



Bölgesel çalışmalarda iklim modeli seçiminin optimize edilmesi uyarlanabilir hava türüne dayalı bir çerçeve: Belçika'daki aşırı sıcaklık için bir vaka çalışması

Ateşli Serras¹ · Kobe Vandelanotte^{2,3} · Ruben Borgers¹ · Bert Van Schaeybroeck^{2,4} · Piet Termonia^{2,3} ·
Matthias Demuzeres¹ · Nicole PM van Lipzig¹

Alındı: 5 Nisan 2024 / Kabul edildi: 30 Ağustos 2024 / Çevrimiçi yayımlandı: 14 Eylül 2024
© Yazar(lar) 2024

Soyut

İklim modeli projeksiyonlarını seçmek bölgesel ve yerel çalışmalar için yaygın bir uygulamadır. Bu süreç genellikle sinoptik değişkenler yerine yerel değişkenlere dayanır. Sinoptik hava tipleri dikkate alındığında bile, bunlar ilgi duyulan değişken veya iklim etkisi sürücüsüyle ilişkili değildir. Bu nedenle, çoğu seçim prosedürü atmosfer dinamiklerini ve iklim değişikliği etki belirsizliklerini yeterince hesaba katmayabilir. Bu çalışma, bu eksikliklerin her ikisini de ele alan bir seçim metodolojisi özetlemektedir. Metodolojimiz ilk olarak Lamb Hava Tipi sınıflandırmasını ilgi duyulan değişken ve bölge için optimize eder. Bir sonraki adımda, Küresel İklim Modelleri'ndeki (GCM'ler) tarihsel sinoptik dinamiklerin temsili değerlendirilir ve buna göre düşük performanslı modeller hariç tutulur. Son adımda, ilgi duyulan etkiyle ilgili iklim değişikliği sinyallerini ölçen endeksler tanımlanır. Bu endeksleri kullanarak, bir puanlama yöntemi GCM'lerin uygunluğunu değerlendirmekle sonuçlanır. Metodolojinin uygulanabilirliğini göstermek için Belçika'daki aşırı sıcaklık vaka çalışması yürütülmüştür. Bu çerçeve, çeşitli iklim değişkenleri ve etki sürücüleri için model topluluğu tabanlı araştırmalarda uygulanabilir, ilgili iklim projeksiyonlarının seçilmesi için kapsamlı bir yöntem sunmaktadır.

Anahtar kelimelerCMIP6 · Model seçimi · Lamb Weather Tip sınıflandırması · Aşırı sıcaklık

1 Giriş

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC) Altıncı Değerlendirme Raporu [AR6, IPCC (2023)] büyük ölçüde Eşleştirilmiş Model Karşılaştırma Projesinin altıncı nesline dayanmaktadır (CMIP), CMIP6 olarak gösterilir (Eyring ve ark.2016). CMIP6 Küresel İklim Modelleri'nde (GCM'ler) önemli geliştirmeler yapıldı ve bu da

örneğin Fan ve diğerleri tarafından belgelendiği gibi önceki CMIP nesillerine göre genel olarak daha iyi bir performansla (2020) ve Markalar (2022a) ve daha yüksek bir küresel iklim duyarlılığı (Zelinka ve diğerleri).2020; De ve diğerleri.2022). IPCC (2023) hatta "etki ve risk değerlendirmeleri için bölgesel ölçeklerde sağlam iklim bilgilerinin giderek daha fazla mevcut olduğunu" belirterek, GCM'lerin bölgesel ölçekte karar almada kullanılmak üzere yeterince gelişmiş hale geldiğini belirtmektedir. Ancak, kullanım

* Ateşli Serras
fien.serras@kuleuven.be

Kobe Vandelanotte
kobe.vandelanotte@meteo.be

Ruben Borgers
ruben.borgers@kuleuven.be

Bert Van Schaeybroeck
bert.vanschaeybroeck@meteo.be

Piet Termonia
piet.termonia@meteo.be

Matthias Demuzeres
matthias@b-kode.be

Nicole Başbakan van Lipzig
nicole.vanlipzig@kuleuven.be

¹ Dünya ve Çevre Bilimleri Bölümü, KU Leuven, 3000 Leuven, Belçika

² Meteoroloji ve İklim Araştırmaları Departmanı, Kraliyet Meteoroloji Enstitüsü, 1180 Brüksel, Belçika

³ Gent Üniversitesi, Fizik ve Astronomi Bölümü, 9000 Gent, Belçika

⁴ Coğrafya Bölümü, Gent Üniversitesi, 9000 Gent, Belçika

⁵ B-Kode VOF, 9000 Gent, Belçika

GCM verilerinin yerel ölçekli analizler için kullanılması ihtiyatla karşılanmalıdır (Gualdi ve ark.2013).

Avrupa iklimi için, Brunner ve diğeri gibi kapsamlı çalışmalarla kanıtlandığı üzere, çok sayıda CMIP6 modeli kapsamlı bir değerlendirmeden geçmiştir.2020 ve Markalar (2022a). Bu analizlerin çıktıları, EURO-CORDEX (Koordineli Bölgesel İklim Küçültme Deneyi) topluluğu tarafından önerilen dinamik küçültme için bir seçim prosedürüne dahil edildi (Sobolowski ve diğeri. 2023). Seçim kriterleri arasında planlanan analizler için veri bulunabilirliği, genel olarak iyi performans gösteren modellerin seçimi ve gelecekteki iklim değişikliği sinyalinin yayılması yer alır. Bu kılavuzlar ve Sobolowski ve diğeri tarafından başlangıçta önerilen modeller (2023) Avrupa genelindeki araştırma gruplarına çeşitli analizler için model seçimlerinde yardımcı olmuştur, model performansının değerlendirilmesi çok çeşitli değişkenler ve tüm Avrupa için bütünsel olarak yürütülmektedir. Bu nedenle, belirli iklim etkisi sürücüler ve farklı coğrafi bölgeler için optimize edilmemiştir. Bu, bazı modellerin kıyı bölgeleri gibi belirli bölgelerde mükemmel olabilmeye karşın dağlık araziler gibi diğeriinde yetersiz kalabilmesi nedeniyle bir rol oynayabilir (Markalar 2022a; Di Virgilio ve diğeri.2022). Ayrıca, bazı modeller belirli değişkenler için daha uygun olabilir (Kotlarski ve diğeri. 2014). McSweeney ve diğeri (2015Örneğin,), yüzey sıcaklığı ve yağış konusunda kapsamlı bir analiz gerçekleştirmiş, geniş bölgeler için modeller değerlendirmiş ve temel değişkenlerdeki potansiyel aralıkları incelemiştir.

Vautard ve diğeriinin çalışmasında gösterildiği gibi, iklim modellerindeki sinoptik ölçekli desenleri anlamak esastır.2023) sıcak hava dalgaları üzerine. CMIP6 modellerinin termodinamiğin Avrupa'da sıcaklık artışını nasıl yönlendirdiğini etkili bir şekilde yakalamasına rağmen, modellerin genellikle bu sıcaklık değişimlerinde dinamik süreçlerin oynadığı önemli rolü göz ardı ettiğini gösteriyorlar. Dahası, yazarlar Batı Avrupa'daki aşırı sıcaklıklardaki hafife alınan eğilimden model dinamiklerinin sorumlu olduğunu öne sürüyorlar. Diğer çalışmalarda, hava türlerine dayalı sinoptik ölçekli atmosfer dinamiklerinin bir değerlendirme yöntemi daha fazla ilgi görüyor ve örneğin Otero ve diğeri tarafından inceleniyor (2018), Markalar (2022a) ve Fernández-Granja ve ark. (2023). Hava tipleriyle ilgili olarak, bölgesel iklimin belirli değişkenler üzerindeki etkisini anlamak için farklı çalışmalarda kullanılmış olan Lamb Hava Tipi sınıflandırması (LWT) çok yaygın bir yöntemdir. Örneğin, Brisson ve ark. (2011) kıyı bölgelerindeki yağış üzerinde hava tiplerinin etkisini göstererek, belirli hava tiplerini "ıslak" olarak nitelendirdi. Tomczyk ve Owczarek'in bir başka çalışması (2020) Polonya'da ısı stresinin ortaya çıkmasını yüksek basınç sistemlerinin varlığıyla ilişkilendirmiştir. Ayrıca, Hoogeveen ve Hoogeveen (2023) artan sıcaklıklar ile hava akışının kaynağı arasındaki ilişkiyi incelemek için sıcaklığa özgü bir hava durumu sınıflandırması geliştirdi.

Ancak, bildiğimiz kadarıyla, model seçimi için iklim etkisi sürücüsüne göre uyarlanmış hava durumu tiplerini kullanan bir yöntem şimdiye kadar önerilmemiştir. Hava durumu tiplerinin hem bölge hem de ilgi duyulan değişken üzerindeki kanıtlanmış etkisi, her iki yönü de entegre eden bir metodolojiye olan ihtiyacı vurgulamaktadır. İklim projeksiyonlarına dayanan ve sinoptik hava durumu tiplerine dayanan büyük simülasyon topluluklarının uyarlanmış seçimi için kapsamlı bir çerçeve, sinoptik desenlerdeki değişiklikleri analiz etme ve ilgili modelleri küçültme gibi çeşitli amaçlar için faydalı olabilir.

Bu çalışma, sinoptik hava tipleri ile ilgi duyulan değişkenler arasında bir bağlantı kuran ve önceden belirlenmiş etkilere dayalı modellerin değerlendirilmesini sağlayan bir seçim metodolojisi önermektedir. Sobolowski ve diğeri tarafından önerilen kılavuzlardan ilham alınarak (2023) ve McSweeney ve diğeriinin analizi (2015), bu çalışma bu prensipleri uyarlar ve genişletir ve bir seçim metodolojisi formüle eder. Bu yaklaşım, hem en uç hem de en uç model üyelerinin yanı sıra belirli bir bölge ve ilgi değişkeni için ortalama bir sinyale sahip modellerin tanımlanmasını kolaylaştırır ve böylece ilgili iklim projeksiyonlarına dayalı bilgilendirilmiş bir karar alma sürecine katkıda bulunur.

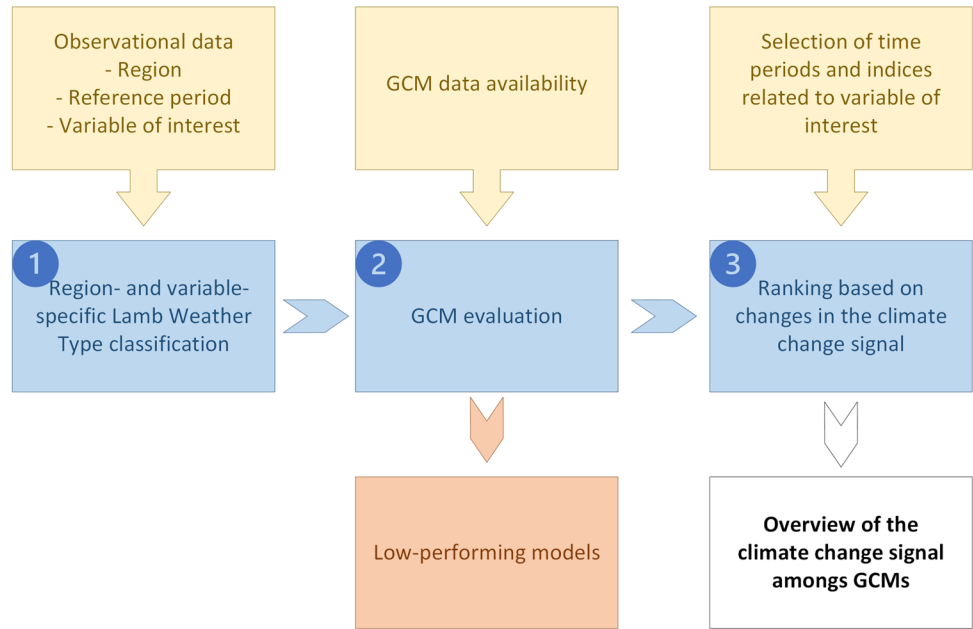
2 Malzemeler ve yöntemler

2.1 Seçim metodolojisine genel bakış

İlgi duyulan bir bölge üzerindeki belirli bir iklim değişikliği sinyali veya iklim etkisi sürücüsü için en uygun modelleri seçmek amacıyla, Şekil 2'de özetlenen metodolojiyi geliştirdik.1.

Metodoloji, her biri aşağıdaki bölümlerde açıklanan üç ana adımdan oluşur. Daha önce tanımlanmış iklim değişikliği sinyali (örn. aşırı sıcaklık) veya iklim etkisi sürücüsü, metodolojinin farklı adımlarında kullanılacak bir veya daha fazla ilgi değişkeni (örn. maksimum sıcaklık) ile tanımlanabilir. İlk adımda (Bölüm.2.1.1), gözlemsel veriler mevcut Lamb Hava Durumu Tipi sınıflandırmasını değişken ve bölgeye özgü bir sınıflandırmaya ayarlamak için kullanılır. İkinci adım (Bölüm.2.1.2) farklı GCM'lerin atmosfer dinamiklerinin değerlendirilmesinden oluşur ve daha sonra hava durumu türleri gözlemsel veri kümesiyle zayıf bir şekilde eşleşen düşük performanslı GCM'leri eler. Bu adımın pratik değerlendirmeleri, değişken ve ilgi alanı verildiğinde veri kullanılabilirliği etrafında döner. Üçüncü adım (Bölüm. 2.1.3) kalan modelleri, ilgi değişkeni için iklim değişikliği sinyaline ilişkin bir dizi endekse göre sınıflandırır. Bu endeksler ilgi değişkenine bağlıdır. Veri kullanılabilirliği yine önemli bir pratik husus olabilir. Bu metodoloji, farklı GCM'ler arasındaki iklim değişikliği sinyallerinin genel bir görünümünü sağlar. Bu genel görünüm, pratik

Şekil 1 Seçim metodolojisinin farklı adımlarına genel bakış. Üst sıradaki kutular her adım için gereklilikleri temsil eder. İkinci sıradaki kutular seçim sürecinin farklı adımlarını gösterir ve sayılar ilgili adımları gösterir. Alt sıra ilişkili adımın sonuçlarıyla ilgilidir



Son karar için dikkate alınması gereken hususlar, örneğin belirli bir Bölgesel İklim Modeli (RCM) için sürüş verilerinin mevcut olduğu GCM'lerin alt kümesi.

2.1.1 Bölgeye ve değişkene özgü LWT sınıflandırması

Örneğin Huth ve ark.'nın önceki çalışmalarını takiben (2008), Demuzere ve diğerleri (2009) ve Markalar (2022a), farklı GCM'lerin değerlendirilmesi, bu modellerin Lamb Hava Tiplerinin (LWT) görülme sıklığının tarihsel dönemdeki bir referans veri setininkilerle karşılaştırılmasıyla gerçekleştirilir. Bu sınıflandırma yönteminin başlıca avantajlarından biri, farklı LWT'lerin rüzgar hızı, yağmur ve sıcaklık gibi yüzey değişkenlerine bağlanabilmesidir (Jones ve diğerleri.1993; Trigo ve DaCamara2000). Birçok çalışma (örneğin Jones ve ark.1993; Trigo ve DaCamara2000; Brands ve diğerleri. 2014) bu dolaşım modellerinden bazılarının ve belirli hava olaylarının güçlü bir şekilde ilişkili olduğunu, bu ilişkilerin bölgeye göre de değiştiğini kanıtlamıştır (Jones vd. 1993; Trigo ve DaCamara2000; Brands ve diğerleri.2014). Örneğin Tomczyk ve Owczarek (2020) Avrupa üzerindeki kalıcı ve yaygın yüksek basınç sistemlerinin sıklıkla bölgesel sirkülasyonu engellediğini ve bunun da çok güçlü ısı stresi dönemlerine yol açtığını buldu. Brunner ve diğerleri (2017) Avrupa'daki atmosferik blokajı sıcaklık uçlarına bağlarken benzer sonuçlar buldular. Ek olarak, hem Trigo hem de DaCamara (2000) ve Brisson ve diğerleri (2011) Portekiz ve Belçika'da belirli hava tiplerinin diğerlerinden önemli ölçüde daha yağışlı günlere neden olduğu sonucuna varmıştı.

Metodolojimizin ilk adımında, mevcut LWT sınıflandırmasının aşağıdakilere dayalı iki ayarlamasını öneriyoruz:

farklı hava türlerinin gruplandırılmasının optimizasyonu. Optimizasyonun amacı hem grup içi ayrımı artırmak hem de ilgi duyulan iklim değişkeninin grup içi değişkenliğini azaltmaktır. Bunu yaparak, bu sınıflandırma belirli bir bölge için belirli bir değişkenin belirli bir sinyali hesaba katmak üzere uyarlanır.

Orijinal 27 tipli LWT sınıflandırması, Ortalama Deniz Seviyesi Basıncının (*MSLP*) sonuç akışını hesaplamak için kullanılır (*A*) ve toplam kayma girdabı (*Z*). Sınıflandırma şunları kullanır: *FVeZHer* anı 27 LWT'den birine sınıflandırmak için (Şekil.2): saf siklonik (C) ve antisiklonik (A) sirkülasyon, 8 saf yönlü tip (K, KD, D,..., KB) ve 16 hibrit tip (A veya C'nin herhangi bir yönlü tipler kombinasyonları) ve 27. tip (LF), düşük akışlı günler nedeniyle sınıflandırılmamış kayıtlar. Bu sınıflandırmayla ilgili ayrıntılar Ek A'da bulunabilir. Orijinal LWT sınıflandırmasına yönelik önerdiğimiz ayarlamalar iki yönlüdür ve 13 tipte azaltılmış LWT ile sonuçlanır (*rLWT*) sınıflandırması:

1. Mevcut hibrit kategorisinin kaldırılması: Tüm hibrit hava tipleri, önceki çalışmalarla (örneğin Trigo ve DaCamara) uyumlu olarak saf yönlü tiplerle birleştirilir.2000; Demuzere ve ark.2009). Sonraki çalışma, hibrit tiplerin görülme sıklığının, ilgi duydukları bölgedeki diğer hava tiplerine kıyasla nispeten küçük olduğunu ve ayrıca, saf yön tipi ile ilgili hibrit tipleri arasındaki farkların, yön tipleri arasındaki farklardan daha küçük olduğunu gösterdi. Bu çalışmada, Ek B'de gösterildiği gibi, karşılaştırılabilir sonuçlar elde edildi.

2. Zayıf/güçlü girdap ayrımının tanıtımı: bu adım dört yeni hava tipinin tanıtımından oluşur. Bunlar, antisiklonik ve siklonik hava tiplerinin zayıf (w) ve güçlü (s) hava tiplerine yani wA, sA ve wC, sC'ye bölünmesiyle, toplam kayma girdabı (Z) için bir ayırma eşiğinin optimize edilmesiyle elde edilir.

Calinski-Harabasz Endeksini kullanıyoruz [Çİ, Calinski ve Harabasz (1974), aynı zamanda Sahte F istatistiği olarak da adlandırılır (Beck ve Philipp2010)], hava türlerinin ve ilişkili iklim değişkeninin gruplandırılmasını optimize etmek için nesne işlevi olarak. Doğrusal Yaklaşımlarla Sınırlanmış Optimizasyon [KOBİLA, Powell (1994)] yöntemi optimizasyon için kullanıldı. COBYLA yöntemi, güven bölgesi stratejisi kullanan simpleks tabanlı, doğrudan arama yöntemidir. Yöntem, geçerli noktanın yakınında doğrusal modeller kullanarak hedef işlevine yaklaşırken, aynı zamanda verilen kısıtlamalara da saygı gösterir (Powell 1994).

The Çİ için KD veri kümesindeki hava durumu türlerinin sayısı
İlgi duyulan değişkenin zaman örnekleri = [1, 2, 3, ..., n] şöyle tanımlanmaktadır: $\sum_{k=1}^K N_k \|A - A_k\|_2$ $\sum_{k=1}^K \sum_{Ben=1}^{N_k} \|D_{Ben} - A_k\|_2$ $\frac{1}{K-1}$ $\frac{1}{N-K}$ -1

Neresi k Ve k zaman örneklerinin sayısı ve İlgi duyulan değişkenin ortalaması k -inci hava türü sırasıyla, A tüm hava tipleri ve üzerindeki ilgi değişkeni için küresel ortalamadır Ben Veri noktasının ilgi değişkeninin değeri Ben hava durumu türü içinde k . Çİ her hava türü içindeki değişkenliği, o hava türünün meydana geldiği farklı zamanlardaki ilgi değişkenini ortalamasına kıyaslayarak ölçer. Ayrıca, her hava türünün ortalamasını küresel ortalamaya kıyaslayarak kümeler arasındaki ayrımı değerlendirir. Daha Yüksek Çİ değerler, ilgi değişkeni için hava türlerinin ve ilgili değerlerin yoğun ve ayrı olduğunu gösterir. Toplam kayma girdabı için optimum ayırma eşiğini belirlemek için, bu eşiği yinelemeli olarak değiştiririz, hava türlerini yeniden sınıflandırırız ve hesaplarız Çİ. Genellikle, net bir kesme değeri yoktur. Çİ, bu nedenle, Calinski ve Harabasz (1974) net bir tepe noktası veya ani bir artış/azalış veren değeri önermektedir. Çİ arsa seçilmelidir. Bu değerler, yerel maksimumları elde etmekten kaçınmak için COBYLA için farklı başlangıç tahminleri olarak kullanıldı. Bu prosedür ek Şekil'de gösterilmiştir. 14.

2.1.2 CMIP6 değerlendirmesi

Geliştirilen bölgesel ve değişkene özgü rLWT sınıflandırması, farklı CMIP6 modellerini değerlendirmek için kullanılır.

sinoptik dinamikleri temsil eder. 13 rLWT'nin her birinin model frekanslarını hesapladık ve bunları referans dönemi için ERA5'ten türetilen ilgili LWT frekanslarıyla karşılaştırdık. Perkins Beceri Puanı [PSS, Perkins ve diğ.eri (2007)] bu frekans dağılımları arasındaki uyumu değerlendirmek için bir ölçüt olarak kullanıldı ve şu şekilde tanımlandı:

$$PSS = \sum_k \text{dakika}(F_{M,k}, F_{O,k}), \quad (2)$$

ile k hava durumu türü, $F_{M,k}$ hava tipinin sıklığı k model dağılımında ve $F_{O,k}$ hava tipinin sıklığı k referans dağılımında. Her iki dağılım arasında mükemmel bir uyum, bir PSS1'in, tam bir uyumsuzluğa yol açması ise PSS0'ın. Ampirik bir istatistiksel kurala göre, tüm modeller PSS altındaki değerler PSS ortalama eksi PSS standart sapmalar daha ileri analizlerden çıkarılmıştır.

2.1.3 İklim değişikliği sinyaline dayalı puanlama

Bu metodolojinin ikinci ve son adımı, gelecekteki bir ilgi dönemi için iklim değişikliği sinyaline dayalı modellerin seçilmesiyle ilgilidir. Bu, ilgi konusu iklim değişikliği sinyaliyle ilgili farklı endekslerin tanımlanmasını gerektirir, örneğin nemli ısı durumunda HUMIDEX veya geri dönüş dönemleri durumunda

(1) aşırı yağış.

Hava durumu türleri ile ilgi değişkeni arasındaki ilişkiyi, ilgi değişkeni için belirli yüzdeliklere ağırlık atayarak ve hava durumu türlerindeki değişimi inceleyerek yeni geliştirilen bir endekste yakalıyoruz. Bu şekilde, ilgi değişkeni ile ilgili birkaç hava durumu türünün oluşumunun değişip değişmeyeceğini ele alıyoruz. Daha spesifik olarak, "Hava Durumu Türü Değişim Endeksi" (WTC) ilgi duyulan değişkenle ilgili hava türlerinin sıklığındaki gelecekteki değişimi ölçmek için (*değişken*). Hesaplama aşağıdaki formüller kullanılır:

$$TCI = \sum_{k=1}^K \Delta F_k, \quad (3)$$

$$k = \sum_{k=1}^K \frac{k}{k}, \quad (4)$$

$$k = \begin{cases} F_{geçmiş}(değişken < x(k) \text{ eğer } x < 50 \\ F_{geçmiş}(değişken \geq x(k) \text{ eğer } x \geq 50 \end{cases} \quad (5)$$

Neresi F_k gelecek arasındaki frekans değişimini ifade eder ve tarihi dönem. Tarihi günlerin sıklığı ($F_{geçmiş}$) hava durumu türüyle ilgili duyulan değişkenin (altında kaldığı yer 50) veya aşar (50), x -inci yüzdelik, her hava türü için bir ağırlıklandırma faktörü olarak kullanılır (tüm hava türleri) için normalleştirilir ve sonuç olarak k .

Farklılaşma $X=50$ yapmak için yapılır *WTCI* genel olarak uygulanabilir, örneğin minimum ve maksimum sıcaklıklar. Yüzdelik değer aşırı olabilir (örneğin %1 veya %99) ancak dağıtımın medyanını da hedefleyebilir (%50). Ek olarak, bu, Bölüm'de tartışılacak olan vaka çalışmasıyla gösterilmiştir.2.3.2.

Tüm endeksler belirlendikten sonra, tüm modeller için genel puan aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

1. Her endeks için her gelecek dönemdeki minimum ve maksimum değeri belirleyin.
2. Endeksleri minimum-maksimum ölçeklemeyi kullanarak ölçeklendirin.
3. Her model için ölçeklenmiş endekslerin ortalamasını alın. Bu, her model için genel puanı verir.

Bu strateji, iklim değişikliği sinyali veya iklim etkisi sürücüsü verildiğinde dahil edilen modeller için genel bir sıralamayla sonuçlanır. Birden fazla endeks kullanıldığında, endeksler arasındaki ilişkiyi hesaba katmak istenebileceğinden, bunların bağımlılığı araştırılmalıdır. Bu tür bir analizin bir örneği, bir ana bileşen analizi gerçekleştirmek olacaktır.

2.2 Veri

2.2.1 ERA5

Beşinci nesil atmosferik yeniden analiz (*ERA5*) Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezi'nin küresel ikliminin *ECMWF* Ocak 1940'tan günümüze kadar olan dönemi kapsar ve yaklaşık çözünürlüktedir.25-(Hersbach ve ark.2023).

Bu çalışma için, CMIP6 tarihsel çalışmalarının çoğunun bitiş tarihini ve Dünya Meteoroloji Örgütü'nün yönergelerini takip ederek 1985-2014 yılları arasındaki ERA5 verilerini kullandık (2017) 30 yıllık dönemleri kullanmak için. Üç değişken kullanıldı: ortalama deniz seviyesi basıncı (*MSLP*), 2 m sıcaklık (*T*) ve 2 m çiğ noktası sıcaklığı (*Çiy*). Ayrıca, ECMWF'nin önerilerine uyararak, günlük minimum ve maksimum sıcaklıklar (*Zaman* ve *Tmaks*, sırasıyla) saatlik 2 m sıcaklık verilerinden (ECMWF) elde edildi (2020). Bağıl nem (*RH2m*) birleştirilerek elde edildi *T* ve *Çiy*. Hesaplamalar için *RH2m* Ek D'ye dahil edilmiştir. ERA5 verileri ortak bir şekilde iki doğrusal olarak interpolate edildi $\times 1$ -örneğin Broderick ve Fealy'yi takip eden ızgara (2015) ve Kim ve diğerleri (2020).

2.2.2 CMIP6

Model başına bir üyeye sahip bir CMIP6 modelleri topluluğu düşünülmüştür. CMIP6 modellerinin bir özeti Tablo'da bulunabilir1 Her model için, tarihsel ve

Paylaşılan Sosyoekonomik Yollar (*SSP*, SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 ve SSP5-8.5 ile sınırlı olmak üzere) tüm gerekli değişkenler günlük sıklıkta mevcutsa korundu (Tablodaki "Korundu"1). Brunner ve diğerlerinin ardından (2020) ve Markalar (2022b), mümkün olan en geniş model bileşeni aralığını dahil etmek için farklı model ailelerinin dikkate alınması önerilir, bu nedenle model aileleri de tabloya dahil edilmiştir. IPCC'nin AR6 raporunda kullandığı sınırlı sayıda model (IPCC2023), veri bulunmaması (örn. AWI-CM-1-1-MR ve CIESM) veya en son yayınlanan verilerdeki bilinen hatalar (örn. CESM2, CESM2-WACCM, ES-DOC'dan elde edilen bilgiler) nedeniyle tüm analize dahil edilmemiştir (2016)]. ERA5 için kullanılan aynı değişkenler, çiğ noktası sıcaklığı hariç ancak bağıl nem dahil olmak üzere çıkarıldı ve aynı kısaltmaları benimsedik. *RH2m* tercih edildi *Çiy* bu daha fazla model için mevcut olduğundan. ERA5'e benzer şekilde, tüm veriler ortak bir şekilde çift doğrusal olarak interpolate edildi $\times 1$ -ızgara.

2.3 Bir vaka çalışmasına uygulanan metodoloji:

Belçika'daki aşırı sıcaklık

Bu bölüm, "Belçika için farklı GWL'ler altında en uç yaz sıcaklığı sinyallerine sahip beş CMIP6 modeli hangileridir?" sorusunu yanıtlamak için geliştirilen seçim metodolojisini kullanır. Belçika'nın nispeten küçük bir ülke olduğu göz önüne alındığında, 50°K-5°D koordinatının Belçika'yı temsil ettiğini düşündük. Bunun metodolojinin uygulamasını göstermek için çok özel bir araştırma sorusu olduğunu ve çerçevenin farklı CMIP6 seçim kriterleri için kullanılabilecek kadar esnek olduğunu unutmayın.

Farklı Küresel Isınma Seviyelerine (GWL) dayalı model dönemlerini tanımlamayı seçiyoruz. Geçici senaryolar yerine GWL'leri kullanma yöntemi, bilimsel literatürde ve toplum ve paydaşlarla iletişimde yaygın bir uygulama haline geldi (IPCC2023). Çeşitli çalışmalar (örn. Seneviratne ve ark.2016; Tebaldi ve Knutti2018; Li ve diğerleri.2020a) farklı GWL'lerde iklim değişikliği sinyalinin çoğu değişken için senaryo ve zaman ufkundan neredeyse tamamen bağımsız olduğunu buldular. Ek olarak, bir GWL'deki sinyalin bölgesel iklim etkileriyle neredeyse doğrusal olarak ilişkili olduğunu belirttiler. GWL'ler, genellikle 20 veya 30 yıllık bir süre olan sabit süre boyunca küresel ortalama yüzey sıcaklığındaki değişimi temsil eder (IPCC2023; Dünya Meteoroloji Örgütü 2017), 1850'den 1900'e kadar ortalama küresel sıcaklıkların temel olarak kullanıldığı bir referans dönemle (burada 1985-2014) ilgili gelecekteki bir dönemden. Bu temel, üç veri setinin ortalaması alınarak elde edildi: NOAA Global-Temp (Zhang ve diğerleri.2023), HadCRUT5 (Morice ve diğerleri.2021) ve Berkely-Earth (Rohde ve Hausfather)2020). İçinde

Tablo 1 Bu çalışmada kullanılan CMIP6 model çalışmalarına genel bakış

CMIP6 modeli	Koşmak	Model ailesi	Saklanan SSP	Referanslar
ERİŞİM-CM2	r1i1p1f1	HadGAM/UM	SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5	Bi ve diğeri (2020) Ziehn ve
ERİŞİM-ESM1-5	r1i1p1f1	HadGAM/UM	SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5	diğeri (2020) Wu ve diğeri (
BCC-CSM2-MR	r2i1p1f1	KAM		2019) Wu ve diğeri (2020) Swart
BCC-ESM1	r1i1p1f1	KAM		ve diğeri (2019) Danabasoglu
CanESM5	r1i1p1f1	CanAM	SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5	ve diğeri (2020) Danabasoglu
CESM2	r4i1p1f1	KAM		ve diğeri (2020) Danabasoglu
CESM2-FV2	r1i1p1f1	KAM		ve diğeri (2020) Danabasoglu
CESM2-WACCM	r1i1p1f1	KAM		ve diğeri (2020) Cherchi ve
CESM2-WACCM-FV2	r1i1p1f1	KAM		diğeri (2019) Cherchi ve
CMCC-CM2-HR4	r1i1p1f1	KAM		diğeri (2019) Lovato ve diğeri
CMCC-CM2-SR5	r1i1p1f1	KAM		(2022) Voldoire ve diğeri (2019)
CMCC-ESM2	r1i1p1f1	KAM	SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5	Voldoire ve diğeri (2019)
CNRM-CM6-1	r1i1p1f2	ARPEGE	SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5	Séférian ve diğeri (2019)
CNRM-CM6-1-HR	r1i1p1f2	ARPEGE	SSP5-8.5	Döscher ve diğeri (2022)
CNRM-ESM2-1	r1i1p1f2	ARPEGE	SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5	Döscher ve diğeri (2022)
EC-Dünya3	r1i1p1f1	IFS	SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5	Döscher ve diğeri (2022)
EC-Earth3-AerChem	r1i1p1f1	IFS	SSP3-7.0	Döscher ve diğeri (2022)
EC-Earth3-CC	r1i1p1f1	IFS	SSP2-4.5, SSP5-8.5	Döscher ve diğeri (2022) O ve
EC-Earth3-Sebze	r1i1p1f1	IFS	SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5	diğeri (2020) Li ve diğeri (
EC-Earth3-Veg-LR	r1i1p1f1	IFS	SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5	2020b) Held ve diğeri (2019)
FHEDEFLER-f3-L	r1i1p1f1	GAMİL		Dunne ve diğeri (2020) Rind ve
FHEDEFLER-g3	r1i1p1f1	GAMİL	SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5	diğeri (2020) Roberts ve
GFDL-CM4	r1i1p1f1	GFDL-AM	SSP2-4.5, SSP5-8.5	diğeri (2019) Roberts ve
GFDL-ESM4	r1i1p1f1	GFDL-AM	SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5	diğeri (2019) Swapna ve
GISS-E2-2-G	r1i1p1f1	GİS-E2		diğeri (2015) Volodin ve
GEM3-GC31-LL vardı	r1i1p1f3	HadGAM/UM	SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP5-8.5	diğeri (2018) Volodin ve
GEM3-GC31-MM'ye sahipti	r1i1p1f3	HadGAM/UM	SSP1-2.6, SSP5-8.5	diğeri (2017) Dufresne ve
IITM-ESM	r1i1p1f1	Kız Arkadaşlık Sistemi	SSP1-2.6	diğeri (2013) Boucher ve
İNİM-CM4-8	r1i1p1f1	İÇM-AM	SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5	diğeri (2020) Dufresne ve
İNİM-CM5-0	r1i1p1f1	İÇM-AM	SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5	diğeri (2013) Lee ve diğeri (
IPSL-CM5A2-INCA	r1i1p1f1	LMDZ		2020a) Pak ve diğeri (2021)
IPSL-CM6A-LR	r1i1p1f1	LMDZ	SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5	Tatebe ve diğeri (2019) Hajima
IPSL-CM6A-LR-INCA	r1i1p1f1	LMDZ		ve diğeri (2020) Mauritsen ve
KACE-1-0-G	r2i1p1f1	HadGAM/UM	SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0	diğeri (2019) Mauritsen ve
KIOST-ESM	r1i1p1f1	GFDL-AM	SSP2-4.5, SSP5-8.5	diğeri (2019) Müller ve diğeri
MIROC6	r1i1p1f1	MIROC-AGCM/CCSR	SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5	(2018) Yukimoto ve diğeri (2019
MIROC-ES2L	r1i1p1f2	MIROC-AGCM/CCSR	SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5	) Cao ve diğeri (2018) Bethke ve
MPI-ESM1-2-HR	r1i1p1f1	EÇAM	SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5	diğeri (2021) Seland ve diğeri
MPI-ESM1-2-LR	r1i1p1f1	EÇAM	SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5	(2020) Seland ve diğeri (2020)
MPI-ESM-1-2-HAM	r1i1p1f1	EÇAM	SSP3-7.0	Park ve diğeri (2019) Lee ve
MRI-ESM2-0	r1i1p1f1	GSMUV/MRI-AGCM	SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5	diğeri (2020b) Sellar ve diğeri
NESM3	r1i1p1f1	EÇAM		(2019)
NorCPM1	r1i1p1f1	KAM		
NorESM2-LM	r1i1p1f1	KAM	SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5	
NorESM2-MM	r1i1p1f1	KAM	SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0	
SAM0-UNICON	r1i1p1f1	KAM		
TayESM1	r1i1p1f1	KAM	SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5	
UKESM1-0-LL	r1i1p1f2	HadGAM/UM	SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5	

Markalar tarafından yapılan gruplandırmayı "Model ailesi" takip eder (2022b) ve Brunner ve diğeri (2020), gruplama kriterlerini karşılamayan GCM'lere atıfta bulunan italiklerle. Vaka çalışması için tutulan modeller "Tutulan" ve "SSP" sütunlarında belirtilmiştir

Aşağıdaki bölümlerde, "(model) dönemi" GWL etrafındaki gelecekteki 30 yıllık dönemi ifade etmektedir.

Bu çalışmada, Sanderson ve diğerlerine benzer şekilde (2011), model periyotlarını tanımlamak için dört farklı GWL seçildi: 5°C, 6°C ve 7°C. Vautard ve diğerlerinin yöntemi (2014) Farklı modellerin bu GWL'lere ulaştığı dönemleri belirlemek için) takip edildi.

Farklı GCM'ler arasındaki karşılaştırmayı eşitlemek için tüm CMIP6 sıcaklık değişkenleri ve RH2m önyargı düzeltmesi yapıldı. Eşit uzaklıktaki kümülatif dağılım fonksiyonu eşleştirme tekniği kullanıldı, bu, projeksiyon ve tarihsel dönemler arasındaki dağılım değişikliklerini açıkça hesaba katan bir kantil eşleme yaklaşımıdır (Li ve diğerleri, 2010).

2.3.1 Uygulanan sıcaklığa bağlı sınıflandırma

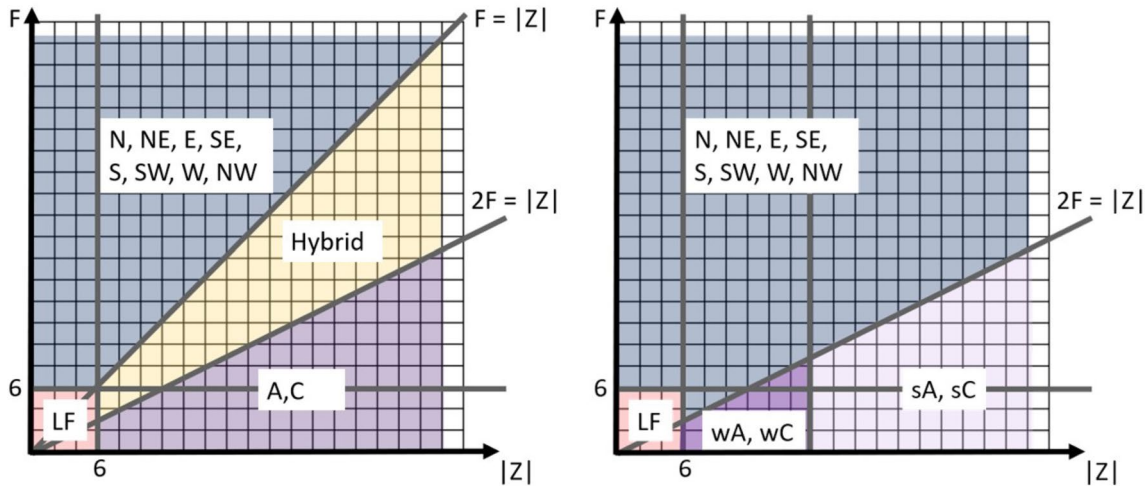
Seçim metodolojisinin ilk adımı (Bölüm 2'de açıklandığı gibi), 2.1.1) LWT sınıflandırmasının ayarlanmasından oluşur. Bunun için günlük T_{maks} ERA5'in χ^2 18 (17,78) hPa'lık toplam kayma girdabı için optimum (109,81) değerine ulaşıldı; bu, Bölüm 2'de açıklandığı gibi zayıf ve güçlü (anti)siklonlar arasındaki optimum ayrımı karşılar. 2.1.3 Yeni, sıcaklığa bağlı 13 tipli sınıflandırmanın genel bir görünümü Şekil'de verilmiştir.2.

Şekilde2, saf yön kategorisinin orijinal sınıflandırmaya kıyasla genişletildiği görülebilir. Ek olarak, zayıf ve güçlü (anti-) siklonlar arasındaki ayrım görünür hale gelir.

2.3.2 Sıralama endeksleri

Metodolojide belirtildiği gibi, aşırı sıcaklıkta en yüksek artışın olduğu model dönemlerinin sıralanması farklı endekslere dayanmaktadır. Buradaki seçim metodolojisi üç farklı endekse dayanmaktadır: önerildiği gibi biri hava tipleriyle ilgili ve ikisi ısıyla ilgili. Bu nedenle, aşırı ısı iklim değişikliği sinyalini etkileyen farklı özellikleri yakalamaya çalışıyoruz. İki farklı ısı stresi endeksi kullandık: Isı Dalgası Derece Günleri ($HWDDG$), sıcak hava dalgalarının uzunluğu ve yoğunluğu ile nem endeksi ($NEML$), termal konforla ilgilidir. Üç endeks, farklı zamansal ölçeklerde ısıyı ele alır: $NEML$ günlük olarak hesaplanır WTC günlük verilerle hesaplanır ancak toplam süre boyunca toplanırken, $HWDDG$ sadece sıcak hava dalgalarını dikkate alır ve bu nedenle sıcaklık miktarıyla doğrusal olarak ilişkilidir. Her iki sıcaklık endeksi için de, P95'teki tarihsel dönem ile gelecek dönem arasındaki değişim hesaplanmış ve bu çalışmada kullanılmıştır. Ayrıntılar $HWDDG$ ve $NEML$ Ek E'de bulunabilir.

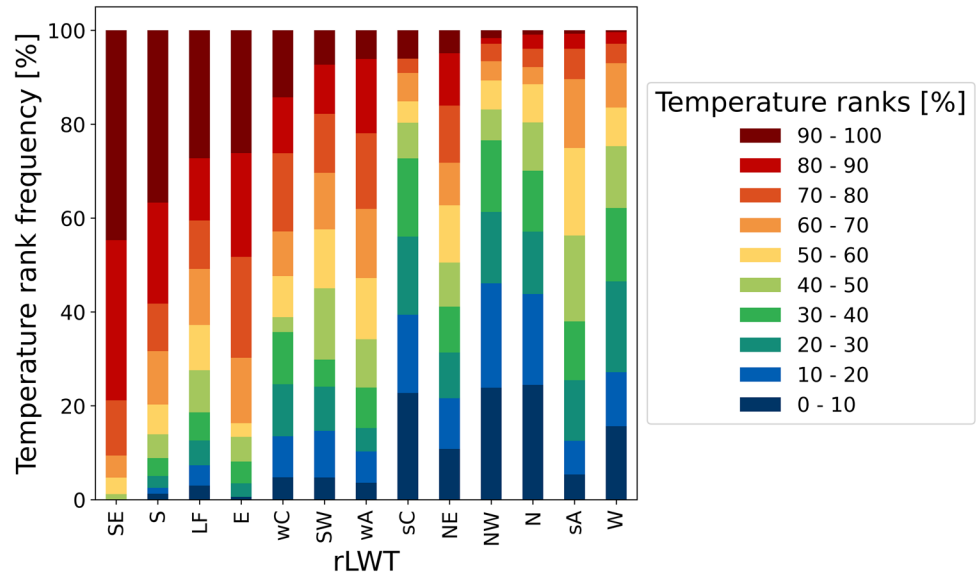
Figür3 farklı rLWT'lerin günlük maksimum sıcaklıkla nasıl ilişkili olduğunu gösterir. Kıtasal hava kütleleri (E, SE ve S) genellikle daha sıcak günlerle sonuçlanırken, okyanus hava kütleleri (W, SW) daha soğuk sıcaklıklarla sonuçlanır. Bu bulgular, sıralama için üçüncü endekse sonuçlanır: WTC , Denklem (1'de tanımlandığı gibi5). Burada, şunu kullanırız T_{maks} için $değişken$ (ilgi değişkeni) ve $X90$ 'a eşittir ve aşırı sıcaklığa odaklanmamızı yansıtır. Pozitif değerler aşırı sıcaklıklarla ilişkili hava tiplerinde bir artış olduğunu gösterir. Hava durumu



Şekil 2 Toplam kesme girdabına dayalı Lamb Hava Tipi sınıflandırmasının grafiksel özeti (Z , x eksen) ve ortaya çıkan akış (F , y eksen). Hem akış hem de girdap birimleri jeostrofiktir ve hPa/h olarak ifade edilir. 0-enlem. Soldaki grafik, Jenkinson ve Collison (tarafından tanımlanan orijinal LWT sınıflandırmasına atıfta bulunur (1977). Sağdaki grafik aşırı sıcaklık için ayarlanmış sınıflandırmayı temsil ediyor

Belçika'da. "LF" Düşük Akış/Sınıflandırılmamış hava türünü ifade eder. "N, NE,..., NW" farklı rüzgar yönlerini temsil eder. "A" ve "C" (Anti)siklonik hava türlerini temsil ederken, hibrit hava türleri her iki rüzgar yönünün de her iki (anti)siklonik hava türüyle birleşimidir. "w" ve "s" örnekleri sırasıyla "zayıf" ve "güçlü" anlamına gelir

Şekil 3 Azaltılmış Lamb Hava Türü sınıflandırmasının hava türleri ile 1985-2014 döneminde JJA için karşılık gelen maksimum sıcaklıklar arasındaki ilişki. X eksenindeki hava türleri, 90. sıcaklık yüzdesinin üzerindeki her hava türünün azalan sıklığına göre sıralanmıştır

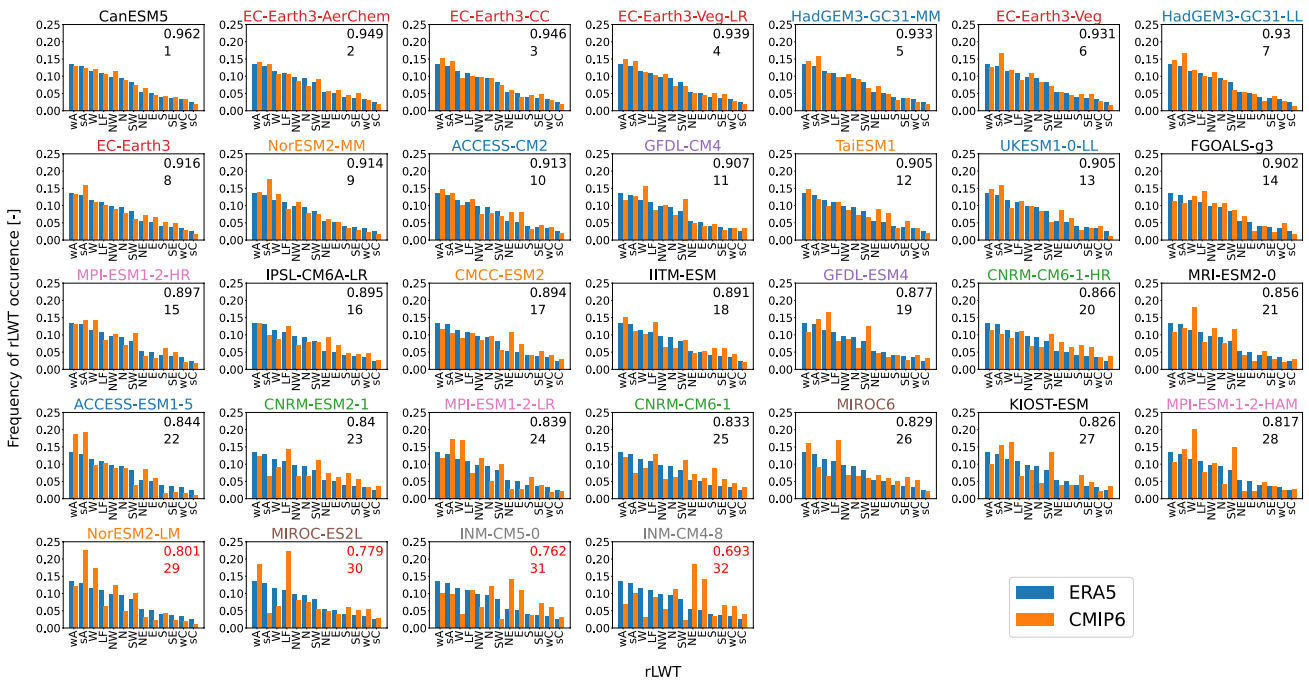


Tipler aynı zamanda rüzgar yönü ve nem ile de ilişkilidir, bu endeks dolaylı olarak atmosfer koşullarındaki değişiklikleri de hesaba katar.

3 Sonuç

3.1 CMIP6 değerlendirmesi

Farklı CMIP6 modellerinin atmosferik dinamiklerinin değerlendirmesini değerlendiriyoruz. Şekil 4 model başına panellerin azalan şekilde sıralandığı rLWT yaz (JJA) frekanslarını gösterir PSS (Denklemler 2). 32 modelden dördü, 0,815 olarak tanımlanan performans eşliğinin altına düşüyor.



Şekil 4 JJA'daki farklı CMIP6 modelleri için farklı azaltılmış Lamb Weather Types (rLWT) frekansını temsil eden çubuk grafikler. Perkins Skill Score (en üst sayı) ve sıralaması karşılaştırıldı

diğer modellere (alttaki sayı) gösterilir. Kırmızı değerler, -'den (burada: 0,815) daha kötü bir PSS performansını gösterir. Model adlarının renkleri, Tablo'da verilen farklı model ailelerine atıfta bulunur¹

ortalama PSS standart sapması ekisi PSS dahil edilen GCM'lerin. Bu modeller, diğer modellere göre daha düşük ölçekli atmosferik sirkülasyonları temsil ettiği kabul edilir ve dolayısıyla daha fazla analizden hariç tutulur. Genel olarak, daha düşük PSS değerler, bir modelin çok sık (örneğin MIROC-ES2L için sA) veya çok az (örneğin INM-CM4-8 için E) meydana gelen bir hava tipinin sıklığını güçlü bir şekilde fazla/az tahmin etmesi durumunda gözlemlenebilir.

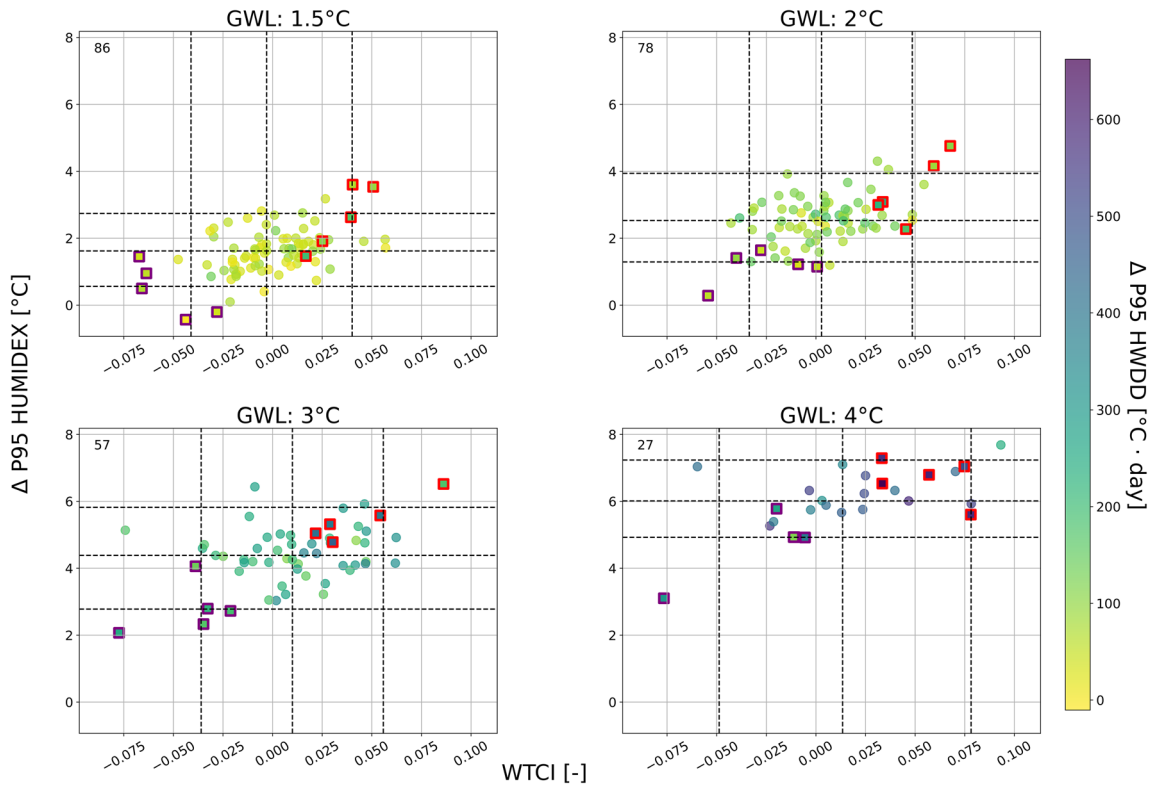
En kötü performans gösteren modeller (Şekilde kırmızıyla gösterilenler)⁴ ERA5 ile karşılaştırıldığında farklı rLWT'lerin frekanslarında belirgin farklılıklar vardır. Hem INM-CM4-8 hem de INM-CM5-0 Kuzeydoğu (NE) ve Doğu (E) hava tiplerini abartırken Güneybatı (SW) ve Batı (W) hava tiplerini küçümser. MIROC-ES2L Düşük Akış (LF) ve zayıf Antisiklonik (wA) hava tiplerini büyük ölçüde abartırken güçlü Antisiklonik (sA) hava tipini küçümser. Bu kısmen modelin girdaplılığı küçümsemesiyle açıklanabilir, çünkü bu daha fazla wA ve daha az sA'ya yol açar. Ve son olarak, NorESM2-LM esas olarak sA ve W'yi abartır ve LF ve Kuzey (N) hava tiplerini küçümser. Genel olarak, iki model ailesi atmosfer dinamiklerini temsil etme konusunda daha az yeteneklidir: INM-AM (ortalama PSS : 0,727) ve MIROC (ortalama PSS : 0,804).

En iyi 10 model ağırlıklı olarak iki model ailesinden kaynaklanmaktadır (Tablo 1): HadGAM/UM (HadGEM3-GC31-LL, HADGEM3-GC31-MM ve ACCESS-CM2) ve EC-Earth Konsorsiyumu'ndan tüm modeller. Bu sekiz modelin her birinin rLWT frekansları yüksek bir uyuma sahiptir (en düşük PSS = 0,913) ERA5'inkilerle uyumlu olup, modellerin referans dönemindeki JJA sırasında atmosfer dinamiklerini çok iyi temsil ettiğini göstermektedir.

3.2 İklim değişikliği sinyalinin değişimine dayalı model seçimi

CMIP6 modellerinin değerlendirilmesi ve ardından elenmesinden sonra, artık Belçika için modelleri aşırı sıcaklıkla ilişkili üç endekse göre sıralıyoruz. Bu endekslerin farklı GWL dönemleri için sonuçları Şekil 1'de gösterilmiştir.⁵

Seçilen endeksler için farklı modeller ve GWL'ler arasında büyük bir yayılma vardır. Ek olarak, bu yayılma artan GWL ile birlikte artar ve bu da daha sıcak bir dünyanın ortalama olarak daha fazla ısı stresine yol açacağını ancak aynı zamanda ısı stresi sinyalinde daha fazla belirsizliğe yol açacağını gösterir. Genel olarak, medyan $WTCI$ GWL'nin artmasıyla birlikte yalnızca hafif bir artış gösterir.



Şekil 5 Üç farklı endeks (x eksen, y eksen ve renk çubuğu) ve dört GWL (farklı alt grafikler) için farklı CMIP6 modellerinin konumlandırılmasının grafiksel genel görünümü. Kırmızı kareler, son genel görünümdeki ilk beş modeli, mor kareler ise alttaki beş modeli göstermektedir.

modeller. Belirli bir GWL'ye ulaşan model sayısı her grafiğin sol üst köşesinde belirtilir. Kesik çizgiler, P5, P50 ve P95'i temsil eder. $WTCI$ ve $P95 NEML$ her GWL için

Ek olarak, P95 GWL ile artarken, P5 tüm GWL'lerde benzer kalır. Son olarak, hem P95 hem de P5 arasında güçlü bir şekilde değişir C ve C , daha geniş bir aralıkla C . Buna karşılık, değişiklik $NEML$ GWL ile tutarlı bir şekilde artar, değişime benzer $HWDD$ Genel olarak, her ikisinin de gözlemlenebileceği $HWDD$ ve $NEML$ dinamik değişikliklere göre termodinamik değişikliklere karşı daha hassastır, bunlar kapsüllenmiştir WTC Bu bulgular Otero ve diğerlerinin sonuçlarıyla uyumludur. (2018) dinamiklerdeki değişikliklerin termodinamikteki değişikliklere kıyasla Avrupa sıcaklıklarındaki değişimler üzerinde daha küçük bir etkiye sahip olduğunu belirtmiştir. Bu nedenle, WTC GWL'ye kıyasla daha az duyarlı görünüyor $NEML$ ve $HWDD$.

Sunulan metodoloji, ölçeklendirilmiş endeksleri birleştirerek her GWL ve farklı SSP'ler için modellerin sıralanmasıyla sonuçlanır. Çalışmamızda seçilen üç endeks arasındaki korelasyon genel olarak nispeten düşük olduğundan (0,82, 0,41 ve 0,30), herhangi bir sıralama ağırlığı eklemeydik.

En yüksek puana sahip beş model (Şekildeki kırmızı kareler) (5) ve aşırı sıcaklık sıralamasında en düşük puanlar (mor kareler) çoğunlukla sırasıyla birinci ve üçüncü kadranda yer almaktadır. Kadrantlar burada, WTC ve 95. yüzdeliğindeki değişim $NEML$. Bu, geliştirilen seçim metodolojisinin etkinliğini görsel olarak göstermektedir. Yüksek (düşük) genel puana sahip modeller, farklı endeksler için de yüksek (düşük) puana sahiptir. Son olarak, vaka çalışmasına özgü sorumuza verilen yanıt, en yüksek puana sahip beş model ve dolayısıyla Belçika için genel olarak en aşırı ısı sinyali Tablo'da verilmiştir. 2.

4 Tartışma

4.1 CMIP6 değerlendirmesi

Model değerlendirmesi Sobolowski ve ark.'nın varsayımına dayanmaktadır. (2023), "gerçekçi modellerin daha gerçekçi gelecek projeksiyonları üreteceğini, çünkü bunların

süreçleri doğru şekilde temsil etmek". Bunu takiben, sinoptik ölçekli model dinamiklerinde hatalar olan modelleri seçme riskini sınırlayabilecek bir metodoloji geliştirmeyi amaçladık. CMIP6 değerlendirmesine performans eşliğini getirerek, ilgi bölgesinin atmosferik dinamiklerini temsil etme yeteneği daha az olan modelleri hariç tuttuk. Ancak, Knutti ve ark. tarafından belirtildiği gibi (2010), bir modelin iyi mi yoksa kötü mü olduğu sorusu genellikle amaçlanan uygulamaya bağlıdır. Sonuç olarak, değişkene özgü LWT sınıflandırmasını geliştirdik ve bunu Belçika'daki ısı için uyguladık. Bunu yaparak, model değerlendirmesinin ısıyla ilişkili hava türlerine dayandığından emin olduk. Atmosfer dinamiklerindeki hatalar genellikle ölçek küçültme sonrasında RCM'lere aktarıldığından, geliştirdiğimiz metodoloji örneğin bu hata aktarımını fiziksel olarak tutarlı bir şekilde sınırlamak için kullanılabilir.

Seçim metodolojisinin uygulama potansiyeline bir örnek, belirli iklim değişikliği sinyallerine sahip GCM'lerin küçültülmesi ve daha spesifik olarak, küçültme sırasında iklim değişikliği sinyalinin yayılmasıdır (Liang vd., 2011). (2008). Sinoptik ölçekte etki eden hava tiplerini tanıtarak, istenmeyen yayılma risklerini sınırlayacak bir yöntem geliştirmeyi amaçladık; örneğin, RCM güçlü bir soğuma sinyaline sahipken, GCM güçlü bir ısınma sinyaline sahiptir.

CMIP6 modellerinin daha önce tartışıldığı gibi genel değerlendirmesi Brands'ın (2022a) kuzey yarımküre için ve CORDEX beyaz bülteninin özet tablosundaki [(Bra21LambEUR', Sobolowski ve diğerleri (2023)], burada MAE bir değerlendirme kriteri olarak kullanıldı. Aramızdaki korelasyonu bulduk PSS ve MAE 1'e eşitti, bu da aynı kategorik verilere uygulandığında, PSS ve MAE birbirinin zıttıdır. Spearman korelasyonu bizim PSS ve (Markaların) sonuçlarının MAE'si (2022a) Kuzey yarımküre için her iki çalışmaya dahil edilen modeller için 0,88 ve Avrupa ile karşılaştırıldığında 0,87'dir [(Bra21LambEUR, Sobolowski ve diğerleri (2023)]. Korelasyonun negatif işareti, atmosfer dinamiklerini yeterince temsil eden modellerin yüksek PSS değerleri ve düşük MAE değerleri. Referans dönemindeki farklılıklara rağmen (1979–2005'e karşı JJA) korelasyon dikkat çekici derecede yüksektir

Tablo 2 Belçika'da ısı sinyalindeki en uç değişim için en yüksek puanı alan modeller, 1985–2014 referans dönemiyle

. 5-C	°C	°C	°C
ERİŞİM-ESM1-5 SSP5-8.5 (0.812)	MRI-ESM2-0 SSP5-8.5 (0.808)	CanESM5 SSP3-7.0 (0.803)	IPSL-CM6A-LR SSP5-8.5 (0.825)
MRI-ESM2-0 SSP5-8.5 (0.812)	ERİŞİM-ESM1-5 SSP5-8.5 (0.782)	ERİŞİM-ESM1-5 SSP5-8.5 (0.756)	CanESM5 SSP3-7.0 (0.817)
MRI-ESM2-0 SSP3-7.0 (0.751)	TayESM1 SSP5-8.5 (0.755)	MRI-ESM2-0 SSP5-8.5 (0.731)	EC-Earth3-Sebze SSP5-8.5 (0.799)
TayESM1 SSP3-7.0 (0.716)	MRI-ESM2-0 SSP5-8.5 (0.707)	KIOST-ESM SSP5-8.5 (0.726)	EC-Dünya3 SSP5-8.5 (0.796)
EC-Earth3-Sebze SSP2-4.5 (0.636)	NorESM2-MM SSP2-4.5 (0.660)	EC-Earth3-Sebze SSP5-8.5 (0.717)	TayESM1 SSP5-8.5 (0.771)

1985–2014) ve referans verileri (ERA-Interim ve JRA-55'e karşı ERA5). Ek olarak, Brands tarafından verilen MAE (2022a) Kuzey Yarımküre'deki orta ila yüksek enlemlerdeki tüm hesaplamaların medyan değeridir, bu çalışmanın değerleri yalnızca Belçika'yı temsil eden hesaplamalarla sınırlıdır. Bulgularına benzer şekilde, Dünya Konsorsiyumu'nun tüm modelleri yüksek bir PSS Bu modellerin ERA5 ile olan yakınlığı daha önce kısmen her ikisinin de ECMWF IFS'ye dayalı olması ve dolayısıyla benzer model bileşenlerini paylaşmasıyla ilgiliydi (Hersbach ve diğerleri, 2020; Döscher ve diğerleri, 2022; Markalar 2022b). ? ayrıca kuzey ve güney yarımküre arasında yüksek bir korelasyon bulunduğunu buldu. Bu sonuçlar arasındaki benzerlik göz önüne alındığında, GCM değerlendirmesi için Lamb Hava Durumu Tipi yaklaşımının farklı bölgelerde tutarlı olduğu görülmektedir.

Genel olarak, CORDEX teknik dokümanında (Sobolowski ve ark.) belirtildiği gibi genel değerlendirmenin doğru olduğu sonucuna varabiliriz. (2023) Avrupa'daki CMIP6 modellerinin performansına dair kapsamlı bir genel bakış sunar. Çerçevemiz tamamlayıcı olarak kullanılabilir, çünkü seçim sürecine katkıda bulunabilecek belirli bölgeler ve dönemler için karmaşık ayrıntılar sunar.

4.2 Seçim metodolojisi

Seçim metodolojimiz üç adımdan oluşur. Dahil edilen her adımda, büyük ölçekli atmosfer dinamiklerindeki belirsizlikleri göz önünde bulunduran ve ilgi duyulan iklim değişikliği sinyali hesaba katan bir yöntem geliştirmeyi amaçladık. Kabul ediyoruz ki, geliştirilen metodolojimizin dahil edilen model sayısına ve dikkate alınan dönemlerin uzunluğuna olan duyarlılığını kabul ediyoruz. Her ikisi de aşağıda tartışılmaktadır.

Başlamak için, değerlendirmemiz 32 modelle sınırlıdır çünkü kalan CMIP6 modelleri bu çalışmanın sonraki adımları için gereken verilere sahip değildir. 48 CMIP6 modelini içeren daha kapsamlı bir analiz Supp. F'de bulunabilir. Değerlendirmeyi diğer modellerle yürütmek, doğal olarak farklı bir performans eşliğine yol açar PSS , bu durumda 0,807. Ancak, aynı modeller hariç tutulmuştur, bu da yöntemin sağlam olduğunu ve dahil edilen model sayısından oldukça bağımsız olduğunu göstermektedir.

Ayrıca, yöntemin model periyotlarının uzunluğuna olan duyarlılığını araştırmak için, seçim metodolojimizi şimdiye kadar kullanılan 30 yıllık periyotlar yerine 20 yıllık periyotlara (referans periyodu: 1995–2014) uyguladık. Burada, zayıf ve güçlü (anti-)siklonik hava tiplerinin optimum ayrımı için aynı 18 hPa eşiği bulundu. Bu, böyle bir ayrımın, yazın maksimum sıcaklıkların ve ilgili hava tiplerinin incelendiği benzer araştırmalarda uygulanabileceğini gösterebilir.

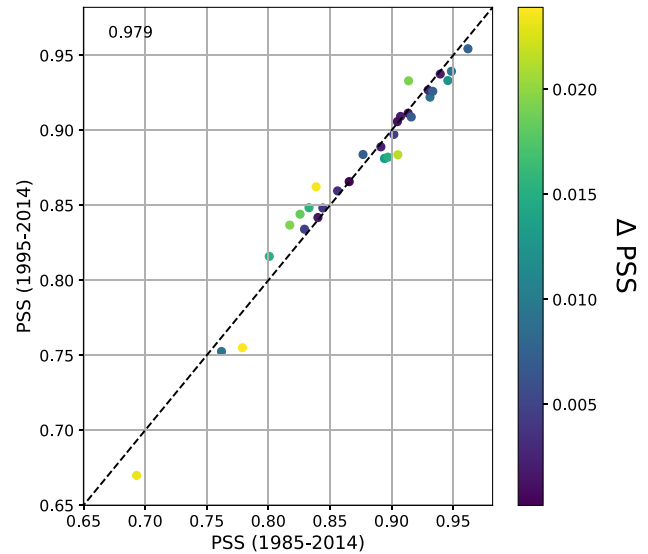
Figür 6 gösteriyor ki PSS 20 yıllık periyotların (y eksen) s'leri 30 yıllık periyotlar (x eksen) kullanılarak elde edilenlere benzerdir ve 0,979'luk bir korelasyona sahiptir. Bu, şunu gösterir:

ile değerlendirme PSS oldukça sağlamdır. Bu sağlamlık kısmen şu gerçeğe bağlı olabilir: PSS Her model için bir değer elde edilir ve farklı dönemlerde nispeten benzer sonuçlar elde edilir.

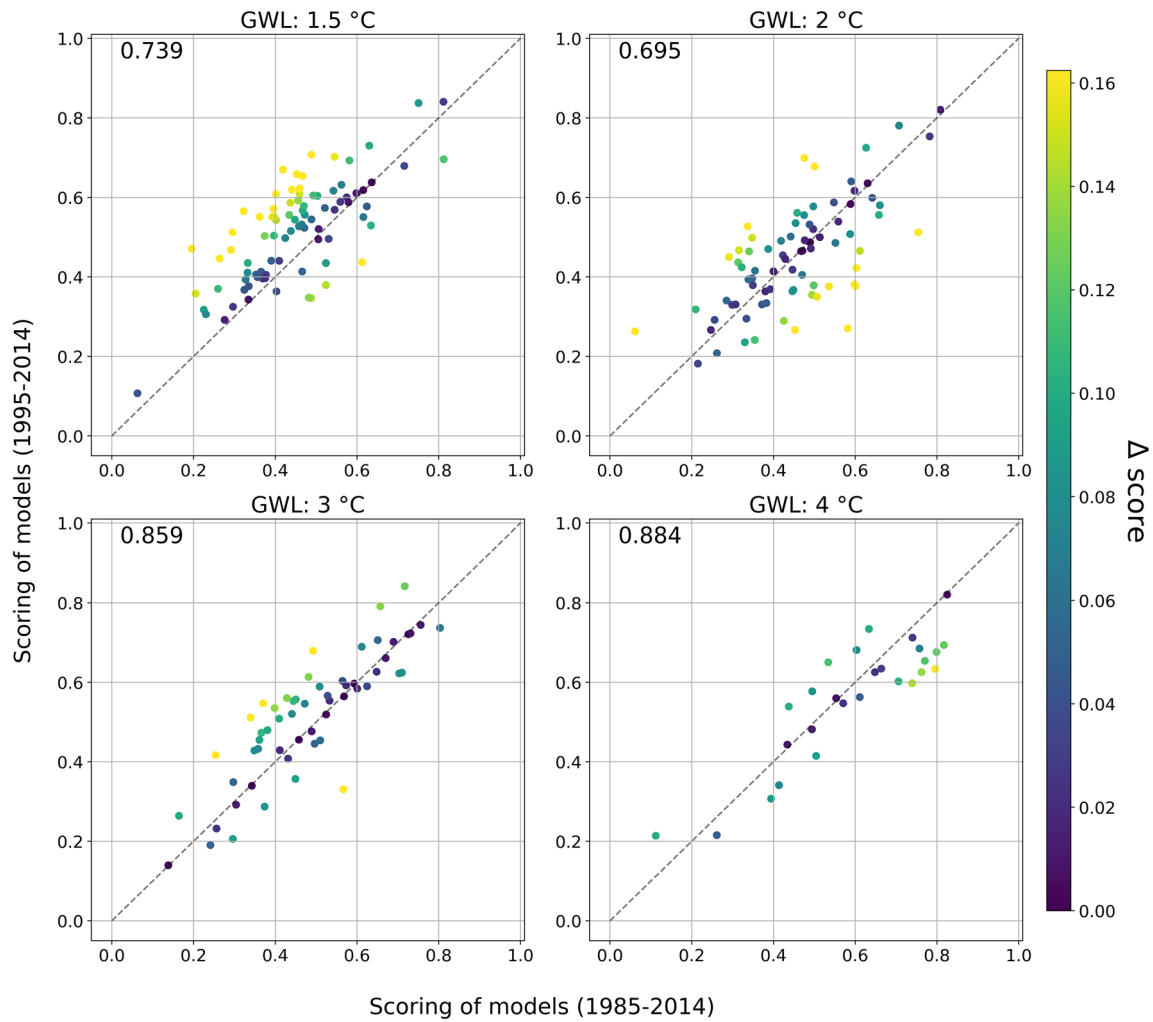
Figür 7 her GWL için puanlamadaki farklılıkları tasvir eder. Her iki dönem uzunluğu arasındaki orta ila yüksek korelasyonlara rağmen, iklim değişikliği sinyalleri için üç endekse dayalı nihai puanlamada dönem uzunluğunun oldukça büyük bir etkisi olduğu açıkça ortaya çıkar.

Görüldüğü gibi, puanlama her grafiğin merkezindeki modeller için en fazla değişmektedir (Şekil 2'de [0,40, 0,60]). 7). Bu daha büyük varyasyon endekslerin değerleriyle ilgili olabilir; ortadaki modellerin endeksleri en uç ve en az uç modellere kıyasla daha benzer olacaktır. Sonuç olarak, her iki dönem arasındaki küçük farklar ortadaki modeller için puanda önemli bir değişikliğe yol açabilir. Öte yandan, en üst ve en alt puanlar daha az değişmiştir, bu da dönemlerin uzunluğunun en uç modeller üzerinde nispeten küçük bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, seçim metodolojimiz iklim sinyallerinde en yüksek ve en düşük değişime sahip modelleri seçmek için en uygun olarak kabul edilebilir.

Vaka çalışmamızın amacı en yüksek aşırı ısı sinyaline sahip beş CMIP6 modelini bulmaktır. Tablo 3 1995–2014 referans dönemi ve 20 yıllık dönem uzunlukları ile bulguları gösterir. Bazı modeller ve SSP'ler Tablo'dakiyle aynıdır 2, ancak farklılıklar vardır. Her iki tabloda da değerler karşılaştırıldığında, puanlamanın dikkate alınan dönemlere karşı çok hassas olduğu açıkça ortaya çıkar çünkü aynı modellerin puanları da farklıdır. Bu, seçim metodolojimizin ilgi duyulan vaka çalışmasına özgü modelleri seçmede başarılı olduğunu vurgular.



Şekil 6 PSS 30 yıllık bir referans dönemi (1985–2014) için PSS 20 yıllık bir referans dönemi için (1995–2014). Korelasyon sol üst köşede belirtilmiştir



Şekil 7 CMIP6 modellerinin 30 yıllık dönemler (referans dönemi: 1985–2014) kullanılarak elde edilen puanları ile GWL için 20 yıllık dönemler (referans dönemi: 1995–2014) kullanılarak elde edilen puanlarının karşılaştırılması. 5-C, °C, °C ve °C. Korelasyonlar sol üst köşede gösterilir

Yöntemin dönem uzunluğuna duyarlılığına ek olarak, kullanılan modellerin tutarlılığına olan duyarlılığını da araştırdık. Daha spesifik olarak, aynı analizi yalnızca tüm ısınma seviyelerinin mevcut olduğu modelleri kullanarak gerçekleştirdik, yani °C ısınması

(21. yüzyıl içerisinde) mevcut tüm modeller yerine. Şekil 8 ve Tablo 4 Şekil'e benzer. 5 ve Tablo 2, ancak yalnızca tüm GWL'lere ulaşan modelleri içerir. Ek olarak, Şekil 9 ilk analiz için P5, P50 ve P95'i şu şekilde gösterir

Tablo 3 Tablo ile aynı 2, ancak 1995-2014 referans dönemiyle

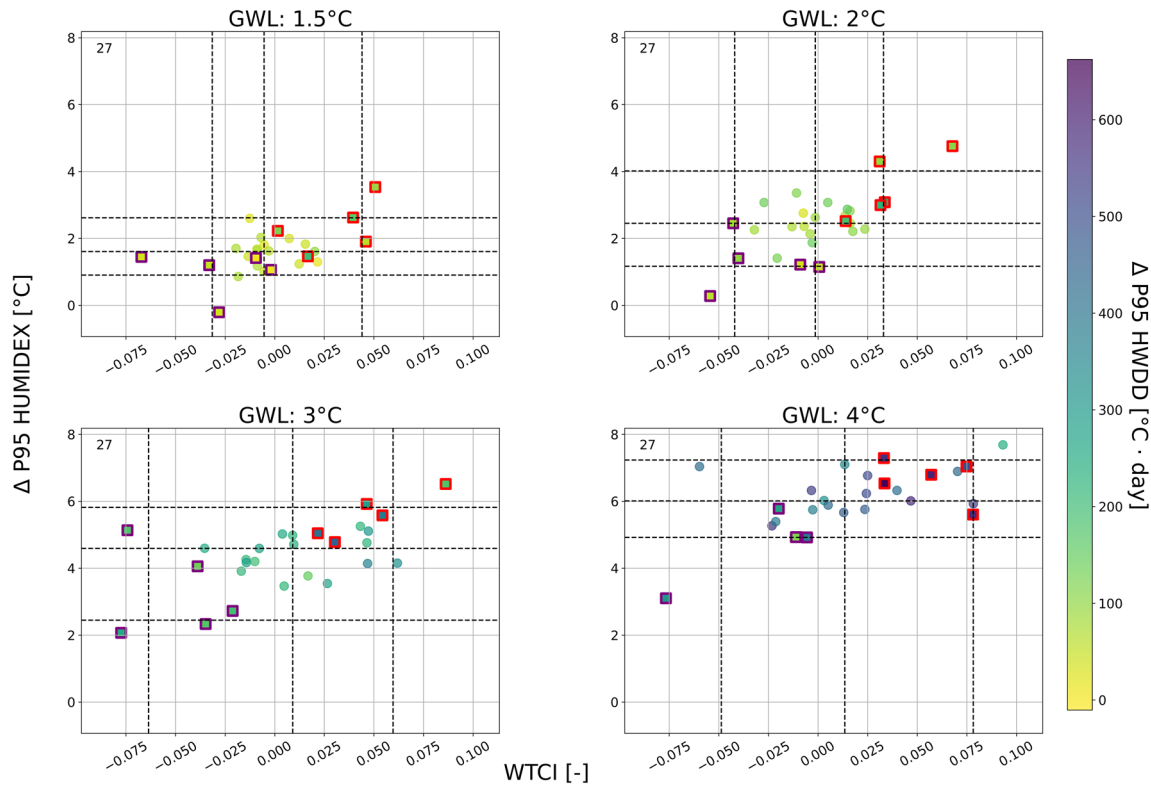
5-C	°C	°C	°C
MRI-ESM2-0 SSP5-8.5 (0.841)	MRI-ESM2-0 SSP5-8.5 (0.820)	EC-Earth3-Sebze SSP5-8.5 (0.842)	IPSL-CM6A-LR SSP5-8.5 (0.820)
MRI-ESM2-0 SSP3-7.0 (0.837)	MRI-ESM2-0 SSP3-7.0 (0.781)	IPSL-CM6A-LR SSP5-8.5 (0.791)	UKESM1-0-LL SSP5-8.5 (0.734)
MRI-ESM2-0 SSP1-2.6 (0.730)	ERİŞİM-ESM1-5 SSP5-8.5 (0.753)	ERİŞİM-ESM1-5 SSP5-8.5 (0.744)	MRI-ESM2-0 SSP5-8.5 (0.712)
UKESM1-0-LL SSP2-4.5 (0.707)	EC-Dünya3 SSP1-2.6 (0.725)	CanESM5 SSP3-7.0 (0.737)	ERİŞİM-ESM1-5 SSP3-7.0 (0.701)
GFDL-ESM4 SSP1-2.6 (0.702)	CNRM-CM6-1 SSP1-2.6 (0.699)	MRI-ESM2-0 SSP5-8.5 (0.723)	CanESM5 SSP3-7.0 (0.694)

Şekilde verilmiştir.5ve Şekil 2'deki 27 modelle analiz için.8.

Genel olarak her iki Şekilde de görülebilmektedir.8ve Tablo4sonuçların en uç modeller için benzer olduğu. Bu, metodolojimizin en uç modelleri seçebileceğini ve daha fazla model eklemenin nihai sıralama üzerinde sınırlı bir etkiye sahip olduğunu gösterir. Tablo'daki en iyi beş modelden bazıları2ulaşmamak-Isınma C'leri Tablo'ya dahil edilmemiştir.4Bu modellerin kaldırılması minimum-maksimum ölçeklendirmeyi de etkileyerek farklı nihai puanlara yol açtı. Şekil8Şekil ile karşılaştırıldığında yayılma üzerindeki etkiyi göstermektedir.5Genel olarak, medyan, P5 ve P95, her iki grup için de benzer kalır.NEMLİve

HWDDŞekil 2'de de görülebileceği gibi9Ek olarak, medyan içinWTCİbenzer kalırken, P5 ve P95 daha fazla farklılık gösterir. Bu, Bölüm'de belirtildiği gibi, şu gerçeğe açıklanabilir.3.2,WTCİGWL'ye karşı oldukça duyarsızdır. Bu, daha az iklime duyarlı modellerin kaldırılmasının, iklim üzerinde ilgisiz bir etkiye sahip olduğu anlamına gelir.WTCİsinyal.

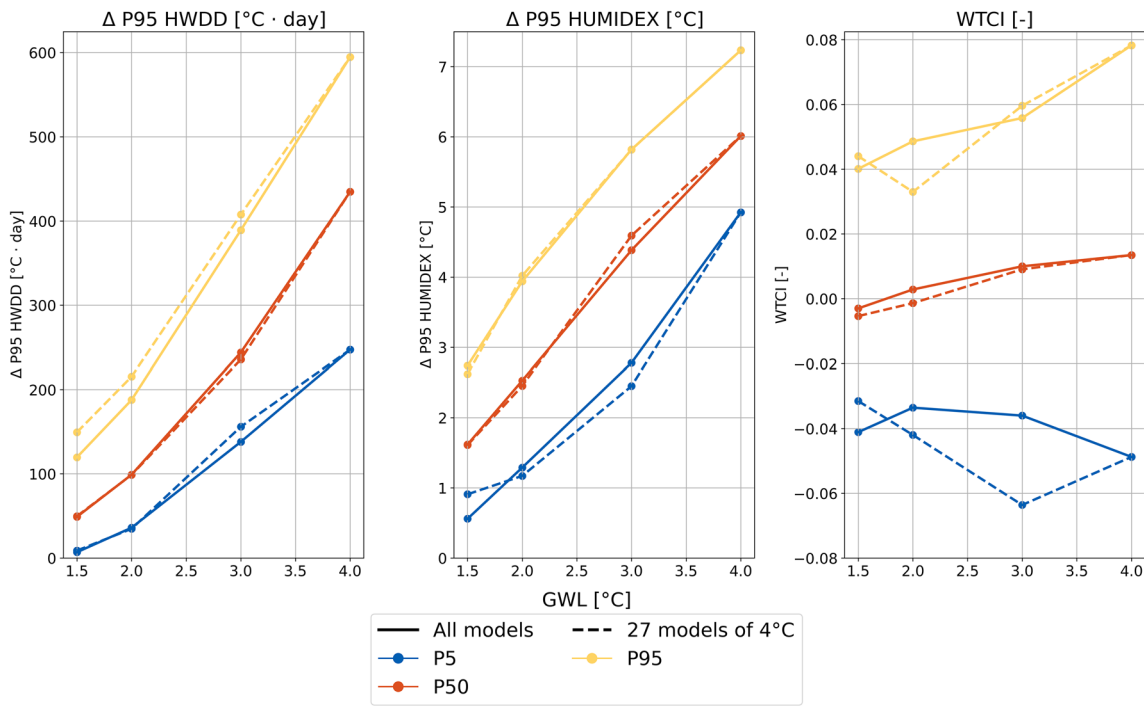
Sonuç olarak, metodolojimizin sınırlamalarını kabul ediyoruz. LWT sınıflandırmasının değerlendirme için kullanılmasının bir sınırlaması, hesaplamalar için önemli bir coğrafi yayılmayı dikkate alması ve yalnızca tekil bir çıktı üretmesidir. Bu nedenle, bazı bilgiler doğası gereği kaybolur. Ek olarak, LWT sınıflandırmasının kullanımı



Şekil 8Şekildeki ile aynı.5, ancak yalnızca ulaşılan 27 model °C dahildir

Tablo 4Tablo ile aynı.4, ancak yalnızca ulaşılan 27 model °C dahildir

. 5-°C	°C	°C	°C
ERİŞİM-ESM1-5 SSP5-8.5 (0,822)	MRI-ESM2-0 SSP5-8.5 (0.795)	CanESM5 SSP3-7.0 (0,797)	IPSL-CM6A-LR SSP5-8,5 (0,825)
MRI-ESM2-0 SSP5-8.5 (0.821)	ERİŞİM-ESM1-5 SSP5-8.5 (0.782)	ERİŞİM-ESM1-5 SSP5-8.5 (0.756)	CanESM5 SSP3-7.0 (0,817)
TayESM1 SSP3-7.0 (0,719)	TayESM1 SSP5-8.5 (0.754)	EC-Earth3-Sebze SSP5-8.5 (0.713)	EC-Earth3-Sebze SSP5-8.5 (0.799)
CNRM-CM6-1 SSP5-8.5 (0.612)	EC-Dünya3 SSP5-8.5 (0.644)	MRI-ESM2-0 SSP5-8.5 (0.706)	EC-Dünya3 SSP5-8.5 (0.796)
CNRM-ESM2-1 SSP5-8.5 (0.606)	TayESM1 SSP3-7.0 (0,606)	EC-Dünya3 SSP5-8.5 (0.695)	TayESM1 SSP5-8.5 (0.771)



Şekil 9 Mevcut tüm modeller (kesik çizgi) ve 27 modele ulaşan P5 (mavi), P50 (kırmızı) ve P95 (sarı) arasındaki karşılaştırma- Δ (kesik çizgi)

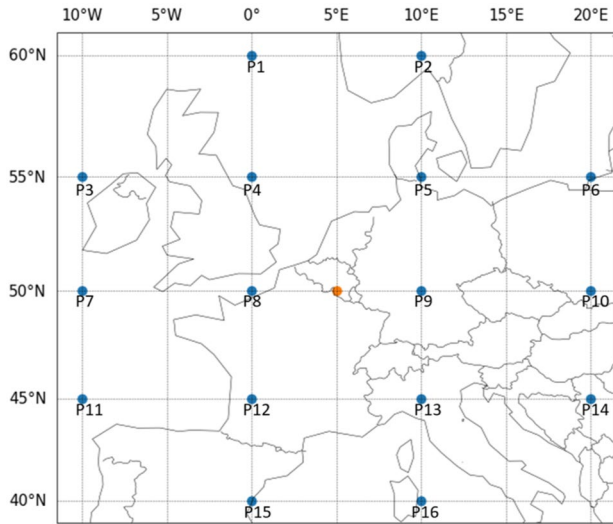
LWT sınıflandırması orta ila yüksek enlem bölgeleriyle sınırlıdır (Jones ve diğeri).⁽²⁰¹³⁾. Ancak Fernández-Granja ve ark. tarafından yakın zamanda yapılan bir çalışma. ⁽²⁰²³⁾ bunun çoğu alanda güvenilir bir şekilde uygulanabileceğini belirtti. 3.5-ile 0-enlem aralığı. Ve son olarak, yeniden ayarlamayı veya seçim metodolojisini daha büyük ve daha çeşitli coğrafi bölgelere veya yağış gibi ilgi çekici diğer değişkenlere uygulamadık. Bu nedenle, metodolojiyi diğer vakalara uygulamadan önce kapsamlı bir inceleme gerekli hale gelir. Sonuç olarak, yeniden ayarlamayı diğer değişkenlerde gerçekleştirmenin farklı hava tipleri için benzer şekilde güçlü bir farklılaşma sağlayacağından emin olamayız. Örneğin, Brisson ve diğeri ⁽²⁰¹¹⁾ jeostrofik rüzgarlar arasındaki korelasyonda hem bölgesel hem de mevsimsel farklılıkları gösterdi ve bunları LWT'ler ve yağışla ilişkilendirdiler. Ancak, ayarlamalar isteğe bağlı değişikliklerdir ve kar olayları gibi daha karmaşık ilgi değişkenleri durumunda dışarıda bırakılabilir.

5 Sonuç

Bu çalışma, belirli bir bölge ve ilgi değişkeni için iklim modelleri seçmek için yeni bir metodoloji sunar. İlk adım, mevcut LWT sınıflandırmasının hem değişken hem de bölgeye özgü ve dolayısıyla uygulamaya özgü hale getirilmesi için ayarlanmasını içerir. Ayarlanmış sınıflandırma

sonuç olarak ikinci adımda, sinoptik ölçekli hava desenleri aracılığıyla atmosferik dinamiklerin değerlendirilmesi dahil edildi. Bu, seçim prosedürünün sinoptik ölçekli model dinamiklerindeki büyük hataları devralma riskini sınırlamasını sağlar. Metodolojinin ikinci adımı, ilgi duyulan iklim etkisi sürücüsü için iklim değişikliği sinyalini ölçen farklı endekslerin belirli bir analizini kapsar. Yeni bir endeks geliştirdik, *WTCI*, ilgi değişkenindeki değişime hava tiplerindeki değişimin katkısını nicelleştirir; bu, iki zaman periyodu arasında sıcaklık, yağış veya rüzgarın belirli bir yüzdesi olabilir. *WTCI* Belirli bir iklim etkisi sürücüsü için ısı stresi endeksleri gibi diğer endekslerle birlikte kullanılabilir. GCM'ler farklı endekslerle puanlanır ve bu da modellerin gerekli uygulama için uygunluğunun değerlendirilmesiyle sonuçlanır.

Belçika üzerindeki aşırı sıcaklık vaka çalışması için geliştirilen metodolojiyi farklı GWL'ler kullanarak CMIP6 topluluğuna uyguladık. Model değerlendirmesinden sonra dört düşük performanslı modeli hariç tuttuk. Vaka çalışmamız aşırı sıcaklığa odaklandığından, *WTCI* ve ısı konforunu hedefleyen bir endeks içeriyordu (*NEMLI*) ve sıcak hava dalgalarını hedef alan bir tanesi (*HWDDD*). *WTCI* Bu mevcut ısı endekslerine tamamlayıcı bilgi sağladığı bulundu. CMIP6 değerlendirmesi, iklimsel periyodun uzunluğundaki değişiklikler (20 veya 30 yıl) konusunda oldukça sağladı, puanlama ise daha hassastı.



Şekil 10 Lamb Weather Tip sınıflandırmasında kullanılan 16 noktalı ızgara sification. Grid, Belçika'daki turuncu noktanın üzerinde merkezlenmiştir

Bu yöntemin, uyarlanmış model seçimi için genel bir çerçeve olarak potansiyelini vurguluyoruz. Geliştirdiğimiz seçim metodolojisi, iklim sinyallerinin ayrıntılı analizi ve aşırı hava olaylarının ölçeklendirilmesi gibi farklı amaçlar için CMIP6 modelleri seçerken bilinçli kararlara katkıda bulunabilir. Çerçeve, RCM'lerle ölçeklendirilecek model dönemlerini seçmek için kullanılabilir. Ek olarak, uyarlanmış değişkene bağlı sınıflandırma, dolaşım desenleri ile diğer iklimsel değişkenler arasındaki ilişkiyi analiz etmek için bir başlangıç noktası görevi görebilir.

Ek 1: Kuzu Hava Durumu Türü sınıflandırması

Lamb Hava Durumu Tipi sınıflandırması Lamb (tarafından geliştirilmiştir)1950,1972) Britanya Adaları üzerindeki bölgesel hava durumu için ortalama deniz seviyesi basıncı (MSLP) haritalarına dayalı büyük ölçekli bir dolaşım sınıflandırması olarak. Jenkinson ve Collison (1977) bu deneysel sınıflandırmayı hem LWT sınıflandırması hem de "Jenkinson-Collison Hava Durumu Tipi" sınıflandırması olarak bilinen nesnel bir sınıflandırmaya dönüştürdü. LWT sınıflandırması günlük Ortalama Deniz Seviyesi Basıncını kullanırMSLP(hPa cinsinden) 16 noktalı bir ızgarada (Şek.10) mekansal bir ölçüde0-boylamlar0-enlemler, sinoptik deseni merkez noktasında sınıflandırmak için, enlemde yer alır. 16 noktanın her biri aralıktır-enlemde (lat.) ve0-boylamda bitişik noktalara doğru. Hem akış birimleri hem de jeostrofik girdap birimleri hPa olarak ifade edilir.

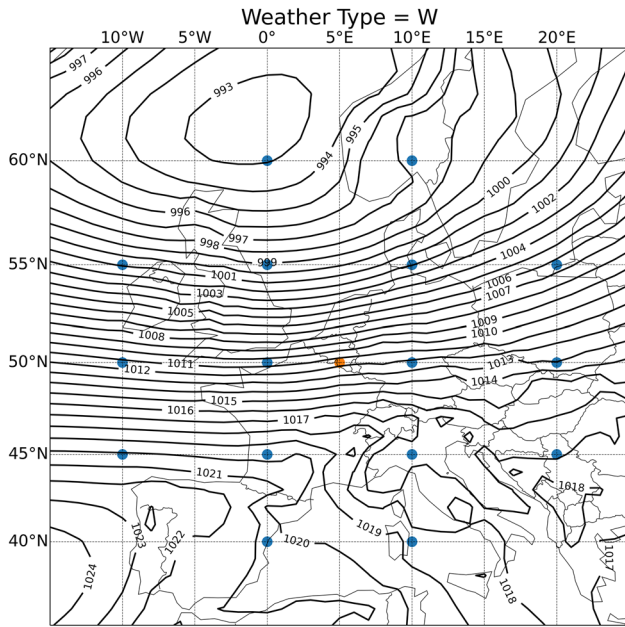
LWT'leri tanımlamak için Tablo'da gösterilen formüllere dayalı olarak aşağıdaki kurallar kullanılır:5:

1. Akışın yönü (derece cinsinden) aşağıdaki şekilde verilir: $BIR-1(B/S) + ,$ nerede $=80^\circ$ eğer B olumludur ve $= 0$ aksi takdirde. Karşılık gelen rüzgar yönü, sekiz yönlü bir pusula kullanılarak hesaplanır ve bu da 5-sektör başına. Örneğin: Kuzeydoğu hava türü, rüzgar yönü için şu şekilde oluşur:2.5-Ve7.5°.
2. Eğer $|Z| > 2F$ ise, desen güçlü siklonik ($Z > 0$) veya antisikloniktir ($Z < 0$), bu da saf siklonik ve antisiklonik tiplere karşılık gelir.
3. Eğer $|Z|$, F ile $2F$ arasında ise, akış hibrit tip olarak kabul edilir ve hem yön hem de sirkülasyon ile karakterize edilir, bu da on altı farklı tipe yol açar.
4. Eğer $|Z| < F$ ise, akış düz kabul edilir ve Lamb saf yönsel tipine karşılık gelir. Sekiz farklı tip vardır: N, NE, E, SE, S, SW, W ve NW.
5. Hem $|Z|$ hem de F , Jenkinson ve Collison tarafından tanımlandığı gibi 6 hPa'lık LF eşiğinden daha küçükse (1977),

Tablo 5Kuzey Yarımküre için Kuzu Hava Durumu Tipi sınıflandırması için gereken farklı parametrelere ilişkin denklemler

Parametre	Sembol	Denklemler
Batı Akışı	B	$\frac{(P_{12}+P_{13})-(P_4+P_5)}{2} \left[\frac{(P_{15}+P_{16})-(P_8+P_9)}{2} \right]$
Güney Akımı	S	$\frac{P_5+2P_3+P_{13}}{4} - \frac{P_4+2P_8+P_{12}}{4}$
Sonuç Akışı	F	$(S_2+B_2)^{1/2}$
Batı Kesme Vortisiti	WZ	$\frac{((P_{15}+P_{16})-(P_8+P_9))((P_8+P_9)-(P_1+P_2))}{2}$
Güney Kesme Vortisiti	SZ	$\frac{((P_6+2P_{10}+P_{14})-(P_5+2P_3+P_{13}-P_4+2P_8+P_{12}+P_3+2P_7+P_{11}))}{4}$
Toplam Kesme Vortisiti	Z	$WZ+SZ$
Nerede =çünkü-1(), =günah) günah-(- $\Delta enlem$), =günah() günah-(+ $\Delta enlem$)Ve =çünkü-2()		

TheŞekil 2'de verilen MSLP değerlerini (hPa cinsinden) temsil eder.10, merkez noktasının enlemi veenlemnoktalar arasındaki yanal mesafedir



Şekil 11 1985–2014 döneminde W-hava durumu türü için ortalama MSLP desenleri

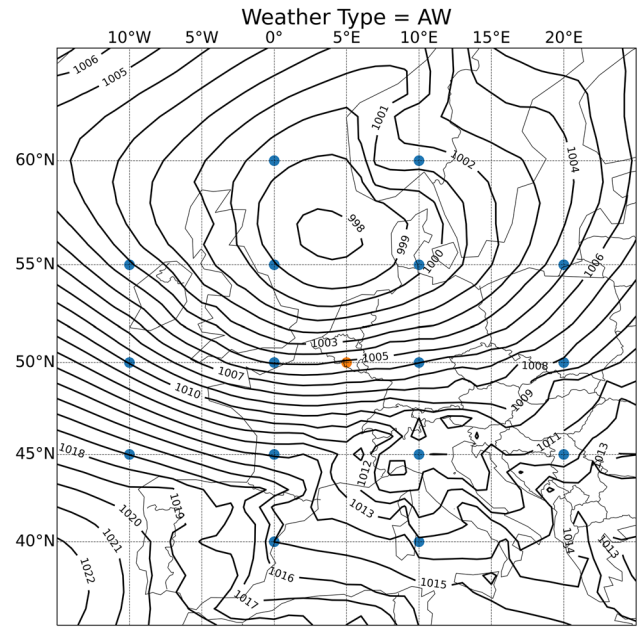
akış belirsizdir ve Düşük Akış tipine (ayrıca “Sınıflandırılmamış tip” olarak da adlandırılır) karşılık gelir. Bu, sözde “barometrik bataklıklara” karşılık gelir (Grimalt ve diğeri.2013).

Ek 2: Yönsel ve melez benzerliğe genel bakış

Aşağıdaki şekiller, ERA5 için belirlenen batı akışıyla ilişkili tüm hava tiplerini göstermektedir. Her hava tipinin 1985–2014 dönemindeki göreceli sıklığı Tablo'da verilmiştir6(Şekiller.11,12,13).

Ek 3: CHI ile zayıf-güçlü optimizasyon

Figür14Aşağıda optimizasyonun ilk adımı gösterilmektedir. Burada,Çoptimizasyon için tahminler elde etmek amacıyla 0 hPa ile 60 hPa arasındaki tüm Z eşikleri için hesaplandı.ÇI-0 ile 6 ve 39 ile 60 arasındaki değerler analiz için önemli değildir, çünkü hedeflenen 13 hava tipi burada mevcut değildir.



Tablo 6 1985–2014 yaz dönemlerinde yönlü ve hibrit hava tiplerinin göreceli sıklığı (%)

Yön	Saf	Hibrit siklonik	Hibrit antiklonik
N	6.37	4.78	0,80
Kuzeydoğu	5.91	3.33	1.16
E	3.95	1.85	0,43
Güney Doğu	1.78	0,51	0,80
S	1.67	0,58	0,62
GB	4.71	1.27	0,94
B	5.25	2.40	1.12
Kuzeybatı	5.80	2.40	0,62

LF (%10,94), antisiklonik (%23,12) ve siklonik (%6,92) hava durumu türleri tablodan hariç tutulmuştur.

2 ms'de. Hesaplamalar ECMWF'de açıklanan adımları takip eder (2016):

$$doyguluk_{X,w} = \frac{17.502 \left(\frac{X - T_0}{X - 32.19} \right)}{17.502 \left(\frac{X - T_0}{X - 32.19} \right)}$$

$$doyguluk_{X,Ben} = \frac{22.587 \left(\frac{X - T_0}{X + 0.7} \right)}{22.587 \left(\frac{X - T_0}{X + 0.7} \right)}$$

$$doyguluk_{X^*} = VEdoyguluk_{X,w} + (1 - VEdoyguluk_{X,Ben})$$

NeresiX2 ms'de hem hava sıcaklığı hem de çiğ noktası sıcaklığı olabilir, 273.16K'ya eşittir ve temsil etmek doymuş buhar 611.21 Pa'ya eşittir ve temsil eder karışık faz oranı aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$UMİDEX = T + \left(\frac{5}{9} \right) (T - 10), \quad \text{Neresi} \quad ve = 6 \cdot 112 \cdot 10^{7.5 \cdot T / (237.7 + T)} \cdot \frac{Sağ}{100} \quad (14)$$

ile

$$= 0 \quad \zeta \leq T_{buz}$$

$$= \frac{T - T_{buz}^2}{T_0 - T_{buz}} \quad T_{buz} < \zeta < T_0$$

$$= 1 \quad \zeta \geq T_{buz}$$

Neresi T_{buz} 250.16'ya eşittir K.

Bağıl nem (%):

$$Sağ = 100 \cdot \frac{ve}{VEdoyguluk_{X,T}} \quad (12)$$

Ek 5: Isı endeksleri

HWDDD

TheHWDDDBelçika için özel olarak geliştirilen yıllık bir ısı stresi göstergesidir (Brouwers ve ark.2015; Wouters ve diğerleri. 2017) ve sıcak hava dalgası günlerinde toplam sıcaklık aşımını niceliksel olarak ifade eder:

$$HWDDD = \sum_{Ben} \left(\frac{Zaman - Zaman_{P90,geçmiş}}{T_{maks} - T_{maks,P90,geçmiş}} \right) + \left(\frac{Zaman - Zaman_{P90,geçmiş}}{T_{maks} - T_{maks,P90,geçmiş}} \right) \quad (13)$$

ilemaksimum $P_{90,geçmiş}$ ve $dakika_{P90,geçmiş}$ 90. per-Tmax'ın yüzdesi (°C) ve Tmin (°C), sırasıyla 1985-2014 tarihsel dönemindeki JJA verilerinin toplamı.Benbittin günler veBen T_{maks} günün (0 veya 1) olup olmadığını gösterir Benbir sıcak hava dalgası günüdür, yani minimum ve maksimum sıcaklığın 3 günlük ortalaması kendi eşiklerini aştığında ve böylece sıcak hava dalgasının zamansal devamlılığını da içerdiğinde. Üst simge, (6) dikkate alınan maksimum/mini arasındaki pozitif fark mum sıcaklığı ve ilgili eşik ve fark negatif ise sıfıra eşittir. Minimum sıcaklıkları dahil ederek,HWDDD Ayrıca, sıcak hava dalgası dönemlerinde vücudun iyileşme yeteneğini sınırlayabilen ve yaşlı insanlarda artan ölüm oranıyla ilişkilendirilen yüksek gece sıcaklıklarını da hesaba katar (Basu2002; Laaidi ve diğerleri.2012).

NEMLİ

TheNEMLİBasara ve diğerlerine göre hesaplanmıştır. (2010), orijinal formülü Masterton ve Richardson'dan uyarlayan (1979):

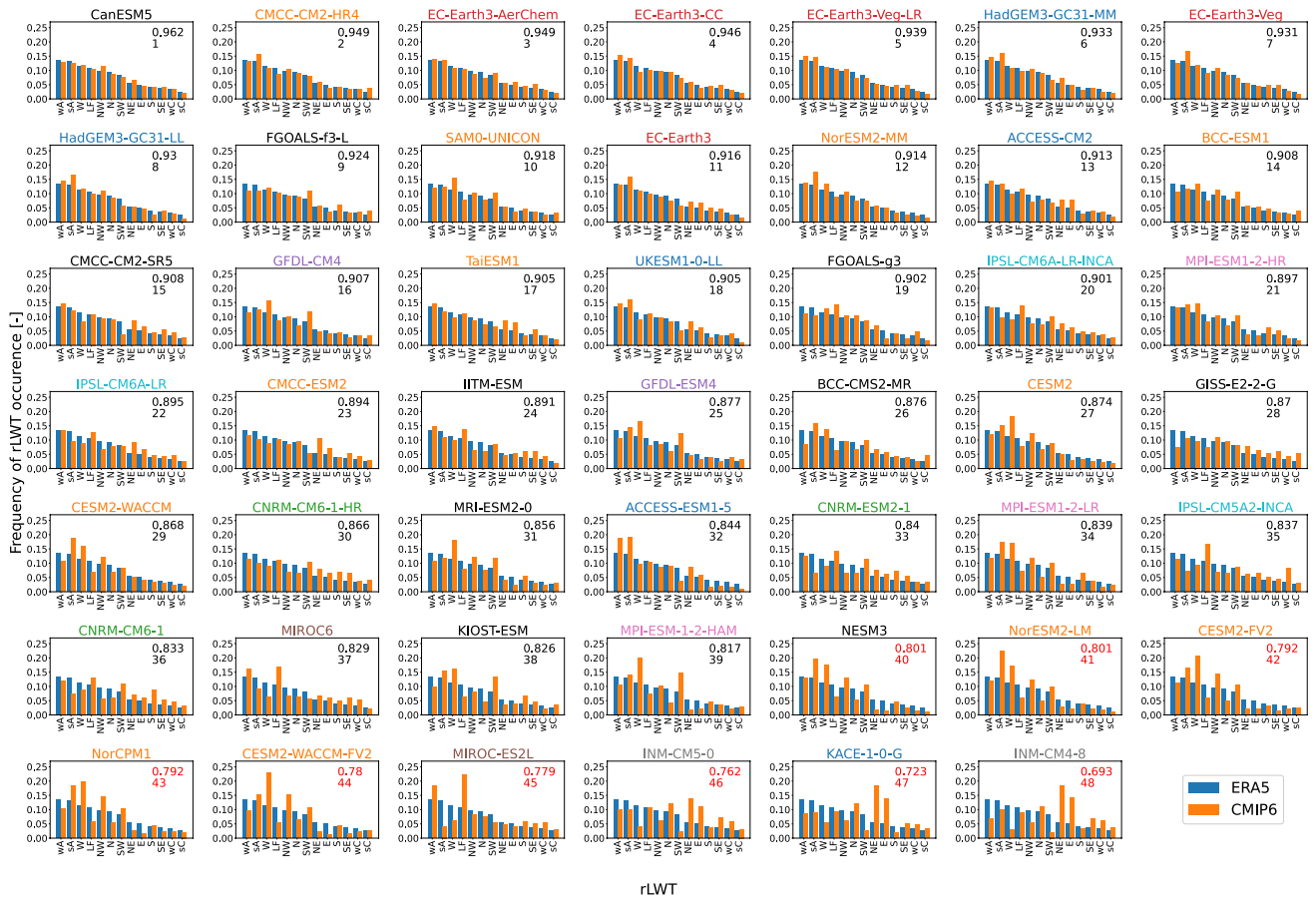
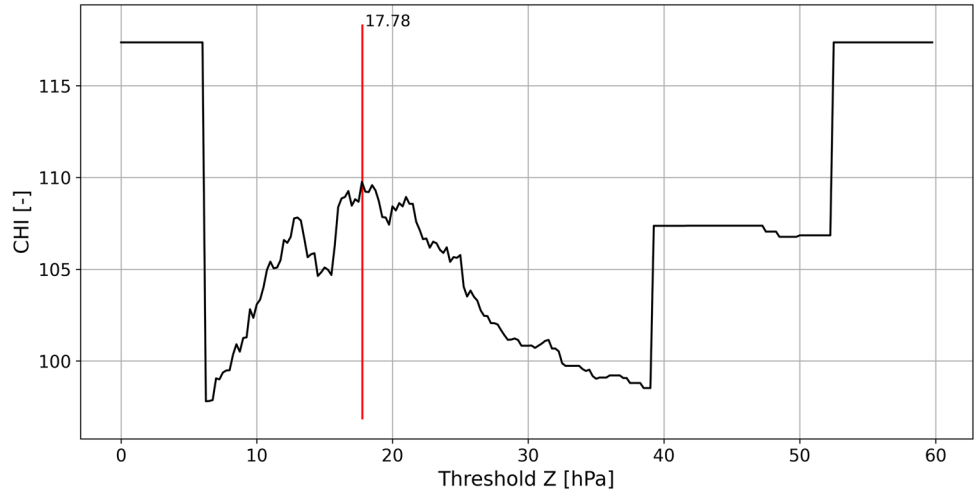
Neresi ve kısmi buhar basıncını (hPa) ifade eder. Hem sıcaklığı hem de nemi birleştirerek,NEMLİ

(9) termal (rahatsızlığın) ele alınması için en önemli iki değişkeni içerir (Epstein ve Moran2006; Fischer ve diğerleri. 2012). Ancak, diğer endekslerin de olabileceğini kabul ediyoruz.

(10) ısı (rahatsızlığı) ve diğer değişkenlerin tanımlanması için kullanılabilir darbe ısı/rahatsızlığı, örneğin radyasyon (Van De Walle ve ark. 2022).

(11)

Şekil 140 ila 60 hPa aralığındaki toplam kayma girdabı değerlerinin bir fonksiyonu olarak CHI (üst panel). Karşılık gelen CHI adım değişiklikleri alt panelde gösterilmiştir



Şekil 15 Farklı CMIP6 modelleri için farklı Lamb Weather Tiplerinin (LWT) frekansını temsil eden kapsamlı genel bakış. Perkins Beceri Puanı ve diğer modellere kıyasla sıralaması

gösterilir. Kırmızı değerler – değerinden daha kötü bir performansı gösterir. Model adlarının renkleri Tablo'da verilen farklı model ailelerine atıfta bulunur

Tablo 7 Bu çalışmada kullanılan CMIP6 modellerinin atmosfer bileşenleri, boylam ve enlemdeki nominal çözünürlük ve dikey model seviyelerinin sayısı dahil genel görünümü

CMIP6 modeli	Atmosferik modeli çalıştır	Model ailesi	Sürüm	Referanslar
ERİŞİM-CM2	r1i1p1f1 MetUM-HadGEM3-GA7.1 (N96, 192 × 144, 85 lv)	HadGAM/UM	v20210317	Bi ve diğerleri (2020)
ERİŞİM-ESM1-5	r1i1p1f1 HadGAM2 (r1.1, N96, 192 × 145, 38 lv)	HadGAM/UM	v20210318	Ziehn ve diğerleri (2020)
BCC-CSM2-MR	r2i1p1f1 BCC-AGCM3-MR (320 × 160, 46 lv)	KAM	v20181216	Wu ve diğerleri (2019) Wu
BCC-ESM1	r1i1p1f1 AGCM3-Kimyasal	KAM	v20181220	ve diğerleri (2020) Swart ve
CanESM5	r1i1p1f1 CanAM5 (T63, T63 Doğrusal Gauss Izgara, 128 × 64, 49 lv)	CanAM	v20190429	diğerleri (2019)
CESM2	r4i1p1f1 CAM6 (1 derece, 288 × 192, 32 seviye)	KAM	v20190308	Danabasoglu ve ark. (2020)
CESM2-FV2	r1i1p1f1 CAM6 (2 derece, 144 × 96, 32 seviye)	KAM	v20191120	Danabasoglu ve diğerleri (2020)
CESM2-WACCM	r1i1p1f1 WACCM6 (1 derece, 288 × 192, 70 seviye)	KAM	v20190227	Danabasoglu ve diğerleri (2020)
CESM2-WACCM-FV2	r1i1p1f1 WACCM6 (2 derece, 144 × 96, 70 seviye)	KAM	v20191120	Danabasoglu ve diğerleri (2020)
CMCC-CM2-HR4	r1i1p1f1 CAM4 (1 derece, 288 × 192, 26 seviye)	KAM	v20200904	Cherchi ve diğerleri (2019) Cherchi
CMCC-CM2-SR5	r1i1p1f1 CAM5.3 (1 derece, 288 × 192, 30 seviye)	KAM	v20200616	ve diğerleri (2019) Lovato ve
CMCC-ESM2	r1i1p1f1 CAM5.3 (1 derece, 288 × 192, 30 seviye)	KAM	v20210202	diğerleri (2022) Voldoire ve
CNRM-CM6-1	r1i1p1f2 Arpege 6.3 (T127, 24572 gp ile rg, 91 (sv)	ARPEGE	v20190219	diğerleri (2019)
CNRM-CM6-1-HR	r1i1p1f2 Arpege 6.3 (T359, 181724 gp ile rg, 91 lv)	ARPEGE	v20191202	Voldoire ve diğerleri (2019)
CNRM-ESM2-1	r1i1p1f2 Arpege 6.3 (T127, 24572 gp ile rg, 91 (sv)	ARPEGE	v20191021	Séférián ve diğerleri (2019)
EC-Dünya3	r1i1p1f1 IFS cy36r4 (TL255, doğrusal olarak rg, 512 × 256, 91 lv)	IFS	v20200310	Döscher ve diğerleri (2022)
EC-Earth3-AerChem	r1i1p1f1 IFS cy36r4 (TL255, doğrusal olarak rg, 512 × 256, 91 lv)	IFS	v20200624	Döscher ve diğerleri (2022)
EC-Earth3-CC	r1i1p1f1 IFS cy36r4 (TL255, doğrusal olarak rg, 512 × 256, 91 lv)	IFS	v20210113	Döscher ve diğerleri (2022)
EC-Earth3-Sebze	r1i1p1f1 IFS cy36r4 (TL255, doğrusal olarak rg, 512 × 256, 91 lv)	IFS	v20221112	Döscher ve diğerleri (2022)
EC-Earth3-Veg-LR	r1i1p1f1 IFS cy36r4 (TL159, doğrusal olarak rg, 320 × 160, 62 lv)	IFS	v20201123	Döscher ve diğerleri (2022)
FHEDEFLER-f3-L	r1i1p1f1 FAMIL2.2 (c96, 360 × 180, 32 seviye)	GAMİL	v20191019	O ve diğerleri (2020) Li ve
FHEDEFLER-g3	r1i1p1f1 GAMIL3 (180 × 80, 26 seviye)	GAMİL	v20190820	diğerleri (2020b) Held ve
GFDL-CM4	r1i1p1f1 GFDL-AM4.0.1 (küp küre, c96, 360 × 180, 33 lv)	GFDL-AM	v20180701	diğerleri (2019)
GFDL-ESM4	r1i1p1f1 GFDL-AM4.1 (küp küre, c96, 360 × 180, 46 lv)	GFDL-AM	v20180701	Dunne ve diğerleri (2020)
GISS-E2-2-G	r1i1p1f1 GISS-E2.2 (144 × 90, 102 lv)	GİS-E2	v20191120	Rind ve diğerleri (2020)
GEM3-GC31-LL vardı	r1i1p1f3 MetUM-HadGEM3-GA7.1 (N96, 192 × 144, 85 lv)	HadGAM/UM	v20191207	Roberts ve diğerleri (2019)
GEM3-GC31-MM'ye sahipti	r1i1p1f3 MetUM-HadGEM3-GA7.1 (N126, 432 × 324, 85 lv)	HadGAM/UM	v20201114	Roberts ve diğerleri (2019)
IITM-ESM	r1i1p1f1 IITM-GFSv1 (T62, Doğrusal rg; 192 × 94 64 lv)	Kız Arkadaşlık Sistemi	v20201112	Swapna ve diğerleri (2015)
İNМ-CM4-8	r1i1p1f1 INM-AM5-0 (2 × 1,5, 180 × 120, 21 seviye)	İÇM-AM	v20190530	Volodin ve diğerleri (2018)
İNМ-CM5-0	r1i1p1f1 INM-AM5-0 (2 × 1,5, 180 × 120, 73 seviye)	İÇM-AM	v20190610	Volodin ve diğerleri (2017)
IPSL-CM5A2-INCA	r1i1p1f1 LMDZ (APv5, 96 × 96, 39 seviye)	LMDZ	v20200729	
IPSL-CM6A-LR	r1i1p1f1 LMDZ (NPv6, N96, 144 × 143, 79 seviye)	LMDZ	v20190614	Boucher ve diğerleri (2020)
IPSL-CM6A-LR-INCA	r1i1p1f1 LMDZ (NPv6, 144 × 143, 79 seviye)	LMDZ	v20210216	
KACE-1-0-G	r2i1p1f1 MetUM-HadGEM3-GA7.1 (N96, 192 × 144, 85 lv)	HadGAM/UM	v20200102	Lee ve diğerleri (2020a)
KIOST-ESM	r1i1p1f1 GFDL-AM2.0 (küp küre, c48, 192 × 96, 32 lv)	GFDL-AM	v20210601	Pak ve diğerleri (2021)

Tablo 7((devam etti))

CMIP6 modeli	Koşmak	Atmosferik model	Model ailesi	Sürüm	Referanslar
MIROC6	r1i1p1f1	CCSR AGCM (T85, 256 × 128, 81 lv)	MIROC-AGCM/CCSR	v20191016	Tatebe ve diğeri (2019)
MIROC-ES2L	r1i1p1f2	CCSR AGCM (T42, 128 × 64, 40 lv)	MIROC-AGCM/CCSR	v20200318	Hajima ve diğeri (2020)
MPI-ESM1-2-HR	r1i1p1f1	ECHAM6.3 (spektral T63, 384 × 192, 95 lv)	EÇAM	v20190710	Mauritsen ve diğeri (2019)
MPI-ESM1-2-LR	r1i1p1f1	ECHAM6.3 (spektral T63, 192 × 96, 47 (sv))	EÇAM	v20190710	Mauritsen ve diğeri (2019)
MPI-ESM1-2-HAM	r1i1p1f1	ECHAM6.3 (spektral T63, 192 × 96, 47 (sv))	EÇAM	v20190627	Müller ve diğeri (2018)
MRI-ESM2-0	r1i1p1f1	MRI-AGCM3.5 (TL159, 302 × 160, 80 (sv))	GSMUV/MRI-AGCM	v20191108	Yukimoto ve diğeri (2019)
NESM3	r1i1p1f1	ECHAM v6.3 (T63, 192 × 96, 47 seviye) CAM-	EÇAM	v20190812	Cao ve diğeri (2018)
NorCPM1	r1i1p1f1	OSLO4.1 (2 derece, 144 × 96, 26 seviye)	KAM	v20200724	Bethke ve diğeri (2021)
NorESM2-LM	r1i1p1f1	CAM-OSLO (2 derece, 144 × 96, 32 seviye)	KAM	v20190815	Seland ve diğeri (2020)
NorESM2-MM	r1i1p1f1	CAM-OSLO (1 derece, 288 × 192, 32 seviye)	KAM	v20191108	Seland ve diğeri (2020)
SAM0-UNICON	r1i1p1f1	CAM5.3 (288 × 192, 30 seviye)	KAM	v20190323	Park ve diğeri (2019) Lee
TayESM1	r1i1p1f1	TaiAM1 (0,9 × 1,25 derece, 288 × 192, 30 seviye)	KAM	v20210517	ve diğeri (2020b) Sellar ve
UKESM1-0-LL	r1i1p1f2	MetUM-HadGEM3-GA7.1 (N96, 192 × 144, 85 lv)	HadGAM/UM	v20190715	diğeri (2019)

İndirilen sürüm ve referans makaleler de dahil edilmiştir. 'rg', Azaltılmış Gauss izgara yapılandırmasını ifade eder ve 'gp', izgara noktalarını ifade eder. 'Model ailesi', Brands tarafından yapılan gruplamayı takip eder (2022b) ve Brunner ve diğeri (2020), gruplama kriterlerini karşılamayan GCM'lere atıfta bulunan italik yazıyla

Ek 6: Kapsamlı CMIP6 değerlendirmesi

Farklı CMIP6 modellerinin değerlendirilmesi birden fazla model için gerçekleştirildi. Tüm modeller ısı analizi için gereken tüm verilere sahip olmadığından, makaleye dahil edilmediler. Ancak, değerlendirmenin tam genel görünümü Şekil 1'de bulunabilir. 15 Burada, model dışlama eşiği 0,844'e eşittir. Farklı CMIP6 modellerinin atmosferik bileşenlerinin ayrıntılı bir açıklaması Tablo'da bulunabilir. 7 Ayrıca tarihsel basınca ait veri setinin versiyonu da verilmiştir.

Teşekkürler Yazarlar, ERA5 yeniden analiz verileri için Copernicus'a teşekkürlerini sunarlar. Ayrıca, Eşleştirilmiş Modelleme Çalışma Grubu aracılığıyla CMIP6'ya koordine eden ve destekleyen Dünya İklim Araştırma Programı'na da teşekkür ederiz. İklim modeli gruplarına model çıktılarını ürettikleri ve kullanıma sundukları için, Dünya Sistem Şebekesi Federasyonu'na (ESGF) verileri arşivlediği ve erişim sağladığı için ve CMIP6 ve ESGF'yi destekleyen birden fazla fonlama kuruluşuna teşekkür ederiz.

Yazar katkıları Fien Serras kavramsallaştırma ve metodolojiye, verilerin düzenlenmesine, verilerin analizine, görselleştirilmesine ve makalenin yazılmasına katkıda bulundu. Kobe Vandelanotte, Ruben Borgers ve Matthias Demuzere makalenin metodolojisine ve yazımına (inceleme ve düzenleme) katkıda bulundu. Piet Termonia makalenin finansman edinimine ve yazımına (inceleme ve düzenleme) katkıda bulundu. Bert Van Schaeybroeck makalenin metodolojisine, denetimine ve yazımına (inceleme ve düzenleme) katkıda bulundu. Nicole van Lipzig kavramsallaştırmaya, metodolojiye,

veri yorumlanması, araştırma projesinin genel denetimi ve makalenin yazılması (gözden geçirilmesi ve düzenlenmesi).

Finansman Bu araştırma BELSPO tarafından finanse edilmiştir (hibe B2/223/P1/CORDEX.be II). M. Demuzere, Avrupa Birliği'nin HORIZON Araştırma ve Yenilik Eylemleri kapsamında 101137851 numaralı hibe sözleşmesi, CARMINE (Avrupa'nın Metropol Bölgelerinde İklim Dayanıklı Kalkınma Yolları) projesi tarafından desteklenmektedir. <https://www.carmineproject.eu/>.

Veri ve materyallerin kullanılabilirliği Bu ERA5 yeniden analiz veri setine Copernicus İklim Değişikliği Servisi aracılığıyla erişilebilir (C35) ECMWF'de. CMIP6 model verilerine ESGF aracılığıyla erişilebilir. Bu makalenin şekillerini yeniden oluşturmak için gereken veriler KU Leuven Araştırma Veri Deposu'nda (RDR) bulunabilir. <https://doi.org/10.48804/MINSTEY>.

Kod kullanılabilirliği KU Leuven Araştırma Veri Deposu (RDR), Lamb Hava Durumu Tipi sınıflandırması için kodu içerir <https://doi.org/10.48804/7HHSVV> ve optimizasyonu gerçekleştirmek için komut dosyaları <https://doi.org/10.48804/VINEVJ>.

Beyanlar

Çıkar çatışması Tüm yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Etik onayı Uygulanamaz.

Katılım onayı Uygulanamaz.

Yayın için onay Uygulanamaz.

Açık Erişim Bu makale, uygun şekilde orijinal yazar(lar) ve kaynağa atıfta bulunduğunuz, Creative Commons lisansına bir bağlantı sağladığınız ve değişiklik yapıp yapılmadığını belirttiğiniz sürece herhangi bir ortamda veya biçimde kullanım, paylaşım, uyarlama, dağıtım ve çoğaltmaya izin veren Creative Commons Atıf 4.0 Uluslararası Lisansı kapsamında lisanslanmıştır. Bu makaledeki görseller veya diğer üçüncü taraf materyalleri, materyale ait bir kredi satırında aksi belirtilmediği sürece makalenin Creative Commons lisansına dahildir. Materyal makalenin Creative Commons lisansına dahil değilse ve amaçladığınız kullanım yasal düzenleme tarafından izin verilmiyorsa veya izin verilen kullanımı aşıyorsa, doğrudan telif hakkı sahibinden izin almanız gerekecektir. Bu lisansın bir kopyasını görüntülemek için şu adresi ziyaret edin: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

Referanslar

- Basara JB, Basara HG, Illston BG ve diğerleri (2010) Kentsel Oklahoma City'deki yoğun bir sıcak hava dalgası sırasında ısı adası. *Adv Meteorol* 2010:1–10. <https://doi.org/10.1155/2010/230365>
- Basu R (2002) Yükseltilmiş ortam sıcaklığı ile ölüm oranı: epidemiyolojik kanıtların gözden geçirilmesi. *Epidemiol Rev* 24(2):190–202. <https://doi.org/10.1093/epirev/mxf007>
- Beck C, Philipp A (2010) Dolaşımın değerlendirilmesi ve karşılaştırılması Avrupa alanı için tip sınıflandırmaları. *Phys Chem Earth PT A/B/C* 35(9):374–387. [Türkçe: https://doi.org/10.1016/j.pce.2010.01.001](https://doi.org/10.1016/j.pce.2010.01.001)
- Bethke I, Wang Y, Counillon F ve diğerleri (2021) NorCPM1 ve katkısı CMIP6 DCP'ye geçiş. *Geosci Model Dev* 14(11):7073–7116. <https://doi.org/10.5194/gmd-14-7073-2021>
- Bi D, Dix M, Marsland S ve diğerleri (2020) Yapılandırma ve dönüş ACCESS-CM2, yeni nesil Avustralyalı toplum iklimi ve dünya sistemi simülasyonu eşleştirilmiş modeli. *J South Hemisph Earth Syst Sci* 70(1):225–251. <https://doi.org/10.1071/ES19040>
- Boucher O, Servonnat J, Albright AL ve diğerleri (2020) Sunum ve IPSL-CM6A-LR iklim modelinin değerlendirilmesi. *J Adv Model Earth Syst* 12(7):e2019MS002010. <https://doi.org/10.1029/2019M5002010>
- Markalar S (2022a) CMIP5'in dolaşıma dayalı performans atlası ve Kuzey Yarımküre orta ila yüksek enlemlerinde bölgesel iklim çalışmaları için 6 model. *Geosci Model Dev* 15(4):1375–1411. <https://doi.org/10.5194/gmd-15-1375-2022>
- Markalar S (2022b) Bölgesel atmosferik verilerdeki yaygın hata kalıpları CMIP çoklu model topluluğu tarafından simüle edilen sirkülasyon. *Geophys Res Lett* 49(23):e2022GL101446. <https://doi.org/10.1029/2022GL101446>
- Brands S, Herrera S, Gutiérrez J (2014) Avrasya kar örtüsü Ekim, İber Yarımadası'ndaki kış iklimi için güvenilir bir istatistiksel öngörücü müdür? *Int J Climatol* 34(5):1615–1627. <https://doi.org/10.1002/joc.3788>
- Brisson E, Demuzere M, Kwakernaak B ve diğerleri (2011) İlişkiler Belçika'da atmosferik dolaşım ve yağış arasındaki ilişki. *Meteorol Atmos Phys* 111(1):27–39. <https://doi.org/10.1007/s00703-010-0103-y>
- Broderick C, Fealy R (2015) Sinoptik ve iklimsel analiz İrlanda için dolaşım tipi sınıflandırmalarının mantıksal uygulanabilirliği. *Int J Climatol* 35(4):481–505. <https://doi.org/10.1002/joc.3996>
- Brouwers J, Peeters B, Van Steertegem M ve diğerleri (2015) MIRA klima-maatrapport 2015, waargenomen en toekomstige klimaatveranderingen üzerinde. Vlaamse Milieumaatschappij ism KU Leuven, VITO en KMI, Aalst, Belçika
- Brunner L, Hegerl GC, Steiner AK (2017) Atmosferik İlkbaharda Avrupa'daki aşırı sıcaklıklara karşı koruma. *J Clim* 30(2):585–594. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0518.1>
- Brunner L, Pendergrass AG, Lehner F ve diğerleri (2020) Azaltılmış küresel CMIP6 projeksiyonlarından ısınma, performans ve bağımsızlığa göre modeller ağırlıklandırıldığında. *Earth Syst Dyn* 11(4):995–1012. <https://doi.org/10.5194/esd-11-995-2020>. <https://esd.copernicus.org/articles/11/995/2020/>
- Calinski T, Harabasz J (1974) Kümeleme analizi için bir dendrit yöntemi. *Topluluk İstatistik Teorisi Yöntemleri* 3(1):1–27. <https://doi.org/10.1080/03610927408827101>
- Cao J, Wang B, Yang YM ve diğerleri (2018) NUIST Dünya Sistemi Model (NESM) sürüm 3: açıklama ve ön değerlendirme. *Geosci Model Dev* 11(7):2975–2993. <https://doi.org/10.5194/gmd-11-2975-2018>
- Cherchi A, Fogli PG, Lovato T ve diğerleri (2019) Küresel ortalama iklim ve CMCC-CM2 bağlantılı modeldeki değişkenliğin ana kalıpları. *J Adv Model Earth Syst* 11(1):185–209. <https://doi.org/10.1029/2018MS001369>
- Danabasoglu G, Lamarque J, Bacmeister J ve diğerleri (2020) Topluluk Dünya sistemi modeli sürüm 2 (CESM2). *J Adv Model Earth Syst* 12(2):e2019MS001916. <https://doi.org/10.1029/2019MS001916>
- De B, Tselioudis G, Polvani LM (2022) Geliştirilmiş temsil CMIP6 modellerindeki atmosferik dinamikler, Hadley hücreli iklimsel kapsamına olan iklim duyarlılığı bağımlılığını ortadan kaldırır. *Atmos Sci Lett* 23(3):e1073. <https://doi.org/10.1002/asl.1073>
- Demuzere M, Werner M, Van Lipzig NPM ve diğerleri (2009) Bir analiz dolaşım desenlerinin sınıflandırılması kullanılarak mevcut ve gelecekteki ECHAM5 basınç alanları. *Int J Climatol* 29(12):1796–1810. <https://doi.org/10.1002/joc.1821>
- Di Virgilio G, Ji F, Tam E ve diğerleri (2022) CMIP6 GCM'lerin Seçilmesi CORDEX dinamik küçültme için: model performansı, bağımsızlık ve iklim değişikliği sinyalleri. *Dünya'nın Geleceği* 10(4):e2021EF002625. <https://doi.org/10.1029/2021EF002625>
- Dufresne JL, Foujols MA, Denvil S ve diğerleri (2013) İklim değişikliği IPSL-CM5 Dünya Sistem Modeli kullanılarak yapılan tahminler: CMIP3'ten CMIP5'e. *Clim Dyn* 40(9):2123–2165. <https://doi.org/10.1007/s00382-012-1636-1>
- Dunne JP, Horowitz LW, Adcroft AJ ve diğerleri (2020) GFDL toprak sistemi tem model sürüm 4.1 (GFDL-ESM 4.1): genel olarak birleştirilmiş model açıklaması ve simülasyon özellikleri. *J Adv Model Earth Syst* 12(11):e2019MS002015. <https://doi.org/10.1029/2019MS002015>
- Döscher R, Acosta M, Alessandri A ve diğerleri (2022) EC-Earth3 dünyası Eşleştirilmiş model karşılaştırma projesi için sistem modeli 6. *Geosci Model Dev* 15(7):2973–3020. <https://doi.org/10.5194/gmd-15-2973-2022>
- ECMWF (2016) IFS belgeleri CY41R2—bölüm IV: fiziksel pro-ödemeler. 4, ECMWF. <https://doi.org/10.21957/tr5rv27xu>. <https://www.ecmwf.int/node/16648>
- ECMWF (2020) ERA5: 2 metre sıcaklık. <https://confluence.ecmwf.int/749/ekran/CKB/ERA5%3A+2+metre+sıcaklık> [2023-11-08'de alındı]
- Epstein Y, Moran DS (2006) Isıl konfor ve ısı stresi göstergesi ces. *Ind Health* 44(3):388–398. <https://doi.org/10.2486/indhealth.44.388>
- ES-DOC (2016) Veri seti hataları. <https://errata.ipsl.fr/statik/index.html>. Son erişim tarihi 31-Oca-2024
- Eyring V, Bony S, Meehl GA ve diğerleri (2016) Eşleştirilmiş genel bakış model karşılaştırma projesi aşama 6 (CMIP6) deneysel tasarım ve organizasyonu. *Geosci Model Dev* 9(5):1937–1958. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-1937-2016>
- Fan X, Miao C, Duan Q ve diğerleri (2020) CMIP6'nın performansı CMIP5 küresel kara yüzeyi üzerindeki sıcaklık uçlarını simüle etmede. *J Geophys Res Atmos* 125(18):e2020JD033031. <https://doi.org/10.1029/2020JD033031>
- Fernández-Granja JA, Brands S, Bedia J ve diğerleri (2023) Sınırları keşfetmek Jenkinson–Collison hava durumu sınıflandırma şemasının bir örneği:

- çeşitli yeniden analizlere dayalı küresel bir değerlendirme. *Clim Dyn* 61(3):1829–1845. <https://doi.org/10.1007/s00382-022-06658-7>
- Fischer EM, Oleson KW, Lawrence DM (2012) Kentsel ve kırsal ısı stresinin iklim değişikliğine verdiği tepkiler. *Geophys Res Lett* 39(3):2011GL050576. <https://doi.org/10.1029/2011GL050576>
- Grimalt M, Tomàs M, Alomar G ve diğerleri (2013) Jenkinson ve Collison'un 1948–2009 döneminde Batı Akdeniz havzası için hava durumu tipleri. *Zamansal analiz. Atmósfera* 26(1):75–94. [https://doi.org/10.1016/S0187-6236\(13\)71063-4](https://doi.org/10.1016/S0187-6236(13)71063-4)
- Gualdi S, Somot S, Li L ve diğerleri (2013) CIRCE simülasyonları: bölgesel Akdeniz'in gerçekçi temsiliyle iklim değişikliği projeksiyonları. *Bull Am Meteorol Soc* 94(1):65–81. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00136.1>
- Hajima T, Watanabe M, Yamamoto A ve diğerleri (2020) Geliştirme MIROC-ES2L Dünya sistemi modeli ve biyojeokimyasal süreçlerin ve geri bildirimlerin değerlendirilmesi. *Geosci Model Dev* 13(5):2197–2244. <https://doi.org/10.5194/gmd-13-2197-2020>
- He B, Yu Y, Bao Q ve diğerleri (2020) CAS FGOALS-F3-L model veri kümesi CMIP6 DECK deneyleri için açıklamalar. *Atm Ocean Sci Lett* 13(6):582–588. <https://doi.org/10.1080/16742834.2020.1778419>
- IM, Guo H, Adcroft A ve diğerleri (2019) Yapı ve Performans GFDL'nin CM4.0 İklim Modeli. *J Adv Model Earth Syst* 11(11):3691–3727. <https://doi.org/10.1029/2019MS001829>
- Hersbach H, Bell B, Berrisford P ve diğerleri (2020) ERA5 küresel araştırma Analiz. *QJR Meteorol Soc* 146(730):1999–2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>
- Hersbach H, Bell B, Berrisford P ve diğerleri (2023) ERA5 saatlik verileri 1940'tan günümüze tek katlı. <https://doi.org/10.24381/cds.adbb2d47>. 27-Ekim-2023'te alındı
- Hoogeveen J, Hoogeveen H (2023) Rüzgarlar değişiyor: bir açıklama Hollanda'nın ısınması için. *Int J Climatol* 43(1):354–371. <https://doi.org/10.1002/joc.7763>
- Huth R, Beck C, Philipp A ve diğerleri (2008) Atmosferik sınıflandırmalar dolaşım desenleri: son gelişmeler ve uygulamalar. *Ann NY Acad Sci* 1146(1):105–152. <https://doi.org/10.1196/annals.1446.019>
- IPCC (2023) İklim Değişikliği 2021—Fiziksel Bilim Temeli: Çalışma Grubu I'nin Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin Altıncı Değerlendirme Raporuna Katkısı, 1. baskı. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>. <https://www.cambridge.org/core/product/identifier/9781009157896/type/book>
- Jenkinson AF, Collison FP (1977) Fırtınaların ilk iklimi Kuzey Denizi. *Synopt Climatol Şube Muhtırası* 62:18 Jones PD, Hulme M, Briffa KR (1993) Lamb sirkülasyonunu karşılaştıran bir çalışma Nesnel bir sınıflandırma şemasına sahip tipler. *Int J Climatol* 13(6):655–663. <https://doi.org/10.1002/joc.3370130606>
- Jones PD, Harpham C, Briffa KR (2013) Türetilen kuzu hava durumu türleri yeniden analiz ürünlerinden. *Int J Climatol* 33(5):1129–1139. <https://doi.org/10.1002/joc.3498>
- Kim YH, Min SK, Zhang X ve diğerleri (2020) CMIP6'nın değerlendirilmesi iklim aşırı endeksleri için çoklu model topluluğu. *Weather Clim Extrem* 29:100269. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2020.100269>
- Knutti R, Furrer R, Tebaldi C ve diğerleri (2010) Birleştirmedeki zorluklar birden fazla iklim modelinden projeksiyonlar. *J Clim* 23(10):2739–2758. [Türkçe: https://doi.org/10.1175/2009JCLI3361.1](https://doi.org/10.1175/2009JCLI3361.1)
- Kotlarski S, Keuler K, Christensen OB ve diğerleri (2014) Bölgesel iklim Avrupa ölçeklerinde modelleme: EURO-CORDEX RCM topluluğunun ortak standart değerlendirmesi. *Geosci Model Dev* 7(4):1297–1333. <https://doi.org/10.5194/gmd-7-1297-2014>
- Laaidi K, Zeghnoun A, Dousset B ve diğerleri (2012) Isının etkisi Paris'te Ağustos 2003'teki sıcak hava dalgası sırasında ölüm oranlarına ilişkin adalar. *Çevre Sağlığı Perspektifi* 120(2):254–259. <https://doi.org/10.1289/ehp.1103532>
- Lamb HH (1950) Yıl boyunca hava durumu türleri ve dönemleri Britanya Adaları: yıllık eğilimler, yılın mevsimsel yapısı, tekillikler. *QJR Meteorol Soc* 76(330):393–429. <https://doi.org/10.1002/qj.49707633005>
- Lamb HH (1972) Britanya adaları hava durumu türleri ve bir kayıt defteri günlük sirkülasyon desenleri dizisi 1861–1971. *Geophys Mem* 1972:1
- Lee J, Kim J, Sun MA ve diğerleri (2020) Kore meteorolojisinin değerlendirilmesi mantıksal yönetim gelişmiş topluluk dünya sistemi modeli (K-ACE). *Asya Pasifik J Atmos Sci* 56(3):381–395. <https://doi.org/10.1007/s13143-019-00144-7>
- Lee WL, Wang YC, Shiu CJ ve diğerleri (2020) Tayvan dünya sistemi modeli sürüm 1: ortalama durumun tanımı ve değerlendirilmesi. *Geosci Model Dev* 13(9):3887–3904. <https://doi.org/10.5194/gmd-13-3887-2020>
- Li D, Yuan J, Kopp RE (2020) Şirketlere yönelik küresel maruziyetin artması pound ısı-nem aşırılıkları ısınma ile. *Environ Res Lett* 15(6):064003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab7d04>
- Li H, Sheffield J, Wood EF (2010) Aylık ön-değerlemenin önyargı düzeltilmesi Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli AR4 modellerinden eşit uzaklıktaki kantil eşleştirmesini kullanan cipitasyon ve sıcaklık alanları. *J Geophys Res* 115:2009JD012882. <https://doi.org/10.1029/2009JD012882>
- Li L, Yu Y, Tang Y ve diğerleri (2020) Esnek küresel okyanus-atmosfer phere-land sistem modeli grid-nokta sürüm 3 (FGOALSg3): açıklama ve değerlendirme. *J Adv Model Earth Syst* 12(9):e2019MS002012. <https://doi.org/10.1029/2019MS002012>
- Liang X, Kunkel KE, Meehl GA ve diğerleri (2008) Bölgesel iklim modelleri Genel sirkülasyon modellerinin ölçek küçültme analizi, iklim önyargılarının gelecekteki değişim projeksiyonlarına yayılmasını sunar. *Geophys Res Lett* 35(8):2007GL032849. <https://doi.org/10.1029/2007GL032849>
- Lovato T, Peano D, Butenschön M ve diğerleri (2022) CMIP6 simülasyonları CMCC toprak sistemi modeli (CMCC-ESM2) ile. *J Adv Model Earth Syst* 14(3):e2021MS002814. <https://doi.org/10.1029/2021MS002814>
- Masterton JM, Richardson F (1979) Humidex: bir miktar belirleme yöntemi aşırı sıcaklık ve nemden kaynaklanan insan rahatsızlığı. *Environment Canada, Atmosferik Çevre*
- Mauritsen T, Bader J, Becker T ve diğerleri (2019) Gelişmeler MPI-M dünya sistemi modeli sürüm 12 (MPI-ESM12) ve artan CO₂'ya tepkisiz. *J Adv Model Earth Syst* 11(4):998–1038. <https://doi.org/10.1029/2018MS001400>
- McSweeney CF, Jones RG, Lee RW ve diğerleri (2015) CMIP5'in Seçilmesi Birden fazla bölge üzerinde ölçeklemeyi azaltmak için GCM'ler. *Clim Dyn* 44(11):3237–3260. <https://doi.org/10.1007/s00382-014-2418-8>
- Morice C, Kennedy J, Rayner N ve diğerleri (2021) Güncellenmiş bir değerlendirme 1850'den bu yana yüzeye yakın sıcaklık değişiminin: HadCRUT5 veri seti. *J Geophys Res (Atmos)*. <https://doi.org/10.1029/2019JGD032361>. 2023-07-14 tarihinde erişildi
- Müller WA, Jungclauss JH, Mauritsen T ve diğerleri (2018) Daha yüksek çözünürlüklü Planck enstitüsü dünya sistemi modelinin (MPI-ESM1.2-HR) maksimum versiyonu. *J Adv Model Earth Syst* 10(7):1383–1413. <https://doi.org/10.1029/2017MS001217>
- Otero N, Sillmann J, Butler T (2018) Genişletilmiş bir ver-Avrupa üzerindeki CMIP5 modellerinde Jenkinson–Collison sınıflandırmasının yorumlanması. *Clim Dyn* 50(5–6):1559–1579. <https://doi.org/10.1007/s00382-017-3705-y>
- Pak G, Noh Y, Lee MI ve diğerleri (2021) Kore Okyanus Bilimleri Enstitüsü ve teknoloji dünya sistemi modeli ve onun simülasyon özellikleri. *Ocean Sci J* 56(1):18–45. <https://doi.org/10.1007/s12601-021-00001-7>
- Park S, Shin J, Kim S ve diğerleri (2019) Küresel iklim simüle edildi Seul ulusal üniversitesi atmosfer modeli sürüm 0, birleşik konveksiyon şeması (SAM0-UNICON). *J Clim* 32(10):2917–2949. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-18-0796.1>

- Perkins SE, Pitman AJ, Holbrook NJ ve diğerleri (2007) Değerlendirme AR4 iklim modelleri, olasılık yoğunluk fonksiyonlarını kullanarak Avustralya üzerinde simüle edilmiş günlük maksimum sıcaklık, minimum sıcaklık ve yağışı hesapladı. *J Clim* 20(17):4356–4376. <https://doi.org/10.1175/JCLI4253.1>
- Powell MJD (1994) Modelleme yapan doğrudan bir arama optimizasyonu yöntemi doğrusal enterpolasyonla hedef ve kısıt fonksiyonları. Gomez S, Hennart JP (editörler) Optimizasyon ve sayısal analizdeki gelişmeler. Springer, Londra, ss 51–67. https://doi.org/10.1007/978-94-015-8330-5_4
- Rind D, Orbe C, Jonas J ve diğerleri (2020) GISS modeli E2.2: bir iklim modeli Orta atmosfer modeli yapısı, klimatoloji, değişkenlik ve iklim duyarlılığı için optimize edilmiştir. *J Geophys Res Atmos* 125(10):e2019JD032204. <https://doi.org/10.1029/2019JD032204>
- Roberts MJ, Baker A, Blockley EW ve diğerleri (2019) Araştırmanın tanımı CMIP6 HighResMIP deneylerinde kullanılan küresel bağlı HadGEM3-GC3.1 modelinin çözüm hiyerarşisi. *Geosci Model Dev* 12(12):4999–5028. <https://doi.org/10.5194/gmd-12-4999-2019> Rohde RA,
- Hausfather Z (2020) Berkeley Dünya Kara/Okyanus Sıcaklığı sıcaklık kaydı. *Sci Data Earth Syst.* <https://doi.org/10.5194/essd-12-3469-2020> [Erişim tarihi 2023-11-13]
- Sanderson MG, Hemming DL, Betts RA (2011) Bölgesel sıcaklık ve yüksek uçtaki yağış değişiklikleri (°C) küresel ısınma. *Philos Trans R Soc A Matematik Fizik Mühendislik Bilimi* 369(1934):85–98. <https://doi.org/10.1098/rsta.2010.0283>
- Seland Ø, Bentsen M, Olivé D ve diğerleri (2020) Norveç'e Genel Bakış gian Earth System Model (NorESM2) ve CMIP6 DECK'in temel iklim tepkisi, tarihsel ve senaryo simülasyonları. *Geosci Model Dev* 13(12):6165–6200. <https://doi.org/10.5194/gmd-13-6165-2020>
- Sellar AA, Jones CG, Mulcahy JP ve diğerleri (2019) UKESM1: açıklama ve İngiltere Dünya sistemi modelinin değerlendirilmesi. *J Adv Model Earth Syst* 11(12):4513–4558. <https://doi.org/10.1029/2019MS001739>
- Seneviratne SI, Donat MG, Pitman AJ ve diğerleri (2016) İzin Verilen CO₂ bölgesel ve etkiyle ilgili iklim hedeflerine dayalı emisyonlar. *Doğa* 529(7587):477–483. <https://doi.org/10.1038/nature16542>
- Sobolowski S, Somot S, Fernandez J ve diğerleri (2023) EURO-CORDEX CMIP6 GCM seçimi ve topluluk tasarımı: en iyi uygulamalar ve öneriler. *Zenodo*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.76734.00>
- Swapna P, Roxy MK, Aparna K ve diğerleri (2015) IITM toprak sistemi model: mevsimsel bir tahmin modelinin uzun vadeli bir iklim modeline dönüştürülmesi. *Bull Am Meteorol Soc* 96(8):1351–1367. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-13-00276.1>
- Swart NC, Cole JNS, Kharin VV ve diğerleri (2019) Kanada dünyası sistem modeli sürüm 5 (CanESM5.0.3). *Geosci Model Dev* 12(11):4823–4873. <https://doi.org/10.5194/gmd-12-4823-2019> Séférián R, Nabat P,
- Michou M ve diğerleri (2019) CNRM'nin Değerlendirilmesi Dünya sistemi modeli, CNRM-ESM2-1: Dünya sistemi süreçlerinin günümüz ve gelecekteki iklimdeki rolü. *J Adv Model Earth Syst* 11(12):4182–4227. <https://doi.org/10.1029/2019MS001791> Tabebe H,
- Ogura T, Nitta T ve diğerleri (2019) Açıklama ve temel değerlendirme MIROC6'da simüle edilmiş ortalama durum, iç değişkenlik ve iklim duyarlılığının belirlenmesi. *Geosci Model Dev* 12(7):2727–2765. <https://doi.org/10.5194/gmd-12-2727-2019>
- Tebaldi C, Knutti R (2018) İklim değişikliğinin doğruluğunun değerlendirilmesi düşük ısınma hedefleri için desen emülasyonu. *Environ Res Lett* 13(5):055006. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aabef2> Tomczyk AM, Owczarek M (2020) Güçlü ve çok Polonya'da güçlü ısı stresi ve dolaşım koşulları. *Teori Uygulamalı İklim* 139(3–4):893–905. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-02998-3>
- Trigo RM, DaCamara CC (2000) Dolaşım hava tipleri ve Portekiz'deki yağış rejimi üzerindeki etkileri. *Int J Climatol* 20(13):1559–1581. [https://doi.org/10.1002/1097-0088\(20001115\)20:13<1559::AID-JOC555.3.0.CO;2-5](https://doi.org/10.1002/1097-0088(20001115)20:13<1559::AID-JOC555.3.0.CO;2-5)
- Van De Walle J, Brousse O, Arnalsteen L ve diğerleri (2022) Vegetasyon eksikliği Tropikal bir Afrika kentindeki yoğun yerleşim yerlerinde tehlikeli sığağa maruz kalma durumu daha da kötüleşiyor. *Environ Res Lett* 17(2):024004. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac47c3>
- Vautard R, Gobiet A, Sobolowski S ve diğerleri (2014) Avrupa iklimi bir arkadaşın altında-C küresel ısınma. *Environ Res Lett* 9(3):034006. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/3/034006>
- Vautard R, Cattiaux J, Happé T ve diğerleri (2023) Batı'daki aşırı sıcaklıklar Avrupa, atmosferik dolaşım eğilimleri nedeniyle simüle edilenden daha hızlı artıyor. *Nat Commun* 14(1):6803. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-42143-3>
- Volodire A, Saint-Martin D, Sénési S ve diğerleri (2019) CMIP6 Değerlendirmesi CNRM-CM6-1 ile DECK deneyleri. *J Adv Model Earth Syst* 11(7):2177–2213. <https://doi.org/10.1029/2019MS001683> Volodin EM, Mortikov EV, Kostyrin SV ve diğerleri (2017) Simülasyon Günümüz ikliminin INMCM5 iklim modeli ile incelenmesi. *Clim Dyn* 49(11–12):3715–3734. <https://doi.org/10.1007/s00382-017-3539-7>
- Volodin EM, Mortikov EV, Kostyrin SV ve diğerleri (2018) Simülasyonu INM-CM48 iklim modelini kullanarak modern iklim. *Russ J Numer Anal Math Model* 33(6):367–374. <https://doi.org/10.1515/rnam-2018-0032>
- Dünya Meteoroloji Örgütü (2017) WMO yönergeleri iklim normallerinin hesaplanması. Dünya Meteoroloji Örgütü, Cenevre
- Wouters H, De Ridder K, Poelmans L ve diğerleri (2017) Isı stresinde artış İklim değişikliği altında şehirlerde kırsal alanlara göre iki kat daha büyük: yoğun nüfuslu bir orta enlem deniz bölgesi için bir çalışma. *Geophys Res Lett* 44(17):8997–9007. <https://doi.org/10.1002/2017GL074889>
- Wu T, Lu Y, Fang Y ve diğerleri (2019) Pekin iklim merkezi iklimi sistem modeli (BCC-CSM): CMIP5'ten CMIP6'ya ana ilerleme. *Geosci Model Dev* 12(4):1573–1600. <https://doi.org/10.5194/gmd-12-1573-2019>
- Wu T, Zhang F, Zhang J ve diğerleri (2020) Pekin iklim merkezi dünya sistemi tem model sürüm 1 (BCC-ESM1): aerosol simülasyonlarının model tanımı ve değerlendirilmesi. *Geosci Model Dev* 13(3):977–1005. <https://doi.org/10.5194/gmd-13-977-2020>
- Yukimoto S, Kawai H, Koshiro T ve diğerleri (2019) Meteorolojik araştırma enstitüsü dünya sistemi modeli sürüm 2.0, MRI-ESM2.0: fiziksel bileşenin tanımı ve temel değerlendirilmesi. *J Meteorol Soc Jpn Ser II* 97(5):931–965. <https://doi.org/10.2151/jmsj.2019-051>
- Zelinka MD, Myers TA, McCoy DT ve diğerleri (2020) Daha yüksek nedenler CMIP6 modellerinde iklim duyarlılığı. *Geophys Res Lett* 47(1):e2019GL085782. <https://doi.org/10.1029/2019GL085782>
- Zhang HM, Huang B, Lawrimore J ve diğerleri (2023) NOAA küresel yüzey sıcaklık veri seti (NOAAGlobalTemp), sürüm 5.1, NOAA Ulusal Çevre Bilgi Merkezleri. <https://doi.org/10.25921/9qth-2p70>. 2023-07-14 tarihinde erişildi
- Ziehn T, Chamberlain MA, Law RM ve diğerleri (2020) Avustralya Dünyası sistem modeli: ACCESS-ESM1.5. Güney Yarımküre Dünya Sistem Bilimi 70(1):193–214. <https://doi.org/10.1071/ES19035>

Yayıncının Notu Springer Nature, yayınlanan haritalardaki yargı yetkisi iddiaları ve kurumsal bağlantılar konusunda tarafsızlığını korumaktadır.