çalışmada kullanılan EURO-CORDEX verileri Earth System Grid Federation sunucusundan elde edilmiştir (<https://esgf-data.dkrz.de/projects/esgf-dkrz/>). Simülasyonları gerçekleştiren ve verilerini kullanıma sunan tüm modelleme gruplarına, yani Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (IPSL), Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques, Verneuil en Halatte (INERIS), CLM topluluğu (CLMcom), Danimarka Meteoroloji Enstitüsü (DMI), Hollanda Kraliyet Meteoroloji Enstitüsü (KNMI) ve İsveç Meteoroloji ve Hidroloji Enstitüsü (SMHI) Rossby Merkezi'ne minnettarız.

Proje ayrıca JRC PESETA IV projesi Danışma Kurulu üyelerinin tavsiye ve yorumlarına da dayanmaktadır: Clare Goodess (East Anglia Üniversitesi), John Mac Callaway (UNEP - Risø Merkezi), Ole B. Christensen (Danimarka Meteoroloji Enstitüsü), Robert Kopp (Rutgers Üniversitesi).

Bu rapor ek akran değerlendirmesine tabi tutulmuştur ve yazarlar Kris Ebi'den, Avrupa Komisyonu hizmetlerinden, özellikle de DG CLIMA'nın Adaptasyon Biriminden ve JRC'deki meslektaşlarından aldıkları yorum ve önerilere teşekkür etmek isterler.

Yazarlar

Koordinasyon	L Feyen, JC Ciscar, S Gosling ^(a) , D Ibarreta, A Soria
İklim modellemesi	A Dosio
İnsan ölümleri	G Naumann, S Russo ^(b) , G Formetta ^(c) , G Forzieri, M Girardello, D Ibarreta, L Feyen
Rüzgar Fırtınaları	J Spinoni, G Formetta ^(c) , L Mentaschi, G Forzieri, L Feyen
Su	B Bisselink, J Bernhard ^(d) , E Gelati, M Adamovic, S Guenther ^(e) , L Mentaschi, L Feyen, A de Roo
Kuraklıklar	C Cammalleri, G Naumann, L Mentaschi, G Formetta ^(c) , G Forzieri, S Gosling ^(a) , B Bisselink, A de Roo, L Feyen
Nehir taşkınları	F Dottori, L Mentaschi, A Bianchi ^(f) , L Alfieri, L Feyen
Kıyı taşkınları	M Voudoukas, L Mentaschi, I Mongelli, JC Ciscar, J Hinkel ^(g) , P Ward ^(h) , S Gosling ^(a) , L Feyen
Orman Yangınları	H Costa ⁽ⁱ⁾ , D de Rigo ^(j) , G Libertà, T Houston Durrant ^(k) , J San-Miguel-Ayanz
Alp tundrası habitat kaybı	Jl Barredo, A Mauri, G Caudullo ^(l)
Orman ekosistemleri	G Forzieri, M Girardello, G Ceccherini, A Mauri, J Spinoni, P Beck, L Feyen, A Cescatti
Tarım	J Hristov, A Toreti, I Pérez Domínguez, F Dentener, T Fellmann, C Elleby, A Ceglar, D Fumagalli ^(m) , S Niemeyer, I Cerrani ⁽ⁿ⁾ , L Panarello ^(o) , M Bratu ^(p)
Enerji tedariği	J Després J, M Adamovic
Ekonomik entegrasyon	W Szewczyk, A Matei, JC Ciscar, L Feyen, E Mulholland, A Soria
Görselleştirme	A Bianchi ^(f) , M Olariaga

Avrupa Komisyonu Ortak Araştırma Merkezi'nden tüm yazarlar, hariç:

^(a) Nottingham Üniversitesi (Birleşik Krallık)

^(b) Malta Merkez Bankası (Malta)

^(c) Università di Trento (İtalya)

^(d) Universiteit Utrecht (Hollanda)

^{(e) (l) (o)} Arcadia (İtalya)

^{(f) (m) (n) (p)} Fincons (İtalya)

^(g) Küresel İklim Forumu (Almanya)

^(h) Vrije Universiteit Amsterdam (Hollanda)

⁽ⁱ⁾ Direção-Geral do Território (Portekiz) ve Universidade Nova de Lisboa (Portekiz)

^(j) Arcadia (İtalya) ve Maieutike Araştırma Girişimi (İtalya)

^(k) Engineering Ingegneria Informatica (İtalya)

Yönetici özeti

Politika bağlamı ve amacı

İklim değişikliği, insanları ve doğayı ciddi şekilde etkileyen, insanlık için en büyük tehditlerden biridir. Avrupa için Yeşil Anlaşma ile AB, gezegenimizin sağlıklı kalması için çaba sarf etmekte ve 2050 yılına kadar dünyanın ilk karbon-nötr kıtası olmayı hedeflemektedir. Bu hedefe ve Paris İklim Değişikliği Anlaşması'nın¹ küresel ısınmayı sanayi öncesi sıcaklıklara kıyasla 2°C'nin çok altında tutma hedefine rağmen, dünya genelinde sera gazı (GHG) emisyonları artmaya devam etmektedir. Küresel sıcaklık şu anda sanayi öncesi döneme kıyasla yaklaşık 1°C daha yüksektir ve yeterli azaltım stratejileri , küresel ısınma bu yüzyılın sonuna kadar 3°C veya daha fazlasına ulaşabilir.

PESETA IV çalışmasının temel amacı, iklim değişikliğinin AB üzerindeki etkilerini daha iyi anlamaktır. Bir dizi etki kategorisini inceleyen bu rapor, AB'de hangi sektörlerin ve bölgelerin en çok etkilenebileceğini ve azaltım ve uyum seçeneklerinin iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini nasıl önleyebileceğini ortaya koymaktadır.

Senaryo tasarımı

PESETA IV, AB sektörel düzeyinde sera gazı emisyonlarının azaltılmasının faydalarını (önlenen olumsuz etkiler) ve uyum tedbirlerinin potansiyelini değerlendirmektedir. Bunun için, gelecekte azaltım ve uyum politikası eylemleri gerçekleştiğinde sektörel iklim değişikliği etkilerini (zararlarını), hiçbir politika eyleminin gerçekleştirilmediği bir duruma kıyasla niceliksel olarak değerlendirmektedir. İklim politikası eylemlerinin olmadığı senaryo için, etkiler 3°C'lik küresel ısınma ve adaptasyonun olmadığı durumda değerlendirilmektedir. Paris ısınma hedeflerine ulaşmanın azaltım faydaları, 1,5°C ve 2°C küresel ısınma ile etkiler tahmin edilerek değerlendirilmiştir.

Sosyoekonomik etkilerin değerlendirilmesi, ekonominin belirli bir durumu çerçevesinde yapılır. Bu statik (bugünün ekonomisi) ya da dinamik (geleceğin ekonomisi) olabilir. Statik yaklaşımın sonuçları, küresel ısınma ve iklim değişikliğinin bugünün nüfusunu ve ekonomisini nasıl etkileyeceğini gösterir. Bu, iklim değişikliğinin etkisinin tek başına ele alınmasına olanak ve uzun zaman dilimlerinde demografik ve ekonomik gelişmelerle ilgili belirsizliği yüksek varsayımlarda bulunulmasını önler. Dinamik yaklaşımda, geleceğin ekonomisi ECFIN Yaşlanma Raporu nüfus ve ekonomi projeksiyonlarına dayanmaktadır. Analizlerin çoğu statik ve dinamik yaklaşımı takip ederken, ekonomi üzerindeki genel etkinin değerlendirilmesi günümüz ekonomisi için statik bir genel denge modeline .

Yükselen deniz seviyeleri nedeniyle kıyı taşkınları gibi küresel ısınmanın bazı önemli etkileri için, uyum seçeneklerinin maliyetleri ve faydaları açıkça modellenmiştir. Diğer sektörler için bu şu anda pan-Avrupa ölçeğinde mümkün değildir ve uyum seçenekleri mevcut literatür gözden geçirilerek değerlendirilmektedir.

Etki kategorileri

PESETA IV, iklim değişikliğinin sonuçlarını on bir iklim etki kategorisi için değerlendirmektedir: sıcak ve soğuk dalgalarından kaynaklanan insan ölümleri, rüzgar fırtınaları, su kaynakları, kuraklıklar, nehir taşkınları, kıyı taşkınları, orman yangınları, habitat kaybı, orman ekosistemleri, tarım ve enerji arzı. Proje, farklı küresel ısınma seviyelerine karşılık gelen iklim koşullarının yüksek çözünürlüklü projeksiyonlarını biyofiziksel ve ekonomik etkilere dönüştüren süreç tabanlı, ampirik ve çok ürünli piyasa modellerinin bir kombinasyonunu kullanmaktadır.

Sonuçların yorumlanması

Çalışma şu anda mümkün olduğu kadar çok iklim değişikliği etkisini içermektedir, ancak iklim değişikliğinin potansiyel sonuçlarının geniş yelpazesi açısından kapsamlı değildir. İncelenmeyen başlıca etkiler arasında su ve deniz ekosistemleri, su ve vektör kaynaklı hastalıklar, hava kalitesi, insanların yerlerinden edilmesi, çatışmalar ve güvenlik, doğaya verilen geri dönüşü olmayan zararlar ve tür kayıpları ile iklimin devrilme noktalarının geçilmesinin potansiyel olarak ürkütücü sonuçları yer almaktadır. Aşırı olayların etkileri de, sıcak stresinin mahsul verimi ve kuraklığın enerji üretimi üzerindeki etkileri gibi, kapsanan tüm sektörlerde tam olarak ele alınmamaktadır.

¹ Paris Anlaşmasının Kabulü FCCC/CP/2015/L.9 (UNFCCC, 2015).

Bu da PESETA IV'te ölçülen biyofiziksel ve ekonomik etkilerin, iklim değişikliğinin AB'deki potansiyel etkilerinin bir alt sınırı olarak hizmet ettiği anlamına gelmektedir. Bu nedenle bu çalışma, AB'deki iklim azaltma ve uyum eylemlerinin faydalarının tam bir değerlendirmesi olarak yorumlanmamalıdır; bu faydalar bu raporda sunulandan daha büyük olabilir.

IPCC Değerlendirme Raporları gibi iklim değişikliğinin potansiyel etkilerine ilişkin kapsamlı inceleme raporları, çok sayıda çalışmaya dayanan daha geniş bir etki yelpazesini kapsamaktadır. PESETA IV'ün katma değeri, AB'nin sektörleri ve bölgeleri arasındaki etkilerin karşılaştırılmasına olanak tanıyan tutarlı bir dizi sosyoekonomik ve iklim senaryosu kullanmasıdır.

Bu raporda bildirilen tahminler, iklim ve sosyoekonomik projeksiyonlardaki belirsizlikler, uygulanan biyofiziksel ve ekonomik modeller ve bunları kavramsallaştırmak ve doğrulamak için kullanılan veriler nedeniyle doğası gereği belirsizdir. Bu nedenle burada sunulan tahminler, belirli bir yer, bölge veya ülke için gelecekteki etkilere ilişkin tahminler veya kesin öngörüler olarak yorumlanmamalıdır. Daha ziyade, AB iklim değişikliğinin etkilerinin genel kalıpları ve iklim politikası eylemlerinin potansiyel faydaları hakkında fikir vermeyi amaçlamaktadırlar.

Önemli bulgular

AB'deki ekosistemlerin, insanların ve ekonomilerin, iklim değişikliğinden kaynaklanan büyük etkilerle karşı karşıya kalacağı öngörülmektedir

İklim azaltımı (sanayi öncesi sıcaklığın 3°C veya daha üzerinde ısınma) ve uyum eylemleri olmaksızın AB aşağıdaki etkilerle karşı karşıya kalabilir:

- Alpin tundra alanı %84 oranında daralacak ve Pireneler'de neredeyse yok olacaktır. Doğal iklimsel ağaç hattı dikey olarak yılda 8 metreye kadar yukarı kayacaktır.
- Ekolojik etki alanları kuzeye doğru kayacak, bu da Güney Avrupa ve Boreal hakim etki alanlarında ciddi değişikliklere ve Tropikal etki alanının Avrupa'ya tecavüz etmesine neden olacaktır.
- Orman yangınları ve haşere salgınları daha sık ve şiddetli hale gelecek, biyokütle kaybı ve karbon salınımı artacaktır.
- Ormanlık alanların yakınında yaşayan ilave 15 milyon Avrupalı, yılda en az 10 gün boyunca yüksek-aşırı yangın tehlikesine maruz kalacaktır.
- AB ve Birleşik Krallık'ta her yıl yaklaşık 300 milyon vatandaş ölümcül sıcak hava dalgalarına maruz kalacak ve bu da aşırı sıcaklardan kaynaklanan ölümlerde 30 kat artışa neden olacaktır (bugün her yıl yaklaşık 3.000 yıllık ölüm sayısı 90.000).
- Avrupa'nın güney bölgelerinde su kaynaklarının kullanılabilirliği %40'a kadar düşecek ve güney ve batı Avrupa'nın çoğunda kuraklıklar daha sık yaşanacaktır.
- Su kıtlığı ve kuraklık, zaten su çeken bölgelerde tarımı, enerji üretimini ve su tedarikini giderek daha fazla etkileyecektir.
- Uluslararası piyasa ayarlamalarının olmaması halinde, Güney Avrupa'da mahsul verimi %10'dan fazla düşecektir.
- AB ve Birleşik Krallık için toplam kuraklık kaybı, günümüzde yılda 9 milyar € iken, 2100 yılında 3°C ısınma ile yaklaşık 45 milyar €/yıla çıkacaktır.
- AB ve Birleşik Krallık'ta neredeyse yarım milyon insan her yıl nehir taşkınlarına maruz kalacaktır; bu sayı şu anki sayının neredeyse üç katıdır ve nehir taşkınlarının zararları 6 kat artarak 2100 yılında 3°C ile yılda yaklaşık 50 milyar €'ya ulaşacaktır.
- AB ve Birleşik Krallık'taki kıyı taşkın kayıpları iki kat artarak 250'ye yükselecektir 2100'de yılda milyar €'ya ulaşırken, şu anda 100.000 olan kıyı su baskınına yılda 2,2 milyon kişi maruz kalacaktır.
- Günümüz ekonomisinde 3°C küresel ısınma meydana gelirse, sınırlı bir dizi iklim etkisi (nehir taşkınları, kıyı taşkınları, tarım, kuraklık, enerji arzı, aşırı sıcaklıklardan kaynaklanan ölümler ve rüzgar fırtınaları) dikkate alındığında, AB ve Birleşik Krallık'ta yıllık refah kaybı GSYH'nin %1,4'üne karşılık gelebilir. 4°C küresel ısınma ile yıllık refah kaybı GSYH'nin %1,9'u olacaktır (PESETA III).

İklim değişikliğinin yükü, Avrupa'nın güney bölgelerinin daha fazla etkilendiği açık bir kuzey-güney ayrımı göstermektedir

Avrupa'nın güneyinin, artan küresel ısınma seviyeleri ile Avrupa'nın diğer bölgelerine göre nispeten daha fazla zarar görmesi beklenmektedir, bunun nedeni büyük ölçüde yüksek sıcaklıklarda ve suyun mekansal ve zamansal mevcudiyetinde meydana gelen değişikliklerdir.

- Sıcak hava dalgalarının sıklığı Avrupa'nın güneyinde daha dramatik bir şekilde artmaktadır. Azaltılmamış iklim değişikliği ile birlikte, insanların şiddetli sıcak hava dalgalarına maruz kalma oranı yüksek enlemlerde yaklaşık 30 kat artarken, güney Avrupa ülkelerinde (örneğin İspanya ve Yunanistan) 40 ila 50 kat daha fazla olabilir.
- Yaz aylarında, halihazırda en yüksek su stresine karşı karşıya olan güney Avrupa bölgelerinde su mevcudiyeti neredeyse yarıya düşecektir. Kuzey Avrupa'daki su kaynakları artacaktır.
- Kuzeyde hidroelektrikle elektrik üretimi artarken, güney Avrupa'da doğrudan üretim ve nehir soğutması için daha düşük su mevcudiyeti nedeniyle hidroelektrik ve nükleer enerji azalacaktır.
- Piyasa düzenlemeleri olmadan, buğday ve mısır verimi güney Avrupa'da ortalama %10'dan fazla düşecektir. Kuzey Avrupa'da buğday (mısır) verimi yaklaşık %5 oranında artacaktır (azalacaktır).
- Yüksek ısınmayla birlikte, AB ve Birleşik Krallık'taki toplam kuraklık kayıplarının neredeyse yarısı Akdeniz AB ülkelerinde meydana gelecektir; bu oran şu anda %40'tır.
- Güney sıradağlarında yukarı doğru ağaç çizgisi kayma oranı yüksek enlemlerdekine iki katıdır ve yüksek ısınma ile alpin tundra neredeyse tamamen yok olacaktır.
- Yangın tehlikesindeki artış ve ormanlık alanlara yakın insanların buna maruz kalması daha düşük enlemlerde daha güçlüdür.
- PESETA IV'te parasallaştırılan iklim etkilerinden kaynaklanan refah kayıpları net bir kuzey-güney ayrımı göstermektedir; güney bölgelerdeki refah kayıpları Avrupa'nın kuzeyindekilere kıyasla birkaç kat daha büyük olacaktır.

İklim değişikliğinin azaltılması AB'de iklim değişikliğinin etkilerini önemli ölçüde azaltabilir

PESETA IV'te ele alınan tüm iklim etkileri, Paris Anlaşması hedeflerine ulaşan azaltım politikaları ile önemli ölçüde azaltılacaktır:

- Alp tundrasının yarısından fazlası sabit kalırken, azaltım olmadan bu oran sadece %16 olacaktır. Dikey ağaç hatlarındaki kaymalar %50'den fazla azalacaktır.
- Güney Avrupa ve Boreal bölgelerdeki hakim ekolojik alanlardaki değişimin yoğunluğu ve Tropikal alanın Avrupa'ya tecavüzü sınırlı olacaktır.
- Yıllık olarak en az 10 gün yüksek-aşırı yangın tehlikesine maruz kalan ormanlık alan yakınındaki insan sayısındaki artış, 3°C küresel ısınma ile 15 milyona kıyasla 5 milyon ile sınırlı kalacaktır.
- Her yıl ölümcül sıcak hava dalgalarına maruz kalan insan sayısı 200 milyon azalacak ve yılda 60.000 kişi daha az ölecektir.
- Güney bölgelerdeki su kaynaklarının kullanılabilirliğindeki düşüş yarıya inecektir. Şiddetli su stresi yaşayan bölgelerde yaşayan insan sayısı, yüksek ısınma ile dört katına çıkmasına kıyasla sabit kalacaktır.
- Yıllık kuraklık kayıpları 20 milyar €/yıl azalacaktır.
- Her yıl yaklaşık 230.000 kişi daha az nehir taşkınına maruz kalacak ve 2100 yılında 1,5°C ile nehir taşkın zararı 3°C senaryosuna kıyasla yarı yarıya azalarak 24 milyar €/yıla düşecektir.
- Kıyı taşkın kayıpları 2100 yılında 100 milyar €/yıldan fazla .
- Refah kayıpları, azaltılmamış iklim değişikliğine kıyasla %75 oranında azaltılabilir.

Küresel ısınma 2°C'nin çok altında kalsa bile AB'de kaçınılmaz etkiler olacaktır. PESETA IV, nehir ve kıyı taşkınları için risk azaltma önlemlerinin maliyet ve faydalarının Avrupa çapında değerlendirilmesi yoluyla, uyumun iklim değışikliğı etkilerini maliyet etkin bir şekilde azaltabileceğini örnelemektedir.

Analizler, uyum önlemlerinin faydalarının uzun süreli olduğunu ve önlenen iklim değışikliğı zararının zamanla ve artan küresel ısınmayla birlikte büyüdüğünü göstermektedir. İklim değışikliğinin azaltılmaması durumunda,

- Su tutma rezervuarları kurarak taşkın zirvelerini azaltmak, yüzyılın sonunda yıllık nehir taşkını hasarını yaklaşık 40 milyar Avro azaltacak ve AB ve Birleşik Krallık'ta her yıl yaklaşık 400.000 daha az insan sele maruz kalacaktır. Bugünden 2100 yılına kadar rezervuarların kurulumu ve bakımı için yapılacak yıllık yatırım 3.3 milyar €/yıl olacaktır. Doğaya dayalı depolama alanlarının, taşkın yatağı alanlarının doğal işleyişinin yeniden sağlanması ve ekosistem kalitesinin iyileştirilmesi gibi ek faydaları da bulunmaktadır.
- Nüfusun yoğun olduğu ve ekonomik açıdan önemli kıyı bölgelerinin kıyı şeridi boyunca korumanın güçlendirilmesi, AB ve Birleşik Krallık'ta bu yüzyılın sonunda her yıl 220 milyar €'luk kıyı taşkını kaybını önleyecektir; bu da şu andan 2100 yılına kadar yıllık 2 milyar €'dan daha az bir maliyet anlamına gelmektedir. Ayrıca her yıl 1.4 milyon daha az insan kıyı taşkınlarına maruz kalacaktır. Küresel ısınmanın deniz seviyesinin yükselmesi üzerindeki etkileri iklimin dengelenmesinden sonra da devam edecek, dolayısıyla kıyı adaptasyonunun faydaları da artacaktır. Deniz seviyesindeki güçlü yükselişin ve buna bağlı olarak adaptasyon ihtiyacının kaçınılmaz bir dezavantajı, AB kıyı şeridinin yaklaşık %25'inde denizin, bazı bölgelerde iki metre yüksekliğe kadar çıkabilen doğal veya fiziksel engellerle hinterlandla bağlantısının kesilecek olmasıdır.

Farklı etki kategorileri için ana bulgular

Sıcak ve soğuk dalgalarından kaynaklanan insan ölümleri

Küresel ısınma, herhangi bir adaptasyon olmadığı varsayıldığında, aşırı sıcaklıklara maruz kalma ve bu sıcaklıklardan kaynaklanan ölümlerde güçlü bir net artışa neden olacaktır. Sıcak hava dalgalarıyla ilgili olarak, 1,5°C ile her yıl yaklaşık 100 milyon Avrupalı yoğun bir sıcak hava dalgasına (mevcut 50 yıllık veya daha aşırı bir sıcak hava dalgası olayına karşılık) maruz kalacaktır veya şimdiki kıyasla on katına çıkacaktır. Bu rakam 2°C ile 170 milyon/yıla, 3°C küresel ısınma ile de yaklaşık 300 milyon/yıla, yani AB ve Birleşik Krallık nüfusunun yarısından fazlasına çıkacaktır. Aşırı sıcaklara maruz kalma oranındaki artış en çok güney Avrupa'da görülmektedir.

Mevcut kırılganlık ve ek adaptasyon olmadığı varsayıldığında, aşırı sıcaklardan kaynaklanan yıllık ölümler şu anda yılda 2.700 iken, 1,5°C ve 2°C küresel ısınma ile 2050 yılına kadar sırasıyla yaklaşık 30.000 ve 50.000'e yükselebilir. 2100 yılında 3°C ile her yıl 90.000 Avrupalı aşırı sıcaklar nedeniyle ölebilir. Aşırı kaynaklanan ölümlerdeki artış güney Avrupa ülkelerinde daha şiddetli olup, en fazla ölüm Fransa, İtalya ve İspanya'da meydana gelmektedir.

Soğuk hava dalgalarıyla ilgili olarak, kışların daha ılıman geçmesi, zaten aşırı sıcaklardan kaynaklanan ölümlerin çok küçük bir kısmını oluşturan aşırı soğuklara maruz kalmayı ve bu soğuklardan kaynaklanan ölümleri önemli ölçüde azaltacaktır.

Bu projeksiyonlar Avrupa nüfusunun yaşlanmakta olduğu gerçeğini hesaba katmamaktadır. AB ve Birleşik Krallık'ta 65 yaş üstü insan sayısı şu anda 100 milyon iken 2050 yılına kadar 150 milyona ulaşacak ve bu da aşırı sıcaklıklardan kaynaklanan insan ölümlerini olumsuz etkileyebilecektir. Ayrıca, artan kentleşme, kentsel ve metropol alanların çevrelerindeki kırsal alanlardan önemli ölçüde daha sıcak olmasına neden olan kentsel ısı adası etkisini artırabilir.

Rüzgar Fırtınaları

Rüzgar fırtınaları Avrupa'da en çok zarar veren doğal afetler arasında yer almakta olup, AB ve Birleşik Krallık'ta yıllık yaklaşık 5 milyar Euro'luk bir zarara yol açtığı tahmin edilmektedir. İklim modeli projeksiyonları, Avrupa topraklarının çoğunda küresel ısınmayla birlikte rüzgar fırtınalarının daha şiddetli hale gelmeyeceğini veya daha sık yaşanmayacağını göstermektedir.

3°C ısınma ile maksimum rüzgar hızları kara alanının %16'sında azalacak, yaklaşık %10'unda artacak ve Avrupa'nın geri kalanında nispeten sabit kalacaktır. Güney Avrupa, aşırı rüzgarların arttığı en büyük alan payına sahip bölgeyken (%17), orta-batı Avrupa daha az şiddetli aşırı rüzgarların öngörüldüğü en büyük alan payına sahiptir (%24). Ayrıca, rüzgarlı veya fırtınalı günlerin sayısı önemli değişiklikler göstermezken, Avrupa'nın çoğunda daha sakin günlere doğru güçlü bir eğilim öngörülmektedir.

Mevcut modeller, iklim değişikliği nedeniyle rüzgar fırtınası zararlarının artmayacağını öngörmektedir. Gelecekte rüzgar fırtınalarından kaynaklanan ekonomik hasar, ekonominin büyüklüğü ve buna bağlı olarak maruz kalan varlıkların daha yüksek değerleri ve inşaat maliyetleri nedeniyle artacaktır. Yıllık rüzgar fırtınası zararlarının 2050 yılında yaklaşık 7 milyar €/yıla, bu yüzyılın sonunda ise 11 milyar €/yıla ulaşacağı tahmin edilmektedir.

Su kaynakları

Küresel ısınma Avrupa'nın kuzeyinin genel olarak ıslanmasına ve güneyinin kurumasına yol açacaktır. Bu da kuzeyde su mevcudiyetinin artmasına, güneyde ise azalmasına neden olacaktır. Su kıtlığının süresi ve yoğunluğu, güney Avrupa'da zaten su kıtlığı olan bölgelerde artacaktır. Daha yüksek ısınma seviyelerinde, özellikle yaz aylarında su mevcudiyeti Avrupa'nın batı kesimlerinde ve daha yüksek enlemlerde de düşecektir. Sonuç olarak, Bulgaristan, Romanya, Fransa, Belçika, Hollanda, Almanya, Danimarka ve İngiltere gibi ülkelerde su kıtlığı dönemleriyle karşı karşıya kalan yeni alanlar ortaya çıkacaktır.

Her yıl en az bir ay su kıtlığı olduğu düşünülen bölgelerde yaşayan insanların sayısı günümüzde 52 milyon iken, 3°C'lik bir ısınma senaryosunda 65 milyona çıkabilir ki bu da mevcut AB ve Birleşik Krallık nüfusunun %15'ine denk gelmektedir. Şu anda yaklaşık 3.3 milyon olan ciddi su stresi altında yaşayan insan sayısı, iklim değişikliği ile birlikte dört katına çıkacaktır. Güney Avrupa'nın bazı bölgelerinde, yaz aylarında mevcut suyun neredeyse tamamı kullanılacak ve bu bölgelerdeki insanların ve ekonomik faaliyetlerin çoğu su kıtlığı ile karşı karşıya .

Kuraklıklar

Küresel ısınmayla birlikte, Avrupa'nın güney ve batı bölgelerinde kuraklık daha sık yaşanacak, daha uzun sürecek ve daha şiddetli hale gelecek, Avrupa'nın kuzey ve kuzeydoğu bölgelerinde ise kuraklık koşulları daha az aşırı hale gelecektir. Akdeniz bölgesinin, küresel ısınmayla birlikte kuraklıktaki artıştan etkilenen en geniş alana sahip olacağı tahmin edilmektedir: 1,5°C'lik ısınma senaryosunda bölgenin üçte ikisinde kuraklık sıklığı artmaktadır. Bu oran 3°C ısınma ile bölgenin %80'inden fazlasına ve bölgenin %23'ünde kuraklık sıklığı günümüze kıyasla iki katına çıkmaktadır. Ayrıca Atlantik bölgesinin %15'inde kuraklık, iklim değişikliğinin hafifletilmemesi durumunda iki kat daha sık yaşanacaktır.

2100 yılında 3°C küresel ısınma ile Avrupa'da kuraklıktan kaynaklanan toplam zarar şu anda 9 milyar €/yıl iken 45 milyar €/yıla çıkacaktır. Azaltım senaryoları altında, 2100 yılında zarardaki artış, azaltım yapılmamasına kıyasla yaklaşık yarı yarıya azalacaktır. Akdeniz ve Atlantik bölgeleri, küresel ısınmadan kaynaklanan kuraklık kayıplarında en büyük artışı görmektedir. Bu bölgelerin toplam AB ve Birleşik Krallık kuraklık kayıpları içindeki payı ısınma ile birlikte giderek artmakta ve 3°C ısınma ile %86'ya ulaşmaktadır. Gelecekte kuraklıktan kaynaklanan ekonomik kayıplarda öngörülen artışın bir kısmı ekonominin büyümesinden kaynaklanmaktadır. Ancak ekonomideki değişiklikler, ekonominin büyüklüğüne kıyasla gelecekteki kayıpları da azaltmaktadır, çünkü kuraklığa duyarlı sektörlerin özellikle tarımın gelecekteki AB ekonomilerinde ekonomik olarak daha az yaygın hale geleceği tahmin edilmektedir.

Nehir taşkınları

Küresel ısınma ve sele eğilimli bölgelerde devam eden kalkınma, nehir riskini giderek artıracaktır. Yüzyılın sonuna kadar 3°C'lik küresel ısınma ile AB ve Birleşik Krallık'taki nehir taşkını zararı, 7,8 milyar €/yıl olan mevcut zararın altı katına çıkacak ve şu anda 170.000 olan yaklaşık yarım milyon insan her yıl nehir taşkınına maruz kalacaktır. Küresel ısınmanın 1,5°C'de tutulması bu ekonomik etkileri yarıya indirecek ve maruz kalan insan sayısını 230.000 azaltacaktır.

Yeterli adaptasyon stratejileri gelecekteki sel etkilerini daha da önemli ölçüde azaltabilir. Pan-Avrupa ölçeğinde dört adaptasyon seçeneği araştırılmıştır: tutma alanları kullanarak taşkın zirvelerini azaltmak, mevcut bent sistemlerini güçlendirmek, bina temelli hasar azaltma önlemlerini uygulamak ve yeniden yerleştirme.

Tutma alanları kullanılarak sel piklerinin azaltılması, doğrudan etkileri maliyet etkin bir şekilde azaltma konusunda en güçlü potansiyeli göstermektedir. 3°C ısınma senaryosu için en uygun tasarımı uygulanması, AB ve Birleşik Krallık için 2020-2100 döneminde (iskonto edilmemiş değerler) yıllık ortalama 3,3 milyar € yatırım gerektirecek ve bu da yüzyılın sonunda selden kaynaklanan ekonomik zararı 40 milyar €/yıl (%82 azalma) azaltacaktır. Ek faydalar arasında taşkın yatağı alanlarının doğal işleyişinin restorasyonu ve bu sayede ekosistem kalitesinin iyileştirilmesi yer almaktadır. Mevcut bent sistemlerinin güçlendirilmesi de sellerin meydana gelmesini önleyebilir (3°C ısınma beklenen hasarı %68 oranında azaltır), ancak riski aşağıya aktarabilir ve sel bariyerlerinin arkasında daha fazla gelişmeyi teşvik edebilir. Bina bazlı hasar azaltma önlemlerinin uygulanması selleri önlemez, ancak 3°C ısınma senaryosu için AB'nin beklenen hasarını %50 oranında azaltabilir ve bu da sınırlı uygulama yatırımları gerektirdiğinden çok uygun maliyetli bir şekilde gerçekleştirilebilir. Yer değiştirme daha az maliyet etkin olup uygulama maliyetlerinde büyük değişkenliklere tabidir ve sosyal kabulü daha düşüktür.

Kıyı taşkınları

Küresel ısınma nedeniyle Avrupa'daki aşırı deniz seviyeleri bu yüzyılın sonuna kadar bir metre veya daha fazla yükselebilir. Mevcut kıyı koruma seviyeleri yükseltilmediği takdirde, kıyı şeridinde sahip tüm AB ülkeleri için kıyı taşkınlarından kaynaklanan hasar keskin bir şekilde artacaktır. Zararın azaltılmaması durumunda, AB ve Birleşik Krallık'ta yıllık ekonomik zarar 2100 yılına kadar 239 milyar Avro'ya ulaşacak ve kıyı taşkınlarına maruz kalan nüfus 2,2 milyona ulaşacaktır. Orta düzeyde azaltımla zarar yarı yarıya azalacak (111 milyar €/yıl) ve maruz kalan nüfus 1,4 milyon/yıl olacaktır; bu rakam şu andakinden (1,4 milyar zarar ve 0,1 milyon kişi/yıl nüfus) önemli ölçüde daha yüksektir.

Kıyı etkilerini azaltmak için bentleri yükseltme potansiyeli, bir adaptasyon seçeneği olarak değerlendirilmiştir ve deniz seviyesindeki aşırı uçlarda öngörülen belirgin artışlar göz önüne alındığında, Avrupa'nın gelişmiş kıyı şeridi boyunca muhtemelen kaçınılmaz bir stratejidir. Bentlerin yükseltilmesi, 2100 yılında hasarı ve etkilenen nüfusu sırasıyla yaklaşık %90 ve %60 oranında azaltacaktır. 2020-2100 dönemi boyunca ortalama yıllık adaptasyon maliyeti %2'den az olacaktır.

AB ve Birleşik Krallık için yılda milyar Euro, bu da yüzyılın sonuna kadar önlenen kıyı taşkın kayıplarından yaklaşık iki derece daha düşüktür. Bu da kıyı korumasına şimdi yatırım yapmanın uzun vadede çok büyük (ve giderek artan) faydalar sağlayacağı anlamına gelmektedir.

Koruma altına alınan alanlar kentleşmiş ve ekonomik açıdan önemli alanlar olacak ve Avrupa kıyı şeridinin yaklaşık beşte birini kapsayacaktır. Bu bölgelerde korumadaki ortalama artış bir metre civarındadır, ancak bazı yerlerde iki metreden fazladır. Bu durum, AB'nin yoğun nüfuslu ve ekonomik açıdan önemli birçok kıyı şeridi boyunca kıyı şeridinin iç bölgelerle bağlantısının kesilebileceği anlamına gelmektedir.

Orman Yangınları

Küresel ısınmayla bağlantılı olarak değişen hava koşullarının bir sonucu olarak yüksek-aşırı orman yangını tehlikesi olasılığının Avrupa'nın neredeyse her yerinde artacağı öngörülmektedir. Yangın tehlikesi yoğunluğunda ve yüksek yangın potansiyeline sahip günlerin sayısında öngörülen artış, ısınma seviyesiyle birlikte artmakta ve yangınların halihazırda daha sık ve daha yoğun olarak meydana geldiği güney Avrupa ülkelerinde daha güçlü olmaktadır. Ancak İsveç, İrlanda ve Birleşik Krallık'ta yakın zamanda yaşanan olaylar, yangınların Güney Avrupa ile sınırlı olmadığını göstermektedir.

Avrupa'da ormanlık alanların yakınında yaşayan ve yılda en az 10 gün yüksek-aşırı düzeyde yangın tehlikesine maruz kalan insan sayısı, 3°C küresel ısınma ile bugüne kıyasla 15 milyon (+%24) . Küresel ısınma 1,5°C ile sınırlandırıldığında, bu rakam 10 milyon kişi daha az .

İklim değişikliği aynı zamanda ekolojik alanların kuzeye doğru büyük ölçüde kaymasına neden olacaktır. Özellikle Güney Avrupa ve Boreal bölgeleri, hakim ekolojik alan bileşenlerinde ciddi değişiklikler yaşayacaktır. Daha yüksek ısınma seviyeleri, Tropikal alanın Avrupa'ya tecavüz etme olasılığını da artırmaktadır. Biyoiklimsel koşullardaki derin dönüşüm, bitki örtüsünün buna uyum sağlaması için gereken süreyi aşacak ve yabancı alan bitki örtüsünün (ormanlar, çalılıklar ve otlaklar) yapısı ve bileşimi üzerinde temel bir baskı oluşturacaktır. Bu durum yangınlara karşı kırılganlığı artıracak, aynı zamanda yangın sonrası bitki örtüsünün iyileşmesini de etkileyecektir.

Sıkı azaltım, daralma ve genişlemeleri sınırlandıracaktır. Ancak, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini önlemek için azaltım tek başına yeterli değildir ve orman yangınlarına karşı sosyal-ekolojik dayanıklılığı artırmak için uyum stratejilerine ihtiyaç duyulacaktır.

Alp tundra habitat kaybı

Alpin tundra alanı Avrupa'daki yüksek dağların tepesinde yer alır ve alanın yaklaşık %98'i Pireneler, Alpler ve İskandinavya'dadır. Bu alan biyolojik çeşitlilik açısından zengindir ve önemli ekosistem hizmetleri sağlar. Dağlardaki sıkı ekolojik-iklimsel bantlar nedeniyle, iklim değişikliğinin alpin ekosistemler üzerinde büyük etkileri olabilir. 3°C'lik bir ısınma senaryosunda, Avrupa üzerindeki alpin tundra alanı, değerli Natura 2000 alanlarının kaybı da dahil olmak üzere, bugünkü boyutunun %84'ü kadar küçülecektir. Pireneler'de yüksek ısınma alpin tundra'nın neredeyse yok olmasına yol açabilirken, Alpler ve İskandinavya'da sırasıyla mevcut boyutunun yaklaşık %75'i ve %87'si kadar küçülecektir. Isınmanın 1,5°C ile sınırlandırılması, alpin tundradaki daralmayı %48 ile sınırlandıracak, en güçlü daralma ise alan daralmasının %36'lık bir kayıpla sınırlı kalacağı Alpler'de yaşanacaktır.

Doğal iklimsel ağaç çizgisinin, azaltılmamış iklim değişikliği ile her yıl dikey olarak 8 metreye kadar yukarı doğru hareket edeceği tahmin edilmektedir. Ağaç çizgisi kayma hızı, iklimsel ağaç çizgilerinin zaten daha yüksek olduğu düşük enlemlerde genellikle daha hızlıdır. En güneydeki dağlık bölgelerde ağaç çizgisi, 1,5°C ısınma senaryosunda her yıl yaklaşık 6-7 m yukarı doğru hareket ederken, yüksek enlemlerde bu oran 2-3 m/yıldır. 3°C'lik bir ısınma senaryosunda, Pireneler'deki ağaç çizgisi 642 m, Alpler'de 526 m ve İskandinavya'da 336 yükselebilir.

Öngörülen değişiklikler, hayati önem taşıyan ekosistem hizmetleri, biyolojik çeşitlilik için habitat ve kayak rekreasyonel hizmetler üzerinde etkilere sahiptir. Yüksek dağ sistemlerinin benzersiz topografik, toprak ve iklimsel özellikleri nedeniyle adaptasyon zordur.

Orman ekosistemleri

Son yıllarda, AB ve Birleşik Krallık'taki yaklaşık 14 milyar ton orman biyokütlesinin veya toplam biyokütlenin üçte ikisinin doğal bozulmalara karşı potansiyel olarak savunmasız olduğu tespit edilmiştir. Bu miktarın neredeyse yarısı (%46) rüzgar fırtınaları tarafından tehdit edilirken, bunu orman yangınları (%29) ve böcek salgınları (%25) takip etmektedir. Rüzgar fırtınaları, yangınlar ve böcek salgınlarına karşı yüksek orman duyarlılığına sahip sıcak nokta bölgeleri hem güney hem de kuzey Avrupa'da yer almaktadır. Bu mekânsal örüntü, orman özelliklerinin arka plan iklimi ile etkileşimi tarafından güçlü bir şekilde kontrol edilmektedir.

Son yirmi yılda, Avrupa'daki ormanların giderek artan bir kısmı, özellikle de yüksek enlem bölgelerinde böcek salgınlarına karşı savunmasız hale gelmiştir. Son yirmi yılda artan sıcaklık ve yağışlardaki değişikliklerin birleşimi, muhtemelen bitki savunma mekanizmalarını azaltmış ve böcek salgınlarını artırmıştır.

böcek salgınlarına karşı kırılganlık. Bu dönem boyunca ormanların rüzgar fırtınalarına ve yangınlara karşı hassasiyeti konusunda net bir eğilim tespit edilememiştir.

Küresel ısınmanın gelecekte, özellikle iklime daha duyarlı olan yangınlar ve böcek salgınlarından kaynaklanan doğal rahatsızlıkları artırması muhtemeldir. Sonuç olarak, karbon tutma, erozyon kontrolü, su düzenlemesi veya odun tedariki gibi temel orman ekosistem hizmetleri yakın gelecekte ciddi şekilde etkilenebilir.

Tarım

İklim değişikliğinin, 2°C'lik bir ısınma senaryosu altında tahıl mısır potansiyel verimini güney ve kuzey Avrupa'da sırasıyla ortalama -%11 ve -%5 oranında düşürmesi beklenmektedir. Sulamanın olmadığı durumlarda, tüm AB ülkeleri için %20'üzerinde verim düşüşü öngörülmüşken, bazı güney Avrupa ülkelerinde (Portekiz, Bulgaristan, Yunanistan ve İspanya) ürün kayıpları %80'e kadar Bu durum, su kıtlığı sulamanın kısıtlandığı ve yağışların önemli ölçüde azaldığı bölgelerde dane mısır üretiminin artık yapılamayabileceği anlamına gelmektedir. Ekim tarihlerinin ve ekilen çeşidin değiştirilmesi gibi adaptasyon stratejileri bile, yağmurla beslenen tahıl mısır veriminde öngörülen güçlü düşüşü telafi etmek için yeterli olmayacaktır.

Avrupa'da çoğunlukla yağmurla beslenen bir ürün olan buğdayın üretimi, değişen yağış rejimleri, beklenen büyüme döngüsü ve artan CO₂ gübrelemesi nedeniyle kuzey Avrupa'da ortalama %5 oranında artacaktır. Ancak Avrupa'nın güney bölgelerinde, yağışlardaki güçlü azalma nedeniyle %12'lik verim düşüşleri tahmin edilmektedir (bazı bölgelerde verim yarıya). Bununla birlikte, çeşitlerin değiştirilmesi yağmurla beslenen buğday üretimi için büyük bir faydalı etkiye sahip olabilir.

Avrupa dışındaki büyük tarım üreticileri üzerindeki ciddi iklim değişikliği etkileri göz önüne alındığında, iklim değişikliğinin Avrupa'daki mahsul verimi biyofiziksel modeller tarafından öngörülen olumsuz etkileri, piyasa ayarlamalarının neden olduğu değişikliklerle önemli ölçüde azaltılabilir. Bu nedenle, iklim değişikliğinin tarımsal verimlilik üzerindeki etkileri açısından daha büyük olumsuz etkilere sahip diğer dünya üretim bölgelerine kıyasla Avrupa'nın karşılaştırmalı bir avantaja sahip olacağı öngörüldüğünden, AB üretimi bir miktar artabilir.

Enerji üretimi

İklim değişikliğinin farklı enerji kaynakları üzerindeki etkileri Avrupa genelinde değişiklik göstermekte ve gelecekteki enerji karışımına bağlı olmaktadır. Hidroelektrik kapasitesinin zaten yüksek olduğu Kuzey Avrupa'da, küresel ısınmayla birlikte su kaynaklarının kullanılabilirliğindeki artış, daha fazla hidroelektrik üretimine yol açabilir. Hidroelektrik, termal kaynaklara kıyasla daha düşük marjinal maliyete sahip olduğundan, bu bölgelerde biyokütle, kömür, gaz ve petrol gibi termal kaynaklardan elde edilen enerjiye olan talep azalacaktır. Yerel elektrik üretim karışımına bağlı , ikame etkisi farklıdır; örneğin İsveç'te ağırlıklı olarak biyokütle, Finlandiya'da kömür, Litvanya'da petrol ve Letonya'da gaz. Bu durum, 3°C ısınma ile birlikte Kuzey Avrupa'da yaklaşık 1,3 milyar €/yıl (2015 değerleri) ekonomik fayda sağlayacaktır.

Güney bölgelerde, küresel ısınmanın artmasıyla birlikte su kaynaklarının azalması beklenmektedir. Bu durum hidroelektrik ve nükleer enerji üretiminin azalmasına neden olacaktır. Marjinal üretim maliyetleri daha yüksek olan nükleer olmayan termik santrallerin ikamesi, üretim maliyetlerinde yaklaşık %0,9 oranında bir artışa yol açabilir. 3°C ısınma ile milyar €/yıl (2015 değerleri).

İklim değişikliğinin rüzgar ve güneş enerjisi üretimi üzerindeki doğrudan etkileri önemli değildir. Bununla birlikte, 2°C azaltım senaryosuna uygun 2050 enerji sisteminde, hidroelektrik ve nükleer enerji üretimindeki kaybı telafi etmek için güney bölgelerde rüzgar ve güneş enerjisi kapasitesi artacaktır.

Ekonomik entegrasyon

Yedi iklim etki kategorisi, gelecekteki iklimin bugün gerçekleşeceği varsayılarak daha geniş ekonomik terimlerle değerlendirilmiştir (bugünün ekonomik yapısı ve büyüklüğü varsayılan karşılaştırmalı statik ortam): nehir taşkınları, kıyı taşkınları, tarım, enerji arzı, kuraklıklar, rüzgar fırtınaları ve insan ölümleri. Ekonomik değerlendirme, iklim etkilerinin sınırlı kapsamı nedeniyle iklim değişikliğinin tüm ekonomik etkilerini değerlendirmemektedir.

Mevcut ekonominin 3°C'lik küresel ısınmaya maruz kalması yıllık 175 €milyar (GSYH'nin %1,38'i) refah kaybına yol açacaktır. 2°C senaryosunda refah kaybı 83 milyar €/yıl (GSYH'nin %0,65'i) olurken, ısınmanın 1,5°C ile sınırlandırılması refah kaybını 42 milyar €/yıl (GSYH'nin %0,33'ü) düşürecektir. PESETA III tahmini

4°C ısınma senaryosu için GSYİH'nin %1,9'u refah kaybı, ekonomik etkilerin küresel ısınmanın yoğunluğuyla birlikte daha da arttığını göstermektedir.

Aşırı sıcaklardan kaynaklanan insan ölümleri ekonomik iklim etkilerine hakimdir, ancak katkısı büyük ölçüde insan hayatının parasal bağlıdır. Avrupa'nın güney bölgelerindeki refah kayıplarının büyüklüğünün kuzeydekine kıyasla birkaç kat daha fazla olduğu tahmin edilmektedir. Dikkate alınan etki kategorileriyle ilgili refah kayıpları, Paris Anlaşması küresel ısınma hedeflerine ulaşıldığında önemli ölçüde azalacaktır. Özellikle ısınmanın 2°C ile sınırlandırılması, 3°C senaryosuna kıyasla ekonomik etkileri yarıya indirirken, Paris'in 1,5°C'lik katı hedefine ulaşılması refah kaybını %75 oranında azaltacaktır.

1 Giriş

İklim değişikliği, insan sağlığını⁽¹⁾, doğal çevreyi⁽²⁾ ve güvenliğini⁽³⁾ ciddi şekilde etkileyerek insanlık için en büyük tehditler arasında yer almaktadır. Paris İklim Değişikliği Anlaşması'nın⁽⁴⁾ küresel ısınmayı sanayi öncesi sıcaklıklara kıyasla '2°C'nin çok altında' tutma ve daha iddialı bir hedef olan 1,5°C'nin peşinden gitme yönündeki kararlılığına rağmen, dünya genelinde sera gazı emisyonları artmaya devam etmektedir. Küresel sıcaklık 19^{uncu} yüzyılın sonlarına kıyasla şu anda yaklaşık 1°C daha yüksek olduğundan, küresel ısınmanın Paris hedeflerini aşma olasılığı artmaktadır. Yeterli azaltım stratejileri uygulanmazsa, küresel ısınma 2100 yılına kadar 3°C veya daha fazlasına ulaşabilir.

AB, AB Uyum Stratejisi aracılığıyla üye devletlerinde önlenemeyen iklim değişikliğinin gelecekteki etkilerini en aza indirmeye hazırlanmaktadır. Stratejinin temel hedeflerinden biri, bilgi eksikliklerini gidererek (tanımlayarak ve ele alarak) daha bilinçli karar vermeyi teşvik etmek ve Avrupa çapında bilgi paylaşımını ve transferini geliştirmektir. Stratejinin özellikle 4. Eylemi, bazı kilit bilinmeyenler için bilgi açığını kapatmayı amaçlamaktadır. Bunlar arasında 'iklim değişikliğinden kaynaklanan zararlara ilişkin bilgiler' ve 'adaptasyonun faydaları ve maliyetleri' yer almaktadır. Avrupa'daki iklim etkileri, özellikle ekosistemler ve güvenlik üzerindeki aşırı uçlar veya etkiler açısından henüz tam olarak anlaşılmamış ve ölçülmemiştir. Ayrıca, sektörel uyum tedbirleriyle iklim etkilerinin nasıl ve hangi ekonomik maliyetle azaltılabileceğinin daha iyi anlaşılmasına ihtiyaç vardır. Bu konuların birçoğu, özellikle de insanların, ekonomik sektörlerin ve ekosistemlerin iklim değişikliğine karşı kırılganlığının ölçülmesi ve adaptasyonun ekonomik analizi zorlu araştırma konuları olmaya devam etmektedir.

Avrupa Komisyonu Ortak Araştırma Merkezi'nin (JRC) PESETA (Aşağıdan Yukarıya Analize Dayalı Avrupa Birliği Sektörlerinde İklim Değişikliğinin Ekonomik Etkilerinin Projeksiyonu) projeleri serisi, iklim değişikliğinin etkileri ve adaptasyon konusundaki bilgi açığını azaltmayı amaçlamaktadır. Bu projeler birlikte, hem biyofiziksel hem de ekonomik açıdan AB'de gelecekteki iklim değişikliğinin bazı önemli potansiyel sonuçlarını ve adaptasyonun maliyet ve faydalarını daha iyi anlamak için birikmiş ve yeni JRC araştırmalarını entegre etmeye yönelik sürekli bir çabayı temsil etmektedir. Bu, azaltım ve uyum konusunda Avrupa iklim politikasının devam eden gelişimi ve uygulaması ile ilgilidir.

Bu rapor JRC PESETA IV projesinin ana sonuçlarını özetlemektedir. Proje, ortak bir dizi iklim senaryosunu ve sosyoekonomik veriyi detaylı biyofiziksel süreç simülasyonu ve ekonomik modelleme ile bütünleştirmektedir. Etkiler, Paris Anlaşmasında belirlenen ısınma hedeflerinin (1,5°C ve 2°C) yanı sıra, yeterli azaltım olmaksızın yirmi birinci yüzyılın sonunda beklenebilecek olana daha yakın olan daha yüksek bir ısınma seviyesi (3°C) için tahmin edilmektedir. Değerlendirme, tarım, enerji, nehir taşkınları, kıyı taşkınları, kuraklık, habitat kaybı, orman yangınları, su, sıcak ve soğuk dalgalarının insan üzerindeki etkileri, orman ekosistemleri ve rüzgar fırtınaları için aşağıdan yukarıya etki analizlerine dayanarak insanlar, ekonomik sektörler ve çevre üzerindeki etkileri incelemektedir.

JRC PESETA IV projesi, JRC PESETA III'e kıyasla genel değerlendirmeyi üç ana boyutta geliştirmekte ve genişletmektedir. İlk olarak, hem sera gazı emisyonlarındaki hem de bu emisyonları iklim projeksiyonlarına dönüştüren modellerindeki belirsizlikleri daha iyi hesaba katmak için daha büyük bir iklim senaryosu topluluğu kullanılmaktadır. İkinci olarak, etki modellemesine yeni etki kategorileri dahil edilmiştir: aşırı sıcak ve soğuktan kaynaklanan ölümler, rüzgar fırtınalarından kaynaklanan ekonomik kayıplar ve ölümler, kuraklıktan kaynaklanan ekonomik kayıplar ve orman ekosistemleri üzerindeki etkiler. Üçüncü olarak, nehir ve kıyı taşkın analizleri fayda-maliyet yaklaşımını izleyerek adaptasyonu açıkça modellerken, tarım da adaptasyonu bir dereceye kadar dikkate almaktadır. Diğer etki alanları için olası adaptasyon seçenekleri tartışılmıştır.

Çalışma şu anda mümkün olduğu kadar çok iklim değişikliği etkisini içermektedir, ancak iklim değişikliğinin potansiyel sonuçlarının geniş yelpazesi açısından kapsamlı değildir. Proje, çeşitli iklim aşırılıkları (sıcak ve soğuk dalgaları, kuraklık, rüzgar fırtınaları, nehir ve kıyı taşkınları) için etki değerlendirmeleri yapmıştır, ancak bazı sektör etki analizleri bu değişikliklerin sonuçlarını tam olarak yansıtmamaktadır. Dolayısıyla, ölçülen biyofiziksel ve ekonomik etkiler, AB'de iklim değişikliğinin potansiyel etkilerinin bir alt sınırı olarak hizmet etmektedir. Burada rapor edilen tahminler doğası gereği belirsizdir ve belirli bir yer, bölge veya ülke için gelecekteki etkilerin tahminleri veya kesin öngörüler olarak yorumlanmamalıdır. Daha ziyade, AB genelinde iklim değişikliğinin etkilerinin genel kalıpları ve iklim politikası eylemlerinin potansiyel faydaları hakkında fikir vermeyi amaçlamaktadırlar.

¹ <https://www.who.int/globalchange/global-campaign/cop21/en/>

² <https://www.ipbes.net/global-assessment-report-biodiversity-ecosystem-services>

³ <https://www.pewresearch.org/global/2019/02/10/climate-change-still-seen-as-the-top-global-threat-but-cyberattacks-a-rising-concern/>

⁴ Paris Anlaşmasının Kabulü FCCC/CP/2015/L.9 (UNFCCC, 2015)

Bu raporun hedef kitlesi politika yapıcılar topluluğudur, bu nedenle teknik olmayan bir dille kısa ve öz olması amaçlanmıştır. Rapor, aşağıda listelenen ilgili JRC teknik raporlarında bulunabilecek olan iklim etki ve uyum değerlendirmesinin teknik yönlerine girmemektedir.

Barredo J I, Mauri A ve Caudullo G (2020). *Impacts of climate change in European mountains - Alpine tundra habitat loss and treeline shifts under future global warming*, EUR 30084 EN, Avrupa Birliği Yayın Ofisi, Lüksemburg, ISBN 978-92-76-10717-0, doi: 10.2760/653658, JRC115186.

Bisselink B, Bernhard J, Gelati E, Adamovic M, Guenther S, Mentaschi L, Feyen L ve de Roo A (2020). *Climate change and Europe's water resources*, EUR 29951 EN, Avrupa Birliği Yayın Ofisi, Lüksemburg, ISBN 978-92-76-10398-1, doi: 10.2760/15553, JRC118586.

Cammalleri C, Naumann G, Mentaschi L, Formetta G, Forzieri G, Gosling S, Bisselink B, De Roo A ve Feyen L (2020). *Global warming and drought impacts in the EU*, EUR 29956 EN, Avrupa Birliği Yayın Ofisi, Lüksemburg, ISBN 978-92-76-12947-9, doi:10.2760/597045, JRC118585.

Costa H, de Rigo D, Libertà G, Houston Durrant T ve San-Miguel-Ayanz J (2020). *European wildfire danger and vulnerability in a changing climate: towards integrating risk dimensions*, EUR 30116 EN, Avrupa Birliği Yayın Ofisi, Lüksemburg, ISBN: 978-92-76-16898-0, doi:10.2760/46951, JRC119980.

Després J ve Adamovic M (2020). *İklim değişikliğinin elektrik üretimi üzerindeki mevsimsel etkileri*. EUR 29980 EN, Avrupa Birliği Yayınlar Ofisi, Lüksemburg, ISBN 978-92-76-13095-6, doi:10.2760/879978, JRC118155.

Dosio A (2020). *Avrupa'da 1,5, 2 ve 3°C küresel ısınma altında ortalama ve aşırı iklim*, EUR 30194 EN, Avrupa Birliği Yayınlar Ofisi, Lüksemburg, ISBN 978-92-76-18430-0, doi:10.2760/826427, JRC120574.

Dottori F, Mentaschi L, Bianchi A, Alfieri L ve Feyen L (2020). *İklim değişikliği altında AB'de artan nehir taşkın riskine uyum sağlama*, EUR 29955 EN, Avrupa Birliği Yayın Ofisi, Lüksemburg, ISBN 978-92-76- 12946-2, doi: 10.2760/14505, JRC118425.

Forzieri G, Girardello M, Ceccherini G, Mauri A, Spinoni J, Beck P, Feyen L ve Cescatti A (2020). *Vulnerability of European forests to natural disturbances*, EUR 29992 EN, Avrupa Birliği Yayın Ofisi, Lüksemburg, ISBN 978-92-76-13884-6, doi: 10.2760/736558, JRC118512.

Hristov J, Toreti A, Pérez Domínguez I, Dentener F, Fellmann T, Elleby C, Ceglar A, Fumagalli D, Niemeyer S, Cerrani I, Panarello L ve Bratu M (2020). *İklim değişikliğinin 2050 yılına kadar AB tarımı üzerindeki etkilerinin analizi*, EUR 30078 EN, Avrupa Birliği Yayınlar Ofisi, Lüksemburg, ISBN 978-92-76-10617-3, doi: 10.2760/121115, JRC119632.

Naumann G, Russo S, Formetta G, Ibarreta D, Forzieri G, Girardello M ve Feyen L (2020). *Global warming and human impacts of heat and cold extremes in the EU*, EUR 29959 EN, Avrupa Birliği Yayın Ofisi, Lüksemburg, ISBN 978-92-76-12954-7, doi:10.2760/47878, JRC118540.

Spinoni J, Formetta G, Mentaschi L, Forzieri G ve Feyen L (2020). *Global warming and windstorm impacts in the EU*, EUR 29960 EN, Avrupa Birliği Yayınlar Ofisi, Lüksemburg, ISBN 978-92-76-12955-4, doi:10.2760/039014, JRC118595.

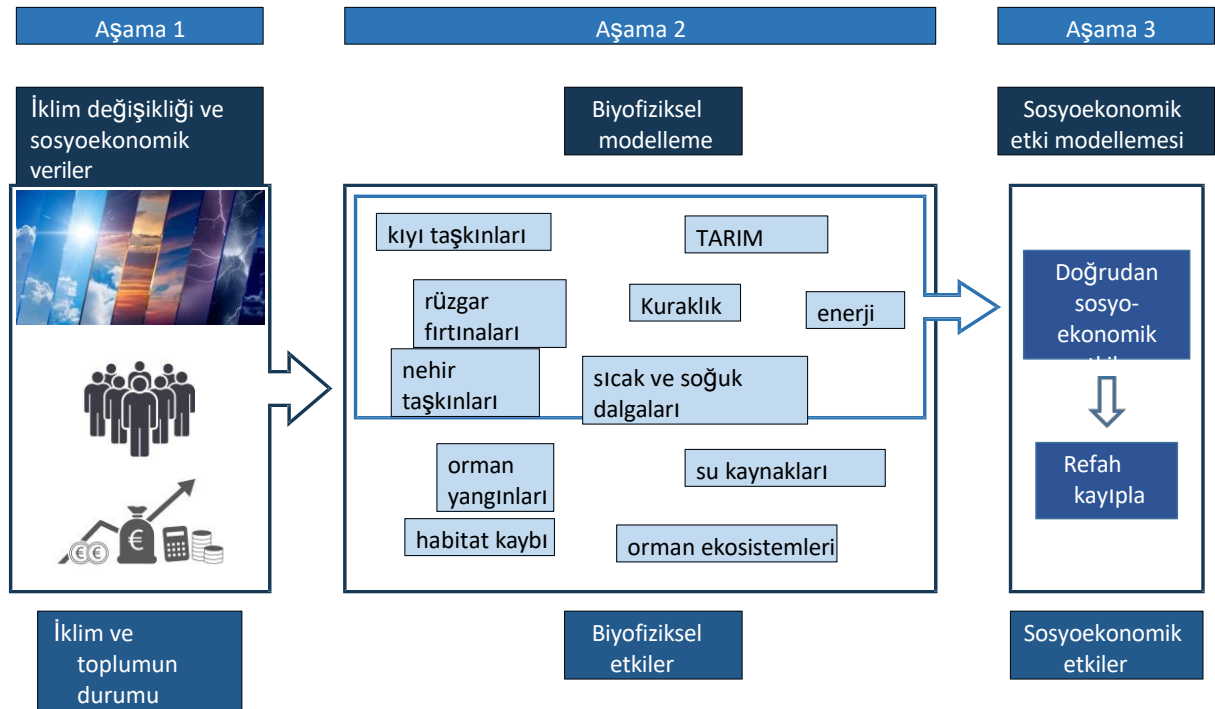
Szewczyk, W., Feyen, L., Matei, A., Ciscar, J.C., Mulholland, E., Soria, A. (2020). *Seçilmiş iklim etkilerinin ekonomik analizi*, EUR 30199 EN, Avrupa Birliği Yayınlar Ofisi, Lüksemburg, ISBN 978-92-76- 18459-1, doi: 10.2760/845605, JRC120452.

Vousdoukas M, Mentaschi L, Mongelli I, Ciscar JC, Hinkel J, Ward P, Gosling S ve Feyen L (2020). *Adapting to rising coastal flood risk in the EU under climate change*, EUR 29969 EN, Avrupa Birliği Yayın Ofisi, Lüksemburg, ISBN 978-92-76-12990-5, doi:10.2760/456870, JRC118512.

2 Metodoloji

2.1 Proje uygulaması

Şekil 1, üç ana aşamadan oluşan projeye genel bir bakış sunmaktadır. İlk aşamada, biyofiziksel ve ekonomik etki modellemesini beslemek için ortak bir iklim değişikliği ve sosyoekonomik veri seti hazırlanmıştır. İkinci aşamada, iklim değişkenlerinde öngörülen değişikliklerin tarımsal ürün verimini, enerji arzını, nehir taşkınlarını, kıyı taşkınlarını, sıcak ve soğuk dalgalarını, kuraklığı, habitat uygunluğunu, orman yangınlarını, orman ekosistemlerini, su kaynaklarını ve rüzgar fırtınalarını nasıl etkilediğini ölçmek için ayrı biyofiziksel modeller çalıştırılır. Üçüncü aşamada, biyofiziksel etkilerin bir alt kümesi doğrudan insan etkileri ve ekonomik kayıplar açısından analiz edilir; özellikle tarım, enerji arzı, nehir taşkınları, kıyı taşkınları, sıcak ve soğuk dalgalar, kuraklık ve rüzgar fırtınaları için. Son olarak, doğrudan insani ve ekonomik etkiler, ilgili refah kayıplarını tahmin etmek için genel bir ekonomik modele entegre .



Şekil 1. Proje metodolojisine genel bakış

2.2 Senaryo tasarımı

Küresel ısınmanın seviyesi atmosferdeki sera gazı (GHG) konsantrasyonuna bağlıdır. Gelecekteki emisyonlar insan faaliyetleri ve sosyoekonomik gelişme tarafından belirlenmektedir. Gelecekteki emisyonlardaki belirsizliği hesaba katmak amacıyla, alternatif gelecekteki görselleştirmek için bilim camiasında bir dizi makul sera gazı konsantrasyonu yolu dikkate alınmaktadır. Bu Temsili Konsantrasyon Yolları (RCP'ler), gelecekte meydana gelebilecek farklı seviyelerdeki sera gazı konsantrasyonlarını ve ışımsal zorlamayı tanımlamaktadır (Van Vuuren ., 2011).

Proje, Paris hedefleri (1,5°C ve 2°C) ve daha yüksek bir ısınma seviyesi (3°C) için iklim etkilerini tahmin ederek sera gazı azaltımının etkilerini değerlendirmektedir. Hem düşük hem de yüksek küresel ısınma seviyeleri için etkileri değerlendirmek amacıyla ılımlı azaltım (RCP4.5) ve yüksek emisyon (RCP8.5) patikası altında ortak bir iklim projeksiyonları setini dikkate almaktadır.

Proje, küresel ısınmanın sosyoekonomik etkilerini ekonominin belirli bir durumu çerçevesinde değerlendirmektedir. Bu, bugünün ekonomisi (statik yaklaşım) ya da geleceğin ekonomisi (dinamik yaklaşım) olabilir. Statik yaklaşım, küresel ısınma ve iklim değişikliğinin bugünün ekonomisini nasıl etkileyeceğini tasvir eder.

nüfus ve ekonomi. Bu yaklaşım, sosyoekonomik sistemlerin (demografi, ekonomi büyüklüğü, GSYH' sektörel ayrışması, vb.) gelecekteki (uzun vadeli) evrimi hakkında son derece belirsiz olan ve iklim değişikliğinin sektörel etkilerini büyük ölçüde varsayımlarda bulunmaktan kaçınmak için uygundur. Bu metodolojinin ek bir avantajı da, farklı etkilerin şiddetinin aynı ekonomik sistem ölçütlerine göre karşılaştırılmasına yardımcı olmasıdır. Ancak, mutlak hasar rakamları, genel ekonomilerin uzun vadeli dinamik büyümesini dikkate almadığından gerçekçi olmayabilir (ve oldukça muhafazakar).

Dinamik sosyoekonomik değerlendirme, farklı küresel ısınma seviyelerindeki iklimin, ECFIN Yaşlanma Raporu nüfus ve ekonomi projeksiyonlarına göre 2050 ve 2100 için öngörülen AB toplumunu nasıl etkileyeceğini değerlendirmektedir (Avrupa Komisyonu, 2014; Havik vd., 2014). Yüzyılın ortasına kadar 3°C'lik bir ısınma senaryosunun gerçekleşmesi olası olmadığından, 2050 yılında sadece Paris hedefleri dikkate alınırken, 2100 yılında üç ısınma seviyesi de dikkate . Statik ve dinamik ekonomik analizlerin karşılaştırılması, iklim ve sosyoekonomik değişikliklerin gelecekteki iklim riski üzerindeki etkilerinin ayrıştırılmasını sağlar. Dinamik değerlendirme, zararı parasal olarak ölçen tüm etki değerlendirmelerinde uygulanırken, ekonomi üzerindeki genel etkinin değerlendirilmesi günümüz ekonomisi için statik bir genel denge modeline dayanmaktadır.

2.3 Gelecekteki iklim projeksiyonları

PESETA'da kullanılan iklim modelleri, Avrupa'nın tamamını kapsayan bir grid üzerinde fiziksel iklim süreçlerini simüle etmektedir. Kullanılan iklim modelleri bölgesel iklim modelleri (RCM'ler) olarak bilinir, yani nispeten ince bir ölçekte iklim projeksiyonları üretirler. İklim simülasyonları, sera gazı emisyonları gibi iklimi yönlendiren güçler aynı olduğunda ve tüm modeller makul şekillerde oluşturulduğunda bile iklim modelleri arasında farklılık gösterir. Bu durum iklim modelleme belirsizliği olarak bilinir. Bu belirsizliği hesaba katmak için proje, Avrupa Üzerinde Koordineli Bölgesel İklim İndirgeme Deneyi (EURO-CORDEX⁽¹⁾) adı verilen büyük, devam eden bir iklim modelleri arası karşılaştırma projesinde yer alan 11 iklim modelinden oluşan bir topluluğu kullanmaktadır.

İklim modellerinden elde edilen geçmiş iklim simülasyonları, ölçülen gerçek farklı olabilir. Bu nedenle, iklim modeli simülasyonları genellikle "yanlılık düzeltmesi" olarak bilinen istatistiksel bir prosedürle bu tür yanlılıkları hesaba katmak için düzeltilir. PESETA'da kullanılan tüm iklim modeli simülasyonları, diğer çalışmalarda yaygın olarak kullanılan yerleşik bir yöntem kullanılarak yanlılık düzeltmesine tabi tutulmuştur.

Proje, dikkate alınan iki geçici yol (RCP4.5 ve RCP8.5) altında küresel ısınma seviyelerindeki iklim koşullarını seçmek için "zaman örnekleme" yaklaşımını uygulamaktadır. Bu yaklaşım, belirli bir ısınma seviyesindeki etkilerin, hedeflenen küresel ısınma seviyesine ulaşıldığı yılı merkez 30 yıllık bir zaman aralığında iklim ve ilgili etkiler dikkate alınarak geçici iklim projeksiyonlarından türetilebileceğini varsaymaktadır. Böylece etkileri belirli bir küresel ısınma seviyesine ulaşıldığı zamandan ayırmak ve farklı ısınma seviyelerinin zamanın farklı noktalarında gelecekteki toplumları nasıl etkilediğine bakmak mümkündür. Çoğu iklim değişkeni ve etkisi için, küresel ısınma seviyesine ulaşma yolunun etkisi, iklim modeli değişkenliğine kıyasla Avrupa üzerinde küçüktür (Maule vd., 2017).

Ancak, iklimin belirli bir küresel ısınma seviyesinde istikrar kazanmasından çok sonra da devam edecek olan deniz yükselme gibi zamanla değişen değişiklikler için zaman boyutu kritik önemini korumaktadır. Bu nedenle, dinamik bir ekonomik ortama sahip kıyı etki analizinin sonuçları, küresel ısınma seviyeleri yerine 2050 ve 2100 yılları için sunulmuştur.

2.4 Sosyoekonomik projeksiyonlar

Dikkate alınan dinamik sosyoekonomik senaryo ECFIN Yaşlanma Raporunun senaryosudur (Avrupa Komisyonu, 2014; Havik vd., 2014). AB Yaşlanma Raporu projeksiyonları, başta demografi, işgücü piyasası ve planlanan mevzuat tedbirleri olmak üzere Avrupa'daki uzun vadeli büyümenin belirleyicilerinin çok detaylı analizlerine dayanmaktadır ve ayrıca AB üye devletlerinin ekonomi departmanları ve diğer ilgili bakanlıklar tarafından değerlendirilmiştir. Yaşlanma Raporu 2060 yılına kadar olan döneme atıfta bulunduğundan, projeksiyonlar makul varsayımlar temelinde 2100 yılına kadar uzatılmıştır. Toplam faktör verimliliği (TFV) ve sermaye ile ilgili faktör birikimi kuralları Yaşlanma Raporundakilerle aynıdır (2060-2100 dönemi için TFV ve sermayenin katkısı 2055-2060 dönemi ile aynıdır). İşgücü projeksiyonları

¹ <http://www.cordex.org/>

Birleşmiş Milletler (BM) orta varyant durumundan gelen genel nüfus artışı ile aynıdır (BM, 2015).

Proje, projenin uygulandığı tarihte mevcut olan 2015 Yaşlanma Raporu projeksiyonlarını kullanmaktadır. Bir bütün olarak AB için, daha yeni olan 2018 Yaşlanma Raporu projeksiyonlarına kıyasla büyük farklılıklar yoktur: AB GSYİH büyümesi 2018 Yaşlanma Raporunda 2025-2050 döneminde biraz daha düşüken, 2055-2070 döneminde marjinal olarak daha yüksektir. Ancak bazı Üye Devletler için önemli farklılıklar söz konusudur. 2018 Yaşlanma Raporunda Kıbrıs, İtalya, Yunanistan ve Portekiz için daha düşük ortalama yıllık GSYH büyüme oranları (örneğin İtalya 2020-2035 döneminde -1,3 yüzde puan fark) ve Malta, Letonya, Slovakya ve Romanya için en büyük yukarı yönlü farklılıklar (örneğin Malta 2020-2025 döneminde +1,8 yüzde puan) söz konusudur.

2.5 Etki modellerine genel bakış

Tablo 1, PESETA IV'te kullanılan modelleme yaklaşımlarına genel bir bakış sunmaktadır. Proje, sürece dayalı ve ampirik modellerin bir kullanmaktadır. Süreç temelli yaklaşımlar, iklim değişikliğine yanıt olarak sistem davranışını açıkça tanımlayan fiziksel veya biyolojik süreçleri simüle eder. Ampirik yaklaşımlar, mekanistik anlayış doğrultusunda veriler arasında korelatif ilişkiler arar, ancak sistem davranışını ve etkileşimlerini tam olarak tanımlamak zorunda . Genel olarak, sürece dayalı modeller bazı ampirik bilgiler içerir ve ampirik modellerin korelatif ilişkileri süreçlerle bir bağlantı olduğunu varsayar. Dolayısıyla pratikte birçok model, ilişkilerin süreç temelli ve ampirik temsiliyi birleştiren hibrit bir yaklaşım kullanır (Adams vd., 2013). Kullanılan modeller hakkında daha fazla ayrıntı Tablo 1'de listelenen referanslarda ve PESETA etki analizlerinin açıklandığı ayrı raporlarda bulunabilir (aşağıdaki her kısa açıklamaya eklenen referansa bakınız).

Sıcak ve soğuk dalgaları

Sıcak ve Soğuk Dalga Büyüklük Endeksi, yanlılığı düzeltilmiş iklim türetilmiştir ve sıcak ve soğuk dönemlerin süresini ve yoğunluğunu dikkate almaktadır. Küresel ısınmayla birlikte bu tür aşırılıkların yoğunluğunun ve sıklığının nasıl değişebileceğini anlamak için bu endekslere uç değer analizi uygulanmıştır. İnsan maruziyeti, modellenen aşırı sıcak ve soğuklar ile yüksek çözünürlüklü nüfus yoğunluğu haritaları birleştirilerek değerlendirilmiştir. Aşırı sıcak ve soğuklardan kaynaklanan insan ölüm oranları, afet kayıtlarında bildirilen ölümlerden ve simüle edilen nüfus maruziyetinden türetilmiştir. Bunlar daha sonra insan kırılabilirliğinde herhangi bir değişiklik olmadığı varsayılarak sıcak ve soğuk dalgaları projeksiyonlarına uygulanır. Daha fazla ayrıntı için Naumann ve diğerleri (2020).

Rüzgar Fırtınaları

İklim modelleri tarafından simüle günlük maksimum rüzgar hızı, rüzgar fırtınalarının bir göstergesi olarak kullanılmaktadır. Farklı küresel ısınma seviyeleri altında aşırı ne sıklıkta ve hangi şiddette meydana gelebileceğini anlamak için bu endekse aşırı değer analizi uygulanmıştır. Yapı stokunun ve nüfusun rüzgar fırtınalarına maruziyeti, modellenmiş rüzgar aşırılıkları ile yüksek çözünürlüklü arazi kullanımı ve nüfus yoğunluğu haritaları birleştirilerek değerlendirilmiştir. Hasar fonksiyonları ve ölüm oranları, afet kayıtlarında bildirilen ekonomik rüzgar fırtınası kayıplarından ve ölümlerden ve simüle edilen inşaat stoku ve nüfus maruziyetinden türetilmiştir. Hasar fonksiyonu ve ölüm oranları daha sonra hasar görülebilirlikte herhangi bir değişiklik olmadığı varsayılarak rüzgar fırtınası projeksiyonlarına uygulanır. Günlük rüzgar hızı projeksiyonları, rüzgar enerjisi arzı (ortalama rüzgar hızı) ve orman rahatsızlıkları (aşırı rüzgar hızı) analizlerinde de kullanılmıştır. Daha fazla ayrıntı için Spinoni ve diğerleri (2020).

Su kaynakları

Hidrolojik bir model, Avrupa'da yer yüzeyinin üstünde ve altında suyun mekansal ve zamansal dağılımını simüle etmek için kullanılır. Arazi kullanımı, toprak özellikleri ve bitki örtüsü özelliklerindeki mekansal değişkenleri dikkate alır ve yağış, sıcaklık, rüzgar, radyasyon ve nem gibi simüle edilmiş iklim değişkenlerini girdi kullanır. Model ayrıca tarım (sulama ve canlı hayvan), enerji, kamu suyu ve endüstriyel su kullanımı dahil olmak üzere farklı sektörler tarafından su çıkarımını da içermektedir. Sulama suyu talebi model içinde dinamik olarak tahmin edilirken, diğer kullanımlar ulusal su istatistiklerine dayalı olarak tahmin edilmektedir. Su kıtlığı, bir bölgenin mevcut yenilenebilir su kaynaklarına karşı net su tüketimine dayalı olarak tahmin edilmektedir. Ekonomik faaliyetlerin ve nüfusun su kıtlığına maruz kalması, simüle edilen su kıtlığı ile sektörlerin üretim çıktılarına ilişkin bölgesel istatistikler ve yüksek çözünürlüklü nüfus yoğunluğu haritaları kesiştirilerek değerlendirilir. Hidrolojik model tarafından nehir akışlarının projeksiyonları da kuraklık (düşük nehir), seller (yüksek nehir akışları) ve enerji arzı (hidroelektrik ve enerji üretiminin soğutulması için ortalama nehir akışları) analizlerinde kullanılmaktadır. Daha fazla ayrıntı için Bisselink ve diğerleri (2020).

Tablo 1. PESETA IV PESETA IV'teki etki modellenmesine genel bakış

Etki kategorisi	Biyofiziksel modelleme	Sosyoekonomik etki modellenmesi
Sıcak ve soğuk dalgaları	Sıcak ve soğuk dalga büyüklük endeksi modellenmesi (Russo vd., 2015); uç değer analizi (Mentaschi vd., 2016)	İnsan maruziyeti ve ampirik ölüm oranları (Forzieri ., 2017)
Rüzgar Fırtınaları	Rüzgar fırtınası gösterge modellenmesi (Outten vd., 2013); uç değer analizi (Mentaschi vd., 2016).	Ampirik rüzgar hasarı fonksiyonu (Spinoni ., 2019) ve insan ölüm oranları (Forzieri ve ark., 2017)
Su kaynakları	LISFLOOD ile hidrolojik ve su kullanımı modellenmesi (Van der Knijff ., 2010); su kıtlığı analizi (Bisselink ., 2018).	İnsanların su kıtlığına maruz kalması (Bisselink ., 2020).
Kuraklık	LISFLOOD ile hidrolojik ve su kullanımı modellenmesi; aşırı düşük akış analizi (Forzieri ., 2014).	Ampirik kuraklık kaybı fonksiyonları (Cammalleri ., 2020).
Nehir taşkınları	LISFLOOD ile hidrolojik ve su kullanımı modellenmesi; aşırı yüksek akış analizi; sel baskını modellenmesi (Alfieri ., 2015a).	Ampirik su derinliği-hasar fonksiyonları (Alfieri vd., 2015b).
Kıyı taşkınları	Deniz seviyesi yükselme projeksiyonları; dalgalanma, dalga ve gelgit modellenmesi, sel baskını modellenmesi (Voudoukas vd., 2017).	Ampirik su derinliği - hasar fonksiyonları (Voudoukas vd., 2018).
Orman Yangınları	Kanada Yangın Hava Endeksi (FWI) sistemi kullanarak hava durumu kaynaklı yangın tehlikesinin sayısal simülasyonu (de Rigo ., 2017); Yaban arazi-kentsel arayüz tahmini (Costa ., 2020). Ekolojik alanlardaki değişimlerin modellenmesi (de Rigo vd., 2016).	
Habitat kaybı	Alpin tundra'nın Köppen-Geiger iklim sınıflandırması (Kottek ., 2006); ağaç çizgisi konumunun haritalanması (Körner ve Paulsen, 2004).	
Orman ekosistemleri	Avrupa ormanlarının yangınlara, rüzgar fırtınalarına ve böcek salgınlarına karşı ampirik kırılganlık analizi (Forzieri ., 2020)	
Tarım	Dünya Gıda Çalışmaları Simülasyon Modeli (WOFOST) modeli ile ürün verim modellenmesi (Blanco ., 2017; de Wit vd., 2019).	Ortak Tarım Politikası Bölgeselleştirilmiş Etki (CAPRI) modeli ile tarımsal ekonomik modelleme (Britz ve Witzke, 2014)
Enerji tedariği	POLES enerji modeli ile enerji arzı modellenmesi (Després ., 2018).	Enerji üretim maliyetlerinin modellenmesi (Després ., 2018).
Ekonomik entegrasyon		İklim değerlendirmesi Genel Denge (CaGE) modeli ile entegre ekonomik modelleme (Pycroft et vd., 2016; Ciscar vd., 2011).

Kuraklık

Nehir akışı simülasyonlarının düşük akış spektrumu, nehir havzaları üzerindeki su kaynaklarındaki mekansal olarak entegre edilmiş negatif anomaliyi yansıtan akış kuraklığını tahmin etmek için analiz edilmiştir. Küresel ısınma göz önünde bulundurularak kuraklığın ne sıklıkta ve hangi yoğunlukta meydana gelebileceğini tahmin etmek için yıllık minimum nehir akışlarına uç değer analizi uygulanmıştır. Kuraklığa karşı kırılganlık, kuraklık afet kayıtlarından bildirilen ekonomik kayıplara ve bu olaylar için simüle edilen kuraklık yoğunluğuna dayalı olarak ölçülmüştür. Etkiler, farklı sektörlerin kuraklığa duyarlılığına ilişkin uzman ve literatür bilgilerine ve bu ekonomik değerine ilişkin istatistiklere dayalı olarak kuraklığa duyarlı sektörlerle göre daha da ayrıştırılmıştır. Analizde statik olduğu varsayılan kuraklık yoğunluğu ile kuraklığa duyarlı sektörlerdeki hasar arasında türetilen istatistiksel ilişki, daha sonra ilgili kuraklık riskini ölçmek için ısınmayla birlikte öngörülen kuraklık koşullarına uygulanır. Daha fazla ayrıntı için Cammalleri ve diğerleri (2020).

Nehir taşkınları

Hidrolojik simülasyonların yüksek nehir akışları, nehir taşkınlarının oluşma olasılığını ve yoğunluğunu tahmin etmek için kullanılır. Nehir su seviyeleri mevcut taşkın koruma standartlarını aştığında, ilgili su altında kalan alanlar ve taşkın derinliği tahmin edilir. Bu bilgiler daha sonra yüksek çözünürlüklü nüfus ve arazi kullanım haritaları ile birleştirilerek nehir taşkınlarına maruz kalan kişi ve varlıkların sayısı belirlenir. Farklı arazi kullanım türleri için taşkın su derinliği ve hasar arasındaki ülkeye özgü istatistiksel ilişkiler ile her bir taşkın olayı için doğrudan ekonomik kayıp hesaplanmaktadır. Analiz daha sonra aşağıdaki adaptasyon seçeneklerinin maliyet ve faydalarını değerlendirmektedir: mevcut bent sistemlerinin güçlendirilmesi, binalar için sel hasarını azaltma önlemlerinin uygulanması, sel sularını depolamak için tutma alanlarının inşa edilmesi ve insanların ve binaların sele eğilimli alanlardan sele karşı güvenli alanlara taşınması. Her bir adaptasyon stratejisinin değerlendirilmesi, uygulamanın toplam maliyetini ve önlemin ömrü boyunca kaçınılan ekonomik sel hasarını optimize eden bir maliyet-fayda analizi kullanılarak gerçekleştirilir. Daha fazla ayrıntı için Dottori ve diğerleri (2020).

Kıyı taşkınları

Avrupa'nın kıyı şeritlerindeki aşırı seviyeler, deniz seviyesinin yükselmesine ilişkin son teknoloji ürünü projeksiyonlara ve rüzgar hızı ve basıncı gibi simüle edilmiş iklim değişkenleri kullanılarak dalgaların, fırtına dalgalarının ve gelgitlerin modellenmesine dayalı olarak tahmin edilmektedir. Aşırı deniz seviyeleri mevcut kıyı korumasını aştığında, buna karşılık gelen sel baskını kapsamı ve derinliği tahmin edilmektedir. Nehir taşkınlarında olduğu gibi, bu bilgiler daha sonra yüksek çözünürlüklü nüfus ve arazi kullanım haritaları ile birleştirilerek kıyı taşkınlarına maruz kalan kişi ve varlıklar belirlenir. Farklı arazi kullanım türleri için kıyı taşkını su derinliği ve hasar arasındaki ülkeye özgü istatistiksel ilişkiler ile her bir taşkın olayı için doğrudan ekonomik kayıp hesaplanmaktadır. Analiz daha sonra, yoğun nüfuslu ve oldukça gelişmiş kıyı topluluklarında tercih edilen seçeneğin mevcut bent sistemlerinin 'hattını korumak' olduğunu varsayarak, Avrupa kıyı şeridi boyunca bent iyileştirmeleri yoluyla kıyı korumasını artırmanın maliyet ve faydalarını değerlendirmektedir. Optimum tasarım seviyesinin değerlendirilmesi, uygulamanın toplam maliyetini ve önlemin ömrü boyunca kaçınılan ekonomik sel hasarını optimize eden bir maliyet-fayda analizi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Daha fazla ayrıntı için Voudoukas ve diğerleri (2020).

Orman Yangınları

Hava kaynaklı yangın tehlikesi günlük bazda sayısal tahmin edilmektedir. Model, iklim modelleri tarafından öngörülen sıcaklık, rüzgar hızı, bağıl nem ve yağışı birleştirmekte ve önceki günlerdeki hava durumunun kümülatif dinamik etkilerini de hesaba katmaktadır. Günlük yangın tehlikesi, düşük tehlikeye günlerden aşırı tehlikeye sahip günlere kadar altı yangın tehlikesi sınıfı dikkate alınarak sınıflandırılır ve farklı yangın tehlikesi sınıflarının meydana gelme olasılığı (bir yıldaki ortalama gün sayısı) hesaplanır. Gelecekte bitki örtüsünün yangına karşı kırılganlığının bir göstergesi olan küresel ısınma ile ekolojik alanda ve yerel ekolojik modellerde meydana gelebilecek potansiyel değişiklikler, sıcaklıkta öngörülen değişikliklere dayalı olarak değerlendirilmektedir. Yaban hayatı ve insan varlığı arasındaki hassas arayüz, arazi kullanım bilgileri ve nüfus yoğunluğu haritaları birleştirilerek yüksek çözünürlükte değerlendirilir. Daha fazla ayrıntı Costa ve diğerlerinde (2020).

Habitat kaybı

Alp tundrası, en sıcak ayın ortalama sıcaklığının 10°C'den az olduğu kutup iklimlerine eşdeğer bir iklim sınıflandırması kullanılarak haritalanmıştır. İklim modelleri tarafından sıcaklık tahminleri yanlılık için düzeltilmiş ve rakım etkileri hesaba katılarak yüksek çözünürlüğe indirgenmiştir. Alpin tundra alanında öngörülen değişiklikler daha sonra üç potansiyel kategoride sınıflandırılır: sabit, daralma ve genişleme. İklimsel ağaç çizgisi konumu, 7,6°C'lik bir büyüme mevsimi gölgelik sıcaklığı eşiği kullanılarak belirlenmiştir. Küresel ısınma ile ağaç çizgisi kaymaları, Akdeniz adalarından Boreal alanlara kadar Avrupa'daki 16 dağ bölgesinde değerlendirilmiştir

ve İber Yarımadası'ndan Karpatlar'a kadar, Avrupa'nın daha belirgin ağaç çizgisi ekotonları da dahil olmak üzere. Alpin tundradaki değişikliklerden etkilenmesi öngörülen Natura 2000 alanları, öngörülen alpin tundra değişikliklerinin Natura 2000 alanları haritasıyla üst üste bindirilmesiyle . Daha fazla ayrıntı için Barredo ve diğerleri (2020).

Orman ekosistemleri

Avrupa ormanlarının üç büyük doğal rahatsızlığa karşı hassasiyeti değerlendirilmiştir: yangınlar, rüzgar fırtınaları ve böcek salgınları. Her bir bozulma türü için, bir dizi orman, iklim ve peyzaj parametresine dayalı olarak biyokütle kayıplarını tahmin etmek üzere çok değişkenli bir regresyon modeli türetilmiştir. Orman özellikleri arasında biyokütle, büyüyen stok hacmi, yaprak alanı indeksi, ağaç yaşı, ağaç yoğunluğu ve ağaç çapı gibi orman durumunu ve verimliliğini tanımlayan bitki örtüsü parametreleri yer almaktadır. İklim bilgileri, uzun dönemli sıcaklık ve yağış ortalamaları ile bozulmadan önceki yıllardaki anomalileri ve bozulmanın olduğu yıldaki aşırı rüzgar ve kuraklık oranlarını içerir. Peyzaj özellikleri arasında nüfus yoğunluğu, mekansal bitki örtüsü değişkenliği ölçümleri ve jeomorfolojik parametreler yer almaktadır. Hassasiyet modelleri, 2000-2017 dönemi boyunca doğal bozulmalardan etkilenen orman alanlarının geniş bir kayıt seti kullanılarak kalibre edilmiş ve doğrulanmıştır. Daha fazla ayrıntı için Forzieri ve diğerleri (2020).

Tarım

Buğday, dane mısır, arpa, ayçiçeği, kışlık kolza tohumu ve şeker pancarı verimini simüle etmek için mekansal olarak dağıtılmış bir ürün modeli kullanılmaktadır. Model, iklim modelleri tarafından simüle edilen diğer meteorolojik değişkenlerle (örn. rüzgar, bağıl nem, küresel radyasyon) birlikte sapmaya göre ayarlanmış günlük sıcaklık ve yağışı kullanır. Ayrıca, yüksek atmosferik CO₂ konsantrasyonlarının mahsul büyümesi üzerindeki etkilerini de hesaba katmaktadır. Su sınırlaması etkileri, hem sulama için yeterli su olduğu varsayılan potansiyel verim hem de yağmurla beslenen verim (sulama olmadan) simüle edilerek değerlendirilir.

Küresel ısınma nedeniyle AB'de ve dünyanın diğer bölgelerinde meydana gelen mahsul verimi değişikliklerine yanıt olarak AB pazar ayarlamalarını (üretim, arazi kullanımı, tüketim, gelir, fiyatlar ve ticaret) değerlendirmek için kısmi denge, büyük ölçekli ekonomik, küresel çoklu emtia, tarım sektörü modeli kullanılmıştır. Verim tahminleri, AB için Avrupa ölçeğindeki mahsul verim projeksiyonlarıyla kısmen örtüşen küresel iklim projeksiyonları tarafından zorlanan bir küresel mahsul modelleri topluluğundan elde edilmiştir. Küresel modeller su mevcudiyeti kısıtlamalarını, yüksek atmosferik CO₂ konsantrasyonlarının etkisini veya ürün çeşitleri ve ekim tarihlerindeki değişiklikleri dikkate almamaktadır. Daha fazla ayrıntı için Hristov ve diğerleri (2020).

Enerji tedariği

Küresel ısınmanın AB'deki enerji arzı üzerindeki etkileri küresel bir enerji modeli kullanılarak değerlendirilmektedir. Birincil arzdan (örneğin fosil yakıtlar, yenilenebilir kaynaklar) dönüşüme (enerji, biyoyakıtlar, hidrojen) ve sektörel talebe kadar tüm enerji sistemini kapsamaktadır. Şu arz kaynakları dikkate alınmaktadır: hidro, güneş, rüzgar, nükleer ve diğer termal kaynaklar (kömür, gaz, petrol ve biyokütle). Enerji modeli ülke ölçeğinde yıllık bir zaman adımıyla uygulanmakta ancak iklim ve su mevcudiyetindeki mevsimsel değişkenlik hesaba katılmaktadır. Güneş ve rüzgar üretimi, sırasıyla sıcaklık ve rüzgar hızı ile verimlilik ilişkilerine dayalı olarak tahmin edilmektedir. Su kaynakları analizinin hidrolojik simülasyonları, hidroelektrik potansiyelini ve su sıcaklıklarıyla birlikte nükleer ve diğer termik santraller için soğutma suyu kullanılabilirliğini değerlendirmek için kullanılır. Tüm enerji sektörünün temsili arz, fiyatlar ve talep arasında bir denge anlamına geldiğinden, tüm güç kaynakları birbiriyle bağlantılıdır. Dolayısıyla, bir kaynağın arzındaki iklim kaynaklı değişiklikler diğer enerji kaynaklarının arzını da etkileyebilir. Daha fazla ayrıntı için Després ve Adamovic (2020).

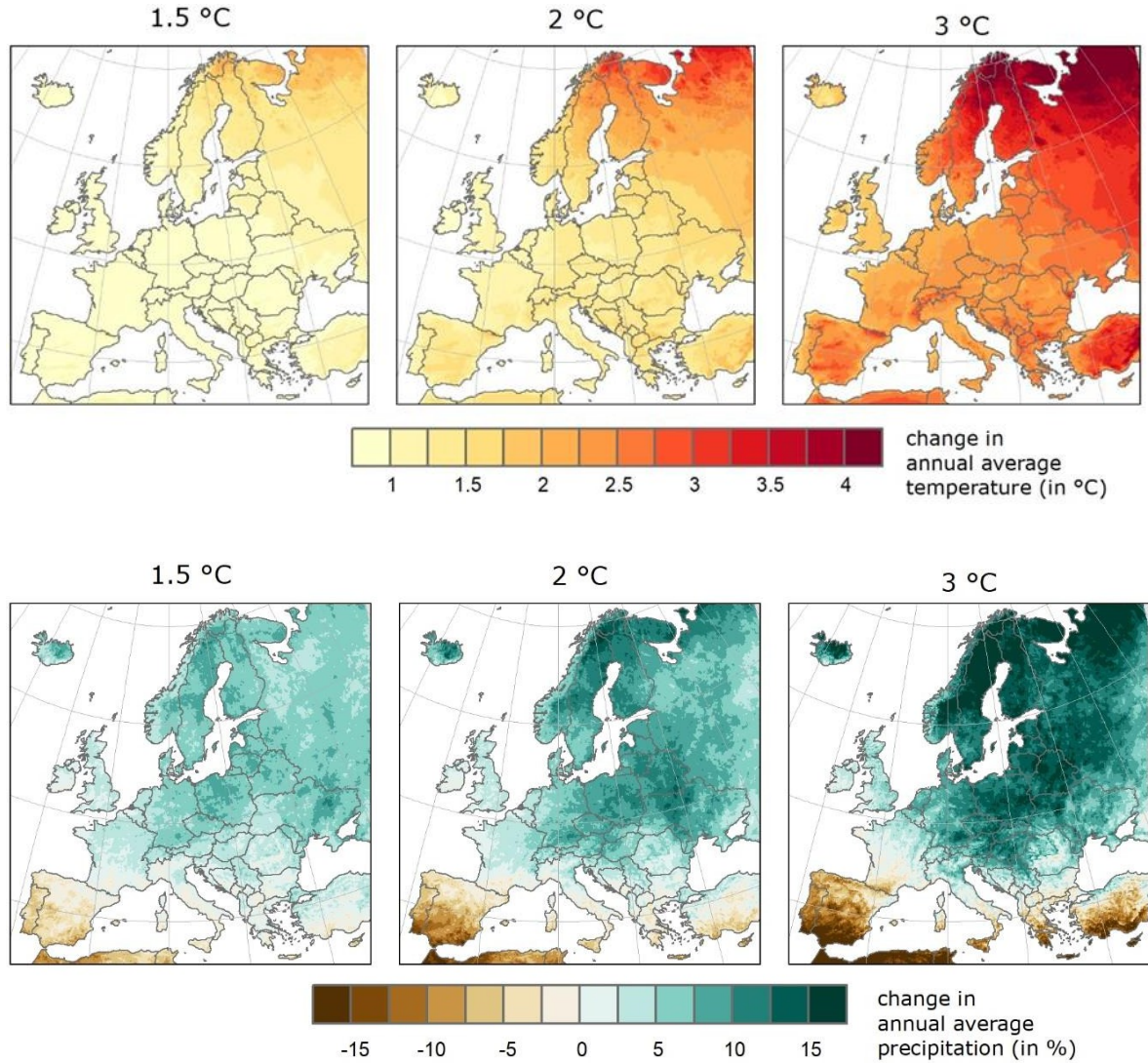
Ekonomik entegrasyon

Ekonomi üzerindeki genel etkiler çok sektörlü, çok ülkeli hesaplanabilir bir genel denge modeli ile tahmin edilmektedir. Model, spesifik etki modelleri tarafından tahmin edilen doğrudan etkilerin yanı sıra sektörler arası ve ülkeler arası veya ticaret ayarlamaları nedeniyle ekonomideki ek dolaylı etkileri de hesaba katmaktadır. Model şu etki kategorileri için kayıp tahminlerini kullanır: tarım, enerji, kuraklık, nehir taşkınları, kıyı taşkınları, aşırı sıcaklıklardan kaynaklanan insan ölümleri ve rüzgar fırtınaları. Ekonomik model, doğrudan ekonomik zararı, verimlilikteki değişiklikler (örneğin düşük mahsul verimi nedeniyle), sermaye stokundaki değişiklikler (örneğin sel etkileri nedeniyle) ve tüketimdeki değişiklikler (örneğin fırtına hasarının onarılması hane halklarının tüketim olanaklarını azaltır) yoluyla ekonomik sisteme aktarır. Makro-ekonomik modele entegrasyon, her bir etkinin tek tip bir ekonomik ölçüt olan tüketici refahı ile değerlendirilmesine olanak tanır. Daha fazla ayrıntı için Szwedczyk ve diğerleri (2020).

3 Küresel ısınma ile Avrupa'da iklim

Son beş yıl (2015-2019), küresel ortalama sıcaklığın takip edilmeye başlandığı 1850 yılından bu yana kaydedilen en sıcak yıllar olmuştur. Şu anda sanayi öncesi dönemin (1850-1900) 1,1°C üzerinde ve 2011-2015 döneminden 0,2°C daha sıcak olduğu tahmin edilmektedir (Dünya Meteoroloji Örgütü, 2019). PESETA IV, küresel ortalama sıcaklığın sanayi öncesi dönemlere kıyasla ortalama 0,8°C daha yüksek olduğu 1981-2010 dönemini referans olarak kullanmaktadır.

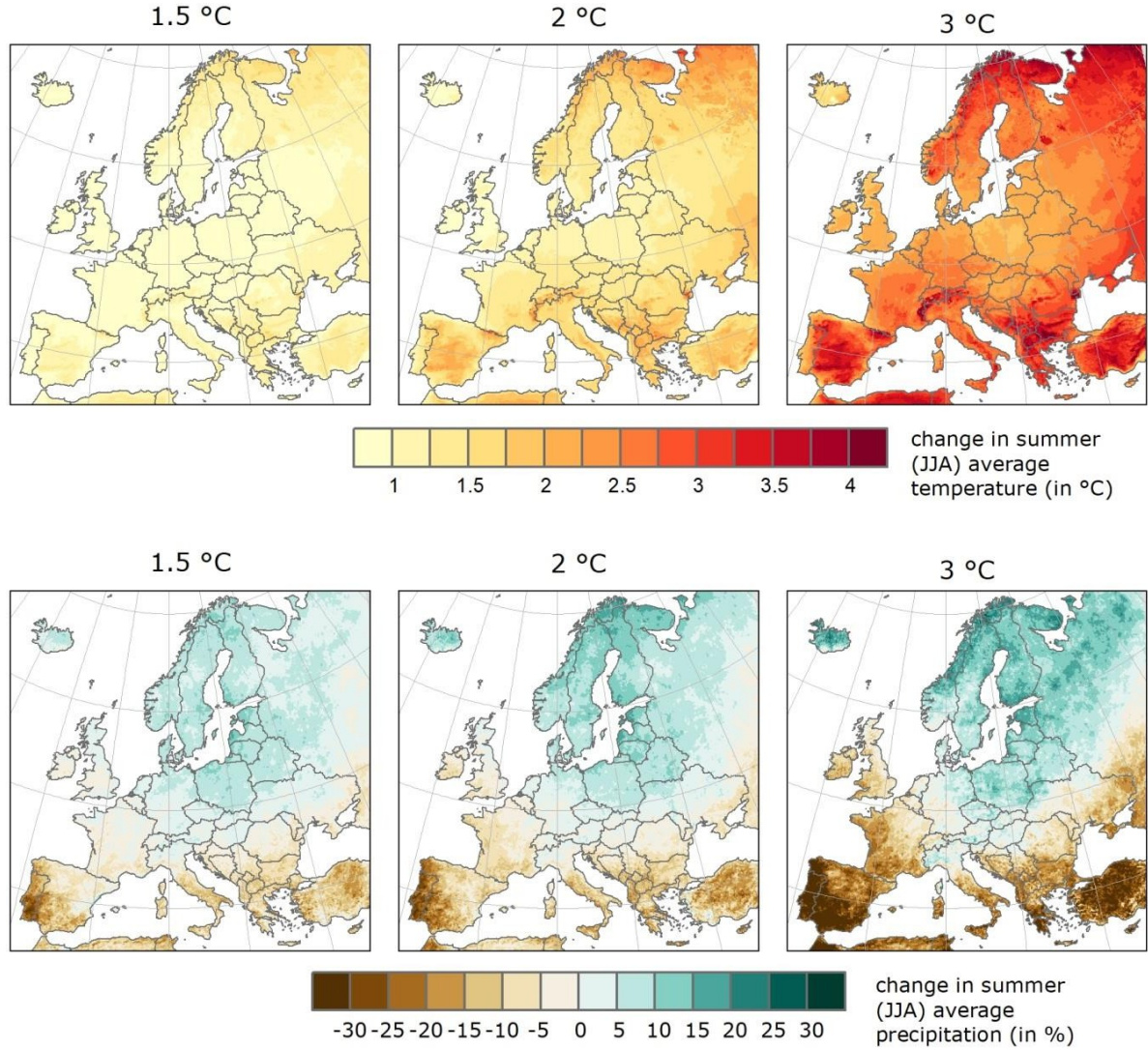
Şekil 2, referans dönem ile projenin üç ısınma senaryosu arasında Avrupa genelinde yıllık ortalama sıcaklık ve yağıştaki değişimi göstermektedir. Küresel ısınma 1,5°C (veya 1981-2010 yılları arasındaki ortalama ısınmaya ek olarak 0,7°C) ile sınırlandırıldığında bile Avrupa'nın büyük bir bölümünün referans döneme göre 1°C veya daha fazla sıcaklık artışıyla karşı karşıya kalacağı öngörülmektedir. Dolayısıyla, ısınmanın büyüklüğü küresel ortalamadan daha büyüktür ve Avrupa'da tekdüze değildir. 2°C ve 3°C küresel ısınma senaryoları altında, mekânsal sıcaklık farklılıkları daha belirgin hale gelmekte, kuzey Avrupa ve güney Avrupa'nın bazı bölgeleri daha güçlü bir ısınma göstermektedir. Yağışla ilgili olarak, 2°C'ye kadar ılımlı değişiklikler öngörülmüşken, 3°C küresel ısınma ile kuzey-orta-doğu Avrupa'da artış ve Akdeniz' çoğu bölümünde düşüş ile daha önemli farklılıklar öngörülmektedir.



Şekil 2. PESETA IV'te kullanılan üç küresel ısınma senaryosu (sanayi öncesi 1,5°C, 2°C ve 3°C daha sıcak) için yıllık ortalama sıcaklık (üst paneller) ve yağışta (alt paneller) referansa göre (1981-2010) meydana gelen değişiklikler.

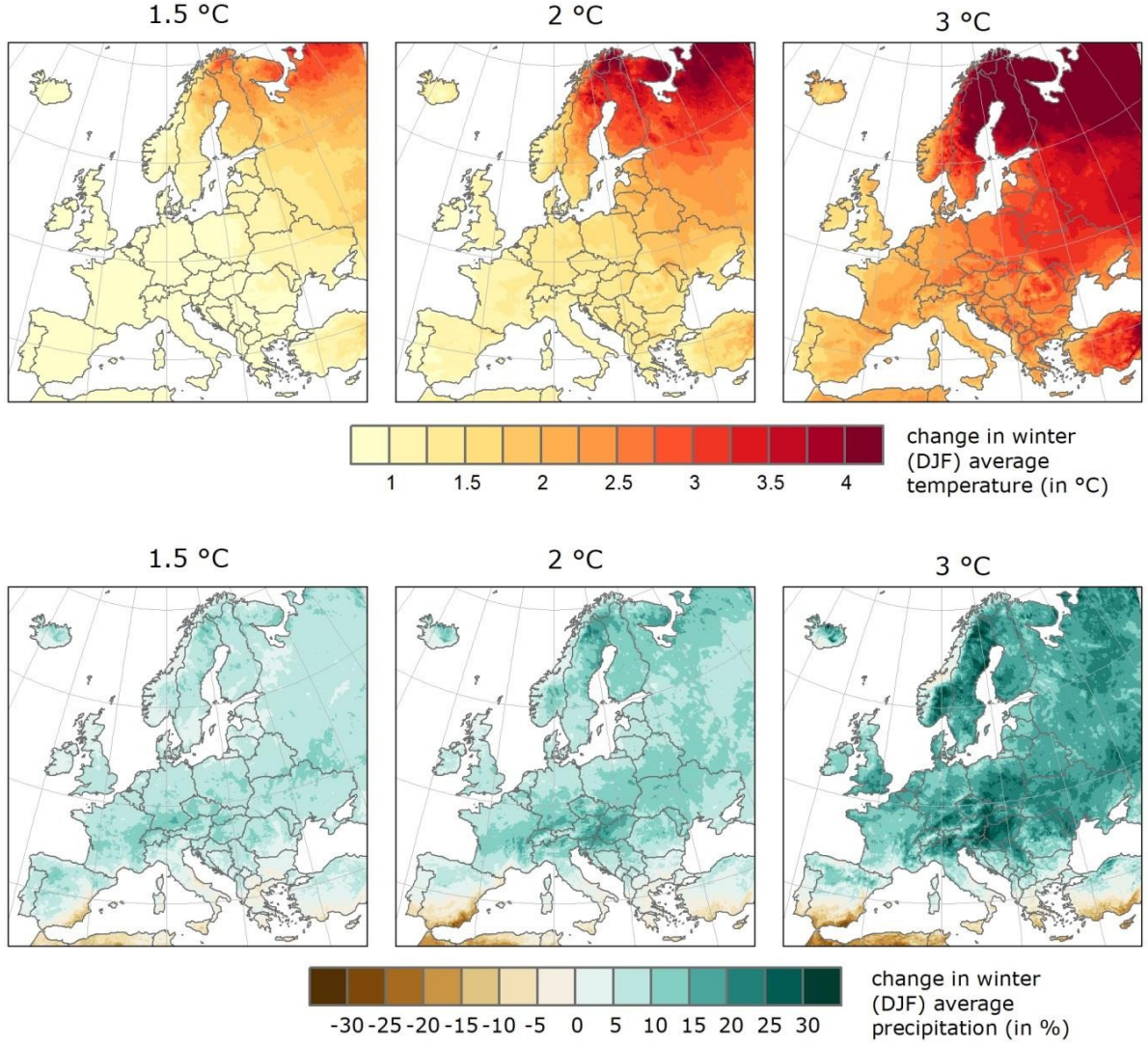
Şekil 3, referans döneme göre ortalama yaz sıcaklığı ve yağış değişikliklerini göstermektedir. Yaz sıcaklığında öngörülen artış özellikle Avrupa'nın güney kesimlerinde daha güçlüdür

yıllık ortalama sıcaklıktaki artışla karşılaştırıldığında. Avrupa'nın en kuzey kesimlerinde yaz aylarındaki ısınma, yıllık ortalama sıcaklıktaki artışa kıyasla biraz daha azdır. Kuzey Avrupa'da yaz yağışlarındaki artış da yıllık bazda olandan daha az güçlü iken, güney Avrupa'da yaz yağışlarındaki azalma yıllık bazda olandan (%15'e kadar) çok daha güçlüdür (%30'a kadar). Yıllık ortalama yağışın artacağı öngörülse bile, yaz yağışlarının Batı Avrupa ile Orta ve Doğu Avrupa'nın bazı bölgelerinde de azalacağı tahmin edilmektedir. Farklı ısınma seviyeleri için AB'de öngörülen iklim hakkında daha fazla ayrıntı Dosio ve (2020) bulunabilir.



Şekil 3. PESETA IV'te kullanılan üç küresel ısınma senaryosu (sanayi öncesi 1,5°C, 2°C ve 3°C daha sıcak) için yaz sıcaklığı (üst paneller) ve yağışta (alt paneller) referans döneme (1981-2010) göre değişiklikler.

Şekil 4, kış mevsimi için ortalama sıcaklık ve yağıştaki değişiklikleri . 3°C senaryosuna göre daha ılıman kış sıcaklıkları esas olarak kuzey ve doğu Avrupa için öngörülmektedir. Kış yağışlarında %25'e varan azalmaların öngörüldüğü Avrupa'nın en güney kesimleri hariç, Avrupa'nın çoğunda kışlar genellikle daha yağışlı geçecektir.



Şekil 4. PESETA IV'te kullanılan üç küresel ısınma senaryosu için PESETA IV'te kullanılan üç küresel ısınma senaryosu (sanayi öncesi dönemden 1,5°C, 2°C ve 3°C daha sıcak) için kış sıcaklığı (üst paneller) ve yağışta (alt paneller) referansa göre (1981-2010) meydana gelen değişiklikler.

4 Aşırı sıcak ve soğuklardan kaynaklanan insan etkileri

Bu yaz (Haziran ve Temmuz 2019) yaşanan yoğun sıcak hava dalgaları sırasında Avrupa'nın birçok yerinde tüm zamanların sıcaklık rekorları kırıldı. İklim değişikliği ile birlikte bu olayların daha sık yaşanması ve daha yoğun hale gelmesi beklenmektedir. Sıcaklıklar 1,5°C ile dengelenebilseydi, şu anda (1981-2010) yılda yaklaşık 10 milyon kişi olan 100 milyondan fazla Avrupalı her yıl mevcut yoğun sıcak hava dalgasına maruz kalacaktı (bu, mevcut iklim koşullarında 50 yılda bir gerçekleşmesi beklenen bir sıcak hava dalgasıdır). Bu rakam 2°C ile yılda 176 milyon kişiye ve hiç bir şekilde azaltılmamış iklim değişikliği ile (2100'de 3°C) yılda yaklaşık 300 milyon kişiye, yani Avrupa nüfusunun yarısından fazlasına çıkmaktadır. İklim azaltımı ve adaptasyon olmadan, AB'de aşırı sıcaklardan kaynaklanan ölümler bu yüzyılın sonuna kadar şimdikinden 30 kat daha fazla olabilir. Aşırı sıcaklara maruz ve aşırı sıcaklardan kaynaklanan ölümlerdeki artış en çok güney Avrupa'da belirginleşmektedir. Kışların daha ılıman geçmesi, aşırı soğuklara maruz kalma ve aşırı soğuklardan kaynaklanan ölümleri önemli ölçüde azaltacaktır.

Aşırı sıcak ve soğukların güncel etkileri

Alışılmadık derecede yüksek veya soğuk hava sıcaklıklarının art arda birkaç gün görüldüğü insanlar üzerinde önemli etkiler yaratabilir. 1980 yılından bu yana, sıcak ve soğuk dalgaları Avrupa'da yaklaşık 90.000 kişinin ölümüne neden olmuştur. Aşırı sıcaklıklar nedeniyle rapor edilen bu ölümlerin büyük bir çoğunluğu sıcak hava dalgalarıyla ilgilidir. Daha savunmasız olanlar, termoregülasyon için fizyolojik ve davranışsal kapasiteleri azalmış olan yaşlılar ve hastalıkları olanlar ile özel aşırı sıcaklık azaltımı için teknolojik araçlara (örneğin klima veya ısı yalıtımı yoluyla) daha az erişimi olan yoksullardır.

Gelecekteki aşırı sıcak ve soğuk projeksiyonları

Küresel ısınma, sıcak hava dalgalarının sıklığını ve şiddetini giderek artıracak ve aşırı soğuk dönemlerin yoğunluğunda ve sıklığında kademeli bir düşüşe neden olacaktır. Her iki eğilim de AB genelinde çok güçlüdür, ancak güney Avrupa ülkelerinde biraz daha belirgindir. Sanayi öncesi döneme kıyasla 3°C daha sıcak bir iklimde, güney Avrupa'da neredeyse her yıl 50 yıllık bir sıcak hava dalgası meydana gelebilirken, Avrupa'nın diğer bölgelerinde bu tür olaylar 3 ila 5 yılda bir meydana gelebilir.

taban	1.5°C	2.0°C	3.0°C
İnsanlar yıllık olarak 50 yıllık sıcak hava dalgası (milyon)			
9.6	103	168	288
Yıllık ölüm vakaları ısı dalgaları (x1000)			
2.7	28.8	49.4	89.0

Şekil 5. Avrupa'da insanların sıcak hava dalgalarına maruz kalması ve sıcak hava dalgalarından kaynaklanan ölümler.

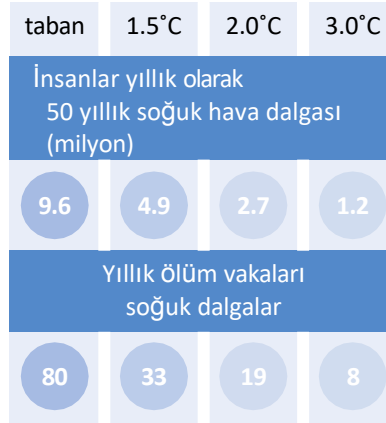
Aşırı sıcak ve soğukların gelecekteki etkileri

Sıcak hava dalgası tehlikesinde öngörülen değişiklikler, küresel ısınmayla birlikte aşırı ısıya maruz kalan insan sayısında büyük artışa yol açmaktadır (Şekil 5). Sıcaklıklar 1,5°C ile dengelenebilse bile, her yıl 100 milyondan fazla Avrupalının mevcut 50 yıllık sıcak hava dalgası yoğunluğuna maruz kalması beklenmektedir; bu sayı, temel iklim koşullarında (1981-2010) yılda yaklaşık 10 milyondur. 2°C ile bu sayı yılda yaklaşık 170 milyona çıkmaktadır. Kesintisiz iklim değişikliği ile (2100'de 3°C), yıllık olarak bu sıcak hava dalgasına maruz kalan insan sayısı

yoğunluğu yılda yaklaşık 300 milyona ; bu da Avrupa nüfusunun yarısından fazlasının her yıl mevcut 50 yıllık sıcak hava dalgasına maruz kalabileceği anlamına gelmektedir.

Mevcut kırılganlık ve ek adaptasyon olmadığı varsayıldığında, aşırı sıcaklardan kaynaklanan yıllık ölümler şu anda 2.700 iken, 1,5°C küresel ısınma ile yaklaşık 30.000'e, 2°C ile 50.000'e ve 3°C ile 90.000'e yükselebilir. İnsanların aşırı sıcaklara maruz kalması ve aşırı sıcaklardan kaynaklanan ölümlerdeki artış en çok güney Avrupa ülkelerinde belirgin olup, en fazla ölüm Fransa, İtalya ve İspanya'da meydana gelecektir.

Buna karşılık, daha ılıman kışlar aşırı soğuklara maruz kalmayı ve bu soğuklardan kaynaklanan ölümleri önemli ölçüde azaltmaktadır. Mevcut 50 yıllık aşırı soğuklara (yani mevcut iklim koşullarında her 50 yılda bir gerçekleşmesi beklenen bir soğuk dalgasına) yıllık olarak maruz kalması beklenen nüfusun, referans değerinde yaklaşık 10 milyon iken, 1,5°C ile 5 milyona (%50 azalma), 2°C ile 2,7 milyona (%60 azalma) ve 3°C ile 1,2 milyona (>%80 azalma) ulaşacağı tahmin edilmektedir (Şekil 6). Son yıllarda aşırı soğuklarla ilişkili olarak rapor edilen ölümlerin sayısı, sıcak hava dalgalarından kaynaklananlardan çok daha azdır (1980-2016 döneminde 100 ölüm/yıl). Küresel ısınmanın bir sonucu olarak bu sayı daha da düşecektir.



Şekil 6. Avrupa'da insanların soğuk hava dalgalarına maruz kalması ve bu nedenle meydana gelen ölümler.

İklim değişikliğinin sıcaklığa bağlı erken ölümler üzerindeki toplam etkisi

Aşırı sıcaklıkların sıcaklığa bağlı aşırı ölümlerin geneline katkısı nispeten küçüktür. Dolayısıyla, küresel ısınma aşırı sıcaklıklara maruz kalma ve bunlardan kaynaklanan ölümlerde güçlü bir net artışa yol açacak olsa da, bu durum iklim değişikliğinin sıcaklığa bağlı erken ölümler üzerindeki etkilerinin yalnızca bir kısmını yansıtmaktadır. Aşırı olmayan optimum altı ortam sıcaklığına (yani insan sağlığı için optimum sıcaklığın altındaki ancak aşırı soğuk olması gerekmeyen sıcaklıklar) atfedilebilecek ölüm yükü küresel ısınma muhtemelen azalırken, aşırı olmayan optimum üstü sıcaklıklara (yani insan sağlığı için optimum sıcaklığın üzerindeki ancak aşırı sıcak olması gerekmeyen sıcaklıklar) bağlı ölümler artacaktır. Şu anda sıcaklıkla ilgili ölümlerin çoğu aşırı olmayan optimum altı sıcaklıklara (soğuk) atfedilebildiğinden, iklim değişikliğinin sıcaklıkla ilgili toplam erken insan ölümleri üzerindeki net etkilerinin ne belirsizdir.

İnsanların gelecekteki aşırı sıcak ve soğuk riskinin sosyoekonomik etkenleri

Avrupa'da nüfusun yaşlanması önümüzdeki on yıllar için önemli bir demografik eğilimdir. Bu durum, aşırı sıcaklıkların insanlar üzerindeki etkisini daha da artırabilir. Ayrıca, artan kentleşme, kentsel ve metropol alanların çevrelerindeki kırsal önemli ölçüde daha sıcak olmasına neden olan kentsel ısı adası etkisini artırabilir. Sıcak hava dalgaları ve hava kirliliğinin birleşik etkileri, yoğun nüfuslu bölgelerde insan stresini daha da artırabilir.

Aşırı sıcaklıklara adaptasyon

Küresel ısınmanın 1,5°C veya 2°C ile sınırlandırılması gibi sıkı azaltım önlemleri alınsa bile, aşırı sıcaklara maruz kalan insan sayısındaki artış çok daha fazla olabilir. Bu nedenle, toplumların daha sık ve yoğun sıcak hava dalgalarıyla başa çıkabilmek için dayanıklılıklarını artırmaları gerekecektir. Evlerin, okulların ve hastanelerin tasarımının ve yalıtımının iyileştirilmesi, potansiyel risk faktörleri ve önerilen müdahaleler konusunda eğitim ve farkındalık yaratılması ve erken uyarı sistemleri de dahil olmak üzere çok çeşitli uyum önlemleri mevcuttur. En uygun müdahaleyi belirlemek için aşırı sıcaklığın ortam hava kalitesi üzerindeki, sıcak hava dalgaları altında ozon kirliliği gibi diğer etkilerini de dikkate almak önemlidir. Orta ve uzun vadede (sırasıyla 5 ila 15 yıl ve 15 yıldan fazla)¹, sağlıklı şehir planlaması kentsel ısı adası etkisini en aza indirmeyi hedeflemelidir. Bu, örneğin ağaç ve bitki örtüsünün artırılması, yeşil veya yansıtıcı çatıların kurulması veya serin kaldırımların (yansıtıcı geçirgen) kullanılmasıyla sağlanabilir. Bu önlemlerin etkinliğine ilişkin gözlemler ve nicel bilgilerde önemli bir eksiklik vardır, ancak bunların birçoğu, termo-verimli binaların enerji talebinin azaltılması veya yeşil alanların su tutma ve ruh sağlığı yararları gibi önemli yan faydalar sağlayabilir.

Yaklaşım

Aşırı sıcak ve soğukların insan üzerindeki etkilerine ilişkin PESETA IV görevi, Avrupa'da insanların bu aşırı sıcaklıklara maruz kalma ve bu sıcaklıklardan kaynaklanan ölüm oranlarının nicel bir değerlendirmesini sunmaktadır. Metodoloji, afetlerden kaynaklanan insan kayıplarına ilişkin ampirik verileri, geçmiş iklim bilgilerini, EUROSTAT demografik verilerini ve yüksek çözünürlüklü iklim ve sosyo-ekonomik projeksiyonları entegre etmektedir. Tüm PESETA IV etki kategorilerinde olduğu gibi, analiz ilk olarak sıcak ve soğuk dalga ölümlerini karşılaştırmalı statik bir sosyo-ekonomik ortamda değerlendirmekte, dolayısıyla sadece iklim değişikliği sinyalinin etkisini dikkate almaktadır. Bu, mevcut nüfus üzerindeki etkilerin referans iklim (1981-2010) ve sanayi öncesi seviyelerin üzerinde 1,5°C, 2°C ve 3°C küresel ısınmaya sahip iklim altında karşılaştırılmasıyla yapılmaktadır. Buna ek olarak, 2015 Yaşlanma Raporu nüfus projeksiyonlarını dikkate alan dinamik bir sosyo-ekonomik değerlendirme de sağlıyoruz ve farklı ısınma seviyelerindeki aşırı sıcak ve soğukların 2050 ve 2100 için öngörülen AB nüfusunu nasıl etkileyeceğine bakıyoruz. Yüzyılın ortasına kadar 3°C'lik bir ısınma senaryosu gerçekçi olmadığından, 2050 yılında sadece Paris hedefleri dikkate alınmıştır. Etki tahminlerimiz, son afet kayıp kayıtlarından türetilen ölüm oranlarının değişmediğini varsaymaktadır, dolayısıyla adaptasyonu dikkate almamaktadır. Daha fazla ayrıntı için Naumann ve diğerleri (2020).

¹ CoMO (2016) tarafından tanımlandığı gibi. Belediye Başkanları Uyum Sağlıyor - Raporlama Kılavuzları. Brüksel: Belediye Başkanları Sözleşmesi Ofisi.

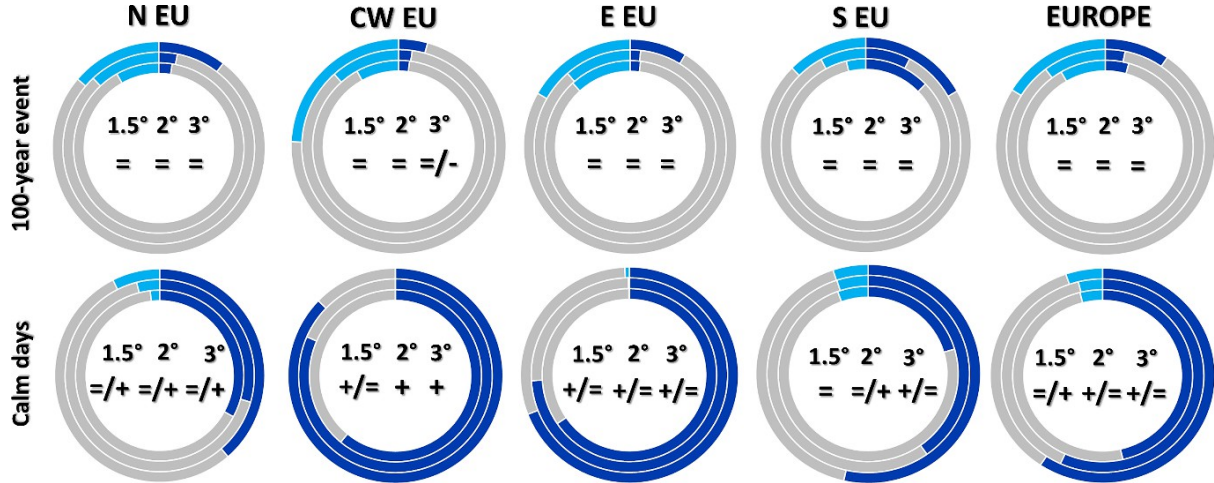
5 Rüzgar fırtınalarının etkileri

Rüzgar fırtınaları Avrupa'da en çok zarar veren doğal afetler arasındadır ve yaklaşık %5

AB'de yıllık tahmini kayıp milyar Euro'dur. Rapor edilen rüzgar fırtınalarının sayısı son yıllarda önemli ölçüde artmıştır, ancak Avrupa'daki rüzgar fırtınalarında iklim kaynaklı bir eğilim olduğu konusunda fikir birliği yoktur. Aşırı rüzgarlara ilişkin iklim modeli projeksiyonları, Avrupa topraklarının çoğunda küresel ısınmayla birlikte rüzgar fırtınalarının daha şiddetli hale gelmeyeceğini veya daha sık yaşanmayacağını göstermektedir. Sonuç olarak, AB'de rüzgar fırtınalarından kaynaklanan riskin iklim değişikliği nedeniyle artmaması beklenmektedir. Uyum sağlanmaması durumunda, artan varlık değerleri nedeniyle aşırı rüzgârlardan kaynaklanan ekonomik kayıplar artacaktır. Aşırı rüzgarların etkileri, rüzgar fırtınasına dayanıklı standartların ve bina yönetmeliklerinin geliştirilmesi ve uygulanması gibi bir dizi önlemle azaltılabilir.

Rüzgar fırtınalarının güncel etkileri

Son birkaç on yıl boyunca Avrupa, insan ölümleri ve yaralanmalarından yollara, enerji santrallerine, tarım sektörüne, ormanlara, altyapıya ve özel mülklere verilen zarara kadar önemli ölçüde insani ve ekonomik etkiye neden olan bir dizi son derece zararlı rüzgar fırtınası tarafından vurulmuştur. AB ve Birleşik Krallık için tahmin edilen ortalama yıllık kayıp 5 milyar €/yıl (2015 değerleriyle) ya da toplam GSYH'nin yaklaşık %0,04'üdür (2015 yılı). Mutlak kayıplar en yüksek Almanya (850 milyon €/yıl), Fransa (680 milyon €/yıl), İtalya (540 milyon €/yıl) ve Birleşik Krallık'ta (530 milyon €/yıl) görülürken, ekonominin büyüklüğüne göre etkiler Bulgaristan ve Estonya'da AB ortalamasının iki katı (GSYH'nin %0,08'i), Letonya, Litvanya ve Slovenya'da ise GSYH'nin %0,07'sidir. Her yıl yaklaşık 16 milyon AB vatandaşı, mevcut iklim koşullarında 30 yılda bir görülen şiddette rüzgar fırtınalarına maruz kalmakta ve yılda yaklaşık 80 kişinin ölümüne olmaktadır. Tropikal bölgelerde son on yıllarda, özellikle de 1990'lardan itibaren siklonların sıklığında ve şiddetinde bir artış gözlenirken, Avrupa'da rüzgar fırtınalarında sağlam bir eğilim yoktur.



Şekil 7. Her bölgenin (kuzey Avrupa, orta-batı Avrupa, doğu Avrupa, güney Avrupa) 100 yıllık rüzgar hızında (>0,3 m/s ve 2/3 model değişimin işareti) konusunda hemfikirse değişim anlamlıdır ve sakin gün sayısında (>5 gün ve 2/3 model değişimin işareti) konusunda değişim anlamlıdır önemli bir artış (koyu), değişim yok (gri) ve azalma (açık mavi) olan alan oranı (% olarak). İç (dış) daire 1,5°C (3°C) ısınmayı temsil etmektedir.

Daha sıcak bir iklimde Avrupa genelinde rüzgar tehlikesi

Mevcut iklim modeli projeksiyonları, Avrupa'da küresel ısınmayla birlikte rüzgar tehlikesinde küçük değişiklikler olduğunu göstermektedir. 3°C ısınma ile maksimum rüzgar hızları muhtemelen kara alanının %16'sında azalacak, yaklaşık %10'unda artacak ve Avrupa'nın geri kalanında nispeten sabit kalacaktır. Güney Avrupa, aşırı rüzgarların artacağı alanın en büyük payına sahip bölgeyken (3°C ile %17), orta-batı Avrupa daha az şiddetli aşırı rüzgarların öngörüldüğü alanın en büyük payına sahiptir (3°C ile %24). Ayrıca rüzgarlı ya da fırtınalı

günler önemli değişiklikler göstermemektedir. Öte yandan, Avrupa'nın büyük bölümünde, özellikle de orta, batı ve doğu Avrupa'da daha sakin günlere (günlük maksimum rüzgar hızı 3,5 m/s'nin altında) doğru güçlü bir eğilim öngörülmektedir (Şekil 7).

Sosyoekonomik değişim olmadığı varsayımıyla rüzgar fırtınalarından kaynaklanan ekonomik kayıplar

Avrupa genelinde küresel ısınmayla birlikte rüzgar tehlikesinde önemli bir eğilim olmaması, mevcut sosyoekonomik koşulların gelecekte de devam edeceği varsayıldığında AB'deki insani ve ekonomik etkilerin sabit kalacağı anlamına gelmektedir (Şekil 8). Çoğu ülke için etkiler sabit kalsa da, Macaristan, Romanya ve Slovakya'da 3°C küresel ısınma ile kayıplar ülke GSYH'sinin (2015 yılı) %0,08'ine çıkabilir, bu oran mevcut iklim koşullarında %0,06'dır. Estonya'da ise kayıplar mevcut iklim koşullarında GSYH'nin %0,08'inden 3°C küresel ısınma ile GSYH'nin %0,05'ine düşebilir.

taban	1.5°C	2.0°C	3.0°C
Rüzgar kayıpları (milyar €)			
4.6	4.5	4.6	4.6
Rüzgar kayıpları (GSYH'nin %'si)			
0.04	0.04	0.04	0.04

Şekil 8. Mevcut sosyoekonomik koşulların gelecekte de devam edeceği varsayımıyla AB ve Birleşik Krallık için yıllık rüzgar kayıpları.

Sosyoekonomik değişimle birlikte rüzgar fırtınalarından kaynaklanan ekonomik kayıplar

Mutlak olarak öngörülen kayıplar, gelecekteki sosyoekonomik değişim hesaba , mevcut sosyoekonomik koşulların gelecekte de devam edeceği varsayımına kıyasla, ekonominin büyüklüğünün büyümesi ve dolayısıyla maruz kalan varlıkların daha yüksek değerlere sahip olması nedeniyle daha büyüktür. 2050 yılına kadar, rüzgar fırtınası yıllık kayıplarının hem 1.5°C hem de 2°C küresel ısınma için yaklaşık 7 milyar €/yıl'a (2015 değerleriyle) çıkacağı öngörülmektedir. Bu yüzyılın sonuna gelindiğinde bu rakam Şekil 9), daha yüksek ısınma seviyeleri için biraz daha yüksek etkilerle 11 milyar €/yıl'ın üzerine çıkacaktır (. Gelecekteki ekonomilerin büyüklüğünün bir payı olarak ifade edilen rüzgar kaynaklı hasar, bina stoku ve yenileme maliyetlerinin GSYİH'den biraz daha yavaş büyümesi nedeniyle küçük bir düşüş göstermektedir.

taban	1.5°C	2.0°C	3.0°C
Rüzgar kayıpları (milyar €)			
4.6	11.3	11.4	11.4
Rüzgar kayıpları (GSYİH'nin %'si)			
0.04	0.03	0.03	0.03

Şekil 9. ECFIN Yaşlanma Raporuna göre 2100 yilsosyoekonomik koşullar varsayıldığında AB ve Birleşik Krallık için yıllık rüzgar kayıpları.

Aşırı rüzgarlara karşı dayanıklılık

Projeksiyonlarımız Avrupa'da rüzgar tehlikesi ve riskinin küresel ısınmayla birlikte değişmeyeceğini gösterse de, mevcut aşırı rüzgarlara karşı dayanıklılığın artırılması gelecekteki toplumlar üzerindeki etkileri daha da azaltabilir. Rüzgar fırtınası tahmin doğruluğunun ve uyarı süresinin artırılması, fırtınaya hazır olma durumunun, acil durum iletişiminin ve müdahalenin iyileştirilmesi ve AB'de Eurocode'larda yapılacak değişikliklerle teşvik edilebilecek rüzgar geçirmez altyapılara yönelik yapısal önlemler gibi alınabilecek çok çeşitli önlemler vardır.

Yaklaşım

Yüksek emisyon senaryosu (RCP8.5) ve ılımlı azaltım senaryosu (RCP4.5) altında günlük rüzgar hızı projeksiyonları, başlangıçtaki (1981-2010) iklim ile sanayi öncesi seviyelerin 1.5°C, 2°C ve 3°C üzerindeki küresel ısınma seviyeleri arasında rüzgar tehlikesindeki değişiklikleri tahmin etmek için kullanılmıştır. Toplam yapı stokunu rüzgar hızı ve ekonomik kayıpların yanı sıra rapor edilen ölümlerle ilişkilendiren rüzgar hasarı fonksiyonları, geçmişteki rüzgar olaylarından ve bunların rapor edilen etkilerinden türetilmiştir. Gelecekteki kırılabilirlik hakkında bilgi olmadığından, bu etki ilişkileri senaryolarda sabit tutulmuştur. Hasar ve ölüm ilişkileri daha sonra, farklı ısınma seviyelerindeki rüzgar tehlikesinin mevcut nüfus ve yapı stokuna uygulandığı statik-ekonomik bir senaryoda uygulanmıştır. Ayrıca, ECFIN Yaşlanma Raporuna göre 2050 ve 2100 yıllarında maruz kalınan inşaat varlıkları ve nüfus projeksiyonları ile ısınma seviyelerindeki rüzgar tehlikesi projeksiyonlarını birleştirdik. Yüzyılın ortasına kadar 3°C ısınmanın gerçekleşmesi çok düşük bir ihtimal olduğundan, bu ısınma seviyesi dinamik ekonomik senaryoda sadece 2100 toplumuyla birleştirilmiştir. Statik ve dinamik ekonomik senaryoların kullanılması, iklim değişikliğinin ve maruz kalma dinamiklerinin gelecekteki rüzgar fırtınası hasarları üzerindeki etkilerinin ayrıştırılmasına olanak tanımaktadır.

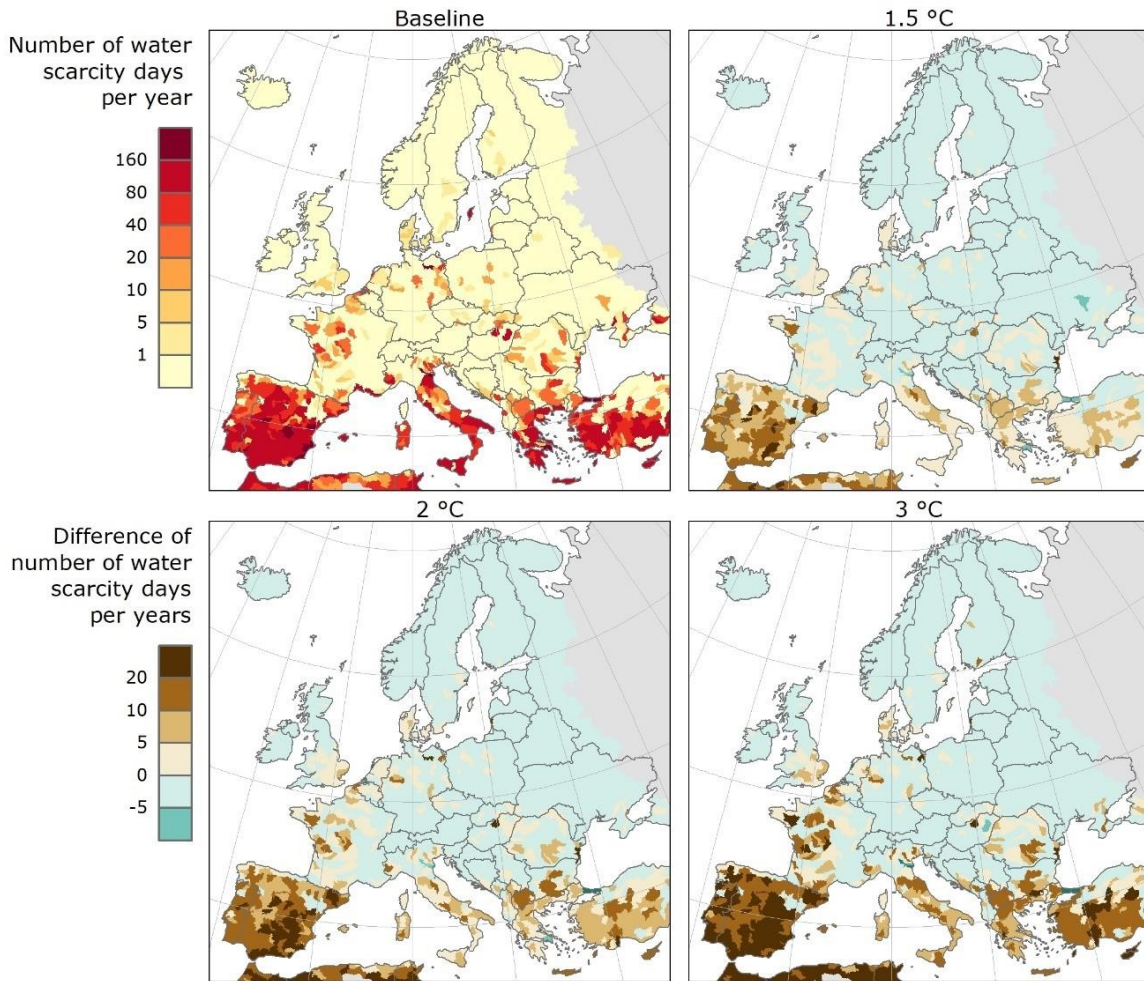
Analizin önemli bir sınırlaması, şiddetli yerel rüzgar fırtınalarını yakalamak için çok kaba olan rüzgar verilerinin mekansal çözünürlüğüdür. Mevcut nesil iklim modelleri de rüzgar dinamiklerinin oldukça zayıf bir fiziksel temsiline sahiptir. Ayrıca, günlük altı zaman adımlarında rüzgar gust verilerinin yokluğunda, rüzgar fırtınalarının bir vekili olarak günlük maksimum rüzgar hızını kullandık. Bu sınırlamaların küresel ısınma açısından mevcut rüzgar tehlikesi projeksiyonlarını etkilemediği henüz belli değildir. Daha fazla ayrıntı için Spinoni ve diğerleri (2020).

6 Su kaynakları üzerindeki etkiler

Su talebinin mevcut yenilenebilir su kaynaklarını aşmasından kaynaklanan uzun vadeli dengesizlik, AB'de giderek daha sık görülen ve yaygınlaşan bir olgudur. AB ve Birleşik Krallık'ta yılda en az bir ay su stresi altında olduğu düşünülen bölgelerde yaşayan insanların sayısı, 3°C'lik bir ısınma senaryosunda günümüzde 52 milyondan 65 milyona yükselebilir ki bu da AB nüfusunun %15'ine denk gelmektedir. Genel olarak, iklim projeksiyonları su mevcudiyeti açısından Avrupa genelinde bir kuzey-güney modeli ortaya koymaktadır. Genel olarak, halihazırda su kıtlığından en çok muzdarip olan güney Avrupa ülkelerinin, özellikle İspanya, Portekiz, Yunanistan ve İtalya'nın su mevcudiyetinde azalma ile karşı karşıya kalacağı öngörülmektedir. İklim değişikliğinin olumsuz etkilerinden kaçınmak için azaltım tek başına yeterli değildir ve uyum stratejilerine de ihtiyaç duyulacaktır.

Su kıtlığı AB'de zaten bir sorun

Şu anda AB ve Birleşik Krallık'ta yaklaşık 52 milyon insan su kıtlığı olan bölgelerde yaşamaktadır. Bu rakam nüfusun %11'ine denk gelmektedir. Su stresine maruz kalan insanların çoğu İspanya (22 milyon; ulusal nüfusun %50'si), İtalya (15 milyon; %26), Yunanistan (5.4 milyon; %49) ve Portekiz (3.9 milyon; %41) gibi Güney Avrupa ülkelerinde yaşamaktadır. Kıbrıs ve Malta nüfuslarının tamamının su kıtlığı içinde yaşadığı düşünülmektedir. Akdenizde su stresi dönemi 5 ayı aşabilmektedir (Şekil 10). Yaz aylarında, bu bölgedeki su kullanımı %100'e yakın olabilir, bu da mümkün olan tüm suyun ve genellikle önemli miktarda fosil yeraltı suyunun kullanıldığı anlamına gelir.



Şekil 10. Referans dönemde Referans dönemde su kıtlığı gün sayısı (WEI+ 0,2'den büyük, bkz. Yaklaşım) ve küresel ısınma ile öngörülen değişiklikler.

Su kaynakları üzerindeki mevcut baskılar Güney Avrupa'da daha da artmaktadır

Küresel ısınmayla birlikte su stresinde kuzey-güney yönünde net bir değişim modeli öngörülmektedir. Su kıtlığı koşulları, halihazırda su stresine karşı karşıya olan bölgelerde daha da kötüleşecektir. Su stresini temsil ettiği düşünülen koşullara sahip günlerin sayısı, artan küresel ısınma ile Akdeniz bölgesinde keskin bir şekilde artmaktadır (Şekil 10). İber Yarımadası'nda su kıtlığı yaşanan günler, 3°C ısınma senaryosunda günümüze göre yılda bir aydan fazla artabilir. Isınmayla birlikte su sıkıntısının giderek artacağı bölgeler İngiltere, Belçika, Hollanda, Almanya, Danimarka, Bulgaristan, Romanya ve Fransa gibi daha kuzeydeki ülkelerde de ortaya çıkmaktadır. Diğer orta ve kuzey Avrupa ülkeleri, küresel ısınma ile birlikte su mevcudiyetinin artması yönünde bir eğilim göstermektedir.

İklim değişikliği nedeniyle su kıtlığına maruz kalan nüfus

Su kaynaklarının stres altında olduğu bölgelerde yaşayan insan sayısı 3°C küresel ısınma ile 65 milyona . Bu, şu andakinden 13 milyon (+%25) daha fazladır ve yaklaşık 8 milyon kişi daha ciddi su stresine koşullarına sahip bölgelerde yaşamaktadır veya şu andakinden yaklaşık dört kat daha fazladır. Küresel ısınmanın 1,5°C ile sınırlandırılması, su kıtlığı olan bölgelerde yaşayan insan sayısındaki artışı yarıya indirecek ve ilave insanların ciddi veya sürdürülemez su stresine karşı karşıya kalmasını etkili bir şekilde önleyecektir (Şekil 11).

İspanya, su kaynaklarının stres altında olduğu bölgelerde yaşayan insan sayısında en büyük mutlak artışı görmektedir. Bu sayı, 3°C ısınma senaryosunda şu ankinden 7 milyon daha fazladır. Yunanistan'da su stresine karşı karşıya olan insan sayısı 3°C ısınma ile 3,5 milyon artarak yaklaşık 9 milyona veya mevcut nüfusun yaklaşık %80'ine ulaşacaktır.

base	1.5°C	2.0°C	3.0°C
People living in areas with water stress (million)			
52	59	60	65
People living in areas with severe water stress (million)			
3.3	3.4	3.4	11

Şekil 11. AB ve Birleşik Krallık'ta AB ve Birleşik Krallık'ta farklı küresel ısınma seviyeleri için su stresine (WEI+ > 0,2, bkz. Yaklaşım) ve şiddetli (WEI+ > 0,4) su stresine maruz kalan bölgelerde yaşayan nüfus.

Su kıtlığının sosyoekonomik nedenleri

İklim değişikliği, Güney Avrupa'da artan su stresinin ana nedenidir. Demografik değişimler, arazi kullanım dinamikleri ve buna bağlı su kullanımındaki değişimler küçük bir rol oynamaktadır. Genel olarak, su sıkıntısına maruz kalan ülkelerde (örneğin Fransa) öngörülen artışı nedeniyle su kıtlığına maruz kalan ek insan sayısı statik nüfus senaryosuna kıyasla biraz daha yüksektir. Demografik eğilimler hesaba katıldığında ciddi su sıkıntısına maruz kalan kişi sayısı, yine ciddi su kısıtlamalarına maruz kalan ülkelerde (örneğin Yunanistan) nüfusun azalacağı öngörüsü nedeniyle biraz daha düşüktür. AB'nin her yerinde ekonomik büyüme tahminleri, su stresine maruz kalan ekonomik faaliyetlerde güçlü bir artışa neden olmaktadır.

Adaptasyon ihtiyacı

Su mevcudiyetinde öngörülen bazı değişikliklerin ciddiyeti, daha düşük ısınma büyüklükleri altında bile su kıtlığına maruz kalan nüfus ve ekonomik faaliyetler üzerindeki etkileri azaltmak için çeşitli adaptasyon mekanizmalarına ihtiyaç duyulacağını göstermektedir. Bazı bölgelerde, yukarı havza suyuna bağımlılıkta öngörülen artışlar, ülkeler arasında daha fazla su diplomasisi çabalarının yanı sıra nehir havzası su kaynaklarının uluslararası çoklu üye devlet yönetimini gerektirmektedir. AB'de bu durum Su Çerçeve Direktifi kapsamında ve Tuna, Ren, Elbe, Meuse, Oder, Sava ve diğerleri gibi çeşitli Nehir Havzası Komisyonlarında halihazırda işler durumdadır.

Adaptasyon, su bağımlılığını daha da artırabileceğinden arzı artırmak yerine talep kaynaklı kıtlığı hedefleyebilir. Arz yönlü tedbirlerin de bilinen zararlı çevresel etkileri (rezervuarlar) veya artan enerji gereksinimleri (tuzdan arındırma) vardır. Dengesiz su talebi ancak su yoğun sektörlerde su bağımlılığının azaltılmasıyla sürdürülebilir bir şekilde hafifletilebilir. Su fiyatlandırması, kullanıcıların su tasarrufunu göz önünde bulundurmaları ve tasarrufu sağlayan teknolojiler geliştirmeleri için bir teşvik oluşturabilir. Çok çeşitli olası önlemler arasında, örneğin sulama yöntemlerini değiştirerek (örneğin yağmurlamadan damla sulamaya) sulama verimliliğini artırmak veya daha düşük su gereksinimi olan ürünlere geçiş yapmak yer almaktadır. Ayrıca, optimum olmayan sulama stratejileri, mahsul veriminde sadece sınırlı bir azalma ile önemli ölçüde su tasarrufu sağlayabilir. Diğer seçenekler arasında, enerji üretmek için su kullanımında azalmaya yol daha verimli soğutma teknolojileri yer almaktadır. Buna ek olarak, geleneksel enerji üretiminden (fosil yakıt) yenilenebilir enerji üretimine (rüzgar ve güneş) geçiş, soğutma suyu talebini ve net su tüketimini azaltabilir.

Yaklaşım

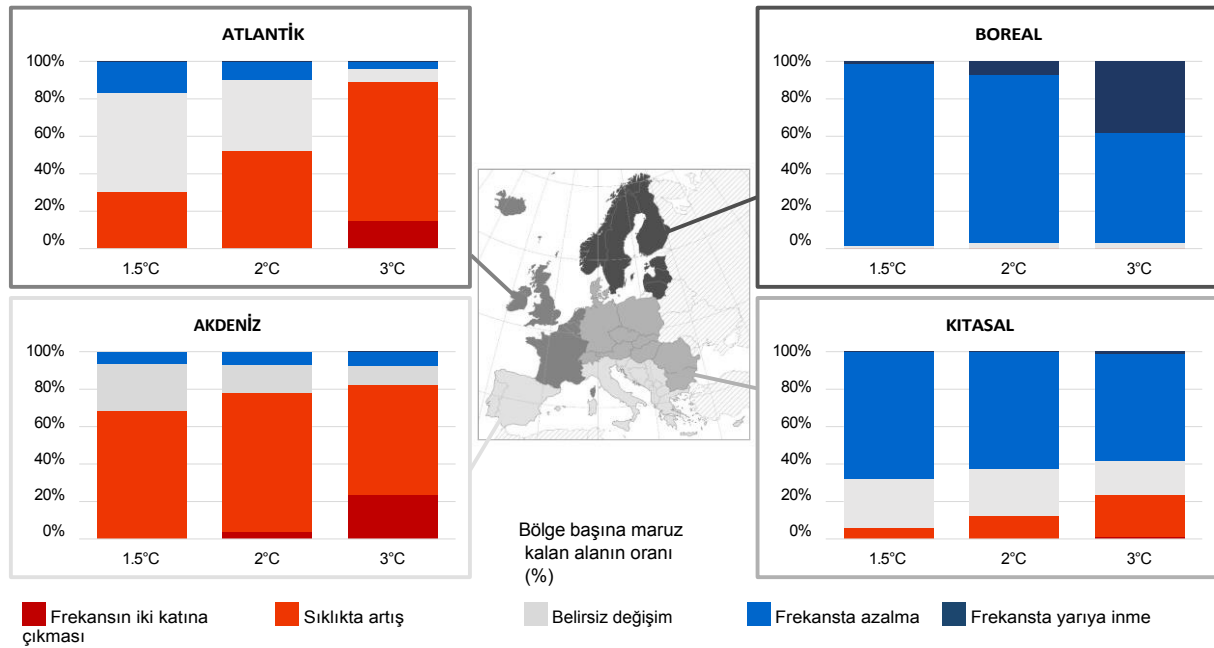
PESETA IV, kuraklık, nehir taşkınları ve enerji arzı etkilerini değerlendirmek için projenin başka yerlerinde kullanılan aynı hidrolojik modeli kullanarak iklim değişikliğinin su mevcudiyeti üzerindeki etkisini tahmin etmiştir. LISFLOOD hidrolojik ve su kullanım modeli, mevcut iklim ve sanayi öncesi seviyelerin üzerinde 1,5°C, 2°C ve 3°C küresel ısınmaya sahip iklim için nehir akışını simüle etmek üzere yüksek emisyon (RCP8.5) ve orta düzeyde azaltma (RCP4.5) senaryosu için iklim projeksiyonları ile zorlanmıştır. Su Kullanım Endeksi (WEI+) veya su çekme oranı, belirli dönemde tanımlanmış bir bölgede kullanılan toplam yenilenebilir tatlı su kaynaklarının yüzdesi olarak tanımlanan bir su stresi ölçütüdür. WEI+, sınır ötesi nehir havzalarından gelen nehir suyunu dikkate alır. Aylık ölçekte hesaplanmıştır. WEI+ değerleri 0 ile 1 arasında bir aralığa sahiptir. 0,2'nin üzerindeki değerler su kaynaklarının stres altında olduğunu gösterirken, 0,4'ün üzerindeki değerler ciddi strese ve tatlı su kaynaklarının sürdürülemez kullanımına işaret etmektedir. PESETA IV, yıllık ortalama WEI+ değeri 0,2'den büyük olan ve şiddetli su stresi için 0,4'ün üzerinde olan bölgelerde yaşayan insan sayısını hesaplayarak, nüfusun su stresine maruz kalma durumunu mevcut durum ve 1,5°C, 2°C ve 3°C küresel ısınma için tahmin etmiştir. Su stresine maruz kalma, iki ana sosyoekonomik değişim varsayımı altında tahmin edilmiştir: 1) mevcut koşulların gelecekte de devam etmesi; ve 2) ECFIN Yaşlanma Raporuna göre sosyoekonomik gelişme. Daha fazla ayrıntı için Bisselink ve diğerleri (2020).

7 Kuraklığın etkileri

Kuraklıklar, 2018 ve 2019 yıllarında AB'de yaşanan büyük çaplı mahsul kıtlığı, elektrik arzının azalması ve nakliye kesintileri gibi örneklerde görüldüğü üzere, ekonominin birçok sektörünü kapsayan karmaşık bir etkiler ağına neden olmaktadır. Küresel ısınmayla birlikte Avrupa'nın güney ve batı kesimlerinde kuraklıklar daha sık yaşanacak, daha uzun sürecek ve daha şiddetli hale gelecek, kuzey ve kuzeydoğu Avrupa'da ise kuraklık koşulları daha az aşırı hale gelecektir. 3°C küresel ısınma ile 2100 yılında kuraklık kayıpları bugüne kıyasla 5 kat daha fazla olabilir ve kuraklık kayıplarındaki en güçlü artış Avrupa'nın Akdeniz ve Atlantik bölgelerinde öngörülmektedir. Ekonominin toplam büyüklüğüne göre ifade edildiğinde etkiler nispeten azalmaktadır, çünkü tarım gibi kuraklığa duyarlı sektörlerin gelecekteki AB ekonomilerinde bugün olduğundan nispeten daha az ekonomik öneme sahip olacağı tahmin edilmektedir. Ekosistemler üzerindeki sonuçlar genellikle paraya çevrilmez ve dolayısıyla kayıp tahminlerine yansıtılmaz.

Kuraklıktan kaynaklanan mevcut ekonomik kayıplar

PESETA IV, kuraklıktan kaynaklanan mevcut yıllık kayıpların AB ve Birleşik Krallık için yaklaşık 9 milyar € olduğunu tahmin etmektedir; en yüksek kayıplar İspanya (1,5 milyar €/yıl), İtalya (1,4 milyar €/yıl) ve Fransa'dadır (1,2 milyar €/yıl). Bölgeye bağlı olarak, kayıpların %39-60'ı tarım ve %22-48'i enerji sektörüyle ilgilidir. Kamu su tedariki toplam zararın %9-20'sini oluşturmaktadır. Ulaşım sektöründeki kayıplar sadece iç su taşımacılığı ile ilgilidir ve ortalama olarak toplam kayıpların %1,5'ini oluştururken, altyapılardaki çökme hasarı toplam yaklaşık %8'ini oluşturmaktadır. Kuraklık çevreyi de birçok farklı şekilde etkilemektedir, ancak bu etkileri değerlendirmek zordur.



Şekil 12. Avrupa alt bölgeleri için 1981-2010 yıllarına kıyasla kuraklık oluşumundaki değişikliklere maruz kalan alan oranı.

Daha sıcak bir iklimde Avrupa genelinde kuraklık tehlikesi

Hidrolojik kuraklıklar, küresel ısınmayla birlikte Akdeniz ve Atlantik Avrupa bölgelerinde giderek daha sık yaşanacak ve şiddetlenecektir. Kuraklık koşulları Kıta bölgesinin güney kesimlerinde de kötüleşecektir. 3°C ısınma ile Akdeniz'in yaklaşık %25'inde ve Atlantik bölgesinin %15'inde kuraklık sıklığının iki katına çıkacağı tahmin edilmektedir. Küresel ısınmanın 1,5°C ile sınırlandırılması yine de Akdeniz'in üçte ikisinde ve Atlantik bölgesinin üçte birinde kuraklık sıklığında artışa neden olacak, ancak Avrupa'nın her yerinde kuraklık sıklığının iki katına çıkmasını önleyecektir (Şekil 12). Buna karşılık, Boreal Avrupa'da ve Kıta Avrupası'nın kuzeydoğu kesimlerinde iklim değişikliğiyle birlikte artan yağışlar nedeniyle kuraklık tehlikesi azalacaktır. Orta ve Doğu Avrupa'da öngörülen eğilimler daha fazla iklim değişkenliği göstermektedir ve daha belirsizdir.

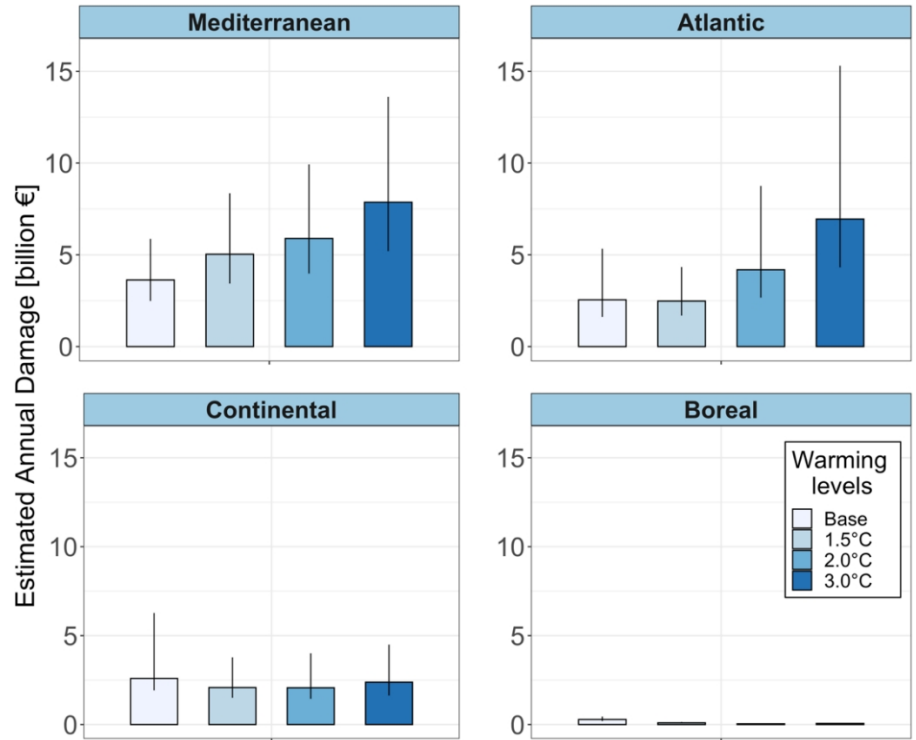
Sosyoekonomik değişim olmadığı varsayımıyla kuraklıktan kaynaklanan ekonomik kayıplar

Gelecekteki iklim bugünün toplumuna etki ederse, toplam AB ve Birleşik Krallık kuraklık zararı 1,5°C'lik Şekil 13)küresel ısınma ile biraz artar (9,7 milyar €/yıl), ancak daha fazla ısınma ile daha güçlü bir şekilde artarak 3°C'de 17,3 milyar €/yıla ulaşır (. Akdeniz ve Atlantik bölgeleri küresel ısınmadan en büyük zararı gören bölgelerdir (Şekil 14); Belçika, Yunanistan, İrlanda, Portekiz ve Birleşik Krallık bugüne kıyasla kayıplarda en güçlü artışı göstermektedir. Atlantik ve özellikle Akdeniz Avrupa'sındaki ülkeler halihazırda en yüksek kuraklık etkilerine maruz kalmaktadır. Bu bölgeler yakın geçmişte toplam Avrupa kayıplarının %68'ine katkıda bulunmuştur ve ısınma ile birlikte payları giderek artmaktadır ve 3°C %85'e çıkabilir. Kıta Avrupası'nın en güney ülkelerinde de (Bulgaristan ve Romanya) kuraklık kayıpları artacaktır.

taban	1.5°C	2.0°C	3.0°C
Kuraklık kayıpları (milyar €)			
9.0	9.7	12.2	17.3
Kuraklık kayıpları (GSYİH'nin %'si)			
0.07	0.08	0.10	0.14

Şekil 13. Mevcut sosyoekonomik koşulların gelecekte de devam edeceği varsayımıyla AB + Birleşik Krallık için kuraklıktan kaynaklanan ortalama yıllık kayıplar.

Şekil 14. Yıllık kayıplar Mevcut yıllık kayıplar (EAD,€ milyar/yıl, 2015 değerleri) ve AB ülkeleri + İngiltere için bölgelere göre küresel birlikte, mevcut sosyo-ekonomik koşullar gelecekte de devam edecektir. Her bir çubuğun üst kısmı ortalama tahmini, dikey çizgiler ise iklim belirsizliğini göstermektedir.

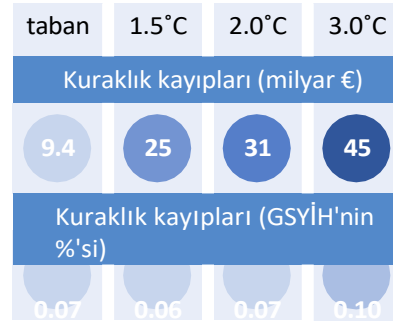


Sosyoekonomik değişimle birlikte kuraklıktan kaynaklanan ekonomik kayıplar

Mutlak anlamda öngörülen kayıplar, gelecekteki sosyoekonomik değişim hesaba katıldığında, ekonominin büyüklüğündeki büyüme nedeniyle mevcut sosyoekonomik koşulların gelecekte de devam edeceği varsayımına kıyasla daha büyüktür. Bu yüzyılın sonunda, 3°C'lik küresel ısınma %45'lik bir kuraklık kaybına yol açacaktır. AB ve Birleşik Krallık'ta bu rakam (Şekil 15)1,5°C ve 2°C için sırasıyla 25 ve 31 €milyar/yıldır .

Kuraklık kayıpları ekonominin büyüklüğüne (GSYİH'nin payı) göre ifade edildiğinde, iklim değişikliğinin etkileri mutlak tahminlere kıyasla azalır çünkü kuraklığa duyarlı sektörler ve özellikle

tarımın, gelecekteki AB ekonomilerinde ekonomik olarak daha az yaygın hale geleceği öngörülmektedir. Kuraklıktan kaynaklanan kayıplar, hem 1,5°C hem de 2°C ısınma senaryoları altında 2050 ve 2100 AB+İngiltere GSYH'sinin sırasıyla %0,06 ve %0,07'sini ve 3°C ısınma için 2100 yılında %0,1'ini oluşturmaktadır. Bölgesel ve ulusal düzeydeki göreceli etkiler, 2100 sosyoekonomisi ile 3°C ısınma için Akdeniz'de GSYH'nin %0,19'u ve hatta bazı ülkelerde %0,3'ün üzerinde (örneğin, Yunanistan Bulgaristan ve Romanya) kayıplarla AB ortalamasından daha büyük . Sektör düzeyindeki etkiler de çok daha büyük olabilir; tarımdaki kayıplar 3°C'lik ısınmada sektör ekonomik çıktısının %4,6'sına ulaşmaktadır.



Şekil 15. AB ve Birleşik Krallık için 2015 Yaşlanma Raporu'na göre 2100 yilsosyoekonomik koşullar varsayıldığında kuraklıktan kaynaklanan ortalama yıllık kayıplar.

Kuraklığa adaptasyon ve dayanıklılık

PESETA IV kuraklık etki projeksiyonları, sektörlerin kuraklığa karşı mevcut kırılganlık tahminlerine dayanmaktadır ve dolayısıyla herhangi bir adaptasyon varsaymamaktadır. Çok çeşitli kuraklık riski azaltma önlemleri mevcuttur. Su kaynaklarına daha fazla bağımlılığa yol açabilecek ve kuraklığa karşı kırılganlığı artırabilecek arz yönlü önlemler yerine, toplumun ve sektörlerin kuraklığa karşı direncinin güçlendirilmesi hedeflenmelidir. Bu, kuraklığa duyarlı sektörlerde iyileştirilmiş soğutma teknikleri, kuraklığa dayanıklı ürünler veya daha hafif nehir navigasyon gemileri gibi özel önlemlerin yanı sıra kurumsal dönüşümler, geçim kaynakları ve ekonomik çeşitlendirme, sigorta ve diğer piyasa araçları, sosyal güvenlik ağları, izleme ve veri toplama ve erken uyarı ve alarm sistemlerini de içerir. Kuraklığın etkilerini hafifletmek için yapılan yatırımların ve alınan politika maliyet ve faydalarını değerlendirmek büyük bir zorluk olmaya devam etmektedir. Yine de, eylem maliyetlerinin genellikle eylemsizlik maliyetlerinden daha düşük olduğu ve ex-ante risk yönetimi eylemlerine yatırım yapmanın getirilerinin ex-post kriz yönetimine yatırım yapmaktan daha yüksek olduğu genel olarak kabul . Uyum tedbirlerinin gerçek maliyet ve faydaları yerel coğrafi, iklimsel ve sosyoekonomik koşullara bağlı olarak önemli ölçüde değişecektir.

Yaklaşım

LISFLOOD hidrolojik ve su kullanım modeli, mevcut iklim ve sanayi öncesi seviyelerin üzerinde 1,5°C, 2°C ve 3°C küresel ısınmaya sahip iklim için minimum nehir akışını (kuraklık tehlikesinin bir göstergesi) simüle etmek amacıyla yüksek emisyon (RCP8,5) ve orta düzeyde azaltma (RCP4,5) senaryosu için iklim projeksiyonları kullanılarak çalıştırılmıştır. Kuraklık tehlikesi yüksek mekânsal çözünürlükte tahmin edilmiştir. Ekonomik kayıplar, geçmiş kuraklık olaylarının rapor edilen kayıplarından elde edilen kuraklık yoğunluğu ve kuraklık etkisi arasındaki istatistiksel ilişkiye dayalı olarak ülke ölçeğinde tahmin edilmiştir. Kuraklık etkileri, uzmanlarca türetilen sektörlerin kuraklığa duyarlılığına ve ekonomik çıktılarına dayalı olarak ekonomik sektörlere göre ayrıştırılmıştır. Kayıplar 2015 değerleriyle raporlanmıştır ve istatistiksel ilişkinin türetildiği geçmiş kuraklıklar ve etkilerine ilişkin verilerin sınırlı olması nedeniyle doğal olarak belirsizdir. Kayıplar iki ana sosyoekonomik değişim varsayımı altında tahmin edilmiştir: 1) 2015 koşullarının gelecekte de devam etmesi; ve 2) ECFIN Yaşlanma Raporuna göre sosyoekonomik gelişme. Yüzyılın ortasına kadar 3°C ısınmanın gerçekleşmesi pek olası , bu ısınma seviyesi dinamik ekonomik senaryoda sadece 2100 sosyoekonomik koşullarıyla . İklim modelleri topluluğu üzerinden kuraklık kayıplarının ortalama tahminlerini ve iklim belirsizliğinden kaynaklanan yayılımı sunuyoruz. Model kavramsallaştırması ve parametrelendirmesinden kaynaklanan diğer belirsizlik kaynakları ve sınırlı ampirik kuraklık kaybı verileri hesaba katılmamıştır. Daha fazla ayrıntı için Cammalleri ve diğerleri (2020).

8 Nehir taşkını etkileri ve adaptasyon

Nehir taşkınları Avrupa'daki en maliyetli doğal afetlerden biridir. Küresel ısınma ve sele eğilimli bölgelerde devam eden kalkınma, nehir taşkını riskini giderek artıracaktır. İklim değişikliğinin azaltılmaması ve iklim değişikliğine uyum sağlanmaması durumunda, sellerden kaynaklanan doğrudan zarar, yüzyılın sonuna kadar mevcut kayıplara kıyasla 6 kat artabilir. Küresel ısınmanın 2°C'nin çok altında tutulması bu etkileri yarıya indirecektir. Yeterli adaptasyon stratejileri gelecekteki sel etkilerini daha da önemli ölçüde azaltabilir. Özellikle, tutma alanları kullanarak taşkın zirvelerini azaltmak ve bina bazlı hasar azaltma önlemlerini uygulamak, çoğu AB ülkesinde, bugünkünden daha düşük taşkın riski seviyelerinde bile etkileri maliyet etkin bir şekilde azaltabilir. Fazla suyu tutmak için doğal sulak alanların ve taşkın yataklarının restore edilmesi de su ve ekosistemlerin durumunu iyileştirir.

Nehir taşkınlarının güncel etkileri

PESETA IV, şu anda nehir taşkınlarının AB ve Birleşik Krallık'ta yılda 7.8 milyar € zarara yol açtığını tahmin etmektedir ki bu da mevcut GSYİH'nın yaklaşık %0.06'sına denk gelmektedir. Ayrıca, her yıl 170.000'den fazla insan nehir taşkınlarına maruz kalmaktadır.

Adaptasyon olmadan nehir taşkınlarının gelecekteki etkileri

Küresel ısınma, Avrupa'nın büyük bölümünde sel sıklığını ve şiddetini giderek artıracaktır. Aynı zamanda, öngörülen sosyal ve ekonomik büyüme sel olaylarına maruz kalmayı daha da artıracaktır. Herhangi bir azaltım ve uyum önlemi alınmazsa, bu yüzyılın sonuna kadar 3°C küresel ısınma ekonomik kayıplar yaklaşık 50 milyar €/yıl veya günümüze kıyasla 6 kattan fazla artacak ve yaklaşık 3 kat daha fazla insan sele maruz kalacaktır. Küresel ısınmanın 1,5°C ile sınırlandırılması, ekonomik kayıpları ve nüfusun nehir taşkınlarına maruz kalma oranını azaltılmamış iklime göre yarıya indirecektir (Şekil 16).

	Bugün	2100 - adaptasyon yok			2100 - adaptasyon		
		1.5°C	2°C	3°C	1.5°C	2°C	3°C
Hasar (milyar €/yıl)	7.8	24	33	48	8.6	9.6	8.6
Maruz kalan kişiler (1000/yıl)	172	252	338	482	92	100	90

Şekil 16. AB ve Birleşik Krallık için günümüzde ve 2100 yılına kadar farklı küresel ısınma seviyeleri için sırasıyla adaptasyonlu ve adaptasyonsuz yıllık taşkın hasarı ve nehir taşkınına maruz kalan nüfus. "Adaptasyon yok" senaryosu, günümüzdeki taşkın koruma önlemlerini ifade etmektedir. "Adaptasyon" senaryosu, fazla taşkın suyunu ekonomik faydalarını en üst düzeye çıkaracak bir koruma seviyesine kadar depolamak için tutma alanlarının uygulanmasına dayanmaktadır.

Adaptasyon ile önlenen nehir etkileri

Yeterli taşkın riski azaltma stratejileri, küresel ısınmayla birlikte taşkın riskinde öngörülen artışı önemli ölçüde azaltabilir. Özellikle, tutma alanları kullanılarak taşkın piklerinin azaltılması, çoğu AB ülkesinde maliyet etkin bir şekilde etkileri azaltmak için büyük bir potansiyel göstermektedir (Şekil 18). Bu stratejinin AB düzeyinde uygulanması, yüzyılın sonuna kadar maruz kalınacak ekonomik zararı ve nüfusu, hiçbir adaptasyon yapılmamasına kıyasla %70'ten fazla azaltabilir (Şekil 16). Su tutma alanlarının, taşkın yatağı alanlarının doğal işleyişini yeniden tesis etmek ve ekosistem kalitesini iyileştirmek gibi ek faydaları vardır. Mevcut bent sistemlerinin güçlendirilmesi daha düşük ancak yine de olumlu fayda-maliyet oranlarına sahiptir (Şekil 17), ancak bu riski aşağıya aktarabilir. Ayrıca, taşkın bariyerlerinin arkasında daha fazla gelişmeyi teşvik etme eğilimindedir ve bu da başarısızlık durumunda yıkıcı etkilere neden olabilir. Bina bazlı taşkın koruma önlemleri de tipik olarak sınırlı uygulama yatırımları ile taşkın hasarını önemli ölçüde azaltabilir. Ayrıca sellerin meydana gelmesini engellemezler ve bu nedenle sel hasarını yalnızca kısmen önleyebilirler. Yer değiştirme en düşük maliyetli yöntemdir, uygulama maliyetleri büyük değişkenlik gösterebilir ve sosyal kabulü daha düşük olabilir.



Hendek sistemlerinin

güçlendirilmesi: Yatırım yapılan her€

için **2 Avro** ila **2,9 Avro** tasarruf

Ekonomik zararda **%41** ila **%68** azalma

Maruz kalan nüfusta **%41** ila **%65** azalma



Sel sularını depolamak için tutma alanlarının inşaa edilmesi:

Yatırım yapılan her€ için **2,9€** ila **3,5€** tasarruf

Ekonomik zararda **%64** ila **%82** azalma

Maruz kalan nüfusta **%63** ila **%81** azalma



Binalar için hasar azaltma Önlemleri

Yatırım yapılan her€ için **5,2 €** tasarruf

Ekonomik zararda **%50'ye varan** azalma Maruz

kalan insan sayısında azalma yok



Sele karşı güvenli alanlara taşınma

Yatırım yapılan her€ için **1,2€** tasarruf

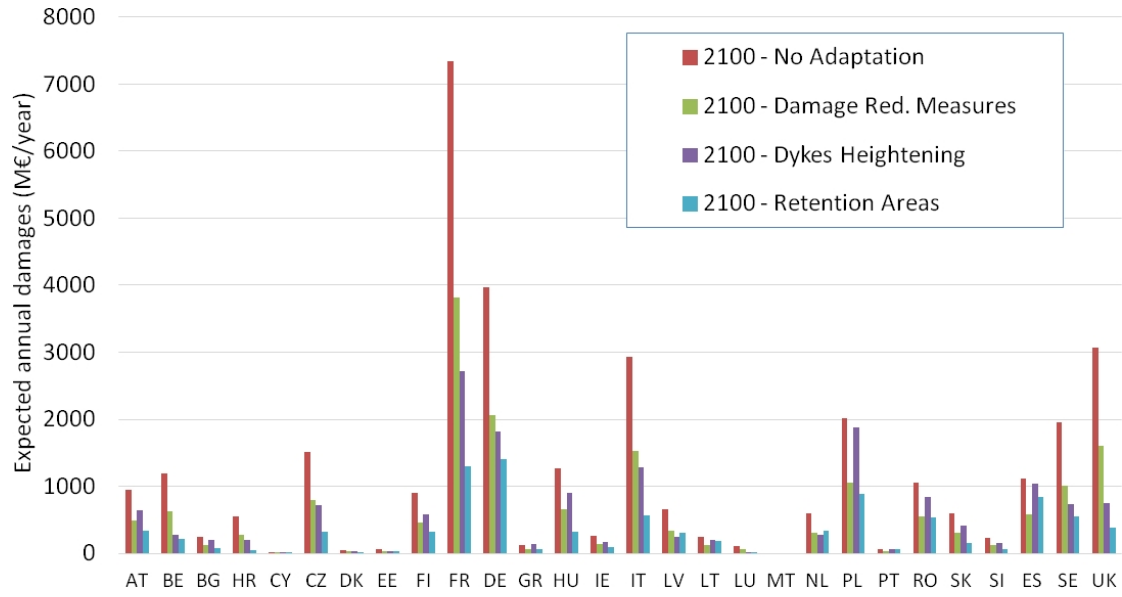
Ekonomik zararda **%17** azalma

Maruz kalan nüfusta **%16** azalma

Şekil 17. PESETA IV. PESETA IV'te ele alınan dört adaptasyon stratejisinin analizinin ana sonuçlarının özeti. Sonuçların ortalaması AB düzeyinde alınmış ve 1.5°C, 2°C ve 3°C ısınma senaryoları altında gelecekteki sosyoekonomik koşullar (2100 ekonomisi) dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Bu analiz, uyum tedbirlerinin etkili ve güvenilir bir şekilde tasarlanması ve uygulanması için gerekli olan yerel ve bölgesel ölçekteki detaylı analizlerin yerini almak üzere tasarlanmamıştır. Öte yandan, birçok büyük Avrupa nehri ulus ötesidir, bu nedenle analizimiz, gelecek senaryoları altında nehir taşkın adaptasyon önlemlerinin maliyetlerini ve etkinliğini değerlendirmek ve karşılaştırmak için tutarlı, pan-Avrupa bir çerçeve sağlayabilir.

Analizlerimizi tek bir önlem türünün uygulanmasına dayalı uyum senaryolarına odakladık. Ancak, sinerji içinde çalışan ve nehir havzaları düzeyinde optimize edilen farklı önlemlerin bir kombinasyonu, her bir önlemin faydalarını yerel olarak en üst düzeye çıkarmak ve dezavantajlarını en aza indirmek için en iyi stratejidir. Ayrıca, fayda-maliyet analizi, daha karmaşık çok kriterli analizler gerektiren sosyal, çevresel ve kültürel hususları içermemektedir.



Şekil 18. Uyum sağlanmadığı varsayımıyla ve üç farklı uyum stratejisinin 2100 yılında beklenen yıllık hasarın karşılaştırılması. Sonuçlar 2°C'lik bir ısınma senaryosu varsayılarak hesaplanmıştır.

Yaklaşım

Nehir akışlarını simüle etmek (LISFLOOD hidrolojik model), taşkın süreçlerinin oluşumunu ve yoğunluğunu analiz etmek ve Avrupa genelinde ekonomi ve insanlar üzerindeki etkileri tahmin etmek için kapsamlı bir modelleme çerçevesi uygulanmıştır. Küresel ortalama sıcaklığın sanayi öncesi sıcaklığın 1,5°C, 2°C ve 3°C üzerine çıkmasına karşılık gelen gelecekteki iklim senaryoları, ECFIN Yaşlanma Raporuna göre sosyoekonomik projeksiyonlarla birlikte ele alınmaktadır.

Dört olası uyum önlemine odaklandık: mevcut bent sistemlerinin güçlendirilmesi, binalar için sel hasarını azaltma önlemlerinin uygulanması, sel sularını depolamak için tutma alanlarının inşa edilmesi ve insanların ve binaların sele eğilimli alanlardan sele karşı güvenli alanlara taşınması. Her bir uyum stratejisinin değerlendirilmesi, uygulamanın toplam maliyetini ve önlemin ömrü boyunca (2100'e kadar) kaçınılan ekonomik zararı optimize eden bir maliyet-fayda analizi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Maliyetler, önlemleri uygulamak için sermaye yatırım maliyetleri ve bakım maliyetlerinin olarak hesaplanmıştır. Faydalar, önlemin uygulanmasıyla önlenen hasardır ve sırasıyla adaptasyonlu ve adaptasyonsuz gelecekteki arasındaki fark olarak hesaplanmıştır.

Taşkın kayıpları, maliyetleri ve faydaları genel olarak iskonto edilmeden sunulmuştur, ancak adaptasyonun fayda-maliyet analizinde gelecekteki maliyetler ve faydalar iskonto edilmiştir. Toplam faydaların toplam maliyetlere oranı olan oranı da iskonto edilmiş değerlere dayanmaktadır ve her bir NUTS2 bölgesi için ve ülke ve AB+İngiltere düzeyinde hesaplanmıştır. Daha fazla ayrıntı için Dottori ve diğerleri (2020).

9 Kıyı taşkın etkileri ve adaptasyon

AB nüfusunun yaklaşık üçte biri kıyıda 50 km içeride yaşamaktadır. Avrupa'daki aşırı deniz seviyeleri bu yüzyılın sonuna kadar bir metre veya daha fazla yükselebilir. Azaltma ve uyum tedbirleri alınmadığı takdirde, AB ve Birleşik Krallık'ta kıyı kaynaklanan yıllık zarar, günümüzde 1,4 milyar € iken 2100 yılına kadar yaklaşık 240 milyar €'ya çıkabilir. Bu etkilerin yaklaşık %95'i ılımlı azaltım ve kıyı şeridi boyunca insan yerleşimlerinin ve ekonomik açıdan önemli alanların bulunduğu yerlerde bentlerin yükseltilmesi yoluyla önlenabilir. Kıyı taşkınlarının etkilerini ölçüde ve hangi maliyetle azaltılabileceği, benimsenen yatırım stratejisine duyarlıdır.

Kıyı taşkınlarının güncel etkileri

AB ve Birleşik Krallık'ta kıyı taşkınlarından kaynaklanan zarar şu anda yıllık 1.4 milyar Avro tutarındadır ve bu da mevcut GSYH'nin yaklaşık %0.01'ine denk gelmektedir. Bu zararın neredeyse yarısı iki ülke tarafından paylaşılmaktadır: Birleşik Krallık (yıllık 0,4 milyar €) ve Fransa (yıllık 0,2 milyar €). Her yıl yaklaşık 100.000 kişi kıyı taşkınlarına maruz kalmaktadır (Şekil 19).

Adaptasyon olmaksızın kıyı taşkınlarının etkileri

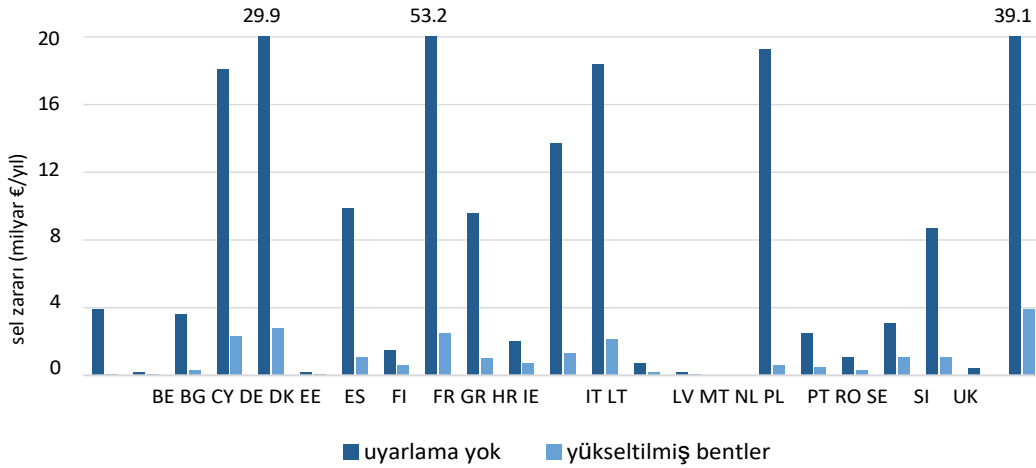
Mevcut kıyı koruma seviyeleri yükseltilmediği takdirde, kıyı şeridine sahip tüm AB ülkeleri ve Birleşik Krallık için kıyı taşkınlarından kaynaklanan zararın küresel ısınmayla birlikte keskin bir şekilde artacağı öngörülmektedir. ECFIN Yaşlanma Raporuna göre sosyoekonomik gelişme varsayıldığında, yüksek emisyon senaryosu ve ılımlı azaltım senaryosu altında yıllık zarar 2100 yılına kadar sırasıyla 239 milyar € (2100 için öngörülen AB+İngiltere GSYH'sinin %0,52'si) ve 111 milyar €'ya (GSYH'nin %0,24'ü) çıkmaktadır (Şekil 19). En büyük mutlak hasar seviyeleri Almanya, Danimarka, Fransa, İtalya, Hollanda ve Birleşik Krallık için öngörülmektedir. Bazı ülkeler için zarar, gelecekteki ulusal GSYH'nin önemli bir oranını temsil etmektedir; örneğin 2100 yılı itibarıyla %4,9 (Kıbrıs), %3,2 (Yunanistan) ve %2,5 (Danimarka) (yüksek emisyonlar). Kıyı taşkınlarından kaynaklanan zarar ve bunlara maruz kalma, yüksek emisyonlara kıyasla azaltımla yaklaşık %50 daha düşük olsa da, yine de şu andakinden önemli ölçüde daha fazladır. Bu da AB kıyı şeridinde gelecekteki iklim değişikliğinin etkilerini azaltmak için uygun adaptasyon önlemlerine ihtiyaç duyulduğu anlamına gelmektedir.

	Bugün	Yüksek emisyonlar		Orta düzeyde azaltım	
		Uyarlama yok	Uyum sağla	Uyum yok	Uyum sağla
Hasar (milyar €/yıl)	1.4	239	23	111	12
Maruz kalan kişiler (milyon/yıl)	0.1	2.2	0.8	1.4	0.6

Şekil 19. AB ve Birleşik Krallık için sırasıyla adaptasyonlu ve adaptasyonsuz olmak üzere iki emisyon senaryosu altında günümüzde ve 2100 yılında kıyı taşkınlarına maruz kalan yıllık hasar ve nüfus. Adaptasyon için bentler, ekonomik faydalarını en üst düzeye çıkaracak bir koruma seviyesine yükseltilmiştir.

Kıyı taşkınlarına karşı adaptasyon seçenekleri

Kıyı bölgelerinde gelecekteki sel riskini azaltmak için bir dizi adaptasyon önlemi bulunmaktadır. Bunlar arasında doğal (kumullar) ve yapay (bentler) yapılar, sahil beslemesi, tahmin ve uyarı sistemleri, altyapıların sele karşı dayanıklı hale getirilmesi ve nihayetinde yüksek riskli bölgelerden geri çekilme yer almaktadır. İstiridye yatakları, sulak alanlar ve tuz bataklıkları gibi doğaya dayalı çözümler, CO₂ depolamasının artırılması, biyolojik çeşitliliğin restorasyonu ve rekreasyon fırsatları sunma gibi sel korumasına ek olarak birçok fayda sağlar. Ayrıca, sedimanların tutulması yoluyla zaman içinde büyüyebilir ve böylece yükselen deniz seviyelerini telafi edebilirler. Ancak, deniz seviyesinde öngörülen aşırı yükselmeler Avrupa'nın kıyı şeridi boyunca o kadar belirgindir ki, insan yaşamının risk altında olabileceği ve yüksek yoğunluklu, yüksek değerli yerleşimlerin bulunduğu yerlerde sert savunma unsurlarının (bentler) kullanılması muhtemelen kaçınılmaz olacaktır.



Şekil 20. Adaptasyon olmadan ve adaptasyonla birlikte ulusal yıllık hasar (2100'e kadar yüksek emisyonlar).

Adaptasyon ile etkilerin azaltılması

AB ve Birleşik Krallık kıyı şeridi boyunca bentler, her bir bölüm için maliyetlerine göre ekonomik faydalarını (önlenen taşkın) en üst düzeye çıkaracak bir koruma seviyesine yükseltirirse, yıllık taşkın hasarı hiçbir uyarılma yapılmamasına göre önemli ölçüde azaltılabilir (Şekil 19 ve Şekil 20). Yüksek emisyon ve ılımlı azaltım senaryoları altında 2100 yılında hasar sırasıyla %90 (216 milyar €/yıl) ve %89 (97 milyar €/yıl) oranında azalmaktadır. Benzer şekilde, sırasıyla %63 (1,3 milyon/yıl) ve %59 (0,8 milyon/yıl) daha az insan kıyı taşkınlarına maruz kalacaktır. 2020-2100 döneminde AB ve Birleşik Krallık ortalama yıllık uyum maliyeti, yüksek emisyon senaryosunda 1,9 milyar €/yıl, azaltım senaryosunda ise 1,3 milyar €/yıldır. Birleşik Krallık, Almanya ve Fransa, daha yüksek inşaat maliyetleri ve ek korumanın gerekli olduğu kıyı şeridi miktarları en yüksek adaptasyon maliyetlerine sahiptir. İlave kıyı korumasının ortalama yıllık maliyeti, yüzyılın sonuna kadar yıllık sel kayıplarında tahmin edilen azalmadan yaklaşık iki derece daha düşüktür. Bu da kıyı şimdi yatırım yapmanın uzun vadede çok büyük (ve giderek artan) faydalar anlamına gelmektedir.

Bentleri yükseltmenin maliyet ve faydaları Avrupa'daki kıyı kesimleri arasında büyük farklılıklar göstermektedir. İnsan yerleşimlerinin varlığı, tipik olarak nüfus yoğunluğu km başına 500 kişiyi aştığında, bentlere yatırım yapmayı ekonomik açıdan faydalı hale getirmektedir⁽²⁾. Kentleşmiş ve ekonomik önemli bölgelerde bentlerin yükseltilmesinin faydaları maliyetlerin birkaç katı olma eğilimindedir; bu durum orta derecede azaltma ve yüksek emisyonlar altında Avrupa kıyı şeridinin sırasıyla %19 ve %23'ü için geçerlidir. Bununla birlikte, Avrupa geri kalanı için, kıyı su baskınlarına karşı ek koruma ne gerekli ne de ekonomik olarak faydalıdır. Bunun nedeni ya doğal bariyerlerin dik morfolojiye sahip bölgelerde deniz seviyesinde öngörülen aşırı yükselmeye karşı yeterli koruma sağlayacağı ya da seyrek nüfuslu bölgelerde ve karmaşık, dolambaçlı kıyı şeritlerinde meydana gelebilecek set yükseltme maliyetlerinin faydalarından daha ağır basması olabilir.

AB'de daha fazla ihtiyaç duyulan kıyı savunma yüksekliğindeki ortalama artış, yüksek emisyon ve ılımlı azaltım senaryosu altında sırasıyla 100 ve 84 cm'dir. Belçika'da bu iki metreden bile fazladır ve ayrıca Slovenya, Letonya, Polonya, Almanya, Hollanda ve Birleşik Krallık'ta bir metrenin çok üzerinde ek koruma. Bu durum, AB'nin birçok yoğun nüfuslu ve ekonomik açıdan önemli kıyı şeridi boyunca kıyı şeridinin iç bölgelerden kopuk hale gelebileceği anlamına gelmektedir.

Bentlerin yükseltilmesinin maliyet ve faydalarını kontrol eden faktörler

Maliyet ve fayda analizinin sonuçları bazı uygulama seçeneklerine duyarlıdır. Kıyı şeridi uzunluğu, bent yükseltmelerinin maliyetleri üzerinde kritik bir kontrol uygulamaktadır; bu maliyetler, kıyı şeridinin oldukça fraktal olduğu bölgelerde, savunmaların daha iç kesimlere yerleştirilmesiyle önemli ölçüde azaltılabilir. Sonuçlar, mevcut sermaye maliyetlerine daha fazla ağırlık veren ve çoğunlukla yüzyılın ilerleyen dönemlerinde elde edilecek faydaları düşüren iskontoya da çok duyarlıdır. Avrupa Komisyonu'nun Yatırım Projelerinin Fayda-Maliyet Analizi Kılavuzu'na uygun olarak, zaman içinde sabit olduğu varsayılan iskonto oranları kullandık. Daha düşük veya zamanla azalan sosyal iskonto oranlarının kullanılması durumu güçlendirir.

Gelecek nesilleri korumak için şimdi harekete geçmeliyiz. Benzer şekilde, bent yükseklikleri burada gelecekteki aşırı deniz seviyelerinin en olası projeksiyonu dikkate alınarak optimize edilmiştir. Karar vericiler daha muhafazakar bir kriter seçebilir ve gelecekteki daha az olası aşırı deniz seviyesi senaryolarına karşı koruma sağlamayı hedefleyebilirler. Bu daha yüksek yatırımlar gerektirecek ancak gelecek nesiller için daha az risk anlamına gelecektir.

İklim değişikliğinin kıyı bölgeleri üzerindeki etkileri, artan kıyı taşkını riskiyle sınırlı değildir. Kıyı şeritleri aynı zamanda artan erozyon potansiyeline, alçak kıyı ekosistemlerinin kaybına ve karaya doğru tuzlu su girişine maruz kalacaktır; bunların bir kısmı bentlerin yükseltilmesiyle azaltılabilir. Liman ve denizcilik altyapısındaki doğrudan hasar da tam olarak ele alınmamıştır. Buna ek olarak, mevcut değerlendirme 21^{inci} yüzyıla sınırlıdır, ancak deniz seviyelerinin ve buna bağlı olarak taşkın riskinin, hızlandırılmış oranlarda bile 2100'ün çok ötesinde yükselmeye devam etmesi beklenmektedir. Bu etkilerin dahil edilmesi, ilave korumayı ekonomik açıdan daha da faydalı hale getirecektir.

Yaklaşım

Bu yüzyılın sonuna kadar aşırı deniz seviyelerini tahmin etmek için sırasıyla yüksek emisyon senaryosu (RCP8.5) ve ılımlı azaltma senaryosu (RCP4.5) altında deniz seviyesi yükselmesi, dalgalar, fırtına dalgalanmaları ve gelgit projeksiyonları kullanılmıştır. Bunlar, derinlik-hasar fonksiyonları kullanılarak nüfusun maruz kaldığı ve hasarın tahmin edildiği sel baskını haritalarını oluşturmak için kullanılmıştır. Nüfus ve ekonomik faaliyetlerde gelecekte meydana gelecek değişiklikler ECFIN Yaşlanma Raporundan alınmıştır.

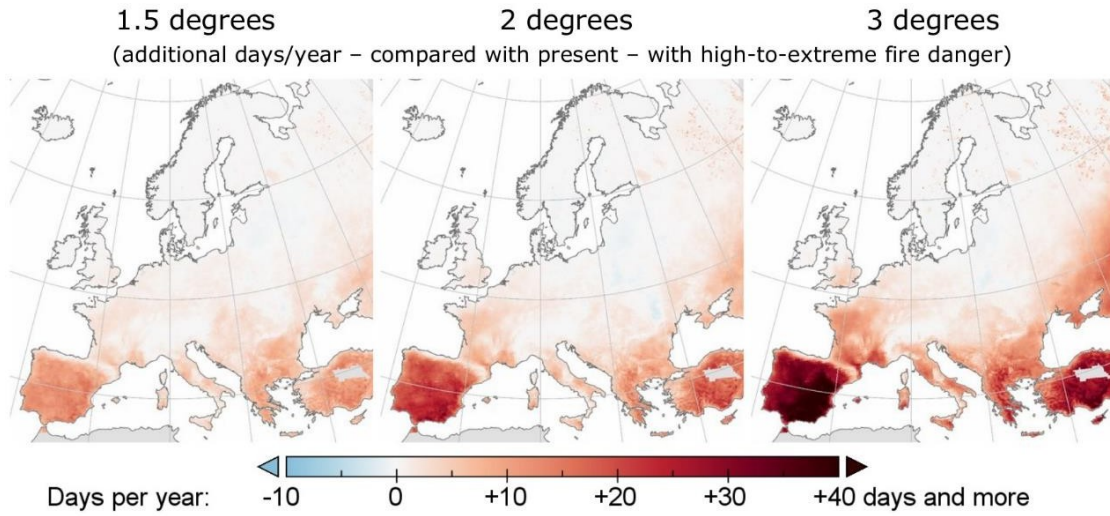
Uyum düzeyi (yani bentlerin cm cinsinden yükseltilmesi), %5 (Uyum Fonu ülkeleri) ve %3 (diğer Üye Devletler) iskonto oranları varsayılarak, yatırımla ilişkili maliyet ve faydaların proje ömrü boyunca (2100'e kadar) toplamını en üst düzeye çıkaran yükseltilmiş yüksekliğin belirlenmesi yoluyla kıyı şeridinin her bir bölümü için belirlenmiştir. Maliyetler, bentleri yükseltmek için ulusal düzeydeki sermaye yatırım maliyetleri ve bakım maliyetlerinin toplamı olarak hesaplanmıştır. Faydalar, bent yüksekliğinin artırılmasıyla önlenen hasardır ve sırasıyla yükseltilmiş bentlerle ve yükseltilmemiş bentlerle gelecekteki hasar arasındaki fark olarak hesaplanmıştır. Taşkın kayıpları, maliyetler ve faydalar genel olarak iskonto edilmeden sunulmaktadır, ancak adaptasyonun fayda-maliyet analizinde gelecekteki maliyetler ve faydalar iskonto edilmektedir. Toplam faydaların toplam maliyetlere oranı olan oranı da indirgenmiş değerlere dayanmaktadır ve ulusal kıyı şeridinin her bir bölümü için NUTS2, ülke ve AB+İngiltere düzeyinde hesaplanmıştır. Daha fazla ayrıntı için Voudoukas ve diğerleri (2020).

10 Orman yangını tehlikesi ve kırılganlık

2018 yılında her zamankinden daha fazla AB ülkesi orman yangınlarından etkilendi ve İsveç raporlama tarihindeki en kötü yangın sezonunu yaşadı⁽¹⁾. 2019'un ilk yarısında AB'de kaydedilen yangın sayısı, son on yılın ortalamasının üç katıydı. Küresel ısınmaya bağlı olarak değişen hava koşulları Avrupa'nın büyük bölümünde yangın tehlikesini daha da arttırabilir. Yangın tehlikesinde öngörülen artış, yangınların zaten sık ve yoğun olduğu güney Avrupa ülkelerinde daha güçlüdür. Ormanlık alanların yakınında yaşayan ve yılda en az 10 gün yüksek ila aşırı yangın tehlikesi seviyelerine maruz insan sayısı, 3°C ısınma ile bugüne kıyasla 15 milyon (+%24) artacaktır. İklim değişikliği aynı zamanda mevcut ekolojik alanların yerlerinde büyük kaymalara neden olacak ve bitki örtüsünün yapısı ve bileşimi üzerinde strese yol açarak bitki örtüsünün yangınlara karşı savunmasızlığını arttıracaktır. Olumsuz iklim değişikliği etkilerinden kaçınmak için azaltım tek başına yeterli değildir ve orman yangınlarına karşı sosyal-ekolojik dayanıklılığı artırmak için uyum stratejilerine ihtiyaç duyulacaktır.

Avrupa'da bugün orman yangınları

Son yıllarda, büyük orman yangınları Avrupa'yı defalarca etkilemiştir. Portekiz, İspanya, İtalya, Yunanistan ve Fransa gibi Akdeniz ülkeleri şu anda yangınlara en ülkelerdir ve Avrupa'daki toplam yanan alanın yaklaşık %85'ini oluşturmaktadır. Bu ülkelerde 1999-2016 yılları arasında yangınlar yılda ortalama yarım milyon hektara yakın bir alanı yok etmiştir. Son yirmi yılın en kötü yılı olan 2017'de sadece Portekiz, İspanya ve İtalya'da yanan toplam alan 0,8 milyon hektarı aşmıştır. 2018 yılında, nesli tükenmekte olan birçok bitki ve hayvan türüne ev sahipliği yapan Natura 2000 ağının hassas ekosistemleri, toplam yanan alanın yaklaşık üçte birini oluşturan 50.000 hektarı yangınlarda kaybetti.



Şekil 21. Günümüze kıyasla (1981-2010) farklı küresel ısınma seviyeleri için yüksek-aşırı yangın tehlikesi olan yıllık ilave gün sayısı (günlük Yangın Hava İndeksi 30, bkz. Yaklaşım).

Küresel ısınmayla birlikte orman yangını tehlikesi artıyor

Küresel ısınmayla birlikte, daha yüksek sıcaklıklar ve artan kuraklık dönemlerinin bir sonucu olarak, yılda yüksek ila aşırı orman yangını tehlikesi olan gün sayısının Avrupa'nın neredeyse her yerinde artacağı tahmin edilmektedir (Şekil 21). Sadece kuzey Avrupa'nın dağınık bölgelerinde (Baltık Denizi çevresi ve güneyi) yüksek ila aşırı yangın tehlikesi olan günlerin sayısının biraz azalacağı öngörülmektedir. Yangın tehlikesi, özellikle Avrupa'nın halihazırda yüksek yangın tehlikesi koşullarıyla daha sık karşılaşan güney bölgelerinde daha da kötüleşecektir. Yangın tehlikesinde öngörülen kötüleşme 1,5°C küresel ısınma ile 2°C veya 3°C göre daha az olsa da, yangın tehlikesi yine de

¹ San-Miguel-Ayaz, J., Houston-Durrant, T., Boca, R., Libertà, G., Branco, A., de Rigo, D., Ferrari, D., 2019. Avrupa, Orta Doğu ve Kuzey Afrika'daki orman yangınları 2018. Avrupa Birliği Yayınlar Ofisi, Lüksemburg.

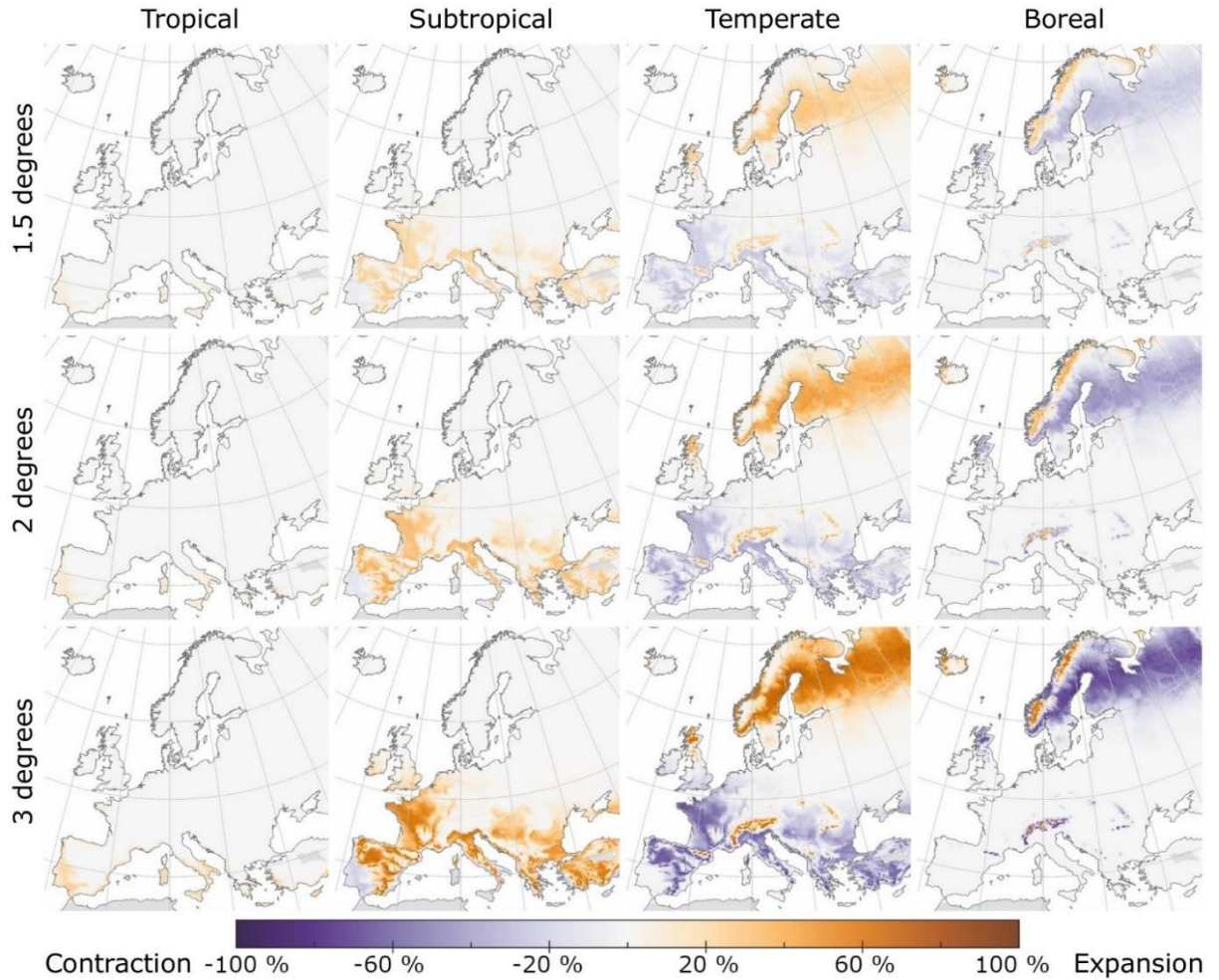
günümüze kıyasla sürekli olarak daha kötüdür. Bu durum, iklim değişikliğinin olası etkilerini azaltmak için azaltımın tek başına yeterli olmayacağını göstermektedir.

Wildland-Urban Interface'de yangın tehlikesine maruz nüfus

Ormanlık alanların yakınında yaşayan ve yılda en az 10 gün yüksek-aşırı yangın tehlikesine maruz kalan Avrupa¹ vatandaşlarının sayısının günümüzde 63 milyondan 3°C küresel ısınma ile 78 milyona çıkacağı tahmin edilmektedir, bu da 15 milyon kişilik (%24) bir artış anlamına gelmektedir. Küresel ısınma 1,5°C ile sınırlandırıldığında, şu anki duruma kıyasla ilave 5 milyon kişi ya da azaltım yapılmadığı duruma kıyasla yaklaşık 10 milyon kişi daha az yangına maruz kalacaktır.

İklim değişikliği ekosistemler üzerinde baskı oluşturacak ve yangınlara karşı kırılganlıklarını artıracaktır

Küresel ısınma Avrupa ekolojik alanlarının kuzeye doğru önemli ölçüde kaymasına neden olabilir (Şekil 22). Bu durum, ılıman alan kuzeye doğru göç ederken, Boreal alanın önemli ölçüde daralmasıyla sonuçlanmaktadır. Subtropikal alanın Akdeniz bölgesi çevresinde genişleyeceği ve Akdeniz bölgesinin güney kesimlerinde daralacağı öngörülmektedir; burada şu anda Avrupa'da bulunmayan Tropikal alanın önemli bir ekolojik bileşen haline gelmesi beklenmektedir. Ekolojik alan bileşenlerindeki değişimin derecesi ısınma seviyesiyle birlikte artmaktadır ve iklim azaltımı ile önemli ölçüde durdurulabilir.



Şekil 22. Günümüze göre (1981-2010) küresel ısınma ile ekolojik alan bileşenlerinde öngörülen değişiklikler.

¹ AB, Birleşik Krallık ve EFTA ülkeleri, aday ülkeler ve potansiyel aday ülkeler için mevcut verilere dayanan istatistikler.

Öngörülen değişiklikler (hem genişlemeler hem de daralmalar), ormanlık alan bitki örtüsünün (ormanlar, çalılıklar ve otlaklar) yapısı ve bileşimi ile bunlara karşılık gelen yakıt özellikleri üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olacaktır. Bu durum bitki örtüsü üzerinde baskı oluşturarak yangınlara karşı kırılganlıklarını artırabilir ve zamanda yangından sonra bitki örtüsünün toparlanmasını da etkileyebilir. Eko-alan değişiminin yoğunluğunun yangın öncesi ekosistemlerin yeniden kurulmasını engelleyeceği durumlarda iyileşme imkansız hale gelebilir.

Adaptasyon ihtiyacı

Avrupa'nın birçok bölgesinde yangına elverişli iklim koşullarında, düşük küresel ısınma seviyelerinde bile öngörülen artış, orman yangınlarının insanlar ve ekosistemler üzerindeki potansiyel etkilerini azaltmak için çeşitli adaptasyon mekanizmalarına ihtiyaç göstermektedir. Avrupa'daki yangınların çoğu, ihmal ve kundaklama da dahil olmak üzere insan eylemleriyle bağlantılıdır. Farkındalık kampanyaları ve orman yangını önleme programları, insan kaynaklı orman yangınlarının sayısının azaltılmasına yardımcı olabilir. Aktif orman yönetimi uygulamaları da değişen iklimin etkilerine karşı koyabilir. Örneğin, yakıt azaltma yönetimi veya öngörülen yakmayakıtların birikmesini sınırlayabilir ve ormanların hassasiyetini azaltabilir. Uygulanabilir olduğu ve ekolojik alan değişimlerinin getirdiği kısıtlamalara tabi olduğu, daha az yanıcı türlere (örneğin kozalaklı ağaçlardan yaprak dökenlere) geçiş yapmak ve karışık ormanları yeniden oluşturmak da uzun vadede uygulanabilir bir seçenek olabilir. Uygun peyzaj yönetimi yoluyla, yangının yayılmasını önlemek ve yanan alanı azaltmak için doğal yangın kırıcılar (örneğin tarım arazileri) oluşturulabilir. Son olarak, yakın çevredeki ve daha uzak mesafelerdeki yangınlardan kaynaklanan duman bulutlarının sağlığa zararları konusunda farkındalığın artırılması, özellikle önceden sağlık sorunları olan vatandaşlar ve orman yangını acil durum müdahalesinde çalışanlar için insan etkilerini azaltabilir.

Yaklaşım

PESETA IV, yüksek emisyon (RCP8.5) senaryosu ve orta düzeyde azaltım (RCP4.5) senaryosu için yanlılığı düzeltilmiş iklim projeksiyonları topluluğunu kullanarak mevcut iklim için ve sanayi öncesi seviyelerin 1.5°C, 2°C ve 3°C üzerinde küresel ısınma için orman yangını tehlikesi ve bitki örtüsü yakıt hassasiyeti bileşenlerini tahmin etmiştir.

Kanada Yangın Hava İndeksi (FWI), sıcaklık, rüzgar hızı, bağıl nem ve yağış simülasyonlarını kullanarak hava kaynaklı yangın tehlikesini sayısal olarak tahmin etmek için kullanılmıştır. FWI, yakıt nemi ve rüzgarın yangın davranışı üzerindeki etkilerini entegre ederek yangın yoğunluğunu derecelendirir. Önceki günlerdeki hava koşulları dikkate alınarak yüksek mekânsal çözünürlükte ve günlük zaman adımında hesaplanmıştır. Günlük yangın tehlikesi tahminleri, düşük tehlikeye sahip günlerden aşırı tehlikeye sahip günlere kadar yangın tehlikesi sınıflarında gruplandırılmıştır. FWI'nin 20'nin üzerindeki değerleri yüksek yangın tehlikesi ile ilişkilendirilirken, 50'yi aşan değerler tipik olarak aşırı tehlike koşullarını karakterize etmektedir. Her sınıfın oluşma olasılığı, FWI'nin ilgili sınıf aralığına düştüğü yıllık gün sayısı olarak hesaplanmıştır. Yaban arazisi ve yerleşim yerleri arasındaki hassas arayüzde (Wildland-Urban Interface) yaşayan insan sayısı, arazi kullanım bilgileri ve nüfus yoğunluğu haritaları birleştirilerek yüksek çözünürlükte değerlendirilmiştir.

Küresel ısınma nedeniyle ekolojik alanların potansiyel kaymaları, gelecekteki bitki örtüsünün yangına karşı savunmasızlığının bir . Tropikal, subtropikal, ılıman ve Boreal ekolojik alanların (BM Gıda ve Tarım Örgütü'nün küresel tanımını takiben) mekânsal dağılımındaki değişiklikler ve yerel ekolojik modeller, sıcaklık projeksiyonlarına dayalı olarak değerlendirilmiştir. Daha fazla ayrıntı Costa ve diğerlerinde (2020).

11 Alp tundrası habitat kaybı

Alpin tundra alanı, Avrupa'daki yüksek dağlarda rakımda meydana gelir. Önemli bir tatlı su rezervuarıdır ve benzersiz türlere yaşam alanı sağlar. Alanın altında kalan ağaç sınırı, orman sınırını temsil eder. Avrupa'nın alpin tundra alanının yaklaşık %98'i Pireneler, Alpler ve İskandinavya'dadır. 3°C'lik bir ısınma senaryosunda, doğal iklimsel ağaç çizgisinin dikey olarak yılda 8 metreye kadar yukarı doğru hareket edeceği ve Avrupa genelinde alanın mevcut boyutunun %84'ü kadar küçülebileceği öngörülmektedir. Pireneler'de yüksek ısınma, alpin tundranın neredeyse tamamen kaybolmasına yol açabilir. Isınmanın 1,5°C ile sınırlandırılması alpin tundra kaybını %48'e düşürebilir. Öngörülen değişikliklerin hayati ekosistem hizmetleri, biyolojik çeşitlilik için habitat ve kayak gibi rekreasyonel üzerinde etkileri vardır. Yüksek dağ sistemlerinin benzersiz topografik, toprak ve iklimsel özellikleri nedeniyle adaptasyon zordur.

Alpin tundra alanının küçülmesi

Alp tundrası şu anda Avrupa'da yaklaşık 87.000 km² alanı kaplamaktadır; bunun yaklaşık 25.000 km²'si , 1.800 km²'si Pirenelerde ve 59.000 km²'si de İskandinavya'dadır. Bu Avusturya veya Portekiz'in büyüklüğüne yakındır. Ancak, küresel ısınma ile birlikte bu alanın önemli ölçüde küçüleceği öngörülmektedir (Şekil 23). Etki alanını oluşturan üç ana bölge için öngörülen kayıplarda büyük farklılıklar vardır: en şiddetli etki, sırasıyla yaklaşık %87 ve %75 oranında küçülecek olan İskandinavya ve Alpler ile karşılaştırıldığında, mevcut etki alanının 3°C ile neredeyse yok olacağı Pireneler için öngörülmektedir. Kaybın büyüklüğü daha düşük ısınma seviyelerinde daha azdır ancak yine de önemlidir: 1,5°C küresel ısınma ile Pireneler, İskandalar ve Alplerdeki alpin tundra alanı sırasıyla yaklaşık %74, %50 ve %36 oranında azalmaktadır (Şekil 23).

	1.5°C	2.0°C	3.0°C
Pireneler'de Alpin tundra kaybı (%)	74	91	99
Alplerde Alpin tundra kaybı (%)	36	50	75
İskandinavya'da Alp tundrası kaybı	50	61	87

Şekil 23. Alp tundrasında günümüze kıyasla öngörülen küçülme (%).

Natura 2000 alanlarındaki alpin tundra kayıpları

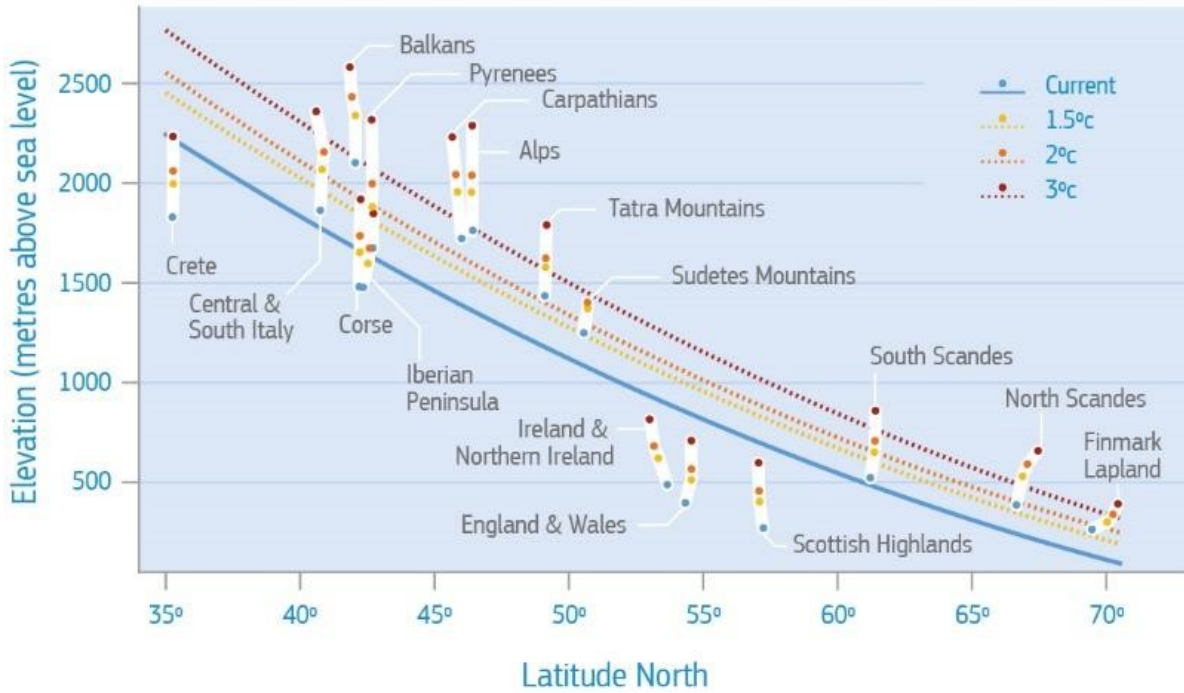
Mevcut alpin tundra alanının 16.000 km²'den fazla, AB Habitat Direktifi kapsamında oluşturulan bir doğa koruma alanları ağı olan Natura 2000 sahalarıdır ve mevcut alpin tundra alanının toplam kapsamının yaklaşık %20'sini oluşturmaktadır. Alpin tundra içeren 210 alanın neredeyse tamamında alanın daralacağı öngörülmektedir: 2°C ve 3°C ısınma senaryolarında sırasıyla 207 ve 208. Küçülmenin büyüklüğü 1.5°C ısınma senaryosunda zaten önemlidir: Natura 2000 alanları içindeki mevcut alan %36 (Alpler) ile %73 (Pireneler; Şekil 24) arasında küçülmektedir. Isınma ile birlikte daralma giderek artmakta ve 3°C ısınma senaryosunda Natura 2000 alanları içindeki mevcut alan, Avrupa'nın alpin tundralarının çoğunun bulunduğu dağlık bölgelerin üçünde de %74'ün üzerinde küçülmektedir. Kesintisiz iklim değişikliği ile Pireneler'deki alpin tundra Natura 2000 alanlarının neredeyse tamamı kaybedilebilir.

	1.5°C	2.0°C	3.0°C
Pireneler'de Alpin tundra kaybı (%)	73	91	99
Alplerde Alpin tundra kaybı (%)	36	50	74
İskandinavya'da Alp tundrası kaybı	52	65	86

Şekil 24. Natura 2000 sahalarındaki alpin tundralarda günümüze kıyasla öngörülen küçülme (%).

Ağaç çizgisinde dikey kaymalar

Doğal iklimsel ağaç çizgisinin, küresel ısınmayla birlikte Avrupa'nın dağlık bölgelerinde dikey olarak yukarı doğru kademeli olarak ilerleyeceği öngörülmektedir (Şekil 25). Ağaç çizgisi kayma oranı genellikle iklimsel ağaç çizgilerinin zaten daha yüksek olduğu düşük enlemlerde artmaktadır. En güneydeki dağlık bölgelerde ağaç çizgisi, 1,5°C ısınma senaryosunda her yıl yaklaşık 6-7 m yukarı doğru hareket ederken, yüksek enlemlerde bu oran 2-3 m/yıldır. 3°C'lik bir ısınma senaryosunda, Pireneler'deki ağaç sınırı şu anki 1.675 m'ye kıyasla 2.317 m'ye ulaşabilir (+642 m). Alpler'de ağaç sınırı şu anda 1.762 m iken 3°C ısınma ile 2.288 m'ye (+526), İskandinavya'da ise 523 m'den 859 m'ye (+336 m) çıkabilir.



Şekil 25. Avrupa'daki 16 dağ bölgesi için Avrupa'daki 16 dağ bölgesi için mevcut durumda ve 1,5°C, 2°C ve 3°C ısınma senaryolarında iklimsel ağaç çizgisi yüksekliği. Beyaz çizgiler her bölge için etkileri gruplandırmaktadır. Düz ve noktalı çizgiler her bir senaryo için en iyi regresyon uyumunu göstermektedir.

Çıkarımlar ve adaptasyon ihtiyacı

Kar, yaz aylarında serbest kalan suyu ağaç çizgisinin üzerinde tutar. Alpin tundra alanının daralması, yaz aylarında mansaptaki mevcut su kaynaklarını değiştirebilir. Alp buzullarının küçülmesiyle de ilişkili olan bu durum, nehirlerdeki tortu miktarının artmasına bağlı olarak enkaz akıntılarına ve su kalitesinde düşüşlere neden olabilir. Soğuk dağ habitatları azalacak ve bazı alpin bitki türlerinin yerel olarak yok olmasına yol açacaktır. Sıcığa adapte olmuş türler, soğuğa adapte olmuş türlerin azalması pahasına artacaktır. Alp tundra alanının daralması kış sporlarını muhtemelen kısıtlayacaktır.

Ekosistem temelli adaptasyon seçenekleri arasında ekolojik restorasyon, biyolojik çeşitliliğin artırılması, tehdit altındaki türlerin destekli göçü, ekolojik koridorlar, ex-situ koruma ve tohum bankaları yer almaktadır. Bu seçeneklerin birçoğu, alpin tundra bölgelerinin kendine özgü topografik, toprak ve iklim özelliklerinden kaynaklanan kısıtlamalarla karşı karşıyadır. Türlerin göçü, dikey olarak göç etmek için yeterli rakımın olmaması veya bitki büyümesi için sınırlayıcı toprak koşulları nedeniyle kısıtlanabilir. Bu nedenle uyum tedbirlerinin uygulanabilirliği yerel düzeyde değerlendirilmelidir. Doğanın korunması için adaptasyon ile kış turizmi için adaptasyon arasındaki potansiyel dengeler de göz önünde bulundurulmalıdır.

Yaklaşım

PESETA IV, iklim değişikliğinin Pireneler, Alpler ve Skandes'in yüksek dağ sıralarındaki alpin tundra bölgesinin mekânsal aralığı üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Yüksek emisyon senaryosu (RCP8.5) ve ılımlı azaltım senaryosu (RCP4.5) altındaki iklim projeksiyonları, alpin tundra alanını temel (1981-2010) iklim ve sanayi öncesi seviyelerin 1.5°C, 2°C ve 3°C üzerinde küresel ısınma için tanımlamak için kullanılmıştır. Alp tundrası, en sıcak ayın ortalama sıcaklığının 10°C'den az olduğu kutup iklimlerine eşdeğer bir iklim sınıflandırması kullanılarak haritalanmıştır. Sıcaklık projeksiyonları yanlılık için düzeltilmiş ve rakım etkileri hesaba katılarak yüksek mekânsal çözünürlüğe indirgenmiştir. Alpin tundra alanında öngörülen değişiklikler daha sonra üç potansiyel kategoride sınıflandırılmıştır: durağan, daralma ve genişleme. Alp tundrasındaki değişikliklerden etkilenmesi öngörülen Natura 2000 alanları, Natura 2000 haritasıyla sabit kalması, daralması veya genişlemesi öngörülen alanların üst üste gelmesiyle belirlenmiştir.

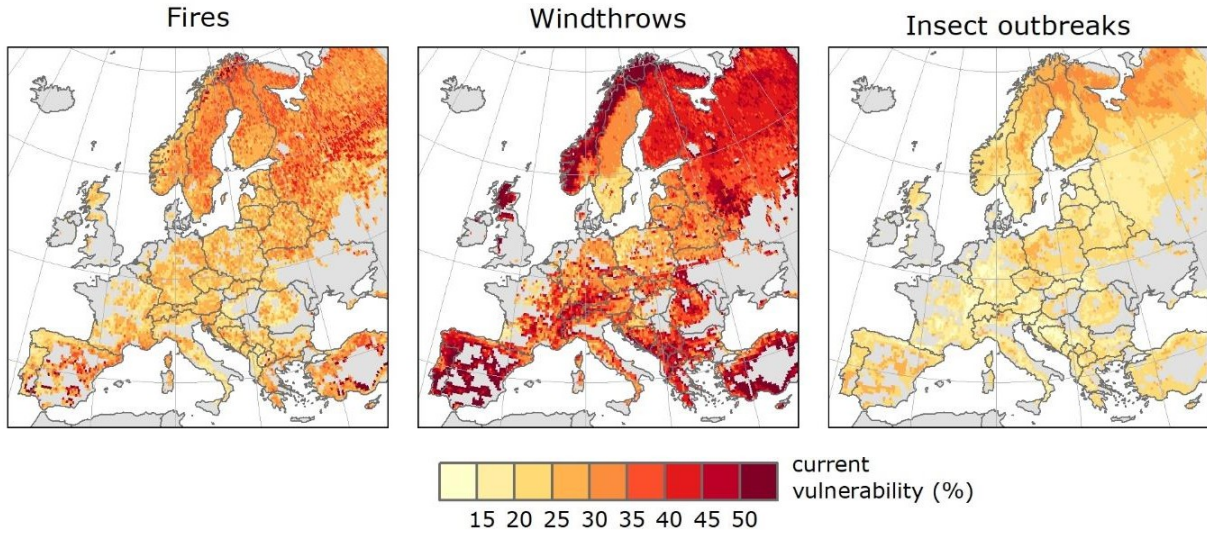
Küresel ısınmayla birlikte ağaç çizgisi kaymaları, Avrupa'nın daha belirgin ağaç çizgisi ekotonları da dahil üzere, Akdeniz adalarından Boreal'e ve İber Yarımadası'ndan Karpatlar'a kadar Avrupa'daki 16 dağ bölgesinde değerlendirilmiştir. Ağaç çizgisi konumu, 7,6°C'lik bir büyüme mevsimi gölgelik sıcaklığı eşliğine göre haritalanmıştır. Alpin tundra alanındaki düşüşlerin ve ağaç çizgisindeki dikey kaymaların etkileri ve potansiyel adaptasyon seçenekleri, mevcut literatür gözden geçirilerek değerlendirilmiştir - PESETA IV tarafından özel olarak modellenmemiştir. Daha fazla ayrıntı için Barredo ve diğerleri (2020).

12 Orman ekosistemlerinin kırılganlığı

Ormanlar Avrupa'daki kara yüzeyinin yaklaşık üçte birini kaplamaktadır. İnsan refahına ve iklim değişikliğinin azaltılmasına katkıda bulunan önemli ekosistem hizmetleri sağlarlar. Ormanlar hassas sistemlerdir çünkü ağaçların uzun ömürlü olması, şiddetli çevresel değişikliklere hızlı adaptasyonu sınırlamaktadır. Son yıllarda, AB'deki yaklaşık 14 milyar ton yer üstü orman biyokütlesinin veya toplam meşcere biyokütlesinin üçte ikisinin doğal bozulmalara karşı potansiyel olarak savunmasız olduğu tespit edilmiştir. Rüzgâr devrilmelerine, yangınlara ve böcek salgınlarına karşı hassas ormanların bulunduğu sıcak nokta bölgeleri hem güney hem de kuzey Avrupa'da yer almaktadır. Bu mekânsal örüntü, orman özelliklerinin arka plan iklimi ile etkileşimi tarafından güçlü bir şekilde kontrol edilmektedir. Son yirmi yılda artan sıcaklık ve yağış miktarındaki değişikliklerin birleşimi, özellikle yüksek enlem bölgelerinde bitkilerin savunma mekanizmalarını azaltmış ve böcek salgınlarına karşı kırılganlıklarını artırmıştır. Küresel ısınma gelecekte, özellikle de iklimden daha ciddi şekilde etkilenen yangınlar ve böcek salgınlarından kaynaklanan doğal rahatsızlıkları muhtemelen artıracaktır.

Avrupa genelinde orman hassasiyeti

Şu anda Avrupa'da yaklaşık 26 milyar ton orman biyokütlesi doğal bozulmalara karşı potansiyel olarak savunmasız durumdadır. Bu miktarın neredeyse yarısı (%46) rüzgâr devrilmesi tehdidi altındadır, bunu orman yangınları (%29) ve böcek salgınları (%25) takip etmektedir. Ormanların farklı doğal bozulmalara karşı hassasiyeti konusunda Avrupa genelinde önemli mekansal farklılıklar bulunmaktadır (Şekil 26). Kuzey Avrupa'da, özellikle Norveç'te, Britanya Adaları'nda ve Güney Avrupa'da rüzgâr fırtınalarına karşı hassasiyet daha yüksektir. Bu bölgelerde, rüzgâr devrilmelerinden etkilenen alanlarda meşcere biyokütlesinin %60'ına kadar kısmı potansiyel olarak savunmasızdır. Yangınlara ve böcek salgınlarına karşı artan kırılganlığın belirgin bir güney-kuzey gradyanı ortaya çıkmakta, kuzey Avrupa'da, özellikle İskandinav Yarımadası'nda ve bu rahatsızlıklardan etkilenen alanların meşcere biyokütlesinin %30'una kadarını kaybedebileceği Avrupa Rusya'sında en yüksek değerler görülmektedir.



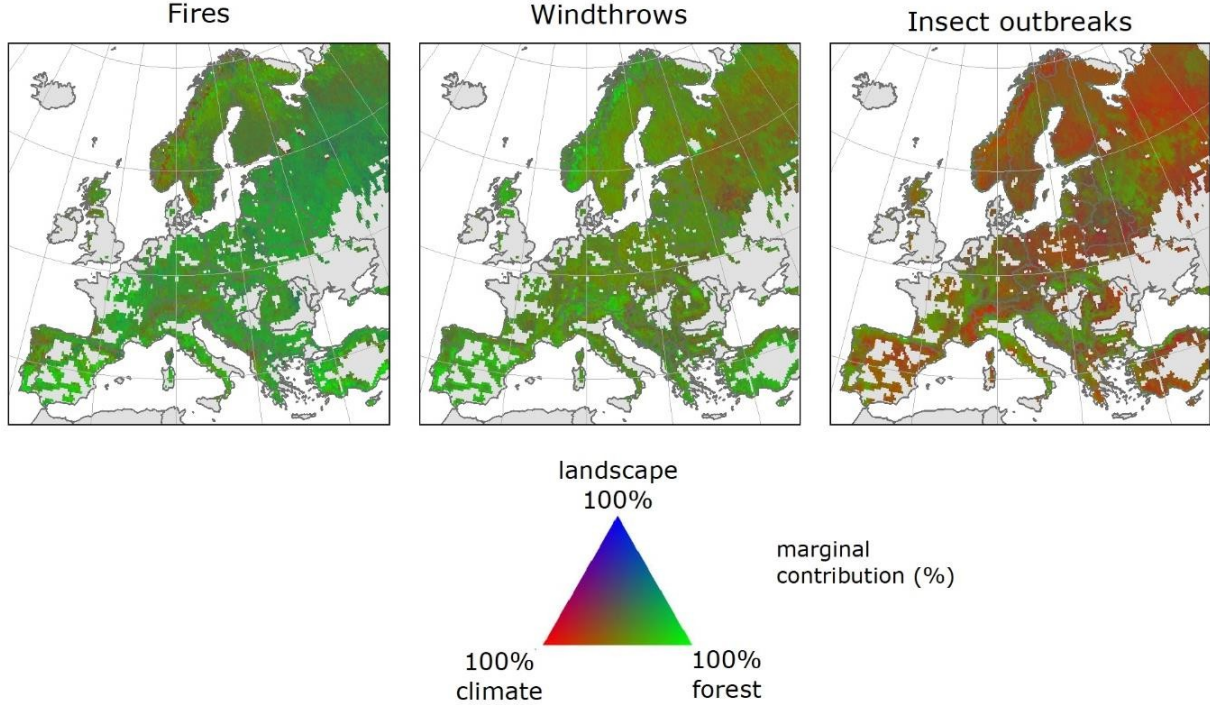
Şekil 26. Avrupa'daki ormanların büyük doğal bozulmalara karşı hassasiyeti, bir bozulma durumunda kaybedilecek biyokütlenin payı (%) olarak ifade edilmiştir. Orman örtüsü oranı %10'un altında olan alanlar (gri renkte).

Orman kırılganlığının etmenleri

Başta toprak üstü biyokütle, büyüyen stok hacmi, yaprak alanı indeksi, ağaç yaşı ve ağaç yoğunluğu olmak üzere orman özellikleri, ormanların yangınlara ve rüzgar fırtınalarına karşı hassasiyetini büyük ölçüde kontrol etmektedir. Bu bozulmalar için, orman yapısal özellikleri, Avrupa'nın çoğunda iklim ve peyzaj koşullarından daha önemli etkilere sahiptir (Şekil

27. Orman, iklim ve peyzaj özelliklerinin üç ana için orman zarar görebilirliğine katkısı, türü (Şekil 27) ancak iklim özellikleri kuzey Avrupa'nın bazı bölgelerinde yangın bozulmaları ve doğu Rusya'da rüzgâr fırtınası bozulmaları üzerinde güçlü bir kontrol uygulayabilir. Böcek salgınları için iklim koşulları

daha belirgin bir rol oynamaktadır. Özellikle, yağış ve sıcaklıktaki anormallikler kuzey Avrupa'nın büyük bölümünde, dağlık bölgelerde ve Avrupa Rusya'sında ormanların böceklerle karşı kırılganlığının temel etkenleriyken, orman özellikleri Avrupa'nın orta ve güney bölgelerindeki ormanların çoğunda kritik öneme sahiptir. Genel olarak, peyzaj özelliklerinin doğal bozulmalara karşı kırılganlık üzerinde küçük bir etkisi vardır; Avrupa Rusya'sındaki yangınlar ve Doğu Avrupa'daki böcek salgınları üzerinde biraz daha büyük etkileri vardır.



Şekil 27. Üç ana bozulma türü için orman, iklim ve peyzaj özelliklerinin orman kırılganlığına katkısı.

Orman kırılganlığındaki eğilimler

Son yirmi yılda, Avrupa'daki ormanların artan bir miktarı, özellikle yüksek enlem bölgelerinde, böcek salgınlarına karşı savunmasız hale gelmiş yılda hektar kare başına 0,12 tonu aşabilen bölgesel eğilimler göstermiştir. Bu dönemde ormanların rüzgâr fırtınalarına ve yangınlara karşı hassasiyeti konusunda net bir eğilim tespit edilememiştir. Aslında, yangın ve rüzgâr rahatsızlıklarına karşı kırılganlıktaki zamansal değişimler karışık bir mekansal model göstermektedir. Avrupa ve farklı bozulmalar bir araya getirildiğinde, son yıllarda hektar kare başına yılda yaklaşık 0,04 tonluk bir değişimle biyokütle zarar görebilirliğinde net bir artış eğilimi ortaya çıkmaktadır.

PESETA IV'ün rüzgâr analizi, küresel ısınmayla birlikte aşırı rüzgâr hızlarında net bir eğilim göstermezken, PESETA IV'ün orman yangını analizi, Avrupa'nın çoğunda, özellikle de güney bölgelerinde yangın tehlikesinde iklim kaynaklı bir artış öngörmektedir. Küresel ısınmayla birlikte özellikle güney Avrupa'da artan sıcaklıklar ve daha fazla kuraklık dönemleri, böcek salgınları ve yangınlar nedeniyle biyokütle kaybının artmasına neden olabilir. Bu nedenle, artan küresel ısınma seviyeleri ile birlikte orman bozulmalarının meydana gelme olasılığı daha yüksektir.

Yaklaşım

Avrupa ormanlarının üç büyük doğal rahatsızlığa karşı hassasiyeti değerlendirilmiştir: yangınlar, rüzgâr fırtınaları ve böcek salgınları (kabuk böcekleri, yaprak dökücüler ve emici böcekler). Hassasiyet burada orman ekosistemlerinin bir rahatsızlığa maruz kaldığında etkilenme derecesi olarak ifade edilir ve göreceli biyokütle kaybı olarak ölçülür. Bu nedenle, bu tür tahminler, rahatsızlıkların meydana gelme olasılığı (tehlike) hakkındaki bilgileri entegre etmedikleri için risk seviyeleri ile karıştırılmamalıdır. Her bir rahatsızlık türü için, bir dizi orman, iklim ve peyzaj parametresine dayalı olarak bitki fonksiyonel türlerinin biyokütle kaybını tahmin etmek için bir makine öğrenimi modeli türetilmiştir. Orman özellikleri arasında orman durumunu tanımlayan vejetasyon parametreleri ve

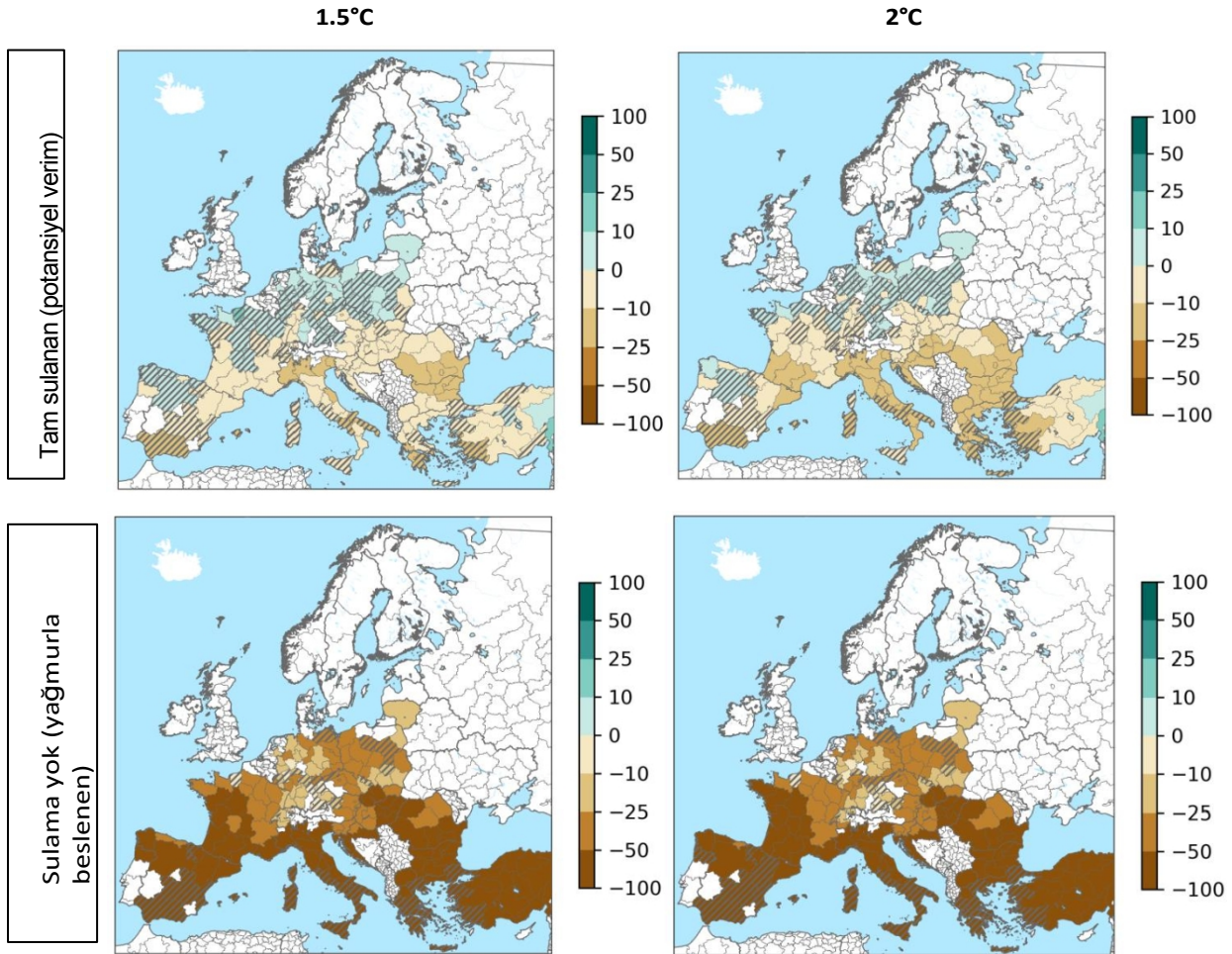
Biyokütle, büyüyen stok hacmi, yaprak alanı indeksi, ağaç yaşı, ağaç yoğunluğu ve ağaç çapı gibi üretkenlik. İklim bilgileri, uzun vadeli sıcaklık ve yağış ortalamalarını ve rahatsızlıktan önceki yıllardaki anomalileri ve rahatsızlığın olduğu yıldaki aşırı rüzgar ve kuraklığı içerir. Peyzaj özellikleri arasında nüfus yoğunluğu, mekansal bitki örtüsü değişkenliği ölçümleri ve jeomorfolojik parametreler yer almaktadır. Hassasiyet modelleri, 2000-2017 dönemi boyunca doğal bozulmalardan etkilenen orman alanlarının geniş bir kayıt seti kullanılarak kalibre edilmiş ve doğrulanmıştır. Kırılma modelleri daha sonra ormanın yıllık kırılma oranını uzayda ve zamanda tahmin etmek için kullanılmıştır. Elde edilen zaman serilerine dayanarak, kırılma oranındaki mekânsal örüntüler ve zamansal değişimler değerlendirilmiştir. Daha fazla ayrıntı için Forzieri ve diğerleri (2020).

13 Tarım üzerindeki etkiler

Son yıllarda yaşanan aşırı kuru ve sıcak hava dalgaları, Avrupa'daki ve dünyadaki önemli ürün bölgelerinde tarımsal üretimi azaltmıştır. AB'deki tarım sektörünün iklim değişikliğinden nasıl etkilenebileceğini anlamak için PESETA IV, iklim, biyofizik ve ekonomik modelleri içeren entegre bir nicel değerlendirme yapmıştır. Uyum sağlanamaması durumunda, iklim değişikliğinin güney Avrupa'da tahıl mısır ve buğday verimini önemli ölçüde, kuzey Avrupa'da ise tahıl mısır verimini daha az düşürmesi beklenmektedir. Bununla birlikte, farklı piyasa güçlerinin etkileşimi nedeniyle AB üretimi yine de bir miktar artabilir. Bunun nedeni, Avrupa'daki olumsuz etkilerin diğer dünya bölgelerine kıyasla daha düşük olmasının öngörülmesidir. Bu durum, iklim değişikliğinin tarımsal verimlilik üzerindeki etkileri açısından AB'ye rekabet gücünü olumlu yönde etkileyebilecek karşılaştırmalı bir avantaj sağlamaktadır.

Avrupa'da iklim değişikliği kaynaklı biyofiziksel etkiler

Tahıl mısır Avrupa'nın çoğunda sulanan bir üründür. Günümüzdeki sulama altyapısının yerinde kaldığı ve sulama için yeterli suyun mevcut olduğu varsayıldığında (yani "potansiyel verim" öngörüldüğünde; Şekil 28'deki üst paneller, iklim değişikliği çoğu üretici AB ülkesinde verimi önemli ölçüde düşürecektir. Sulanan tahıl mısır üzerindeki en ciddi etkiler, 2°C ısınma senaryosunda potansiyel verimin %10'dan fazla düşebileceği güney Avrupa için öngörülmektedir. Kayıplar 1,5°C ısınma ile biraz daha düşüktür.



Şekil 28. Biyofiziksel değerlendirme sonuçları. Tamamen sulanan koşullar ("potansiyel verim"; üst paneller) veya gelecekte sulama yapılmayacağı ("yağmurla beslenen verim"; alt paneller) varsayılarak, 1,5°C sol paneller) ve 2°C (sağ paneller) ısınma senaryoları için dane mısır veriminin başlangıca göre ortalama değişikliklerini (%) gösteren biyofiziksel değerlendirme sonuçları. Tarama, küresel ısınmaya model tepkilerinde düşük uyum olan alanları göstermektedir.

İklim değışikliğı sulama için mevcut suyu daha da kısıtlayabilir ve tam sulama altında elde edilebilecek potansiyelden daha düşük verimle sonuçlanabilir. Gelecekte sulama yapılmayacağı varsayımı altında, küresel ısınmayla birlikte dane mısır veriminde ciddi düşüşler öngörülmektedir (Şekil 28, alt paneller). Bu tür "yağmurla beslenen" koşullar altında, tüm AB ülkeleri için %20'nin üzerinde verim düşüşleri öngörülmektedir, Güney Avrupa'daki bazı ülkeler (Portekiz, Bulgaristan, Yunanistan ve İspanya) için %80'e varan ürün kayıpları öngörülmektedir. Bu durum, pazar ayarlamaları yapılmadığı takdirde, su kıtlığının yaşandığı ve yağışların önemli ölçüde azaldığı bölgelerde dane mısır üretiminin artık sürdürülemeyeceğı anlamına gelmektedir.

Tahıl mısırının aksine buğday, Avrupa'da çoğunlukla sulanmayan, yağmurla beslenen bir üründür. Yağış rejimindeki değışikliklerin beklenen büyüme döngüsü ile birleşmesi ve artan atmosferik CO₂ konsantrasyonlarının büyümeyi artırması nedeniyle kuzey Avrupa için ortalama %5 civarında verim artışı öngörülmektedir. Güney Avrupa için ortalama %12 oranında verim düşüşü öngörülmekte ve bu da sınırlı su koşulları altında buğday üzerinde sınırlı CO₂ etkisine dair deneysel kanıtları desteklemektedir. Küresel ısınmanın 1,5°C ile sınırlandırılması bu kayıpları %5 azaltabilir.

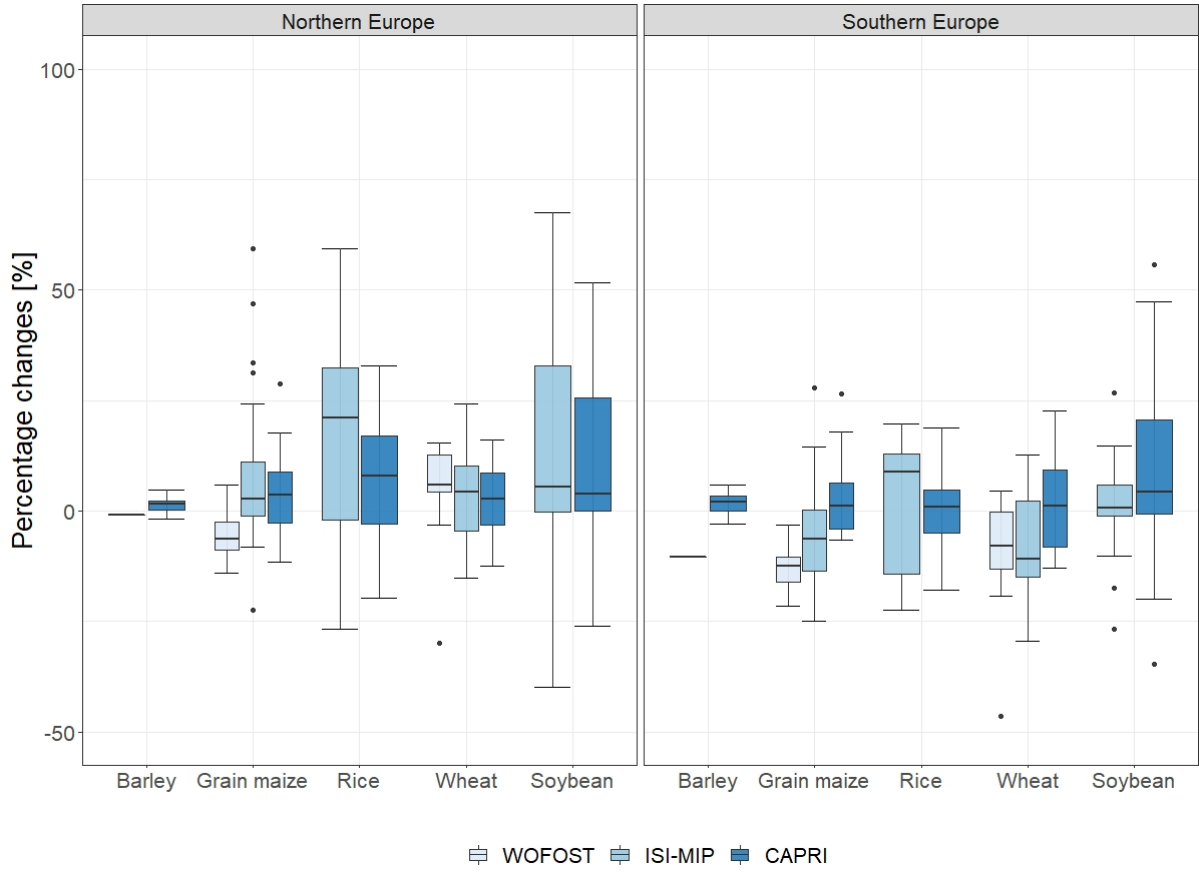
Avrupa'da Adaptasyon

Ekim tarihlerinin ve ekilen ürün değıştirilmesi gibi adaptasyon stratejileri, dane mısır veriminde öngörülen güçlü düşüşü telafi etmek için yeterli . Çeşitlerin değıştirilmesi, yağmurla beslenen buğday üretimi üzerinde çok daha büyük bir faydalı etkiye sahip olabilir. Modelleme ile yönlendirilen bitki ıslahı, çiçeklenme aşamasına daha erken ulaşan 'daha hızlı' buğday çeşitlerini belirleyebilir. Bunlar, iklim değışikliğı nedeniyle öngörülen verim düşüşünü azaltabilir ve hatta bazı durumlarda verimde artışa neden olabilir. Ayrıca, buğday yetiştirilen alanlarda sulama altyapısı inşa edilirse ve yeterli su mevcudiyeti olduğu varsayılırsa, buğday kayıpları tüm Avrupa'da verim artışına dönüşebilir. İklim değışikliğı ilerledikçe, çiftçiler yeni tarımsal iklim koşullarına daha uygun olan farklı ürünler yetiştirmeye de karar verebilirler.

Piyasa ayarlamaları ile bitkisel üretim etkileri

Biyofiziksel modeller tarafından öngörülen iklim değışikliğinin AB'deki mahsul verimi üzerindeki olumsuz etkileri, iklim değışikliğinin Avrupa dışındaki tarım üzerindeki daha şiddetli etkileri nedeniyle piyasa ayarlamalarının bir sonucu olarak önemli ölçüde azaltılabilir. Bölgeler arasında farklı öngörülen biyofiziksel verim değışiklikleri, küresel üretimde değışikliklere yol açacak ve bu da ürün fiyatlarında olumlu değışikliklere yansıtacaktır. Piyasa ayarlama etkileri nedeniyle, fiyat artışları AB çiftçilerinin yönetim uygulamalarında (örneğin birim arazi başına girdi kullanımı) değışikliklere neden olacak ve bu da sonuçta verimin yeniden ayarlanmasını sağlayacaktır. Örneğin, piyasa ayarlamalarıyla birlikte, Güney Avrupa'da dane mısır üretiminde %3"Şekil 28lük ve buğday üretiminde %2lik (Şekil 29bir artış söz konusudur); bu da biyofiziksel değerlendirmede her iki ürün için öngörülen düşüşlerden farklıdır (). Kuzey Avrupa'da ise, biyofiziksel değerlendirmenin buğday veriminde öngördüğü önemli artış, piyasa ayarlaması nedeniyle küçülmüştür.

Piyasa uyum etkisinin yanı sıra, biyofiziksel ve ekonomik projeksiyonlardaki farklılıklardan sorumlu olan ve vurgulanması gereken başka metodolojik sınırlamalar da vardır. Daha spesifik olarak, farklı iklim ve mahsul modellerinin kullanılması, küresel ısınmanın biraz değışen büyüklüklerinin yanı sıra sulanan ve yağmurla beslenen verimlere ilişkin farklı modelleme varsayımları, yüksek atmosferik CO₂ konsantrasyonunun etkisi, mahsul çeşitlerindeki ve ekim tarihlerindeki değışiklikler de iki yaklaşım arasında öngörülen farklılıklardan sorumludur.



Şekil 29. Piyasa ayarlamaları hesaba katıldığında biyofiziksel modelleme (WOFOST, ISI-MIP) ve ekonomik modellemeye (CAPRI) dayalı olarak 2050 yılında kuzey ve güney Avrupa için ürün verimi değişiklikleri (%). Yatay çizgiler topluluk medyanını, kutular ise 25^{nci} ve 75^{nci} yüzdelik dilimleri göstermektedir. Bu senaryoda 2050 yılındaki ısınma yaklaşık 2°C'ye karşılık gelmektedir.

Yaklaşım

WOFOST modeli, iki emisyon yolu (RCP8.5 ve RCP4.5) için çalıştırılan 10 bölgesel iklim modelinden elde edilen 1.5°C ve 2°C ısınma senaryoları altında Avrupa genelinde mahsul verimini simüle etmek için biyofiziksel değerlendirmede kullanılmıştır. Mahsul büyümesi yüksek CO₂ konsantrasyonlarından etkilenmiştir. İki tür verim tahmin edilmiştir: 1) mevcut sulama altyapısının gelecekte de devam edeceği ve sulama için yeterli suyun mevcut olduğu varsayılan "potansiyel verim"; ve 2) sulamanın olmadığı ve bu nedenle mahsullerin su mevcudiyeti kısıtlamalarından etkilenebileceği "yağmurla beslenen verim". Ekim tarihlerinin ve ürün çeşitlerinin değiştirilmesi gibi adaptasyon seçeneklerinin sırasıyla dahil edilmesi ve hariç tutulmasının etkileri araştırılmıştır. Besin kısıtlamalarının, çiçeklenme dönemindeki ısı stresinin, zararlıların ve hastalıkların etkileri dikkate alınmamıştır.

CAPRI modeli¹, küresel iklim değişikliğinin Avrupa bitkisel üretimi, arazi kullanımı, tüketim, gelir, fiyatlar ve ticaret üzerindeki etkilerini araştırmak için kullanılmıştır. RCP8.5 emisyon senaryosu (kaynak: ISIMIP Fast Track veritabanı) altında beş küresel iklim modeli ile çalıştırılan 7 küresel ürün modelinden elde edilen 2050 yılı verimleri CAPRI'ye girdi olarak kullanılmıştır. WOFOST, dünyanın geri kalanı için iklim değişikliği verim değişiklikleri sağlayamamıştır ve bu nedenle model topluluklarına eklenmemiştir. Avrupa için, ISIMIP ve WOFOST mahsul verim projeksiyonları arasında kısmi bir örtüşme vardır. 2050'de iklim modelleri arasındaki küresel ısınma aralığı 1,6-2,7°C'dir. CAPRI, su mevcudiyeti kısıtlamalarını, yüksek atmosferik CO₂ konsantrasyonlarının etkisini veya mahsul çeşitlerindeki ve ekim tarihlerindeki değişiklikleri dikkate almamıştır. Daha fazla ayrıntı için Hristov ve diğerleri (2020).

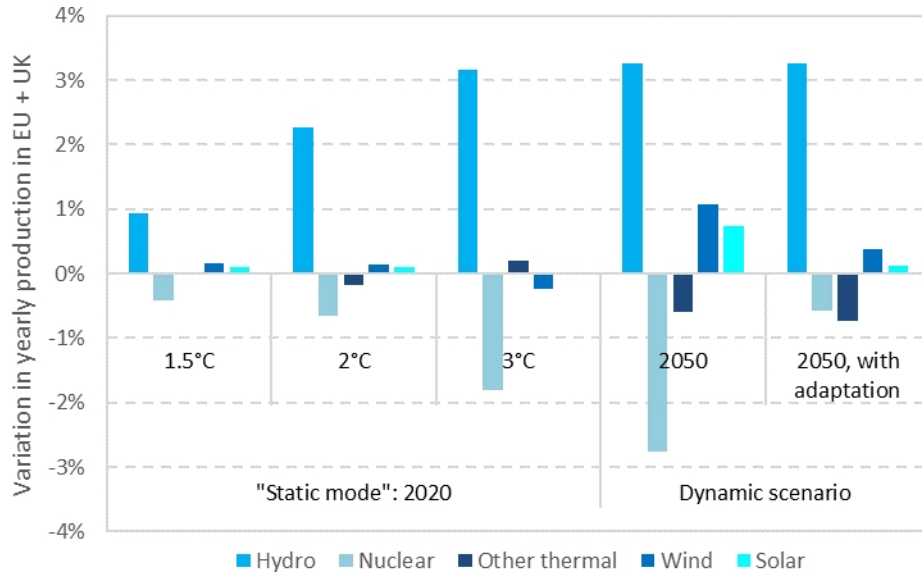
¹ www.capri-model.org

14 Elektrik üretimi üzerindeki etkiler

PESETA IV, iklim değişikliğinin hidroelektrik, rüzgar, güneş, nükleer ve biyokütle, kömür, gaz ve petrol dahil diğer termik santrallerin elektrik üretimi üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. İklim değişikliğinin mevcut enerji sistemini (statik senaryo) ve 2°C azaltım çabaları doğrultusunda 2050'nin enerji sistemini (dinamik senaryo) nasıl etkileyeceğini değerlendirdik. Her iki senaryoda da AB düzeyinde hidroelektrik küresel ısınmayla birlikte artarken nükleer enerji azalmaktadır. Bununla birlikte, kuzeyde hidroelektrik enerjinin artması ve güney Avrupa'da doğrudan üretim ve nehir bazlı santrallerin soğutulması için daha düşük su mevcudiyeti nedeniyle hidroelektrik ve nükleer enerjide düşüş gibi etkilerde bölgesel farklılıklar vardır. Kuzey Avrupa'da daha ucuz hidroelektriğin artan mevcudiyeti ikame etkileri ve daha düşük üretim maliyetleri ile sonuçlanırken, Güney Avrupa'da üretim artabilir. İklim değişikliğinin rüzgar ve güneş enerjisi üretimi üzerindeki doğrudan etkileri önemli değildir. Bununla birlikte, 2050 enerji sisteminde, güney bölgelerde hidroelektrik ve nükleer üretim kaybını telafi etmek için kapasiteleri artacaktır. İklim değişikliğinin dünyanın geri kalanındaki enerji üzerindeki etkileri, Avrupa üzerinde ihmal edilebilir bir yayılma etkisi göstermektedir. Geliştirilmiş soğutma teknolojileri, özellikle güney Avrupa'daki nükleer santraller için su kıtlığının olumsuz etkilerini büyük ölçüde azaltma potansiyeline sahiptir.

Elektrik üretimi üzerindeki etkiler

Küresel ısınma, AB + Birleşik Krallık'ta, özellikle hidroelektrik enerjiye büyük ölçüde bağımlı olan kuzey bölgelerinde hidroelektrik üretiminde genel bir neden olmaktadır. Aksine, nükleer enerji önemli ölçüde azalırken, diğer enerji kaynakları sadece orta derecede etkilenmektedir (bkz. Şekil 30).



Şekil 30. İklim değişikliğinin Avrupa'da elektrik üretimi üzerindeki etkileri (iklim topluluklarının medyan değerleri). Günümüz enerji sistemine uygulanan 1,5°C, 2°C ve 3°C küresel ısınmanın etkileri (statik senaryo) ve 2°C azaltım senaryosuna (dinamik senaryo) uygun olarak 2050 enerji sistemine 2°C ısınmanın etkileri, su soğutmanın adaptasyonu ile ve adaptasyonu olmadan. Not: "diğer termik" biyokütle, kömür, gaz ve petrol santrallerini ifade etmektedir.

Statik bir 2020 enerji sistemi varsayıldığında, AB'deki hidroelektrik üretiminin 1,5°C küresel ısınma ile %0,9 (medyan değer) ve 2°C ve 3°C ısınma ile sırasıyla %2,3 ve %3,2 artması beklenmektedir. Nükleer üretim 1,5°C ısınma ile %0,5 ve 3°C ısınma statik senaryosunda %1,8 oranında azalacaktır. Diğer termal, rüzgar ve güneş santralleri 2020 statik çalışmasında ve AB düzeyinde çok az etkilenmektedir.

Dinamik senaryo, 2°C iklim azaltım senaryosuna uygun olarak enerji karışımındaki değişiklikleri içermektedir (bkz. Yaklaşım). Buna karşılık gelen 2050 enerji sistemi de iklim değişikliğinden etkilenecektir. İklim etkilerinin olduğu ve olmadığı 2050 yılı sonuçları karşılaştırıldığında, hidroelektrik üretimi %3,3 oranında artarak

nükleer (-%2,8) ve diğer termal üretim (-%0,6). Rüzgar ve güneş enerjisi daha fazla gelişecektir (rüzgar ve güneş enerjisi için +1.1% AB + Birleşik Krallık toplamında güneş enerjisi için +%0,7), esas olarak güney Avrupa'daki düşük hidro ve nükleer enerji üretimine yanıt olarak. Karışımın evrimi, enerji sisteminin iklim değişikliğine adaptasyonunun ta kendisidir.

Hidroelektrikteki genel artış, hidroelektrik için yüksek kurulu kapasitenin bulunduğu kuzey Avrupa ülkelerindeki artan su mevcudiyetinden kaynaklanmaktadır. Hidroelektrik daha düşük bir marjinal maliyete sahip olduğundan, bu bölgelerde diğer enerji kaynaklarından elde edilen enerjiye olan talebi azaltmaktadır. Yerel elektrik üretim karışımına bağlı olarak, ikame etkisi farklıdır. Statik senaryoda hidroelektrik İsveç'te biyokütle, Finlandiya'da kömür, Litvanya'da petrolün ve Letonya'da gazın yerini almaktadır. Bu da Kuzey Avrupa'da yıllık yaklaşık şu ekonomik faydalara yol açmaktadır

3°C ısınma ile 1,3 milyar € (2015 değerleri).

Avrupa'nın güney bölgelerinde ve özellikle İber Yarımadası'nda, su mevcudiyetinde öngörülen azalma, özellikle yaz aylarında hidro ve nükleer üretimi olumsuz etkilemektedir. İber Yarımadası'nda termik santraller hidro ve nükleer enerjinin yerine geçmektedir: hidro ve nükleer enerjinin azaldığı dönemlerde talebi karşılamak için yedekte bulunan termik enerji kapasitelerinin üretimi artırması gerekmektedir. Bu hidro ve nükleer enerji üretiminden daha pahalıdır, bu da Güney Avrupa'da üretim maliyetlerinin yaklaşık %0,9 oranında arttığı anlamına gelmektedir.

Statik bir 2020 enerji sistemi varsayıldığında 3°C ısınma ile yılda milyar € (2015 değerleri). Dinamik senaryolarda bu etki daha az çünkü rüzgar ve güneş enerjisinin artan gelişimi hidroelektrik ve nükleerden kalan boşluğu doldurulmasına katkıda bulunmaktadır.

Avrupa'nın diğer bölgelerinde, su mevcudiyetindeki değişiklikler daha az belirgindir ve suyla ilgili enerji üretimi üzerinde daha küçük etkileri vardır. Rüzgar ve güneş enerjisi iklim değişikliğinden doğrudan etkilenmediğinden, bu bölgelerdeki enerji üretimi üzerinde beklenen etkiler sınırlıdır.

Adaptasyon

Dinamik senaryoda, 2°C iklim azaltımına olarak 2050 enerji karışımı, iklim değişikliğinin etkilerine yanıt olarak daha da gelişecektir (örn. artan rüzgar ve güneş enerjisi kurulumları). Nükleer ve diğer termik santrallerin adaptasyonuna izin verildiğinde, karışım evrimi farklı olacaktır. Nükleer üretim özellikle reaktiftir ve iklim değişikliği etkileri, özellikle Avrupa'nın güney kesimlerinde daha az su yoğun soğutma teknolojilerine geçişle (-%2,8 yerine %-0,6 azalma, bkz. Şekil 30) neredeyse tamamen önlenebilir. Diğer termik santraller ya tam kapasiteyle çalışmadıkları ya da zaten verimli soğutma teknolojileri kullandıkları için bu uyum tedbirlerinden benzer bir fayda sağlamamaktadır.

Yayılma etkileri

Dünyanın geri kalanından AB'ye yayılan etkiler de ölçülmüştür ("statik modda") ve ihmal edilebilir (%0,1'den az) görünmektedir. Küresel düzeydeki ana etki, binalardaki düşük ısıtma talebi nedeniyle yakıt tüketimi ve yakıt fiyatlarındaki düşüştür. Düşük yakıt fiyatları Avrupa'da potansiyel olarak hafif bir talep artışı yaratabilir, bu da termik santrallerin yedek kapasiteleri ve bazı ek merkezi olmayan güneş enerjisi kapasiteleri ile karşılanabilir.

Çıkarımlar

Bu çalışmanın sonuçları, enerji politikalarının elektrik üretim kapasitesi planlamasında iklim değişikliği etkilerini göz önünde bulundurması gerektiğini göstermektedir. Küresel ısınmayla birlikte, orta ve kuzey Avrupa'daki hidroelektrik santralleri, bu bölgelerdeki su mevcudiyetinin artması sayesinde daha da değerli varlıklar haline gelecektir. Öte yandan, Avrupa'nın güneyinde (özellikle İber Yarımadası ve Yunanistan'da) su mevcudiyetinin azalması, hidroelektrik santrallerin yanı sıra nükleer ve termik santrallerin mevcut kapasitesini de azaltacaktır. Daha az su tüketen soğutma teknolojilerine geçiş yoluyla yapılacak adaptasyon, özellikle şu anda tek seferlik nehir soğutmasına dayanan nükleer santraller için kapasite kaybının çoğunu önleyebilir. Kuzey Avrupa'da nükleer ve termik üretim, daha düşük üretim maliyetine sahip hidroelektrik üretimindeki artış nedeniyle azalabilir. Son olarak, rüzgar ve güneş enerjisi iklim değişikliği tarafından doğrudan kısıtlanmıyor gibi görünmektedir ve özellikle yaz dönemlerinde güney bölgelerde diğer teknolojiler üzerindeki olumsuz etkilerden faydalanabilir. Bölgeler arası elektrik bağlantılarının genişletilmesi, Avrupa genelinde değişen üretim modellerini ve bunlarla ilişkili maliyetleri dengelemenin bir yoludur. Örneğin, 2°C'lik küresel ısınmayla birlikte, ilave elektrik ticareti gerçekleşmezse, su kaynakları ve hidroelektrik üretimindeki değişikliklerin bir sonucu olarak elektrik üretim maliyetleri kuzey Avrupa'da %2,5 oranında azalabilir ve güney Avrupa'da %0,6 oranında artabilir.

Sınırlamalar

Enerji arzı değerlendirmesi, enerji analizinin zamansal (mevsimsel) ve mekansal (ülke) çözünürlüğü nedeniyle aşırı iklim etkilerini içermemektedir. PESETA IV'teki kuraklık analizi, Avrupa'nın güney ve batı bölgelerinde küresel ısınmayla birlikte artan kuraklık koşullarının enerji sektöründe artan ekonomik kayıplara yol açacağını göstermektedir. Ayrıca, artan nehir ve kıyı taşkınları, taşkına eğilimli bölgelerdeki enerji altyapılarında daha yüksek doğrudan hasara yol açabilir.

Bu çalışmada, AB'deki hidroelektrik santrallerinin yılın büyük bölümünde doymuş olmadığı ve artan su kaynaklarından doğrusal olarak faydalanabilecekleri varsayılmıştır. Benzer şekilde, burada kullanılan ortalama rüzgar hızları rüzgar enerjisi üretimini doğrusal olarak etkilemektedir. Tek bir türbin tipik (doğrusal olmayan) bir güç eğrisine sahip olsa da, bir ülkedeki santraller toplandığında ilişkiyi karakterize etmek daha zordur. Güneş PV panelleri üzerindeki sıcaklık etkisi (doğrusal olmayan) ısı birikimi etkisini yansıtmaz, bu da ortam sıcaklığı dikkate alındığında daha yüksek verimlilik kayıplarına olabilir. Son olarak, su sıcaklığı tahmini hava sıcaklığı ile doğrusal bir ilişkiye dayanmaktadır ve daha ayrıntılı bir mekansal ve zamansal modellemeye yoksundur.

Yaklaşım

PESETA IV, iklim değişikliğinin hidroelektrik, rüzgar, güneş, nükleer ve diğer termik santrallerin (biyokütle, kömür, gaz ve petrol) elektrik üretimi üzerindeki etkilerini tahmin etmektedir. Seller, kuraklıklar veya rüzgar fırtınaları gibi aşırı olaylar elektrik üretimi, iletimi veya talebinde geçici bir kesintiye yol açabilir. Kuraklığın enerji üretimi üzerindeki etkileri PESETA IV'ün kuraklık analizinde ölçülmüştür. Ancak, gerekli zamansal ve coğrafi ayrıntı, burada enerji modeli POLES (Uzun Vadeli Enerji Sistemlerine Prospektif Bakış) ile gerçekleştirilen uzun vadeli sistem çapında analiz ile uyumlu değildir. İklim değişikliği projeksiyonları (RCP4.5 ve RCP8.5 yolları) ve hidrolojik simülasyonlar, su kaynakları, kuraklıklar ve nehir taşkınları ile ilgili PESETA IV görevlerinde kullanılanlarla aynıdır. Değerlendirilen etkiler, hidroelektrik enerji ve nükleer ve diğer termik santrallerin soğutulması için su kaynaklarının kullanılabilirliğindeki değişiklikler, rüzgar enerjisi için rüzgar kaynaklarındaki değişiklikler ve güneş panellerinin verimliliği için sıcaklıktaki değişikliklerle ilgilidir. Sonuçlar, iklimin elektrik üretimi üzerindeki etkilerini içeren ve içermeyen senaryolar karşılaştırılarak elde edilmiştir, böylece diğer faktörler nötralize edilmiştir (örneğin, enerji talebi üzerindeki iklim etkileri modellenmiş ancak burada gösterilmemiştir).

Bir dizi farklı senaryo dikkate alınmıştır. İlk analiz, iklim politikası veya doğal güç karışımı evrimi gibi diğer etkileri nötralize etmek için 1,5°C, 2°C ve 3°C küresel ısınmanın 2020 enerji sistemi ("statik modda" kullanılan enerji modeli) üzerindeki etkilerini incelemektedir. Bu "statik modda", iklim değişikliğinin dünyanın geri kalanındaki enerji üretimi üzerindeki etkilerinin AB üzerindeki yayılma etkilerini de ölçtük. Enerji modeli ayrıca 2050 yılına kadar 2°C uyumlu azaltım çabalarına ve emisyon yoluna (RCP4.5, 2100 yılında metrekare başına 4.5 Watt'lık stabilize radyatif zorlama ile bu değeri hiç aşmadan) ve ECFIN Yaşlanma Raporuna göre değişen teknik ve sosyoekonomik bağlama karşılık gelen dinamik modda çalıştırılmıştır. Bu dinamik ortamda, iklim değişikliğinin termal tesislerin soğutulması üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için açık devridaim soğutmanın (buharlaştırma kuleleri) ve kuru soğutmanın potansiyelini de ölçtük. Daha fazla ayrıntı için Després ve Adamovic (2020).

15 Ekonomik analiz

İklim değişikliği sermaye stokuna zarar vermekte, ekonomik üretimi ve hane halklarının refahını etkilemektedir. Yedi iklim etki kategorisi için bu ekonomik etkiler ölçülmüştür: nehir taşkınları, kıyı taşkınları, tarım, enerji arzı, kuraklık, rüzgar fırtınaları ve insan ölümleri. İklim etkilerinin sınırlı kapsamı nedeniyle, değerlendirme AB'de iklim değişikliğinin tüm ekonomik etkilerini değerlendirmemektedir. Aşırı sıcaklardan kaynaklanan insan ölümleri ekonomik iklim etkilerine hakimdir, ancak katkısı büyük ölçüde insan hayatının parasal değerlemesine bağlıdır. Avrupa'nın güney bölgelerindeki refah kayıplarının kuzeydekilere kıyasla birkaç kat daha büyük olduğu tahmin edilmektedir. Isınmanın 2°C ile sınırlandırılması, 3°C senaryosuna kıyasla ekonomik etkileri yarıya indirirken, Paris'in katı hedefi olan 1,5°C'ye ulaşılması refah kaybını %75 oranında azaltacaktır.

İklim değişikliğinin ekonomik etkilerinin ölçülmesi

Ekonomik analiz yedi etki kategorisi için yapılmıştır: nehir taşkınları, kıyı taşkınları, tarım, enerji arzı, kuraklık, rüzgar fırtınaları ve aşırı sıcak ve soğuktan kaynaklanan insan ölümleri. İklim etkilerinin ekonomik değerlendirmesinin eksik olduğunu vurgulamak çok önemlidir: PESETA IV projesinin diğer dört iklim etkisi kategorisi, bu etkiler parasallaştırılmadığı için dikkate alınmamıştır (örneğin, alpin tundra kaybı, ekolojik alanlardaki değişim). Mevcut göz önüne alındığında ekonomik değerlemesi mümkün olmayan başka ilgili iklim etkileri de vardır. Örneğin iklim devrilme noktalarının aşılması, ekosistemlerin bozulması ve habitatların ve türlerin kaybı ile ilişkili etkiler için durum böyledir. Bu nedenle, burada sunulan entegre ekonomik etkiler, iklim değişikliğinin Avrupa ve Birleşik Krallık'taki ekonomik etkilerinin tamamını oluşturmamaktadır.

Ekonomik analiz, farklı küresel ısınma seviyelerinin bugün itibarıyla ekonomiyi nasıl etkileyeceğini değerlendirdiğimiz karşılaştırmalı statik bağlamda bir genel denge modeli ile yapılmıştır. Dolayısıyla tahmin edilen sonuçlar şu soruyu ele almaktadır: "Bugün 1.5°C, 2°C ve 3°C küresel ısınma gerçekleşirse mevcut ekonomi nasıl etkilenir?" Bu yöntem, demografik eğilimler ve ekonominin gelecekteki yapısı ve büyüklüğü hakkında varsayımlarda bulunmaktan kaçınmakta ve sadece iklim değişikliğinden kaynaklanan sonuçların raporlanmasına olanak sağlamaktadır.

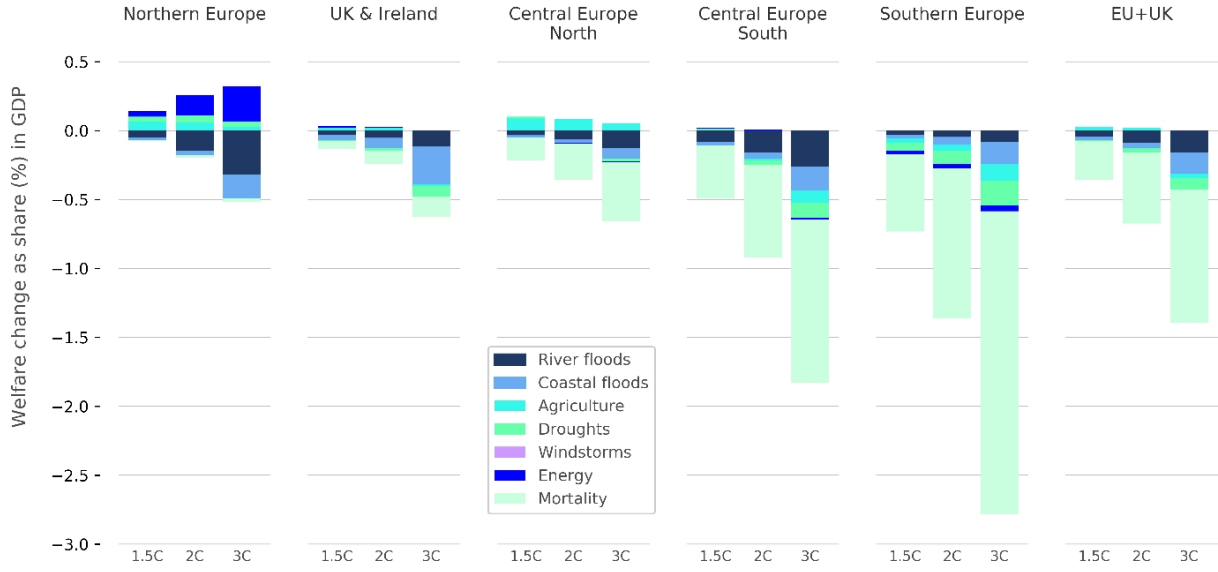
Dikkate alınan hasarların ekonomik etkileri

Mevcut ekonominin 3°C'lik bir küresel ısınmaya maruz kalması, yıllık en az 175°C'lik bir refah kaybına yol açacaktır. PESETA IV'te dikkate alınan yedi etki kategorisi için milyar € () (Şekil 31)GSYH'nin %1,38'i. 2°C senaryosunda refah kaybı 83 milyar €/yıl (GSYH'nin %0,65'i) olurken, ısınmanın 1,5°C ile sınırlandırılması refah kaybını 42 milyar €/yıla (GSYH'nin %0,33'ü) düşürecektir.

2°C küresel ısınma ile tahmin edilen refah kaybı, işgücü verimliliği ve enerji talebini de kapsayan ancak kuraklık ve enerji arzını kapsamayan PESETA III'tekine çok benzemektedir. PESETA III ayrıca 4°C'lik yüksek ısınma senaryosu için GSYH'nin %1,92'si oranında bir refah kaybı tahmin etmiştir. Dolayısıyla PESETA III ve IV'ün bulguları, AB'deki refah kaybının küresel ısınma seviyesiyle birlikte arttığını doğrulamaktadır.

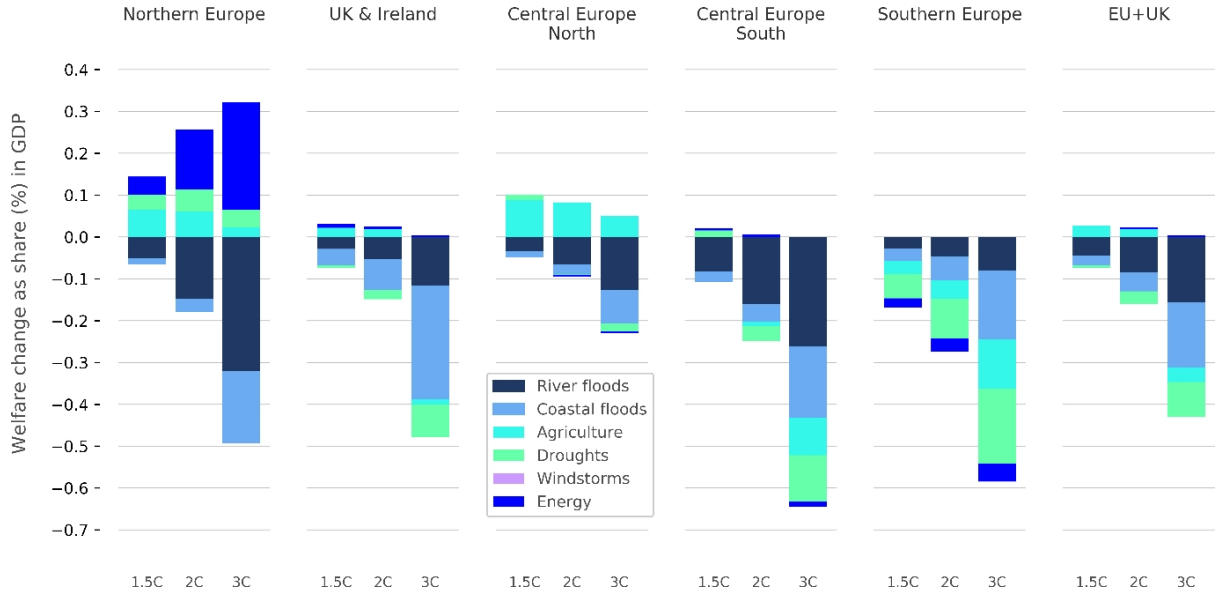
Sektörel etkiler

Aşırı sıcaklardan kaynaklanan insan ölümleri, (eksik) birleştirilmiş ekonomik etkilere hakimdir. İlgili refah kaybı 1.5°C, 2°C ve 3°C küresel ısınmada sırasıyla 36, 65 ve 122 milyar €'ya ulaşmaktadır. Ölümle ilgili refah kaybının %80'inden fazlası güney AB bölgeleri için tahmin edilmektedir. İnsan ölümlerinden kaynaklanan kaybın toplam ekonomik etki içindeki payının, yaşamın ekonomik değerinin takdir edilmesine büyük ölçüde bağlı olduğu unutulmamalıdır.



Şekil 31. AB ve Birleşik Krallık ve makro bölgeler için ısınma seviyelerinde dikkate alınan iklim etkilerinden kaynaklanan refah kaybı (GSYH'nin %'si) (bkz. Yaklaşım). Sonuçlar, ısınma seviyelerinin mevcut ekonomi üzerinde etkili olması durumunda, mevcut iklim altındaki mevcut ekonomiye kıyasla refahtaki değişimi temsil etmektedir.

Nehir ve kıyı taşkınları, özellikle kuzey ve orta AB bölgelerinde olmak üzere AB'deki en önemli ikinci refah kaybı kaynağıdır (Şekil 32). Sellerin etkileri 1,5°C küresel ısınma ile 8,5 milyar € refah kaybına neden olurken, bu rakam 2°C ile 16 milyar €'ya ve 3°C küresel ısınma ile 40 milyar €'ya çıkmaktadır. Deniz seviyelerinin, iklim belirli bir ısınma seviyesinde stabilize olduktan çok sonra da yükselmeye devam edeceği unutulmamalıdır; örneğin 2160 yılında 2°C olan deniz seviyeleri, 2060 yılında 2°C olan deniz seviyelerinden çok daha yüksek olacaktır. Bu, burada bir ısınma seviyesi için öngörülen kıyı taşkın etkilerinin çok muhafazakar olduğu anlamına gelmektedir.



Şekil 32. AB, Birleşik Krallık ve makro bölgeler için ısınma seviyelerinde insan ölümleri hariç olmak üzere dikkate alınan iklim etkilerinden kaynaklanan refah kaybı (GSYH'nin %'si) (bkz. Yaklaşım). Sonuçlar, ısınma seviyelerinin mevcut ekonomi üzerinde etkili olması durumunda, mevcut iklim altındaki mevcut ekonomiye kıyasla refahtaki değişimi temsil etmektedir.

Kuraklığın etkilerindeki değişiklikler kuzey Avrupa'da refah artışına yol açarken, güney ve batı AB bölgelerinde refah azalmasının kaynağı haline gelmektedir. 1,5°C küresel ısınma ile kuraklıktan kaynaklanan toplam refah kaybı 0,7 milyar Avro ile sınırlı kalırken, 3°C küresel ısınma ile 10,6 milyar Avro'ya çıkmaktadır. Tarımsal verimdeki değişiklikler de Avrupa'nın kuzeyinde refah artışına, güneyinde ise azalmasına neden olmaktadır. AB ve Birleşik Krallık için bu durum, düşük ısınma seviyelerinde (1,5°C ve 2°C) küçük bir pozitif refah etkisine neden olurken, daha yüksek ısınma seviyelerinde (3°C) tersine dönmektedir. Enerji modeli, küresel ısınmanın kuzeyde enerji arzı üzerinde olumlu bir etki yaratırken güneyde tam tersi bir eğilimi simüle etmektedir. Bu bölgesel etkiler 1,5°C'de dengelenmekte ve 2°C ve 3°C küresel ısınmada AB refahında küçük bir artışa neden olmaktadır.

Kuzey-güney ayrımı

Refah kayıplarının bölgesel dağılımında açık bir kuzey-güney ayrımı vardır. Kuzey bölgelerindeki etkilerin toplamı nispeten küçük veya hatta pozitifdir (örneğin 1,5°C ve 2°C ile kuzey Avrupa), çünkü bu bölgeler dikkate alınan bazı sektörler (tarım, kuraklık, enerji arzı) için iklim değişikliğinden kazançlar elde etmektedir. Güney AB bölgelerinde ise etkiler çoğunlukla olumsuzdur. Sonuç , güney bölgelerdeki toplam refah kayıpları, Avrupa'nın kuzeyindekilere kıyasla birkaç kat daha büyüktür.

Dünyanın geri kalanındaki iklim etkilerinin yayılma etkileri

AB sadece ekonomisini etkileyen iklim değişikliğinden değil, aynı zamanda iklimle ilgili zararlar yaşayan ülkelerle yaptığı uluslararası ticaret yoluyla da dolaylı olarak etkilenmektedir. PESETA IV'ün bulguları, PESETA III'te yapılan ve uluslararası yayılma etkilerinin AB'nin iç refah kaybını yaklaşık %20 oranında artırdığını gösteren daha kapsamlı bir analizi doğrulamaktadır.

Yaklaşım

Ekonomik analiz, çeşitli iklim etki kanallarını tutarlı bir şekilde entegre eden çok sektörlü, çok ülkeli hesaplanabilir bir genel denge modeli (İklim değerlendirmesi Genel Denge, CaGE modeli) ile yapılmıştır. CaGE modeli, gelecekteki iklimin bugün itibarıyla ekonomiyi etkilediği karşılaştırmalı statik bir bağlamda uygulanmıştır. Böylece ortaya çıkan tahminler şu soruyu ele almaktadır: "Küresel ısınma bugün gerçekleşseydi bugünün ekonomisi nasıl etkilenirdi?"

Etki kategorilerine yönelik zararlar ile ekonomik modelleme arasındaki arayüzün temel özelliklerinden bazıları sermaye stokuna verilen zarar, sektörel verimlilik azalması ve tüketimdeki değişimdir.

Ekonomik sonuçlar, farklı etki kategorilerinden gelen doğrudan hasar tahminleri girdi olarak kullanılarak refah (tüketim) değişiklikleri açısından tahmin edilmektedir. Bu, sermaye stokuna verilen zararı, sektörel verimlilik düşüşünü ve tüketimdeki değişiklikleri içerir. Refah kaybı genel olarak doğrudan zararlardan daha büyüktür çünkü ekonominin geri kalan sektörlerindeki dolaylı etkileri de hesaba katmaktadır (örneğin tarımsal gıda endüstrisini etkileyen tarımsal verim kayıpları). Refah kaybı € (2015 değeri) ve GSYH içindeki pay (% olarak) olarak ifade edilmektedir. Dünyanın geri kalanında meydana gelen iklim etkileri, uluslararası ticaret yoluyla AB'yi de etkileyecektir. PESETA IV'te, dünyanın geri kalanındaki tarım sektöründeki etkilerden kaynaklanan uluslararası yayılmaların olası ölçeği CaGE modeli ile simüle edilmiştir. Daha fazla ayrıntı için Szwedczyk ve diğerleri (2020).

16 Sınırlamalar ve ileriye dönük yol

PESETA IV yaklaşımı, çok çeşitli sektörel etki ve hasar modellerinde sosyoekonomik ve iklim değişikliği senaryolarının kullanımında tutarlılık da dahil olmak üzere dizi avantaj sunmaktadır. Bununla birlikte, Avrupa kıtası ölçeğinde gelecekteki iklim etkilerinin modellenmesi, iklim değişikliğini, ekosistemlerin, insanların ve ekonomik sektörlerin maruziyetini ve kırılganlığını temsil eden modellerde ve veri setlerinde önemli belirsizlikler ile kaçınılmaz basitleştirmeler içermektedir. Ana sınırlamalar aşağıda tartışılmaktadır. Bireysel etki değerlendirmelerine özgü sınırlamalar, her bir etki analizinin Teknik Raporlarında ve analizlerin temelini oluşturan bilimsel literatürde açıklanmaktadır. Bu sınırlamaları ele almak için devam eden ve gelecekte yapılacak çalışmalar, etki kategorilerinin daha geniş kapsamı ve aralıkların ve güven kullanımı dahil olmak üzere bu raporda sunulan tahminleri güçlendirecektir.

Emisyon yolları, ısınma seviyeleri ve iklim projeksiyonları

Proje, belirli bir ısınma seviyesindeki etkilerin, bir ısınma seviyesine ulaşıldığında stabilize olan iklim projeksiyonlarından ziyade geçici iklim projeksiyonlarından türetilebileceğini varsaymaktadır. İki RCP'nin dikkate ısınma seviyelerine ulaşma yolundaki belirsizlik kısmen hesaba katılmaktadır, ancak iklim üzerindeki olası gecikmeli etkiler ve iklim stabilizasyonundan sonra ortaya çıkan etkiler hesaba katılmamaktadır. Mevcut literatür, çoğu iklim değişkeni için bu etkilerin iklim projeksiyonlarındaki değişkenlikten daha küçük olduğunu göstermektedir. Ancak zaman boyutu, iklimin belirli bir ısınma seviyesinde sabitlenmesinden çok sonra da devam edecek olan deniz yükselmesi gibi zaman gecikmeli süreçler için kritik önemini korumaktadır.

İki RCP'nin ve 22 model gerçeklemesine sahip bir iklim topluluğunun kullanılması, gelecekteki iklim projeksiyonlarına ilişkin belirsizliği karakterize etmeyi amaçlamaktadır. Bununla birlikte, topluluk gelecekteki iklim koşullarındaki gerçek belirsizliği hala eksik temsil edebilir.

İklim projeksiyonları mevcut iklimi yeniden üretmede yanlışlık göstermektedir. Bunu düzeltmek için yanlışlık düzeltilmesi uygulanır, ancak bu geçmiş iklim koşullarının yüksek çözünürlüklü gözlemlerini gerektirir. Bu şu anda sadece sıcaklık ve yağış için uygulanabilirken, bazı etki modellerinin gerektirdiği diğer değişkenler düzeltilmemektedir.

Etkilerin kapsamı

Proje, Avrupa'daki iklim etkilerinin kapsamı açısından kapsamlı değildir. On bir önemli iklim etki mekanizması değerlendirilmiş olsa bile, küresel ısınmanın birçok potansiyel sonucu sayısallaştırılmamıştır. Karasal ekosistemler ve bunların hizmetleri üzerindeki etkiler sadece kısmen ele alınırken, su ve deniz ekosistemleri üzerindeki etkiler değerlendirilmemiştir. İklim değişikliği, hayvancılık, balıkçılık ve su ürünleri yetiştiriciliği üzerindeki etkiler de dahil olmak üzere, gıda üretimini bitkisel üretimin ötesinde etkileyecektir. İnsan sağlığı üzerindeki etkiler aşırı sıcaklıklardan kaynaklanan ölümlerle sınırlı olmayıp, optimum arka plan sıcaklıkları, hava kalitesi, su ve vektör kaynaklı hastalıklar gibi daha az aşırı sıcaklıklardan kaynaklanan insan ölümleri ve hastalıkları üzerindeki etkileri de içermektedir. Deniz seviyesinin yükselmesi ve kıyılardaki aşırı sıcaklıkların artması da erozyonun artmasına, kıyı ekosistemlerinin zarar görmesine, tuzlu su girişine ve liman ve deniz taşımacılığı altyapısının zarar görmesine neden olacaktır. İklim değişikliği, göz önünde bulundurulmuş nehir taşkınlarının yanı sıra, yerel yoğun yağışlardan kaynaklanan alüvyonlu ve ani taşkınları da etkileyecektir. PESETA IV enerji analizi enerji arzına odaklanırken, iklim değişikliği enerji talebinde de değişikliklere yol . Ulaşım, turizm ve işgücü verimliliği gibi kilit ekonomik sektörler üzerindeki etkiler değerlendirilmemiştir. İklim değişikliği insanların yerlerinden neden olabilir, çatışma riskini artırabilir ve güvenlik üzerinde etkileri olabilir, ancak bu sonuçları değerlendirmek çok zordur. İklim devrilme noktaları veya geçilmesi halinde geri dönüşü olmayan ve yıkıcı sonuçlar doğurabilecek eşikler de dikkate alınmamıştır. Proje, çeşitli iklim aşırılıkları (sıcak ve soğuk dalgaları, kuraklık, rüzgar fırtınaları, nehir ve kıyı taşkınları) için etki değerlendirmeleri , ancak bazı sektör etki analizleri (örneğin, enerji arzı, tarım) bu aşırılıkların ve buradaki değişikliklerin etkilerini tam olarak yakalayamamaktadır. Son olarak, bu durumun modelleme faaliyetlerine getireceği mekânsal alan zorlukları nedeniyle, PESETA IV AB'nin en dış bölgelerindeki etkileri kapsamamaktadır.

Adaptasyon modellemesi

Özellikle pan-Avrupa ölçeğinde adaptasyonun modellenmesi de zorlu bir görev olmaya devam etmektedir. Uyum maliyetleri ve faydaları sadece iki etki kategorisi için açıkça modellenmiştir. Gelecekteki çalışmalar, daha geniş bir etki kategorisi yelpazesi için adaptasyon modellemesini içermeyi deneyebilir. Bu tür değerlendirmeler, ilgili politikaları yaygınlaştırmalıdır

alanları, halihazırda uyum sorunuyla karşı karşıya olan paydaşları ve kullanıcıları (hem özel hem de kamu) da göz önünde bulundurmaktadır.

Tüm bu konuların dahil edilmesi, iklim değişikliğinin AB üzerinde yarattığı risklerin bütününe ve etkilerin azaltılması ya da önlenmesi için azaltım ve uyum potansiyelinin daha iyi anlaşılmasını sağlayacaktır.

Uyum maliyet-fayda analizi de zorlu bir alan olmaya devam etmektedir ve sonuçları, yatırım maliyetlerinin kısa vadede iskonto edilmesi ve uyum faydalarının zamanla artması gibi birçok uygulama seçeneğine karşı oldukça hassastır.

Etkilerdeki belirsizlik

Bu rapordaki sonuçlar, öncelikle topluluk projeksiyonlarının en olası sonucunu yansıtan nokta tahminleri olarak sunulmuştur. Bazı sektörler için, iklim modeli projeksiyonlarındaki dağılıma dayalı aralıklar verilmiştir. Biyofiziksel modellerin kavramsallaştırılması ve parametrelendirilmesinden kaynaklanan tahmini biyofiziksel etkilerdeki belirsizlikler, etki kategorisi başına yalnızca bir model kullanıldığı için hesaba katılmamıştır. Sektörler Arası Etki Modeli Karşılaştırma Projesi¹inde(1) yapıldığı gibi biyofiziksel etki modellerinden oluşan bir topluluk kullanılması, biyofiziksel etkilerin belirsizliğini daha iyi temsil edebilir.

Etkilerin ekonomik değerlemesi, büyük ölçüde birçok sektördeki kayıplara ilişkin gözlemlerin yetersizliği nedeniyle bir başka önemli belirsizlik kaynağıdır. Bu durum hem temel ekonomik kayıpların tahminini hem de bunların gelecekteki iklim ve sosyoekonomik senaryolar altındaki projeksiyonlarını etkilemektedir. Çeşitli etki modellerinin kavramsallaştırılması, kalibrasyonu ve doğrulanmasını iyileştirmek için geçmiş iklim ve hava olaylarının fiziksel ve ekonomik etkilerine ilişkin yüksek mekansal çözünürlüğe sahip bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak, Avrupa'da veri toplama ve kayıt heterojen bir yapıya sahiptir ve mevcut kayıp veri tabanları eksiksizlik ve ayrıntı düzeyleri bakımından farklılık göstermektedir veya kamuya değildir. Avrupa'daki iklim riskinin ölçeğini ve kapsamını daha iyi değerlendirebilmek için ulusal kaynaklardan elde edilen mevcut bilgilerin homojenleştirilmesi ve iklim etkisi araştırmaları için kullanılabilir hale getirilmesi gerekmektedir.

Bu nedenle, PESETA IV sonuçlarının belirli yerel alanlar, bölgeler veya ülkeler için iklim etkilerinin tahminleri veya öngörülerini yorumlanmaması gerektiğini vurgulamak önemlidir. Özellikle, bu çalışmanın amacı AB üye devletleri, bölgeleri veya şehirleri için bir iklim etkisi ve uyum değerlendirmesi yapmak değildir. Daha ziyade amacı, iklim etkilerinin ana kalıpları ve uyum potansiyeli hakkında Avrupa çapında bir perspektif sunmaktır.

Olasılıksal etki projeksiyonlarının geliştirilmesi ve kuyruk (düşük olasılık yüksek) riskinin temsili de dahil olmak üzere risk analizlerindeki belirsizliklerin daha fazla araştırılması, PESETA IV sonuçlarını daha da güçlendirecektir.

Modeller arasında daha fazla entegrasyon

Bazı modeller, bir biyofiziksel modelin çıktısının başka bir modelde girdi olarak kullanılmasıyla yumuşak bir bağlantıya (örneğin su modeli ile enerji arzı modeli arasındaki : hidrolojik simülasyonlar hidroelektrik potansiyellerini değerlendirmek için kullanılır). Ayrıca, bazı biyofiziksel modeller için sektörel etkilerin kapsamı konusunda bir dizi örtüşme bulunmaktadır (örneğin, tarım sektöründeki etkiler kuraklık analizinde de dikkate alınmaktadır).

Bu sorunların ele alınması, modeller arasında ek entegrasyon gerektirecektir. Plan, modeller arasındaki en ilgili bağlantıları (yani sonuçları önemli ölçüde değiştirebilecek olanları) belirlemek ve genel JRC PESETA modelleme sisteminin entegrasyonunu geliştirmeye çalışmaktır. Entegre değerlendirme modellerindeki geçmiş deneyimler bu açıdan çok faydalı olabilir.

¹ <https://www.isimip.org/>

Referanslar

Adams H D, Park Williams A, Xu C, Rauscher S A, Jiang X ve McDowell N G (2013). İklim kaynaklı orman ölüm modellerine ampirik ve süreç tabanlı yaklaşımlar. *Frontiers in Plant Science*, doi:10.3389/fpls.2013.00438.

Alfieri L, Burek P, Feyen L ve Forzieri G (2015a). Küresel ısınma Avrupa'daki nehir taşkınlarının sıklığını . *Hydrology and Earth System Sciences*, doi:10.5194/hess-19-2247-2015.

Alfieri L, Feyen L, Dottori F ve Bianchi A (2015b). Üst düzey iklim senaryoları altında Avrupa'da sel riski değerlendirmesi. *Global Environmental Change*, doi:10.1016/j.gloenvcha.2015.09.004.

Barredo J I, Mauri A ve Caudullo G (2020). Impacts of climate change in European mountains - Alpine tundra habitat loss and treeline shifts under future global warming, EUR 30084 EN, Avrupa Birliği Yayın Ofisi, Lüksemburg, ISBN 978-92-76-10717-0, doi: 10.2760/653658, JRC115186.

Bisselink , Bernhard J, Gelati E, Adamovic M, Guenther S, Mentaschi L ve de Roo A (2018). Değişen iklim, arazi kullanımı ve su kullanımının Avrupa'nın su kaynakları üzerindeki etkisi, EUR 29130 EN, Avrupa Birliği Yayın Ofisi, Lüksemburg, ISBN 978-92-79-80287-4, doi:10.2760/847068, JRC110927.

Bisselink B, Bernhard J, Gelati E, Adamovic M, Guenther S, Mentaschi L, Feyen L, de Roo A (2020). Climate change and Europe's water resources, EUR 29951 EN, Avrupa Birliği Yayın Ofisi, Lüksemburg, ISBN 978-92-76-10398-1, doi: 10.2760/15553, JRC118586.

Blanco M, Ramos F, Van Doorslaer B, Martínez P, Fumagalli D, Ceglar A ve Fernández F J (2017). İklim değişikliğinin AB tarımı üzerindeki etkileri: Pazar odaklı düzenlemeleri dikkate alan bölgeselleştirilmiş bir bakış açısı. *Agricultural Systems*, doi:10.1016/j.agry.2017.05.013

Britz W ve Witzke P (2014). CAPRI model dokümantasyonu model.org/docs/CAPRI_documentation.pdf2014. <http://www.capri->

Cammalleri C, Naumann G, Mentaschi L, Formetta G, Forzieri G, Gosling S, Bisselink B, De Roo A, Feyen L (2020). Global warming and drought impacts in the EU, EUR 29956 EN, Avrupa Birliği Yayın Ofisi, Lüksemburg, ISBN 978-92-76-12947-9, doi:10.2760/597045, JRC118585.

Ciscar, J C, Iglesias A, Feyen L, Szabó L, Van Regemorter D, Amelung B, Nicholls R, Watkiss P, Christensen O B, Dankers R, Garrote L, Goodess C M, Hunt A, Moreno A, Richards J ve Soria A (2011). Avrupa'da iklim değişikliğinin fiziksel ve ekonomik sonuçları. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, doi:10.1073/pnas.1011612108.

Costa H, de Rigo D, Libertà G, Houston Durrant T, San-Miguel-Ayanz J (2020). European wildfire danger and vulnerability in a changing climate: towards integrating risk dimensions, EUR 30116 EN, Avrupa Birliği Yayın Ofisi, Lüksemburg, ISBN: 978-92-76-16898-0, doi:10.2760/46951, JRC119980.

de Wit A, Boogaard H, Fumagalli D, Janssen S, Knapen R, van Kraalingen D, Supit I, van der Wijngaart R, van Diepen K (2019). WOFOST ekim sistemleri modelinin 25 yılı. *Agricultural Systems*, doi:10.1016/j.agry.2018.06.018m.

de Rigo D, Houston Durrant T, Caudullo G ve Barredo J I (2016). Avrupa ormanları: ekolojik bir bakış. İçinde: San-Miguel-Ayanz J, de Rigo D, Caudullo G, Houston Durrant T ve Mauri A (Eds.), *Avrupa Orman Ağacı Türleri Atlası*. Avrupa Birliği Yayınlar Ofisi, Lüksemburg, s. e01e873+. <https://w3id.org/mtv/FISEComm/v01/e01e873>.

de Rigo D, Libertà G, Houston Durrant T, Artés Vivancos T ve San-Miguel-Ayanz J (2017). İklim değişikliği altında Avrupa'da orman yangını tehlikesi ekstremeleri: değişkenlik ve belirsizlik. *Avrupa Birliği Yayınlar Ofisi, Lüksemburg*, ISBN:978-92-79-77046-3, <https://doi.org/10.2760/13180>.

Després J, Keramidas K, Schmitz A, Kitous A ve Schade B (2018). POLES-JRC model dokümantasyonu - 2018 güncellemesi, EUR 29454 EN, Avrupa Birliği Yayınlar Ofisi, Lüksemburg, ISBN 978-92-79-97300-0, doi:10.2760/814959, JRC113757.

Després J ve Adamovic M (2020). İklim değişikliğinin elektrik üretimi üzerindeki mevsimsel etkileri. EUR 29980 EN, Avrupa Birliği Yayınlar Ofisi, Lüksemburg, ISBN 978-92-76-13095-6, doi:10.2760/879978, JRC118155.

- Dosio A (2020). Avrupa'da 1,5, 2 ve 3°C küresel ısınma altında ortalama ve aşırı iklim, EUR 30194 EN, Avrupa Birliği Yayınlar Ofisi, Lüksemburg, ISBN 978-92-76-18430-0, doi:10.2760/826427, JRC120574.
- Dottori F, Mentaschi L, Bianchi A, Alfieri L ve Feyen L (2020). İklim değişikliği altında AB'de artan nehir taşkın riskine uyum sağlama, EUR 29955 EN, Avrupa Birliği Yayın Ofisi, Lüksemburg, ISBN 978-92-76- 12946-2 , doi: 10.2760/14505, JRC118425.
- Avrupa Komisyonu (2014). 2015 Yaşlanma Raporu. Temel Varsayımlar ve Projeksiyon Metodolojileri. AVRUPA EKONOMİSİ 8/2014.
- Forzieri G, Feyen L, Rojas R, Flörke M, Wimmer F ve Bianchi A (2014). Avrupa'da gelecekteki akarsu akışı kuraklıklarının topluluk projeksiyonları. *Hydrology and Earth System Sciences*, doi:10.5194/hess-18-85-2014.
- Forzieri G, Cescatti A, e Silva F B ve Feyen L (2017). Avrupa nüfusu için hava koşullarına bağlı tehlikelerin zaman içinde artan riski: Veri odaklı bir prognostik çalışma. *The Lancet Planetary Health*, doi:10.1016/S2542-5196(17)30082-7.
- Forzieri G, Girardello M, Ceccherini G, Mauri A, Spinoni J, Beck P, Feyen L ve Cescatti A (2020). Vulnerability of European forests to natural disturbances, EUR 29992 EN, Avrupa Birliği Yayınlar Ofisi, Lüksemburg, ISBN 978-92-76-13884-6, doi: 10.2760/736558, JRC118512.
- Havik K, Mc Morrow K, Orlandi F, Planas C, Raciborski R, Röger W, Rossi A, Thum-Thysen A, Vandermeulen V (2014). Potansiyel büyüme oranları ve çıktı açıklarının hesaplanması için üretim fonksiyonu metodolojisi. *EUROPEAN ECONOMY, Economic Papers* 535.
- Hristov J, Toreti A, Pérez Domínguez I, Dentener F, Fellmann T, Elleby C, Ceglar A, Fumagalli D, Niemeyer S, Cerrani I, Panarello L ve Bratu M (2020). İklim değişikliğinin 2050 yılına kadar AB tarımı üzerindeki etkilerinin analizi, EUR 30078 EN, Avrupa Birliği Yayınlar Ofisi, Lüksemburg, ISBN 978-92-76-10617-3, doi: 10.2760/121115, JRC119632.
- Körner C ve Paulsen J (2004). Yüksek irtifa ağaç çizgisi sıcaklıkları üzerine dünya çapında bir çalışma. *Journal of Biogeography*, doi:10.1111/j.1365-2699.2003.01043.x.
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. (2006). Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasının Dünya Haritası güncellendi. *Meteorologische Zeitschrift*, doi:10.1127/0941-2948/2006/0130.
- Maule C F, Mendlik T ve Christensen O B (2017). İki derece daha sıcak bir dünyaya giden yolun Avrupa'nın bölgesel sıcaklık değişimi üzerindeki etkisi. *İklim Hizmetleri*, doi.org/10.1016/j.cliser.2016.07.002.
- Mentaschi L, Voudoukas M, Voukouvalas E, Sartini L, Feyen L, Besio G ve Alfieri L (2016). Dönüştürülmüş durağan yaklaşım: Durağan olmayan uç değer analizi için genel ve basitleştirilmiş bir metodoloji. *Hydrology and Earth System Sciences*, doi:10.5194/hess-20-3527-2016.
- Outten S D ve Esau, I. (2013). ENSEMBLES bölgesel iklim modellerinde Avrupa üzerindeki aşırı rüzgarlar. *Atmospheric Chemistry and Physics*, doi:10.5194/acp-13-5163-2013.
- Naumann G, Russo S, Formetta G, Ibarreta D, Forzieri G, Girardello M ve Feyen L (2020). Global warming and human impacts of heat and cold extremes in the EU, EUR 29959 EN, Avrupa Birliği Yayın Ofisi, Lüksemburg, ISBN 978-92-76-12954-7, doi:10.2760/47878, JRC118540.
- Pycroft J, Abrell J ve Ciscar J C (2016). Aşırı deniz seviyesi yükselmesinin küresel etkileri: Kapsamlı bir ekonomik değerlendirme. *Çevre ve Kaynak Ekonomisi*, doi:10.1007/s10640-014-9866-9.
- Russo, S., Sillmann, J., & Fischer, E. M. (2015). 1950'den bu yana Avrupa'daki ilk on sıcak hava dalgası ve bunların önümüzdeki on yıllarda görülme sıklığı. *Environmental Research Letters*, 10(12), doi:10.1088/1748-9326/10/12/124003.
- Spinoni J, Formetta G, Mentaschi L, Forzieri G ve Feyen L (2020). Global warming and windstorm impacts in the EU, EUR 29960 EN, Avrupa Birliği Yayınlar Ofisi, Lüksemburg, ISBN 978-92-76-12955-4, doi:10.2760/039014, JRC118595.
- Szewczyk, W., Feyen, L., Matei, A., Ciscar, J.C., Mulholland, E., Soria, A. (2020). *Seçilmiş iklim etkilerinin ekonomik analizi*, EUR 30199 EN, Avrupa Birliği Yayınlar Ofisi, Lüksemburg, ISBN 978-92-76- 18459-1, doi: 10.2760/845605, JRC120452.
- Birleşmiş Milletler (2015). Dünya Nüfus Beklentileri: 2015 Revizyonu, Birleşmiş Milletler nüfus tahminleri ve projeksiyonları metodolojisi. ESA/P/WP.242. Birleşmiş Milletler, Ekonomik ve Sosyal İşler Departmanı.

van der Knijff J M, Younis J ve de Roo A P (2010). LISFLOOD: Nehir havzası ölçeğinde su dengesi ve taşkın simülasyonu için CBS tabanlı dağıtık bir model. *International Journal of Geographical Information Science*, doi:10.1080/13658810802549154.

Van Vuuren D P, Edmonds J, Kainuma M, Riahi K, Thomson A, Hibbard K, Hurtt G C, Kram T, Krey V, Lamarque J- F, Masui T, Meinshausen M, Nakicenovic N, Smith S J ve Rose S K (2011). Temsili konsantrasyon yolları: Genel bir bakış. *Climatic Change*, 109 (1), pp. 5-31. doi:10.1007/s10584-011-0148-z.

Vousdoukas M I, Mentaschi L, Voukouvalas E, Verlaan M ve Feyen L (2017). Avrupa kıyılarında aşırı deniz seviyeleri yükseliyor. *Earth's Future*, doi:10.1002/2016EF000505.

Vousdoukas M I, Mentaschi L, Voukouvalas E, Bianchi A, Dottori F ve Feyen L (2018). Avrupa'da gelecekteki kıyı taşkın riskinin iklimsel ve sosyoekonomik kontrolleri. *Nature Climate Change*, doi:10.1038/s41558- 018-0260-4.

Vousdoukas M, Mentaschi L, Mongelli I, Ciscar JC, Hinkel J, Ward P, Gosling S ve Feyen L (2020). Adapting to rising coastal flood risk in the EU under climate change, EUR 29969 EN, Avrupa Birliği Yayın Ofisi, Lüksemburg, ISBN 978-92-76-12990-5, doi:10.2760/456870, JRC118512.

Dünya Meteoroloji Örgütü (2019). The Global Climate in 2015-2019. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=9936

Şekillerin listesi

Şekil 1. Proje metodolojisine genel bakış	14
Şekil 2. yıllık ortalama sıcaklık üst paneller yağışta paneller referansa 1981-2010 meydana gelen değişiklikler PESETA IV'te kullanılan üç küresel ısınma senaryosu (öncesi 1,5°C, 2°C ve 3°C daha sıcak için) ve (alt) göre () sanayi)	20
Şekil 3. yaz sıcaklığı üst paneller paneller referans döneme 1981-2010 değişimler PESETA IV'te kullanılan üç küresel ısınma senaryosu (öncesi 1,5°C, 2°C ve 3°C daha sıcak için) ve yağışta (alt) () göre sanayi)	21
Şekil 4. PESETA IV'te kullanılan üç küresel ısınma senaryosu için kış sıcaklığı (üst paneller) yağışta (alt paneller) referansa (1981-2010) göre değişiklikler. PESETA IV'te kullanılan üç küresel ısınma senaryosu (sanayi öncesi 1,5°C, 2°C ve 3°C daha sıcak için ve)	22
Şekil 5. Avrupa'da insanların sıcak hava dalgalarına maruz ve ölümler	23
Şekil 6. Avrupa'da soğuk hava dalgalarına maruz kalan insanlar ve ölümler	24
Şekil 7. Her bölgenin (kuzey Avrupa, orta-batı , doğu ,alan % olarak) Avrupa Avrupa güney Avrupa) 100 değişimin değişim) önemli bir artış (koyu mavi), yok (gri) ve azalma (açık mavi) oranı yıllık rüzgar hızında (>0.3 m/s ve 2/3 model işareti konusunda hemfikirse anlamlıdır) ve sayısında değişimin sakin gün (>5 gün ve 2/3 model işareti konusunda hemfikirse değişim anlamlıdır) değişim olan (. İç (dış) daire 1,5°C (3°C) ısınmayı temsil etmektedir	26
Şekil 8. Mevcut sosyoekonomik koşulların devam varsayımıyla AB ve Birleşik Krallık için yıllık rüzgar kayıpları gelecekte de edeceği	27
Şekil 9. göre 2100 yılındaki sosyoekonomik koşullar varsayıldığında AB ve Birleşik Krallık için yıllık rüzgar kayıpları ECFIN Yaşlanma Raporuna	27
Şekil 10. Referans dönemde Referans dönemde su kıtlığı gün sayısı (WEI+ 0,2'den büyük, bkz. Yaklaşım) ve yaşanan küresel ısınma ile öngörülen değişiklikler	29
Şekil 11. AB ve Birleşik Krallık'ta su stresi (WEI+> 0.2, bkz. Yaklaşım) ve şiddetli bölgelerde yaşayan nüfus farklı küresel ısınma seviyeleri için (WEI+> 0.4) su stresi olan	30
Şekil 12. Avrupa alt bölgeleri için Avrupa için 1981-2010 dönemine kıyasla kuraklık oluşumundaki değişikliklere maruz kalan alanın oranı alt bölgeleri	32
Şekil 13. Mevcut sosyoekonomik varsayımıyla AB + Birleşik Krallık için kuraklıktan kaynaklanan ortalama yıllık kayıpları koşulların gelecekte de devam edeceği	33
Şekil 14. AB ülkeleri için AB ülkeleri için mevcut yıllık kayıplar (EAD € milyar/yıl, 2015 değerleri) ve küresel ısınma ile birlikte + Mevcut sosyo-ekonomik koşulların gelecekte de devam edeceği varsayımıyla, bölgelere göre Birleşik Krallık. Her bir çubuğun üst kısmı ortalama tahmini, dikey çizgiler ise iklim belirsizliğini göstermektedir	33
Şekil 15. AB ve Birleşik Krallık için yılındaki sosyoekonomik koşullar varsayıldığında kuraklıktan kaynaklanan ortalama yıllık kayıpları 2015 Yaşlanma Raporu'na göre 2100	34
Şekil 16. AB ve Birleşik Krallık için günümüzde ve yıllık taşkın hasarı ve nehir taşkınına maruz kalan nüfus 2100 yılına kadar farklı küresel ısınma seviyeleri için sırasıyla adaptasyonlu ve adaptasyonsuz . "Adaptasyon yok" senaryosu, günümüzdeki taşkın koruma önlemlerini ifade etmektedir. "Adaptasyon" senaryosudayanmaktadır, fazla taşkın suyunu en üst düzeye çıkaracak bir koruma seviyesine kadar depolamak için tutma alanlarının uygulanmasına ekonomik faydalarını	35
Şekil 17. PESETA IV. te ele alınan dört adaptasyon stratejisinin analizinin ana sonuçlarının özeti PESETA IV'. Sonuçların ortalaması AB düzeyinde alınmış ve gelecekteki sosyoekonomik koşullar dikkate alınarak hesaplanmıştır 1,5°C, 2°C ve 3°C ısınma senaryoları altında (2100 ekonomisi)	36
Şekil 18. olmadığı ve varsayımıyla 2100 yılında beklenen yıllık hasarın karşılaştırılması Adaptasyonun üç farklı adaptasyon stratejisinin uygulandığı . Sonuçlar 2°C'lik bir ısınma varsayılarak hesaplanmıştır senaryosu	37

Şekil 19. AB ve Birleşik Krallık için günümüzde ve 2100 yılında kıyı taşkınlarına maruz kalan yıllık hasar ve nüfussırasıyla adaptasyonlu ve adaptasyonsuz olmak üzere iki emisyon senaryosu altında . Adaptasyon için bentler, bir yükseltir.ekonomik faydalarını en üst düzeye koruma seviyesine	38
Şekil 20. Adaptasyon olmadan ve adaptasyonla birlikte ulusal yıllık hasar (2100'e kadar yüksek emisyonlar).	39
Şekil 21. yüksek ila aşırı yangın tehlikesi olan yıllık ilave gün sayısı günlük Yangın Hava Durumu EndeksiGünümüze kıyasla (1981-2010) farklı küresel ısınma seviyeleri için (30, bkz. Yaklaşım).....	41
Şekil 22. Küresel ısınma ile ekolojik alan bileşenlerinde öngörülen değişiklikler, günümüze göre (1981-2010) 42	
Şekil 23. Alp tundrasında günümüze kıyasla öngörülen küçülme (%)	44
Şekil 24. Natura 2000 alanlarındaki alpin tundralarda günümüze kıyasla öngörülen küçülme (%).....	45
Şekil 25. Avrupa'daki 16 dağ bölgesi için Avrupa'daki 16 dağ bölgesi için mevcut durumda ve 1,5°C, 2°C ve 3°C iklimsel ağaç çizgisi yüksekliğıısınma senaryolarında . Beyaz çizgiler her bölge için etkileri gruplandırmaktadır. Düz ve kesikli çizgiler en iyi regresyon uyumunu göstermektedirher senaryo için	45
Şekil 26. Avrupa'daki ormanların büyük doğal bozulmalara karşı hassasiyeti, payı (% olarak) olarak ifade edilmiştirbir bozulma durumunda kaybedilecek biyokütleinin . Orman örtüsü oranı %10un altında olan alanlar 'maskelenmiştir (gri renkte)	47
Şekil 27. Üç ana için orman, iklim ve peyzaj özelliklerinin orman kırılganlığına katkısıbozulma türü	48
Şekil 28. Biyofiziksel değerlendirme sonuçları. Biyofiziksel değerlendirmenin sonuçları, verimdene mısır ortalama değişikliklerini göstermektediram paneller, 1,5°C sol ve 2°C (sağ ısınma senaryoları için göre (%) sulama koşulları ("potansiyel "; üst) veya gelecekte sulama yapılmayacağı "yağmurla beslenen "; alt paneller) varsayılarak) başlangıca panellerpaneller. Tarama, küresel ısınmaya model tepkilerinde düşük uyumun olduğu alanları gösterir	50
Şekil 29. dayalı 2050 yılında kuzey ve güney Avrupa için ürün verimi değişiklikleri (%). Piyasa hesaba katıldığında biyofiziksel modelleme (WOFOST, ISI-MIP) ve ekonomik modellemeye (CAPRI) (ayarlamaları Yatay çizgiler topluluk medyanını, kutular ise 25 ^{inci} ve 75 ^{inci} yüzdalik dilimleri göstermektedir. Bu senaryoda 2050 yılındaki ısınma yaklaşık 2°C'ye karşılık gelmektedir.	52
Şekil 30. İklim değişikliğinin İklim değişikliğinin Avrupa'da elektrik üretimi üzerindeki etkileri (iklim topluluklarının medyan değerleri). Günümüz enerji sistemine uygulanan 1,5°C, 2°C ve 3°C küresel ısınmanın etkileri (statik) ve senaryo2°C azaltım senaryosuna (dinamik senaryo) uygun 2050 enerji sistemine 2°C ısınmanın etkileri, olaraksu soğutmanın adaptasyonu ile ve adaptasyonu olmadan. Not: "diğer termal" biyokütle, kömür, gaz ve petrol ifade etmektedirsantrallerini	53
Şekil 31. AB ve ısınma seviyelerinde dikkate alınan iklim etkilerinden kaynaklanan refah kaybı (GSYH'nin %'siBirleşik Krallık ve makro bölgeler için) (bkz. Yaklaşım). Sonuçlar, ısınma seviyelerinin olması durumundarefahtaki değişimi temsil etmektedirmevcut ekonomi üzerinde etkili , mevcut iklim altındaki mevcut ekonomiye kıyasla	57
Şekil 32. ısınma insan ölümleri hariçdikkate alınan iklim etkilerinden kaynaklanan refah kaybı (GSYH'nin %'siAB ve Birleşik Krallık ve makro bölgeler için seviyelerinde ,) (bkz. Yaklaşım). Sonuçlar, durumunda, değişimi temsil etmektedirısınma seviyelerinin mevcut ekonomi üzerinde etkili olmasımevcut iklim altındaki mevcut ekonomiye kıyasla refahtaki.....	57

Tabloların listesi

Tablo 1. PESETA IV PESETA IV'teki etki modellenmesine genel bakış	17
--	-----------

AB İLE İLETİŞİME GEÇMEK

Şahsen

Avrupa Birliği'nin her yerinde yüzlerce Europe Direct bilgi merkezi bulunmaktadır. Size en yakın merkezin adresini şu adreste bulabilirsiniz: https://europa.eu/european-union/contact_en

Telefonda veya e-posta ile

Europe Direct, Avrupa Birliği hakkındaki sorularınızı yanıtlayan bir hizmettir. Bu hizmetle iletişime geçebilirsiniz:

- ücretsiz telefonla: 00 800 6 7 8 9 10 11 (bazı operatörler bu aramalar için ücret talep edebilir),
- aşağıdaki standart numaradan ulaşabilirsiniz: +32 22999696 veya
- elektronik posta yoluyla: https://europa.eu/european-union/contact_en

AB HAKKINDA BİLGİ BULMA

Çevrimiçi

Avrupa Birliği hakkında AB'nin tüm resmi dillerinde bilgi Europa web sitesinde mevcuttur: https://europa.eu/european-union/index_en

AB yayınları

Ücretsiz ve fiyatlı AB yayınlarını <https://publications.europa.eu/en/publications> . adresindeki AB Kitapçısı'ndan indirebilir veya sipariş edebilirsiniz Europe Direct veya yerel bilgi merkezinizle irtibata geçerek ücretsiz yayınların birden fazla kopyasını edinebilirsiniz (bkz. https://europa.eu/european-union/contact_en).

Avrupa Komisyonu'nun bilim ve bilgi hizmeti

Ortak Araştırma Merkezi

JRC Misyonu

Avrupa Komisyonu'nun bilim ve bilgi hizmeti olarak Ortak Araştırma Merkezi'nin misyonu, AB politikalarını tüm politika d6ngüsü boyunca bağımsız kanıtlarla desteklemektir.



EU Science Hub

ec.europa.eu/jrc

WEU ScienceHub

AB Bilim Merkezi Ortak Araştırma Merkezi

AB Bilim, Araştırma ve İnovasyon AB Bilim Merkezi