

Yeni nesil iklim modelleri: net sıfır ve iklim adaptasyonu için bir adım değişikliği

Kısaca

İklim modelleri, iklim değişikliğini anlamak ve risklerini öngörmek için temel öneme sahiptir. Etkilerin öngörülmesi, uyum kararlarına rehberlik edilmesi ve azaltım hedeflerinin belirlenmesi için temel oluştururlar. Toplum, hızla artan iklim değişikliği karşısında sağlam kararlar alınmasını sağlamak ve 2050 yılına kadar net sıfır hedefine ulaşmak için artık daha ayrıntılı ve kesin bilgilere ihtiyaç duymaktadır.

Mevcut teknolojik potansiyel ve bilimsel kapasite, yeni nesil süper bilgi işlem ve Dünya sistemi bilimine yapılacak yeni bir uluslararası işbirliği ve yatırım seviyesiyle kullanılabilir. Adım adım gerçekleşecek bu dönüşüm, önümüzdeki on yıllarda azaltım ve uyum konusunda daha büyük bir hırsı desteklemek için gereken sağlam bilimi sağlayabilir.

İÇGÖRÜLER

- Exascale hesaplama ve veri tesisine dayalı uluslararası bir yeni nesil iklim modelleme merkezi, net sıfıra giden teknoloji yol haritasını ve iklim adaptasyonuna yatırımları desteklemek için modelleme kapasitesinde şu anda mümkün olan adım değişikliğini sağlayabilir.
- Parçacık fiziğinde CERN'inkine benzer bir role sahip, benzeri görülmemiş ölçekte özel bir tesis, son 50 yılın en büyük bilimsel başarılarından biri olan Dünya sistemi modellerinin inşasına dayanarak, önümüzdeki yüzyıl için zamanında, ayrıntılı, tutarlı ve eyleme geçirilebilir iklim tahminleri sunmanın önündeki bilimsel ve teknik engellerin üstesinden gelecektir.
- Son çalışmalar, yeni nesil yüksek çözünürlüklü modellerin, küresel iklim ve bölgesel iklim etkilerinden risklere kadar azaltım ve uyum için mevcut bilgi kalitesinde devrim yaratabileceğini göstermiştir. eşi benzeri görülmemiş aşırı hava koşulları ve tehlikeli iklim değişikliği.
- Böylesi yeni bir küresel tesisle ortaklık ve işbirliği sayesinde, dünyanın dört bir ulusal iklim modelleme ve hizmetleri, ülkelerinin vatandaşlarının ve aslında dünyanın yararına olacak şekilde yeni bir kapasite düzeyine yükseltilecektir.
- En son tahminlerin ve kullanılmasını sağlamak için tesis, Yapay Zeka (AI), makine öğrenimi ve gelişmiş görselleştirme gibi veri analitiği ve bilişim alanındaki en son dijital teknolojileri benimseyecek özel bir operasyonel veri hizmeti de içerebilir.
- Devam eden gelişim, yeni nesil modelleme için yeni fikirleri teşvik etmek üzere bir 'İnkübatör', Veri Bulutu ve Uygulama Programlama Arayüzlerine (API'ler) dayalı en yeni dijital çözümler üzerinde kamu-özel sektör ortaklığını teşvik etmek üzere bir 'Açık Veri Laboratuvarı' tarafından yönlendirilebilir, İklim modeli bilgilerini geliştirenleri ve kullananları eğitmek için bir akademinin yanı sıra.

1. Şimdiye kadarki hikaye

1.1. Dünya ikliminde gelecekte meydana gelebilecek değişikliklerin tahmin edilmesi

Dünya'nın iklimi son derece karmaşıktır. Bilim insanları gözlemlerden iklimimizdeki birçok değişikliği tespit edebilse de, bu gözlemler tek başına iklimin neden değiştiğini açıklayamaz. İklimin değiştiğini ve gelecekte nasıl değişeceğini bilmiyoruz. Bunun için iklim modellerine ihtiyaç vardır.

1896 gibi erken bir tarihte Arrhenius, basit enerji dengesi argümanlarına dayanarak karbondioksitin iki katına çıkmasının 4°C küresel ısınmaya yol açacağını öne sürmüştü¹. Sayısal hava tahmin sistemlerinin yanı sıra küresel sirkülasyonun tepkisini simüle edebilen iklim modellerinin geliştirilmesi ancak 1950'lerde bilgisayarların ortaya çıkmasıyla mümkün olmuştur. Bu modeller, temel fiziksel yasaları kullanarak ilk prensiplerden hava durumunu ve dolayısıyla iklimi simüle etmeye dayanıyordu. Matematiksel denklemlerle temsil edilen bu yasalar, sofistike sayısal teknikler kullanılarak çözülmelidir. Dünya'nın atmosferi, okyanusları, karaları ve buzları milyonlarca ızgara hücresine bölünerek ve denklemler zaman içinde ileriye doğru çözümlenerek, her bir hücrede dünyanın hava durumu ve ikliminin önümüzdeki saatler ile on yıllar içindeki evriminin simülasyonları oluşturulabilir².

Modeller için temel zorluk her zaman bulut oluşumu ve kümülüs konveksiyonu gibi modelin ızgarasından daha ince ölçeklerde meydana gelen süreçlerin en iyi şekilde nasıl temsil edileceği olmuştur. Bu tür süreçler aşağıdakiler için kritik öneme sahiptir İklim değişikliğinin büyüklüğünü ve hızını belirlemek, yağışlardaki değişiklikleri tahmin etmek ve tropikal siklonlar ve seller gibi şiddetli hava olaylarını yakalamak için. İklim modellerinde bu süreçlerin temsilinin iyileştirilmesinde büyük ilerleme kaydedilmesine rağmen, bunları en ince ayrıntısına kadar simüle etme kapasitesinin eksikliği, özellikle bölgesel ve yerel düzeylerde gelecekteki iklimdeki en önemli belirsizlikleri oluşturmaktadır⁽³⁾.

1.2. Mevcut bilgi işlem gücünün ve temel bilimin insanlığın yararına kullanılması

Başlangıcından bu yana, iklim modelleri hesaplama yoğun olmuştur ve hesaplama gücünün mevcudiyeti, iklim modellerinin seviyesini belirlemiştir. ve bu nedenle gerçekleştirilebilecek simülasyonların türü. Günümüzde bu modeller süper bilgisayarların en karmaşık uygulamalarından bazılarını temsil etmekte ve tipik olarak bir milyon satırdan fazla kod içermektedir.

Fiziksel hava ve iklim simülasyonundaki yerleşik güçlü yönler üzerine inşa edilen Dünya sistemi süreçleri, son yıllarda atmosferik kimya ve karbon ve azot döngüleri gibi deniz ve karasal ekosistemlerle ilişkili biyo-jeokimyasal döngülerin eklenmesiyle modellere eklenmiştir. Bu modeller uzmanların şunları yapmasını sağlamaktadır iklim değişikliğinin fiziksel özelliklerinin ötesine geçerek, doğal ve yönetilen kaynakların ve ekosistemlerin gelecekteki iklimimizi ve etkilerini belirlemedeki rolünü dikkate almak⁴ (Şekil 1).

Dünya sistemini simüle eden ve bilim insanlarının temel fiziksel prensiplerden yola çıkarak hava ve iklimin nasıl gelişeceğini tahmin etmelerini sağlayan bilgisayar modellerinin oluşturulması, son 50 yılın en büyük bilimsel başarılarından biridir. Bu, toplumun geleceğe bakmasına ve iklim değişikliğinin etkilerini fark etmesine olanak sağlamıştır.

ısıyan bir dünya. Sonuç olarak, tüm uluslar artık iklim değişikliğiyle mücadelenin 21. yüzyıl için belirleyici bir zorluk olduğu konusunda hemfikirdir^{5,6}.

İklim modelleri ve farklı emisyon senaryoları için yapılan tahminler, azaltım ve adaptasyon için kanıt temelini çoğunu oluşturmaktadır⁽⁷⁾. Bilim insanları, devasa ısı depolama kapasitesiyle okyanusun, iklim değişikliğinin önümüzdeki on yıllarda kendini nasıl göstereceği konusunda temel olduğunu öğrenmişlerdir⁸. İklim değişikliğinin daha aşırı yağışlara, sellere ve daha şiddetli kuraklıklara yol açacağını öğrendiler⁽⁹⁾. Karasal biyosferin ısınmaya ve yağış düzenindeki değişikliklere tepkisinin, daha az verimli bir karbon yutağı haline gelmesi anlamına gelebileceğini ve bunun da insan karbon emisyonlarından kaynaklanan sera etkisini artırabileceğini öğrendiler¹⁰.

İklim modelleri, bilim insanlarının ısınan Dünya sisteminin şu anda tahmin edilenden çok daha tehlikeli⁽¹¹⁾ ve muhtemelen geri döndürülemez durumlara devrilebileceği olasılığını keşfetmelerine de olanak sağlamıştır. Bu devrilme noktaları

Örneğin hızlı buz kaybı veya okyanusların termohalin dolaşımının çökmesi gibi fiziksel iklim sisteminin yanı sıra permafrostun çözülmesi veya Amazon yağmur ormanlarının kaybı gibi karasal karbon döngüsünü de içerir. Bu nitelikteki değişiklikler, dünyanın uyum sağlama kapasitesi ve uluslararası azaltım politikaları üzerinde, örneğin gelecekteki emisyonlar için izin verilen karbon 'bütçelerini' azaltarak büyük etkilere sahip olacaktır.

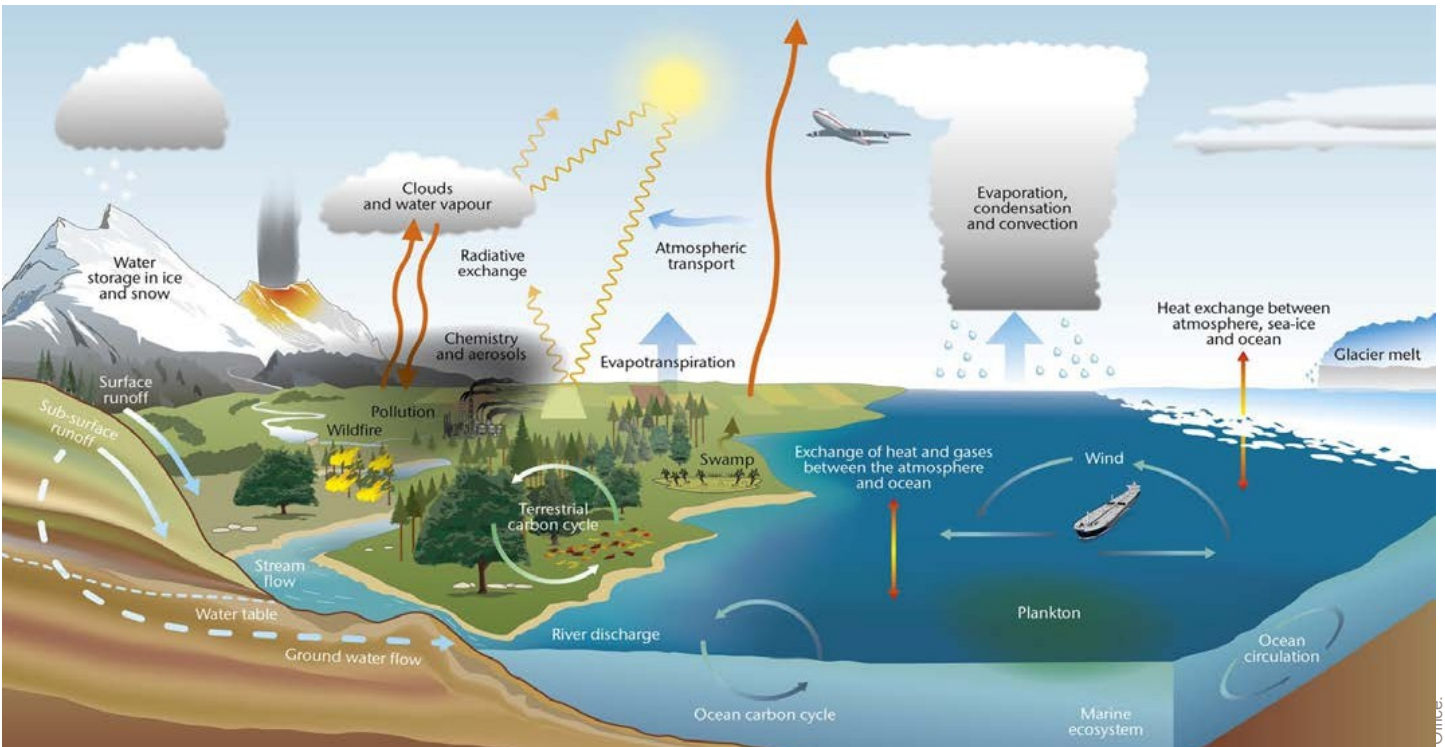
Tüm bu ilerlemelere rağmen iklim bilimciler, iklim modellerinin ve tahminlerinin, kısmen Dünya sistemine ilişkin temel eksikliklerden, kısmen de süper bilgisayar gücünün getirdiği bilimsel sınırlamalardan kaynaklanan ciddi eksiklikleri olduğunu bilmektedir. Modelleme topluluğunun, planlanan uyum ve azaltma eylemlerinin tamamını desteklemek için gereken ayrıntılı bilgileri sağlama yönündeki kolektif bilimsel hedefinde başarılı olması için bu zorluğun acil olarak ele alınması gerekmektedir.

Son 50 yıldaki büyük ilerlemeye rağmen, iklim modelleri ve tahminleri hala ciddi eksikliklere sahiptir. Bu durum öncelikle süper bilgisayar gücünün getirdiği bilimsel sınırlamalardan kaynaklanmaktadır ve acil olarak ele alınmalıdır.

ŞEKİL 1

Güncel nesil iklim modelleri

Mevcut nesil iklim modellerinde yer alan fiziksel ve biyolojik süreçleri gösteren şema. Su, karbon, atmosferik kimya ve okyanus biyojeokimyası gibi Dünya'nın temel döngülerini yönlendirmede atmosferik ve okyanus akışlarının önemini vurgulamaktadır.



2. İklim modelleri iklim eylemi için neden bu kadar önemli?

Bugün iklim bilimi bir dönüm noktasında an. Bilim ve teknoloji, artık yeni nesil iklim modellerine doğru kuantum sıçramasının mümkün olduğu noktaya kadar ilerlemiştir.

İklim modelleri, 2030'a kadar olan birkaç kritik yılda, iklim değişikliğinin hem hafifletilmesi hem de iklim değişikliğine uyum sağlanması için gerekli bilgileri sağlayacaktır.

21. Çeşitli etki azaltma stratejilerinin sonuçlarının anlaşılması

Ulusal ve uluslararası emisyon azaltım politikalarının uygulanabilirliği, iklim modeli simülasyonları ve tahminlerine dayalı değerlendirmeler kullanılarak test edilmelidir. Bunlar, gerekli emisyon azaltımlarının sağlanamamasının bölgesel etkiler ve aşırı olaylardan kaynaklanan riskler üzerindeki sonuçları hakkında toplumu bilgilendirmeye hizmet edecektir. Sadece mümkün olan en iyi iklim modelleriyle neyin tehlikede olduğunu, neyin kaybedebileceğini ve eylemsizliğin gelecekteki iklim hasarının ve maliyetinin ne olacağını gösterebiliriz.

Net sıfıra giden yollar peyzajları dönüştürecek, rüzgar, güneş ve hidroelektrik gibi hava koşullarına bağlı yenilenebilir enerjilere daha fazla güvenecek ve potansiyel olarak su kaynakları üzerinde baskı oluşturacaktır.

gıda-enerji bağlantısı (Bkz. *briefingler* 9: *İklim değişikliği ve toprak*; ve 10: *On milyarı sürdürülebilir şekilde beslemek*). Güçlü bir iklim bilimi temeli, azaltım eylemlerinin hava durumunun iklimle birlikte değişme biçimiyle uyumlu olmasını ve beklenmedik sonuçlar doğurmamasını sağlamak için elzem olacaktır.

22. Uyum stratejilerinin ve uzun vadeli dayanıklılığın bilgilendirilmesi

Uyum açısından, doğal çevreyi de koruyan iklimle dayanıklı yaşamlar, kasabalar ve şehirler için planlar oluşturulmasına ihtiyaç vardır. BM Genel Sekreteri Antonio Guterres'in de belirttiği gibi, "'dayanıklılık yarışı' olarak 'net sıfıra doğru yarış' olarak tanımlanmaktadır"¹². İnsan etkilerinin birçok aşırı hava olayının olasılığını ve şiddetini artırdığına dair kanıtlar giderek artmaktadır⁽¹³⁾. Emisyonlar düşse bile, atmosferdeki mevcut karbon birikimi ve sistemin ataleti nedeniyle daha fazla iklim değişikliği kaçınılmazdır.

İklim modeli tahminleri, küresel, bölgesel ve yerel düzeylerde bu adaptasyon sürecini bilgilendirmek için temel öneme sahiptir. Yaşamların, geçim kaynaklarının ve kritik altyapının korunmasından sürdürülebilir gıda, su ve enerji kaynaklarının güvence altına alınmasına kadar.

Uyum sağlamaya yönelik potansiyel yatırımların ölçeği ve dünya genelinde toplumların artan kırılganlığı bir araya geldiğinde, hava ve iklimin, özellikle de aşırı hava tehlikelerinin önümüzdeki on yıllarda ve sonrasında nasıl değişeceğine dair daha ayrıntılı ve kesin bilgilere çok yüksek bir değer atfedilmektedir. Ayrıntılı, konuma özgü iklim bilgileri, trilyonlarca dolar değerindeki Önümüzdeki on yıllar boyunca altyapı projelerine yapılan yatırımların, konumları, inşaatları ve yönetimleri açısından iklim değişikliğinin öngörülen etkilerine karşı dirençli olmalarını sağlayarak. (Bkz. *briefing* 8: *Fırtınayı atlatmak: bilim, adaptasyon yoluyla küresel iklim direncinin artırılmasına nasıl katkıda bulunabilir*).

Bugün iklim bilimi bir dönüm noktasındadır. Bilim ve teknoloji öyle bir noktaya geldi ki, yeni bir kuantum sıçraması azaltım ve uyum için ayrıntılı bilimsel kanıt tabanı sağlayabilecek iklim modelleri nesli artık . Toplumun karar verme sürecini daha fazla desteklemek, rehberlik etmek ve korumak için acilen ihtiyaç duyduğu Dünyanın yapması gereken yatırımlar. Uluslararası müzakereler, politika yapımcıların bu hızlı ilerlemeyi sağlamak üzere iklim bilimi topluluğu ile birlikte çalışmaya başlamaları için bir forum sunmaktadır.

3. Yeni nesil iklim modelleri: iklim modellemesinde ve uygulamasında devrim potansiyeli

31 Gelecekteki iklimi tahmin etmenin farklı zorlukları

Mevcut modeller, mevcut bilgisayar gücü nedeniyle yerel hava ve iklim simülasyonunda önemli eksikliklere sahiptir. Kıyı su baskınları, seller, kuraklıklar ve orman yangınları gibi iklim değişikliğinin daha maliyetli etkilerinin çoğuna neden olan tropikal siklonlar, depresyonlar ve kalıcı yüksek basınç sistemleri gibi sistemlerin ayrıntılı yapısını ve yaşam döngülerini çözemezler; iklim değişkenliği ve bölgesel iklim değişikliği için temel olan okyanus akıntılarını da çözemezler¹⁴.

1990'daki ilk IPCC Değerlendirme Raporu'ndan (AR1) bu yana, modeller çözünürlük ve karmaşıklık açısından kademeli olarak gelişti ve daha fazla ülke sürece dahil oldu. AR1 iklim modelleri 300 kilometrelik bir yatay grid aralığı kullanırken, bugün IPCC AR6 için iklim modelleri şu çözünürlüğe sahiptir 100 kilometre civarında. Bu, mevcut bilgi işlem kaynaklarıyla zor kazanılmıştır - çözünürlük her yarıya indiğinde (örneğin 100 kilometreden 50 kilometreye), 10 kat daha fazla bilgi işlem gücü gerekir.

Bu arada, IPCC raporlarının yayınlandığı aynı 30 yıl boyunca, hava tahmininde 'sessiz bir devrim' yaşanmıştır¹⁵. Hava durumu modelleri artık 10 kilometre çözünürlükte küresel tahminler ve kilometre ölçeğinde bölgesel tahminler sunmaktadır. Bu ilerlemeler, daha yakın çözünürlüklerin hava tahminlerinde daha etkili olacağına dair tartışılmaz kanıtlar sağlamıştır. Bulut sistemleri, konveksiyon, organize muson yağış kuşakları ve tropikal siklonlar gibi önemli hava bileşenlerinin yanı sıra yerel aşırı olayların doğru modellenmesi için bir kilometreye ihtiyaç vardır.

Peki iklim modellemesi neden aynı yolu ? Bunun nedeni, çoklu senaryolar için çok yüzyıllı küresel simülasyonları hızlı bir şekilde gerçekleştirmek için gereken hesaplama gücünün ölçeğinin, aşağıdakiler için gerekli olanı gölgede bırakmasıdır önümüzdeki birkaç hafta için operasyonel hava tahminleri yapmak.

32 Küresel iklim sisteminin küreselden yerelle her düzeyde eylemi bilgilendirecek şekilde modellenmesi

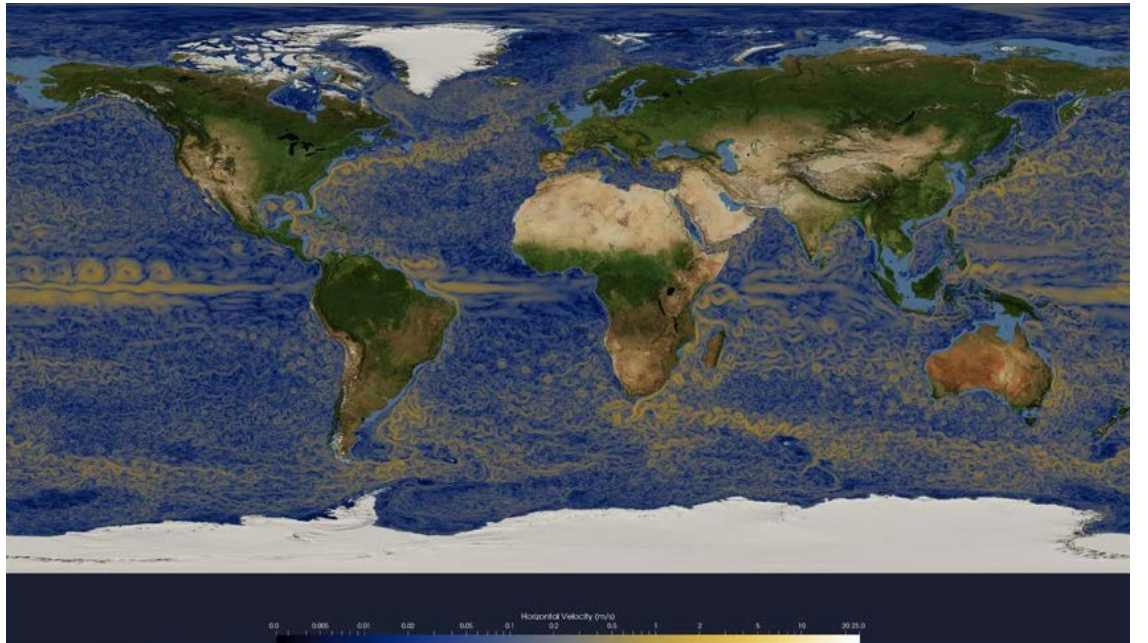
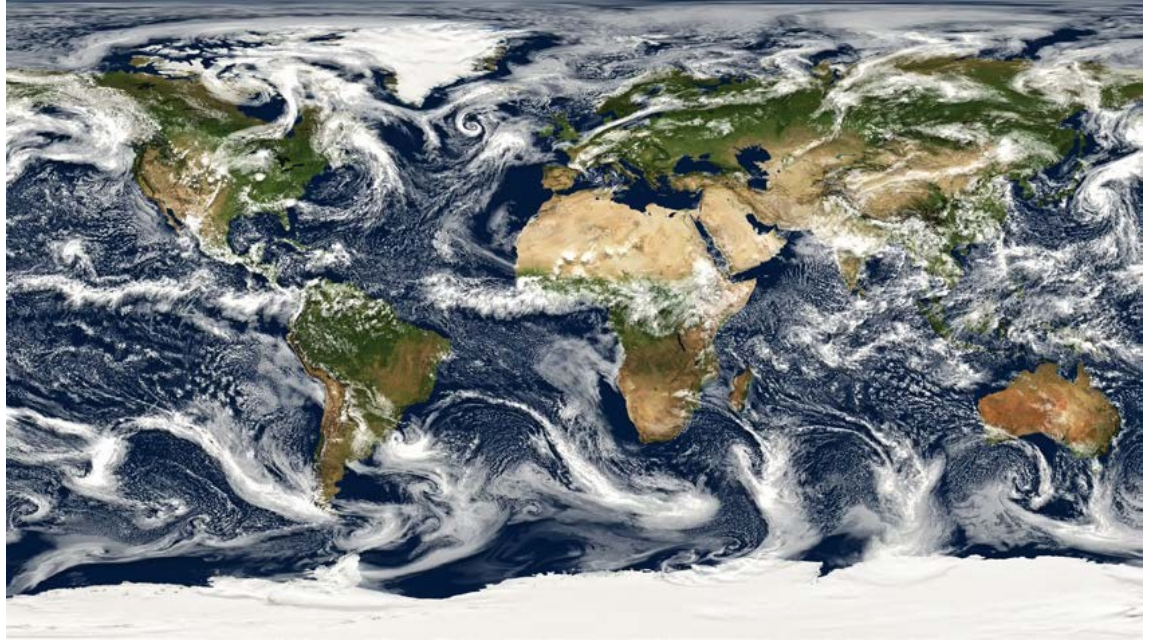
Sorunun merkezinde, tüm küresel iklim sisteminin - özellikle atmosfer ve okyanus - kilometre ölçeğinde çözünürlüklerde ve on yıllardan yüzyıllara uzanan zaman dilimlerinde simüle edilmesi ihtiyacı yer almaktadır. Bu gereklidir çünkü en büyük hasara neden olan aşırı hava olayları kilometre ölçeklerinde işleyen süreçler tarafından , en önemlisi, özellikleri de okyanus ve atmosferin çok daha büyük ölçekli dolaşımı tarafından şekillendirilmektedir. Dahası, büyük ve küçük ölçekler arasında iki yönlü etkileşimler vardır; Başka bir deyişle, hava durumu ve iklim, en küçük ölçeklerden en büyük gezegensel sirkülasyonlara ve tekrar geriye doğru enerji basamaklarının bir sürekliliğidir.

Kilometre ölçekli küresel modellere doğru büyük bir sıçrama, nihayet ince ölçekli hareketlerin daha büyük ölçekli hareketleri koşullandırmasına ve bunun tersine izin verebilir. Bu, bölgesel modelleme yaklaşımlarının faydalı olmakla birlikte kendi başlarına yeterli olmamalarının temel nedenidir. Bugün, fırtınalar ve okyanus girdapları kilometre ölçeğindeki olayları açıkça çözümleyen yeni nesil küresel modellerin dünya iklimine ilişkin tahminlerde bulunma imkanı mevcuttur.

ŞEKİL 2

Yeni nesil küresel fırtına ve okyanus girdap çözümlenmeli iklim modelleri hava sistemlerini (üst panel) ve okyanus girdaplarını ve akıntılarını (alt panel) açıkça temsil eder¹⁶

Bu gerçekçilik, su , zararlı hava koşullarındaki, okyanusların ısı ve karbonu nasıl aldığı ve doğal ekosistem hizmetleri üzerindeki ilgili etkilerdeki değişikliklerin daha güvenli tahmin edilmesini sağlayacaktır. Bu bilgi, habitat kaybı, hastalık yayılımı, orman yangını riski, hava kalitesi ve mahsul, balıkçılık ve orman verimi gibi toplumsal olarak ilgili faktörleri ölçmemizi sağlayacaktır.



Görüntüler, Profesör Bjorn Stevens ve Profesör Jochem Marotzke aracılığıyla Max Planck Meteoroloji Enstitüsü (MPI-M) ve Alman İklim Hesaplama Merkezi'nin (DKRZ) izniyle yayınlanmıştır.

Bu tür kilometre ölçekli modellerin prototipleri, tipik olarak 10'ar günlük sınırlı zaman dilimlerini simüle etmek için inşa edilmektedir ve gerçekçilik seviyeleri çığır açmaktadır (Şekil 2)¹⁷.¹⁸. Bu

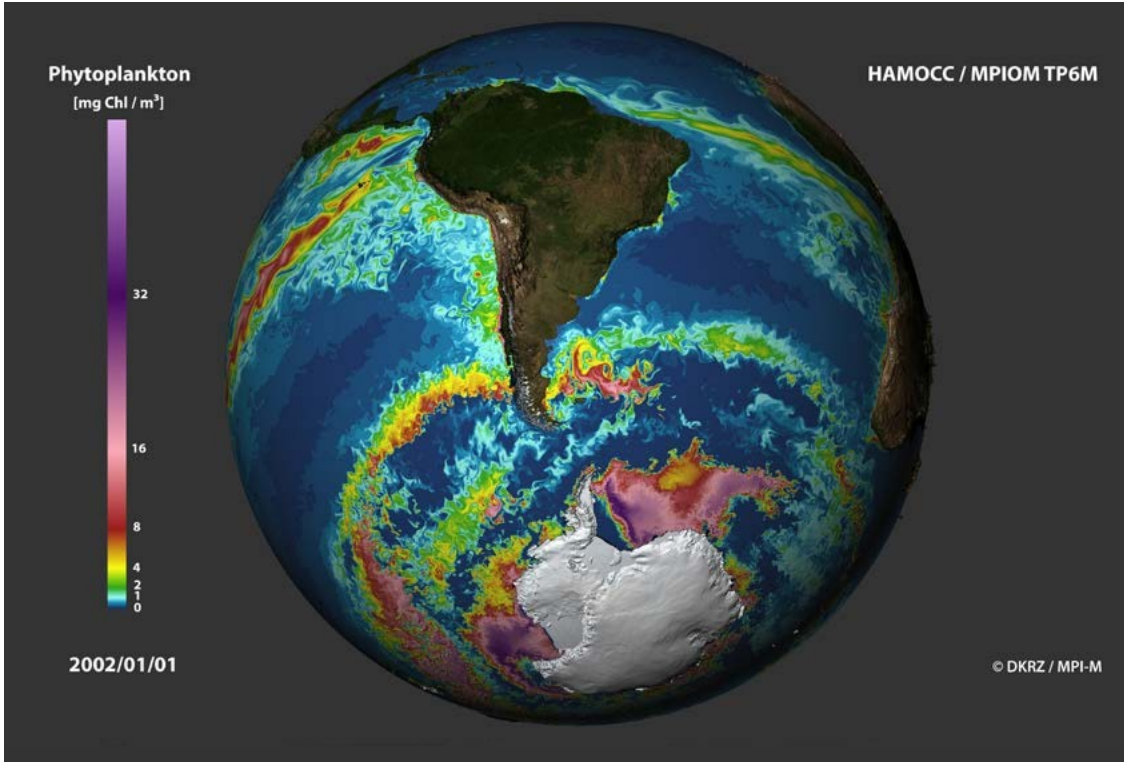
Yeni nesil modeller, küresel iklim duyarlılığından (tipik olarak karbondioksit seviyelerinin iki katına çıkması durumunda sıcaklıktaki değişimle ölçülür) bölgesel iklim etkilerine ve risklere kadar iklim değişikliği kararlarının temelini oluşturan iklim bilgilerinin kalitesinde devrim yaratacaktır. benzeri görülmemiş aşırı hava koşulları ve tehlikeli iklim değişikliği¹⁹.

Bu modeller, fiziksel iklim sisteminin ötesinde, Dünya sisteminin diğer bileşenlerinin nasıl çalıştığına dair yeni bilgiler de sağlayacaktır, karbon, aerosoller ve deniz besinleri gibi ince ölçekli atmosferik ve okyanus sirkülasyonlarına bağlıdır (Şekil 3) ve iklim yörüngelerini önemli ölçüde değiştirebilir (Bkz. Brifing 7: *Karbon döngüsü*). Bitki örtüsü ve toprak karbonu ile okyanus sirkülasyonu ve deniz ekosistemleri karmaşık etkileşimlerin detaylı gösterimi, ve insan faaliyetlerinden kaynaklanan riskleri araştırmak için yeni nesil iklim/Dünya sistemi modellerinin önünü açmaktadır. iklim istikrarsızlıkları, aşırılıklar ve geri döndürülemez geçişler toplumu ve doğal sistemleri etkileyebilir.

ŞEKİL 3

Fitoplankton patlamalarının geleceğinin tahmin edilmesi

Fitoplankton çiçeklenmelerinin geleceğini tahmin etmek, deniz ekosistemlerinin gelecekteki sağlığını ve gelecekteki okyanus karbon alımını anlamak için kritik öneme sahiptir. Fitoplankton patlamaları, okyanus sirkülasyonundaki ince ölçekli yapılarla (girdaplar, cepheler ve kıyı kabarma bölgeleri gibi) bağlantılıdır ve yeni kilometre ölçekli Dünya sistemi modelleri ilk kez bunları yakalayabilmektedir.



Resim, Profesör Bjorn Stevens ve Profesör Jochem Marotzke aracılığıyla Max Planck Meteoroloji Enstitüsü (MPI-M) ve Alman İklim Hesaplama Merkezi'nin (DKRZ) izniyle hazırlanmıştır.

4. Uluslararası bir çaba mı?

Önümüzdeki on yıl, sadece eğitimli ve deneyimli bir ekip tarafından dünya çapında eşgüdümlü bir çabayla ele alınmalıdır. İyi kaynaklara sahip bilimsel iş gücü.

Net sıfır ve iklimin ikiz hedefleri esneklik, eyleme geçirilebilir iklim bilgilerinin sağlanmasında önemli bir hızlanma gerektirmektedir.

Önümüzdeki on yıl, ancak eğitimli ve iyi kaynaklara sahip bir bilimsel işgücünün dünya çapında eşgüdümlü çabalarıyla ele alınabilecek zorluklar getirecektir. Net sıfır ve iklim esnekliği ikiz hedefleri için eyleme geçirilebilir iklim bilgilerinin sağlanmasında önemli bir hızlanma. Teknolojik potansiyel, geçmişte iklim modellerinde yapılan aşamalı iyileştirmelerden 30 yıl içinde kabiliyette bir adımlık değişim. Bu zorlu görev sadece bilimsel ve teknik açıdan karmaşık olmakla kalmayıp aynı zamanda yerelden küresele her düzeyde toplumsal ihtiyaçları da ele almalıdır. Başarılı olmak için bu çabanın güçlü küresel ortaklıklar tarafından desteklenmesi gerekmektedir.

41 Küresel faydalar için küresel işbirliği

Günümüzde, son teknoloji ürünü küresel iklim modellerini oluşturmak ve yürütmek için gereken girişimin ölçeği birkaç kişinin alanı haline gelmektedir; gereken insan, bilgi işlem, veri ve enerji kaynakları büyüktür ve tek tek ulusların kapasitelerini aşmaya başlamıştır. Optimum model çözünürlüklerine yaklaşmak için, benzeri görülmemiş güç ve maliyette Exascale hesaplama (saniyede 10^{18} veya bir milyar milyar hesaplama) gerekmektedir²⁰. Aynı zamanda, çok yakında ulaşılacak exabyte veri üretimi (bir milyar gigabayt) potansiyeli ile veri zorluğunun ölçeği muazzamdır.

İşin olumlu tarafı, teknolojik ve bilimsel çözümler modelleme topluluğunun elinin altındadır. Nükleer füzyon (ITER) ve Higgs Bozonu'nun bulunması (CERN) gibi diğer büyük küresel bilimsel zorluklarda olduğu gibi, gerekli adım değişikliğini sağlamak için altyapı ve entelektüel ateş gücü uluslararası düzeyde bir araya getirilerek hedefe ulaşılabilir^{21, 22}.

Temel gereksinim, Dünya sisteminin zamanında simülasyonuna, tahminine ve veri analizine adanmış, çıktılarını tüm dünyayla paylaşan ve ulusal iklim tesisleri ağının merkezi olarak hareket eden, benzeri görülmemiş ölçekte bir bilgi işlem ve veri tesisidir. Her aşamada, yerelden küresele kadar her düzeyde toplumsal ihtiyaçlar tarafından yönlendirilmelidir.

Böyle bir girişim, önümüzdeki yüzyıl için kilometre ölçeğinde ve artan Dünya sistemi karmaşıklığında zamanında, ayrıntılı, tutarlı ve eyleme geçirilebilir iklim tahminleri sunmanın önündeki bilimsel ve teknik engelleri aşmanın yolunu sağlayabilir.

Tesis, CERN'e benzer şekilde tek bir fiziksel varlık veya sıkı bir ağa bağlı bir takımyıldız olabilir ulusal/uluslararası exascale tesislerinin kurulması. Kapsayıcı hedef, tüm ulusların ihtiyaç ve kabiliyetlerine göre erişebilecekleri kilometre ölçeğinde küresel iklim tahminleri ve hizmetleri sunmak olacaktır. Başarı, kritik bir şekilde, akademi, ulusal iklim araştırma merkezleri ve hizmeti sağlayıcılarından oluşan dünya çapındaki iklim bilimi, modelleme ve hizmetleri topluluğunun uzmanlık ağının ve entelektüel yeteneklerinin sürdürülmesine ve büyütülmesine bağlı olacaktır.

Bu çok büyük bir girişimdir ve uluslararası düzeyde yeni yatırım ve işbirliğine ihtiyaç duyacaktır. Ancak bu yatırım, bunu yapmamanın maliyetine karşı tartılmalıdır. Dünya halihazırda hava ve iklim olaylarından kaynaklanan büyük insani ve mali kayıplara maruz kalmaktadır ve iklim değiştiğinde bu kayıplar daha da artacaktır. BM Afet Riskini Azaltma Ofisi, 2000 yılından bu yana afet olayları nedeniyle 1.23 milyon kişinin hayatını kaybettiğini ve ekonomik kayıpların da yaklaşık 3 trilyon dolar veya yıllık 150 milyar dolar²³. Böyle bir mercekten bakıldığında, bu girişimin faydaları yatırımdan çok daha ağır basmaktadır.

42 Bilimsel ilerleme ve inovasyonun hızlandırılması

Amacına ulaşmak için böyle bir merkez, bilgisayar ve veri bilimi ve teknolojisindeki yenilikleri kullanarak ve teşvik ederek, aşağıdakileri geliştirecek, bunlarla etkileşime girecek ve aşağıdakileri sağlayacak benzersiz bir dizi son teknoloji tesis hizmet sunacaktır. Mevcut ulusal yetenekleri geliştirmek. Bunların bağlamsallaştırılabileceği ve Dünya sistemi bilimini ilerletmek, tahminleri başlatmak ve model performansını değerlendirmek için kullanılabilen bir hesaplama platformu sağlayarak Dünya Gözlemine yapılan büyük yatırımlardan yararlanacaktır.

Bu adım değişikliği, modelleme kapasitesinin yanı sıra özel bir operasyonel veri hizmeti oluşturma fırsatı da sunmaktadır. Bu, tahminlere göre hareket edilmesini sağlayacaktır, Yapay zeka, makine öğrenimi ve gelişmiş görselleştirme gibi veri analitiği ve bilişim alanındaki en son dijital teknolojileri kullanarak. Bu, herkesin yararına olacak yetkili bir bilgi ve veri hizmetleri kaynağı sağlayacaktır. Bu hizmet portalı tek bir kuruluş veya AB Kopernik İklim Değişikliği Hizmeti⁽²⁴⁾ gibi büyük bölgesel iklim hizmeti sağlayıcılarından oluşan sıkı bir ağa sahip bir grup olabilir.

İleriye doğru atılacak böyle bir adım, yeni fikirlerin yaratılması ve geliştirilmesini teşvik edecek bir 'kuluçka merkezi' ile de desteklenecektir.

Uzmanların bir araya gelip birlikte çalışabilecekleri bir forum sağlamak. CERN örneğini izleyerek, modelleme çabası aşağıdakilerden de yararlanabilir Dünya çapında iklim bilimi ve kullanıcı topluluğu için son teknoloji dijital çözümlerin geliştirilmesini hızlandırmak için çalışacak benzersiz bir kamu-özel sektör ortaklığı olan bir 'Açık Veri Laboratuvarı'.

İnsan kapasitesi açısından böyle bir merkez, bilim insanları ve mühendislerden oluşan gerçek anlamda küresel bir işgücüne sahip olacak ve dünyanın dört bir yanındaki ulusal iklim bilimi çabalarıyla bir değişim programının yanı sıra iklim modeli bilgilerinin gelecekteki geliştiricilerini ve kullanıcılarını eğitmek için bir dünya iklim bilimi akademisine sahip .

Temel gereksinim, Dünya sisteminin zamanında simülasyonu, tahmini ve veri analitiğine adanmış, benzeri görülmemiş ölçekte bir bilgi işlem ve veri tesisidir.

5. İklim modellemesi 2030 ve 2050'de nasıl görünebilir?

2030 yılına kadar exascale hesaplama zorluğunun üstesinden gelinbilir ve yeni nesil kilometre ölçekli küresel fırtına çözümlenmeli iklim modelleri devreye sokulabilirse, iklim değişikliği bilgilerinde bir devrim yaşanabilir karar alma süreçleri için gerekli koşullar olacaktır.

Dünyanın dört bir yanındaki toplumlar, hava durumlarında ve dayanıklılıklarını test eden yerel aşırı uçlarda neler olabileceğini bileceklerdir. Yağışların dağılım, sıklık ve yoğunluk bakımından nasıl ve neden değişebileceğini ve okyanus akıntılarının nasıl hareket ederek bölgesel iklimleri ve deniz seviyesinin yükselmesini etkileyebileceğini bileceklerdir. Fiziksel iklim sistemi hakkındaki bu bilgilerle, herkes için güvenli, sürdürülebilir ve sağlıklı bir gelecek sağlamak amacıyla gıda, su ve enerji kaynakları daha etkin bir şekilde yönetilebilir.

2050 yılına kadar, hem küresel hem de ulusal düzeyde fiziksel ve doğal ortamlar ile potansiyel olarak toplum arasındaki çoklu ilişkileri tahmin edebilen bir Dünya yaşam sistemi simülatörü öngörmek mümkündür. Esasen bu, Dünya'nın fiziksel dijital ikizini oluşturacaktır - modeller ve gözlemleri en iyi şekilde harmanlayan ve insan faaliyetlerinin dijital ikizlerini çizen Dünya sisteminin dinamik bir temsili - Tüm Dünya sisteminin mevcut ve olası geleceklerinin araştırılmasını sağlamak. Böyle bir girişimin fizibilitesi halihazırda AB programı Destination Earth (DestinE) kapsamında araştırılmaktadır: Avrupa'nın dijital geleceğini şekillendirmek²⁵ (Bkz. brifing 2: *Net sıfır için hesaplama*).

Son olarak, Charles Darwin'i önemli yolculuklarına götüren *Beagle*'Kaptanı, aynı zamanda Birleşik Krallık Met Office'in kurucusu ve ilk halka açık hava tahminlerini yayınlayan Koramiral Robert Fitzroy'un sözleri üzerinde düşünmeye değer. *Kraliyet Gemisi*'nin 1859'da korkunç bir fırtınada kaybolmasının ardından *The Times* gazetesine şunları yazmıştır "İnsan rüzgârın öfkesini ama onu önceden tahmin edebilir. Fırtınayı dindiremez ama şiddetinden kaçabilir ve eğer [gemi kazasından] kurtuluş için mevcut tüm araçlar doğru bir şekilde kullanılırsa, bu korkunç ziyaretlerin etkileri harika bir şekilde hafifletilebilir."

Fitzroy, 150 yılı aşkın bir süre önce, tahminlerde bulunmak için uzun bir yolculuğa . Şiddetli hava koşullarının etkilerini azaltma ve yönetme araçları. Bunlar artık iklim değişikliğinin yönetimi için de geçerlidir. Küresel ölçekte Hava durumu ve iklimin - aslında tüm Dünya sisteminin - anlaşılması ve bunun sonucunda ortaya çıkan tahminler, toplumun gelecek için plan yapmasını sağlar. ve insanların ve doğal çevreyi güvende tutmak.

Bu brifing, bilim ve teknolojinin net sıfır emisyonu ulaşma ve iklim değişikliğine uyum sağlama yönündeki küresel çabaları nasıl destekleyebileceğini inceleyen bir seriden biridir. Bu seri, her ülke 2050 yılına kadar net sıfıra ulaşmak için kendi yol haritasını oluştururken, bilimin anlayış ve eylem konusunda bilgi verebileceği 12 konuda dünya genelindeki politika yapımcıları bilgilendirmeyi amaçlamaktadır.

Serinin tamamını görüntülemek için royalsociety.org/climate-science-solutions adresini ziyaret edin

Brifinglere katkıda bulunanları görmek için royalsociety.org/climate-solutions-contributors adresini ziyaret edin

Bu çalışmanın metni, orijinal yazar ve kaynağa atıfta bulunulması koşuluyla, sınırsız kullanıma izin veren Creative Commons Attribution License koşulları altında lisanslanmıştır. Lisans şu adreste mevcuttur: creativecommons.org/licenses/by/4.0. Görseller bu lisans kapsamında değildir.

Yayınlandı: Haziran 2021 DES7639_1© The Royal Society

Referanslar

1. Arrhenius S. 1896 *Havadaki karbonik asidin yer sıcaklığı üzerindeki etkisi üzerine. The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science.* **41**(251):237-76. (doi: 10.1080/14786449608620846)
2. Karbon Dosyası. 2018 *Soru-Cevap: İklim modelleri nasıl çalışır?* 15 Ocak 2018. Bkz. <https://www.carbonbrief.org/qa-how-do-climate-models-work> (erişim tarihi 25 Şubat 2021)
3. Fiedler S. ve ark. 2020 Birleştirilmiş Modeller Arası Karşılaştırma Projesi'nin (CMIP) üç ana aşamasında değerlendirilen tropikal yağış simülasyonu. *Aylık Hava Durumu İncelemesi.* **148**(9):3653-80. (doi: 10.1175/MWR-D-19-0404.1)
4. Bonan GB, Doney SC. 2018 İklim, ekosistemler ve gezegensel gelecekler: Dünya sistemi modellerinde yaşamı tahmin etme zorluğu. *Bilim.* **359**(6375):eaam8328. (doi: 10.1126/science.aam8328).
5. UNFCCC, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi. 1992 (FCCC/INFORMAL/84 GE.05-62220 E) 200705), New York. Bkz. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>
6. UNFCCC, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi. 2015 Paris Anlaşmasının Kabulü, 21. Taraflar Konferansı (FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1), Paris. Bkz. <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf> tarihi (erişim 25 Şubat 2021).
7. IPCC. 2014 *İklim Değişikliği 2014: sentez raporu. Çalışma grupları I, II ve III'ün IPCC'nin beşinci değerlendirme raporuna katkıları. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli.* Pachauri, Meyer LA (eds). Cenevre, İsviçre: IPCC. Bkz. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/> (erişim tarihi 29 Mart 2021).
8. IPCC. 2019 *IPCC değişen iklimde okyanus ve kriosfer özel raporu.* Pörtner H.-0 ve diğerleri (eds). Baskıda. Bkz. <https://www.ipcc.ch/srocc/> tarihi (erişim 29 Mart 2021).
9. IPCC. 2012 *İklim değişikliğine uyumu ilerletmek için aşırı olay ve afet risklerinin yönetilmesi. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli I ve II çalışma gruplarının özel raporu.* Field, CB ve diğerleri (eds). Cambridge, Birleşik Krallık: Cambridge Üniversitesi Yayınları. Bkz. <https://archive.ipcc.ch/report/srex/> (erişim tarihi 29 Mart 2021).
10. IPCC. 2019 *İklim değişikliği ve arazi: karasal ekosistemlerde iklim değişikliği, çölleşme, arazi bozulması, sürdürülebilir arazi yönetimi, gıda güvenliği ve sera gazı akışları hakkında IPCC özel raporu.* Shukla PR ve diğerleri (eds). Baskıda. Bkz. <https://www.ipcc.ch/srcc/> (erişim tarihi 29 Mart 2021).
11. Lenton TM ve diğerleri. 2019 *İklim devrilme noktaları - bahis için çok riskli. Nature.* **575**(7784):592-5. (doi: 10.1038/d41586-019-03595-0).
12. Birleşmiş Milletler Genel Sekreteri. 2020 Sekreter'in Columbia Üniversitesi'ndeki Genel Konuşması: "Gezegenin Durumu". Bkz. <https://www.un.org/sg/en/content/sg/speeches/2020-12-02/address-columbia-university-the-state-of-the-planet> tarihi (erişim 25 Şubat 2021).
13. Karbon Dosyası. 2021 *Aşırı hava koşullarının iklim değişikliğine atfedilmesi.* Bkz. <https://www.carbonbrief.org/mapped-how-climate-change-affects-extreme-weather-around-the-world> tarihi (erişim 25 Şubat 2021).
14. Marotzke J ve diğerleri. 2017 *İklim araştırmaları görüşünü keskinleştirmeli. Doğa İklim Değişikliği.* **7**(2):89-91. (doi: 10.1038/nclimate3206).
15. Bauer P, Thorpe A, Brunet G. 2015 *Sayısal hava tahmininde sessiz devrim. Nature.* **525**(7567):47-55. (doi: 10.1038/nature14956).
16. Stevens, B. ve ark. 2019 DYAMOND: hidrostatik olmayan etki alanlarında modellenen atmosferik genel dolaşımın DYnamikleri. *Progress in Earth and Planetary Science,* **6**(1). (doi: 10.1186/s40645-019-0304-z).
17. Satoh, M. ve ark. 2019 Küresel bulut çözümleme modelleri. Güncel İklim Değişikliği Raporları. **5**(3), 172-184. (doi: 10.1007/s40641-019-00131-0)
18. *Op. cit.* not 16.
19. Palmer, T ve Stevens, B. 2019 *İklim değişikliğini anlamının ve tahmin etmenin bilimsel zorluğu. Proceedings of the National Academy of Sciences,* **116**(49), 24390-24395. (doi: 10.1073/pnas.1906691116)
20. Neumann, P. ve ark. 2019 *Sayısal hava ve iklim tahminlerinde ölçeklerin değerlendirilmesi: exascale kurtarıcı olacak mı? Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences.* **377**(2142), 20180148. (doi: 10.1098/rsta.2018.0148).
21. *Op. cit.* not 19.
22. Palmer, T. 2011. *İklim değişikliği için bir CERN. Physics World* **24**(03), 14. (doi: 10.1088/2058-7058/24/03/24).
23. Birleşmiş Milletler Afet Riskini Azaltma Ofisi. 2020 *Afetlerin İnsani Maliyeti. Son 20 yıla genel bir bakış (2000 - 2019).* Bkz. <https://www.undrr.org/news/drrday-un-report-charts-huge-rise-climate-disasters> (erişim tarihi 25 Şubat 2021).
24. Avrupa Birliği (AB) Copernicus İklim Değişikliği Servisi. Bkz. <https://climate.copernicus.eu> tarihi (erişim 25 Şubat 2021).
25. Destination Earth (DestinE): Bkz. <https://ec.europa.eu/digital-single-market/tr/destination-earth-destine> tarihi (erişim 25 Şubat 2021).