

**T.C.
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
COĞRAFYA (FİZİKİ COĞRAFYA)
ANABİLİM DALI**

**KIZILIRMAK HAVZASININ 2013-2040 PERİYODUNDA İKLİM İNDİSLERİ
PROJEKSİYONLARI**

Yüksek Lisans Tezi

Hakkı ATAY

Ankara-2015

**T.C.
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
COĞRAFYA (FİZİKİ COĞRAFYA)
ANABİLİM DALI**

**KIZILIRMAK HAVZASININ 2013-2040 PERİYODUNDA İKLİM İNDİSLERİ
PROJEKSİYONLARI**

Yüksek Lisans Tezi

Hakkı ATAY

Tez Danışmanı
Prof. Dr. İhsan ÇİÇEK

Ankara-2015

T.C.
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
COĞRAFYA (FİZİKİ COĞRAFYA)
ANABİLİM DALI

KIZILIRMAK HAVZASININ 2013-2040 PERİYODUNDA İKLİM İNDİSLERİ
PROJEKSİYONLARI

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İhsan ÇİÇEK

Tez Jürisi Üyeleri

Adı ve Soyadı

İmzası

.....
.....
.....
.....
.....
.....

.....
.....
.....
.....
.....
.....

Tez Sınavı Tarihi :11. 12. 2015....

**TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ'NE**

Bu belge ile, bu tezdeki bütün bilgilerin akademik kurallara ve etik davranış ilkelerine uygun olarak toplanıp sunulduğunu beyan ederim. Bu kural ve ilkelerin gereği olarak, çalışmada bana ait olmayan tüm veri, düşünce ve sonuçları andığımı ve kaynağını gösterdiğimi ayrıca beyan ederim.(.../.../2015)

Hakkı ATAY

ÖNSÖZ

Bu çalışma, 2013 Eylül ayında tüm dünyaya duyurulan IPCC 5. Değerlendirme Raporu'nda (AR5) yer alan küresel modellerden HadGEM2-ES küresel iklim modeli verilerinin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları temelinde RegCM4 bölgesel iklim modeli ile dinamik ölçek küçültme yöntemiyle çalıştırılması sonucu elde edilen verilerin farklı görüntüleme ve analiz araçları kullanılarak Kızılırmak Havzası ölçeğinde ve iklim indisleri temelinde değerlendirmelerini içermektedir. Çalışmanın amacı, Kızılırmak havzası için, iklim değişikliğinin muhtemel olumsuz etkilerine karşı alınacak önlemlerde, adaptasyon çalışmalarında ve yapılacak daha ileri düzey araştırmalarda yararlanılabilecek temel projeksiyonlara dayanan başlıca iklim indislerinin kısa vadede (2013-2040) durumlarını ortaya koymaktır.

Bu araştırmanın gerçekleşmesi sırasında teze danışmanlık eden değerli hocam Prof. Dr. İhsan ÇİÇEK'e ve başta değerli müdürüm Alper AKÇAKAYA olmak üzere model verilerinin elde edilmesi ve düzenlenmesinde bana destek olan Ömer DEMİR, Osman ESKİOĞLU ve Mesut DEMİRCAN'a ve diğer tüm mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Ankara 2015

Hakkı ATAY

İçindekiler

ÖNSÖZ.....	I
İçindekiler.....	II
ŞEKİLLER VE TABLOLAR LİSTESİ.....	IV
1. GİRİŞ	1
1.1. İklim ve İklim Değişikliği	1
1.2. İklim Sistemi Bileşenleri	1
1.2.1. Atmosfer.....	1
1.2.2. Hidrosfer.....	2
1.2.3. Kriyosfer.....	2
1.2.4. Litosfer	3
1.2.5. Biyosfer	3
1.3. İklim Bileşenlerinin Etkileşimleri	3
2. TEMEL KAVRAMLAR.....	5
2.1. İklimin Modellenmesi.....	5
2.2. İklim Modelleri.....	5
2.2.1. Sıfır Boyutlu Enerji Dengesi Modeli	5
2.2.2. Bir Boyutlu Enerji Dengesi Modeli	6
2.2.3. Enerji Transfer Modelleri (Heat Transfer By Convection).....	7
2.2.4. Üç Boyutlu Genel Dolaşım Modelleri	7
3. IPCC 5. Değerlendirme Raporu	8
4. Yeni Nesil Konsantrasyon Senaryoları (RCPs)	9
5. Genel Sirkülasyon Modelleri (GCMs) (Küresel İklim Modelleri).....	12
6. Bölgesel İklim Modelleri ve Ölçek Küçültme	15
7. Ölçek Küçültme (Downscaling) Yöntemleri.....	17
8. Çalışılan Modeller	17
3. ÇALIŞMANIN HEDEFİ.....	20
4. METEDOLOJİ VE DATA.....	21
4.1. Kullanılan Data Setleri	21
4.2. Çalışma Alanı	22
4.3. Parametrizasyon (Modelin Kalibrasyonu).....	22
4.4. Elde Edilen Ürünler	23

4.5. Önceki Çalışmalar.....	25
5. ARAŞTIRMA BULGULARI	27
5.1. 2013-2040 Türkiye ve Bölgesi İçin Bölgesel İklim Projeksiyonları.....	27
5.2. Kızılırmak Havzası 2013-2040 Periyodunun Referans Periyoda (1971-2000) Göre İklim İndisleri Değerlendirmesi	32
5.2.1. Donlu Günler (TFD0) İndisi	32
Şekil 15: RCP4.5 Donlu Günler (TFD0) İndisi.....	33
5.2.2. Buz Günleri (ID0) İndisi	35
Şekil 17: RCP4.5 Buz Günleri (ID0) İndisi.	36
5.2.3. Maksimum Sıcaklıkların Minimumu (TXn) İndisi	38
5.2.4. Minimum Sıcaklıkların Minimumu (TNn) İndisi	41
5.2.5. Serin Geceler (TN10p) İndisi.....	44
5.2.6. Serin Günler (TX10p) İndisi	47
5.2.7. Yaz Günleri (SU25) İndisi	50
5.2.8. Tropik Geceler (TR20) İndisi.....	53
5.2.9. Sıcak Geceler (TN90p) İndisi.....	56
5.2.10. Sıcak Günler (TX90p) İndisi	59
5.2.11. Maksimum Sıcaklıkların Maksimumu (TXx) İndisi	62
5.2.12. Minimum Sıcaklıkların Maksimumu (TNx) İndisi	65
Şekil 37: RCP4.5 Minimum Sıcaklıkların Maksimumu (TNx) İndisi	66
Şekil 38: RCP8.5 Minimum Sıcaklıkların Maksimumu (TNx) İndisi	67
5.2.13. Günlük Sıcaklık Genişliği (DTR) İndisi.....	68
5.2.14. Bir Günlük Maksimum Yağış (RX1day) İndisi	71
5.2.15. Günlük Yağış Yoğunluk (SDII) İndisi	74
5.2.16. Şiddetli Yağışlı Gün Sayısı (R10) İndisi	77
5.2.17. Çok Şiddetli Yağışlı Gün Sayısı (R20) İndisi	80
5.2.18. Çok Şiddetli Yağışlı Gün Sayısı (R25) İndisi	83
5.2.19. Yıllık Toplam Yağış (PRCPTOT) İndisi.....	86
6. TARTIŞMA ve SONUÇ	89
Kaynaklar	90
ÖZET.....	92
ABSTRACT	93

ŞEKİLLER VE TABLOLAR LİSTESİ

Şekil 1: Global iklim sisteminin şematik gösterimi (IPCC, 2001).....	4
Şekil 2: Bir boyutlu enerji denge modeli şeması (Henderson-Sellers ve McGuffie, 1987).....	7
Şekil 3: RCP senaryoları emisyon değerleri (RCP Concentration & Data Group, M. Meinshausen,2010)	10
Şekil 4: RCP senaryoları konsantrasyon değerleri (RCP Concentration & Data Group, M. Meinshausen,2010)	11
Şekil 5: RCP senaryoları radyatif zorlama değerleri (RCP Concentration & Data Group, M. Meinshausen,2010)	12
Şekil 6: İklim modellerinin tarihsel gelişimi (Üstte:IPCC,2001. Altta:IPCC,2013).....	13
Şekil 7: IPCC Raporlarında küresel iklim modellerindeki çözünürlüğün gelişimi (IPCC,2007)	14
Şekil 8: Küresel ölçekten bölgesel ölçeye.....	16
Şekil 9: RegCM4 model çalışma alanı	22
Şekil 10: Parametrizasyon örneği. (Solda eşik değerlerinde herhangi bir değişiklik yapılmadan elde edilmiş model sonucu, sağda ise parametrizasyon sonucu elde edilen ve gözlem verilerine daha yakın değerlere sahip model sonucu görülmektedir.)	23
Şekil 11: RCP4.5 sıcaklık (üstte) ve yağış (altta) projeksiyonları. (RegCM4/HadGem2-ES). 28	
Şekil 12: RCP8.5 sıcaklık (üstte) ve yağış (altta) projeksiyonları. (RegCM4/HadGem2-ES). 29	
Şekil 13: Kızılırmak havzası yükseklik haritası	30
Şekil 14: Kızılırmak havzası model yükseklik haritası	31
Şekil 15: RCP4.5 Donlu Günler (TFD0) İndisi.....	33
Şekil 16: RCP8.5 Donlu Günler (TFD0) İndisi.....	34
Şekil 17: RCP4.5 Buz Günleri (ID0) İndisi.	36
Şekil 18: RCP8.5 Buz günleri (ID0) indisi.	37
Şekil 19: RCP4.5 Maksimum Sıcaklıkların Minimumu (TXn) İndisi	39
Şekil 20: RCP8.5 Maksimum sıcaklıkların minimumu (TXn) indisi.....	40
Şekil 21: RCP4.5 Minimum Sıcaklıkların Minimumu (TNn) İndisi	42
Şekil 22: RCP8.5 Minimum Sıcaklıkların Minimumu (TNn) İndisi	43
Şekil 23: RCP4.5 Serin Geceler (TN10p) İndisi	45
Şekil 24: RCP8.5 Serin Geceler (TN10p) İndisi	46
Şekil 25: RCP4.5 Serin Günler (TX10p) İndisi	48
Şekil 26: RCP8.5 Serin Günler (TX10p) İndisi	49
Şekil 27: RCP4.5 Yaz Günleri (SU25) İndisi	51
Şekil 28: RCP8.5 Yaz Günleri (SU25) İndisi	52
Şekil 29: RCP4.5 Tropik Geceler (TR20) İndisi.....	54
Şekil 30: RCP8.5 Tropik Geceler (TR20) İndisi.....	55
Şekil 31: RCP4.5 Sıcak Geceler (TN90p) İndisi.....	57
Şekil 32: RCP8.5 Sıcak Geceler (TN90p) İndisi.....	58
Şekil 33: RCP4.5 Sıcak Günler (TX90p) İndisi	60
Şekil 34: RCP8.5 Sıcak Günler (TX90p) İndisi.....	61
Şekil 35: RCP4.5 Maksimum Sıcaklıkların Maksimumu (TXx) İndisi	63
Şekil 36: RCP8.5 Maksimum Sıcaklıkların Maksimumu (TXx) İndisi	64
Şekil 37: RCP4.5 Minimum Sıcaklıkların Maksimumu (TNx) İndisi	66

Şekil 38: RCP8.5 Minimum Sıcaklıkların Maksimumu (TN _x) İndisi	67
Şekil 39: RCP4.5 Günlük Sıcaklık Genişliği (DTR) İndisi	69
Şekil 40: RCP8.5 Günlük Sıcaklık Genişliği (DTR) İndisi	70
Şekil 41: RCP4.5 Bir Günlük Maksimum Yağış (RX1day) İndisi	72
Şekil 42: RCP8.5 Bir Günlük Maksimum Yağış (RX1day) İndisi	73
Şekil 43: RCP4.5 Günlük Yağış Yoğunluk (SDII) İndisi	75
Şekil 44: RCP8.5 Günlük Yağış Yoğunluk (SDII) İndisi	76
Şekil 45: RCP4.5 Şiddetli Yağışlı Gün Sayısı (R10) İndisi	78
Şekil 46: RCP8.5 Şiddetli Yağışlı Gün Sayısı (R10) İndisi	79
Şekil 47: RCP4.5 Çok Şiddetli Yağışlı Gün Sayısı (R20) İndisi	81
Şekil 48: RCP8.5 Çok Şiddetli Yağışlı Gün Sayısı (R20) İndisi	82

Tablo 1: IPCC çalışma grupları	9
Tablo 2: RCP senaryoları	10
Tablo 3: HadGEM modelleri (HadGEM2 development team)	18
Tablo 4: 27 adet çekirdek iklim indisi (Zhang ve Yang, 2004)	24

1. GİRİŞ

1.1. İklim ve İklim Değişikliği

İklim Dünya Meteoroloji Teşkilatı (WMO) tarafından şu şekilde tanımlanmaktadır: “Dar anlamda ortalama hava durumu, daha bilimsel bir tanımlamayla aylık periyottan milyonlarca yıllık periyota kadar değişen zaman aralıkları boyunca, bir parametrenin (sıcaklık, yağış, rüzgâr vb.) değişkenlik ya da ortalama açısından istatistiksel tanımlanmasıdır (WMO,10 Nisan 2013). Ayrıca bir yerin ikliminden söz etmek için geçmişe dönük 30 yıllık periyodun klasik olarak kabul göreceği WMO tarafından belirtilmektedir. İklim değişikliği ise Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi’nde (UNFCCC) “karşılaştırılabilir zaman periyotlarında gözlenen doğal iklim değişkenliğine ek olarak, insan faaliyetlerinin doğrudan ya da dolaylı olarak atmosfer bileşimini etkilemesi sonucu iklimde meydana gelen değişiklik” olarak tanımlanmaktadır (UNFCCC,1994).

1.2. İklim Sistemi Bileşenleri

İklim sistemi, 5 büyük bileşenden oluşan interaktif bir sistemdir. Bu bileşenler atmosfer, hidrosfer, kriyosfer, litosfer ve biyosfer olarak sıralanmaktadır (IPCC, 2001). Bu bileşenler volkanlar, plaka hareketleri vb. gibi iç faktörler ya da güneş, insan aktiviteleri gibi dış faktörler tarafından etki edilirler.

1.2.1. Atmosfer

Bu bileşenler içerisinde en az sabitlik gösteren ve en hızlı değişen atmosferdir (hava küre). Atmosferin temel bileşiminde azot (%78.1),oksijen (%20.9) ve değişen oranlarda diğer gazlar bulunmaktadır. Bununla birlikte atmosferde konsantrasyonları göreceli olarak çok az olan (trace gas) karbondioksit, azotlu gazlar, metan ve ozon gibi gazlar kızılötesi radyasyonları soğurmakta ve yaymaktadırlar. Bunlar “sera gazları” olarak adlandırılmaktadır. Kuru hava karışımındaki oranları normal şartlarda toplam %0.12den az olan bu gazlar Yerküre’nin enerji bütçesinde önemli rol oynamaktadırlar. Bunların yanında atmosferde bulunan su buharı da doğal bir sera gazıdır. Bu gazlardan karbondioksit, ozon ve su buharı uzun dalga radyasyonları da soğurmaktadır. Bu özellikleri ile sera gazları Dünya’nın yüzey sıcaklığını artırıcı rol oynamaktadırlar.

Sera gazlarından ozon, enerji bütçesine etkisi bakımından kendine has bir özelliğe sahiptir. Atmosferin alt katlarında ve troposferde bulunan ozon sera gazı özelliği gösterir. Stratosferin üst katlarında bulunan ozon ise doğal bir tabaka oluşturarak ultraviyole ışınlarını soğurarak yeryüzüne gelmesine engel olur ve enerji dengesinin korunmasına yardımcı olur. Bu gazların yanında atmosferde bulunan çok küçük katı parçacıklar (aerosoller) ve bulutlar radyasyon bütçesinde değişken ve karmaşık bir rol oynamaktadırlar.

Atmosferin en değişken bileşeni su buharı, bulut ve buz kristalleri gibi farklı fazlarda bulunabilen sudur. Su buharı en fazla enerjiyi soğuran sera gazıdır. Su; bu özelliği ve farklı fazlardaki farklı enerji transfer yetenekleri nedeniyle iklim, iklim değişkenliği ve iklim değişikliği olgularının merkezinde yer almaktadır.

1.2.2. Hidrosfer

Hidrosfer (su küre); akiferler, nehirler ve gölleri içine alan tatlı su kaynakları ile okyanus ve denizlerdeki tuzlu su dahil olmak üzere bütün akışkan yüzey ve yer altı sularını kapsamaktadır. Okyanuslar yeryüzünün yaklaşık %70'ini kaplar, büyük miktarda enerji depo eder ve taşır, karbondioksitin büyük kısmını depolar. Okyanusların sirkülasyonu rüzgarlar, yatay yoğunluk farkı ve dikey sıcaklık farkı (termoklin) tarafından belirlenir. Okyanuslarda sirkülasyon atmosferdekinden çok daha yavaştır. Okyanuslardaki termal durağanlık nedeniyle büyük alanlarda sıcaklık değişimleri azalır. Bu durum, okyanusların uzun periyotlarda iklim üzerindeki düzenleyici fonksiyonu ve doğal iklim değişkenliği kaynağı olma fonksiyonunu zayıflatır.

1.2.3. Kriyosfer

Kriyosfer (buz küre), Antarktika ve Grönland'daki buz kütleleri, karasal buzullar, sürekli kar alanları, deniz buzları ve sürekli donmuş toprakları (permafrost) kapsamaktadır. Hidrosferin iklim sistemi açısından önemi güneş radyasyonunu yansıtma, düşük termal iletkenlikleri ve yüksek termal durağanlıkları ile özellikle derin okyanuslardaki su sirkülasyonunu etkilemelerinden ileri gelmektedir. Özellikle buzullar yüksek miktarda su depolarlar ve hacimlerindeki değişiklikler deniz seviyesi değişimlerinin temel kaynağını oluşturur.

1.2.4. Litosfer

Litosfer (taşküre), üzerindeki bitkiler ve toprak vasıtasıyla Güneş'ten gelen enerjinin tutulması ve tekrar atmosfere gönderilmesini belirlemektedir. Bu enerjinin bir kısmı taşküreyi ısıtırken bir kısmı uzun dalga radyasyonlarla atmosfere gönderilir ve atmosferi ısıtır. Bir kısmı ise bitkilerden ve topraktan buharlaşmanın ihtiyaç duyduğu enerjiyi karşılar. Toprak neminin buharlaşması yüzey sıcaklığını belirleyen önemli bir etmendir. Ayrıca taşkürenin yüzey şekilleri, dokusu ve üzerindeki bitki örtüsü rüzgarları etkilemek suretiyle atmosfer yapısında dinamik bir etki oluşturur. Ayrıca rüzgarlar yüzeyden tozları ve partikülleri atmosfere kaldırarak atmosferik radyasyonu ve yağışı etkiler.

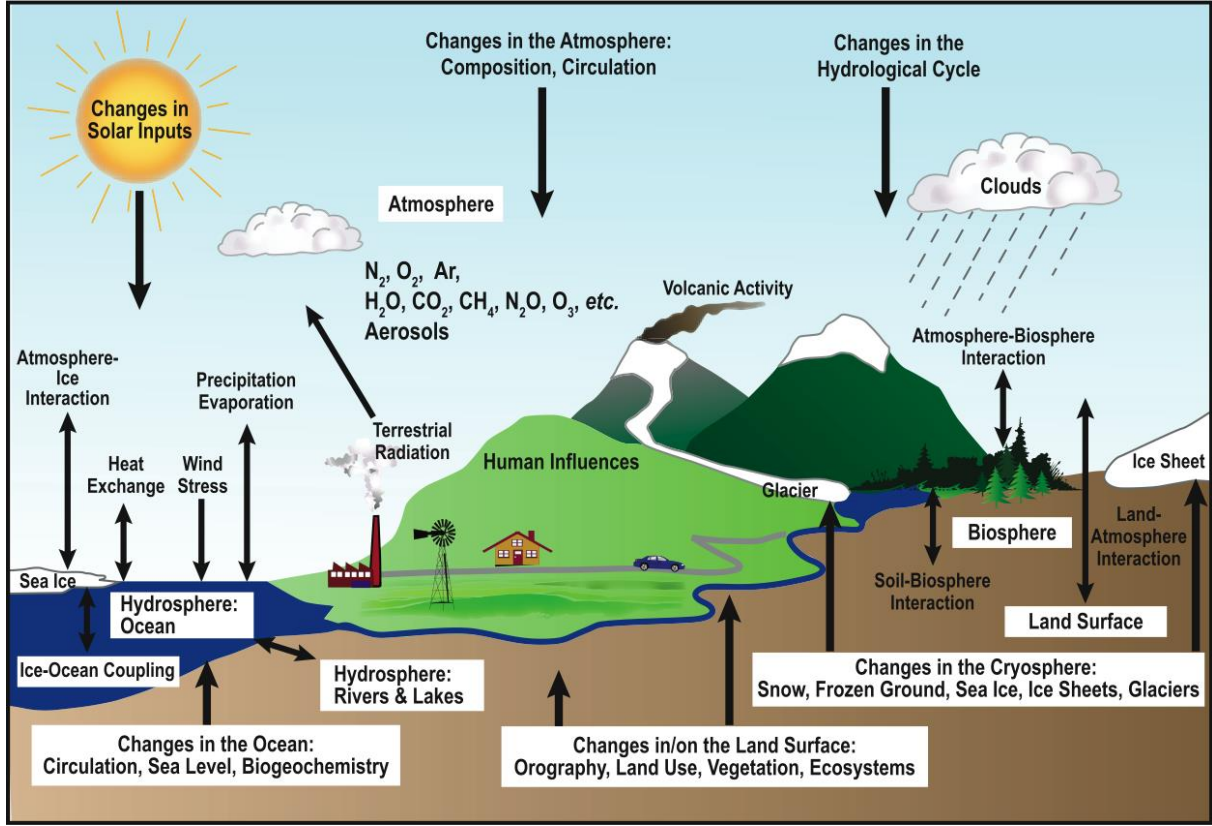
1.2.5. Biyosfer

Deniz ve kara biyosferi atmosfer bileşiminde çok önemli bir yere sahiptir. Biyosfer sera gazlarının tutulması ve serbest bırakılmasında etkili bir unsurdur. Fotosentez aracılığı ile kara ve deniz bitkileri önemli ölçüde karbondioksit depolamaktadırlar. Bu özelliği ile biyosfer karbon döngüsünde merkezi bir rol üstlenmektedir. Biyolojik emisyonlar olarak adlandırılan uçucu organik bileşikler (VOC) aerosollerin formasyonunda, dolayısı ile atmosfer kimyası ve iklim üzerinde, önemli etkiye sahiptir.

1.3. İklim Bileşenlerinin Etkileşimleri

İklim sistemi bileşenleri arasında, geniş zaman periyotları ve büyük alanlarda iklim sistemini oldukça karmaşık hale getiren biyolojik, fiziksel ve kimyasal etkileşimler bulunmaktadır. Bu denli karmaşık etkileşimlere rağmen, etkileşimlerin hepsi kütle, ısı ve momentum korunumu ile ilişkilendirilmektedir. Örneğin atmosfer ve okyanuslar arasında etkileşim buharlaşma ile sağlanmaktadır. Bu durum hidrolojik döngünün bir parçasıdır ve bulut oluşumu, yağış ve yüzey akışını oluşturarak hava sistemlerinin ihtiyaç duyduğu enerjiyi sağlamaktadır. Diğer yandan yağış, okyanuslardaki tuzluluğu ve termoklin döngüsünü etkilemektedir. Ayrıca okyanus ve atmosfer arasında, derinlere doğru batan soğuk kutupsal okyanus suyunun atmosferden karbondioksiti alarak eritmesi, buna karşın ise nispeten sıcak ve yüzeye doğru çıkan ekvatorial okyanus suyunda karbondioksitin atmosfere verilmesi suretiyle bir karbondioksit dengesi oluşturulmaktadır. Deniz buzları, okyanus ve atmosfer arasındaki bu karbondioksit değişimini azaltıcı etkiye sahipken, biyosfer içerisinde devam eden fotosentez ve solunum süreçleri atmosferdeki karbondioksit konsantrasyonunu etkiler. Biyosfer ayrıca evapo-transpirasyon (terleme-buharlaşma) yoluyla atmosfere su girişini

etkilerken, güneş ışığını yansıtmak (albedo) suretiyle de atmosferdeki enerji dengesini etkilemektedir.



Şekil 1: Global iklim sisteminin şematik gösterimi (IPCC, 2001)

2. TEMEL KAVRAMLAR

2.1. İklimin Modellenmesi

Gelecek iklimin tahmin edilmesinde en önemli çalışma iklimin modellenmesidir. Bu sayede, hali hazırdaki şartlar dikkate alınarak, belli fiziksel denklemler ile bu şartların değişimi hesaplanmaya ve belli bir süre sonraki hava ya da iklim şartlarının genel çerçevesi çizilmeye çalışılır. İklimin modellenmesindeki en büyük zorluk, iklim şartlarındaki değişimlerin gerçek zamansal sürecinden çok daha hızlı bir şekilde simülasyonlarının yapılması gerekliliğidir. Bu, modellemede birçok basitleştirilmiş varsayımın kullanılmasını ve yüksek bir hesaplama kapasitesi ihtiyacını beraberinde getirmektedir. Dolayısı ile model kurgusu bir, iki ya da üç boyutlu, iklim sisteminin bazı bileşenlerinin ya da hepsinin, basit fiziksel özelliklerin (örneğin korunum kanunları) ya da tüm etkileşimlerin gösterildiği karmaşık bir yapıda olabilir.

2.2. İklim Modelleri

Modellerin karmaşıklığı ve kullanım amaçları gibi faktörler dikkate alınarak çok çeşitli iklim modelleri sınıflandırması yapılabilir. Fakat genel olarak iklim modellerini basitten karmaşığa doğru 4 farklı grupta toplamak mümkündür.

2.2.1. Sıfır Boyutlu Enerji Dengesi Modeli

En basit şekilde model güneşten gelen enerji ile dünyanın uzaya yaydığı enerji dengesi üzerine kuruludur. En basit versiyonlarında hiçbir uzaysal boyut bulunmaz. Bu sebeple bu modellere “sıfır boyutlu enerji dengesi modelleri” denir. Bu model sayesinde, ulaşılabilen veriler ışığında, solar sabit yada albedodaki değişikliklerin dünyanın ortalama sıcaklık değerine etkisi kolayca hesaplanabilir.

$$N = S - F$$

N = Net radiatif akış

S = Atmosfer ve yer küre tarafından emilen enerji

F = Yer küreden uzaya salınan enerji

Denge durumunda S ve F'nin eşit olması gerekir. S ve F ise aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$(1 - a)S\pi r^2 = 4\pi r^2 \epsilon \sigma T^4$$

S : Solar sabit. Yaklaşık $1367 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$

a : Dünyanın ortalama albedo katsayısı. Yaklaşık 0.3.

r : Dünyanın yarı çapı. Yaklaşık $6.371 \times 10^6 \text{ m}$.

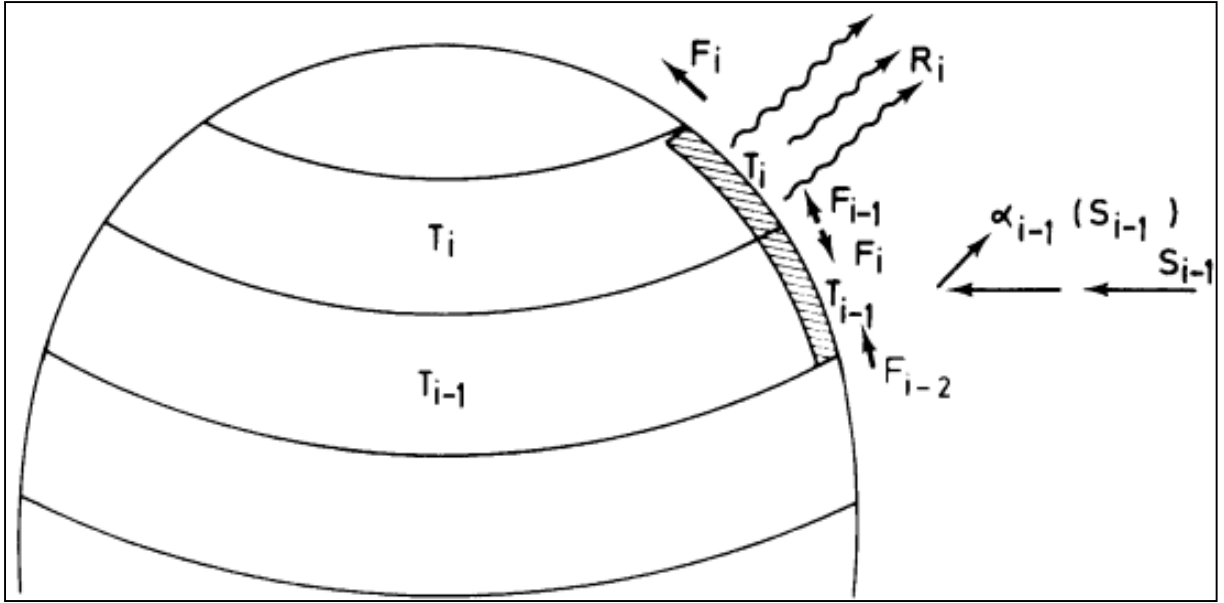
π : Matematiksel sabit. (Pi sayısı: 3.141...)

σ : Stefan-Boltzmann sabiti. Yaklaşık $5.67 \times 10^{-8} \text{ J}\cdot\text{K}^{-4}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

ϵ : Dünyanın salım gücü. Yaklaşık 0.612. (Budyko,1968)

2.2.2. Bir Boyutlu Enerji Dengesi Modeli

Sıfır boyutlu modellerde, tek tabakada dünya için tamamen ortalama değerler kullanılırken, bu modellerde dünya enlem temelinde bantlara bölünmüştür. Bu varsayımda aynı boylam değerine sahip yerlerin aynı şekilde etkilendiği varsayılır. Bir anlamda bu model sıfır boyutlu modelin basit şekilde farklı enlem bantlarına göre yeniden oluşturulmuş halidir. Bu model oluşturulurken özellikle dünyanın buzul çağlarına nasıl girdiği ile ilgili sorulara cevap aramak amaçlanmıştır. (A. Henderson-Sellers and K. McGuffie, Wiley,1987)



Şekil 2: Bir boyutlu enerji denge modeli şeması (Henderson-Sellers ve McGuffie, 1987)

2.2.3. Enerji Transfer Modelleri (Heat Transfer By Convection)

Bu model yeryüzüne dik bir boyutlu ısı yayılım modelidir ve iki önemli süreci içerir.

1. Kızıl ötesi dalgaları emen ya da yayan atmosfer tabakaları arasında yükselme ya da alçalma ile ısı transferi
2. Isının konveksiyon yoluyla yukarı seviyelere doğru taşınması (özellikle alt troposfer seviyelerinde)

Bu modellerin basit modellere karşı, sera gazları konsantrasyonlarının değişmesi sonucu efektif salımdaki ve dolayısı ile yüzey sıcaklıklarındaki değişimlere etkilerinin belirlenmesi açısından avantajları bulunmaktadır.

2.2.4. Üç Boyutlu Genel Dolaşım Modelleri

Birleştirilmiş atmosfer-okyanus genel dolaşım modelleri, üç boyutlu atmosferik genel dolaşım modellerini, okyanus genel dolaşım modellerini, deniz buzu modellerini, arazi yüzeyi etkileşim modellerini kapsamaktadır. Birleştirilmiş atmosfer-okyanus modellerinde, atmosfer, okyanus ve komşu yüzeylere ait bilgiler, sıcaklık ve nem değişimleri ile bu ikisi arasındaki momentum vasıtasıyla hesaplanır.

3. IPCC 5. Değerlendirme Raporu

IPCC (Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli) 1988 yılında WMO ve UNEP desteği ile kurulmuştur. Amacı ise, belli aralıklarla iklim değişikliği konusunda güncel bilimsel bulgular ışığında raporlar yayınlamak olarak bildirilmiştir. Raporların oluşturulmasında ise 3 ana çalışma grubu (WGs:Working Groups) etkilidir. Bunlar farklı çalışma alanlarında faaliyet göstermektedirler.

WG1: Bilimsel açıdan inceleme/araştırma

WG2: Etki, etkilenebilirlik ve adaptasyon

WG3: Azaltım

IPCC'nin yayınladığı belgeler 6 başlık altında toplanabilir. Bunlardan en önemlisi ise “Değerlendirme Raporlarıdır”.

- Değerlendirme Raporları
- Özel raporlar
- Metodoloji Raporları
- BM Dili olmayan diğer dillere çeviriler
- Teknik dokümanlar
- Destek materyalleri

Bu güne kadar 5 değerlendirme raporu yayınlanmıştır.

1. Değerlendirme raporu (FAR) :1990
 - Tamamlayıcı rapor :1992
2. Değerlendirme raporu (SAR) :1995
3. Değerlendirme raporu (TAR) :2001
4. Değerlendirme raporu (AR4) :2007
5. Değerlendirme raporu (AR5) : 2014

IPCC 5. Değerlendirme Raporu 2014 yılında tamamlanarak kullanıcıların hizmetine sunulmuştur. Raporu oluşturan 4 ana bölümün duyurulma tarihleri tablodaki gibidir.

Tablo 1: IPCC çalışma grupları

Working Group I (Stockholm, Sweden)	23-26 Eylül 2013
Working Group II (Yokohama, Japan)	25-29 Mart 2014
Working Group III (Berlin, Germany)	7-11 Nisan 2014
Synthesis Report (Copenhagen, Denmark)	27-31 Ekim 2014

Bu raporun ilk kısmı iklim değişikliğinin fiziksel temelde detaylı incelemelerinin yer aldığı “The Physical Science Basis” adlı alt rapordur. Eylül 2013 itibari ile bu rapor tüm dünyaya duyurulmuştur. Hazırlanmasında 39 ülkeden 259 yazar yer almış ve 54677 değerlendirme ile gözden geçirilmiştir (IPCC, 2013).

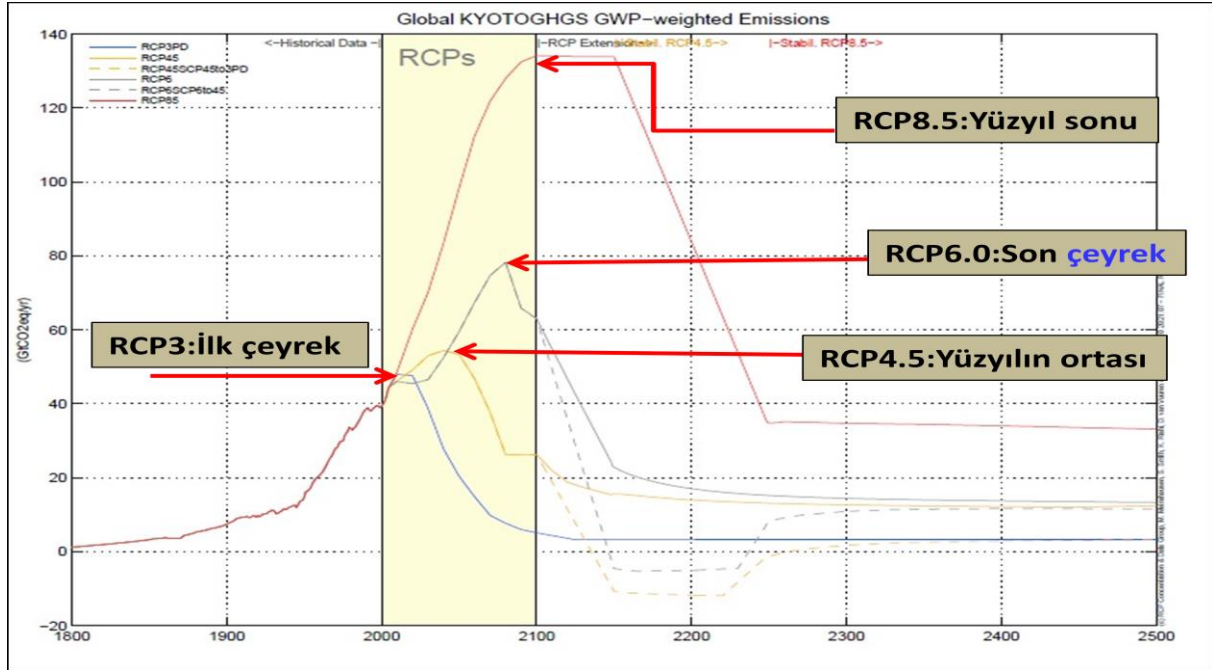
4. Yeni Nesil Konsantrasyon Senaryoları (RCPs)

IPCC 4. Değerlendirme Raporunun hemen ardından Hollanda’da gerçekleştirilen IPCC uzmanlar toplantısında 5. Değerlendirme Raporunda kullanılmak üzere yeni senaryo seti oluşturulmasına karar verilmiştir. Yeni senaryolar radiatif zorlama temelinde oluşturulmuş ve temsili konsantrasyon rotaları (Representative Concentration Pathways: RCPs) olarak adlandırılmıştır. RCP’lerle ilgili temel özellikler aşağıdaki tabloda verilmiştir.

RCP senaryolarına göre emisyonlar (**şekil-3**) incelendiğinde kötümser olarak nitelendirilebilecek RCP8.5 senaryosuna göre yüzyılın sonuna kadar arttığı ve ancak 22 yüzyılın ortalarından itibaren azalmaya başlayacağı varsayılmaktadır. İyimser olarak görülen RCP3-PD senaryosuna göre ise yüzyılın ilk çeyreğinden itibaren emisyonlarda azalma görülmektedir.

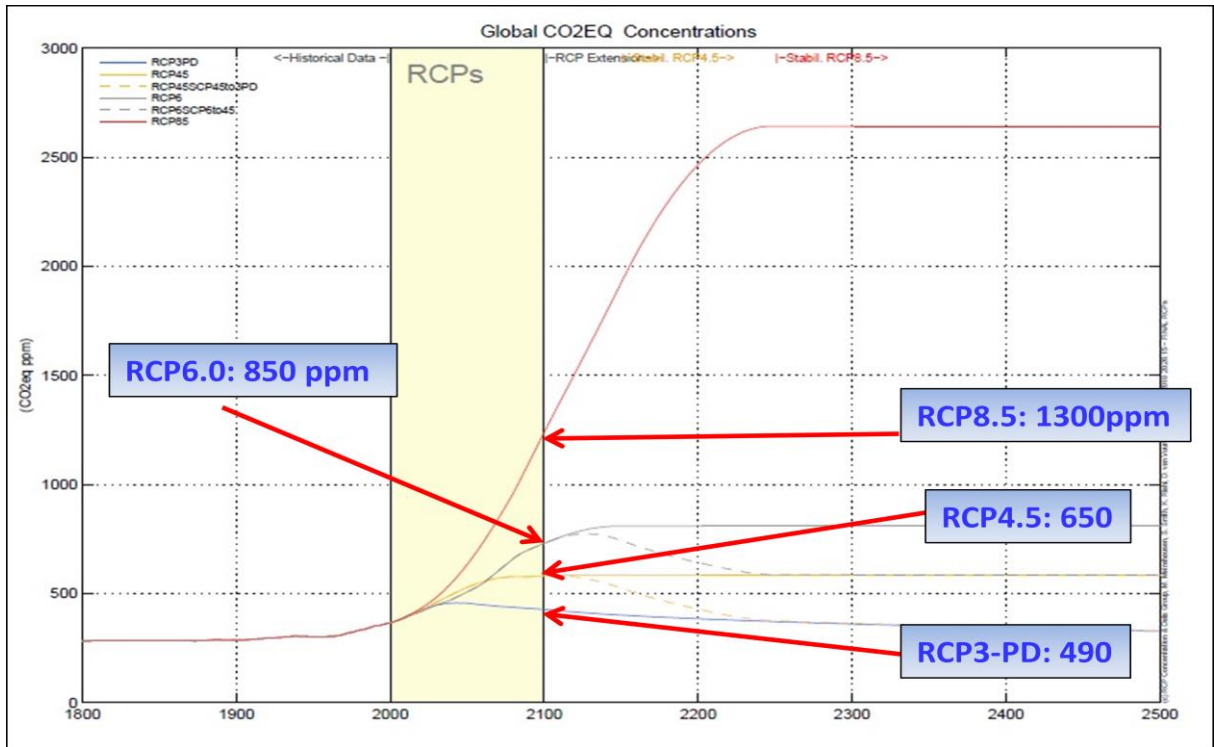
Tablo 2: RCP senaryoları

RCPs	Radyoaktif Zorlama	Zaman	Radyoaktif Zorlama Değişimi	Karbondioksit Eşdeğer Konsantrasyonu (ppm)	Emisyonlar(KYOTO protokolü sera gazları)
RCP 8.5	> 8.5 W/m ²	2100'de	Yükselme	> ~1370 ppm	2100 e kadar artış devam ediyor
RCP 6.0	~6.0 W/m ²	2100 sonrası	Hedefi geçmeden Stabilizasyon	~ 850 ppm	Yüzyılın son çeyreğinde düşüş
RCP 4.5	~4.5 W/m ²	2100 sonrası	Hedefi geçmeden Stabilizasyon	~ 650 ppm	Yüzyılın ortalarından itibaren düşüş
RCP3-PD*	~3.0 W/m ²	2100 öncesi	3.0 W/m ² de zirve ve düşüş	Zirve ~490 ppm ve düşüş	Yüzyılın ilk çeyreğinde düşüş

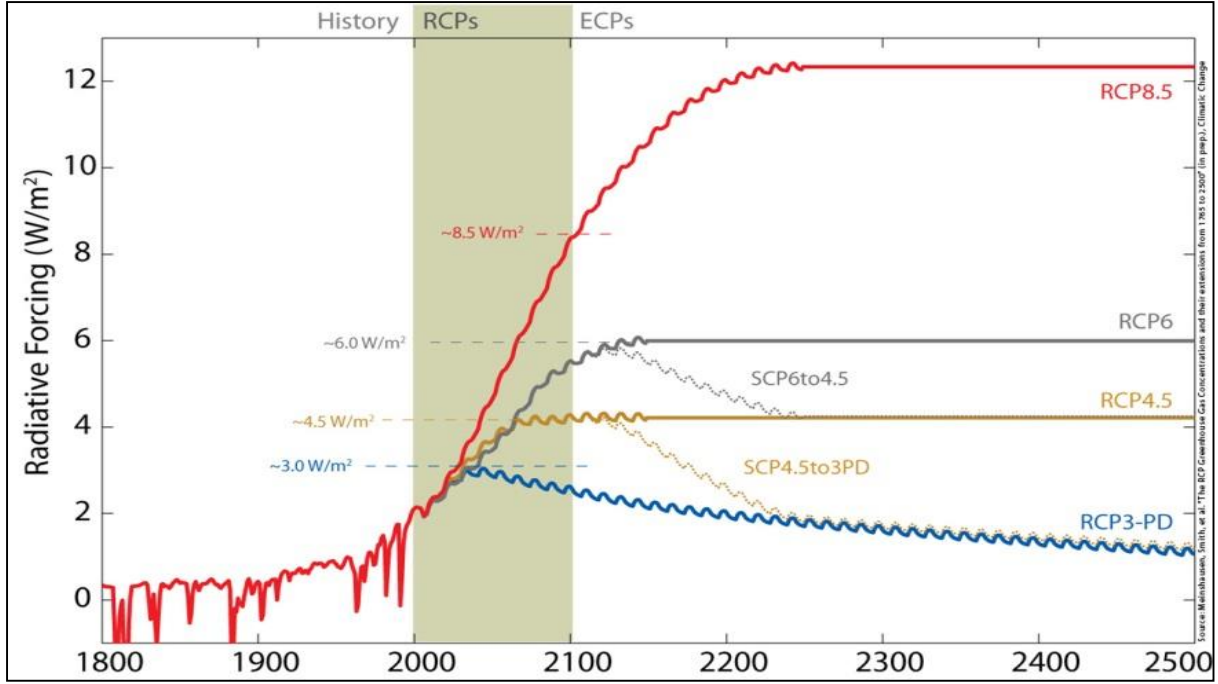


Şekil 3: RCP senaryoları emisyon değerleri (RCP Concentration & Data Group, M. Meinshausen,2010)

Emisyonlardaki değişimler radiatif zorlama ve konsantrasyon değerlerinde aynı hızda görülememektedir. Konsantrasyonlar (şekil-4) incelendiğinde RCP8.5 senaryosuna göre 2100 yılında 1300 ppm değerini aştığı ve ancak 2250’lerde azalmaya başladığı görülmektedir. Buna karşın RCP3-PD senaryosunda ise yüzyılın ortalarında maksimum değere ulaştıktan sonra azalmaya başladığı ve 2100 yılında 490 ppm seviyelerinde seyredeceği görülmektedir. Radiatif zorlama grafiği (şekil-5) incelendiğinde RCP8.5 senaryosuna göre 23. yüzyıl sonuna kadar radiatif zorlama artmakta, RCP3-PD senaryosuna göre ise 21. yüzyıl ilk çeyreği itibariyle zirve yaptıktan sonra düşmektedir. Diğer iki senaryoda ise, RCP4.5’e göre yüzyılın sonundan önce, RCP6.0’a göre ise 2100’den sonra stabilizasyon olduğu görülmektedir.



Şekil 4: RCP senaryoları konsantrasyon değerleri (RCP Concentration & Data Group, M. Meinshausen,2010)



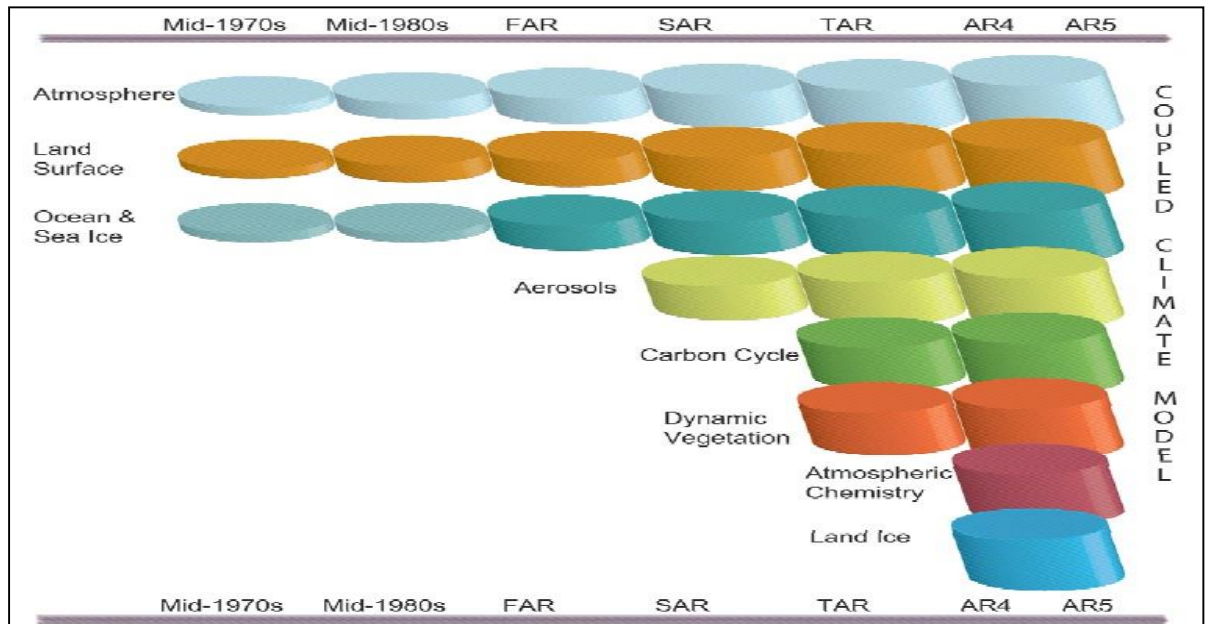
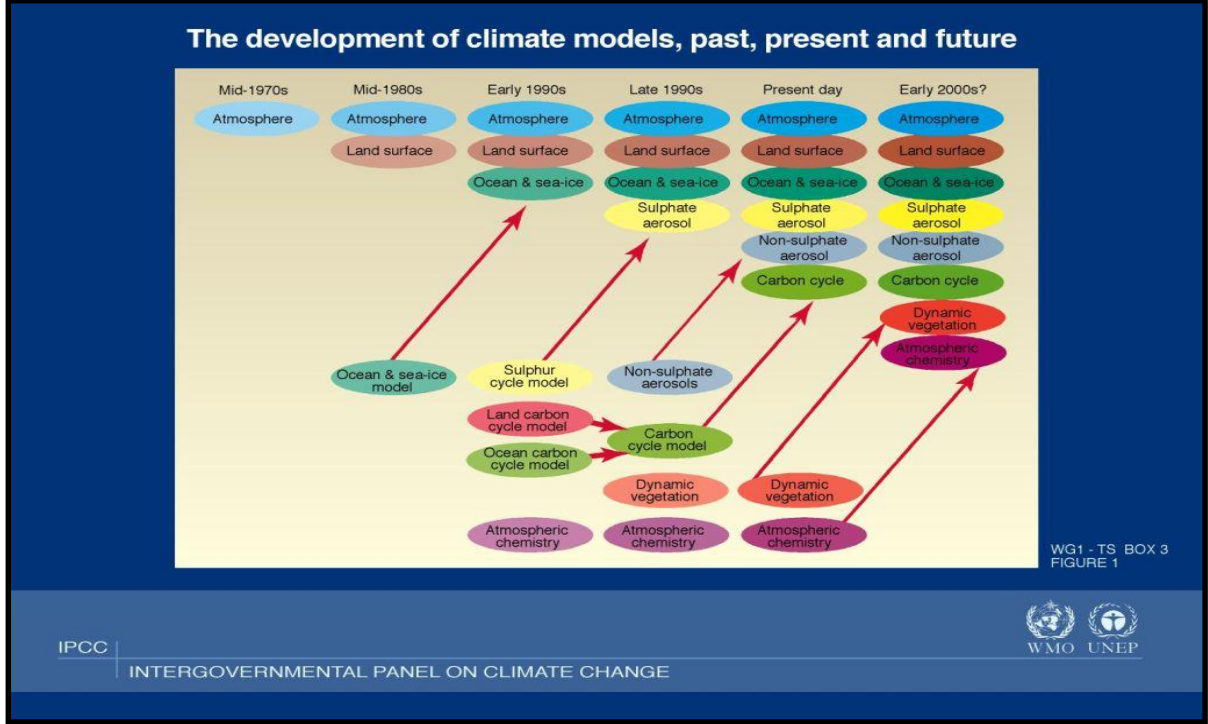
Şekil 5: RCP senaryoları radyatif zorlama değerleri (RCP Concentration & Data Group, M. Meinshausen,2010)

5. Genel Sirkülasyon Modelleri (GCMs) (Küresel İklim Modelleri)

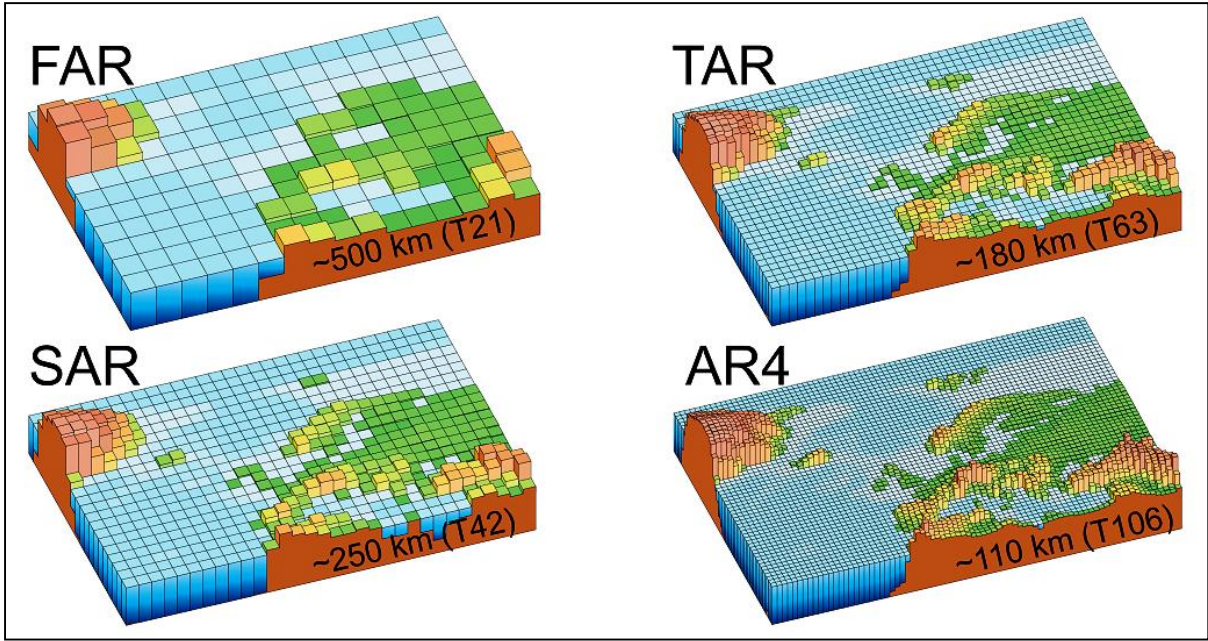
Nümerik modeller olarak da adlandırılan genel sirkülasyon modelleri (GCMs), atmosferdeki, okyanuslardaki, kriyosferdeki ve arazi yüzeyindeki (land surface) fiziksel süreçleri temsil etmektedirler. Bu modeller (GCMs), yükselen sera gazları emisyonlarına iklim sisteminin tepkisini göstermede (simulating) en gelişmiş araçlardır. Karbondioksit konsantrasyonundaki artışlar (ya da karbon eşdeğerine sahip diğer sera gazlarının konsantrasyon artışları) belli kriterler çerçevesinde GCM içerisinde yer alır.

GCM'ler, iklimi, atmosferde 10 ila 20 seviye (okyanuslarda bazen 30 seviye) ve yatayda 250 ila 600 km çözünürlükteki 3 boyutlu (3D) kutucuklar (grid) yardımı ile tanımlarlar. Bu temsil yeteneği, küresel resmi görmemize yardımcı olurken etki analizleri için oldukça yetersiz kalmaktadır. Özellikle bulut oluşumu gibi mikro düzeydeki birçok fiziksel süreç bu modellerde uygun şekilde modellenememektedir. Bu eksiklik, geniş alanlarda, parametrisasyon olarak adlandırılan modelin bilinen özelliklerinin ortalamalarının alınması tekniği ile giderilmeye çalışılmaktadır. Bu yöntem model bulguları ile ilgili belirsizliklerin temel kaynaklarından birini oluşturmaktadır. Diğer belirsizlikler ise, su buharı, ısınma, bulut ve radyasyon, okyanus döngüsü, buz ve kar albedosu gibi model içindeki geri bildirim

mekanizmalarının simülasyonu ile ilgilidir. Dolayısı ile, parametrizasyon farklılıkları ve farklı geri besleme modelleri nedeni ile GCM'ler aynı zorlama etmenlerine oldukça farklı şekilde tepki verebilmekte ve bulgular farklı olabilmektedir. Yani aynı zaman aralığı için, aynı başlangıç koşullarında, aynı emisyon senaryosu ile çalıştırılan iki farklı global model, parametrizasyon farklılıkları gibi nedenlerden dolayı farklı sonuçlar ortaya koyabilmektedirler (IPCC,2012)



Şekil 6: İklim modellerinin tarihsel gelişimi (Üstte: IPCC,2001. Altta: IPCC,2013)



Şekil 7: IPCC Raporlarında küresel iklim modellerindeki çözünürlüğün gelişimi (IPCC,2007)

Global iklim modelleri (GCMs), küresel ortalama yüzey sıcaklığı gibi küresel iklim istatistiklerinin tanımlanmasında çok önemli bir işlevi yerine getirmektedirler. Bu modeller sayesinde küresel olarak iklimi etkileyen olayların (NAO, AO, El-Nino, EN-SO vb.) gelecekte sergileyecekleri davranışlar hakkında sinyaller alınabilmektedir. Ayrıca küresel olarak ısınma, soğuma, yağışlar hakkında da projeksiyonlar üretilmektedir. Bunun yanında GCM'leri girdi olarak "iklim değişikliği senaryosu" olarak adlandırılan grildenmiş veri setlerini kullanırlar. Bu setlerde farklı emisyon senaryolarına göre üretilmiş küresel emisyon, konsantrasyon yada radiatif zorlama datası bulunmaktadır. IPCC raporlarının hazırlık aşamasının ilk adımı bu senaryo setlerinin oluşturulmasıdır. Bölüm 4.2'de AR5'te kullanılacak iklim projeksiyonlarının üretilmesinde RCP senaryolarının kullanıldığı belirtilmişti. RCP senaryoları oluşturulduktan sonra, iklim modelleme grupları tarafından küresel iklim modelleri çalıştırılarak küresel iklim projeksiyonları üretilmiştir. Bunu düzenli ve koordineli şekilde yapmak amacı ile CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project: Phase 5) projesi geliştirilmiştir. Eylül 2008'de, Dünya İklim Araştırma Programı (WCRP) üyesi 20 iklim modelleme grubu, uyumlaştırılmış yeni iklim model çalışmaları setini oluşturmak amacı ile bir araya gelmiştir. Bu çalışmaların çok modelli bir kaynak oluşturması amaçlanmıştır. Çalışmalar kapsamında aşağıdaki kazanımlar amaçlanmıştır:

- Farklı modellerin çıktılarının farklı olmasına neden olan, çok iyi anlaşılmayan karbon döngüsü ve bulutlarla ilgili geri bildirimlerin değerlendirilmesi,
- On yıllık yada daha uzun zaman periyotları için modellerin iklim tahmini kapasitelerinin araştırılması ve iklimin tahmin edilebilirliğinin sorgulanması,
- Benzer şekilde kurgulanan modellerin farklı sonuçlar verme nedenlerinin belirlenmesi.

Bu kazanımlarla birlikte IPCC 4. Değerlendirme Raporu hazırlık aşamalarında ortaya çıkan bilimsel soruların, IPCC 5. Değerlendirme Raporu'nda cevaplanabilmesi için gerekli değerlendirmelerin yapılması beklenmektedir. CMIP5 projesi kapsamında yapılan model çalışmalarının sonuçları IPCC WG1 tarafından düzenlenerek 2013 Eylül ayında tüm dünyaya duyurulmuştur.

CMIP5, aşağıda belirtilen hedeflere ulaşmak için standart bir model simülasyon setinin oluşturulmasını benimsemektedir. Bunlar şu şekilde sıralanabilir.

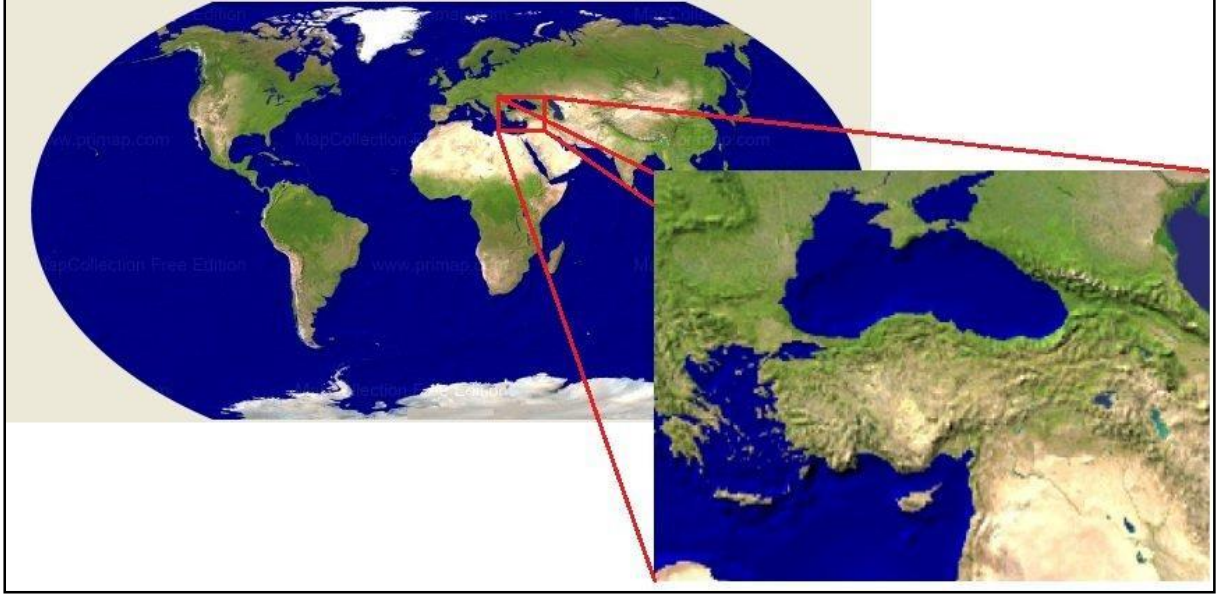
- Modellerin yakın geçmiş iklimini nasıl görüntülediklerinin değerlendirilmesi (kontrol denemeleri)
- Kısa dönem (2035) ve uzun dönem (2100 ve sonrası) için iklim projeksiyonlarının üretilmesi
- Model projeksiyonları arasındaki farklara neden olan, karbon döngüsü ve bulutlanma gibi temel geri bildirimlerin aralarında bulunduğu faktörlerin sayısal değerlerinin belirlenmesi

Bu özellikler, CMIP5 çıktılarına çalışmalarında yer verecek olan kullanıcılara büyük kolaylık sağlamıştır.

6. Bölgesel İklim Modelleri ve Ölçek Küçültme

Küresel iklim modellerinin çıktılarıyla bölgesel ya da lokal etki, etkilenebilirlik ve adaptasyon analizleri yapmak oldukça zordur. Bunun temel sebebi, yerkürenin yüz ölçümü göz önüne alındığında, küresel modellerin yeterli ayrıntıda bilgilerin elde edilmesine imkan tanıyacak çözünürlükte (100 ila 1000km) olamayışlarıdır. Bunu aşmak için bölgesel iklim modelleri (RCMs) geliştirilmiştir. RCM'ler dinamik ya da istatistikî ölçek küçültme

yöntemleri kullanarak küresel model verilerini daha yüksek çözünürlükte yeniden işlemek suretiyle daha ayrıntılı çıktılar üretmektedirler (**Şekil-8**). Bu modellerde, belirli bir bölgedeki sıcaklık, yağış ve rüzgar gibi iklim elemanları daha fazla göz önünde bulundurulmaktadır. Bir anlamda global modelden elde edilen sinyalin adı geçen bölgede ne gibi etkiler oluşturacağı RCM'ler aracılığı ile araştırılmaktadır.



Şekil 8: Küresel ölçekten bölgesel ölçeğe

AR5'in hazırlıkları kapsamında daha sağlıklı bölgesel analizlere imkan sağlamak amacı ile CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment-Koordineli Bölgesel İklim Ölçek Küçültme Çalışması) adı ile bir inisiyatif oluşturulmuştur. Bu oluşumda dünya yüzeyi 13 parçaya ayrılmış ve küresel model çıktıları ölçek küçültme yöntemi ile daha yüksek çözünürlükte (50 km) yeniden üretilmiştir.

KORDEKS Alanları (CORDEX Domains)

1. Güney Amerika
2. Orta Amerika
3. Kuzey Amerika
4. Avrupa
5. Afrika
6. Güney Asya

7. Doğu Asya
8. Orta Asya
9. Avustralya
10. Antarktika
11. Arktik
12. Akdeniz
13. Akdeniz-Kuzey Afrika

7. Ölçek Küçültme (Downscaling) Yöntemleri

Ölçek küçültme, göreceli olarak daha düşük çözünürlüklü GCM'lerden daha yüksek çözünürlüklü iklim ya da iklim değişikliği bilgilerini elde etme yöntemleridir. Bunlar kullanılan yöntemlere göre ikiye ayrılmaktadırlar. Bunlardan dinamik ölçek küçültme yöntemi, küresel model çıktılarının, başlangıç koşullarını yine aynı küresel modelden alan, içinde küresel modele benzer fiziksel ve kimyasal süreçlerin yer aldığı, sınırlı alan modelleri olarak da adlandırılan bölgesel iklim modelleri (RCM) ile daha düşük çözünürlükte (10-50 km) yeniden üretilmesidir. İstatistiksel ölçek küçültme ise bölgesel iklimin iki temel faktör tarafından etkilendiği varsayımına dayanmaktadır. Bunlar büyük ölçekli (global) iklim durumu ve topoğrafya, kara deniz dağılımı ve arazi kullanımı gibi bölgesel/lokal fizyo-coğrafi özelliklerdir (von Storch,1999). Bu bağlamda, bölgesel ya da lokal değişkenlerle büyük ölçekli (küresel) iklim olguları (örneğin el-nino) arasında ilişki kuran bir istatistiksel model yardımı ile bölgesel/lokal iklim bilgileri türetilmektedir. Bir küresel modelden elde edilen bilgiler lokal iklimi tahmin etmek için istatistiksel modelin kurgusunda kullanılır.

8. Çalışılan Modeller

Çalışmada AR5'te kullanılan yaklaşık 40 küresel modelden genel olarak en çok kabul gören modellerden biri olan HadGEM2-ES küresel modeline ait çıktılar kullanılmıştır. 125 km çözünürlüğe sahip olan küresel model çıktılardan daha yüksek çözünürlüklü (20 km) ve daha ayrıntılı bilgiler elde etmek için bölgesel iklim modellerinden özellikle Akdeniz bölgesi için genel kabul gören RegCM(version-4) modeli kullanılmıştır. HadGEM model ailesinde

basitten karmaşığa doğru birçok üye bulunmaktadır. Çalışmada bunlardan en kapsamlı olan HadGEM2-ES seçilmiş ve RegCM'in en son versiyonu olan RegCM4 kullanılmıştır.

HadGEM2-ES

HadGEM2; İngiltere'nin meteoroloji servisine (Met Office) bağlı bir araştırma kuruluşu olan Hadley Centre tarafından geliştirilen 2. nesil küresel bir modeldir ve Global Environment Model Version 2 anlamına gelmektedir. Bu modelin benzer fiziksel özelliklere sahip fakat farklı konfigürasyonda birçok versiyonu bulunmaktadır. HadGEM2 serisi birleştirilmiş atmosfer-okyanus konfigürasyonu ve içerisinde dinamik vejetasyon, okyanus biyolojisi, atmosfer kimyasının da bulunduğu bir yer sistem konfigürasyonunu içermektedir. HadGEM2 serisi IPCC 5. Raporu hazırlıklarında kullanılan modellerden biridir. Standart atmosfer birleşimi, 40 km'ye kadar yükselen 38 seviyeden oluşmaktadır. Bu katman yatay çözünürlüğü, enlemi 1,25 derece ve boylamı 1,875 derece olan 192x145 grid hücresi ile küresel olarak temsil edilmektedir. Bu çözünürlük değerleri yaklaşık olarak Ekvator'da 208x139 km, 55. enlemlerde 120x139 km'dir. Genişletilmiş dikey yükseklik, stratosferin özelliklerini ve küresel iklime etkisinin incelenmesi amacı ile 60 seviye ile 85. km'ye kadar çıkabilmektedir. Okyanus bileşeni ise, kutuplar ile 30 enlemler arasında, boylamsal çözünürlüğü 1 derece ve enlemsel çözünürlüğü 1 derece olan, toplamda 360x216 grid hücresinden oluşmaktadır. Dikeyde ise eşit olmayan 40 seviyeden (yüzeyde çözünürlüğü 10 m kadar ulaşabilen) oluşmaktadır. HadGEM2 serisinde HadGEM2-A, HadGEM2-O, HadGEM2-AO, HadGEM2-CC, HadGEM2-CCS, HadGEM2-ES versiyonları bulunmaktadır. Çalışmada HadGEM2 serisinin en kapsamlı versiyonu olan HadGEM2-ES versiyonu ürünleri kullanılmaktadır.

Tablo 3: HadGEM modelleri (HadGEM2 development team)

HadGEM2-A	Troposfer, Arazi Yüzeyi ve Hidroloji, Aerosoller
HadGEM2-O	Okyanus ve Deniz Buzu
HadGEM2-AO	Okyanus ve Deniz Buzu, Troposfer, Arazi Yüzeyi ve Hidroloji, Aerosoller
HadGEM2-CC	Okyanus ve Deniz Buzu, Troposfer, Arazi Yüzeyi ve Hidroloji, Aerosoller, Karsal Karbon Döngüsü, Okyanus biyokimyası
HadGEM2-CCS	Okyanus ve Deniz Buzu, Troposfer, Arazi Yüzeyi ve Hidroloji, Aerosoller, Karsal Karbon Döngüsü, Okyanus biyokimyası, Stratosfer
HadGEM2-ES	Okyanus ve Deniz Buzu, Troposfer, Arazi Yüzeyi ve Hidroloji, Aerosoller, Karsal Karbon Döngüsü, Okyanus Biyokimyası, Kimya

RegCM4.3.4

İklim, kendini oluşturan ve birbiri ile ilişkili çok sayıda bileşenin olması ve geniş alansal ve zamansal fizik süreçleri nedeni ile simülasyon yapılması en zor jeofiziksel sistemlerden biridir. İklim, atmosfer (bulutlar, aerosoller, atmosferik gazlar vb.), hidrosfer (okyanuslar, göller ve sulak alanlar), litosfer (toprak nemi ve farklı fazları) ve biyosfer (vegetasyon, karbon döngüsü vb.) gibi sistemlerle doğrudan etkileşim içersindedir. Bu büyük etkileşim ve mikro düzeyde yağmur damlası oluşumundan makro düzeyde okyanus akıntılarına kadar içerdiği farklı boyutlardaki fiziksel süreçleri içermektedir. Bu durum iklimin doğrusal olmayan (non-linear) çok karmaşık bir özelliğe sahip olmasını sağlamaktadır.

Bölgesel iklim model sistemi (Regional Climate Model System) olarak tanımlanan RegCM aslında Amerikan Ulusal Atmosfer Araştırmaları Merkezi (NCAR) tarafından geliştirilmiş olup, geliştirilmesi Uluslararası Abdüsselam Teorik Fizik Merkezi'nin (ICTP) Yer Sistem Fiziği Bölümü (ESP) tarafından gerçekleştirilmiştir. İlk versiyon, RegCM1, 1989 yılında geliştirilmiş ve daha sonra üst versiyonları geliştirilmiştir (RegCM2-1993, RegCM2.5-1999, RegCM3-2006, RegCM4 2010). Şuan güncel olarak en son versiyon olan RegCM4 modeli kullanılmakta ve tamamen ESP tarafından desteklenmektedir. Bu versiyon dünyanın istenilen herhangi bir bölgesi ve gerek gelecek iklim simülasyonları gerekse paleoklimatolojik çalışmalar için kullanılabilen, hidrostatik limit olan 10 km. çözünürlükte ürünler verebilmektedir.

3. ÇALIŞMANIN HEDEFİ

İklim değişikliğinin en önemli göstergesi, düzenli ölçümlerin başladığı 1850'den itibaren artan küresel ortalama sıcaklıklardır. Sıcaklıkların artması, küresel olarak ısınmanın arttığının kanıtı olarak bilimsel çevreler tarafından kabul edilmektedir. Sıcaklıkların artmasının, yani küresel ısınmanın en temel sebebi olarak ise sera gazlarının atmosferdeki yoğunluklarının artması olarak gösterilmiştir. Bu konuda artan hassasiyet, Birleşmiş Milletler çatısı altında imzalanan Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC) ile tüm dünya tarafından kabul edilmiştir.

Küresel ısınma, kendini ortalama sıcaklıkların artması ile gösterirken, hayatın birçok alanında da etkili olmaktadır. Ekstrem olayların şiddeti ve frekansında meydana gelen artış, deniz seviyesinde gözlemlenen yükselme, buzullar da gözlemlenen erime küresel ısınmayı ispat eden diğer gelişmelerdir. Bu gelişmeler, artan kuraklık, biyolojik çeşitlilikte azalma, daha fazla su ihtiyacı vb. birçok ikincil etkiyi de beraberinde getirmektedir.

Küresel ısınmanın yavaşlatılması, sera gazı emisyonlarının azaltılması (mitigation), iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı önlemler alınması (adaptation) ve bu konularda bilimsel temele dayanan uygulamalar geliştirilmesi amacıyla gerek uluslararası bilimsel araştırma kuruluşları ve gerekse ulusal bilim merkezleri çalışmalarını sürdürmektedir. Bu çalışmalardan en önemlisi gelecekte meydana gelmesi muhtemel iklim değişikliklerinin tahmin edilmesine (climate change projections) yönelik çalışmalar oluşturmaktadır. Politik alanda adaptasyon ve azaltım ile ilgili alınan/alınacak tüm kararlar, hayata geçirilecek tüm uygulamalar, planlar ve programlar iklim değişikliği projeksiyonlarından elde edilen bilgilere göre düzenlenmektedir.

Tezde temel amacımız, yukarıda bahsettiğimiz adaptasyon ve azaltım uygulamalarına bir altlık oluşturması için, RCP senaryolarına (RCP4.5 ve RCP8.5) göre Kızılırmak Havzası'nda yüksek çözünürlükte (20 km) 2013-2040 periyodu için iklim değişikliği projeksiyonları üretmek ve WMO'nun kabul ettiği iklim indisleri ile projeksiyonların klimatolojisini ortaya koymaktır. Bu ana amaç çerçevesinde, elde edilecek sonuçların iklim değişikliğinin olumsuz sonuçlarına karşı alınacak önlemlerde girdi olarak kullanılmasının faydalı olacağı değerlendirilmektedir.

4. METEDOLOJİ VE DATA

4.1. Kullanılan Data Setleri

Çalışmada, HadGEM2-ES versiyonunun RCP4.5 ve RCP8.5 emisyon senaryosuna göre üretmiş olduğu küresel model çıktılarının data setleri, bölgesel iklim modeli olarak kullanılan RegCM4 modeli ile dinamik ölçek küçültme yöntemi vasıtasıyla bölgesel projeksiyonlar üretilmiştir. Küresel iklim modelleri benzer fiziksel temellere dayanmakla birlikte çalışma konfigürasyonlarında farklılıklar olabileceğini daha önce belirtmiştik. Bu durum bölgesel iklim modelleri içinde geçerlidir. Dolayısı ile küresel iklim modellerinin çıktıları bölgesel iklim modelleri tarafından kullanılacağı zaman, modeller arasında uyum olup olmaması önem arz etmektedir. Kullanmayı planladığımız RegCM4 bölgesel modeli ile HadGEM2-ES arasında bu tür bir uyum bulunmaktadır.

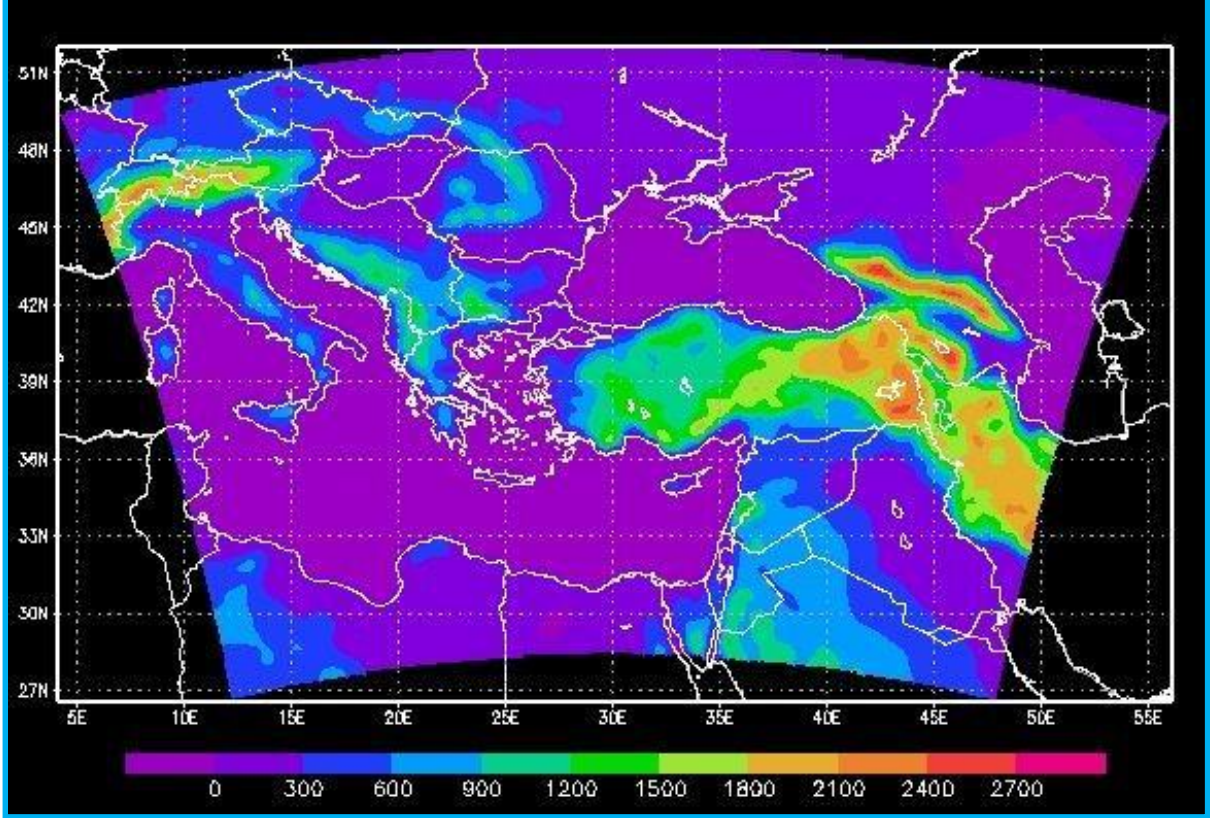
Bölgesel modelin (RegCM4) en uygun çalışma konfigürasyonunu bulmak için kontrol denemeleri (control runs) projeksiyon için kullanılan HadGEM2-ES modeli referans data seti (1971-2000) ile yapılmış ve çıktıları karşılaştırmak amacı ile aylık CRU (Climate Research Unit) verileri kullanılmıştır.

Çalışma için gerekli data setleri ve model programları, bu konuda çalışan uluslararası kurum ve kuruluşların resmi internet sitelerinden, üniversitemizden ve Meteoroloji Genel Müdürlüğünden elde edilmiştir. Kullanılacak veri setleri ve yazılımlar:

- HadGEM2-ES verileri
- RegCM4.3.4. modeli yazılımı
- CRU verileri
- Deniz Suyu Yüzey Sıcaklıkları (SST)
- Topografya verileri
- Diğer yazılım ve veriler (görüntüleme yazılımları, CBS araçları ve meteorolojik veriler)

4.2. Çalışma Alanı

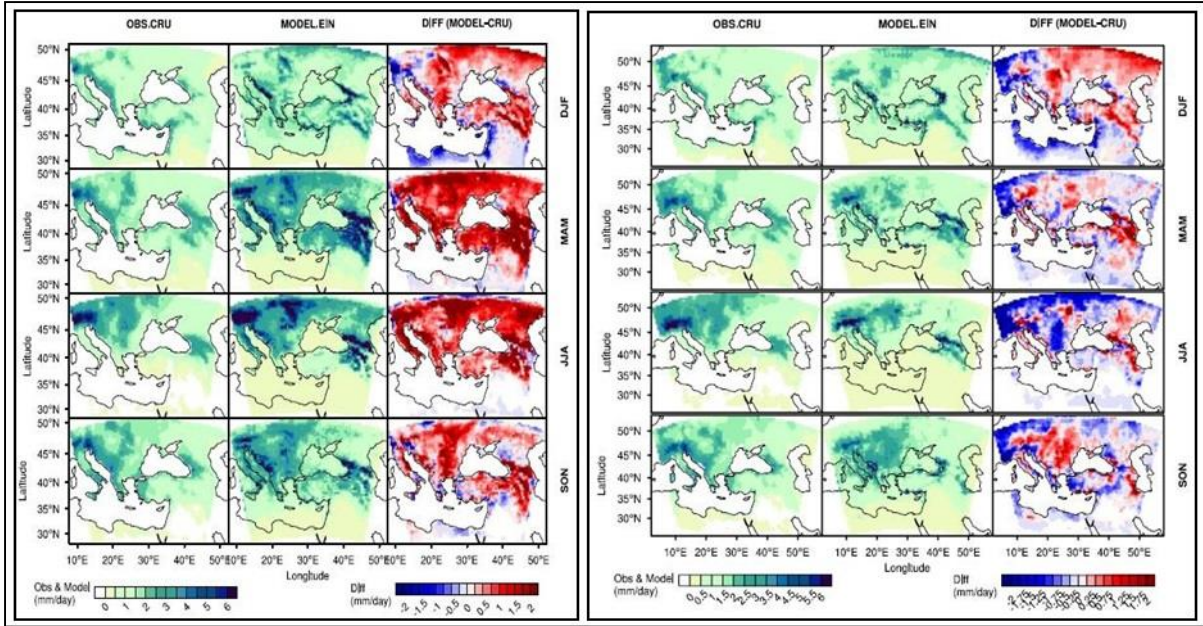
Çalışmanın birinci adımında, bölgesel model ile ölçek küçültülecek alan için Türkiye'yi de içine alan geniş bir alan (2600X3600 km.) seçilmiştir (Şekil-9). Domain alanı seçilirken bir yandan bilgisayar sistemi kapasitesi göz önünde bulundurulurken diğer yandan seçilen alanın Türkiye'yi etkileyen sistemleri ve özelliklerini yansıtacak büyüklükte olmasına dikkat edilmiştir. Aşağıda, seçilen domain alanı gösterilmiştir (Şekil-9).



Şekil 9: RegCM4 model çalışma alanı

4.3. Parametrizasyon (Modelin Kalibrasyonu)

Bölgesel iklim modelinde domain, ızgara sistemiyle oluşturulmuş küplerden (grid) oluşmaktadır. Her bir gridin orta noktasının iklimsel değeri o gridin kapsadığı alanı temsil etmektedir. Bu sistemde en iyi model sonuçlarına ulaşmak için, her bir gridin kapsadığı alanda tüm iklimsel sistemleri en iyi şekilde yansıtmaları gerekmektedir.



Şekil 10: Parametrizasyon örneği. (Solda eşik değerlerinde herhangi bir değişiklik yapılmadan elde edilmiş model sonucu, sağda ise parametrizasyon sonucu elde edilen ve gözlem verilerine daha yakın değerlere sahip model sonucu görülmektedir.)

Parametrizasyon çalışmalarında CRU (Climate Research Unit) ve UDEL'e (University of Delaware) ait gridlenmiş iklim verileri model sonuçları ile kıyaslanmış, gridlere ait eşik değerleri yeniden belirlenerek iyi sonuç aldığımız parametrizasyon şemasında model çalıştırılmıştır.

4.4. Elde Edilen Ürünler

Tez çalışmasında, Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından, RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına ait HadGEM2-ES data seti kullanılarak elde edilen 2013-2040 genel domain alanı projeksiyonları, Türkiye alanı projeksiyonları ve Kızılırmak Havzası alanı projeksiyonları elde edilmiştir. Projeksiyonlar çeşitli görüntüleme araçları kullanılarak gösterilmiş ve aynı zamanda grid verileri, veri tabanına atılarak indis analizleri yapılmıştır. Indis çalışması, projeksiyonların günlük verileri ve referans periyodun günlük verileri baz alınarak üretilmiştir.

Tablo 4: 27 adet çekirdek iklim indisi (Zhang ve Yang, 2004)

KISALTMA	İNDİKATÖR ADI	ACIKLAMA	BİRİM
FD0	Donlu günler	Minimum sıcaklığın 0°C'nin altında olduğu günler sayısı	Gün
SU25	Yaz günleri	Günlük maksimum sıcaklığın 25°C'nin üzerinde olduğu günler sayısı	Gün
ID0	Buzlu günler	Maksimum sıcaklığın 0 °C'nin altında olduğu günler sayısı	Gün
TR20	Tropik geceler	Minimum sıcaklığın 20 °C'nin üzerinde olduğu günler sayısı	Gün
GSL	Büyüme sezonu uzunluğu	Günlük ortalama sıcaklığın, Kuzey yarım küre için, 1 Ocak ile 1 Temmuz arasında arka arkaya 6 gün boyunca 5 °C'nin üzerinde olduğu periyot ile 1 Temmuz-31 Aralık arasında arka arkaya 6 gün boyunca 5 °C'nin altında olduğu periyot arasındaki gün sayısı	Gün
TXx	Maksimum sıcaklıkların maksimumu	Bir ay içinde günlük maksimum sıcaklıkların maksimumu	°C
TNx	Minimum sıcaklıkların maksimumu	Bir ay içinde, günlük minimum sıcaklıkların maksimumu	°C
TXn	Maksimum sıcaklıkların minimumu	Bir ay içinde, günlük maksimum sıcaklıkların minimumu	°C
TNn	Minimum sıcaklıkların minimumu	Bir ay içinde, günlük minimum sıcaklıkların minimumu	°C
TN10p	Serin geceler	Referans periyot minimum sıcaklıklarının %10. değerinin altında minimum sıcaklığa sahip günler sayısı	Gün
TX10p	Serin günler	Referans periyot maksimum sıcaklıklarının %10. değerinin altında maksimum sıcaklığa sahip günler sayısı	Gün
TN90p	Sıcak geceler	Referans periyot minimum sıcaklıklarının %90. değerinin üstünde maksimum sıcaklığa sahip günler sayısı	Gün
TX90p	Sıcak günler	Referans periyot maksimum sıcaklıklarının %90. değerinin üstünde maksimum sıcaklığa sahip günler sayısı	Gün
WSDI	Sıcak dönem devamlılık indikatörü	Referans periyot maksimum sıcaklıklarının, en az 6 gün art arda %90. değerinin üstünde maksimum sıcaklığa sahip günler sayısı	Gün
CSDI	Soğuk dönem devamlılık indikatörü	Referans periyot minimum sıcaklıklarının, en az 6 gün art arda %10. değerinin altında minimum sıcaklığa sahip günler sayısı	Gün
DTR	Dünlük sıcaklık farkı	Günlük maksimum ve minimum sıcaklık farkının aylık ortalaması	°C
RX1day	Aylık maksimum 1 günlük yağış	Aylık periyotta, 1 günlük maksimum yağış	mm
Rx5day	Aylık maksimum 5 günlük yağış	Aylık periyotta, art arda en fazla yağış alan 5 günün toplam yağışı	mm
SDII	Günlük yağış yoğunluğu	Yıllık toplam yağışın, 1 mm üzerinde yağış alan gün sayısına bölümünde elde edilen değer	Mm/day
R10	Şiddetli yağış alan gün sayısı	Yağışın 10 mm ve üzerinde olduğu gün sayısı	Days

R20	Şiddetli yağış alan gün sayısı	Yağışın 20 mm ve üzerinde olduğu gün sayısı	Gün
Rnn	Eşik değerde (nn) yağış alan gün sayısı	Yağışın belirlenen herhangi bir eşik değerine eşit yada fazla olduğu günler sayısı	Gün
CDD	Ardıl kuru günler sayısı	Yağışın art arda 1 mm'den az olduğu maksimum gün sayısı	Gün
CWD	Ardıl ıslak günler sayısı	Maximum number of consecutive days with RR>=1mm	Gün
R95p	Çok ıslak günler sayısı	Günlük yağışın, yıllık toplam yağışın %95. Değerinden büyük olduğu gün sayısı	mm
R99p	Ekstrem ıslak gün sayısı	Günlük yağışın, yıllık toplam yağışın %99. Değerinden büyük olduğu gün sayısı	mm
PRCPTOT	Yıllık toplam yağış	Günlük yağışın 1 mm ve üstünde olduğu günlerdeki yıllık toplam yağış	mm

4.5. Önceki Çalışmalar

Türkiye açısından, iklim model çalışmalarında daha önce farklı enstitüler ve araştırma merkezleri, üniversiteler ve kuruluşlarda çalışmalar olmasına rağmen, özellikle İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesinin imzalanmasıyla birlikte, 2 yılda bir Ulusal Bildirim raporlarının hazırlanması yükümlülüğü bu konuda yapılan çalışmaların gerek derlenmesi ve gerekse bu alanda daha fazla çalışma yürütülmesine olanak sağlamıştır.

Bu bağlamda, 1. Ulusal bildirimde Barış Önoğlu'nun (İTÜ) tarafında yapılan iklim projeksiyon çalışmaları bildirimde yer almıştır. İkinci bildirimde ise, 2007 yılında Meteoroloji Genel Müdürlüğü ve İTÜ Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü'nün ortaklığında TUBİTAK-KAMAG projesi ile, Türkiye İçin İklim Değişikliği Senaryoları Projesi, bu alanda oldukça kapsamlı çalışma yürütülmüş ve sonuçları 2. Bildirimde yer almıştır.

İklim simülasyon çalışmalarında özellikle son yıllarda Türkiye ve çevresine odaklanılmıştır. Önoğlu ve Semazzi (2009) Doğu Akdeniz için bölgesel iklim değişikliği simülasyonunu, 1961-1990 referans periyodu ve SRES A2 senaryosunu kullanarak 2071-2100 yılları için iklim projeksiyonu yapmışlardır (Önoğlu ve Semazzi, 2009). İklim projeksiyonunda, Türkiye'nin bütünü göz önüne alındığında yaz mevsimi için en yüksek sıcaklık artışı 4.3°C tahmin edilmiştir. Modelin yağış sonuçlarında ise kış mevsiminde Karadeniz Bölgesi'nde artış şeklinde ve Akdeniz Bölgesi'nde düşüş şeklinde belirgin değişiklikler olacağı tahmin edilmektedir. Ayrıca yine Önoğlu tarafından yapılan model simülasyon çalışmasında Türkiye'de

son yirmi yılda yaz sıcaklıklarında önemli artış saptanmıştır (Önol, Bozkurt, Turunçoğlu, Sen ve Dalfes, 2013).

İTÜ bünyesinde faaliyet gösteren Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü'nün iklim araştırma grubu tarafından yapılan çalışmada elde edilen ölçeği küçültülmüş iklim değişikliği projeksiyonları farklı senaryolar için hazırlanmıştır ve ECHAM5 modeli çıktılarının A2 senaryosuna dayalı sonuçları elde edilmiştir (Bozkurt ve Sen, 2011). Buna göre, 2011-2040 yılları için tüm Türkiye'de yüzey sıcaklığının artması tahmin edilmektedir ve bu artışın 2099 yıllarında daha fazla olacağı görülmektedir. Model simülasyonu, Türkiye'deki yüzey sıcaklığı artışlarının eşit olmayacağını önermekle birlikte Türkiye'nin doğu iç kısımlarında kış sıcaklıklarında daha fazla artış, güney ve güneydoğu kesimlerinde ise yaz sıcaklıklarında daha fazla artış gözlemleneceğini ortaya koymaktadır.

Bozkurt ve Şen (2011) tarafından Türkiye'yi çevreleyen denizlerin iklim üzerindeki etkisini anlamak amacı ile duyarlılık simülasyonları da yapılmış olup, denizlerin yüzey suyunun yaz ve sonbahar sıcaklıklarındaki artışın büyük olasılıkla sel baskınlarının oluşumunu ve aşırı yağış olaylarını tetiklediği belirtilmiştir.

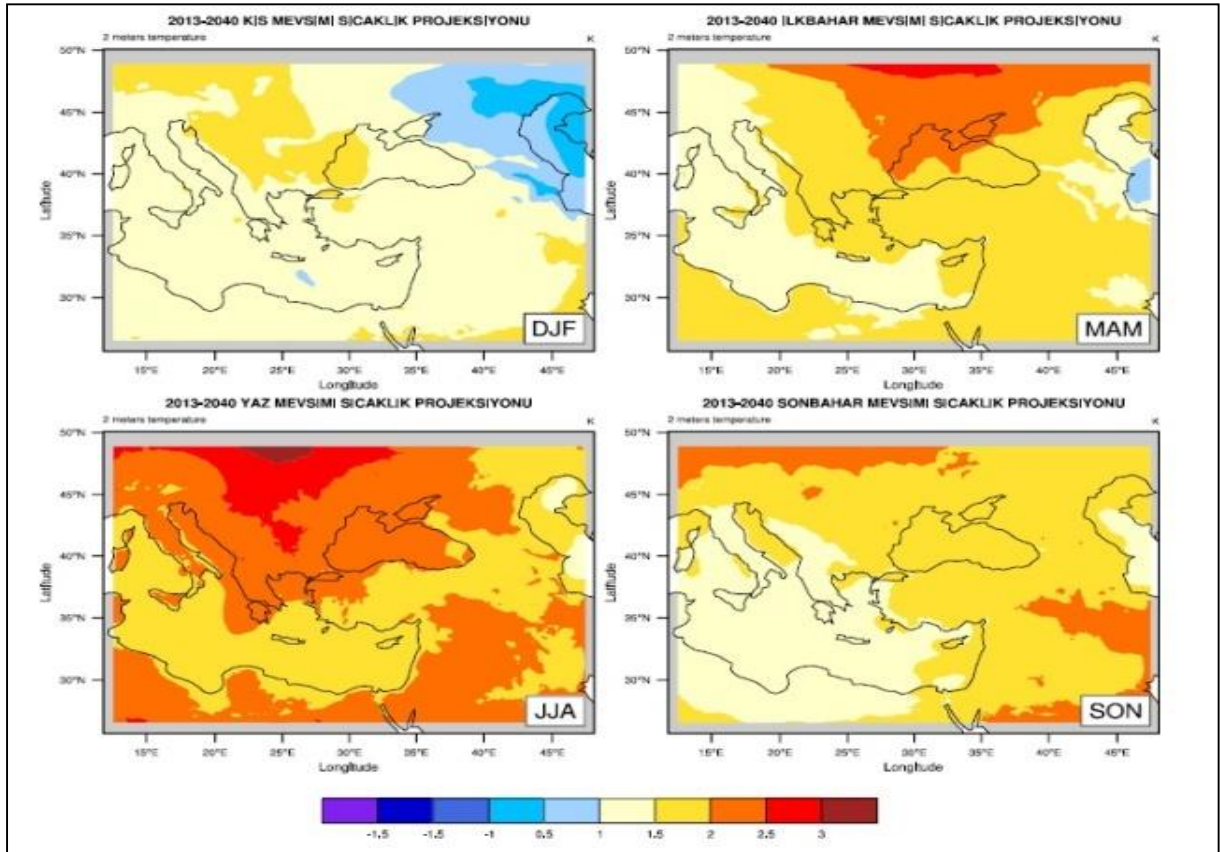
Son olarak, Meteoroloji Genel Müdürlüğü bünyesinde IPCC AR5 raporunda yer alan RCP senaryoları temelinde projeksiyon çalışmaları yürütülmekte ve zaman zaman bu çalışmadan elde edilen sonuçlar çeşitli platformlarda paylaşılmaktadır. Bu çalışmada, Kızılırmak Havzası'nın 2013-2040 periyodunda olası iklim indislerinin belirlenmesinde kullanılan ürünler de MGM tarafından üretilen simülasyonlara dayanmaktadır. Buna ek olarak Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, İTÜ Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü ve İTÜ Meteoroloji Mühendisliği Bölümünde farklı projeler kapsamında ve farklı amaçlar için iklim simülasyonu çalışmaları yürütülmektedir.

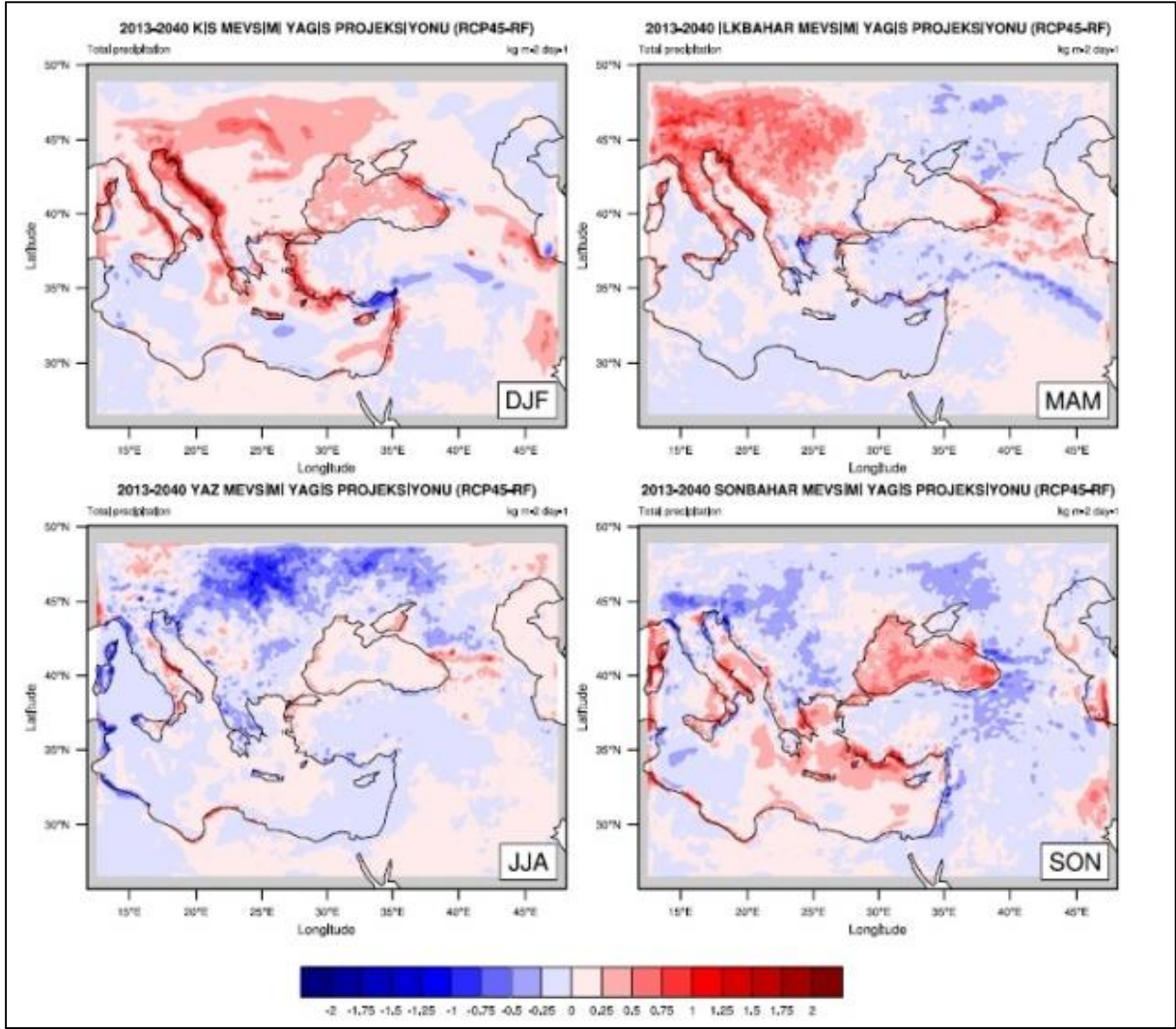
Süreç dikkatle incelendiğinde iklim model simülasyonlarının üretilmesinde gerek üniversitelerimizde gerekse kamu kuruluşlarımızda önemli bir kapasitenin bulunduğu ve elde edilen ürünlerden farklı araştırmalarda ve projelerde yararlandığı görülmektedir.

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

5.1. 2013-2040 Türkiye ve Bölgesi İçin Bölgesel İklim Projeksiyonları

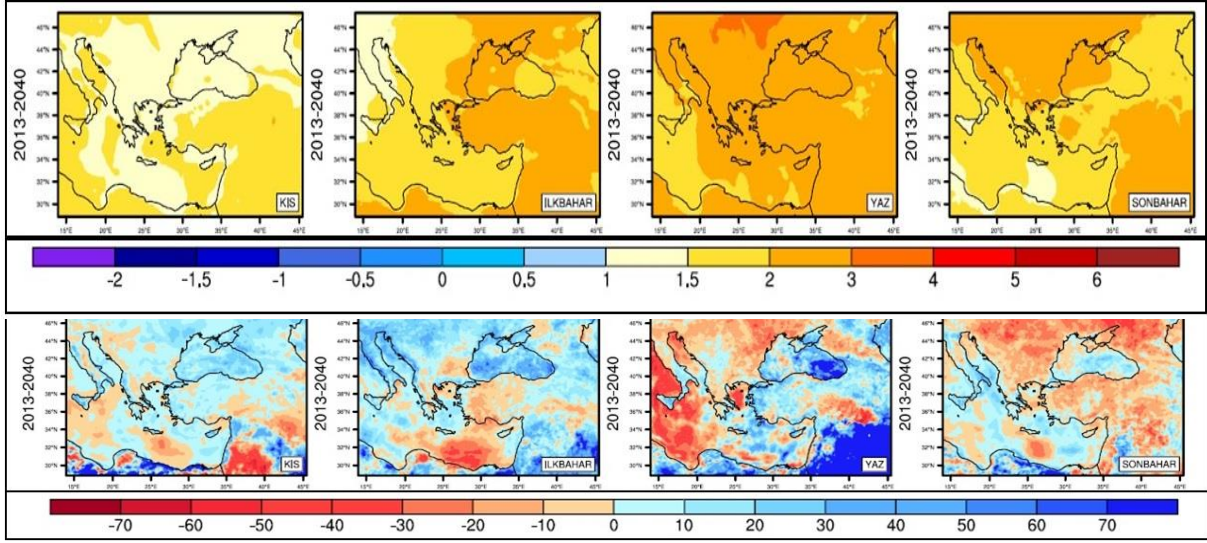
Çalışmanın ilk aşamasında, bölgesel iklim modeli vasıtasıyla seçilen ana domain alanında RCP4.5 ve RCP8.5 sıcaklık ve yağış projeksiyonları elde edilmiştir. RCP4.5 senaryosuna göre oluşturulan projeksiyonlar incelendiğinde 2013-2040 arasında özellikle yaz sıcaklıklarında Akdeniz havzası boyunca 2 °C civarında bir sıcaklıklarda bir artış görülmektedir. Benzeri bir durum RCP8.5'ta da görülmektedir. Ortalama sıcaklık artış miktarlarının 2013-2040 arası periyotta her iki senaryoda da miktar olarak benzer olması, yine IPCC AR5 raporlarında belirtilen radyatif zorlamanın yakın gelecekte benzer bir seyir izleyeceği bulgusuna paralellik göstermektedir.





Şekil 11: RCP4.5 sıcaklık (üstte) ve yağış (altta) projeksiyonları. (RegCM4/HadGem2-ES)

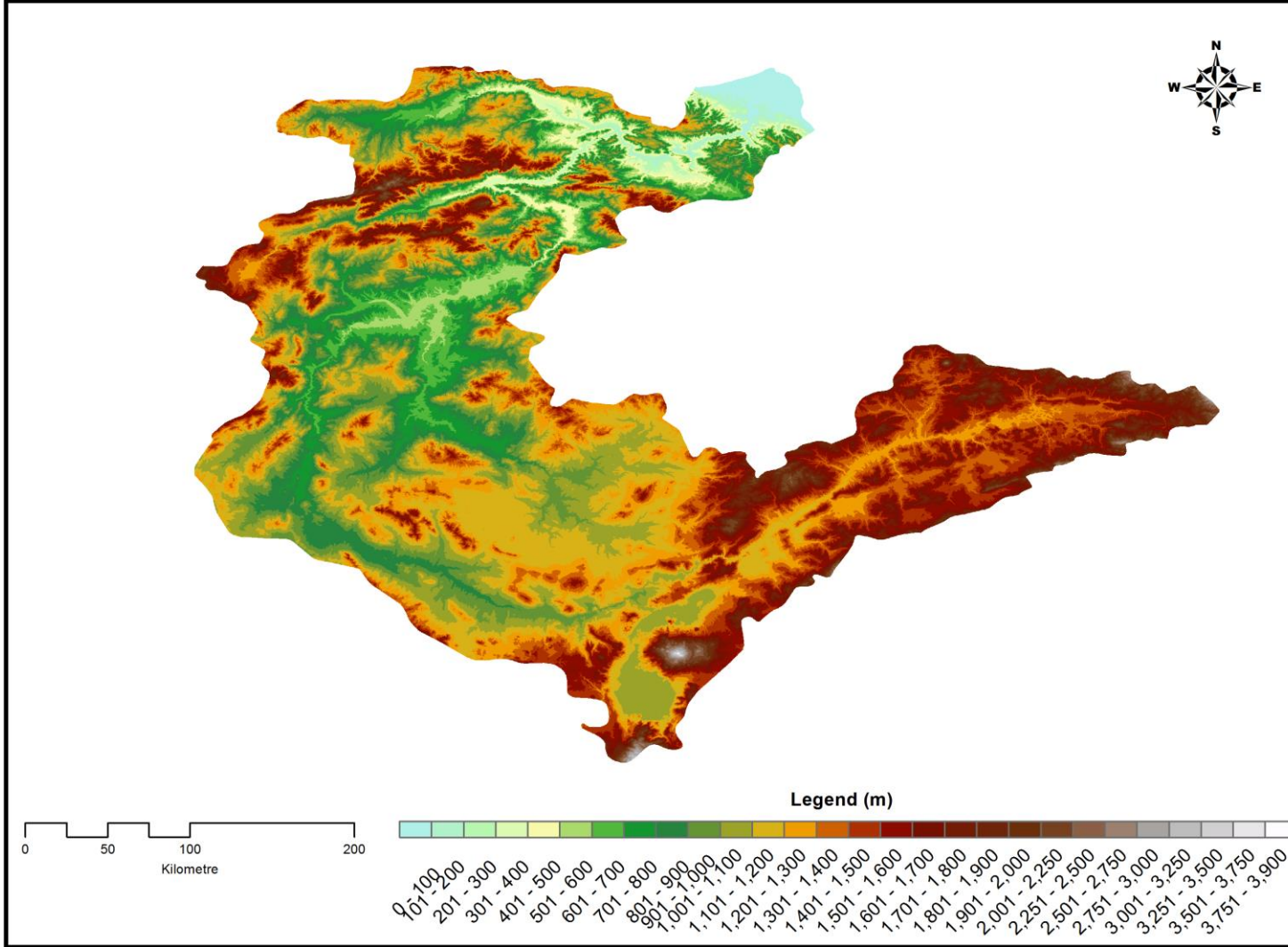
Yaz mevsimine ait sıcaklık projeksiyonunda dikkat çekici nokta kuzeye doğru sıcaklık artış miktarının artmasıdır. Haritanın en kuzeyinde 3 °C'lik bir artış görülmektedir. Bu durum IPCC AR5'teki, sıcaklık artışının en fazla görüleceği alanlardan birinin Kuzey Kutbu olacağı bulgusuna da paralellik göstermektedir.



Şekil 12: RCP8.5 sıcaklık (üstte) ve yağış (altta) projeksiyonları. (RegCM4/HadGem2-ES)

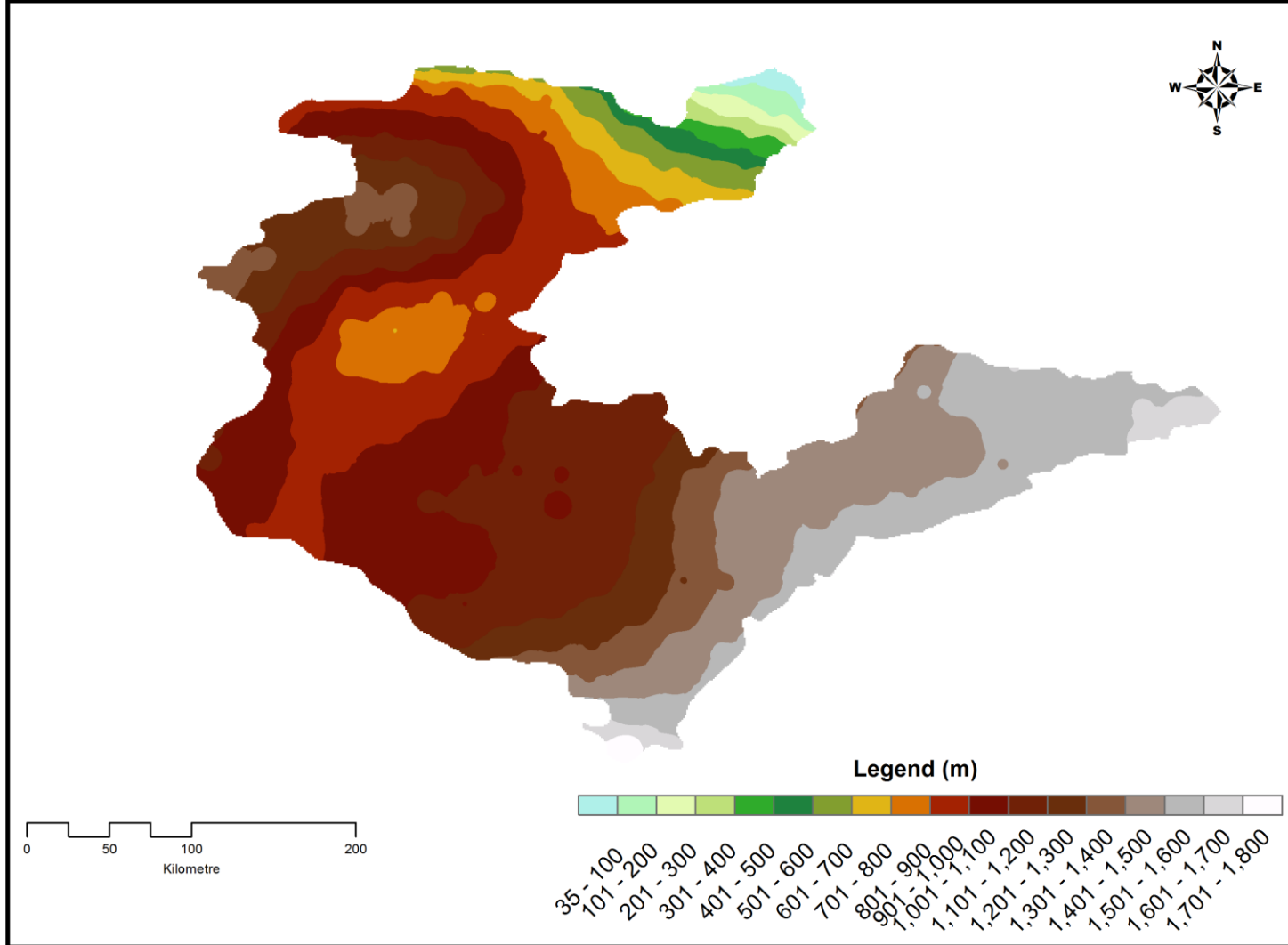
Yağış projeksiyonları incelendiğinde, özellikle RCP4.5 senaryosunda, kış ve ilkbahar yağışlarında kıyılarda fazla yağışlar görülmektedir. Bu durumun hem küresel model hem de bölgesel modelden kaynaklı bir eğilim olduğu düşünülmektedir.

Kızılırmak Havzası Yükseklik Haritası



Şekil 13:Kızılırmak havzası yükseklik haritası

Kızılırmak Havzası Model Yükseklik Haritası



Şekil 14: Kızılırmak havzası model yükseklik haritası

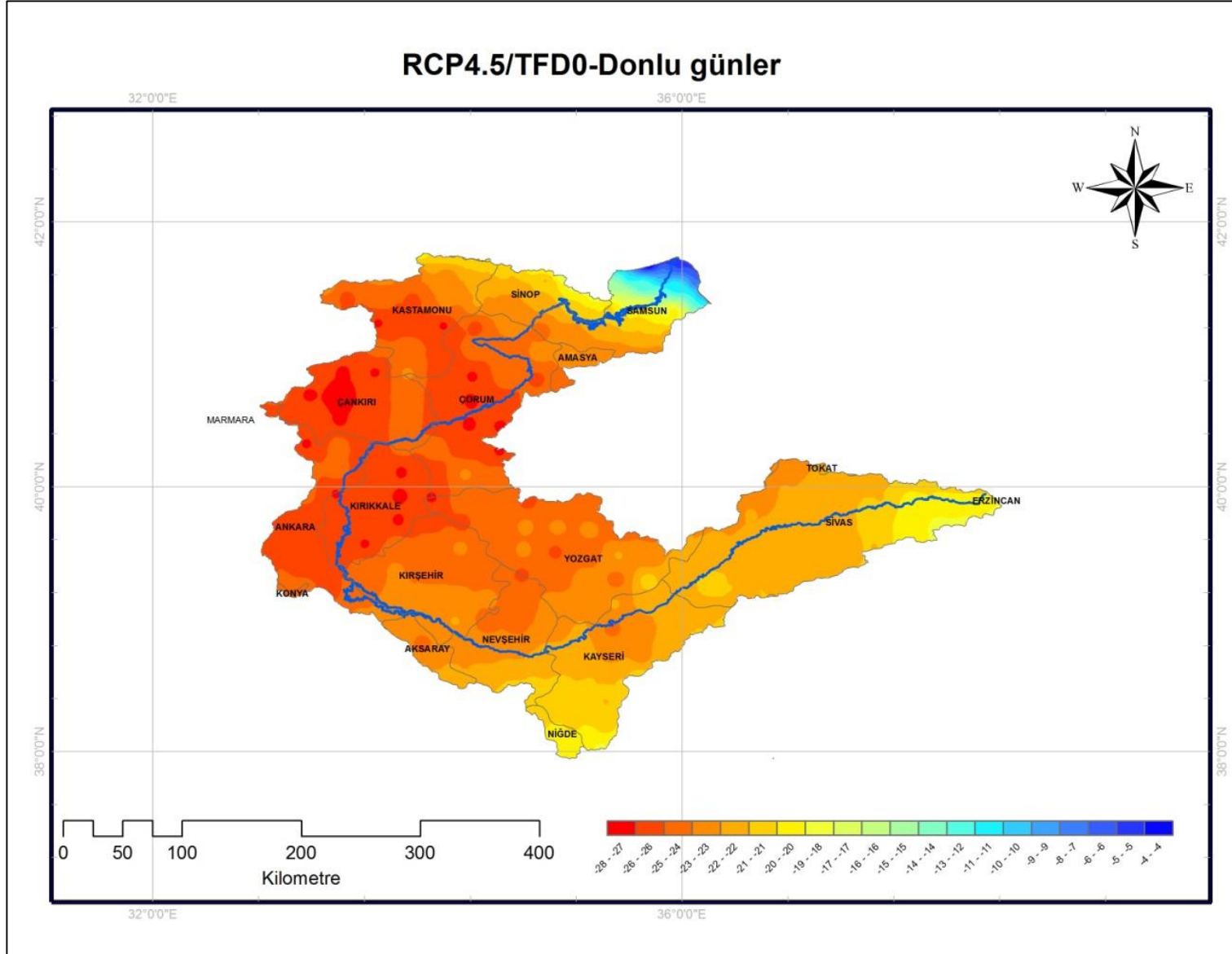
5.2. Kızılırmak Havzası 2013-2040 Periyodunun Referans Periyoda (1971-2000) Göre İklim İndisleri Değerlendirmesi

Çalışmanın bu bölümünde, ilk bölümde verilen genel projeksiyon bulgularının Kızılırmak Havzası özelinde, coğrafi bilgi sistemleri (CBS) araçları kullanılarak, maksimum sıcaklık, minimum sıcaklık ve toplam yağış parametrelerinden elde edilen ve WMO'nun önerdiği 27 iklim indisinden 19'unun analizi yapılmıştır. Havza içerisine düşen her bir gridin periyot boyunca (2013-2040) günlük maksimum ve minimum sıcaklık ile toplam yağış değerlerinden her bir indis için bir değer üretilmesi yoluyla veri seti oluşturulmuştur. Aynı yöntem referans periyodu içinde uygulanarak mukayese edilebilecek iki veri seti elde edilmiştir. Bu kısımda verilen haritalar, gelecek periyot değerinden referans periyot değerinin çıkarılmasıyla elde edilen fark haritalarıdır. Böylece indislerin geleceğe yönelik muhtemel değişimleri ortaya konmaya çalışılmıştır.

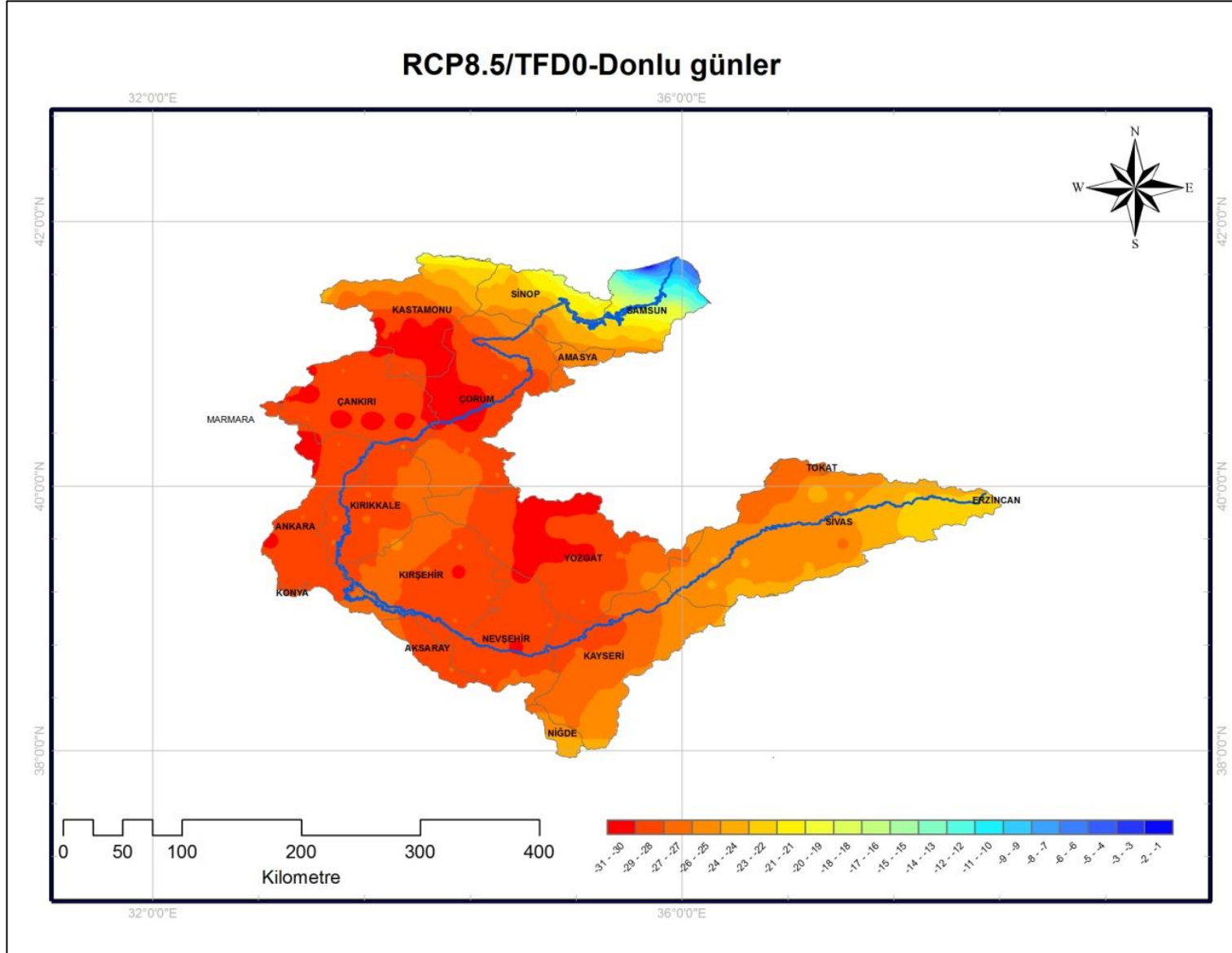
5.2.1. Donlu Günler (TFD0) İndisi

İndis , minimum sıcaklığın 0 °C'nin altında olduğu günlerin sayısını ifade etmektedir. Kızılırmak Havzası'nda bu indise ait değerlerin, her iki senaryoda da, tüm havzada azaldığını, azalmanın kıyı kesiminde nispeten az olurken orta kesimlerde daha yüksek olduğu görülmektedir.

Donlu günlerde en fazla azalma RCP4.5 senaryosunda Çankırı dolaylarında 27-28 gün/yıl olurken, RCP8.5 senaryosunda Kastamonu-Çorum hattında ve Yozgat dolaylarında 30-31 gün/yıl olduğu görülmektedir. En az azalma ise Samsun dolaylarında, kıyıya yakın kesimlerde RCP4.5 senaryosunda 4 gün/yıl, RCP8.5 senaryosunda 1-2 gün/yıl olduğu görülmektedir. Havzanın kıyı kesimi ile iç kesimlerdeki bu farkın denizden uzaklık ile ilişkili olduğu değerlendirilmektedir.



Şekil 15: RCP4.5 Donlu Günler (TFD0) İndisi.

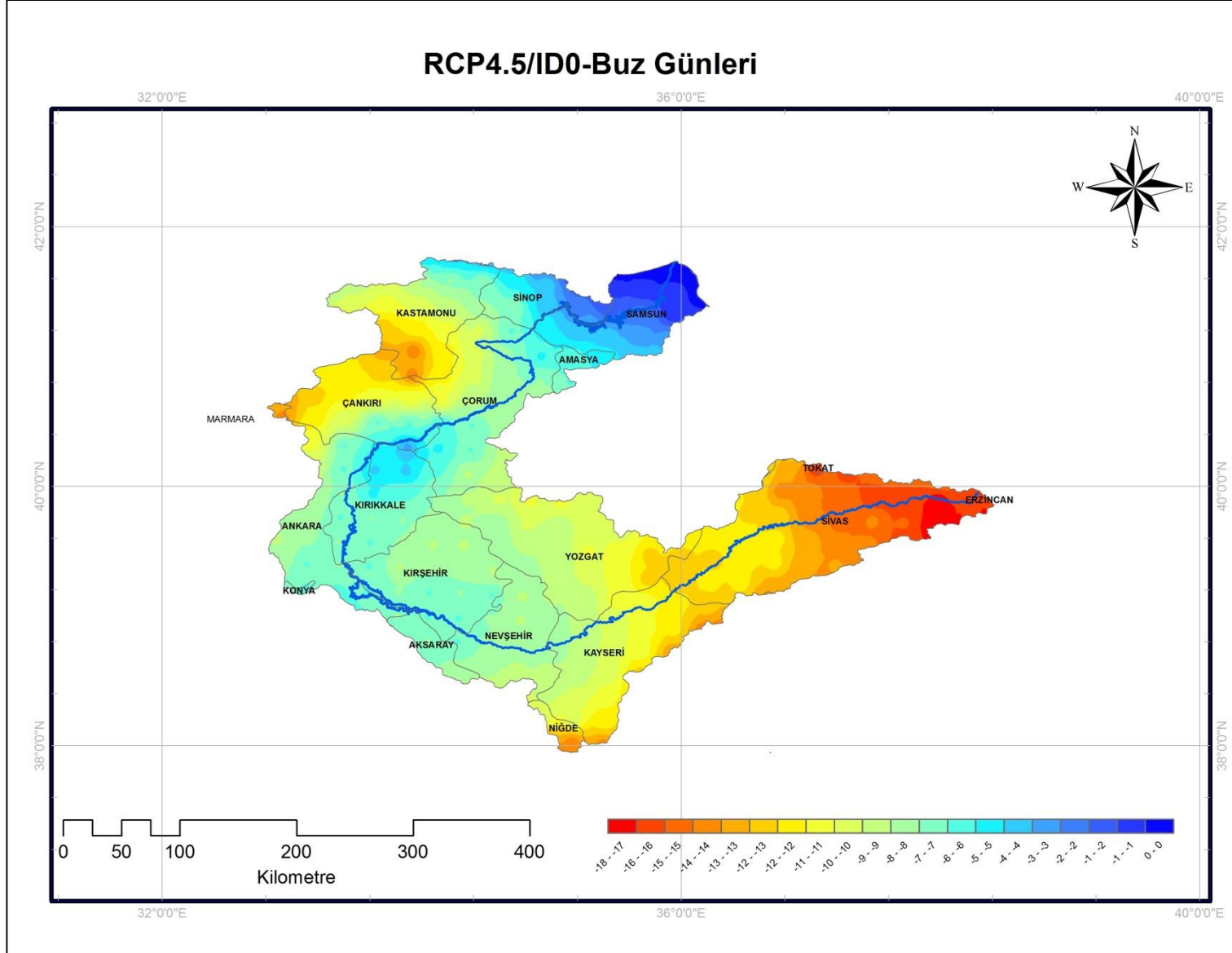


Şekil 16: RCP8.5 Donlu Günler (TFD0) İndisi.

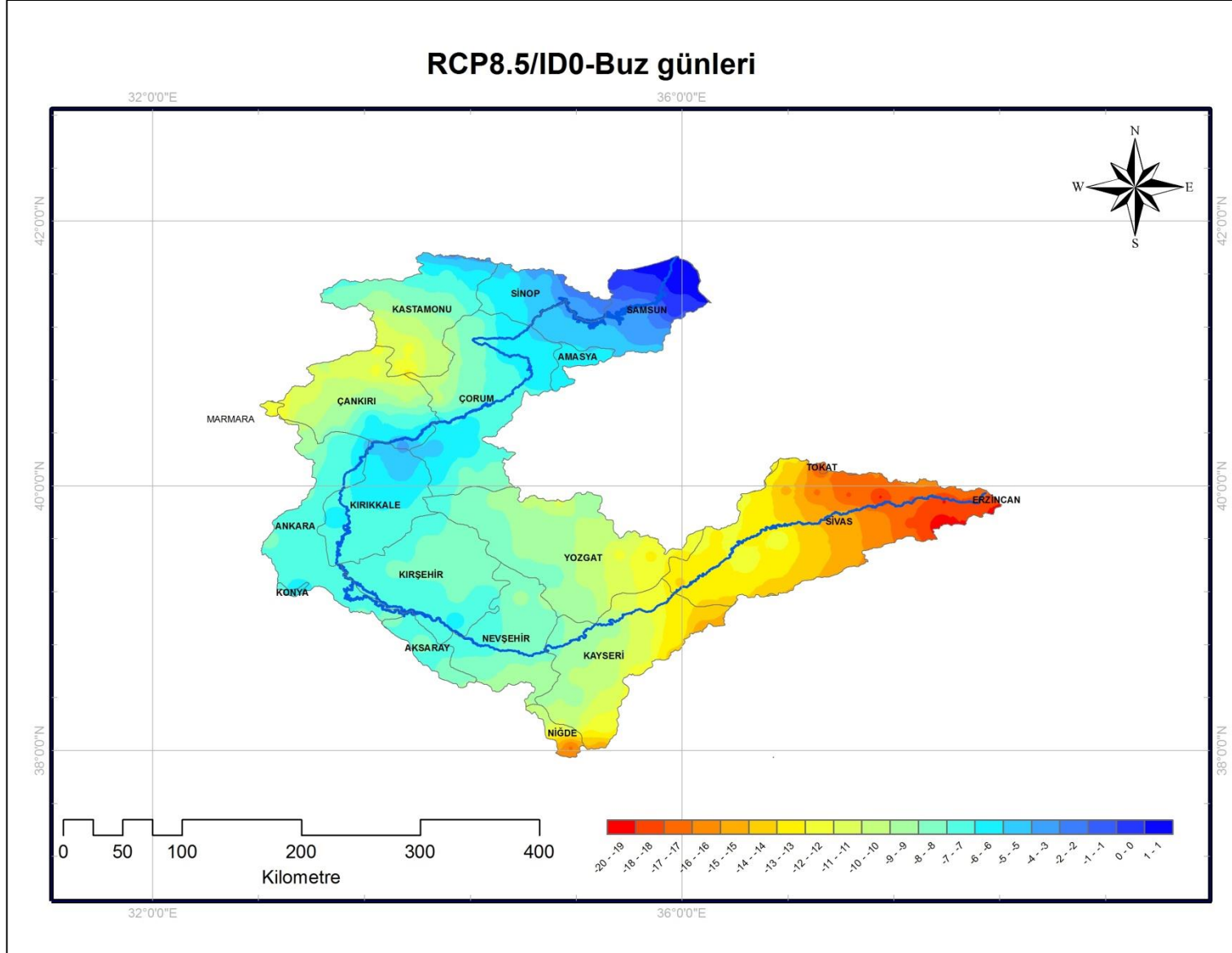
5.2.2. Buz Günleri (ID0) İndisi

Bu indis , maksimum sıcaklığın 0 °C'nin altında olduğu günlerin sayısını ifade etmektedir. Havzada bu indis değerinin Samsun dolaylarında RCP4.5 senaryosunda değişmediği, RCP8.5 senaryosunda ise 1 gün/yıl arttığı görülmektedir. Havzanın diğer bütün kesimlerinde indis değerinin azalma eğiliminde olduğu, özellikle Sivas-Erzincan dolaylarında RCP4.5 senaryosunda 17-18 gün/yıl, RCP8.5 senaryosunda 19-20 gün/yıl azaldığı görülmektedir.

Donlu gün sayısının, havzanın Doğu Anadolu'da kalan kesimlerinde dikkat çekici şekilde azalma eğiliminde olmasında, ısınmanın yüksek kesimlerde de etkili olmasından kaynaklandığı değerlendirilmektedir.



Şekil 17: RCP4.5 Buz Günleri (ID0) İndisi.

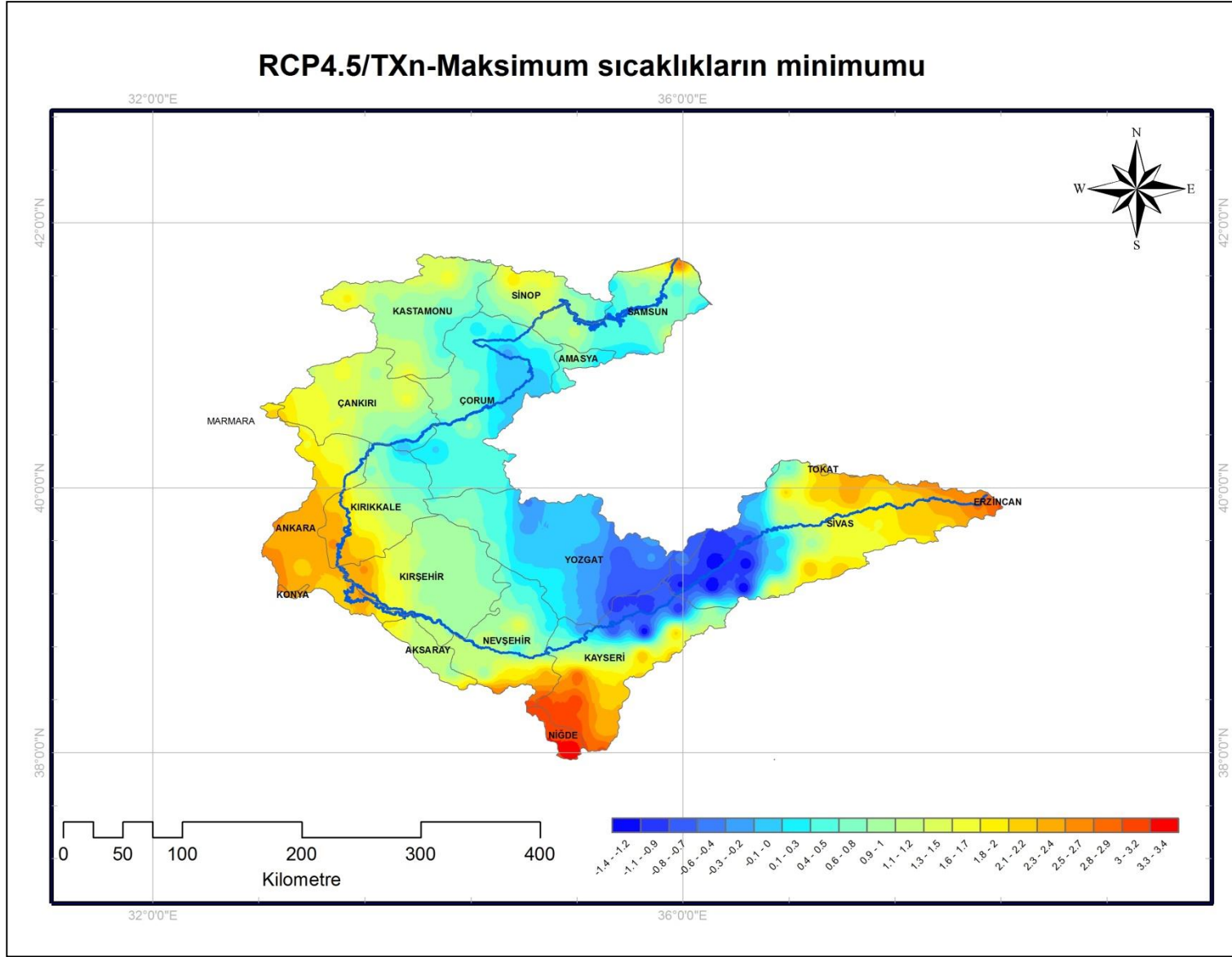


Şekil 18: RCP8.5 Buz günleri (ID0) indisi.

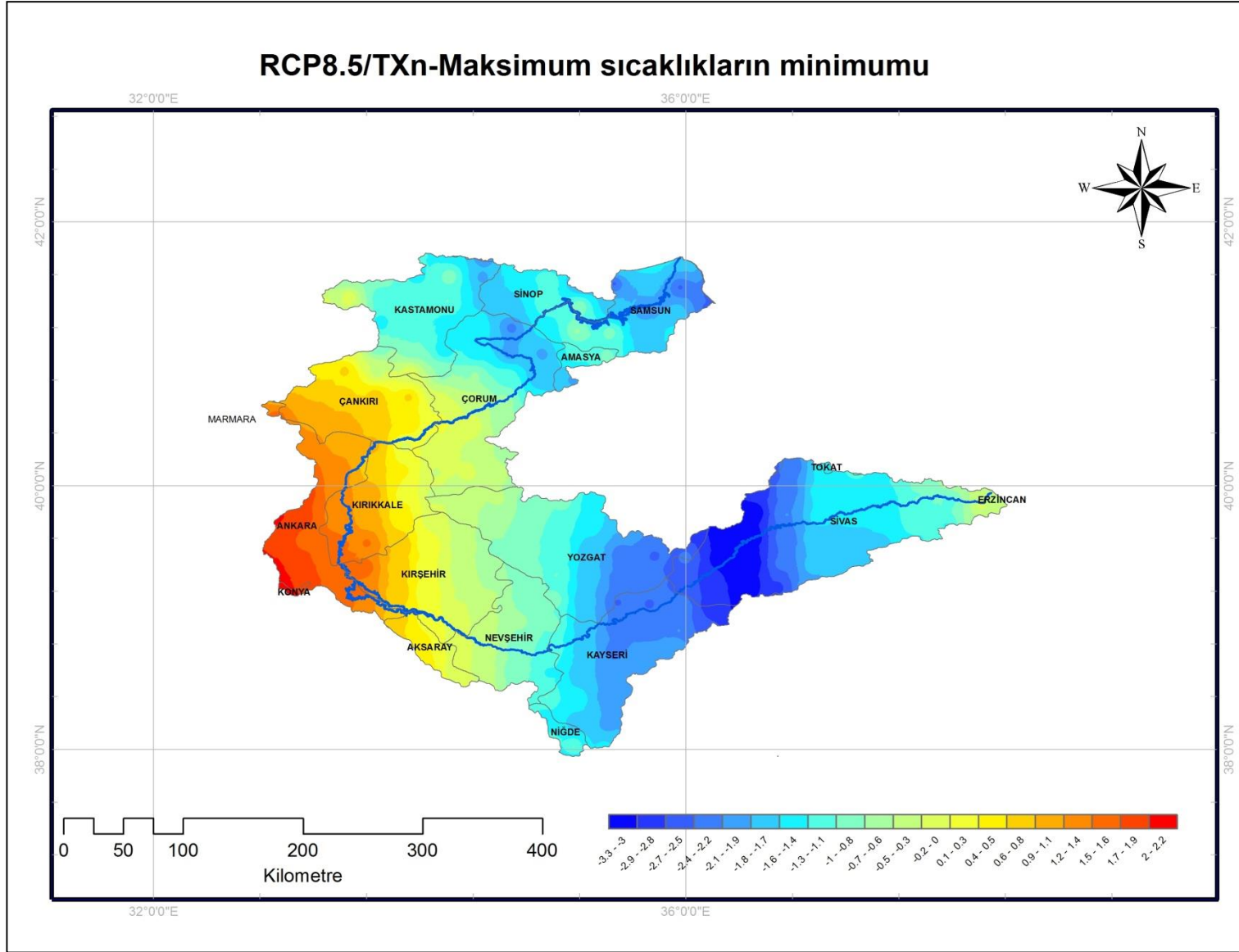
5.2.3. Maksimum Sıcaklıkların Minimumu (TXn) İndisi

TXn, maksimum sıcaklıkların minimum değerinin oluşturduğu bir indistir. Dolayısı ile kış mevsimlerine ait günlük en yüksek sıcaklık değerinin değişimini ortaya koymaktadır. Senaryolar bu indis bağlamında farklı sonuçlar ortaya koymaktadır.

RCP4.5'e göre Ankara, Niğde ve Erzincan dolaylarında bu değerde 3 °C civarlarında bir yükselme görülürken, Yozgat, Kayseri ve Sivas arasındaki bölgede bu indis değerinin 1.5 °C civarında düştüğü görülmektedir. RCP8.5 senaryosunda, bu indise ait sıcaklık değerinin, özellikle Ankara civarlarında, 2°C civarında yükseldiği, buna karşın, Kayseri-Sivas-Tokat ve Yozgat arasında kalan bölgede 3 °C civarında düştüğü görülmektedir. Buna ek olarak, bu senaryoda havzanın kıyıya yakın kesimlerinde de düşüş eğilimi görülmektedir.



Şekil 19: RCP4.5 Maksimum Sıcaklıkların Minimumu (TXn) İndisi

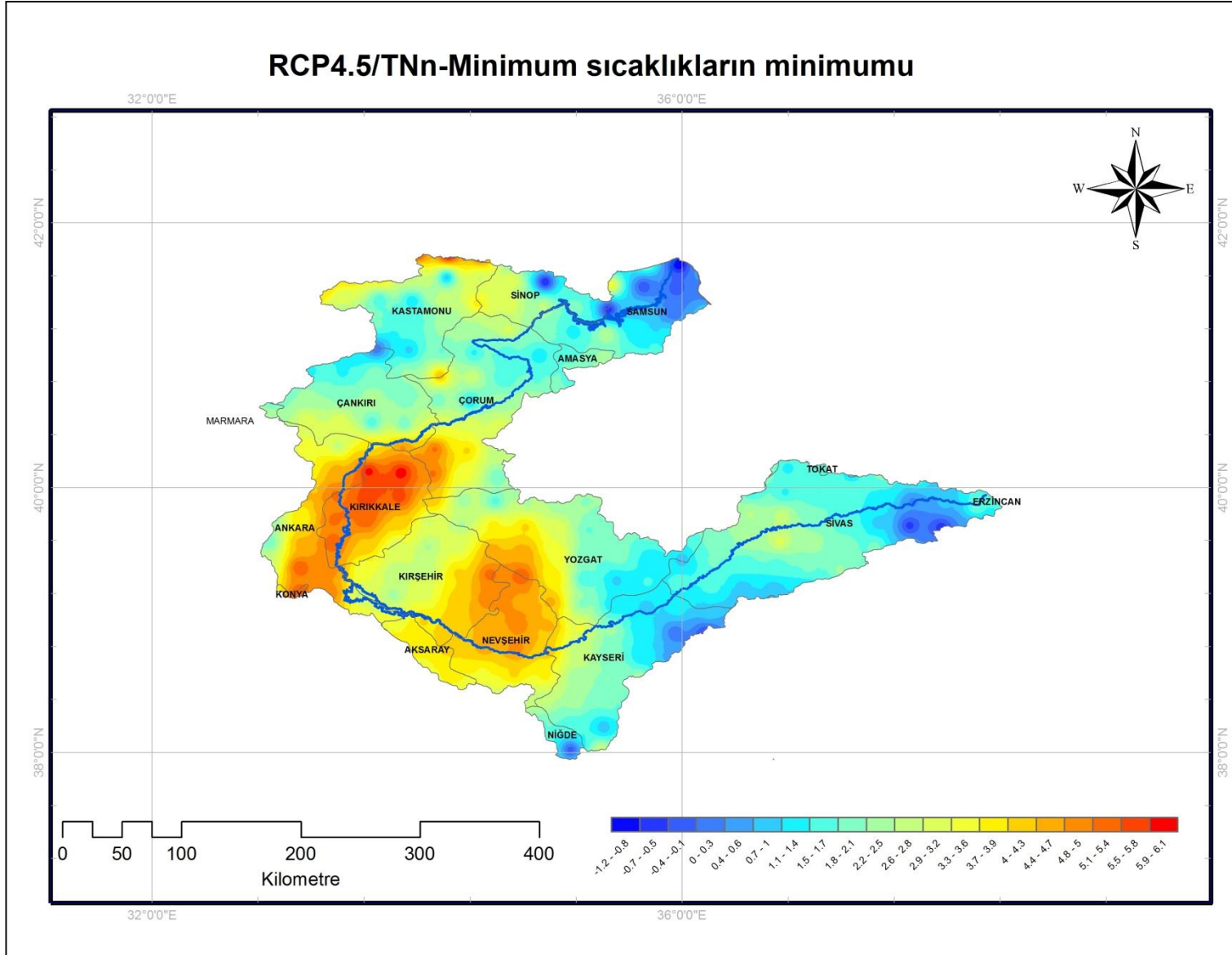


Şekil 20: RCP8.5 Maksimum sıcaklıkların minimumu (TXn) indisi.

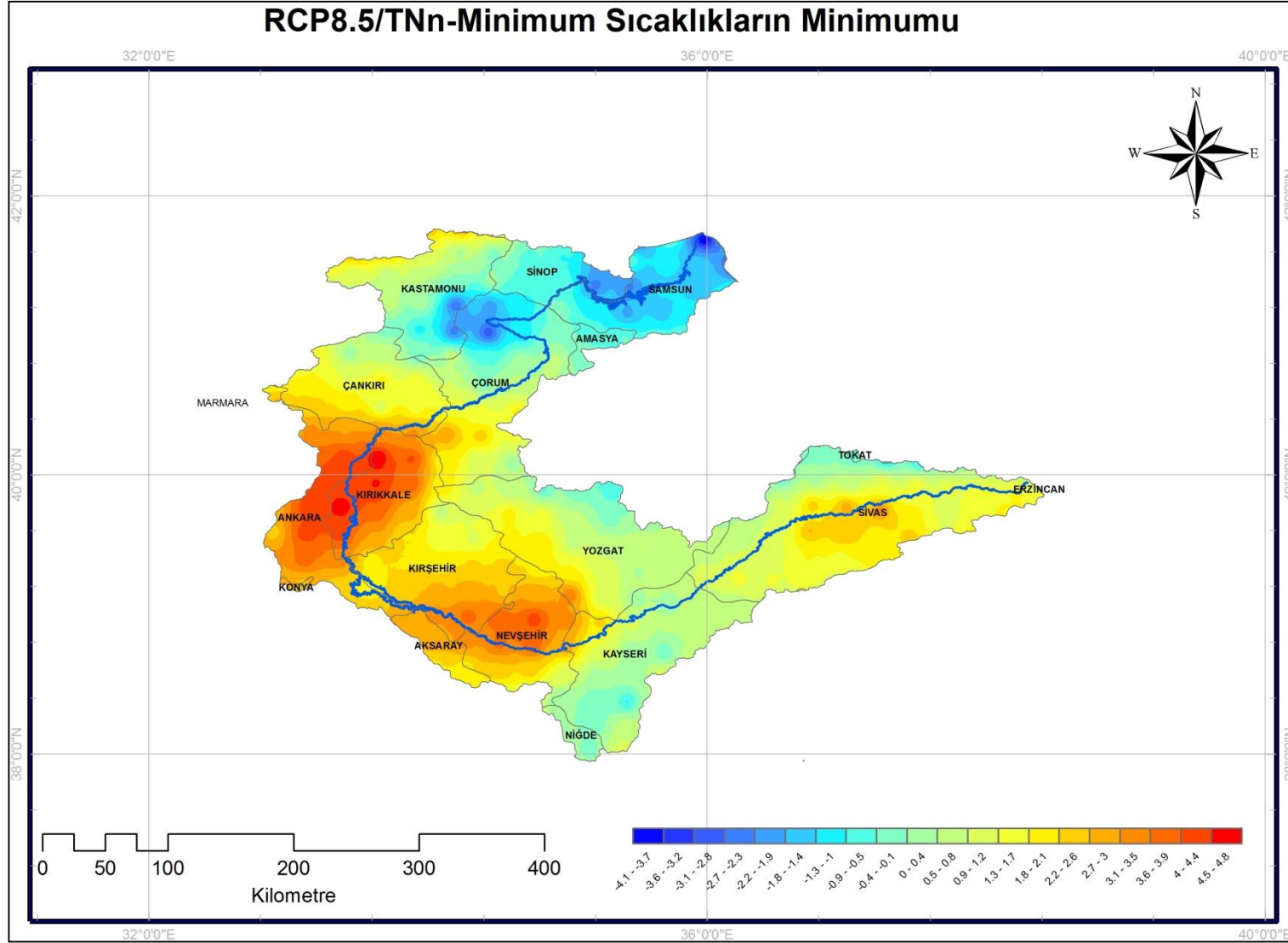
5.2.4. Minimum Sıcaklıkların Minimumu (TNn) İndisi

TNn, minimum sıcaklıkların minimum değerlerinin oluşturduğu bir indistir. İndis kış mevsimine ait günlük en düşük sıcaklık değerlerinin değişimleri hakkında bilgi vermektedir. RCP4.5'te en fazla artış 6.1 °C ile Kırıkkale'de gözükürken en fazla azalma -1.2 °C ile Samsun ve Sivas dolaylarında görülmektedir. RCP8.5 senaryosunda ise en fazla artış 4.8 °C ile Ankara ve Kırıkkale'de görülürken en fazla azalma -4.1 °C ile Samsun-Sinop ve Kastamonu-Çorum dolaylarında görülmektedir. Küresel projeksiyonlarda, RCP8.5 senaryosunda ortalama sıcaklık artışları genel olarak RCP4.5 senaryosundan daha fazla olmasına karşın, çalışma alanımızda en fazla artışın RCP4.5 senaryosunda, en fazla düşüşün ise RCP8.5 senaryosunda görülmesi dikkat çekicidir. Artma ve azalmaların görüldüğü alanlar ise her iki senaryoda da genel olarak benzerlik göstermektedir.

Samsun-Sinop dolaylarında indis değerinde azalma görülmesi, kış aylarında Türkiye'nin kuzey karakterli hava kütlelerinin daha çok etkisinde kalması ile açıklanabileceği düşünülmektedir. Buna karşılık Ankara-Kırıkkale dolaylarında ise bu değerdeki artışın şehirleşme ve küresel ısınma ile ilişkilendirilebileceği değerlendirilmektedir. Bu indisle, serin geceler indisi ilişkilendirildiğinde, serin geceler indisinin her iki senaryoda da, tüm havzada azalma eğiliminde olduğu görülmektedir ve buda bizlere aslında gece sıcaklıklarının da ortalamada yükselmesine rağmen periyot içerisinde zaman zaman soğuk hava dalgalarının yaşanabileceğini göstermektedir.



Şekil 21: RCP4.5 Minimum Sıcaklıkların Minimumu (TNn) İndisi

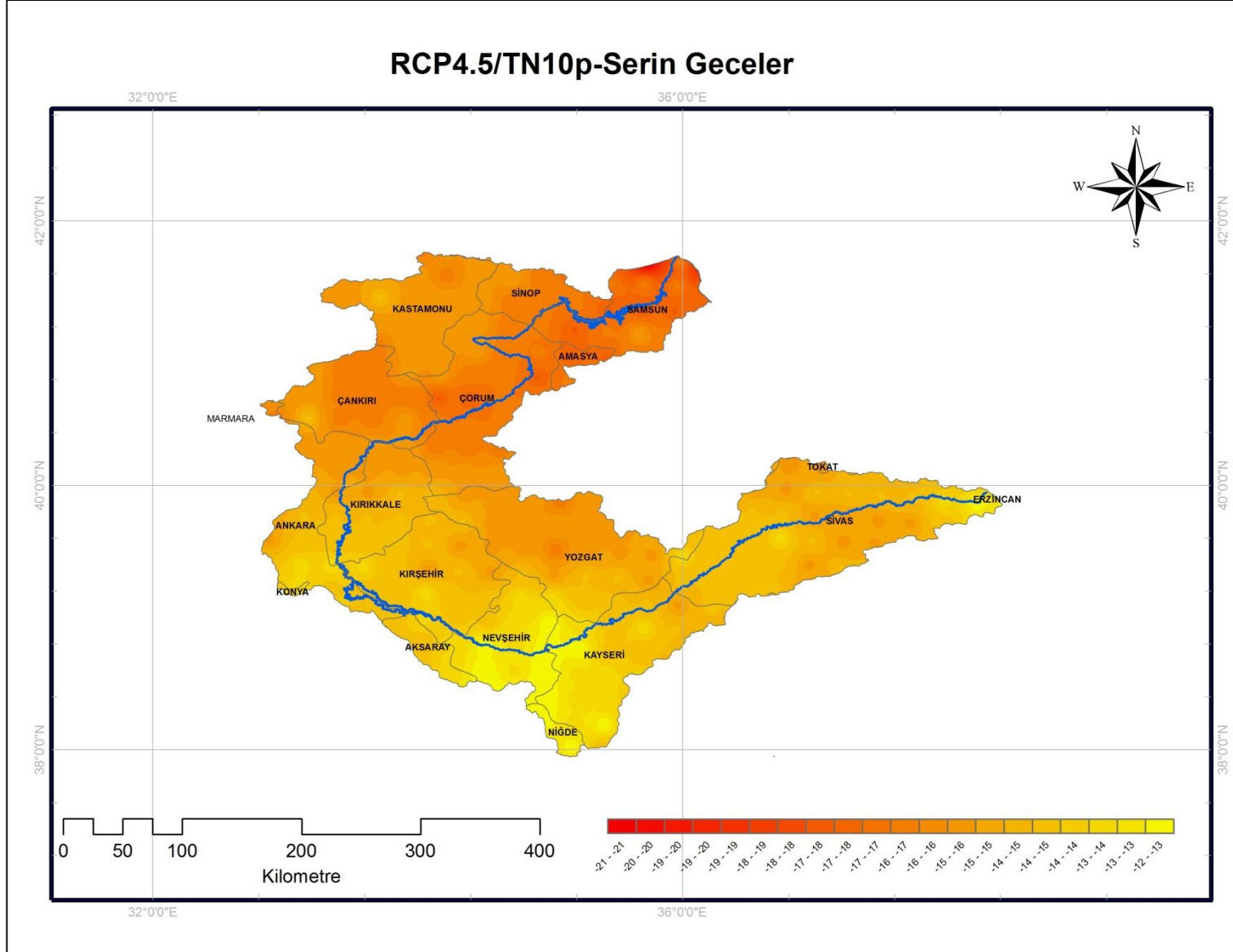


Şekil 22: RCP8.5 Minimum Sıcaklıkların Minimumu (TNn) İndisi

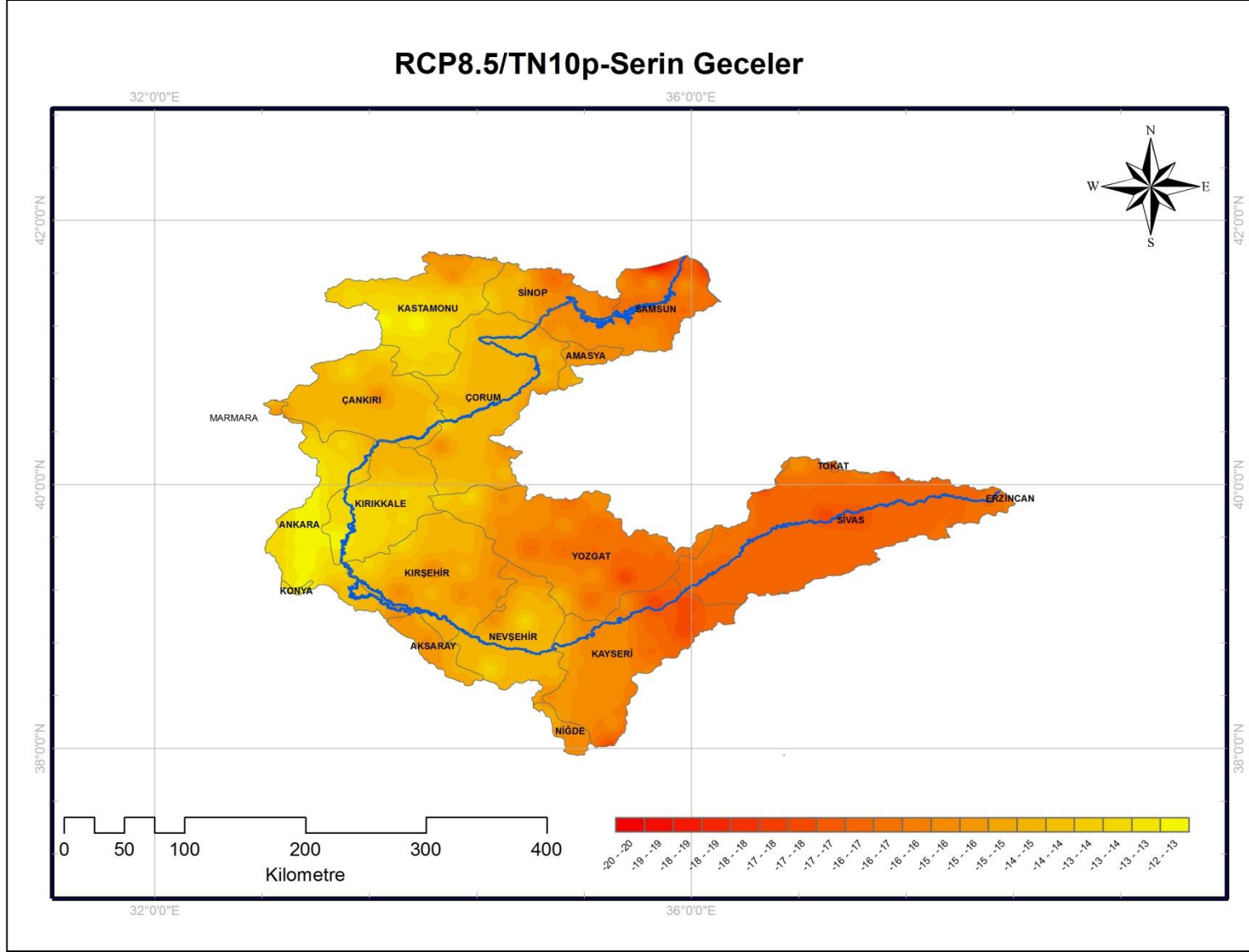
5.2.5. Serin Geceler (TN10p) İndisi

İndis günlük minimum sıcaklık değerinin, minimum sıcaklık veri setinin %10'uncu değerinden küçük olduğu günlerin sayısını ifade etmektedir. Çalışmamızda bu değişim, referans periyodu için bulunan eşik değeri, çalışma periyodunda her yıl için geçen değerler sayısının ortalaması alınarak bulunmuştur.

Her iki senaryoda serin geceler sayısının tüm havzada azaldığı görülmektedir. RCP4.5 senaryosunda azalmalar aşağı havzada belirgindir ve en yüksek değerler 21-22 gün/yıl ile Samsun civarlarında görülmektedir. Serin geceler sayısındaki azalmanın havzanın aşağı kesiminde belirginleşmesinde, Çankırı-Çorum hattından itibaren bitki örtüsündeki değişim ve orman varlığının fazla olması ile açıklanabileceği değerlendirilmektedir. RCP8.5'te serin gecelerde azalmanın yine Samsun (20 gün/yıl) civarında, buna ek olarak Sivas ve çevresinde (17-18 gün/yıl) de oldukça belirginleşmektedir.



Şekil 23: RCP4.5 Serin Geceler (TN10p) İndisi

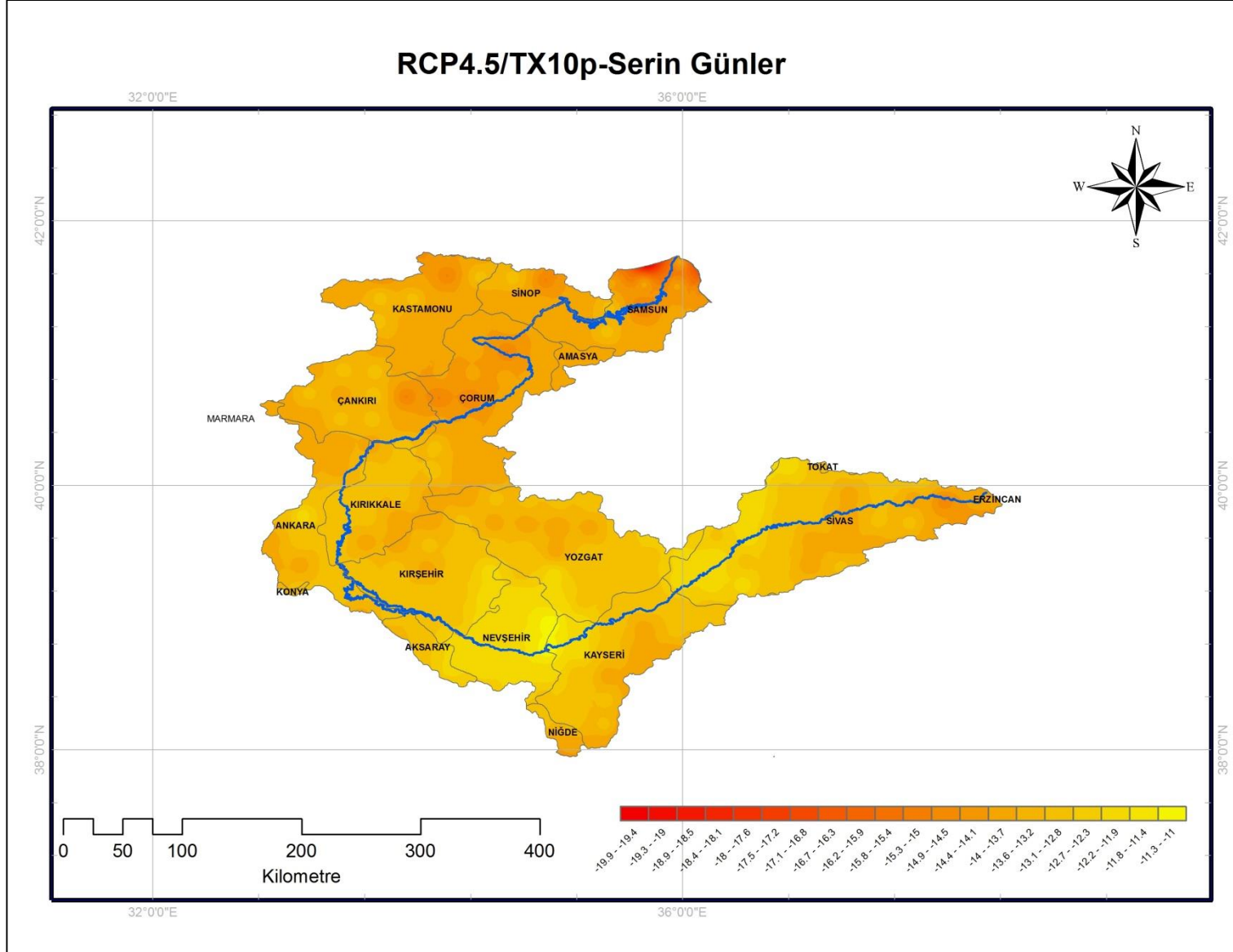


Şekil 24: RCP8.5 Serin Geceler (TN10p) İndisi

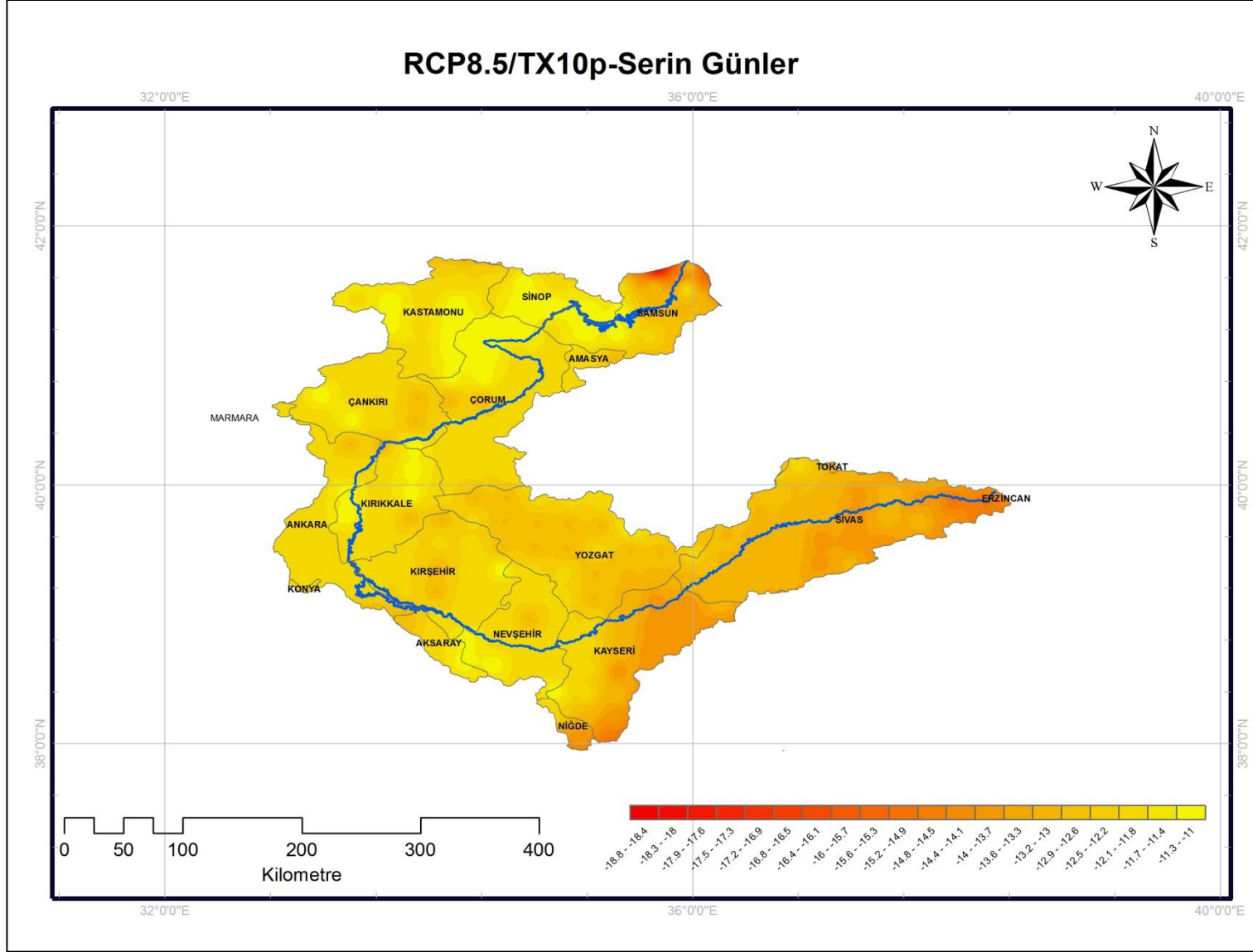
5.2.6. Serin Günler (TX10p) İndisi

Bu indis günlük maksimum sıcaklık değerinin, maksimum sıcaklık veri setinin %10'uncu değerinden küçük olduğu günlerin sayısını ifade etmektedir. Çalışmamızdaki bu değişim, referans periyodu için bulunan eşik değeri, çalışma periyodunda her yıl için geçen değerler sayısının ortalaması alınarak bulunmuştur. Her iki senaryoda da serin günler sayısının tüm havzada azaldığı görülmektedir. Bir başka ifadeyle havza genelinde genel ısınma trendi bu indis ile de ortaya çıkmaktadır.

Her iki senaryoda da serin günlerdeki en fazla azalma Samsun dolaylarında görülmektedir (RCP4.5:20 gün/yıl ve RCP8.5:19 gün/yıl). RCP4.5'te en düşük azalma 11 gün/yıl ile Kayseri-Nevşehir civarlarında görülürken, RCP8.5'te 11 gün/yıl ile Kastamonu-Sinop dolaylarında, nispeten kıyıdan uzak alanlarda görülmektedir.



Şekil 25: RCP4.5 Serin Günler (TX10p) İndisi

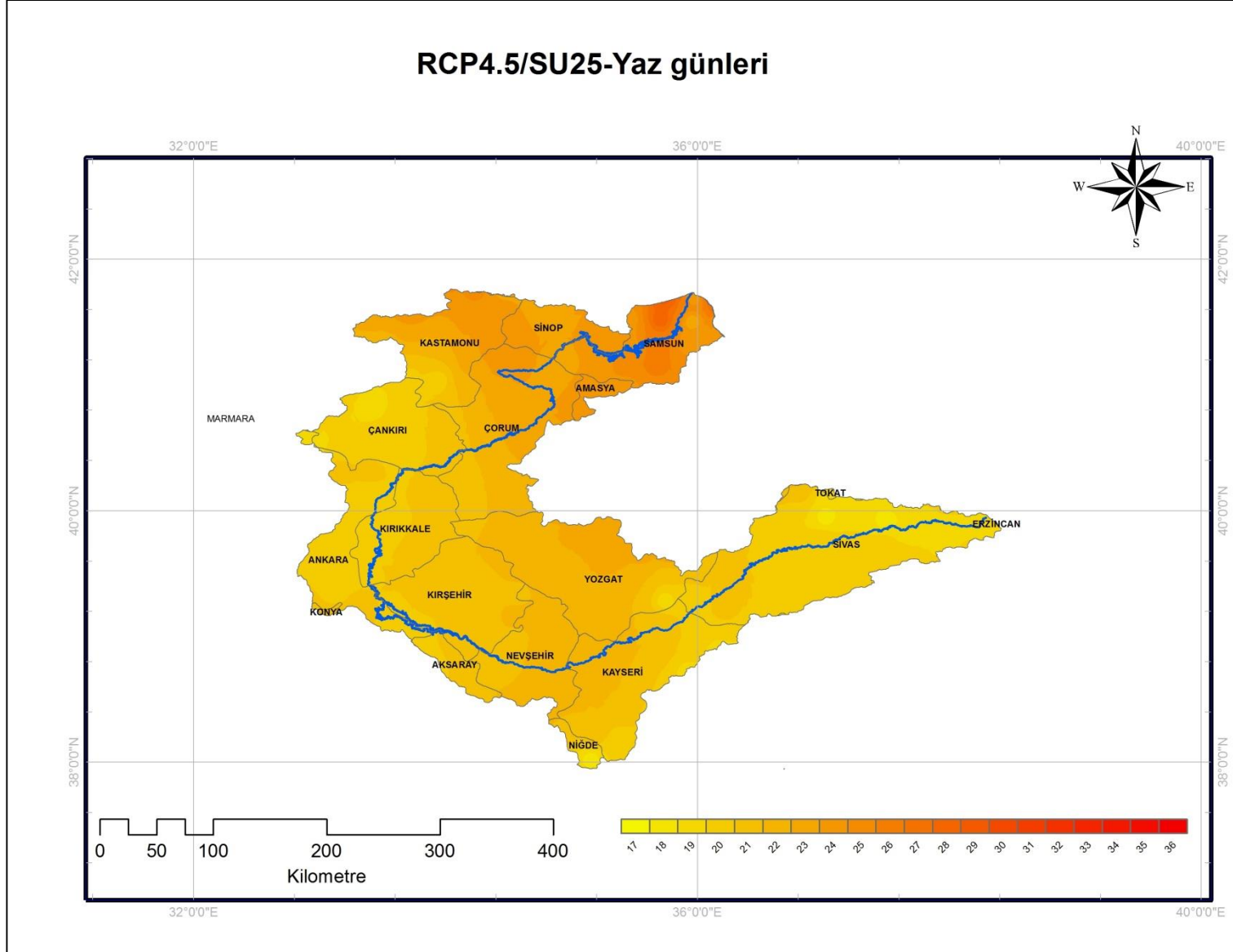


Şekil 26: RCP8.5 Serin Günler (TX10p) İndisi

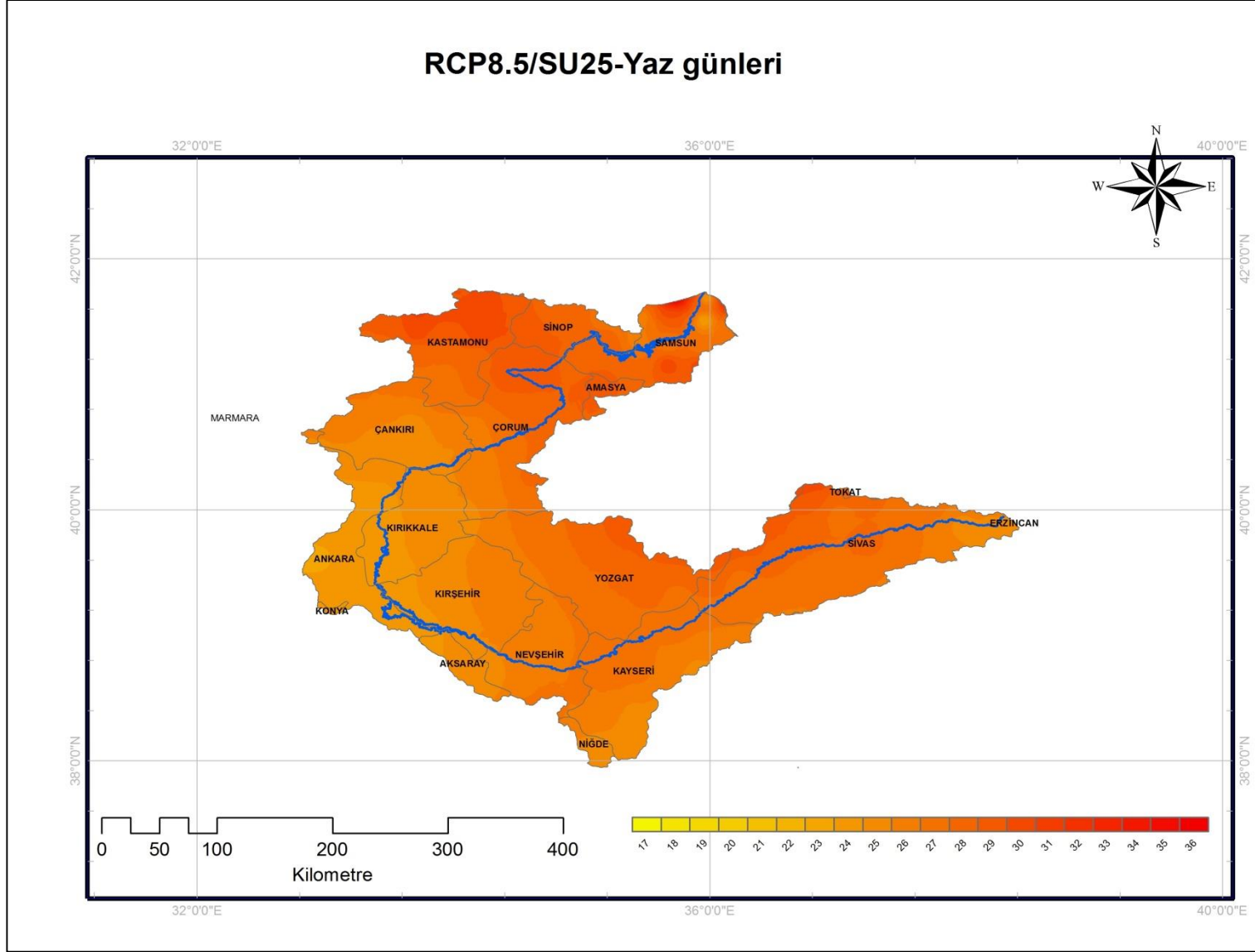
5.2.7. Yaz Günleri (SU25) İndisi

İndis , maksimum sıcaklığın 25 °C'nin üstünde olduğu günlerin sayısını ifade etmektedir. Havzada bu indis değerinin her iki senaryoda tüm havzada artış eğiliminde olduğu görülmektedir. Artışların özellikle havzanın kuzeyinde dikkat çektiği görülmektedir.

Yaz günlerinde, RCP4.5 senaryosunda en az artış 17 gün/yıl ile Ankara-Çankırı-Kırıkkale dolaylarında, en fazla artış 36 gün/yıl ile Samsun dolaylarında görülmektedir. RCP8.5 senaryosunda en az artış 22-23 gün/yıl Ankara-Kırıkkale dolaylarında olurken, en fazla artış 36 gün/yıl ile Samsun-Kastamonu kıyı kesimlerinde görülmektedir. Daha kuzeyde olan kıyı kesiminde artışın fazla öngörülmesinin, bu bölgelerde referans periyotta, 25 °C eşik değerinin hemen altındaki değerlerin sayısının fazla olması ve kısmi ısınmayla birlikte bunların eşik değeri aşmasının etkili olduğu değerlendirilmektedir.



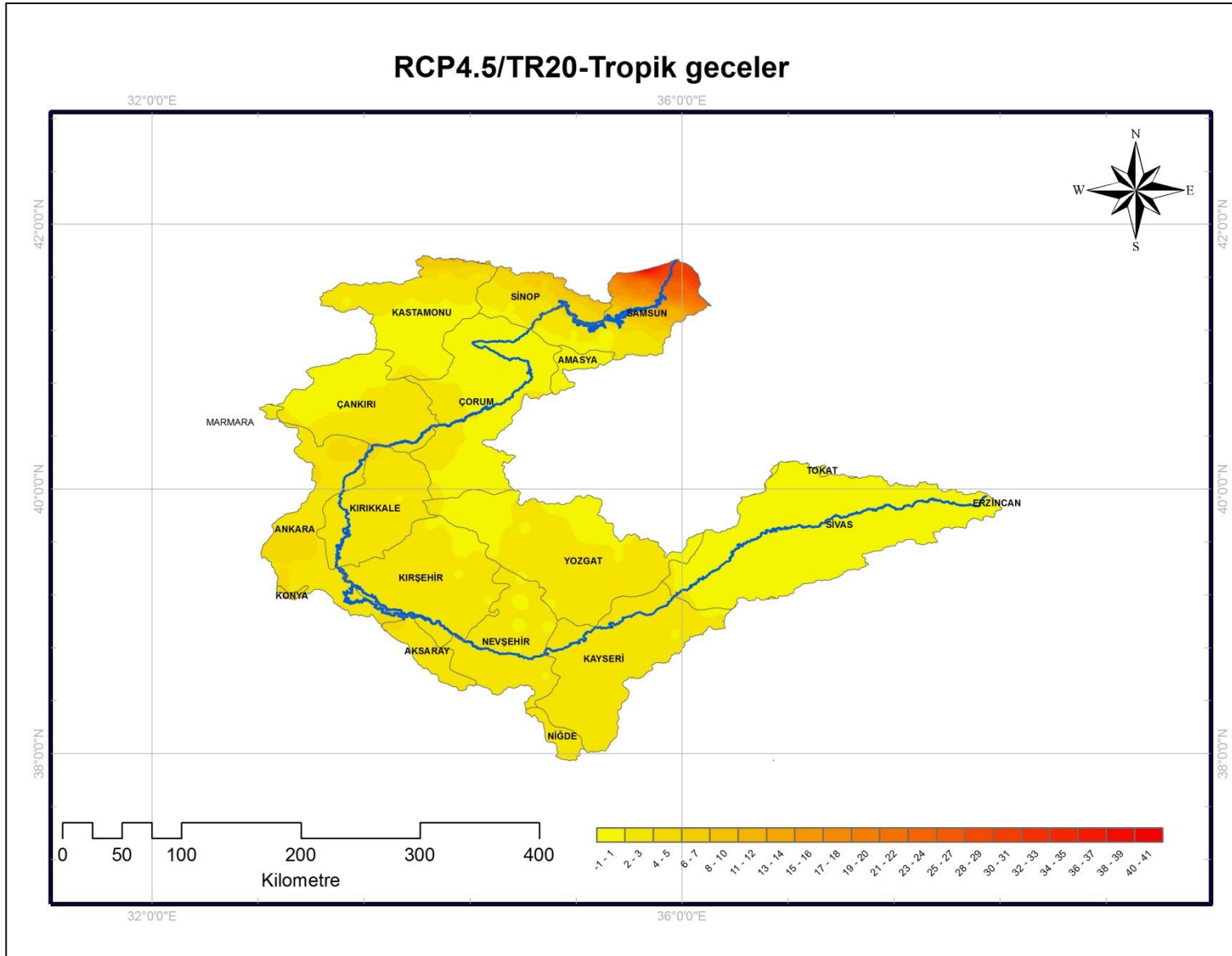
Şekil 27: RCP4.5 Yaz Günleri (SU25) İndisi

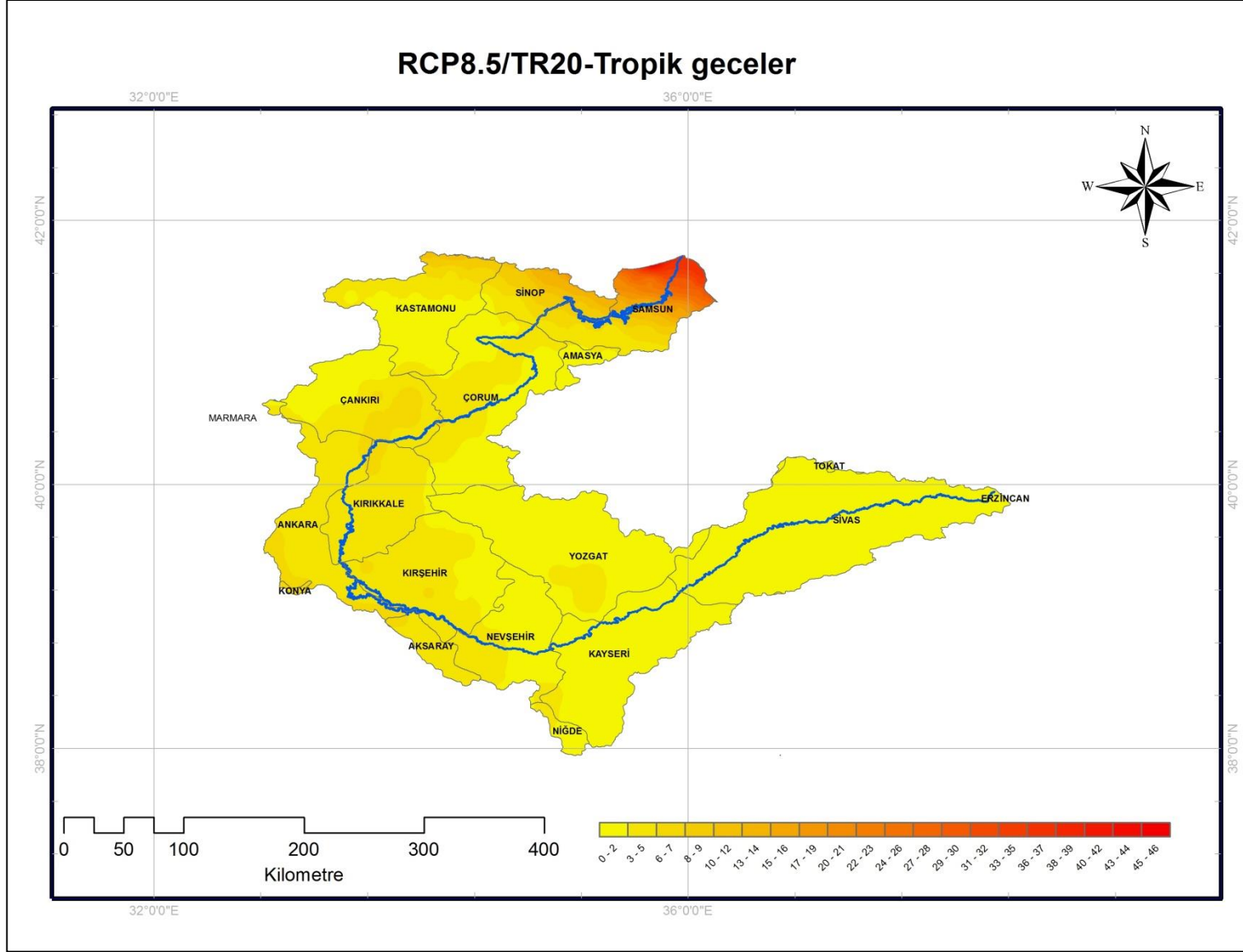


Şekil 28: RCP8.5 Yaz Günleri (SU25) İndisi

5.2.8. Tropik Geceler (TR20) İndisi

İndis , minimum sıcaklığın 20 °C'nin üstünde olduğu günlerin sayısını ifade etmektedir. Havzada bu indis değerinin her iki senaryoda genel olarak tüm havzada artma eğiliminde olduğu görülmektedir. En büyük artışlar RCP4.5'te 40-41 gün/yıl, RCP8.5'te 45-46 gün/yıl ile Samsun dolaylarında görülmektedir. En az artış, ise nemliliğin nispeten düşük olduğu havzanın iç kesimlerinde görülmektedir. Özellikle Sivas, Erzincan, Tokat gibi karasal iklimin hakim olduğu ve nispeten yüksek bölgelerde bu indiste artış olmadığı, hatta bazı lokal bölgelerde, RCP4.5 senaryosunda, 1 gün/yıl gibi azalmalar olduğu görülmektedir. Aynı bölgeler için yaz günleri indisinde, RCP4.5 senaryosunda 17-18 gün/yıl (RCP 8.5 senaryosunda 20 gün/yıl üzerinde) gibi artışlar olmasına rağmen tropikal gecelerde bu artışın görülememesinin karasallıkla ilgili olabileceği değerlendirilmektedir.



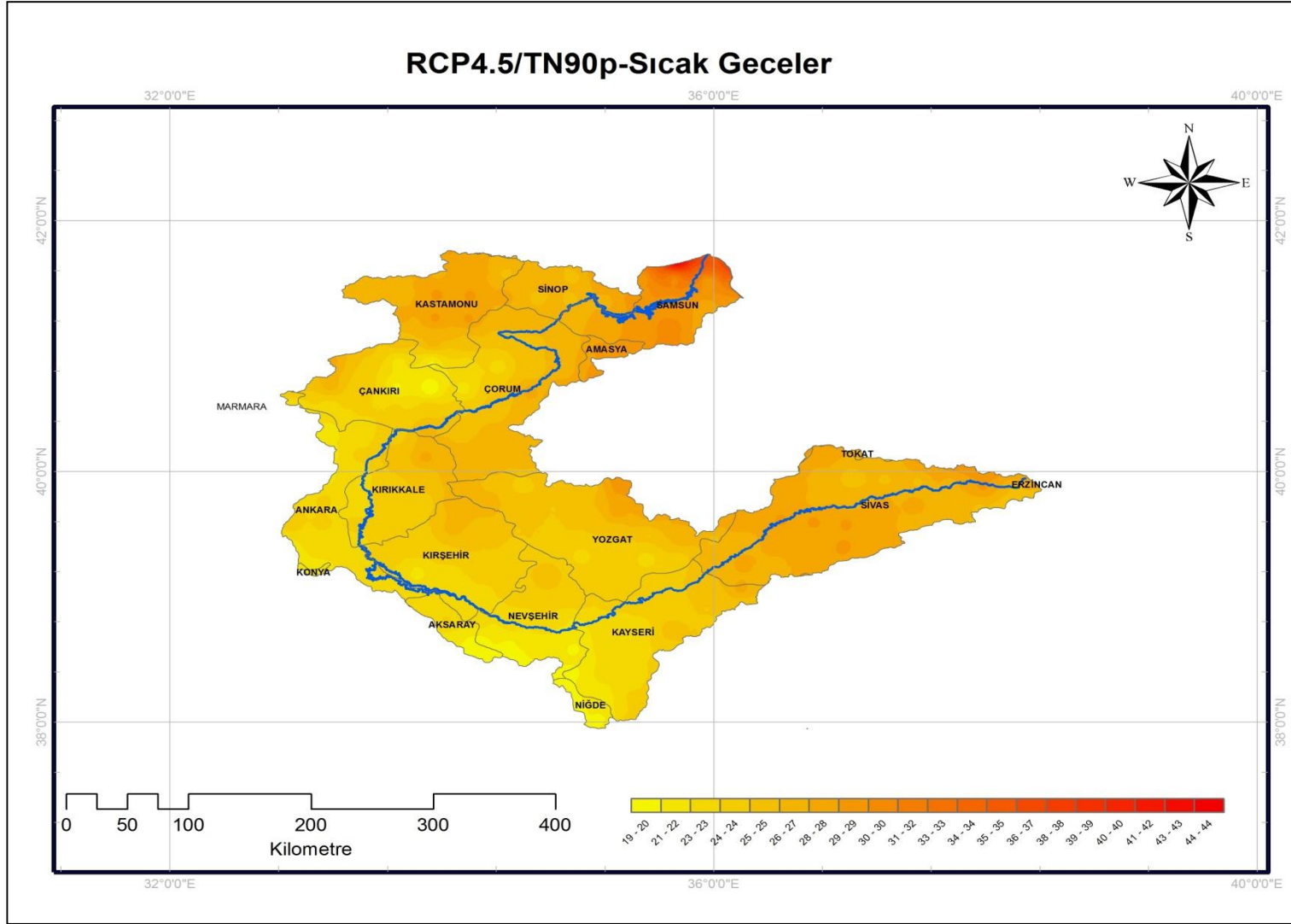


Şekil 30: RCP8.5 Tropik Geceler (TR20) İndisi

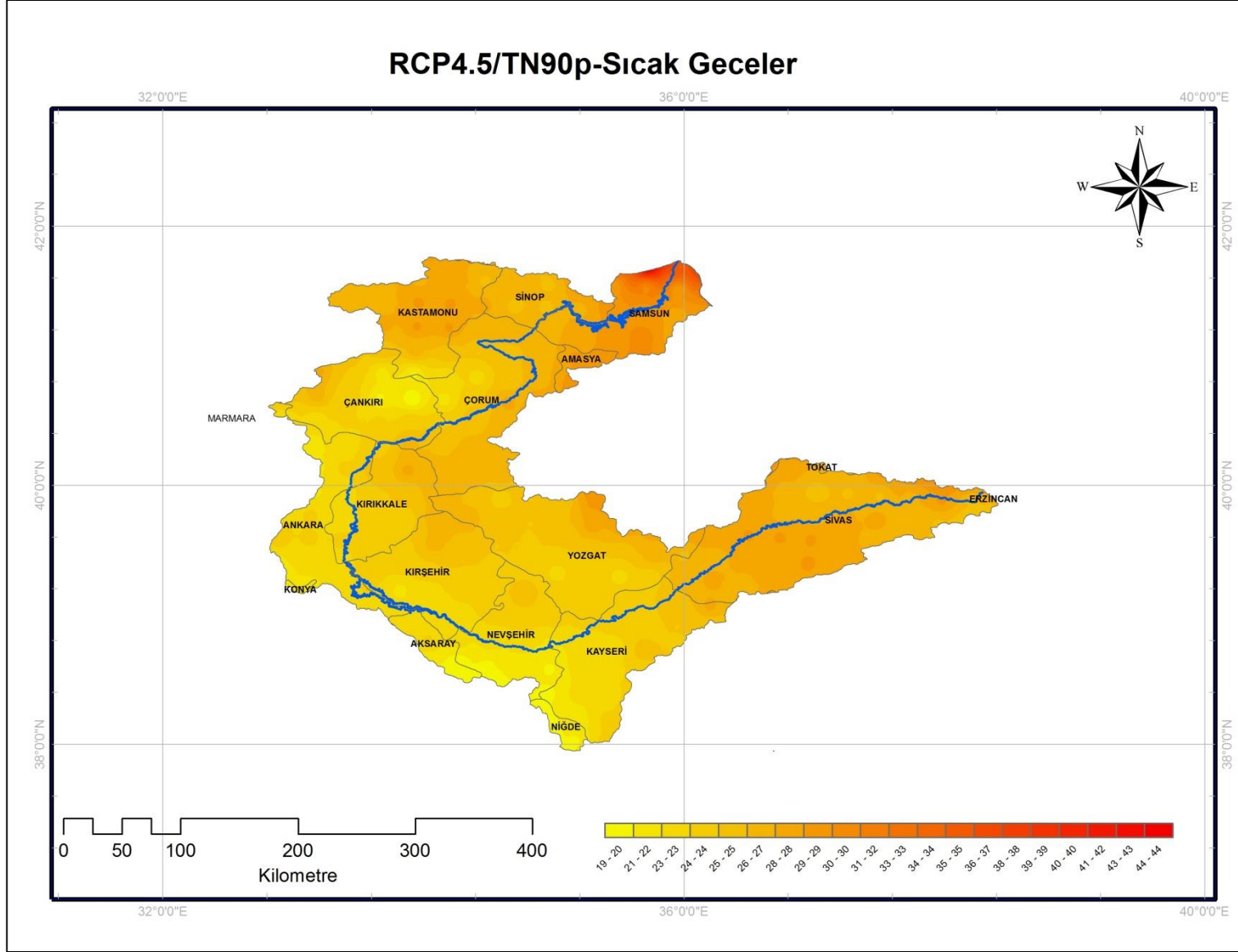
5.2.9. Sıcak Geceler (TN90p) İndisi

Bu indis günlük minimum sıcaklık değerinin, minimum sıcaklık veri setinin %90'ıncı değerinden büyük olduğu günlerin sayısını ifade etmektedir. Her iki senaryoda da sıcak geceler sayısının tüm havzada arttığı görülmektedir. RCP4.5 senaryosunda en fazla artış 44 gün/yıl ile Samsun dolaylarında, en az artış 19 gün/yıl ile Çankırı dolaylarındadır. RCP8.5'te ise 48 gün/yıl ile Samsun civarları en fazla artışa sahip, 19 gün/yıl ile Erzincan dolayları ise en az artışa sahip alanlar olarak dikkat çekmektedir.

Sıcak geceler sayısındaki artışın serin geceler sayısındaki azalmalardan daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Bu bulgu, ısınmanın maksimum sıcaklıklardaki etkisinin, minimum sıcaklıklardaki etkisinden daha fazla olduğunu göstermektedir.



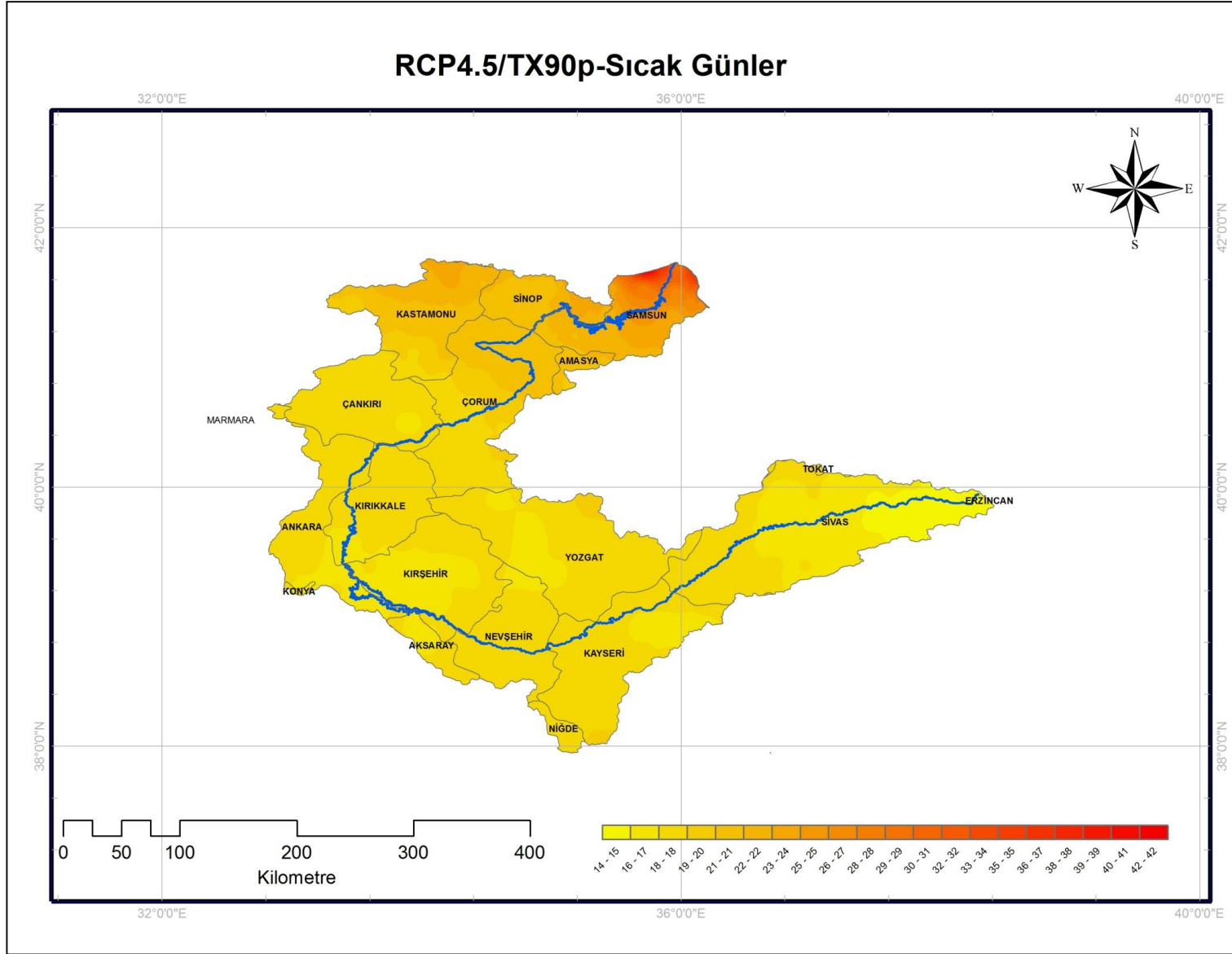
Şekil 31: RCP4.5 Sıcak Geceler (TN90p) İndisi



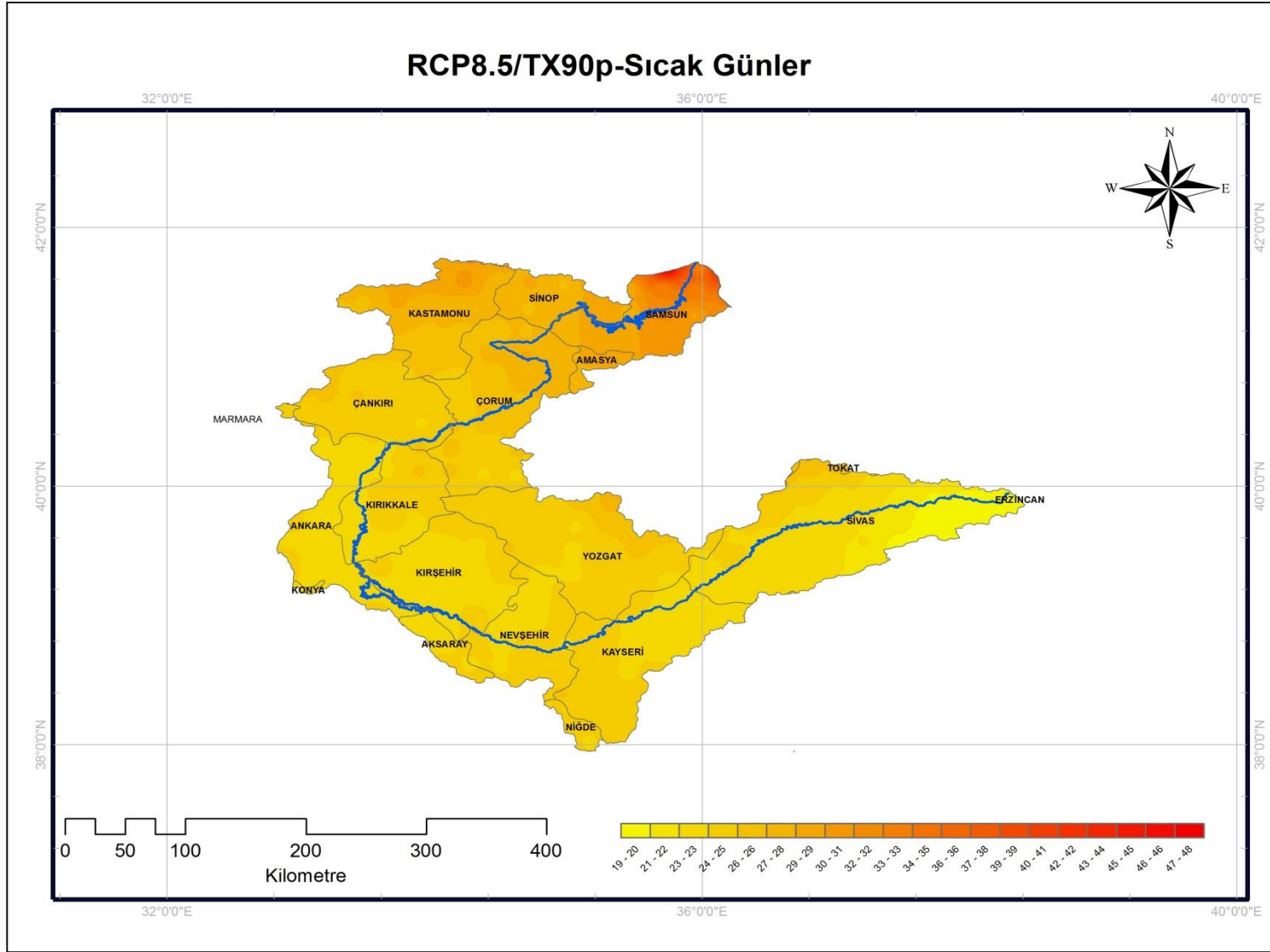
Şekil 32: RCP8.5 Sıcak Geceler (TN90p) İndisi

5.2.10. Sıcak Günler (TX90p) İndisi

Bu indis günlük maksimum sıcaklık değerinin, maksimum sıcaklık veri setinin %90'ıncı değerinden büyük olduğu günlerin sayısını ifade etmektedir. Her iki senaryoda da tüm havzada bu indisin artma eğiliminde olduğu görülmektedir. Artış miktarları RCP4.5'da 42 gün/yıl ve RCP8.5 senaryosunda 48 gün/yıl ile Samsun dolaylarında görülmektedir. En az artış ise RCP4.5'te 14 gün/yıl ve RCP8.5'te 19 gün/yıl ile Erzincan dolaylarında görülmektedir. Her iki senaryoda da havzanın kıyıya yakın, daha kuzeyde bulunan aşağı havza kesimlerinde değerlerin daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 33: RCP4.5 Sıcak Günler (TX90p) İndisi



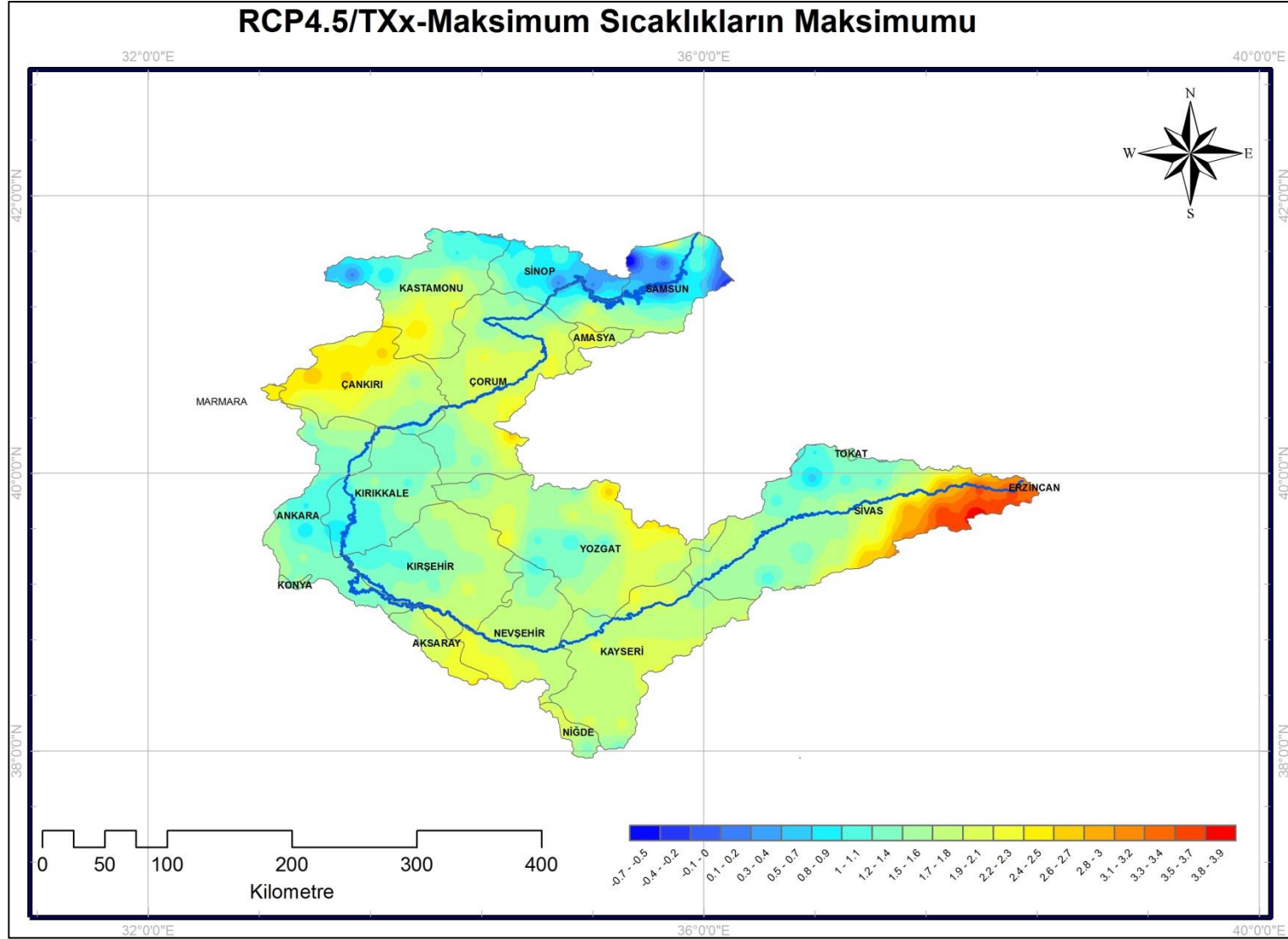
Şekil 34: RCP8.5 Sıcak Günler (TX90p) İndisi

5.2.11. Maksimum Sıcaklıkların Maksimumu (TXx) İndisi

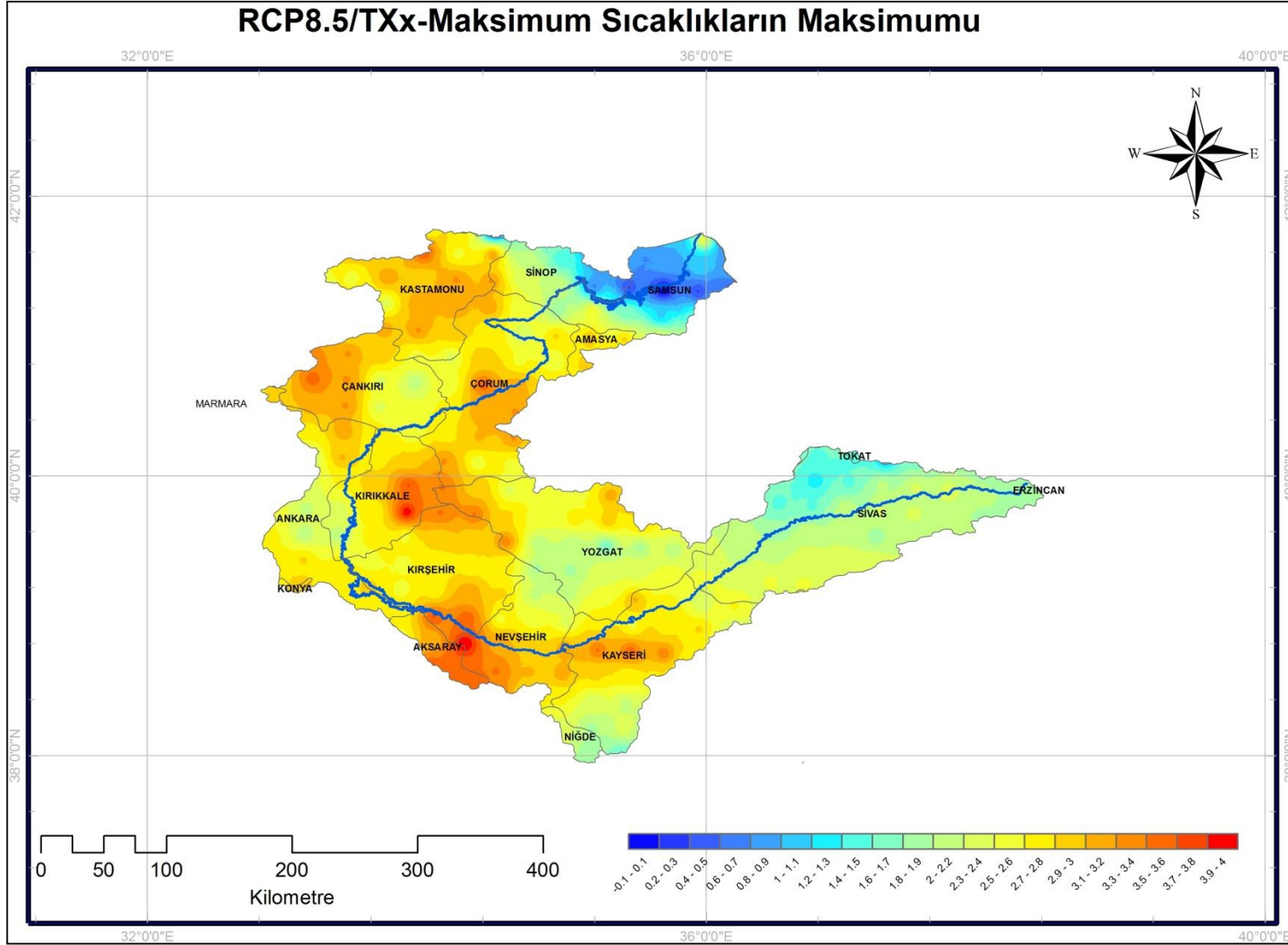
TXx, maksimum sıcaklıkların maksimum değerlerinin oluşturduğu bir indistir. İndis yaz mevsimine ait günlük en yüksek sıcaklık değerlerinin değişimlerini ortaya koymaktadır. RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarının farklı yapıda olduğu görülmektedir. RCP4.5 senaryosunda, kıyıya yakın kesimde maksimum sıcaklıklarda azalışlar ve üst havzada artışlar net bir şekilde görülmektedir. RCP8.5 senaryosunda, orta havzada belli bölgelerde maksimum sıcaklık değerleri 4°C'ye varan artışlar göstermektedir.

RCP4.5 senaryosunda, Samsun ve Sinop dolaylarında 0.1-0.7 °C civarında azalışlar görülürken, Erzincan dolaylarında 4°C ile en yüksek artışlar görülmektedir. RCP8.5 senaryosunda Samsun dolaylarında değişiklik öngörülmezken, özellikle Aksaray ve Kırıkkale dolaylarında 4 °C'ye varan artışlar görülmektedir. Erzincan dolaylarında ise artışlar 2 °C civarındadır.

Samsun ve Sinop gibi kıyıya yakın kesimlerin denizsellik özelliğinin, maksimum sıcaklıkların maksimumlarında sınırlı değişime neden olduğu düşünülmektedir.



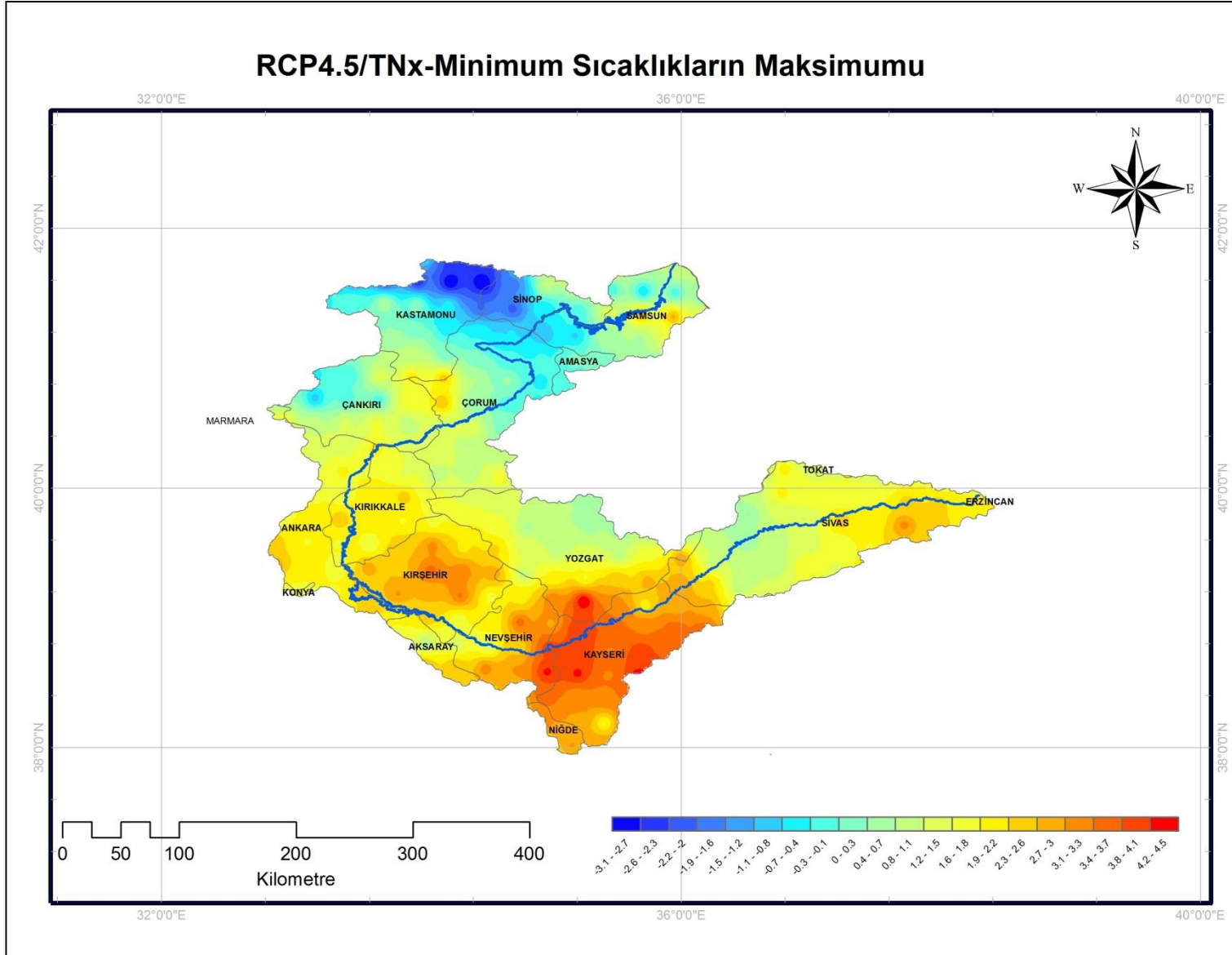
Şekil 35: RCP4.5 Maksimum Sıcaklıkların Maksimumu (TXx) İndisi



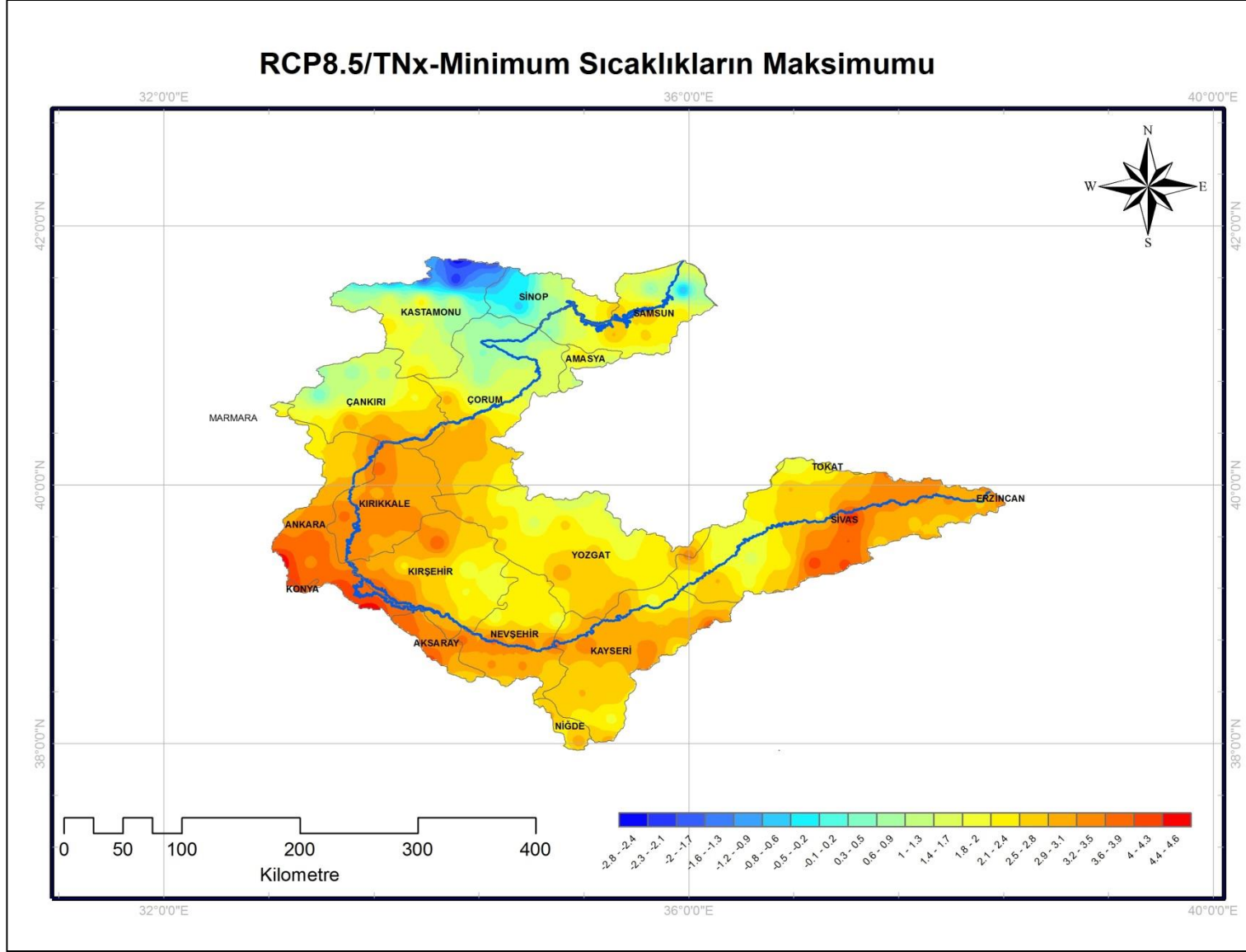
Şekil 36: RCP8.5 Maksimum Sıcaklıkların Maksimumu (TXx) İndisi

5.2.12. Minimum Sıcaklıkların Maksimumu (TN_x) İndisi

TN_x, minimum sıcaklıkların maksimum değerlerinin oluşturduğu bir indistir. İndis yaz mevsimine ait günlük en düşük sıcaklık değerlerinin değişimlerini ortaya koymaktadır. Dolayısı ile yaz mevsimine ait gece sıcaklıkları hakkında bilgiler vermektedir. Her iki senaryoda da, aşağı havzada Kastamonu-Sinop dolayları hariç tüm havzada, bu indis değerinin artma eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu artış, RCP4.5 senaryosunda en fazla 4.5 °C ile Kayseri dolaylarında, en fazla azalış ise -3.1 °C ile Kastamonu-Sinop kıyı kesiminde gözükmetedir. RCP8.5 senaryosunda ise en yüksek artış 4.6 °C ile Ankara civarında, en fazla azalış ise -2.8 °C ile Kastamonu-Sinop kıyı kesiminde gözükmetedir.



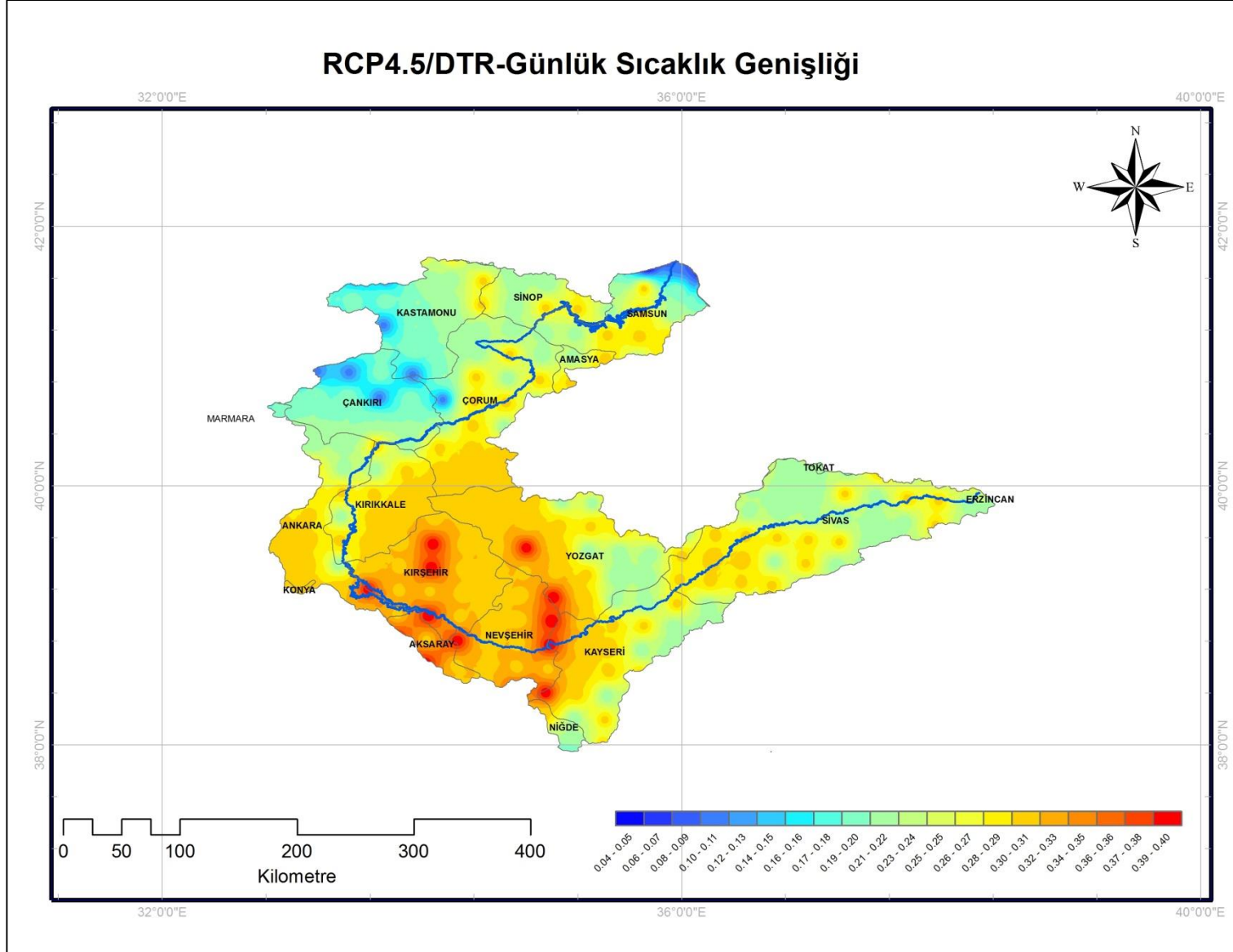
Şekil 37: RCP4.5 Minimum Sıcaklıkların Maksimumu (TNx) İndisi



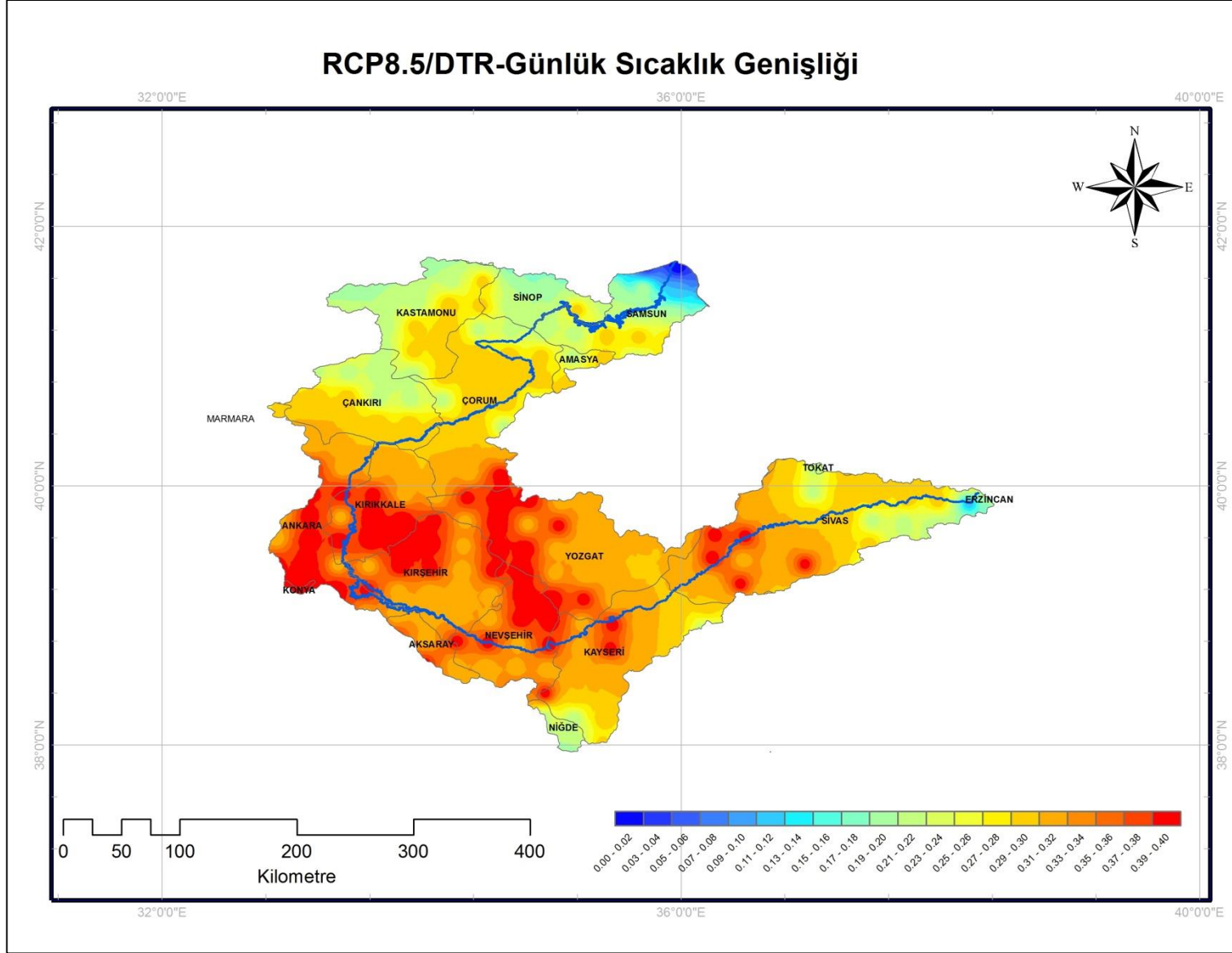
Şekil 38: RCP8.5 Minimum Sıcaklıkların Maksimumu (TNx) İndisi

5.2.13. Günlük Sıcaklık Genişliği (DTR) İndisi

Bu indis, günlük maksimum ve minimum sıcaklık değerleri farkının çalışılan periyot için ortalamasını ifade etmektedir. Bu indis değerinin artması u sıcaklık değerlerinde artışın olduğunu belirtmektedir. Haritalar incelendiğinde, indis değerinin her iki senaryoda da özellikle orta havzada artış eğiliminde olduğu görülmektedir. RCP4.5'te en fazla artış 0.4 °C ile Kırşehir, Aksaray, Nevşehir, Yozgat gibi karasal iklimin hakim olduğu alanlarda, en az artış ise 0.04 °C ile ankırı ve Samsun gibi karasallığın azaldığı alanlarda görülmektedir. RCP8.5 senaryosunda artış miktarında değişim olmazken, maksimum artışın görüldüğü alanların orta havzada oldukça geniş bir alana yayıldığını görmekteyiz. En az artışta ise 0.0-0.04 °C ile Samsun ve Erzincan dolayları dikkat çekmektedir. Günlük sıcaklık genliğinin artması karasallığın da arttığı anlamına gelmektedir.

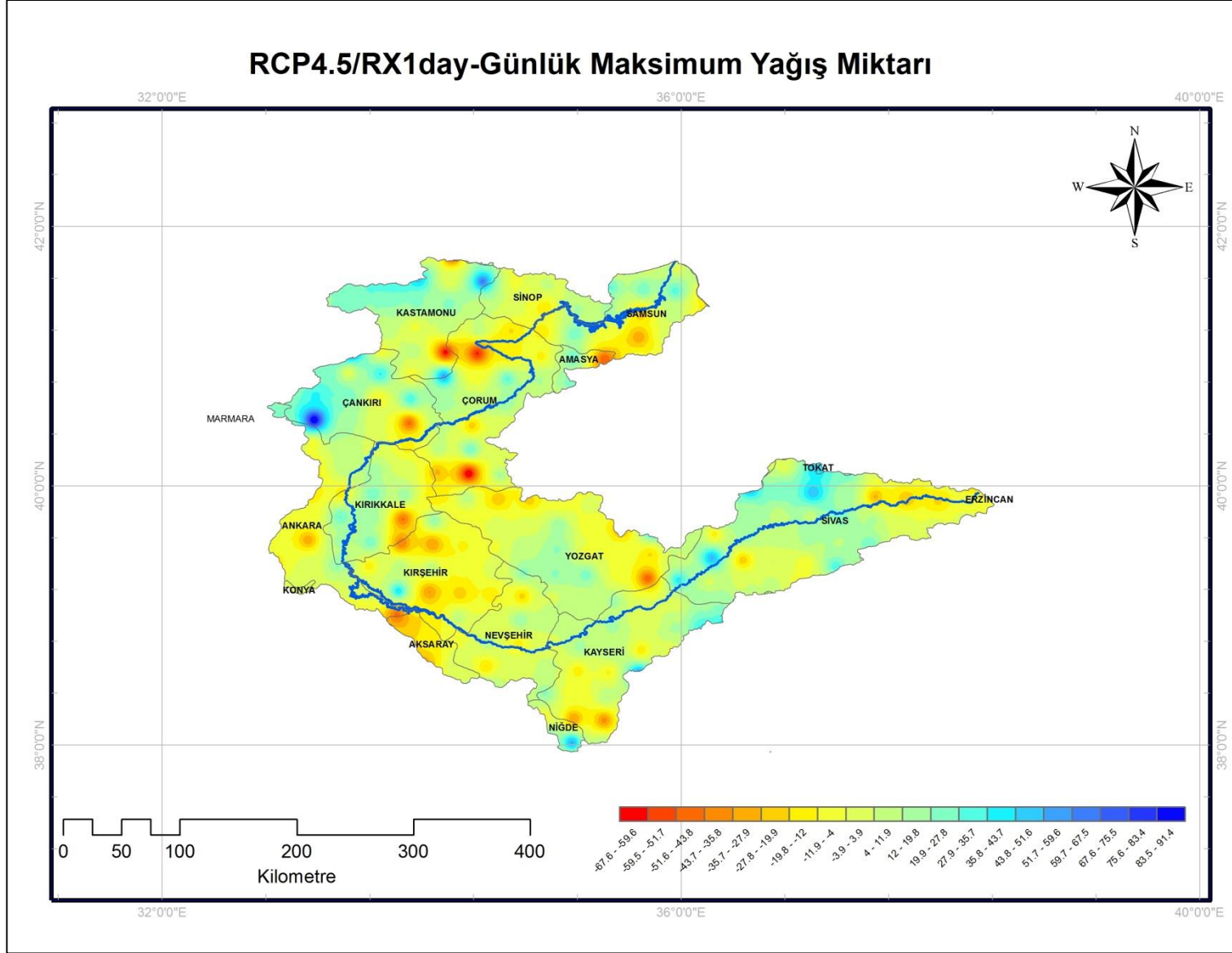


Şekil 39: RCP4.5 Günlük Sıcaklık Genişliği (DTR) İndisi

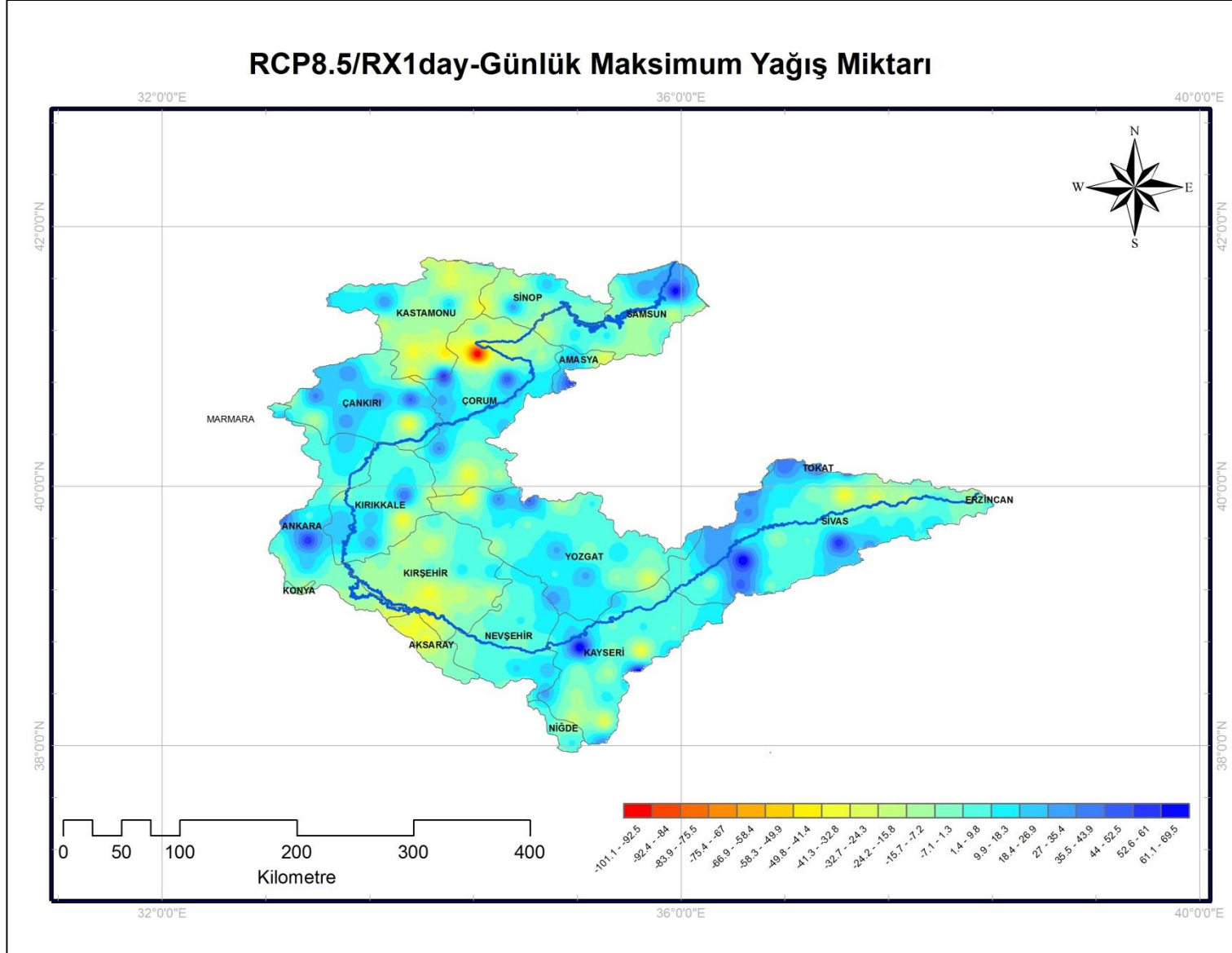


5.2.14. Bir Günlük Maksimum Yağış (RX1day) İndisi

Bu indis değeri, araştırılan periyot içersinde günlük toplam yağış değeri en fazla olan günü ve değerini ifade etmektedir. Çalışmada 1971-2000 periyodunda her grid için bu değer bulunmuş ve 2013-2040 periyodundaki değerden çıkarılmıştır. RCP4.5 senaryosunda genel olarak bu indiste azalmalar görülürken, ısınmanın daha fazla beklendiği RCP8.5 senaryosunda daha yüksek değerlere sahip olduğu (69 mm/gün) görülmektedir. Bu bulgu, yani referans periyotta o grid için elde edilen maksimum yağıştan 60-70 mm daha fazla değere sahip ani bir ekstrem yağışı işaret etmektedir. Ayrıca haritalar incelendiğinde RCP8.5 senaryosunda bu tür bir yağış meydana gelme olasılığının daha geniş alanlar için geçerli olduğu görülmektedir. İndis değerinin en fazla arttığı alanlar arasında Ankara, Samsun, Kayseri gibi büyük kentlerin de yer alması ilgi çekicidir.



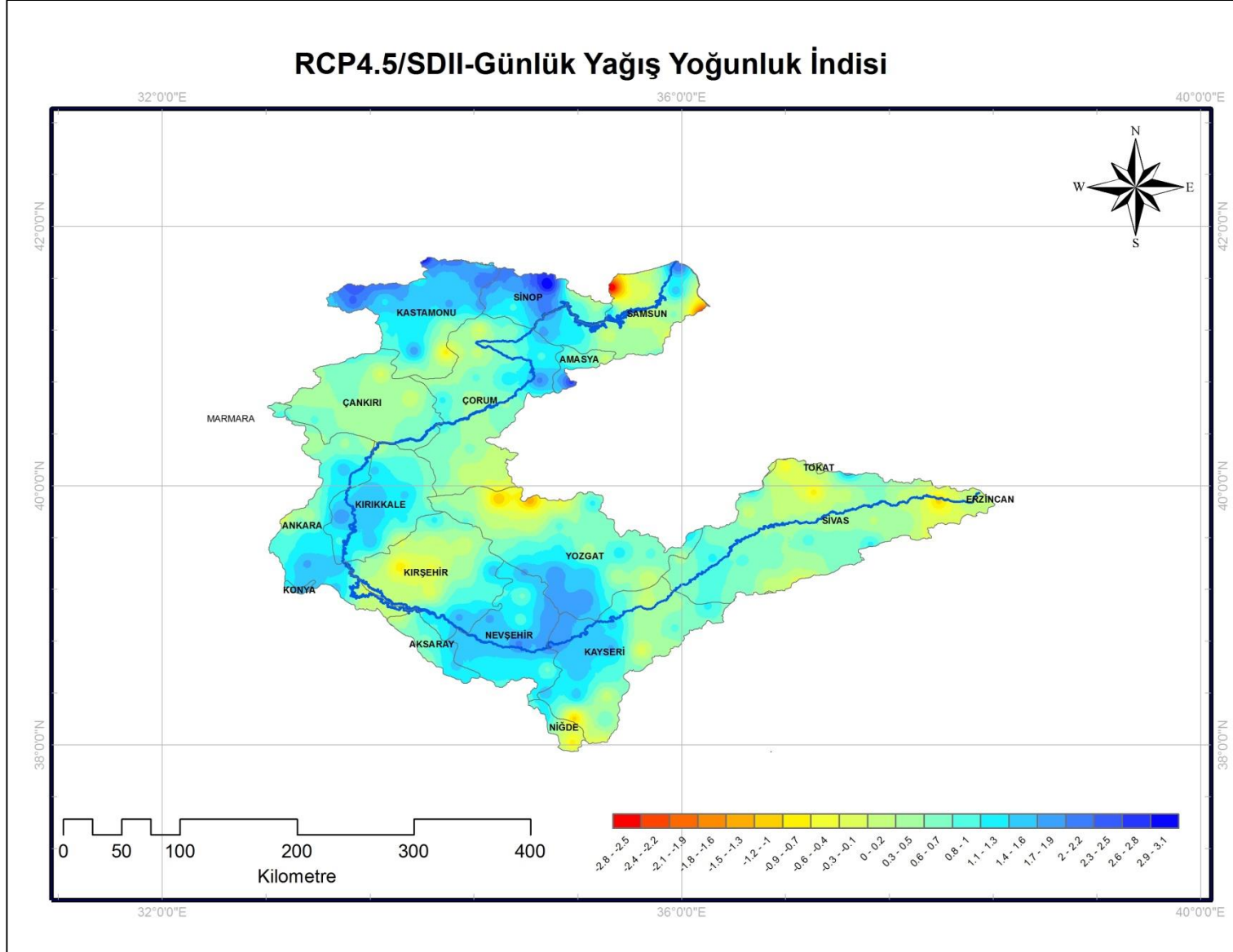
Şekil 41: RCP4.5 Bir Günlük Maksimum Yağış (RX1day) İndisi



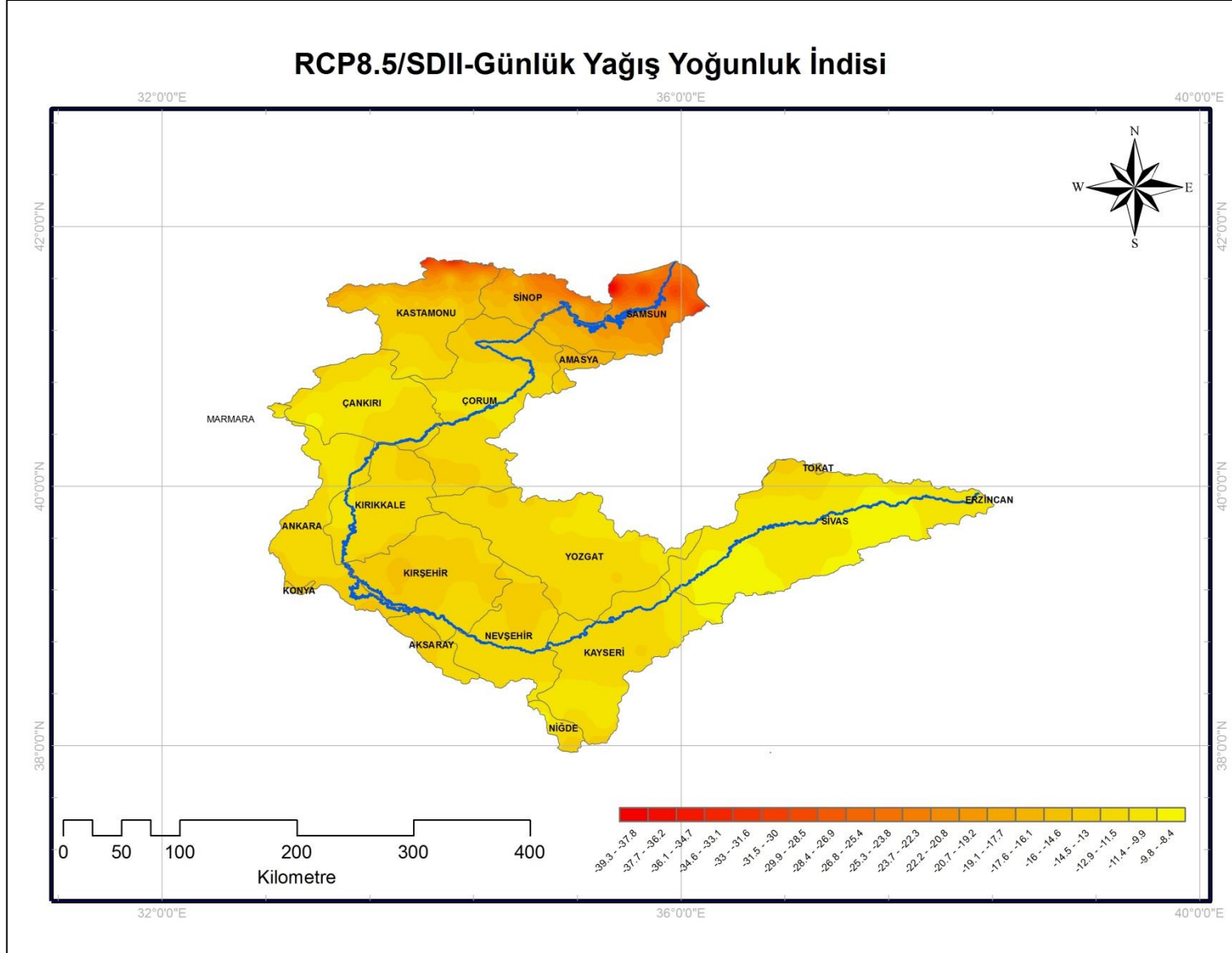
Şekil 42: RCP8.5 Bir Günlük Maksimum Yağış (RX1day) İndisi

5.2.15. Günlük Yağış Yoğunluk (SDII) İndisi

Bu indis, yıllık toplam yağışın, o yıl içersinde 1 mm'den daha yüksek yağış değerine sahip günlerin toplamına bölünmesiyle elde edilmektedir. Haritalar incelendiğinde bu indis RCP4.5'te oldukça karışık bir görünüm sergilemekte ve değerler -2.8 ile +3.1 arasında değişmektedir. RCP8.5 senaryosunda ise tüm havzada indis değerinde azalma beklenmekte ve değerler -8.4 ila -39.3 arasında değişmektedir. En fazla azalmalar Kastamonu, Sinop ve Samsun şeridine görülmektedir.



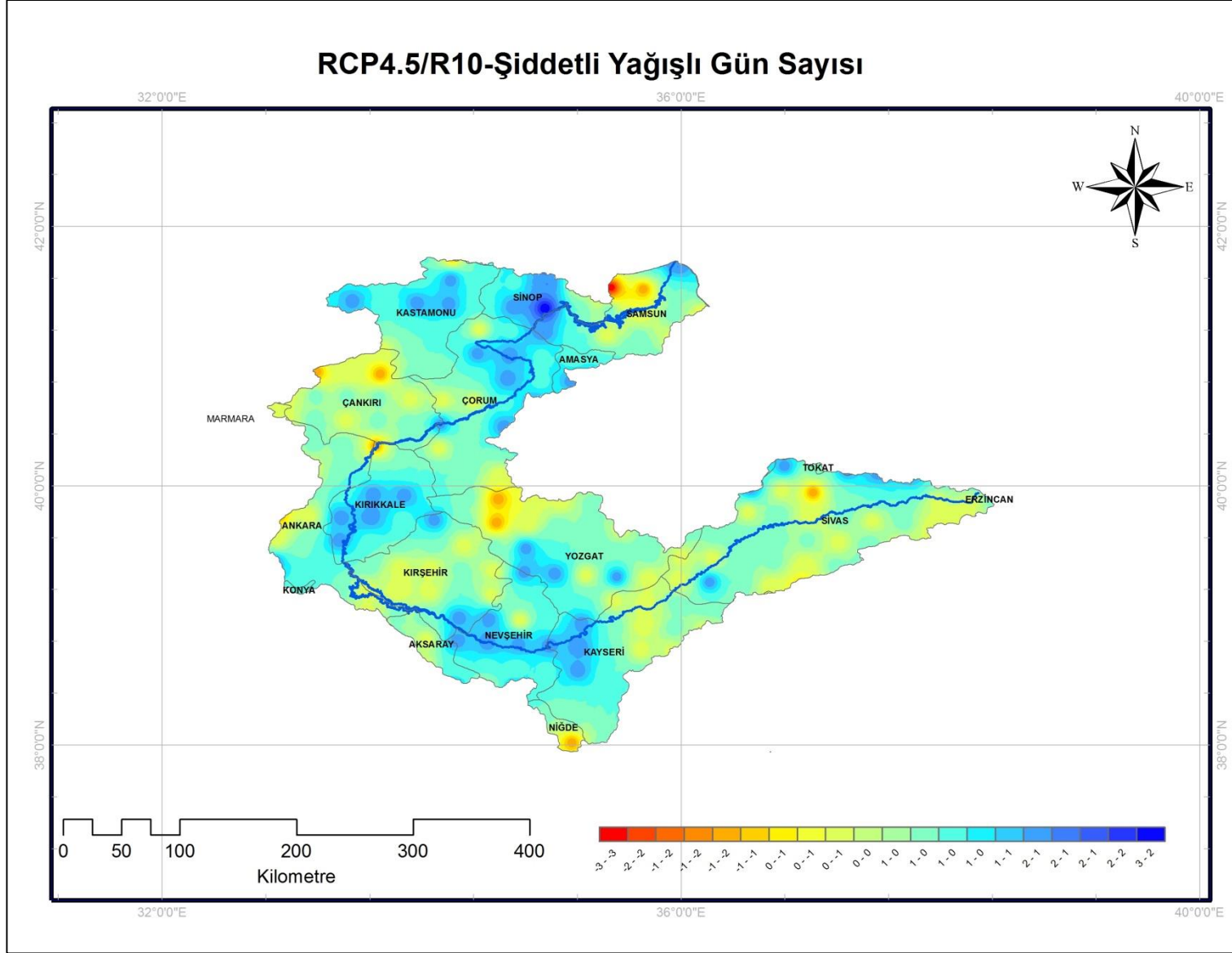
Şekil 43: RCP4.5 Günlük Yağış Yoğunluk (SDII) İndisi



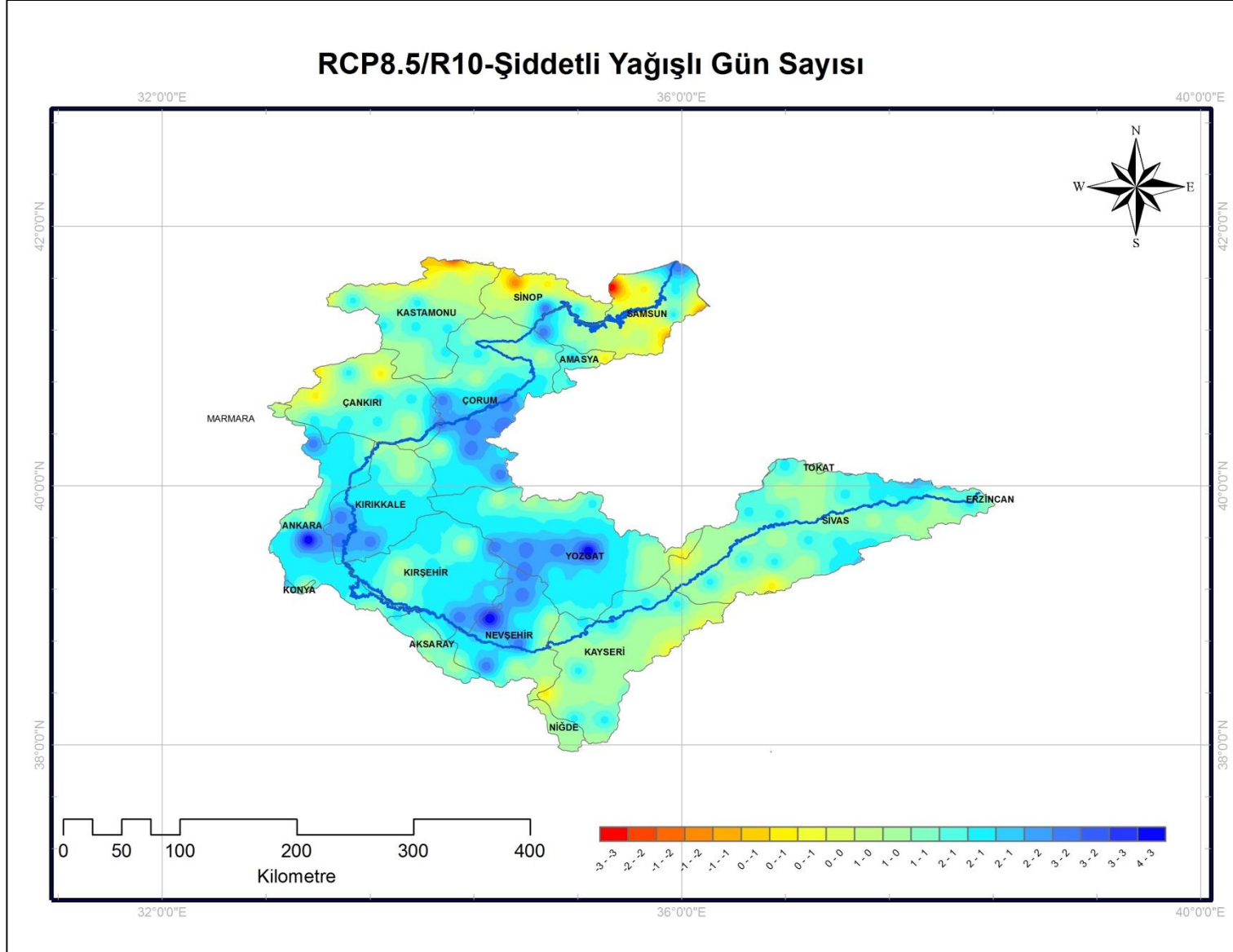
Şekil 44: RCP8.5 Günlük Yağış Yoğunluk (SDII) İndisi

5.2.16. Şiddetli Yağışlı Gün Sayısı (R10) İndisi

Bu indis günlük toplam yağış değerinin 10 mm'ye eşit yada daha yüksek olduğu günlerin sayısını ifade etmektedir. RCP4.5 senaryosunda en yüksek değer 3 gün/yıl ile Sinop dolaylarında görülmektedir. Yüksek değerlerin görüldüğü diğer yerler Kırıkkale, Nevşehir, Kayseri ve Kastamonu dolayları olarak sıralanabilmektedir. RCP8.5 senaryosunda en yüksek değer 4 gün/yıl ile Ankara ve Yozgat dolaylarında görülmektedir. Bu indis ile yağış yoğunluk indisi birlikte ele alındığında, yoğunluk indisi azalırken, yani yağışlı günlere düşen ortalama yağış miktarı azalırken, 10 mm ve üzerinde yağışlı gün sayısındaki artma şiddetli yağış görme olasılığının ciddi oranda arttığını göstermektedir. Benzeri açıklamalar R20 ve R25 indisleri içinde yapılabilir.



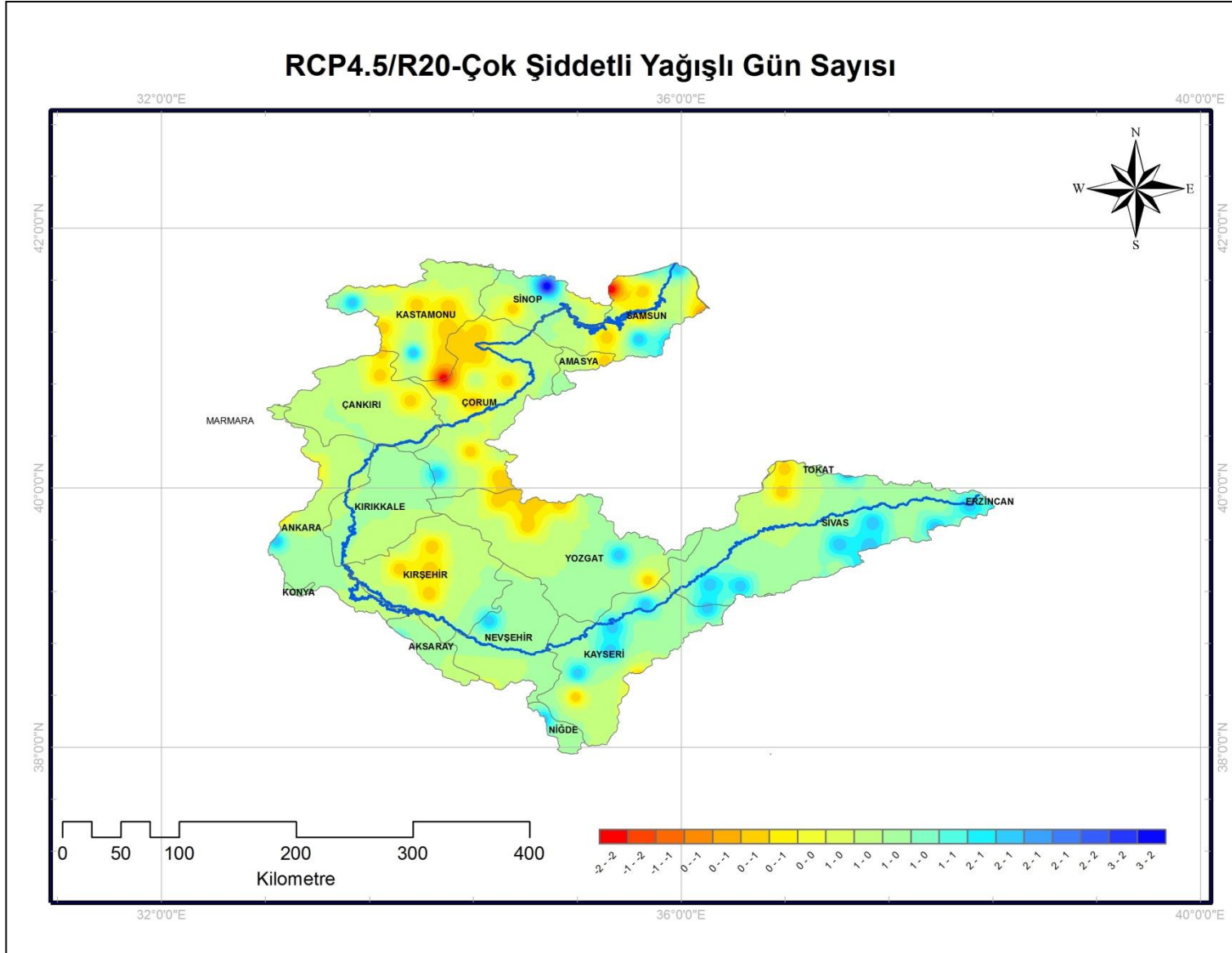
Şekil 45: RCP4.5 Şiddetli Yağışlı Gün Sayısı (R10) İndisi



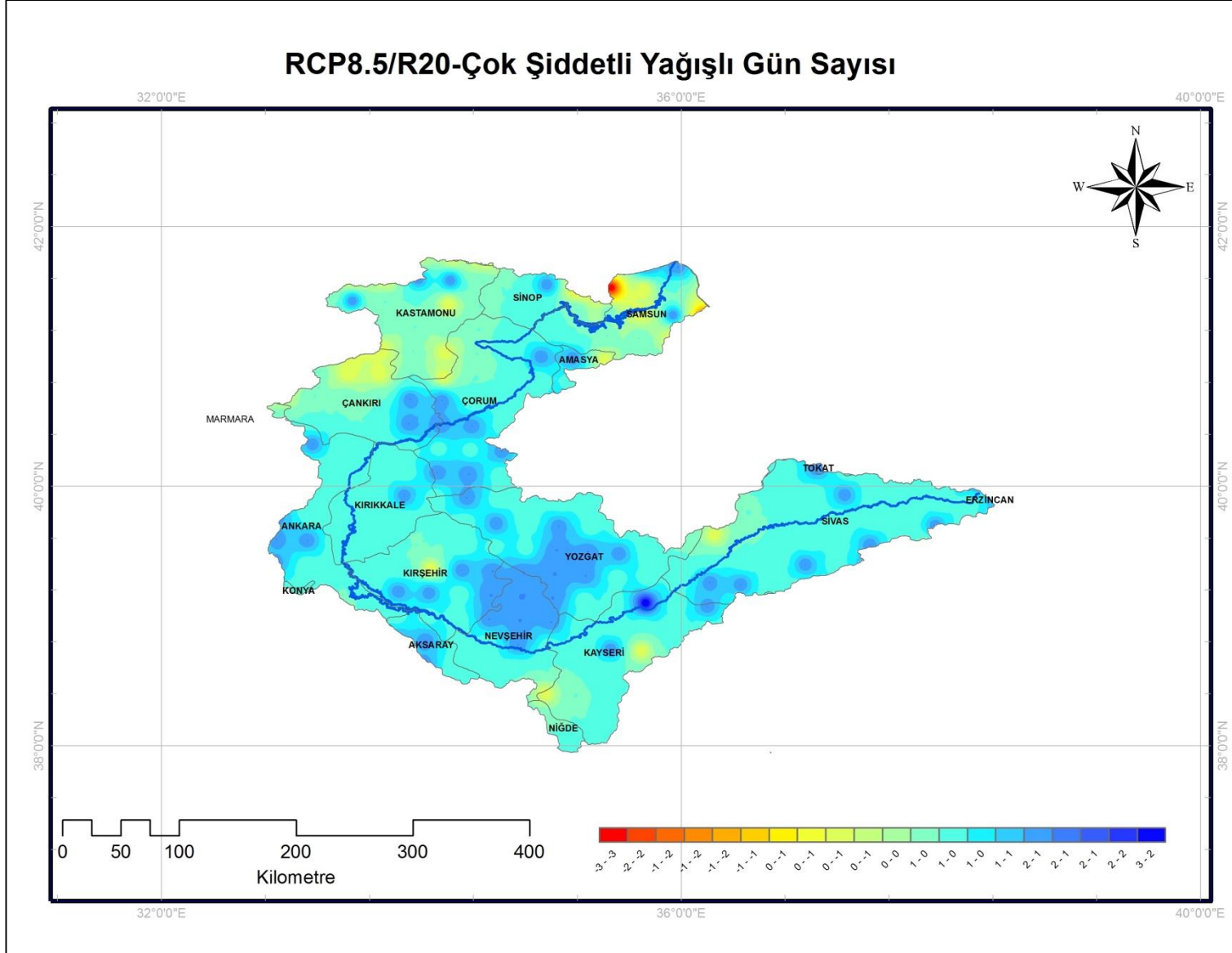
Şekil 46: RCP8.5 Şiddetli Yağışlı Gün Sayısı (R10) İndisi

5.2.17. Çok Şiddetli Yağışlı Gün Sayısı (R20) İndisi

Bu indis günlük toplam yağış değerinin 20 mm'ye eşit yada daha yüksek olduğu günlerin sayısını ifade etmektedir. RCP4.5 senaryosunda en yüksek değer çok spesifik olarak 3 gün/yıl ile Sinop dolaylarında görülmektedir. Fakat haritanın geneli göz önüne alındığında bu indiste ciddi bir değişim görülmemektedir. RCP8.5 senaryosunda ise R20 indisinin değerleri RCP4.5 senaryosundan oldukça yüksek ve havza genelinde daha yoğun olduğu görülmektedir. R20 indisinin, yağış yoğunluk indisi ile birlikte ele alındığı durumla ilgili açıklamalar R10 indisinin açıklamalarına paralelidir. (Bakınız başlık R10)



Şekil 47: RCP4.5 Çok Şiddetli Yağışlı Gün Sayısı (R20) İndisi

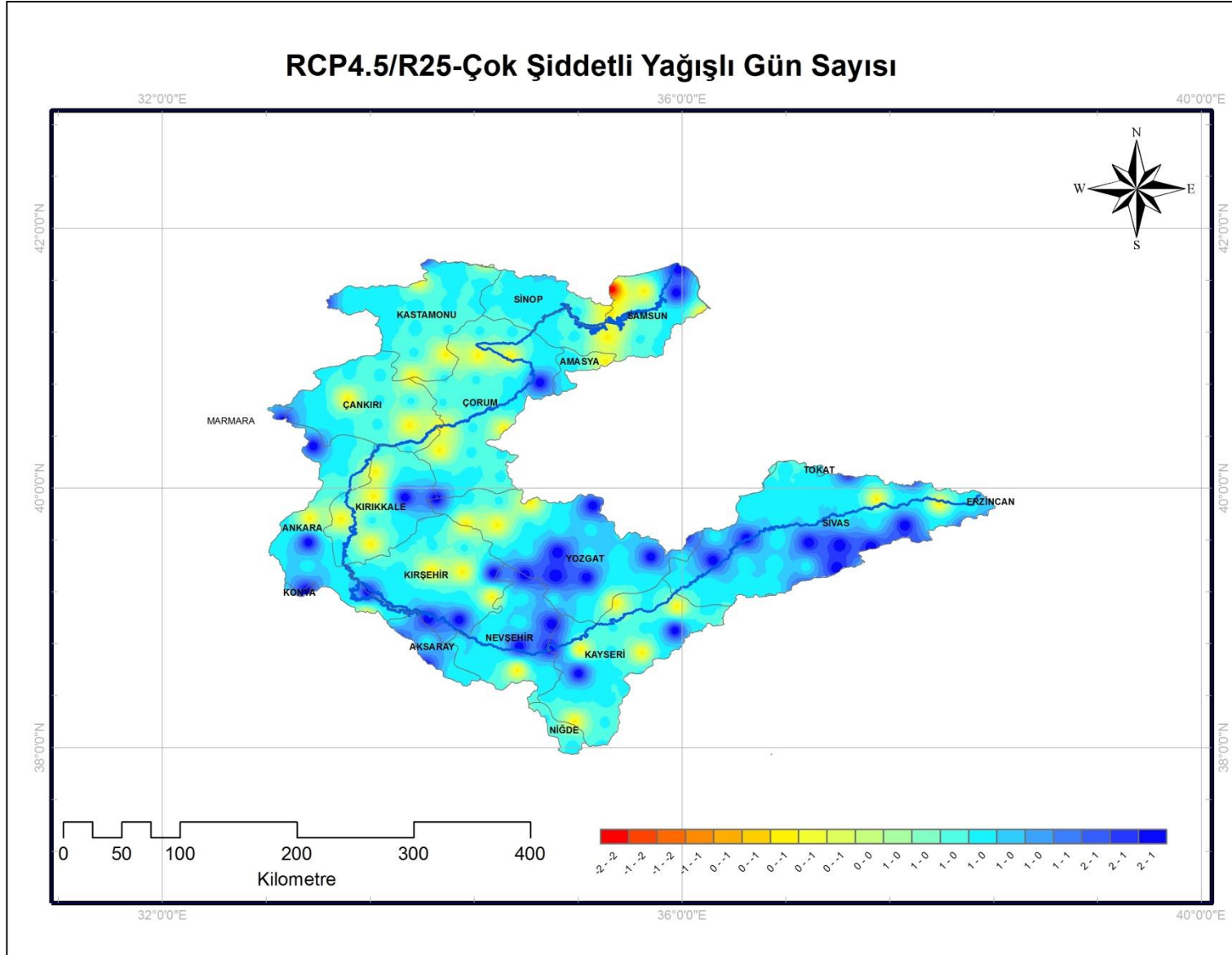


Şekil 48: RCP8.5 Çok Şiddetli Yağışlı Gün Sayısı (R20) İndisi

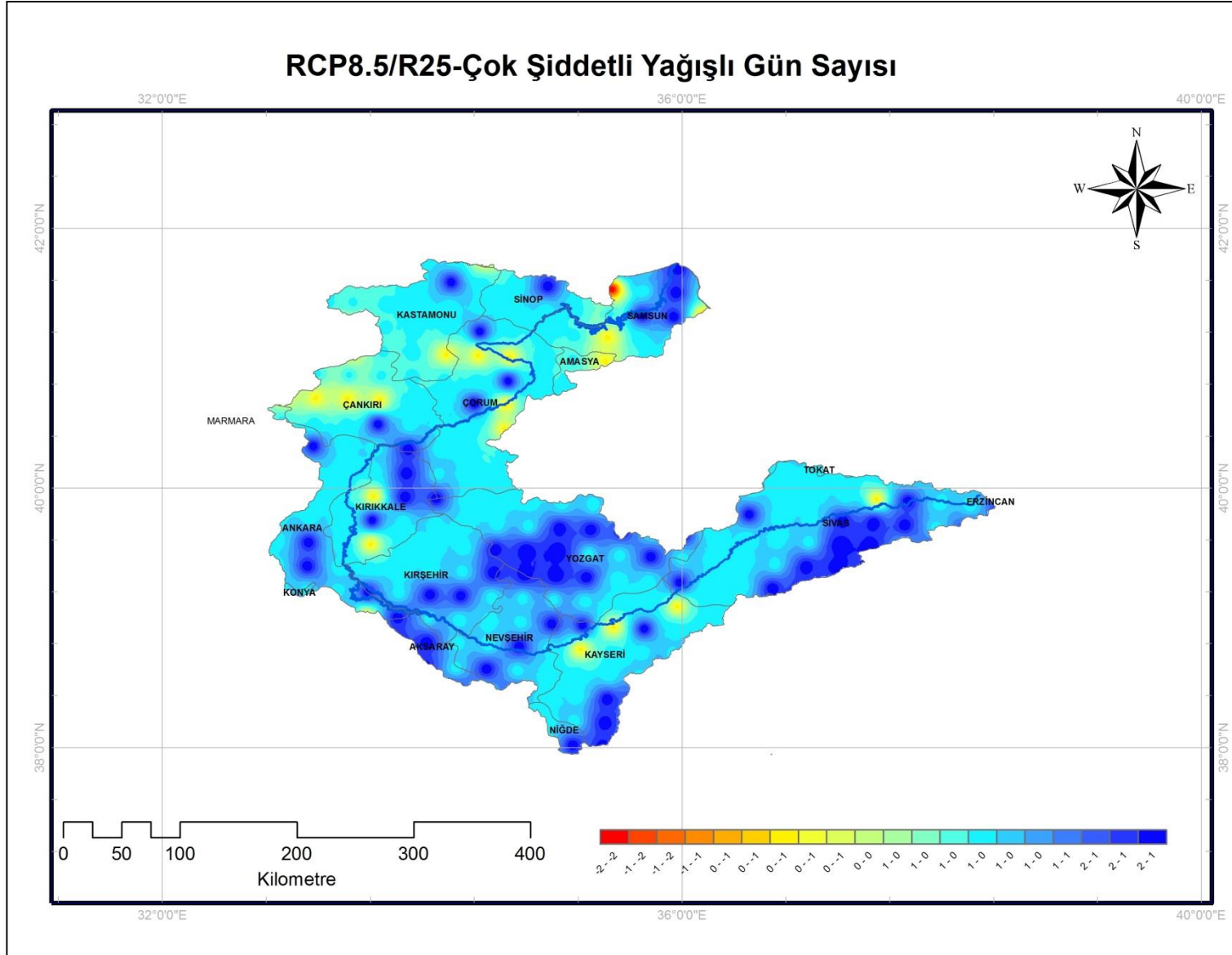
5.2.18. Çok Şiddetli Yağışlı Gün Sayısı (R25) İndisi

Bu indis günlük toplam yağış değerinin 25 mm'ye eşit yada daha yüksek olduğu günlerin sayısını ifade etmektedir. Her iki senaryoda da havza genelinde bu indis değerinin en yüksek 2 gün/yıl olduğu görülmektedir. RCP8.5 senaryosunda yüksek değerlerin daha yaygın ve yoğun olduğu, özellikle Yozgat ve Sivas dolaylarında yoğunlaşma gözükmemektedir.

RCP4.5/R25-Çok Şiddetli Yağışlı Gün Sayısı



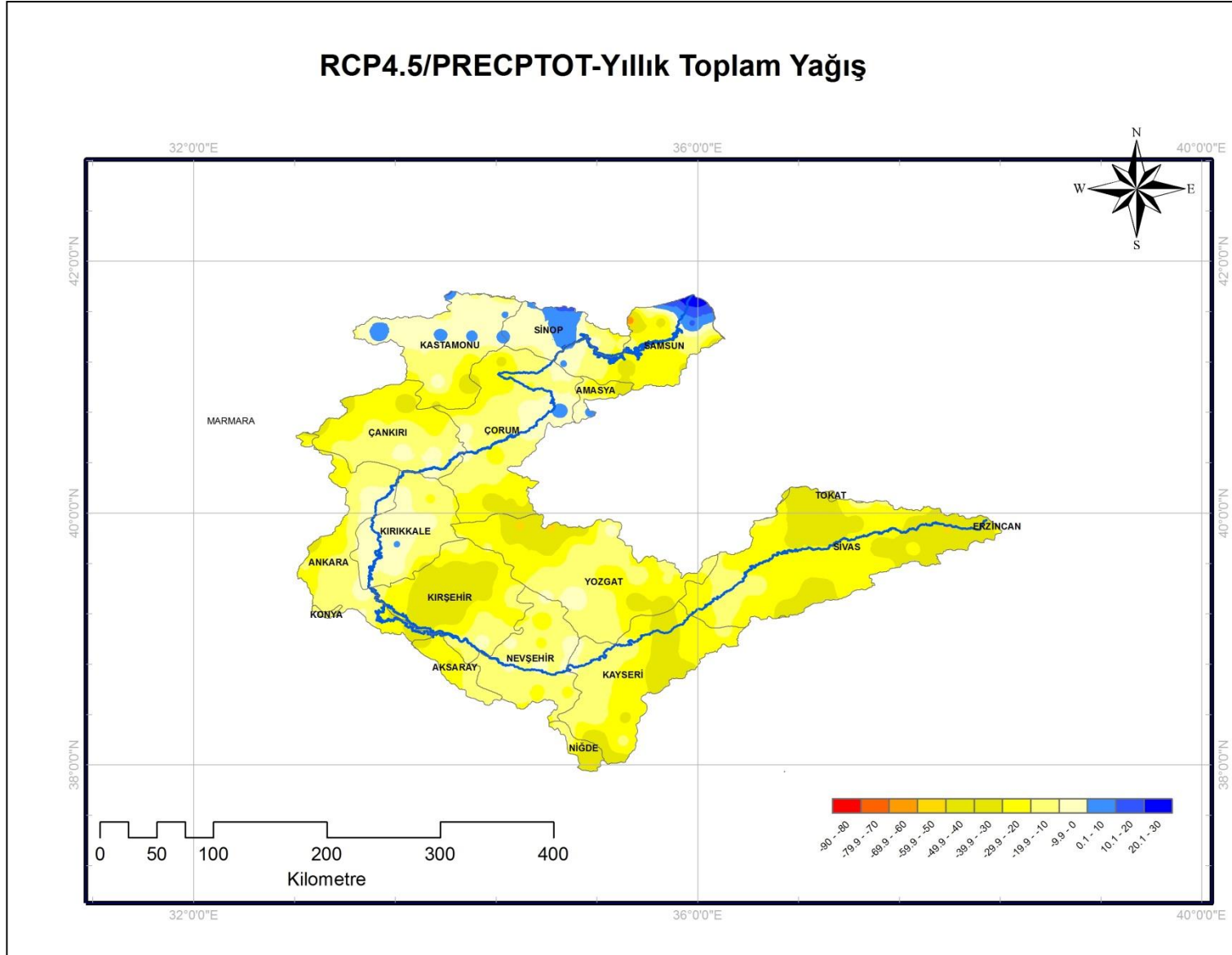
RCP8.5/R25-Çok Şiddetli Yağışlı Gün Sayısı



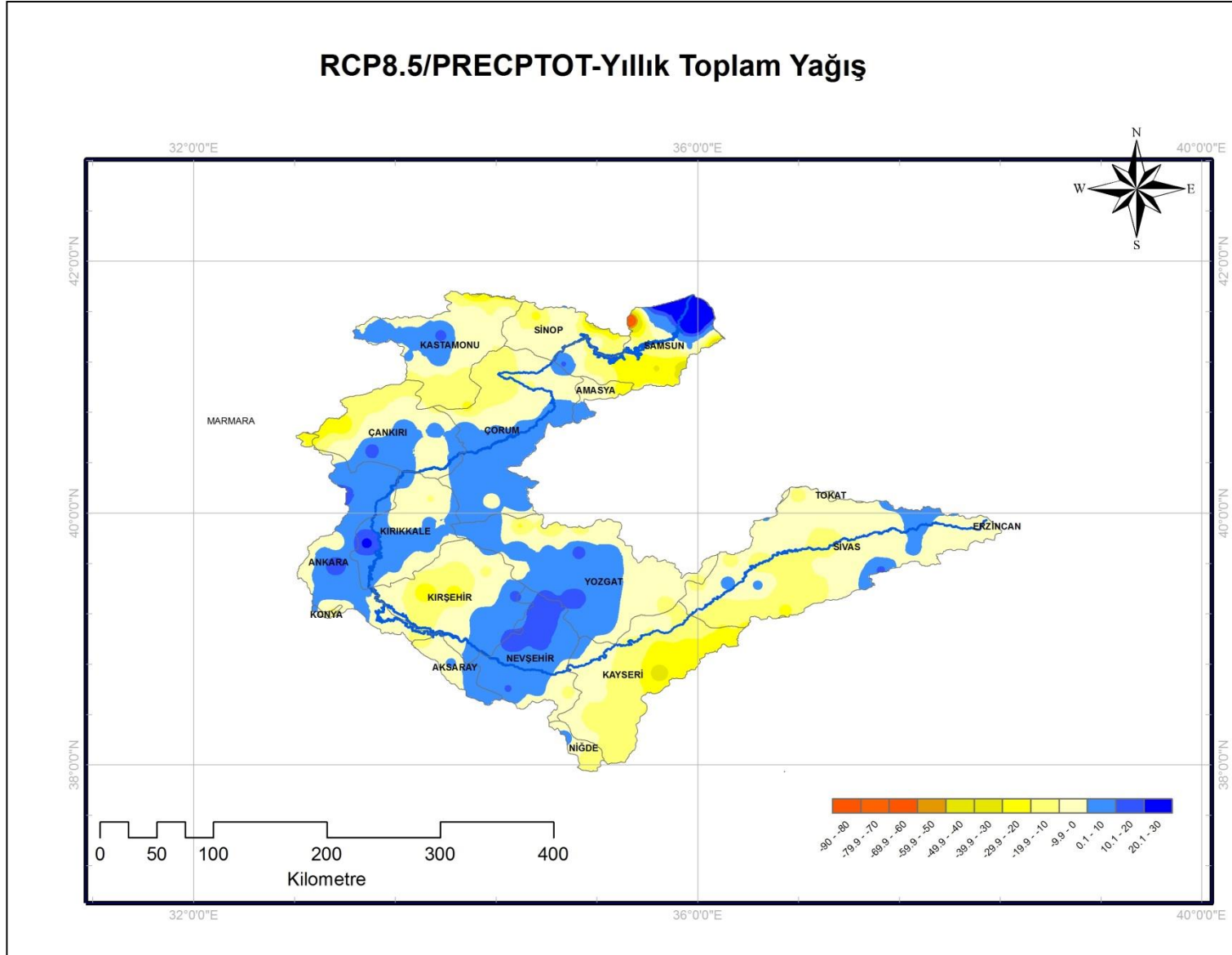
5.2.19. Yıllık Toplam Yağış (PRCPTOT) İndisi

Bu indis yıllık toplam yağış değerini vermektedir. Haritalar incelendiğinde, özellikle RCP4.5 senaryosunda yıllık toplam yağışlarda Samsun ili ve kıyıya yakın birkaç bölge hariç hemen hemen tüm havzada azalmalar olduğu görülmektedir. Samsun dolaylarında 30 mm/yıl artışlar görülürken, harita genelinde ortalama 40 mm/yıl azalmalar görülmektedir. RCP8.5 senaryosunda, yıllık toplam yağışın referans periyot değerini geçen bölgelerin RCP4.5 senaryosundan daha fazla olduğu görülmektedir. Samsun, Yozgat, Nevşehir, Ankara, Kırıkkale, Çankırı, Çorum ve Kastamonu civarlarında artışlar dikkat çekmektedir. Kayseri Kırşehir dolaylarında ise 20-30 mm/yıl azalmalar görülmektedir. PRCPTOT, R10,R20,R25 ve SDII indisleri birlikte ele alındığında, yağış rejiminde ciddi bir bozulma eğilimi olduğu sonucuna ulaşılabilmektedir.

RCP4.5/PRECPTOT-Yıllık Toplam Yağış



RCP8.5/PRECPTOT-Yıllık Toplam Yağış



6. TARTIŞMA ve SONUÇ

Çalışmada, 2013-2040 periyodu için, sıcak günler, yaz günleri indisi, sıcak geceler ve tropik geceler indisinin dikkat çekici şekilde artma, buna karşın donlu gün, serin geceler indislerinin ise azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Buz günleri indisinin ise, yukarı havza hariç diğer bölümlerde artma eğiliminde olduğu görülmektedir. Yine maksimum sıcaklıkların maksimumu indisi ise özellikle RCP8.5 senaryosunda artma eğiliminde olduğu dikkat çekmektedir. Ayrıca, günlük sıcaklık genişliğinin de, her iki senaryoda da, bazı spesifik bölgeler hariç tüm havzada artma eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu bulgular, havzada genel olarak yıllık ortalama sıcaklıkların artma eğiliminde olduğunu, maksimum sıcaklık değerlerinin ve buna bağlı olarak sıcak dalga riskinin arttığını, soğuk uç değerlerin ise “maksimum sıcaklıklar kadar olmasa da” yeni rekorlar kırabileceğini göstermektedir.

Yağışlarla ilgili indislerde ise, günlük maksimum yağış indisinin, şiddetli yağışlı ve çok şiddetli yağışlı gün sayısı indislerinin, özellikle RCP8.5 senaryosunda, artma eğiliminde olduğu görülmektedir. Çalışmadaki en dikkat çekici bulgulardan biri ise, maksimum değerdeki yağışlara sahip gün sayılarındaki artışa karşın yağış yoğunluk indisindeki azalmadır. Bu bulgu, genel olarak yıllık toplam yağışların, havza genelinde özellikle RCP4.5 senaryosunda azalma eğiliminde olmasına karşın, ani şiddetli yağışların görülme olasılığının tüm havzada arttığını göstermektedir. Bu bulguların daha ayrıntılı olarak, daha dar alanlarda yapılacak çalışmalarla desteklenmesi ve iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı alınacak tedbirlerde kullanılmasının gerekli olduğu değerlendirilmektedir.

Yapılan tez çalışmasında, temel olarak projeksiyon çalışmaları göz önünde bulundurulduğunda daha genelden daha özele doğru bir yaklaşım benimsenmiştir. Başka bir deyişle küresel model projeksiyonlarından bölgesel model projeksiyonlarına, oradan da havza bazlı daha yüksek ölçeğe doğru çalışma derinleştirilmiş ve özelleştirilmiştir. Dünya Meteoroloji Teşkilatının ölçülmüş verilerle kullanılmasını önerdiği iklim indisleri, modelin referans periyodu ve yakın gelecek periyodu (2013-2040) verilerine uygulanarak, iklim değişikliğinin Kızılırmak Havzası özelinde sıcaklık ve yağış verileri temelinde etkileri ve muhtemel eğilimler saptanmaya çalışılmıştır.

Kaynaklar:

- 1- A. Henderson-Sellers ve K. McGuffie,1987. *A Climate Modeling Primer*, , Wiley, pg. 58, (1987).
- 2- Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC),1994). Madde1, Tanımlar.
- 3- BUDYKO, M.I., 1968. The Effect of Solar Radiation Variations on Climate of Earth. Main Geophysical Observatory, Leningrad, M. Spzsskaja 7. December 18,1968.
- 4- HadGEM2 geliştirme takımı, 2011. Geosci. Model Dev. Discuss., 4, 997–1062, 2011.
- 5- IPCC, “Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, impacts, and Response Strategies: IPCC Expert Meeting Report”, the Netherlands, September, 2007.
- 6- IPCC, “CLIMATE CHANGE:The IPCC Response Strategies” , by Working Group III, 1990.
- 7- IPCC, “Special Report on Emissions Scenarios”, Cambridge University Press, 2000.
- 8- IPCC, “Climate Change 2001, Synthesis Report”, 2001.
- 9- IPCC, “Climate Change 2001, Scientific Basis”, Appendix II. Cambridge University Press, 2001.
- 10- IPCC, “Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, impacts, and Response Strategies: IPCC Expert Meeting Report”, the Netherlands, September, 2007.
- 11- IPCC, “IPCC Workshop on Socio-Economic Scenarios: Workshop Report.” Germany, Nowember, 2010.
- 12- Leggett J., Pepper W.J., Swart R.J. , “Emissions Scenarios for the IPCC: an Update”, Climate Change 1992: The Supplementary Report to The IPCC Scientific Assessment, Cambridge University Press, pp. 68-95.,UK, 1992.
- 13- Meinshausen , M. vd, “The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300”. Climatic Change (2011) 109:213–241.DOI 10.1007/s10584-011-0156-z. , 2011.
- 14- Meinshausen, M. vd,2010. RCP Concentration & Data Group, May 2010.
- 15- Michael Mann ve Lee R. Kump,2012. Dire Predictions:Understanding Global Warming. Prentice hall, ISBN13: 9780136044352, ISBN10: 0-13-604435-2.
- 16- Morgan, M. G. and Henrion, M., “A Guide to Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk and Policy Analysis”,Cambridge: Cambridge University Press, 1990.
- 17- Moss, R. H. Vd., “The next generation of scenarios for climate change research and assessment”. Nature:Vol 463j11, jdoi:10.1038/nature08823, February 2010.
- 18- Moss, R.H. vd., “Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies”, Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, 2008.
- 19- Riahi, K. vd., “RCP 8.5: A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions”, Climatic Change: 109:33–57 DOI 10.1007/s10584-011-0149-y, 2011
- 20- Taylor, K. E. vd., 2012. “An Overview of CMIP5 and the experiment design”, Bull. Amer. Meteor. Soc., 93, 485-498, doi:10.1175/BAMS-D-11-00094.1, 2012.
- 21- Taylor,K. E. vd, 2012. “CMIP5 Data Reference Syntax (DRS) and Controlled Vocabularies”. Version 1.3.1, 13 June 2012.
- 22- Thomson A. M. Vd, “RCP4.5: a pathway for stabilization of radiative forcing by 2100”, Climatic Change: DOI 10.1007/s10584-011-0151-4, 2011.
- 23- UN, “Kyoto Protocol To The United Nations Framework Convention On Climate Change”, Annex-A, Greenhouse Gases, 1998.

- 24- Von Storch H.,1999. The Global and Regional Climate System. In Anthropogenic Climate Change, von Storch H. and Floser G. " (Eds.), Springer Verlag: ISBN 3-540-65033-4, pp. 3–36.
- 25- Zhang X. and Yang F., 2004. Climate Research Branch (R climdex Group), Environment Canada Downsview, Ontario Canada.

ÖZET

Bu çalışmada, Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından üretilen HadGEM2-ES küresel dolaşım modeli verilerinin RegCM-4 bölgesel iklim modeli ile dinamik ölçek küçültme yöntemi ile elde edilen projeksiyonlardan, WMO tarafından kabul edilen maksimum sıcaklık, minimum sıcaklık ve günlük toplam yağış verilerine dayanan iklim indislerinden 19 tanesinin Kızılırmak Havzası için, 2013-2040 (yakın gelecek) periyodunda referans periyoduna göre eğilimleri için saptanmaya çalışılmıştır. Bulguların, çalışılan alan ve periyotta iklim değişikliğinin olası olumsuz etkilerine karşı alınacak uyum tedbirlerinde ve yapılacak projelerde ilk aşama temel bilgileri sağlayabileceği ya da bir perspektif sunabileceği hedeflenmiştir.

Çalışma periyodu olarak 2007 yılında IPCC uzmanlar toplantısı sonuç raporunda yakın periyot olarak tanımlanan günümüz-2035 periyodunu içine alan 2013-2040 periyodu tercih edilmiştir. Senaryolardan ise mutedil olarak nitelenen RCP4.5 ve kötümser olarak tanımlanan RCP8.5 tercih edilmiştir. Böylece hem gerçekleşmesi en muhtemel senaryo hem de en kötü senaryoda olası durumlar saptanmaya çalışılmıştır. Küresel model olarak IPCC 5. Değerlendirme Raporu çalışmalarında kullanılan ve dünya da en çok kabul gören küresel modellerden biri olan HadGEM-2-ES modeli, bölgesel model olarak ise Akdeniz Bölgesi için daha önce bir çok çalışmada kullanılan RegCM4 modeli kullanılmıştır. İndislerin haritalanmasında ise CBS araçları kullanılmıştır.

Anahtar kelimeler:

İklim indisi, iklim projeksiyonu, RCP, Kızılırmak Havzası, RegCM4, HadGEM2-ES

ABSTRACT

In this study, the inclinations of 19 indices recommended by WMO are searched for Kızılırmak Basin for the period of 2013-2040 including near term of 2035 defined in IPCC report (2007). Data used for producing the indices are derived from HadGEM2-ES model by downscaling through RegCM4. The indices are accepted by WMO and produced by using parameters of maximum temperature, minimum temperature and daily precipitation. They are calculated for Kızılırmak Basin for period of 2013-2040 and mapped by using GIS tools. The study aims at building a perspective in projects and measures of prevention against to possible adverse affects of climate change.

The period of study is determined 2013-2040 that is defined as near term in the IPCC report in 2007. Scenarios are RCP4.5 as mild and RCP8.5 as pessimistic. Thus, the study tries to find possible conditions in near term both aspects, the prospective one and the worst one. HadGEM2-ES, one of the most accepted model in the world and used in AR5-IPCC, is chosen as GCM and RegCM4, before experimented by several institutes and applied for the Mediterranean Region, is chosen as RCM. In terms of mapping, GIS tools are used.

Key Words:

Climate indice, climate projections, RCP, Kızılırmak Basin, RegCM4, HadGEM2-ES