

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ SENARYOLARINDA YENİ DÖNEM: PARALEL YAKLAŞIM VE TEMSİLİ KONSANTRASYON ROTALARI (RCPs)

¹Alper AKÇAKAYA, ²Hakkı ATAY, ³Ömer DEMİR

Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Araştırma Dairesi Başkanlığı Klimatoloji Şube Müdürlüğü
aakcakaya@mgm.gov.tr, hatay@mgm.gov.tr, omerdemir@mgm.gov.tr

ÖZET

Senaryo, gelecekteki bazı olayları resmeden hikayelerdir (Gregory ve Duran, 2001). Bu bağlamda, emisyon senaryoları, sera gazları ve aerosoller gibi yer yüzünün radyasyon dengesini bozan maddelerin gelecekte atmosfere boşalma potansiyellerinin tasvir edilmesidir (Moss vd., 2010). Bu tanımlamalar ışığında emisyon senaryosunun gelecek için bir tahmin olmadığı söylenebilir. Fakat, iklim değişikliği çalışmaları için emisyon senaryosu, entegre değerlendirme modellerinde gösterilen sosyo-ekonomik, çevresel ve teknolojik eğilimler üzerinde yapılan bilimsel çalışmalara dayandırılan gelecekteki emisyonlara ilişkin uzman görüş ve değerlendirmelerini de yansıtır. Bunun yanında, emisyon senaryoları, iklim senaryosunun en önemli bileşenlerinden birini teşkil etmektedir. IPCC'nin Eylül 2007'de düzenlediği geniş katılımlı "Uzmanlar Toplantısı"nda, 5. Değerlendirme Raporu'nda kullanılacak iklim değişikliği senaryoları için yeni bir proses yaklaşımı ve bu kapsamda yeni bir emisyon/konsantrasyon senaryo seti oluşturmaya karar verilmiştir. Çalışmada, halen hazırlıkları süren 5. IPCC Değerlendirme Raporunda yer alacak yeni konsantrasyon senaryoları (RCPs: Representative Concentration Pathways) tanıtılmaya çalışılmış olup gelecekteki iklim değişikliği araştırmalarına rehberlik edecek "Uzmanlar Toplantısı" sonuç raporunun ilgili diğer yayınlarla birlikte genel bir tahlili niteliğindedir.

Anahtar Kelimeler: Senaryo, iklim senaryosu, uzmanlar toplantısı, RCPs, IPCC Değerlendirme Raporu.

NEW EPOCH OF CLIMATE CHANGE SCENARIOS: PARALLEL APPROACH AND REPRESENTATIVE CONCENTRATION PATHWAYS (RCPs)

ABSTRACT

Scenario is a story that depicts some future event (Gregory ve Duran, 2001). Emissions scenario is depiction of potential future unloading into the atmosphere of some matters such as greenhouse gases and aerosols which influence the Earth's energy budget (Moss et al, 2010). According to these explanations, it can be said that a scenario is not a forecast or a prediction of future. However, emission scenario for climate change research reflects expert evaluations and opinions respecting conceivable future emissions based on researches into socioeconomic, environmental, and technological tendencies pointed out in integrated assessment models. Additionally, the emission scenario is one of the most important component of climate change studies. In the expert meeting of IPCC held in 2007, September in Netherlands, It was decided that new process approach and new emission/concentration scenario set would be developed for building of new climate change scenarios to use in liable 5. IPCC Assessment Report. In this study, we tried to explain the new approach and new concentration scenarios mentioned above. In the final analysis, It might be said that this is a general dissection of "IPCC Expert Meeting Report" and other studies related to new approach of climate change scenarios to guide future studies.

Key words: Scenario, climate scenario, expert meeting, RCPs, IPCC Assesment Report.

GİRİŞ

Senaryo, geleceğin hayali olarak canlandırılması veya alternatif gelecek durumların tasvir edilmesidir. Buna rağmen senaryo, tahmin ile karıştırılmaktadır. Senaryo geleceğin tahmini değil, olması muhtemel alternatif durumların ortaya konmasıdır (IPCC, 2000). Senaryolar, iklim gibi yüksek belirsizliğe sahip karmaşık sistemlerin gelecekteki muhtemel gelişiminin anlaşılması ve değerlendirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

Genel olarak ölçülebilen değişkenlere, fiziksel ve kimyasal süreçlere sahip olması iklimi modellenebilir kılarken, karmaşık bir sistem olması, gelecekte yaşanması muhtemel iklim değişikliklerinin saptanabilmesi için iklimi doğrudan ya da dolaylı olarak etkileyen faktörlerle ilgili senaryolar üretmeyi gerektirmektedir. Örneğin atmosferdeki ısı bütçesi, yani güneş enerjisi iklimi doğrudan etkilerken, sera gazları bu enerji bütçesini farklı şekillerde etkilediğinden, dolaylı olarak iklimi de etkilemektedir. Sera gazları Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nin (UNFCCC) 1. maddesinde "hem doğal, hem de insan kaynaklı olup atmosferdeki, kızıl ötesi radyasyonu emen ve tekrar yayan gaz oluşumları" olarak tanımlanmıştır (Tablo-1). Bu gazlar güneşten dünyamıza gelen ısıyı atmosferde hapsederek sıcaklıkların yükselmesine, dolayısı ile olması gerekenden farklı bir iklim durumunun oluşmasına neden olmaktadır. Emisyon, sera gazlarının ve/veya bunlara kaynaklık yapan öncül maddelerin belirli bir alanda ve zaman diliminde atmosfere salınması olarak tanımlanmaktadır (UNFCCC,1992). Konsantrasyon ise belli bir zamanda atmosferde bulunan sera gazlarının ppm cinsinden oransal değerini belirtir.

Tablo-1: Sera Gazları (Kyoto Protokolü,1998)

Sera gazları
1. Karbondioksit (CO ₂)
2. Metan (CH ₄)
3. Azot oksitler (N ₂ O)
4. Hidro-floro-karbonlar (HFCs)
5. Perfloro-karbonlar (PFCs)
6. Sülfür heksa florür (SF ₆)

Yukarıda yapılan açıklamalar doğrultusunda, gelecekteki iklim değişikliğinin etkilerinin saptanması için iklimin duyarlı olduğu sera gazları ve kirleticilerin atmosferdeki konsantrasyonları hakkında bazı ön fikirlerimizin olması gerekmektedir. Bu noktada sera gazı emisyon senaryoları; arazi kullanımı ve arazi örtüsü ile birlikte aerosoller, diğer kirleticiler ve sera gazlarının atmosfere salınmaları ile ilgili gelecek durumu açıklamaya çalışır ve iklim modellerine girdi sağlar. Emisyon senaryoları gelecekte meydana gelmesi muhtemel ekonomik durum, popülasyon durumu, teknolojik gelişme ve diğer faktörlere göre şekillendirilen varsayımlara dayanmaktadır. Bu yüzden gelecek emisyon seviyeleri yüksek oranda belirsizlik içerir. Dolayısı ile senaryolar, gelecekteki emisyonların nasıl şekilleneceği konusunda tek bir sonuç yerine alternatifli sonuçlar ve projeksiyonlar sunar. Senaryolar, ayrıca, zorlayıcı faktörlerin, gelecek emisyon seviyelerini nasıl etkileyeceği ve bununla ilgili belirsizliklerin nasıl değerlendirileceği ile ilgili uygun bir araç olarak işlev görmektedir. En önemli işlevleri ise, uyum, azaltım ve etki değerlendirme ile iklim modellenmesini de içeren iklim değişikliği analizlerine yardımcı olmalarıdır.

1. YENİ İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ SENARYOLARI VE YENİ YAKLAŞIM

Radiative zorlama ve bu zorlamalara iklim sisteminin tepkisi ile ilgili seçeneklerin temel olarak yer aldığı antropojenik iklim değişikliği senaryoları, IPCC çalışmalarının en önemli bileşenlerinden birisidir. IPCC, 25. genel oturumuna kadar senaryo geliştirme süreçlerini koordine etmekteydi. Fakat 25. oturumunda (26-28 Nisan 2006), IPCC'nin senaryo geliştirme çalışmalarını koordine etme yerine kolaylaştırma misyonunu üstlenmesine ve olası IPCC 5.Değerlendirme Raporu için yeni emisyon senaryolarını geliştirme işlevini araştırma camiasının yürütmesine karar verilmiştir.

Konu ile ilgili uzmanlar toplantısı ise 19-21 Eylül 2007 tarihinde Hollanda'da gerçekleştirilmiştir. Bu toplantıda, karar vericileri de içeren resmi ve gayri resmi birçok organizasyonun temsilcileri ile birlikte, Entegre Değerlendirme Model Topluluğu (IAMC), Etki, Uyum ve Etkilenebilirlik Topluluğu (IAVC) ve İklim Modelleri Topluluğu (CMC) temsilcileri yer almıştır. Bu geniş katılımı birlikte yeni oluşturulacak değerlendirme sürecinde ihtiyaç duyulacak senaryolar hakkında önemli bilgiler ortaya konulmuştur. Sonuç olarak yukarıda zikredilen topluluklar ile karar vericiler arasında maksimum

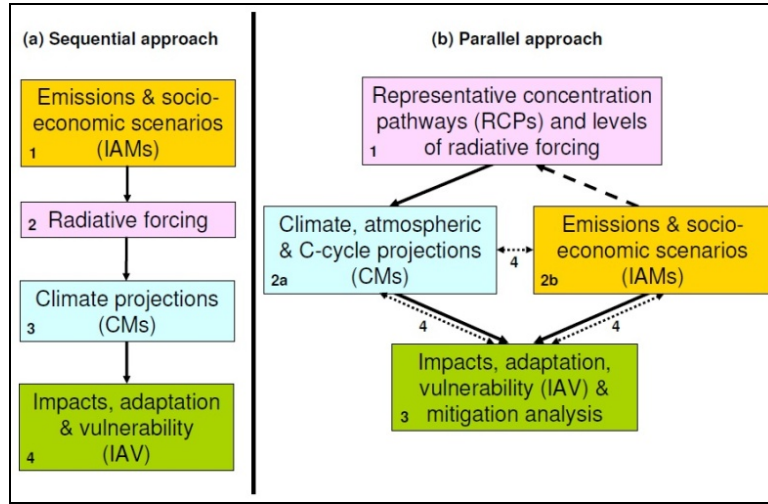
İklim Değişikliği Senaryolarında Yeni Dönem: Paralel Yaklaşım Ve Temsili Konsantrasyon Rotaları (RCPs), Akçakaya A., ve Ark.

etkileşimin sağlanacağı, dolayısı ile en iyi şekilde iklim değişikliği değerlendirmelerine imkan sağlayacak “entegre iklim değişikliği senaryosu oluşturma prosesi” oluşturulmasına karar verilmiştir.

Oluşturulacak yeni iklim senaryolarının kullanıcıları, son kullanıcılar (politika üreticiler, karar vericiler) ve ara kullanıcılar (araştırma toplulukları) olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Senaryoların potansiyel son kullanıcıları olarak aşağıdaki gruplar belirlenmiştir.

- Uluslararası kuruluşlar (UNFCCC, Biyolojik Çeşitlilik Anlaşması vb.)
- Küresel kamu ve hükümetler arası organizasyonlar (FAO, WHO, UNEP, IEA vb.)
- Çok uluslu bölgesel karar verici yapılar (Avrupa Birliği vb.)
- Ulusal hükümetler
- Bölgesel ve yerel yönetimler
- Farklı ölçekte özel sektör organizasyonları
- Sivil toplum kuruluşları (CSOs) ve gayri-resmi organizasyonlar (NGOs)
- Yerel topluluklar
- Geniş anlamda araştırma grupları (iklim değişikliği topluluğu dışında)
- Diğer değerlendirme grupları ve uygulayıcı gruplar

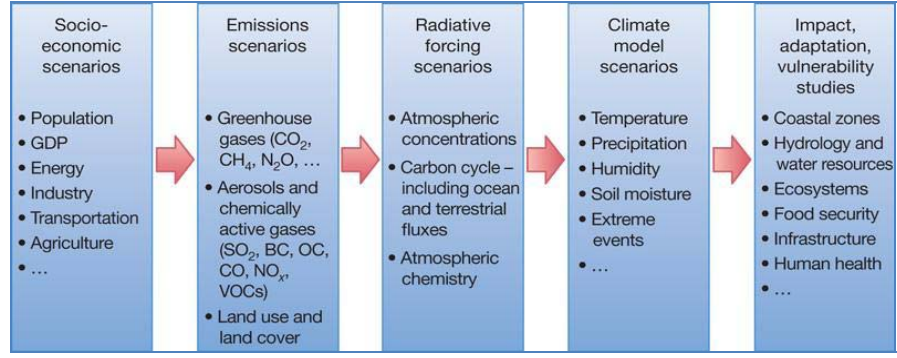
Katılımcı gruplarla yapılan değerlendirmeler sonucunda saptanan “ihtiyaçlar ve ilgi alanları” doğrultusunda küresel senaryoların periyotları “yakın vadeli” ve uzun vadeli olarak belirlenmiştir. Ulusal ya da bölgesel ölçekteki kısa vadeli sosyo-ekonomik senaryolar, bir bakıma küresel senaryolarla paralel olmasına karşın, kendine has lokal şartları yansıtması bakımından, özellikle bölgesel ve yerel uyum ve azaltım uygulamalarının (acil risklerin tanımlanması, uyum kapasitesinin artırılması, etkilenebilirliğin azaltılması, iklim değişikliği ile mücadele için daha efektif yatırımların yapılması, düşük emisyon teknolojileri için yatırımların yapılması, enerji verimliliği) planlanması ile iklim değişikliği risk yönetimine entegre edilmesi bağlamında, oldukça büyük önem arz etmektedir.



Şekil-1: Sıralı (a) ve paralel (b) yaklaşım (IPCC, 2007). Şekilde iki yaklaşım arasındaki fark şematik olarak gösterilmektedir. Paralel yaklaşımda iklim modelleri ve entegre değerlendirme modellerinin çalışma fazları eş zamanlı olarak ilerlemektedir. Düz oklar bilgi akışını simgelerken, kesikli ok RCP seçimini, noktalı oklar ise bilgi akışını ve entegrasyonunu simgelenmektedir.

1.1. Sıralı yaklaşım

Sıralı iklim değişikliği değerlendirme prosesi, birbirini takip eden fazlar şeklindedir. Bu yaklaşımda öncelikle sosyo-ekonomik senaryolar oluşturulmakta, sonrasında sosyo ekonomik gelişmelerin neden olacağı emisyon salımlarına göre salım senaryoları oluşturulmaktadır. Ardından da emisyon seviyelerine göre, emisyonların neden olacağı radyo-aktif zorlamalar hesaplanmakta ve girdi olarak iklim modellerinde kullanılmaktadır.

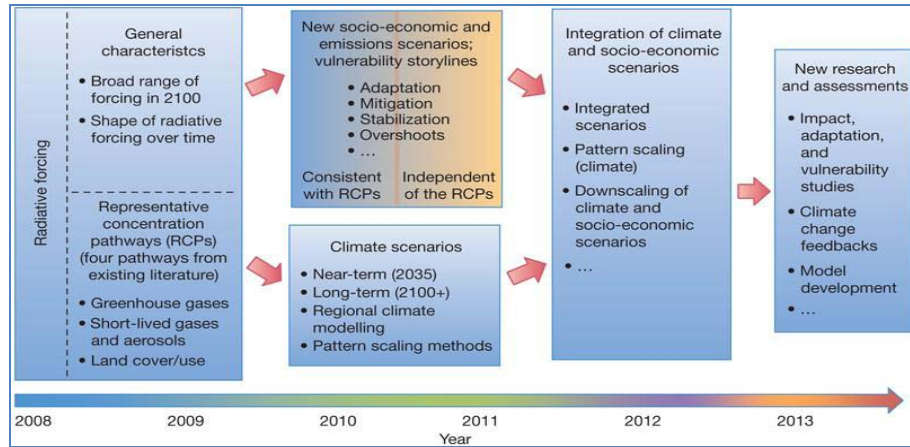


Şekil-2: Sıralı yaklaşım (Moss vd., 2010)

Bu yolla iklim parametrelerinde meydana gelmesi muhtemel değişimler saptanmaya çalışılmaktadır. Son olarak, atmosferde meydana gelmesi tahmin edilen bu değişimlerin, uyum ve etki çalışmalarına girdi teşkil ederek politika üretilmesi ve karar verme süreçleri tamamlanmaktadır (Şekil-2). Bu yaklaşım, sıralı fazlardan oluştuğundan emisyon senaryolarının oluşturulması ile etki değerlendirme modelleri sonuçlarının elde edilmesi arasında geçen süre çok uzun olmaktadır. Bu yaklaşım IPCC 3. ve 4. Değerlendirme Raporları'nda SRES senaryoları ile iklim değişikliği senaryoları oluşturulurken kullanılmıştır. Bu senaryolar 1997'de oluşturulmaya başlandı ve tamamlanması yaklaşık 3 yıl sürdü. İlk model sonuçları ise 2001'de IPCC 3. Değerlendirme Raporu'nda kullanılmasına rağmen, ayrıntılı değerlendirmeler ancak 2007'deki IPCC 4. Değerlendirme Raporu'nda görülebildi.

1.2. Paralel yaklaşım

Yeni iklim değişikliği senaryolarının oluşturulmasında, eski nesil senaryolardaki sıralı değerlendirme metodu yerine paralel değerlendirme metodu kullanılmaktadır.



Şekil-3: Paralel yaklaşım (Moss vd., 2010)

Emisyon senaryolarının geliştirilmesi ve iklim model sonuçlarının etki değerlendirme araştırmalarında kullanımı arasındaki zamanı kısaltmak için yeni bir değerlendirme yaklaşımı oluşturmak amacıyla etki araştırma çevreleri ile entegre model ve iklim araştırma çevreleri iş birliği yaptılar. Bu yeni yaklaşımın paralel fazında iklim modelleri, sosyo-ekonomik ve emisyon modelleri sıralı olarak değil, eş zamanlı çalışmaktadır. Böylece, sıralı yaklaşımdan farklı olarak zaman açısından ciddi bir kazanım sağlanmaktadır.

2. Temsili Konsantrasyon Rotaları (RCPs)

RCP'ler, sera gazlarının toplam emisyon ve konsantrasyonu, arazi kullanımı ve arazi örtüsü, kimyasal olarak aktif gazlar, ve aerosoller için oluşturulan veri setleridir (Moss vd., 2008).

“Representative” kelimesi *temsili* olarak çevrilmiştir ve her RCP'nin söz konusu spesifik Radiative zorlama özelliklerini göstermesi muhtemel birçok senaryo içerisinde yalnızca birini temsil ettiğini ifade etmektedir. “Pathway” sözcüğü ise *rota* olarak çevrilmiş olup, sadece uzun bir periyot sonunda ulaşılabilecek konsantrasyon seviyesini değil, aynı zamanda seviyeye gelinceye kadar konsantrasyonların izleyeceği rotayı da kapsamaktadır (Moss vd., 2010).

2.1. *Temsili konsantrasyon rotası (RCP) tiplerinde istenilen özellikler*

Yapılan çalışmalar sonunda hem son kullanıcılar hem de araştırma çevrelerinin ihtiyaç duyduğu senaryo setlerinin hangi özellikleri taşıması gerektiği belirlenmiştir. Bu özellikler gruplandırılarak aşağıda verilmiştir.

2.1.1. Konsantrasyon rotaları

Farklı kullanıcıların farklı istekleri ve ihtiyaçları doğrultusunda, bilimsel literatürde çalışmaları yapılmış düşük, orta ve yüksek seviye Radiative zorlama özelliğine sahip farklı konsantrasyon rotaları oluşturulmuştur. Literatürdeki en düşük seviye radyo aktif zorlama rotası önce zirve yapmakta ve sonra düşmektedir. Bu yükselme ve düşüşün seviyesi kadar yükseliş ve düşüş biçimi de önemli bir noktayı teşkil etmektedir. Orta seviye rotalar, Radiative zorlamanın hem iklimi hem de buzulları nasıl etkileyeceğinin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Yüksek seviye zorlama/konsantrasyon rotaları ise, yüksek seviye zorlamada iklim sisteminin dinamiklerinin araştırılmasında iklim modeli çevrelerine (CM community), yüksek etki senaryoları oluşturulmasında da “etki-uyum-etkilenebilirlik” (IAV) topluluklarına imkan vermektedir.

2.1.2. Konsantrasyon rotalarının sayısı

Senaryo setinde bulunacak senaryo sayısının, düşük, orta ve yüksek seviye senaryolar arasında oluşabilecek doğal doğrusal ilişkiden kaçınmak için 2'den büyük bir çift sayı olması, hesaplamalarda ve modellerin çalıştırılmasındaki ihtiyaçlar göz önüne alınarak tercihen 4 olmasının uygun olacağı kanaatine varılmıştır. Bu seçim mantığı daha önceki senaryolarda (SRES) da uygulanmıştır.

2.1.3. Konsantrasyon rotalarının ayrımları ve formları

Saptanmaya çalışılan iklim *değişikliği* sinyali, iklim *değişkenliği* belirtilerine nazaran büyük olduğunda, atmosfer-okyanus genel sirkülasyon model (AOGCM) uygulama sonuçlarının yorumlanmasında en etkili yöntemdir. Modellerin çalıştırılması ile elde edilen iklim *değişikliği* çıktılarında senaryoların ayrımlarının kolayca görülebilir olması istenmiştir.

2.1.4. Güçlü konsantrasyon rotaları

İklim modeli çalışmalarının gerektirdiği kaynakların yeterli şekilde sağlanıyor olması RCP'lerin ve senaryoların bilim camiası tarafından “güçlü” olarak nitelendirilmesini sağlamıştır. Bu açıdan “güçlü” tanımlaması “iyi desteklenmiş” anlamında kullanılmış olup senaryonun teknik olarak güvenilir olduğunu göstermektedir. Güçlü senaryoda güvenilir varsayımlar, mantık ve hesaplamalar yer almaktadır. Ayrıca Radiative zorlamanın birbirinden bağımsız modeller tarafından tekrar elde edilebileceğini göstermektedir.

2.1.5. Konsantrasyon rotalarının kapsadığı periyot

Antropojenik iklim *değişikliği*, iklim sisteminin Radiative zorlanmaya maruz kalmasına sebep olan bütün faktörler tarafından desteklenmektedir. Bu faktörlerin hepsi birbirleri ile bağlantılıdır. RCP senaryolarında bu faktörlerin hepsi, 2300 yılına kadar uzanan veri setlerinde, iklim modelcilerine girdi oluşturması amacıyla modellenmiştir. 21. yüzyıl ötesini de içine alan iklim senaryoları ile ilgili yayınlanmış fazla çalışma bulunmadığından, RCP'ler bu anlamda da önemli bir aşama olarak kabul edilmektedir.

2.1.6. Senaryoların yakın periyottaki çözünürlüğü

Araştırma ve kullanıcı grupların talepleri doğrultusunda RCP'lerden bir tanesinin, yakın gelecek (2035'e kadar) iklim *değişikliği* projeksiyonu üretmek için, 1° ya da daha büyük bir çözünürlükte

(örneğin 0.5°) çalıştırılması kararlaştırılmıştır. Yüksek çözünürlükte simülasyonlarla şunlar amaçlanmıştır:

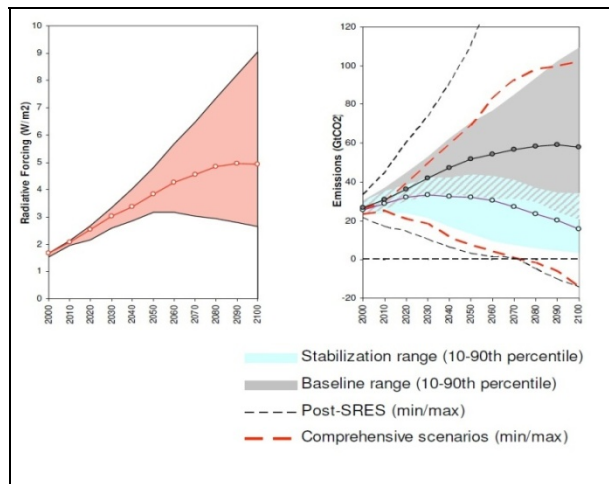
- İklim değişikliğinin hava kalitesi ve bölgesel iklim üzerine etkisinin anlaşılması
- Ekstrem hava olaylarının olasılıklarının ve eğilimlerinin anlaşılması
- Orta vadeli (20-30 yıllık) doğal iklim *değişkenliği* tahminini etkileyebilen gözlemlenmiş iklim ile iklim modellerinin nasıl başlatılacağına belirlenmesi,
- Özellikle IAV grupları tarafından bölgesel iklim analizleri için bir çerçeve belirlenmesi
- Yakın gelecek için iklim değişikliği etkileri ve uyum uygulamaları konusunda daha iyi bilgiler sağlayarak iklim politikaları seçenekleri oluşturulması

2.2. Konsantrasyon rotalarına uygun senaryoların belirlenmesi

Önceki bölümde seçilecek rotaların hangi özellikleri taşıması gerektiği hakkında bilgiler sunulmuştu. Bu özellikleri taşıyan yüzlerce senaryo ve onlarca senaryo grubu içinden en uygun olanlarının seçilmesine ilişkin bilgiler bu bölümde yer almaktadır.

2.2.1. Literatürde yer alan senaryolar

30' dan fazla yeni emisyon/konsantrasyon senaryosu RCP adaylarının belirlenmesi için bir araya getirilerek değerlendirme yapılmıştır. Radiative zorlamanın temel bileşenleri sera gazı ve sera gazı dışındaki emisyonlar ve konsantrasyonlar, arazi kullanımı ve arazi örtüsü, iklim ve kara-okyanus karbon döngüsü olarak sıralanmaktadır. Bu bileşenler tüm senaryolar için karşılaştırılabilir olmadığından grafikte Grafik-1'de, 37 senaryodan ancak 32'si kullanılabilmiştir. Grafik-1'de kapsamlı CO₂ senaryolarının, SRES sonrası literatürü 10-90% oranında içerdiği görülmektedir. Senaryo seçiminde bu bir kriter olarak ele alınmamasına rağmen, bu iki senaryo setinin, yani SRES senaryoları ve ileride RCP olarak adlandırılan kapsamlı emisyon senaryolarının, uyumu artık bir özellik olarak değerlendirilmektedir. Entegre değerlendirme modellerinde (IAMs) uzun ömürlü gazlar için elde edilen potansiyel rotalar, kısa ömürlü gazlar için bulunmamaktadır. Atmosfer-okyanus genel sirkülasyon modelleri (AOGCMs), dolayısı ile yer sistem modelleri (ESMs), belirli bir konsantrasyon rotası için Radiative zorlayıcıları basit iklim modelleri (CMs) gibi efektif kullanmazlar. CM'ler genellikle IAM'lar tarafından kullanılırlar ve AOGCM sonuçlarına göre kalibre edilirler. AOGCM ve ESM Radiative zorlamayı kendi ürettikleri üç boyutlu atmosfer kompozisyonu projeksiyonlarından elde ederler ve bu değerler CM'lerin kısa ömürlü gazlar için (short-lived species) ürettiği değerlerden farklı olabilir. Bu farklılıklar yeni araştırmalarda göz önünde bulundurulmaktadır.



Grafik-1: Radiative zorlamalar ve CO₂ emisyonları (IPCC,2007). Solda, senaryolardan elde edilen maksimum ve minimum küresel Radiative zorlama seviyeleri görülmektedir. Sağda ise, soldaki grafikte kullanılan senaryoların karbondioksit emisyon rotaları verilmiştir.

2.2.2. RCP tipleri

RCP tiplerinin tanımlanması için senaryo literatürü daha önce açıklanan özellikler bakımından taranmış ve Radiative zorlama seviyeleri ve rotaları için 4 RCP tipi tanımlanmıştır.

Tablo-2: RCP Tipleri (IPCC, 2007)

RCPs	Radyotif Zorlama	Zaman	Radyotif Zorlama Değişimi	Karbondioksit Eşdeğer Konsantrasyonu (ppm)
RCP 8.5	> 8.5 W/m ²	2100'de	Yükselme	$> \sim 1370$ ppm
RCP 6.0	~ 6.0 W/m ²	2100 sonrası	Hedefi geçmeden Stabilizasyon	~ 850 ppm
RCP 4.5	~ 4.5 W/m ²	2100 sonrası	Hedefi geçmeden Stabilizasyon	~ 650 ppm
RCP3-PD*	~ 3.0 W/m ²	2100 öncesi	3.0 W/m ² 'de zirve ve düşüş	Zirve ~ 490 ppm ve düşüş

*PD: Peak and decline (zirve ve düşüş)

2.2.3. RCP adaylarının tanımlanması için kriterler

Senaryolar içerisinde RCP adaylarının seçilmesinde, süreçte yer alan grupların değerlendirmelerine göre bir dizi kriter belirlenmiştir. Bunlar şu şekilde sıralanmıştır:

1. Konsantrasyon rotasının literatürde yayınlanmış çalışmalara sahip olması
2. Kullanıcıların taleplerini karşılayacak şekilde belirlenen 4 RCP tipine (Tablo-2) uyumlu olması,
3. Data gerekliliklerini yerine getirmesi,
 - a. Değişkenler için projeksiyonlarının hazırlanması (sera gazları, aerosoller, kimyasal olarak aktif gazlar, arazi kullanımı ve arazi örtüsü),
 - b. Uzun dönem ve yakın dönem için veri çözünürlükleri gereklilikleri,
4. Modelleme gerekliliklerinin yerine getirilmesi (karbon döngüsü ve atmosferik kimya gösterimlerini de içeren Radiative zorlama sonuçlarının modellerin güvenilirliği için IAM ile üretilmesi),
5. Modelleme grubu, iklim model grubu ile koordine içerisinde hedeflenen süre zarfında (yapılan toplantılar sonucu bu tarih 2008 sonu olarak belirlenmiştir)
 - a. Başlangıç veri (tam olarak dokümantasyonunun ve veri çözünürlüğü taslağının tamamlanması,
 - b. Tamamlanan verinin iklim modeli grubuna teslim edilmesi.

2.2.4. RCP adayları

Bir önceki bölümde tanımlanan kriterler ışığında IAM grubu literatürden 19 RCP adayını seçmiştir. Seçilen bu senaryolar modelleme grupları tarafından daha önce belirtilen kriterleri yerine getirecek şekilde üretilmiştir.

Tablo-3: IAM model grupları ve çalıştırdıkları modeller (IPCC, 2007)

IAM Grubu (model ve	RCP8.5	RCP6	RCP4.5	CP3-PD	Referans(lar)

enstitü)					
AIM (NIES)					Fujino et al. (2006), Hijioka et al. (2008)
GRAPE (IAE)					Kurosawa (2006)
IGSM (MIT)		*			Reilly et al. (2006), Clarke et al. (2007)
IMAGE (MNP)		*			van Vuuren et al. (2006, 2007)
IPAC (ERI)					Jiang et al. (2006)
MESSAGE (IIASA)		*			Rao and Riahi (2006), Riahi et al. (2007)
MiniCAM (PNNL)					Smith and Wigley (2006), Clarke et al. (2007)

Not: Altı çizili olanlar eksikleri olan ve revize edilmesi gerekenleri ifade etmektedir.

2.2.5. Seçilen RCP'ler

Kullanıcılar ve bilim adamlarının da hazır bulunduğu IPCC yürütme komitesi toplantısında adaylar içerisinde hangi rota için hangi model ve grubun temsilci olacağı belirlenmiştir.

Tablo-4: Seçilen RCP'ler

<u>RCP</u>	<u>Referans</u>	<u>IAM</u>
RCP8.5	Riahi et al. (2007)	MESSAGE
RCP6	Fujino et al. (2006)	AIM
RCP4.5	Clarke et al. (2007)	MiniCAM
RCP3-PD	van Vuuren et al. (2006, 2007)	IMAGE

Model gruplarının veri setlerini tamamlayarak iklim modelleme gruplarına vermesinden önce, veri setleri bir kez daha gözden geçirilerek iklim model gruplarının ihtiyaç duyduğu formata getirilmiştir. Seçilen senaryolar için, yeni iklim değişikliği senaryoları üretme yaklaşımında, eski nesil yaklaşımlarda olduğu gibi önce sosyo-ekonomik varsayımlar üretilmediğinden, burada zikredilen konsantrasyon seviyeleri için belirlenmiş sosyo-ekonomik senaryolar bulunmamaktadır. IAM grupları RCP'leri ürettikten sonra, azaltım ve uyum konusunda politik gruplara ve karar vericilere yol göstermesi açısından, belirlenen Radiative zorlama seviyelerine uygun varsayımları üretmeyi üstlenmişlerdir. Bu konu ile ilgili düzenlenen çalıştayda (Berlin-Almanya, 2010) yöntemler ve izlenecek yol belirlenmiştir.

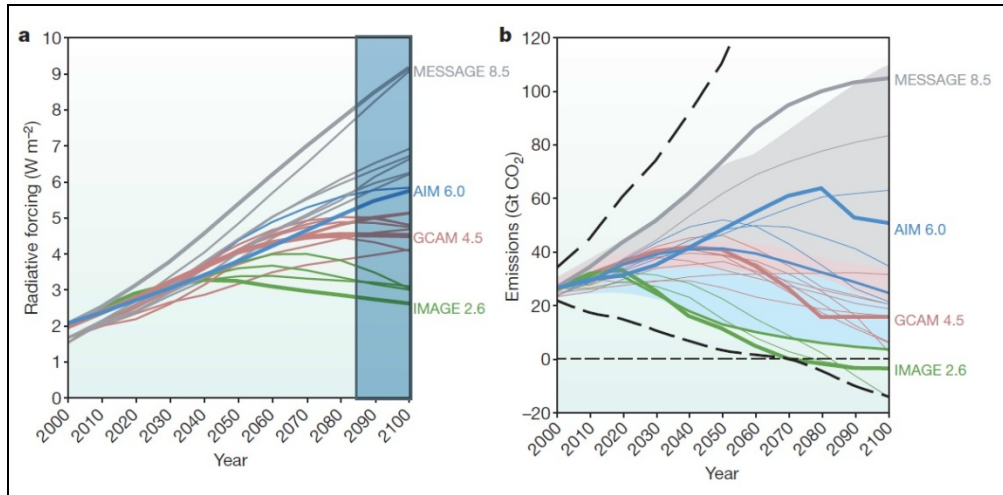
RCP3-PD ise düşük Radiative zorlama ve konsantrasyon rotasıdır ve literatürdeki CO₂ ve CO₂ dışındaki gazlara ait emisyon senaryolarının yalnızca %10'undan azını temsil etmektedir. Senaryonun temelini 21. yüzyıl sonlanmadan emisyonların ya da Radiative zorlamanın zirve yaparak düşüşe geçeceği varsayımı oluşturmaktadır. Önce zirveye ulaşma ve sonra düşme varsayımı, iklim camiası için yeni bir

yaklaşımıdır. Bundan dolayı, senaryonun iklim değişikliğinin ve onun etkilerinin *geri çevrilebilirliği* konusunda yeni bilimsel bulgular üretmesi beklenmektedir.

Düşük konsantrasyon rotası (RCP3-PD) için IMAGE2.6 ve IMAGE2.9'dan birinin seçilmesine karar verilmiştir. IMAGE2.6 Radiative zorlamanın hızlı bir şekilde 3 W/m^2 civarına yükselmesini ve ardından 2100 yılında 2.6 W/m^2 'ye düşmesini öngörmektedir. IMAGE2.9 ise benzer şekilde 2100 yılında zorlamanın 3 W/m^2 'nin bir miktar üzerine çıkarak tekrar 2.9 W/m^2 seviyesine düşmesini öngörmektedir. Bu iki senaryoya ait verilerin tamamlanması için 2300 yılına kadar konsantrasyon, zorlama ve emisyon bilgilerinin tamamlanması gerekmektedir. Bu iki senaryo öngörülerinin gerçekleşmesi ve Radiative zorlamanın azalması için önemli politik ve bilimsel çabanın gerektiğini bildirilmektedir. Negatif emisyon teknolojileri, CO_2 tutulması ve depolanmasına (CCS: CO_2 capture and storage) yönelik teknolojilerin birleştirildiği bio-enerji teknolojileridir. Her iki senaryoda biokütle temelli azaltım stratejileri bulunmasına rağmen, bio-enerji ve CCS teknolojisinin sadece RCP2.6 senaryosunda birleştirilmiş olması ilgi çekici bir nokta olarak belirtilmiştir.

Uzmanlar düşük rota için RCP2.6 senaryosunun kullanılmasının daha uygun olacağını belirtmişlerdir. IMAGE2.6 karbondioksit emisyonlarının 2050 yılında 7.6 Gt olacağını varsayarken, IMAGE 2.9 12.8 Gt CO_2 Gt olacağını öngörmektedir. Bu özelliği sebebi ile küresel ortalama sıcaklıkların belli seviyede tutulması hedefine IMAGE2.6 senaryosunun daha uygun olduğu belirtilmiştir. Diğer bir sebep ise, RCP8.5 ile birlikte ele alındığında RCP2.6, Radiative zorlama değerleri spektrumunda daha büyük temsil oranı oluşturmaktadır. Son olarak ise araştırma gruplarının hemen hepsi, IMAGE2.6 ile yaptıkları model çalışmalarında bu rotanın ana karakteristiği olan *zirve ve düşüş* ardından negatif CO_2 emisyonlarının görüldüğünü belirtmişlerdir. Bu sebepler RCP2.6'yı avantajlı kılarken senaryonun yeterince güçlü olup olmadığı (literatürde ne kadar desteklendiği), teknoloji, ekonomi, karbon depolama, politik durum vb. koşulları ne kadar gerçekçi temsil ettiği gibi tam aydınlatılmayan noktalar dezavantajlarını oluşturmaktadır. Bir dizi analiz çalışmasından sonra IRCP3-PD rotası için senaryonun seçilmesine karar verilmiş, yapılan çalışmalar sonucu IMAGE2.6 seçilmiştir.

RCP4.5 senaryosu, 2100 yılında Radiative zorlamanın 4.5 W/m^2 'de bu değeri geçmeden sabitleneceğini varsayan senaryodur. GCAM (Küresel Değişim Değerlendirme Modeli) görüntülenen RCP4.5 ise bir orta stabilizasyon rotası olup 2100-2150 yılları arasında Radiative zorlamanın 4.5 W/m^2 'de sabitleneceğini varsaymaktadır.

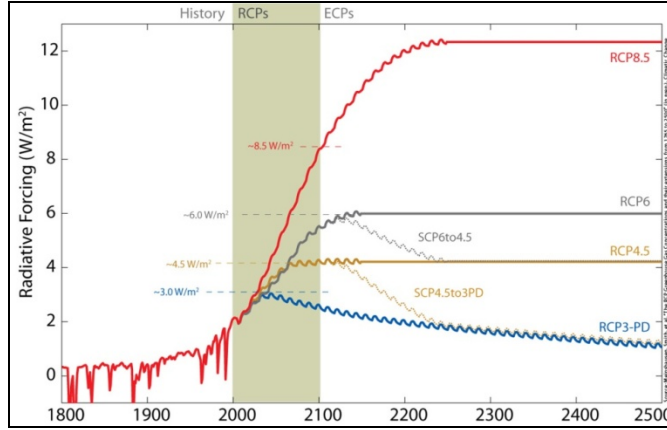


Grafik-2: RCP senaryo adaylarına ait Radiative zorlama seviyeleri ve emisyon miktarları (IPCC, 2007)

Bu senaryonun diğer senaryolara göre avantajları yüksek rota ile arasındaki farktan dolayı çok iyi sinyal elde edilebilmesi ve literatürde bu rota ile ilgili çok sayıda yayınlanmış çalışmanın bulunmasıdır. RCP4.5 senaryosu, küresel bir ekonomik çerçevede sera gazlarının uzun dönem küresel emisyonları, kısa ömürlü gazları ve arazi değişimi/kullanımı bilgilerini içermektedir. RCP4.5 hedeflenen Radiative zorlama seviyesine maliyet azaltımı yaklaşımıyla ulaşmayı öngörmektedir. Bu yaklaşım

içerisinde, hedefe ulaşmak için enerji kullanımında elektriğin payının artması, düşük emisyonlu enerji teknolojileri, karbon tutuma ve doğal jeolojik formasyonlarda depolama teknolojilerine yönelmeler öngörülmektedir.

İkinci orta seviye rota RCP6'dır ve bu rotada 2100'den sonra yaklaşık 6 W/m^2 civarında Radiative zorlamanın sabitleneceği varsayılmaktadır. İklim model grupları açısından, iki farklı orta (intermediate) konsantrasyon rotasının olması bütün RCP'lerin çalıştırılabilmesi açısından oldukça büyük kolaylık sağlayacaktır. Emisyonlarda ise bu yüzyılın son çeyreğine kadar bir artış ve daha sonra azalma varsayımı kabul edilmiştir. RCP8.5 yüksek Radiative zorlama öngörmektedir ve literatürdeki emisyon senaryolarının neredeyse %90'ını temsil etmektedir. RCP8.5, SRES senaryoları içerisinde A2 ve A1F1 senaryoları ile benzerlik göstermektedir. Düşük rota (RCP3-PD) ile arasındaki fark, iklimin bu senaryoya karşı AOGCM'ler yardımı ile görüntülenen tepkisinin değerlendirilmesinde önemli rol oynamaktadır. RCP8.5, yüksek popülasyon ve göreceli olarak düşük ekonomik gelir artışı, orta derecede teknolojik değişiklik, orta derecede enerji yoğunluğu gelişimi ve iklim değişikliği politikalarının geliştirilmemesi ya da uygulanmamasının neden olduğu yüksek emisyonlar ve yüksek enerji ihtiyacı gibi varsayımları kabul etmektedir. Diğer RCP senaryoları ile karşılaştırıldığında en yüksek emisyon oranına sahip senaryodur. Bu senaryo ayrıca azaltım politikalarının öngörülmediği temel bir senaryo işlevi görerek, farklı azaltım politikalarının nasıl sonuçlanabileceğine dair karşılaştırma seçenekleri oluşturulmasına imkan sağlamaktadır. RCP8.5 senaryosunda Radiative zorlama sürekli bir artış trendinde seyretmekte olup, sabitlenmesi ancak 22. yüzyılın ortalarında gerçekleşebilmektedir. Emisyonlarda buna paralel olarak 2050'lere kadar hızlı bir şekilde artarken, 2050 sonrasında artış hızı düşmektedir.



Grafik-3: RCP tiplerine ait toplam doğal ve antropojenik Radiative zorlama seviyeleri (Meinshausen, vd., 2011)

SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışma, 2007 yılında IPCC'nin düzenlediği uzmanlar toplantısında alınan kararlar ile iklim değişikliği çalışmalarındaki yeni yaklaşımların ve bu çalışmalarda kullanılacak RCP'lerin kamu oyuna tanıtılmasını amaçlamaktadır.

Adı geçen toplantının sonuç raporu, yeni iklim değişikliği çalışmalarında izlenecek yol konusunda bir kılavuz işlevi görmektedir. Bu rapora ek olarak yine IPCC'nin 2010 yılında Almanya'da düzenlediği sosyo-ekonomik senaryoların oluşturulmasına yönelik çalıştay raporu iklim değişikliği değerlendirme çalışmalarında yol gösterici diğer bir kaynağı teşkil etmektedir.

Benimsenen yeni yaklaşım ve kabul edilen yeni senaryolar doğrultusunda ülkemizde yapılacak iklim değişikliği çalışmaları eski çalışmalar ile birleştirilmeli ve yeni iklim projeksiyonları ve sosyo-ekonomik projeksiyonlar üretilmelidir. Yapılacak bu tür çalışmalar, öncelikle, UNFCCC tarafından düzenlenen uluslararası iklim değişikliği müzakerelerinde ülkemizin benimseyeceği politikaların belirlenmesinde çok önemli rol oynayacaktır. Diğer yandan, özellikle iklim değişikliğini farklı açılardan ele alan kamu kurumlarımızın bahsi geçen yeni dönem iklim değişikliği çalışmalarına başlamaları ülkemizin iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı başarılı uyum çalışmaları yürütmesinde temel teşkil edecektir.

KAYNAKLAR

- Gregory, W.L. and Duran, A., 2001. "Scenarios and acceptance of forecasts". Principles of forecasting: A handbook for researchers and practitioners, edited by J. Scott Armstrong. 2001 Springer Science-Business Media, inc. New York.
- IPCC, 1990. CLIMATE CHANGE: The IPCC Response Strategies, by Working Group III.
- IPCC, 2000. Special Report on Emissions Scenarios. Cambridge University Press.
- IPCC, 2001. Climate Change 2001, Synthesis Report.
- IPCC, 2001. Climate Change 2001, Scientific Basis, Appendix II. Cambridge University Press.
- IPCC, 2007. "Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, impacts, and Response Strategies: IPCC Expert Meeting Report." September, 2007, the Netherlands.
- IPCC, 2010. "IPCC Workshop on Socio-Economic Scenarios: Workshop Report." November, 2010, Germany.
- Leggett J., Pepper W.J., Swart R.J., 1992. "Emissions Scenarios for the IPCC: an Update", Climate Change 1992: The Supplementary Report to The IPCC Scientific Assessment, Cambridge University Press, UK, pp. 68-95.
- Meinshausen M. vd., 2011. "The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300". Climatic Change (2011) 109:213–241. DOI 10.1007/s10584-011-0156-z.
- Morgan, M. G. and Henrion, M., 1990. "A Guide to Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk and Policy Analysis", Cambridge: Cambridge University Press, 1990.
- Moss, R. H. Vd., 2010. "The next generation of scenarios for climate change research and assessment". Nature, 2010: Vol 463: 11 February 2010. doi:10.1038/nature08823.
- Moss, R.H. vd., 2008. "Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies", Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva.
- Riahi, K. vd., 2011. "RCP 8.5: A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions". Climatic Change (2011). 109:33–57 DOI 10.1007/s10584-011-0149-y.
- Thomson A. M. vd., 2011. RCP4.5: a pathway for stabilization of radiative forcing by 2100. Climatic Change, DOI 10.1007/s10584-011-0151-4.
- UN, 1998. "Kyoto Protocol To The United Nations Framework Convention On Climate Change", Annex-A, Greenhouse Gases.
- UNFCCC, 1992. İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi, madde 1.4, madde 1.5.
<http://www.mgm.gov.tr/index.aspx#sfU>
<http://unfccc.int/2860.php>
<http://www.ipcc.ch>
<http://www.pik-potsdam.de/~mmalte/rcps/>
<http://www.epa.gov>
<http://wcrp-cordex.ipsl.jussieu.fr/>
<http://www.medcordex.eu/simulations.php>
<http://www.earthsystemmodeling.org/>