

Yüksek Çözünürlüklü İklim Modellemesi: HPC Altyapıları ve Uygulamaları

İdil Derin Akgedik-Veri ve Modelleme Uzmanı, Hidromod

TÜBİTAK BSC AI Factory

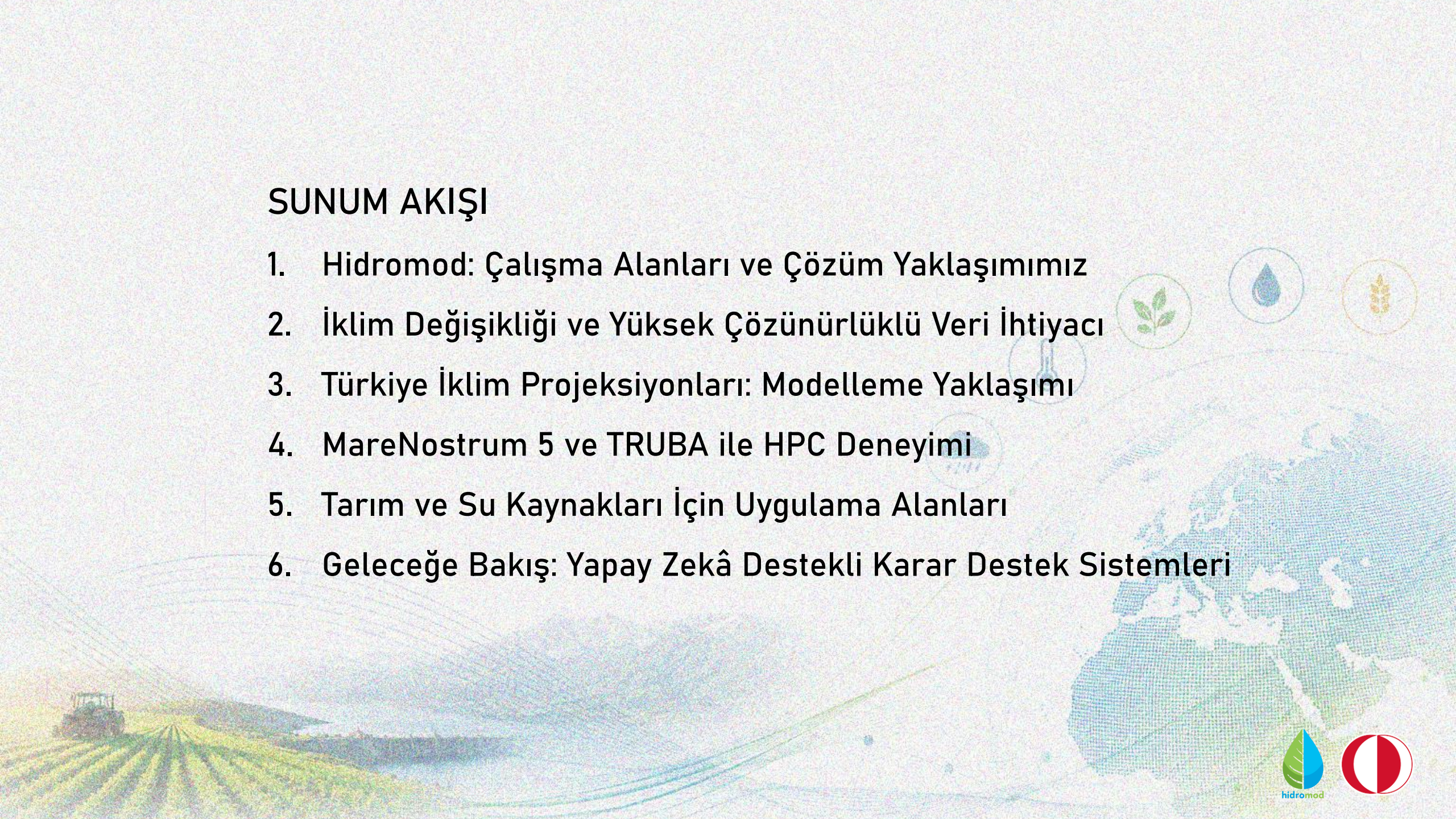
Sektörel Yapay Zekâ Kümelenmesi: Tarım ve İklim

17 Haziran 2026



SUNUM AKIŞI

1. Hidromod: Çalışma Alanları ve Çözüm Yaklaşımımız
2. İklim Değişikliği ve Yüksek Çözünürlüklü Veri İhtiyacı
3. Türkiye İklim Projeksiyonları: Modelleme Yaklaşımı
4. MareNostrum 5 ve TRUBA ile HPC Deneyimi
5. Tarım ve Su Kaynakları İçin Uygulama Alanları
6. Geleceğe Bakış: Yapay Zekâ Destekli Karar Destek Sistemleri



1. Hidromod: Çalışma Alanları ve Çözüm Yaklaşımımız



- **Kuruluş ve Vizyon:** 2018'de ODTÜ Teknokent'te kurulan Hidromod, uzaktan algılama, hidroloji, meteoroloji ve iklim bilimleri alanlarında 25 yılı aşkın tecrübe ile ileri düzey Ar-Ge çalışmaları yaparak yapay zekâ ve veri analizi tabanlı çözümler sunmaktadır.
- **Uzman Kadro:** Akademisyenler ve deneyimli mühendislerden oluşan ekip; uzaktan algılama, afet, hidrometeoroloji, yapay zekâ ve atmosferik modelleme konularında tecrübeli uzmanlara sahiptir.
- **Projeler:** NASA, NOAA, European Commission, UNDP, Çeşitli Bakanlıklar, TÜBİTAK ve farklı Kamu Kurumları gibi kuruluşlarla birlikte birçok ulusal ve uluslararası projede görev alarak iklim değişikliği, doğal afet tahmini ve su kaynakları yönetimi gibi kritik alanlarda katkı sağlamaktadır.
- **Hizmet ve Ürünler:** Hidrometeorolojik tahminler, enerji ve tarımsal üretim tahminleri, risk analizleri ve yapay zekâ destekli büyük veri çözümleri sunmaktadır.

1. Hidromod: Çalışma Alanları ve Çözüm Yaklaşımımız

➤ *Hidrometeorolojik Tahminler*

➤ *Aşırı Hava Olayları (Afet) Analizi*

➤ *Yeşil Enerji*

➤ *Veri Analizi - Yapay Zekâ*

➤ *Uzaktan Algılama Tabanlı Veri Analizi*

➤ *Tarımsal Meteoroloji*

➤ *Askeri Meteoroloji*

➤ *İklim Projeksiyon Modellemesi*

➤ *Hidrolojik Modelleme*

➤ *Havacılık Meteorolojisi*

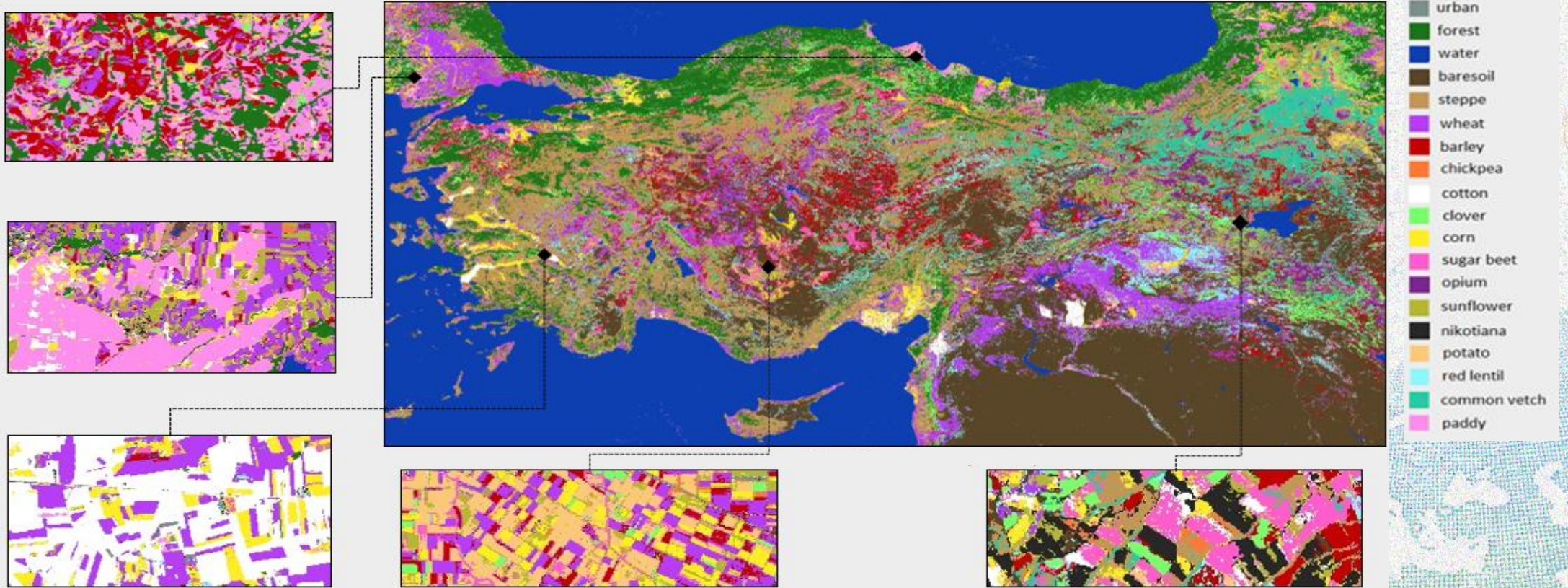


1. Hidromod: Çalışma Alanları ve Çözüm Yaklaşımımız

YIL	Fonlayıcı Kuruluş	Başlık	YIL	Fonlayıcı Kuruluş	Başlık
2025	İklim Değ. Başkan.	İklim Projeksiyonu Web Tabanlı Paylaşım Aracı ve Veri Erişim Sistemi	2019	TÜBİTAK	Fırat Dicle Havzasındaki Yeraltı Suyu Kütlesinin Değişiminin Elde Edilmesi
2024	UNDP	En Güncel İklim Modellerinin Kullanılması ile Yüksek Çöz. İklim Projeksiyonları	2015	TÜBİTAK	İstasyonlarda Ölçülen Toprak Nemi Değerlerinin Değerlendirilmesi
2024	UNDP	Güney Madagaskar'ın Kuraklık Erken Uyarı Sistemlerinin Geliştirilmesi	2016	SYGM	Kuzey Ege Havzası Kuraklık Yönetim Planı
2024	TÜBİTAK	Zamanın Fısıltıları: Miras, İklim Değişikliğinin Anlatıları	2016	SYGM	Küçük Menderes Havzası Kuraklık Yönetim Planı
2023	TÜBİTAK	Kısa ve Orta Vadeli Rüzgar Enerjisi Üretim Tahmin Modeli Geliştirilmesi	2016	SYGM	Doğu Akdeniz Havzası Kuraklık Yönetim Planı
2023	TEİAŞ	Enerji İletim Tesislerinin Doğa Olaylarına Karşı Risklerinin Belirlenmesi ve Bu Risklerin Bertarafı İçin Alınması Gereken Önlemlerin Tespiti	2016	SYGM	Fırat Dicle Havzası Kuraklık Yönetim Planı
2022	TAT Gıda	Domates Rekolte Verimi Tahmin Modeli Geliştirilmesi	2016	DSİ	Seyhan Havzasında Yer Alan Barajların Akım Tahmini ve Optimum İşletimi
2022	TÜBİTAK	İklim Değişikliğinin Türkiye'de Aşırı Yağışlara Etkisinin En Güncel İklim Modelleri (CMIP6) ile Yüksek Çözünürlükte Değerlendirilmesi	2015	ODTÜ	İstasyonlardan Elde Edilen Toprak Nemi Değerlerinin Kalibrasyonu
2022	TÜBİTAK	Hidrolojik Tahminlerin Alansal Dağıtımli bir Hidrolojik Model ve Uzaktan Algılama Ürünleri Kullanılarak İyileştirilmesi:	2014	Avrupa Komisyonu	Uydu Uzaktan Algılama Tabanlı Toprak Nemi Ürünlerini Optimum Bir Şekilde Birleştirerek Bitki Örtüsü Durumu Tahminlerinin İyileştirilmesi
2022	TÜBİTAK	İklim Değişikliğinin Çoruh Havzasındaki Yüzey Su Potansiyeline ve Ardışık Barajlardaki Enerji Üretimine Etkilerinin İncelenmesi	2012	AKOM	İstanbul Çevresine Sel Erken Uyarı Sistemi Kurulması
2021	TÜBİTAK	Tarla İn: İklimsel Risklere Karşı Dayanıklılık İçin Tarlaların Uzaktan İncelemesi	2012	ODTÜ	Modelleme Araştırma Laboratuvarı Geliştirilmesine Yönelik Altyapı Projesi
2021	TÜBİTAK	Türkiye'deki Karasal Su ve Karbon Depolarına Ait Mekânsal-Zamansal Dinamikler Arasındaki İlişkinin İncelenmesi	2011	ODTÜ	Fırat ve Dicle Havzalarında İklim Değişikliğinin Akışlarına Etkisinin Araştırılması
2020	TÜBİTAK	Uydu Görüntülerinden Yüksek Çözünürlüklü Gerçek Buharlaşma Hesabı	2011	MGM	Türkiye İçin Taşkın Tahmini ve Erken Uyarı Sistemi Fizibilite Çalışması
2020	TÜBİTAK	Türkiye Üzerinde Konvektif ve Cephesel Yağış Tahmininde Model Tabanlı Kısa Vadeli Yağış Tahminlerinin Doğruluk Değerlendirmesi	2010	TÜBİTAK	Bölgesel Hidrometeorolojik Modelleme Sistemi Kullanılarak Taşkın Analizi
2018	TÜBİTAK	Türkiye Üzerinde Yer Gözlem Verileriyle İyileştirilmiş Yüksek Çözünürlüklü Homojen Radar Yağış Haritası Elde Edilmesi	2010	NASA	Veri Asimilasyon Performansını Artırmak İçin Su Kısıtlamasının Getirilmesi 3
2018	TÜBİTAK	Bütünleştirilmiş Atmosferik-Hidrolojik Model Sisteminin Taşkın Olayları İçin İki Farklı Havzada Değerlendirilmesi	2009	NOAA	GOES-R Yağış Verileri İçin Orografik Düzeltme Yöntemi Geliştirilmesi
			2009	NASA	Veri Asimilasyon Performansını Artırmak İçin Su Kısıtlamasının Getirilmesi 2
			2008	NASA	Veri Asimilasyon Performansını Artırmak İçin Su Kısıtlamasının Getirilmesi 1
			2007	TÜBİTAK	Meteoroloji, Oşinografi Mükemmelleştiriciler Ağı Projesi
			2003	NOAA	Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi Kooperatifi Uzaktan Algılama Bilim ve Teknoloji Merkezi
			2003	NASA	Virginia Erişimi ve Orta Atlantik Jeo-uzaysal Bilgi Konsorsiyumu (MAGIC)
			1997	NASA	Yer Gözlem Uyduları (EOS) Projesi

1. Hidromod: Çalışma Alanları ve Çözüm Yaklaşımımız

Tarımsal Ürün Sınıflandırması



10-30 m alansal çözünürlük

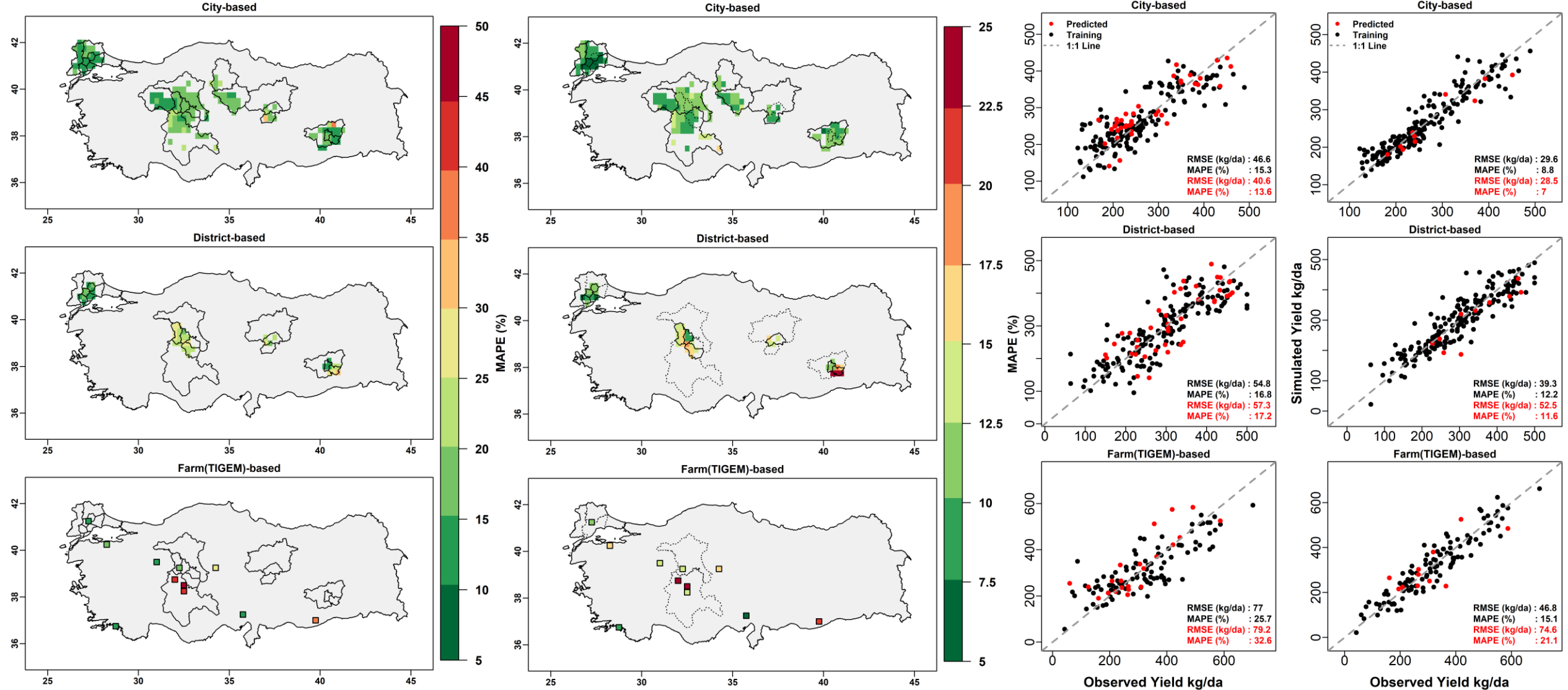
1. Hidromod: Çalışma Alanları ve Çözüm Yaklaşımımız

AquaCrop Model

MLR Model

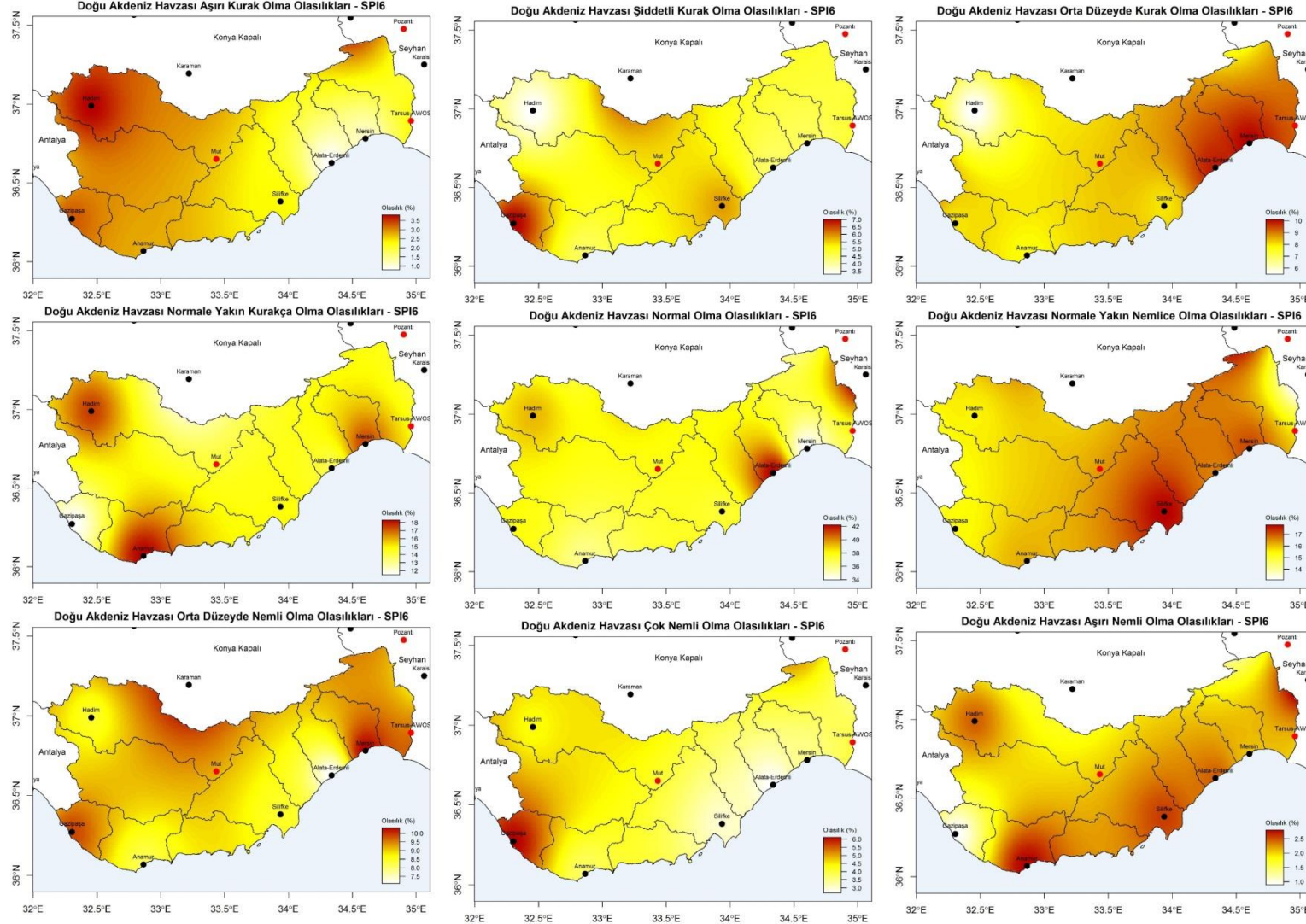
AquaCrop Model

MLR Model

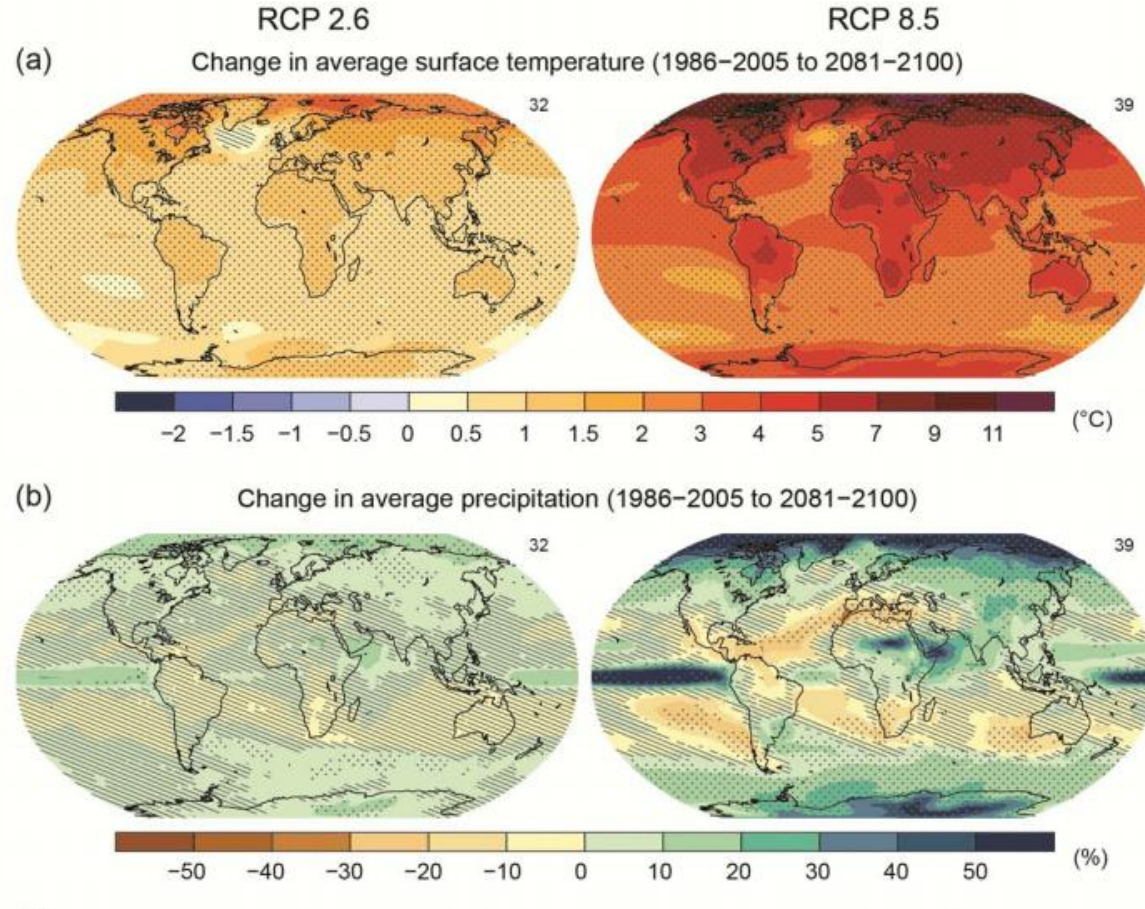


1. Hidromod: Çalışma Alanları ve Çözüm Yaklaşımımız

Kuraklık Risk Analiz



2. İklim Değişikliği ve Yüksek Çözünürlüklü Veri İhtiyacı

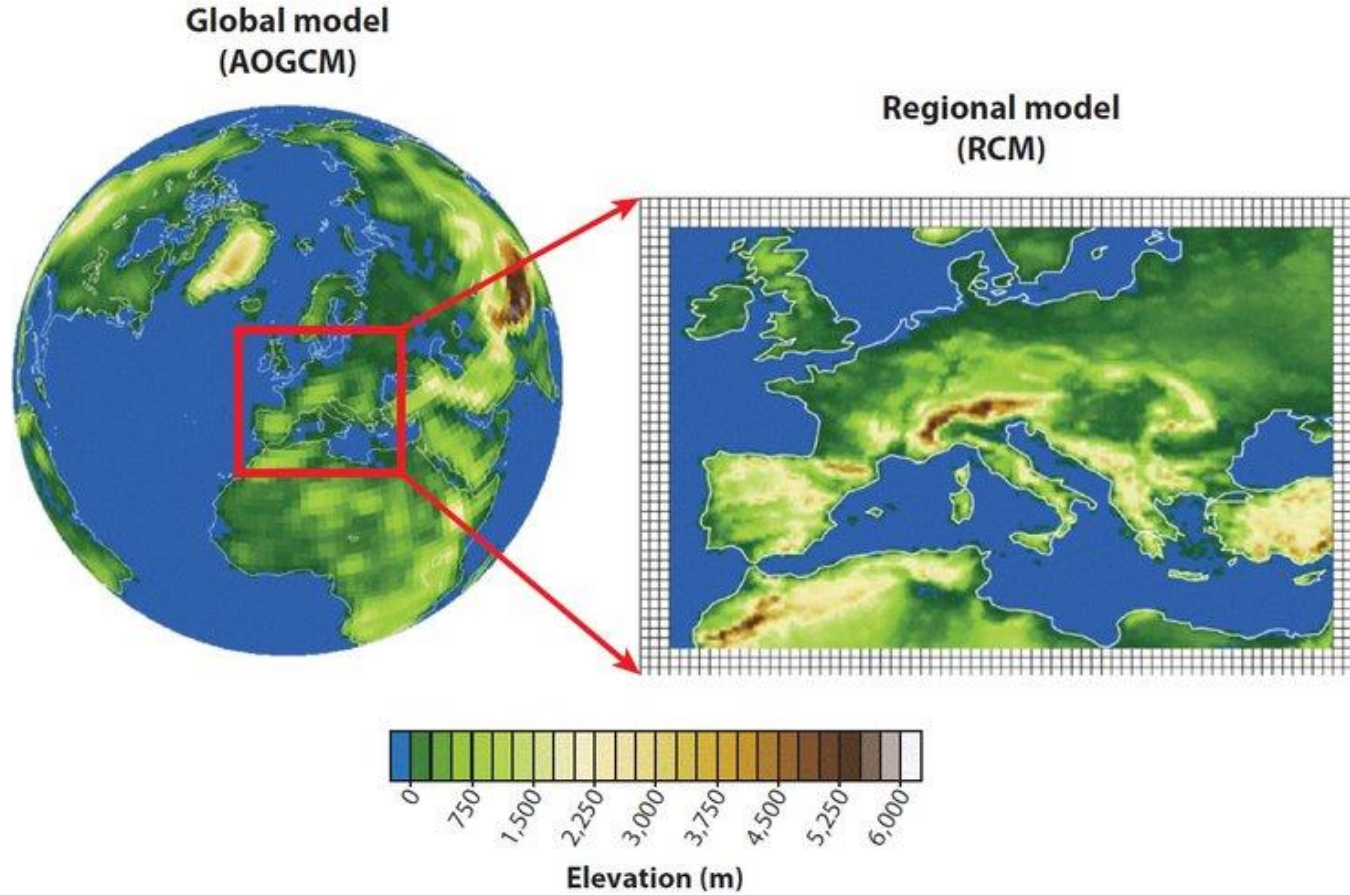


Gözlenen Başlıca Etkiler:

- Artan sıcak hava dalgaları
- Daha sık ve şiddetli kuraklıklar
- Aşırı yağış ve taşkın olayları
- Su kaynakları üzerindeki artan baskı

(IPCC AR5, 2014)

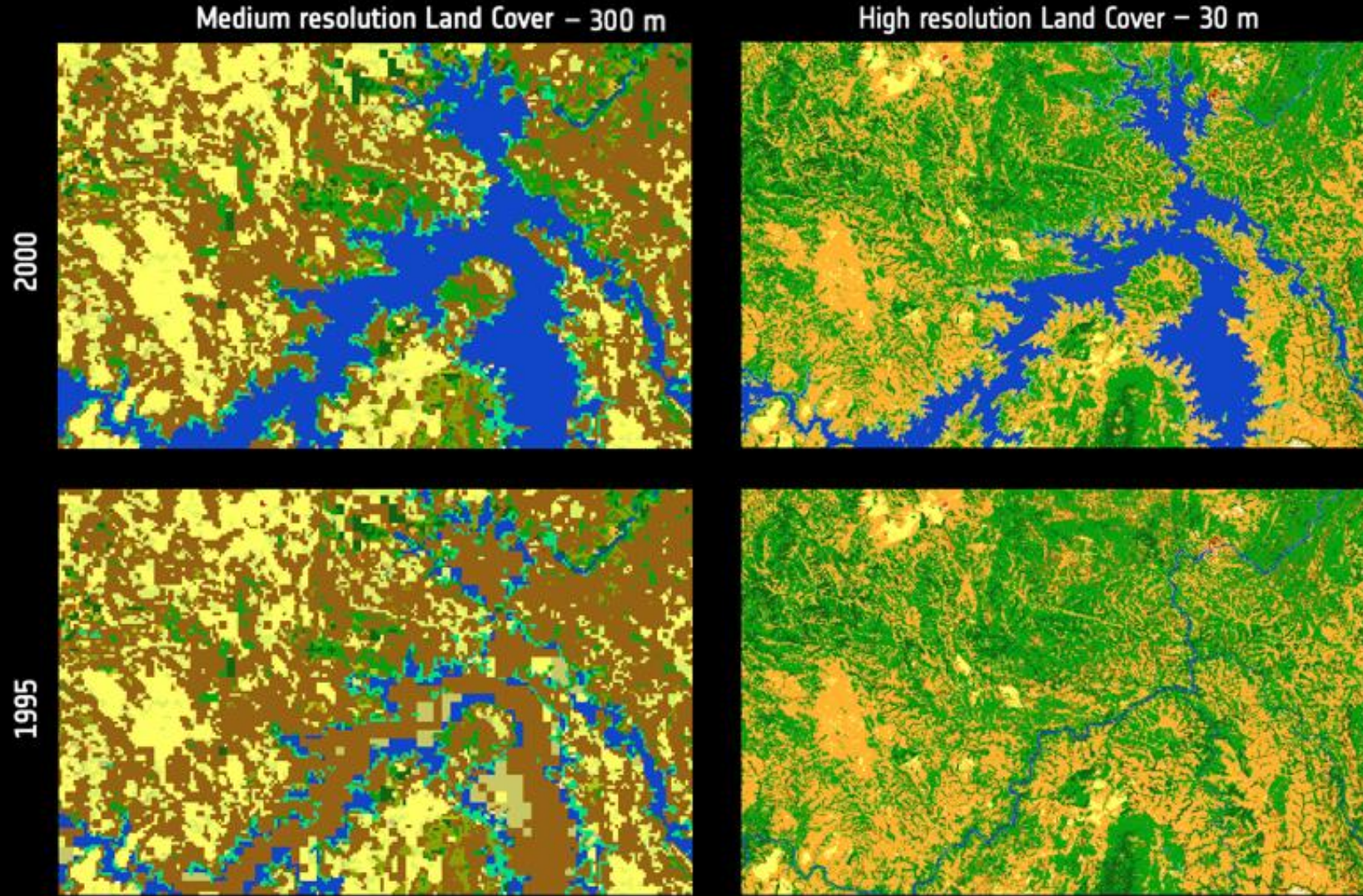
2. İklim Değişikliği ve Yüksek Çözünürlüklü Veri İhtiyacı



Neden Bölgesel İklim Modelleri?

- Küresel iklim modellerinin çözünürlüğü yerel uygulamalar için yetersiz kalabilmektedir.
- Bölgesel iklim modelleri, topografya ve kara yüzeyi özelliklerini daha ayrıntılı temsil edebilmektedir.
- Bu sayede sıcaklık, yağış ve rüzgâr gibi değişkenler yerel ölçekte daha gerçekçi şekilde analiz edilebilmektedir.

2. İklim Değişikliği ve Yüksek Çözünürlüklü Veri İhtiyacı



3. Türkiye İklim Projeksiyonları: Modelleme Yaklaşımı

Kullanılan GCM Modelleri ve İlgili Senaryoları:

Küresel İklim Modeli (Ülke) (Varyant)	Referans	SSP2-4.5	SSP5-8.5
CMCC-ESM2 (Italy) (r1i1p1f1)	✓	✓	✓
EC-Earth3-Veg (Europe) (r1i1p1f1)	✓	✓	✓
HadGEM3-GC31-MM (UK) (r1i1p1f3)	✓		✓
HadGEM3-GC31-LL (UK) (r1i1p1f3)	✓	✓	
MPI-ESM1-2-HR (Germany) (r1i1p1f1)	✓	✓	✓
MRI-ESM2-0 (Japan) (r1i1p1f1)	✓	✓	✓
NorESM2-MM (Norway) (r1i1p1f1)	✓	✓	✓

***ERA5 Reanaliz Verisi ve 6 CMIP6 Küresel İklim Modeli (GCM)*

Çalışma Döemi:

- Referans Dönemi: 1950–2014
- Projeksiyon Dönemi: 2015–2100

Senaryolar:

- SSP2-4.5 (Orta Düzey Emisyon Senaryosu)
- SSP5-8.5 (Yüksek Emisyon Senaryosu)

Çalışma Alanı: Türkiye merkezli domain

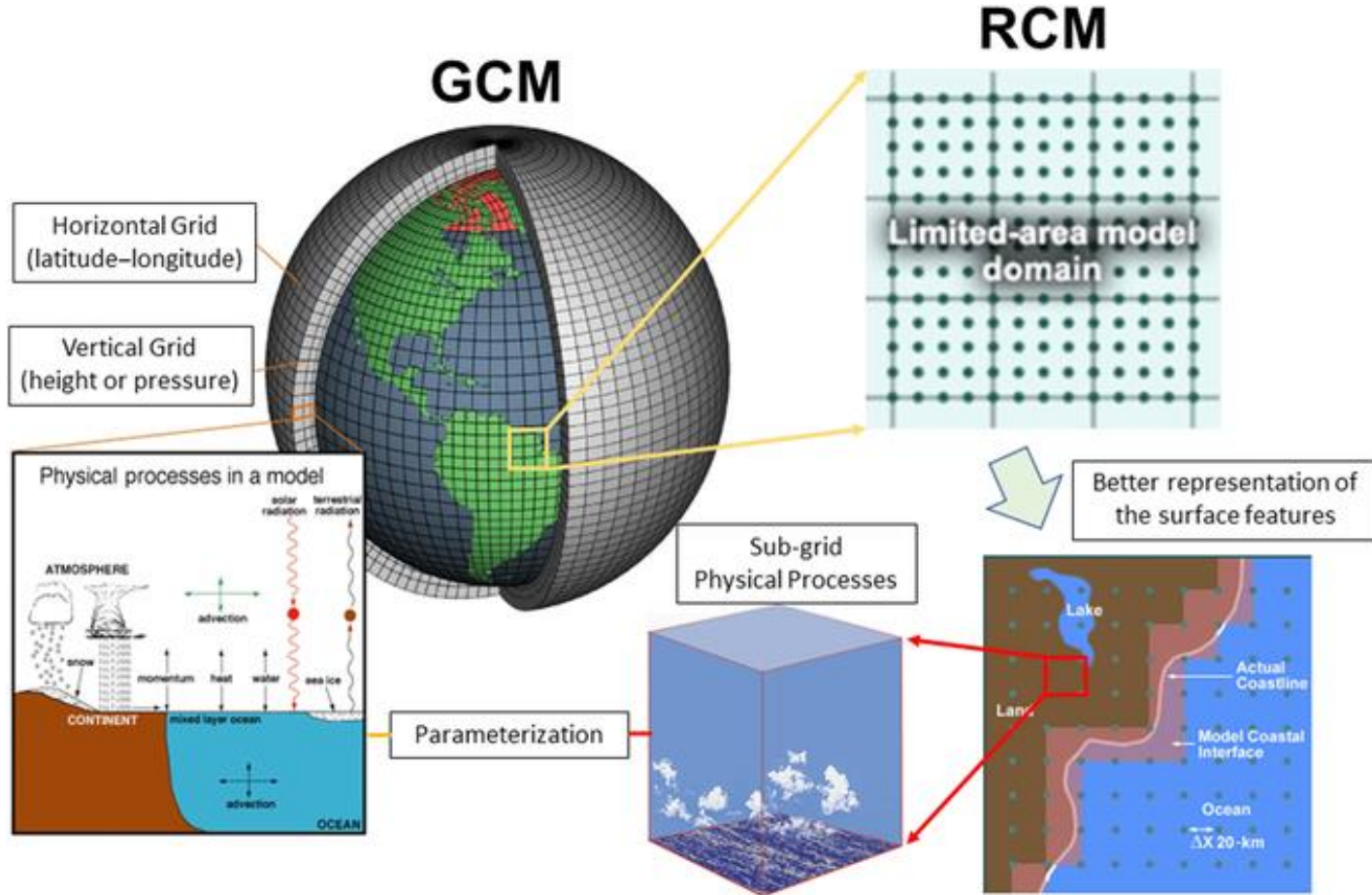
Amaç:

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı ve Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP) ortaklığında yürütülen proje kapsamında, Türkiye için yüksek çözünürlüklü iklim projeksiyonlarının üretilmesi hedeflenmiştir.

Proje kapsamında, iklim değişikliğinin etkileri görece orta ve kötümser senaryolar altında değerlendirilmiş; sıcaklık, yağış ve rüzgâr gibi temel iklim değişkenleri için geleceğe yönelik projeksiyonlar geliştirilmiştir.

3. Türkiye İklim Projeksiyonları: Modelleme Yaklaşımı

GCM -> RCM

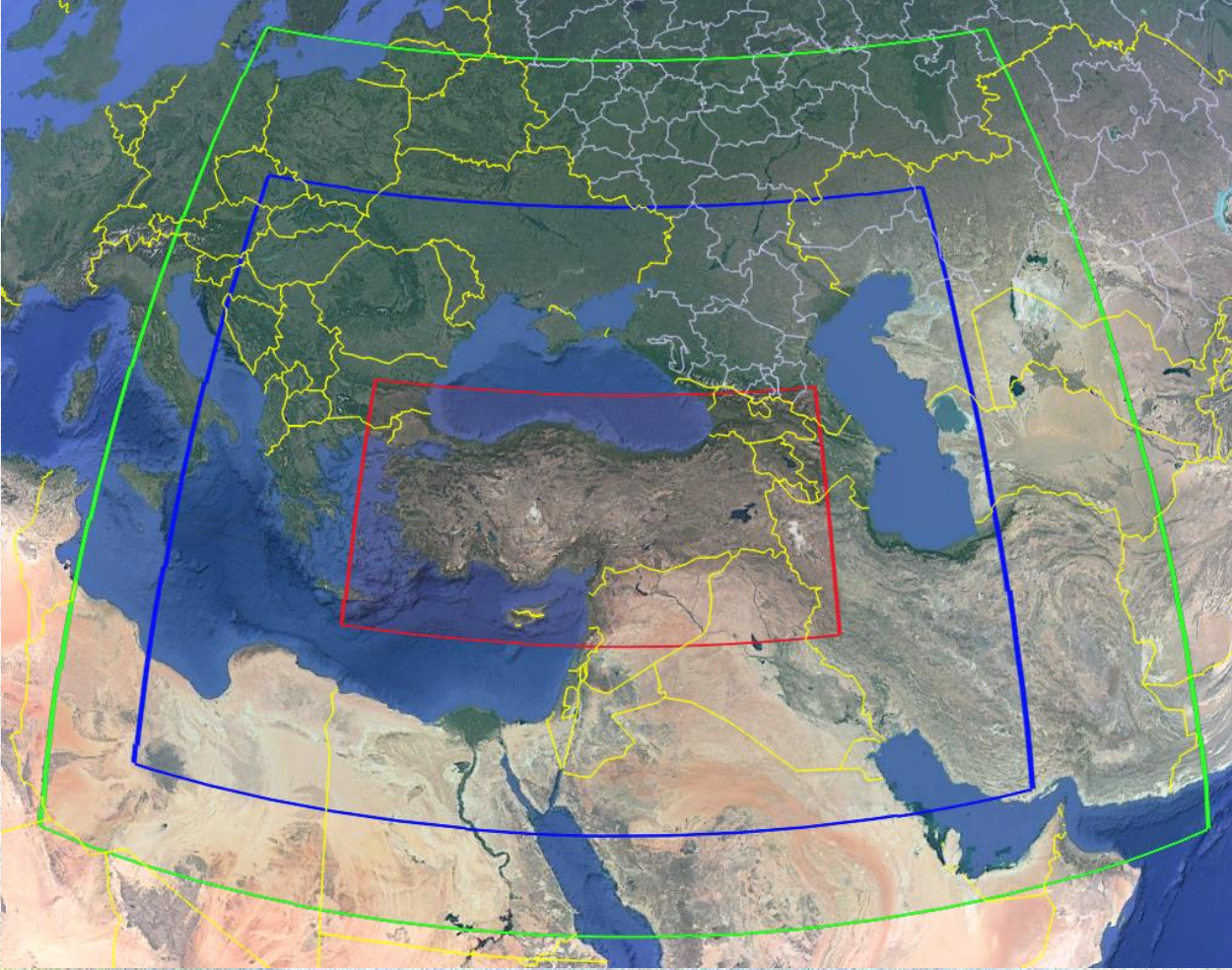


Küresel iklim modelleri (GCM), atmosfer ve okyanus sistemlerini küresel ölçekte temsil etmektedir. Ancak bu modellerin çözünürlüğü (yaklaşık 100 km), yerel iklim özelliklerini ve topoğrafik etkileri yeterince yansıtmak için çoğu zaman yetersiz kalmaktadır.

Bu nedenle küresel modellerden elde edilen atmosferik ve yüzey koşulları, WRF Bölgesel İklim Modeli kullanılarak Türkiye üzerinde daha yüksek çözünürlükte (3 km) yeniden modellenmiştir.

3. Türkiye İklim Projeksiyonları: Modelleme Yaklaşımı

Dinamik Ölçek Küçültme (Downscaling)



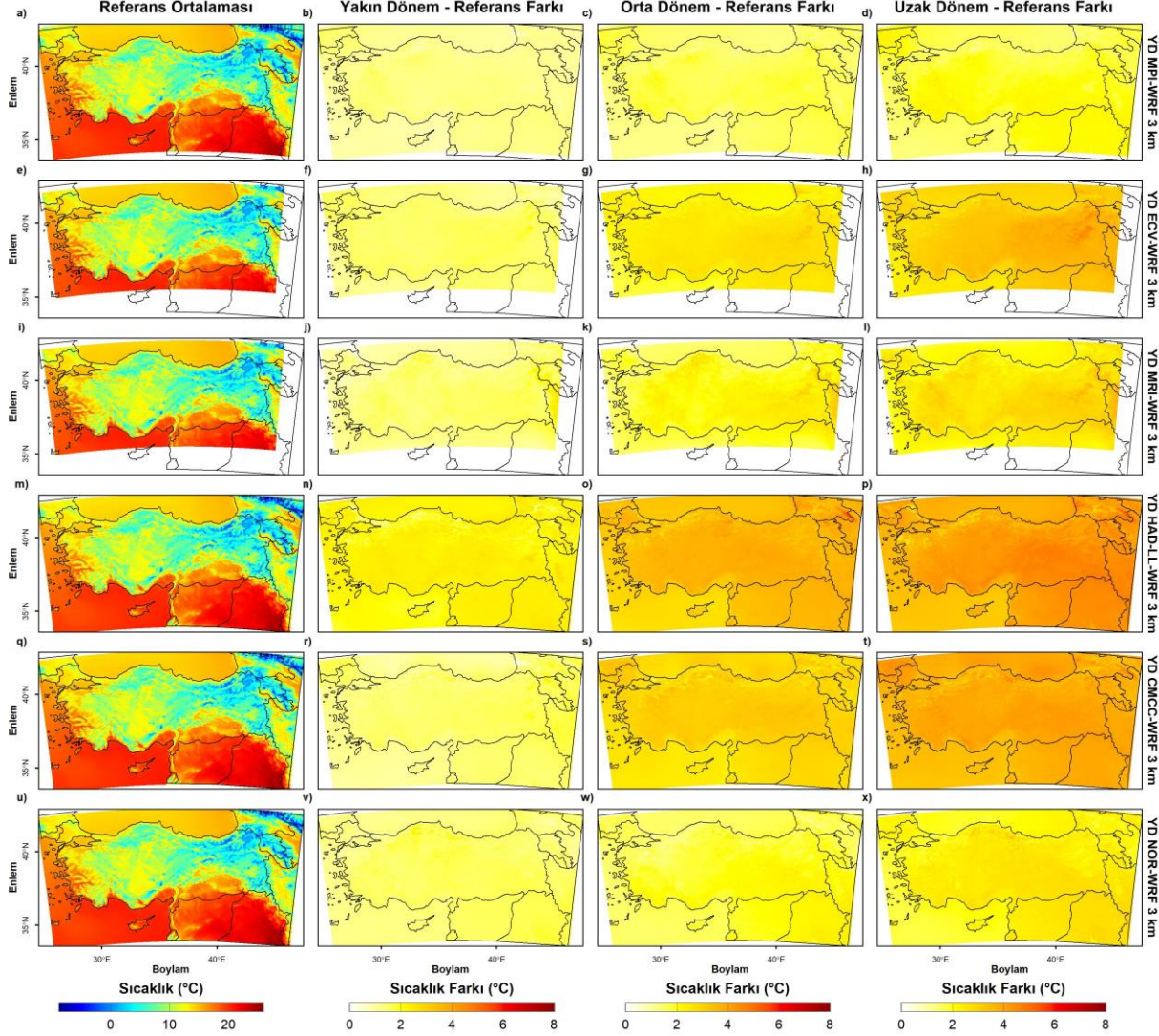
WRF modeli kullanılarak iç-içe
nest yapısı ile elde edilen:

- 27km (yeşil),
- 9km (mavi),
- 3km (kırmızı) çözünürlüklü
çalışma alanları.

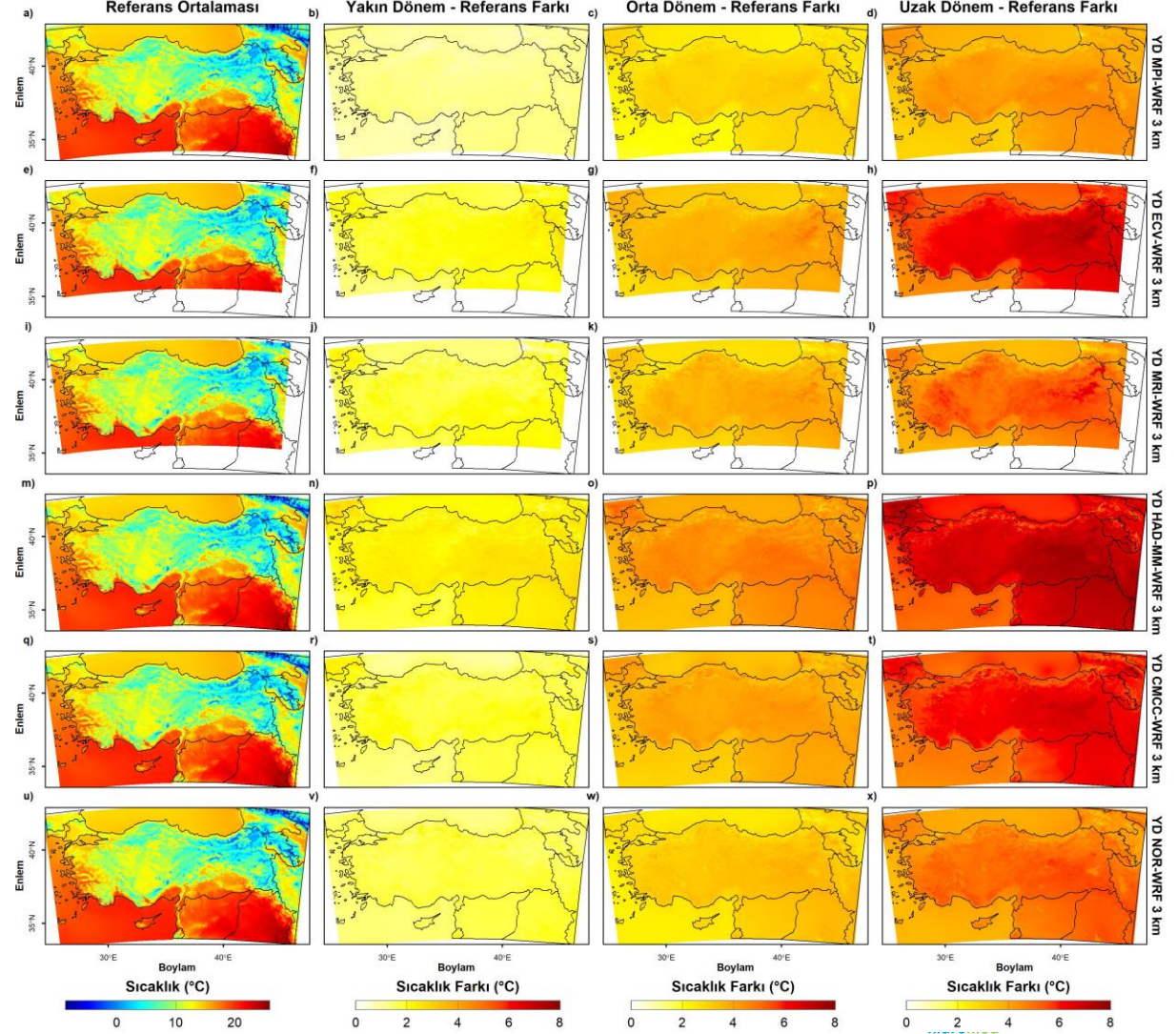
3. Türkiye İklim Projeksiyonları: Modelleme Yaklaşımı

Projeksiyonlar (SSP2-4.5 ve SSP5-8.5)

SSP2-4.5

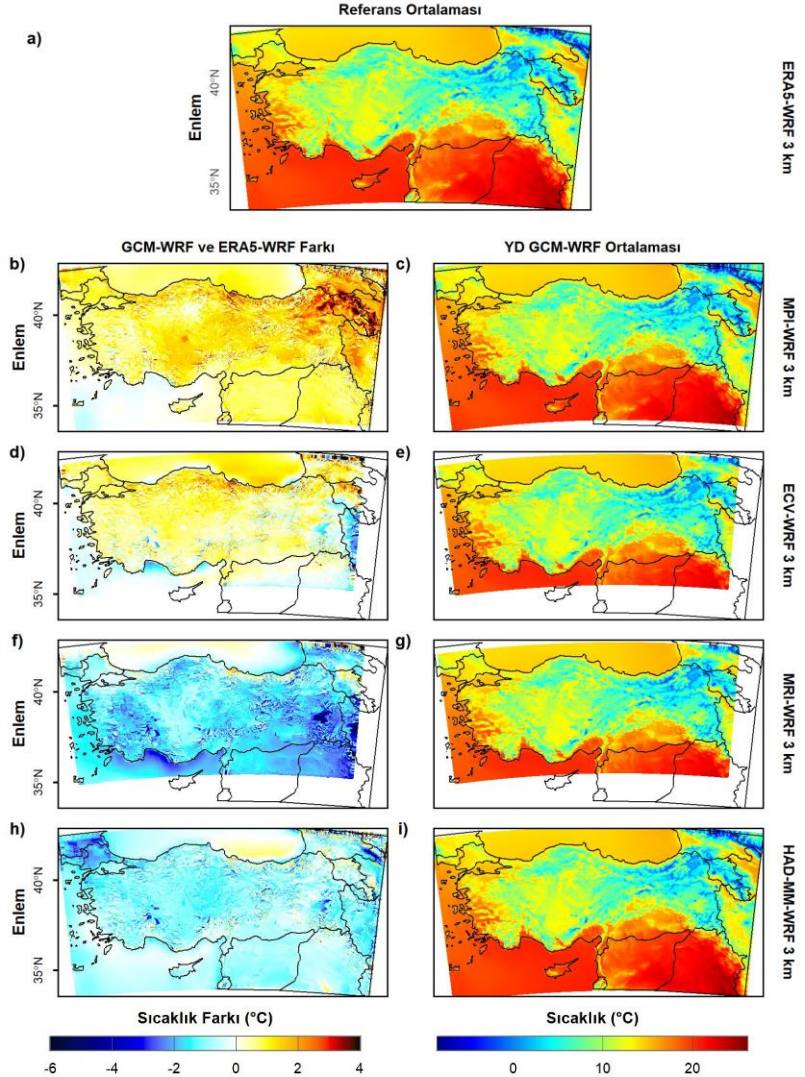


SSP5-8.5



3. Türkiye İklim Projeksiyonları: Modelleme Yaklaşımı

Yanlılık Düzeltmesi (Bias Correction)

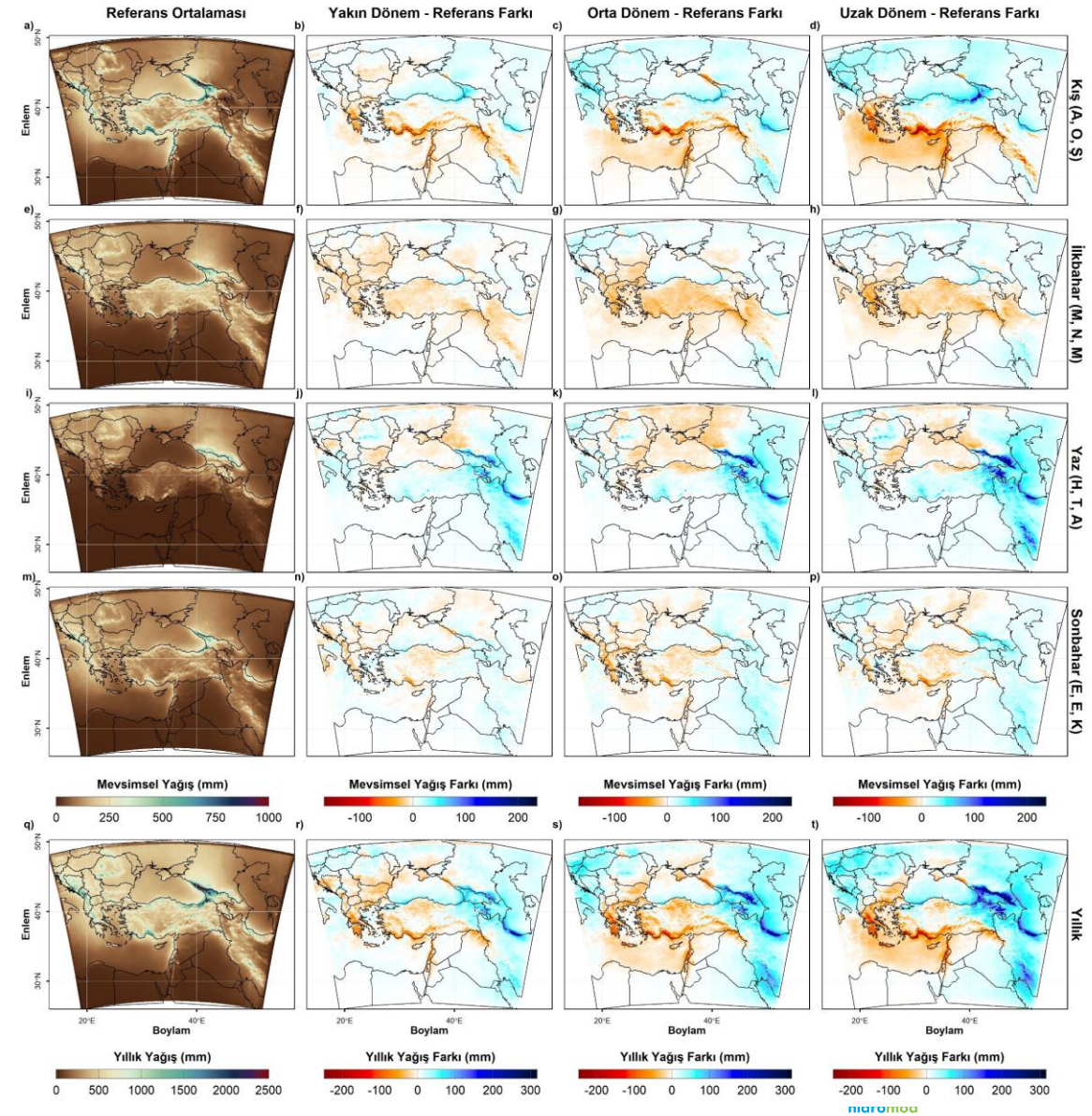
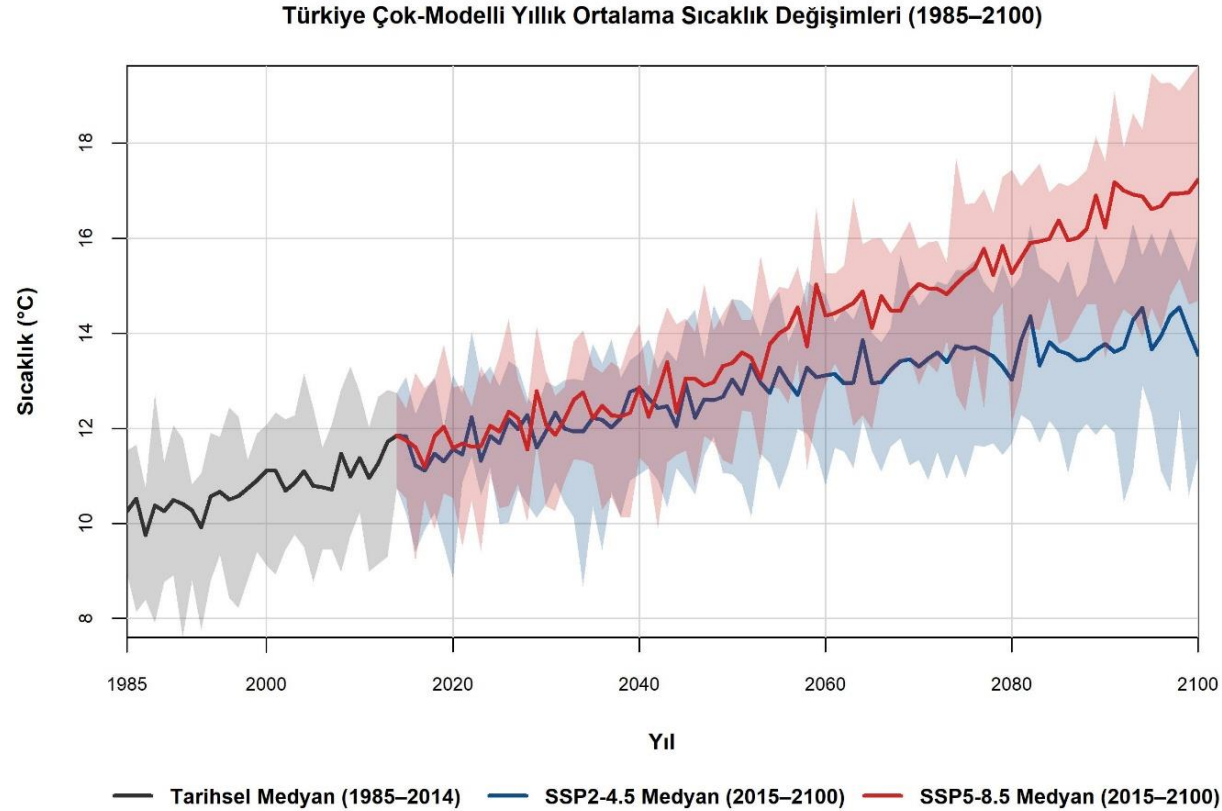


Neden Yanlılık Düzeltmesi?

- İklim modelleri sıcaklık, yağış ve rüzgâr gibi değişkenlerde sistematik sapmalar (bias) içerebilmektedir.
- Referans veri seti olarak, gözlem verileri ile birleştirilerek oluşturulan ve literatürde yaygın olarak kullanılan ERA5 yeniden analiz (reanalysis) verisi kullanılmıştır.
- ERA5 verileri de aynı modelleme zinciri kullanılarak WRF ile 9 km ve 3 km çözünürlüğe indirgenmiş ve referans veri seti olarak hazırlanmıştır.
- CMIP6-WRF çıktıları, ERA5-WRF verileri kullanılarak Kantil Delta Haritalama (QDM) yöntemi ile düzeltilmiştir.
- Böylece, iklim değişikliği sinyali korunurken sistematik hataları azaltılmış, daha güvenilir ve karar destek çalışmalarında kullanılabilir yüksek çözünürlüklü veri setleri elde edilmiştir.

3. Türkiye İklim Projeksiyonları: Modelleme Yaklaşımı

Çok-Model Yaklaşımı (Ensemble)



4. MareNostrum 5 ve TRUBA ile HPC Deneyimi

HPC Neden Gerekliydi?- MareNostrum 5

Bileşen	Kapsam
Küresel İklim Modelleri	6 CMIP6 modeli + ERA5 yeniden analiz verisi
Emisyon Senaryoları	SSP2-4.5 ve SSP5-8.5
Çözünürlükler	9 km ve 3 km
Çalışma Dönemi	1950-2100
Zaman Çözünürlüğü	Saatlik, Günlük ve Yıllık
İklim Değişkenleri	Yaklaşık 30 atmosferik ve yüzey değişkeni
Veri Türleri	Ham (Raw) ve Yanlılık Düzeltilmiş (Bias Corrected)
Başlıca Değişkenler	Sıcaklık, Yağış, Rüzgâr, Basınç, Toprak Nemi, Radyasyon vb.

MareNostrum 5 Üzerinde Gerçekleştirilen Çalışmalar:

- WRF tabanlı tüm dinamik ölçek küçültme simülasyonları MareNostrum 5 üzerinde gerçekleştirildi.
- Küresel iklim modellerinden elde edilen veriler, 27 km → 9 km → 3 km çözünürlüklerde yeniden üretildi.
- Saatlik çözünürlükte sıcaklık, yağış ve rüzgârın yanı sıra yaklaşık 30 atmosferik ve yüzey değişkeni üretildi.
- Üretilen yüksek çözünürlüklü veri setleri, daha sonra TRUBA üzerinde gerçekleştirilen yanlılık düzeltmesi, kalite kontrol ve analiz çalışmalarının temel girdisini oluşturdu.
- Simülasyonlar sonucunda yaklaşık 13 PB veri üretildi ve depolandı.

4. MareNostrum 5 ve TRUBA ile HPC Deneyimi

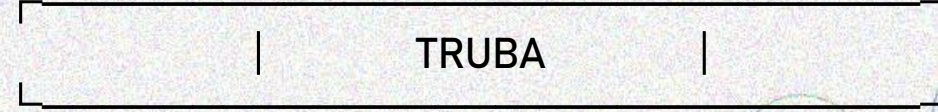
HPC Neden Gerekliydi?- TRUBA



Küresel İklim Modelleri (GCM)
6 GCM + ERA5

↓
Dinamik Ölçek Küçültme
27 km → 9 km → 3 km

↓
Bölgesel (RCM) WRF Çıktıları
(SSP2-4.5 / SSP5-8.5)



Bölgesel (RCM) WRF Çıktıları
(SSP2-4.5 / SSP5-8.5)

↓
Yanlılık Düzeltmesi (Bias Correction)

↓
Çoklu Model Yaklaşımı (Ensemble)

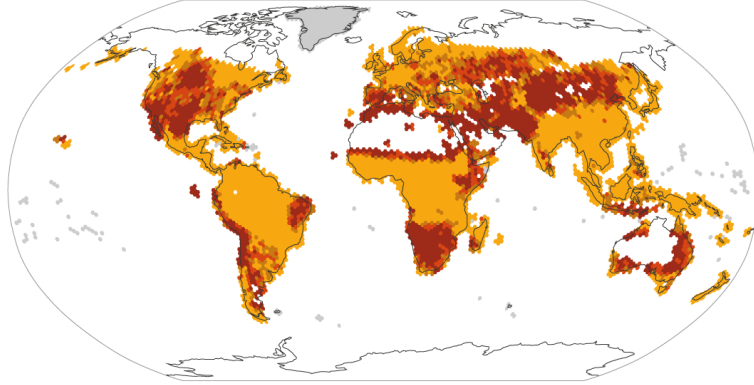
↓
Nihai Veri Setleri ve Analizler

5. Tarım ve Su Kaynakları İçin Uygulama Alanları

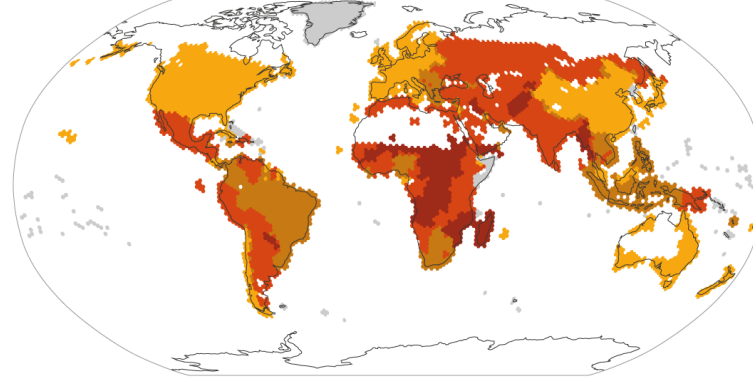
Rainfed agriculture: Drought risks, hazards, exposure and vulnerability indicators

Observed period 1986–2015

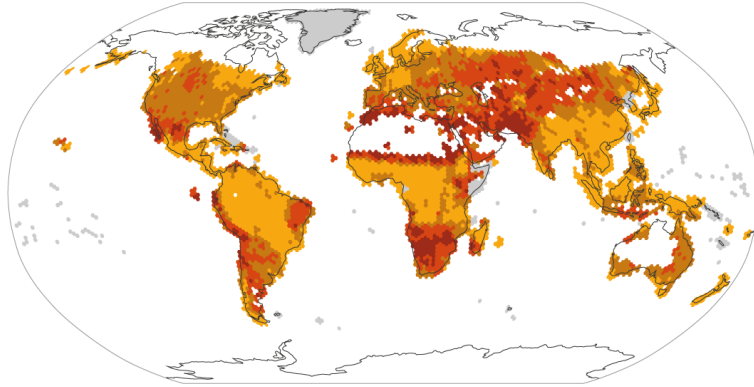
(a) Hazard and exposure indicator score



(b) Vulnerability index



(c) Drought risk index



Indicator scores for rainfed agriculture

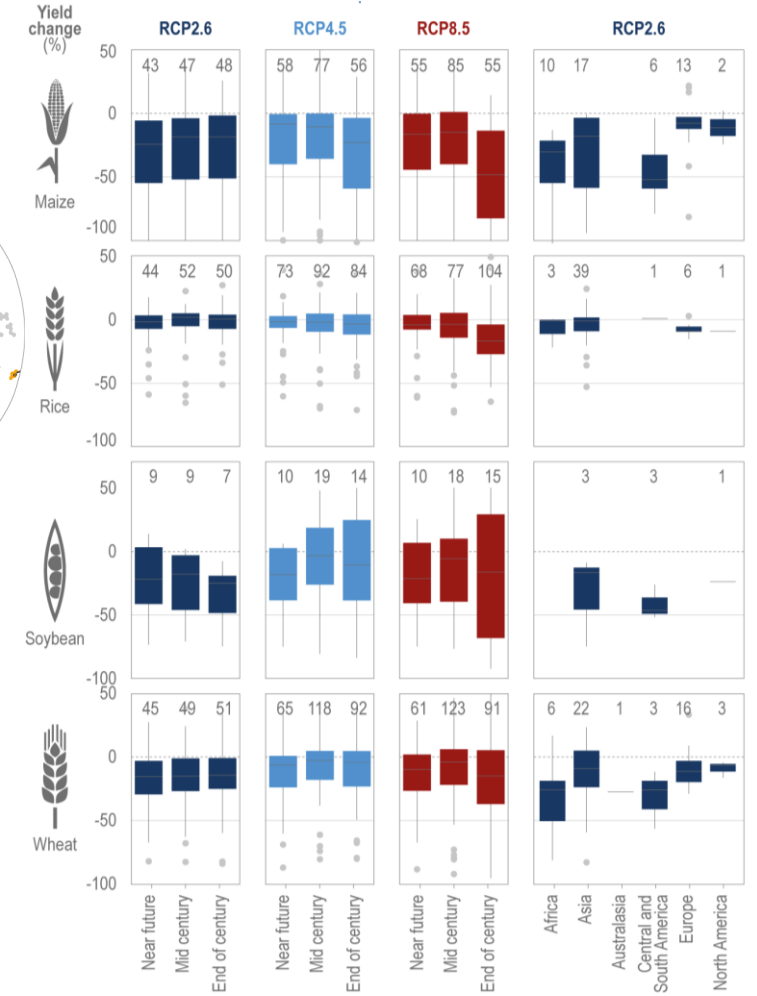


Areas with no crops

Areas with no data

Data averaged over 1.5° hexagons

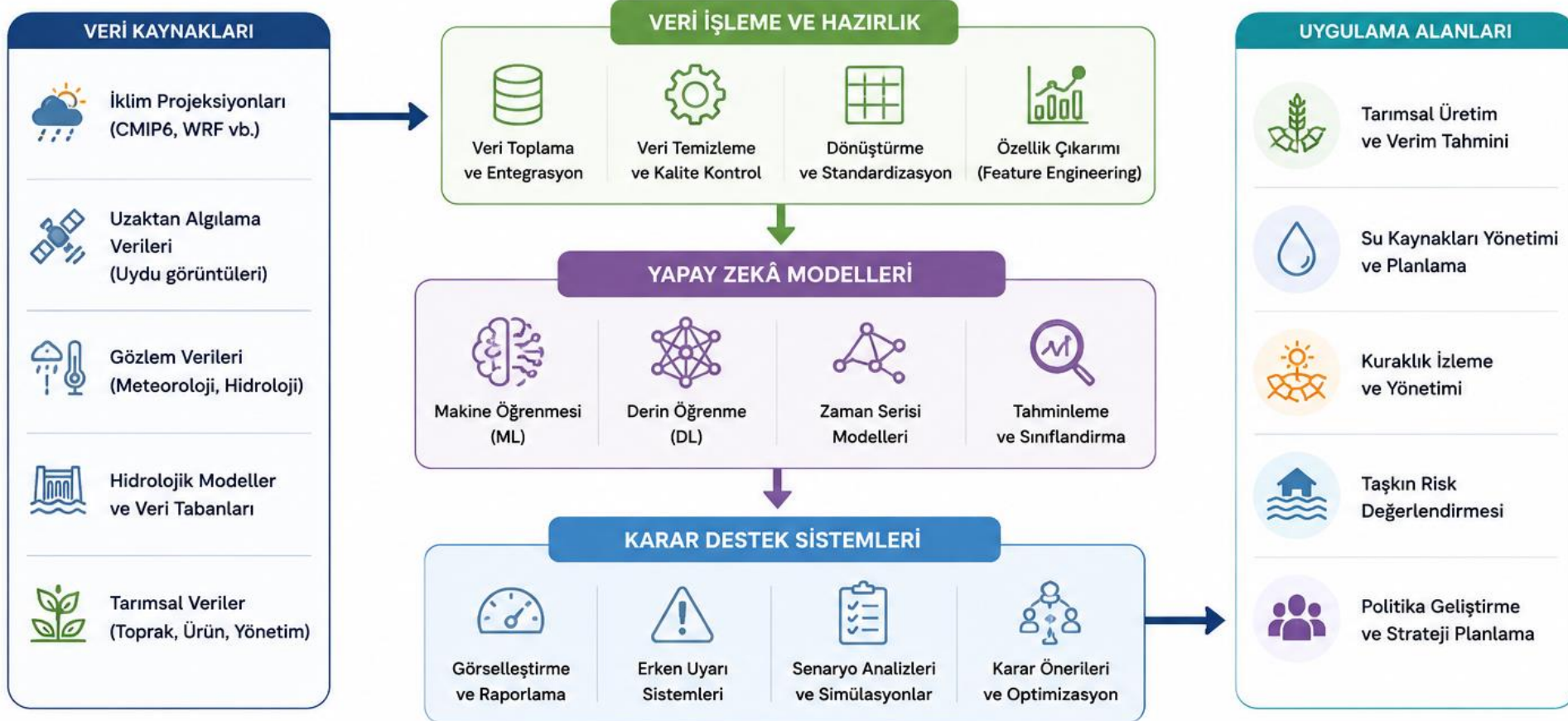
(IPCC AR6, 2022)



5. Tarım ve Su Kaynakları İçin Uygulama Alanları



6. Geleceğe Bakış: Yapay Zekâ Destekli Karar Destek Sistemleri



TEŞEKKÜRLER!

