



Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

**TÜRKİYE'DE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNE UYUM EYLEMİNİN  
GÜÇLENDİRİLMESİ PROJESİ  
TR2017 ESOP MI A3 06**

**Ulusal ölçekte oklu-Tehlike Değerlendirmesi ve Ekstrem İklım İndisleri**

*Bu Proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmekte ve Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı tarafından uygulanmaktadır. Proje'nin yararlanıcısı evre, Şehircilik ve İklım DeđerliŐikliđi Bakanlığı'dır. Avrupa Birliği ve Dış İliŐkiler Genel Müdürlüğü, bu Proje'nin SözleŐme Makamıdır.*

**Hazırlayan:** Ceren Ballı Gzen, Fulden Batıbeniz, Aslı İlhan, Cemre Sonuç ve BarıŐ Kelebek

**Kaynakça:** İklım Uyum Projesi. (2022) Ulusal ölçekte oklu-Tehlike Değerlendirmesi ve Ekstrem İklım İndisleri

[https://iklimeuyum.org/dokumanlar/Ulusal\\_Olcekte\\_Coklu\\_Tehlike\\_Degerlendirmesi\\_ve\\_Ekstrem\\_Iklım\\_Indisleri](https://iklimeuyum.org/dokumanlar/Ulusal_Olcekte_Coklu_Tehlike_Degerlendirmesi_ve_Ekstrem_Iklım_Indisleri)

Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı

Türkiye



**T.C. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE  
İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI**



**evre ve İklım  
Eylemi Sektör  
Operasyonel Programı**



**iklime uyum**





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

**Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi**

---

*Bu yayın Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti’nin desteğiyle hazırlanmıştır. Bu yayının içeriğine ilişkin sorumluluk tamamen UNDP’ye aittir ve hiçbir şekilde Avrupa Birliği’nin görüşlerini yansıtır olarak yorumlanamaz.*



**T.C. ÇEVRE, şEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİşİKLİĞİ BAKANLIĞI**

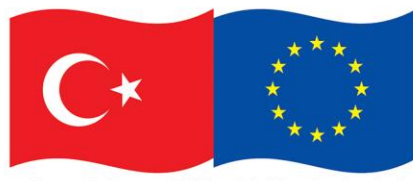


ii



iklime uyum





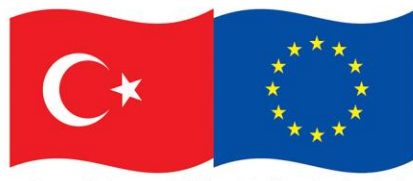
Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

**Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi**

**İÇİNDEKİLER**

|  |      |
|--|------|
| İÇİNDEKİLER .....  | iii  |
| ŞEKİLLER LİSTESİ .....   | v    |
| TABLolar LİSTESİ .....   | vii  |
| KISALTMALAR.....   | viii |
| YÖNETİCİ ÖZETİ.....  | 1    |
| GİRİŞ.....   | 3    |
| 1 ÇALIŞMA METODOLOJİSİ .....   | 4    |
| 1.1 Yanlılık Düzeltmesi .....  | 4    |
| 1.1.1 Ortalama Değer (MV) Yanlılık Düzeltmesi .....                    | 4    |
| 1.1.2 Kantil Eşlemi Yanlılık Düzeltmesi .....                          | 4    |
| 1.2 Ekstrem İklim İndisleri.....                                       | 6    |
| 1.2.1 Tehlike ve Afetler .....   | 8    |
| 1.3 Çoklu Tehlike Analizleri .....                                     | 16   |
| 1.3.1 Bağımsız Olaylar .....   | 17   |
| 1.3.2 Birleşik Olaylar .....   | 17   |
| 1.3.3 Karşılıklı Olaylar .....   | 18   |
| 1.3.4 Domino veya Basamaklı Tehlikeler .....                           | 18   |
| 1.4 Çoklu Tehlike Değerlendirmeleri.....                               | 18   |
| 1.4.1 İklim Tehlike Göstergeleri .....                                 | 20   |
| 1.4.2 Aşırı Hava Olaylarının Görülme Sıklığı.....                      | 20   |
| 2 TÜRKİYE İÇİN ÇOKLU TEHLİKE DEğerLENDİRMEİ .....                      | 22   |
| 2.1 Yanlılık Düzeltmesi .....  | 22   |
| 2.1.1 Ortalama, Maksimum ve Minimum Sıcaklık .....                     | 22   |
| 2.1.2 Toplam Yağış .....   | 24   |
| 2.1.3 Maksimum Rüzgâr Hızı .....                                       | 25   |
| 2.2 Gelecek Dönem Sıcaklık ve Yağış Değerişimleri .....                | 27   |
| 2.2.1 Ortalama Sıcaklık .....  | 27   |
| 2.2.2 Toplam Yağış .....   | 28   |
| 2.3 Ekstrem İklim İndis Analizleri .....                               | 29   |
| 2.3.1 Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI) ..... | 29   |



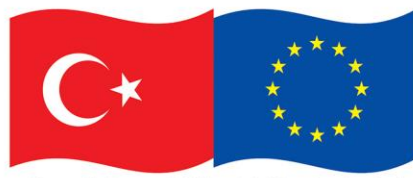


Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

### Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 2.3.2 | Aşırı Yağışlı Günler İndisi (R95p) .....   | 32 |
| 2.3.3 | Sıcak Hava Dalgası İndisi (HWI).....       | 34 |
| 2.3.4 | Kanada Yangın Hava İndisi (FWI) .....      | 36 |
| 2.3.5 | Soğuk Hava Dalgası İndisi (CWI).....       | 41 |
| 2.3.6 | Aşırı Rüzgârlı Günler İndisi (W98) .....   | 43 |
| 2.4   | Çoklu Tehlike Analizleri .....             | 45 |
| 2.4.1 | Dönüş Periyotları (DP) .....               | 45 |
| 2.4.2 | Yıllık Beklenen Tehlike Kesri (YBTK) ..... | 47 |
| 2.4.3 | Tehlike Değişim İndeksi (TDi).....         | 48 |
| 2.4.4 | Toplam Tehlike İndeksi (TTi) .....         | 49 |
| 3     | SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME .....            | 51 |
|       | KAYNAKÇA.....                              | 55 |





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

**Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi**

**ŞEKİLLER LİSTESİ**

|   |    |
|---|----|
| Şekil 1.1 FWI Hesap Yöntemi Şematik Gösterimi (Van Wagner, 1987) .....  | 14 |
| Şekil 1.2 Farklı Tetikleyici Faktörlerin Neden Olduğu Tekil ve Çoklu Tehlikeler Arasındaki Karmaşık İlişkilerin Gösterimi (Jetten, Alkema, van Westen, & Brussel, 2014) .....                         | 17 |
| Şekil 2.1 Gözlem, Model ve Düzeltilmiş Modelin Referans Dönemi (sol) ile Düzeltilmiş Modelin Projeksiyon Dönemlerindeki (sağ) Klimatolojik Değişimler.....  | 22 |
| Şekil 2.2 1971-2000 Dönemi Günlük Standart Sapması (°C) (üst) Hata Karelerinin Ortalamasının Karekökü (°C) (alt) .....  | 24 |
| Şekil 2.3 Gözlem, Model ve Düzeltilmiş Modelin Referans Dönemi (sol) ile Düzeltilmiş Modelin Projeksiyon Dönemlerindeki (sağ) Klimatolojik Değişimler.....  | 25 |
| Şekil 2.4 1971-2000 Dönemi Günlük Standart Sapması (°C) (üst) Hata Karelerinin Ortalamasının Karekökü (°C) (alt) .....  | 25 |
| Şekil 2.5 Gözlem, Model ve Düzeltilmiş Modelin Referans Dönemi (sol) ile Düzeltilmiş Modelin Projeksiyon Dönemlerindeki (sağ) Klimatolojik Değişimler.....  | 26 |
| Şekil 2.6 1981-2000 Dönemi Günlük Standart Sapması (°C) (üst) Hata Karelerinin Ortalamasının Karekökü (°C) (alt) .....  | 26 |
| Şekil 2.7 Referans Dönemi (a) Sıcaklık Ortalaması ve RCP4.5 Senaryosu (b) ile RCP8.5 Senaryosu (c) için Projeksiyon Dönemindeki Değişimler.....   | 27 |
| Şekil 2.8 Referans Dönemi (a) Toplam Yağış Ortalaması ve RCP4.5 Senaryosu (b) ile RCP8.5 Senaryosu (c) için Projeksiyon Dönemindeki Değişimler .....  | 28 |
| Şekil 2.9 RCP4.5 Senaryosu SPEI3 Dönemsel Kuraklık Şiddeti Ortalamaları (a), Kuraklık Frekansları (b), Kuraklık Eğilimleri (c) .....  | 30 |
| Şekil 2.10 RCP8.5 Senaryosu SPEI3 Dönemsel Kuraklık Şiddeti Ortalamaları (a), Kuraklık Frekansları (b), Kuraklık Eğilimleri (c) .....   | 31 |
| Şekil 2.11 SPEI3 İndisinin Referans Dönemi ve RCP4.5 (Mavi Çizgi) ile RCP8.5 (Turuncu Çizgi) Senaryolarına Göre Gelecek Projeksiyonları Anomalileri.....  | 32 |
| Şekil 2.15 Referans Dönemi (RF) Yağışlarının 90. persantil Değerleri (mm) (a) RCP4.5 Senaryosu (b) ile RCP8.5 Senaryosu (c) için Projeksiyon Dönemindeki Değişimler .....                             | 33 |
| Şekil 2.16 R95p İndisinin Referans Dönemi ve RCP4.5 ile RCP8.5 Senaryolarına Göre Gelecek Projeksiyonları Anomalileri.....  | 34 |
| Şekil 2.17 Referans Dönemi Sıcak Hava Dalgası İndisi (Olay Sayısı) (a) ve RCP4.5 Senaryosu (b) ile RCP8.5 Senaryosu (c) için Projeksiyon Dönemindeki Değişimler .....                                 | 35 |
| Şekil 2.18 HWI İndisinin Referans Dönemi ve RCP4.5 ile RCP8.5 Senaryolarına Göre Gelecek Projeksiyonları Anomalileri.....   | 36 |
| Şekil 2.19 FWI İndisi RCP4.5 Senaryosuna Göre Dönemsel Ortalamaları (a), Yangın Riski Olan Günlerin Frekansı (b) ve Sırasıyla Orta (c) Yüksek (d) Çok Yüksek (e) Yangın Riski Olan Gün Sayıları ..... | 37 |



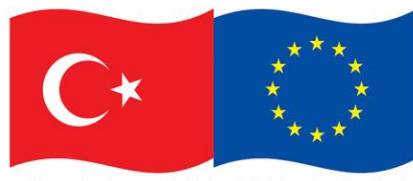


Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

**Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi**

|   |    |
|---|----|
| Şekil 2.20 FWI İndisi RCP8.5 Senaryosuna Göre Dönemsel Ortalamaları (a), Yangın Riski Olan Günlerin Frekansı (b) ve Sırasıyla Orta (c) Yüksek (d) Çok Yüksek (e) Yangın Riski Olan Gün Sayıları .....                   | 39 |
| Şekil 2.21 FWI İndisinin Referans Dönemi ve RCP4.5 ile RCP8.5 Senaryolarına Göre Gelecek Projeksiyonları Anomalileri.....   | 40 |
| Şekil 2.22 Referans Dönemi CWI Soğuk Hava Dalgası İndisi (Olay Sayısı) (a) RCP4.5 Senaryosu (b) ile RCP8.5 Senaryosu (c) için Projeksiyon Dönemindeki Değişimler .....  | 41 |
| Şekil 2.23 CWI İndisinin Referans Dönemi ve RCP4.5 ile RCP8.5 Senaryolarına Göre Gelecek Projeksiyonları Anomalileri.....   | 42 |
| Şekil 2.24 Referans Dönemi Maksimum Rüzgarların 90.Persantil Değerleri (m/s) (a) RCP4.5 Senaryosu (b) ile RCP8.5 Senaryosu (c) için W98 (gün) Aşırı Rüzgârlı Günler İndisinin Projeksiyon Dönemindeki Değerimleri ..... | 44 |
| Şekil 2.25 W98 İndisinin Referans Dönemi ve RCP4.5 ile RCP8.5 Senaryolarına Göre Gelecek Projeksiyonları Anomalileri.....   | 45 |
| Şekil 2.26 Türkiye’de Ekstrem İklim Hadiselerinin Görülme Sıklığındaki Değerimler .....   | 45 |
| Şekil 2.27 RCP4.5 Senaryosu a) ve RCP8.5 Senaryosu b) için Yıllık Beklenen Tehlike Kesri (YBTK) Değerimleri.....  | 47 |
| Şekil 2.28 RCP4.5 Senaryosu a) ve RCP8.5 Senaryosu b) için Tehlike Değerim İndeksi Projeksiyonları  | 49 |
| Şekil 2.30 RCP4.5 Senaryosu a) ve RCP8.5 Senaryosu b) için Toplam Tehlike İndeksi Projeksiyonları   | 50 |





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

**Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi**

**TABLolar LİSTESİ**

|  |    |
|--|----|
| Tablo 1.1 Ekstrem İklim İndisleri .....                | 7  |
| Tablo 1.2 SPEI Kuraklık Sınıfı Değer Aralıkları .....  | 10 |
| Tablo 1.3 FWI Yangın Risk Sınıfı Değer Aralıkları..... | 14 |



**T.C. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE  
İKLİM DEğİŞİKLİĞİ BAKANLIğI**

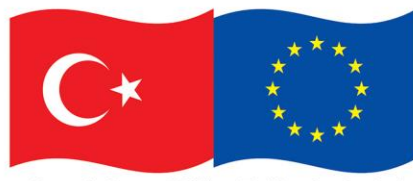


vii



iklime uyum





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

**KISALTMALAR**

|         |   |
|---------|---|
| BC      | Yanlılık Düzeltmesi                                 |
| CWI     | Soğuk Hava Dalgası İndisi                           |
| DP      | Dönüş Periyodu                                      |
| FWI     | Kanada Yangın Hava İndisi                           |
| GCM     | Küresel Sirkülasyon Modeli                          |
| HWI     | Sıcak Hava Dalgası İndisi                           |
| IPCC    | Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli            |
| MPI-ESM | Max Plank Meteoroloji Enstitüsü Yer Sistem Modeli   |
| MV      | Ortalama Değer                                      |
| QM      | Kantil Eşlemi                                       |
| PET     | Potansiyel Evapotranspirasyon                       |
| RCP     | Temsili Konsantrasyon Rotaları                      |
| RegCM   | Bölgesel İklim Modeli                               |
| RF      | Referans Dönemi                                     |
| RMSE    | Hata Karelerinin Ortalamasının Karekökü             |
| R95P    | Aşırı Yağışlı Günler İndisi                         |
| SPEI    | Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi |
| TDİ     | Tehlike Değişim İndeksi                             |
| TTİ     | Toplam Tehlike İndeksi                              |
| W98     | Aşırı Rüzgârlı Günler İndisi                        |
| YBTK    | Yıllık Beklenen Tehlike Kesri                       |







Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

## YÖNETİCİ ÖZETİ

Dünya'nın iklimi, artan atmosfer ve okyanus sıcaklıklarıyla değişmektedir. İklim sisteminin bu ısınma oranı, 1950'lerin küresel sıcaklığına göre dikkate değer bir seviyededir (Kovats, ve diğerleri, 2014).

İklim değişikliğinin ötesinde, meydana gelen küresel sıcaklık artışının insan toplulukları, bitkiler, hayvanlar ve ekosistemlere olan etkileri nedeniyle iklim değişikliği çalışmalarında artan aşırı koşullar önemli olacaktır. İklim değişikliği ile birlikte meydana gelen sel, kuraklık, sıcak hava dalgaları ve soğuk hava dalgaları gibi aşırı iklim olaylarına maruz kalmanın, doğal ekosistem ve insan sistemleri için geniş ve kapsamlı sonuçları vardır (Murray & Ebi, 2012).

İklim değişikliği etkileri beraberinde sıklığı ve şiddeti artan kuraklık, fırtınalar, sıcak hava dalgaları, şiddetli yağış ve seller, orman yangınları gibi bugün de etkisini hissettiğimiz afetleri getirmekte olup, yaşamı, kentsel ekonomileri ve sektörleri olumsuz yönde etkilemektedir. Sıcak dönemlerin süresi ve yoğunluğu ile yoğun yağış sıklığının yakın gelecekte dünyanın birçok bölgesinde artması beklenmektedir. Yağış dağılımının mekânsal ve zamansal heterojenliği ve gelecekteki aşırı olaylardaki potansiyel artış göz önüne alındığında, aşırı iklim olaylarına karşı riski değerlendirmek son derece önemlidir.

21. Yüzyılda meydana gelen hava ve iklim kaynaklı felaketler, zamansal ve mekânsal farklılıklarına rağmen büyük ekonomik kayıplara sebep olmuştur (Seneviratne, ve diğerleri, 2012). İklim kaynaklı tehlikelerin bildirilen kayıpları tarihsel olarak yüksek seviyelerde olmakla birlikte, iklim değişikliğinin aşırı hava olaylarının oluşturduğu riski artırması muhtemeldir. Dünya genelinde meydana gelen meteorolojik, hidrolojik ve iklim kaynaklı doğal afetlerin sayısında da son 20 yılda ciddi bir artış görülmektedir (UNDRR&CRED, 2020). Bu afetlerin bir arada görülmesi, yani çoklu tehlike riski de gün geçtikçe artmaktadır. Buna bağlı olarak, birden çok iklim tehlikesine yatkın alanlarda tehditlerin daha belirgin hale gelmesi beklenmektedir. Bu bağlamda, iklim değişikliğine daha fazla maruz kalma potansiyeline sahip alanları belirlemek için, iklim ekstremlerinin şiddeti ve sıklığındaki olası bölgesel varyasyonları açıklayan çoklu tehlike değerlendirmesi gereklidir.

Bu çalışma kapsamında, tehlike analizlerinde kullanılmak üzere, Faaliyet 1.1.1 altında hazırlanan, "İklim Projeksiyonlarının Analizleri ve Değerlendirmesi Raporu"nda elde edildiği gibi MPI-ESM-MR küresel iklim modeli RCP4.5 ve RCP8.5 temsili konsantrasyon rotalarına dayanan simülasyonlarından RegCM4.3 kullanılarak dinamik ölçek küçültme yöntemiyle elde edilmiş olan 10x10km çözünürlüğe sahip iklim simülasyonları kullanılmıştır. Çalışma kapsamında, referans periyodu 1971-2000 yılları arasını temsil etmektedir. Gelecek dönem simülasyonları ise 2021-2100 yılları arasını, toplamda seksen yılı kapsamaktadır. Gelecek simülasyonları kullanılarak yapılan analizler 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 olmak üzere toplamda dört dönemde incelenmektedir. Buna göre verilere önce yanlılık düzeltmesi yapılmıştır. Daha sonra düzeltilmiş parametrelerin standart sapma ve Hata





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

### Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

Karelerinin Ortalamasının Karekökü (HKOK) analizleri yapılıp, düzeltme yöntemlerinin performansları değerlendirilmiştir.

Yanlılığı düzeltilmiş simülasyonlar ile iklim kaynaklı afetler ve sektörlere yönelik tehlike analizlerinde kullanılması amacıyla sıcaklık, yağış ve rüzgâr parametreleri kullanılarak 48 adet ekstrem iklim indisi hesaplanmıştır. Proje kapsamında çoklu tehlike analizlerinde kullanılmak üzere, ulusal ölçekte kuraklık, şiddetli yağış, sıcak hava dalgaları, orman yangınları, soğuk hava dalgaları ile şiddetli rüzgâr tehlikeleri gibi ekstrem hava olaylarını temsil etmesi için 6 indis seçilmiştir.

Ulusal ölçekte, indislerin referans dönemine göre projeksiyon dönemindeki 20 yıllık değişimleri ile dağılımları harita ve grafikler üzerinde değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında, son adım olarak çoklu tehlike analizleri yapılmıştır. Bu aşamada, çoklu iklim tehlikelerine maruziyeti en yüksek potansiyele sahip coğrafi alanları belirlemek için, her bir tehlike için hesaplanan indise göre 2, 5, 10, 20, 50 ve 100 yıllık dönüş periyodu (DP); her bir periyoda göre Yıllık Beklenen Tehlike Kesri (YBTK) ve bu değerler ile elde edilen Tehlike Değişim İndeksi (TDİ) ile Toplam Tehlike İndeksi (TTİ) hesaplanmıştır.





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

## GİRİŞ

İklim değişikliği insanları, toplumları, ekonomik sektörleri ve ekosistemleri riske maruz bırakır. Risk genellikle, değerli bir şeyin tehlikede olduğu ve sonucun belirsiz olduğu, değerlerin çeşitliliğini kabul eden bir sonuç potansiyeli olarak tanımlanır (IPCC, 2014).

Giderek daha şiddetli ve sık görülen doğal ve insan kaynaklı afet riskiyle karşı karşıya kalan, Afet Riski Yönetimi (ARY) ve Avrupa Birliği (AB) politikaları ile ilgilenen politika yapıcılar ve risk yöneticileri, her düzeyde (yerel, ulusal, Avrupa ve küresel) ve ARY döngüsünün tüm aşamalarındaki (önleme, azaltma, hazırlık, müdahale ve kurtarma) mevcut bilginin zenginliğine giderek daha fazla güvenmektedir.

Daha iyi bilgi, daha güçlü kanıtlar ve dönüştürücü süreçlere ve yeniliğe daha fazla odaklanma, afet riski anlayışımızı geliştirmek, politika oluşturmaya yönelik esneklik ve riske dayalı yaklaşımlar oluşturmak ve akıllı, sürdürülebilir ve kapsayıcı büyümeye katkıda bulunmak için gereklidir.

İklim değişikliği etkilerinden kaynaklanan riskler, tehlike, etkilenebilirlik ve maruziyet kavramlarının etkileşimi ile oluşmaktadır. Tehlikeler, şiddetli fırtınalar gibi kısa olaylardan, on yıllarca sürebilen kuraklıklara veya birkaç yüzyıllık deniz seviyesinin yükselmesi gibi yavaş eğilimlere kadar değişen süreçleri içerir. Etkilenebilirlik ve maruziyet, kalkınma yollarına bağlı olarak artış veya azalış gösterebilen, çok çeşitli sosyal ve ekonomik süreçlere duyarlıdır. Riskler ve ortak faydalar, iklim değişikliğini hafifletmeyi veya buna uyum sağlamayı amaçlayan politikalarından da kaynaklanmaktadır (IPCC, 2014).

Risk genellikle, tehlikeli olayların veya eğilimlerin meydana gelme olasılığı ile bu olayların meydana gelmesi durumundaki sonuçların büyüklüğü ile çarpımı olarak temsil edilir. Bu nedenle, yüksek risk yalnızca yüksek olasılıklı sonuçlardan değil, aynı zamanda çok ciddi sonuçları olan düşük olasılıklı sonuçlardan da kaynaklanabilir. Bu, düşük olasılıklı sonuçlardan çok olası sonuçlara kadar olası tüm sonuçların değerlendirilmesini önemli kılmaktadır. Örneğin, küresel ortalama deniz seviyesinin bu yüzyılda bir metreden fazla artması pek olası değildir, ancak daha büyük bir artışın sonucu o kadar şiddetli olabilir ki bu olasılık risk değerlendirmesinin önemli bir parçası haline gelebilir. Benzer şekilde, düşük olasılığa sahip ancak sonuçları etkin olan veya olacak olan olaylar da politikayla ilgilidir; örneğin, Amazon ormanının iklim değişikliğini önemli ölçüde artırma olasılığı, şu anda sonucu tahmin etme konusundaki eksikliklere rağmen dikkate alınmaya değerdir.

Risk niteliksel veya niceliksel olarak anlaşılabilir. Genellikle yinelemeli olan çok çeşitli resmi veya gayri resmi araçlar ve yaklaşımlar kullanılarak azaltılabilir ve yönetilebilir. Risk yönetimi için faydalı yaklaşımlar, risk seviyelerinin doğru bir şekilde belirlenmesini gerektirmez. Etik, psikolojik, kültürel veya sosyal faktörlere dayanan çeşitli niteliksel değerleri, hedefleri ve öncelikleri göz önüne alan yaklaşımlar, risk yönetiminin etkinliğini artırabilmektedir.



T.C. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE  
İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI



3





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

## 1 ÇALIŞMA METODOLOJİSİ

### 1.1 Yanlılık Düzeltmesi

Bölgesel iklim modelleri (RCM) küresel dolaşım modellerine (GCM) kıyasla daha yüksek çözünürlüğe sahip olduklarından dolayı özellikle Türkiye gibi karmaşık topografyaya sahip bölgelerde yağış ve sıcaklık alanını temsil etmede daha başarılıdırlar. Buna rağmen modeller kendi içlerindeki sistematik hatalardan kaynaklanan bir yanlılığa sahiptirler. Bundan dolayı iklim etki çalışmalarında kullanılmadan önce özellikle su kaynakları ile ilgili çalışmalarda kullanılacak model yağış verileri art işleme tabi tutulmalıdır (Christensen, Boberg, Christensen, & Lucas-Picher, 2008); (Maraun, ve diğerleri, 2010); (Gudmundsson L. , Bremnes, Haugen, & Engen-Skaugen, 2012)).

Bu art işlem, gözlem verilerinin (G) referans alınarak model çıktılarının (M) istatistik bir dönüşümden geçirilmesidir ve bu işleme “yanlılık düzeltmesi (Bias Correction-BC)” adı verilir. Yanlılık düzeltmesi yapılırken seçilen bir referans (kalibrasyon) dönemi için gözlem verilerinin istatistik özellikleri belirlenir ve bu özellikler kullanılarak model çıktılarındaki sistemik yanlılığın giderilmesi amaçlanır. Bu amaçla çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu çalışmada 1971-2000 dönemi referans dönemi olarak seçilmiştir ve kullanılan yöntemler Ortalama Değer (Mean Value-MV) Yanlılık Düzeltmesi ve Kantil Eşlemi (Quantile Mapping-QM) Yanlılık Düzeltmesidir.

#### 1.1.1 Ortalama Değer (MV) Yanlılık Düzeltmesi

Ortalama Değer Yanlılık Düzeltmesi efor gerektirmeyen, basit ve hızlı uygulanabilir bir yöntem olup, her değişkene uygulanabilir. Bu yöntemde her bir noktada gözlem ve modelin günlük veya aylık zaman serisi kullanılarak ortalama değerleri hesaplanır ve bunlara bağlı bir düzeltme faktörü elde edilir. Bu düzeltme faktörü daha sonra her bir zaman adımı için model değerleri ile çarpılarak düzeltilmiş yeni zaman serisi elde edilir. Yıllık değişimi yakalayabilmek için bu düzeltme faktörü her bir ay için ayrı olarak hesaplanır. Bu yöntem hızlı ve basit olmakla beraber eğer gözlem ve model olasılık dağılım fonksiyonları arasında çok büyük fark var ise uç değerlerde başarılı değildir (Ballı, 2014).

#### 1.1.2 Kantil Eşlemi Yanlılık Düzeltmesi

Kantil Eşlemi (QM) (veya histogram eşitlemesi) yanlılık düzeltmesi, model çıktılarının sıklık dağılımının istatistiksel bir dönüşüm fonksiyonu ile gözlem değerlerinin sıklık dağılımına eşitlenmesi yaklaşımıdır. Dağılımların bilinmesi durumunda dönüşüm fonksiyonu kantil-kantil eşleşmesi çözülerek bulunabilir. Bunun için birikimli dağılım fonksiyonlarının bilinmesi gereklidir. Bu fonksiyonlar farklı yaklaşımlarla belirlenebilir.





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

### 1.1.2.1 Dağılıma Dayalı Dönüşümler

Gözlem ve model verilerinin CDF'leri teorik dağılım fonksiyonları kullanılarak belirlenebilir. Bir rassal  $x$  değişkeni için Gamma dağılımının sıklık fonksiyonu şekil ve ölçek parametresi kullanılarak tanımlanır (Ballı, 2014).

### 1.1.2.2 Parametrik Dönüşümler

Kantil-kantil ilişkisi doğrudan parametrik dönüşümler kullanılarak da belirlenebilir. Dağılıma dayalı dönüşümler ve parametrik dönüşümler parametrik yöntemlerdir ve bir dezavantaj olarak düzeltme yapılan değişkenin karakteristiği ve ilgili parametrelerin bilinmesi durumunda kullanışlıdır.

### 1.1.2.3 Parametrik Olmayan Ampirik Kantiller Dönüşüm Yöntemi

(6) denklemi parametrik yöntemlere alternatif olarak gözlem ve model verilerinin ampirik birikimli dağılım fonksiyonları (eCDF) kullanılarak da çözülebilir. Bu yöntemde gözlem ve model verilerinin kantilleri hesaplanarak karşılıklı olarak eşleştirilir ve bu noktalar üzerinde bir regresyon eğrisi hesaplanır (bu çalışmada kantil aralıkları %0,01'dir). Bu çalışmada regresyon eğrisi trikübik şerit (spline) enterpolasyonu ile hesaplanmıştır. Model verileri hesaplanan bu fonksiyondan geçirilerek yanlılık düzeltmesi yapılmış olur. Bu yöntemin başlıca avantajı parametrik olmamasıdır ve istenilen her değişken için kullanılabilmesidir. Ön tanımlı bir fonksiyona ihtiyaç duymadığı için esnek olan bu yöntem oldukça uygun kantil-kantil ilişkilerine olanak sağlamaktadır. Bu yöntemde dikkat edilmesi gereken hususlardan biri eğer kalibrasyon periyodu için yeterince uzun bir zaman aralığı seçilmezse fazla uyum gözlenebilir (Gudmundsson L. , Bremnes, Haugen, & Engen-Skaugen, 2012).

Çalışma kapsamında, yanlılık analizleri için yukarıda verilen metodoloji kullanılmıştır. Buna göre, belirtilen düzeltme yöntemlerine göre yanlılık düzeltmesi ortalama sıcaklık, maksimum sıcaklık ve minimum sıcaklık, toplam yağış ve maksimum ve ortalama rüzgâr hızı verilerine tüm Türkiye ölçeğinde yapılmış olup, sonuçlar 1971-2000 Referans Dönemi ile 2021-2100 Projeksiyon Dönemleri için karşılaştırılmıştır.

Daha sonra düzeltilmiş parametrelerin standart sapma ve Hata Karelerinin Ortalamasının Karekökü (HKOK) analizleri yapılmıştır. Çalışmaların sonucunda, Türkiye için en uygun ve literatürde de benzer çalışmalar için en çok tercih edilen düzeltme yöntemi olan Kantil Eşlemi Trikübik olarak belirlenmiştir. Daha sonraki bölümlerde QM Trikübik yöntemine göre düzeltilen model sonuçları ile ekstrem iklim indisleri hesaplanmıştır.

Ortalama sıcaklık parametresinin düzeltilmesi için E-OBS veri seti kullanılmıştır. E-OBS, Avrupa Bölgesi'ni kapsayan, istasyon verilerine dayanan, yüksek mekânsal çözünürlüklü günlük gridlenmiş bir veri setidir. Bu veriler, birçok Avrupa Ulusal Meteoroloji Servisi ile Avrupa ve Ortadoğu'daki diğer veri sağlayıcıları tarafından sağlanmakta olup, 1950'den günümüze kadar olan dönemi kapsar ve sık sık güncellenmektedir (ECA&D). Günlük ortalama, maksimum ve minimum sıcaklık değerleri ve toplam yağış ile deniz seviyesi basıncını içeren bu veri setinin,





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

## Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

bu çalışma kapsamında sadece sıcaklık verileri kullanılmış olup, yapılan çalışmalarda Türkiye genelinde toplam yağış verisinin özellikle dağlık bölgeleri iyi temsil etmediği belirlenmiştir (Özcan & Önal, 2017).

Toplam yağış parametresinin düzeltilmesi için APHRODITE (Asian Precipitation - Highly-Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation, Asya Yağış - Değerlendirmeye Doğru Son Derece Çözölmüş Gözlemsel Veri İntegrasyonu) veri seti kullanılmıştır. APHRODITE, Himalayalar da dahil olmak üzere Asya, Orta doğu, Rusya, Japonya ve Akdeniz bölgelerini kapsayan, istasyon verilerine dayanan, yaklaşık 25 km mekânsal çözünürlüklü günlük gridlenmiş bir veri setidir. Akdeniz Bölgesi için 1951'den 2007'ye kadar günlük yağış verisi mevcuttur. Yapılan çalışmalarda toplam yağış verisinin Türkiye'yi gözlemlere göre iyi temsil ettiği belirlenmiştir (Özcan & Önal, 2017).

Maksimum rüzgâr parametresinin düzeltilmesi için ERA5-Land veri seti kullanılmıştır. ERA5-Land, ECMWF (Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri) ERA5 (eski ERA-Interim'in yeni versiyonu) verisinin arazi bileşenlerinin yeniden analiz edilerek, daha yüksek çözünürlükte üretilen reanaliz veri setidir. Küresel ölçekte veriye sahip ERA5-Land, yaklaşık 9 km mekânsal çözünürlüklü saatlik gridlenmiş bir veri setidir. 1981'den günümüze kadar saatlik verileri mevcuttur. Bu nedenle normalde referans dönemi 1971-2000 yılları arası çalışılırken, rüzgâr verisi için sadece 1981-2000 dönemi çalışılmıştır.

### 1.2 Ekstrem İklim İndisleri

IPCC'ye göre ekstrem (uç) noktalar, bir dağılımın en büyük veya en küçük değerlerinin %1 ila %10'u olarak tanımlanır (Trenberth, ve diğerleri, 2007). İstatistiksel olarak ise, aşırı uçlar (ekstremler), tipik olaylardan büyük ölçüde farklı olan düşük olasılıklı olaylar olarak kabul edilir. Aşırı olaylar çok farklı şekillerde tanımlanabilir. Tipik ekstrem iklim koşullarının tanımları, ya belirli bir zaman ölçeğindeki (mevsimlik ya da yıllık) maksimum değerleri ya da bir eşiğin aşılmasını dikkate alır. Örneğin, 35°C'nin üzerindeki sıcaklıklar, yazın çöller dışında çoğu yerde ekstrem olarak kabul edilir.

Araştırma yöntemleri, bilim insanlarının, belirli bir bölgede, belirli bir miktarın üzerindeki yağış veya belirli bir eşiğin üzerindeki sıcaklıklar gibi aşırı olayların, iklim değişikliğinin olmadığı bir dünyaya kıyasla daha fazla veya daha az olası hale gelip gelmediğini belirlemelerine olanak tanımak amacıyla ekstrem iklim indisleri kullanmaya yönlendirmektedir. Bu çalışmaların sonuçları, risk etkenlerinin erken tanımlanmasında ve dolayısıyla iklim değişikliğine uyum ve azaltım tedbirlerinin planlanmasında çok yardımcıdır. Bu tür bölgesel çalışmalar şimdiye kadar sıcak hava dalgaları, kuraklık, şiddetli yağış ve seller, soğuk hava dalgaları ve fırtınalar üzerinde yürütölmüştür; ancak, çalışmaların çoğunda aşırı sıcaklıklara bakılmıştır.

Araştırmalar, İngiltere'nin belirli bölgelerinde şiddetli sel olaylarının yaşanma olasılığının, iklim değişikliğinin olmadığı bir dünyaya kıyasla önemli ölçüde arttığını ortaya koymuştur. Bir bilimsel derginin hakemli araştırmalarında incelenen dünyanın farklı bölgelerindeki 131 aşırı olaydan %68'i, iklim değişikliğinin değişen aşma olasılıkları üzerindeki etkisini ortaya







Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

### Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

çıkarmıştır (Faust & Rauch, 2020). Bu nedenle, birçok aşırı olayın iklim değişikliğinden etkilendiği bilinmektedir.

Bu çalışmada, iklim kaynaklı afetler ve sektörlere yönelik tehlike analizlerinde kullanılması amacıyla sıcaklık, yağış ve rüzgâr parametreleri kullanılarak 48 adet ekstrem iklim indisi hesaplanmıştır. Elde edilen iklim indisleri ile bu indislerinin kullandığı meteorolojik parametreler ve indislerin eşik değerleri aşağıdaki tablo ile verilmiştir. İndisler günlük yağış ve sıcaklıkların fiziksel olarak belirlenen çeşitli eşik değerlerin üstünde veya altında kalmasına göre incelenmektedir. İklim indisleri, model çıktılarına yanlılık düzeltmesi uygulandıktan sonra hesaplanmıştır. Proje kapsamında ulusal ölçekte ekstrem hava olaylarını temsil etmesi için 5 indis seçilmiştir. İndislerin ülke genelinde projeksiyon dönemindeki 20 yıllık değişimleri, referans dönemindeki dağılımları ile birlikte ilerideki bölümlerde ortaya konmaktadır.

İyimser ve kötümser senaryolar olarak bilinen RCP4.5 ve RCP8.5 emisyon senaryoları için 2021-2100 projeksiyon periyodunda hesaplanan ekstrem iklim indislerinin değişimleri, 1971-2000 referans dönemine göre analiz edilmiş olup, sonuçları ulusal ölçekte irdelenmiştir. Çoklu-tehlike analizleri için afetlere göre seçilmiş olan indisler ise aşağıdaki bölümlerde açıklanmıştır.

**Tablo 1.1 Ekstrem İklim İndisleri**

| No | İndis   | İndis Adı                              | Tür      | Birim       | Açıklama          |
|----|---------|--|----------|-------------|-------------------|
| 1  | TX90P   | Sıcak Günler                           | Sıcaklık | %           | Tmax>90percentile |
| 2  | TN90P   | Sıcak Geceler                          | Sıcaklık | %           | Tmin>90percentile |
| 3  | TX10P   | Soğuk Günler                           | Sıcaklık | %           | Tmax<90percentile |
| 4  | TN10P   | Soğuk Geceler                          | Sıcaklık | %           | Tmin<90percentile |
| 5  | WC      | Rüzgâr Soğuşu İndisi                   | Sıcaklık | °C          | Soğuk Isırığı     |
| 6  | DTR     | Günlük Sıcaklık Aralığı                | Sıcaklık | °C          | Tmax-Tmin         |
| 7  | TXx     | Maksimum Sıcaklığın Yıllık Maksimumu   | Sıcaklık | °C          | Max(Tmax)         |
| 8  | TNx     | Minimum Sıcaklığın Yıllık Maksimumu    | Sıcaklık | °C          | Max(Tmin)         |
| 9  | TXn     | Maksimum Sıcaklığın Yıllık Minimumu    | Sıcaklık | °C          | Min(Tmax)         |
| 10 | TNn     | Minimum Sıcaklığın Yıllık Minimumu     | Sıcaklık | °C          | Min(Tmin)         |
| 11 | GDD     | Büyüme Derece Günler                   | Sıcaklık | Derece-gün  |                   |
| 12 | HDD     | Isıtma Derece Günler                   | Sıcaklık | Derece-gün  |                   |
| 13 | CDDcold | Soğutma Derece Günler                  | Sıcaklık | Derece-gün  |                   |
| 14 | ID      | Donlu Günler Sayısı                    | Sıcaklık | Gün         | Tmax<0°C          |
| 15 | FD      | Buzlu Günler Sayısı                    | Sıcaklık | Gün         | Tmin<0°C          |
| 16 | GSL     | Gelişme Sezonu Uzunluğu                | Sıcaklık | Gün         |                   |
| 17 | SU25    | Yaz Günleri                            | Sıcaklık | Gün         | Tmax>25°C         |
| 18 | SU35    | Yaz Günleri                            | Sıcaklık | Gün         | Tmax>35°C         |
| 19 | SU40    | Yaz Günleri                            | Sıcaklık | Gün         | Tmax>40°C         |
| 20 | TR      | Tropik Geceler                         | Sıcaklık | Gün         | Tmin>20°C         |
| 21 | CWI     | Soğuk Hava Dalgası İndisi              | Sıcaklık | Gün         |                   |
| 22 | CWN     | Soğuk Hava Dalga Sayısı                | Sıcaklık | Olay sayısı |                   |
| 23 | CWF     | Soğuk Hava Dalga Gün Sayısı            | Sıcaklık | Gün         |                   |
| 24 | CWDI    | Soğuk Hava Dalga Uzunluk İndisi        | Sıcaklık | Gün         |                   |
| 25 | CWM     | Soğuk Hava Dalgalar Ortalama Sıcaklığı | Sıcaklık | °C          |                   |
| 26 | CWA     | Soğuk Hava Dalgalarındaki En Soğuk Gün | Sıcaklık | °C          |                   |
| 27 | HWI     | Sıcak Hava Dalgası İndisi              | Sıcaklık | Gün         |                   |
| 28 | HWN     | Sıcak Hava Dalgası Sayısı              | Sıcaklık | Olay Sayısı |                   |
| 29 | HWF     | Sıcak Hava Dalgası Olan Gün Sayısı     | Sıcaklık | Gün         |                   |





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

### Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

|    |         |   |          |              |                   |
|----|---------|---|----------|--------------|-------------------|
| 30 | HWDI    | Sıcak Hava Dalgası Uzunluk İndisi                   | Sıcaklık | Gün          |                   |
| 31 | HWM     | Sıcak Hava Dalgaları Ortalama Sıcaklığı             | Sıcaklık | °C           |                   |
| 32 | HWA     | Sıcak Hava Dalgalarındaki En Sıcak Gün              | Sıcaklık | °C           |                   |
| 33 | HI      | Isı İndisi  | Sıcaklık | F            | Termal Konfor     |
| 34 | Humidex | Nem İndisi  | Sıcaklık | °C           | Termal Konfor     |
| 35 | Rx5day  | En Yüksek Beş Günlük Yağış Miktarı                  | Yağış    | mm           |                   |
| 36 | R90P    | Aşırı Yağışlı Günler                                | Yağış    | Gün          | R>90percentile    |
| 37 | R95P    | Aşırı Yağışlı Günler                                | Yağış    | Gün          | R>95percentile    |
| 38 | R99P    | Aşırı Yağışlı Günler                                | Yağış    | Gün          | R>99percentile    |
| 39 | R10mm   | Yağışlı Günler (R>10Mm/Gün)                         | Yağış    | Gün          | R>10mm            |
| 40 | R20mm   | Aşırı Yağışlı Günler (R>20Mm/Gün)                   | Yağış    | Gün          | R>20mm            |
| 41 | SDII    | Basit Günlük Şiddet İndisi                          | Yağış    | mm           | Ortalama (R>1mm)  |
| 42 | CWD     | Ardışık Islak Günler                                | Yağış    | Gün          |                   |
| 43 | CDD     | Ardışık Kuru Günler                                 | Yağış    | Gün          |                   |
| 44 | SPEI    | Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi | Kuraklık | birimsiz     |                   |
| 45 | SPI     | Standartlaştırılmış Yağış İndisi                    | Kuraklık | birimsiz     |                   |
| 46 | FWI     | Kanada Yangın Hava İndisi                           | Yangın   | birimsiz     |                   |
| 47 | W98     | Aşırı Rüzgârlı Günler                               | Rüzgâr   | Gün          | Wmax>98percentile |
| 48 | FWP     | Rüzgâr Gücüne Bağlı Aşırı Rüzgâr İndisi             | Rüzgâr   | std. anomali |                   |

## 1.2.1 Tehlike ve Afetler

### 1.2.1.1 Kuraklık

Kuraklık, toplam yağışın uzun yıllar ortalamasının ya da normalinin altına düşmesi sonucu oluşan su kıtlığıdır. Arazi ve su kaynaklarının olumsuz etkilenmesine ve hidrolojik dengenin bozulmasına sebep olan doğal bir olay olarak tanımlansa da iklim değişikliği etkisi ile şiddeti, sıklığı ve alansal yayılımı giderek artmaktadır.

Kuraklık, iyi yönetilemezse en maliyetli ve yıkıcı doğal afetlerden biridir (Wilhite, 2000). Bilinen diğer doğal tehlikelerden farklı olarak, yavaşça gelişen bir başlangıca sahiptir ve tek bir tanımı yoktur (Lloyd-Hughes, 2013) bu da kuraklık olayının başlangıcını veya sonunu tanımlamayı zorlaştırır (Hayes, ve diğerleri, 2004) (Wilhite, Svoboda, & Hayes, 2007).

Kuraklık ya meteorolojik kuraklık, tarımsal kuraklık ve hidrolojik kuraklık gibi fiziksel özellikleriyle (Wilhite & Glantz, 1985) ya da sosyoekonomik ve çevresel sistemler üzerindeki sonuçlarıyla, yani olumsuz etkileri (Blauhut, ve diğerleri, 2015) ile tanımlanır. Bu etkiler doğrudan (Ör: mahsul veriminin azalması) veya dolaylı (Ör: mahsul veriminin azalması nedeniyle artan gıda maliyetleri) olabilir ve çeşitli zamansal ve mekânsal ölçeklerde ortaya çıkabilir. Kuraklık dünya genelinde Afrika’dan Amerika’ya, Avrupa’dan Asya’ya kadar her yerde defalarca görülmüş olup, ekonomik ve toplumsal kayıplara neden olmuş ve kuraklıkla başa çıkma yeteneğimi iyileştirme çağrılarına yol açmıştır. Bu nedenle, gelecekte yaşanabilecek kuraklık tehlikelerini öngörebilmek, riski azaltmak ve uyum stratejileri geliştirmek için güvenilir çalışmalar yapmak oldukça kritiktir.

Kuraklık tarım, ormancılık, enerji sektörü ve su yönetimini etkileyen iklimle ilgili önemli bir tehlikedir. İklim bölgeleri ve sektörler arasında değişen kuraklığın (meteorolojik, hidrolojik ve tarımsal kuraklıklar dahil) farklı türleri vardır. Bu durum, kuraklığa bağlı çok çeşitli indislerin geliştirilmesine ve kullanılmasına yol açmıştır. Kuraklık indisleri, bahsedildiği gibi tarım,







Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

#### Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

ekosistem, su yönetimi, afet yönetimi, sağlık, enerji, turizm, sanayi gibi birçok sektör için kullanılmaktadır.

Kuraklık indisleri, sıcaklık ve yağış gibi iklim verilerini kullanılarak kuraklık tahmini yapabilmek için yararlı araçlardır. Meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklıkları karakterize etmek ve izlemek için çeşitli kuraklık indisleri geliştirilmiştir. Bu indisler arasında Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI), Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI) ve Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi (PDSI) gibi indisler son yıllarda kuraklığın değerlendirilmesi ve izlenmesi için yaygın olarak kullanılmaktadır. PDSI hem su arzı hem de talep göz önünde bulundurularak geliştirilmiş olsa da sabit zaman ölçeği nedeniyle çok çeşitli zamansal ölçeklerdeki kuraklıkları belirleme becerisine sahip değildir (Zhang, Wang, & Yu, 2017). SPI, kuraklık özelliklerini birden çok zaman ölçeğinde izlemek için geliştirilmiştir, ancak yalnızca yağışları dikkate aldığından ısınmanın neden olduğu kuraklık koşullarını yansıtmamaktadır (Yao ve diğerleri, 2018). SPEI, SPI ile karşılaştırıldığında gelişmiş bir kuraklık indisidir ve referans evapotranspirasyonu ile yağış parametrelerini kullanır. SPEI, küresel ısınmanın kuraklık şiddeti üzerindeki etkilerini incelemek için kullanışlıdır (Beguería, Vicente-Serrano, Reig, & Latorre, 2014). Ayrıca, SPEI meteorolojik kuraklığın izlenmesinde daha fazla avantaja sahiptir.

Çalışma kapsamında kurak dönemleri analiz edebilmek amacıyla, Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI) ve Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI) ve Ardışık Kurak Günler (CDD) indisleri hesaplanmıştır. Yağış parametresi su mevcudiyetinin önemli bir göstergesi olsa da suyun buharlaşma miktarını kontrol ettiği için sıcaklık parametresi de suyun mevcudiyetini etkileyebilecek önemli bir faktördür. Bu nedenle, indis tabanlı çoklu tehlike analizleri için en yaygın kullanılan 3 Aylık Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI3) seçilmiştir (EEA, 2021).

- **Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI)**

Sıcaklık değişimine bağlı buharlaşma değerlerindeki değişiklikleri göz önünde bulundurur (Vicente-Serrano, Beguería, & López-Moreno, 2010). Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI), yağış (P) ve potansiyel evapotranspirasyon (PET) farkı hesabına dayanan bir kuraklık indisidir. Farklı zaman ölçeklerinde hesaplanabilen bu fark temel olarak iklimsel su dengesini ifade etmektedir. PET değerleri Thornthwaite yöntemi kullanılarak hesaplanmaktadır (Thornthwaite, 1948). Farklar hesaplandıktan sonra elde edilen değerlerin log-logistic dağılımının olasılık dağılım fonksiyonuna (PDF) uydurulması gerekmektedir. Nihai SPEI değerleri standartlaştırılmış olup, ortalaması 0, standart sapması 1'dir. Bu nedenle kuraklık ve nemlilik derecesine göre kategorize edilebilir (Tablo 1.2).





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

**Tablo 1.2 SPEI Kuraklık Sınıfı Değer Aralıkları**

| SPEI                    | Kuraklık Sınıfı |
|-------------------------|-----------------|
| $SPEI \geq 2,0$         | Aşırı nemli     |
| $1,5 \leq SPEI < 2,0$   | Çok nemli       |
| $1,0 \leq SPEI < 1,5$   | Orta nemli      |
| $-1,0 < SPEI < 1,0$     | Normal          |
| $-1,5 < SPEI \leq -1,0$ | Orta kurak      |
| $-2,0 < SPEI \leq -1,5$ | Şiddetli kurak  |
| $SPEI \leq -2,0$        | Aşırı kurak     |

SPEI hesabı için kullanılan verilerin eksiksiz olması gerekir, aksi takdirde SPEI hesabı yapılamaz. Bununla birlikte ne kadar uzun bir zaman serisi var ise, o kadar güvenilir sonuçlar üretilir (WMO, 2016). Proje kapsamında SPEI 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçekleri için çalışılmıştır. Burada, SPEI3 meteorolojik kuraklığı, SPEI6 tarımsal kuraklığı ve SPEI12 ise hidrolojik kuraklığı temsil etmektedir. SPEI analizi için referans dönemi 1971-2000 olarak belirlenmiştir. Gelecek dönem ise 2021-2100 periyodunda 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 olarak çalışılmaktadır.

Daha önce de açıklandığı gibi, verilen tüm zaman serisini kullanarak indis hesabı yapıldığı için, gelecek dönem analizleri, bir önceki dönemin sonuçlarını etkilemektedir (Çamalan, ve diğerleri, 2017). Bu nedenle, 4 dönemde incelenmiş olan gelecek dönem çalışmaları için, 2021-2040 dönemi 1971-2040 periyodu olarak, 2041-2060 dönemi 1971-2060 periyodu olarak, 2061-2080 dönemi 1971-2080 periyodu olarak ve 2081-2100 dönemi ise 1971-2100 dönemi olarak ayrı ayrı çalıştırılmıştır.

SPEI şiddet değerleri tüm dönemlere göre elde edildikten sonra, çalışma kapsamında aynı zamanda kuraklık frekansı, kuraklık eğilimi ve en uzun kurak dönem yoğunluğuna bakılmıştır. Sonuçları Türkiye bazında değerlendirilmiştir. Çoklu tehlike analizlerinde ise, kuraklık tehlikesini temsilen SPEI3 meteorolojik kuraklık sonuçları kullanılmıştır.

### 1.2.1.2 Şiddetli Yağış

Yapılan çalışmalar, iklim değişikliği ile küresel ısınmanın devam edeceğini ortaya koymaktadır. Clausius-Clapeyron denklemine göre, ısınan havanın atmosferde daha fazla su buharı hapsedtiği ve her 1°C’lik sıcaklık artışı için, atmosferin su buharı kapasitesinin %7 arttığı bilinmektedir. Bu nedenle, nem oranı yüksek bir atmosferin daha yoğun ve şiddetli yağışlar üretmesi beklenen bir durumdur.

Şiddetli yağışların sıklaşması, her zaman mevsimlik veya yıllık toplam yağışların artışına yol açmayabilir. Ancak, sel afetine neden olmaktadır. Geçirimsiz kaldırımlar, gelen şiddetli yağışın hızlı bir şekilde kanalizasyon sistemine geçişini zorlaştırmakta ve özellikle kentsel alanlarda bu sel risk artırmaktadır. Şiddetli yağışlar aynı zamanda heyelan riskini de arttırmaktadır. Normalin üzerindeki yağışlar zemini doyurduğunda, eğimli arazilerde toprak kaymasına neden





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

olabilir. Aşırı yağışlar, ayrıca su kalitesini bozarak insan sağlığına ve ekosistemlere zarar verebilir. Genellikle ağır metaller, pestisitler, nitrojen ve fosfor gibi kirleticileri içeren yağmur suyu akışı göllerde ve akarsularda son bularak, su ekosistemlerine zarar verebilir ve insanların kullanımı için su kalitesini düşürebilir. Bu nedenle, şiddetli yağış olaylarının sıklığı ve büyüklüğündeki değişiklikler, tarım, endüstri ve ekosistem hizmetleri, ulaşım ve afet riski yönetimi de dahil olmak üzere toplum üzerinde önemli etkilere neden olmaktadır (EEA, 2020).

Şiddetli yağışların geçmiş eğilimlerinin ve gelecekteki tahminlerinin değerlendirilmesi, iklim değişikliğinin azaltılması ve uyum sağlamaya yönelik alınan politika kararlarına tavsiyelerde bulunmak için gereklidir. Şiddetli yağışlar nedeniyle meydana gelen sel ve heyelan afetleri, sadece iklim kaynaklı afetler olmayıp, nüfus yoğunluğu, taşkın yatağı gelişimi ve arazi kullanım değişiklikleri gibi dış faktörlerden de etkilenir. Bu nedenle, bu riskleri çalışabilmek için, gelecek dönemler için yapılan öngörülerin hem iklimsel hem de iklimsel olmayan durumlardaki değişiklikleri dikkate alması gerekir.

Yağış indisleri, yıllık ve mevsimsel toplam yağıştaki değişimleri ve uç noktaları belirler. Toplam yıllık ve mevsimsel yağış değişimleri genellikle bölgesel iklim değişikliği değerlendirmelerinde ve çeşitli sektörel uygulamalarda kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında aşırı yağışları tanımlamak için 90. 95. ve 99. persantilin üzerindeki aşırı yağışlı günler, 10 mm ve 20 mm üzerindeki yağışlı günler, maksimum beş günlük yağış, basit günlük yağış şiddeti indisi, ardışık ıslak günler gibi indisler hesaplanmıştır. Türkiye’nin topoğrafya yapısı göz önüne alındığında eşik değerli indis yaklaşımının kullanılması Türkiye’deki şiddetli yağış tehlikesini temsil etmesi için daha doğru bir yaklaşım sergilemektedir. Grid yapıları iklim projeksiyonlarından şiddetli yağışı temsil etmek üzere noktasal bazlı elde edilen eşik değerlerini geçen yağış miktarlarının toplamı ile yağışın şiddeti ölçülmektedir. Gün sayısı kullanımı ile yalnızca şiddetli yağışın frekansı ölçülebildiği için çoklu tehlike analizlerinde kullanılmak üzere şiddetli yağışın yağış miktarı tercih edilmiştir. Şiddetli yağış tehlikesini temsilen 95. persantilden büyük aşırı yağışlı günler sayısı indisine göre hesaplanan sonuçlar kullanılmıştır.

- **Aşırı Yağışlı Günler (R95P)**

R95P, referans dönemindeki ıslak günlerin %95’lik diliminden fazla yağış alan şiddetli yağışlı günlerin yüzdesini temsil etmektedir. Referans döneminin ıslak günlerinin (yağış  $\geq 1$  mm) yüzde 95’lik eşik değerleri her grid noktası için hesaplanmıştır. Haritalarda referans dönemi için hesaplanan 95. persantil değerleri, P95 (mm) ile verilmektedir. Referans döneminden elde edilen eşik değerleri kullanılarak R95P (%) aşırı yağışlı günler indisi her iki senaryo (RCP4.5 ve RCP8.5) için hesaplanmıştır.

### 1.2.1.3 Sıcak Hava Dalgası

Ortalama sıcaklıkların arttığı daha sıcak bir iklimde, sıcak hava dalgalarının sadece sıklığı değil, aynı zamanda süre ve yoğunluklarının da artması muhtemeldir (Russo, ve diğerleri, 2014). Dünya genelinde, son yıllarda aşırı sıcakların özellikle çok sıcak gecelerin sayısında ciddi bir





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

#### Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

artış olmuş, sıcak günler daha sık ve daha da sıcak olmaya başlamıştır. 1950’lerden bu yana, sıcak hava dalgalarının sayısı giderek artmış ve daha uzun sürelerde yaşanmaya başlamıştır.

Doğal iklim değişikliği nedenleri, tek başına sıcaklık artışını açıklayamamaktadır. Ancak bilim, insan kaynaklı etkilerin donlu günlerin sayısı, büyüme derece günlerin uzunluğu, bir yıldaki sıcak gecelerin sayısı, yılın en sıcak gecesi, en soğuk gece ve günlerdeki sıcaklık artışı, yıl boyunca normalin üzerinde sıcak günler ve sıcak hava dalgaları gibi değişimlere neden olduğunu bize söylemektedir. Ortalama sıcaklıkların artışı, iklim değişikliğinin doğrudan bir sonucudur ve insan etkisinin dünyanın hemen hemen her yerinde değişimlere neden olduğu ve ısınma eğilimini iki kattan fazla arttırdığı tahmin edilmektedir (Christidis, Stott, Zwiers, Shiogama, & Nozawa, 2009).

Aşırı sıcaklık, diğer afet türlerinin riskini artırabilir. Sıcaklık artışı, kuraklığı şiddetlendirebilir ve sıcak kuru koşullar da orman yangını koşulları yaratabilir. Şehirler, binalar, yollar ve altyapı gibi yapay yüzeyler ısınma etkisini arttırırken, doğall yüzeyler hava sıcaklıklarına daha yakın kalır. Isı adası etkisi en çok gün içinde şiddetlidir, ancak ısının bir gecede altyapıdan yavaşça salınması şehirleri çevredeki alanlardan çok daha sıcak tutabilir. Ülke genelinde yükselen sıcaklıklar, insanlar, ekosistemler ve ekonomi için tehdit oluşturmaktadır.

Sıcaklık indisleri, ortalama, yıllık veya mevsimsel sıcaklıktaki değişimleri ve uç noktaları belirler. Sıcaklık parametresi ile hesaplanan indisler genel amaçlı ya da tarım, enerji, sağlık, turizm, ekosistem, afet, inşaat ve ulaşım gibi birçok sektör ve faaliyet için kullanılabilir. Uç değerler, yani aşırı sıcaklıkların eşik değerleri bölgelere ve iklim zonlarına göre farklılıklar gösterir. Ekstrem tehlike indisleri aşırı koşulların sıklığına, süresine veya büyüklüğüne bağlıdır. Sıcak hava indislerinin çoğu günlük ortalama, maksimum ve minimum sıcaklığa bağlıdır.

Çalışma kapsamında aşırı sıcakların değişimini tanımlamak için sıcak hava dalga indisleri, yaz günleri sıcaklığının 25°C, 35°C ve 40°C’nin üzerinde olduğu günleri temsil eden indisler, tropik geceler gibi indisler hesaplanmıştır. Çoklu tehlike analizlerinde ise, sıcak hava dalgası tehlikesini temsilen Türkiye’nin topoğrafyasındaki değişkenliğe bağlı olarak noktasal eşik değerlerinin belirlenmesiyle elde edilen Sıcak Hava Dalgası İndisinin 90. persantil eşik değerlerine göre hesaplanan sonuçları kullanılmıştır.

- **Sıcak Hava Dalgası İndisi (HWI)**

HWI indisi, referans döneminin günlük maksimum sıcaklıklardan elde edilen eşik değerleri ardışık üç gün boyunca geçen gün sayılarından hesaplanmaktadır (Peterson, ve diğerleri, 2001). HWI90P indisi başka bir deyişle sıcak hava dalgası uzunluğunu göstermektedir. Çalışma kapsamında referans dönemine ait günlük maksimum sıcaklıkların her grid noktası için 90. persantil değerleri hesaplanmış olup, HWI indisinin eşik değerleri olarak kullanılmıştır. Burada, referans dönemi maksimum sıcaklıkları küçükten büyüğe sıralandığında % 90’ıncı değere tekabül eden sıcaklık, 90. persantil değer olarak adlandırılmaktadır.





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

#### 1.2.1.4 Orman Yangını

İklim değişikliği, yapılan araştırmalara göre gelecekte yangın havası, yangın davranışı ve karbon emisyonlarındaki değişiklikler yoluyla gerçekleşecek olan, yangın rejimlerinin değişmesine neden olacaktır. Sıcaklıkların artışı ile atmosferdeki mevcut nem seviyesi düşerken, yer yüzeyinin daha da kuru hale gelmesi de hava kaynaklı orman yangınları tehlikesini arttırmaya beklenmektedir. Bu durum, orman yangınlarının ekosistem işleyişi ve biyolojik çeşitlilik üzerindeki yıkıcı etkilerinin artmasını önlemek için uyum stratejilerine ihtiyaç daha fazla duyulduğu anlamına gelmektedir (Varela, ve diğerleri, 2019).

Son yıllarda dünyanın birçok yerinde aşırı yangınlarda artış görülmektedir. “Megayangın” olarak adlandırılan aşırı yangın olayları küresel ölçekte sıklaşmakta ve Avustralya, Kanada, Kaliforniya, Yunanistan, Portekiz ile diğer bölgelerde de meydana gelen son yangınlar da bu gerçeği doğrulamaktadır. İklim değişikliği, Ortak Araştırma Merkezi (Joint Research Center, JRC)’nin son araştırmalarına göre, Akdeniz Bölgesi’nde tehlikenin giderek yükseldiği ve en yüksek olduğu ülkeler İspanya, Portekiz, Türkiye, Yunanistan, İtalya’nın orta ve güney kesimlerindeki bazı bölgeler, Fransa’nın güneyi ile Balkanlar’ın kıyı bölgeleri olduğu belirtilmiştir (de Rigo, Libertà, Houston Durrant, Artés Vivancos, & San-Miguel-Ayanz, 2017). Çalışma kapsamında kullanılmak üzere literatürde ve uygulamada oldukça yaygın olan ve, sıcaklık, nem, yağış ve rüzgâr hakkındaki bilgileri birleştiren Kanada Yangın Hava İndisi (FWI) seçilmiştir.

- **Kanada Yangın Hava İndisi (FWI)**

Akdeniz tipi ekosistemlerde yangın oluşumu ve davranışı, özellikle yaz döneminde, hava sıcaklığına ve rüzgâr koşullarına, yakıt yükü miktarına ve özellikle yanıcılığı büyük ölçüde arttıran kuraklık koşullarına özellikle bağlıdır. Bu ekosistemler için iklim değişikliği kaynaklı yangın tehlikesini incelemek için meteorolojik temelli Yangın Hava Durumu İndisi (FWI) kullanılmaktadır. 1971 yılında Kanada Orman Yangını Derecelendirme Sistemi (CFFDRS) kapsamında geliştirilen FWI, meteorolojik yangın tehlike haritalaması için en güvenilir ve önemli göstergelerden biri olarak dünya çapında onaylanmış ve kabul edilmiştir. Yangın potansiyeli hakkında bilgi veren birimsiz bir indistir. Çeşitli bileşenlerden oluşan indis nemliliğin ve atmosferik zorlamanın yangın davranışı üzerinde nasıl bir etkiye sahip olabileceğini değerlendirmek amacıyla kullanılmaktadır. İndis bileşenleri hesabında kullanılan atmosferik değişkenler günlük en yüksek sıcaklık, günlük en düşük bağıl nem, ortalama rüzgâr hızı ve 24-saat toplam yağış miktarıdır. FWI, yangın tehlikesinin eşiği aştığı günler yani, yakıt nemini ve yangın davranışını etkileyen hava koşullarına bağlı olarak tehlikeli koşulların sıklığını değerlendiren bir indistir. FWI indisinin şematik hesaplama yöntemi Şekil 1.1 ile verilmiştir.

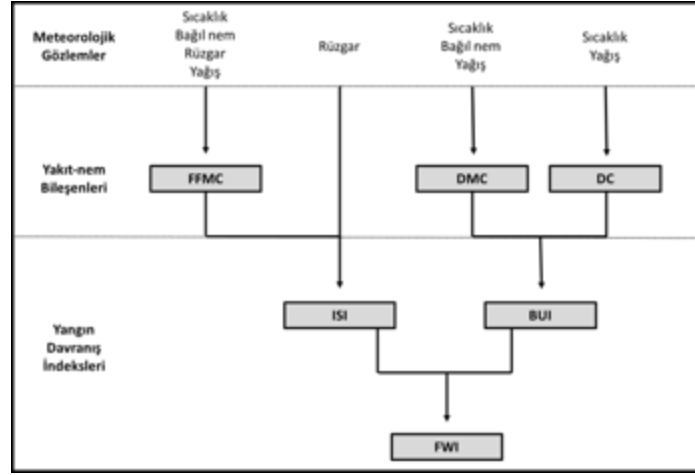






Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

### Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi



Şekil 1.1 FWI Hesap Yöntemi Şematik Gösterimi (Van Wagner, 1987)

Şekilde gösterilen indis bileşenlerinin tanımları şu şekildedir:

- **FFMC (Fine Fuel Moisture Code):** Toprak üzerindeki yanıcı ve tutuşucu maddelerin nem içeriği hakkında bilgi sağlayan bileşendir.
- **DMC (Duff Moisture Code):** Yüzey altında orta derinlikte birikmiş organik maddelerin nem içeriği hakkında bilgi sağlayan bileşendir.
- **DC (Drought Code):** Sezonluk kuraklık etkisini temsil eden derin seviyedeki organik maddelerin nem içeriği hakkında bilgi sağlayan bileşendir.
- **ISI (Initial Spread Index):** Rüzgâr hızı ve FFMC bileşenine bağlı olan ve yangının beklenen yayılma hızını temsil eden bileşendir.
- **BUI (Buildup Index):** DMC ve DC bileşenlerine bağlı olan ve yanma için mevcut toplam yakıt miktarını temsil eden bileşendir.

FWI değerlerine göre yangın risk dereceleri Tablo 1.3 ile verildiği gibi altı kategoride incelenmektedir. Yüksek FWI değerleri daha yüksek yangın riskini işaret etmektedir.

Tablo 1.3 FWI Yangın Risk Sınıfı Değer Aralıkları

| FWI               | Yangın Risk Sınıfı  |
|-------------------|---------------------|
| FWI < 5,2         | Çok düşük riskli    |
| 5,2 ≤ FWI < 11,2  | Düşük riskli        |
| 11,2 ≤ FWI < 21,3 | Orta riskli         |
| 21,3 ≤ FWI < 38,0 | Yüksek riskli       |
| 38,0 ≤ FWI ≤ 50,0 | Çok yüksek riskli   |
| FWI ≥ 50          | Aşırı yüksek riskli |

FWI ile, gelecek dönemde RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre yangın tehlikesinin gelişimi ve yakın gelecekte Türkiye üzerinde yangın rejiminde beklenen değişikliklerin öngörüsü yapılmış olup, yangın tehlikesinin meydana gelme sıklığı ve yoğunluk analizleri yapılmıştır.





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

### 1.2.1.5 Soğuk Hava Dalgası

Soğuk hava dalgası, havanın belirgin şekilde soğuması veya çok soğuk havanın geniş bir alana yayılmasıyla ayırt edilen bir hava olayıdır. Soğuk hava dalgaları, aşırı rüzgâr soğuşuna neden olabilir. Daha da soğuk havaya yol açan şiddetli rüzgarların eşlik ettiği, aşırı soğuk havanın uzun süreli olduğu bir dönem de olabilir.

Bir bölgede ortalamaların çok üzerinde olan bir sıcaklık düşüşüyle meydana gelebilecek soğuk hava dalgaları ve don ile insan sağlığı, ekosistem, tarım, enerji, inşaat ve ulaşım da dahil olmak üzere birçok sektörün etkilenmesi mümkündür. Yapılan küresel bir çalışmaya göre, aşırı sıcaklık olduğu kadar, aşırı soğuk olaylar için de ayrı uyum stratejileri geliştirilmelidir (EEA, Extreme temperatures and health, 2016).

Soğuk hava dalgaları indislerinin eşik değerleri aşırı sıcaklık indislerinde de olduğu gibi, iklim zonlarına ve bölgelere göre farklılıklar gösterir. Çalışma kapsamında aşırı soğukların değişimini tanımlamak için soğuk hava dalga indisleri, donlu günler ve geceler için indisler hesaplanmıştır. Çoklu tehlike analizlerinde ise, soğuk hava dalgası tehlikesini temsilen Türkiye'nin topoğrafyasındaki değişkenliğe bağlı olarak noktasal eşik değerlerinin belirlenmesiyle elde edilen soğuk hava dalgası tehlikesini temsilen Soğuk Hava Dalgası İndisinin 10. persantil eşik değerlerine göre hesaplanan sonuçları kullanılmıştır.

- **Soğuk Hava Dalgası İndisi (CWI)**

CWI indisi, referans dönemindeki günlük minimum sıcaklıklardan elde edilen eşik değerlerin ardışık üç gün boyunca altında kalan gün sayılarından soğuk hava dalgası uzunluğu olarak hesaplanmıştır (Lavaysse, ve diğerleri, 2018). Çalışma kapsamında ise referans dönemi günlük minimum sıcaklıklarının her grid noktası için 10. persantil değeri CWI10P indisinin eşik değerleri olarak kullanılmıştır. Referans dönemi günlük minimum sıcaklıkları küçükten büyüğe sıralandığında % 10'uncu değere tekabül eden sıcaklık, 10. persantil değeri olarak adlandırılmaktadır.

### 1.2.1.6 Şiddetli Rüzgâr

Şiddetli rüzgârlar ve fırtınalar, güçlü ve sürekli rüzgarla tanımlanan atmosferik düzensizliktir. Şiddetli rüzgarlar, küçük ve lokal olaylardan, bir kıtanın önemli bir bölümünü kapsayacak kadar büyük olaylara kadar gelişim gösterebilir.

Şiddetli rüzgârlar, ani oluşan rüzgarlar ve beraberinde meydana gelen şiddetli yağışlar ile, yapısal hasara, su baskınlarına ve fırtına dalgalarına yol açabilir. Bu olayların insan sağlığı ve ekosistem gibi hassas sistemlerin yanı sıra ulaşım ve enerji altyapıları üzerinde büyük etkileri olabilir. Munich RE'nin doğal afet kayıp veri tabanına (NatCatSERVICE) göre, 1980 ve 2013 yılları arasında Avrupa'da fırtınalar sigortalı kayıplar açısından en maliyetli doğal afet olmuş, can kaybı bakımından ise dördüncü sırada yer almıştır (EEA, Wind storms, 2017).

Ortalama rüzgâr hızı ve değişimleri hakkında bilgi özellikle enerji sektörü için önemlidir. Şiddetli fırtınalar ormancılık, altyapı, binalar, enerji ve ulaşım gibi çok çeşitli sektörler ve





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

### Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

faaliyetler için önemli bir tehlikedir. Ancak, bu tehlike için veri kullanılabilirliği sınırlıdır ve farklı veri kaynakları (Ör: gözlemler ve reanaliz) arasında önemli tutarsızlıklar vardır.

Çalışma kapsamında Türkiye’nin topoğrafyasındaki değişkenlik nedeniyle noktasal olarak elde edilen 98. persantil eşik değeri üzerindeki aşırı rüzgârlı günlerin sayısı hesaplanmıştır. Bu indis günlük maksimum rüzgâr hızına bağlıdır.

- **Aşırı Rüzgârlı Günler (W98)**

W98 indisi, referans dönemindeki günlük maksimum rüzgârı şiddetinin her grid noktası için 98.Persantil değerini aşan günlerin sayısını hesaplamaktadır (EEA, Wind storms, 2017). Referans dönemi günlük maksimum rüzgâr şiddetlerinin küçükten büyüğe sıralandığında %98’inci değere tekabül eden rüzgâr şiddeti, 98. persantil değeri olarak adlandırılmaktadır.

### 1.3 Çoklu Tehlike Analizleri

Tehlike, can kaybına, yaralanmaya veya diğer sağlık etkilerinin yanı sıra mülk, altyapı, geçim kaynakları, hizmet sunumu, ekosistemler ve çevresel kaynaklarda hasar ve kayıplara neden olabilecek doğal veya insan kaynaklı fiziksel bir olay veya eğilim veya fiziksel etkinin olası oluşumu olarak tanımlanır. İklim değişikliği, iklimle ilgili birçok tehlikenin oluşumunu ve özelliklerini etkilemektedir. Bu tehlikeler genellikle, ortalama koşullarda kademeli ve uzun vadeli değişikliklere (ortalama sıcaklıktaki artış gibi) ve kısa zaman ölçeklerinde meydana gelen aşırı olaylardaki (Ör: aşırı yağış ve şiddetli rüzgarlara) ani tehlikelere atıfta bulunan kronik tehlikeler olarak sınıflandırılır. İklim ile ilgili ani tehlikeler, süreleri, büyüklükleri ve ciddiyetleriyle karakterize edilebilir (WMO, 2018). Bu nedenle, belirli bir tehlikenin ilgili özelliklerini kapsamak için farklı indeksler gerekli olabilmektedir.

Aynı alanda birden fazla tehlike için riskin nasıl analiz edileceği ve bunların etkileşim şekilleri tehlike risk değerlendirmesindeki en zor konulardan biridir. Şekil 1.2 ile farklı tetikleme faktörlerinin bir dizi farklı tehlikeye neden olması durumu şematik olarak gösterilmektedir. Tehlikeli olayların ortaya çıkmasında çevresel ortamların veya antropojenik faaliyetlerle ilgili birçok faktörün büyük etkisi vardır. Bu faktörler tehlikeli olayların oluşumuna katkıda bulunsalar da olayları doğrudan tetiklemezler. Bu nedenle, meteorolojik veya jeofiziksel kökenli (depremler veya volkanik patlamalar) tetikleyici olaylara ihtiyaç vardır.

Genel kabul görmüş çoklu tehlike tanımı hala mevcut değildir. Uygulamada, bu terim genellikle belirli bir alanda mevcut olan tüm ilgili tehlikeleri belirtmek için kullanılırken, bilimsel bağlamda sıklıkla "birden fazla tehlike" anlamına gelir. Aynı şekilde, tehlikeler arasındaki ilişkileri belirtmek için kullanılan terminoloji de belirsizdir. Tekil süreçlerle karşılaştırıldığında, tehlikeler arasındaki etkileşimin karmaşık doğası ve bunları ölçmenin zorluğundan dolayı çoklu tehlike risk değerlendirmesine yönelik standart yaklaşımlar ve metodolojik çerçeveler literatürde daha az yaygındır.

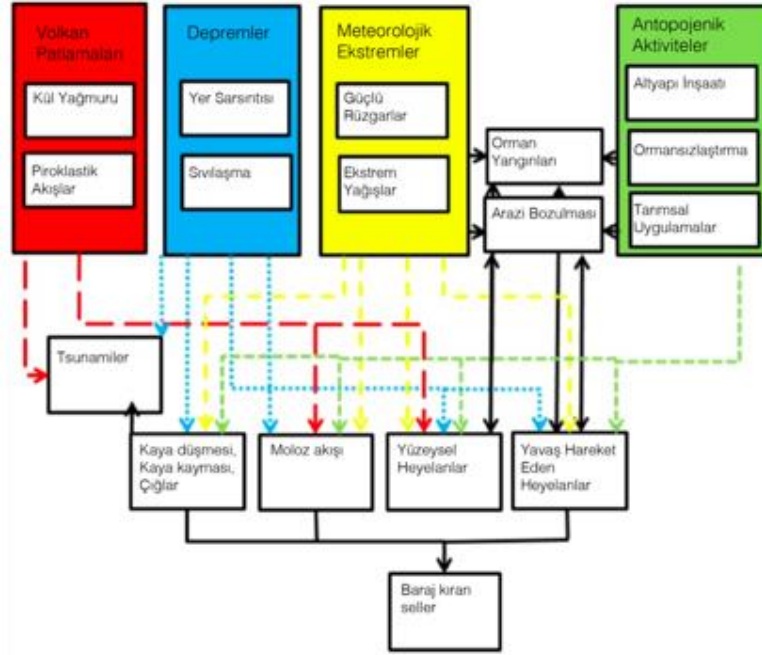






Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

### Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi



**Şekil 1.2 Farklı Tetikleyici Faktörlerin Neden Olduğu Tekil ve Çoklu Tehlikeler Arasındaki Karmaşık İlişkilerin Gösterimi (Jetten, Alkema, van Westen, & Brussel, 2014)**

#### 1.3.1 Bağımsız Olaylar

En basit yaklaşım, tehlikelerin bağımsız olduğunu ve farklı tetikleyicilerden kaynaklandığını düşünmektir. Durum böyleyse, farklı tehlike türleri için ortalama yıllık kayıplar toplanarak risk hesaplanabilir. Örneğin deprem ve sel tehlikeleri için bu durum geçerlidir. Bu iki tehlike doğrudan etkileşime girmeyen farklı tetikleme mekanizmalarına sahiptirler. Bu nedenle deprem tehlikesi sel tehlikesinden bağımsızdır ve ayrı olarak analiz edilebilir. Ayrıca risk ayrı ayrı analiz edilerek ortaya çıkan kayıplar da toplanabilir. Diğer bağımsız tehlikelere örnek olarak teknolojik tehlikeler ve sel tehlikeleri gösterilebilir. Çoklu tehlike risk değerlendirmesi için mevcut yazılım araçlarının çoğu, bu tehlikelerle bağımsız olarak ilgilenir ve kayıpları toplar. Ancak detaylı olarak incelediğinde, tehlikeler arasındaki ilişkilerin daha karmaşık olduğu açıktır. Örneğin bir deprem, bir nehirde taşkına sebep olarak, heyelan olayını tetikleyebilir. Bu nedenle, deprem ve sel riskinin tamamen bağımsız olduğunu kabul etmek mümkün değildir. Sel baskını ve teknolojik tehlikeler de tamamen bağımsız olarak düşünülemez. Örneğin sel baskınlarının düşük seviyelerinde trafik sorunsuz devam edebilirken, yüksek seviyelerinde kaza riski artacaktır.

#### 1.3.2 Birleşik Olaylar

İkinci çoklu tehlike ilişkisi, aynı olay tarafından tetiklenen farklı tehlike türleri arasında görülmektedir. Bunlar, birleşik olaylar olarak adlandırılmaktadırlar (Marzocchi ve diğerleri, 2009). Bu tür bağlantılı olayların zamansal meydana gelme olasılığı, tetikleme mekanizmasının meydana gelme olasılığı ile aynıdır. Bu tür bağlantılı olaylar aynı alanda meydana geldiğinde ve tehlike ayak izleri örtüştüğünde, süreçlerin etkileşime gireceği göz önünde





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

### Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

bulundurulmalıdır. Dolayısıyla, tehlikelerin mekânsal boyutunu analiz etmek için yapılan modelleme çalışmalarının eş zamanlı olarak gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Tehlike analizleri ayrı ayrı yapıldığında, modellenen senaryoların sonuçları basitçe toplanmamalıdır. Bunun nedeni, birleşik tehlikelerin şiddetinin her ikisinin toplamından daha yüksek olabilmesi veya aynı alanların her iki tehlike türünden de etkilenebilir olmasıyla açıklanabilir. Buna ek olarak, basit bir toplama işlemi kayıpların fazla gösterilmesine veya iki kez sayılmasına neden olabilmektedir. Çoklu tehlike risk değerlendirmesinde, birleşik riski analiz etmenin en iyi yolu, birleştirilmiş risklerin maksimumunu almaktır.

#### 1.3.3 Karşılıklı Olaylar

Üçüncü ilişki, bir tehlikenin, diğer bir tehlikenin etkisi üzerinde, onu tetikleme de yaptığı etkidir (Kappes ve diğerleri, 2010). Buna örnek olarak yangın ve sel arasındaki ilişki gösterilebilir (Cannon & De Graff, 2009). Orman yangınları, bitki örtüsü ve toprak özellikleri üzerindeki etkileri nedeniyle ani sellere duyarlılığı değiştirir. Bu sorun, belirli alanları tehlikelere daha duyarlı hale getiren koşulların sürekli değişebileceğini vurgulamaktadır. Örneğin, arazi örtüsü ve arazi kullanımı sel ve toprak kaymaları gibi hidro-meteorolojik tehlikeler üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Diğer tehlikelerin (orman yangınları gibi) bir sonucu olarak arazi değiştiğinde, toprak kaymalarına veya sellere karşı duyarlılık da artacaktır. Tehlike ilişkilerinin çoğu bu türdür. Belirli bir tehlike, araziyi ikinci tehlikeye daha duyarlı hale getiren koşulları değiştirmeden önce bu tür bir ilişkiyi hesaba katmak çok zordur. Yapılması gereken, büyük bir tehlike olayının (sel, kasırga gibi) meydana gelmesinden sonra her seferinde çoklu tehlike risk değerlendirmesini güncellemektir.

#### 1.3.4 Domino veya Basamaklı Tehlikeler

Üçüncü tür tehlike ilişkileri zincirleme olarak meydana gelen olaylardan oluşur. Bir başka deyişle bir tehlike diğerine neden olur. Bunlara ayrıca domino etkileri, birbirine bağlı veya basamaklı tehlikeler de denir. Bunlar, çoklu tehlike risk değerlendirmesinde analiz edilecek en sorunlu türlerdir. Tehlike, bir tehlikenin diğerini tetikleyebileceği sırayla meydana gelebilir. Bu tehlike zincirlerinin veya domino etkilerinin belirli alanlarda ölçülmesi son derece zordur, ancak yerel düzeyde iyi sonuçlar elde edilmiştir (Peila ve Guardini, 2008). Bu tür tehlike zincirlerini analiz etmek için en iyi yaklaşım, olay ağacı analizlerini kullanmaktır. Bir olay ağacı, analiz edilen sistemi etkileyen parametrelerin tüm kombinasyonlarını (ve ilişkili oluşma olasılığını) analiz etmek için uygulanan bir sistemdir. Analiz edilen tüm olaylar, düğümler aracılığıyla birbirine bağlanır, sistemin tüm olası durumları her düğümde dikkate alınır ve her durum (olay ağacının dalı) tanımlanmış bir meydana gelme olasılığı değeri ile karakterize edilir.

#### 1.4 Çoklu Tehlike Değerlendirmeleri

21. Yüzyılda meydana gelen iklim kaynaklı felaketler, zamansal ve mekânsal farklılıklarına rağmen büyük ekonomik kayıplara sebep olmuştur (Seneviratne ve diğerleri, 2012). Topluma ve çevreye yönelik tehlike, iklim kaynaklı değişiklikten ziyade, bu değişimin orantısız olarak





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

**Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi**

şiddetlenmesi ile meydana gelen aşırı iklim olayları ile bağlantılı olacaktır (Rummukainen 2012).

İklim kaynaklı meydana gelen kayıpların yüksek seviyelerde olduğu bilinmektedir. Buna bağlı olarak, iklim değişikliği sebebiyle aşırı hava olaylarında yaşanacak artışların kayıp riskini bilinenden daha yukarılara taşıması muhtemeldir. Buna ek olarak, birden çok iklim tehlikesine yatkın alanlarda tehditlerin daha belirgin hale gelmesi beklenmektedir. Bu bağlamda, iklim değişikliğine daha fazla maruz kalma potansiyeline sahip alanları belirlemek için, iklim ekstremlerinin şiddeti ve sıklığındaki olası bölgesel varyasyonları açıklayan çoklu tehlike değerlendirmesi gereklidir.

Mevcut literatürde, ilk konu tehlike şiddetinin sınıflandırılması ve sürekli indekslerin geliştirilmesi gibi standardizasyon yaklaşımları aracılığıyla ele alınmıştır (Dilley 2005; Kappes ve diğerleri, 2012; Lung ve diğerleri, 2013). Bu yaklaşımlar bir başlangıç noktasını temsil etseler de yalnızca sınırlı bir iklim tehlikesi kümesini tanımlamaktadır. Farklı tehlikeleri karşılaştırılabilir hale getirmek için kullanılan teknikler de büyük ölçüde öznel ve tutarsızdır. İkinci konu ise, birleşik mekanizmaların yerel ölçekte gözlemlenen ve büyük ölçüde çevre düzeninden etkilenen çoklu tehlike dinamiklerine bağlı matrisler aracılığıyla nitel olarak ele alınmıştır (Kappes ve diğerleri, 2012; Gill ve Malamud 2014). Bu da göstermektedir ki tehlikeler arasındaki etkileşimlerin büyük ölçekli tahmin sistemlerine güvenilir bir şekilde dahil edilebilmesi için veri odaklı araştırmalara daha çok ihtiyaç vardır.

Farklı Avrupa modelleme gruplarının iş birliğiyle sıcak ve soğuk hava dalgaları, nehir taşkınları ile kıyı selleri, kuraklık, orman yangınları ile şiddetli rüzgarların da dahil edildiği bir çalışmada, iklim tehlike modelleme veri seti üretilmiştir (Forzieri, ve diğerleri, 2016). Bu çalışmada, Avrupa’da gelecekte meydana gelmesi öngörülen iklim tehlikeleri, SRES A1B sera gazı emisyonları senaryosu (Solomon 2007) altında bir bölgesel iklim simülasyonları topluluğu için oluşturulmuş ve çoklu tehlike çerçevesinde üretilmiştir. Yöntem, iklim kaynaklı aşırı olayların sıklığındaki değişikliklerin ve bu olaylara maruziyetin beklenen yıllık değişikliklerinin analizine dayanmaktadır. Bundan sonraki adım Yıllık Beklenen Tehlike Kesri (YBTK) olarak tanımlanmıştır ve kesir istenilen herhangi bir değişkenle (örneğin, nüfus, tarla) kullanılabilir. Çeşitli tehlike dereceleri için üretilen, tek tehlike kesirleri (YBTK) ve gelecekte meydana gelecek değişiklikler, çoklu iklim tehlikelerine potansiyel maruziyeti sentezlemek için çoklu tehlike indekslerine birleştirilmiştir. Bu çalışma, iklim değişikliği kapsamında Avrupa için yapılan ilk kapsamlı çoklu tehlike değerlendirmesidir ve özellikle tek tehlike maruziyetleri arasındaki karşılaştırılabilirliğe ve bu yüzyıl boyunca birden fazla tehlikeye maruz kalan alanlar arasındaki örtüşme derecesine odaklanmaktadır. Çalışmadaki genel amaç, Avrupa genelinde uyum çabalarını ve arazi planlamasını daha iyi yönlendirmek için çoklu iklim tehlikelerine maruziyeti en yüksek potansiyele sahip coğrafi alanları belirlemektir. Bu proje kapsamında da benzer amaçlar güdüldüğu için pilot iller ve Türkiye için yapılan çoklu tehlike değerlendirmesinde benzer metodolojiler kullanılmıştır.





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

#### Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

Ayrıca çalışmanın bu kısmının risk değerlendirme çalışmasıyla karıştırılmaması gerektiğini vurgulamakta fayda vardır. Risk değerlendirmeleri, yerleşim yerlerinin (örneğin nüfus, varlıklar) tehlike, etkilenebilirlik ve mekânsal dağılımının kombinasyonunu ifade etmekte olup, ileriki çalışmalarda yapılacaktır.

#### 1.4.1 İklim Tehlike Göstergeleri

Çoklu tehlike analizi, altı kritik iklim tehlikesine odaklanmaktadır: sıcak ve soğuk hava dalgaları, şiddetli yağış, kuraklık, orman yangınları ve şiddetli rüzgâr olmak üzere her biri fiziksel etkiyle ilgili bir gösterge ile tanımlanmaktadır. İklim tehlike göstergeleri, referans dönemi için 1971-2000 dönemi ve iklim projeksiyon dönemi için ise, 2030'lar (2021–2040), 2050'ler (2041–2060) ve 2070'ler (2061–2080) ve 2090'lar (2081-2100) için hesaplanmıştır.

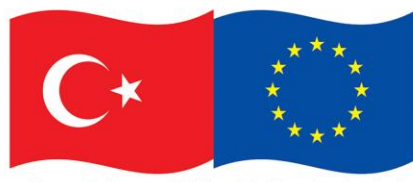
Çalışma kapsamında, kuraklık için Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI), şiddetli yağışı temsilen 95.persantilden büyük aşırı yağışlı günler sayısı, sıcak hava dalgasını temsilen Sıcak Hava Dalgası İndisi, soğuk hava dalgasını temsilen Soğuk Hava Dalgası İndisi, yangın tehlikesi için sıcaklık, nem, yağış ve rüzgâr hakkındaki bilgileri birleştiren Kanada Yangın Hava İndisi (FWI) ve şiddetli rüzgarlar için Aşırı Rüzgârlı Günler (W98) indisi kullanılmıştır. Tüm iklim tehlike göstergeleri, her bir grid noktası için hesaplanmıştır. Ardından, tüm indislerin günümüz ve gelecekteki dönüş olasılıkları elde edildikten sonra referans periyoduyla kıyas yapılarak gelecek dönem geri dönüş seviyeleri belirlenmiştir.

#### 1.4.2 Aşırı Hava Olaylarının Görülme Sıklığı

Her bir grid noktasında, 2, 10 20, 50 ve 100 yıllık geri dönüş dönemlerine sahip iklim tehlike göstergelerinin temel geri dönüş seviyeleri ( $R_{L,b}$ ) elde edilmiştir. Beklenen yıllık etki açısından sıklıkla bildirilen aşırı olayların riskleriyle benzerlik kurarak, her yıl bir tehlikeye maruz kalması beklenen fraksiyon- Yıllık Beklenen Tehlike Kesri (YBTK) - tehlike olaylarına maruziyetin, tehlikenin meydana gelme olasılığı dağılımı üzerinden entegre edilmesi yoluyla hesaplanmıştır. YBTK'nin kullanımı, mevcut klimatolojideki aşırı olayların meydana gelme olasılığından türetilen ortak bir yoğunluk ölçeğine dayanarak farklı süreçler ve zaman ölçekleri ile karakterize edilen çoklu tehlikelerin nicel olarak karşılaştırılmasına olanak tanımaktadır. Her tehlike için, YBTK, her bir model gridi için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Proje kapsamında, çoklu tehlikelere olan toplam yıllık maruziyeti ölçmek için Forzieri ve diğerleri (2016)'nin geliştirdiği Toplam Tehlike İndeksi'nin (TTİ) kullanılmıştır (Forzieri, ve diğerleri, 2016). TTİ'nin bileşik olayların bir ölçüsünü (etkileşen/birlikte meydana gelen olaylar) yansıtmadığını, bunun yerine çoklu tehlikelere karşı beklenen toplam yıllık maruziyetini gösteren bir indeks olduğunu vurgulamak gerekmektedir. Örneğin, sonbaharda aşırı bir yağış olayı ve yazın bir sıcak hava dalgası meydana gelebilmektedir ve her iki olay da (belirli bir olasılıkla) aynı yıl içinde ve aynı yerde meydana gelmektedir. Bu nedenle, bu iki tehlike birbiriyle etkileşim halinde olmasa bile, genel maruziyet düzeyine katkıda bulunur. Göz önünde bulundurulmuş tehlikelerin aynı anda meydana gelen olaylar olmadığı varsayılır.





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

**Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi**

Birden fazla tehlikeye maruz kalan alanları belirlemek için, Forzieri ve diğerleri (2016), Tehlike Değişim İndeksi'ni (TDİ) geliştirmiştir. TDİ, belirli bir eşiğin (%20, %100 ve %1000) zerinde YBTK'de gelecekte artış meydana gelecek tehlikelerin sayısını ifade eder. Üç farklı eşiğin kullanılması, tehlikeye maruziyetteki orta, güçlü ve ařırđ değişiklikleri yakalamaya olanak vermektedir. Belirlenen eşiğ değerlerinin üzerinde maruziyet değişimi gözlenen tehlikelerin sayısı her bir grid hcreesi için hesaplanmaktadır. TDİ, tehlike için önceden tanımlanmış değişim seviyelerine karşılık gelen önemli sıcak noktaların tanımlanmasını sağlamaktadır. TTİ ve TDİ, her bir tehlike için, iklim modeli ıktıları kullanılarak, her geri dönüş seviyesi ve zaman dilimi için tüm tehlikelerde ortak olan mekânsal ölçekte hesaplanmaktadır.







Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

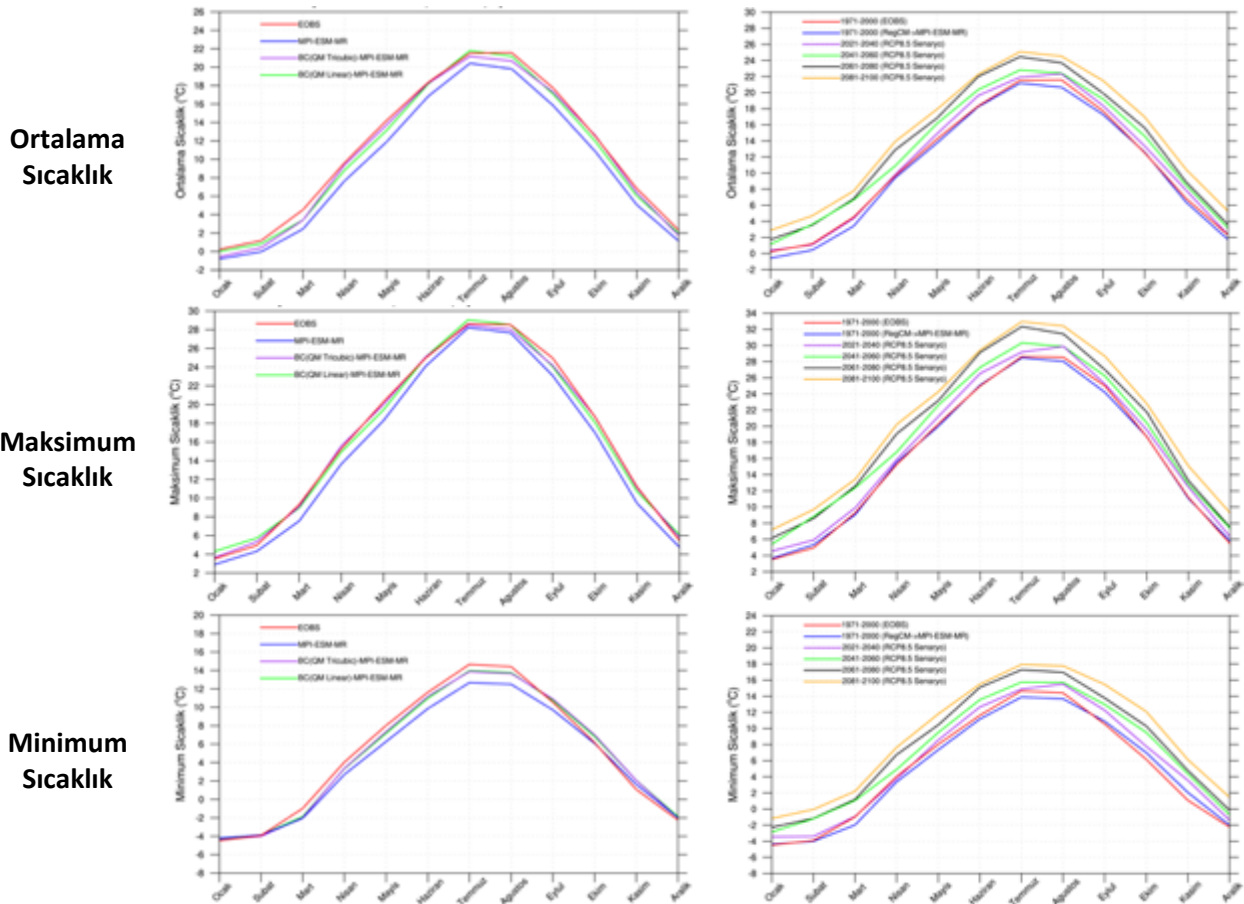
## Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

## 2 TÜRKİYE İÇİN ÇOKLU TEHLİKE DEĞERLENDİRMESİ

### 2.1 Yanlılık Düzeltmesi

#### 2.1.1 Ortalama, Maksimum ve Minimum Sıcaklık

Çalışma kapsamında öncelikle, 1971-2000 Referans Döneminin yanlılığı, gözlem verilerine göre düzeltilmiş, daha sonra aynı düzeltme yöntemi katsayıları kullanılarak 2021-2100 Projeksiyon Dönemi model yanlılıkları düzeltilmiştir. Şekil 2.1 ile gözlem, model ve düzeltilmiş ortalama, maksimum ve minimum sıcaklıkların referans dönemi ile projeksiyon dönemindeki değişimleri verilmiştir.



Şekil 2.1 Gözlem, Model ve Düzeltilmiş Modelin Referans Dönemi (sol) ile Düzeltilmiş Modelin Projeksiyon Dönemlerindeki (sağ) Klimatolojik Değişimler

Referans döneminin ortalama sıcaklık değişiminin verildiği ilk grafikte (sol) mavi renk ile görülen düzeltilmemiş model (MPI-ESM-MR) ile kırmızı renk ile görülen E-OBS gözlem verisi arasındaki farklılık görülmektedir. Ülke geneli ortalama sıcaklık referans döneminde MPI modeline göre yaklaşık 1,5°C daha soğuktur. Uygulanan düzeltme yöntemlerine göre bu fark referans döneminde azaltılmış olup, gözlem verisi ile yakın ortalamalara getirilmiştir (mor renk). Referans döneminde elde edilen katsayılar ile düzeltilen, projeksiyon dönemine bakıldığında (sağ) ise, referans dönemine göre her dönemin sıcaklığının giderek arttığı ve



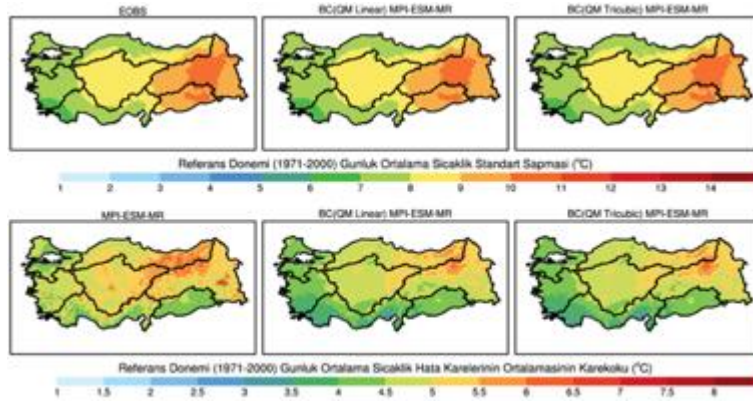
Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

### Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

dönemlerin arasındaki farkların da yükseldiği görülmektedir. Aynı durum, maksimum ve minimum sıcaklıklar için de geçerlidir. Referans dönemi maksimum sıcaklık değişimlerine bakıldığında, modelin gözlemden yaklaşık 1,5°C daha soğuk olduğu görülmektedir. Bahar aylarında farkın açılıp, 1,5-2°C'lere ulaştığı görülmektedir. Kış aylarında ise model gözlem farkın 0,5-1°C civarında olduğu söylenebilir. Aynı düzeltme yöntemi ile modelin maksimum sıcaklık değişkeninin de referans dönemi için oldukça iyi bir şekilde düzeltildiği görülmektedir. Minimum sıcaklıklarda ise model kış aylarını iyi simüle etmiş olup, yaz aylarına doğru fark 2°C civarını bulmaktadır. Minimum sıcaklık değişkeni için düzeltilmiş model sonuçlarına bakıldığında, yine aylık klimatolojisinin gözlemlere yakın olduğu görülmektedir.

Düzeltilmiş ortalama, maksimum ve minimum sıcaklık değişkenlerinin gözlemler ile karşılaştırılan performansları Şekil 2.2 ile harita üzerinde verilmiştir. Referans dönemine göre ortalama sıcaklık için hesaplanmış standart sapmalara bakıldığında, iki yöntem de birbirine yakın sonuçlar vermiş olsa da QM Trikübik sonuçlarının E-OBS sonuçlarına en yakın resmi çizdiği görülmektedir. Buna göre, ülke genelinde ortalama sıcaklık değişkenliğinin yıl boyunca en fazla 10°C civarında olduğu görülmektedir. Hata karelerinin karekökünün ortalamasına bakıldığında ise, düzeltilmemiş model sonucunda (sol) hataların 7-7,5°C'yi bulduğu görülmektedir. Referans dönemi için maksimum sıcaklık standart sapmalarına bakıldığında, düzeltilmiş modelin gözleme daha yakın olduğu ve yıllık sapmasının özellikle iç kesimlerden kuzeye doğru 13-14°C'yi bulduğu görülmektedir. Türkiye'nin batı kıyılarına doğru yıllık sapmanın düştüğü ve 7-8°C'ler civarında olduğu görülmektedir. Hatalara bakıldığında ise, Türkiye'nin güneyinden kuzeyine doğru artış gösterdiği; güney ve güneybatı şeridinde 4-4,5°C'ler civarında olduğu ve kuzeyde ise 7-8°C'ler civarına ulaştığı görülmektedir. Son olarak minimum sıcaklıkların referans dönemi karşılaştırmaları incelendiğinde, sapmanın Güneydoğu Anadolu, Doğu Anadolu ve Doğu Karadeniz'in iç kesimlerinde 8-9°C, diğer bölgelerde ise 6-7°C civarında olduğu görülmektedir. Minimum sıcaklıklarda hataların ise genel olarak 4-4,5°C civarında olduğu ve ülkenin kuzeydoğusunda ise 5-6°C'lere çıktığı söylenebilir.

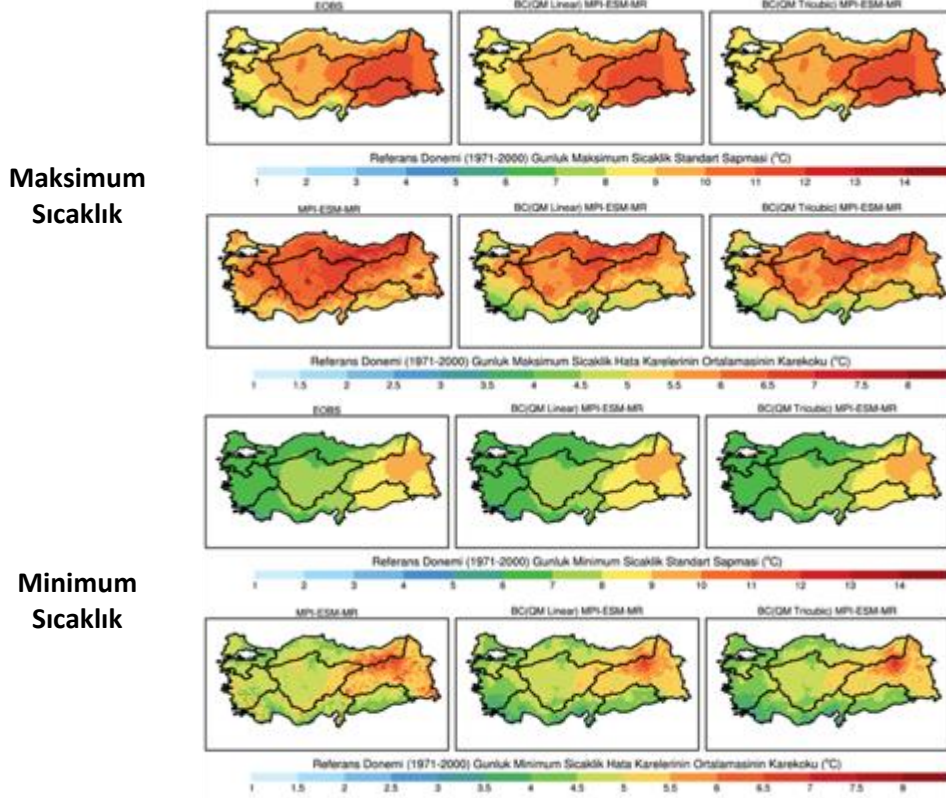
#### Ortalama Sıcaklık





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

### Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi



Şekil 2.2 1971-2000 Dönemi Günlük Standart Sapması (°C) (üst) Hata Karelerinin Ortalamasının Karekökü (°C) (alt)

#### 2.1.2 Toplam Yağış

Çalışma kapsamında toplam yağış verisi için, 1971-2000 Referans Döneminin yanlılığı, gözlem verilerine göre düzeltilmiş, daha sonra aynı düzeltme yöntemi katsayıları kullanılarak 2021-2100 Projeksiyon Dönemi model yanlılıkları düzeltilmiştir. Şekil 2.3 ile gözlem, model ve düzeltilmiş toplam yağışın referans dönemi ile projeksiyon dönemindeki değişimleri verilmiştir.

Referans dönemi toplam yağış değişiminin verildiği ilk grafikte (sol) mavi renk ile görülen düzeltilmemiş model (MPI-ESM-MR) ile kırmızı renk ile görülen APHRODITE gözlem verisi arasındaki farklılık görülmektedir. Ülke genelinde referans dönemine bakıldığında, modelin Temmuz ve Ağustos aylarında gözlemlere oldukça yakın, bahar ve kış aylarında ise gözleme göre daha ıslak sonuçlar önerdiği görülmektedir. Bu hata, uygulanan düzeltme yöntemiyle referans döneminde oldukça azaltılmış olup, gözlem verisi ile yakın ortalamalara getirilmiştir (mor renk). Grafik üzerinde görülen MV yöntemiyle düzeltilmiş yağış ortalamaları her ne kadar gözlemlere birebir uydurulsa da bu yöntem ortalamaları çok iyi düzeltip, uç değerleri törpülediği için seçilmemiştir. Referans döneminde elde edilen katsayılar ile düzeltilen projeksiyon dönemine bakıldığında, gelecek dönemde referans dönemine göre yağışların giderek azaldığı görülmektedir.

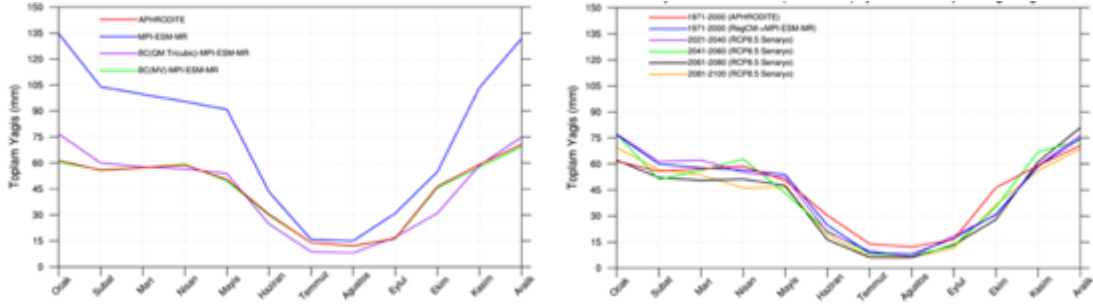






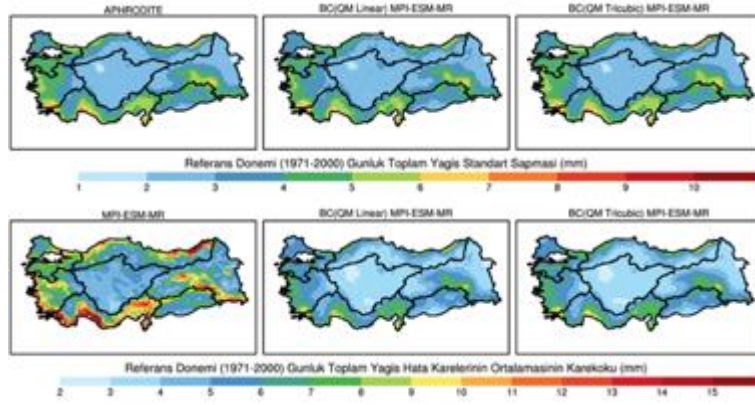
Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

### Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi



**Şekil 2.3** Gözlem, Model ve Düzeltilmiş Modelin Referans Dönemi (sol) ile Düzeltilmiş Modelin Projeksiyon Dönemlerindeki (sağ) Klimatolojik Değişimler

Düzeltilmiş toplam yağış değişkeninin gözlemler ile karşılaştırılan performansları Şekil 2.4 ile harita üzerinde verilmiştir. Referans dönemine göre toplam yağış ortalaması için hesaplanmış standart sapmalara bakıldığında, QM Trikübik sonuçlarının APHRODITE sonuçlarına en yakın resmi çizdiği ve günlük sapmaların kıyı kesimlerde 4-5 mm civarında olduğu ve yüksek kesimlerde 6-7 mm'lere ulaştığı; bu kesimler dışında genel olarak 2 mm civarında olduğu görülmektedir. Hataların alansal değişimi ise yine benzer bir görüntü ile iç kesimlerde 2-3 mm; kıyı kesimlerde 7-8 mm ve yüksek kesimlerde ise günlük 9-10 mm'leri bulabilmektedir.

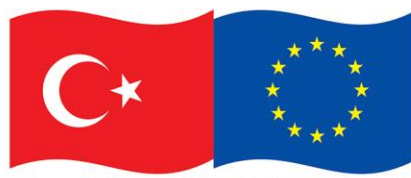


**Şekil 2.4** 1971-2000 Dönemi Günlük Standart Sapması (°C) (üst) Hata Karelerinin Ortalamasının Karekökü (°C) (alt)

### 2.1.3 Maksimum Rüzgâr Hızı

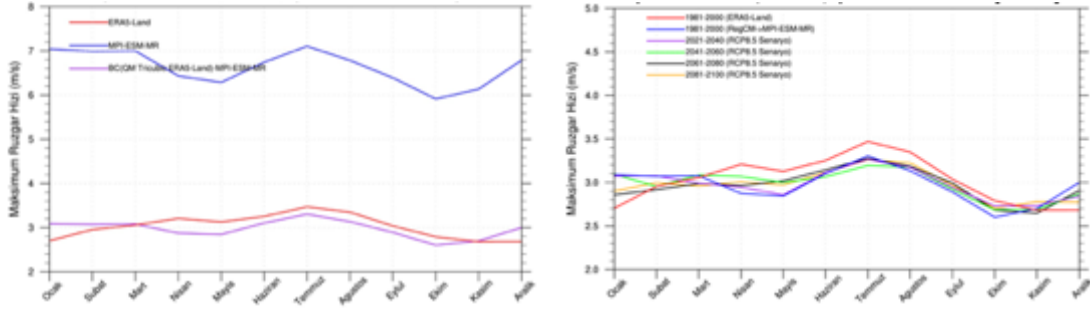
Çalışma kapsamında maksimum rüzgâr verisi için, 1971-2000 Referans Döneminin yanlılığı, gözlem verilerine göre düzeltilmiş, daha sonra aynı düzeltme yöntemi katsayıları kullanılarak 2021-2100 Projeksiyon Dönemi model yanlılıkları düzeltilmiştir. Şekil 2.5 ile gözlem, model ve düzeltilmiş maksimum rüzgâr hızının referans dönemi ile projeksiyon dönemindeki değişimleri verilmiştir.





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

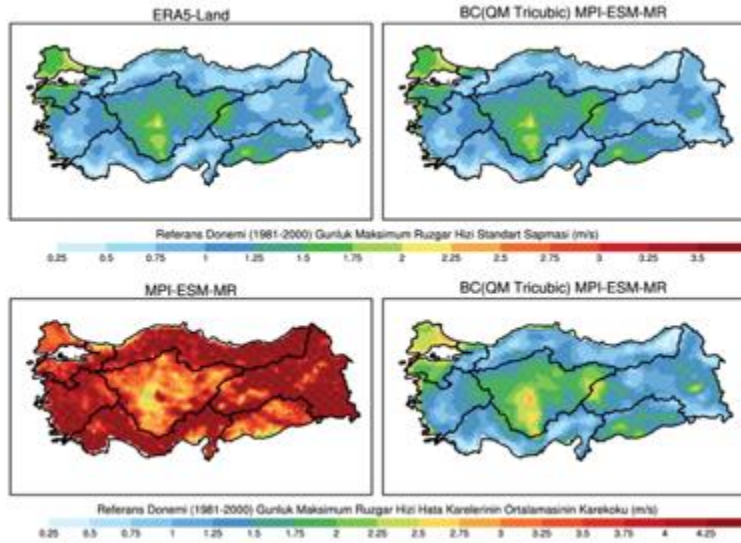
### Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi



Şekil 2.5 Gözlem, Model ve Düzeltilmiş Modelin Referans Dönemi (sol) ile Düzeltilmiş Modelin Projeksiyon Dönemlerindeki (sağ) Klimatolojik Değişimler

Referans dönemi maksimum rüzgâr hızı ortalamasının değişiminin verildiği ilk grafikte (sol) mavi renk ile görülen düzeltilmemiş model (MPI-ESM-MR) ile kırmızı renk ile görülen ERA5-Land gözlem verisi arasındaki yaklaşık 3-3,5 m/s’lik farklılık görülmektedir. QM Trikübik yöntemi kullanılarak düzeltilmiş model sonuçlarına bakıldığında (mor renk), bu farkın azaltıldığı ve gözlem verisine yakınlaştırıldığı gözlenmektedir.

Düzeltilmiş maksimum rüzgâr hızı değişkeninin gözlemler ile karşılaştırılan performansları Şekil 2.6 ile harita üzerinde verilmiştir. Referans dönemine göre maksimum rüzgâr hızı ortalaması için hesaplanmış standart sapmalara bakıldığında, QM Trikübik sonuçlarının ERA5-Land sonuçlarına oldukça yakın resmi çizdiği ve günlük sapmaların ülke genelinde 0,5-1 m/s civarında olduğu görülmektedir. Hataların alansal değişimine bakıldığında ise öncelikle düzeltilmemiş modelin ülke genelinde 4,25 m/s’ye varan hatalara sahip olduğu söylenebilir. Düzeltilmiş modelin hatası değerlendirildiğinde, Marmara ve İç Anadolu Bölgeleri’nde 2,5-3 m/s; Ege kıyıları, Batı Karadeniz kıyıları ile Doğu Akdeniz kıyılarında ise 2-2,5 m/s civarına çıktığı görülmektedir. Ülke genelinde hatalar 0,75-1 m/s civarındadır.



Şekil 2.6 1981-2000 Dönemi Günlük Standart Sapması (°C) (üst) Hata Karelerinin Ortalamasının Karekökü (°C) (alt)





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

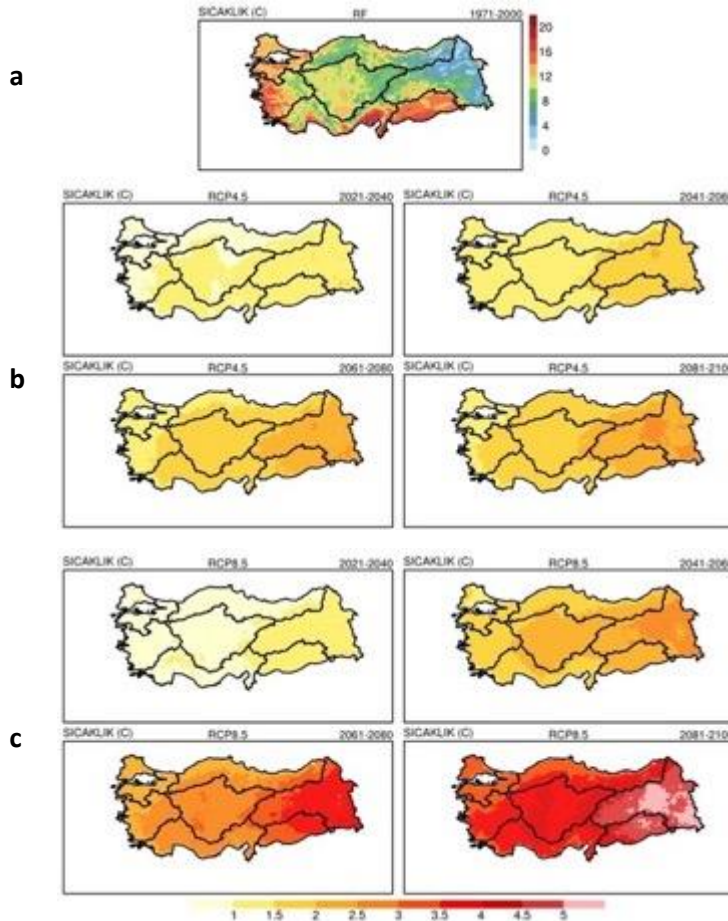
## Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

### 2.2 Gelecek Dönem Sıcaklık ve Yağış Değişimleri

Yanlılık düzeltmesi bölümünde sonuçları verildiği gibi, referans ve projeksiyon döneminin model yanlılıkları düzeltilmiş ve ülke genelindeki değişimleri aşağıdaki bölümde RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre ve 4 projeksiyon döneminde sunulmuştur.

#### 2.2.1 Ortalama Sıcaklık

Türkiye üzeri 1971-200 Referans dönemi ortalama sıcaklık değerleri ve RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarının referans döneminden farkları sırasıyla Şekil 2.7-a, Şekil 2.7-b ve Şekil 2.7-c ile gösterilmektedir. Referans döneminde Ege ve Akdeniz Bölgeleri kıyı kesimleri ile Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde ortalama sıcaklık değerleri 14-19°C aralığında değişirken Marmara Bölgesi’nde yaklaşık 12°C olarak gözlemlenmektedir. Ülkenin doğusuna gidildikçe ortalama sıcaklık değeri özellikle Erzurum, Kars ve Ardahan Platolarında 2°C’ye kadar düşmektedir. En yüksek ortalama sıcaklık değerleri ise Çukurova’nın tamamında 20°C olarak görülmektedir.



Şekil 2.7 Referans Dönemi (a) Sıcaklık Ortalaması ve RCP4.5 Senaryosu (b) ile RCP8.5 Senaryosu (c) için Projeksiyon Dönemindeki Değişimler

Projeksiyon dönemi sıcaklık değişimlerinde ise her iki RCP senaryosunun da referans dönemine göre daha yüksek sıcaklıklar tahmin ettiği görülmektedir. RCP4.5 senaryosuna göre





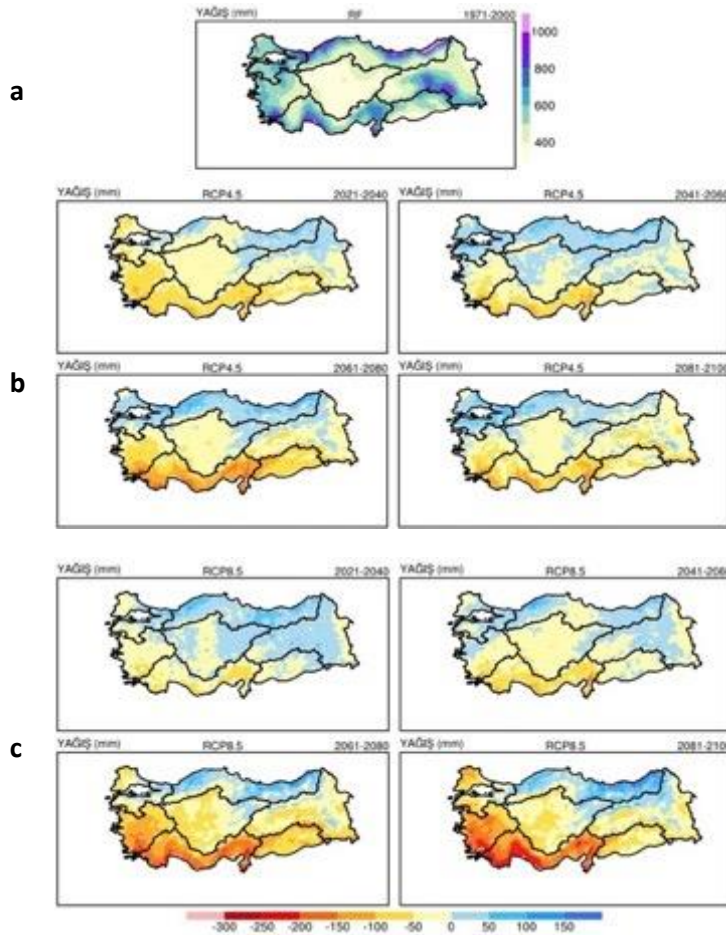
Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

### Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

yüzyıl sonunda ortalama sıcaklık değerlerinin özellikle ülkenin doğusunda yaklaşık 2,5°C artması ve geri kalanında ise en az 1°C artması beklenmektedir. RCP8.5 senaryosuna göre ise 2060'lara kadar olan süreçte ülke genelinde ortalama sıcaklıkların 2,5°C civarında artacağı ve bu artışın yüzyılın sonunda 5°C'leri geçeceği öngörülmektedir. 2081-2100 periyodunda RCP8.5 kötümser senaryosuna göre Türkiye’de en az Marmara Bölgesinde 3°C ve en çok Doğu Anadolu Bölgesi’nde 5°C’den fazla ısınmanın olacağı tahmin edilmektedir.

## 2.2.2 Toplam Yağış

Türkiye üzeri yıllık toplam yağış değerleri 1971-2000 Referans dönemi ortalaması ve RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarının referans döneminden farkları sırasıyla Şekil 2.8-a, Şekil 2.8-b ve Şekil 2.8-c ile gösterilmektedir.



**Şekil 2.8 Referans Dönemi (a) Toplam Yağış Ortalaması ve RCP4.5 Senaryosu (b) ile RCP8.5 Senaryosu (c) için Projeksiyon Dönemindeki Değişimler**

Referans döneminde en az yağış alan bölgeler, İç Anadolu Bölgesi, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin güneyi ile Iğdır Ovası civarı olmak üzere yaklaşık 400 mm altında kalan toplam yağış ortalamalarına sahiptir. Muğla-Köyceğiz ilçesi ve çevresi, Antalya, Antakya, Bitlis ve Batı Karadeniz’de toplam yağış değerleri 600-800 mm aralığındadır ve Doğu Karadeniz’den sonra







Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

## Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

en yüksek yağış değerlerine sahip bölgelerdir. Trabzon, Rize ve Artvin ülkenin en yağışlı illeri olarak referans döneminde yıllık toplam 1000 mm’yi geçen yağış aldığı görülmektedir.

Projeksiyon döneminde toplam yağış değişimleri Türkiye’nin kuzeyinde artma yönünde olmasına karşın, Akdeniz ve Ege Bölgeleri’nde ise şiddetli azalma eğilimindedir. Referans dönemine göre toplam yağış değişimleri dağılım olarak her iki senaryo için benzerlik gösterse de değişim değerleri oldukça farklıdır. RCP4.5 senaryosuna göre yağış değişiminin en çok 2061-2080 periyodunda Marmara ve Karadeniz Bölgeleri’nde ortalama 50 mm artış ve Akdeniz Bölgesinde ise 200 mm azalış ile görülmesi öngörülmektedir. RCP8.5 senaryosuna göre ise 2060’lara kadar -100 ile +100 mm arasında yağış değişimi beklenmektedir. Yüzyıl sonunda ise Karadeniz Bölgesi’nde toplam yağış miktarının referans dönemine göre 150 mm civarında artacağı ve Akdeniz Bölgesi’nde ise 300 mm civarında azalacağı tahmin edilmektedir.

### 2.3 Ekstrem İklim İndis Analizleri

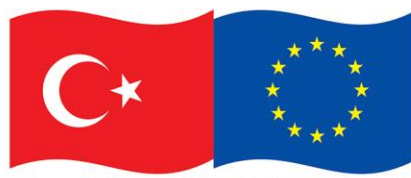
Ekstrem iklim indisleri, günlük yağış, sıcaklık ve rüzgâr değişkenleri için fiziksel olarak belirlenen çeşitli eşik değerlerin üstünde veya altında kalmasına göre incelenmiştir. İklim indisleri, model çıktılarına yanlılık düzeltmesi uygulandıktan sonra hesaplanmıştır. Proje kapsamında Türkiye’deki ekstrem hava olaylarını temsil etmesi için 5 indis seçilmiştir. İndislerin ülke bazında projeksiyon dönemindeki 20 yıllık değişimleri, referans dönemindeki dağılımları ile birlikte ilerideki bölümlerde ortaya konmaktadır.

#### 2.3.1 Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI)

Proje kapsamında SPEI analizi için referans dönemi 1971-2000 olarak belirlenmiştir. Gelecek dönem ise diğer indislerde de olduğu gibi 2021-2100 periyodunda çalışılmıştır. Metodoloji bölümünde de belirtildiği gibi, SPEI indisi 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçekleri için çalışılmıştır. Burada, SPEI3 meteorolojik kuraklığı, SPEI6 tarımsal kuraklığı ve SPEI12 ise hidrolojik kuraklığı temsil etmektedir. Bu bölümde yalnızca SPEI3 analizleri paylaşılmıştır. SPEI şiddet değerleri tüm dönemlere göre elde edildikten sonra, kuraklık frekansı, kuraklık eğilimi ve en uzun kurak dönem yoğunluğuna da bakılmıştır.

Türkiye için elde edilen SPEI3 dönemsel kuraklık şiddeti ortalamaları (a), kuraklık frekansları (b), kuraklık eğilimleri (c) analizleri referans dönemi ve RCP4.5 senaryosuna göre değişimleri ile Şekil 2.9 üzerinde sunulmuştur. Şekil 2.9-a ile verilen kuraklık şiddeti ortalamalarına bakıldığında, 30 yıllık referans dönemi ortalamasında 0-0,5 arasında olan kuraklık şiddetinin, gelecek dönem ortalamalarında ise kurak yönde geliştiği ve -0,5’lere düştüğü görülmektedir. Özellikle 2061-2080 döneminde Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde -0,5 altına inen değerler düşük şiddette kuraklığa işaret etmektedir. Şekil 2.9-b ile verilen kuraklık frekansı değişimleri incelendiğinde ise, referans dönemi ortalamasının %10-20 arasında olduğu gözlenmektedir. 2021-2060 dönemlerinde kuraklık görülme sıklığının %30’a, 2061-2080 döneminde ise özellikle İç Anadolu, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinde yer yer %40’a yükseleceği öngörülmektedir. Yüzyıl sonuna doğru Türkiye genelinde kuraklık frekansının %30 civarında olacağı tahmin edilmektedir. Şekil 2.9-c ile verilen SPEI3 kuraklık eğilimlerine göre, referans

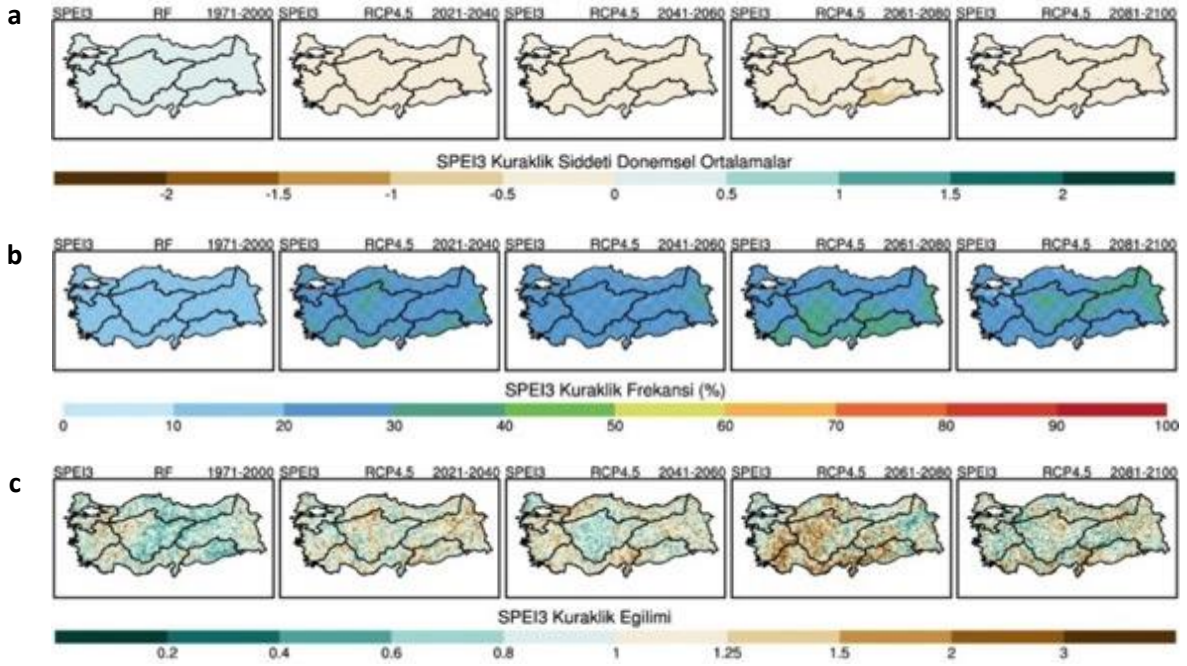




Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

döneminde Karadeniz, Güneydoğu Anadolu Bölgelerinde ve yer yer İç Anadolu ve Doğu Anadolu Bölgeleri'nde nemli eğilim olduğu gözlenmektedir. Yüzyıl sonuna doğru bu eğilimin değişeceği öngörülmektedir. Bu bağlamda, 2021-2060 döneminde İç Anadolu, Doğu Anadolu, Batı Karadeniz ve özellikle Doğu Akdeniz Bölgelerinde kuraklık eğiliminin 1,5'e ulaşacağı öngörülmektedir. Yani kurak dönem sayısı ıslak dönem sayısının üzerine çıkacaktır. 2061-2080 dönemine gelindiğinde bu değer özellikle Akdeniz, İç Anadolu Bölgelerinde ve Ege Bölgesinin iç kesimlerinde 2'ye ulaşacağı tahmin edilmektedir. 2081-2100 döneminde azalma olsa da Türkiye'nin büyük bir bölümünde kurak eğilimin hâkim olması beklenmektedir.



Şekil 2.9 RCP4.5 Senaryosu SPEI3 Dönemsel Kuraklık Şiddeti Ortalamaları (a), Kuraklık Frekansları (b), Kuraklık Eğilimleri (c)

Türkiye için elde edilen SPEI3 dönemsel kuraklık şiddeti ortalamaları (a), kuraklık frekansları (b), kuraklık eğilimleri (c) analizleri referans dönemi ve RCP8.5 senaryosuna göre değişimleri ile Şekil 2.10 üzerinde sunulmuştur. Şekil 2.10-a ile verilen kuraklık şiddeti ortalamalarına bakıldığında, RCP8.5 senaryosuna göre Türkiye genelinde kuraklık şiddeti 2021-2040 döneminde -0,5'e düşmektedir. 2041-2060 döneminde ortalama değerler İç Anadolu Bölgesinde -0,5 ila -1 aralığında olup düşük şiddette kuraklık sinyali vermektedir. 2061-2080 döneminde Türkiye genelinde Karadeniz Bölgesi hariç düşük şiddette kuraklık yaşanacağı tahmin edilmektedir. 2081-2100 döneminde ortalama değerler Akdeniz Bölgesinin batı kesimlerinde -1,5'lara kadar düşmekte olup, orta şiddette kuraklığa işaret etmektedir. Ayrıca Orta Karadeniz Bölgesinde düşük şiddette kuraklık sinyali gelişmektedir. Bu durum kötümser senaryoya göre yüzyıl sonuna doğru kuraklık şiddetinin ülke genelinde giderek artacağını göstermektedir. Şekil 2.10-b ile verilen kuraklık frekansı değişimleri ele alındığında, 2021-2040 döneminde %30 civarında olması beklenen kuraklık frekansının, 2041-2060 döneminde %40'lara, 2061-2080 döneminde özellikle Akdeniz Bölgesinin batısı ve Güneydoğu Anadolu

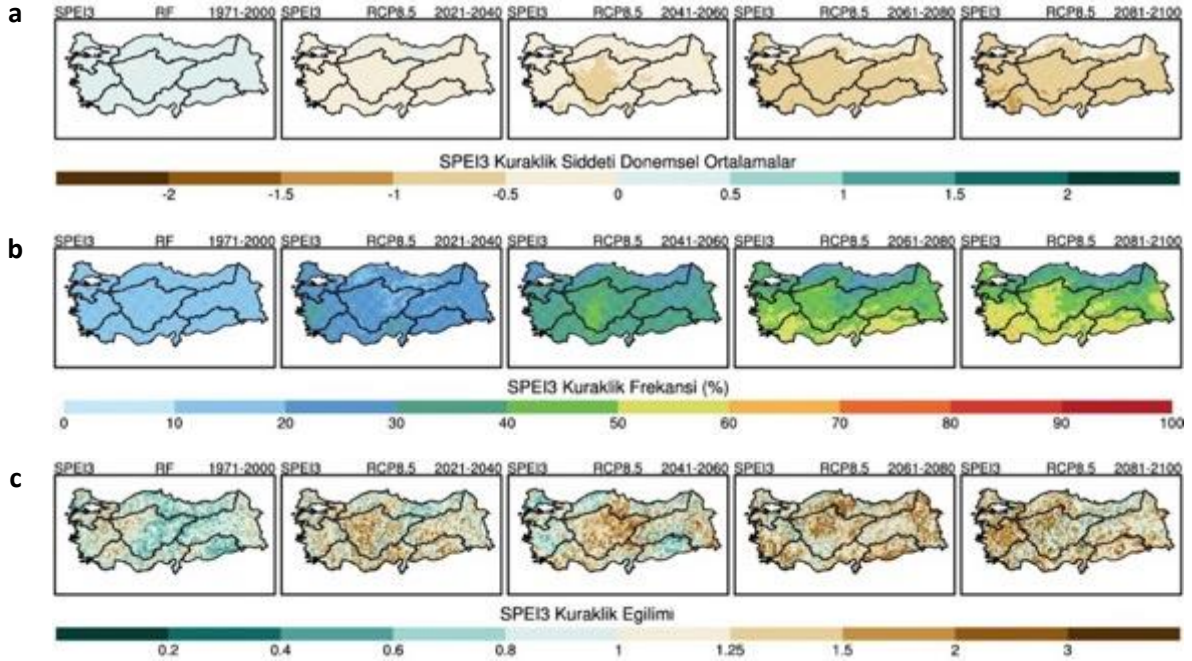




Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

Bölgelerinde %50 seviyesine ulaşacağı öngörülmektedir. Yüzyılın son 20 yıllık periyodunda bu değerlerin Ege, Akdeniz, Güneydoğu Anadolu Bölgelerinin tamamı ile İç Anadolu Bölgesinin büyük bir bölümünde %50-60 aralığında olacağı tahmin edilmektedir. Şekil 2.10-c ile verilen SPEI3 kuraklık eğilimleri incelendiğinde, kuraklık eğiliminin de giderek artacağı öngörülmektedir. Buna göre, 2021-2040 döneminde özellikle İç Anadolu Bölgesinde 1,5-2 arasında olacağı tahmin edilen kuraklık eğilimi, 2041-2060 döneminde yer yer 2'nin üzerine çıkmaktadır. 2061-2080 döneminde Türkiye genelinde 2 civarında olması beklenen kuraklık eğiliminin, 2081-2100 döneminde en yüksek değerlerine 2-3 aralığında Ege Bölgesinde ulaşacağı öngörülmektedir. Bu dönemde istisna olarak Doğu Karadeniz Bölgesinde eğilim değerlerinde belirgin bir düşüş olacağı tahmin edilmektedir. Yani ıslak dönem sayısının kurak dönem sayısından fazla olması beklenmektedir.



Şekil 2.10 RCP8.5 Senaryosu SPEI3 Dönemsel Kuraklık Şiddeti Ortalamaları (a), Kuraklık Frekansları (b), Kuraklık Eğilimleri (c)

Referans dönemi, RCP4.5 ve RCP8.5 senaryosuna göre Türkiye için hesaplanan SPEI3 kuraklık şiddetinin referans dönemine göre değişimi 10 yıllık kayan ortalamalarla Şekil 2.11 ile gösterilmiştir. Grafik üzerinde, düz çizgiler anomalilerin alansal ortalamalarını göstermektedir. Zaman serileri 10 yıllık kayan ortalamalar yumuşatma tekniği ile gösterilmektedir. Anomalilerin bir standart sapması ile her zaman adımı için belirsizlik, gölgeli alanlarla verilmektedir. Referans döneminde SPEI3 anomalileri 1970'lerden 1980'lerin ortalarına kadar azalma eğilimi göstererek kurak koşullara sapmayı işaret etmektedir. Referans döneminin ikinci yarısında tekrardan artış eğilimi gösteren indis değerlerine bakıldığında ise nemli koşullarda artışın olduğu tespit edilmiştir. Gelecek projeksiyonları incelendiğinde her iki senaryoda negatif anomalilerin gözleneceği yani gelecekte referans döneme göre daha kurak koşulların yaşanacağı tahmin edilmektedir. 2040'lı yıllardan sonra



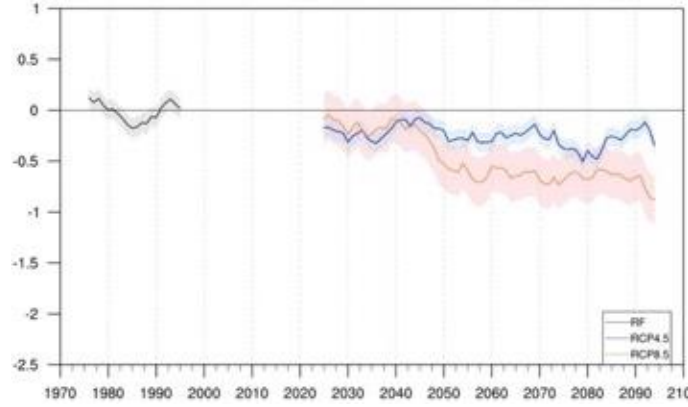




Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

### Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

iki senaryo için sonuçlar farklılaşmaktadır. RCP4.5 senaryosuna göre 2070’e kadar SPEI3 anomalilerinin büyük bir değişim göstermesi beklenmemektedir. 2070-2080 arası azalma eğilimi sergileyen değerler yüzyıl sonuna doğru tekrardan yükselerek -0,25 seviyesine erişecektir. Diğer taraftan RCP8.5 senaryosuna göre SPEI3 anomalilerinin 2050’lerin ortasına kadar belirgin bir azalış göstererek -0,75 seviyesine gerilemesi beklenmektedir. Bu yıllardan sonra anomalilerin 2090’a kadar büyük bir değişim göstermesi beklenmemektedir. Yüzyıl sonunda anomali değerlerinin -1’e erişeceği tahmin edilmektedir.



**Şekil 2.11 SPEI3 İndisinin Referans Dönemi ve RCP4.5 (Mavi Çizgi) ile RCP8.5 (Turuncu Çizgi) Senaryolarına Göre Gelecek Projeksiyonları Anomalileri**

### 2.3.2 Aşırı Yağışlı Günler İndisi (R95p)

1971-2000 referans dönemi günlük toplam yağışların Türkiye’deki her grid noktası için elde edilmiş 95. persantil (eşik) değerleri kullanılarak gelecek dönem R95p değişimlerine bakılmıştır. Türkiye genelindeki referans periyoduna ait toplam yağışların 95. persantil değerleri mm cinsinden Şekil 2.12-a ile verilmektedir. R95p aşırı yağışlı günler indisinin referans dönemine göre dört farklı periyottaki değişimi ise Şekil 2.12-b ve Şekil 2.12-c ile sırasıyla RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları için gösterilmektedir.

Referans döneminde Türkiye genelinde yaklaşık 17 mm’lik ortalama eşik değerler görülmesine rağmen Muğla ve Antalya şehirlerinde 38 mm ile en yüksek eşik değerlere rastlanmaktadır (Şekil 2.12-a). Bunların yanı sıra, İzmir, Adana Hatay, Rize ve Bitlis illerinde 95. persantile karşı gelen yağış miktarları yer yer 30 mm’nin üzerine çıkmaktadır. Diğer yandan, ülkenin iç kesimlerine doğru gittikçe azalan yağış eşik değerleri gözlemlenmektedir. En düşük değerler İç Anadolu Bölgesi’nde, en yüksek değerler ise Ege ve Akdeniz bölgelerinde görülmektedir. Ankara civarında 95. persantile karşı gelen yağış miktarları 12 mm’nin altında kalmaktadır.

Gelecek projeksiyonlarının referans döneminden farkları ele alındığında aşırı yağışlı günlerin her iki emisyon senaryosuna göre çoğunlukla artma eğiliminde olduğu ancak; referans dönemindeki eşik değerlerin yüksek olduğu Akdeniz Bölgesi’nde genellikle azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Akdeniz Bölgesi’ndeki azalmanın en çok RCP4.5 senaryosunda ve 2061-2080 periyodunda olması dikkat çekerken bu azalmanın yer yer %2,5’lara (~9 gün) ulaşacağı



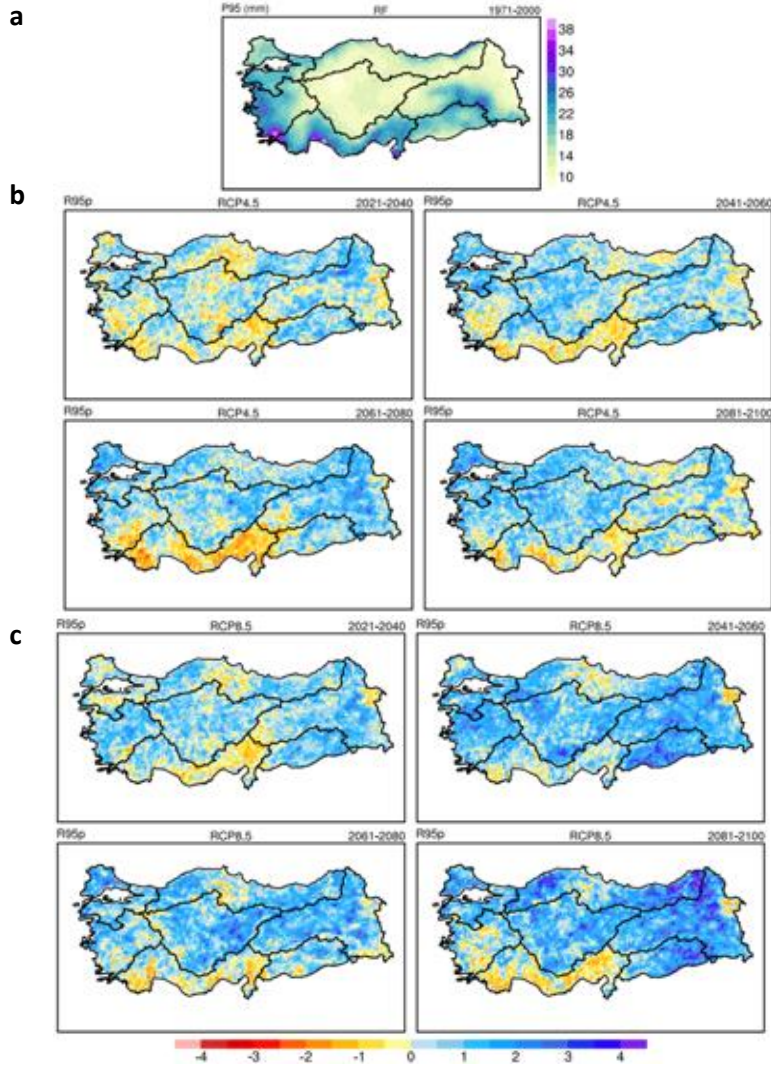




Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

tahmin edilmektedir (Şekil 2.12-b). Diğer taraftan, aynı dönemde Türkiye’de ortalama %0,5 (~2 gün) artış beklenmekte, böylece bir önceki periyotla aynı değişimi ortaya koymaktadır. RCP4.5 senaryosu altında ilk projeksiyon döneminde (2021-2040) aşırı yağışlı günlerde azalma eğilimi sergileyen Ege, İç Anadolu, Batı Karadeniz Bölgeleri ile Marmara Bölgesi’nin Yıldız Dağları ve Ergene bölümleri 21.yy’ın son periyodunda (2081-2100) referans dönemine kıyasla artış göstermektedir. 2081-2100 yılları aynı zamanda Türkiye genelinde her iki senaryoda da en fazla artışın öngörüldüğü periyottur. Bu dönemdeki RCP8.5 senaryosu altındaki gelecek projeksiyonlarında en fazla artışın Doğu Anadolu Bölgesi’nde yer alan Van gölü etrafında, Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nin Dicle Bölümü’nde ve Karadeniz Bölgesi’nin Doğu Karadeniz Bölümü ile Bartın ilinde meydana gelmesi ve artış miktarının %4’ün, yani 2 haftanın, üzerine çıkması beklenmektedir (Şekil 2.12-c). Ancak bu bölgelerdeki artışlar önceki dönemlerde ön plana çıkmamaktadır. RCP4.5 senaryosuna benzer şekilde Türkiye’de ortalama olarak %0,5 (~2 gün) ile en az artışın 2021-2040 yıllarında olacağı öngörülmektedir.



Şekil 2.12 Referans Dönemi (RF) Yağışlarının 90. persantil Değerleri (mm) (a) RCP4.5 Senaryosu (b) ile RCP8.5 Senaryosu (c) için Projeksiyon Dönemindeki Değişimler

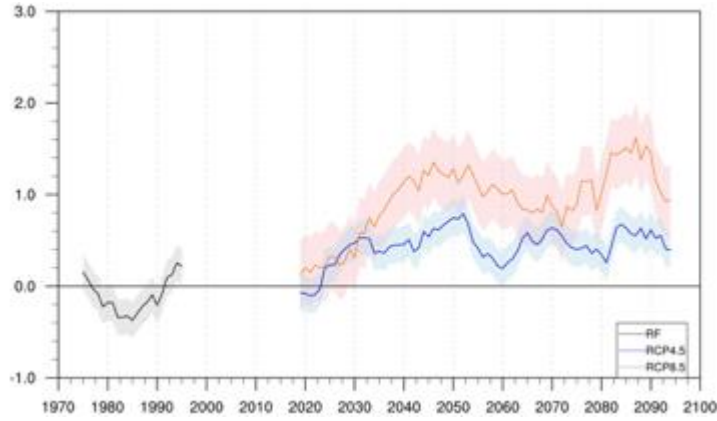




Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

#### Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

Şekil 2.13, Türkiye için aşırı yağışlı günler indisi R95p’nin referans dönemi ortalamasının kendi döneminden ve gelecek projeksiyonlarından farkını 10 yıllık kayan ortalamalar bazında göstermektedir. 1970’li yılların başından itibaren aşırı yağışlı günler hızlı bir şekilde düşerek referans dönemi ortalamasının giderek altında kalmış ancak 1980 yıllarında ivmelenerek 1992 civarında referans dönemi ortalamasının üzerine çıkmıştır. RCP8.5 emisyon senaryosuna göre gelecek dönemlerde aşırı yağışlı günlerdeki artışların RCP4.5’a göre daha fazla olacağı Şekil 2.13 üzerinde anlaşılmaktadır. 2041-2060 ve 2081-2100 periyotlarında RCP4.5 senaryosunun iki katı kadar artış meydana gelmesi beklenmektedir. 21.yy sonlarına doğru RCP8.5 senaryosunda referans dönemine kıyasla %1.5’lere (~5,5 günlere) ulaşan artışın RCP4.5’te en fazla %0.7’lere (~2,5 günlere) erişeceği tahmin edilmektedir. Böylece her iki senaryo altında da Türkiye genelinde en fazla artışın yine son projeksiyon döneminde gerçekleşeceği öngörülmektedir.



**Şekil 2.13 R95p İndisinin Referans Dönemi ve RCP4.5 ile RCP8.5 Senaryolarına Göre Gelecek Projeksiyonları Anomalileri**

### 2.3.3 Sıcak Hava Dalgası İndisi (HWI)

Referans dönemi günlük maksimum sıcaklıklarından Türkiye’deki her grid noktası için elde edilmiş 90. persantil (eşik) değerleri kullanılarak gelecek dönem HWI değişimlerine bakılmıştır. Buna göre, sıcak hava dalgalarını temsil eden HWI indisinin 1971-2000 referans periyodundaki alansal dağılımı Şekil 2.14-a ile gösterilirken referans dönemine göre değişimleri RCP4.5 ve RCP8.5 emisyon senaryoları için sırasıyla Şekil 2.14-b ve Şekil 2.14-c ile verilmektedir.

Otuz yıllık referans periyodu boyunca sıcak hava dalga sayısı özellikle Türkiye’nin doğusunda yersel farklılık göstermemektedir. Türkiye genelinde gözlenen sıcak hava dalgalarının ortalama sayısı yaklaşık 5 iken Türkiye’nin kuzeybatısında 5’in üzerine çıkmaktadır. Bununla birlikte, Akdeniz ve İç Anadolu bölgelerinde de yer yer 5’in üzerinde sıcak hava dalgası görülmektedir (Şekil 2.14-a). En kısa sıcak hava dalgasının 3 gün sürdüğü göz önüne alınırsa referans döneminde bir yılın minimum 15 günü, eşik değeri üzerinde maksimum sıcaklıklara maruz kalındığının göstergesidir.

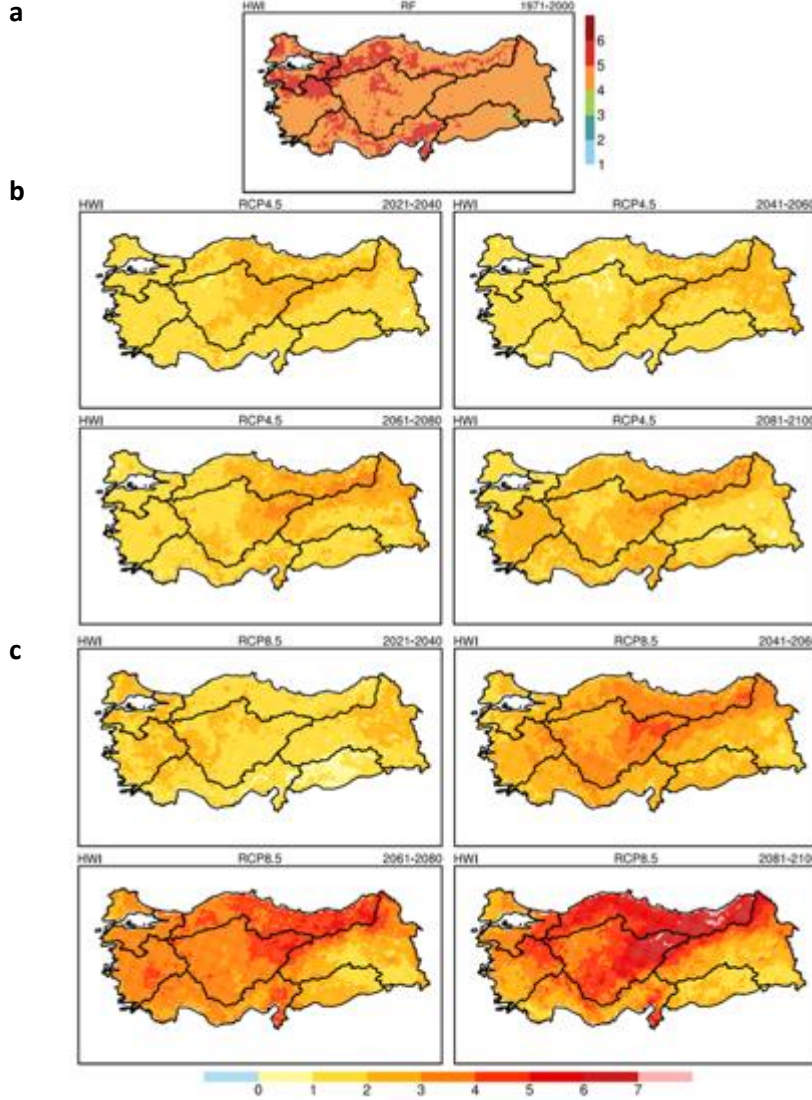




Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

Hem RCP4.5 hem de RCP8.5 emisyon senaryosu en fazla değişim için zaman olarak 21. yüzyılın son 20-yıllık periyodunu, yer olarak ise Karadeniz Bölgesi’nin Doğu Karadeniz Bölümü’nü ve Sivas’ı işaret etmektedir. Referans dönemi ile kıyaslandığında bu bölgede RCP8.5 senaryosu, RCP4.5 senaryosuna göre yaklaşık 2 katı değişim ortaya koymakta, böylece 2081-2100 periyodunda sıcak hava dalga sayısı neredeyse 7’ye ulaşmaktadır.



Şekil 2.14 Referans Dönemi Sıcak Hava Dalgası İndisi (Olay Sayısı) (a) ve RCP4.5 Senaryosu (b) ile RCP8.5 Senaryosu (c) için Projeksiyon Dönemindeki Değişimler

Sonuç olarak, referans dönemindeki değerler de dahil edildiğinde, her yılın en az bir ayı aşırı sıcaklıklara maruz kalınacağı anlamı taşımaktadır. Diğer yandan, her iki emisyon senaryosu da 2021-2040 dönemi için sıcak hava dalga sayısının Türkiye genelinde 6’nın üzerine çıkacağını ve böylece en az değişimin bu periyotta yaşanacağını öngörmektedir. RCP4.5 senaryosuna göre 2041-2060 yıllarındaki değişim, bir önceki ve bir sonraki dönemle hemen hemen paralellik göstermekte ve Türkiye ortalamalarında büyük bir farklılık beklenmemektedir. RCP8.5 senaryosu ise yüzyılın başından sonuna doğru giderek artan ve 2041-2060



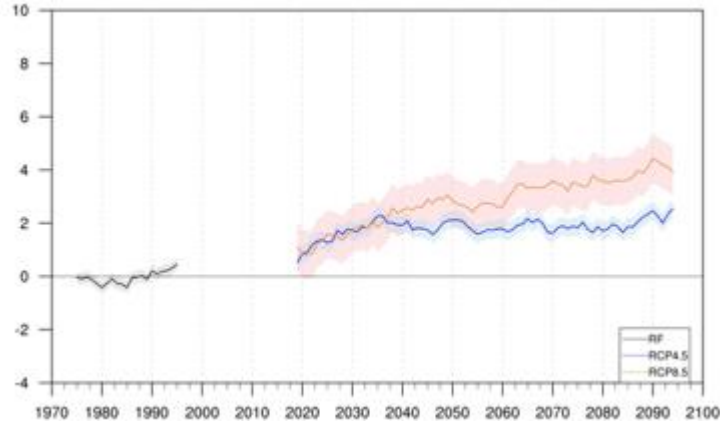


Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

#### Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

döneminden sonra 8'in üzerine çıkan sıcak hava dalga sayısı öngörmektedir. Bu son iki periyotta ortak olarak HWI değişiminden en çok etkilenecek alanların Karadeniz Bölgesi ile Sivas, Osmaniye ve Hatay illerinin olacağı tahmin edilmektedir.

Şekil 2.15 ile Türkiye için elde edilen HWI indisinin 1971-2000 referans dönemi ortalamasının referans ve projeksiyon periyodundaki yıllardan farkı 10 yıllık kayan ortalamalar ile verilmektedir. 1970'lerin başından itibaren sıfır çizgisi etrafında salınan HWI, 1980'li yılların ortasında yükselişe geçmiş ve 1990'lara gelmeden referans dönemi ortalamasının üzerine çıkmıştır. Gelecek projeksiyonlarında ise Şekil 2.14'de görülen iki emisyon senaryosu arasındaki fark, Şekil 2.15'de de ön plana çıkmaktadır. Emisyon senaryoları baz alındığında, sıcak hava dalga sayısının benzer şekilde 2035 yılına kadar giderek artması ve referans dönemine göre farkın 2035 civarında 2'nin üzerine çıkması beklenmektedir. Bu durumda, her iki senaryo da en az 6 gün daha fazla ekstrem sıcaklık yaşanacağını işaret etmektedir. 2035 yılından sonra sıcak hava dalga sayısındaki değişim RCP4.5 senaryosunda ortalama 2 ile sabit bir şekilde ilerlerken RCP8.5'te ivmelenerek 2090 yılında 4 ile pik yapmaktadır. Bir bakıma RCP4.5 yerine RCP8.5 senaryosu izlendiği takdirde yüzyıl sonuna doğru yılda en az 6 gün daha fazla ekstrem sıcaklıklara maruz kalınacağı tahmin edilmektedir.



**Şekil 2.15 HWI İndisinin Referans Dönemi ve RCP4.5 ile RCP8.5 Senaryolarına Göre Gelecek Projeksiyonları Anomalileri**

### 2.3.4 Kanada Yangın Hava İndisi (FWI)

Türkiye için 1981-2000 referans dönemi ve RCP4.5 senaryosuna göre hesaplanan FWI indisi dönemsel ortalamaları, yangın riski olan günlerin frekansı ve yangın riski derecesine göre yıllık ortalama gün sayıları Şekil 2.16 ile gösterilmektedir.

Şekil 2.16-a, ülke genelinde FWI indisinin dönemsel ortalamalarını vermektedir. Buna göre, referans döneminde de olduğu gibi, FWI ortalama değerlerinin Karadeniz Bölgesi hariç tüm bölgelerde ve bütün projeksiyon periyotlarında 15'in üzerinde olacağı tahmin edilmektedir. Karadeniz Bölgesi'nde 1981-2000 yıllarında FWI değerleri 5-15 arasında kalmıştır ve bu değerlerin alansal olarak da gelecek yıllarda değişmesi beklenmemektedir. Referans döneminde en yüksek FWI, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin genel olarak güneyinde



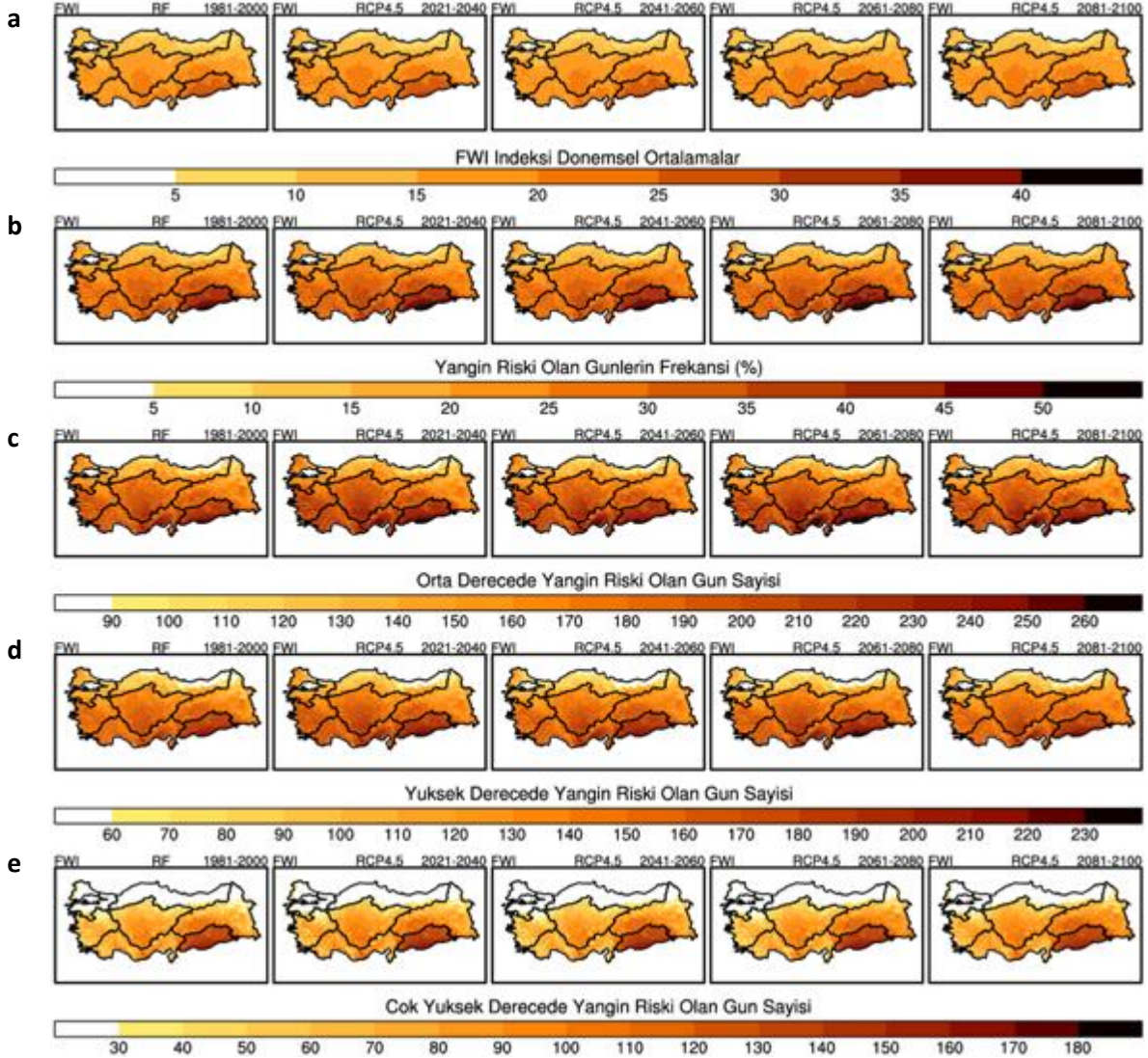




Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

### Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

gözlenmiştir. 25’i aşan bu değerlerin gelecek yıllarda, özellikle 2061-2080 periyodunda, bölgenin tamamına yayılacağı öngörülmektedir. Bu da 21. yy sonuna doğru en fazla yangın riskinin Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde ve yüksek derecede olacağını işaret etmektedir.



**Şekil 2.16 FWI İndisi RCP4.5 Senaryosuna Göre Dönemsel Ortalamaları (a), Yangın Riski Olan Günlerin Frekansı (b) ve Sırasıyla Orta (c) Yüksek (d) Çok Yüksek (e) Yangın Riski Olan Gün Sayıları**

Yangın riski olan günlerin frekansını veren Şekil 2.16-b’de görüldüğü gibi referans dönemine göre en az değişim, 2041-2060 periyodunda özellikle İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde beklenmektedir. Türkiye’nin kuzeyinde yer alan Marmara ve Karadeniz Bölgelerinde ise yangın riski olan günlerin frekansının gelecek yıllarda sabit kalması öngörülmektedir. Öte yandan, 1981-2000 yıllarında Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nin güney kesiminde %45’in üzerinde olan riskli günlerin frekansının yüzyıl sonuna doğru, en çok 2061-2080 periyodunda, bölgenin kuzeyine doğru genişleyeceği tahmin edilmektedir. Orta derecede yangın riski olan günlerin sayısının gösterildiği Şekil 2.16-c’den, referans periyoduna



Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

#### Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

kıyasla en fazla artışın Akdeniz Bölgesi’nde yer alan Mersin ile Adana illerinde ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nin güneyinde gerçekleşeceği anlaşılmaktadır. Orta derecede riskli yangınların 260 günleri aşması beklenen bu yerlerde alansal olarak en çok değişim son iki projeksiyon periyodunda öngörülmekte ve böylece yangın sezonunun uzayacağı tahmin edilmektedir.

Şekil 2.16-d ile verilen yüksek derecede yangın riski olan gün sayısına bakıldığında, referans döneminde Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde 160 üzerinde olan yüksek derecede riskli günler, gelecek yıllarda en az 10 gün kadar artmakta ve 2061-2080 periyodunda yer yer 230 günlere kadar ulaşmaktadır. En çok artışın beklediği diğer bölgeler Akdeniz Bölgesi’nin Adana Bölümü ile İç Anadolu Bölgesi’nin Konya Bölümü’dür. Şekil 2.16-e’ye bakıldığında, diğer yangın riski derecelerinde olduğu gibi çok yüksek derece riskli olan günler referans döneminde en az Karadeniz ve Marmara Bölgesi’nde görülmektedir. Referans periyodunda bu bölgelerde 30’un altında olan çok riskli günler, gelecek bütün projeksiyon dönemlerinde benzer durum sergilemektedir. Çok riskli günlere en fazla maruz kalan bölge ise 130 günlerle yine Güneydoğu Anadolu Bölgesi’dir.

FWI indisinin Türkiye için hesaplanan 1981-2000 referans dönemi ve RCP8.5 senaryosuna göre elde edilen gelecek dönem ortalamaları, yangın riski olan günlerin frekansı ve yangın riski derecesine göre yıllık ortalama gün sayılarına ilişkin sonuçlar Şekil 2.17 ile sunulmuştur. Türkiye genelinde FWI indisinin dönemsel ortalamaları Şekil 2.17-a’da gösterilmektedir. FWI ortalama değerlerinin referans döneminde olduğu gibi gelecek yıllarda da 15’in altında kalması beklenmektedir. Benzer duruma Marmara Bölgesi’nde de rastlanmaktadır ve 21.yy sonuna doğru bu bölgelerdeki ortalama değerler 21’in üzerine çıkmayacağı için yangın riskinin yüksek derecede olmayacağı tahmin edilmektedir. 1981-2000 yıllarında en yüksek FWI indisi, 25’i aşan değerlerle Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nin genel olarak güneyinde gözlenmiştir. RCP4.5 senaryosunda olduğu gibi bu değerlerin gelecek yıllarda bölgenin tamamına yayılacağı öngörülmektedir. Ancak RCP4.5’ten farklı olarak hem 2061-2080 hem de 2081-2100 periyotlarında Şanlıurfa civarında FWI değerlerinin 30’un üzerine çıkması beklenmektedir. Bu da 21.yy sonuna doğru en fazla yangın riskinin Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde ve yüksek derecede olacağını işaret etmektedir. Ayrıca, Ege, İç Anadolu ve Akdeniz bölgelerinde yer yer gözlenen 20-25 arasındaki FWI indisinin, 2061-2080 döneminden itibaren bölgelerin neredeyse tamamına yayılacağı tahmin edilmektedir. Böylece, bu bölgeler orta dereceden yüksek derece riskli yangın sınıfına geçiş yapacaktır.

Şekil 2.17-b’deki yangın riski olan günlerin frekansına bakıldığında, referans dönemine göre en az değişimin Karadeniz Bölgesi’nde ve Marmara Bölgesi’nin batısında olacağı öngörülmektedir. Bu bölgelerin haricindeki yerlerde, RCP4.5 senaryosunun aksine, referans döneminde %25’in üzerinde olan riskli günlerin frekansının gelecek yıllarda giderek artması ve alansal olarak daha fazla yer kaplaması beklenmektedir.

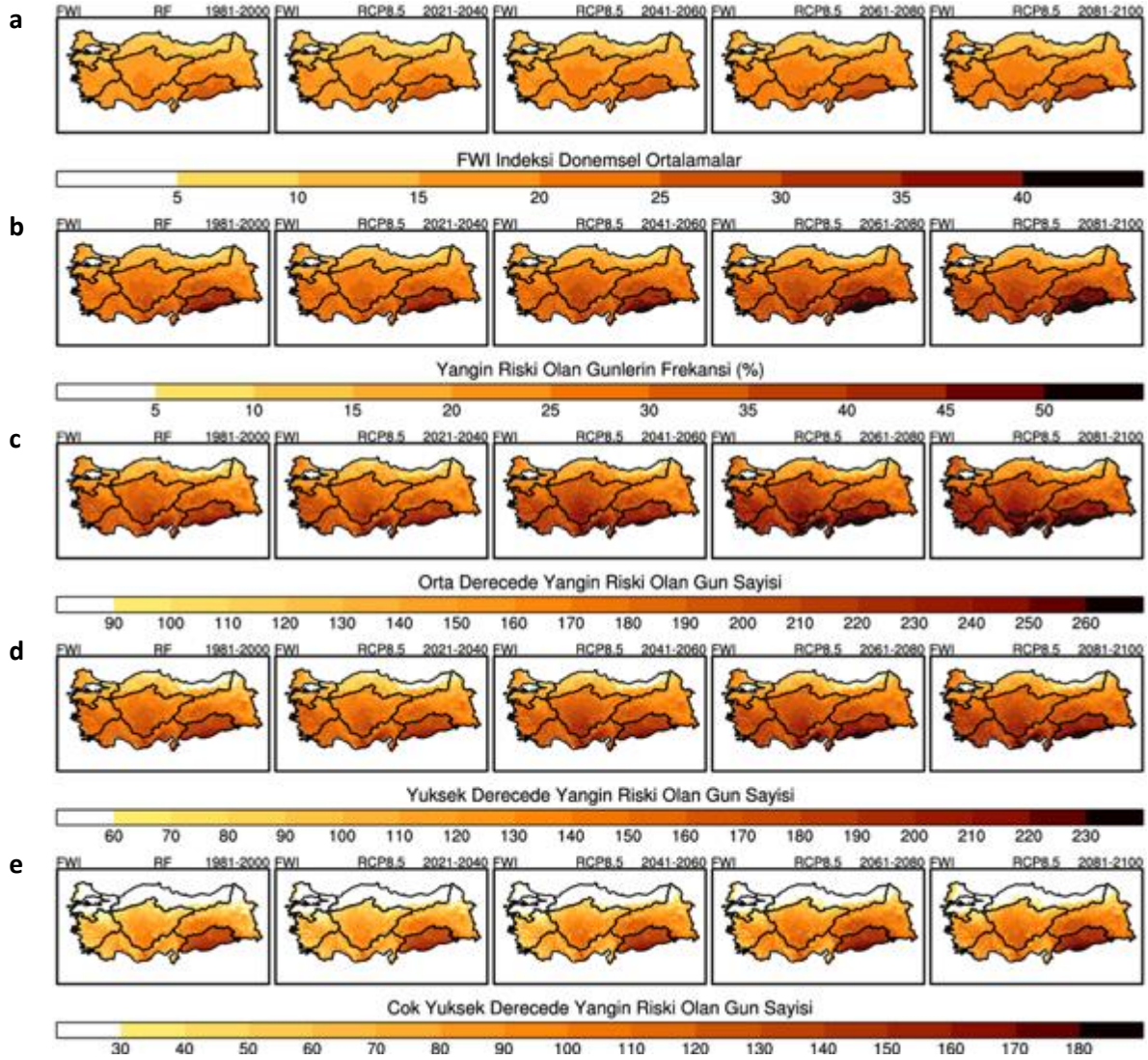






Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

### Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi



**Şekil 2.17 FWI İndisi RCP8.5 Senaryosuna Göre Dönemsel Ortalamaları (a), Yangın Riski Olan Günlerin Frekansı (b) ve Sırasıyla Orta (c) Yüksek (d) Çok Yüksek (e) Yangın Riski Olan Gün Sayıları**

Orta derecede yangın riski olan günlerin sayısının verildiği Şekil 2.17-c’den, referans periyoduna kıyasla en fazla artışın Akdeniz Bölgesi’nde yer alan Mersin, Adana illeri ile Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nin güneyinde ve RCP4.5 senaryosuna ek olarak, İç Anadolu Bölgesi’nde bulunan Karaman şehrinde gerçekleşeceği anlaşılmaktadır. Orta derecede riskli yangınların 260 günleri aşması beklenen bu yerlerde alansal olarak en çok değişim son iki projeksiyon periyodunda öngörülmekte ve bu da yangın sezonunun uzayacağını işaret etmektedir. Benzer şekilde, Ege, İç Anadolu ve Akdeniz bölgeleriyle Doğu Anadolu’nun batısında orta derecede riskli günlerin 210’ların üzerine çıkması öngörülmektedir. Diğer taraftan, günümüz koşullarında olduğu gibi gelecek yıllarda da orta derecede yangın riskine sahip günler en az Karadeniz Bölgesi’nde simüle edilmektedir.





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

### Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

Şekil 2.17-d ile gösterilen yüksek derecede yangın riski olan günlerin sayısına bakıldığında, referans döneminde Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde 170 üzerinde olan gün sayısı, gelecek periyotlarda en az 10 gün kadar artmakta ve hem 2061-2080 hem de 2081-2100 periyotlarında yer yer 230 günlere kadar ulaşmaktadır. RCP4.5 senaryosunda olduğu gibi, en çok artışın beklendiği diğer bölgeler Akdeniz Bölgesi’nin Adana Bölümü ile İç Anadolu Bölgesi’nin Konya Bölümü’dür. Şekil 2.17-e ele alındığında, diğer yangın riski derecelerinde ve RCP4.5 senaryosunda olduğu gibi, çok yüksek derece riskli olan günler referans döneminde en az Karadeniz ve Marmara Bölgesi’nde görülmektedir. Referans periyodunda bu bölgelerde 30’un altında olan çok riskli günler, gelecek bütün projeksiyon dönemlerinde Karadeniz’in güneydoğusu hariç benzer durum sergilemektedir. Çok riskli günlere en fazla maruz kalan bölge ise 130 günlerle yine Güneydoğu Anadolu Bölgesi’dir ve yüzyıl sonuna doğru en az 20 günlük artış yaşanması beklenmemektedir. Buna ek olarak, referans dönemine kıyasla Ege, İç Anadolu, Akdeniz ve Doğu Anadolu bölgelerindeki en belirgin değişimin özellikle yüzyıl sonuna doğru 2061-2080 ve 2081-2100 dönemlerinde gerçekleşeceği tahmin edilmektedir.

Referans dönemi, RCP4.5 ve RCP8.5 senaryosuna göre Konya şehri için hesaplanan FWI indisinin anomalileri 10 yıllık kayan ortalamalarla Şekil 2.18’de gösterilmiştir. Türkiye genelinde 1985 yıllarda yangın riskinin referans dönemine kıyasla daha yüksek olduğu, ancak bu riskin 1990-1993 yılları arasında önce düşüşe sonra da 2000’lere doğru artışa geçtiği görülmektedir. RCP4.5 senaryosuna göre hesaplanan FWI anomalileri 2040 yılına kadar RCP8.5 senaryosundan daha yüksek değerler ortaya koymasına rağmen her iki emisyon senaryosu da fazla değişim göstermemektedir. Ancak 2040 yılından sonra iki emisyon senaryosu arasındaki fark açılmaya başlamaktadır. Bu yıldan sonra FWI indisindeki değişim RCP4.5 senaryosunda ortalama 1 ile sabit bir şekilde ilerlerken RCP8.5’te ivmelenerek 2070 yılında 3 ile pik yapmaktadır. Benzer şekilde RCP4.5 senaryosu altında FWI, referans periyodu ile kıyaslandığında 2080 gibi anomali değerinin 1,5 ile maksimuma ulaşması; ancak sonrasında düşüşe geçerek son 10 yıllık periyotta sıfır civarına yaklaşması beklenmektedir. Böylece yüzyıl sonuna doğru RCP4.5 yerine RCP8.5 senaryosu izlendiği takdirde FWI indisinin 1,5 kat artacağı tahmin edilmektedir. Ayrıca, değişkenlik olarak bir standart sapma ile verilen belirsizlik aralığı RCP8.5 senaryosunda RCP4.5 senaryosuna göre daha fazladır.



Şekil 2.18 FWI İndisinin Referans Dönemi ve RCP4.5 ile RCP8.5 Senaryolarına Göre Gelecek Projeksiyonları Anomalileri





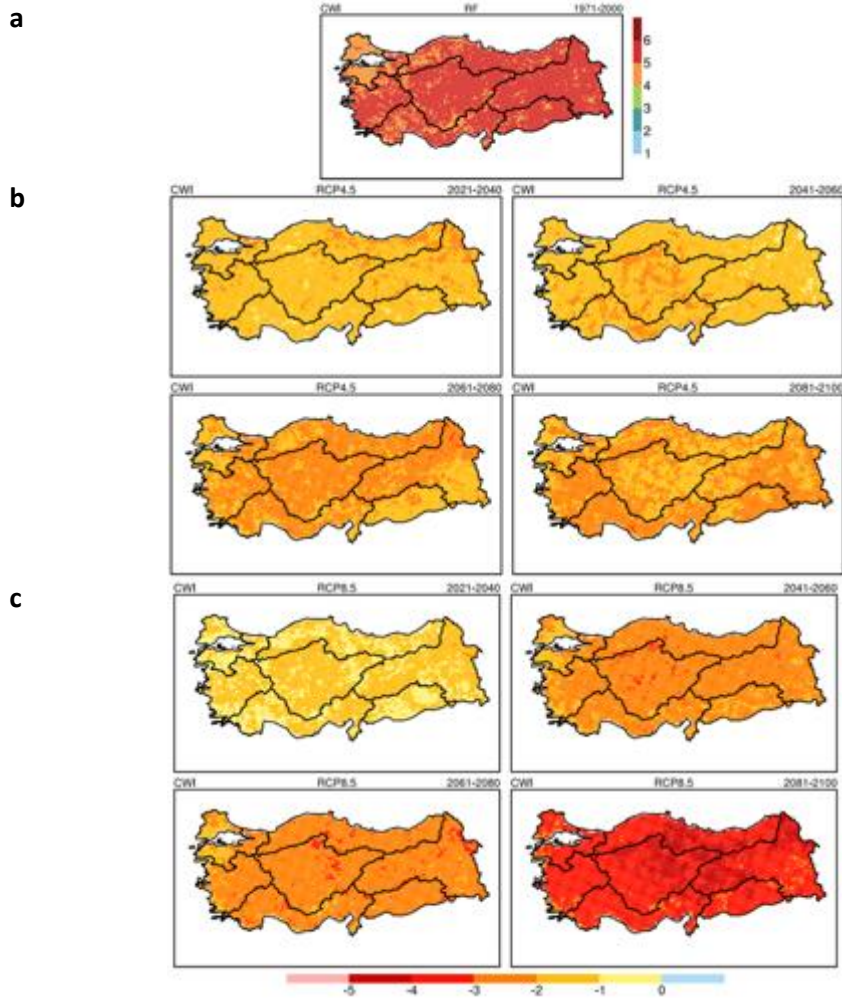
Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

### Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

#### 2.3.5 Soğuk Hava Dalgası İndisi (CWI)

Referans dönemi günlük minimum sıcaklıklarından Türkiye’deki her grid noktası için elde edilmiş 10. persantil (eşik) değerleri kullanılarak gelecek dönem CWI değişimleri incelenmiştir. Buna göre, referans dönemine ait CWI soğuk hava dalgası indisi ortalamasının Türkiye üzerindeki dağılımı Şekil 2.19-a ile verilmiştir. CWI’nin referans dönemine kıyasla RCP4.5 ve RCP8.5 gelecek projeksiyonları altında dört farklı periyoda ait değişimleri ise Şekil 2.19-b ve Şekil 2.19-c ile sırasıyla gösterilmektedir.

Şekil 2.19-a’da görüldüğü üzere, 1971-2000 yıllarında soğuk hava dalgalarının sayısı Türkiye’de genellikle 5 civarındadır fakat Marmara Bölgesi’nde bu değerın altında kalmaktadır. En kısa soğuk hava dalgasının 3 gün sürdüğü göz önüne alındığında, otuz yıllık referans periyodu boyunca Türkiye genelinde bir yılın en az 15 günü, Marmara Bölgesi’nde ise en az 12 günü 10. persantil değerinin altında kalan sıcaklıklar yaşandığını işaret etmektedir.



Şekil 2.19 Referans Dönemi CWI Soğuk Hava Dalgası İndisi (Olay Sayısı) (a) RCP4.5 Senaryosu (b) ile RCP8.5 Senaryosu (c) için Projeksiyon Dönemindeki Değişimler





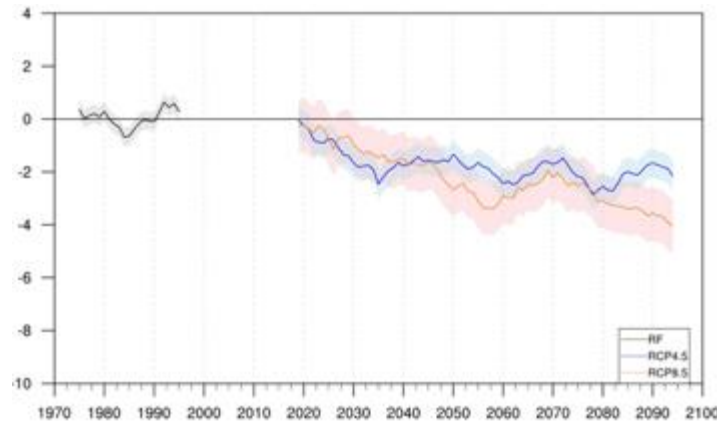


Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

### Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

Gelecek projeksiyonlarının referans dönemine göre değişimleri her iki senaryo için farklılık göstermektedir. İlk iki dönem boyunca RCP4.5 senaryosunda benzer değişimler beklenirken RCP8.5 senaryosunda değişim iki katına çıkmaktadır. Böylece 2041-2060 periyodunda RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları altında soğuk hava dalga sayısının referansa göre sırasıyla 1 (Şekil 2.19-b) ve 2 (Şekil 2.19-c) civarında azalacağı tahmin edilmektedir. RCP4.5 senaryosunda ilk iki dönemin Türkiye genelinde benzerlik göstermesi gibi kötümser senaryo altında ikinci (2041-2060) ve üçüncü (2061-2080) projeksiyon periyotları benzer değişimler ortaya koymaktadır. Öte yandan, 2061-2080 yıllarında her iki senaryonun referans dönemine göre değişimleri en az 6 gün azalma gösterse de RCP4.5 senaryosunda Türkiye'nin güneydoğusundaki değişimin bu miktarın altında kalması beklenmektedir. Emisyon senaryoları karşılaştırıldığında RCP8.5 senaryosundaki değişimin RCP4.5 senaryosuna göre daha fazla olacağı ve ilk projeksiyon döneminden itibaren giderek azalacağı öngörülmektedir. RCP8.5 senaryosunda, yüzyıl sonuna doğru yılda en az 15 gün eşik değerin altında görülen sıcaklıkların 21. yy sonunda en az 3 günlere düşmesi beklenmektedir.

Türkiye için soğuk hava dalgası indisi CWI'nin referans dönemi ortalamasının kendi döneminden ve gelecek projeksiyonlarından farkı anomaliler bazında 10 yıllık kayan ortalamalar ile Şekil 2.20'da gösterilmektedir. Referans dönemi başlarında değişim ortaya koymayan CWI, 1980'li yıllarda düşüşe geçerek 1985 yılı civarında neredeyse -1'e ulaşmıştır. Bu yıldan sonra artma eğilimi göstererek 1992 yılında pik yapmıştır ve günümüze yaklaştığımızda ise, CWI anomalileri sıfırın üzerinde kalsa da artış eğiliminde değildir. Gelecek projeksiyonlarına bakıldığında her iki senaryonun da negatif yönde bir değişim sergileyeceği tahmin edilmektedir. 2030'lu yılların sonuna kadar RCP4.5 senaryosu daha fazla azalma eğiliminde olmasına rağmen 2040'lardan sonra RCP8.5 senaryosunun daha şiddetli bir azalma eğiliminde olacağı öngörülmektedir. Aynı zamanda, değişkenlik olarak bir standart sapma ile verilen belirsizlik aralığı RCP8.5 senaryosunda RCP4.5 senaryosuna göre daha fazladır. RCP8.5 senaryosuna göre, 21. yy sonuna doğru soğuk hava dalga sayısında şiddetli azalmaların olacağı ve referans dönemine kıyasla en az 12 gün daha az eşik değerin altında kalan sıcaklıkların yaşanacağı öngörülmektedir.



Şekil 2.20 CWI İndisinin Referans Dönemi ve RCP4.5 ile RCP8.5 Senaryolarına Göre Gelecek Projeksiyonları Anomalileri



T.C. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE  
İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI



42





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

### 2.3.6 Aşırı Rüzgârlı Günler İndisi (W98)

Çalışma kapsamında aşırı rüzgârlı günleri belirlemek için, referans dönemi günlük maksimum rüzgârların Türkiye’deki her bir grid noktası için elde edilen %98’lik dilimindeki eşik değerleri elde edilmiş olup, daha sonra gelecek dönem için W98 değişimleri incelenmiştir. Öncelikle referans dönemi için günlük maksimum rüzgârların 98. Persantil değerli m/s birimiyle Şekil 2.21-a ile gösterilmektedir. RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları için W98 aşırı rüzgârlı günler indisinin referans dönemine göre dört farklı gelecek periyodundaki değişimi ise sırasıyla Şekil 2.21-b ve Şekil 2.21-c ile gösterilmektedir.

Referans döneminde Türkiye üzerinde gözlemlenen aşırı rüzgârlar için eşik değerleri ortalama olarak 5,5 m/s’dir. Ege kıyıları, Marmara Bölgesi ve İç Anadolu’nun güneyinde 98. persantil değerleri yaklaşık olarak 9 m/s iken Artvin ili ve çevresinde 2 m/s olarak belirlenmektedir. En yüksek eşik değerleri ise 13-14 m/s ile Eceabat, Ayvalık, Çeşme ve Karaburun ilçelerinde görülmektedir. Türkiye’nin geri kalan kısımlarında ise 98. persantil eşik değerleri yaklaşık olarak 5 m/s civarındadır (Şekil 2.21-a).

Gelecek projeksiyonlarının referans dönemi ile farklarında her iki emisyon senaryosu için özellikle Doğu Anadolu Bölgesi’nde ve Akdeniz Bölgesi’nin orta kesimlerinde aşırı rüzgârlı gün sayısında azalma, Marmara ve Ege Bölgeleri’nde ise artış öngörülmektedir. 2021-2040 gelecek periyodunda RCP8.5 senaryosu için ülke genelinde beklenen aşırı rüzgârlı günlerin sayısının RCP4.5 senaryosuna göre daha fazla olması tahmin edilmektedir. W98 indisine göre 2021-2040 döneminde RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre aşırı rüzgârlı günlerin sayısındaki artışın en fazla Marmara Bölgesi’nde, yaklaşık 2-3 gün civarında olması beklenmektedir. Benzer şekilde, Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde özellikle Batman ve Gaziantep yakınlarında, Akdeniz Bölgesi’nde de Adana ve Antakya çevresinde aşırı rüzgârlı günlerin sayısında 3 gün civarında bir artış öngörülmektedir. RCP4.5 senaryosuna göre Karadeniz ve Ege Bölgeleri’nde aşırı rüzgârlı gün sayısında çok büyük bir değişim beklenmezken, RCP8.5 senaryosuna göre aynı bölgelerde 2-3 güne varan artışların olacağı tahmin edilmektedir. 2041-2060 döneminde Marmara, Ege ve Orta Karadeniz Bölgeleri’nde her iki senaryo için de aşırı rüzgârlı günlerin sayısının yükseleceği öngörülmektedir. W98 indisi için öngörülen artış değerleri RCP8.5 senaryosunda, RCP4.5 senaryosuna kıyasla 1-2 gün daha yüksektir. 2061-2080 döneminde RCP4.5 senaryosuna göre, bir önceki döneme benzer bir değişimin olması beklenmektedir. En yüksek artışın 2-4 gün seviyesinde olacağı tahmin edilmektedir. Bu dönemde en fazla azalma Akdeniz Bölgesi’nde olması beklenmektedir.

Son iki projeksiyon döneminde RCP8.5 ile RCP4.5 senaryoları arasında bölgesel olarak benzerlikler olmasıyla beraber değişim RCP8.5 senaryosunda daha büyüktür. Kötümser senaryoya göre en yüksek artış değerlerinin 4 günü geçerek Güney Marmara ve Marmara Denizi kıyılarında, Bergama-Soma ilçeleri çevresinde, Kırıkkale’de ve Giresun-Trabzon kıyı kesimlerinde olması beklenmektedir. Diğer taraftan, Antalya’nın doğusunda ve Toroslarda, Malatya-Kahramanmaraş-Adıyaman illeri çevresinde, Bingöl, Muş, Bitlis, Hakkâri ve Van’da aşırı rüzgârlı günlerde 5 günden fazla azalma olacağı tahmin edilmektedir. 2081-2100



T.C. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI



43



iklime uyum

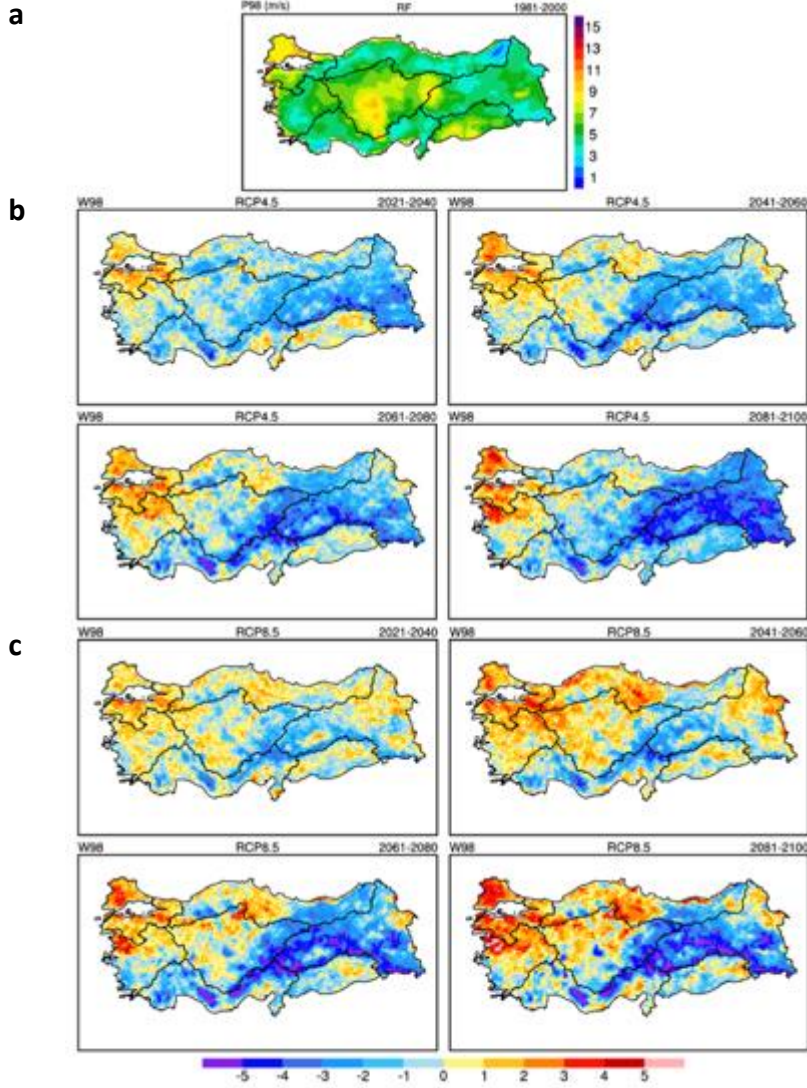




Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

### Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

döneminde artış değerlerinin özellikle Orta Karadeniz, Kütahya ve Adana-Osmaniye’de 3 güne ulaşabileceği öngörülmüşken, bu değerlerin İç Anadolu Bölgesi ve Batı Karadeniz Bölgesi’nin büyük bir bölümünde 1-2 gün arasında olması beklenmektedir.



**Şekil 2.21 Referans Dönemi Maksimum Rüzgarların 90.Persantil Değerleri (m/s) (a) RCP4.5 Senaryosu (b) ile RCP8.5 Senaryosu (c) için W98 (gün) Aşırı Rüzgârlı Günler İndisinin Projeksiyon Dönemindeki Değişimleri**

Şekil 2.22 ile Türkiye için aşırı rüzgârlı günler indisi W98’in referans dönemi ortalamasının kendi döneminden ve gelecek projeksiyonlarından farkı anomaliler olarak 10 yıllık kayan ortalamalar şeklinde gösterilmektedir. 1981-2000 yılları arası referans döneminin başında artışa geçen W98, 1989 yılı civarında neredeyse +1 anomali değerine ulaşmış ve hemen ardından hızla düşüşe geçmiştir. RCP4.5 ve RCP8.5 gelecek senaryolarına göre anomalilerin benzer davranış sergileyecekleri ve gelecek periyodu genelinde RCP8.5 senaryosuna göre anomalilerin negatif yönde daha şiddetli olacağı öngörülmektedir. 2030’lu yıllara kadar negatif yönde eğilim gösteren her iki senaryonun 2040’lara kadar artan eğilimde olacağı

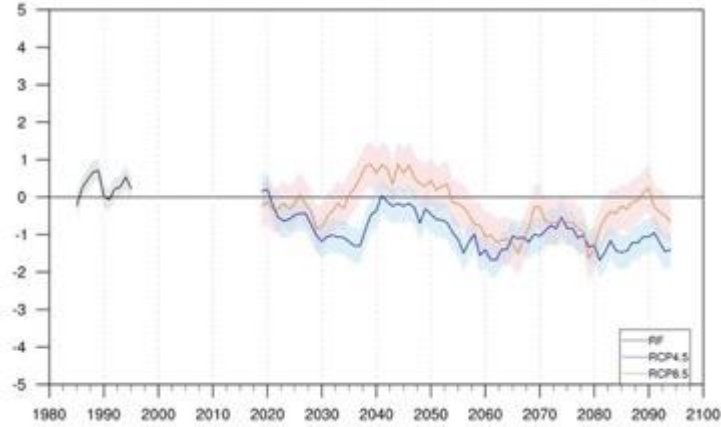




Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

## Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

tahmin edilmektedir. 2060’lı yıllara kadar yine azalma eğiliminde olacağı tahmin edilen aşırı rüzgârlı günler indisinin yüzyılın sonuna doğru  $\pm 1$  değerlerle salınım yapacağı öngörülmektedir. Her iki senaryo için de 2040’lı yıllarda beklenen artışın dışında aşırı rüzgârlı günler için gelecek dönem sonunda referans dönemine göre azalmanın 2 gün daha az olacağı öngörülmektedir.

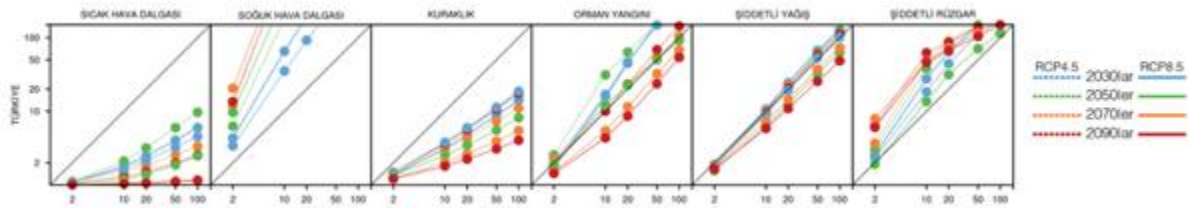


Şekil 2.22 W98 İndisinin Referans Dönemi ve RCP4.5 ile RCP8.5 Senaryolarına Göre Gelecek Projeksiyonları Anomalileri

## 2.4 Çoklu Tehlike Analizleri

### 2.4.1 Dönüş Periyotları (DP)

Çalışma kapsamında çoklu tehlike analizleri için ilk adım olan, dönüş periyotları hesaplanmıştır. Bu doğrultuda, günümüzde 2, 10, 20, 50 ve 100 yıllık dönüş periyotlarında meydana gelen ekstrem olayların, gelecekte hangi sıklıkta meydana geleceği belirlenmiştir. Türkiye genelinde meydana gelen ekstrem iklim hadiselerinin günümüz ve gelecekteki frekans değerleri Şekil 2.23 ile sunulmuştur.



Şekil 2.23 Türkiye’de Ekstrem İklim Hadiselerinin Görülme Sıklığındaki Değişimler

Şekilde x eksenini referans dönemi dönüş periyotlarını, y eksenini ise gelecek dönem dönüş periyotlarını ifade etmektedir. Türkiye geneli için ekstrem iklim olaylarının gelecek projeksiyonlarındaki frekansı referans dönemine kıyasla değerlendirilmiştir. Burada sıklığı artan (azalan) tehlike oluşumları, açıortayın altındaki (üzerindeki) çizgilerle gösterilmektedir. 2030’lar mavi, 2050’ler yeşil, 2070’ler turuncu ve 2090’lar kırmızı olmak üzere kesikli çizgiler RCP4.5 senaryosu ve düz çizgiler ise RCP8.5 senaryosu projeksiyon dönemlerini ifade etmektedir.





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

### Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

Türkiye genelinde sıcak hava dalgalarının görülme sıklığı, gelecek projeksiyonlarında artış göstermektedir. Referans döneminde 2 yılda bir görülen sıcak hava dalgalarının her iki senaryoya göre de gelecekte her yıl görülmesi beklenmektedir. Sıcak hava dalgalarındaki en dramatik artışın RCP8.5 senaryosunun 2090'lar döneminde görüleceği tahmin edilmektedir. RCP8.5 senaryosuna göre, referans döneminde 10 yılda bir görülen sıcak hava dalgalarının yüzyıl sonuna kadar yılda bir görülmesi beklenmekte iken; 100 yılda bir görülen sıcak hava dalgalarının 2050'lere doğru 2-3, 2100'e doğru ise yılda bir görüleceği tahmin edilmektedir. Sıcak hava dalgaları gelecek projeksiyonlarına göre neredeyse her yıl görülmesi beklenen bir tehlike olarak belirlenmektedir.

Sıcak hava dalgaların aksine, soğuk hava dalgalarının frekansında ise ülke genelinde tüm dönemlerde azalma eğilimi öngörülmektedir. Referans döneminde 2 yılda bir görülen soğuk hava dalgalarının RCP4.5 senaryosuna göre 2050'lere doğru 6 yılda bir, 2070'lere doğru ise 12 yılda bir olacağı; RCP8.5 senaryosuna göre 2050'lere doğru 9-10 yılda bir, 2070'lere doğru 20-21 yılda bir gerçekleşeceği tahmin edilmektedir. Referans döneminde 100 yıllık dönüş periyodu olan soğuk hava dalgalarının gelecekte görülme olasılığının ise oldukça düşeceği ve yüzyılın sonuna doğru neredeyse hiç yaşanmayacağı tahmin edilmektedir.

Sıcak hava dalgalarında beklenen frekans artışları kuraklık tehlikesinde daha belirgin bir şekilde görülmektedir. Bu durum, her iki emisyon senaryosu için de dramatik sonuçlar ortaya koymaktadır. Referans döneminde 2 yılda bir görülen kuraklıkların her iki senaryoya göre de gelecekte neredeyse her yıl görülmesi beklenmektedir. Yine referans döneminde 10 yılda bir görülen kuraklıkların gelecek dönemde 2-3 yılda bir, 50 yılda bir görülen kuraklıkların ise 8-10 yılda bir görülmesi beklenmektedir. Bu durum, her iki senaryoya göre de kuraklık tehlikesinin neredeyse kalıcı hale geleceğini göstermektedir.

Sıcaklık, rüzgâr, bağıl nem gibi parametrelere bağlı orman yangını tehlikesinin Türkiye üzerinde gelecek dönemlerde görülme sıklığı her iki senaryoya göre farklılık göstermektedir. RCP4.5 senaryosuna göre tüm dönüş periyotları için gelecek dönemde dönüş periyotlarının artacağı tahmin edilmektedir. RCP8.5 senaryosuna göre sonuçlar değerlendirildiğinde ise, 2050'lere kadar frekansın azalacağı ve 2050'ler itibariyle ise frekansın artacağı öngörülmektedir. Türkiye genelinde referans döneminde 10 yılda bir görülen orman yangınlarının 2050'lere kadar 17 yılda bir görülmesi beklense de, 2050'lerden yüzyıl sonuna doğru 4 yılda bir görüleceği tahmin edilmektedir. Yine aynı şekilde, 20 yılda bir görülen yangınların yüzyıl sonuna doğru 9 yılda bir; 100 yılda bir görülen yangınların ise yüzyıl sonuna doğru 54 yılda bir olacağı öngörülmektedir.

Şiddetli yağış tehlikesinin gelecek dönemlerdeki görülme sıklığı dönemsel olarak iki senaryo için zıt eğilimler sergilemektedir. Şiddetli yağışlar RCP4.5 senaryosuna göre azalma eğilimi gösterirken, RCP8.5 senaryosuna göre artış eğilimi göstermektedir. Kötümser senaryo olarak belirtilen RCP8.5 senaryosuna göre, referans döneminde 10 yılda bir görülen şiddetli yağışların yüzyıl sonuna doğru 6 yılda bir; 20 yılda bir görülen şiddetli yağışların 11 yılda bir ve 100 yılda bir görülen şiddetli yağışların ise yine yüzyıl sonuna doğru ülke genelinde 49 yılda





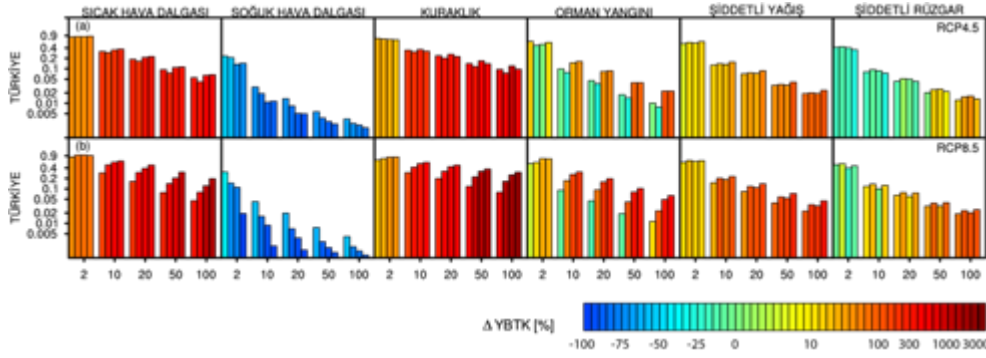
Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

#### Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

bir görüleceği tahmin edilmektedir. Ancak, Türkiye üzerindeki yağış dağılımının bölgesel olarak farklılık göstermesinden dolayı şiddetli yağışların görülme sıklıkları da bölgesel olarak değişecektir. Şiddetli rüzgâr tehlikesinin görülme sıklıklarında referans dönemine kıyasla gelecek projeksiyonlarında her iki senaryo için de azalma beklenmektedir. Referans periyodunda 10 yılda bir görülen şiddetli rüzgâr olaylarının, yüzyılın sonuna doğru RCP4.5 senaryosuna göre 63 yılda bir, RCP8.5 senaryosuna göre ise 46 yılda bir görülmesi beklenmektedir.

#### 2.4.2 Yıllık Beklenen Tehlike Kesri (YBTK)

Çalışma kapsamında çoklu tehlike analizleri için ikinci adım olan, yıllık beklenen tehlike kesirleri (YBTK) hesaplanmıştır. Daha önceki frekans analizlerini tamamlayıcı nitelikteki bu ikinci adım YBTK'lerin hem büyüklüklerini hem de referans dönemine göre gelecekte meydana gelecek yüzde değişimlerini ifade etmektedir. Her bir iklim tehlikesi için YBTK değerleri ve gelecek dönemlerdeki değişimler ülke genelinde hesaplanmıştır. Buna göre, Türkiye için YBTK ve referans periyoduna göre yüzde YBTK değişimleri Şekil 2.24 ile gösterilmiştir.



Şekil 2.24 RCP4.5 Senaryosu a) ve RCP8.5 Senaryosu b) için Yıllık Beklenen Tehlike Kesri (YBTK) Değişimleri

RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları ile elde edilmiş sonuçlar birbirleriyle daha rahat karşılaştırılabilmesi için ayrı grafikler halinde sunulmuştur. Dönüş periyotları x-ekseninde, YBTK'lerin alansal oranları ise y-ekseninde gösterilmiştir. Çubukların renkleri YBTK'lerin gelecekteki değişimlerini yüzde cinsinden ifade etmektedir. Her dönüş periyodu için gösterilmiş dört çubuk sırasıyla 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 dönemlerini ifade etmektedir.

Her iki senaryoya göre, gelecek yüzyılın sonuna kadar tüm dönemlerde 2 yıllık dönüş periyoduna sahip sıcak hava dalgalarının bölgenin yaklaşık %90'lık kısmında etkisini göstereceği tahmin edilmektedir. 100 yıllık dönüş periyoduna sahip sıcak hava dalgalarının ise bölgenin %10'luk kısmını etkisi altına alabileceği öngörülmektedir. 2, 10, 20, 50 ve 100 yıllık dönüş periyotlarına sahip sıcak hava dalgaları YBTK'lerinin projeksiyon dönemi boyunca zamanla artış göstermesi beklenmektedir. Her iki senaryoda da görülen bu frekans artışı 100 yıllık dönüş periyodu olan sıcak hava dalgası için özellikle kötümser senaryoya göre %3000'lere varan değişim göstereceği öngörülmektedir. Soğuk hava dalgaları için de hem





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

#### Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

YBTK değerlerinde hem de değişim yüzdelerinde azalma olacağı tahmin edilmektedir. Bir başka deyişle soğuk hava dalgalarının frekansında %-100'e varan değişimler meydana geleceği öngörülmektedir. Her iki senaryoya göre de 2 yıllık dönüş periyoduna sahip soğuk hava dalgalarının YBTK değişim değerlerinin tüm projeksiyon dönemi boyunca %40'ın altında kalacağı öngörülmektedir.

Kuraklığın tehlikesi YBTK değerlerinin ise, 10, 20, 50 ve 100 yıllık dönüş periyotları için zamansal olarak artış göstereceği tahmin edilmektedir. Özellikle RCP8.5 senaryosunda, 100 yıllık dönüş periyodu için YBTK değişiminin %3000'lere ulaşacağı öngörülmektedir. Orman yangınlarının YBTK'lerinde de zamanla giderek artan değişim beklenmektedir. 10, 20, 50 ve 100 yıllık dönüş periyotları olan orman yangınlarının RCP4.5 senaryosuna göre 2070'ler ve 2090'larda, RCP8.5 senaryosuna göre ise 2050'ler, 2070'ler ve 2090'larda belirgin ölçekte artışlar göstermesi öngörülmektedir. Buna ek olarak, her iki senaryoya göre bütün dönüş periyotlarında özellikle yüzyılın son iki periyodunda orman yangınlarının frekansının giderek artacağı tahmin edilmektedir.

Şiddetli yağış tehlikesinde ise özellikle RCP8.5 senaryosuna göre frekansın giderek artış göstermesi beklenmektedir. Bu etkinin gelecek dönem YBTK değişimlerinde kötümser senaryoya göre tüm dönemlerde %100 ila %300 arasında bir artışa neden olacağı öngörülmektedir. Ayrıca 2 yıllık dönüş periyodu olan şiddetli yağışların ülke genelinin yarısını maruz bırakacağı tahmin edilmektedir. Şiddetli rüzgarlara bakıldığında ise, 2 yıllık dönüş periyodu olan şiddetli rüzgarların ülke genelinin yarısından daha azında etkili olacağı ve frekansının azalacağı tahmin edilirken, 100 yıllık dönüş periyodu olan şiddetli rüzgarların frekansının giderek artış gösterip %80'lere ulaşacağı, bununla birlikte etki alanının ise ülkenin %2'sine ulaşacağı beklenmektedir.

### 2.4.3 Tehlike Değişim İndeksi (TDİ)

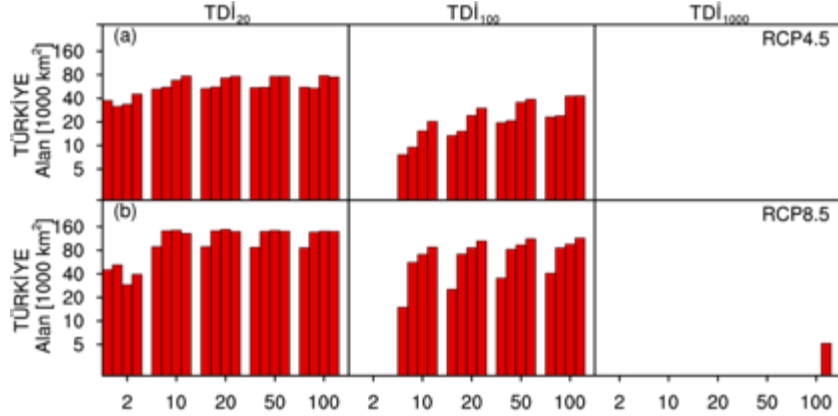
Çalışma kapsamında çoklu tehlike analizleri için üçüncü adım olan, tehlike değişim indeksi (TDİ) birden fazla tehlikeye maruziyet durumunda giderek şiddeti artan değişikliklere maruz kalan alanları belirlemek için hesaplanmıştır. TDİ, YBTK'nin gelecekteki değişiminin en az üç tehlikede %20, %100 ve %1000'in üzerinde olduğu mekânsal kapsamı göstermektedir. Örneğin; 100 yıllık dönüş periyoduna sahip en az üç tehlikenin YBTK'lerindeki görelî artışın %20'den daha büyük olduğu alan orta şiddetli tehlike değişimine maruz kalacaktır. Türkiye için hesaplanan TDİ değerleri Şekil 2.25 ile gösterilmektedir.





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

### Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi



Şekil 2.25 RCP4.5 Senaryosu a) ve RCP8.5 Senaryosu b) için Tehlike Değişim İndeksi Projeksiyonları

Dönüş periyotları x-ekseninde, tehlike etki alanı y-ekseninde gösterilmiştir.  $TDI_{20}$ ,  $TDI_{100}$  ve  $TDI_{1000}$  sırasıyla orta şiddetli, güçlü şiddetli ve aşırı şiddetli tehlike değişimini temsil etmektedir. Tehlike etki alanları her 1000 km<sup>2</sup> için hesaplanmıştır.

2 yıllık dönüş periyoduna sahip tehlikelerin gelecek dönemde iyimser senaryo olan RCP4.5 senaryosuna göre her 1000 km<sup>2</sup>'deki ortalama 40 km<sup>2</sup> alanda tehlikelerin orta şiddetli değişim göstereceği öngörülmektedir. RCP8.5 senaryosuna göre 2 yıllık dönüş periyoduna sahip tehlikelerde benzer durum öngörülmektedir. RCP4.5 senaryosuna göre, 10, 20, 50 ve 100 yıllık dönüş periyodu olan tehlikelerde orta şiddetli değişimin etkili olduğu alanların (80 km<sup>2</sup>'ye kadar) yüzyılın sonuna doğru giderek artması beklenmektedir. RCP8.5 senaryosuna göre ise, 10, 20, 50 ve 100 yıllık dönüş periyodu olan tehlikelerde orta şiddetli değişimin etkili olduğu alanların 2030'lar döneminde 80 km<sup>2</sup> civarında iken, 2050'ler, 2070'ler ve 2090'lar dönemlerinde 160 km<sup>2</sup> civarına yükseleceği öngörülmektedir. Alansal maruziyette güçlü değişimleri ifade eden  $TDI_{100}$ , 10, 20, 50 ve 100 yıllık dönüş periyoduna sahip tehlikeler için her iki senaryoda da yüzyılın sonuna doğru giderek artan bir eğilim beklenmektedir. Güçlü değişimlerin, orta şiddetli değişimlere kıyasla daha küçük bir alanda etkili olması öngörülmektedir. Her iki senaryoya göre hesaplanan  $TDI_{1000}$  değerlerine bakıldığında ise gelecek dönemde güçlü bir değişim beklenmemektedir. Yalnızca RCP8.5 senaryosuna göre 100 yıllık dönüş periyodu olan tehlikeler için 2090'lar periyodunda 5 km<sup>2</sup>'lik alanda güçlü değişim öngörülmektedir.

#### 2.4.4 Toplam Tehlike İndeksi (TTİ)

Çoklu tehlike analizleri için bir sonraki adım olarak Toplam Tehlike İndeksi (TTİ), tekli, ikili ve üçlü tehlikelerin örtüşmesiyle oluşan toplam tehlikeyi belirlemek için hesaplanmıştır. RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre Türkiye için hesaplanan Toplam Tehlike İndeksi (TTİ)'nin projeksiyon döneminde referans dönemine göre değişimleri Şekil 2.26 ile gösterilmiştir.

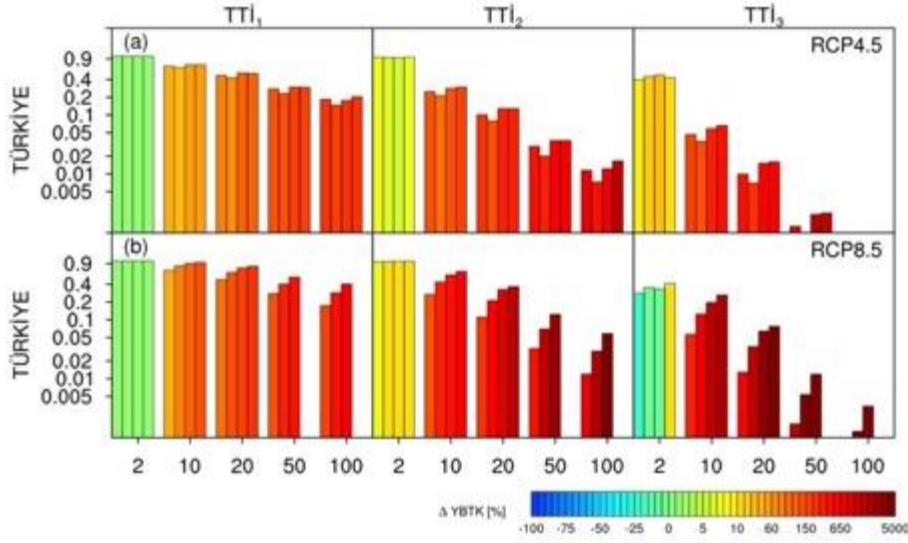






Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

### Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi



**Şekil 2.26 RCP4.5 Senaryosu a) ve RCP8.5 Senaryosu b) için Toplam Tehlike İndeksi Projeksiyonları**

Şekil üzerinde  $TTI_1$ ,  $TTI_2$  ve  $TTI_3$  olarak gösterilen toplam tehlike indeksi terimleri sırasıyla tekli, ikili ve üçlü tehlikelerin toplamını ifade etmektedir. Dönüş periyotları x-ekseninde, tehlikelerin etki alanları y-ekseninde gösterilmektedir. Çubukların renkleri, YBTK'lerin gelecekteki değişimlerini yüzde cinsinden göstermektedir. Her dönüş periyodu için gösterilmiş dört çubuk sırasıyla 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 dönemlerini ifade etmektedir.

$TTI_1$  için RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre 2 yılda bir görülen tehlikelerin Türkiye'nin yaklaşık %90'lık alanında etkili olacağı, ancak YBTK'lardaki değişimin %1 ile %7 arasında değişeceği tahmin edilmektedir. 10, 20, 50 ve 100 yılda bir görülen tekli tehlikelerin ise Türkiye üzerinde bu yüzyılın sonuna kadar ortalama %40'lık alana etki etmesi ve özellikle 100 yıllık dönüş periyoduna sahip tehlikelerin gelecekte aşamalı artışı beklenmektedir. İkili toplam tehlike indeksi ( $TTI_2$ ) için ise her iki senaryoya göre de 2 yıllık dönüş periyoduna sahip çoklu tehlikelerin Türkiye'nin %90'ında etkili olacağı ve YBTK değişiminin %11'e çıkacağı öngörülmektedir. 10, 20, 50 ve 100 yıllık dönüş periyodu olan ikili tehlikelerin ise alansal olarak etkisinin azalacağı, ancak YBTK değişiminin özellikle RCP8.5 senaryosu için %1000 ve üzerinde olacağı tahmin edilmektedir. Üçlü toplam tehlike indeksini ifade eden  $TTI_3$  için ise her iki senaryo farklı sonuçlar göstermektedir. Alansal olarak etkisinin azalacağı öngörülen  $TTI_3$ 'ün 2 yıllık dönüş periyoduna sahip çoklu tehlikeler için RCP4.5 senaryosuna göre YBTK değişimlerinin artan eğilimde olacağı öngörülen, RCP8.5 senaryosu için azalma eğiliminde olacağı tahmin edilmektedir. RCP4.5 senaryosuna göre 10, 20, 50 ve 100 yıllık dönüş periyoduna sahip çoklu tehlikelerin artan dönüş periyodu değeriyle YBTK değişimleri de artarak %1800'ler civarına çıkacağı ve alansal olarak gittikçe azalan bir etkiye sahip olacağı öngörülmektedir. RCP8.5 senaryosuna göre ise belirlenen 10, 20, 50 ve 100 yıllık dönüş periyoduna sahip çoklu tehlikelerin bu yüzyıl sonuna doğru etkisini ve şiddetini arttırarak etki alanını büyüteceği tahmin edilmektedir.



Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

### 3 SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışma ile, Türkiye genelinde iklim değişikliğine bağlı ilk ve kapsamlı çoklu tehlike risk değerlendirmesi yapılmış olup, ülke genelinde 21. yüzyıl boyunca en çok etkilenecek bölgeler tanımlanmıştır. Ayrıca bu çalışma ile, gelecek dönemde yaşanması öngörülen iklim risklerinin tespiti ile risk yönetimine önemli ölçüde katkıda bulunulması hedeflenmiştir. Proje kapsamında bu çalışmanın devamında, çoklu tehlike çalışmalarına ek olarak çok sektörlü risk değerlendirmesi yapılacaktır.

İklim projeksiyonları kullanılarak yapılan çoklu tehlike analizlerinde elde edilen değişim değerleri her ne kadar büyük bir belirsizlik içerse de gelecek dönemde meydana gelecek değişimlerin önemini vurgulamaktadır. Burada amaç, değişimin ne kadar olacağından da ziyade nasıl gelişeceğini de anlamaktır. Elde edilen tüm sonuçlar değerlendirildiğinde, Akdeniz Havzası’nda yer alan Türkiye’nin değişen iklimden büyük ölçüde etkileneceği vurgulanmaktadır.

Uzun dönem ortalamalardaki değişiklikler ve ivmelenecek artan sonuçları nedeniyle toplum ve çevreye yönelik tehlikelerin giderek artması öngörülmektedir. Birden çok iklim tehlikesine yatkın alanlarda tehditlerin daha belirgin hale gelmesi nedeniyle, iklim değişikliğine daha fazla maruz kalma potansiyeline sahip alanları belirlemek oldukça önemlidir. Bu amaçla oluşabilecek tehlikelerin yoğunluğu ve sıklığındaki olası bölgesel farklılıkları açıklayan çoklu tehlike değerlendirmesi gerekmektedir.

Bu rapor kapsamında, Faaliyet 1.1.1 altında hazırlanan, “İklim Projeksiyonlarının Analizleri ve Değerlendirmesi Raporu”nda elde edilen MPI-ESM-MR küresel iklim modelinin RCP4.5 ve RCP8.5 temsili konsantrasyon rotalarına dayanan simülasyonlarından RegCM4.3 bölgesel iklim modeli ile elde edilmiş olan 10x10km çözünürlüğe sahip iklim simülasyonları kullanılmıştır. Çalışma kapsamında, referans periyodu 1971-2000 yılları arasını temsil etmektedir. Gelecek dönem simülasyonları ise 2021-2100 yılları arasını, toplamda seksen yılı kapsamaktadır. Gelecek simülasyonları kullanılarak yapılan analizler 2030’ları temsilen 2021-2040, 2050’leri temsilen 2041-2060, 2070’leri temsilen 2061-2080 ve 2090’ları temsilen 2081-2100 olmak üzere, toplamda dört dönemde incelenmiştir.

İklim projeksiyonları kullanılarak ekstrem iklim indisleri üretilmeden önce model sonuçlarına yanlılık düzeltmesi yapılmıştır. Yanlılık düzeltmesi ortalama sıcaklık, maksimum sıcaklık ve minimum sıcaklık, toplam yağış ile maksimum ve ortalama rüzgâr hızı verilerine tüm Türkiye ölçeğinde yapılmış olup, sonuçlar 1971-2000 Referans Dönemi ile 2021-2100 Projeksiyon Dönemleri için karşılaştırılmıştır. Daha sonra düzeltilmiş parametrelerin standart sapma ve Hata Karelerinin Ortalamasının Karekökü (HKOK) analizleri yapıp, düzeltme yöntemlerinin performansları değerlendirilmiştir. Çalışmaların sonucunda, Türkiye için en uygun ve literatürde de ekstrem koşulları çalışmak için uç değerleri törpülemeyen model yanlılığını düzelten bir yöntem olarak tercih edilen Kantil Eşlemi Trikübik yöntemi seçilmiştir.





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

### Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

Daha sonra, yanlılığı düzeltilmiş simülasyonlar ile iklim kaynaklı afetler ve sektörlere yönelik tehlike analizlerinde kullanılması amacıyla sıcaklık, yağış ve rüzgâr parametreleri kullanılarak 48 adet ekstrem iklim indisi hesaplanmıştır. Proje kapsamında çoklu tehlike analizlerinde kullanılmak üzere, kuraklık, şiddetli yağış, sıcak hava dalgaları, orman yangınları, soğuk hava dalgaları ile şiddetli rüzgâr tehlikeleri gibi ekstrem hava olaylarını temsil etmesi için toplam 6 indis seçilmiştir. Ülke genelinde indislerin referans dönemi ile bu döneme göre projeksiyon dönemindeki 20'şer yıllık değişimleri ve dağılımları değerlendirilmiştir.

Meteorolojik kuraklığı temsil eden SPEI3 analizi gelecek dönem için incelendiğinde her iki senaryoda da referans dönemine göre daha kurak koşulların yaşanacağı tahmin edilmektedir. Ülke genelinde, özellikle kötümser senaryoya göre yüzyıl sonuna doğru, daha kurak koşullara doğru bir eğilimin olduğu ve kuraklığın giderek şiddetlendiği öngörülmektedir. RCP8.5 emisyon senaryosuna göre gelecek dönemde aşırı yağışlı günlerdeki artışların RCP4.5 senaryosuna göre daha fazla olacağı tahmin edilmektedir. Özellikle 2041-2060 ve 2081-2100 periyotlarında RCP4.5 senaryosunun iki katı kadar artış meydana gelmesi beklenmektedir. 21. yüzyıl sonlarına doğru kötümser senaryoya göre, referans dönemine kıyasla yaklaşık 5-5,5 güne ulaşan artışın iyimser senaryoda en fazla 2,5 güne erişeceği tahmin edilmektedir. Böylece her iki senaryo altında da Türkiye genelinde en fazla artışın yine son projeksiyon döneminde gerçekleşeceği öngörülmektedir.

Gelecek dönemde, sıcak hava dalga sayısının yüzyıl sonuna doğru artış göstereceği öngörülmektedir. RCP emisyon senaryoları baz alındığında, sıcak hava dalga sayısının benzer şekilde 2035 yılına kadar giderek artması ve referans dönemine göre farkın 2035'ler civarında her iki senaryo da en az 6 gün daha fazla ekstrem sıcaklık yaşanacağını işaret etmektedir. 2035'lerden sonra sıcak hava dalga sayısındaki değişim iyimser senaryoya göre en az 6 gün civarında iken, kötümser senaryoya göre bu değişim en az 12 gün civarındadır. Buna göre kötümser senaryoya göre yüzyıl sonuna doğru yılda en az 12 gün daha fazla ekstrem sıcaklıklara maruz kalınacağı tahmin edilmektedir. Ülke genelinde sıcaklık artışı ile birlikte kuraklık şiddetinde de artışların olması beraberinde yangın riskini getirmektedir. Buna göre, özellikle güney bölgelerde yangın riskinin giderek artması beklenmektedir. Gelecek dönemde kötümser senaryoya göre orman yangınları riski 2040'lara kadar referans dönemine benzer bir değişim gösterirken, bu yıllardan sonra ivmelenerek artan bir risk göstermektedir. Her ne kadar belirsizlik RCP8.5 senaryosunda daha fazla olsa da yüzyıl sonuna doğru yangın riskini oluşturan atmosferik koşulların yaklaşık 1,5 kat artacağı tahmin edilmektedir.

Sıcak hava dalgalarının tersine yüzyıl sonuna doğru soğuk hava dalga sayılarında azalma beklenmektedir. Ülke geneline bakıldığında, kötümser senaryoya göre, 21. yüzyıl sonuna doğru soğuk hava dalga sayısında şiddetli azalmaların olacağını ve referans dönemine kıyasla en az 12 gün daha az eşik değerinin altında kalan sıcaklıklar yaşanacağını işaret etmektedir. Son olarak aşırı rüzgârlı günlere ait indis sonuçları incelendiğinde, RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre değişimlerin benzer davranış sergileyecekleri ve gelecek dönemde genel olarak kötümser senaryoya göre şiddetli rüzgâr değişiminin azalan yönde olacağı öngörülmektedir.





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

**Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi**

Çalışma kapsamında, son adım olarak çoklu tehlike analizleri yapılmıştır. Bu aşamada, çoklu iklim tehlikelerine maruziyeti en yüksek potansiyele sahip coğrafi alanları belirlemek için, her bir tehlike için hesaplanan indise göre 2, 5, 10, 20, 50 ve 100 yıllık dönüş periyodu (DP); her bir periyoda göre Yıllık Beklenen Tehlike Kesri (YBTK) ve bu değerler ile elde edilen Tehlike Değişim İndeksi (TDİ) ile Toplam Tehlike İndeksi (TTİ) hesaplanmıştır.

Çoklu tehlike analizi sonuçları değerlendirildiğinde, ülke genelinde sıcak hava dalgalarının görölme sıklığı, gelecek projeksiyonlarında artış göstermektedir. Referans döneminde 2 yılda bir görülen sıcak hava dalgalarının her iki senaryoya göre de gelecekte her yıl görölmesi beklenmektedir. RCP8.5 senaryosuna göre, referans döneminde 100 yılda bir görülen sıcak hava dalgalarının 2050’lere doğru 2-3 yıl, 2100’e doğru ise yılda bir görüleceği tahmin edilmektedir.

Sıcak hava dalgaların aksine, soğuk hava dalgalarının frekansında ise ülke genelinde tüm dönemlerde azalma eğilimi öngörülmektedir. Referans döneminde 2 yılda bir görülen soğuk hava dalgalarının RCP8.5 senaryosuna göre 2050’lere doğru 9-10 yılda bir, 2070’lere doğru 20-21 yılda bir gerçekleşeceği tahmin edilmektedir. Referans döneminde 100 yıllık dönüş periyodu olan soğuk hava dalgalarının gelecekte görölme olasılığının ise oldukça düşeceği ve yüzyılın sonuna doğru neredeyse hiç yaşanmayacağı tahmin edilmektedir. Sıcak hava dalgalarında görülen frekans artışları kuraklık tehlikesinde daha belirgin bir şekilde görülmektedir. Buna göre, ülke genelinde referans döneminde 2 yılda bir görülen kuraklıkların her iki senaryoya göre de gelecekte neredeyse her yıl görölmesi beklenmektedir. Referans döneminde 50 yılda bir görülen kuraklıkların neredeyse 8-10 yılda bir görüleceği tahmin edilmektedir. Bu durum, kuraklıkların neredeyse kalıcı hale geleceğini göstermektedir.

Sıcaklık, rüzgâr, bağıl nem gibi parametrelere bağlı orman yangını tehlikesinin Türkiye üzerinde gelecek dönemlerde görölme sıklığı her iki senaryoya göre farklılık göstermektedir. RCP4.5 senaryosuna göre tüm dönüş periyotları için gelecek dönemde dönüş periyotlarının artacağı tahmin edilmektedir. RCP8.5 senaryosuna göre sonuçlar değerlendirildiğinde ise, 2050’lere kadar frekansın azalacağı ve 2050’ler itibariyle ise frekansın artacağı öngörülmektedir. Türkiye genelinde referans döneminde 10 yılda bir görülen orman yangınlarının 2050’lere kadar 17 yılda bir görölmesi beklense de, yüzyıl sonuna doğru 4 yılda bir görüleceği tahmin edilmektedir.

Şiddetli yağış tehlikesinin görölme sıklığı iki senaryo için zıt eğilimler sergilemektedir. Şiddetli yağışlar RCP4.5 senaryosuna göre azalma eğilimi gösterirken, RCP8.5 senaryosuna göre artış eğilimi göstermektedir. RCP8.5 senaryosuna göre, referans döneminde 10 yılda bir görülen şiddetli yağışların yüzyıl sonuna doğru 6 yılda bir; 20 yılda bir görülen yağışların 11 yılda bir ve 100 yılda bir görülen şiddetli yağışların ise yine yüzyıl sonuna doğru ülke genelinde 49 yılda bir görüleceği beklenmektedir. Ancak, Türkiye üzerindeki yağış dağılımının bölgesel olarak farklılık göstermesinden dolayı şiddetli yağışların görölme sıklıkları da bölgesel olarak değişecektir.





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

**Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi**

---

Son olarak, şiddetli rüzgârdaki görülme sıklıklarında referans dönemine kıyasla gelecek projeksiyonlarında her iki senaryo için de azalma beklenmektedir. Referans periyodunda 10 yılda bir görülen şiddetli rüzgâr olaylarının, RCP4.5 senaryosuna göre 63 yılda bir, RCP8.5 senaryosuna göre ise 46 yılda bir görülmesi beklenmektedir.

Her iki senaryo için de hesaplanmış olan TTİ’ye göre ise belirlenen 2, 10, 20, 50 ve 100 yıllık dönüş periyoduna sahip çoklu tehlikelerin bu yüzyıl sonuna doğru etkisini ve şiddetini arttırarak etki alanını büyüteceği beklenmektedir.







Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

## KAYNAKÇA

- Alfieri L, Burek P, Feyen L, Forzieri G (2015) Global warming increases the frequency of river floods in Europe. *Hydrol Earth Syst Sci* 19:2247–2260. doi:10.5194/hess-19-2247-2015
- Bedia J, Herrera S, Camia A, et al. (2013) Forest fire danger projections in the Mediterranean using ENSEMBLES regional climate change scenarios. *Clim Chang* 122:185–199. doi:10.1007/s10584-013-1005-z
- Christidis N, Jones GS, Stott PA (2015) Dramatically increasing chance of extremely hot summers since the 2003 European heatwave. *Nat Clim Chang* 5:46–50. doi:10.1038/nclimate2468
- Cannon S. and DeGraff J. (2009). The increasing wildfire and post-fire debris-flow threat in Western USA, and implications for consequences of climate change. In K Sassa and P Canuti (Eds.) *Landslides - disaster risk reduction*, Springer Verlag, 177-190
- WMO, 2018, Guidelines on the definition and monitoring of extreme weather and climate events, World Meteorological Organisation.
- Forzieri, G., Feyen, L., Russo, S., ve diğerleri, (2016). Multi-hazard assessment in Europe under climate change. *Clim Change*. 2016; 137: 105-119
- Jonkman, S.N., Van Gelder P., and Vrijling H., (2002). An overview of quantitative risk measures and their application for calculation of flood risk. *λμ13 - ESREL 2002 European Conference*
- Kappes M.S., Keiler M., Von Elverfeldt K., Glade T., (2012). Challenges of analyzing multi-hazard Risk: A Review. *Natural Hazards* 64(2), 1925-1958
- OAS, (1991) Geographic Information Systems In Natural Hazard Management. Organization of American States. Primer on Natural Hazard Management in Integrated Regional Development Planning <https://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea66e/ch05.htm>
- Peila D., Guardini C., (2008) Use of the event tree to assess the risk reduction obtained from rockfall protection devices. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 8, 1441–1450, 2008
- Prinos P., (2008). Review of Flood Hazard Mapping. European Community Sixth Framework Programme for European Research and Technological Development. FLOODsite.
- Roberts N.J., Nadim F., Kalsnes B., (2009). Quantification of vulnerability to natural hazards. *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards*, 3 (3), 2009, 164-173



T.C. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE  
İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI



55





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

**Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi**

UN-ISDR (2009). Terminology on Disaster risk Reduction. URL: <https://www.unisdr.org/we/inform/terminology>

Van Westen C.J., Castellanos Abella E.A. and Sekhar L.K. (2008) Spatial data for landslide susceptibility, hazards and vulnerability assessment : an overview. In: Engineering geology, 102 (2008)3-4 pp. 112- 131.

Van Westen C.J., Straatsma M.W., Turdukulov U.D., Feringa W.F., Sijmons K., Bakhtadze K., Janelidze T., Kheladze N. (2012) Atlas of natural hazards and risks of Georgia : e-book. Tbilisi, Caucasus Environmental NGO Network (CENN), University of Twente Faculty of Geo-Information and Earth Observation (ITC), 2012. ISBN: 978-9941-0-4310-9.

Van Westen C.J. (2013). Remote sensing and GIS for natural hazards assessment and disaster risk management. In: Shroder, J. (Editor in Chief), Bishop, M.P. (Ed.), Treatise on Geomorphology. Academic Press, San Diego, CA, vol. 3, Remote Sensing and GIScience in Geomorphology, pp. 259–298.

WMO, 2018, Guidelines on the definition and monitoring of extreme weather and climate events, World Meteorological Organisation.

Alexander D. (2001). Encyclopedia of environmental science, Chapter Natural hazards. Kluwer Academic Publishers

Breheny, P., (2007), Hydrogeologic/Hydrological Investigation of Landslide Dam and Impounded Lake in the Matthieu River Valley, Commonwealth of Dominica, West Indies: Unpublished M.S. Dissertation, University of Leeds, United Kingdom.

Cannon S. and DeGraff J. (2009). The increasing wildfire and post-fire debris-flow threat in Western USA, and implications for consequences of climate change. In K Sassa and P Canuti (Eds.) Landslides - disaster risk reduction, Springer Verlag, 177-190

Carpignano A., Golia E., Di Mauro C., Bouchon S., and Nordvik J-P, (2009). A methodological approach for the definition of multi-risk maps at regional level: first application. Journal of Risk Research, 12:513–534

Coppock, J.T. (1995) GIS and natural hazards: an overview from a GIS perspective. In: Carrara A and Guzzetti F (eds) Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards. Volume 5 of the series Advances in Natural and Technological Hazards Research pp 21-34





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

**Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi**

- Delmonaco G, Margottini C, Spizzichino D (2006a). ARMONIA methodology for multi-risk assessment and the harmonisation of different natural risk maps. Deliverable 3.1.1, ARMONIA.
- Delmonaco G, Margottini C, Spizzichino D (2006b). Report on new methodology for multi-risk assessment and the harmonisation of different natural risk maps. Deliverable 3.1, ARMONIA.
- de Pippo T Donadio C Pennetta M Petrosino C Terlizzi F and Valente A (2008). Coastal hazard assessment and mapping in Northern Campania, Italy. Geomorp
- Seneviratne S, Nicholls N, Easterling D, Goodess C, Kanae S, Kossin J, Luo Y, Marengo J, McInnes K, Rahimi M, Reichstein M, Sorteberg A, Vera C, & Zhang X, (2012). Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment.
- Dilley M (2005) Natural disaster hotspots: A Global risk analysis. World Bank Publications
- Fischer EM, Schär C (2010) Consistent geographical patterns of changes in high-impact European heatwaves. Nat Geosci 3:398–403. doi:10.1038/ngeo866
- Forzieri G, Feyen L, Rojas R, et al. (2014) Ensemble projections of future streamflow droughts in Europe. Hydrol Earth Syst Sci 18:85–108. doi:10.5194/hess-18-85-2014
- Gill JC, Malamud BD (2014) Reviewing and visualizing the interactions of natural hazards. Rev Geophys 52: 2013RG000445. doi:10.1002/2013RG000445
- Hinkel J, Nicholls RJ, Vafeidis AT, et al. (2010) Assessing risk of and adaptation to sea-level rise in the European Union: an application of DIVA. Mitig Adapt Strateg Glob Change 15:703–719. doi:10.1007/s11027-010- 9237-y
- Lehner B, Döll P, Alcamo J, et al. (2006) Estimating the impact of Global change on flood and drought risks in Europe: A Continental, Integrated analysis. Clim Chang 75:273–299. doi:10.1007/s10584-006-6338-4
- Lung T, Lavallo C, Hiederer R, et al. (2013) A multi-hazard regional level impact assessment for Europe combining indicators of climatic and non-climatic change. Glob Environ Change 23:522–536. doi:10.1016/j. gloenvcha.2012.11.009
- Migliavacca M, Dosio A, Camia A, et al. (2013a) Modeling biomass burning and related carbon emissions during the 21st century in Europe. J Geophys Res Biogeosciences 118:2013JG002444. doi:10.1002/ 2013JG002444





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

**Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi**

- Nicholls RJ, Klein RJT (2005) Climate change and coastal management on Europe’s coast. In: Vermaat J, Salomons W, Bouwer L, Turner K (eds) *Managing European Coasts*. Springer, Berlin Heidelberg, pp. 199– 226
- Nikulin G, Kjellström E, Hansson U, et al. (2011) Evaluation and future projections of temperature, precipitation and wind extremes over Europe in an ensemble of regional climate simulations. *Tellus A* 63:41–55. doi:10. 1111/j.1600-0870.2010.00466.
- Outten SD, Esau I (2013) Extreme winds over Europe in the ENSEMBLES regional climate models. *Atmos Chem Phys* 13:5163–5172. doi:10.5194/acp-13-5163-2013
- Rojas R, Feyen L, Bianchi A, Dosio A (2012) Assessment of future flood hazard in Europe using a large ensemble of bias-corrected regional climate simulations. *J Geophys Res Atmospheres* 117: D17109. doi:10. 1029/2012JD017461
- Rummukainen M (2012) Changes in climate and weather extremes in the 21st century. *Wiley Interdiscip Rev Clim Chang* 3:115–129. doi:10.1002/wcc.160
- Russo S, Sillmann J, Fischer EM (2015) Top ten European heatwaves since 1950 and their occurrence in the coming decades. *Environ Res Lett* 10:124003. doi:10.1088/1748-9326/10/12/124003
- Seneviratne S, Nicholls N, Easterling D, Goodess C, Kanae S, Kossin J, Luo Y, Marengo J, McInnes K, Rahimi M, Reichstein M, Sorteberg A, Vera C, & Zhang X, (2012). Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment.
- Solomon S (2007) *Climate change 2007 - the physical Science Basis: Working Group I contribution to the Fourth assessment Report of the IPCC*. Cambridge University Press.
- Akçakaya, A., Sümer, U., Demircan, M., Demir, Ö., Atay, H., Eskioğlu, O., . . . Çukurçayır, F. (2015). *Yeni Senaryolarla Türkiye İklim Projeksiyonları ve İklim Değişikliği*. Ankara: TR2015-CC.
- Anthes, & diğ. (1989). Anthes, R.A.; Kuo, Ying-Hwa; Hsie, Eirh-Yu; Low-Nam, S.; Bettge, T.W. Estimation Of Skill And Uncertainty İn Regional Numerical Models. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 763-806.
- Baker, N. C., & Taylor, P. C. (2016). A Framework for Evaluating Climate Model Performance Metrics. *Journal of Climate*, 29(5), 1773-1782. doi:10.1175/JCLI-D-15-0114.1





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

- Ballı, C. (2014). *Bias Correction of Precipitation Simulated by Regional Climate Model with Different Configurations over Turkey*. İstanbul: Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Beguiría, S., Vicente-Serrano, S., Reig, F., & Latorre, B. (2014). Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: Parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring. *International Journal of Climatology*.
- Besselaar, v. d., & diğ. (2011). van den Besselaar, E.J.M.; Haylock, M.R.; van der Schrier, G.; Klein Tank, A.M.G. A European Daily High-Resolution Observational Gridded Data Set of Sea Level Pressure. *Journal Geophysical Research*.
- Blauhut, V., Stahl, K., Stagge, J., Tallaksen, L., De Stefano, L., & Vogt, J. (2015). Estimating drought risk across Europe from reported drought impacts, hazard indicators and vulnerability factors. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*.
- Bozkurt, D., & Sen, O. (2011). Precipitation in the Anatolian Peninsula: sensitivity to increased SSTs in the surrounding seas. *Climate Dynamics* 36, 3-4, 711-726.
- Bozkurt, D., Turuncoglu, U., Sen, O., Onol, B., & Dalfes, H. (2012). Downscaled simulations of the ECHAM5, CCSM3 and HadCM3 global models for the eastern Mediterranean–Black Sea region: evaluation of the reference period. *Clim Dyn*, 207-225.
- Bozkurt, D., Turuncoglu, U., Şen, O., Öno, B., & Dalfez, H. (2012). Downscaled simulations of the ECHAM5, CCSM3 and HadCM3 global models for the eastern Mediterranean–Black Sea region: evaluation of the reference period. *Climate Dynamics* 39:1-2, 207-225.
- Çağlar, F., Hanedar, A., Yıldırım, I., Görgün, E., Özdemir, A. D., Altürk, B., & Albut, S. (2019). TR21 Bölgesi'nde Ekstrem İklim Olaylarının Mevcut Durumu ve Gelecek Projeksiyonları. F. Konukcu, S. Albut, & B. Altürk (Dü) içinde, *TR21 Trakya Bölgesinde İklim Değişikliğinin Etkileri ve Uyum Stratejileri* (s. 23-45). Tekirdağ. [http://iklimdegisikligi.tekirdag.bel.tr/file/iklim\\_degisikligi\\_kitabi.pdf](http://iklimdegisikligi.tekirdag.bel.tr/file/iklim_degisikligi_kitabi.pdf) adresinden alındı
- Çamalan, G., Akgündüz, A., Ayvacı, H., Çetin, S., Arabacı, H., & Çoşkun, M. (2017). SPEI indisine göre Türkiye geneli kuraklık değişim ve eğilim projeksiyonları. *Türkiye İklim Değişikliği Kongresi*. İstanbul: TİKDEK 2017.
- Casanueva, A., Kotlarski, S., Herrera, S., Fernandez, J., Gutierrez, J. M., Boberg, F., . . . Vautard, R. (2016). Daily precipitation statistics in a EURO-CORDEX RCM ensemble:







Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

- Added value of raw and bias-corrected high-resolution simulation. *Climate Dynamics*, 47(3-4), 719–737. doi:10.1007/s00382-015-2865-x
- Chen, J., Brissette, F. P., & Leconte, R. (2011). Uncertainty of downscaling method in quantifying the impact of climate change on hydrology. *Journal of Hydrology*, 401(3-4), 90-202. doi:10.1016/j.jhydrol.2011.02.020
- Chen, J., Brissette, F. P., Poulin, A., & Leconte, R. (2011). Overall uncertainty study of the hydrological impacts of climate change for a Canadian watershed. *Water Resources Research*, 47(12), W12509. doi:10.1029/2011WR010602
- Christensen, J. H., Boberg, F., Christensen, O. B., & Lucas-Picher, P. (2008). On the need for bias correction of regional climate change projections of temperature and precipitation. *Geophysical Research Letters*, 35(20), <https://doi.org/10.1029/2008gl035694>.
- Christidis, N., Stott, P. A., Zwiers, F. W., Shiogama, H., & Nozawa, T. (2009). Probabilistic estimates of recent changes in temperature: a multi-scale attributions analysis. *Climate Dynamics* 2009.
- Clarke, L. J. (2007). *Scenarios of Greenhouse Gas Emissions and Atmospheric Concentrations. Sub-report 2.1A of Synthesis and Assessment Product 2.1*. Washington DC, USA: U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research. Department of Energy, Office of Biological & Environmental Research.
- Climatic Change. (2011). *A special issue on the RCPs*. Netherlands: Springer.
- CNRM. (2017, 06 06). *CNRM-CM5 (IPCC)*. National Centre for Meteorological Research: <http://www.umr-cnrm.fr/spip.php?article126> adresinden alındı
- ÇŞB, & UNDP. (2013). *Beşinci Ulusal Bildirim Raporu, Türkiye İklim Değişikliği 5.Bildirimi*. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP).
- Daly; diğ. (2008). Daly, C.; Halbleib, M.; Smith, J.I.; Gibson, W. P.; Doggett, M. K.; Taylor, G. H.; Curtis, J.; Pasteris, P. P. Physiographically Sensitive Mapping of Climatological Temperature and Precipitation Across The Conterminous United States. *Journal of Climatology*.
- de Rigo, D., Libertà, G., Houston Durrant, T., Artés Vivancos, T., & San-Miguel-Ayanz, J. (2017). *Forest fire danger extremes in Europe under climate change: variability and uncertainty. PESETA III project - Climate Impacts and Adaptation in Europe, focusing*



T.C. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE  
İKLİM DEĐİŐİŐLİĐİ BAKANLIĞI



60



iklime uyum





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

*on Extremes, Adaptation and the 2030s. Task 11 - Forest fires. Final report. JRC Technical Reports.*

Demircan, M., Gürkan, H., Eksioğlu, O., Arabacı, H., & Coskun, M. (2017). Climate Change Projections for Turkey: Three Models and Two Scenarios. *Turkish Journal of Water Science & Management*, 1(1), 22-44. [https://www.mgm.gov.tr/FILES/genel/makale/44\\_Climate%20Change%20Projections%20for%20Turkey.pdf](https://www.mgm.gov.tr/FILES/genel/makale/44_Climate%20Change%20Projections%20for%20Turkey.pdf) adresinden alındı

Dickinson, & diğ. (1993). Dickinson, R. E.; Henderson-Sellers, A.; Kennedy, P. Biosphere–Atmosphere Transfer Scheme (BATS) Version 1e as Coupled to The NCAR Community Climate Model. *NCAR Tech. Note NCAR/ TN-3871STR*, 72.

EEA. (2016, Aralık 20). *Extreme temperatures and health*. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/heat-and-health-2> adresinden alındı

EEA. (2017, Ocak 4). Wind storms: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/storms-2> adresinden alındı

EEA. (2021, Kasım 19). *Europe's changing climate hazards report: Wet and dry*. <https://www.eea.europa.eu/publications/europes-changing-climate-hazards-1/wet-and-dry-1/wet-and-dry-drought> adresinden alındı

Fang, G. H., Yang, J., Chen, Y. N., & Zammit, C. (2015). Comparing bias correction methods in downscaling meteorological variables for a hydrologic impact study in an arid area in China. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(6), 2547-2559. doi:10.5194/hess-19-2547-2015

Faust, E., & Rauch, E. (2020, Mart 2). *MunicRe*. <https://www.munichre.com/topics-online/en/climate-change-and-natural-disasters/climate-change/climate-change-heat-records-and-extreme-weather.html> adresinden alındı

Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302-4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086> adresinden alındı

Forzieri, G., Feyen, L., Russo, S., Vousdoukas, M., Alfieri, L., & diğerleri, v. (2016). Multi-hazard assessment in Europe under climate change. *Climatic Change* (2016) 137, 105–119.



T.C. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI



61



iklime uyum





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

- Fujino, J. R. (2006). Multi-gas mitigation analysis on stabilization scenarios using AIM global model. Multigas Mitigation and Climate Policy. *The Energy Journal*, 3 (Special Issue).
- Gao, Y., Xiao, L., Chen, D., Chen, F., Xu, J., & Xu, Y. (2017). Quantification of the relative role of land-surface processes and large-scale forcing in dynamic downscaling over the Tibetan Plateau. *Clim Dyn* 48, 1705–1721.
- Gao, Y., Xu, J., & Chen, D. (2015). Evaluation of WRF mesoscale climate simulations over the Tibetan Plateau during 1979–2011. *J Clim* 28, 2823–2841.
- GFDL. (2020). *GFDL-ESM2M*. Geophysical Fluid Dynamics Laboratory: <https://www.gfdl.noaa.gov/esms-cmip5-faqs/> adresinden alındı adresinden alındı
- Giorgi, & diğ. (1993b). Giorgi.F; Marinucci, M.R.; Bates, G. T. Development of a Second-Generation Regional Climate Model (RegCM2). Part II: Convective Processes And Assimilation Of Lateral Boundary Conditions. *Mon.Wea.Rev.*, 2795-2832.
- Giorgi; diğ. (1993a). Giorgi.F; Marinucci, M.R; Bates, G. T. Development of a Second-Generation Regional Climate Model (RegCM2). Part I: Boundary Layer and Radiative Transfer Processes. *Mon.Wea.Rev.*, 2795-2813.
- GIZ and EURAC. (2017). *Risk Supplement to the Vulnerability Sourcebook. Guidance on how to apply the Vulnerability Sourcebook’s approach with the new IPCC AR5 concept of climate risk*. Bonn: GIZ.
- Grell, G. (1993). Prognostic Evaluation of Assumptions Used by Cumulus Parameterizations. *Mon.Wea.Rev.*, 764-787.
- Gu, H., Yu, Z., Peltier, W. R., & Wang, X. (2020). Sensitivity studies and comprehensive evaluation of RegCM4.6.1 high-resolution climate simulations over the Tibetan Plateau. *Clim Dyn*.
- Gudmundsson, L., Bremnes, J. B., Haugen, J. E., & Engen-Skaugen, T. (2012). Technical Note: Downscaling RCM precipitation to the station scale using statistical transformations – a comparison of methods. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(9), 3383-3390. doi:10.5194/hess-16-3383-2012
- Gudmundsson, L., Bremnes, J. B., Haugen, J. E., & Engen-Skaugen, T. (2012). Technical Note: Downscaling RCM precipitation to the station scale using statistical transformations – a comparison of methods. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(9), 3383–3390.





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye’de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

- Hayes, S., Mccurry, S., Strosahl, K., Wilson, K., Bissett, R., Pistorello, J., . . . Karekla, M. (2004). Measuring experiential avoidance: A preliminary test of a working model. *The Psychological record*.
- Hertig, E., & Jacobeit, J. (2008). Downscaling future climate change: temperature scenarios for the Mediterranean area. *Glob. Planet. Change* 63, 127-31.
- Hijioka, Y. Y. (2008). Global GHG emissions scenarios under GHG concentration stabilization targets. *Journal of Global Environmental Engineering*, 13, 97-108.
- Holtzlag, & diğ. (1990). Holtzlag, A. A. M.; DeBruiFjn, E. I. F.; Pan, H.L A High Resolution Air Mass Transformation Model for Short-Range Weather Forecasting. *Monthly Weather Review*, 1561-1575.
- Ines, A. V., & Hansen, J. W. (2006). Bias correction of daily GCM rainfall for crop simulation studies. *Agricultural and Forest Meteorology*, 138(1-4), 44-53. doi:10.1016/j.agrformet.2006.03.009
- IPCC. (1990). *Emissions scenarios from the response strategies working group of the intergovernmental panel on climate change, Appendix 1*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- IPCC. (2001). IPCC Third Assessment Report: Climate Change 2001. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change. .
- IPCC. (2012). *Managing the Risk of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change. .
- IPCC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Basis. Contribution of Working Group 1 to the Fifth Assessment Report of the IPCC*. New York: Cambridge University Press.
- IPCC. (2013). *Intergovernmental Panel on Climate Change AR5-Fifth Assessment Report*. Cambridge: Cambridge University Press.
- IPCC. (2014). *Fifth Assessment Report: Climate Change 2014*. . Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC. (2014). IPCC Fifth Assessment Report: Climate Change 2014. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change. .
- IPCC. (2017, 06 06). *Representative Concentration Pathways (RCPs)*. IPCC Data Distribution Centre: [http://sedac.ipcc-data.org/ddc/ar5\\_scenario\\_process/RCPs.html](http://sedac.ipcc-data.org/ddc/ar5_scenario_process/RCPs.html) adresinden alındı





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

- IPCC. (2018, 08 05). *IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007*. Intergovernmental Panel on Climate Change: [https://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/en/ch1s1-5-1.html](https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch1s1-5-1.html) adresinden alındı
- IPCC AR5. (2013). *Fifth Assessment Report AR5*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- İSKİ. (2010). *İklim Değişikliğinin İstanbul ve Türkiye Su Kaynakları Geleceğine Tesirleri Projesi Nihai Raporu*.
- Jacob, D. v. (2007). An inter-comparison of regional climate models for Europe: model performance in present-day climate. *Clim. Change*.
- Jetten, V., Alkema, D., van Westen, C., & Brussel, M. (2014). Development of the Caribbean Handbook on Disaster Risk Information Management. *International Conference Analysis and Management of Changing Risks for Natural Hazards*. Italy.
- Jiang, X., Wu, Y., Li, Y., & Shu, J. (2019). Simulation of interannual variability of summer rainfall over the Tibetan Plateau by the Weather Research and Forecasting model. *Int J Climatol* 39, 756–767.
- Johnson, F., & Sharma, A. (2011). Accounting for interannual variability: A comparison of options for water resources climate change impact assessments Accounting for interannual variability: A comparison of options for water resources climate change impact assessments. *Water Resources Research*, 47(4), W04508. doi:10.1029/2010WR009272
- Kiehl, & diğ. (1996). Kiehl, J.T.; Hack, J.J.; Bonan, G.B.; Boville, B.A.; Briegleb, B.P.; Williamson, D.L.; Rasch, P.J Description of The NCAR Community Climate Model (CCM3).
- Kovats, R., Valentini, R., Bouwer, L., Georgopoulou, E., Jacob, D., Martin, E., . . . Soussana, a. J.-F. (2014). Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change . *Cambridge University Press*, 1267-1326.
- Kurnaz, L. (2014). *Kuraklık ve Türkiye. IPM-Mercator Politika Notu*. Sabancı Üniversitesi.







Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

- Lapenis, A. G. (1998). Arrhenius and the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 79(23), 271-271.
- Lavaysse, C., Cammalleri, C., Dosia, A., van der Schries, G., Toreti, A., & Vogt, J. (2018). Toward a monitoring system of temperature extremes in Europe. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 91-104.
- Leggett, J. W. (1992). *Emissions Scenarios for IPCC: an update. In Climate Change 1992. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment.* Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Lloyd-Hughes, B. (2013). The impracticality of a universal drought definition. *Theoretical and Applied Climatology*.
- Maraun, D., Wetterhall, F., Ireson, A. M., Chandler, R. E., Kendon, E. J., Widmann, M., . . . Thiele-Eich, I. (2010). Precipitation downscaling under climate change: Recent developments to bridge the gap between dynamical models and the end user. . *Reviews of Geophysics*, 48(3). <https://doi.org/10.1029/2009rg000314> .
- Met Office. (2017, 08 10). *Met Office climate prediction model: HadGEM2 family.* UK Meteorological Office: <http://www.metoffice.gov.uk/research/modelling-systems/unified-model/climate-models/hadgem2> adresinden alındı
- MGM. (2013). *Yeni Senaryolarla Türkiye için İklim Değişikliği Projeksiyonları.* Ankara: TR2013-CC.
- MPI. (2017, 06 06). *Max-Planck-Institut für Meteorologie.* MPI: <https://www.mpimet.mpg.de/en/science/models/mpi-esm/> adresinden alındı
- Murray, V., & Ebi, K. (2012). PCC Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation (SREX). *Journal of Epidemiology and Community Health* 66(9), 759-60.
- Nakicenovic, N. e. (2000). *Special Report on Emissions Scenarios: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- NCAR. (2019). The NCAR Command Language (Version 6.6.2) [Yazılım]. Boulder, Colorado: UCAR/NCAR/CISL/TDD. doi:<http://dx.doi.org/10.5065/D6WD3XH5>
- NOAA. (2018, 08 10). *Earth System Research Laboratory - Global Monitoring Division.* <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/> adresinden alındı





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

- Önol, B. (2012). Effects of coastal topography on climate: high-resolution simulation with a regional climate model. *Climate Research*, 159-174.
- Önol, B., & Semazzi, F. (2006). Regional Impact of Climate Change on Water Resources over Eastern Mediterranean: Euphrates Tigris Basin. *86th AMS Annual Meeting, the 18th Conference on Climate Variability and Change*. Atlanta, GA.
- Önol, B., & Semazzi, F. (2009). Regionalization of climate change simulations over the eastern Mediterranean. *Journal of Climate*, 22, 1944-57.
- Önol, B., & Semazzi, F. (2009). Regionalization of Climate Change Simulations over the Eastern Mediterranean. *J. Climate*, 1944-1961.
- Önol, B., & Unal, Y. (2014). Assessment of climate change simulations over climate zones of Turkey. *Regional Environmental Change* 14, 1921-1935.
- Önol, B., & Ünal, Y. S. (2014). Assessment of climate change simulations over climate zones of Turkey. *Regional Environmental Change*, 1921-1935.
- Özcan, C., & Önol, B. (2017). Comparison of gridded observation data sets on Turkey. *ATMOS 2017* (s. 111-114). İstanbul: 8 th Atmospheric Sciences Symposium.
- Peterson, T. C., Folland, C., Gruza, G., Hogg, W., Mokksit, A., & Plummer, N. (2001). *Report on the Activities of the Working Group on Climate Chnage Detection and Related Rapporteurs 1998-2001*. Geneve: WMO.
- Pierce, D. W., Cayan, D. R., Maurer, E. P., Abatzoglou, J. T., & Hegewisch, K. C. (2015). Improved Bias Correction Techniques for Hydrological Simulations of Climate Change. *J. Hydrometeor.*, 16(6), 2421-2442. doi:10.1175/JHM-D-14-0236.1
- Quadrelli, R., Pavan, V., & Molteni, F. (2001). Wintertime variability of Mediterranean precipitation and its links with large-scale circulation anomalies.
- Rao, S. a. (2006). The role of non-CO2 greenhouse gases in climate change mitigation: Long-term scenarios for the 21st century. *Multigas mitigation and climate policy. The Energy Journal*, 3 (Special Issue), 177–200.
- Riahi, K. G. (2007). Scenarios of long-term socio-economic and environmental development under climate stabilization. *Technological Forecasting and Social Change*, 74, 7, 887-935.





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

- Russo, S., A. D., R.G. G., J. S., H. C., M.B. D., . . . and J.V. V. (2014). Magnitude of extreme heat waves in present climate and their projection in a warming world,. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 119, doi:10.1002/2014JD022098.
- Schmidli, J., Goodess, C. M., Frei, C., Haylock, M. R., Hurrell, J. W., Ribalaygua, J., & Schmith, T. (2007). 7 Statistical and dynamical downscaling of precipitation: an evaluation and comparison of scenarios for the European alps. *J Geophys. Res.* 112.
- SEI. (2017, 06 06). *Stockholm Environment Institute*. A guide to Representative Concentration Pathways: <https://www.sei-international.org/mediamanager/documents/A-guide-to-RCPs.pdf> adresinden alındı
- Şen, & diğ. (2013). Şen, Ö.L.; Bozkurt, D.; Göktürk, O.M.; Dündar, B.; Altürk, B. Türkiye'de İklim Değişikliği ve Olası Etkileri. *3.Ulusal Taşkın Sempozyumu*.
- Seneviratne, S., Nicholls, N., Easterling, D., Goodess, C., Kanae, S., Kossin, J., . . . & Zhang, X. (2012). Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment.
- Seth, A., & Giorgi, F. (1998). The Effects of Domain Choice on Summer Precipitation Simulation and Sensitivity in a Regional Climate Model. *Journal of Climate*, 2698-2712.
- Shi, Y., Wang, G., & Gao, X. (2017). Role of resolution in regional climate change projections over China. *Clim Dyn* 51, 2375–2396.
- Sinha, P., Tiwari, P. R., Kar, S. C., Mohanty, U. C., Raju, P. V., Dey, S., & Shekhar, M. S. (2015). Sensitivity Studies of Convective Schemes and Model Resolutions in Simulations of Wintertime Circulation and Precipitation over the Western Himalayas . *Pure Appl Geophys* 172.
- Smith, S. J. (2006). Multi-Gas Forcing Stabilization with the MiniCAM. *The Energy Journal*, (Special Issue #3) pp 373-391.
- Stevens vd. (2013). Atmospheric component of the MPI-M Earth system model: ECHAM6. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 5, 146–172.
- Stocker, T. F., Dahe, Q., Plattner, G.-K., & Tignor, M. (2015, September). *IPCC Workshop on Regional Climate Projections and their Use in Impacts and Risk Analysis Studies*. São José dos Campos: IPCC.
- SYGM. (2016). *İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi*. Ankara: T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı.





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

[http://iklim.ormansu.gov.tr/ckfinder/userfiles/files/%C4%B0klim\\_Nihai\\_Rapor\\_%20%C4%B0klim%20Projeksiyonlar%C4%B1\\_Ek\\_2\\_REV\\_nihai.pdf](http://iklim.ormansu.gov.tr/ckfinder/userfiles/files/%C4%B0klim_Nihai_Rapor_%20%C4%B0klim%20Projeksiyonlar%C4%B1_Ek_2_REV_nihai.pdf) adresinden alındı

SYGM. (2016). *İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi Proje Nihai Raporu*. Ankara: T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü.

Taylor, K. (2011). Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *Journal of Geophysical Research Vol. 106*, 7183-7192.

The HadGEM2 Development Team. (2011). The HadGEM2 family of Met Office Unified Model climate configurations. *Geoscientific Model Development*, 4, 723-754.

Thornthwaite, C. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review* 38, 55-94.

Trenberth, K. E., Jones, P. D., Ambenje, P., Bojariu, R., Easterling, D. R., Tank, A. K., . . . al., e. (2007). *Observations: Surface and atmospheric climate change. In Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press.

UNDRR&CRED. (2020). *Human Cost of Disasters: An Overview of the Last 20 years (2000-2019)*. .

van Vuuren et al. (2011). The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change*, 109: 5-31.

van Vuuren, e. a. (2006). Long-term multi-gas scenarios to stabilise radiative forcing — Exploring costs and benefits within an integrated assessment framework. Multigas mitigation and climate policy. *The Energy Journal*. 3 (Special Issue), 201–234.

van Vuuren, e. a. (2007). tabilizing greenhouse gas concentrations at low levels: an assessment of reduction strategies and costs. *Climatic Change*, 81: 119.

Van Wagner, C. (1987). *Development and Structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System*. Ottawa: Canadian Forestry Service, Forestry Technical Report .

Varela, V., Vlachogiannis, D., Sfetsos, A., Karozis, S., Politi, N., & Giroud, F. (2019). Projection of Forest Fire Danger due to ClimateChange in the French Mediterranean Region. *Sustainability* 11(16):4284.





Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi

- Vicente-Serrano, S., Beguería, S., & López-Moreno, J. (2010). A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Journal of Climate*.
- Wilhite, D. (2000). Drought as a Natural Hazard: Concepts and Definitions. *Drought, a Global Assessment*.
- Wilhite, D., & Glantz, M. (1985). Understanding the Drought Phenomenon The Role of Definitions. *Water International - WATER INT*.
- Wilhite, D., Svoboda, M., & Hayes, M. (2007). Understanding the Complex Impacts of Drought: A Key to Enhancing Drought Mitigation and Preparedness. *Water Resources Management*, 763-774.
- Wise, M. A.-L. (2009). Implications of Limiting CO2 Concentrations for Land Use and Energy. *Science*, 324, 1183-1186.
- WMO. (2016). Handbook of Drought Indicators and Indices (M, Svoboda and B,A, Fuchs), Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2.
- Zelinka, M. D., Timothy, M. A., Daniel, M. T., Stephen, P.-C., Peter, C. M., Paulo, C., . . . Karl, T. E. (2020). Causes of Higher Climate Sensitivity in CMIP6 Models. *Geophysical Research Letters*, 47(1), e2019GL085782. doi:10.1029/2019GL085782
- Zhang, S., Wang, D., & Yu, S. (2017). Precise large deviations of aggregate claims in a size-dependent renewal risk model with stopping time claim-number process. *Journal of Inequalities and Applications*.

