

**TÜRKİYE ÜZERİNDE 21. YÜZYILDA RÜZGAR HIZI VE RÜZGAR
ENERJİSİ POTANSİYELİNİN İNCELENMESİ ve WAsP MODELİ İLE
SEÇİLİ BÖLGE İÇİN SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ERKAN YILMAZ

Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Atmosfer Bilimleri Programı

AĞUSTOS 2016

**TÜRKİYE ÜZERİNDE 21. YÜZYILDA RÜZGAR HIZI VE RÜZGAR
ENERJİSİ POTANSİYELİNİN İNCELENMESİ ve WAsP MODELİ İLE
SEÇİLİ BÖLGE İÇİN SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ERKAN YILMAZ
511131006**

Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Atmosfer Bilimleri Programı

Tez Danışmanı: Prof Dr. Yurdanur S. Ünal

AĞUSTOS 2016

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 511131006 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **ERKAN YILMAZ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**TÜRKİYE ÜZERİNDE 21. YÜZYILDA RÜZGAR HIZI VE RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYELİNİN İNCELENMESİ ve WAsP MODELİ İLE SEÇİLİ BÖLGE İÇİN SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Yurdanur S. ÜNAL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. S. Sibel MENTEŞ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Zafer Aslan
İstanbul Aydın Üniversitesi

Teslim Tarihi : 02 Mayıs 2016
Savunma Tarihi : 12 Ağustos 2016





Aileme...



ÖNSÖZ

Bu çalışmada Türkiye ve Denizleri için iklim modeli çıktıları kullanılarak 21. yüzyılda rüzgar hızı ve rüzgar enerjisi potansiyelindeki değişimler incelenmiştir.

Tezimin hazırlanmasında danışmanlığımı yapan, bu konudaki engin bilgisini ve tecrübesini çalışmamın her aşamasında benimle paylaşan, emeğini ve bilgisini ortaya koyan çok değerli hocam Sayın Prof. Dr. YURDANUR S. ÜNAL'a, rüzgar ve rüzgar enerjisi alanında her daim fikir ve görüşlerine başvurduğum, şu anda projesinde çalıştığım proje yürütücüsü Sayın Prof. Dr. SİBEL S. MENTEŞ'e, ve projemizde beraber çalıştığımız çok değerli hocam Sayın Prof. Dr. ZAFER ASLAN hocama manevi desteklerinden dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Bitirme çalışmalarım da çok kısa sürede büyük adımlar atmama sebep olan, model çıktılarını görüntüleştirme aşamaların da yardımcı olan, uzun bir süredir yanyana olduğumuz çok değerli çalışma arkadaşlarım ve meslektaşlarım Sayın Meteoroloji Müh. SİMGE İREM BİLGİN, Sayın Meteoroloji Müh. CEMRE YÜRÜK ve Sayın Meteoroloji Müh. FULDEN BATİBENİZ'e her daim destekleri ve yanımda oldukları için çok teşekkür ederim.

Öğrencilik yıllarımı ve meslek hayatımın bu ilk yıllarını beraber yürüdüğümüz, birçok bilgi ve birikimi beraber paylaştığımız, acı ve tatlı birçok anı biriktirdiğim, çok değerli yol arkadaşlarım, maddi ve manevi destekçilerim Sayın Meteoroloji Müh. NUR GÖKTEPE ve Sayın Meteoroloji Müh. FAHRİ MERT SAYINTA'ya, hayatımın her anında attığım her adımda desteklerini benden esirgemeyen, bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi olan çok sevgili ANNEME, BABAMA ve canım KARDEŞİME sonsuz teşekkür ederim.

Mayıs 2016

Erkan Yılmaz
Meteoroloji Mühendisi



İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ	1
1.1 Global Rüzgar Enerjisi Konseyi.....	2
1.1.1 GWEC 2016-2020 öngörülleri	3
1.1.2 GWEC 2013-2050 öngörülleri	4
1.2 Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliğı	6
1.2.1 EWEA 2015-2020 öngörülleri	7
1.2.2 EWEA 2015-2050 öngörülleri	8
1.3 Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliğı.....	8
1.3.1 Türkiye rüzgar enerjisi potansiyeli.....	9
1.4 Literatür Araştırması	13
2. VERİ VE METEDOLOJİ	23
2.1 Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Haritaları.....	23
2.2 MPI-EMS-MR ve RegCM4.3 Simülasyonları Veri Seti.....	31
3. ANALİZ	33
3.1 Referans Senaryosu Analizi	33
3.1.1 Referans senaryosu 80 m yükseklik analizi	33
3.1.2 Referans senaryosu 200 m yükseklik analizi	36
3.2 RCP 4.5 Senaryosu Simülasyon Sonuçları Analizi	39
3.2.1 RCP 4.5 senaryosu 80 m yükseklik analizi.....	39
3.2.2 RCP 4.5 senaryosu 200 m yükseklik analizi.....	47
3.2.3 RCP 4.5 senaryosu 80 m yükseklikteki rüzgar potansiyeli analizi	55
3.2.4 RCP 4.5 senaryosu 200 m yükseklikteki rüzgar potansiyeli analizi ..	59
3.3 RCP 8.5 Senaryosu Simülasyon Sonuçları Analizi	63
3.3.1 RCP 8.5 senaryosu 80 m yükseklik analizi.....	63
3.3.2 RCP 8.5 senaryosu 200 m yükseklik analizi.....	72
3.3.3 RCP 8.5 senaryosu 80 m yükseklikteki rüzgar potansiyeli analizi	79
3.3.4 RCP 8.5 senaryosu 200 m yükseklikteki rüzgar potansiyeli analizi ..	84
3.4 WAsP Modeli ile Sonuçların İncelenmesi	88
4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	97
KAYNAKLAR	103
ÖZGEÇMİŞ.....	109



KISALTMALAR

AOGCM	: Atmosfer-Okyanus Genel Sirkülasyon Modeli
CO₂	: Karbondioksit
COSMO	: Küçük Ölçek Modelleme Konsorsiyumu
ECHAM	: Atmosfer Genel Sirkülasyon Modeli
EİGM	: Enerji İşleri Genel Müdürlüğü
EPDK	: Elektrik Piyasası Denetleme Kurumu
EWEA	: Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliği
GW	: Gigawatt
GWEC	: Küresel Rüzgar Enerjisi Konseyi
HadCM2	: Hadley Birleştirilmiş Model Merkezi İklim Modeli
ICTP	: Uluslararası Teorik Fizik Merkezi
IPCC	: Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MPI EMS MR	: Max Planck Enstitüsü Dünya-Model Sistemi
MW	: Megawatt
OECD	: Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
PRECIS	: Etki Çalışmalarını Destekleyici Bölgesel İklimler
RCA	: Rossby Bölgesel İklim Modelleme Merkezi
RCP	: Temsili Konsantrasyon İz yolu
RegCM	: Bölgesel İklim Modeli
REPA	: Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası
RES	: Rüzgar Enerjisi Santrali
SRES	: Emisyon Senaryoları Özel Raporu
SRTM	: Shuttle Radar Topografya Görevi
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TÜREB	: Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği
TW	: Terawatt
YEGM	: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
YEK	: Yenilenebilir Enerji Kaynakları
WAsP	: Rüzgar Atlası Analiz ve Başvuru Programı
WED	: Rüzgar Enerjisi Yoğunluğu
WRF	: Hava Araştırma ve Tahmin Programı



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Dünya – Sistem Model Bileşenlerinin Özellikleri.	31
Çizelge 3.1 : Ölçüm Noktalarının Özellikleri.....	88
Çizelge 3.2 : WAsP Model Sonuçları.....	95



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : 1971 ve 2008 Kaynak Kullanım Oranları (EWEA, 2009).	1
Şekil 1.2 : Küresel Yıllık Kurulu Güç Değerleri 2000-2015 (GWEC, 2015)	2
Şekil 1.3 : Küresel toplam kurulu rüzgar kapasitesi 2000-2015 (GWEC, 2015).	3
Şekil 1.4 : 2016-2020 için Pazar Tahmini (GWEC, 2015).	3
Şekil 1.5 : OECD Avrupa Toplam Rüzgar Güç Kapasitesi 2014-2030 (GWEC, 2014).	4
Şekil 1.6 : Küresel Kümülatif Rüzgar Güç Kapasitesi 2013-2050 (GWEC, 2014). ...	5
Şekil 1.7 : Yıllık CO ₂ emisyon azalımı 2013-2015 (GWEC, 2014).	5
Şekil 1.8 : Kümülatif CO ₂ emisyon azalımı 2013-2015 (GWEC, 2014).	6
Şekil 1.9 : Avrupa’da Kurulu Kümülatif Rüzgar Gücü (EWEA, 2016).	6
Şekil 1.10 : 2015 – 2020 Kapasite ve elektrik Üretimi Hedefi (EWEA, 2013).	7
Şekil 1.11 : 2020 Kurulu Güç Tahmini (EWEA, 2014).	7
Şekil 1.12 : EWEA 2050 Elektrik Üretimi Tahmini (EWEA, 2011).	8
Şekil 1.13 : Türkiye Rüzgar Enerjisi Santralleri Kümülatif Kurulum (TÜREB, 2016).	9
Şekil 1.14 : 2011 Türkiye’nin Batısı için Rüzgar Santralleri Atlası (TÜREB, 2011).	10
Şekil 1.15 : 2016 Türkiye’nin Batısı için Rüzgar Santralleri Atlası (TÜREB, 2016).	11
Şekil 1.16 : 2013- 2022 dönemi Yenilenebilir Elektrik Santralleri Kapasite Projeksiyonu (TEİAŞ, 2012).	12
Şekil 1.17 : 2100 yılına kadar beklenen sıcaklık değişimi (IPCC, 2013).	14
Şekil 1.18 : Amerika için Mevsimsel Rüzgar Değişimi (Segal, 2000).	15
Şekil 1.19 : Kuzeyde (sol grafik) ve Güneyde (sağ grafik) seçilen bölge için mevsimsel değişim (Breslow, 2011)	16
Şekil 1.20 : Birleşik Krallık için 2080’e kadar rüzgar şiddeti değişimi (Harrison, 2008).	17
Şekil 1.21 : Avrupa üzerinde REMO ve CLM modeli için WED değişimi (Hueging, 2013).	18
Şekil 1.22 : Rossby Merkezi iklim değişikliği senaryoları (Kjellström, 2011).	19
Şekil 1.23 : Avrupa için çoklu model ENSEMBLE ortalama sonuçları (Tobin, 2015) 1971-2000 a) 10m rüzgar hızı(ms-1) d) 10m rüzgar enerjisi yoğunluğu(Wm-2) g) 90m rüzgar gücü(kW) 2031-2060 b) 10m rüzgar hızı(ms-1) e) 10m rüzgar enerjisi yoğunluğu(Wm-2) h) 90m rüzgar gücü(kW) 2071-2100 c) 10m rüzgar hızı(ms-1) f) 10m rüzgar enerjisi yoğunluğu(Wm-2) i) 90m rüzgar gücü(kW).	20
Şekil 1.24 : 1961-1990 periyoduna göre a) 2041-2070 rüzgar şiddeti değişimi b) 2071-2099 rüzgar şiddeti değişimi (Şen, 2013).	22

Şekil 2.1 : Türkiye ilk rüzgar enerjisi potansiyeli haritası (Malkoç, t.y.).	23
Şekil 2.2 : MGM tarafından yapılan rüzgar enerjisi potansiyeli haritası (Malkoç, t.y.).	24
Şekil 2.3 : 30 m Yıllık Rüzgar Hız Dağılımı (YEGM, 2006).	24
Şekil 2.4 : 50 m Yıllık Rüzgar Hız Dağılımı (YEGM, 2006).	25
Şekil 2.5 : 70 m Yıllık Rüzgar Hız Dağılımı (YEGM, 2006).	25
Şekil 2.6 : 100 m Yıllık Rüzgar Hız Dağılımı (YEGM, 2006).	26
Şekil 2.7 : 50 m Yıllık Güç Yoğunluğu (YEGM, 2006).	26
Şekil 2.8 : 100 m Yıllık Rüzgar Güç Yoğunluğu (YEGM, 2006).	27
Şekil 2.9 : 100 m Yıllık Rüzgar Hız Dağılımı.	28
Şekil 2.10 : Vortex Modeli 80 m Rüzgar Potansiyeli.	29
Şekil 2.11 : Vortex Modeli 100 m Rüzgar Potansiyeli.	29
Şekil 2.12 : AWS True Power 80 m rüzgar potansiyeli.	30
Şekil 3.1 : 80 m Referans senaryosu 1971-2000 dönemi ortalama rüzgar şiddeti.	33
Şekil 3.2 : 80 m Referans senaryosu 1971-2000 mevsimsel ortalama rüzgar şiddeti.	34
Şekil 3.3 : 80 m Referans senaryosu 1971-2000 dönemi mevsimsel rüzgar akışı.	34
Şekil 3.4 : 80 m Referans senaryosu 1971-2000 dönemi rüzgar enerjisi yoğunluğu.	35
Şekil 3.5 : 200 m Referans senaryosu 1971-2000 dönemi ortalama rüzgar şiddeti.	36
Şekil 3.6 : 200 m Referans senaryosu 1971-2000 dönemi mevsimsel ortalama rüzgar şiddeti.	37
Şekil 3.7 : 200 m Referans senaryosu 1971-2000 dönemi mevsimsel rüzgar akışı.	38
Şekil 3.8 : 200 m Referans senaryosu 1971-2000 dönemi rüzgar enerjisi yoğunluğu.	38
Şekil 3.9 : 80 m RCP 4.5 senaryosu 2021-2040 dönemi ortalama rüzgar şiddeti.	39
Şekil 3.10 : 80 m RCP 4.5 senaryosu 2021-2040 dönemi mevsimsel ortalama rüzgar şiddeti.	40
Şekil 3.11 : 80 m RCP 4.5 senaryosu 2021-2040 dönemi mevsimsel rüzgar akışı.	41
Şekil 3.12 : 80 m RCP 4.5 senaryosu 2021-2040 dönemi rüzgar şiddetinin % değişimi.	41
Şekil 3.13 : 80 m RCP 4.5 senaryosu 2041-2070 dönemi ortalama rüzgar şiddeti.	42
Şekil 3.14 : 80 m RCP 4.5 senaryosu 2041-2070 dönemi mevsimsel ortalama rüzgar şiddeti.	43
Şekil 3.15 : 80 m RCP 4.5 senaryosu 2041-2070 dönemi mevsimsel rüzgar akışı.	43
Şekil 3.16 : 80 m RCP 4.5 senaryosu 2041-2070 dönemi rüzgar şiddetinin % değişimi.	44
Şekil 3.17 : 80 m RCP 4.5 senaryosu 2071-2100 dönemi ortalama rüzgar şiddeti.	45
Şekil 3.18 : 80 m RCP 4.5 senaryosu 2071-2100 dönemi mevsimsel ortalama rüzgar şiddeti.	46
Şekil 3.19 : 80 m RCP 4.5 senaryosu 2071-2100 dönemi mevsimsel rüzgar akışı.	46
Şekil 3.20 : 80 m RCP 4.5 senaryosu 2071-2100 dönemi rüzgar şiddetinin % değişimi.	47
Şekil 3.21 : 200 m RCP 4.5 senaryosu 2021-2040 dönemi ortalama rüzgar şiddeti.	48
Şekil 3.22 : 200 m RCP 4.5 senaryosu 2021-2040 dönemi mevsimsel ortalama rüzgar şiddeti.	49
Şekil 3.23 : 200 m RCP 4.5 senaryosu 2021-2040 dönemi mevsimsel rüzgar akışı.	49
Şekil 3.24 : 200 m RCP 4.5 senaryosu 2021-2040 dönemi rüzgar şiddetinin % değişimi.	50
Şekil 3.25 : 200 m RCP 4.5 senaryosu 2041-2070 dönemi ortalama rüzgar şiddeti.	50

Şekil 3.26 : 200 m RCP 4.5 senaryosu 2041-2070 dönemi mevsimsel ortalama rüzgar şiddeti.	51
Şekil 3.27 : 200 m RCP 4.5 senaryosu 2041-2070 dönemi mevsimsel rüzgar akışı.	52
Şekil 3.28 : 200 m RCP 4.5 senaryosu 2041-2070 dönemi rüzgar şiddetinin % değişimi.	52
Şekil 3.29 : 200 m RCP 4.5 senaryosu 2071-2100 dönemi ortalama rüzgar şiddeti.	53
Şekil 3.30 : 200 m RCP 4.5 senaryosu 2071-2100 dönemi mevsimsel ortalama rüzgar şiddeti.	54
Şekil 3.31 : 200 m RCP 4.5 senaryosu 2071-2100 dönemi mevsimsel rüzgar akışı.	54
Şekil 3.32 : 200 m RCP 4.5 senaryosu 2071-2100 dönemi rüzgar şiddetinin % değişimi.	55
Şekil 3.33 : 80 m RCP 4.5 senaryosu 2021-2040 dönemi rüzgar enerjisi yoğunluğu.	56
Şekil 3.34 : 80 m RCP 4.5 senaryosu 2021-2040 dönemi rüzgar enerjisinin % değişimi.	56
Şekil 3.35 : 80 m RCP 4.5 senaryosu 2041-2070 dönemi rüzgar enerjisi yoğunluğu.	57
Şekil 3.36 : 80 m RCP 4.5 senaryosu 2041-2070 dönemi rüzgar enerjisinin % değişimi.	57
Şekil 3.37 : 80m RCP 4.5 senaryosu 2071-2100 dönemi rüzgar enerjisi yoğunluğu.	58
Şekil 3.38 : 80 m RCP 4.5 senaryosu 2071-2100 dönemi rüzgar enerjisinin % değişimi.	58
Şekil 3.39 : 200m RCP 4.5 senaryosu 2021-2040 dönemi rüzgar enerjisi yoğunluğu.	60
Şekil 3.40 : 200 m RCP 4.5 senaryosu 2021-2040 dönemi rüzgar enerjisinin % değişimi.	60
Şekil 3.41 : 200 m RCP 4.5 senaryosu 2041-2070 dönemi rüzgar enerjisi yoğunluğu.	61
Şekil 3.42 : 200 m RCP 4.5 senaryosu 2041-2070 dönemi rüzgar enerjisinin % değişimi.	61
Şekil 3.43 : 200 m RCP 4.5 senaryosu 2071-2100 dönemi rüzgar enerjisi yoğunluğu.	62
Şekil 3.44 : 200 m RCP 4.5 senaryosu 2071-2100 dönemi rüzgar enerjisinin % değişimi.	63
Şekil 3.45 : 80 m RCP 8.5 senaryosu 2021-2040 dönemi ortalama rüzgar hızı şiddeti.	63
Şekil 3.46 : 80 m RCP 8.5 senaryosu 2021-2040 dönemi mevsimsel ortalama rüzgar şiddeti.	64
Şekil 3.47 : 80 m RCP 8.5 senaryosu 2021-2040 dönemi mevsimsel rüzgar akışı. ..	65
Şekil 3.48 : 80 m RCP 8.5 senaryosu 2041-2070 dönemi rüzgar şiddetinin % değişimi.	66
Şekil 3.49 : 80 m RCP 8.5 senaryosu 2041-2100 dönemi ortalama rüzgar hızı şiddeti.	66
Şekil 3.50 : 80 m RCP 8.5 senaryosu 2041-2070 dönemi mevsimsel ortalama rüzgar şiddeti.	67
Şekil 3.51 : 80 m RCP 8.5 senaryosu 2041-2070 dönemi mevsimsel rüzgar akışı. ..	67
Şekil 3.52 : 80 m RCP 8.5 senaryosu 2041-2070 dönemi rüzgar şiddetinin % değişimi.	69
Şekil 3.53 : 80 m RCP 8.5 senaryosu 2071-2100 dönemi ortalama rüzgar şiddeti. ..	69

Şekil 3.54 : 80 m RCP 8.5 senaryosu 2071-2100 dönemi mevsimsel ortalama rüzgar şiddeti.	70
Şekil 3.55 : 80 m RCP 8.5 senaryosu 2071-2100 dönemi mevsimsel rüzgar akışı. ..	71
Şekil 3.56 : 80 m RCP 8.5 senaryosu 2071-2100 dönemi rüzgar şiddetinin % değişimi.	71
Şekil 3.57 : 200 m RCP 8.5 senaryosu 2021-2040 dönemi ortalama rüzgar şiddeti.	72
Şekil 3.58 : 200 m RCP 8.5 senaryosu 2021-2040 dönemi mevsimsel ortalama rüzgar şiddeti.	72
Şekil 3.59 : 200 m RCP 8.5 senaryosu 2021-2040 dönemi mevsimsel rüzgar akışı.	73
Şekil 3.60 : 200 m RCP 8.5 senaryosu 2021-2040 dönemi rüzgar şiddetinin % değişimi.	74
Şekil 3.61 : 200 m RCP 8.5 senaryosu 2041-2070 dönemi ortalama rüzgar şiddeti.	74
Şekil 3.62 : 200 m RCP 8.5 senaryosu 2041-2070 dönemi mevsimsel ortalama rüzgar şiddeti.	75
Şekil 3.63 : 200 m RCP 8.5 senaryosu 2041-2070 dönemi mevsimsel rüzgar akışı.	76
Şekil 3.64 : 200 m RCP 8.5 senaryosu 2041-2070 dönemi rüzgar şiddetinin % değişimi.	76
Şekil 3.65 : 200 m RCP 8.5 senaryosu 2071-2100 dönemi ortalama rüzgar hızı şiddeti.	77
Şekil 3.66 : 200 m RCP 8.5 senaryosu 2071-2100 dönemi mevsimsel ortalama rüzgar şiddeti.	78
Şekil 3.67 : 200 m RCP 8.5 senaryosu 2071-2100 dönemi mevsimsel rüzgar akışı.	78
Şekil 3.68 : 200 m RCP 8.5 senaryosu 2071-2100 dönemi rüzgar şiddetinin % değişimi.	79
Şekil 3.69 : 80 m RCP 8.5 senaryosu 2021-2040 dönemi rüzgar enerjisi yoğunluğu.	80
Şekil 3.70 : 80 m RCP 8.5 senaryosu 2021-2070 dönemi rüzgar enerjisinin % değişimi.	81
Şekil 3.71 : 80 m RCP 8.5 senaryosu 2041-2070 dönemi rüzgar enerjisi yoğunluğu.	81
Şekil 3.72 : 80 m RCP 8.5 senaryosu 2041-2070 dönemi rüzgar enerjisinin % değişimi.	82
Şekil 3.73 : 80 m RCP 8.5 senaryosu 2071-2100 dönemi rüzgar enerjisi yoğunluğu.	83
Şekil 3.74 : 80 m RCP 8.5 senaryosu 2071-2100 dönemi rüzgar enerjisinin % değişimi.	83
Şekil 3.75 : 200 m RCP 8.5 senaryosu 2021-2040 dönemi rüzgar enerjisi yoğunluğu.	84
Şekil 3.76 : 200 m RCP 8.5 senaryosu 2021-2040 dönemi rüzgar enerjisinin % değişimi.	85
Şekil 3.77 : 200 m RCP 8.5 senaryosu 2041-2070 dönemi rüzgar enerjisi yoğunluğu.	86
Şekil 3.78 : 200 m RCP 8.5 senaryosu 2041-2070 dönemi rüzgar enerjisinin % değişimi.	86
Şekil 3.79 : 200 m RCP 8.5 senaryosu 2071-2100 dönemi rüzgar enerjisi yoğunluğu.	87
Şekil 3.80 : 200 m RCP 8.5 senaryosu 2071-2100 dönemi rüzgar enerjisinin % değişimi.	87
Şekil 3.81 : Bandırma Harita.	89
Şekil 3.82 : Bandırma WAsP Harita.	89

Şekil 3.83 : Bandırma MGM 17114 no’lu istasyonun Rüzgar Enerjisi Yoğunluğu..	90
Şekil 3.84 : Bandırma Referans senaryosu 1971-2000 dönemi Rüzgar Enerjisi Yoğunluğu.....	91
Şekil 3.85 : Bandırma Ölçüm direği Rüzgar Enerjisi Yoğunluğu.	92
Şekil 3.86 : Bandırma RCP 4.5 senaryosu 2071-2100 dönemi Rüzgar Enerjisi Yoğunluğu.....	93
Şekil 3.87 : Bandırma RCP_85 2071-2100 Rüzgar Enerjisi Yoğunluğu.	94





TÜRKİYE ÜZERİNDE 21. YÜZYILDA RÜZGAR HIZI VE RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYELİNİN İNCELENMESİ ve WaSP MODELİ İLE SEÇİLİ BÖLGE İÇİN SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

İnsanoğlunun, bugünkü hayatının ayrılmaz bir parçası olan, sanayiden, teknolojiye, ulaşımdan, sağlığa kadar bütün faaliyetlerinin en temel kaynağı olan enerji, 18. yüzyıldaki Sanayi devriminden sonra büyük bir ivme kazanmıştır ve bu ihtiyaca olan talebimiz her geçen gün artarak devam etmektedir. Enerjiye olan gereksinimin karşılanması için ilk olarak fosil yakıtların kullanılması gelmektedir. Fakat bugün önemine daha fazla vurgu yapılan, şu aşamada bile yaşamımızı etkilemeye başlayan, yakın gelecekte hayatımızı daha fazla ve derinden etkileyecek bir kavramla, iklim değişikliği ve küresel ısınma ile karşı karşıyayız. Fosil yakıtların kullanımının yaygınlaşması, karbon emisyonlarının daha önce hiç tanık olmadığımız eşik değerlerini aşması, sera etkisinin artmasına kısaca küresel ısınmaya sebep olmaktadır. Bu sebeple yeni teknolojilerin ve yenilenebilir enerjinin kullanımının önemi artmıştır. Bu kullanımda şu an en büyük paya sahip olan ve gelecekte de en büyük paya sahip olması beklenen rüzgar enerjisine aittir.

Rüzgar enerjisinin, yenilenebilir enerji kaynakları (YEK) arasında yatırım maliyetinin düşük olması ve kurulumundan elde edilecek faydanın diğer yenilenebilir kaynaklardan fazla olması dolayısıyla, diğer YEK'lere göre ön plana çıkmıştır. Bu kaynağın en önemli etkeni olan rüzgarın, hız ve yönündeki değişimler kaynak yerinin belirlenmesinden, üretim faaliyetine ve sonraki tüm süreçlere kadar önem derecesinde etki eder. Bu sebeple kaynağın kullanımının ve kullanılacak kısmının optimizasyonu için, rüzgarın hız ve yönündeki değişimler, saniye mertebesinde, mevsimsel, yıllık ve uzun dönemler boyunca incelenmeli ve belirlenmelidir.

Bu tez çalışmasında, Türkiye ve çevresinde küresel iklim modeli MPI-ESM-MR ile zorlanmış RegCM4.3 bölgesel iklim modelinin Türkiye üzerindeki 10 km yüksek çözünürlüklü simülasyonları kullanılarak 2100 yılına kadar rüzgar hızı ve yönü ile rüzgar enerjisindeki değişimleri incelenmiştir.

Tez kapsamının ilk aşamasında Türkiye için hazırlanmış farklı kuruluşlar tarafından farklı çözünürlüklerde ve farklı yüksekliklerdeki 6 farklı rüzgar potansiyeli haritası incelenmiş, modelin referans dönemi ile olan benzerliklerine bakılmıştır. Farklı zamanlarda ve farklı yüksekliklerde hazırlanan haritalarda yüksek rüzgar potansiyeline sahip bölgelerin modelin referans dönemi ile aynı yerlerde olduğu görülmüştür. Hazırlanmış bu potansiyel atlasları ile model arasında, referans dönemi ile olan yakın ve aynı sonuçlar gösterilerek modelin doğruluğu test edilmiştir.

Gelecekte rüzgar hızı ve rüzgar enerjisi yoğunluğunun nasıl değişeceği 1971-2000 yılları arasındaki referans dönemi baz alınarak 3 farklı dönem için tespit edilmiş, her dönem için değişimlerin referans dönemine göre yüzde değişimi incelenmiştir.

Çalışmanın ilk evresinde Dünya’da, Avrupa’da ve Türkiye’de rüzgar ve rüzgar enerjisi konusunda kapsamlı ve birleştirici çalışmalar yapan 3 büyük öncü kuruluş GWEC, EWEA ve TÜREB’in yayınladığı raporlar incelenmiştir. Son 10 ila 15 yıl içinde paylaşılan istatistiksel sonuçlara göre; Dünya’da, Avrupa’da ve Türkiye’de bu sektörün devamlı ivme kazanarak büyüdüğü, kurulu güç miktarının her sene bir önceki seneye kıyasla artarak, başta enerji olmak üzere elektrik ve diğer ihtiyaçları karşılamada devasa bir yenilenebilir çözüm ortağı haline geldiği göz önüne serilmiştir.

Bu çerçeve de yine bu öncü kuruluşlar tarafından geleceği öngörmek amaçlı hazırlanan gelecek senaryoları ile 2020, 2030 ve 2050 hedefleri incelenmiştir. Bu raporlara göre rüzgar enerjisi kullanımının son 15 yıldaki büyüme hızında olmasa bile, kurulum ve kullanım artışı devam ettireceği ve 2050 yılında yenilenebilir kaynaklardan enerji üretiminin %50’sini karşılayacağı öngörülmektedir. Türkiye ise 2013 yılında, 2023 hedefi olarak rüzgardan enerji üretimini 20 GW olarak planlamıştır.

Çalışmanın ilk evresinde 1984 yılında hazırlanan ilk rüzgar enerjisi yoğunluğu atlası, daha sonra MGM’nin hazırladığı atlas ve en son REPA projesi için hazırlanan atlas detaylıca incelenmiştir. Bunlara ilaveten 3 farklı firmanın farklı yüksekliklerde ve farklı çözünürlükte hazırladığı haritalar örnek olarak konulmuştur.

Çalışmada MPI-ESM-MR yer sistem modeli çıktılarının, referans ve RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarına göre gelecek için 10 km çözünürlüğe dinamik olarak ölçek küçültülmüş sonuçları incelenmiştir. 1971-2000 referans dönemi için 50m, 80m, 100m ve 200m’deki rüzgar hızları, rüzgar enerjisi yoğunluğu ve rüzgar yönü mevsimsel ve dönemsel olarak hesaplanmış, daha sonra RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için 2021-2040, 2041-2070 ve 2071-2100 dönemleri için ortalama rüzgar hızı ve rüzgar enerjisi yoğunluğundaki değişimler analiz edilmiştir. Bu tez çalışmasında sadece 80m ve 200m sonuçları gösterilmiştir.

Referans dönemi rüzgar enerji potansiyeli 10’ar yıllık periyotlar halinde incelenerek günümüz koşullarında rüzgar enerji potansiyelinde değişimin mevcudiyeti araştırılmıştır. Ayrıca farklı yüksekliklerdeki farklar alınarak da değişimler irdelenmiştir. 10 yıllık periyotlardaki değişimler çok küçüktür. Bu sebeple daha uzun periyotlar seçilerek (1971-2000, 2021-2040, 2041-2070, 2071-2100) değişimlerin daha iyi gözlenmesi amaçlanmış, hem de literatür çalışmaları ile ortak karşılaştırılma yapılmak istenmiştir.

80 m ve 200 m için simülasyonların referans dönemi ile gelecek dönem sonuçları birbirinden çıkarılarak, anomaliler incelenmiş ve ne kadar bir sapmanın olacağı gösterilmiştir.

Sonuçların yüksek çözünürlükte değişimini analiz etmek için seçilen pilot bölge Bandırma ve çevresinde WAsP, rüzgar analiz ve değerlendirme modeli ile ölçek küçültme uygulanmıştır. WAsP modelinin sadece tek bir noktadan veri girişi nedeniyle 10 km çözünürlüklü modelden, bölgeye en yakın grid çıktısı kullanılarak çalışma yapılmış ve rüzgar enerji potansiyelinin lokal ölçekteki rüzgar enerjisi değişimi uzun dönem meteoroloji ölçümü, ölçüm direği ve grid noktasındaki referans ve gelecek dönemler için hesaplanmıştır. Sonuçların bölgesel iklim modeli ile uyumluluğu karşılaştırılmıştır.

Ayrıca uzun dönem meteorolojik ölçüm, ölçüm direği ve grid noktasındaki değerler, yüksek potansiyele sahip bir referans noktasına taşınarak genel rüzgar hızı ortalaması ve rüzgar enerjisi yoğunluğu incelenmiştir.

Yapılan literatür araştırmalarının sonuçlarının da gösterdiği gibi Türkiye ve çevresi için potansiyeli yüksek olan bölgeler olan, batı ve kuzeybatı bölgelerinde, rüzgar hızı artışına bağlı olarak rüzgar enerjisi yoğunluğunun da arttığı görülmüştür. Özellikle Ege denizi ve çevresinde rüzgar hızlarında 2070 dönemi sonrasında ciddi artışlar kaydedilmiştir. Ayrıca ülkemizin iç kesimlerinde özellikle İç Anadolunun ortasında ve buradan Ege denizine kadar uzanan kordidor boyunca rüzgar hızlarında artış tespit edilmiştir. Bunun yanında Güneydoğu Anadolu bölgesinde de rüzgar hızlarında bir artış vardır. Doğu Anadolu bölgesi ve özellikle Akdeniz bölgesinde rüzgar hızlarında ciddi bir azalma kaydedilmiştir. Akdeniz bölgesindeki bu azalma gelecekte bu bölgede beklenen daha az siklonik, daha fazla antisiklonik büyük ölçek sirkülasyonlarındaki değişimlerden kaynaklanması beklenmektedir. Ayrıca Karadeniz ve çevresinde farklı zamanlarda küçük değişimler beklenmektedir.





ASSESSMENT OF WIND ENERGY POTENTIAL OVER TURKEY IN THE 21st CENTURY BY USING REGIONAL CLIMATE MODEL COUPLED WITH MICRO SCALE MODEL

SUMMARY

Energy, which is inseparable part of our life and is one of the basic requirements of all our activities from industry, technology, transportation, and health, has been gaining importance since industry revolution at 18th century. After the industrial revolution, it became very curial and our demand continues to increase with each passing day. Firstly, burning of fossil fuels used to fulfill the needs of energy. We are facing with climate change and global warming concept whose importance has emphasized much more nowadays. Even at this stage, it started to affect our lives and will affect our lives more deeply at near future. Widespread usage of fossil fuels causes to exceed the threshold of carbon emissions, which we have never witnessed before, and to increase the greenhouse effect. Briefly, it causes global warming and increasing temperatures. Hence the importance of new technologies and usage of renewable energy have come into prominence. At this moment, wind energy has the lion's share in usage of energy pool, and is expected to have biggest share in the future.

Due to low cost of wind energy investment and high benefit obtained from installation of wind energy within all renewable energy sources, wind energy come forward compared to other sources. The changes in speed and direction of wind that is the most important factor of that resource, significantly affect determination of the resource location, production and upcoming whole processes. For this reason, changes in the wind speed and direction should be examined and determined along with seasonal, annual and long term changes for the wind energy capacity of the region and the optimization of the extracted power.

In this study, the changes in wind speed, wind direction and wind energy were examined by using high resolution simulation results of regional climate model RegCM4.3 driven by global climate model MPI-EMS-MR until 2100.

In the first section of the thesis, 6 different wind potential maps that are prepared by different organizations and have different resolutions and different heights are examined, and the similarities of the wind patterns with reference period are analyzed over Turkey. Even though the maps show the wind potentials at different times and heights, high wind potential areas of the simulations are consistent with literature.

The wind speed and wind power density changes in future periods were determined on the basis of the reference period and anomalies are drawn for each period was examined as a percentages.

GWEC, EWEA and TUREB are conducting comprehensive and unifying works in wind and wind energy on World, Europe and Turkey. In the first part of the work, published reports of these 3 major leading companies have been examined.

According to the statistics within last few decades, the wind energy sector has grown continuously in the World, Europe and Turkey, and installed power has been increased compared to the previous years and become the largest partner of renewable energy group in meeting energy needs of the societies.

In this framework, future expectations of the wind energy industries have been put forward by leading organizations for the target years of 2020, 2030 and 2050. The results reveals that the increase of wind energy usage will continue, even if at this rate, %50 of energy needs will be expected to come from renewable sources by 2050. In 2013, Turkey has been targeted to have 20 GW of the production of energy from wind by 2023.

In the first part of the study, three wind power density atlases prepared in 1984, by MGM and by REPA project are examined in detail even though they belong to different heights and different solutions because of the lack of resources to compare with the climate simulations.

Dynamically interpolated 10 km resolution MPI-EMS-MR model outputs were analyzed for 1971-2000 reference period, and future periods of 2021-2040, 2041-2070, 2071-2100 under RCP 4.5 and RCP 8.5 scenarios. The long term averages of the wind speed and wind energy density at heights of 50m, 80m, 100m and 200m are calculated for the reference and future periods on seasonal and annual time scales. Then the wind speed anomalies of RCP 4.5 and RCP 8.5 scenario results with respect to the reference were analyzed for the periods 2021- 2040, 2041- 2070, 2071-2100. In this study, only 80 m and 200 m results are shown.

We divided the reference period three decades (1971-1980, 1981-1990 and 1991-2000) and investigated the differences. It is found that the changes in the wind speed and wind energy potential within decades are not significant. Therefore, we split the period times 30 years chunks like 1971-2000, 2021-2040, 2041-2070, 2071-2100 to identify the difference and compare the results with the previous studies.

Bandırma and its surrounding area has been chosen as a pilot region to further downscale the climate model results to high resolution by using micro scale model of WAsP wind analysis and evaluation program. Since WAsP is driven with the data provided only one single point, closest grid of the regional climate model to Bandırma had been used and wind energy change in the local scale is calculated for reference and future periods at long term meteorological measurement, measurement mast and grid point. Results' compatibility were compared with regional climate model.

In addition, long-term meteorological measurements, measurement mast and the value in grid points were moved to a reference point where high potential areas, so changes in average wind speed and wind speed density are examined.

The results obtained by this study are similar to the previous studies findings especially, in the western part of Turkey, at Aegean sea after 2070. We found that the wind speed and wind energy density along the shore line are expected to increase in the future. It is identified that this area also extends to the interior regions and especially in the middle of central Anatolia from The Aegean Sea have been identified. In addition Southeastern Anatolia has an increase in wind speed.

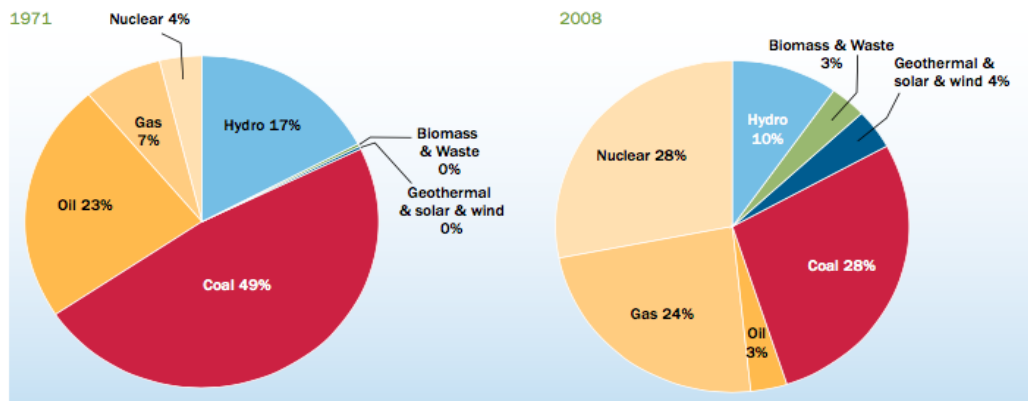
Particularly in Mediterranean region and Eastern Anatolia region has been a serious decline in wind speed. These decreases in the wind speed are likely related to changes in the large-scale circulation as the Mediterranean area is projected to have less cyclonic influence and more anticyclonic conditions in the future. Also there is small changes in Black sea and around for different time periods.





1. GİRİŞ

Yeryüzünde bulunduğumuz andan itibaren, en ilkel yöntemlerden günümüzün en modern ve teknolojik enerji üretim merkezlerine kadar çok farklı türde ve çok değişik metotlar ile enerji ihtiyacını karşılamıştır. Bu ihtiyaç 18. Yüzyıldaki Endüstri Devrimi ile son 200 yılda daha önce hiç olmadığı kadar artmış ve her geçen sene artarak devam etmektedir. Bu ihtiyaca cevap veren en büyük kaynak hala daha fosil yakıtlar diye adlandırılan Petrol, Kömür ve Doğalgazdır. 2014 yılında Dünya Enerji Konseyi tarafından yayınlanan Enerji raporuna göre 2011 yılı itibariyle Dünya Birincil Enerji Arzında Fosil yakıtlar toplam arzın %81'ini oluşturmaktadır (Enerji Raporu, 2013). Fakat kullanılan bu yakıtların sınırlı kaynak olmaları, küresel ekonomik boyutta zaman zaman büyük çalkantılara sebep olması, kullanımından kaynaklı çevreye verdikleri zararlar ve bu zararların en büyük sonucu olan küresel ısınmadan dolayı yeni kaynak arayışları 1970'den itibaren hızla artmış ve bizleri yeni kaynak arayışlarına sürüklemiştir. 1971 yılında kaynak kullanımı büyük oranda fosil yakıtlardan olurken ve yenilenebilir enerjinin payı sıfır iken, bu rakam 2008 itibariyle yenilenebilir kaynak bazında %4 seviyesine çıkmıştır (Şekil 1.1). Avrupa'da kullanılan yenilenebilir kaynaklar arasında %15.6 ile en çok paya sahip Rüzgar, kullanımı giderek artan ve artması beklenen enerji kaynağı olarak ilk sıradadır (EWEA, 2015).

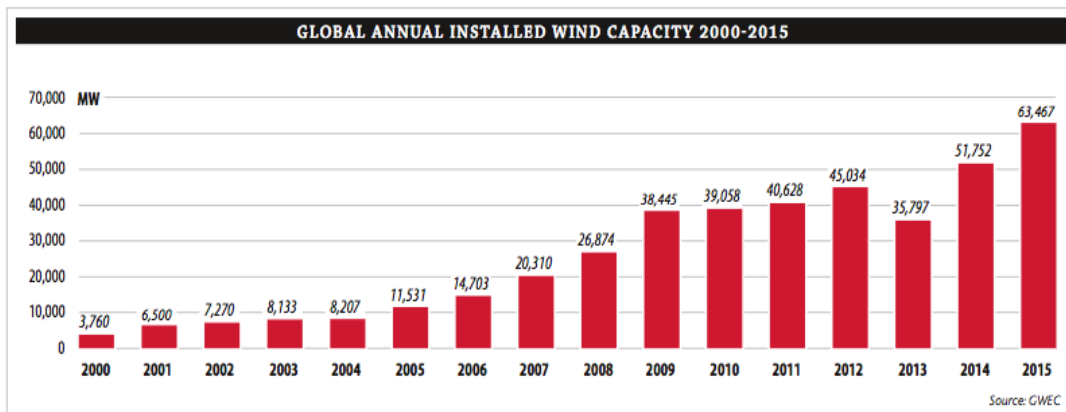


Şekil 1.1 : 1971 ve 2008 Kaynak Kullanım Oranları (EWEA, 2009).

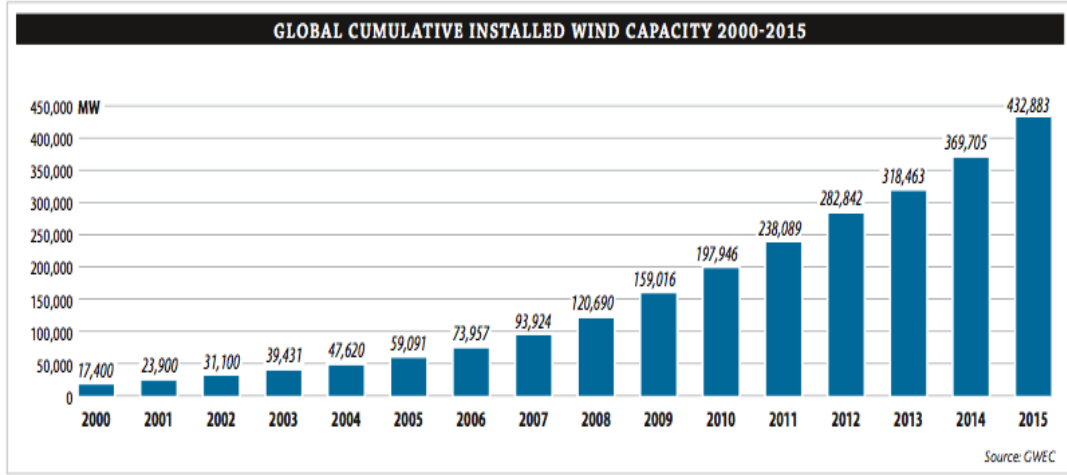
Önceleri küçük ölçekte kurulan santraller, gelişen teknoloji ile giderek büyümüş, türbin uzunluğu 170 metrelere, türbin kapasiteleri karada 5 MW, denizde 8 MW civarına ulaşmıştır. Kullanım alanının giderek artması, insanların ve doğanın ihtiyaçlarına sağlıklı ve hızlı cevap verebilmesi, bu kaynağın önemini arttırmış ve rüzgar kaynağından, türbin teknolojilerine, çevresel etkilerinden daha verimli kullanım şekillerine kadar birçok alanda yeni araştırmalara ve teknolojik gelişimlere olanak sağlamış, yeni gelişimlere gebe olmuştur. Ayrıca günümüzde önemi sıklıkla vurgulanan ilki 1995 yılında Berlin’de ve son olarak 2015 Aralık ayı başında toplanan Paris İklim zirvesinde fosil kullanım kaynaklı sera gazı artımı, küresel sıcaklık artışı ve buna bağlı olarak dünyanın geleceği için yeni yaptırımların gerçekleştirilmesi için mutabakata varılması, yenilenebilir kaynakların kullanımının önemini bir kez daha vurgulamıştır (COP21, 2016). Bizde bu çalışmamızda ülkemizde de kullanımı giderek artan bu kaynağın, en önemli bileşeni olan rüzgarın önümüzdeki 100 sene içindeki durumunu bir model çalışması ile sunmaktayız.

1.1 Global Rüzgar Enerjisi Konseyi

Global Rüzgar Enerjisi Konseyi, tüm rüzgar ve rüzgar enerjisi sistemlerinin hangi durumda ve hangi aşamalarda olduğunu, son gelişmeleri, araştırmaları takip eden ve derlenen verilere dayalı istatistiksel çalışmaları küresel boyutta sürdüren bir kurumdur. Her yıl yayınlanan raporları ile bu pazarın ne kadar büyüdüğünü, hangi oyuncuların ülke olarak bu payda ne kadar rol aldığını yaptığı çalışmalar ile sunmaktadır. Son yayınlanan raporunda kurulu güç miktarı (Şekil 1.2) 2013 yılı hariç büyüme trendini devam ettirip 63 GW daha eklenerek kurulu güç miktarı toplamda 432 GW’a (Şekil 1.3) ulaşmıştır (GWEC, 2015).



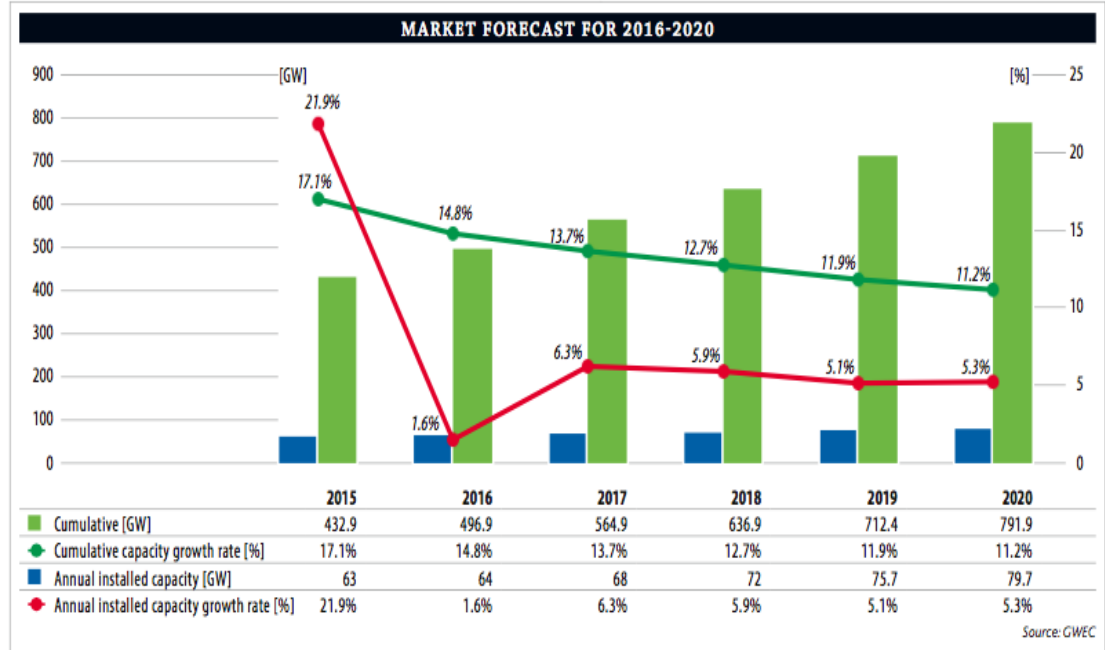
Şekil 1.2 : Küresel Yıllık Kurulu Güç Değerleri 2000-2015 (GWEC, 2015)



Şekil 1.3 : Küresel toplam kurulu rüzgar kapasitesi 2000-2015 (GWEC, 2015).

1.1.1 GWEC 2016-2020 öngörülleri

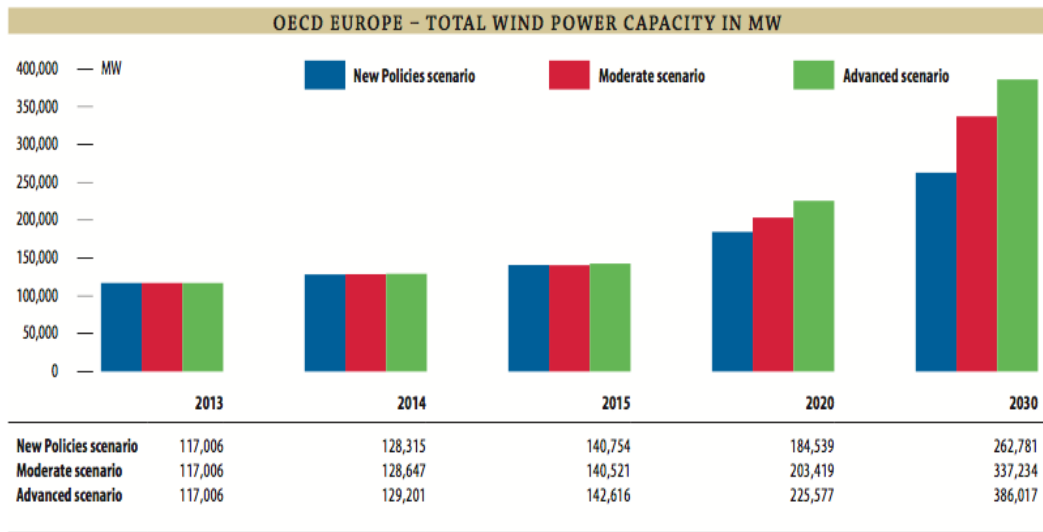
Global Rüzgar Enerji Konseyi 2014 yılı için hazırladığı raporda gelecek dönem beklentilerine de yer vermiştir. Bunlardan ilki, yakın dönem (2016-2020) tahminine göre rüzgar enerjisinin Pazar payının kümülatif olarak %10 ortalama büyümeyi devam ettirmesi beklenmekte ve 2020 sonu itibariyle kümülatif toplamın bugünkü değerin yaklaşık 2 katı olan 792 GW'a ulaşması hedeflenmektedir (Şekil 1.4).



Şekil 1.4 : 2016-2020 için Pazar Tahmini (GWEC, 2015).

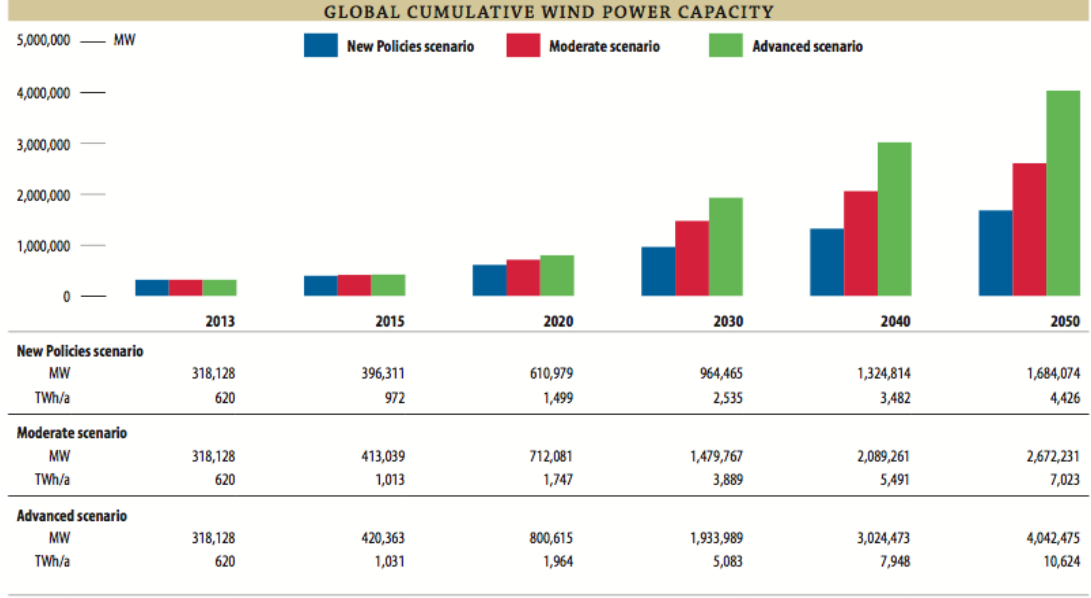
1.1.2 GWEC 2013-2050 öngörülleri

Konseyin ilk uzun dönem tahmini 2014 yılında yayınlanmış ve Türkiye'nin de içinde bulunduğu OECD Avrupa grubunda artışın devam edeceği, 2015 yılında 141 GW, 2030'da 337 GW civarında olacağı öngörölmüştür (Şekil 1.5). Bir sonraki yıl yayınlanan raporda 2015 tahmini az bir farkla (141.5 GW) hedef yakalanmış ve rapor 3 farklı senaryoyla revize edilmiştir (GWEC, 2015). Ayrıca bu hedefler EWEA'nın koyduğu hedefler ile örtüşmektedir.



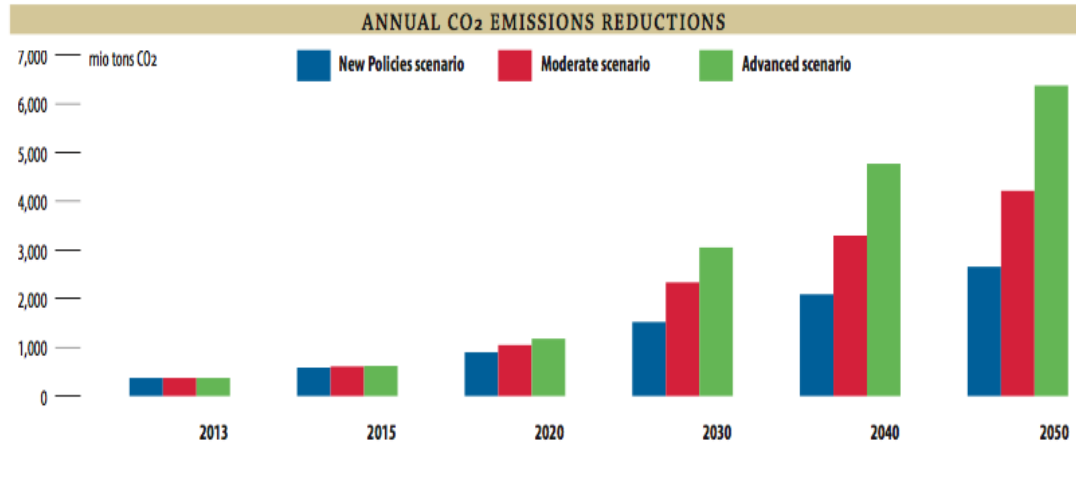
Şekil 1.5 : OECD Avrupa Toplam Rüzgar Güç Kapasitesi 2014-2030 (GWEC, 2014).

Yeni rapor da ölkelerin rüzgar enerjisi ve yenilenebilir kaynak politikaları, iyimser senaryo ve ileri senaryo şeklinde hazırlanmış ve 2050 hedefleri belirtilmiştir. Her 3 senaryoda da artış beklenmekte ve 2030 senesi sonrası kurulu gücün 1 TW'ı aşması beklenmektedir (Şekil 1.6). 2050 yılı için rüzgar enerjisi kapasitesinin yeni politikalar ile 1.6 TW'ı, orta senaryo ile 2.6 TW'ı ve ileri senaryonun gerçekleşmesi durumunda 4 TW'ı aşması beklenmektedir. Bu çalışmalarda bir diğer önemli husus ise karbon salınımıdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının çalışırken karbon emisyonlarının sıfır olması ve çevre dostu olmaları, yapılandırılmalarının yaygınlaştırılması ve daha efektif kullanımı için çalışmaları hızlandırmaktadır.

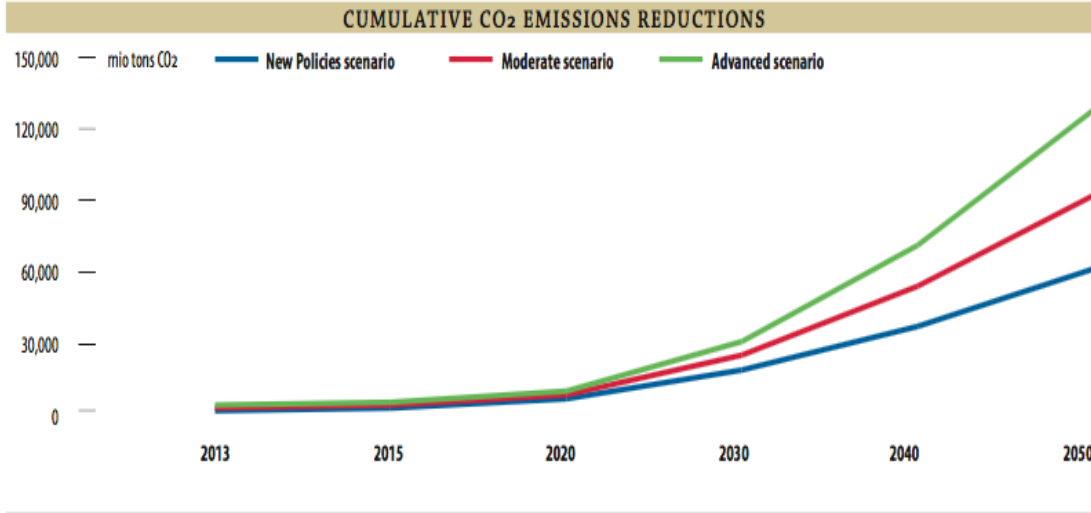


Şekil 1.6 : Küresel Kümülatif Rüzgar Güç Kapasitesi 2013-2050 (GWEC, 2014).

Rüzgardan enerji üretimi ile kömür, gaz veya benzin kullanarak enerji üreten konvansiyonel üretime göre yaklaşık 696 gCO₂/kWh karbon salınımı önlenmiş olur (EWEA, 2013). Bu sebeple konsey de, çalışmalarını gelecekte karbon salınımı azalımı ve yenilenebilir enerji kullanımının yaygınlaştırması üzerine kurmuştur (Şekil 1.7). Rüzgar için yapılmış olan 3 ayrı senaryo, Şekil 1.8’ de gösterilen karbon emisyonları için de hazırlanmış, 2050’ye kadar iyimser planda 4.000 milyon ton, kümülatif olarak ise yaklaşık 90.000 milyon ton CO₂ azalımı hedeflenmektedir (GWEC-2015).



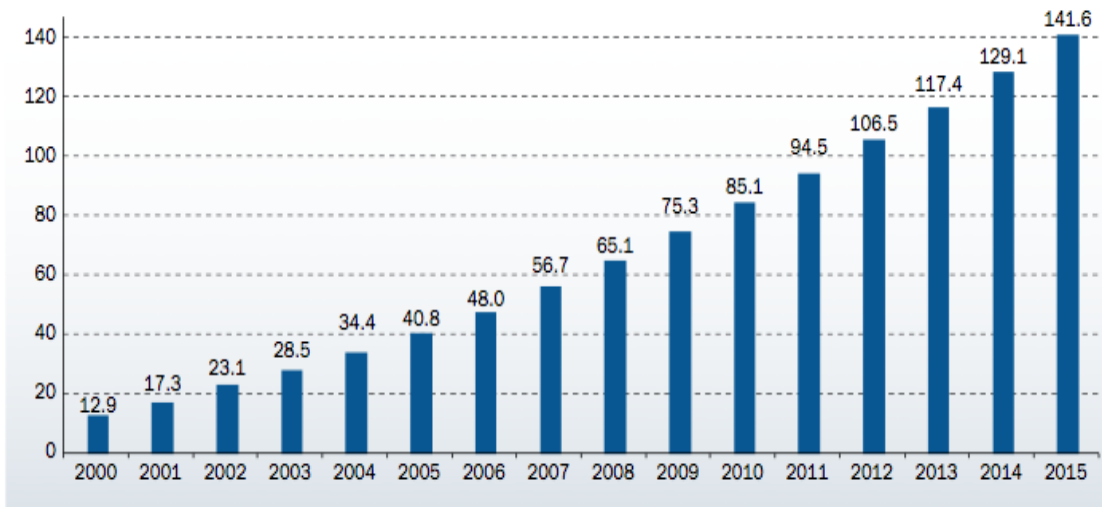
Şekil 1.7 : Yıllık CO₂ emisyon azalımı 2013-2050 (GWEC, 2014).



Şekil 1.8 : Kümülatif CO₂ emisyon azalımı 2013-2015 (GWEC, 2014).

1.2 Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliği

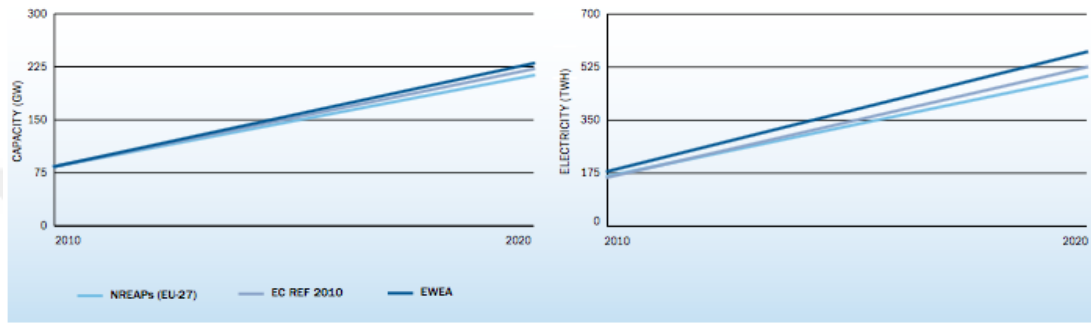
Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliği, doğal, kirlenici olmayan ve rekabetçi yenilenebilir enerji kaynakları teknolojilerine, günümüzde küresel boyutta tedarikçi olmaya başlayan, sürdürülebilir enerji kaynağı rüzgar enerjisinin Avrupa kıtasında takipçisi ve öncüsüdür. Bu çerçevede de senelik raporlar hazırlayıp, hem yeni teknolojileri hem de istatistiksel bilgileri paylaşmaktadır. Şekil 1.9’da gösterilen, 2009 yılında yayınlanan ilk raporda Türkiye’nin de içinde bulunduğu Avrupa kıtasında toplam kurulu güç 10.000 MW iken, 2015 sonu itibarıyla bu rakam sadece 2015 yılında kurulan 13.805 MW ile toplamda 147.772 MW’a ulaşmıştır (EWEA, 2010, 2016).



Şekil 1.9 : Avrupa’da Kurulu Kümülatif Rüzgar Gücü (EWEA, 2016).

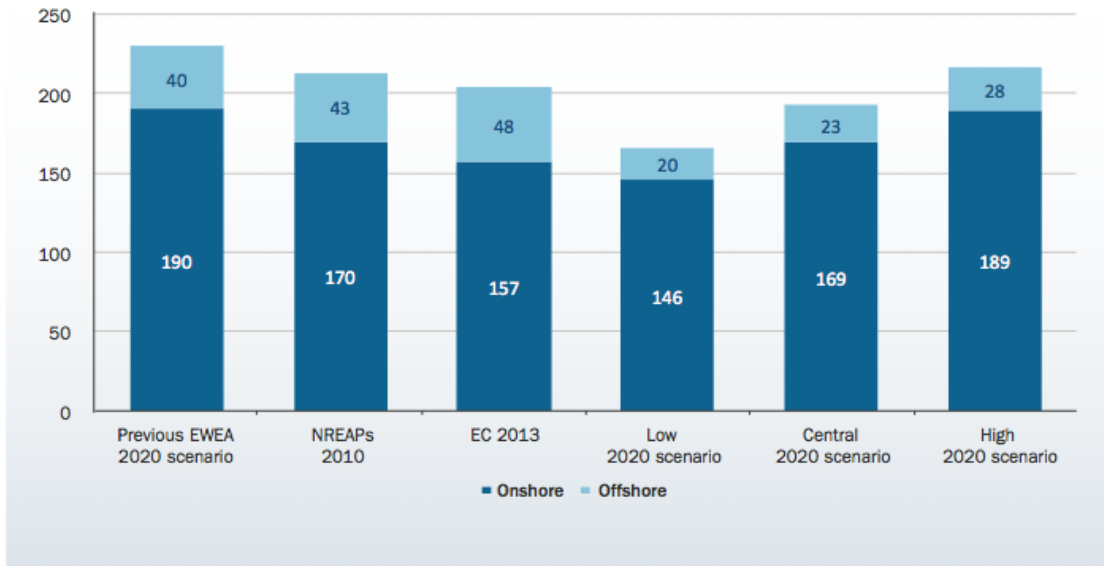
1.2.1 EWEA 2015-2020 öngörülleri

Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliğinin yakın dönem hedefi 2020’de Avrupa’da kullanılan toplam elektriğin %15 ila %17’ini rüzgardan sağlamak iken, 2030 hedefi bu rakamı %28’e çıkarmaktır (EWEA, 2013). 2011 yılında yayınlanan hedef raporunda kapasite miktarı 150 GW olarak hedeflenmiş (şekil 1.9) ve bu yıl içinde yer alan raporda bu hedefe ulaşıldığı görölmekte (147 GW), 2020 yılı için ise 220 GW olarak hedeflenmektedir.



şekil 1.10 : 2015 – 2020 Kapasite ve elektrik Üretimi Hedefi (EWEA, 2013).

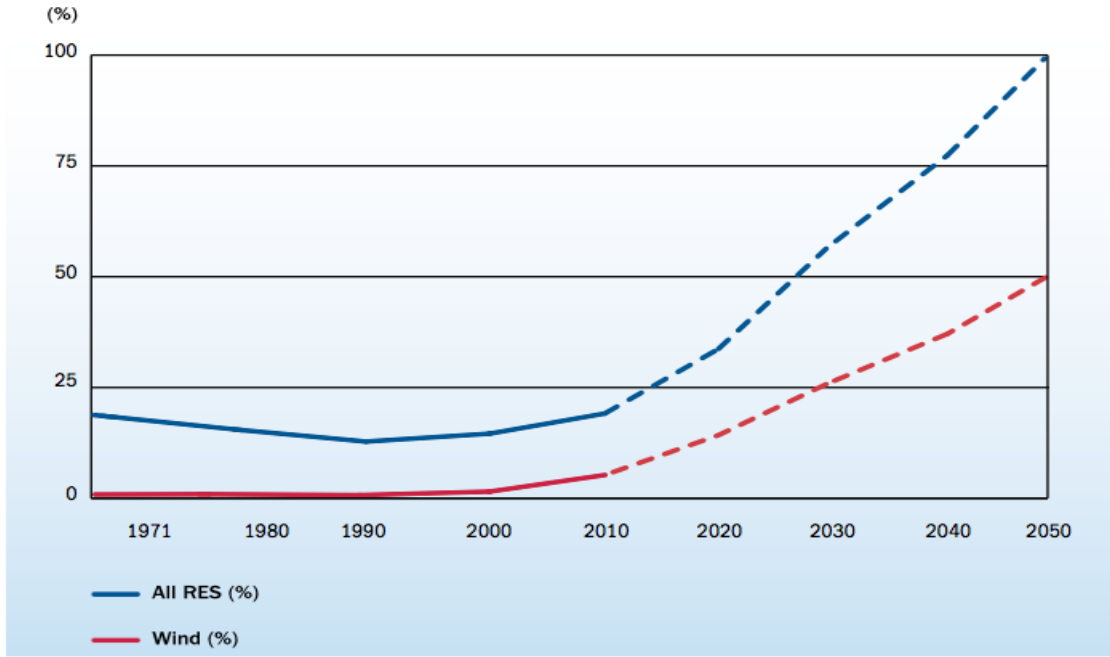
şekil 1.11’de gösterilen Temmuz 2014’de sunulan raporda ise 3 farklı senaryo hem karada hem de denizde kurulacak santraller ile 2020 hedefi 165 ila 220 GW aralığındadır.



şekil 1.11: 2020 Kurulu Güç Tahmini (EWEA, 2014).

1.2.2 EWEA 2015-2050 öngörülleri

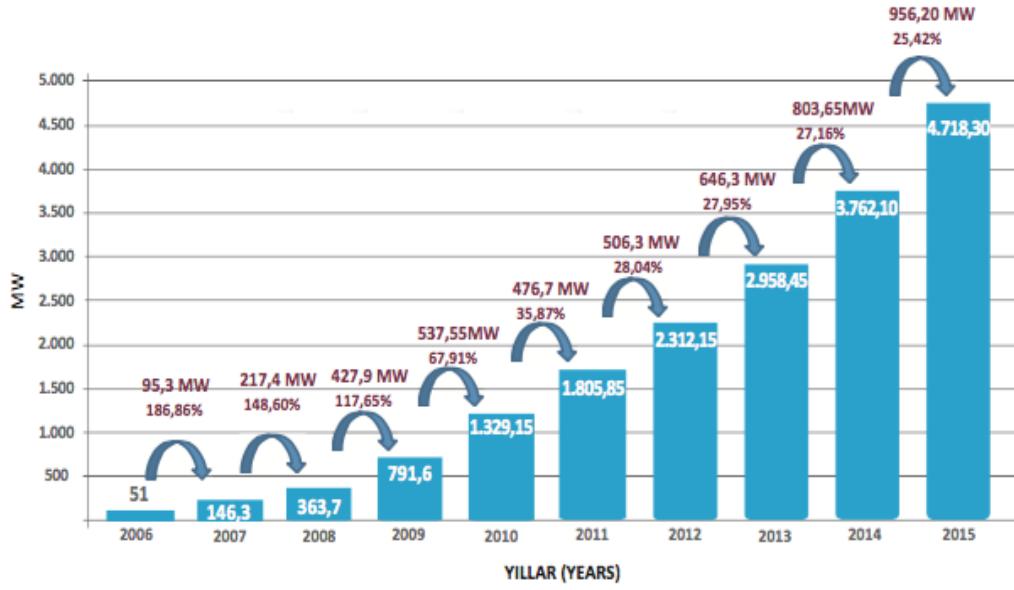
2009 yılında Avrupa liderler toplantısında 2050 hedefi olarak karbon emisyonlarının %80-95 oranında azaltılması kararlaştırılmıştır (EWEA, 2011). Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliğinin hedef raporuna göre 2050’de kullanılan elektriğin tamamı yenilenebilir enerjiden (Şekil 1.12), bu payın içinde de rüzgar %50 olarak planlanmaktadır (EWEA, 2011).



Şekil 1.12 : EWEA 2050 Elektrik Üretimi Tahmini (EWEA, 2011).

1.3 Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği

Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği, YEGM, TEİAŞ, EİGM, EPDK ve T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile koordine çalışarak, Türkiye Rüzgar Enerjisi potansiyelinin kullanımını takip etmek, yaygınlaştırmak, araştırma, bilimsel ve teknik konularda faaliyet göstermek üzere 1992’ de bakanlar kararı ile kurulmuş büyük bir sivil toplum örgütüdür. Bu kapsamda 6 ayda bir Türkiye Rüzgar Enerjisi istatistiği raporları sunmakta, her yıl düzenlenen ulusal ve uluslararası konferanslar ile yenilenebilir enerji ve rüzgar enerjisine dikkat çekmektedir. Şekil 1.13’de, 2006 yılından itibaren günümüze kadar Türkiye rüzgar enerjisi kümülatif kurulu güç miktarını göstermektedir. Buna göre bu sektörde Türkiye her yıl büyümesini arttırarak devam ettirmektedir.



Şekil 1.13 : Türkiye Rüzgar Enerjisi Santralleri Kümülatif Kurulum (TÜREB, 2016).

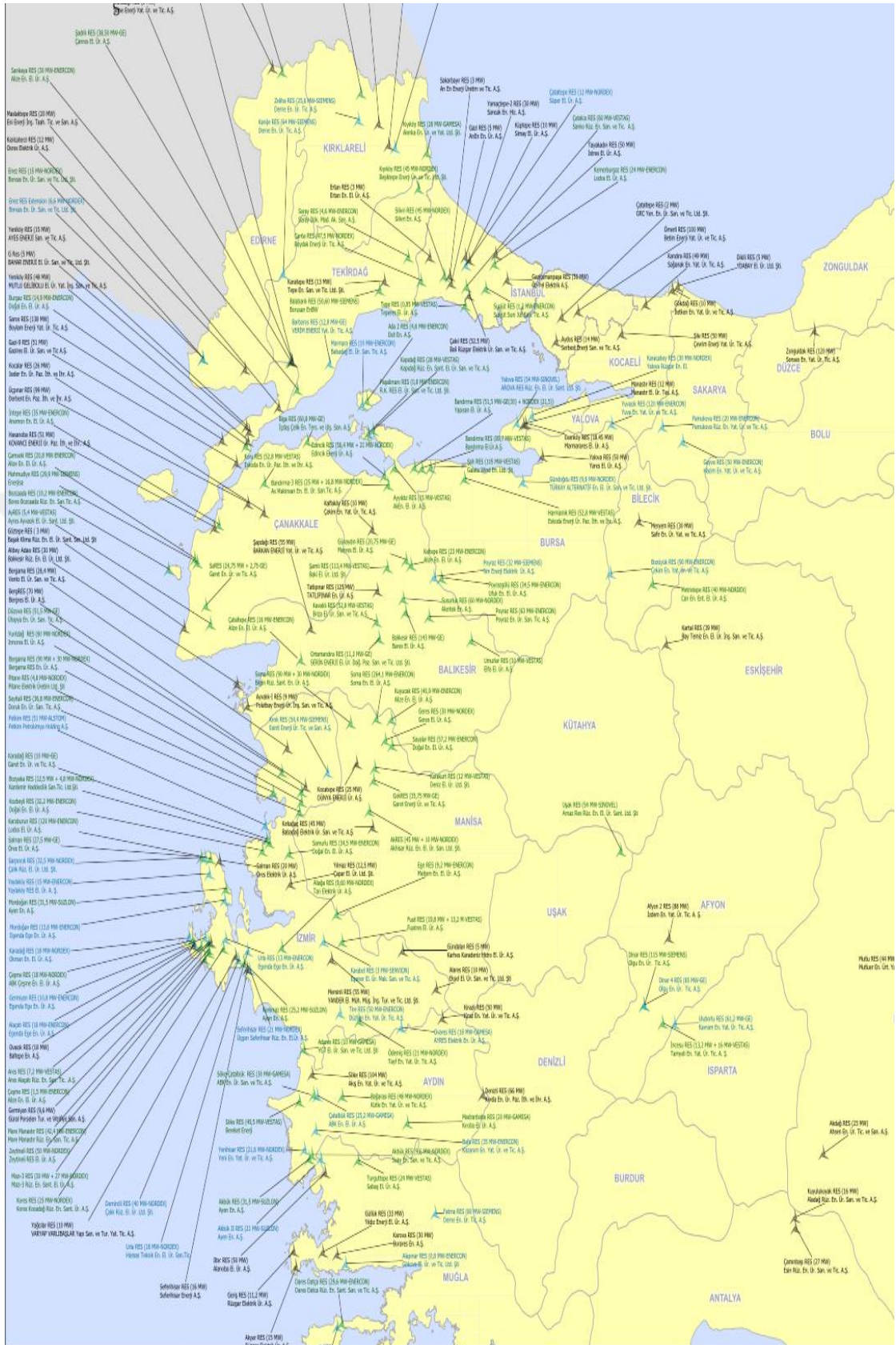
1.3.1 Türkiye rüzgar enerjisi potansiyeli

Türkiye’de 1990 dan 2013 yılına kadar ki zaman aralığında Enerji talebi %127 büyümeye göstermiştir (MMO, 2015). Bu talebi karşılamak için fosil yakıtların yanı sıra yenilenebilir teknolojiye de başvurulmuş ve Yenilenebilir kaynakların kullanımı başlamıştır. Bu kaynakların başında da rüzgar enerjisi gelmektedir. Türkiye Orta Avrupa ve Doğu Avrupa’nın en büyük Rüzgar gücüne sahip ülkesidir. Türkiye’nin 50m’de rüzgar hızı 7 m/s’den fazla rüzgar hızı alanları ile 48GW rüzgar potansiyeli olduğu tahmin edilmektedir (GWEC, 2015).

1998 yılı itibariyle ilk lisanslı santral devreye girmiştir (Şekil 1.14). Türkiye 2005 yılından itibaren %9000 gibi inanılmaz bir büyümeye hızı katetmiş ve 2011 yılı sonu itibariyle 1800 MW’a ulaşmıştı (EWEA, 2013). Türkiye 2015 yılında kurulu gücüne 956MW daha ekleyerek toplam kurulu gücünü 4.964 MW’a çıkarmıştır (TUREB, 2016). Ayrıca 2010 yılından bu güne her yıl 500 MW büyümüş ve gelecek yıllarda bu büyümeye 1,000 MW olması planlanmaktadır. Türkiye’nin batı bölgelerindeki kurulu santrallerin son 5 senedeki değişimi Şekil 1.14 ve Şekil 1.15’de gösterilmiştir.

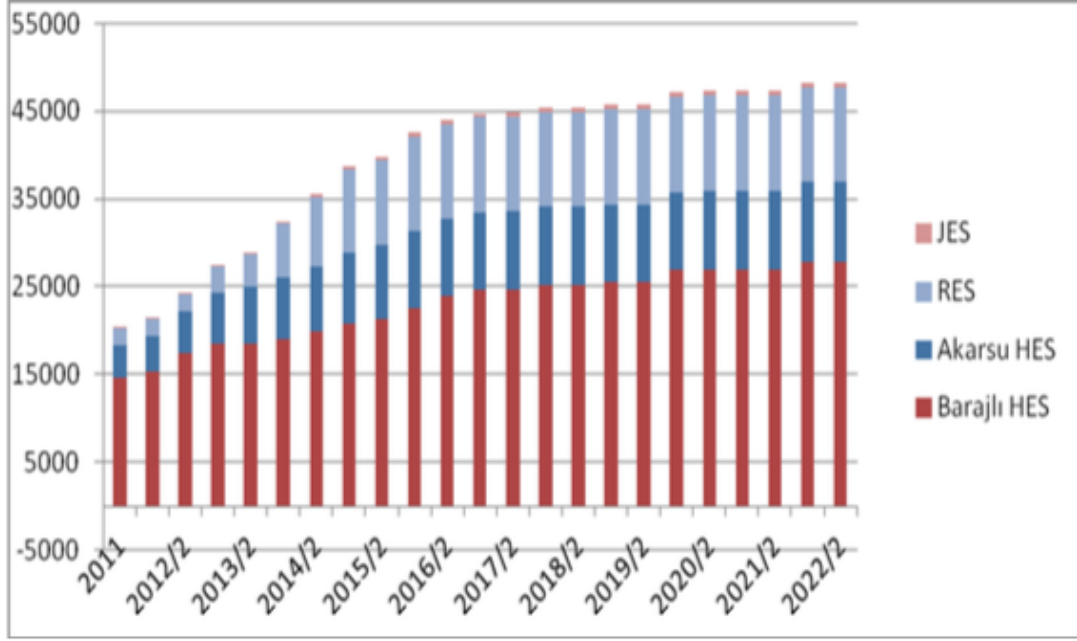


Şekil 1.14 : 2011 Türkiye'nin Batısı için Rüzgar Santralleri Atlası (TÜREB, 2011).



Şekil 1.15 : 2016 Türkiye'nin Batısı için Rüzgar Santralleri Atlası (TÜREB, 2016).

2015 yılı itibariyle Türkiye elektrik üretiminin %6'sı rüzgar enerjisinden sağlamakta ve 10. en büyük markettir. Önümüzdeki 10 yılda kurulu kapasitesinin 10 GW'a ulaşacağı planlanmaktadır (GWEC, 2015). Ülkemizde enerji ve elektrik işlerinin takipçisi olan TEİAŞ'ın hazırladığı tahmin raporuna göre 2022 yılı itibariyle kurulu güç RES'lerden 10 GW olması beklenmektedir. Son yıllarda bu sektöre olan ilginin artması ve yapılacak projelerin hayata geçirilmesi ile sektörün daha da büyüyebileceği öngörülmektedir.

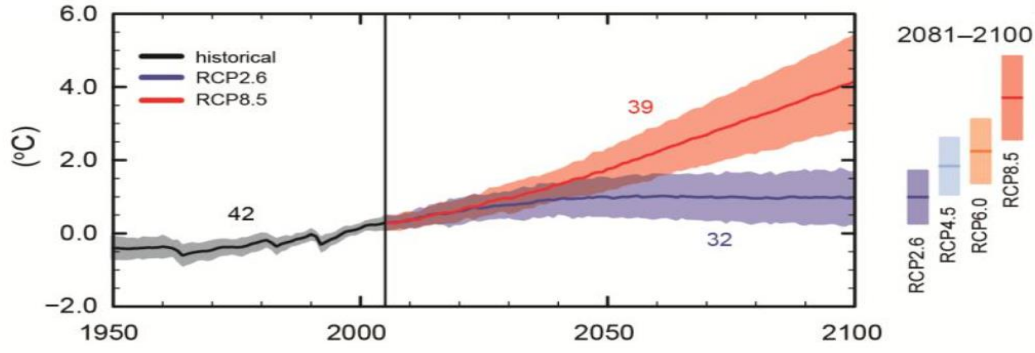


Şekil 1.16 : 2013- 2022 dönemi Yenilenebilir Elektrik Santralleri Kapasite Projeksiyonu (TEİAŞ, 2012).

Tüm bu bilgiler çerçevesinde Dünya’da, Avrupa’da ve ülkemizde yenilenebilir kaynaklara ve özellikle rüzgar enerjisine büyük bir önem ve eğilim olduğu görülmektedir. Ülkelerin ve kurumların kısa ve uzun vadeli raporlarında bu kaynağın kullanımının artacağı çok açıktır. Fakat bu kaynağın en önemli aktörü olan rüzgarın ne zaman ve nerede nasıl eseceği günümüzde olduğu gibi gelecekte de en önemli soru olacaktır. Bu bakış açısından yola çıkan bu çalışma, global iklim modeliyle (MPI-EMS-MR) bölgesel iklim modeli (RegCM4.3) simülasyonlarını kullanarak ülkemiz ve denizlerinde 2100 yılına kadar rüzgar hızı ve rüzgar enerjisinde ne gibi değişimlerin olacağını araştırmaktadır.

1.4 Literatür Araştırması

Gelecekte iklim değişikliği sebebiyle sıcaklık, yağış ve rüzgar gibi doğa olaylarının şiddetinde ani artış veya azalışlar ile bu olaylardaki kayıt değerlerinde ekstremlerle karşılaşılması beklenmektedir (Kuntasal, t.y.). Bu sebeple gelecek için hazırlanan iklim senaryoları, birçok kurum tarafından takip edilip, sonuçları ve etkileri küresel ve bölgesel boyutta değerlendirilmektedir. İklim değişikliği ve etkileri için hazırlanan raporlarda daha çok sıcaklık ve yağış parametrelerinin direk veya dolaylı yoldan etkilediği, tüm bileşenler üzerindeki değişimi ve olası sonuçlarını değerlendirmektedir. Rüzgarın oluşum sebebi olan basınç farklılığı ve dolayısıyla basınç farklılığının oluşum mekanizmasının en önemli bileşeni sıcaklığın lokal veya global ölçekteki uzun dönem boyunca olası değişimi rüzgarın hareketini de değiştirecektir. Bu raporlar ve araştırmalar dünyada başta Amerika ve Avrupa olmak üzere (Harrison, 2008), (Hueging, 2013), (Kjellström, 2011), (Krismeer, 2013), (Nolan, 2012), (Pinto, 2009), (Pryor, 2005, 2006, 2010, 2012), (Räisänen, 2004), (Segal, 2001), (Şen, 2013) ve (Tobin, 2015) gibi birçok araştırmacı ve bilimadamı tarafından yapılmış ve paylaşılmıştır. Fosil yakıtların kullanımı elde edilen her bir birim enerji için %44 gibi yüksek bir karbon içeriğine sahip olduğundan küresel ölçekteki emisyonların birinci sebebidir (WWF, 2014). Bu sebeple ilk etapta IPCC'nin Özel Rapor Emisyon Senaryoları olan, A1, A2, B1 ve B2 tipli senaryoları kullanılarak, daha sonra ise RCP senaryoları ile birçok Global ve Bölgesel iklim modeli çalıştırılmıştır (SRES, 2000). IPCC 2013 yılında yayımlanan 5. değerlendirme raporunda, küresel ortalama yüzey sıcaklığı artışının insan kaynaklı olduğu, gelişen model simülasyonlarının sonucuna göre önümüzdeki yüzyıl boyunca toplamda 1.5°C sıcaklık artışı olacağı öngörülmektedir. Önümüzdeki yüzyıl içerisinde yeryüzünün ortalama sıcaklığının (Şekil 1.17) RCP senaryolarına göre 1 ila 5.8 derece arasında yükseleceği beklenmektedir (IPCC, 2013). Sıcaklıklardaki bu artışın bu oranda artmasına bağlı olarak, birbirleriyle etkileşim içinde olan diğer meteorolojik parametrelerinde değişmesine sebep olacak ve daha önce karşılaşmadığımız ekstrem olaylar ve ölçülmemiş meteorolojik değerler ile karşı karşıya kalmamız beklenmektedir.

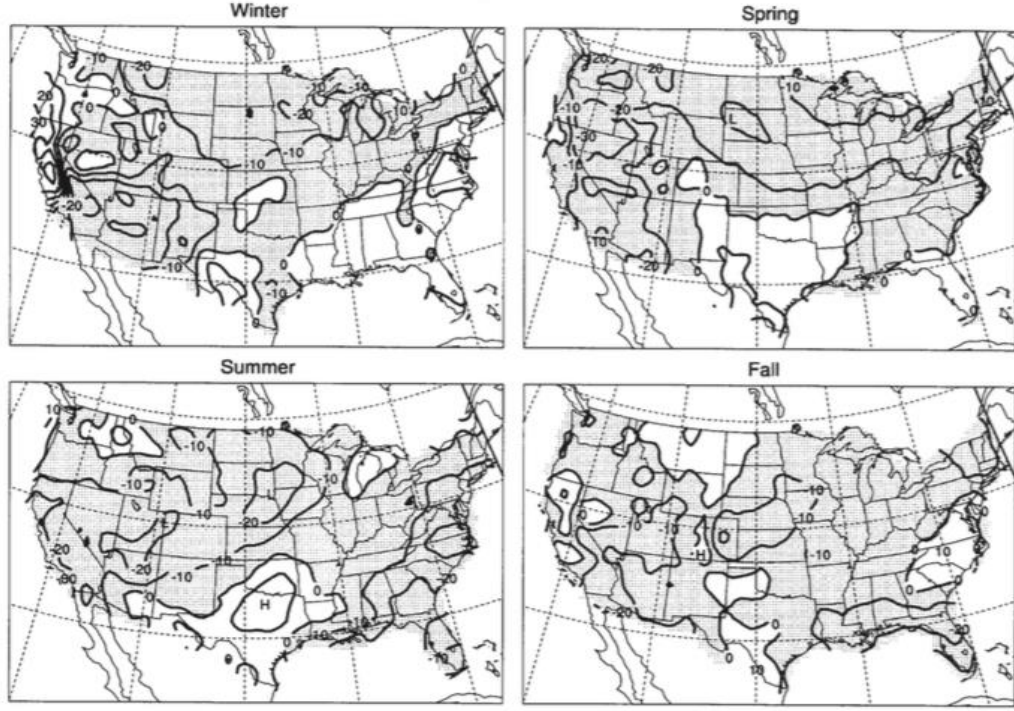


Şekil 1.17 : 2100 yılına kadar beklenen sıcaklık değişimi (IPCC, 2013).

Sıcaklık artışını 2°C de tutabilmek için küresel ölçekteki tüm fosil yakıtların üçte ikisi yer altında kalmalıdır (WWF, 2014). Fosil yakıtların kullanımının devam etmesi, emisyon oranlarının artmasına, sera gazı etkisinin devamına ve pozitif geri beslemeyle diğer etkenlerin aktifleşmesine sebep olacaktır.

İklim değişikliğinin, küresel rüzgar enerjisi potansiyelinde 2050 yılına kadar büyük bir değişikliğe sebep olması beklenmemekle beraber, rüzgar enerjisi kaynağının bölgesel dağılımında değişiklikler beklenmektedir (IPCC, 2014). Dünya'nın rüzgar enerjisi potansiyeli çok geniş ve yaygın olmasına rağmen, küresel ısınmanın geniş ölçekli sirkülasyonlardaki değişimlerinden dolayı, türbinlerin yakıtı olan yüzey rüzgarlarının yoğunluğunda ve paternlerin de değişime sebep olabilir (Bichet ve diğ., 2012). Küresel iklim değişikliği sonucu, yüzeye yakın rüzgarlardaki değişimlerin yaşayan canlılar ve çevre üzerinde ciddi etkileri bulunmaktadır. Fakat bu etkileri rüzgar hızındaki şiddet ve mekansal değişiklikleri, küresel iklim modellerinin geçmişteki gözlemleri ile aynısı üretmek mümkün değildir. Bu yüzden ölçek küçültme teknikleri (Bölgesel İklim modelleri) gibi çözümlere başvurulur (Pryor, 2006).

Amerika için Segal ve diğerleri (2000)'de yaptığı çalışmada yüksek grid çözünürlüklü (52km) bölgesel iklim modeli RegCM, düşük grid çözünürlüklü (orta enlemlerde 300km) küresel sürkülasyon modeli olan HadCM2 ile adapte edilerek 2040 yılına kadar CO₂ simülasyonları çalışmışlardır. Mevsimsel rüzgar potansiyeli (Şekil 1.18), iklim senaryolarına göre, tüm ülkede mevsimsel olarak %0-30 azalma görülürken (gölgeleme azalmayı gösterir), Güney ve Kuzeybatının küçük bir bölümünde ise artışın olduğu görülmektedir. Genel olarak ise rüzgar potansiyeli değişimi %10 civarındadır.

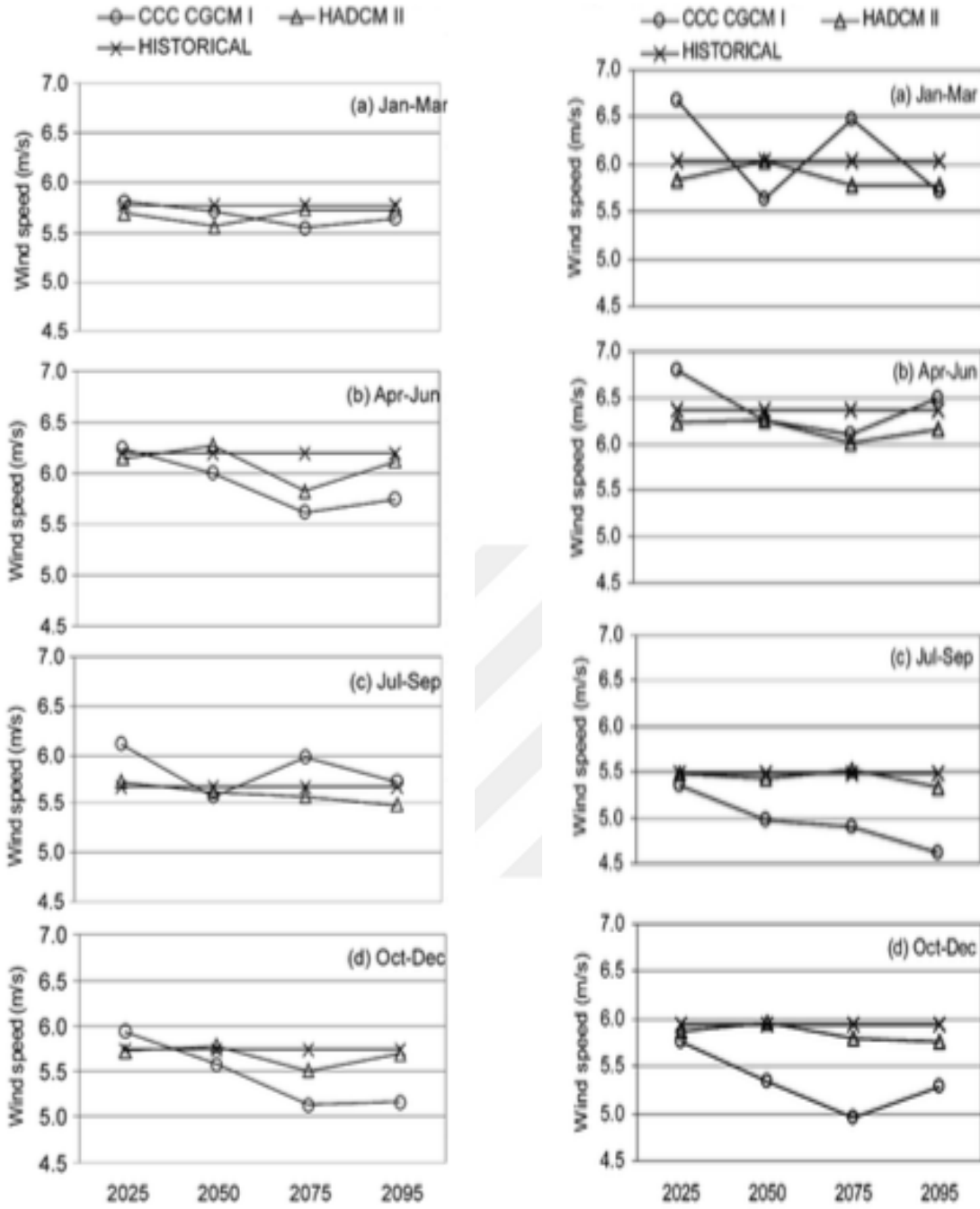


Şekil 1.18 : Amerika için Mevsimsel Rüzgar Değişimi (Segal, 2000).

Breslow ve Sailor'ın (2001) yine Amerika için yaptığı çalışmada Kanada İklim Merkezi ($3.75^\circ \times 3.75^\circ$) yatay çözünürlük ve Hadley'in (3.75° boylamsal, 2.5° enlemsel) küresel çıktıları kullanılarak, kıtanın kuzeyinde ve güneyinde belirlenen 2 bölge için rüzgar hızı değişimleri tarihsel zaman serisi (1948-1978) ile karşılaştırılıp incelenmiştir. Model sonuçlarına göre Amerika'da gelecek 50 yılda %1 ile %3.2, 100 yılda ise %1.4 ile %4.5 arasında rüzgar hızlarında azalım beklenmektedir. Her iki bölgede de Kanada modeli daha düşük rüzgar hızları tespit etmiştir.

Model simülasyonlarının 2050'ye kadar olan sonuçları birbirine benzer iken, 2100 yılına kadar ki simülasyonlar önemli değişiklikler göstermektedir (Şeki19-20). Bu da gelecekte, rüzgar alanları için belirsizlik yaratmaktadır.

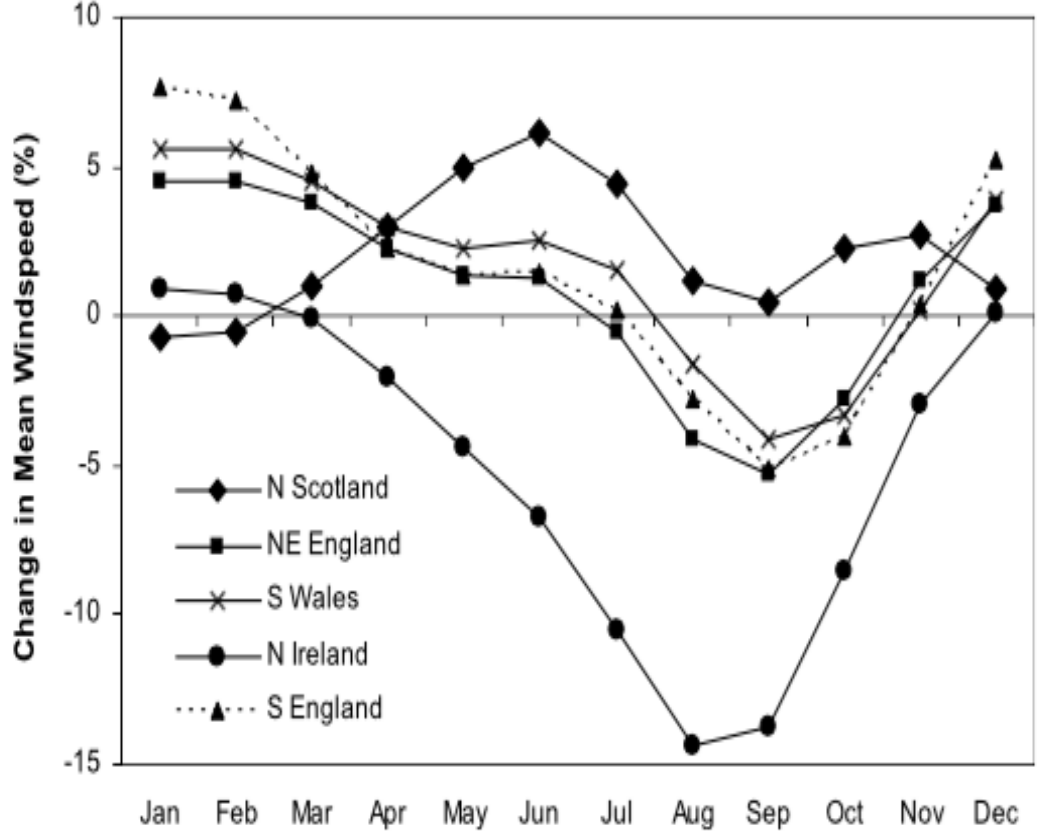
Pryor'ın (2006) yılında Amerika için AOGCM modeli 2 farklı emisyon senaryosuna göre çalıştığı simülasyonlarda, gelecek 50 yılda ortalama rüzgar hızında %3, ve gelecek 100 yılda %5 azalma beklenirken, Amerika'nın Kuzeybatı eyaletleri için yazları rüzgar potansiyelinin azalması, kışların ise çok az veya hiçbir değişiklik olmaması beklenmektedir.



Şekil 1.19 : Kuzeyde (sol grafik) ve Güneyde (sağ grafik) seçilen bölge için mevsimsel değişim (Breslow, 2011)

Kıtanın güneyinde ise, Brezilya için PRECIS modeli ile 2100 yılına kadar SRES A1 ve B1 senaryolarına göre hazırlanan simülasyonların sonuçlara göre önemli bir potansiyeli olan rüzgarın ciddi bir biçimde azalması beklenmektedir (Pryor ve diğ., 2012).

Harrison ve diğerleri tarafından (2008) yılında Birleşik Krallık için yapılan bir çalışmada (Şekil 1.21), rüzgar potansiyelli kışın artarken, yaz ayları için düşüşler görülmüştür. 2080'e kadar yapılan senaryolarda ortalama rüzgar hızı %0.5 artarken, üretim de %15'e kadar artış beklenmektedir.

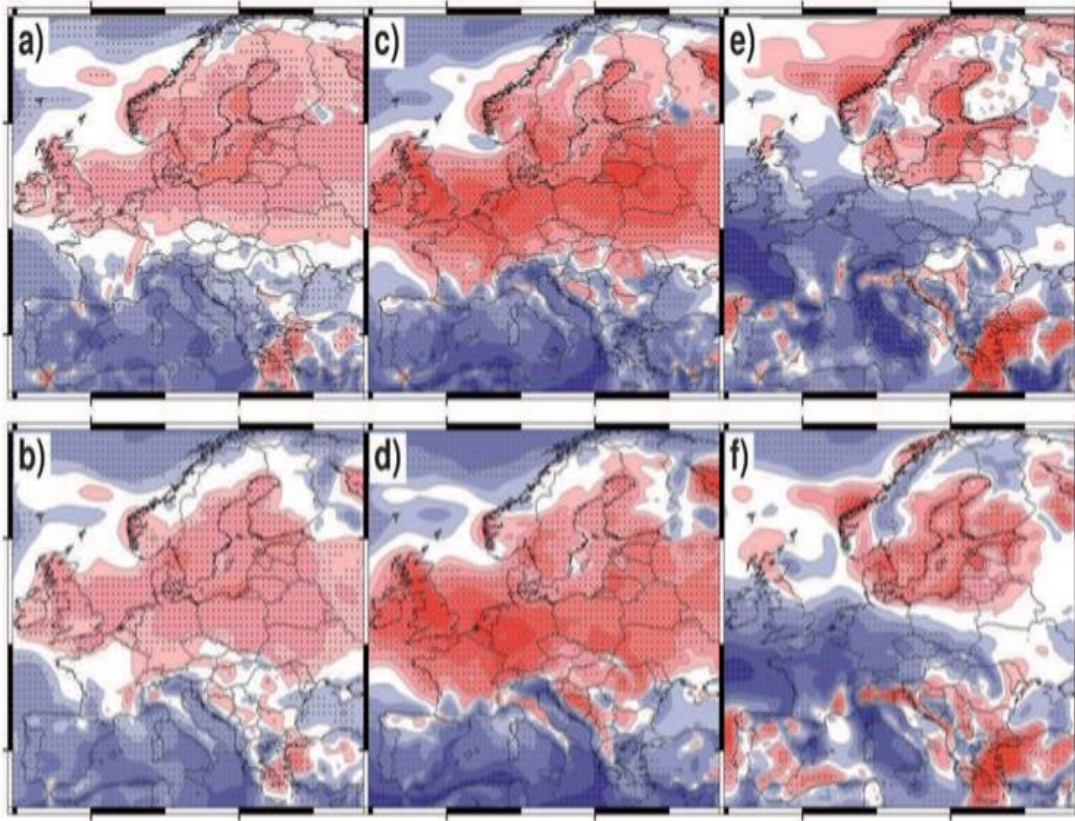


Şekil 1.20 : Birleşik Krallık için 2080'e kadar rüzgar şiddeti değişimi (Harrison, 2008).

Avrupa kıtası için çalışmalar çok çeşitli olup, sonuçlar çoğunlukla benzerlik göstermektedir. Pryor ve Barthelmie (2010) Avrupa için, Barstad vd. (2012)'de Kuzey Avrupa için, Nolan vd. (2012)'de İrlanda ve Birleşik Krallık için, Bloom (2008) Akdeniz ve Hueging (2013) bütün Avrupa için yapılan çalışmaları sonucunda rüzgar enerjisi potansiyeli büyüklüğü %10-20 aralığında olmak koşuluyla Kuzey Avrupa, karasal kıta ve Atlantik Avrupa için kışın artış yazın azalış gösterip, Güney Avrupa üzerinde aynı mevsimlerde Ege denizi ve Adriyatik kıyıları için yaz aylarında önemli derecede ki artış dışında, azalış göstermesi beklenmektedir (IPCC, 2014).

Bunun en büyük sebebi olarak Kuzey Atlantik salınımının pozitif işarete doğru kayma eğilimine devam etmesi ve bunun sonucunda Kuzey Avrupa'daki kış rüzgar hızlarının kararlı olmasına ve fırtına hareketlerinin kutba doğru hareketine neden olması düşünülmektedir (Pryor, 2009). Kuzey Avrupa için rüzgar hızındaki en büyük artış kışın ve ilkbaharın erken zamanlarında, kuzey-güney basınç gradyanı en şiddetli olduğunda görülmektedir (IPCC, 2007).

Hueging vd. (2013)'de iklim değişikliğinin Avrupa üzerindeki rüzgar enerjisi potansiyeline etkilerini ECHAM küresel iklim modeli sonuçlarını COSMO REMO ve CCLM bölgesel iklim modelleriyle incelenmiştir. Bu çalışmada saatlik yüzeye yakın rüzgar hızları temel alınarak rüzgar enerjisi yoğunluğu ve yıllık değişimi tahmin edilmiştir. Projeksiyon tarihi olarak 2061-2100 incelenmiş ve A1B senaryosuna göre çalışılmıştır. Sonuç olarak Şekil 1.22'de gösterildiği gibi, Kuzey ve Orta Avrupa'da kış ve sonbahar da rüzgar enerjisi potansiyeli artarken, Ege denizi hariç Güney Avrupa'da enerji potansiyeli azalmıştır. Ayrıca yıllık WED sonuçlarında küçük değişiklikler görülmüştür.



Şekil 1.21 : Avrupa üzerinde REMO ve CLM modeli için WED değişimi (Hueging, 2013).

Kjellström vd. (2011) Avrupa üzerinde 1961-2100 yılları için mevsimsel ortalama sıcaklık, yağış ve rüzgar hızını incelenmiştir. Bu çalışma da RCA3 kullanılmış, 50 x 50 km'lik yatay çözünürlükte 10hPa'a kadar 24 seviye 7 farklı bölgesel iklim modelinin farklı SRES senaryoları ile modellenmiştir. Simülasyon sonuçları, Kuzey Avrupa denizleri için birçok bölgede ve Akdeniz'in bazı bölgelerinde yaz ayları için azalmalar göstermiştir. Akdeniz bölgesinde kışın rüzgar hızında azalma birçok modelde görülmüştür.

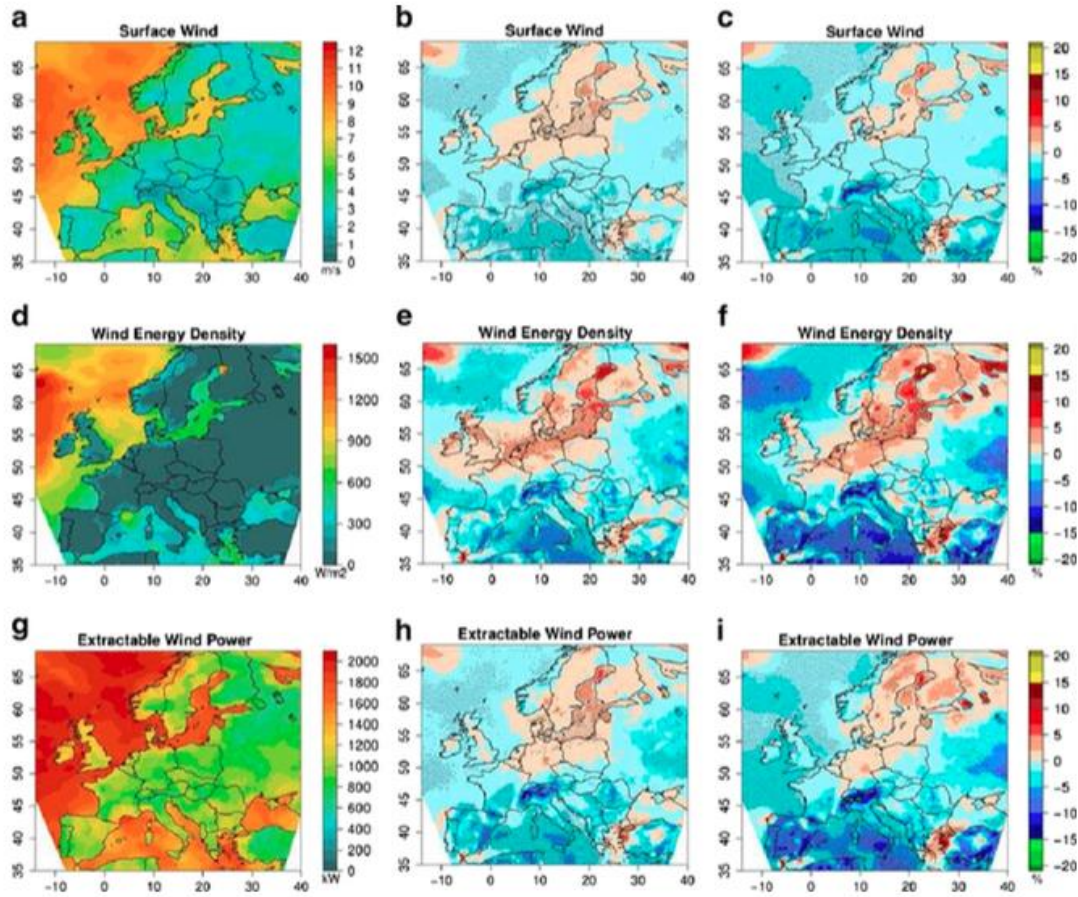
Şekil 1.23'de gösterildiği gibi 16 bölgesel iklim modeli ile 1961-2100 projeksiyonu incelenmiştir. İncelemede kullanılan model RCA3, 0.44° x 0.44° yatay çözünürlüklü, ve 10hPa kadar 24 seviyede çalışmıştır.

No	GCM (name used in text)	Emission scenario	Reference
1	CNRM-CM3 (CNRM)	<i>A1B</i>	Gibelin and Déqué (2003)
2	BCCR-BCM2.0 (BCM)	<i>A1B</i>	Déqué et al. (1994); Bleck et al. (1992)
3	CCSM3 (CCSM3)	<i>A2</i>	Collins et al. (2006)
4		<i>A1B</i>	
5		<i>B2</i>	
6	ECHAM4/OPYC3 (ECHAM4)	<i>A2</i>	Roeckner et al. (1999)
7		<i>B2</i>	
8	ECHAM5/MPI-OM (ECHAM5)	<i>A2-r1</i>	
9		<i>A1B-r1</i>	Roeckner et al. (2006),
10		<i>A1B-r2</i>	Jungclaus et al. (2006)
11		<i>A1B-r3</i>	
12		<i>B1-r1</i>	
13	HadCM3 (HadCM3)	<i>A1B-ref</i>	Gordon et al. (2000)
14		<i>A1B-low</i>	
15		<i>A1B-high</i>	
16	IPSL-CM4 (IPSL)	<i>A1B</i>	Hourdin et al. (2006)

Şekil 1.22 : Rossby Merkezi iklim değişikliği senaryoları (Kjellström, 2011).

Model sonuçlarına göre Akdeniz havzasında kış aylarında rüzgar hızında bir azalış görülmektedir. Bu azalış Akdeniz bölgesindeki geniş ölçekli sirkülasyonların gelecekte daha az siklonik, daha fazla antisiklonik koşullar göstermesiyle alakalıdır. Ayrıca mevsimsel ortalama rüzgar hızı Kuzey Atlantik bölgesini de kapsayacak şekilde yazları azalım eğilimindedir. Genel sonuçlar bakımından, Akdeniz bölgesinde, yaz ayları ve Kuzey Okyanus bölgelerinde kış aylarında ki rüzgar hızındaki lokal artışlar dışında, çalışılan model alanlarında bir azalış göstermektedir.

Tobin vd. (2015) ENSEMBLE için SRES A1B emisyon senaryosu çerçevesinde 6 farklı küresel iklim modeli kullanılarak hazırlanan 15 farklı bölgesel iklim modelinden, 10 tanesi ile Avrupa için sonuçları değerlendirmiştir. Buna göre Şekil 1.24'de görüldüğü üzere yüzyılın ortasına veya sonuna kadar rüzgar gücünde değişimler %15 ile %20 arasında kalması beklenmektedir. Akdeniz bölgesinde bir azalış ve Kuzey Avrupa'da bir artış beklenmektedir. 2020 yılına kadar planlanan ve 2012 sonu itibariyle operasyonda olan rüzgar çiftlikleri için Avrupa genelinde ve ülke bazında enerji üretimi değişimi %5 ile %15 aralığında olması beklenmemektedir. Bu yüzden iklim değişikliği Avrupa'da rüzgar enerjisinin gelişimine ne balta vuracak ne de sektörün büyümesine sebep olacaktır.



Şekil 1.23 : Avrupa için çoklu model ENSEMBLE ortalama sonuçları (Tobin, 2015)

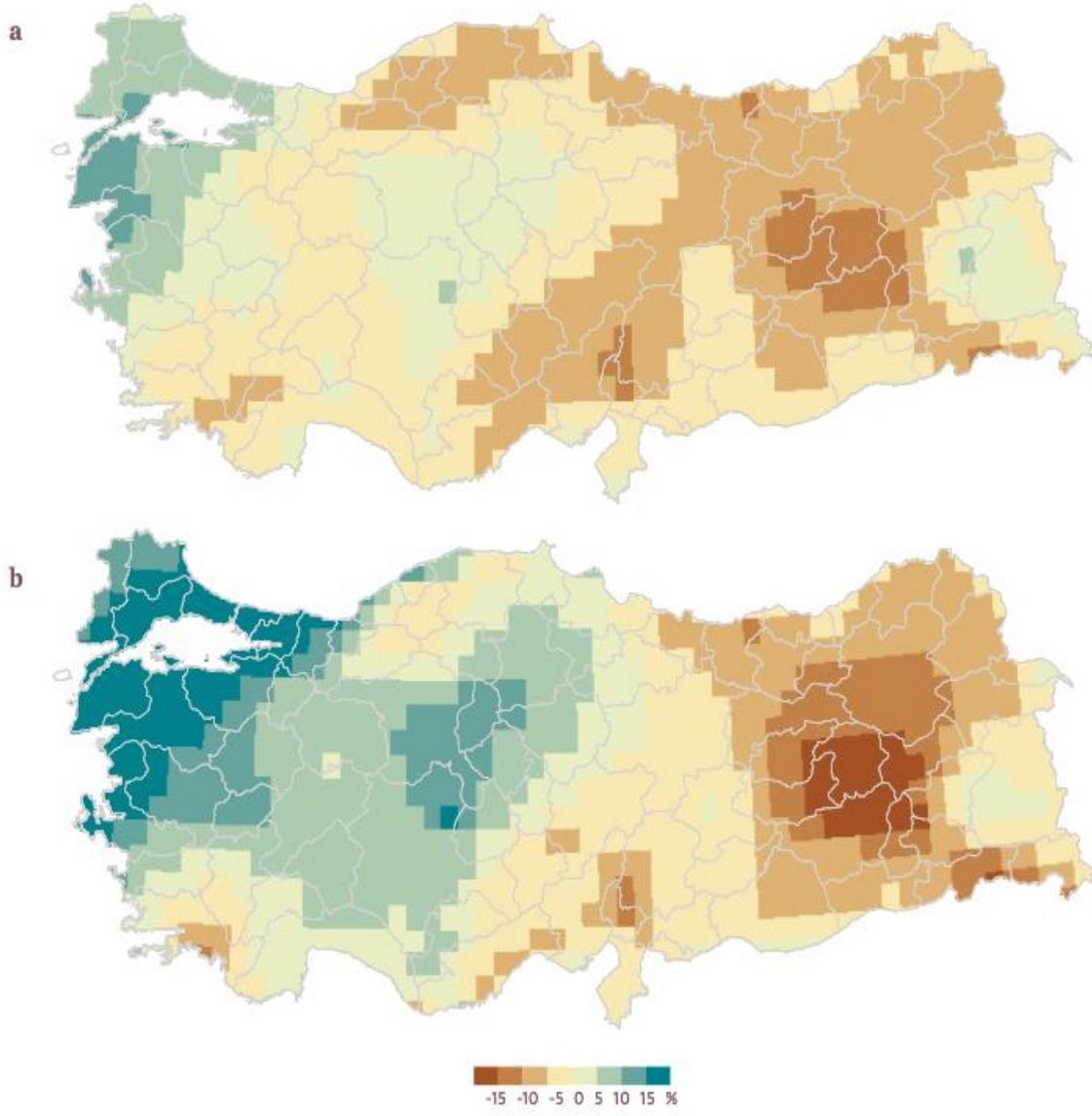
1971-2000 a) 10m rüzgar hızı(ms-1) d) 10m rüzgar enerjisi yoğunluğu(Wm-2) g) 90m rüzgar gücü(kW) 2031-2060 b) 10m rüzgar hızı(ms-1) e) 10m rüzgar enerjisi yoğunluğu(Wm-2) h) 90m rüzgar gücü(kW) 2071-2100 c) 10m rüzgar hızı(ms-1) f) 10m rüzgar enerjisi yoğunluğu(Wm-2) i) 90m rüzgar gücü(kW).

Türkiye, küresel ısınmadan en çok etkilenecek bölgelerden biri olan Akdeniz Havzası'nda yer alması nedeniyle, iklim değişikliğinin etkilerinin hangi bölgelerde daha etkili olacağını önceden belirlemek ve bu etkilerin önlenmesi ya da en aza indirilmesi için Türkiye ve çevre coğrafyası için olası iklim değişikliğinin tahmin edilmesi büyük önem taşımaktadır.

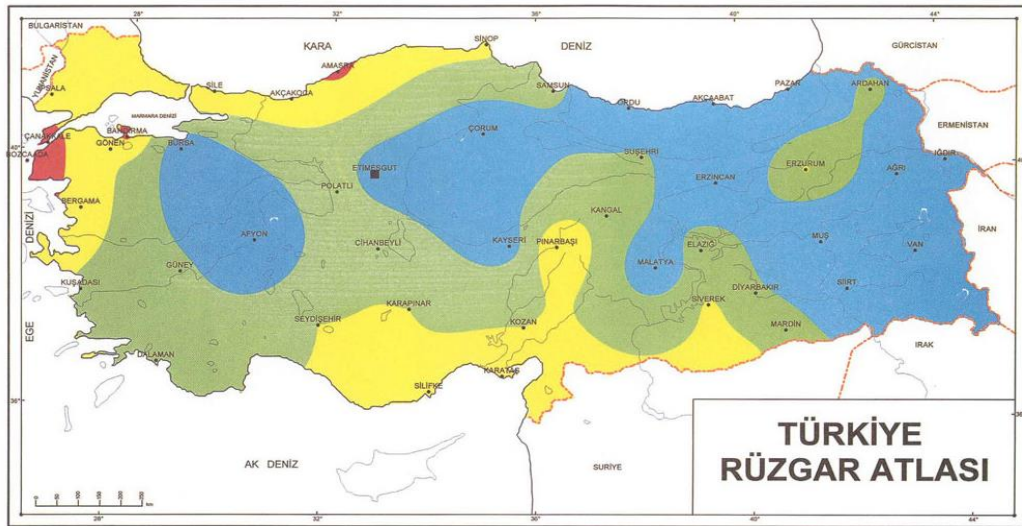
Akdeniz havzasında genel sıcaklık artışı 1°C - 2°C ulaşacağı, kuraklığın geniş bölgelerde hissedileceği ve özellikle iç kesimlerde sıcak hava dalgalarının ve aşırı sıcak günlerin sayısının artacağı beklenmektedir (IPCC, 2013).

Önol ve Ünal'ın (2012) hazırladığı, SRES A2 senaryosuna göre Türkiye iklim bölgesinde beklenen sıcaklık artışı Marmara ve Ege gibi geçiş bölgelerinde mevsimler bazında 3°C civarında olması beklenmektedir. Sıcaklıklardaki bu sezonluk farklılık, sıcaklıkla direk bağlantısı bulunan basınç sistemlerini etkileyerek yüzey rüzgarlarında kararsızlıklara sebep olabilmektedir.

Şen'in (2013)'de Türkiye ve çevresi için hazırladığı raporda iklim değişikliğinin etkilerinden bahsederken, gelecekteki rüzgar hızındaki değişimlerden de bahsedilmiştir. Max Planck Enstitüsünün genel sirkülasyon modeli olan ECHAM5 çıktıları, 27 km çözünürlüğe sahip ICTP-RegCM3 bölgesel iklim modeli ile ölçek küçültülerek çalışılmıştır. Model sonucuna göre referans periyodunda da görülen, Marmara bölgesi ve Kuzey Ege'deki yüksek potansiyel bölgelerindeki rüzgar hızları gelecekte yüzyılın ilk yarısına kadar %15, yüzyıl sonuna doğru %20 oranında artış gösterecektir. Trakya ve civarında da rüzgar hızlarında her iki dönemde artış beklenmektedir. Bu bölgeler dışında İç Anadolu'nun batı kesimleri hakim olmak üzere Ankara, Konya, Kırıkkale ve çevresinde de rüzgar hızlarında ciddi bir artış beklenmektedir. Ülkenin doğusunda özellikle Doğu Anadolu'nun iç kesimlerinde rüzgar hızlarında ciddi bir azalış beklenmektedir. Muğla ve civarında da rüzgar hızlarında azalma beklenmektedir. Ülkemiz ve çevresi için rüzgar enerji potansiyeli incelendiğinde, ülkenin kuzeybatısında yüksek olan rüzgar enerjisi potansiyeli, gelecekte artması beklenen rüzgar hızları neticesinde daha da artması beklenmektedir.



Şekil 1.24 : 1961-1990 periyoduna göre a) 2041-2070 rüzgar şiddeti değişimi b) 2071-2099 rüzgar şiddeti değişimi (Şen, 2013).

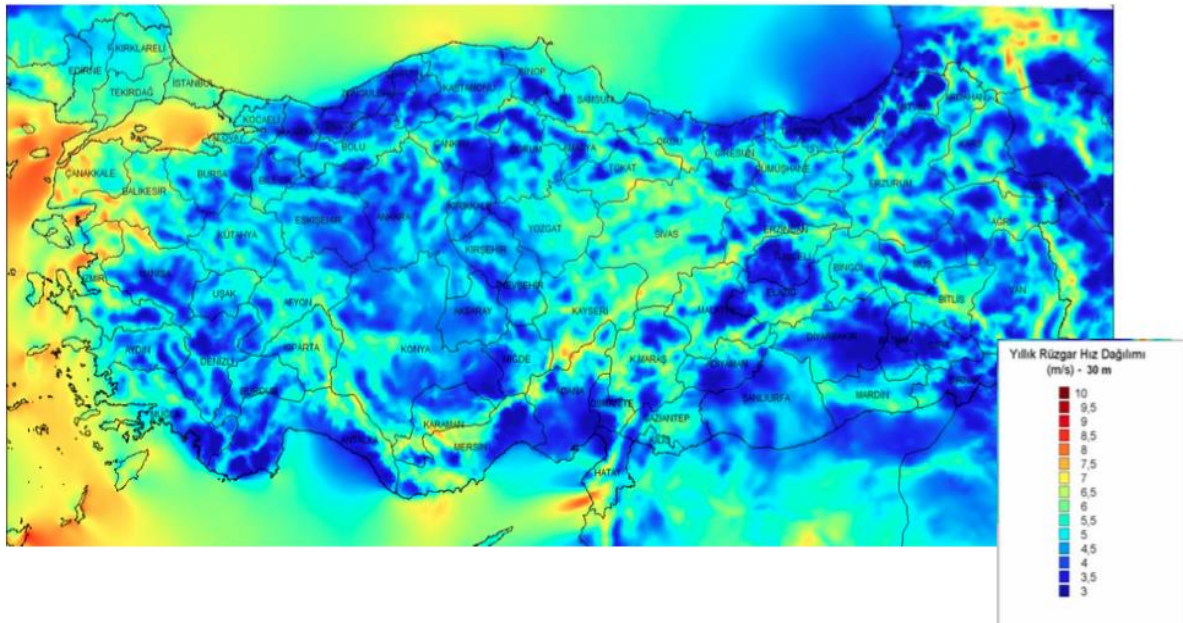


Beş farklı topoğrafik durum için yer seviyesinden 50 m yükseklikteki rüzgar potansiyelleri ¹					
Kapalı Araziler ²	Açık Araziler ³	Kıyılar ⁴	Açık Deniz ⁵	Tepe ve Bayırta ⁶	
m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	Wm ²
>6.0	>250	>8.5	>700	>8.0	>800
5.0-6.0	150-250	6.5-7.5	300-500	7.0-8.5	400-700
4.5-5.0	100-150	5.5-6.5	200-300	6.0-7.0	250-400
3.5-4.5	50-100	4.5-5.5	100-200	5.0-6.0	150-250
<3.5	<50	<4.5	<100	<5.0	<150

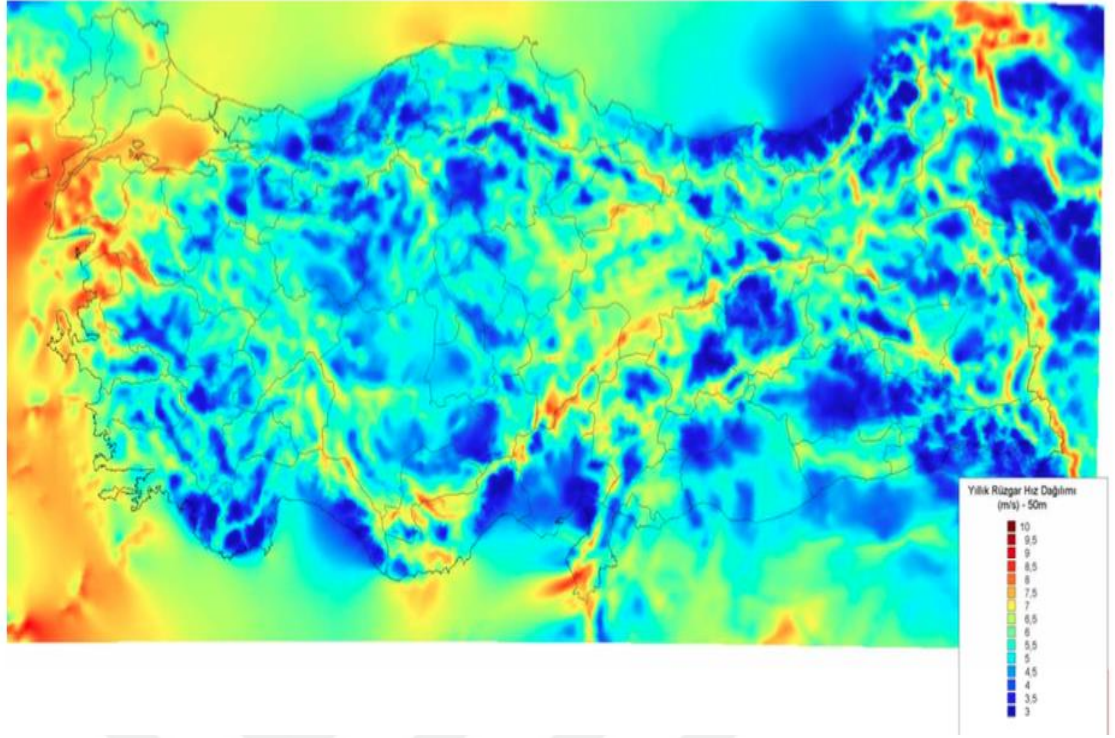
1. Rüzgar potansiyeli, rüzgarın gücünü temsil etmektedir. Rüzgar türbini halihazırda potansiyelin % 20 ile % 30 luk bölümünü kullanabilir. Potansiyel hesaplamaları; deniz seviyesinde 1 Atm lik standart basınç ve 15 °C sıcaklığa karşılık gelen 1.23 kg/m³ hava yoğunluğuna göre yapılmıştır.
2. Yeterleşim alanları, ormanlar ve rüzgar kancaların yoğun olduğu tarım alanları (pürüzlülük sınıfı 3).
3. Az sayıda rüzgar kancasının olduğu açık araziler (pürüzlülük sınıfı 1). İç bölgelerde en fazla tercih edilen alanlar genellikle bu sınıfta bulunmaktadır.
4. Düzgün kıyı alanları ve çok az sayıda rüzgar kancası içeren kara yüzeyleri (pürüzlülük sınıfı 1). Eğer hakim rüzgar yönü deniz tarafından ve sürekli ise, potansiyel daha fazla olabilir. Tam tersi durumda ise potansiyel daha az olabilir.
5. Kıyılardan en az 10 km uzaklıktaki açık denizler (pürüzlülük sınıfı 0).
6. Bütün sınıflarda % 50 ye varan bir hız artışı görülmektedir ve bu sonuç 400 m yüksekliğinde ve 4 km çapındaki simetrik bir tepede yapılan hesaplamalarda elde edilmiştir. Rüzgar hızındaki artış; tepenin yüksekliğine, uzunluğuna ve yapısına bağlıdır.

Şekil 2.2 : MGM tarafından yapılan rüzgar enerjisi potansiyeli haritası (Malkoç, t.y.).

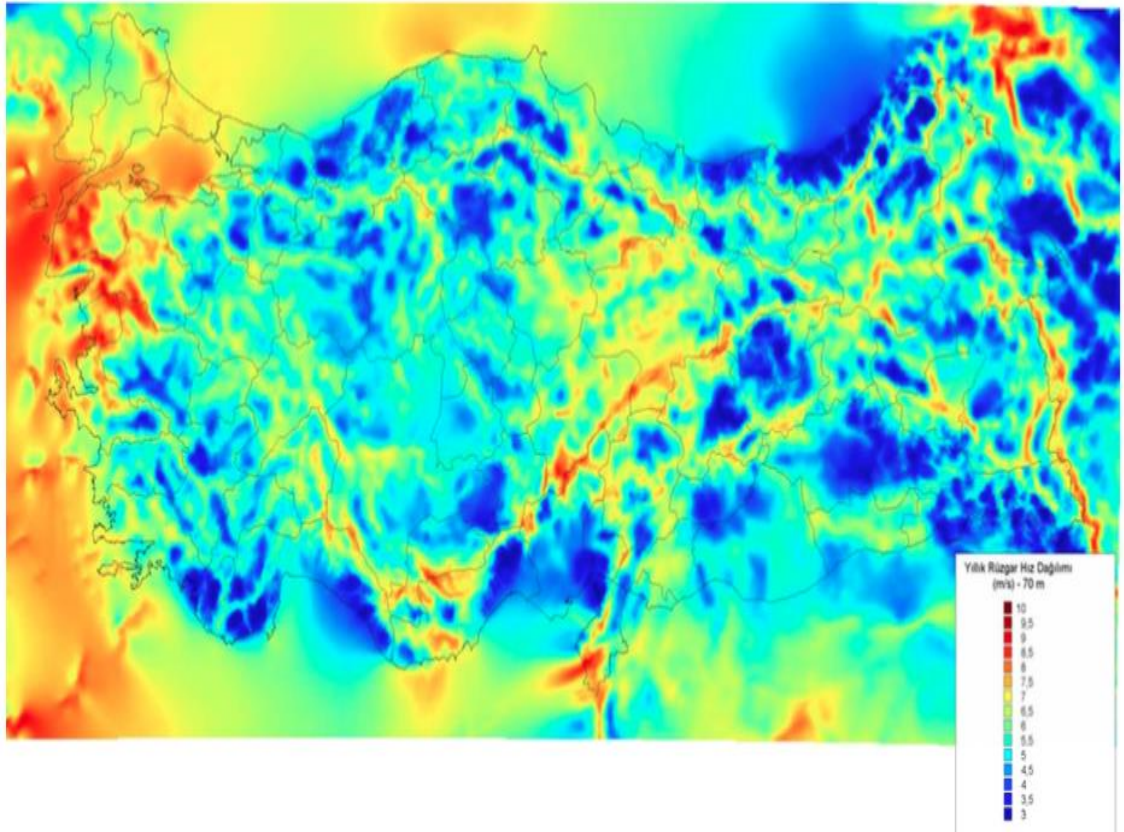
REPA orta ölçekli sayısal hava tahmin modeli ve mikro ölçekli rüzgar akış modeli kullanılarak Türkiye genelinde 200 m x 200 m çözünürlüğünde hazırlanan Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Atlasıdır. 30 m (Şekil 2.3), 50 m (Şekil 2.4), 70 m (Şekil 2.5) ve 100 m (Şekil 2.6) yüksekliklerdeki yıllık rüzgar hız ortalamaları, 50 m (Şekil 2.7) ve 100 m (Şekil 2.8) yüksekliklerde yıllık rüzgar güç yoğunluklarını vermektedir.



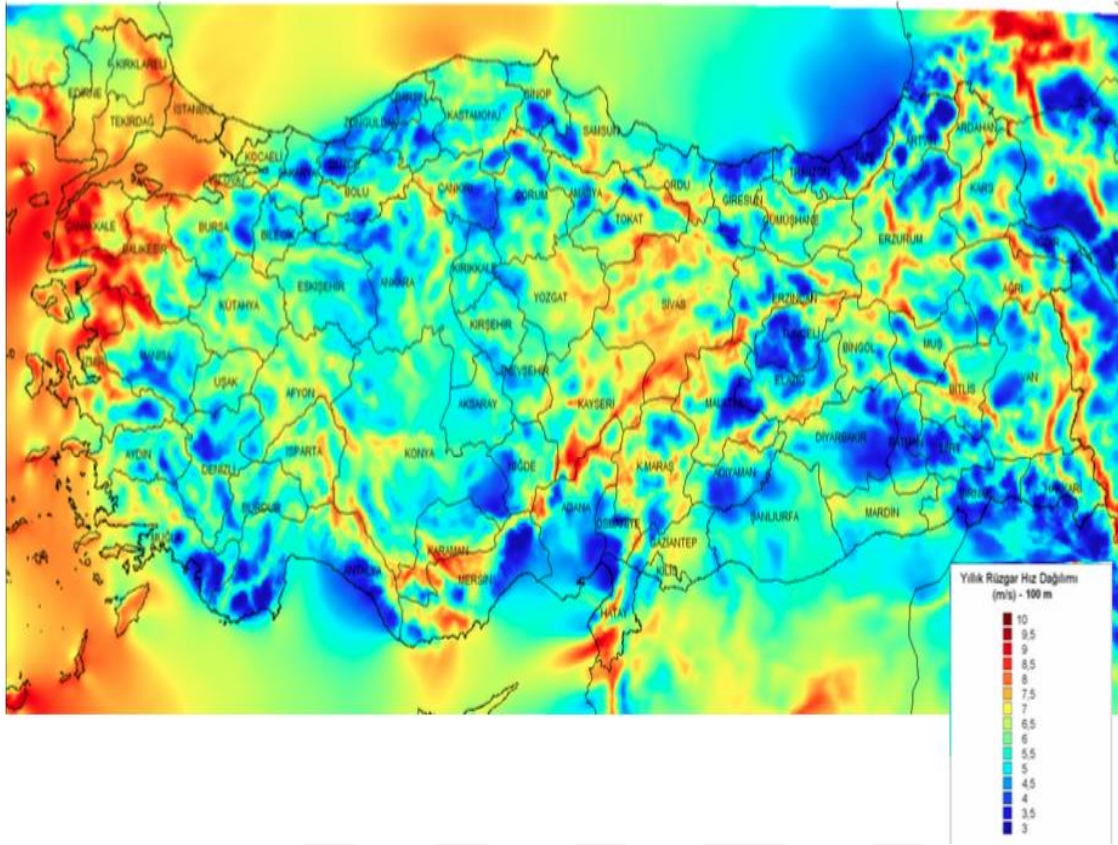
Şekil 2.3 : 30 m Yıllık Rüzgar Hız Dağılımı (YEGM, 2006).



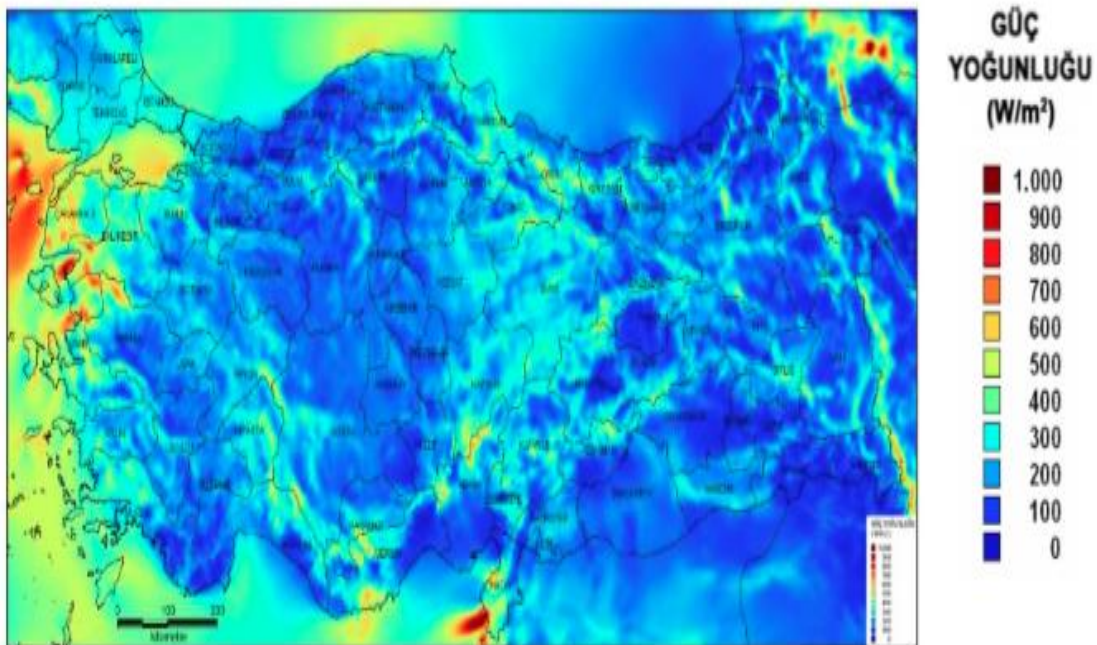
Şekil 2.4 : 50 m Yıllık Rüzgar Hız Dağılımı (YEGM, 2006).



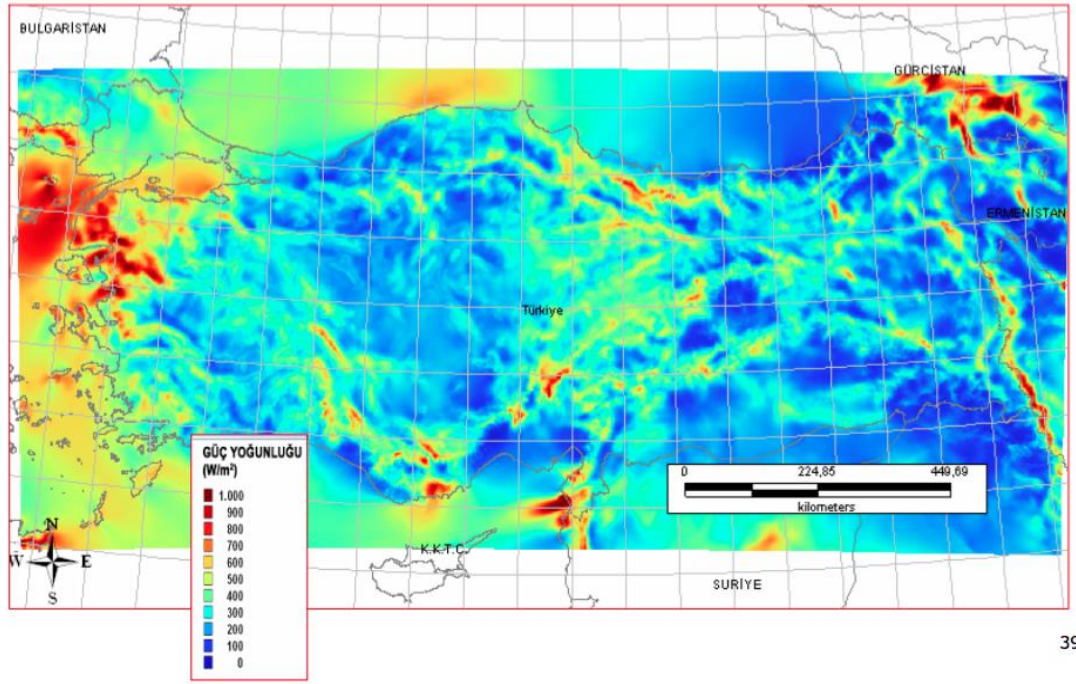
Şekil 2.5 : 70 m Yıllık Rüzgar Hız Dağılımı (YEGM, 2006).



Şekil 2.6 : 100 m Yıllık Rüzgar Hız Dağılımı (YEGM, 2006).



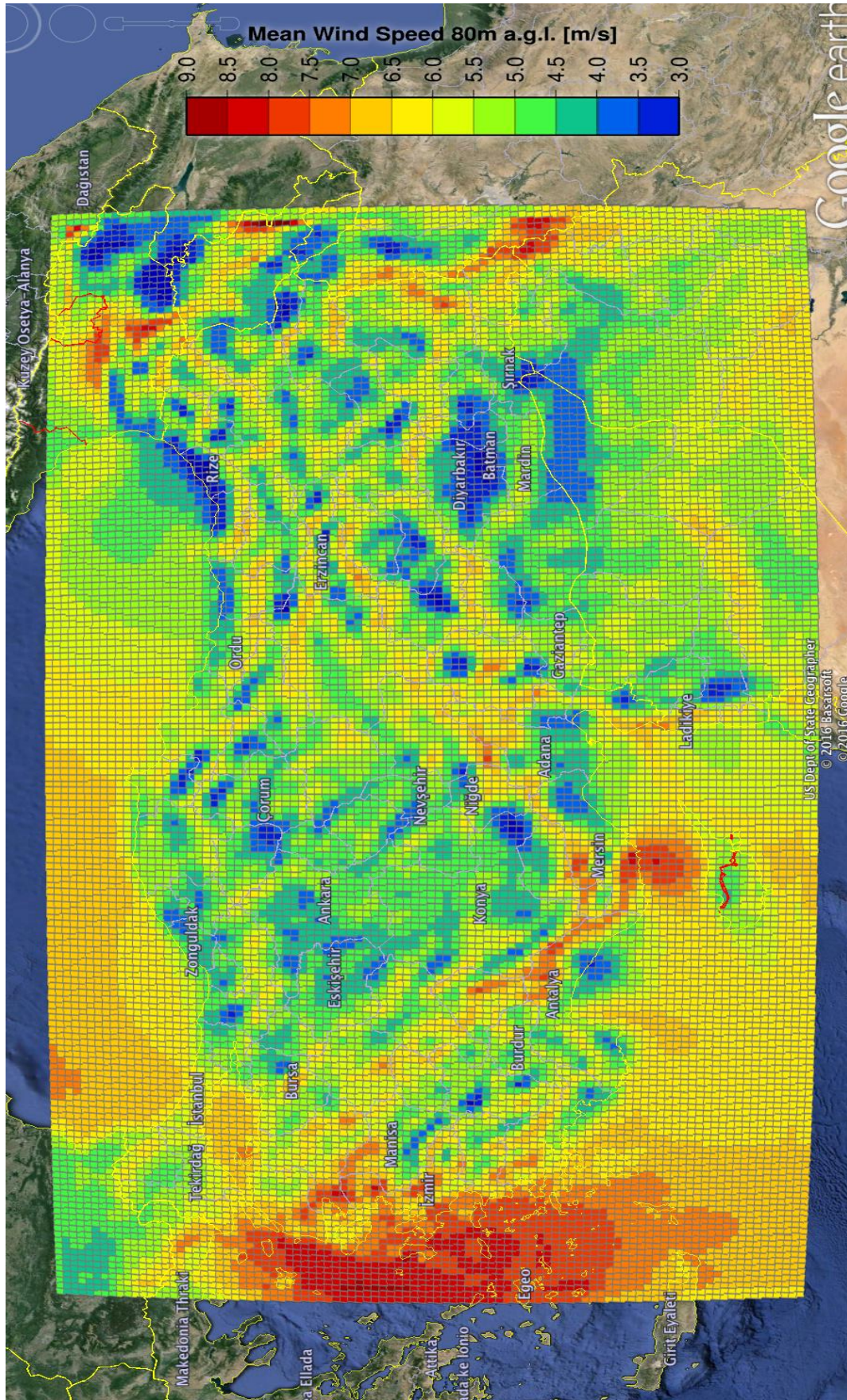
Şekil 2.7 : 50 m Yıllık Güç Yoğunluğu (YEGM, 2006).



39

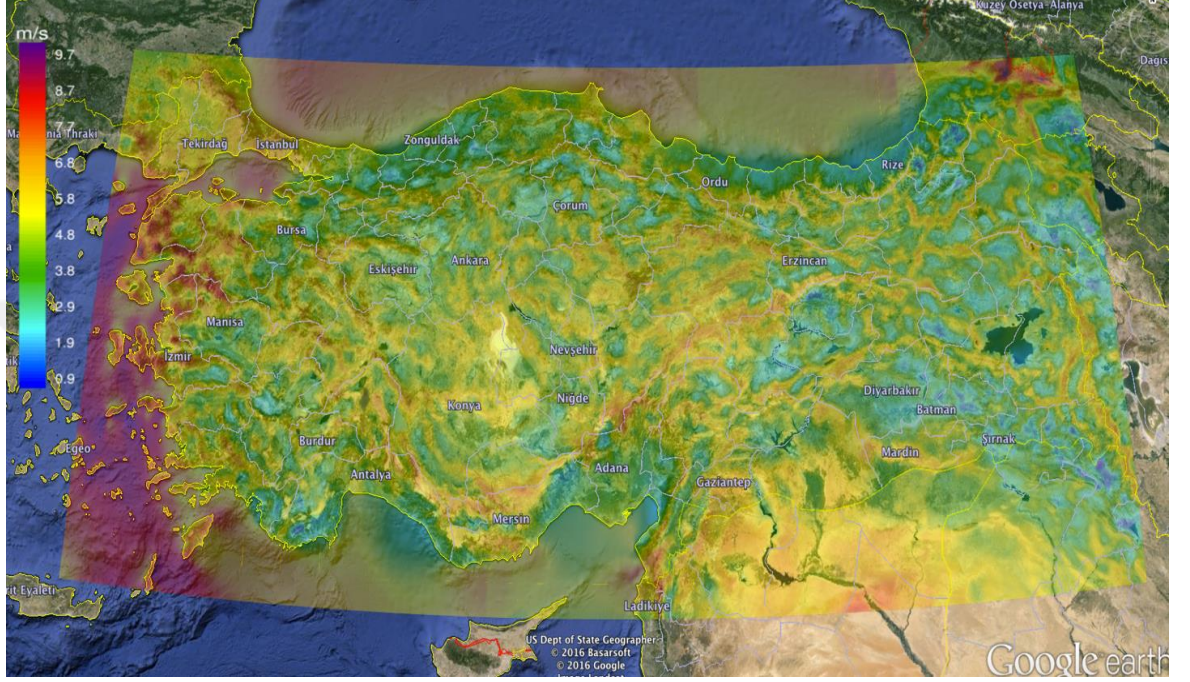
Şekil 2.8 : 100 m Yıllık Rüzgar Güç Yoğunluğu (YEGM, 2006).

REPA tarafından hazırlanan rüzgar enerjisi potansiyeli haritaları farklı yüksekliklerde rüzgar şiddeti ve güç yoğunluğunu kullanıcılara sunmakta ve bu alanda yatırım yapmak isteyenlere yatırım noktalarını göstermekte iken, aynı zamanda meteorolojik olarak güçlü rüzgarların bize hangi bölgelerde olduğu bilgisini de sunmaktadır. Bu çalışmalara ek olarak bundan sonra gösterilecek 4 harita Türkiye ve çevresi için rüzgar hızlarının değişimini daha yüksek çözünürlüklerde sunmaktadır. Bunlardan ilki Anemos rüzgar atlası (Şekil 2.9), yüksek çözünürlüklü topoloji ve arazi kullanım verileri ile reanaliz verilerinin üç boyutlu atmosferik akış modeli (MM5) kullanılarak küçük ölçeğe indirgenmesi ile elde edilmektedir. Yatay çözünürlüğü 10 km, zamansal çözünürlüğü 10 dakikadır. Zaman serisi 2000 yılından 2013 yılına kadardır. Model yüksekliği 100 metredir ve denizlerimiz için de rüzgar hızları bilgisi sunmaktadır. Harita incelendiğinde yüksek rüzgar şiddetleri daha önce hazırlanmış rüzgar potansiyel atlasları ile benzerlik göstermektedir. Şekil 10 ve Şekil 11’de Vortex modelinin 80 m ve 100 m’deki rüzgar hızları grafikleri gösterilmiştir. Yine bu model sonucunda da denizlerimiz için rüzgar şiddeti bilgisi gösterilmektedir.

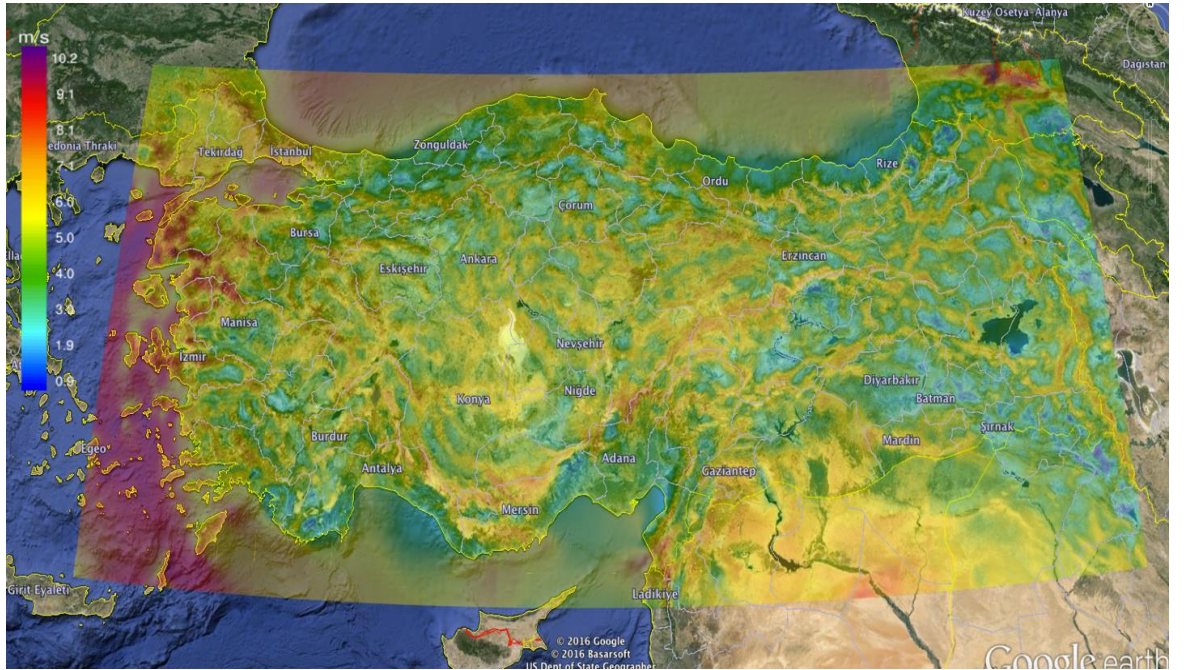


Şekil 2.9 : 100 m Yıllık Rüzgar Hız Dağılımı.

Vortex modeli, makro ölçekten mikro ölçeğe geçmek için WRF kullanır. WRF hem operasyonel tahmin hem de atmosferik araştırma ihtiyaçlarını karşılamak için geliştirilmiş bir orta ölçek (mezo ölçek) nümerik hava tahmin sistemidir. Model çözünürlüğü yatayda 3km x 3km çözünürlüğe sahiptir.

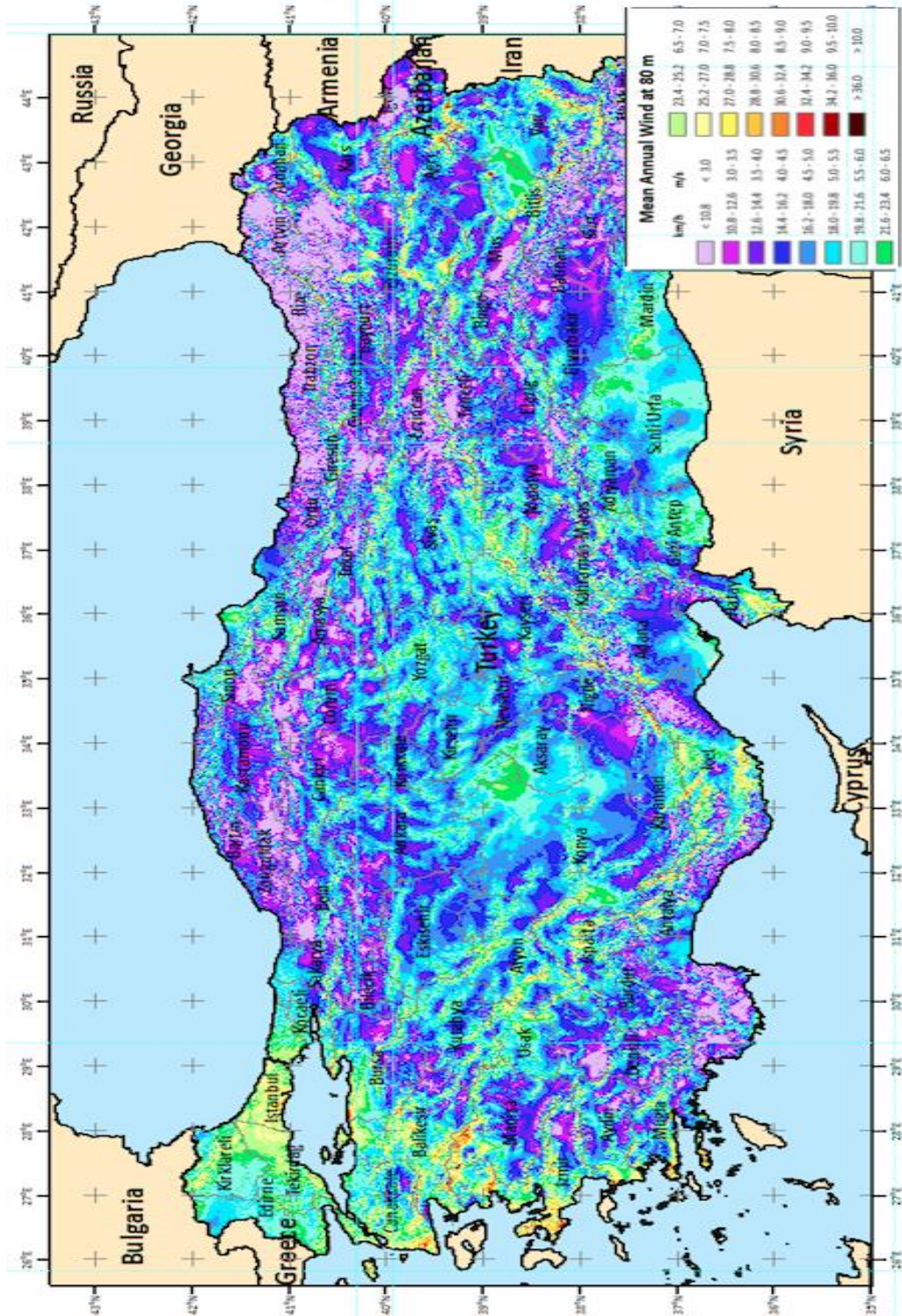


Şekil 2.10 : Vortex Modeli 80 m Rüzgar Potansiyeli.



Şekil 2.11 : Vortex Modeli 100 m Rüzgar Potansiyeli.

AWS True Power mezo ölçek model sonuçlarının yüksek çözünürlüğe 200m x 200m'ye getirilmesi ile elde edilmiş model çıktısıdır (Şekil 2.12). Yüzey kullanım datası GeoCover data setinden 90 m çözünürlüklü, topografi kullanımı ise SRTM olup çözünürlüğü 90m'dir.



Şekil 2.12 : AWS True Power 80 m rüzgar potansiyeli.

2.2 MPI-EMS-MR ve RegCM4.3 Simülasyonları Veri Seti

MPI-EMS momentum, enerji, su ve atmosferdeki küçük miktarlardaki gazları da hesaplayarak atmosfer, okyanus ve yeryüzünü ile de bağlantı kurarak çalışan bir Dünya-Sistem modelidir. MPI-EMS Max-Planck Meteoroloji Enstitüsü (MPI-M) tarafından 2 genel sirkülasyon ve yeryüzü modeli kullanılarak geliştirilmiştir. ECHAM6; atmosfer modeli, MPIOM; deniz buzu da dahil olmak üzere okyanus modeli ve JSBACH; bitki örtüsü ve yeryüzünün atmosfer ile ilişkisini temsil eden altsistem modeli birleştirilerek çalışmaktadır.

Modele opsiyonel olarak DYNVEG; dinamik yüzey bitki örtüsü ve HAMOCC; deniz biokimyası da kullanılabilir. Bu model CMIP3 ve MPI-M Milenyum projelerine katkı yapmak için ECHAM5/MPIOM birleştirilmiş modelleri kullanılarak geliştirilmiştir. Başlarda model CMIP5'e katkı yapması düşünülmüş ve şu anda dünya genelinde 45 enstitü tarafından kullanılmaktadır (Yürük, 2010).

RegCM modeli ilki 1989 yılında NCAR tarafından geliştirilen bir bölgesel iklim modelidir. RegCM modeli hidrostatik, sıkıştırılabilir, Arakawa-B grid sisteminde rüzgar ve termodinamik değişkenleri dikey olarak derecelendiren, sigma-p dikey koordinat sisteminde çalışan bir modeldir. Bu çalışmada 50 km çözünürlüğe sahip küresel veri setinin 10 km çözünürlüklü RegCM4.3 modeli ile kuple edilmiş simülasyonlarının rüzgar ve sıcaklık bileşenlerini kullanarak gelecek için 2 farklı RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarına göre sonuçlarını inceledik.

Çizelge 2.1 : Dünya – Sistem Model Bileşenlerinin Özellikleri.

Model	Atmosfer	Okyanus	Yüzey
MPI-ESM-MR	1.875° x 1.875° T063 L47	0.4° x 0.4°, L40 3-polar grid (TP04 L40)	JSBACH+BETHY Dinamik Bitki Örtüsü N döngüsü yok



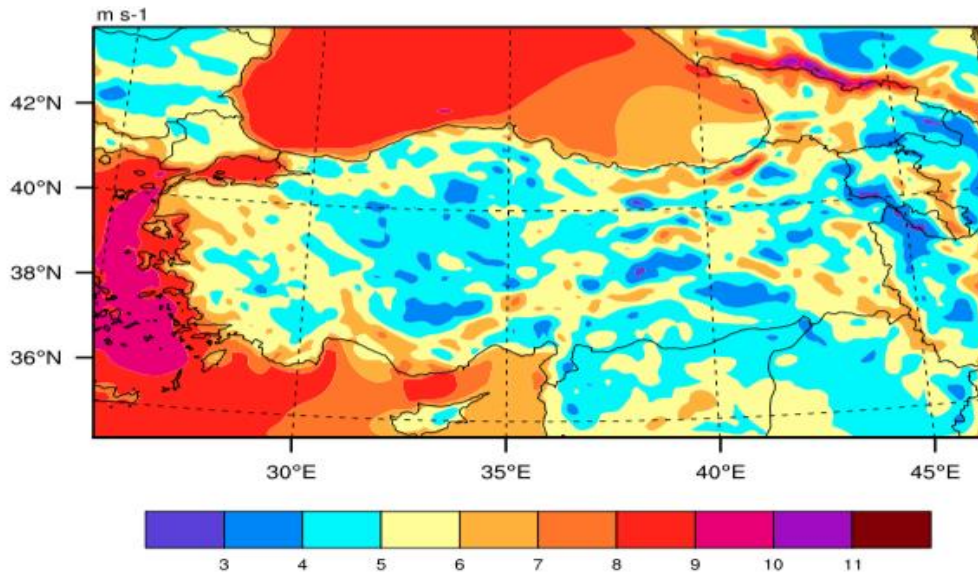
3. ANALİZ

RCP modelimizin öncelikle referans dönemi 1971-2000 yılları için dönemsel ve mevsimsel olarak incelenmiştir. Bu dönem kapsamında 30 yıllık ortalama rüzgar hızı, mevsimsel ortalama rüzgar hızı, dönemsel ve mevsimsel rüzgar yönü ve rüzgar enerjisi yoğunluğu (WED) 80 m ve 200 m yüksekliklerde hesaplanmıştır. Potansiyel haritalarımızda 200 m yükseklik de referans değerlerimiz olmamasına rağmen, gelişen rüzgar enerjisi sektörü ve artan hub yükseklikleri sebebiyle ayrıca prototip denemelerde en yüksek türbinin 220 m hub yüksekliği ve 164 m rotor çapının olması nedeniyle, 2030 yılından önce bu yüksekliklere ulaşılacağı tahmin edildiğinden bizde kendi çalışmamızda bu yüksekliği ve 80 m yüksekliği analiz ettik.

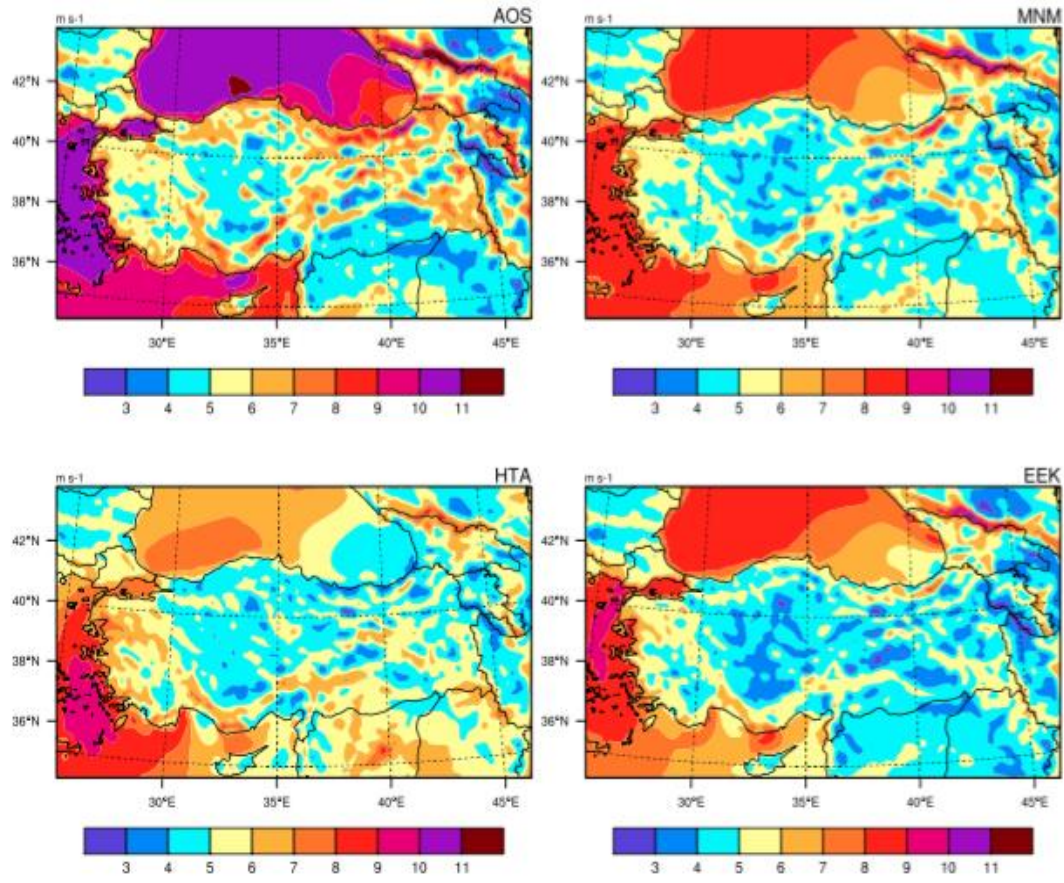
3.1 Referans Senaryosu Analizi

3.1.1 Referans senaryosu 80 m yükseklik analizi

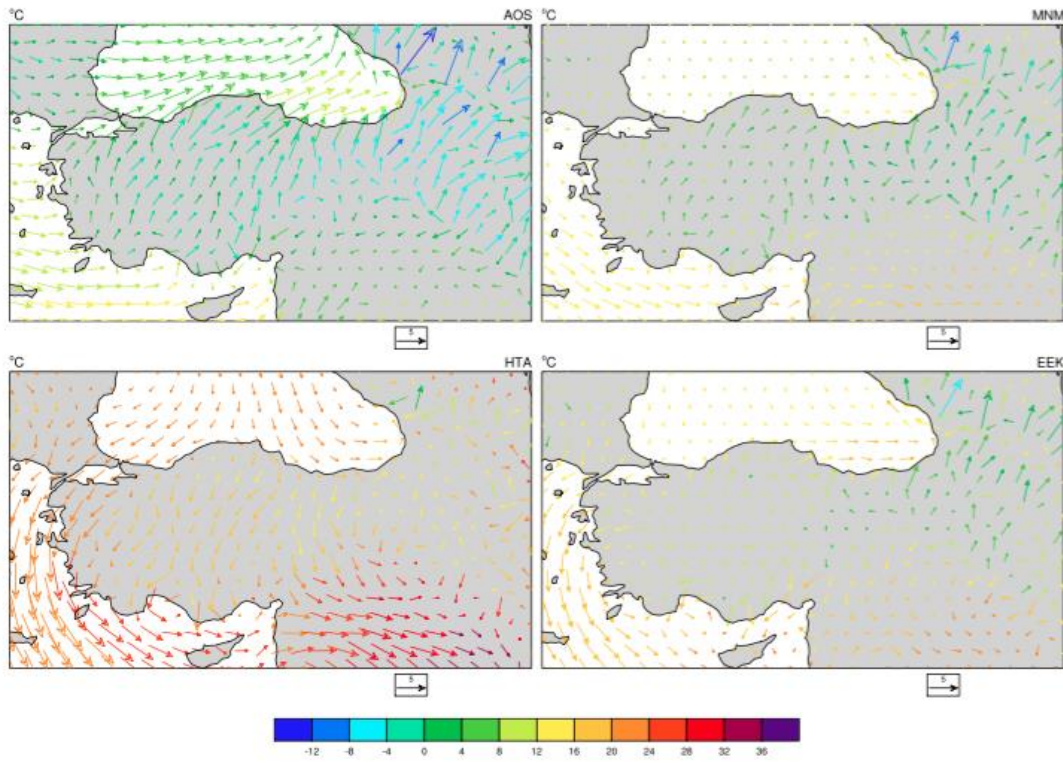
Bu çalışmada referans yüksekliği olarak 80 m seçilmiş ve potansiyel haritalar ile olan farklılıklar belirtilerek, gelecek için çalışılan simülasyonların RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarına göre incelenmiştir. Şekil 3.1’de 30 yıllık referans dönemi için 80 m yükseklikte Türkiye ve çevresi için ortalama rüzgar hızı gösterilmiştir.



Şekil 3.1 : 80 m Referans senaryosu 1971-2000 dönemi ortalama rüzgar şiddeti.



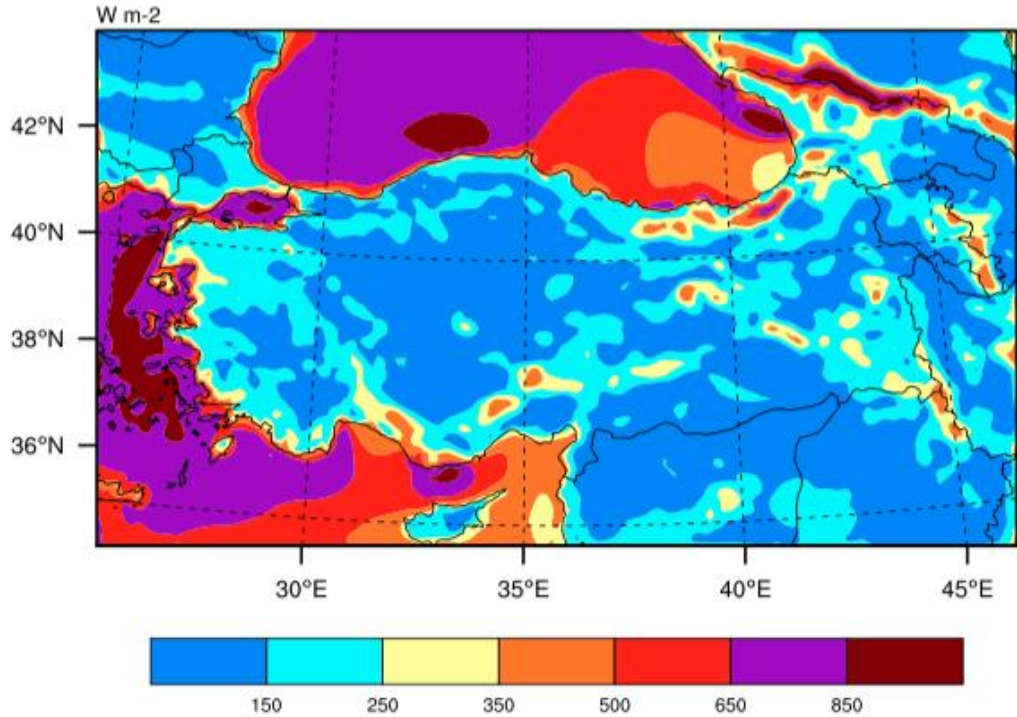
Şekil 3.2 : 80 m Referans senaryosu 1971-2000 mevsimsel ortalama rüzgar şiddeti.



Şekil 3.3 : 80 m Referans senaryosu 1971-2000 dönemi mevsimsel rüzgar akışı.

4 haritalı grafikler sol üst harita kış mevsimi, sağ üst harita ilkbahar mevsimi, sol alt harita yaz mevsimi ve sağ alt harita sonbahar mevsimini gösterecek şekilde sıralanmış ve bundan sonraki tüm 4 haritalı grafikler aynı şekilde verilmiştir. Şekil 3.2 uzun dönem için mevsimsel ortalama rüzgar şiddetlerinin Türkiye üzerinde dağılımı, ilkbahar ve sonbahar mevsimleri birbirine yakın sonuçlar verirken, kış mevsimi için rüzgar hızları denizler üzerinde daha yüksektir. Yaz mevsiminde sadece Batı Akdeniz ve Ege denizinde yüksek ortalama değerler göstermektedir.

Bölgesel iklim model simülasyonları rüzgar şiddeti genel paterni görsel olarak rüzgar enerjisi potansiyel haritaları ile karşılaştırıldığında en fazla Anemos modeli ile benzeştiği, AWS True Power modelinin deniz üzerinde değerleri olmaması ve yüksek çözünürlüklü bir model olması sebebiyle en az bu modelle benzeştiği tespit edilmiştir. Sonuçlar detaylı incelendiğinde Ege denizi üzerinde iklim modeli 0.5 ila 1 m/s daha fazla ortalama gösterirken, Karadeniz üzerinde yaklaşık 1m/s, Anamur ile Kıbrıs arası için 0.5 m/s ortalama daha fazladır. Kara yüzeylerinde potansiyelin yüksek olduğu bölgeler olan Çanakkale ve çevresi, Soma ve çevresi, Bandırma, Hatay, Sinop, Orta Toroslar ve civarı için 1m/s ile 2m/s aralığında daha düşük bir rüzgar ortalaması göstermiştir. Potansiyelin az olduğu orta ve iç kesimlerde ise model sonucu potansiyel haritalar ile yakın değerlerdedir. Modelin sonuçlarının en kötü ve farkın en fazla olduğu yer ise Doğu Karadeniz bölümüdür.

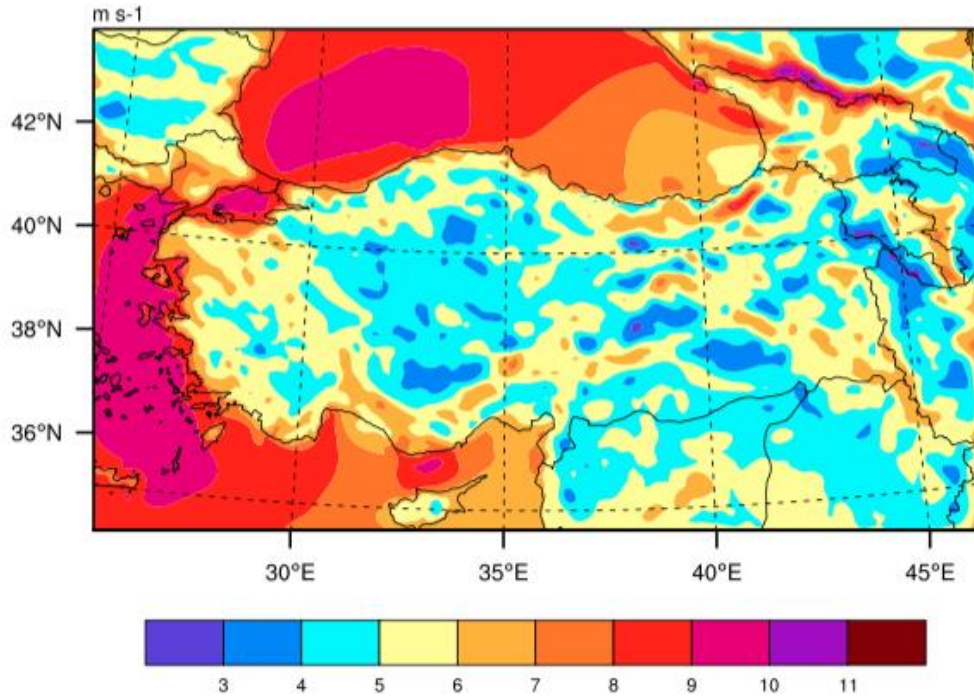


Şekil 3.4 : 80 m Referans senaryosu 1971-2000 dönemi rüzgar enerjisi yoğunluğu.

Şekil 3.3’de mevsimsel olarak rüzgar yönleri incelendiğinde kış mevsiminde kara üzerinde güneyli rüzgarlar hakim iken, yaz mevsiminde kuzeyli akışlar görülmektedir. Bahar aylarında rüzgar daha sakin iken, ilkbaharda Ege denizi ve çevresinde kuzeybatılı, ilkbahar mevsiminde ise kuzeyli akışlar görülmektedir. Yaz mevsiminde artan rüzgar şiddetleri tüm Türkiye’de kuzeyli akışların fazlasıyla etkili olduğunu gösterir. Modelin rüzgar potansiyeline baktığımız zaman ise rüzgar hızlarının 3. kuvveti ile ilişkili olarak potansiyelin denizler üzerinde ve Ege kıyı şeridinde yüksek olduğu gözükmemektedir (Şekil 3.4).

3.1.2 Referans senaryosu 200 m yükseklik analizi

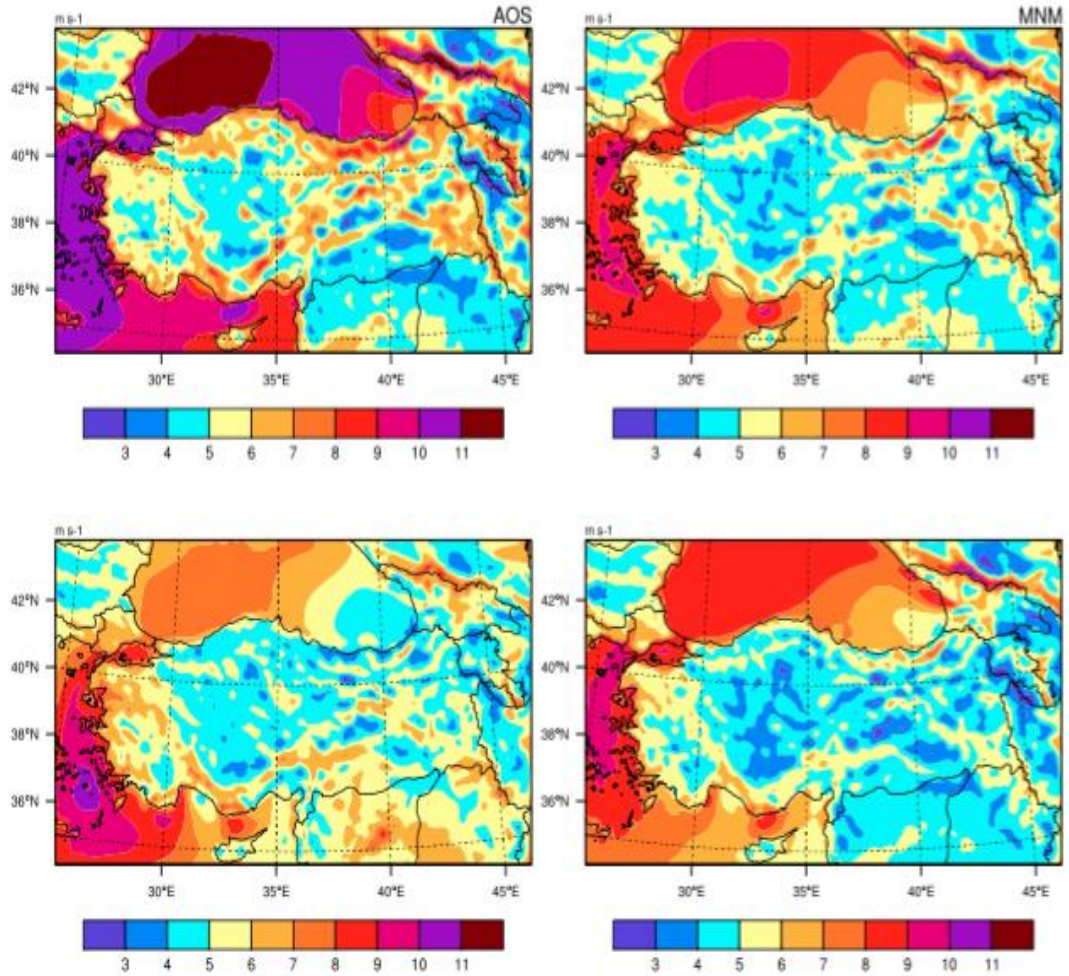
Referans dönemi için 200 m yükseklikteki sonuçlar 80 metreye benzerlik göstermektedir. Rüzgar hızları ortalaması artarken, özellikle Batı Karadeniz üzerinde büyük bir alanda 1m/s’lik hız artışı görülmektedir. Yine Güney Ege civarında ve Akdeniz’in batısında hız artışı diğer yerlere göre daha fazladır (Şekil 3.5).



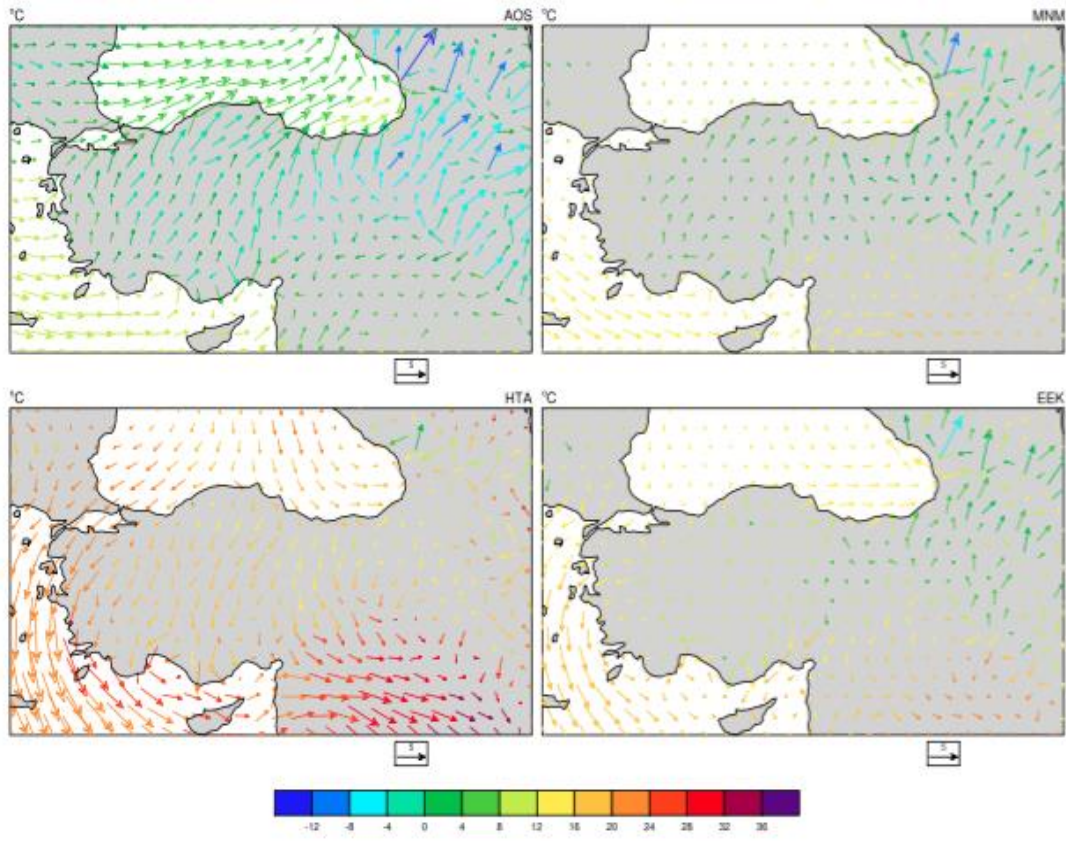
Şekil 3.5 : 200 m Referans senaryosu 1971-2000 dönemi ortalama rüzgar şiddeti.

Şekil 3.6’da mevsimsel sonuçlara bakıldığında Batı Karadeniz üzerindeki artış yaz mevsimi hariç diğer 3 mevsimde de bariz bir şekilde görülmektedir.

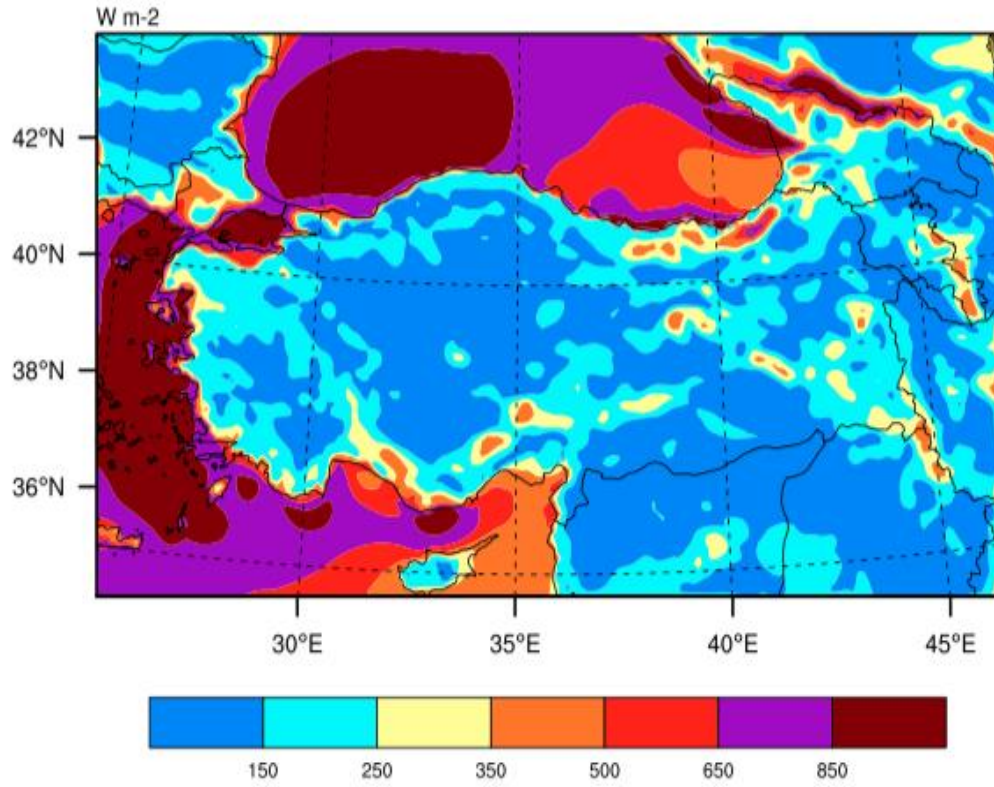
Yine Ege Denizi, Batı Akdeniz ve Orta Akdeniz üzerinde 4 mevsimde de yüksek değerler göze çarpmaktadır. Kara üzerinde özellikle Orta Anadolu ve çevresinde bahar aylarında ve Sonbahar da azalış daha fazla iken, yaz ve kış aylarında ortalamalar civarındadır. Yaz mevsiminde Güney Ege bölgesinde ortalamalar 10 m/s'ler mertebesine ulaşmış olduğu görülmektedir. Hakim rüzgar yönü mevsimsel olarak Şekil 3.7'de bakıldığında Kışın Karadeniz üzerinde batılı rüzgarlar, kara üzerinde güneyli, Ege ve Akdeniz üzerinde ise batılı rüzgarların hakim olduğu görülmektedir. Yazın ise kuzeyli sıcak rüzgarlar tüm kara ve denizler üzerinde hakimdir. Bahar ayları daha sakin ve ılıman rüzgarların etkisi altında iken karadeniz üzerinde oldukça sakin rüzgarlar görülmektedir. Rüzgar enerjisi yoğunluğu da rüzgar hızlarına göre ve 80 m yüksekliğe göre özellikle deniz üzerinde oldukça fazla olduğu görülmektedir (Şekil 3.8).



Şekil 3.6 : 200 m Referans senaryosu 1971-2000 dönemi mevsimsel ortalama rüzgar şiddet



Şekil 3.7 : 200 m Referans senaryosu 1971-2000 dönemi mevsimsel rüzgar akışı.



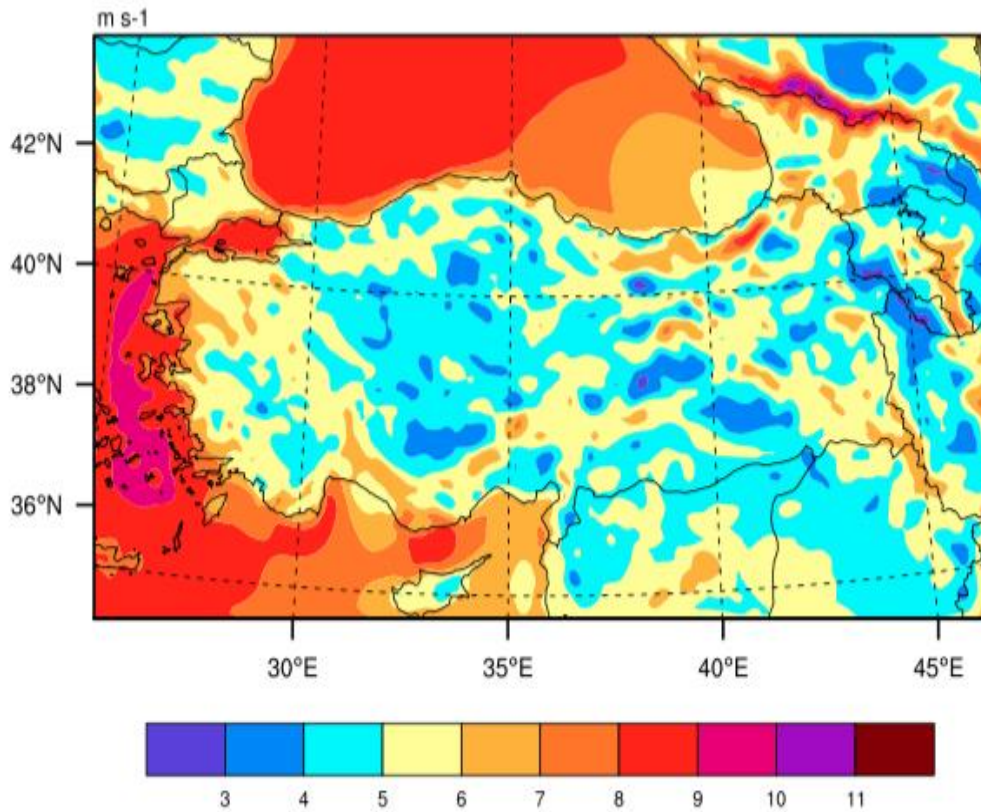
Şekil 3.8 : 200 m Referans senaryosu 1971-2000 dönemi rüzgar enerjisi yoğunluğu.

3.2 RCP 4.5 Senaryosu Simülasyon Sonuçları Analizi

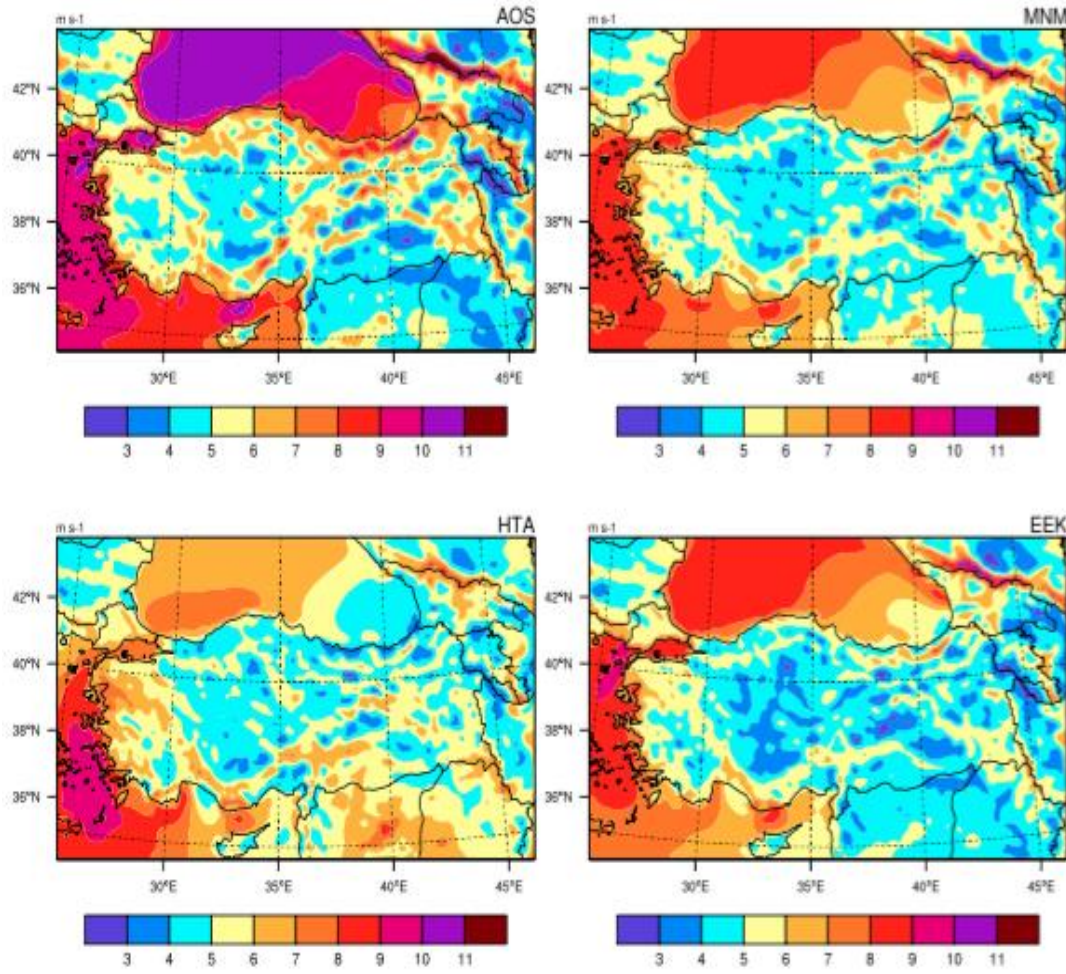
RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarının sonuçları 3 zaman aralığına bölünen 100 yıllık simülasyonları 2021-2040, 2041-2070 ve 2071-2100 dönemleri ve bu dönemlerin mevsimsel sonuçları olarak incelenmiştir. Ayrıca bu 3 dönem için rüzgar enerjisi potansiyeli de 80 m ve 200 m yüksekliklerde analiz edilmiştir. Rüzgar hızı ortalamalarının referans döneme göre yüzdelik değişimi her dönem için çizdirilip sonuçlar karşılaştırılmıştır.

3.2.1 RCP 4.5 senaryosu 80 m yükseklik analizi

İlk dönem sonuçları incelendiğinde (Şekil 3.9) ve (Şekil 3.10) 2020'den sonraki rüzgar hızlarında bölgesel olarak azalmalar görülmektedir. Özellikle Ege denizi ve üzerinde lokal azalmalar göze çarpmaktadır. Karadeniz üzerinde bir değişim görülmezken, Akdenizin batısında da bir azalma vardır. Kara üzerinde ise potansiyeli yüksek bölgelerden olan Balıkesir ve çevresinde artış az da olsa görülmektedir.

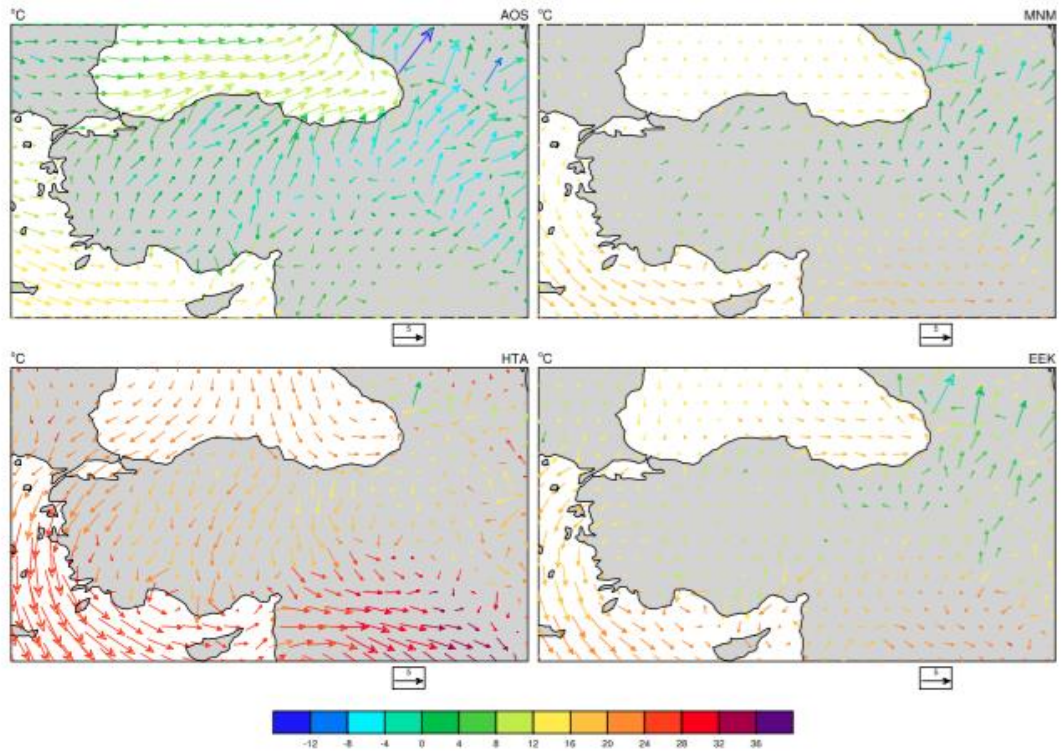


Şekil 3.9 : 80 m RCP 4.5 senaryosu 2021-2040 dönemi ortalama rüzgar şiddeti.

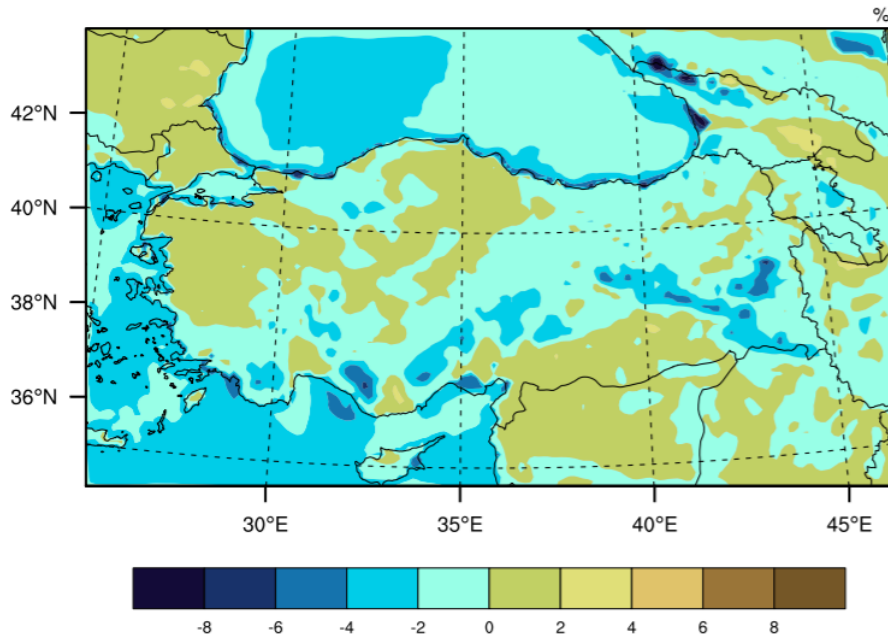


Şekil 3.10: 80 m RCP 4.5 senaryosu 2021-2040 dönemi mevsimsel ortalama rüzgar şiddeti.

Mevsimsel sonuçlara bakıldığında ise bahar mevsimleri simülasyon sonuçları ortalamalara yakın, kışın Karadeniz üzerinde 2m/s'ye varan artışlar görülür. Kara üzerinde yaz mevsiminde potansiyeli yüksek bölge olan Çanakkale ve çevresi ile Soma ve çevresinde artışlar görülmekte, bu artış iç bölgelere kadar uzanmaktadır. Hatay ve çevresinde ise kışın rüzgar hızlarında artış diğer mevsimlere göre daha fazladır. İç bölgelerde durum yazın diğer bölgelerde olan artış buralarda da görülmekte iken, sonbahar mevsimi rüzgar ortalaması, genel durumunda altında olup azalış daha belirgindir. Ayrıca Doğu Karadeniz ve üzerinde yazın rüzgar ortalaması oldukça azalmış, 4m/s mertebelerine kadar gerilemiştir. Marmara denizi üzerinde de kışın rüzgarların kuvvetlendiği görülmektedir. Batı Karadeniz üzerinde kışın rüzgarların ortalamasının üstüne çıkmıştır.



Şekil 3.11 : 80 m RCP 4.5 senaryosu 2021-2040 dönemi mevsimsel rüzgar akışı. Mevsimsel olarak rüzgar yönlerine bakıldığında ilk dönemde rüzgar yönünde bir değişiklik görülmemekle beraber sıcaklıklarda her mevsimdeki artış referans dönemine göre belirgindir (Şekil 3.11).

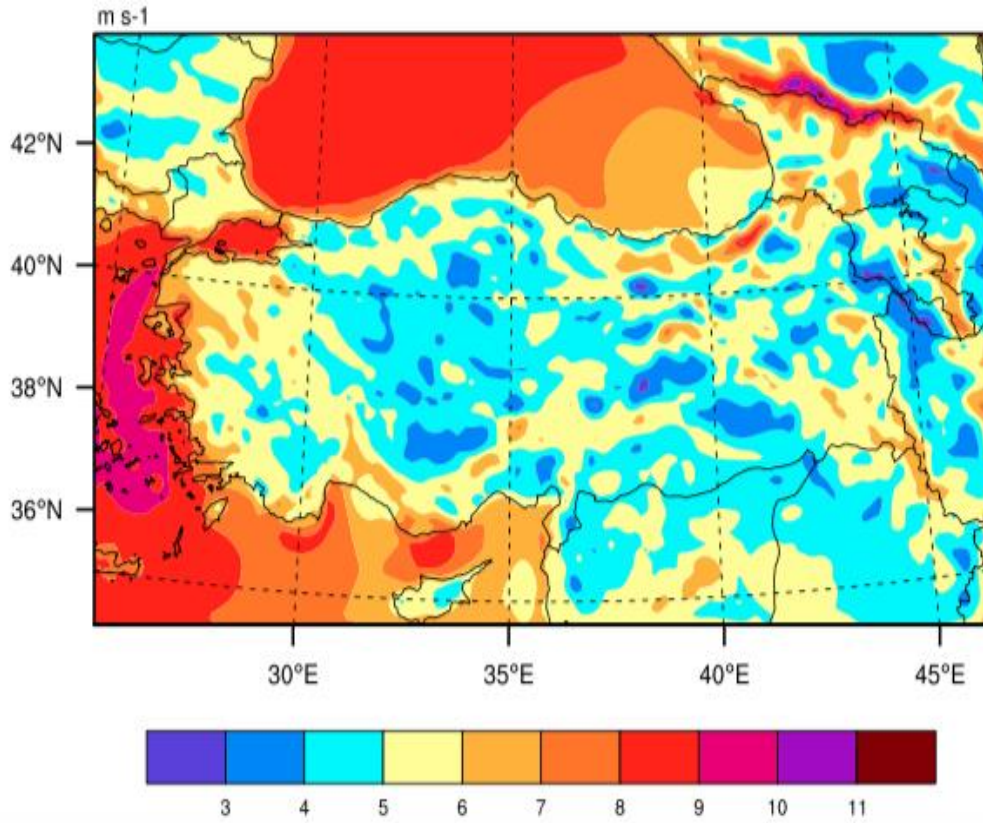


Şekil 3.12 : 80 m RCP 4.5 senaryosu 2021-2040 dönemi rüzgar şiddetinin % değişimi.

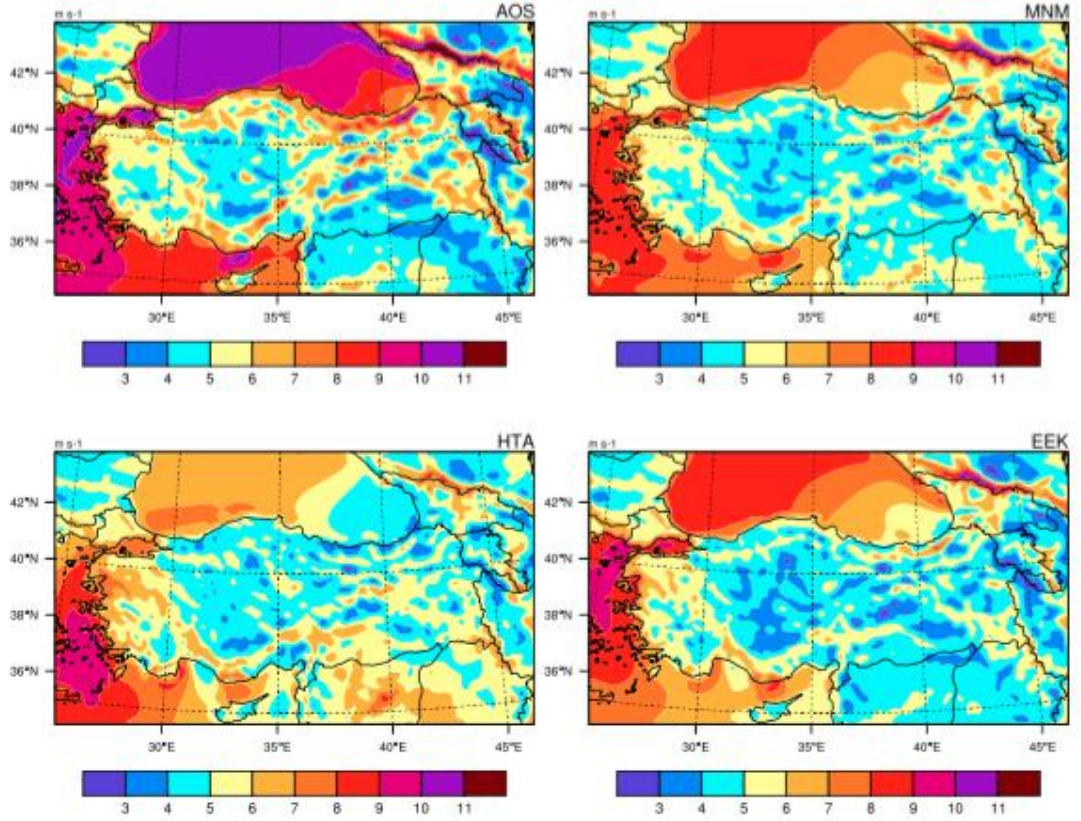
Şekil 3.12’de referans döneme göre çizdirilen ilk anomalide 2020-2041 dönemi için tüm denizlerimiz de %2 ila %4 arasında bir azalma göstermektedir. Kara üzerinde incelendiğinde özellikle ülkenin batısında, Orta Karadeniz kesimi ile Güneydoğu Anadolu Bölgesinin tamamında, Antalya’nın Burdur ile Isparta arasında kalan bölgesinde Orta Torosların deniz ile buluştuğu bölge ile tüm Trakya’da bir artış olduğu görülmektedir.

80 m yükseklikte 2041-2070 dönemi incelendiğinde Ege denizi ve Batı Akdeniz’deki azalma bu dönemde de sürmekte, Akdenizin batısında daha da büyük bir azalış görülmektedir. Karadeniz ve kara üzerinde ise değişim görülmemektedir (Şekil 3.13).

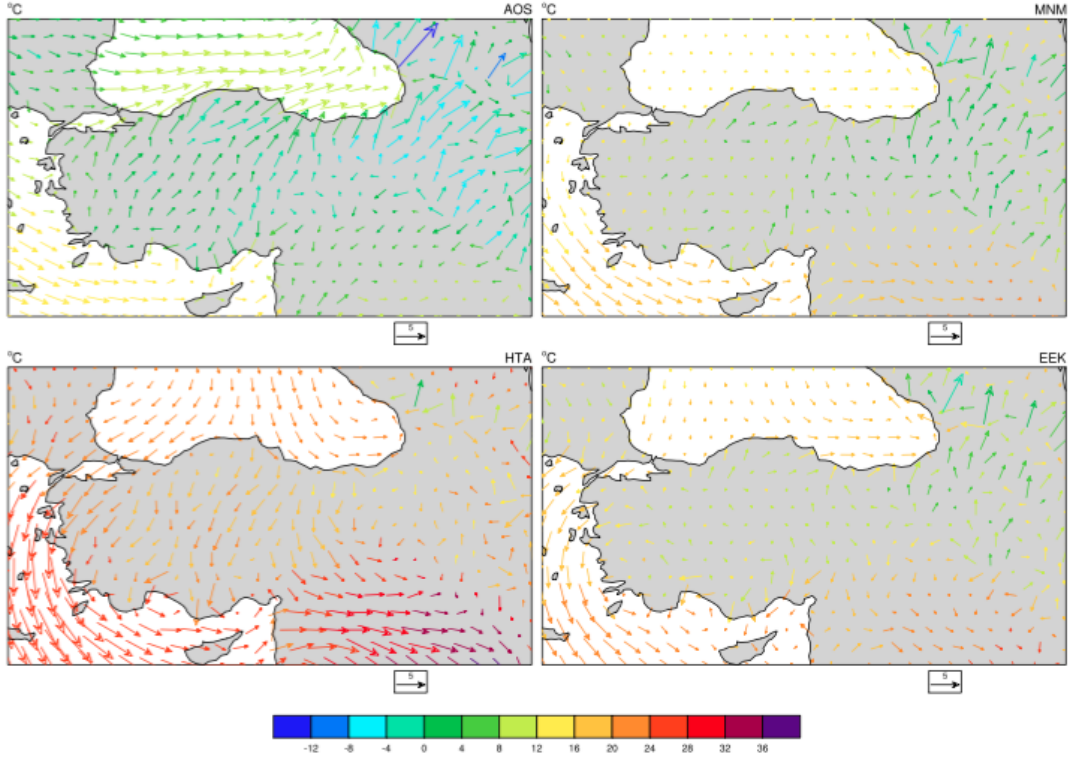
Türkiye üzerinde 80m RCP 4.5 senaryosu sonuçları 2041-2070 dönem sonuçları mevsimsel olarak bir önceki döneme benzer simülasyon sonuçları göstermektedir (Şekil 3.14). Kışın Çanakkale ve çevresinde Bozcaada ve Gökçeada civarında rüzgar hızları 9 m/s’ye şiddetine ulaşması beklenmektedir.



Şekil 3.13 : 80 m RCP 4.5 senaryosu 2041-2070 dönemi ortalama rüzgar şiddeti.

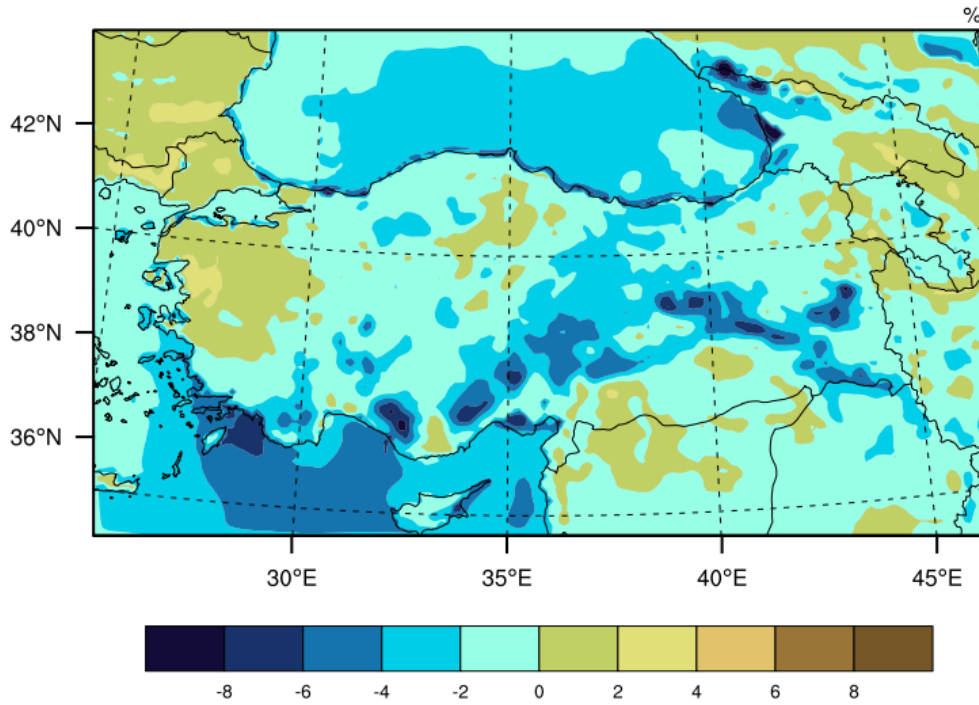


Şekil 3.14 : 80 m RCP 4.5 senaryosu 2041-2040 dönemi mevsimsel ortalama rüzgar şiddeti.



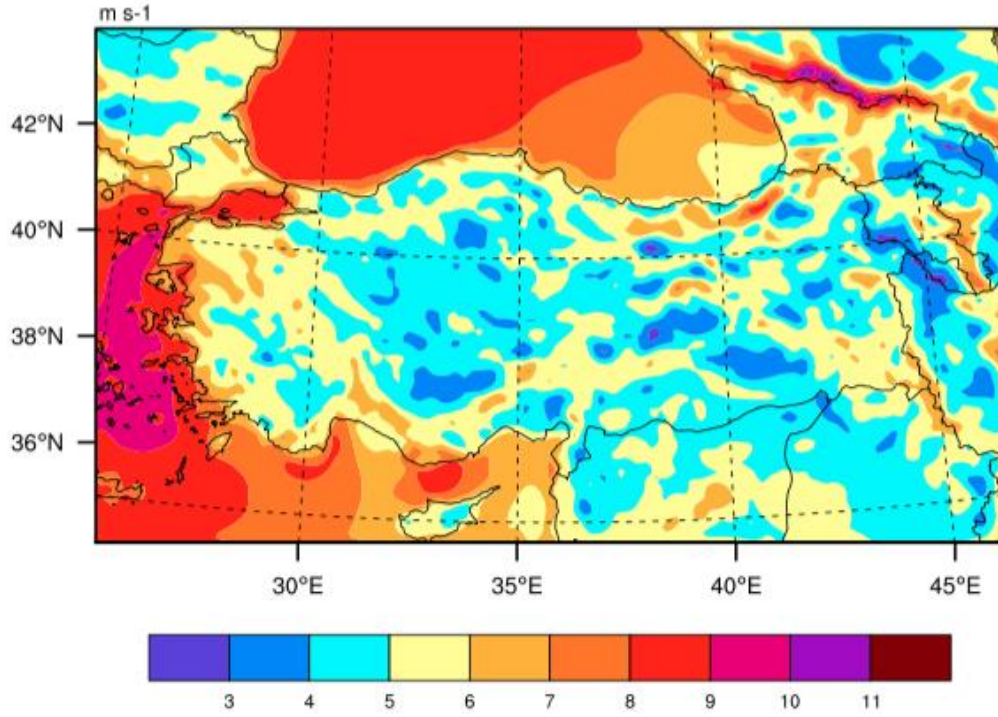
Şekil 3.15 : 80 m RCP 4.5 senaryosu 2041-2070 dönemi mevsimsel rüzgar akışı.

Mevsimsel olarak bu dönemde en büyük değişim kışın Karadeniz ve Kuzey Ege’de artış olarak rastlanmaktadır. Denizler üzerinde diğer 3 mevsimde en büyük farklılık ise ilkbahar mevsimindeki Ege denizi üzerindeki akışın azalmasıdır. Kara üzerinde değişimler ortalamaya yakın iken, yazın diğer mevsimlere göre ortalamalar bölgesel olarak 1m/s daha fazladır. Potansiyeli yüksek yerler olan Soma, Çanakkale, İzmir ve çevresinde yazın artışlar var iken, Hatay ve civarında bu artış kış mevsiminde görölmektedir. Marmara bölgesi ve çevresinde rüzgar hızları ortalaması en fazla kışın iken, tüm Türkiye’de ortalamaların arttığı yaz mevsiminde rüzgar hızı ortalaması en düşüktür. Şekil 3.15 incelendiğinde ise rüzgar yönleri yazın deniz üzerinde kuvvetli ve kuzey yönlerden, kışın ise daha çok batılı rüzgar şiddetleri hakimdir.



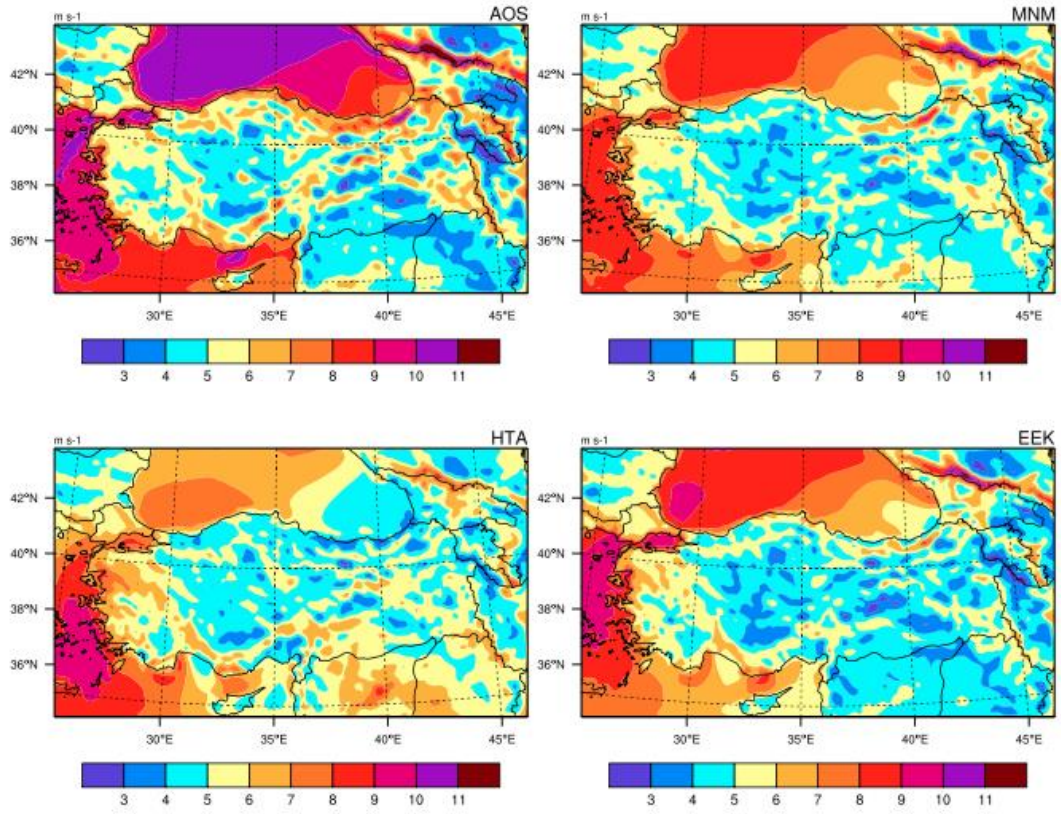
Şekil 3.16 : 80 m RCP 4.5 senaryosu 2041-2070 dönemi rüzgar şiddetinin % değişimi.

2041-2070 dönemi anomalisi Şekil 3.16’da incelendiğinde rüzgar hızındaki artışın sadece batı bölgelerimizde ve İç Anadolunun kuzeyi ile Orta Karadeniz bölgesinin güneyinde kalan bölge artışın olduğu görölmektedir. Ayrıca Akdeniz’in batısı ile Muğla’nın güneydoğusunda önemli derece de azalış olduğu görölmektedir. Yine Trakya bölgesinde artış görölmektedir. Bir önceki döneme göre Türkiye’nin doğu bölgelerinde önemli bir azalış görölmektedir.

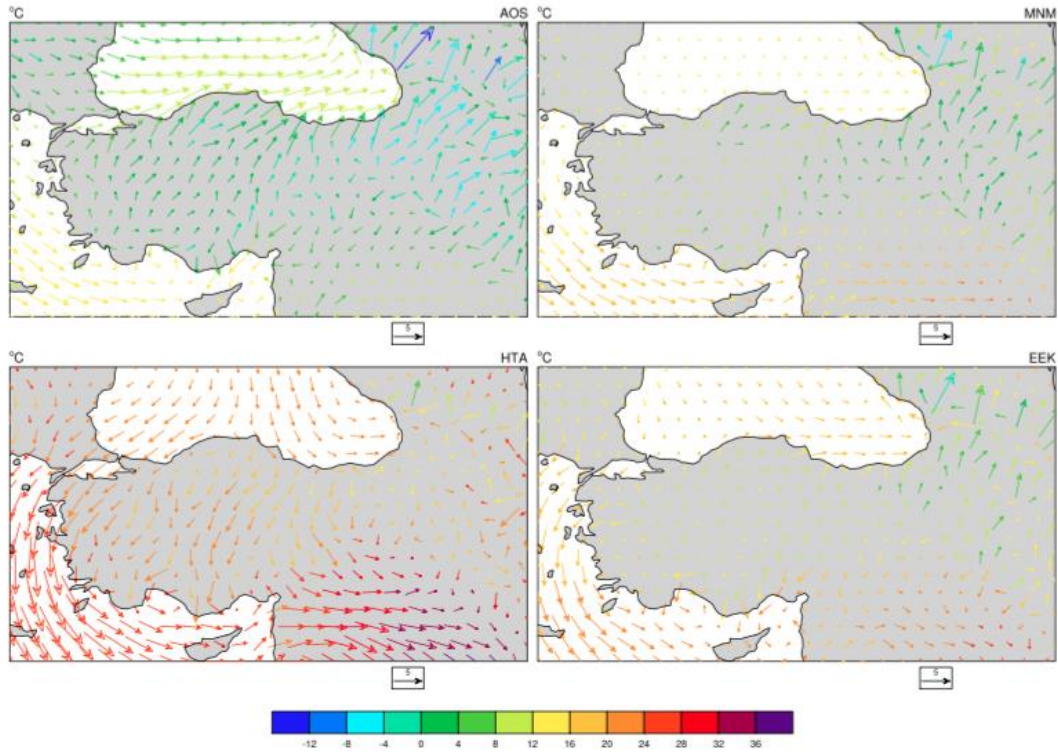


Şekil 3.17 : 80 m RCP 4.5 senaryosu 2071-2100 dönemi ortalama rüzgar şiddeti.

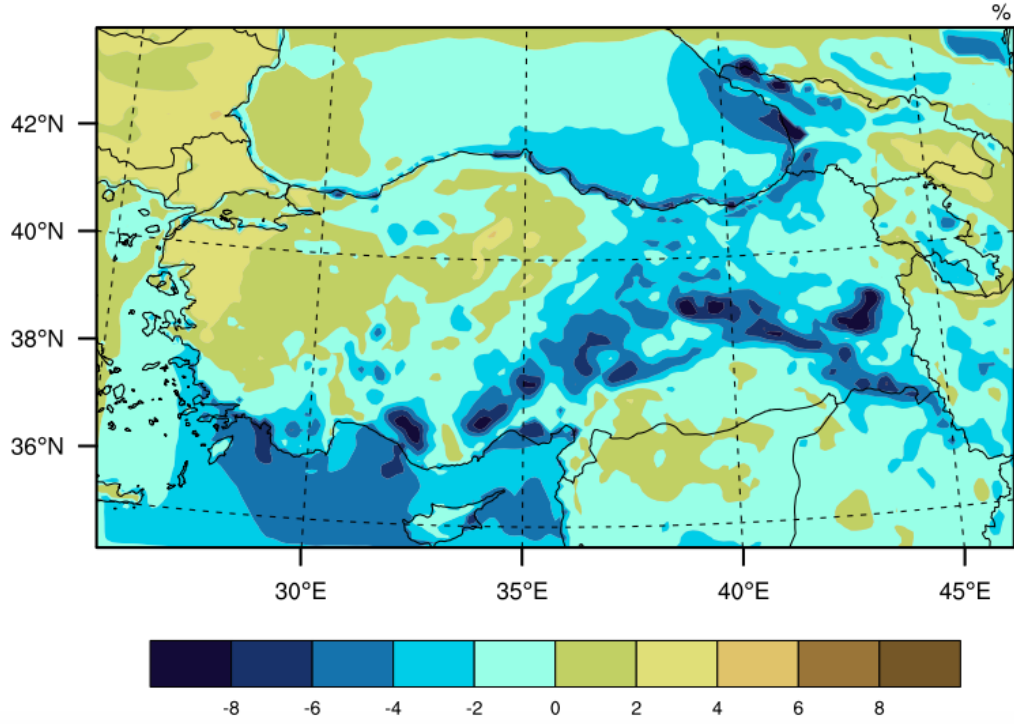
Son dönem incelendiğinde Ege denizindeki artış daha geniş bölgelere yayılırken, Akdeniz ve Karadeniz üzerinde ciddi değişikliklere raslanmamıştır (Şekil 3.17). Kara üzerinde ise Batı Anadolu ve çevresinde az da olsa lokal artışlar görülmektedir. Mevsimsel sonuçlar da ise yazın özellikle Türkiye'nin batısında bir artış göze çarparken, ilkbahar mevsiminde Ege denizinde ortalamalar genel ortalamanın altındadır. Ayrıca sonbahar mevsiminde Karadeniz'in Marmara Bölgesi çıkışında bir artış olduğu görülmektedir (Şekil 3.18). Rüzgar yönlerinde ise sıcaklık artışı daha bariz ve her mevsimde etkili olurken, ilkbahar mevsiminde Karadeniz üzerinde sakin bir hava mevcuttur (Şekil 3.19). Son dönem mevsimsel ortalama rüzgar şiddeti ilkbahar ayında denizlerimiz üzerinde azalması beklenmektedir. Akış paterni incelendiğinde ise Güneydoğu Anadolu bölgemizde yazın 28° ve üzeri sıcaklık ortalamasının üzerine çıkması beklenmektedir. Yine bu dönemde rüzgar akışı yazın Ege denizi üzerinde kuzeyden esmesi beklenmektedir.



Şekil 3.18 : 80 m RCP 4.5 senaryosu 2071-2100 dönemi mevsimsel ortalama rüzgar şiddeti.



Şekil 3.19 : 80 m RCP 4.5 senaryosu 2071-2100 dönemi mevsimsel rüzgar akışı.



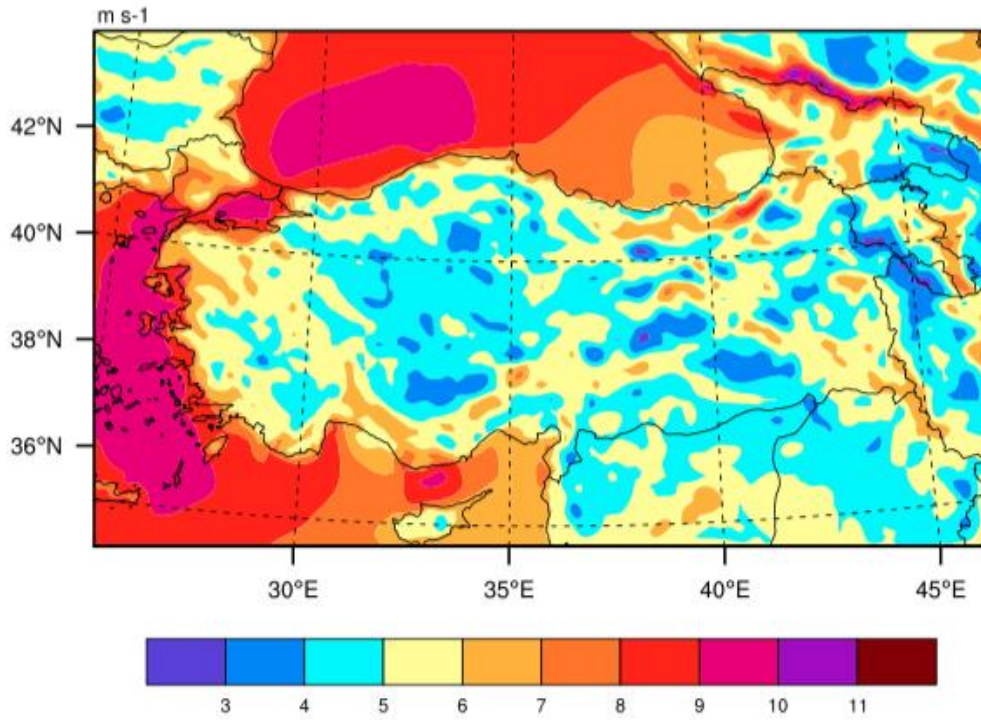
Şekil 3.20 : 80 m RCP 4.5 senaryosu 2071-2100 dönemi rüzgar şiddetinin % değişimi.

Yüzyılın son dönemi için özellikle batı bölgelerde ve Trakya bölgesinde rüzgar hızlarında artış görülmektedir. Şekil 3.20’de görüldüğü gibi İç Anadolu bölgesinde Çorum, Kırklareli ve çevresinde rüzgar hızlarında artış vardır. Güneydoğu Anadolu bölgesinde batı kesimi hariç azalış var olup bölgenin kuzeyinde önemli azalışlar görülmektedir. Denizlerimizde ise Akdeniz üzerinde Kıbrıs’ın batı kesimlerinde azalış daha fazla olup, Ege denizinde ve Karadeniz’in batısında artış vardır.

3.2.2 RCP 4.5 senaryosu 200 m yükseklik analizi

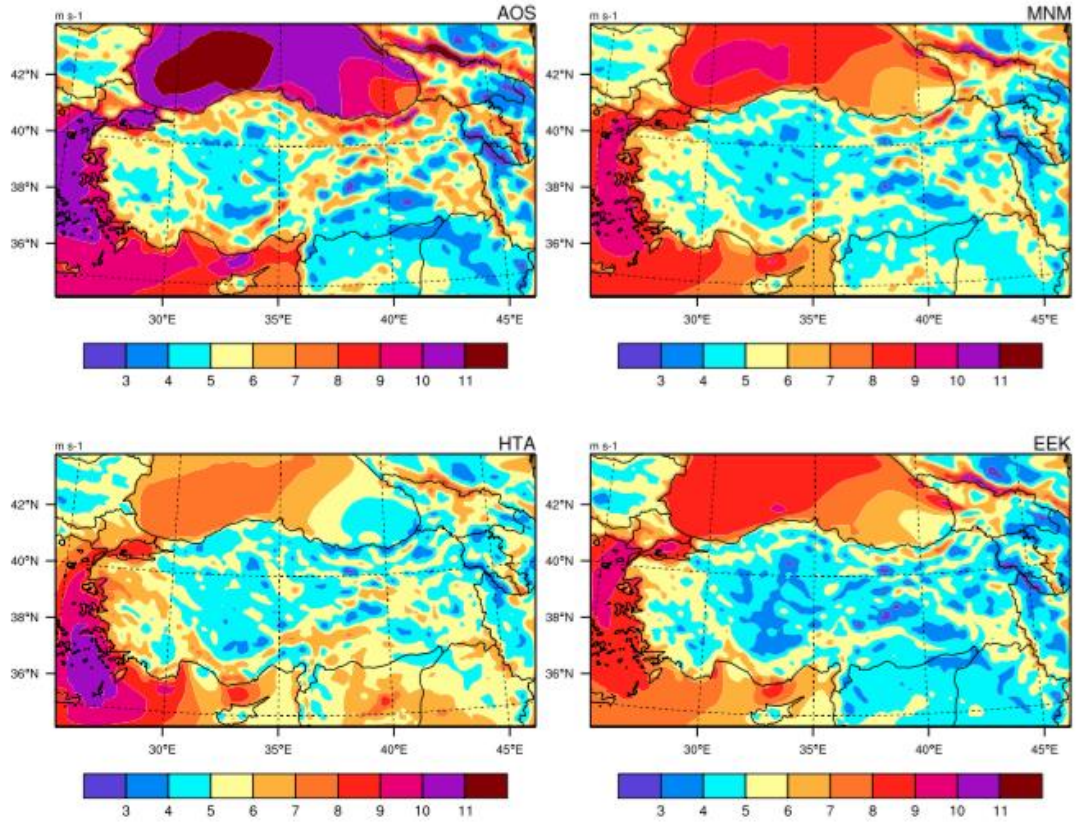
RCP 4.5 senaryosunun 200 m sonuçları yükseklikle hızın artacağı üzere genel olarak artışı göstermektedir (Şekil 3.21). Karadenizin batısı ve tüm Ege denizinde ortalama rüzgar şiddeti 2021-2040 dönemi için 9 m/s civarındadır. Batı Akdenizdeki rüzgar hızları bu sefer artış göstererek tüm bölgede 8 m/s mertebesindedir. Mevsimsel sonuçlar özellikle kışın Karadeniz üzerinde büyük değişiklikler göstermektedir. Kışın 10m/s olan ortalama, yazın 6 m/s lere kadar düşmektedir. Yazın özellikle Güney Ege denizi ve Batı Akdeniz’de ortalamalar oldukça fazladır (Şekil 3.22).

Kara üzerinde potansiyeli yüksek olan yerlerden olan Çanakkale, İzmir, Soma ve Balıkesir gibi bölgelerde yazın ortalamalar artarken kışın diğer mevsimlere göre en düşük ortalamalara sahiptir. Sonbahar mevsiminde yine kara üzerinde tüm Türkiye’de en düşük ortalamalar gözükmemektedir. Şekil 3.23’de mevsimsel rüzgar yönleri 80 m ile yakınlık göstermektedir. Sonbahar mevsiminde kara üzerinde rüzgar şiddeti çok azalmış, ilkbahar mevsiminde ise İç Anadolu’da sıcaklık artışı çevresine göre daha fazladır.

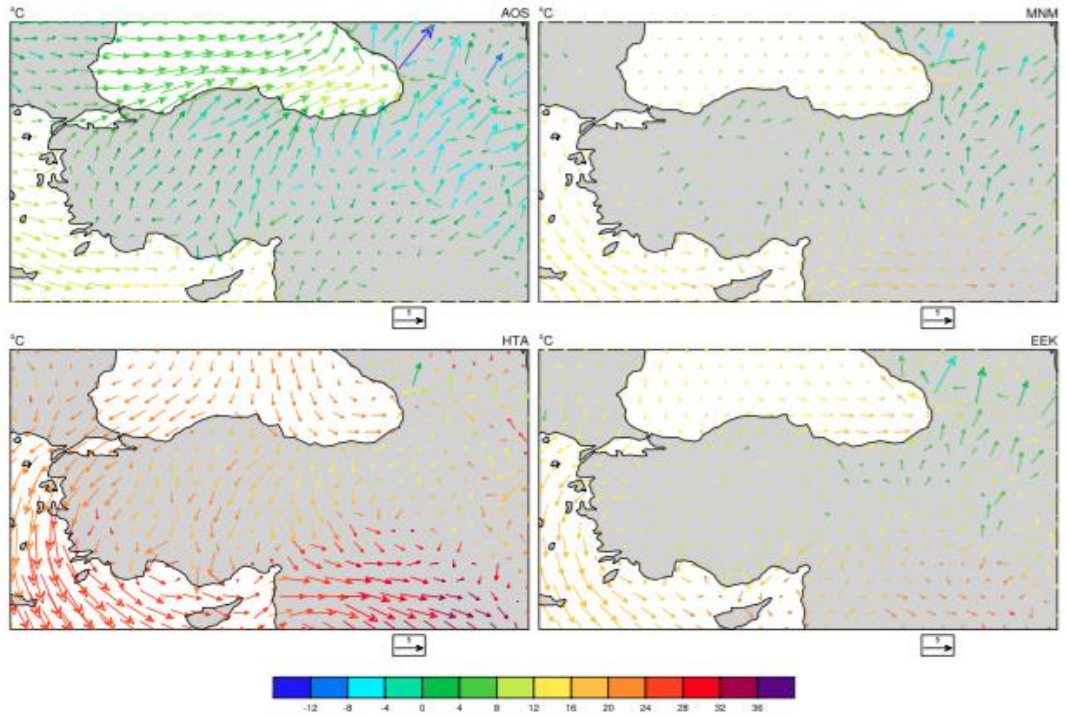


Şekil 3.21 : 200 m RCP 4.5 senaryosu 2021-2040 dönemi ortalama rüzgar şiddeti.

200 m yükseklikteki rüzgar şiddeti 80 m yükseklikteki rüzgar şiddetinin yüksek olduğu yerlerde şiddetini arttırarak sürmektedir. Mevsimsel olarak kışın Batı Karadeniz rüzgar şiddeti artmıştır. Yine aynı dönemde Güneydoğu Anadolu bölgesinde rüzgar şiddeti artmıştır. Bu döneme ait mevsimsel akış grafiği incelendiğinde kışın karadeniz üzerinde batı yönünden esmektedir. Yaz mevsiminde ise kuzeyden rüzgar Akdeniz’e doğru esmektedir.

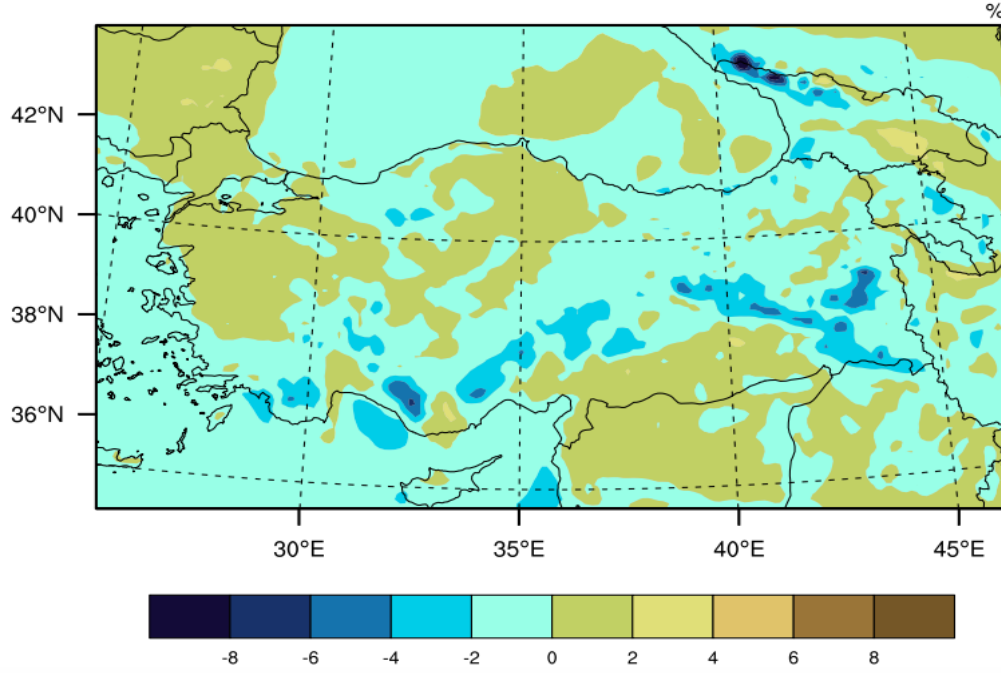


Şekil 3.22 : 200 m RCP 4.5 senaryosu 2021-2040 dönemi mevsimsel ortalama rüzgar şiddeti.

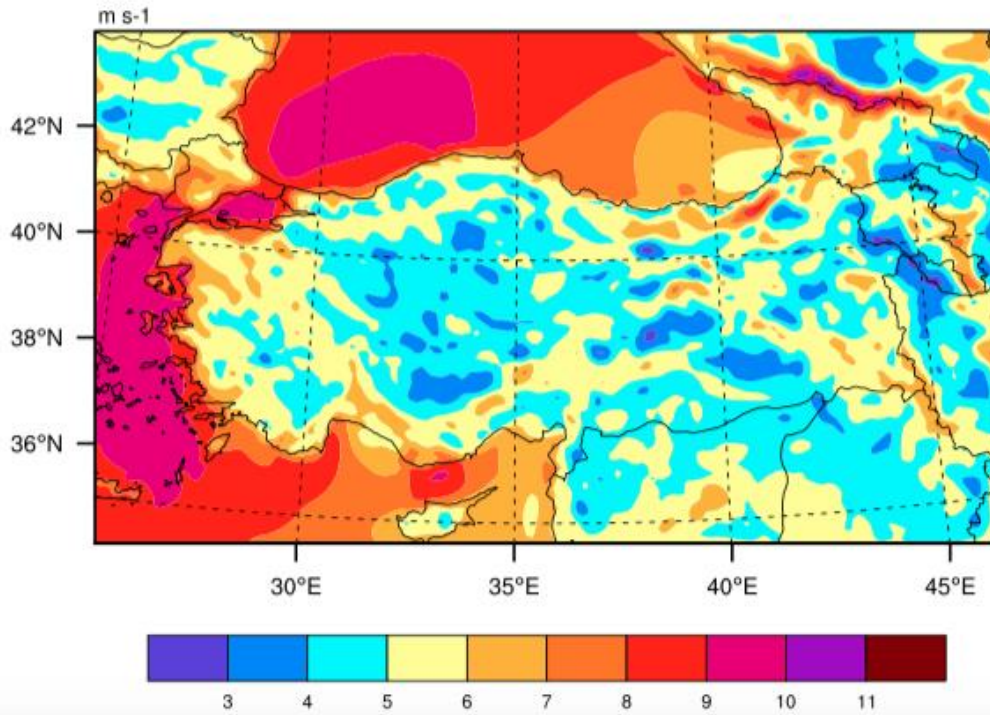


Şekil 3.23 : 200 m RCP 4.5 senaryosu 2021-2040 dönemi mevsimsel rüzgar akışı.

Şekil 3.24’de görüldüğü gibi 200m 2021-2040 yılları için 80m’ye benzer sonuçlar görülmektedir. Türkiye’nin batısı ve Güneydoğu Anadolu bölgesi için rüzgar hızlarında artış görülmektedir.

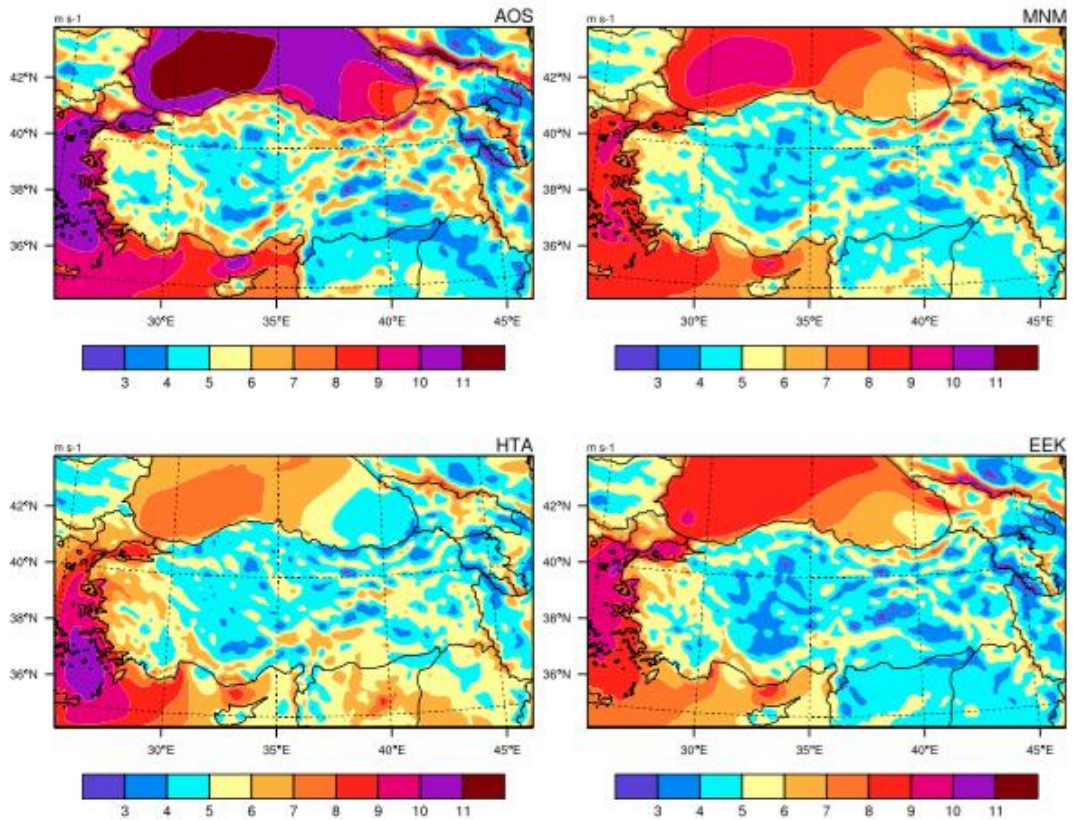


Şekil 3.24 : 200 m RCP 4.5 senaryosu 2021-2040 dönemi rüzgar şiddetinin % değişimi.

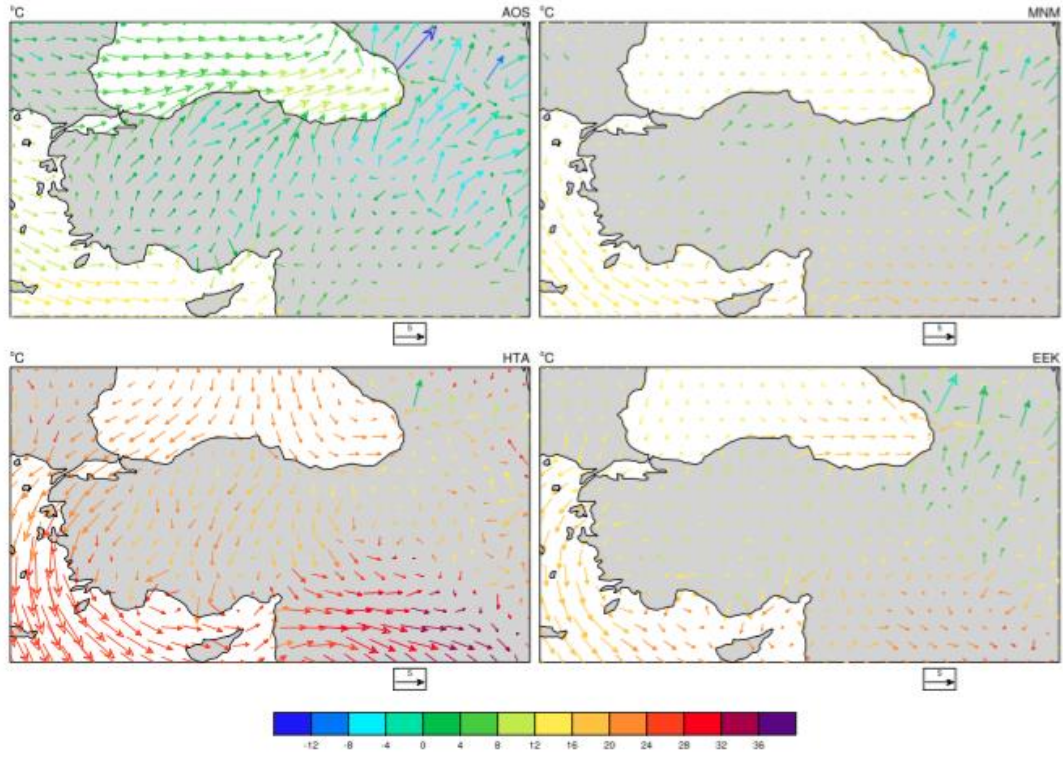


Şekil 3.25 : 200 m RCP 4.5 senaryosu 2041-2070 dönemi ortalama rüzgar şiddeti.

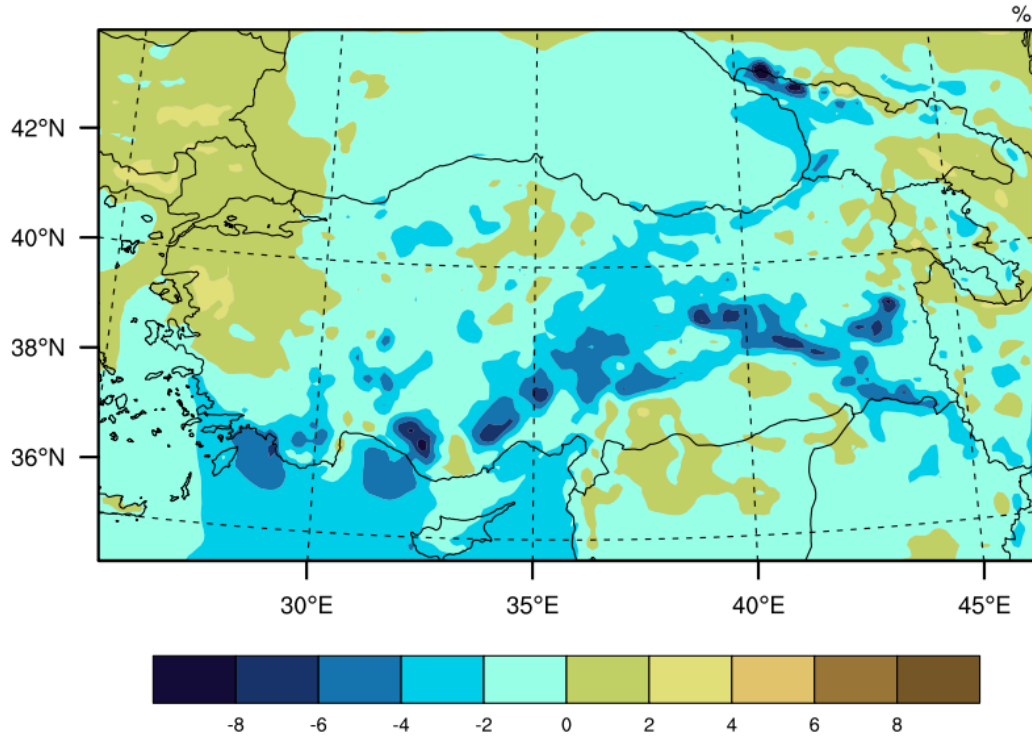
2041-2070 dönemi incelendiğinde bir önceki döneme göre değişime rastlanmazken, 80 m yüksekliğe göre Batı Akdenize hakim olan bir rüzgar artışı gözükmemektedir (Şekil 3.25). Mevsimsel olarak en büyük ortalama kışın Karadeniz'in batısında iken yine aynı bölgede yazın büyük bir azalış bir önceki döneme göre bu 30 yıllık süreçte de göze çarpmaktadır (Şekil 3.26). Yaz mevsiminde Hakim süren artış özellikle türkiyenin batısında önemli derece de gözükmemektedir. Çanakkale, Bandırma, Balıkesi ve Soma gibi bölgelerde kışın ve ilkbahar aylarında azalma beklenmektedir. Anamur- Kıbrıs arasında kalan bölgede ve Hatay civarında büyük değişimler görülmez iken, kışın artış görülmektedir. Karaman, Mut gibi yüksek potansiyeli olan bölgelerde ise kışın ayları için bir azalma görülmektedir. Marmara bölgesinde ortalamalar bu dönemde referans dönemine yakın iken, Trakya ve civarında kış aylarında artışlar görülmektedir. Doğu Karadeniz üzerinde rüzgarlar yazın 4m/s civarında iken, kışın ortalama bölgesel olarak 7-8m/s, hatta yer yer 9m/s'ye kadar çıktığı görülmektedir. Şekil 3.27'de rüzgar yönleri incelendiğinde ise bir önceki döneme benzer sonuçlar görülmektedir.



Şekil 3.26 : 200 m RCP 4.5 senaryosu 2041-2070 dönemi mevsimsel ortalama rüzgar şiddeti.

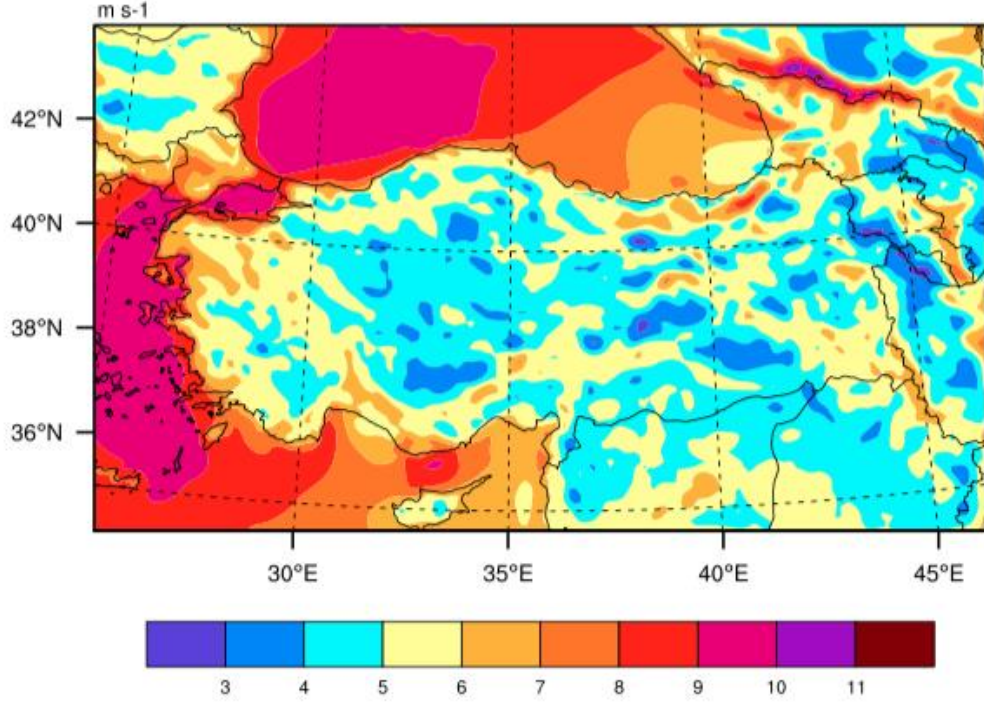


Şekil 3.27 : 200 m RCP 4.5 senaryosu 2041-2070 dönemi mevsimsel rüzgar akışı.



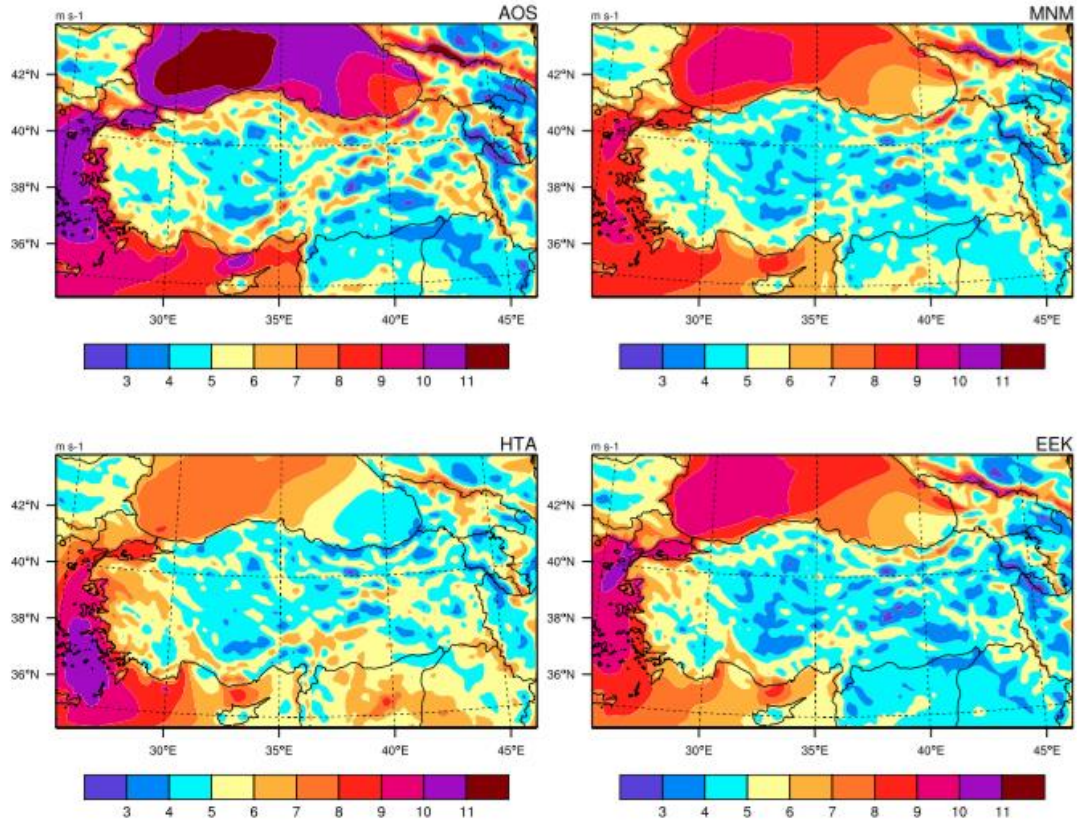
Şekil 3.28 : 200 m RCP 4.5 senaryosu 2041-2070 dönemi rüzgar şiddetinin % değişimi.

Şekil 3.28’de görüldüğü gibi 2041-2070 dönemi için rüzgar hızlarında önemli azalmalar görülmektedir. Sadece batı bölgelerde, Soma ve çevresi için, denizlerde ise Çanakkale ve Boğazı ile Ege denizinin kuzeyinde artış görülmektedir.

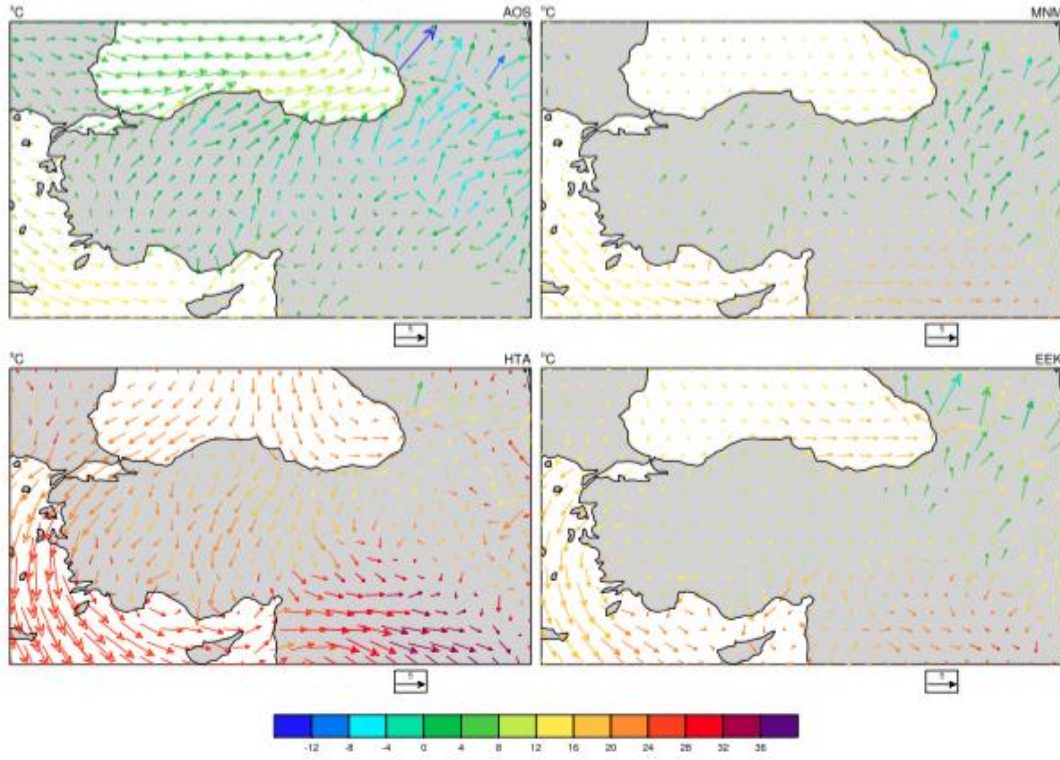


Şekil 3.29 : 200 m RCP 4.5 senaryosu 2071-2100 dönemi ortalama rüzgar şiddeti.

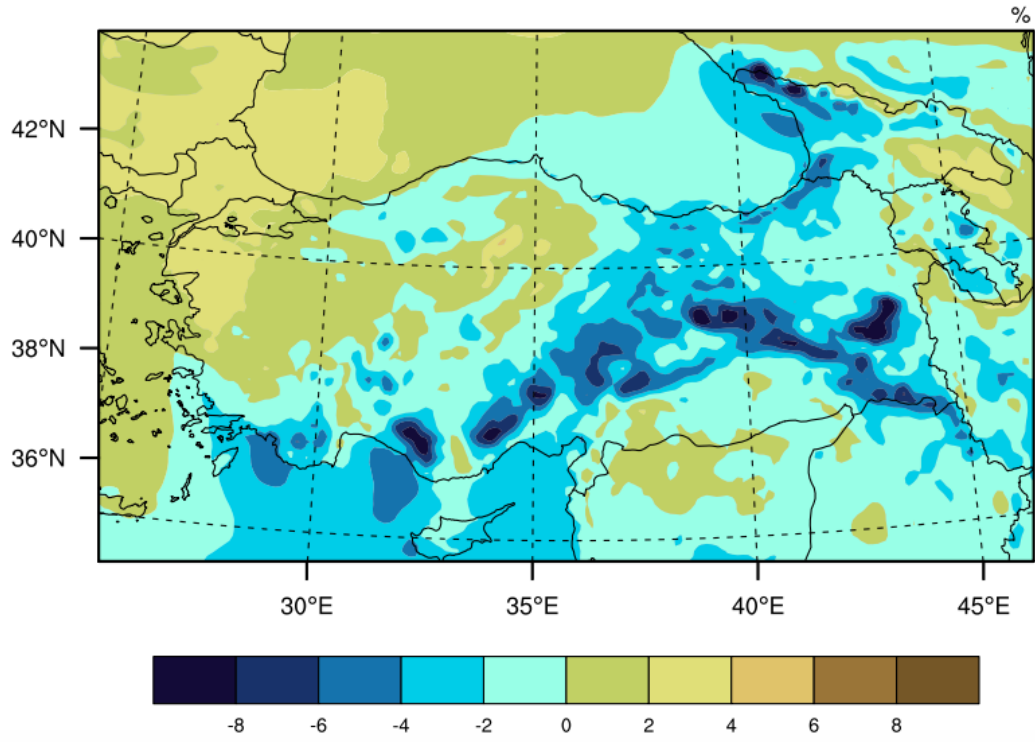
200m’de 2071-2100 son dönemi incelendiğinde denizler üzerinde rüzgar hızlarının arttığı görülmekte, ortalamalar 9m/s civarındadır (Şekil 3.29). Mevsimsel olarak bakıldığında ise Karadeniz üzerinde yaz mevsimi hariç rüzgar hızları oldukça yüksektir. Yön olarak da kışın batılı, yazın kuzeyli rüzgarlar hakimdir. Ege denizinde en düşük ortalama ilkbahar mevsiminde görülmekte bu mevsim haricinde ortalama rüzgar hızı 9m/s’nin üzerindedir (Şekil 3.30). Yön olarak ise kışın batılı, yazın ise kuvvetli kuzeyli rüzgarlar hakimdir. Kara üzerinde ise kışın daha çok güneyli, yazın ise kuzeyli sıcak rüzgar esmektedir (Şekil 3.31). Yükseklik artmasına rağmen tüm mevsimlerde sıcaklık ortalamaları son dönemde diğer dönemlere göre biraz daha fazladır. Kara üzerinde yazın ortalama rüzgar şiddetleri en fazla iken sonbaharda ortalamalar özellikle İç Anadolu’da oldukça düşüktür.



Şekil 3.30 : 200 m RCP 4.5 senaryosu 2071-2100 dönemi mevsimsel ortalama rüzgar şiddeti.



Şekil 3.31 : 200 m RCP 4.5 senaryosu 2071-2100 dönemi mevsimsel rüzgar akışı.



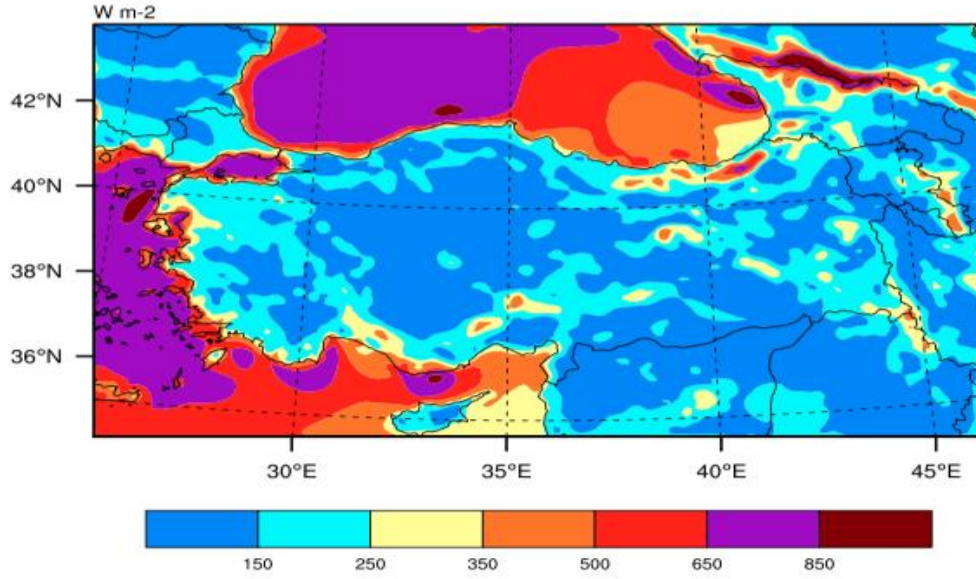
Şekil 3.32 : 200 m RCP 4.5 senaryosu 2071-2100 dönemi rüzgar şiddetinin % değişimi.

Yüzyılın son dönemi için rüzgar hızlarındaki artış özellikle batı kesimde daha net bir şekilde görülmektedir (Şekil 3.32). Çanakkale ve Balıkesir ile Trakya bölgesinin tamamında rüzgar hızları artmaktadır. Bu artış iç bölgelerde yine kuzeye yakın bölgelerde görülmekte ve doğuda Samsuna kadar uzanmaktadır. Güneydoğu Anadolu Bölgesinde batısı hariç bir azalma görülürken, Doğu Toroslardan başlayarak Doğu Anadolu'nun içlerine kadar rüzgar hızlarında ciddi lokal azalışlar görülmektedir. Denizlerimize baktığımızda Karadeniz'in Doğu kısmı hariç genel bir artış görülürken, denizimizin batısında artış daha fazladır. Ege denizinde artış her yerde görülürken, Akdeniz'de azalış göze çarpmaktadır.

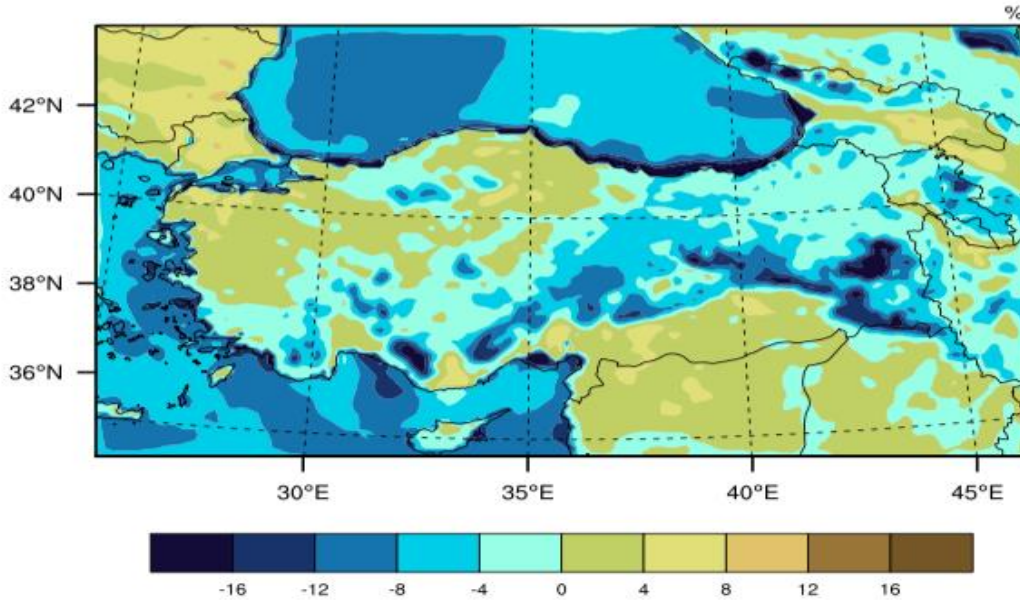
3.2.3 RCP 4.5 senaryosu 80 m yükseklikteki rüzgar potansiyeli analizi

Rüzgar Potansiyeli Karadeniz üzerinde bir değişiklik göstermezken, sadece Batı Karadeniz'de 2071-2100 döneminde bir artış gösterir (Şekil 3.33). Potansiyel Marmara Bölgesinde Karadeniz'de olduğu gibi uzun dönemde bir değişiklik göstermezken, Ege'de literatür çalışmalarında gösterildiği gibi önemli değişimler gösterir (Şekil 3.35). 2070 yılına kadar lokal değişimler gösteren bölgede 2071-2100

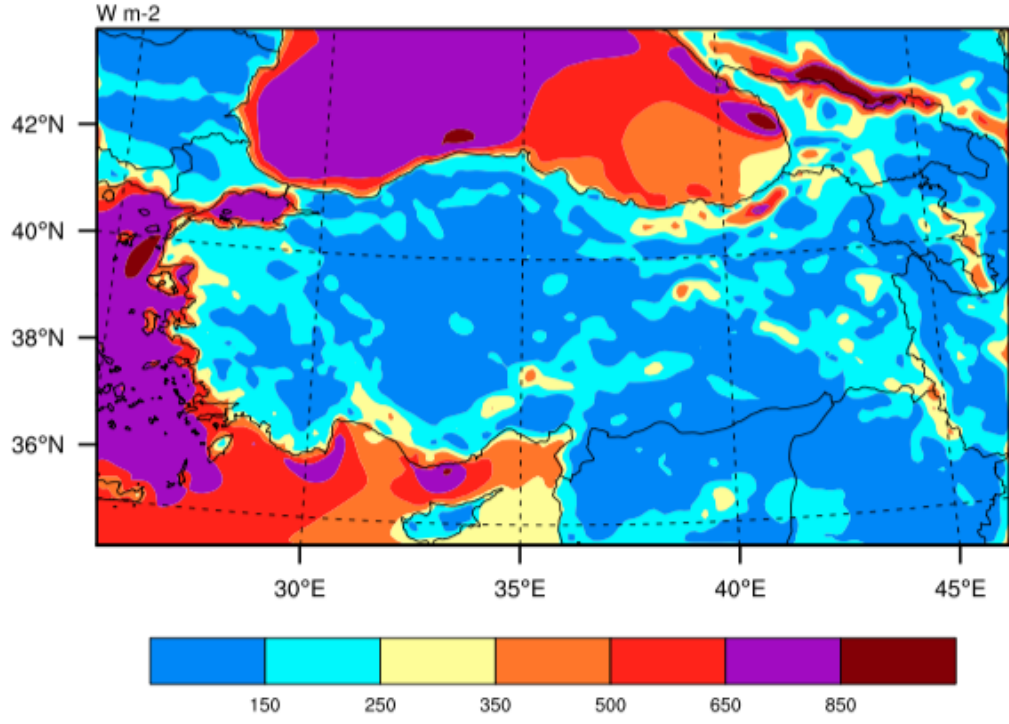
döneminde Kuzey ve Orta Ege bölümünde potansiyel de bir artış gösterir (Şekil 3.37). 2021-2040 döneminde Batı Akdeniz’de hakim olan yüksek potansiyel, 2040’dan sonraki dönemde azalma göstermiştir. Kara üzerinde ise özellikle Toroslar, Mut, Karaman bölgesinde 2040 ve sonrası için hakim olan azalış 2071-2100 döneminde de devam etmektedir. Şekil 3.34’de gösterildiği gibi rüzgar enerjisi yüzdelik değişimi potansiyeli yüksek olduğu Balıkesir Çanakkale, Mut ve Trakya gibi bölgelerde %4 ila %8 oranında artmaktadır.



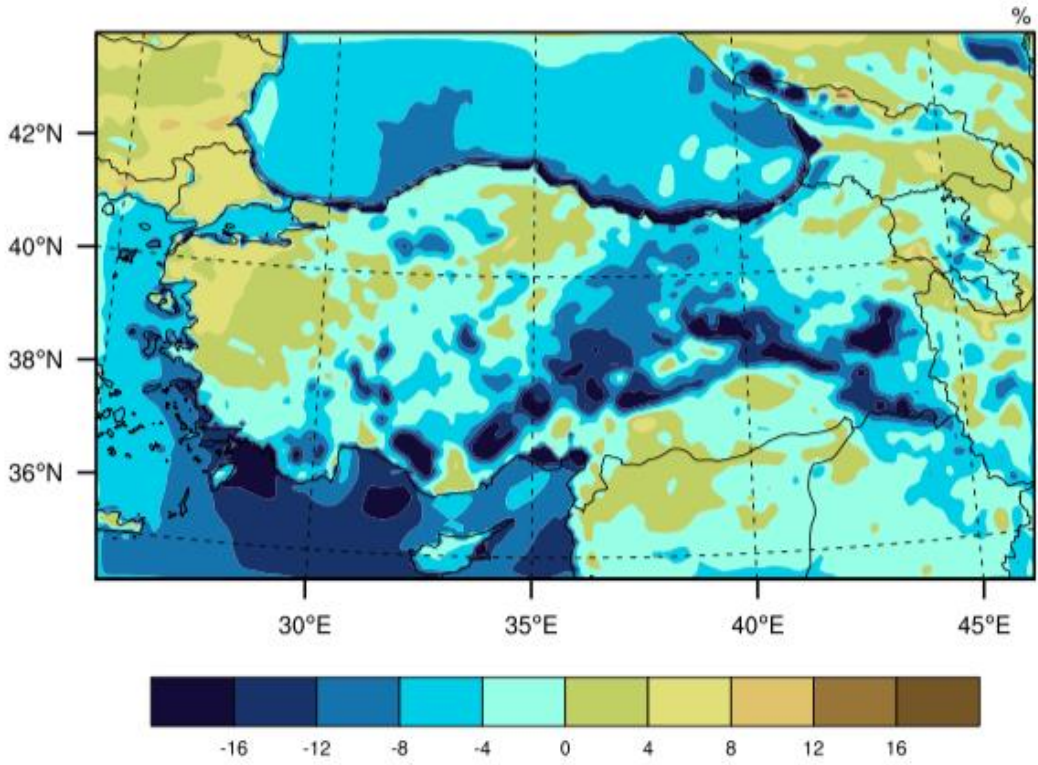
Şekil 3.33 : 80 m RCP 4.5 senaryosu 2021-2040 dönemi rüzgar enerjisi yoğunluğu.



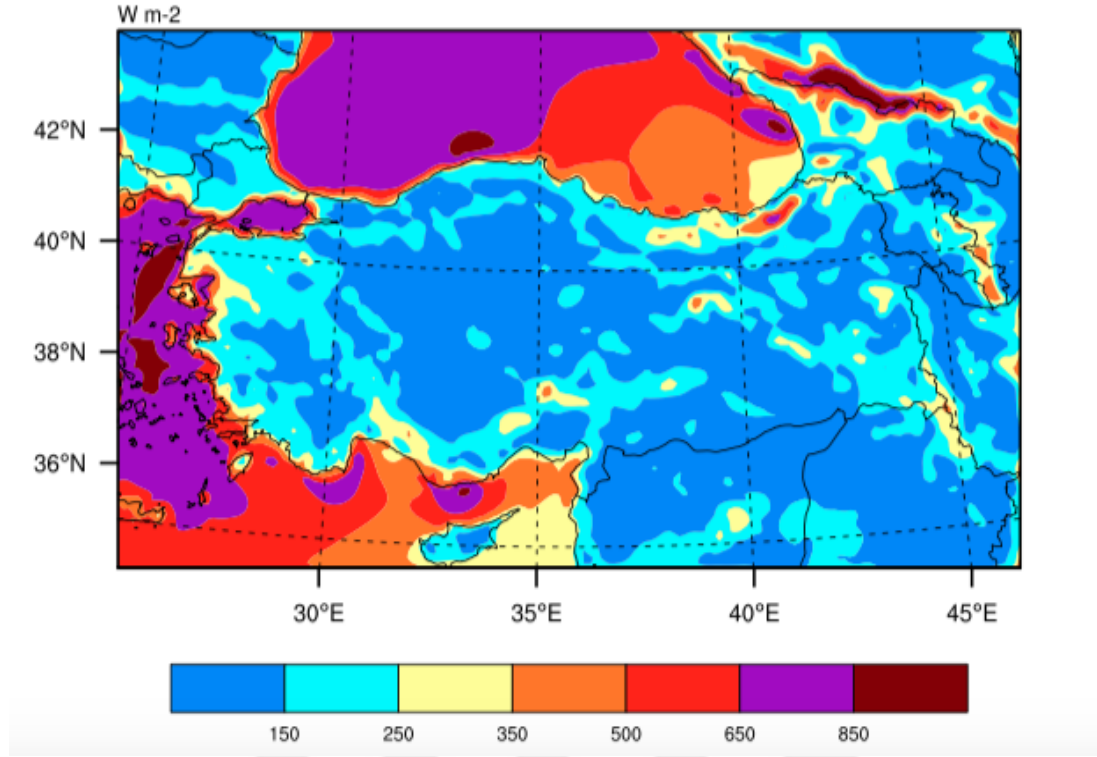
Şekil 3.34 : 80 m RCP 4.5 senaryosu 2021-2040 dönemi rüzgar enerjisinin % değişimi.



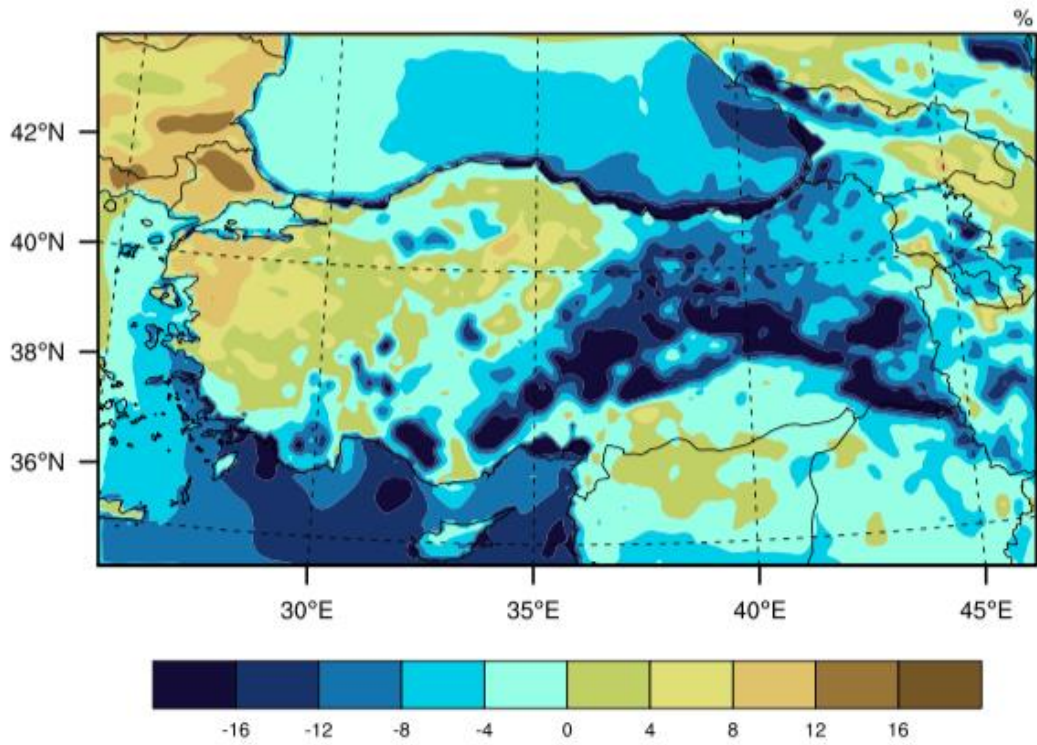
Şekil 3.35 : 80 m RCP 4.5 senaryosu 2041-2070 dönemi rüzgar enerjisi yoğunluğu.



Şekil 3.36 : 80 m RCP 4.5 senaryosu 2041-2070 dönemi rüzgar enerjisinin % değişimi.



Şekil 3.37 : 80m RCP 4.5 senaryosu 2071-2100 dönemi rüzgar enerjisi yoğunluğu.

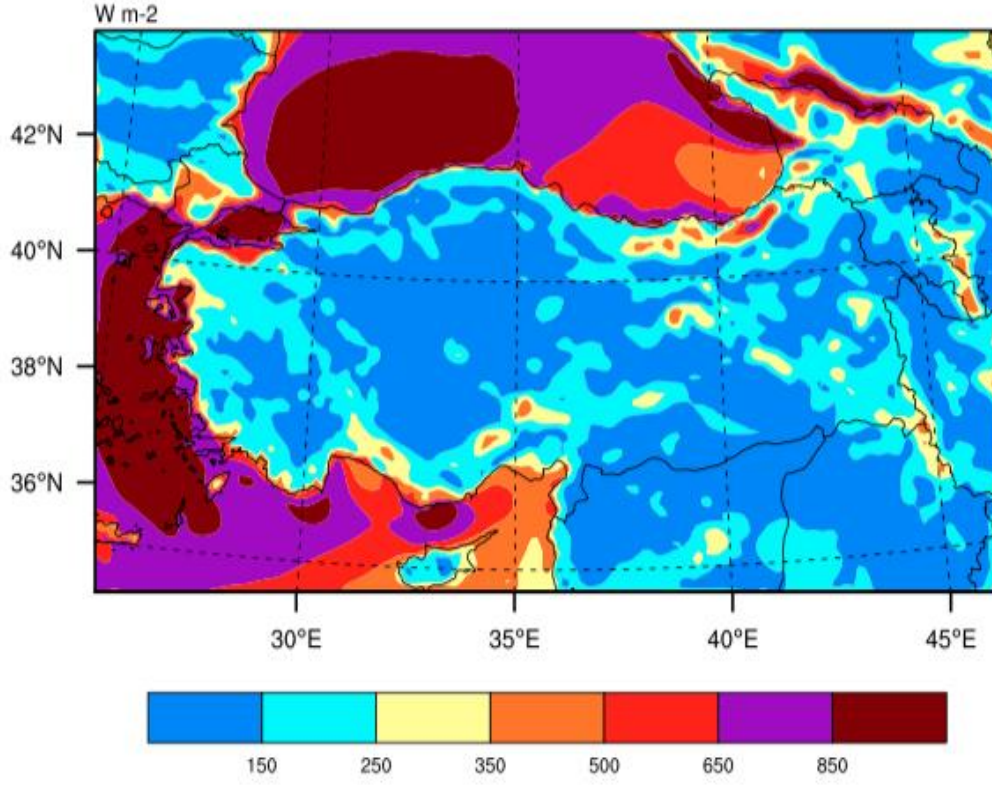


Şekil 3.38 : 80 m RCP 4.5 senaryosu 2071-2100 dönemi rüzgar enerjisinin % değişimi.

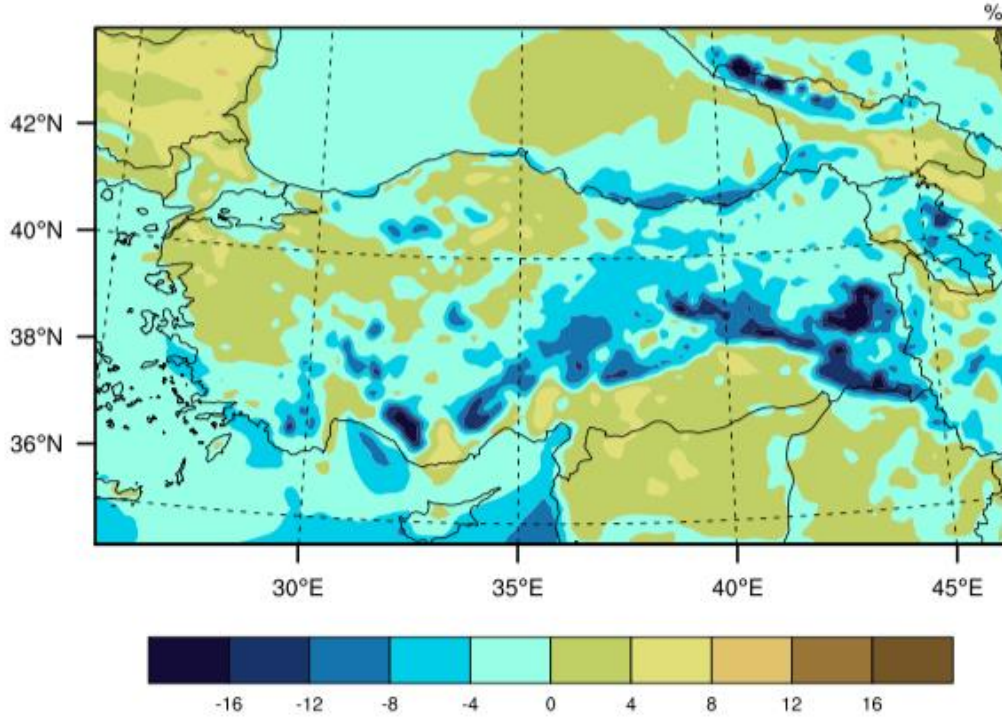
Şekil 3.36 ve Şekil 3.38’de son iki dönem rüzgar enerjisi yoğunluğunun yüzde değişimi gösterilmiştir. 2041-2070 dönemi için rüzgar potansiyeli, artışı bir önceki ve bir sonraki döneme göre daha düşük yüzdeler göstermiştir. 2071-2100 döneminde Trakya üzerinde artış %12’lerin üstüne çıkarken, Güneydoğu Anadolu’nun üst bölgelerinde %12 ve daha fazla bir azalma meydana gelmesi beklenmektedir. Karadeniz’in doğusundaki yüksek rüzgar hızı burdaki potansiyelinde oldukça yüksek olmasına sebep olmaktadır. Fakat yüksekliğin 2000m ve üzerinde olması, kaynak modellere göre burada rüzgarın olmaması, yine mevsimsel ortalamalarda salınımın çok fazla olması burada yanlış sonuçlar vermektedir. Her iki dönem için Akdeniz üzerinde benzer azalma değerleri görülmektedir. Son dönemde İç Anadolu bölgesinde değişim yüzdeleri %8 ve üzeri değerlere ulaşmaktadır.

3.2.4 RCP 4.5 senaryosu 200 m yükseklikteki rüzgar potansiyeli analizi

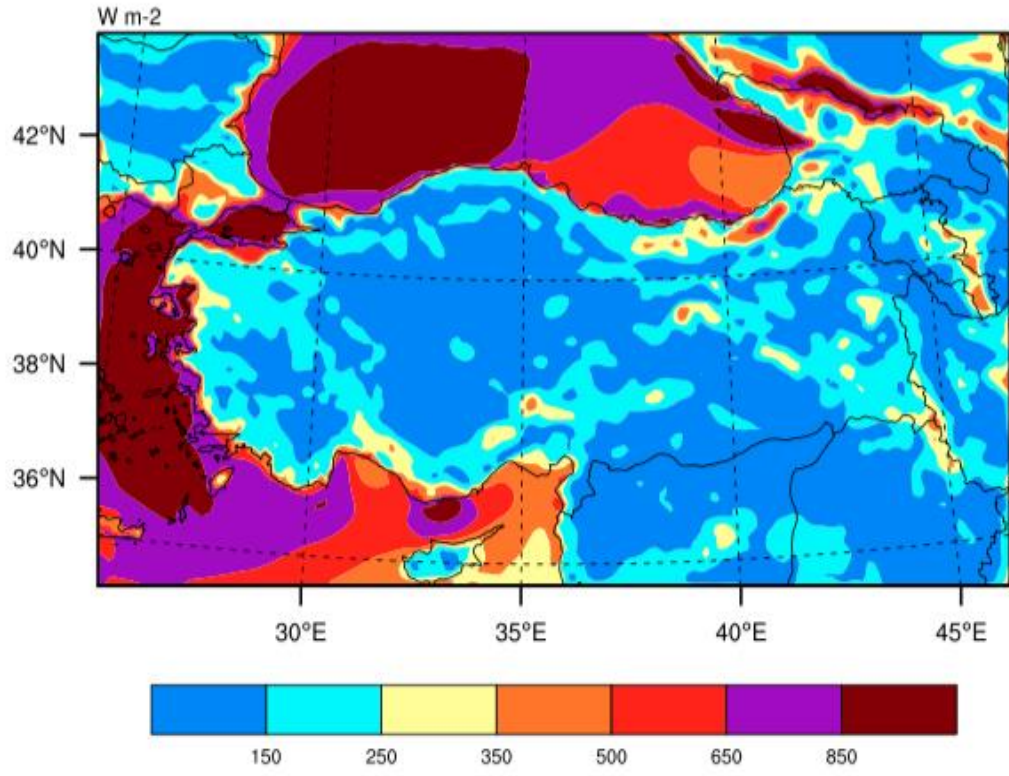
RCP 4.5 senaryosunun 200 m yükseklik sonuçları bu bölümde incelenmiştir. Yüksekliğin artması nedeniyle rüzgar şiddeti değerleri ve rüzgar enerjisi yoğunluğunu hesaplarken şiddetin kübünün kullanılması sebebiyle rüzgar potansiyelinde de artışlar ve azalışlar daha fazladır. 200m yükseklik için model sonuçları kontrol edildiğinde 3 dönemde de Karadeniz’in batısı ve Ege Denizi için oldukça yüksek potansiyel değerleri göstermektedir (Şekil 3.39). Rüzgar potansiyelin yüzde değişimi ise 80 m sonuçlarına benzer lokasyonlarda artmıştır. Balıkesir ve Çanakkale gibi rüzgar hızlarının yüksek olduğu yerlerde, Mut ve Güneydoğu Anadolu bölgesinde % 4- 8 arasında artış görülmektedir. Doğu Anadolu bölgesinde ve Karadeniz’in batısı hariç denizlerimizde ilk dönem de (2021-2040) bir azalma görülmektedir. İç Anadolu bölgesinin kuzeyinde rüzgar potansiyeli değişiminde % 4 artış görülmektedir. Marmara denizi ve kıyı bölgeleri de bu 3 dönem için bu yüksek potansiyel bölgelerinin içine girmektedir (Şekil 3.41).



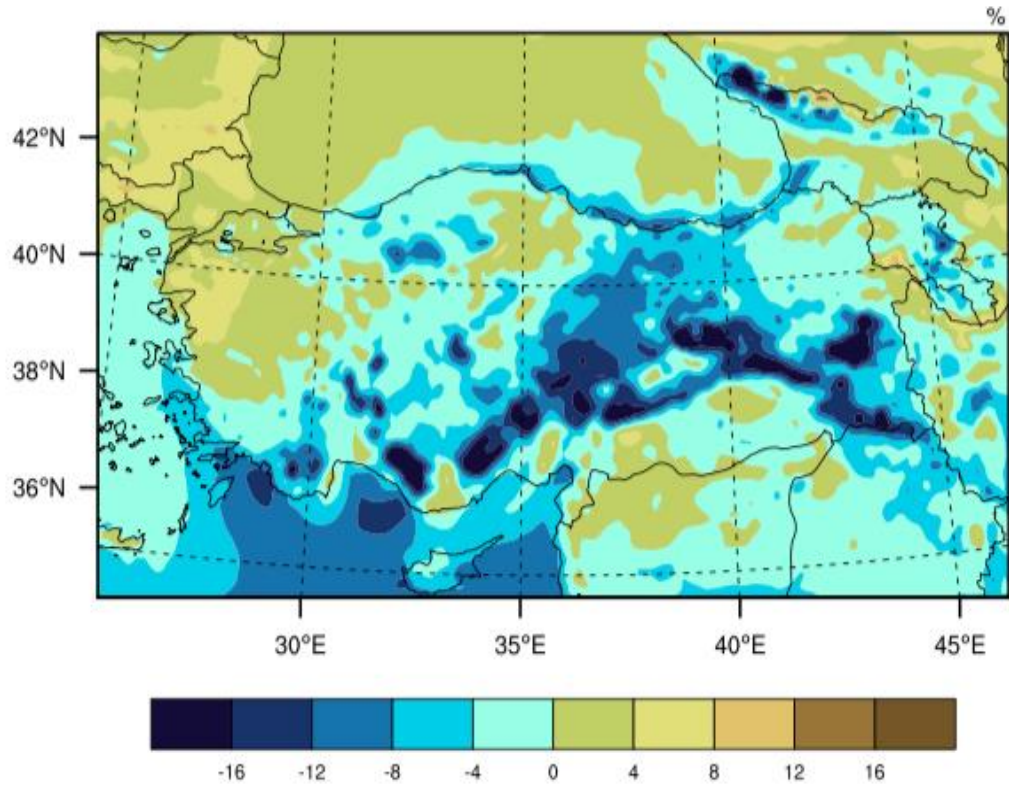
Şekil 3.39 : 200m RCP 4.5 senaryosu 2021-2040 dönemi rüzgar enerjisi yoğunluğu.



Şekil 3.40 : 200 m RCP 4.5 senaryosu 2021-2040 dönemi rüzgar enerjisinin % değişimi.

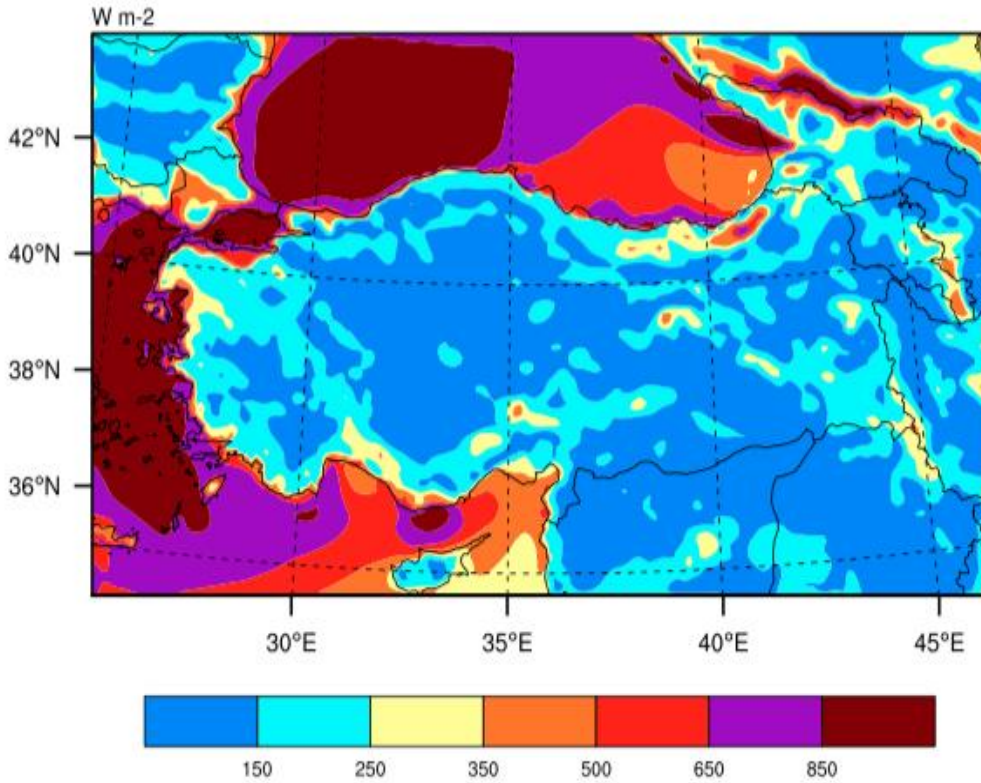


Şekil 3.41 : 200 m RCP 4.5 senaryosu 2041-2070 dönemi rüzgar enerjisi yoğunluğu.

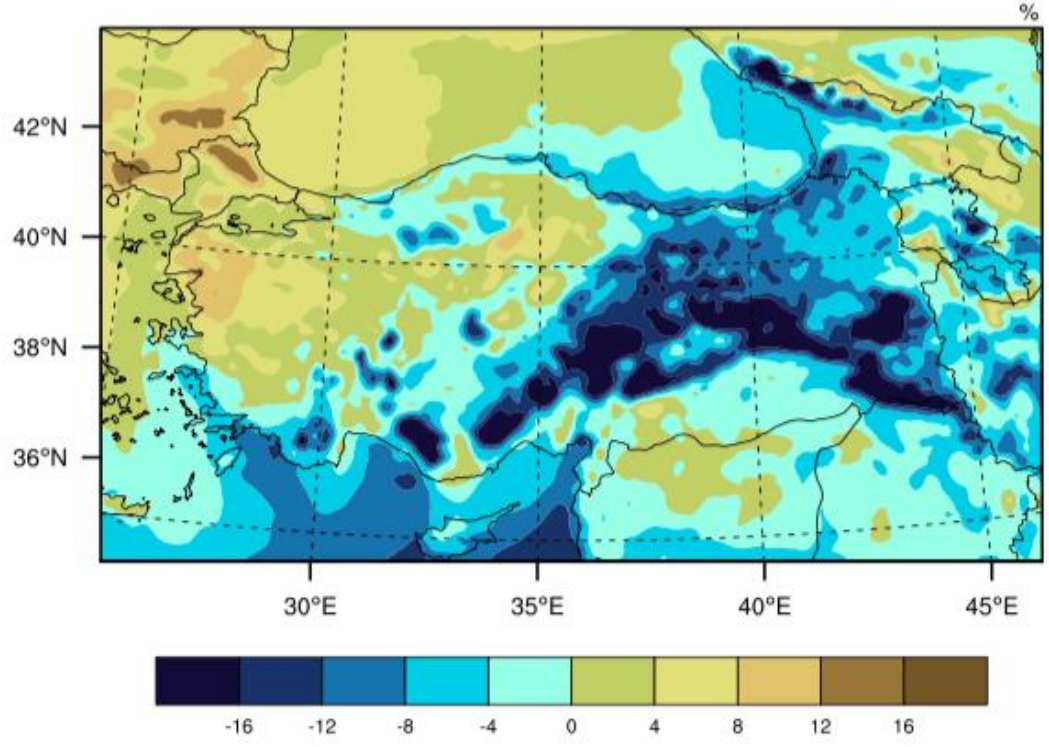


Şekil 3.42 : 200 m RCP 4.5 senaryosu 2041-2070 dönemi rüzgar enerjisinin % değişimi.

Şekil 3.42’de gösterildiği gibi 2041-2070 döneminde tüm Karadeniz üzerinde rüzgar enerjisinin yoğunluğunun değişimi %4 artış olarak kaydedilmiştir. Akdeniz’in batısı için bölgesel olarak 2021-2040 ve 2071-2100 dönemlerinde yüksek potansiyel sahipken, aynı lokasyon 2040-2070 dönemi için bir azalma göstermektedir. Kara üzerinde Toroslar bölgesinde 2021-2040 dönemi yüksek değerlere sahipken bu değerler daha sonraki dönemlerde bir azalma göstermektedir (Şekil 3.43). Model sonuçları her 3 dönem için de kara üzerinde herhangi bir önemli değişiklik göstermemektedir. Şekil 3.44 ‘de son dönem simülasyon sonuçları incelendiğinde Doğu Anadolu bölgesinde ve İç Anadolu’nun doğusunda rüzgar enerjisi potansiyeli %15 ve üzerinde azalamalar göstermektedir. Yine Karadeniz’in doğusunda azalmalar vardır. Trakya, Ege denizi, Karadeniz ile Kaz dağları ve çevresinde rüzgar enerjisi yoğunluğunda değişimler %8 ila %12 arasında değişmektedir. İç Anadolu bölgesinde Kırklareli, Çankırı ve çevresinde artışlar %6 ila %8 arasındadır. Akdeniz üzerinde bu enerji değişimi oldukça fazla ve azalmalar yönündedir.



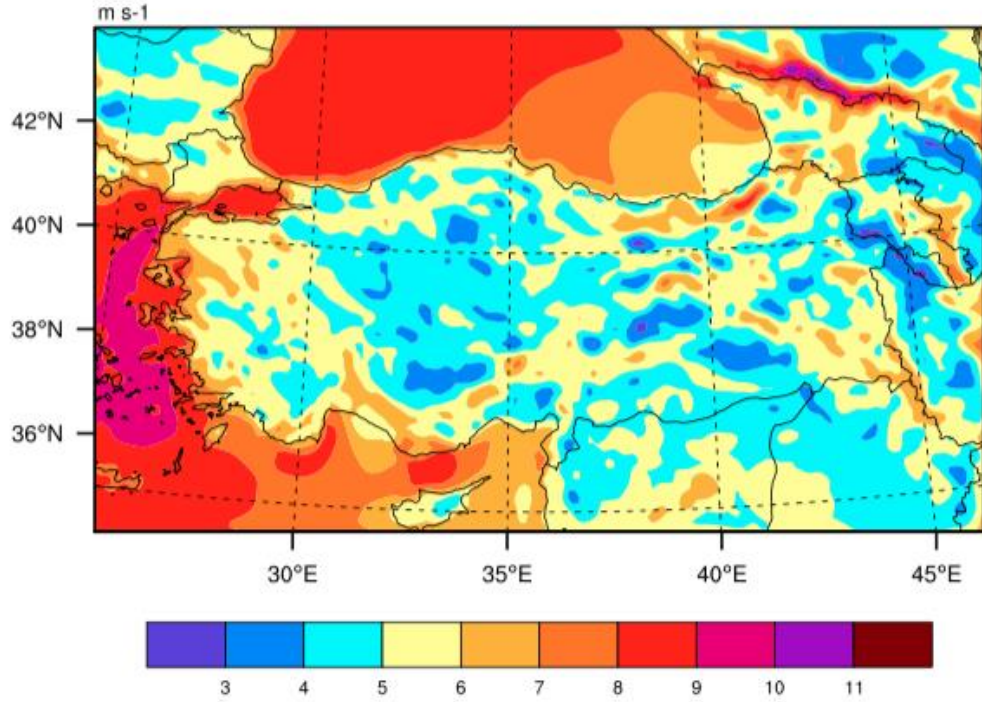
Şekil 3.43 : 200 m RCP 4.5 senaryosu 2071-2100 dönemi rüzgar enerjisi yoğunluğu.



Şekil 3.44 : 200 m RCP 4.5 senaryosu 2071-2100 dönemi rüzgar enerjisinin % değişimi.

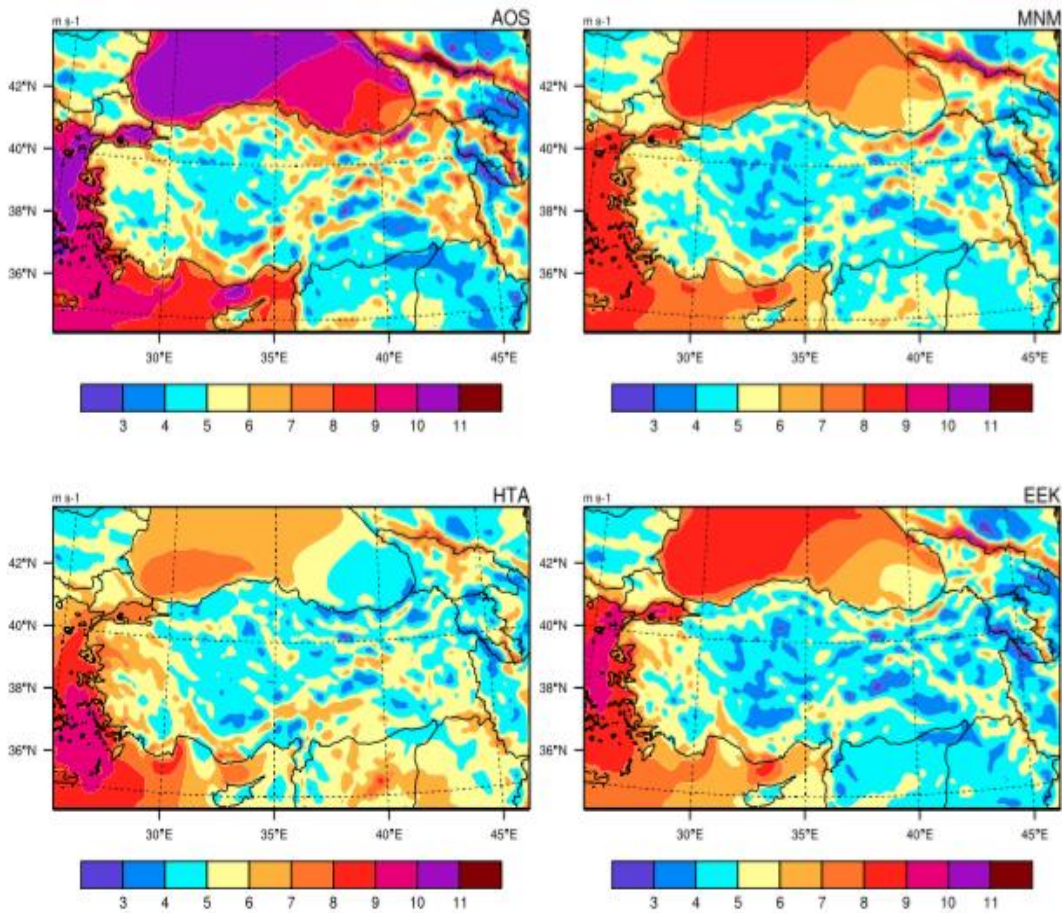
3.3 RCP 8.5 Senaryosu Simülasyon Sonuçları Analizi

3.3.1 RCP 8.5 senaryosu 80 m yükseklik analizi

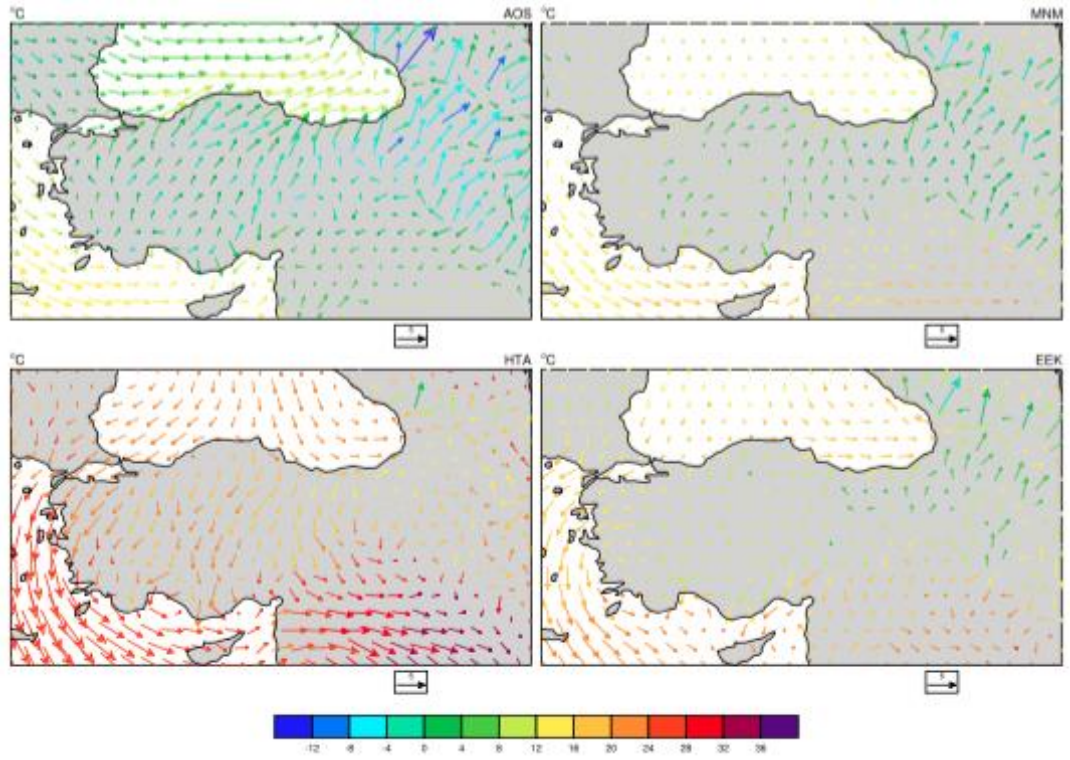


Şekil 3.45 : 80 m RCP 8.5 senaryosu 2021-2040 dönemi ortalama rüzgar hızı şiddeti.

RCP85 modelinin 80m yükseklikteki çıktıları RCP45 dönemi 80m yükseklik ile karşılaştırıldığında her 3 dönem dönem için de büyük farklar göze çarpmamaktadır. Genel olarak Ege bölgesi ve Batı Akdeniz’de bir artış söz konusudur. Yine genel durumda Karadeniz ve Marmara bölgesi üzerinde ve tüm Türkiye’de kara üzerinde bir değişiklik göstermemektedir. 2021-2040 dönemi mevsimsel olarak incelendiğinde Karadeniz üzerinde kışın yüksek rüzgar ortalamaları görülürken, düşük değerler yazın kaydedilmiştir (Şekil 3.45). Bu durum yine aynı mevsimlerde Marmara Bölgesi ve çevresi için de geçerlidir. Ege bölgesine bakıldığında kışın en büyük ortalamaları görülürken, en düşük ortalama ilkbahar mevsiminde kaydedilmiştir (Şekil 3.46).

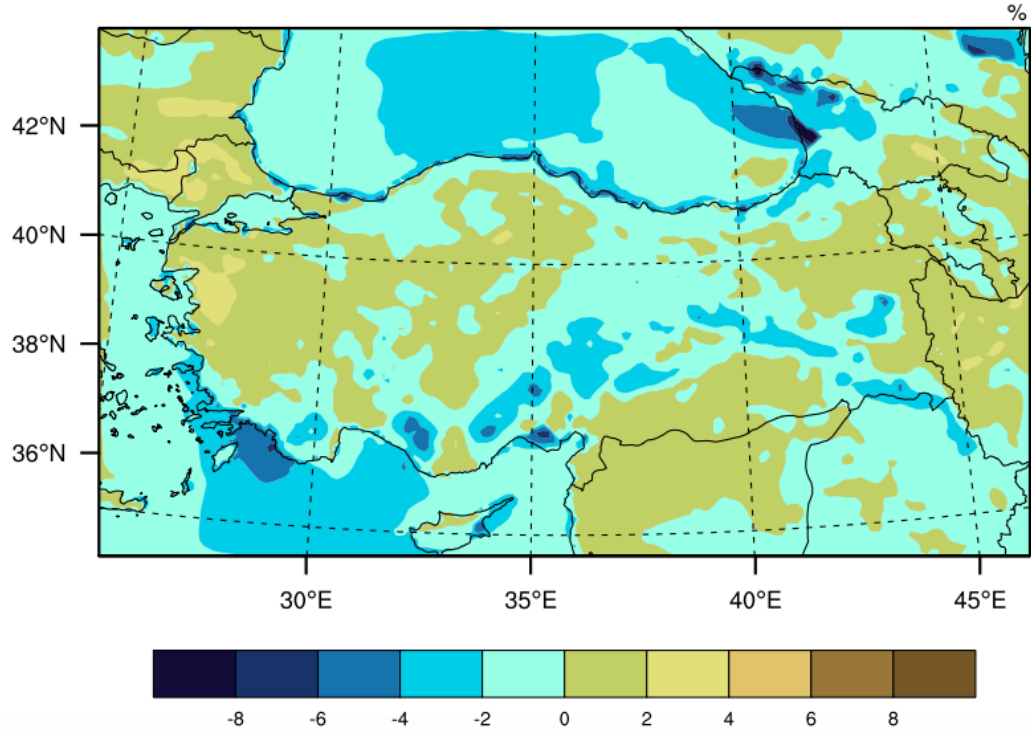


Şekil 3.46 : 80 m RCP 8.5 senaryosu 2021-2040 dönemi mevsimsel ortalama rüzgar şiddeti.

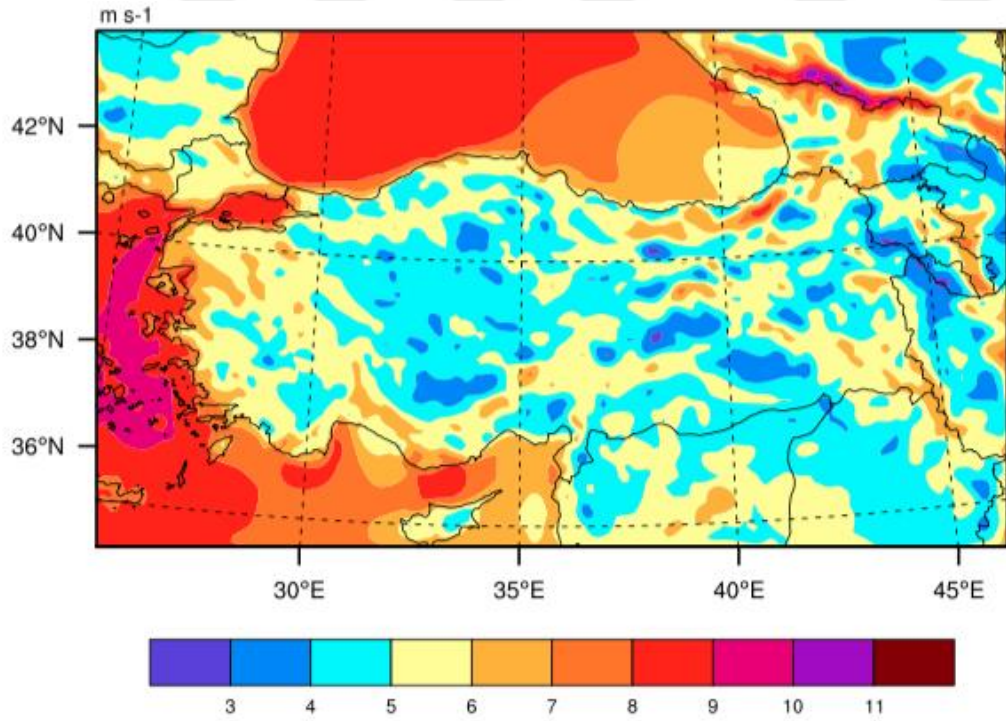


Şekil 3.47 : 80 m RCP 8.5 senaryosu 2021-2040 dönemi mevsimsel rüzgar akışı.

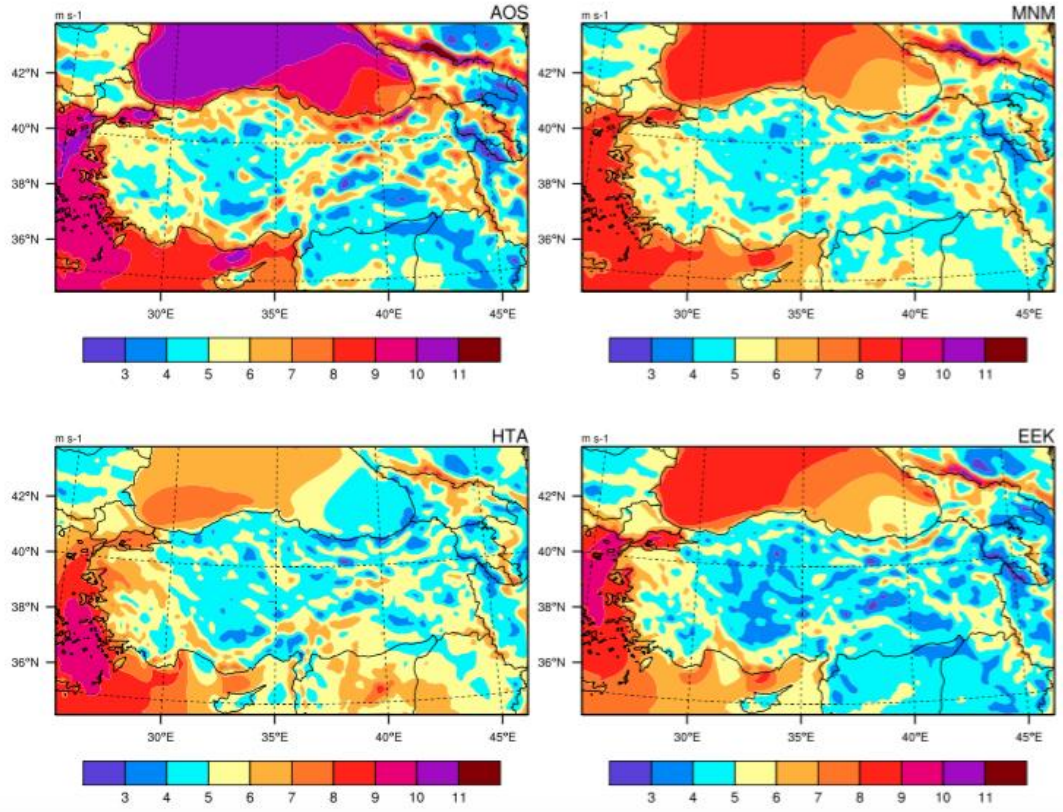
Akdeniz bölgesinde Anamur – Kıbrıs hattında kış mevsiminde ki artış hariç önemli değişimler görülmezken, Batı Akdeniz’de farklılıklar hemen göze çarpmaktadır. Kışın Antalya körfezinin içine kadar giren yüksek rüzgar ortalamaları, sonbaharda en düşük değerleri göstermektedir. Akdeniz’in doğusunda Hatay ve civarında ise yazın en düşük ortalama rüzgar değerleri vardır. Tüm Türkiye’de kara üzerinde ilkbahar mevsiminde ortalamalar en düşük değerlerde iken, Yazın yüksek rüzgar ortalaması İç Anadolu dahil genel olarak artmaktadır. Yüksek potansiyel bölgelerinden olan Çanakkale, İzmir, Balıkesir ve Soma’da yaz aylarında ortalama rüzgar hızı bu mevsimde kara içlerine girecek şekilde artmaktadır. Yön olarak incelendiğinde bir farklılık görülmemekle beraber aynı dönem RCP45 model çıktısına kışın Karadeniz üzerinde bir sıcaklık azalışı görülmektedir (Şekil 3.47). Şekil 3.48’de gösterildiği gibi Türkiye’nin batısında rüzgar hızları artmaktadır. RCP45 senaryosuna göre bu senaryonun bu döneminde lokal artışlar potansiyelin olduğu bölgelerde daha fazladır. Yine bu dönemde azalan rüzgar hızlarında bile aynı lokasyonlarda bir artış görülmektedir.



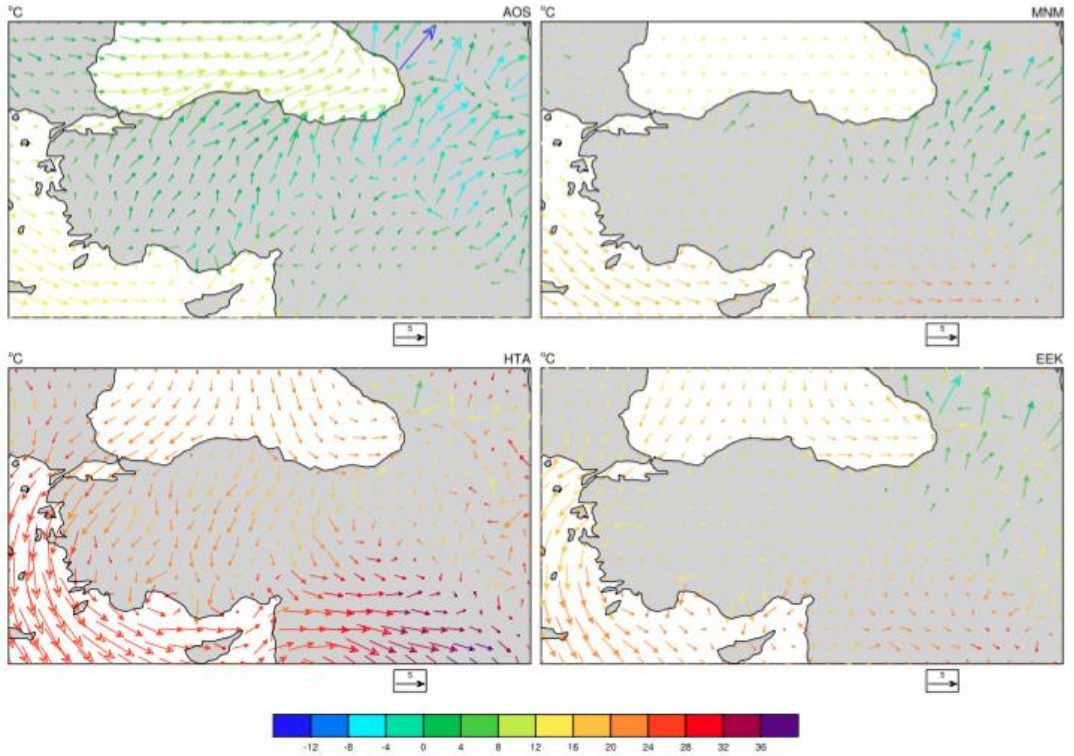
Şekil 3.48 : 80 m RCP 8.5 senaryosu 2041-2070 dönemi rüzgar şiddetinin % değişimi.



Şekil 3.49 : 80 m RCP 8.5 senaryosu 2041-2100 dönemi ortalama rüzgar hızı şiddeti.



Şekil 3.50 : 80 m RCP 8.5 senaryosu 2041-2070 dönemi mevsimsel ortalama rüzgar şiddeti.

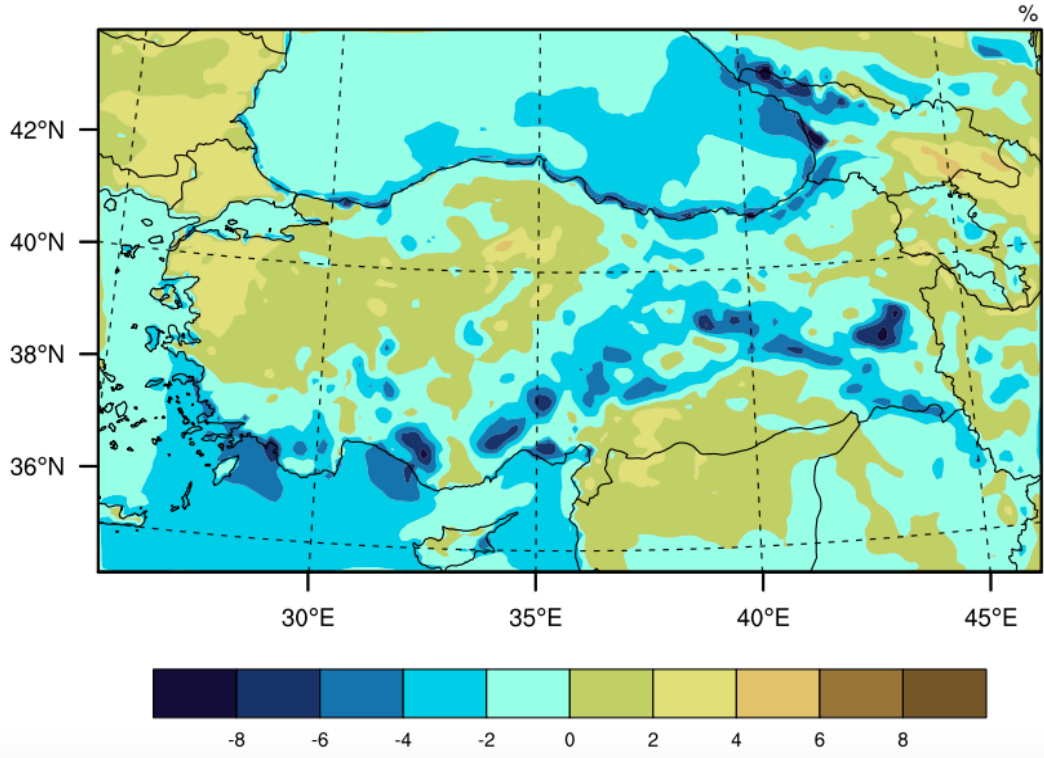


Şekil 3.51 : 80 m RCP 8.5 senaryosu 2041-2070 dönemi mevsimsel rüzgar akışı.

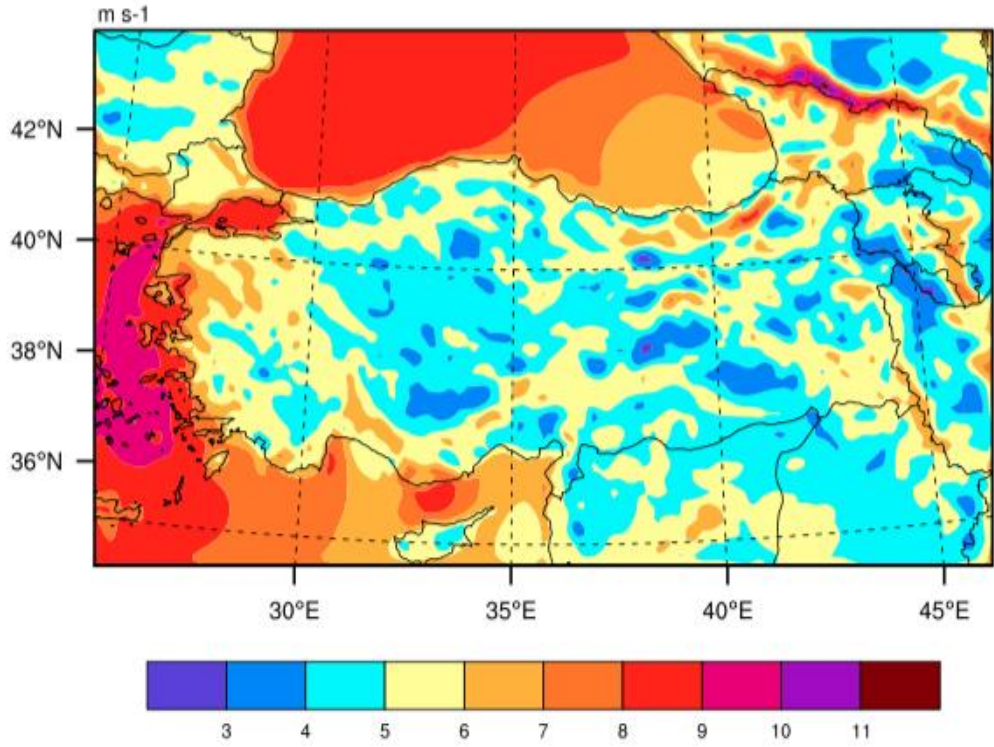
2041-2070 dönemi genel durumda bir önceki dönem benzerken, mevsimsel farklılıklar bu dönemde de hemen göze çarpmaktadır (Şekil 3.49). Karadeniz üzerinde bir önceki döneme göre tüm mevsimlerde bir değişim görülmezken, Marmara bölgesinden başlayarak Ege'nin kuzey kesimleri dahil, İzmir'in açıklarına kadar kış mevsimi için rüzgar hızları ortalamasında bir azalma görülmektedir. Ege bölgesinde bu mevsim dışında genel patern bir önceki döneme göre aynı şekilde devam etmektedir. Akdeniz bölgesinde de genel durum aynı iken en düşük rüzgar hızı ortalamaları yaz mevsiminde görülmektedir. Potansiyeli yüksek yerlerden olan Hatay ve civarında yine en düşük rüzgar ortalamaları yazın ve sonbaharda daha fazladır (Şekil 3.50). Kara üzerinde yüksek rüzgar hızları yazın en fazla iken, ilkbahar mevsiminde de İç Anadolu bölgesinde kara üzerinde yüksek rüzgar hızları görülmektedir. Bunun yanında sonbahar da en düşük rüzgar hızları ortalaması en düşüktür. Potansiyeli yüksek bölgelerden olan Soma ve çevresinde yazın ortalamalar 7m/s'nin üzerine çıkmaktadır. Şekil 3.51'de mevsimsel yön olarak incelendiğinde Karadeniz üzerinde bu sefer bir sıcaklık artışı meydana gelmiştir.

Şekil 3.52 incelendiğinde rüzgar hızlarında ki artış yine aynı bölgelerde görülürken, potansiyelin yüksek olduğu bölgelerde artış daha fazla olmaktadır. Rüzgar hızlarında ki bu artış ülkenin batısında bir hat şeklinde görülürken, bu hattın güneyinde azalış bölgeleri kalmaktadır. Yine denizlerimizde rüzgar hızlarında referans döneme göre bir azalış olduğu görülmektedir. Sadece Kıbrıs'ın kuzeyindeki bölgede bir artış meydana gelmiştir.

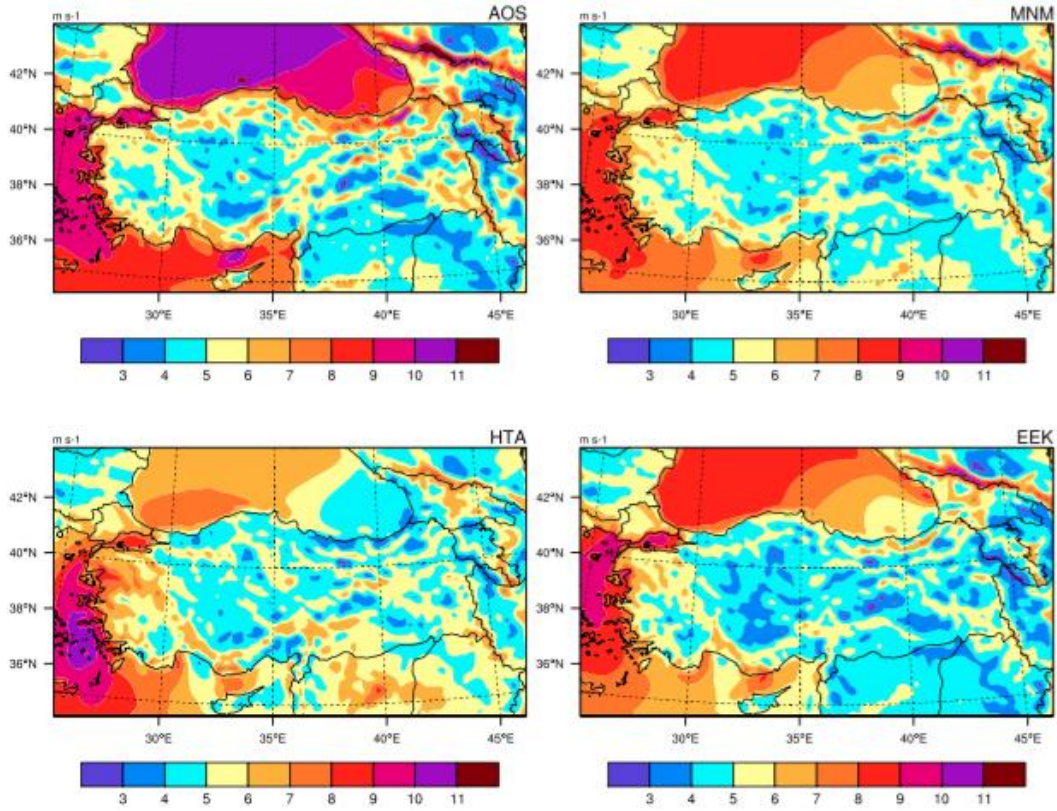
Son dönem grafikleri incelendiğinde rüzgar hızlarında artış göze çarpmaktadır. Son dönem 80 m yükseklik rüzgar şiddeti grafiği incelendiğinde, rüzgar şiddetindeki artış Ege denizinde daha fazla iken, İç Anadolu bölgesinde rüzgar şiddeti değerleri azalmaktadır (Şekil 3.53). Şekil 3.54 incelendiğinde kışın Karadeniz üzerinde rüzgar hızları 10 m/s'nin üzerindedir. Yaz mevsiminde ise rüzgar hızları 6 m/s değerlerine düşmektedir. Bu dönemde Güney Ege denizinde yaz mevsiminde rüzgar şiddeti artmıştır.



Şekil 3.52 : 80 m RCP 8.5 senaryosu 2041-2070 dönemi rüzgar şiddetinin % değişimi.



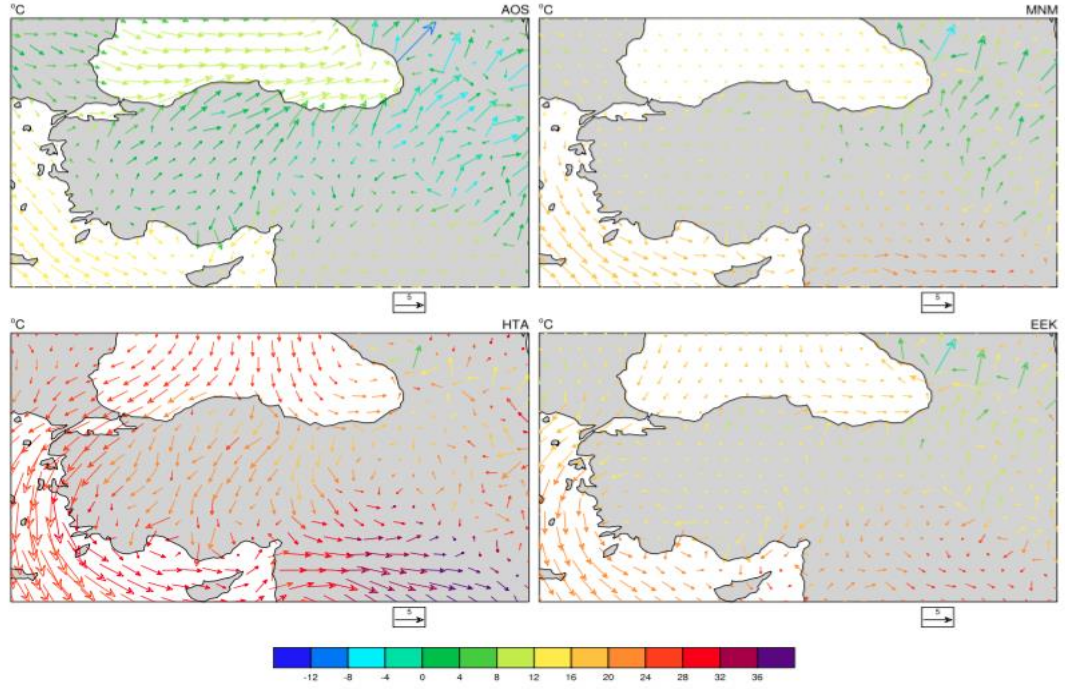
Şekil 3.53 : 80 m RCP 8.5 senaryosu 2071-2100 dönemi ortalama rüzgar şiddeti.



Şekil 3.54 : 80 m RCP 8.5 senaryosu 2071-2100 dönemi mevsimsel ortalama rüzgar şiddeti.

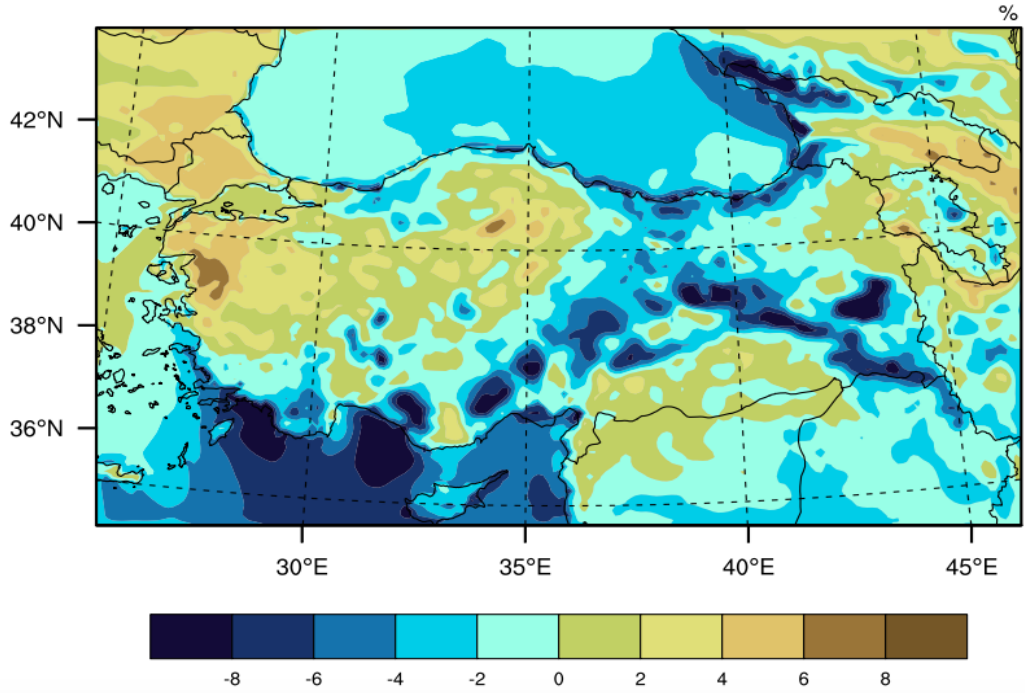
Karadeniz üzerinde genel durum incelendiğinde Sinop ve Bartın çevresinde hız ortalamalarında artış görülmektedir. Ege denizi üzerinde yaz ayında rüzgar hızı ortalamaları 10m/s ‘nin üzerine çıkmaktadır. Batı Akdeniz’de sonbahar ayında yine bir azalma görülürken, en büyük hız ortalaması yaz ayında görülmektedir. Genel olarak kara üzerinde yaz mevsimi ortalamaların en yüksek olduğu mevsimdir.

Potansiyeli yüksek olan Çanakkale, İzmir, Balıkesir ve Soma’nın yanında bu dönemde yaz aylarında Kütahya, Eskişehir, Uşak gibi iç bölgelerde rüzgar hızları artmaktadır (Şekil 3.54). Hatay ve civarında ise en yüksek değerler kış mevsiminde görülürken, yaz aylarında ve sonbahar mevsiminde ortalama rüzgar şiddeti 6 m/s civarındadır. Şekil 3.55’de bir önceki dönemin yönsel ve sıcaklık ortalamaları devam etmektedir. Denizinde Ege denizinde özellikle güney kesiminde kuzeyli sert rüzgarlar şiddetini arttırmaktadır.



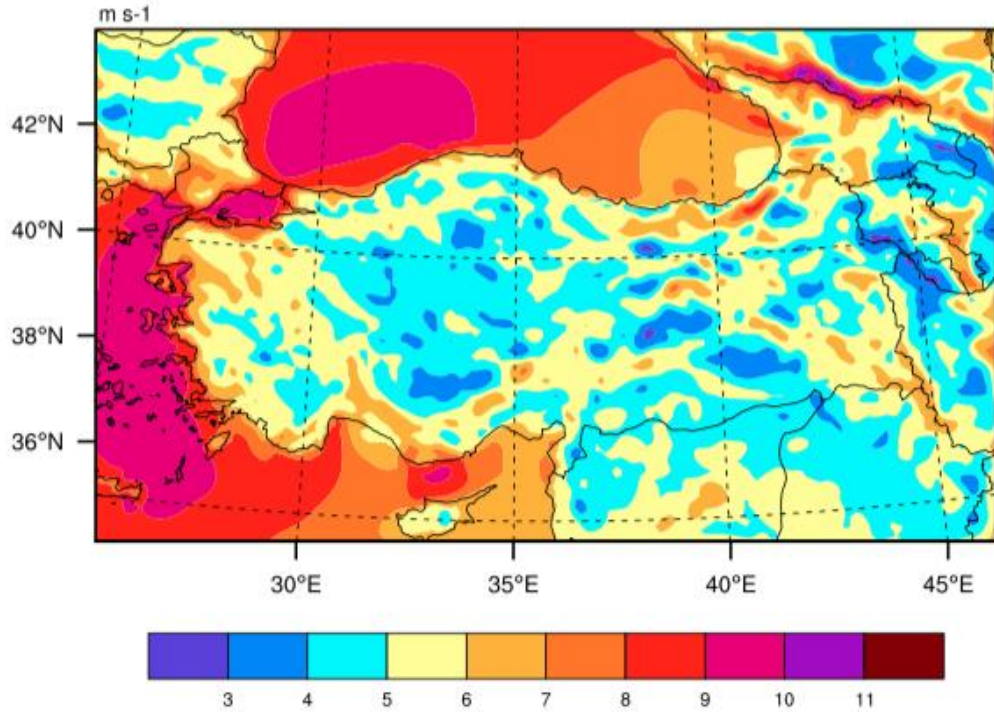
Şekil 3.55 : 80 m RCP 8.5 senaryosu 2071-2100 dönemi mevsimsel rüzgar akışı.

Son dönem Şekil 3.56’de incelendiğinde rüzgar hızlarında önemli farklar göze çarpmaktadır. Soma ve çevresinde artış en fazla yüzde olarak görülmekte iken, Kırklareli ve çevresinde de artış oldukça fazladır..

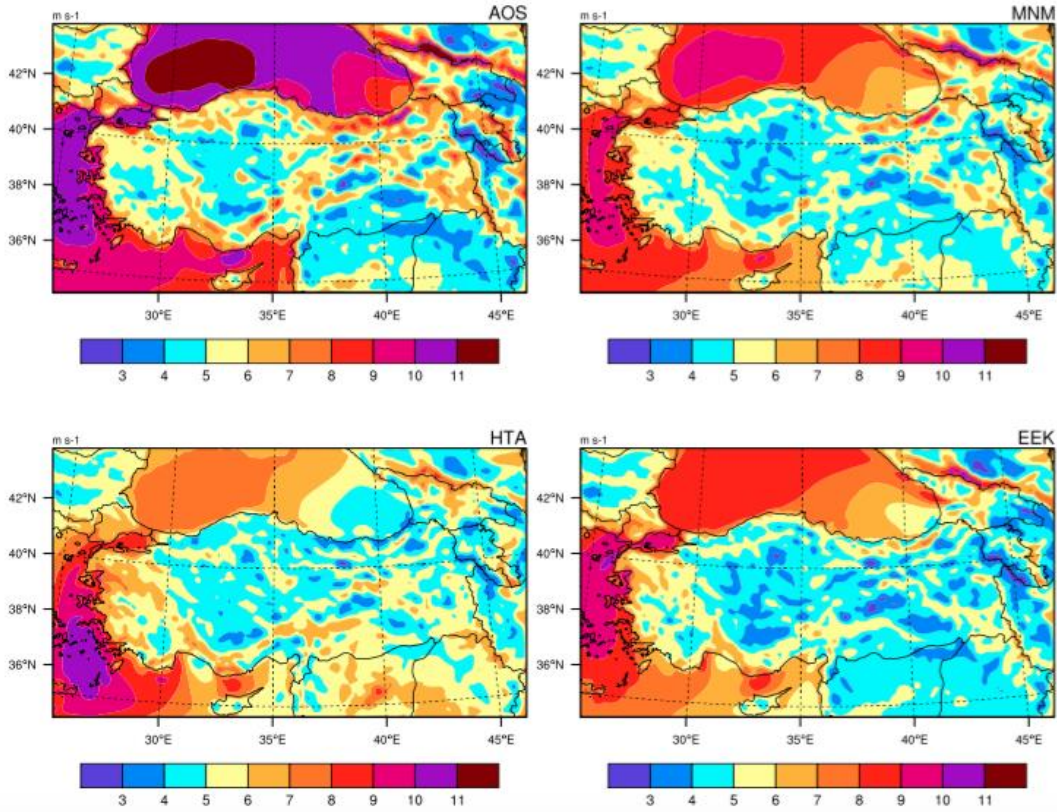


Şekil 3.56 : 80 m RCP 8.5 senaryosu 2071-2100 dönemi rüzgar şiddetinin % değişimi.

3.3.2 RCP 8.5 senaryosu 200 m yükseklik analizi

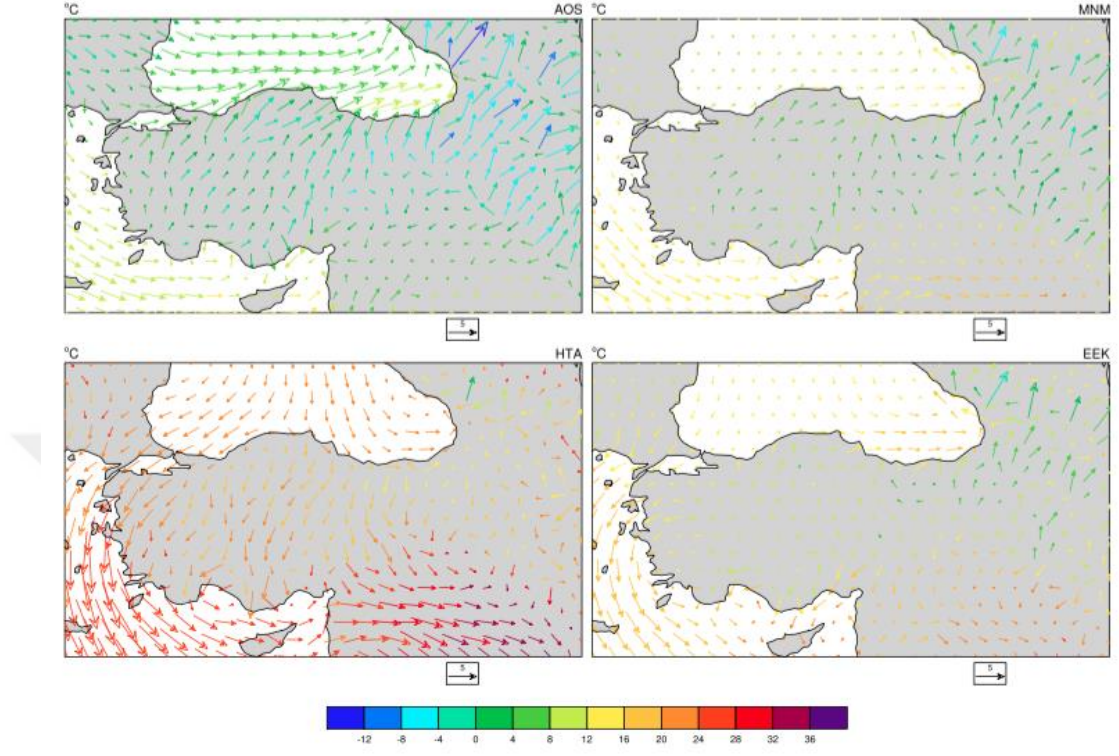


Şekil 3.57 : 200 m RCP 8.5 senaryosu 2021-2040 dönemi ortalama rüzgar şiddeti.



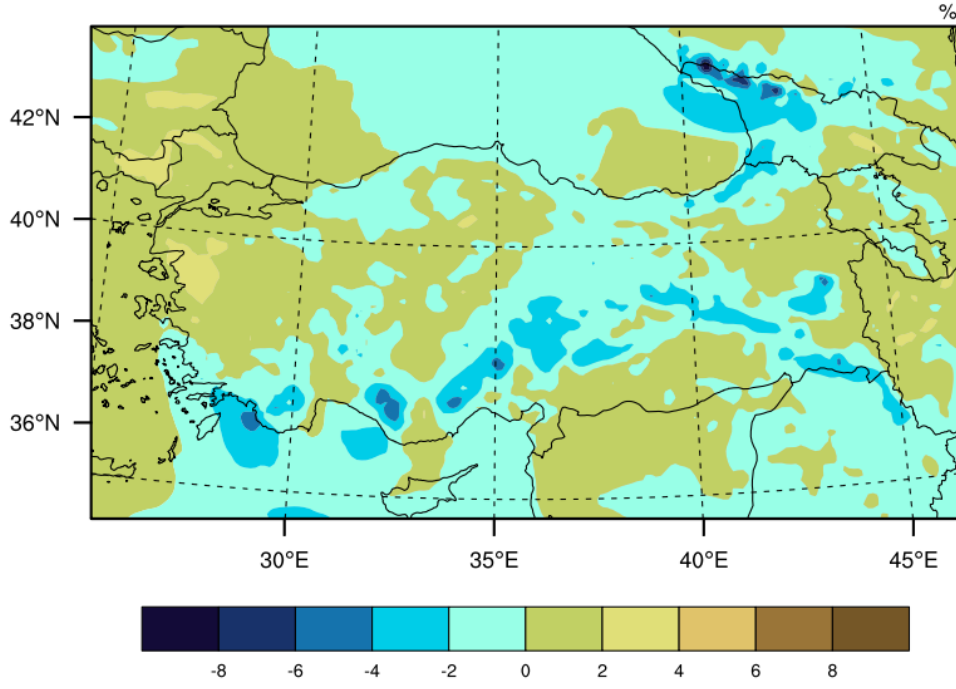
Şekil 3.58 : 200 m RCP 8.5 senaryosu 2021-2040 dönemi mevsimsel ortalama rüzgar şiddeti.

Yüksekliğin 200m'ye çıkması ile beraber rüzgar hızı ortalamaları da artmaktadır. İlk dönemde Batı Karadeniz ve tüm Ege denizinde rüzgar hızları ortalaması 9m/s hızlara çıkmaktadır (Şekil 3.57).

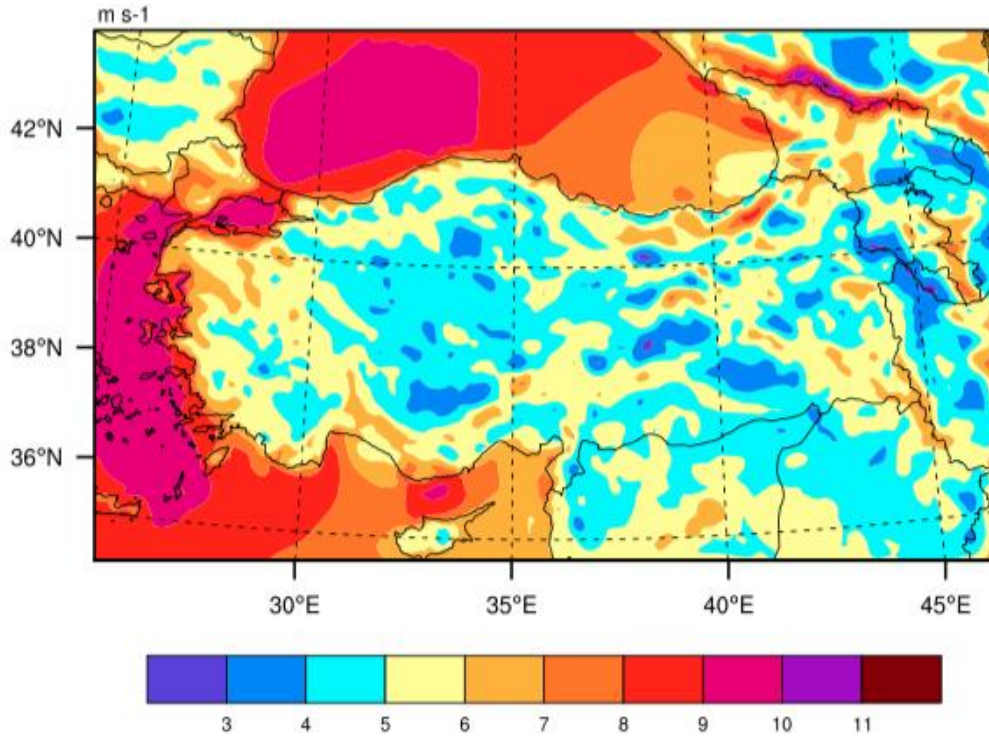


Şekil 3.59 : 200 m RCP 8.5 senaryosu 2021-2040 dönemi mevsimsel rüzgar akışı.

Mevsimsel olarak bakıldığında Karadeniz üzerinde yaz aylarında ortalama en düşüktür. Kışın ve ilkbahar mevsiminde rüzgar hızları oldukça fazladır. Ege denizinde bu seviyede tüm mevsimlerde ortalamalar 9 m/s'nin üzerindedir. Çanakkale ve boğazı çevresinde sonbahar aylarında rüzgar şiddeti artmaktadır (Şekil3.58). Batı Akdeniz'de kışın rüzgar hızları Kıbrıs'ın açıklarına kadar 9m/s mertebelerindedir. Şekil 3.59'de mevsimsel yön grafiğinde sonbahar mevsiminde deniz üzerinde rüzgar şiddeti fazla ve kuzeyli iken kara üzerinde en düşük şiddettedir. Şekil 3.60 incelendiğinde Ege denizi tamamiyle dahil olmak üzere rüzgar hızlarında bir artış vardır. Yine Kıbrıs ile Anamur arasında kalan bölgede, Doğu Anadolu bölgesinin tamamında bir artış görülmektedir. İç Anadolu'nun doğusu ile Doğu Anadolu'nun batısı arasındaki bölgede bir azalma meydana görülmektedir. 2041-2070 dönemi incelendiğinde ise genel durum devam etmektedir (Şekil 3.61).

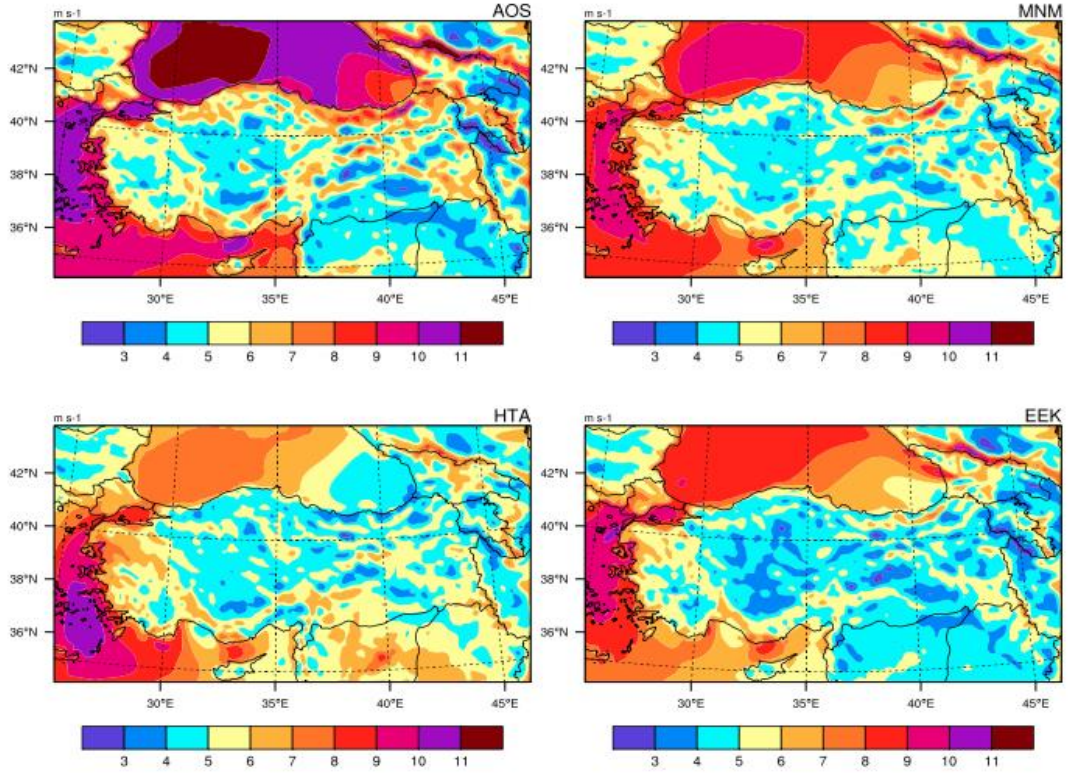


Şekil 3.60 : 200 m RCP 8.5 senaryosu 2021-2040 dönemi rüzgar şiddetinin % değişimi.



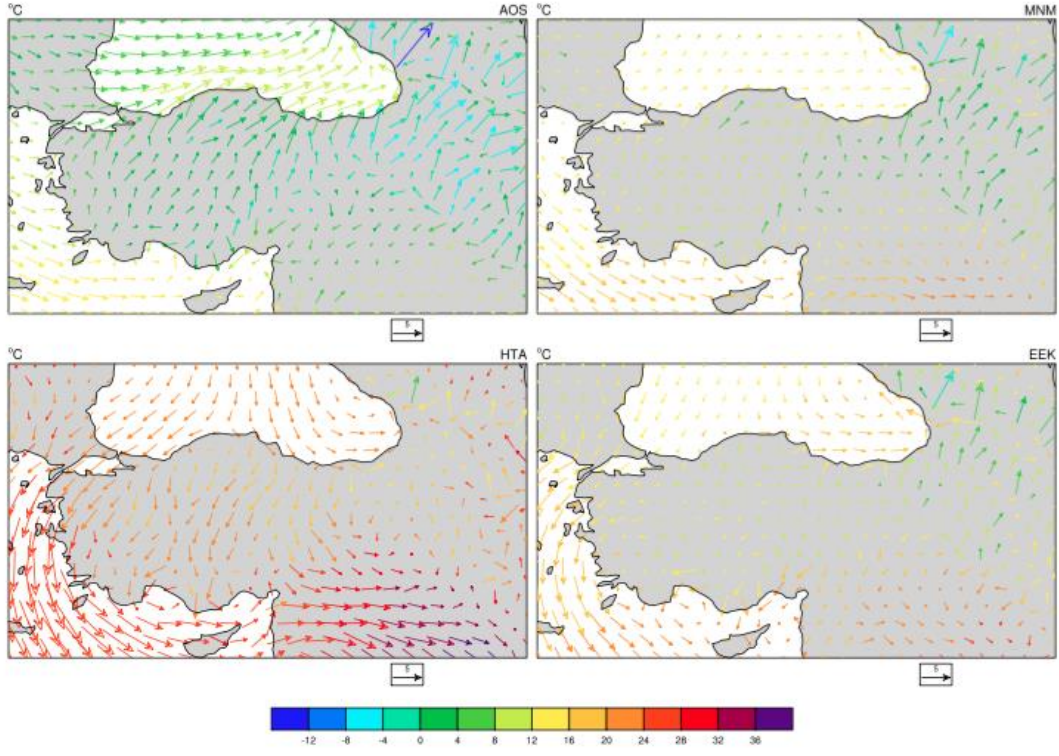
Şekil 3.61 : 200 m RCP 8.5 senaryosu 2041-2070 dönemi ortalama rüzgar şiddeti.

Mevsimsel bazda ise Karadeniz üzerindeki rüzgar şiddeti artışı devam etmektedir. Mevsimsel yönlerde kışın Karadeniz üzerindeki batılı rüzgarlar şiddetli iken, bahar aylarında kara üzerinde şiddet azalmaktadır (Şekil 3.62). Yüzyılın sonuna doğru değişimler daha nettir. Genel durumda Ege üzerindeki rüzgar şiddeti arttarken mevsimsel bazda bazı değişiklikler mevcuttur (Şekil 3.63). Kışın özellikle Kuzey Ege’de rüzgar oldukça şiddetli iken, Yaz mevsimde Güney Ege’de rüzgar 11 m/s şiddetindedir.

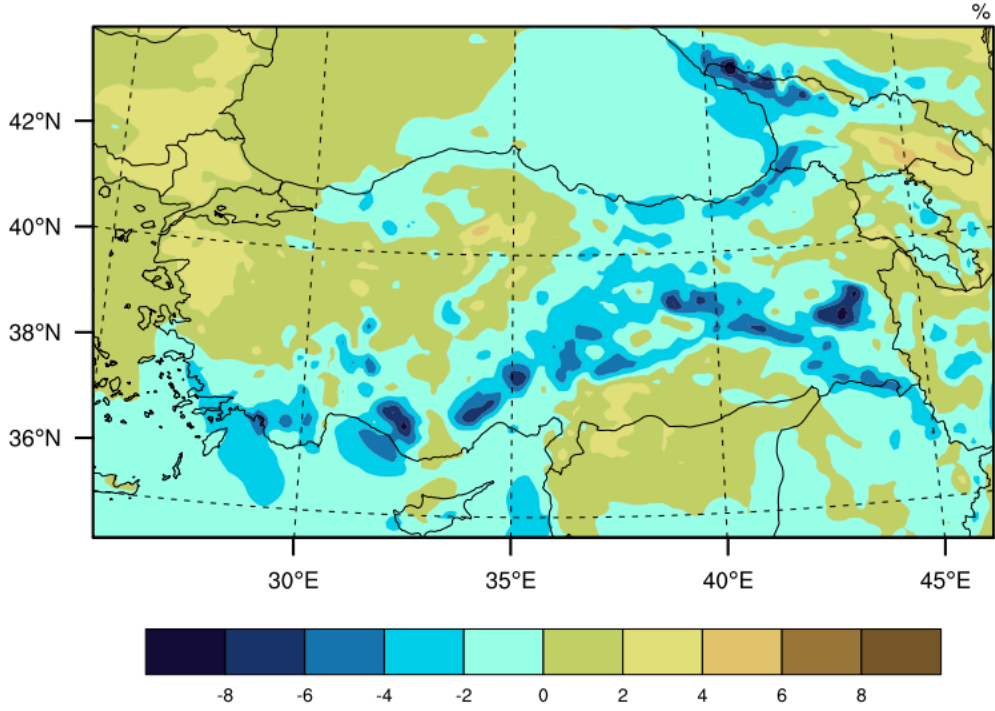


Şekil 3.62 : 200 m RCP 8.5 senaryosu 2041-2070 dönemi mevsimsel ortalama rüzgar şiddeti.

Şekil 3.64 incelendiğinde rüzgar potansiyelin yüksek olduğu yerlerde rüzgar hızlarında artış daha da artmaktadır. Bu dönemde özellikle Trakya bölgesinde artış daha fazladır. Yine Güneydoğu Anadolu bölgesinin batı kesiminde artış miktarı daha fazladır. Denizlerimizde ise Batı Karadeniz bölgesinde önemli artışlar görülmektedir. Ege denizinin güneyi hariç rüzgar hızları artmaktadır. Ciddi azalışlar lokal olup Torosların batısı ve doğusunda daha fazladır.

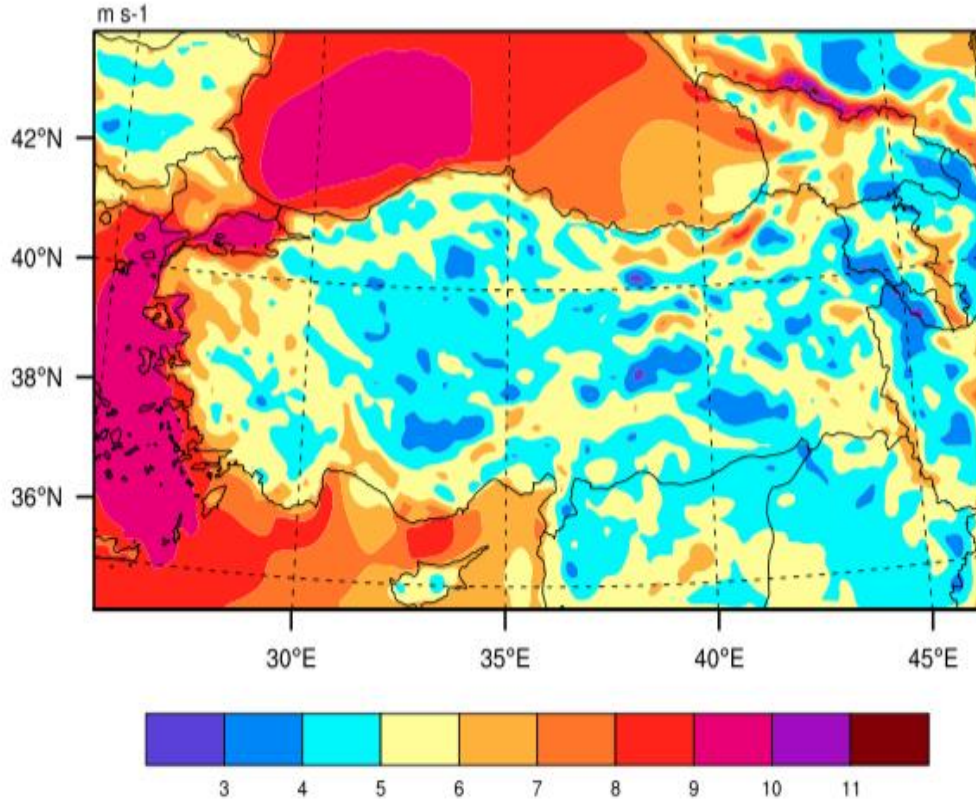


Şekil 3.63 : 200 m RCP 8.5 senaryosu 2041-2070 dönemi mevsimsel rüzgar akışı.

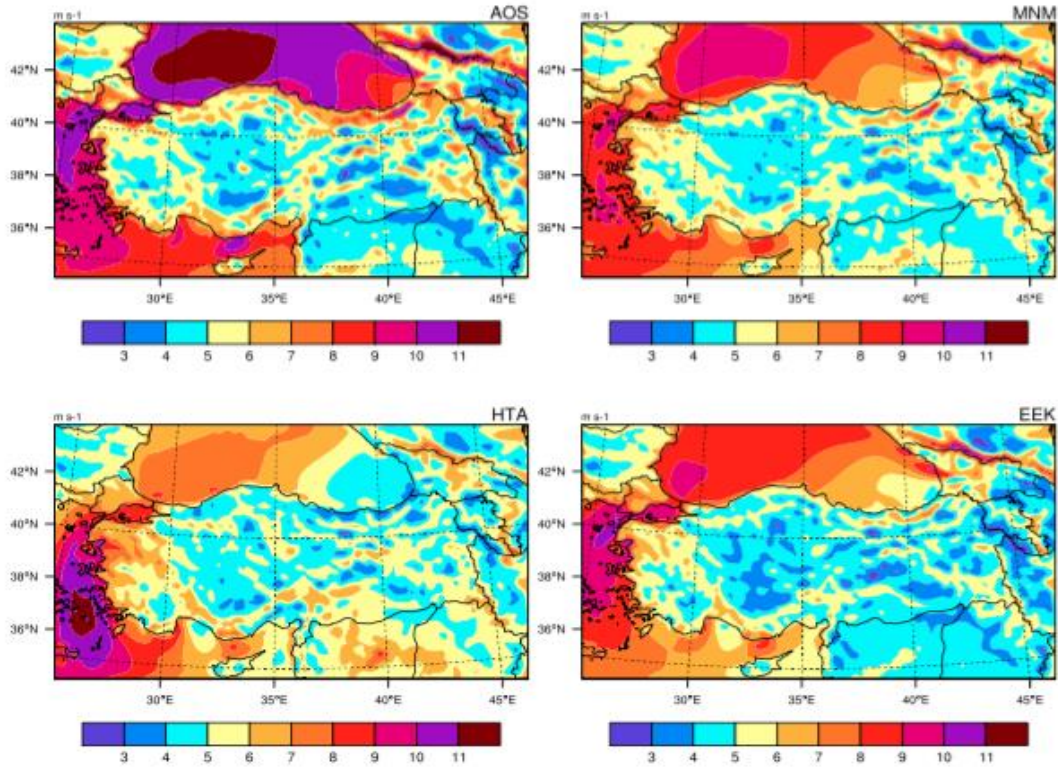


Şekil 3.64 : 200 m RCP 8.5 senaryosu 2041-2070 dönemi rüzgar şiddetinin % değişimi.

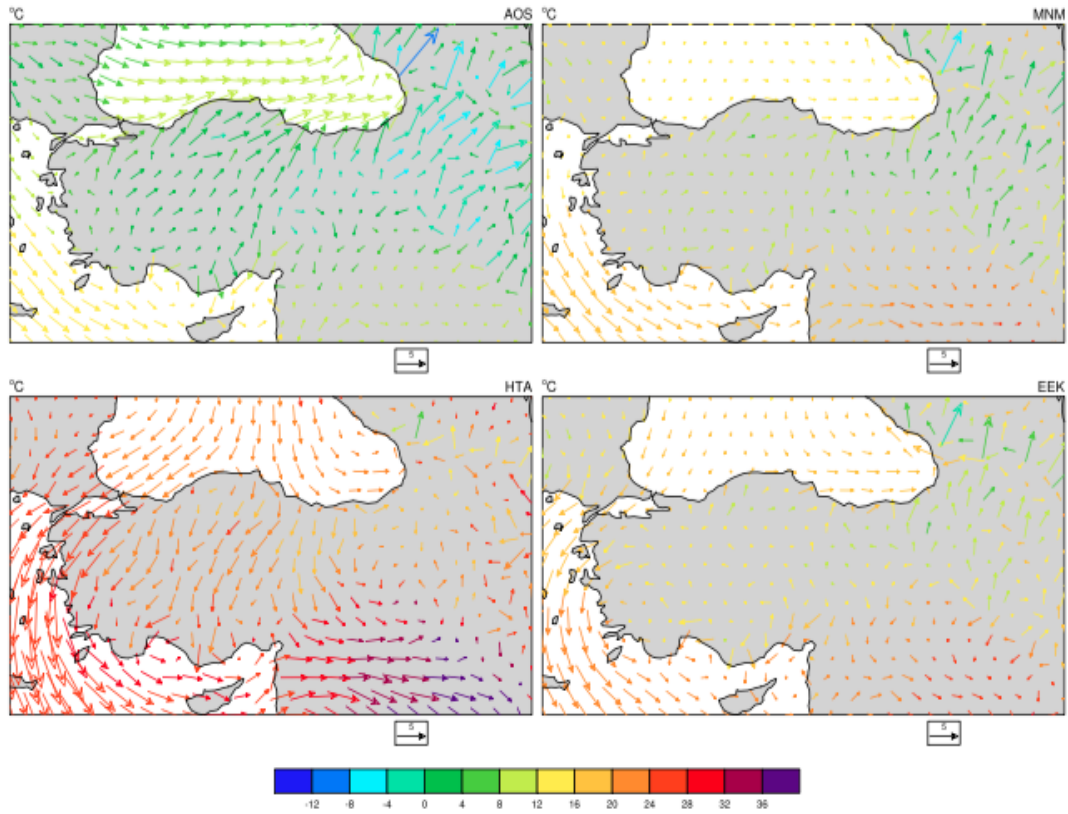
Karadeniz üzerinde yaz mevsimi hariç rüzgar oldukça şiddetli iken, yaz mevsiminde İstanbul boğazının Karadeniz çıkışı hariç rüzgar ortalaması düşüktür. Yine bu dönemde Marmara bölgesi ve civarında rüzgar ortalaması artmaktadır (Şekil 3.65). Kara üzerinde Batı'daki yüksek potansiyel bölgelerinde ortalama artarken, Marmaranın güneyi ile İç Anadolu'nun kuzeybatısındaki alanda rüzgar şiddeti artmaktadır. Ayrıca Mut ve Karaman gibi yüksek potansiyel bölgelerde rüzgar şiddeti bu dönemde kış mevsimi hariç azalmaktadır. Şekil 3.67'de son dönem mevsimsel yön incelendiğinde sıcaklık artışı 200 m'de bile olsa grafikte görülmektedir. Kuzey Ege'de rüzgar şiddeti oldukça artmış ve kuzeyden sert esmektedir. Yine yaz mevsiminde kara üzerinde rüzgar şiddetli sıcak ve kuzeylidir. İlkbahar mevsimler arasında hem deniz hem kara üzerinde en sakin ayları göstermektedir.



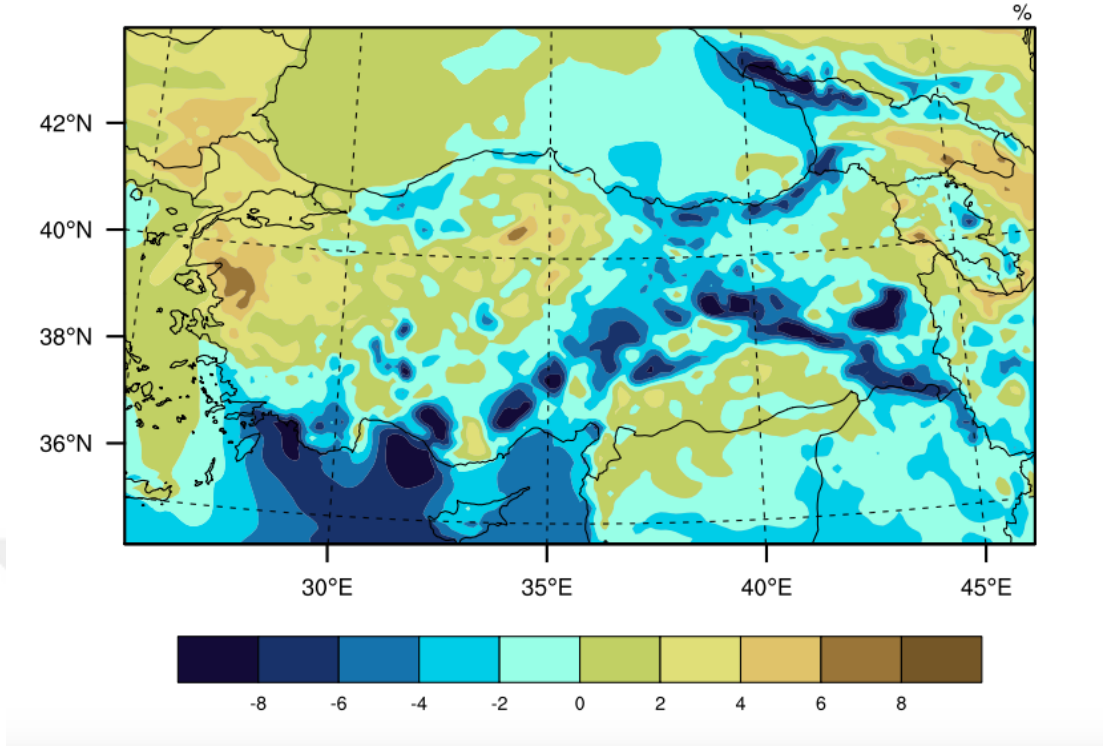
Şekil 3.65 : 200 m RCP 8.5 senaryosu 2071-2100 dönemi ortalama rüzgar hızı şiddeti



Şekil 3.66 : 200 m RCP 8.5 senaryosu 2071-2100 dönemi mevsimsel ortalama rüzgar şiddeti.



Şekil 3.67 : 200 m RCP 8.5 senaryosu 2071-2100 dönemi mevsimsel rüzgar akışı.

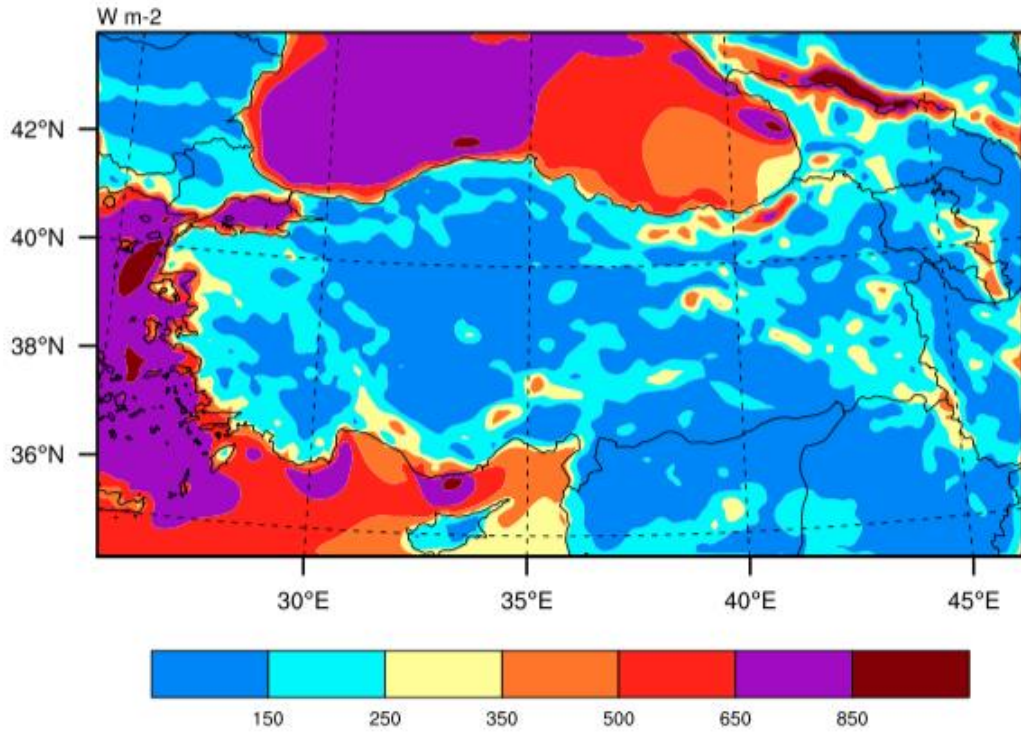


Şekil 3.68 : 200 m RCP 8.5 senaryosu 2071-2100 dönemi rüzgar şiddetinin % değişimi.

Yüzyılın son dönemi Şekil 3.68’de gösterildiği gibi batı bölgelerde. Trakya’da ve potansiyelin yüksek olduğu yerlerde artış miktarı %4 ila %8 arasındadır. Soma ve çevresi ile Kırklareli ve civarı artışın en fazla olduğu yerler olarak görülmektedir. Bu artış Orta Karadeniz’de sahil kesimine kadar gelmektedir. Denizlerimizde ise Karadeniz’in doğusu hariç artış görülmektedir. Ege denizinde artış özellikle Bozcaada ve Gökçeada taraflarında oldukça fazladır. Akdeniz’de ise iç kesimlere de ulaşan %8’e ulaşan lokaş olarak bu değerleri de aşan azalışlar görülmektedir. Doğu Anadolu bölgesinde ise artma bu dönemde de görülmektedir.

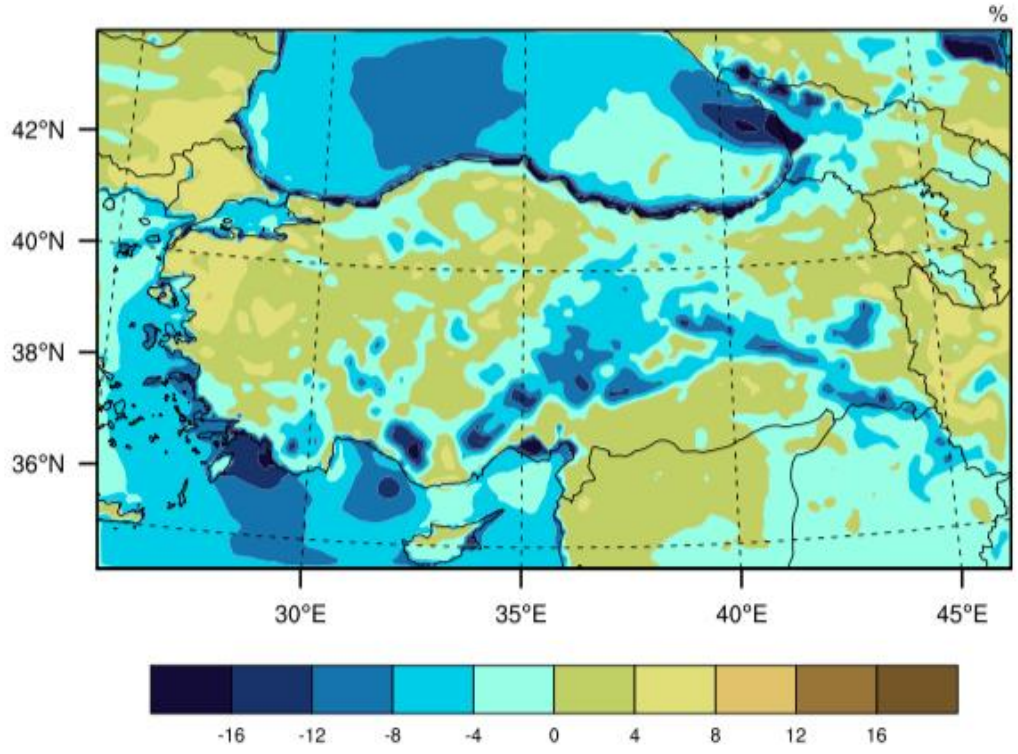
3.3.3 RCP 8.5 senaryosu 80 m yükseklikteki rüzgar potansiyeli analizi

80m yükseklikte rüzgar enerjisi yoğunluğu rüzgar hızlarının yüksek olduğu yerler ile uyum göstermektedir. Karadeniz’in üzerinde her 3 dönemde önemli bir değişim gözlenmezken, Ege denizi üzerinde dönemsel farklar vardır (Şekil 3.69).

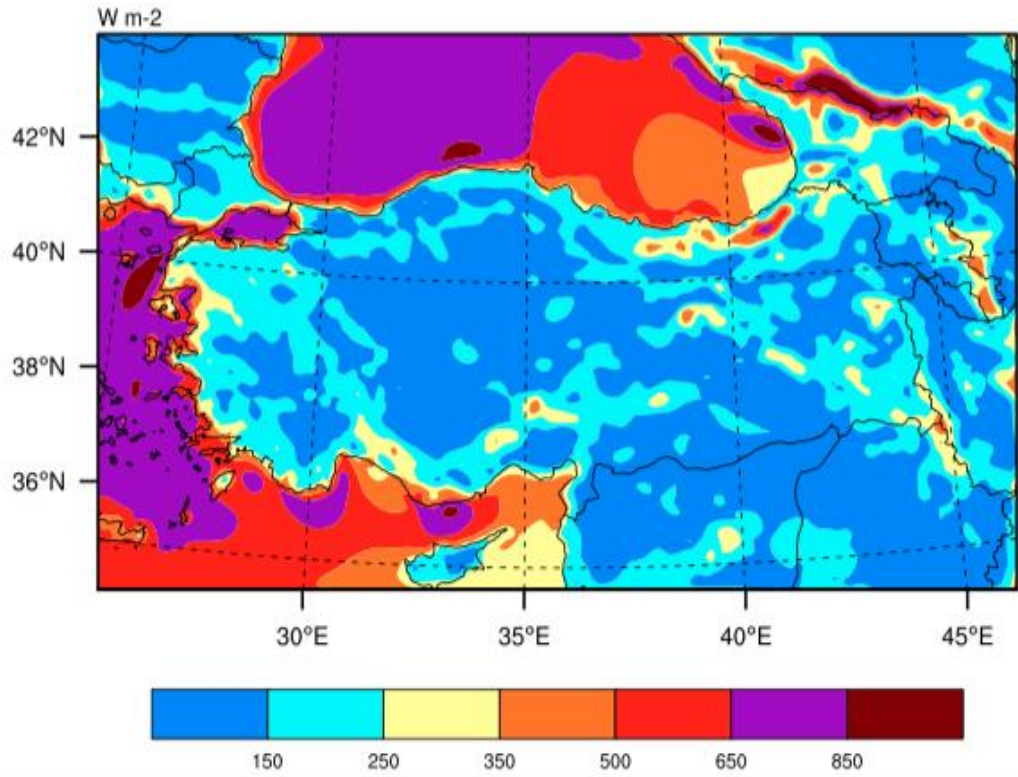


Şekil 3.69 : 80 m RCP 8.5 senaryosu 2021-2040 dönemi rüzgar enerjisi yoğunluğu.

Şekil 3.70 incelendiğinde denizlerimiz üzerinde rüzgar enerjisi potansiyeli azalmaktadır. Sadece Karadeniz'in doğusunda lokal artış bölgelerine rastlamaktayız. Kara üzerinde özellikle Batı bölgelerimizde rüzgar enerjisi yoğunluğu artışı görülmektedir. Ege denizine yakın yerlerde bu artış %8'lere çıkmaktadır. Güneydoğu Anadolu bölgemiz ile Doğu Anadolu bölgesinin kuzey kesimlerinde rüzgar enerjisi yoğunluğunda artışlar görülmektedir. Enerji yoğunluğunun azalış gösterdiği yerler sadece Torosların yüksek kesimleri ile beraber Antalya- Muğla arasında kalan bölgede %10 ve üzeri değerlerde görülmektedir. Trakya bölgesi bu dönemde artışın en fazla olduğu bölge olarak görülmektedir. RCP 8.5 senaryosu 2021-2040 dönemi için RCP 4.5 senaryosu ile karşılaştırıldığında birbirine yakın sonuçlar gösgerirken, Ege denizi üzerinde RCP 4.5 senaryosu için rüzgar enerjisi potansiyelinin değişimi azalma yönünde daha büyük değişimler göstermiştir. Yine Trakya üzerinde rüzgar enerjisi potansiyeli artım yönünde değişim RCP 4.5 döneminde daha fazladır.

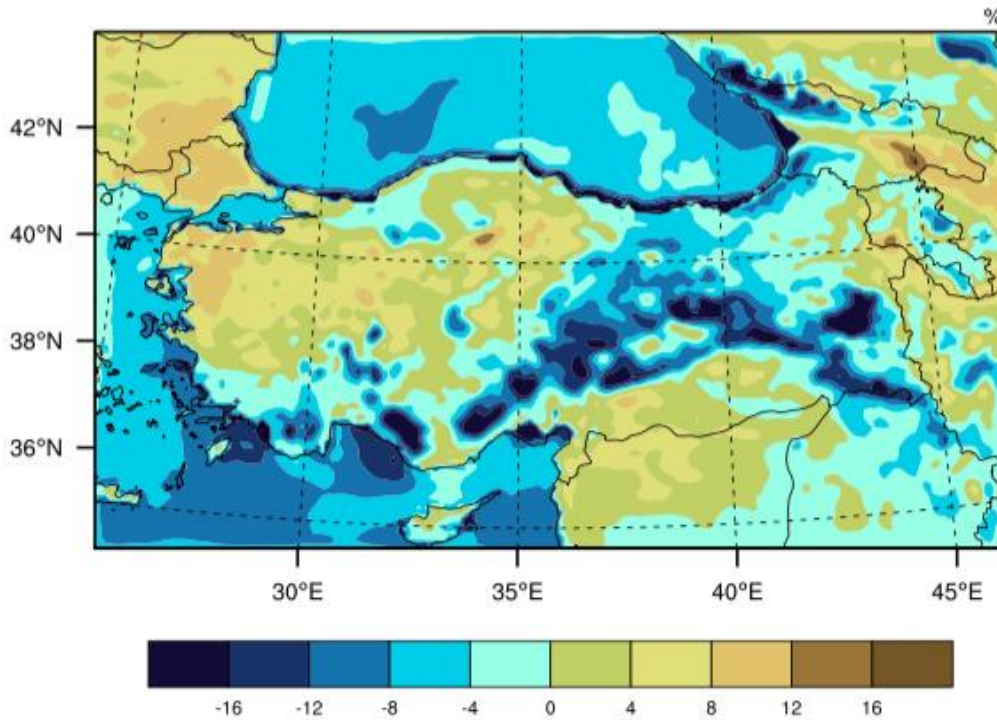


Şekil 3.70 : 80 m RCP 8.5 senaryosu 2021-2070 dönemi rüzgar enerjisinin % değişimi.



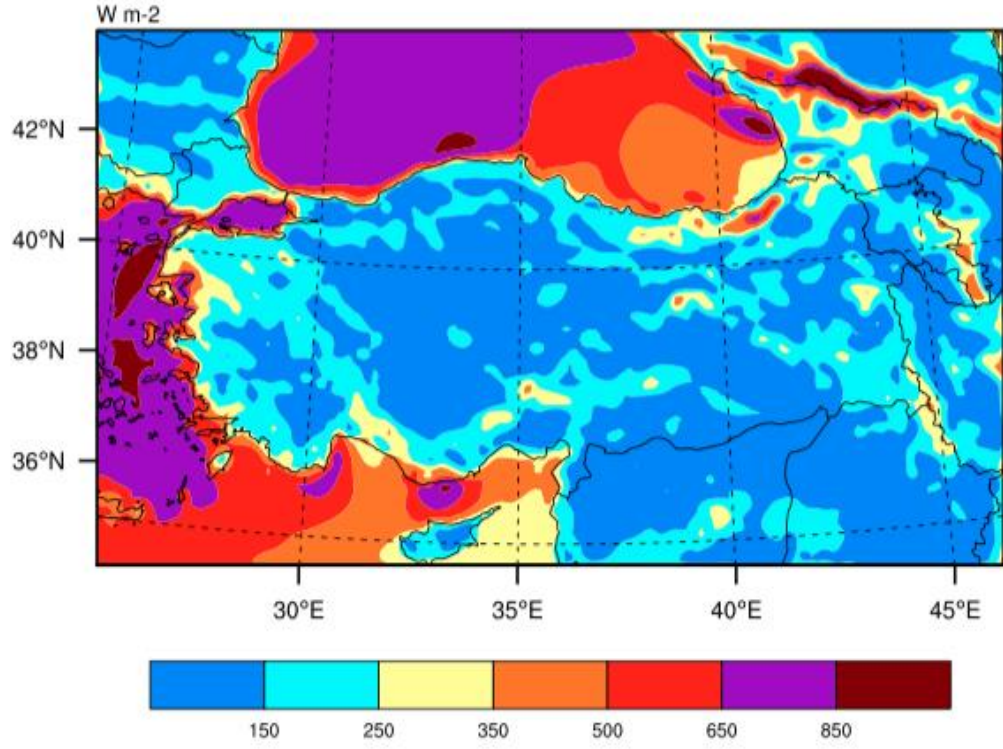
Şekil 3.71 : 80 m RCP 8.5 senaryosu 2041-2070 dönemi rüzgar enerjisi yoğunluğu.

2040-2071 döneminde özellikle Orta Ege’de rüzgar enerjisi yoğunluğu azalırken, 2071-2100 dönemin de Kuzey Ege dahil bir artış göstermektedir. Batı Akdeniz’de ilk 2 dönemde yüksek olan potansiyel son dönemde bir azalış göstermektedir (Şekil 3.71). Kara üzerinde çok büyük bir değişim yokken, son dönemde potansiyeli yüksek yerlerden olan Çanakkale, Balıkesir ve Soma çevresinde rüzgar enerjisi yoğunluğu artmaktadır (Şekil 3.73). Şekil 3.72’de gösterildiği gibi 2041-2070 döneminde rüzgar enerjisi yoğunluğunun en fazla artış görüldüğü yer %10 ve üzeri değerler ile Kırklareli ili ve çevresidir. Yine bu dönemde Trakya, Çanakkale, Balıkesir ve çevresinde rüzgar enerjisi yoğunluğunda artış %8 ve üzeri değerlerdedir. Denizler üzerinde değişim bir önceki dönem gibi azalış yönündedir. Türkiye üzerinde rüzgar enerjisi yoğunluğunun en fazla azalış gösterdiği yer Adana, Malatya, Sivas hattı üzerinde %15 ve üzeri değerlerdedir. Güneydoğu Anadolu bölgesinde rüzgar enerjisi yoğunluğu %8 ve üzeri değerlerdedir.

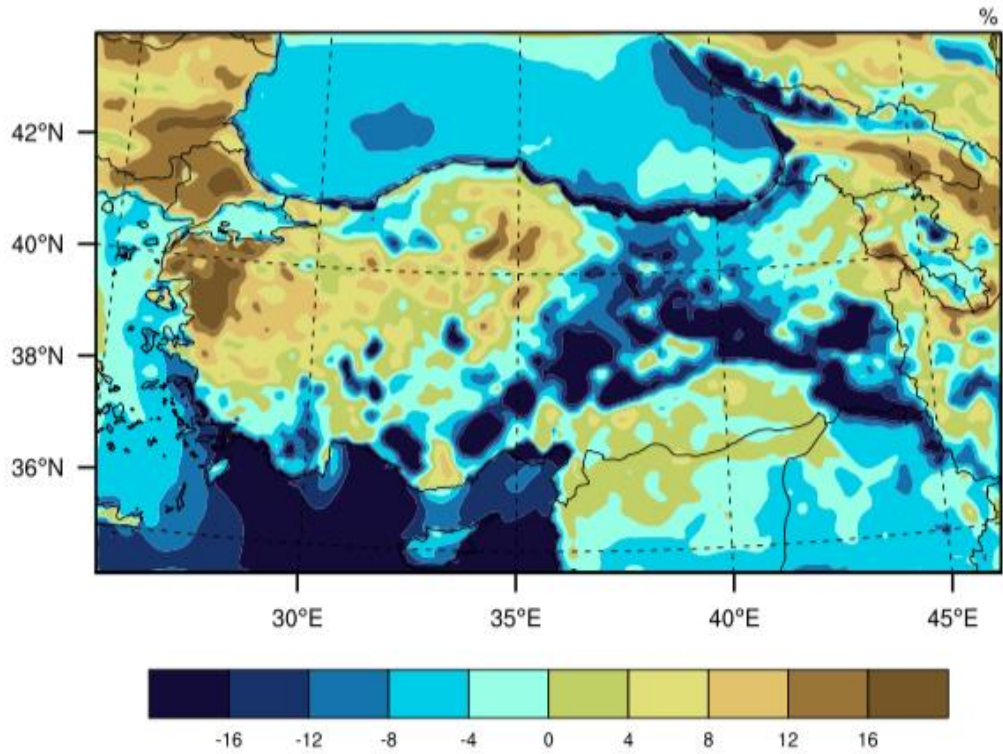


Şekil 3.72 : 80 m RCP 8.5 senaryosu 2041-2070 dönemi rüzgar enerjisinin % değişimi.

Şekil 3.74’de son dönem değişim incelendiğinde artışlar %15 ve üzeri değerleri geçmektedir. Akdeniz üzerinde ise ciddi bir azalış göze çarpmaktadır.



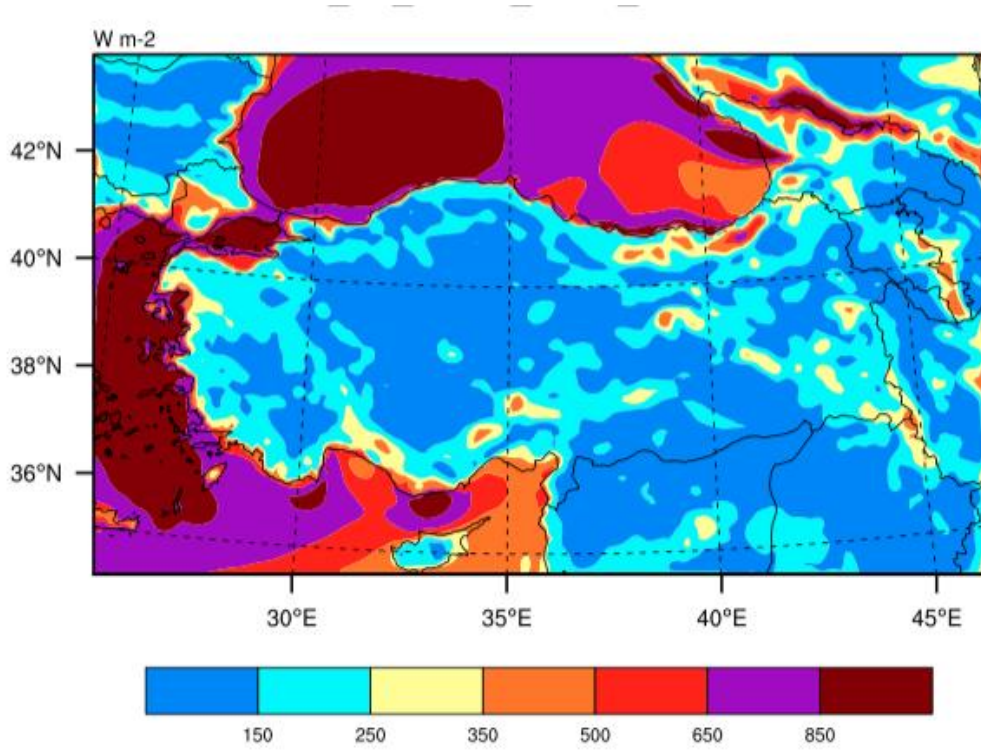
Şekil 3.73 : 80 m RCP 8.5 senaryosu 2071-2100 dönemi rüzgar enerjisi yoğunluğu.



Şekil 3.74 : 80 m RCP 8.5 senaryosu 2071-2100 dönemi rüzgar enerjisinin % değişimi.

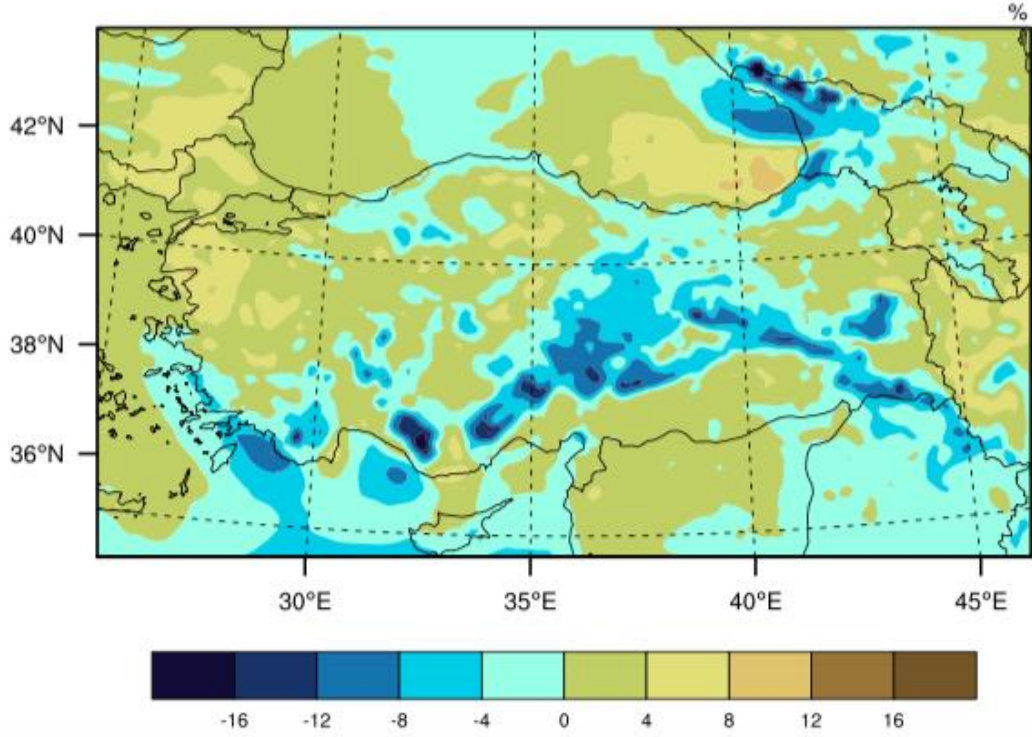
3.3.4 RCP 8.5 senaryosu 200 m yükseklikteki rüzgar potansiyeli analizi

200m yükseklik şu an prototip denemeler hariç kullanılan bir yükseklik olmamasına rağmen çok kısa sürede ölçüm dataları ve türbin hub yüksekliklerinin görüleceği bir seviyedir. Rüzgar hızının yükseklikle logaritmik olarak artması ve rüzgar enerjisi yoğunluğununda hızın kübü ile orantılı olmasından dolayı rüzgar enerjisi yoğunluğu her 3 dönemde de özellikle denizler üzerinde oldukça artacaktır (Şekil 3.75).



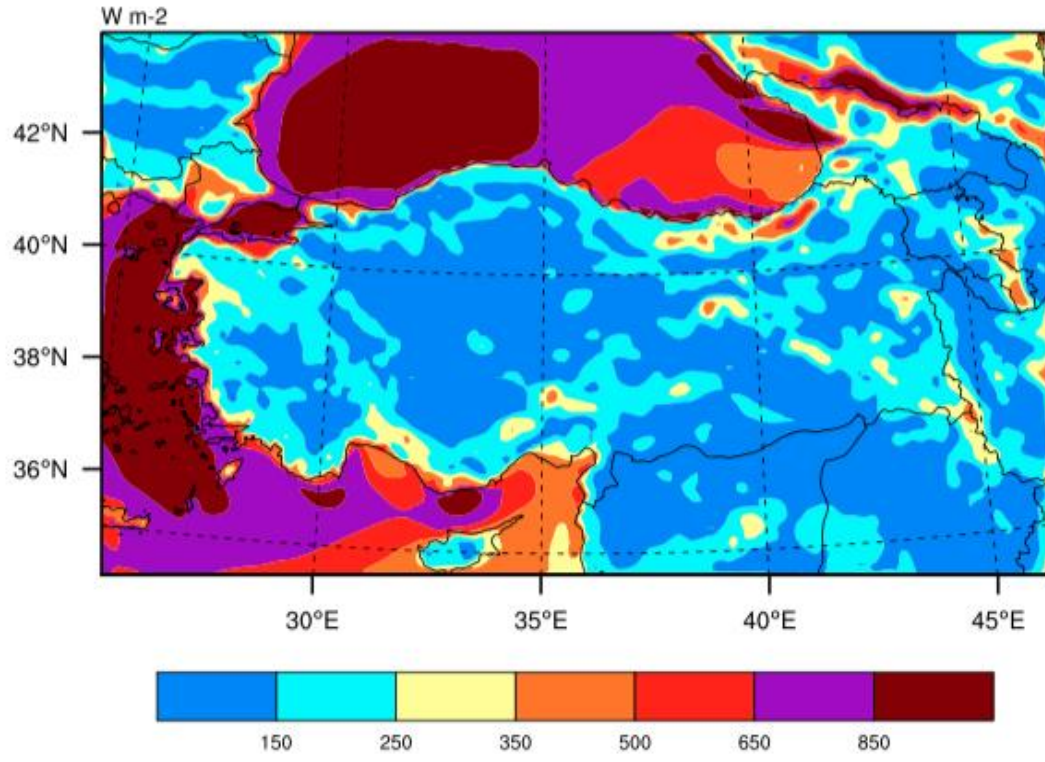
Şekil 3.75 : 200 m RCP 8.5 senaryosu 2021-2040 dönemi rüzgar enerjisi yoğunluğu.

RCP 8.5 senaryosunun simülasyon sonuçları incelendiğinde rüzgar enerjisi yoğunluğundaki değişim her dönem için daha belirgindir. Şekil 3.76’da gösterildiği gibi özellikle batı bölgelerimizde rüzgar enerjisi yoğunluğu %4 ila %12 arasında artmıştır. Orta Karadeniz ve Akdeniz hariç bütün denizlerimizde rüzgar potansiyeli artmıştır. Kara üzerinde batı Toroslar ve Adana- Malatya- Sivas hattı hariç rüzgar enerjisi yoğunluğu artmıştır. Çanakkale, Soma ve Trakya bölgelerimizde rüzgar potansiyeli artışı %8 mertebelerindedir.

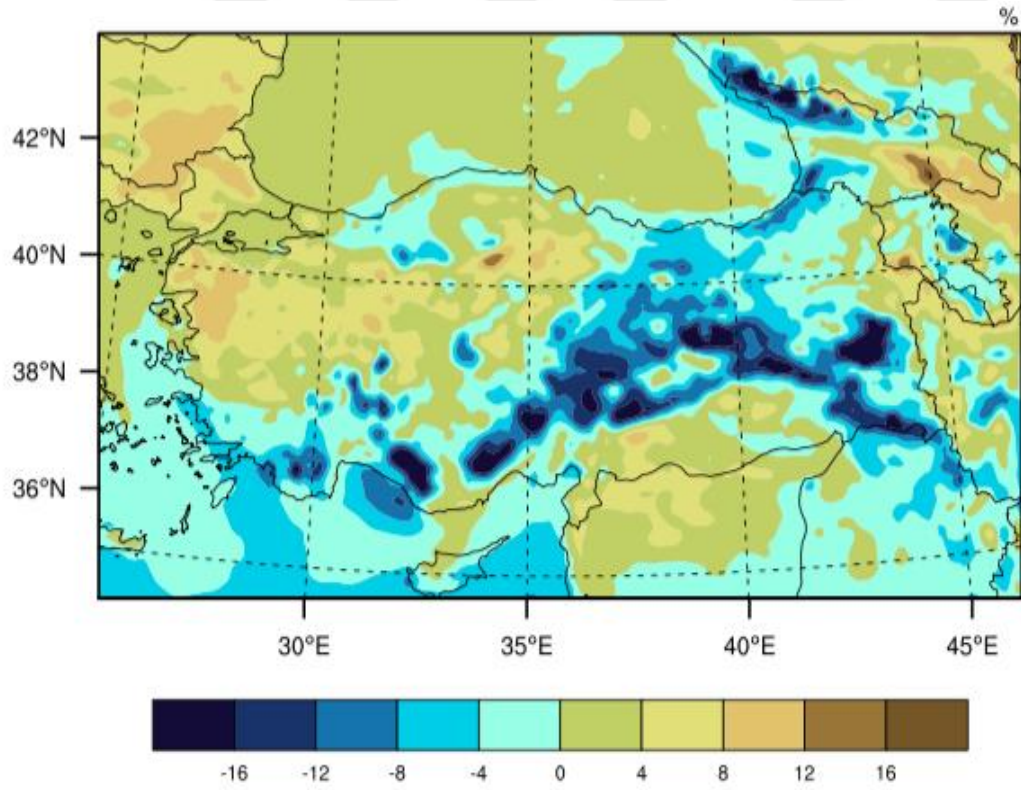


Şekil 3.76 : 200 m RCP 8.5 senaryosu 2021-2040 dönemi rüzgar enerjisinin % değişimi.

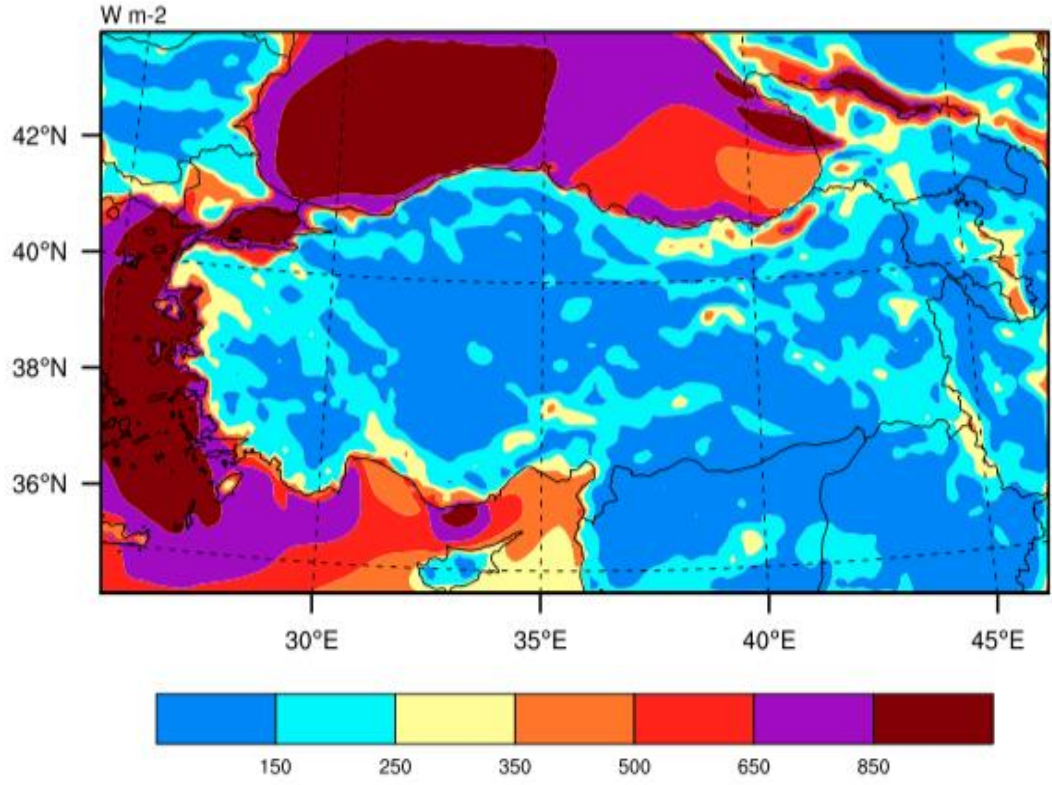
Ege denizi ve Karadeniz'in batısı genel durumu gözetirken, denizlerde değişim Sadece batı Akdeniz üzerinde Antalya körfezinin açıklarında 2071-2100 döneminde lokal azalışlar olarak görülecektir (Şekil 3.77). Yine en önemli değişim Doğu Karadeniz'in kıyı çizgisi boyunca rüzgar enerjisi yoğunluğunun 80m seviyesine göre bir üst kategoride değerlendirilmesi olacaktır (Şekil 3.79). Model sonuçlarında kara üzerindeki değişim bu dönemde de net olmamakla beraber, Toroslar ve civarında son dönemde bir azalma görülebilmektedir. Şekil 3.78 ve Şekil 3.79 son 2 dönem rüzgar enerjisi değişimleri incelendiğinde son dönemdeki artışın bir önceki döneme göre değişimi daha fazladır. Artışlar %12 ve üzerinde iken, azalış miktarları da yine %12 ve üzeri değerlerdedir. Sonuçların gösterdiği üzere bölgeler arasında ciddi değişim farklılıkları olması beklenmektedir. Çanakkale, Soma ve Edremit bölgesi ile Kırklareli ve çevresi rüzgar hızlarında artışların en fazla olacağı yerler olarak son dönemde dikkat çekmektedir. Ege denizi üzerinde de artışlar %12 ve üzerinde iken, Akdeniz'de ciddi azalışlar bu dönemdeki en önemli gelişmelerdir.



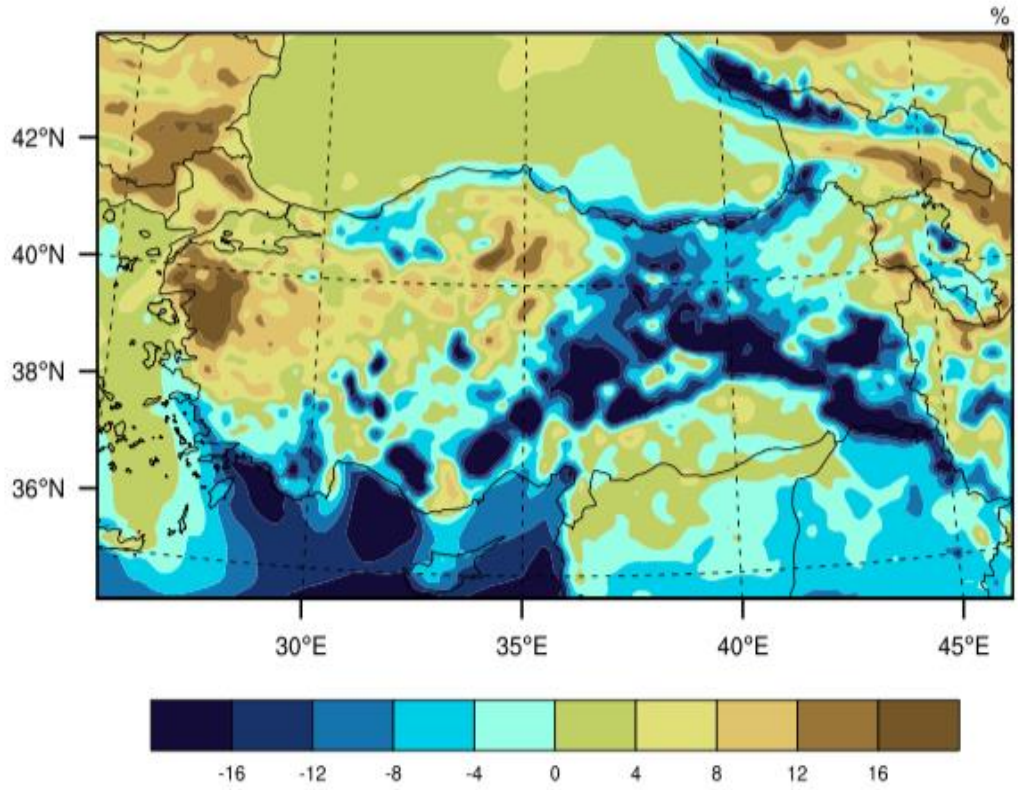
Şekil 3.77 : 200 m RCP 8.5 senaryosu 2041-2070 dönemi rüzgar enerjisi yoğunluğu.



Şekil 3.78 : 200 m RCP 8.5 senaryosu 2041-2070 dönemi rüzgar enerjisinin % değişimi.



Şekil 3.79 : 200 m RCP 8.5 senaryosu 2071-2100 dönemi rüzgar enerjisi yoğunluğu.



Şekil 3.80 : 200 m RCP 8.5 senaryosu 2071-2100 dönemi rüzgar enerjisinin % değişimi

3.4 WAsP Modeli ile Sonuçların İncelenmesi

WAsP modeli rüzgar enerjisi araştırmaları için Danimarka Teknik Üniversitesi tarafından geliştirilmiş bir modeldir. Model çalışmasında öncelikle gözlem datası, referans datası, ölçüm direği ve model sonuçları incelenmiştir. Bu modelle 10km çözünürlüklü iklim datası tek bir gridden çıktı alınarak, potansiyeli yüksek olan Bandırma ve çevresi için analiz edilerek gelecekte nasıl bir değişim göstereceği incelenmiştir. Aynı bölge içinde kalan yakın tarihte ölçümü gerçekleştirilmiş bir nokta ile model sonuçları incelenmiştir. Ayrıca şu an da kurulu bir santralde bir rüzgar gülü noktası seçilerek bütün bu değişkenlerin nasıl bir değişim göstereceği aynı nokta için gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 : Ölçüm Noktalarının Özellikleri.

Koordinatlar	Enlem	Boylam	Ölçüm yüksekliği	Yükseklik	Ölçüm Aralığı	Ölçüm Zaman Aralığı
Bandırma MGM İst.	584648	4465027	10 m	59 m	Ocak1966- Aralık2000	Saatlik
Ölçüm Dir.	-	-	65 m	200 m	Aralık2013- Ocak2015	10 Dakikalık
Simülasyon Grid Nok.	601699	4472023	80-200m	195 m	1970-2000, 2020-2100	6 Saatlik
Rüzgar Gülü	600943	4469774	80 m	676 m	-	-

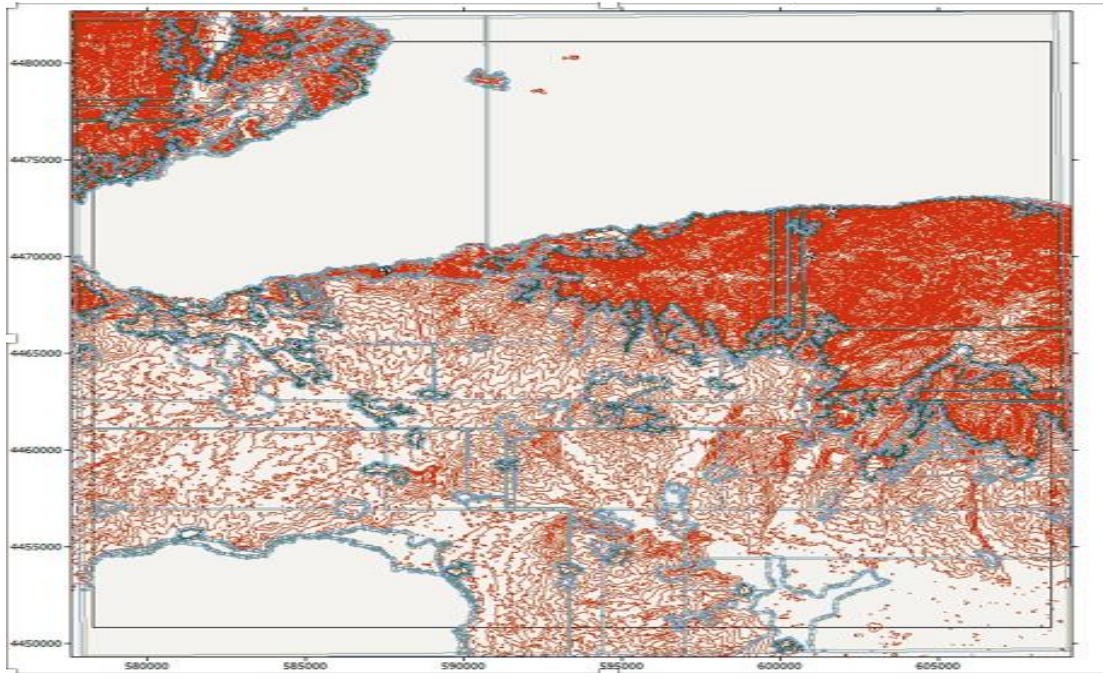
WAsP modeli ile 10 km çözünürlüklü simülasyon sonuçları, mikro ölçek model yardımıyla lokal ölçekte rüzgar potansiyelinin nasıl değişeceği incelenmiştir. Seçilen pilot bölge Türkiye’de rüzgar potansiyeli açısından yüksek değerlere sahip, arazi kullanımı ve ulaşım yönünden santral kurulumuna oldukça elverişli bir yerdir. Şekil 3.81’de gösterildiği gibi sarı puntolarla gösterilen yerler, çalışılan alanın sınırlarını göstermektedir. Kırmızı punto (Bandırma MGM İstasyonu) Meteoroloji Genel Müdürlüğüne ait 17114 no’lu istasyondur. Yeşil punto (Ölçüm direği) bölgede ölçüm yapan yatırımcı bir firmaya ait ölçüm direğinin olduğu yerdir. Mavi nokta

(Simülasyon grid noktası) 10 km çözünürlüklü bölgesel iklim modelinin seçilen alan içinde bulunan grid noktasıdır. Beyaz punto (Rüzgar Gülü) ise çalışmaları değerlendirmek için yükseltisi fazla olan referans noktamızdır. Şekil 3.82’de seçili pilot bölgenin model haritası gösterilmiştir. Kırmızı renkteki çizgiler eş yükseltileri, yeşil renkteki çizgiler ise pürüzlülük değerlerini göstermektedir.

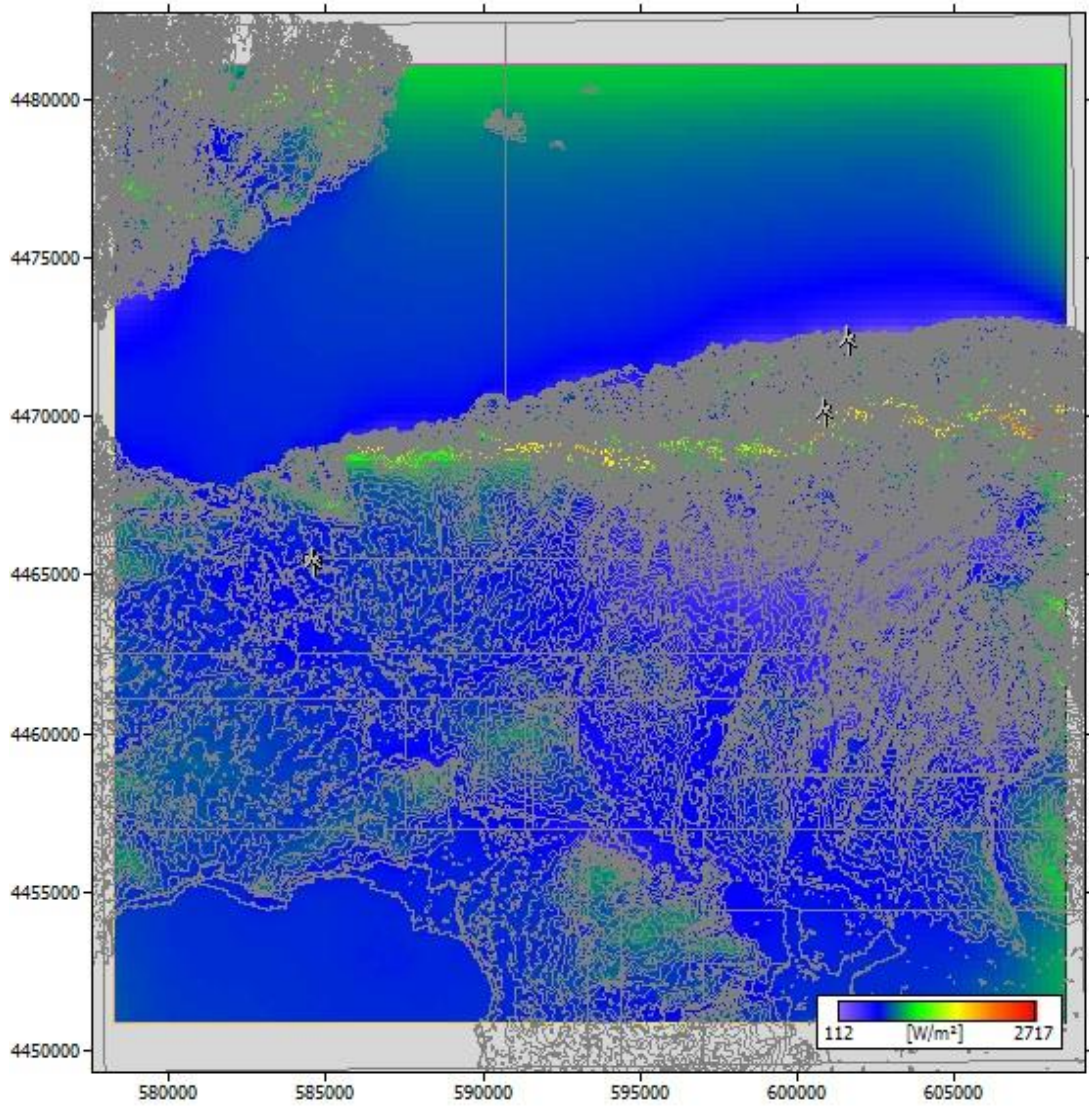


Şekil 3.81 : Bandırma Harita.

Çalışmada meteorolojik ölçüm istasyon verisi, ölçüm direği verisi ve grid noktasındaki değerler, bulundukları noktalara kendi aralarında ve farklı yüksekliklerde taşınmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

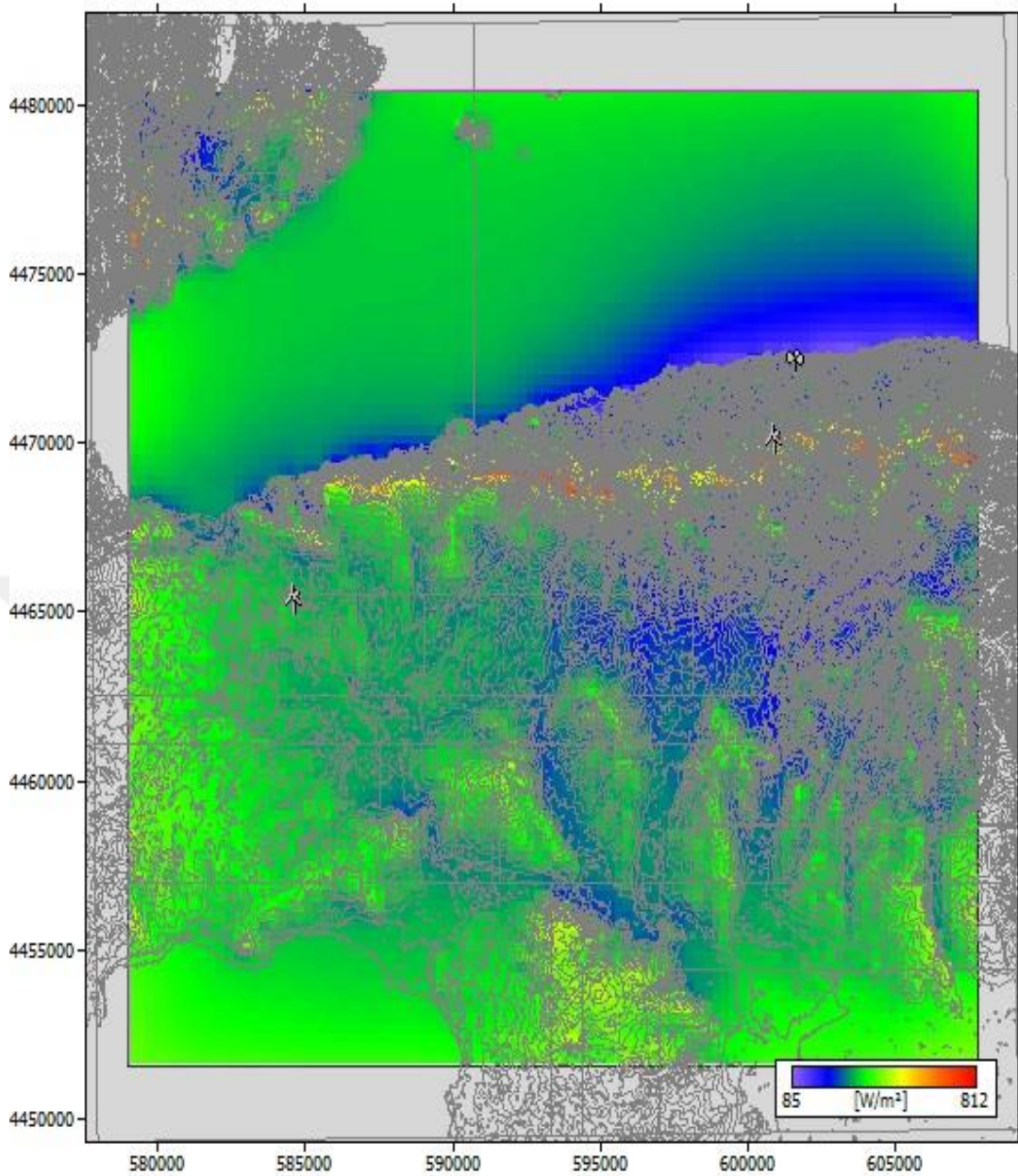


Şekil 3.82 : Bandırma WAsP Harita.



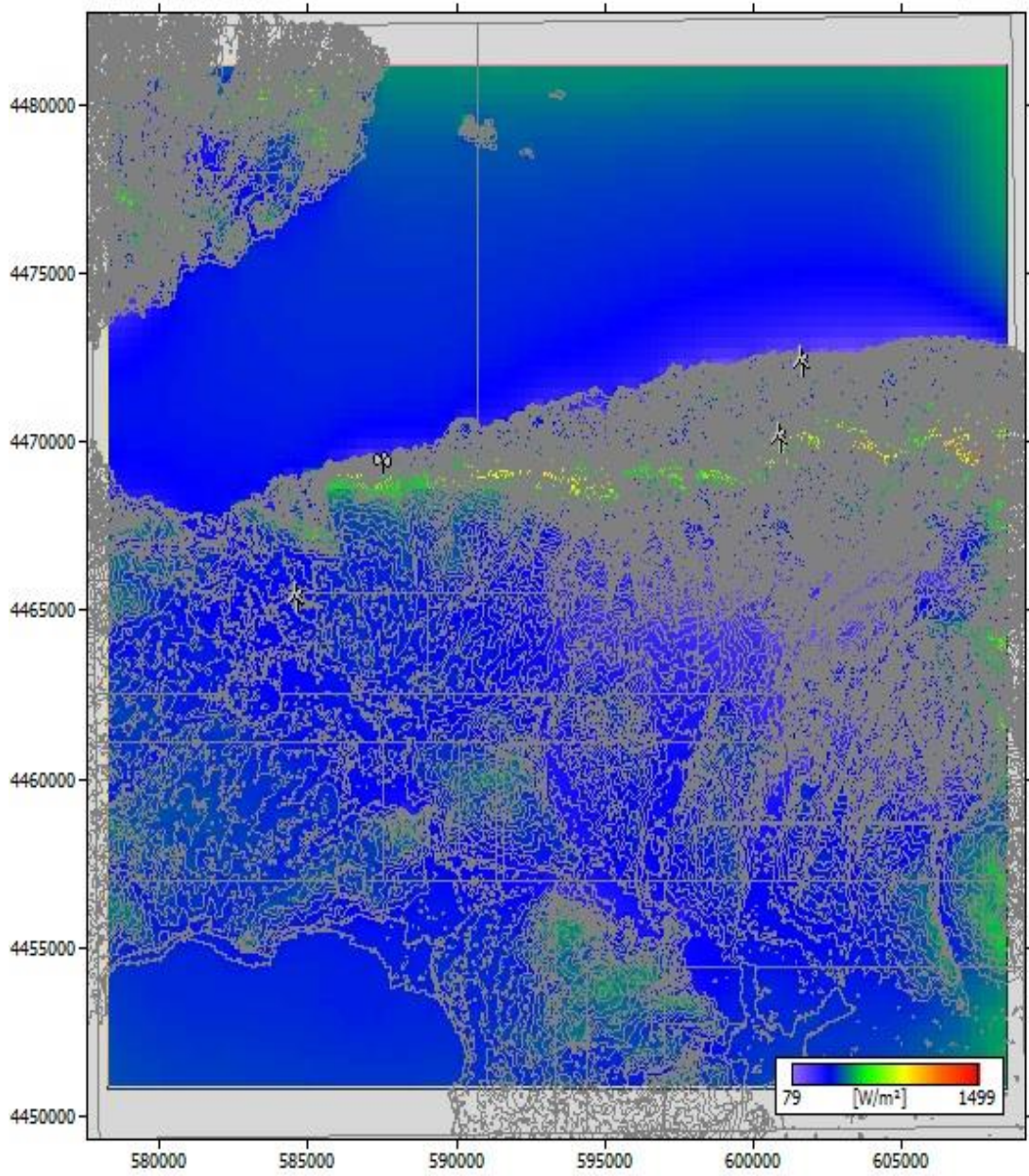
Şekil 3.83 : Bandırma MGM 17114 no’lu istasyonun Rüzgar Enerjisi Yoğunluğu.

Şekil 3.84’de referans senaryosu 1971-2000 yılları arasındaki grid sonucunun rüzgar enerjisi yoğunluğu gösterilmiştir. Grid noktası 80 m yüksekliktedir. Grid noktasının bulunduğu yer rüzgar hızı ve potansiyel değeri düşük bir lokasyondur. Grafik detaylı incelendiğinde MGM istasyon ve grdi noktasının olduğu alanlar ortalamının üstünde WED değerlerini gösterirken, rüzgar gülünün olduğu noktada 700 W/m^2 - 800 W/m^2 gibi yüksek rüzgar potansiyeli görülmektedir. Sahil şeridinde rüzgar potansiyeli düşük iken, açık deniz de rüzgar enerjisi potansiyeli 400 W/m^2 değerlerindedir. Bölgede rüzgar potansiyeli araştırması yapmak üzere yatırımcı bir firmadan alınan yaklaşık 2 senelik rüzgar datası ile bölgenin potansiyeli incelenmiştir.



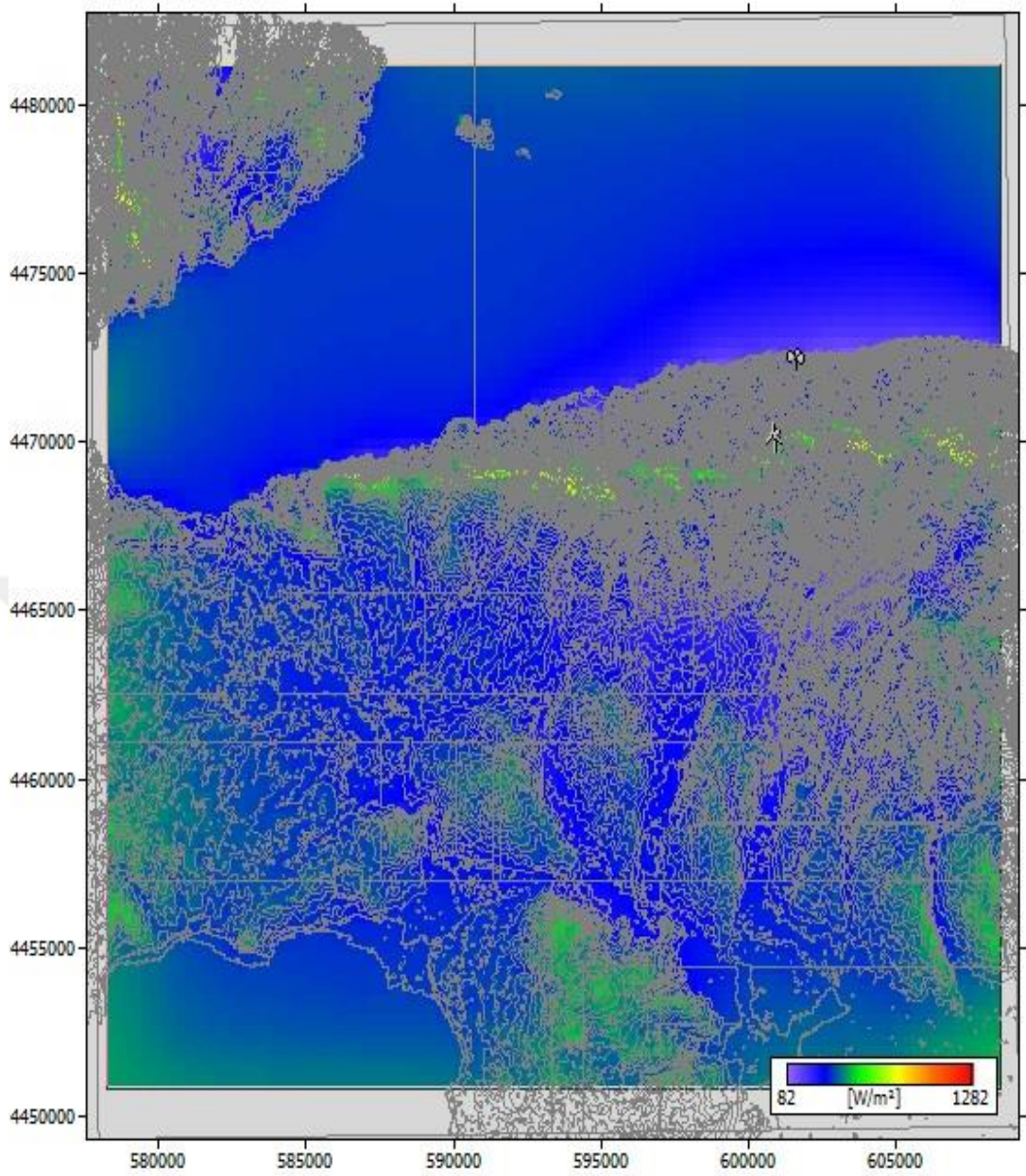
Şekil 3.84 : Bandırma Referans senaryosu 1971-2000 dönemi Rüzgar Enerjisi Yoğunluğu.

Ölçüm direğinin potansiyeli yüksek bölgenin oldukça batısından ve şehir merkezine yakın olmasına rağmen, model sonucu oldukça yüksek potansiyel değerleri göstermektedir. 65 m'deki ölçüm direği 80 m'ye taşınması sonucu rüzgar gülünün olduğu bölgede rüzgar enerjisi yoğunluğu 1000 W/m^2 ve üzerinde sonuçlar vermektedir. Yükseltinin daha da arttığı bölgelerde 1500 W/m^2 gibi çok yüksek rüzgar enerjisi yoğunlukları görülmektedir. Ölçüm direği rüzgar gülünün olduğu noktaya taşındığında ise rüzgar hızı 8.81 m/sn , rüzgar enerjisi yoğunluğu ise 908 W/m^2 olmaktadır.



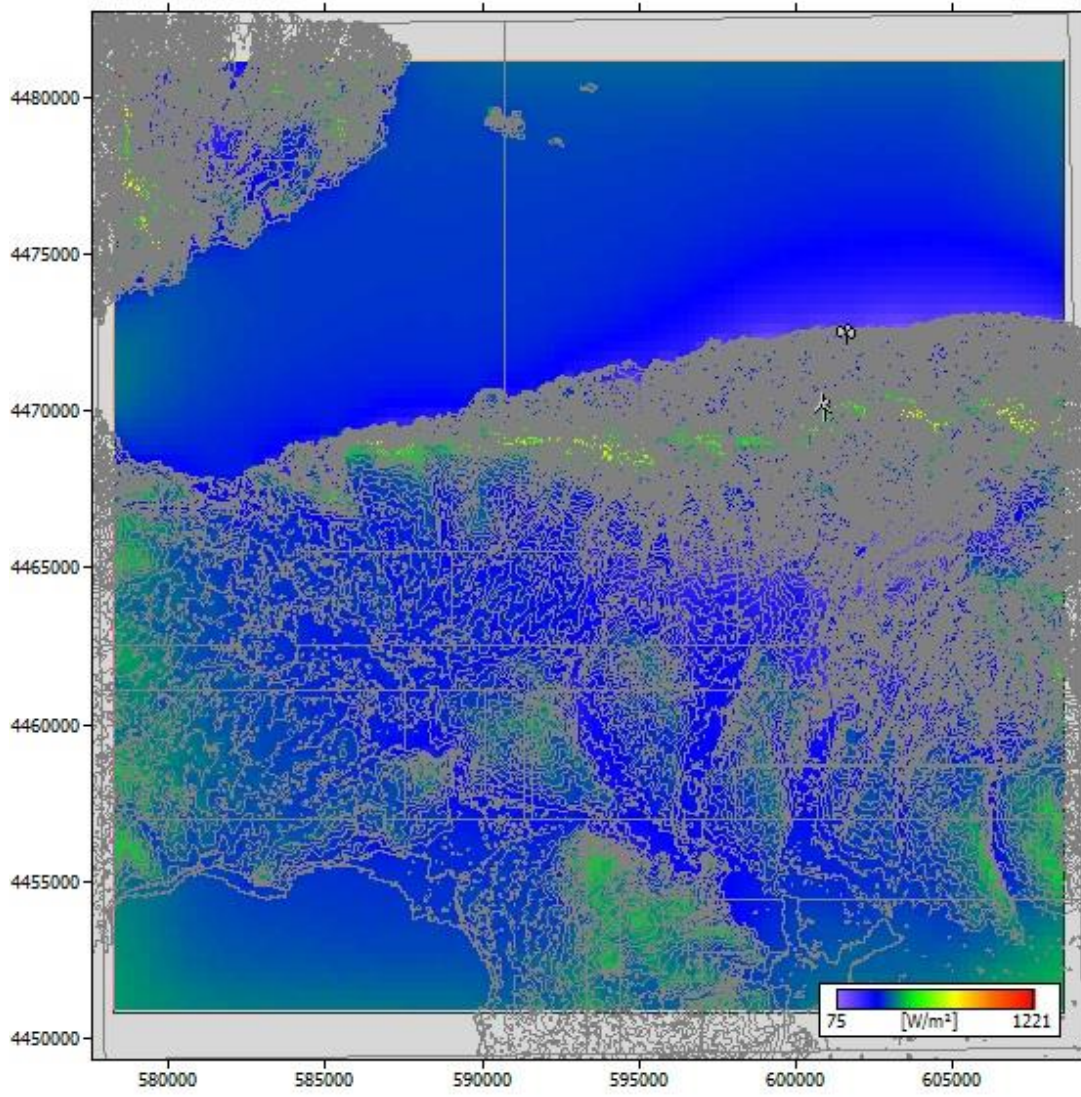
Şekil 3.85 : Bandırma Ölçüm direği Rüzgar Enerjisi Yoğunluğu.

RCP 4.5 simülasyon sonuçları son dönemde grid noktamızda 80 m yükseklikte 6.14 m/s ortalama rüzgar şiddeti değerine ulaşmıştır. Bu noktada yine 258 W/m^2 rüzgar enerjisi potansiyeli değeri alacağını göstermektedir. Grid noktamız rüzgar gülünün olduğu lokasyona taşındığında ise ortalama rüzgar şiddeti 6.75 m/sn'ye çıkarken, rüzgar enerjisi yoğunluğu 353 W/m^2 olmaktadır. Bölge içinde rüzgar enerjisi yoğunluğu yine 1000 W/m^2 ve üzerine çıkmaktadır.



Şekil 3.86 : Bandırma RCP 4.5 senaryosu 2071-2100 dönemi Rüzgar Enerjisi Yoğunluğu.

RCP 8.5 senaryosu son dönem simülasyon sonuçlarına göre rüzgar şiddeti ve rüzgar enerjisi değeri artacaktır. Fakat bu artış RCP 4.5 senaryo sonucuna göre daha düşüktür. Bunun sebebi tek bir gridden sonuç almamız ve bu gridin çevresindeki gridlere göre daha düşük rüzgar şiddeti değerleri göstermiş olmasındandır. Rüzgar şiddeti grid noktasında 6.08 m/s, rüzgar gülü noktasında ise 6.65 m/s'ye çıkmaktadır. Rüzgar enerjisi potansiyeli ise son dönem için 254 W/m² değerinden 344 W/m² değerine çıkmaktadır.



Şekil 3.87 : Bandırma RCP_85 2071-2100 Rüzgar Enerjisi Yoğunluğu.

WAsP modeli ile yaptığımız bütün taşıma işlemleri, rüzgar şiddeti ve rüzgar enerjisi potansiyeli değerleri Tablo 3.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2 : WAsP Model Sonuçları.

WAsP Kullanılanlar	Rüzgar Hızı Ort.(m/s)	Güç Yoğunluğu (W/m ²)
Bandırma Gözlem 10 m	4.41	146
Bandırma Gözlem 80 m	7.68	655
Bandırma Gözlem Gride Taşıma 10 m	2.95	44
Bandırma Gözlem Gride Taşıma 80 m	7.71	731
Bandırma Referans Grid 80 m	5.83	229
Bandırma Ölçüm Dir. 65m	8.36	711
Bandırma Gridi Göz. Taş. 80 m	5.57	205
Bandırma Ölç. Dir. Göz. Taş. 80 m	6.68	371
Bandırma Ölç. Dir. Gride Taş. 80 m	6.32	371
RCP 4.5 2021-2040 80 m	6.03	244
RCP 4.5 2041-2070 80 m	5.88	231
RCP 4.5 2071-2100 80 m	6.14	258
RCP 8.5 2021-2040 80 m	6.09	250
RCP 8.5 2041-2070 80 m	5.93	237
RCP 8.5 2071-2100 80 m	6.08	254
Gözlemi Rüzgar Gül. 80 m Taş.	10.46	1878
Bandırma Ref. Rüzgar Gül. 80 m Taş.	6.48	328
Bandırma Ölç. Dir. Gözleme 80 m Taş.	8.81	908
RCP 4.5 2021-2040 Rüz. Gül 80 m Taş.	7.78	612
RCP 4.5 2041-2070 Rüz. Gül 80 m Taş.	7.67	581
RCP 4.5 2071-2100 Rüz. Gül 80 m Taş.	7.96	627
RCP 8.5 2021-2040 Rüz. Gül 80 m Taş.	7.93	622
RCP 8.5 2041-2070 Rüz. Gül 80 m Taş.	7.92	584
RCP 8.5 2071-2100 Rüz. Gül 80 m Taş.	7.74	588



4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada kaynak modellerin refreans dönemi ile olan uyumu ve farklılıkları incelenip gelecek dönem için 2 farklı parameter ile koşturulan model sonuçlarının nasıl bir cevap vereceği incelenmiştir. Başlangıç olarak Türkiye ve çevresi için yaptığımız literatür çalışmalarına benzer ve destekleyici sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca daha fazla detaylı ve mevsimsel analizler sonucu daha kapsamlı sonuçlara varılmıştır.

Sonuçları madde madde sıralamadan önce kaynak modellerin ve referans dönemi sonuçlarının potansiyeli yüksek bölgeleri benzer bir biçimde göstermesi gelecek için yapılan sonuçlar için olumlu geridönüşler almamıza sebep olmuştur. Kaynak modellerin ve referans dönemi için potansiyeli yüksek yerler olan Marmara denizinin güneyi (Bandırma ve çevresi), Çanakkale ve çevresi, İzmir ve çevresi, Hatay ve çevresi ile Samsun'un İç Anadolu'ya yakın yerleri ile Sinop- Bartın arasındaki yüksek potansiyele sahip bölgeler gelecekte de bu potansiyeli diğer yerlere göre daha fazla göstermeye devam edecektir. Ayrıca model topografik etkilerden dolayı Toroslar ve çevresi ile Doğu Karadeniz Dağları ve çevresi için yüksek potansiyel olduğunu göstermektedir. Fakat kaynak modellerin de belirttiği ve özellikle yükseklikten dolayı bu yerlerde günümüz teknolojisi ve maliyet hesaplarından dolayı santral kurulabilmesi zor olduğundan, ve sonuçların kaynak modellere göre hayli fazla olması modelin yanlılığını göstermektedir.

- Referans dönemi 80 m sonuçlarında bahar ayları birbirine yakın sonuçlar verirken, kış mevsiminde her 3 denizde rüzgar hızları yüksek, yaz mevsiminde ise Batı Akdeniz ve Ege denizinde daha yüksek değerlere sahiptir.

- Genel patern sonucu en iyi Anemos modeli ile yakalanırken, AWS True Power modelinin yüksek çözünürlüklü olmasından dolayı sonuçlar en az bu modelle benzeşmektedir.
- Detaylı sonuçlarda Ege denizi üzerinde modelimiz 0.5 ila 1 m/s, Karadeniz üzerinde 1m/s, Anamur-Kıbrıs arasında ise 0.5 m/s daha fazla ortalamaya sahiptir.
- Kara yüzeyinde potansiyelin yüksek olduğu yerler olan Çanakkale ve çevresi, Soma ve çevresi, Bandırma, Hatay, Sinop gibi yerlerde ortalama 1m/s ile 2 m/s arasında daha düşüktür.
- Potansiyelin az olduğu orta ve iç kesimlerde model sonucu kaynak modellere çok daha yakın sonuçlar göstermiştir.
- Modelin en kötü çalıştığı yer olan Doğu Karadeniz ve çevresinde rüzgar hızları oldukça fazla değerler göstermiştir.
- Genel akışa bakıldığında kış mevsiminde kara üzerinde güneyli akışlar, yaz mevsiminde kuzeyli akışlar görülmektedir.
- Bahar ayları daha sakin iken, ilkbaharda Ege denizi ve çevresinde kuzeybatılı, ilkbahar mevsiminde kuzeyli akışlar görülmektedir.
- Referans döneminde 200 m sonuçları incelendiğinde Batı Karadeniz üzerinde yüksek değerler görülmektedir. Ege civarı ve Akdeniz'in batısında yine artış diğer yerlere göre fazladır.
- Rüzgar enerjisi potansiyeli incelendiğinde potansiyel rüzgar hızları ile doğru bir şekilde ilerlemektedir. Hızların yüksek olduğu yerlerde potansiyel daha fazla iken, düşük olduğu yerlerde daha düşüktür. 200 m'de potansiyel 80 m sonuçlarına göre daha da artmaktadır.
- Model sonuçları incelendiğinde 2020-2040 dönemi için rüzgar hızlarında bazı bölgesel azalışlar vardır. Ege denizi ve üzerinde lokasyonel azalış göze çarpmaktadır. Karadeniz üzerinde bir değişiklik olmazken, Akdeniz'in batısında bir azalma vardır.
- Mevsimsel sonuçlara bakıldığında kara üzerinde Çanakkale Soma gibi yüksek potansiyel bölgelerde artış vardır ve bu artış iç bölgelere kadar uzamaktadır.
- Hatay ve çevresinde kışın ortalama rüzgar hızları artmaktadır.

- İç bölgelerde yazın artış en fazla iken, sonbahar mevsimi ortalamaların en düşük olduğu mevsimdir.
- Doğu Karadeniz üzerinde yazın rüzgar hızları azalmış ve 4m/s mertebelerine kadar gerilemiştir.
- Marmara bölgesinde kışın rüzgarların arttığı görülmektedir.
- Mevsimsel rüzgar yönlerine bakıldığında rüzgar yönünde bir değişiklik görülmezken, sıcaklıklarda referans dönemine göre bir artışın olduğu belirgindir.
- 2041-2070 döneminde en büyük değişim kış mevsiminde Karadeniz ve Kuzey Ege denizi üzerindeki ortalama rüzgar hızlarındaki artıştır.
- Son dönemde Ege denizindeki artış daha geniş bölgelere yayılırken, Kara üzerinde Batı Anadolu ve çevresi için az da olsa local artışlar görülmektedir.
- 200 m sonuçları incelendiğinde genel beklenti üzerine rüzgar hızları artmaktadır.
- Karadenizin batısı ve tüm Ege denizinde ortalama rüzgar şiddeti 2021-2040 dönemi için 9m/s civarındadır. Batı Akdeniz’de rüzgar hızları artış göstermektedir.
- Kara yüzeyinde yazın en fazla rüzgar ortalamasına sahip mevsim olurken, kışın diğer mevsimlere göre en düşük ortalamaya sahiptir.
- Rüzgar yönleri 80 m yüksekliğe göre benzer sonuçlar göstermektedir.
- Rüzgar potansiyeli incelendiğinde 2071 yılına kadar local azalışlar ve artışlar gösteren Ege denizinde 2070 dönemi sonrası özellikle orta ve kuzey kesimlerin de büyük bir artış görülmektedir.
- 200 m rüzgar enerjisi potansiyeli de genel olarak bir alt referans değeri sonuçlarına benzerdir.
- RCP 8.5 senaryosu için elde edilen simülasyonlar genel durumu sürdürmekte, Ege denizi ve Batı Akdeniz için bir artış görülmektedir.
- Genel rüzgar ortalaması RCP 4.5 senaryosuna göre artmaktadır ve özellikle son dönemde denizler üzerinde yüksek ortalama değerler görülmektedir.
- Yaz mevsimi bu modelde de en yüksek hızlara sahip iken artış iç bölgelere kadar ilerlemektedir.
- 200 m rüzgar potansiyeli de özellikle denizler üzerinde oldukça yüksek değerlere çıkmaktadır.

- Anomaliler incelendiğinde tüm dönemler boyunca Yüksek Potansiyeli olan bölgelerde rüzgar hızları artışı görülmektedir.
- Güneydoğu Anadolu Bölgesinde artış RCP 8.5 senaryosunda RCP 4.5 senaryosuna göre daha fazla ve belirgindir.
- Ege denizinde rüzgar hızları son dönemde artmıştır.
- Akdeniz’de rüzgar hızları oldukça büyük yüzdeli değerler göstermektedir.
- RCP 8.5 senaryosunun simülasyon son dönem (2071-2100) sonuçları Soma bölgesi ve çevresinde rüzgar hızı artışının en fazla olacağı yerler olduğu göstermektedir.
- Kırklareli ve çevresi gelecekte rüzgar hızının oldukça artacağı alanlar arasındadır.
- Trakya bölgesi ile Marmara Bölgesi tüm dönemlerde rüzgar hızlarının artacağı alanlar olacağı görülmektedir.
- WAsP modeli ile local ölçekte incelediğimiz sonuçlar genel patern ile bariz farklılıklar göstermektedir.
- İstasyon ölçümü ortalaması 10 m’de 4.41 m/s, 80 m’de ise 7.68 m/s’dir. Grid noktasında referans senaryosu 80 m yükseklikte rüzgar şiddeti ise 5.83m/s’dir. Daha kuzeybatıdaki bir ölçüm direği sonucu ise 65 m’de 8.36 m/s ve gride taşınan değer 6.32 m/s’dir.
- Grid noktasındaki sonuç ölçüm noktasına göre yaklaşık 2.5 m/s daha azdır. Ölçüm direğine göre ise 1.5 m/s daha azdır.
- Referans değerine göre bu dönem tahmin altında kalmıştır.
- Her iki model sonuçları incelendiğinde, her dönem artış gözlenirken en fazla artış RCP 8.5 senaryosunun son döneminde (2071-2100) gerçekleşmiştir. Bu sonuçlara göre potansiyel olarak da genel anlamda ortalamanın altında görünse de grid noktasının yeri ve yüksek potansiyel yerlerinde sonuçlar incelendiğinde gelecekte bu bölgede potansiyelin artacağı öngörülmektedir.

Yapılan bu çalışma sonucu, şu an potansiyeli yüksek potansiyelli bölgeler diye tanımlanan sahaların önümüzdeki süreçte de bu durumu koruyacağı, Ege denizine yakın lokasyonlardaki rüzgar hızındaki artışından dolayı potansiyellerinin de artacağı her 2 senaryonun son dönem simülasyon sonuçlarına göre bu artışın rüzgar şiddeti olarak %5, rüzgar enerjisi yoğunluğu olarak ise %15 ve üzerinde olacağı simülasyon

sonuçlarında gösterilmiştir. Yine rüzgar analiz programı WASP ile yapılan mikro analiz sonucu ile bu artışın mikro ölçekteki davranışı da analiz edilmeye çalışılmıştır. İklım çalışmalarının 100 yıllık simülasyon sonuçları olması ve belirsizliklerinin başka modellerin sonuçları ile karşılaştırılarak artı ve eksilerinin belirlenmesi ile bu projeksiyonların doğruluğunun artırılması bu alandaki çalışmalar için önemlidir. Bu noktada büyümesini sürdüren ve sürdürmesi beklenen rüzgar enerjisi sektöründe iklim projeksiyonlarını, Türkiye ve çevresinde başka modeller ile yaparak çalışmaların artırılmasını kendimize hedef olarak koymaktayız.





KAYNAKLAR

Barstad, I., Sorteberg, A., Dos-Santos Mesquita, M., (2012) Present and future offshore wind power potential in northern Europe baed on downscaled global climate runs with adjusted SSt and sea ice cover Renew En 44:398-405

Bichet, A., Wild, M., Follini, D., Schar, C., (2012) Causes for decadal variations of wind speed over land: Sensitivity studies with a global climate model. Geophysical research letters, Vol. 39 L11701, doi:10.1029/2012GL051685

Bloom, A., Kotroni, V., Lagouvardos, K., (2008) Climate change impact of wind energy availability in the Eastern Mediterranean using the regional cli climate model PRECIS. Nat Hazards Earth Syst Sci 8:1249–1257

Breslow, P. B., Sailor, D.J., (2001) Vulnerability of wind power resources to climate change in tje continental United States. Renewable Energy 27 (2002) 585–598

COP 21. (2016) Sustainable Innovation Forum 2015. Retrived March 25, 2016, from <http://www.cop21paris.org/about/cop21/>

Dünya Enerji Konseyi, (2014) Enerji Raporu 2013 (ISSN: 1301-6318). Ankara : Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi. Retrieved March 20, 2016, from <http://www.dektmk.org.tr/incele.php?id=MzA2>

EWEA. (2010) Wind in power 2009 European statistics. The European Wind Energy Association. Retrieved March 27, 2016, from <https://windeurope.org/about-wind/statistics/european/wind-in-power-2009/>

EWEA. (2011) EU Energy Policy to 2050. Achieving 80-95% emission reductions: The European Wind Energy Association. Retrieved March 27, 2016, from <http://www.ewea.org/statistics/>

EWEA. (2013) 2030: the next steps for EU climate and energy policy: The European Wind Energy Association. Retrieved March 27, 2016, from <http://www.ewea.org/statistics/>

- EWEA.** (2013) Eastern winds Emerging European wind power markets: The European Wind Energy Association. Retrieved March 27, 2016, from <http://www.ewea.org/statistics/>
- EWEA.** (2014) Wind energy scenarios for 2020: The European Wind Energy Association. Retrieved March 27, 2016, from <http://www.ewea.org/statistics/>
- EWEA.** (2016) Wind in power 2015 European statistics: The European Wind Energy Association. Retrieved March 27, 2016, from <http://www.ewea.org/statistics/>
- Giorgi, F. et. all** (2012) RegCM4: model description and preliminary tests over multiple CORDEX domains. Climate Research. Vol. 52: 7–29, 2012 doi: 10.3354/cr01018
- GWEC.** (2014) Global Wind Energy Outlook 2014: Global Wind Energy Council. Retrieved April 28, 2016, from <http://www.gwec.net/publications/global-wind-energy-outlook/>
- GWEC.** (2015) Global Wind Report 2015: Global Wind Energy Council. Retrieved April 28, 2016, from <http://www.gwec.net/publications/global-wind-report-2/>
- Harrison, G. P., , Cradden, L. C., Chick, J. P.,** (2008) Preliminary Assessment of Climate Change Impacts on the UK Onshore Wind Energy Resource, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 30:14-15, 1286-1299, DOI: 10.1080/15567030701839326
- Hueging, H., Haas, R., Born, K., Jacob, D. and Pinto, J. G.** (2013) Regional changes in wind energy potential over Europe using regional climate model ensemble projections. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 52 (4). pp. 903-917. ISSN 1558-8432 doi: 10.1175/JAMC-D-12-086.1 Available at <http://centaur.reading.ac.uk/32737/>
- IPCC .** (1990) First Assesment Report. Intergovernmental Panel on Climate Change. Retrieved March 19, 2016, from <http://www.ipcc.ch/activities/activities.shtml>
- IPCC.** (2001) Third Assesment Report. Intergovernmental Panel on Climate Change. Retrieved March 19, 2016, from <http://www.ipcc.ch/activities/activities.shtml>
- IPCC.** (2007) Fourth Assesment Report. Intergovernmental Panel on Climate. Retrieved March 19, 2016, from <http://www.ipcc.ch/activities/activities.shtml>
- IPCC.** (2013) Fifth Assesment Report. Intergovernmental Panel on Climate Change. Retrieved March 19, 2016, from <http://www.ipcc.ch/activities/activities.shtml>

- Kjellström, E., Nikulin, G., Hansson, U., Strandberg, G., Ullerstig, A.,** (2011) 21st century changes in the European climate: uncertainties derived from an ensemble of regional climate model simulations. *Tellus*, 63A, 24–40
- Krismer, T. R., Giorgetta, M. A. and Esch, M.** (2013) Seasonal aspects of the quasi-biennial oscillation in the Max Planck Earth System Model and ERA 40. *J. Adv. Model. Earth Syst.*, 5, 406–421, doi:10.1002/jame.20024. Retrieved February 17, 2014, from <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jame.20024/full>
- Kuntasal, Ö.O. (t.y.)** Impact of Climate change in Turkey: Observations and projections. UNDP. Retrived April 21, 2016, from http://www.cgseurope.net/UserFiles/file/Ankara%20workshop_june%20201/presentations/Oznur%20Konutsal.pdf
- Malkoç Y, (t.y.)** Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyeli ve Enerji Profilimizdeki Yeri. Retrieved June 12, 2016, from <http://www.solaracademy.com/menus/Turkish-Wind-Data.023202.pdf>
- MET OFFICE, (t.y.)** Climate: Observations, projections and impacts Turkey. Retrieved April 8, 2016, from <http://www.metoffice.gov.uk/media/pdf/l/k/Turkey.pdf>
- MMO.** (2015) Ocak 2015 itibariyle Türkiye'nin Enerji Görünümü Raporu. TMMOB. Retrieved March 15, 2016, from http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/a5a69d7ec06d9cd_ek.pdf=1522
- Nolan, P., et al** (2012) Simulating climate change and its effects on the wind energy resource of Ireland. *Wind Energy* 15:593–608
- Önol B., Semazzi H. M.,** (2008) Regionalization of Climate Change Simulations over the Eastern Mediterrean, *Journal of Cimate* V.22
- Önol B., Ünal Y.S.,** (2011) Assessment of Climate Change Simulations for Present and future Periods over Climate Zones of Turkey. *Aeronautics & Astronautics Faculty, Meteorological Engineering*
- Pinto, J. G., et. al.** (2009) Estimation of wind storm impacts over Western Germany under future climate conditions using a statistical-dynamical downscaling approach. *Tellus* (2010), 62A, 188-201
- Pryor, S.C., Barthelmie R.J., Kjellström, E.,** (2005) Potential climate change im-pact on wind energy resources in northern Europe: analyses using a regional cli- mate model. *Climate Dyn.*, **25**, 815-835.
- Pryor, S.C., Schoof, J.T., Barthelmie, R.J.,** (2006) Winds of change: Projections of near-surface winds under climate change scenarios. *Geophys Res Lett* 33:L11702
- Pryor, S.C., Barthelmie, R.J.** (2010) Climate change impacts on wind energy: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **14(1)**, 430-437.

- Pryor, S.C., Schoof, J.T.** (2010) Importance of the SRES in projections of climate change impacts on near-surface wind regimes. *Meteorologische Zeitschrift*, **19(3)**, 267-274.
- Pryor, S.C., et al.** (2012) Analyses of possible changes in intense and extreme wind speeds over Northern Europe under climate change scenarios. *Clim Dyn* 38:189–208
- Räisänen, J., Hansson, U., Ullerstig, A., Döscher, R., Graham, L.P., Jones, C., Meier, M., Samuelsson P., Willén, U.,** (2004) European climate in the late 21st century: regional simulations with two driving global models and two forcing scenarios. *Climate Dyn.*, 22, 13-31.
- Segal, M., Pan, Z., Arritt, R.W., Takle, E.S.,** (2001) On the potential change in wind power over the US due to increase of atmospheric greenhouse gases. *Renewable Energy* 24 (2001) 235–243
- SRES.** (2000) IPCC Special Report Emissions Scenarios Summary for Policymakers. UNEP. Retrieved April 25, 2016 from <https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/sres-en.pdf>
- Şen,Ö.L.** (2013) A holistic view of climate change and its impacts in Turkey. IPC Sabancı University Stifling mercator initiative. Retrieved April 21, 2016, from <http://ipc.sabanciuniv.edu/en/wp-content/uploads/2012/09/A-Holistic-View-of-Climate-Change-and-Its-Impacts-in-Turkey.pdf>
- TEİAŞ.** (2012) Türkiye Elektrik Enerjisi 10 yıllık Üretim Kapasite Projeksiyonu. Retrieved March 23, 2016, from <http://www.teias.gov.tr/projeksiyon/KAPASITEPROJEKSIYONU2012.pdf>
- Türkeş M.,** (2002) İklim Değişikliği ve Sürdürülebilir Kalkınma Ulusal Değerlendirme Raporu. Retrieved March 8, 2016, from https://www.tubitak.gov.tr/tubitak_content_files/vizyon2023/csk/EK-7.pdf
- Tobin, I., et al.** (2015) Assessing climate change impacts on European wind energy from ENSEMBLES high-resolution climate projections: Climatic Change (2015) 128:99–112 DOI 10.1007/s10584-014-1291-0
- Van Vuuren, DP., Edmonds, J., Kainuma, M.L.T., Riahi, K., Thomson, A., Matsui T, Hurtt, G., Lamarque, J-F., Meinshausen, M., Smith, S., Grainer, C., Rose, S., Hibbard, KA., Nakicenovic, N., Krey, V., Kram, T.** (2011) Representative concentration pathways: An overview. *Climatic Change* doi: 10.1007/s10584-011-0148-z
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.** (2012). Türkiye'nin İklim Değişikliği Uyum Stratejisi ve Eylem Planı 2011-2023
- TUREB.** (2011) Türkiye Rüzgar Santralleri Atlası. Retrieved April 18, 2016, from <http://www.tureb.com.tr/yayinlar#>

- TUREB.** (2012) Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu Şubat 2012. April 18, 2016, from <http://www.tureb.com.tr/yayinlar#>
- TUREB.** (2016) Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu Ocak 2016. Retrieved April 18, 2016, from <http://www.tureb.com.tr/yayinlar#>
- TUREB.** (2016) Türkiye Rüzgar Santralleri Atlası. Retrieved April 18, 2016, from <http://www.tureb.com.tr/yayinlar#>
- YEGM,** (2006) Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası. Retrieved April 18, 2016, from http://www.eie.gov.tr/YEKrepa/REPA-duyuru_01.html
- Yürük, C.,** (2014). Earth SystemModel Predictions for 2015-2100 over Mediterranean basin. (Lisans tezi) Istanbul Technical University Department of Meteorological Engineering
- WWF.** (2014) Turkey's renewable power Alternative power Supply Scenarios for Turkey. WWF report. Retrived April 21, 2016, from http://awsassets.wwftr.panda.org/downloads/wwf_turkey_bnef_turkey_renewable_power_alternative_power_supply_scenarios_until_.pdf





ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Erkan YILMAZ

Doğum Yeri ve Tarihi: BAKIRKÖY 12.05.1989

Adres: KARTALTEPE FİLİZ SOK. NUR AP. B BLOK 10 D:23
BAKIRKÖY/İST

E-Posta: yilmazerkan1@itu.edu.tr, erkanyi12@gmail.com

Lisans: İTÜ METEOROLOJİ MÜHENDİSLİĞİ Bölümü 2013

Erkan Yılmaz, ilköğrenimini Kartaltepe İlköğretim Okulu'nda, orta öğrenimini ise Şişli (Yabancı Dil Ağırlıklı) Lisesi'nde tamamladı. Lisans eğitimini 2013 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi Meteoroloji Mühendisliği Bölümünde bitirdi. 2015 yılında Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi Elektrik Enerjisi Üretim, İletim ve Dağıtım Önlisans programını bitirdi. 2015 yılında Yüksek Lisans tez çalışması için Danimarka Teknik Üniversitesi Risø Rüzgar Enerjisi bölümünde bulundu. Çalışma hayatına Meteoroloji Mühendisi olarak Özgül Holding'de başlayıp, daha sonra İo Çevre çözümleri şirketinde devam etmiştir. 2016 yılı içerisinde askerlik görevini tamamlamış olup halen “Yeni Rüzgar Atlası Projesi”nde araştırmacı bursiyer olarak çalışmaktadır.