

Bölüm 2

TR21 Bölgesi'nde Ekstrem İklim Olaylarının Mevcut Durumu ve Gelecek Projeksiyonları

Ferat ÇAĞLAR¹, Asude HANEDAR², Işıl YILDIRIM¹, Erdem GÖRGÜN¹,
Adnan Deniz ÖZDEMİR¹, Bahadır ALTÜRK³, Selçuk ALBUT⁴,

¹İO Çevre Çözümleri İTÜ Kampüsü, Arı-1 Teknokent, Maslak, İstanbul

ferat.caglar@iocevre.com; isilsu.yildirim@iocevre.com; deniz.ozdemir@iocevre.com

²Tekirdağ Namık Kemal Üniv., Çorlu Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ
ahanedar@nku.edu.tr

³Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Tekirdağ
balturk@nku.edu.tr

⁴Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ
salbut@nku.edu.tr

1. Giriş

Aşırı (ekstrem) olaylar, olasılık dağılımının “kuyruk” yakınındaki hava ve iklim olaylarını işaret ederler. Günümüzde yaşamımıza yön veren pek çok sektör için gerekli alt yapılar meteorolojik değişkenlerin yüksek ve düşük değerlerine karşı son derece duyarlıdır (IPCC, 2007). İklim indisleri, pek çok disiplinde yaygın olarak kullanılan ve özellikle ekstrem (aşırı) olaylar göz önüne alındığında iklim değişim çalışmalarının en önemli etki parametresidir (Alexander ve diğ., 2006; Fischer ve diğ., 2013). İklim değişiminin en önemli etkilerinden biri ekstrem hava olaylarının şiddet ve sıklığında ortaya çıkan değişimlerdir. Çünkü ekstrem hava ve iklim olaylarındaki değişikliklerin çok önemli etkileri olup bunlar değişen iklim ile mücadelede yaşadığımız dönemde toplumun en ciddi sorunları arasında yer almaktadır. Nitekim, 21. yüzyıl içerisinde bazı ekstrem olayların sıklığı, yaygınlaştığı ve şiddetlerinin de arttığı görülmüştür (Klein Tank ve diğ., 2009).

Proje kapsamında, TR21 bölgesini oluşturan Tekirdağ, Edirne ve Kırklareli illerinden oluşan çalışma alanında tanımları kuraklık ve aşırı yağış göstergeleri olarak belirlenen 6 iklim indisi çalışma alanı için mevcut durum ve gelecek dönem küresel iklim modeli çıktıları için

hesaplanmış, bölgede belirli AGİ'ler için taşkın akımları ve frekansları belirlenmiştir. Tüm değerlendirmeler mevcut durum ve gelecek projeksiyonları için karşılaştırmalı sunulmuş ve çalışma alanında öngörülen ekstrem iklim olaylarında değişiklikler ile ilgili alınacak önlemler belirtilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Proje kapsamında, TR21 Bölgesi'ni oluşturan Tekirdağ, Edirne ve Kırklareli illerinden oluşan çalışma alanında tanımları Çizelge 1'de verilen 6 iklim indisi çalışma alanı için hesaplanmıştır. İklim indislerinin değerlendirilmesinde öncelikle referans dönem için iklim indisleri hesaplanmış ve bölgede mevcut durumda iklim indislerinin aldığı değerler ortaya koyulmuştur. Daha sonra iki senaryo (RCP4.5 ve RCP8.5) altında HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 küresel modellere dayalı RegCM4.3 bölgesel iklim model çözümleri yanında, CMIP5 model arşivindeki her bir senaryo için koşturulan tüm modellerin birer versiyonu seçilerek bunların sonuçlarının ortalaması ile ortaya koyulan meteorolojik parametreler için çalışma alanında iklim indislerinin alacağı değerler hesaplanmıştır. Aşağıdaki bölümlerde her bir indisin mevcut durumdaki aldığı değerler, referans dönem ve 2015-2100 yılları için sunulmuştur. Çalışma alanında aynı zamanda geçmişten bugüne taşkın akımları ve frekansları belirlenerek değerlendirmesi sunulmuştur.

Çizelge 1. Ekstrem hava olaylarına ait iklim indisleri.

İndis –ID	Tanımlama	Birim
FD0	Don Olan Günler -Minimum sıcaklığın 0°C'den küçük olduğu günler	Gün
R20	Çok Şiddetli Yağışlı Gün Sayısı -Yağışın 20 mm'den yüksek olduğu günler	Gün
CDD	Ardışık Kurak Gün Sayısı İndisi	Gün
GSL	Bitki Büyüme Sezonu uzunluğu	Gün
SPEI	Standartlaştırılmış Yağış, Buharlaşma ve Terleme İndeksi	-
NDVI	Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü Değişim İndeksi	-

3. Bulgular ve Değerlendirme

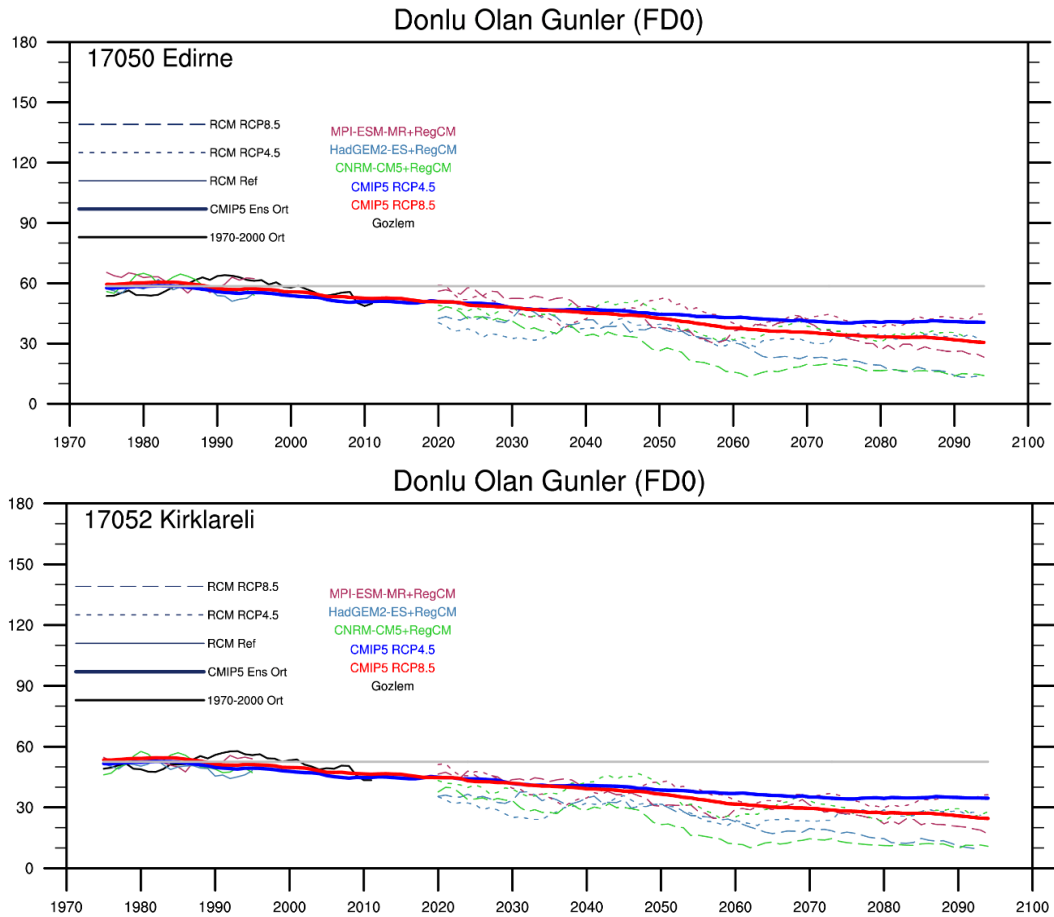
3.1. FD0 indisi

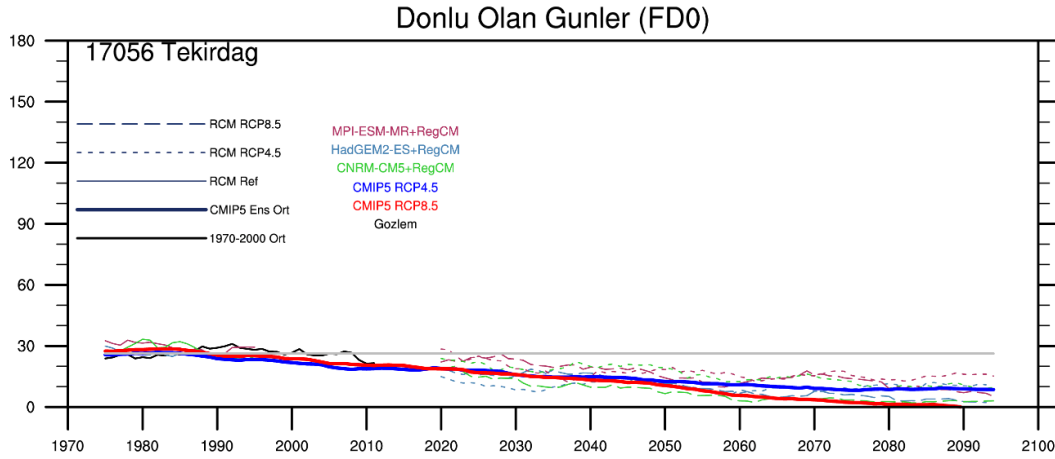
FD0, günlük minimum sıcaklığın 0°C'nin altında olduğu günlerin yıl içerisindeki sayısıdır. Türkiye üzerinde don olan günlerin sayıları ortalama 78 gün olup yüzey topoğrafyasına bağlı bir dağılım göstermekte, ülkemizin doğusunda 120 günü bulmaktadır (İklimSu, 2016). Çalışma alanında referans dönemde meteoroloji istasyonları için hesaplanan FD0 indis değerleri Çizelge 2'de verilmektedir. Buna göre gözlem verilerine göre bölgede don olan günler sayısı 26-70 arasında değişmekte ve sıcaklığın 0°C'nin altında olduğu günler en fazla Kırklareli-Lüleburgaz'da, en az Tekirdağ'da gözlenmektedir.

RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına dayalı üç yer sistem modeli ile kuple edilen RegCM4.3 bölgesel iklim modeli için çalışma alanında FD0 indisinin 2015-2040; 2041-2070 ve 2071-2100 yılları arasında il bazındaki değerleri Çizelge 2'de verilmiştir. Şekil 1'de Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ illeri için FD0 indisinin 3 model ve ensemble model sonuçlarına göre değişimi zaman serisi olarak verilmiştir.

Çizelge 2. FD0 indisi gözlem ve gelecek dönem değerleri.

Gözlem		2015-2040			2041-2070			2071-2099		
		MPI-ESM	HadGEM	CNRM	MPI-ESM	HadGEM	CNRM	MPI-ESM	HadGEM	CNRM
RCP4.5										
Edirne	58.2	-9.5	-19.9	-11.5	-15.6	-22.7	-16.7	-17.2	-24.5	-24.5
Kırklareli	52.2	-8.1	-19.5	-10.1	-14.4	-23.6	-14.3	-16.4	-23.9	-22.4
Çorlu	49.9	-7.1	-20.2	-10.7	-13.2	-23.5	-12.6	-14.2	-24.5	-22.4
Tekirdağ	25.9	-6.6	-15.5	-6.3	-12.5	-17.7	-10.1	-13.4	-17.7	-16.6
Uzunköprü	58.3	-9.9	-19.2	-10.7	-15.0	-21.4	-14.9	-15.4	-23.1	-22.8
Lüleburgaz	69.8	-10.5	-22.3	-12.7	-18.2	-26.4	-15.3	-17.7	-28.2	-26.6
İpsala	47.8	-7.6	-19.1	-9.0	-12.6	-20.6	-12.3	-13.4	-21.4	-20.1
Malkara	52.9	-8.0	-18.9	-10.0	-12.5	-21.5	-12.5	-14.0	-22.1	-21.1
RCP8.5										
Edirne	58.2	-6.0	-12.5	-16.7	-21.3	-26.8	-34.3	-32.1	-39.6	-41.9
Kırklareli	52.2	-6.3	-13.7	-17.0	-20.3	-26.1	-30.4	-29.1	-36.8	-38.4
Çorlu	49.9	-4.1	-15.3	-8.9	-17.3	-26.2	-25.0	-26.0	-38.4	-33.1
Tekirdağ	25.9	-6.7	-9.5	-12.9	-14.1	-19.2	-20.3	-19.2	-23.6	-24.2
Uzunköprü	58.3	-5.0	-12.6	-13.9	-20.0	-25.9	-30.2	-30.6	-37.8	-38.8
Lüleburgaz	69.8	-5.8	-16.3	-21.4	-22.4	-29.8	-39.1	-34.5	-46.1	-49.9
İpsala	47.8	-3.9	-11.8	-8.4	-17.7	-24.3	-24.2	-25.6	-34.2	-32.5
Malkara	52.9	-3.3	-13.2	-8.8	-18.1	-24.7	-25.1	-26.6	-36.5	-34.2





Şekil 1. Devamı....

Çizelge 2 ve Şekil 1'de görüldüğü üzere her üç ilde de don olan günler sayısı azalma eğilimindedir. RCP4.5 senaryo sonuçlarına göre azalma en fazla Kırklareli'nde en az Tekirdağ'da beklenmektedir. RCP8.5 senaryosuna göre ise azalma projeksiyon döneminin ilk 30 yılında düşük beklenmekle birlikte özellikle son 30 yıllık dönemde azalmalar 30 günün üzerine çıkmaktadır.

3.2. R20 Çok Şiddetli Yağışlı Gün Sayısı İndisi

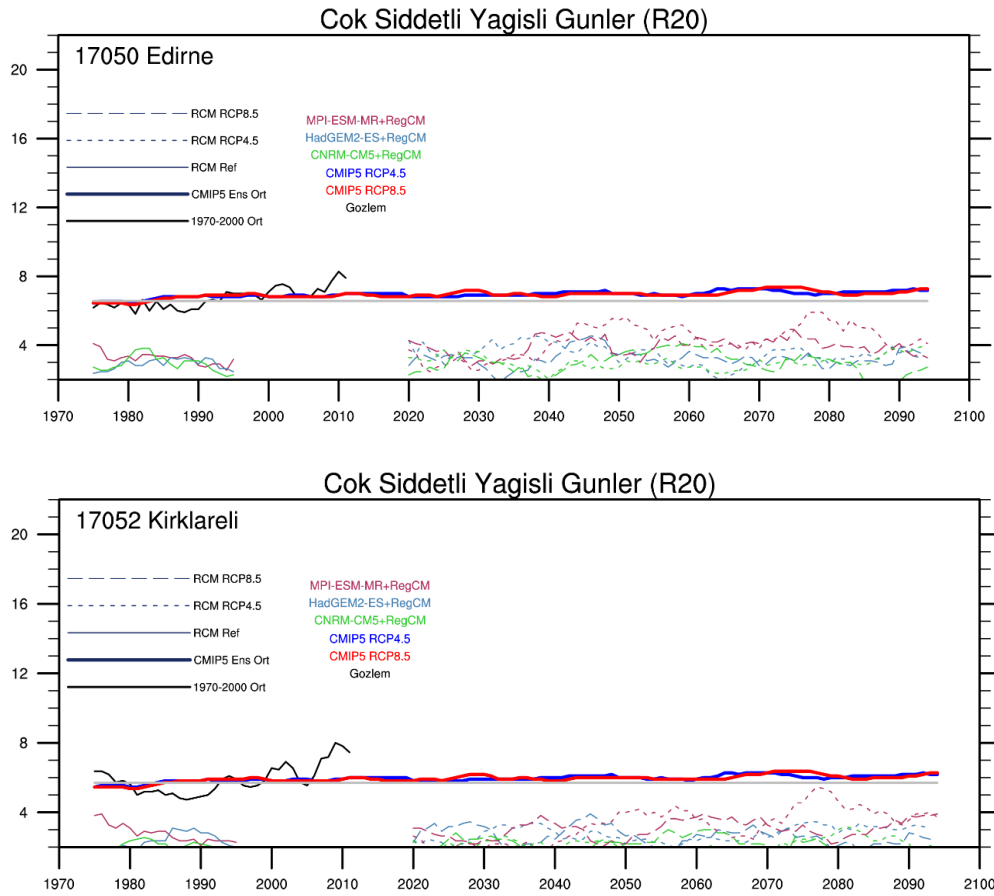
R20mm indisi, çok şiddetli yağışlı gün sayısını gösterir ve yağışın 20 mm'yi aştığı günlerin sayısını vermektedir. Türkiye genelindeki R20 indisi ortalaması 3-4 gündür. Bununla birlikte daha sık 20 mm'den daha fazla yağış alan bölgeler Doğu Karadeniz, Batı Akdeniz ve Antalya Havzaları ve Fırat-Dicle Havzası'nda Güney Doğu Torosların kuzey bölümüdür. En yüksek değerler görülen başta Doğu Karadeniz olmak üzere kıyı bölgelerde R20 indisi 14-28 gün arasında değişmektedir (İklimSu, 2016). Çalışma alanında referans dönemde meteoroloji istasyonları için hesaplanan R20 indisi değerleri Çizelge 3'de verilmektedir. Buna göre bölgede yağışın 20 mm'yi aştığı günlerin sayısı 5.7 ile 8.5 arasında değişmekte olup en yüksek R20 değerleri Uzunköprü ve Malkara için elde edilmiştir.

RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına dayalı üç yer sistem modeli ile kuple edilen RegCM4.3 bölgesel iklim modeli için çalışma alanında R20 indisinin 2015-2040; 2041-2070 ve 2071-2100 yılları arasında il bazındaki değerleri Çizelge 3'te verilmiştir. Şekil 2'de sırasıyla Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ illeri için R20 indisinin 3 model ve ensemble model sonuçlarına göre değişimi zaman serisi olarak verilmiştir.

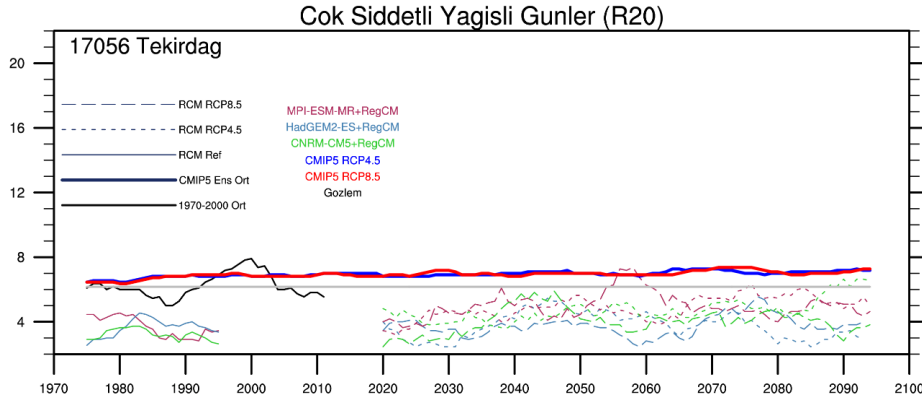
Çizelge 3'de görüldüğü üzere model sonuçları farklı değerler vermekte, RCP4.5 senaryo sonuçlarına göre 2070'e kadar genel olarak azalmalar beklenmekte iken 2070 sonrası R20 değerlerinde artışlar öngörülmektedir. RCP8.5 senaryo sonuçlarına göre ise R20 indisinde genel olarak azalma beklenmektedir.

Çizelge 3. R20 indisi gözlem ve gelecek dönem değerleri.

	Gözlem	2015-2040			2041-2070			2071-2099		
		MPI-ESM	HadGEM	CNRM	MPI-ESM	HadGEM	CNRM	MPI-ESM	HadGEM	CNRM
RCP4.5										
Edirne	6.5	-0.3	1.5	0.3	0.9	0.6	0.1	1.2	0.9	0.6
Kırklareli	5.8	-0.7	0.6	0.4	0.3	0.4	0.2	1.2	1.0	0.6
Çorlu	5.7	0.8	1.7	0.9	1.4	0.5	1.1	1.1	1.2	1.6
Tekirdağ	6.2	0.5	0.1	1.3	1.1	1.1	1.7	1.7	-0.1	2.5
Uzunköprü	8.5	-0.3	0.1	-0.4	0.2	1.4	0.0	1.2	1.8	0.6
Lüleburgaz	6.4	0.4	1.1	-0.2	1.2	0.2	0.7	2.0	0.8	1.6
İpsala	7.3	-0.1	1.7	1.1	0.7	1.8	1.3	1.8	2.3	1.8
Malkara	8.4	-0.5	1.1	0.1	1.2	0.5	0.8	2.3	1.4	0.8
RCP8.5										
Edirne	6.5	-0.1	0.2	-0.3	0.6	0.8	0.8	0.3	0.8	0.0
Kırklareli	5.8	0.0	0.4	0.3	0.0	0.7	0.6	0.3	0.4	0.1
Çorlu	5.7	0.9	1.6	-0.1	1.4	0.4	1.5	0.2	2.0	1.4
Tekirdağ	6.2	0.7	0.1	0.1	1.7	0.0	1.5	0.8	1.2	1.2
Uzunköprü	8.5	-1.4	0.2	-0.9	-0.3	0.3	-0.7	-0.3	0.8	0.1
Lüleburgaz	6.4	0.3	0.6	-0.1	1.2	0.1	0.8	0.4	0.9	0.4
İpsala	7.3	1.1	1.8	0.5	1.3	0.8	1.6	1.5	0.6	1.4
Malkara	8.4	0.1	1.7	-0.5	0.7	0.4	0.7	0.3	1.6	1.2



Şekil 2. R20 Çok şiddetli yağışlı gün sayısı iklim indisi zaman serisi (gün).



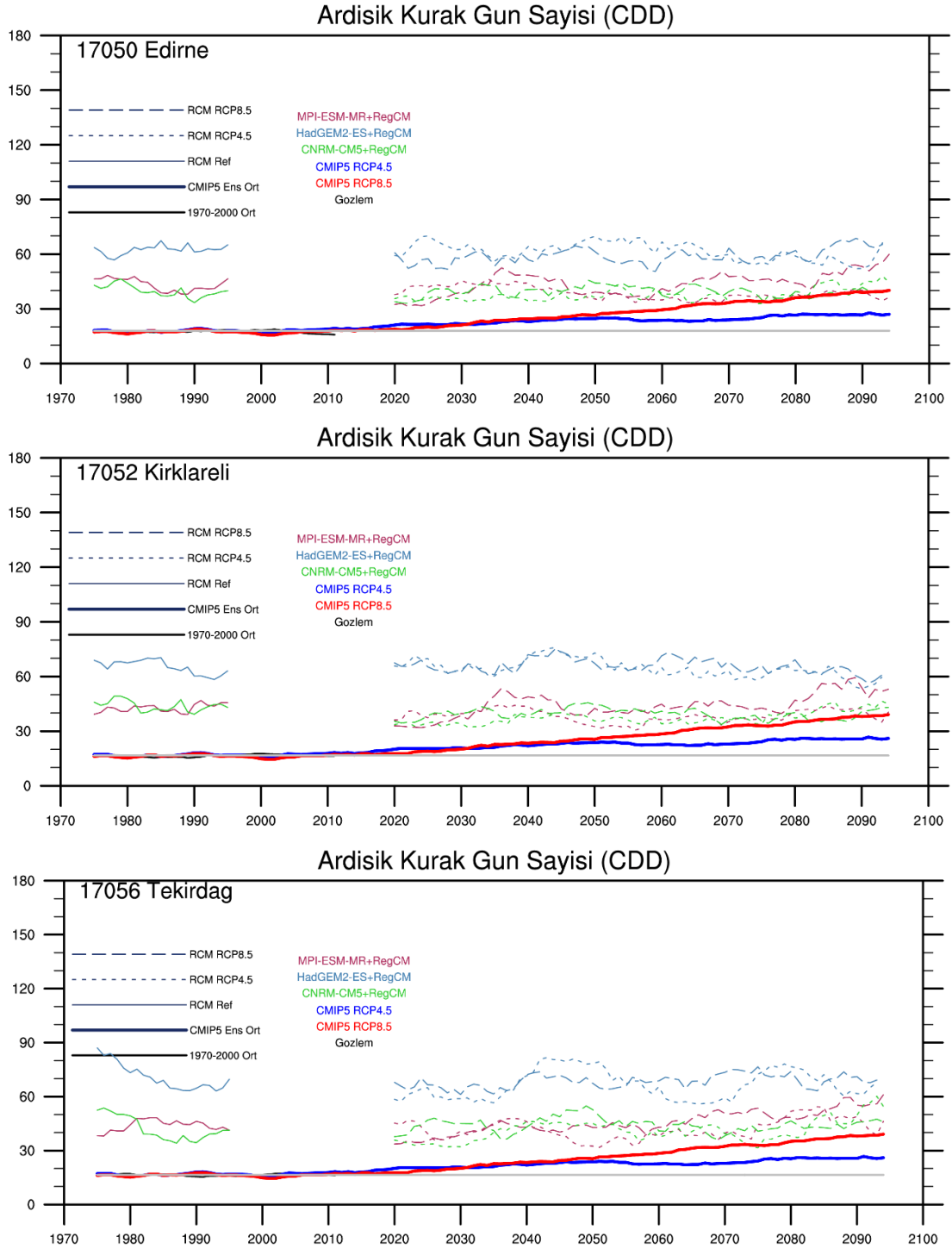
3.3. CDD Ardışık Kurak Gün Sayısı İndisi

CDD indisi, ardışık kurak gün sayısını gösterir. Yağışın 1 mm'den düşük olduğu ardışık gün sayısıdır. Çalışma alanında referans dönemde meteoroloji istasyonları için hesaplanan CDD indisi değerleri Çizelge 4'de verilmektedir. Buna göre bölgede yağışın 1 mm'den düşük olduğu ardışık gün sayısı en yüksek Edirne'de gözlenmekte olup 18 gündür. Diğer tüm meteoroloji istasyonlarında 16 gün civarı değerler almıştır.

RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına dayalı uç yer sistem modeli ile kuple edilen RegCM4.3 bölgesel iklim modeli için çalışma alanında CDD indisinin 2015-2040; 2041-2070 ve 2071-2100 yılları arasında il bazındaki değerleri Çizelge 4'de verilmiştir. Şekil 3'de Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ illeri için CDD indisinin 3 model ve ensemble model sonuçlarına göre değişimi zaman serisi olarak verilmiştir. Projeksiyon sonuçlarından görüldüğü üzere ardışık kurak geçen gün sayısında genel olarak azalma beklenmekte yalnızca RCP8.5 senaryosu MPI-ESM-MR modeli sonuçlarına göre 2071-2099 döneminde 12 güne varan artışlar öngörülmektedir.

Çizelge 4. CDD indisi gözlem ve gelecek dönem değerleri.

	2015-2040				2041-2070			2071-2099		
	Gözlem	MPI-ESM	HadGEM	CNRM	MPI-ESM	HadGEM	CNRM	MPI-ESM	HadGEM	CNRM
RCP4.5										
Edirne	18.0	-2.2	-1.3	-4.6	-7.8	1.1	-4.3	-7.1	-5.4	0.1
Kırklareli	16.6	-2.7	0.2	-10.1	-7.1	-0.8	-7.4	-2.4	-5.8	-2.4
Çorlu	16.6	-0.1	-11.1	-9.3	-7.7	-10.9	-7.5	-0.5	-10.1	-4.9
Tekirdağ	16.5	2.0	-13.7	-7.4	-4.5	-6.0	-2.0	6.1	-4.7	1.5
Uzunköprü	16.7	0.2	-8.5	-10.7	-6.0	-1.4	-5.7	0.7	-3.8	-2.8
Lüleburgaz	16.8	1.5	-3.1	-6.2	-4.0	-4.0	-4.4	3.7	-1.5	-3.2
İpsala	16.4	-2.6	-3.1	-4.3	-10.9	1.0	-3.1	-4.5	-1.6	-0.1
Malkara	16.2	-1.2	-4.1	-5.6	-3.8	-4.8	-1.3	0.3	0.4	1.2
RCP8.5										
Edirne	18.0	-4.7	-5.8	-2.5	-2.7	-4.6	0.7	6.6	-2.3	-3.1
Kırklareli	16.6	-3.2	-0.5	-5.8	-0.2	2.1	-2.4	7.4	-4.6	-5.0
Çorlu	16.6	-4.5	-8.4	-7.9	-3.3	-6.4	-3.8	10.0	-2.0	-7.9
Tekirdağ	16.5	-2.8	-8.3	-2.6	2.4	-5.1	2.1	12.6	-4.0	-0.7
Uzunköprü	16.7	-1.8	-4.8	-3.4	-2.1	-3.9	-2.8	9.8	-4.4	-3.3
Lüleburgaz	16.8	-0.8	-1.7	-0.4	2.3	-0.4	0.0	8.4	-6.4	-5.5
İpsala	16.4	0.8	-0.8	2.8	-4.1	-5.0	3.3	1.4	-2.1	-2.0
Malkara	16.2	1.1	-3.2	2.1	-1.7	-3.5	0.5	7.9	-2.2	-3.5



Şekil 3. Tekirdağ ili ardışık kurak gün sayısı (CDD) iklim indisi zaman serisi (gün).

Çizelge 4'de görüldüğü üzere ardışık kurak geçen gün sayısında genel olarak azalma beklenmekte yalnızca RCP8.5 senaryosu MPI-ESM-MR modeli sonuçlarına göre 2071-2099 döneminde 12 güne varan artışlar öngörülmektedir.

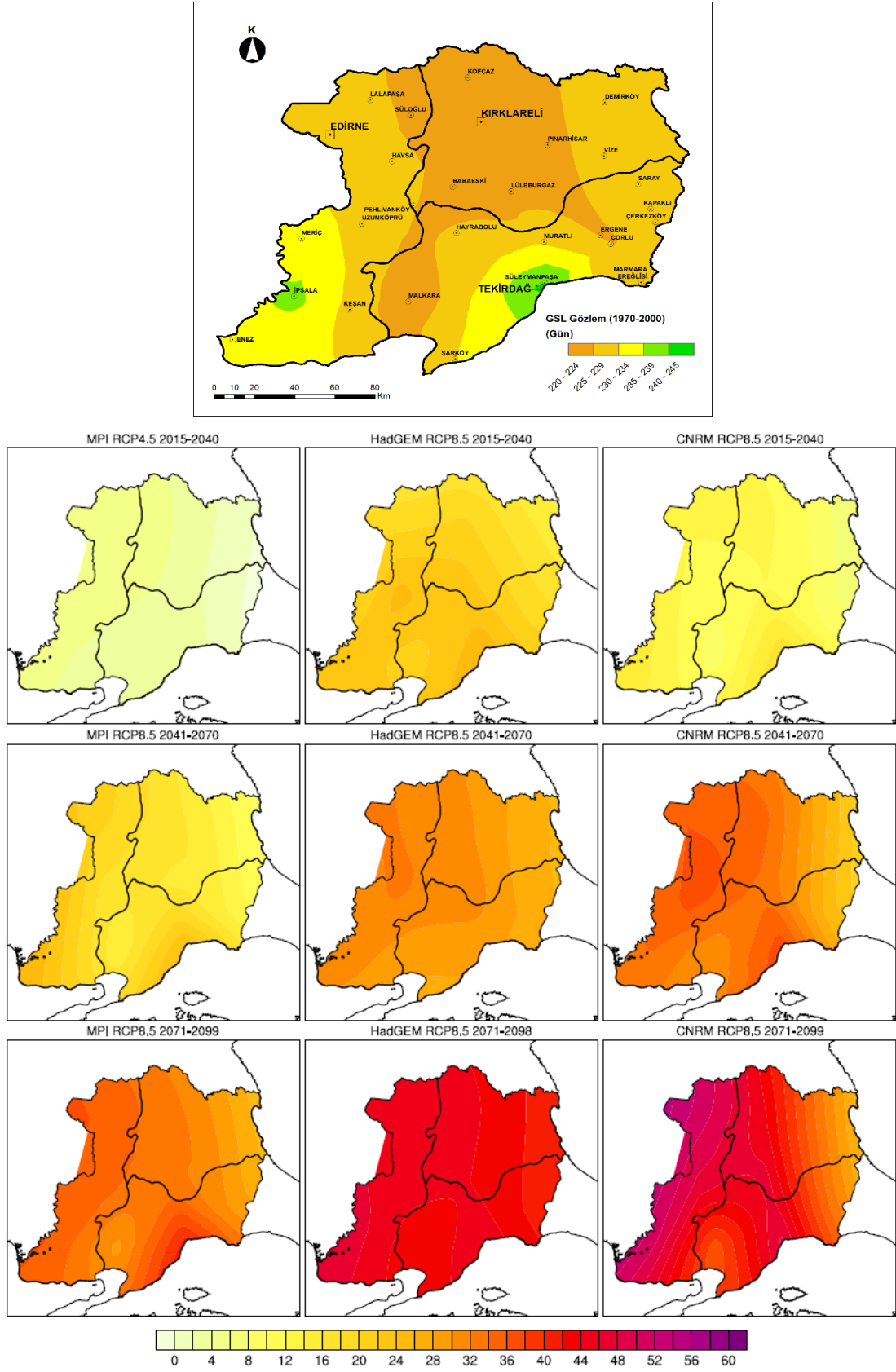
3.4. GSL (Bitki Büyüme Sezonu Uzunluğu) İndisi

Herhangi bir bölgede; ilkbaharın son don tarihi ile sonbaharın ilk don tarihi arasındaki döneme (bitkinin çimlenmesinden hasat edilmesine kadar geçen süreye) bitki büyüme mevsimi/sezonu denir. Bitki büyüme süresi; bitkinin türü, cinsi ve çeşidine göre değişir. Bu sürenin kısa olduğu çeşitlere erkenci çeşit adı verilir. Çoğu bitki için, fenolojik gelişme, bir eşik veya taban sıcaklığının üstünde gerçekleşir ve büyümenin fazları bu eşik veya taban sıcaklığının üstünde geçen günlerdeki sıcaklık veya sıcaklık birimlerinin birikimi (büyüme derece günler) ile ilişkilidir. Bu düşük eşik sıcaklığı, bitki türlerine göre değişim göstermektedir. Alt ve üst taban sıcaklıkları bitkiden bitkiye değişiklikler göstermektedir. Örneğin, genellikle buğdayın özellikle gelişiminin ilk dönemlerinde (çimlenme-kardeşlenme) sıcaklığın 8 °C - 10 °C arasında (alt taban sıcaklığı), bağıl nemin %60'ın üzerinde olması yeterlidir. Bazı buğday ve şekerpancarı türlerinde ise daha düşük sıcaklıklarda (+ 4 °C'ye kadar düşer) çimlenme olur. Mısırın ise minimum çimlenme sıcaklığı 8 °C - 10 °C arasında (alt taban sıcaklığı), uygun büyüme sıcaklığı ise 20°C - 30 °C arasında'dır (üst taban sıcaklığı). Şekerpancarında ise vejetasyon (yetişme, gelişme), ilkbaharda 0-5 cm toprak derinliğinde sıcaklığın 7 °C ye ulaşması (alt taban sıcaklığı) ile başlar ve sonbaharda günlük ortalama sıcaklığın 5 °C'ye düşmesi ile sona erer. Literatürde yaklaşık 10 °C civarında verilen bu hava sıcaklıkları ve bunlara bağlı olarak ekim tarihleri iklim koşullarına bağlı olarak 2 veya 3 haftalık kaymalar gösterebilmektedir (Kadioğlu ve diğ., 2017).

Çalışma alanında referans dönemde meteoroloji istasyonları için hesaplanan GSL indisi değerleri Çizelge 5'de verilmektedir. Buna göre bölgede bitki büyüme sezonu en uzun Tekirdağ merkezde, en kısa ise Tekirdağ-Malkara istasyonunda belirlenmiştir. Çalışma alanında bitki büyüme sezonu 220-241 gün arasında değişmektedir. Referans dönem için GSL indisinin bölgesel değişimini gösteren harita Şekil 4'de verilmiştir.

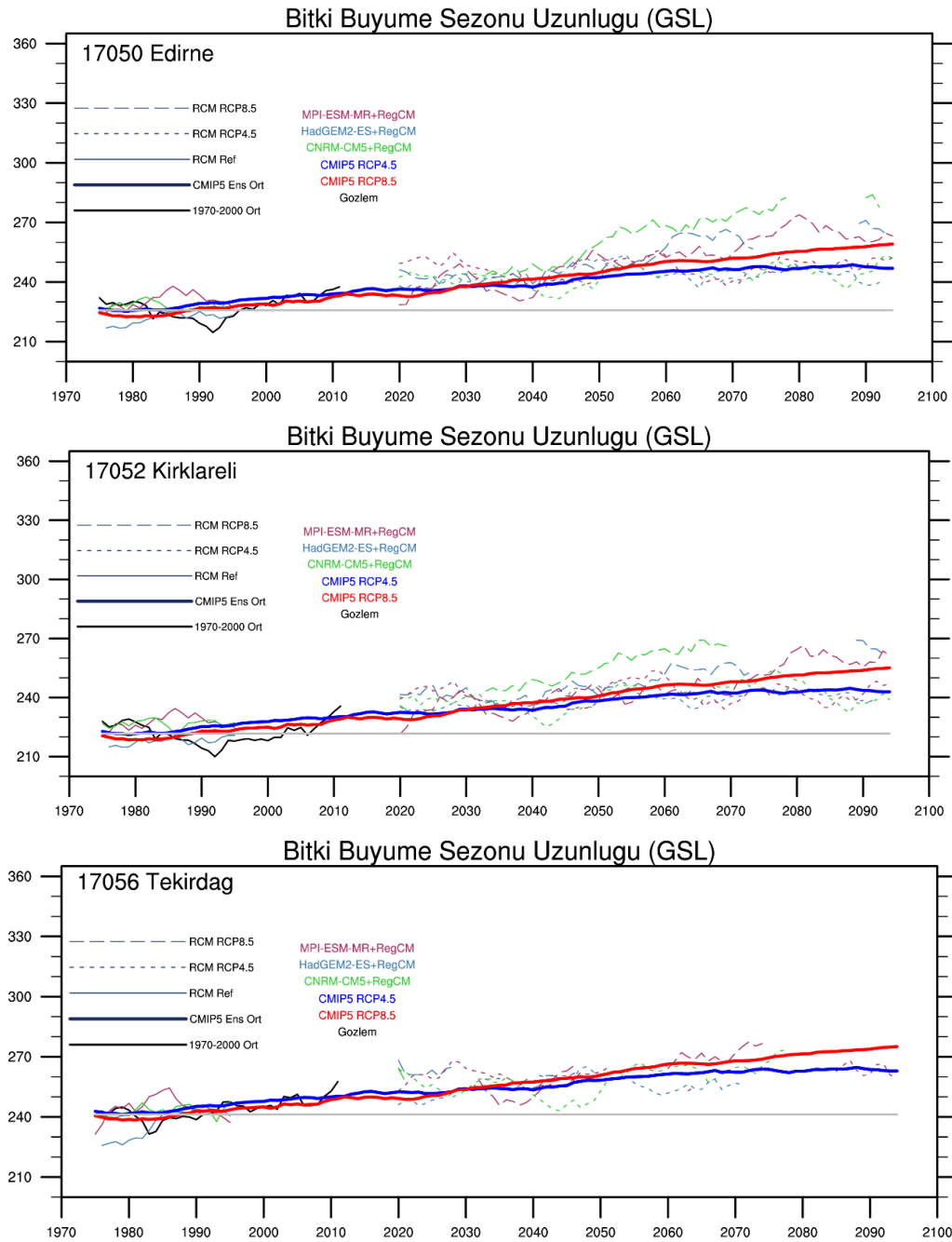
Çizelge 5. GSL indisi gözlem ve gelecek dönem değerleri.

	Gözlem	2015-2040			2041-2070			2071-2099		
		MPI-ESM	HadGEM	CNRM	MPI-ESM	HadGEM	CNRM	MPI-ESM	HadGEM	CNRM
RCP4.5										
Edirne	226.6	17.1	17.0	15.1	14.3	22.6	14.9	20.5	21.7	21.1
Kırklareli	222.5	13.5	16.4	12.1	14.3	22.7	14.0	17.9	23.1	18.4
Çorlu	224.0	12.0	12.0	7.7	13.9	17.5	13.1	13.7	17.9	16.0
Tekirdağ	241.5	17.2	16.0	14.4	17.0	20.5	12.9	21.8	26.1	30.3
Uzunköprü	227.9	15.3	18.2	15.8	13.9	24.1	15.3	19.3	24.0	18.8
Lüleburgaz	222.4	11.7	16.0	9.0	14.1	22.2	13.9	16.1	23.1	18.0
İpsala	236.3	17.6	21.4	13.8	15.8	22.6	12.6	21.3	24.8	24.0
Malkara	220.3	10.3	16.1	11.4	12.5	22.7	13.7	15.6	22.6	17.2
RCP8.5										
Edirne	226.6	4.8	19.7	12.3	20.9	32.2	36.0	36.0	45.3	51.9
Kırklareli	222.5	4.4	20.7	12.5	16.8	30.7	34.7	33.0	44.6	44.7
Çorlu	224.0	0.8	20.4	9.9	14.6	27.7	26.6	30.8	42.1	36.2
Tekirdağ	241.5	3.5	25.4	17.4	24.3	29.1	37.2	40.8	45.3	48.4
Uzunköprü	227.9	5.2	24.8	10.3	17.6	32.4	37.7	35.3	45.2	47.4
Lüleburga	222.4	3.7	22.8	12.0	15.7	31.4	33.3	32.2	44.0	46.5
İpsala	236.3	4.7	23.2	13.7	22.6	31.1	34.4	35.5	46.4	50.2
Malkara	220.3	2.5	21.3	9.0	14.3	28.9	30.5	29.5	42.4	37.0



Şekil 4. Bitki Büyüme Sezonu uzunluğu (GSL) iklim indisi gözlem verileri ve RCP8.5 senaryo sonuçları.

RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına dayalı üç yer sistem modeli ile kuple edilen RegCM4.3 bölgesel iklim modeli için çalışma alanında GSL indisinin 2015-2040; 2041-2070 ve 2071-2100 yılları arasında il bazındaki değerleri Çizelge 5’de verilmiştir. Şekil 5’de Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ illeri için GSL indisinin 3 model ve ensemble model sonuçlarına göre değişimi zaman serisi olarak verilmiştir. En yüksek artışlar Edirne ilinde beklenmektedir. Projeksiyon sonuçlarından görüldüğü üzere bitki büyüme sezonunun gelecek dönemde her üç model ve iki senaryo sonuna göre de artacağı öngörülmektedir. Bu artış RCP4.5 senaryo sonucuna göre 25 güne, RCP8.5 senaryo sonucuna göre ise 46 güne varacağı öngörülmektedir. En fazla artış Edirne’de beklenmektedir.



Şekil 5. Bitki büyüme sezonu uzunluğu (GSL) iklim indisi zaman serisi.

3.5. Standart Yağış Evapotranspirasyon (SPEI) İndisi

SPEI yağış ve potansiyel evapotranspirasyon değerlerine dayanan bir indekstir ve sıcaklık değişimine bağlı buharlaşma değerlerindeki değişiklikleri göz önünde bulundurabilmektedir. SPEI hesaplamasında hem yağış hem de potansiyel evapotranspirasyon (Thornwaite yöntemi kullanıldığında sıcaklık) için eksiksiz zaman serisi verisi gerektirmektedir.

SPEI, kümülatif iklimsel su bütçesi (yağış-potansiyel evapotranspirasyon) anomalilerini dikkate alır. Hesaplaması uzun dönemli gözlemlerin uygun olasılık dağılımının tespit edilerek normal dağılıma dönüştürülmesini kapsar. SPEI’de kullanılan olasılık dağılımı 2 parametrelili log-logistic dağılımıdır (Vicente-Serrano ve diğ., 2010).

SPEI hesaplamasındaki ilk aşama potansiyel terleme ve buharlaşmanın bulunmasıdır. Literatürde potansiyel terleme ve buharlaşmanın hesaplanması için çeşitli yöntemler vardır. Bu çalışmada SPEI hesaplamalarında gerekli potansiyel terleme ve buharlaşma değerlerinin hesaplanmasında yöntemi kullanılmıştır; çünkü bu yöntem sadece aylık ortalama sıcaklık verisini gerektirmektedir. İkinci aşamada aşağıda verilen eşitlik kapsamında; incelenen ay için yağış değerinden (P_i) (Thornthwaite, 1948) yöntemi kullanılarak hesaplanan potansiyel terleme ve buharlaşma değeri (PET_i) çıkartılarak o aydaki su fazlalığı ya da su azlığı (Di) için basit bir ölçüt elde edilir:

$$Di = P_i - PET_i \quad (1)$$

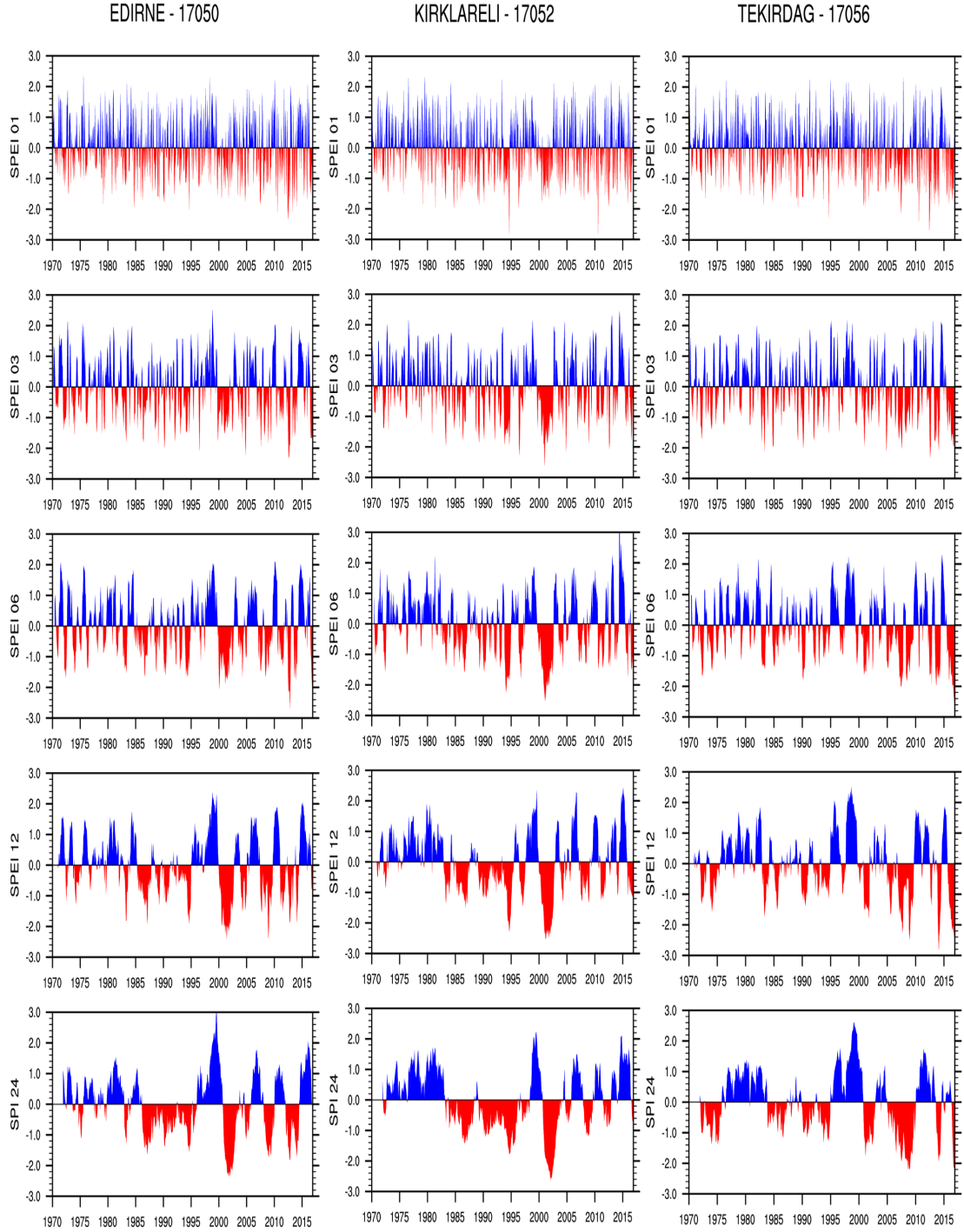
Üçüncü aşamada Di değerleri log-logistic olasılıksal dağılım fonksiyonuna dönüştürülür. Dördüncü ve son aşamada ise log-logistic olasılıksal dağılım fonksiyonundan elde edilen su fazlalığı ya da su azlığı (Di) olasılıkları için SPI’daki gibi ters-standart normal dağılım fonksiyonu kullanılarak standartlaştırılmış (Di) dizisi, yani SPEI değerleri elde edilir. SPEI’nin 0 olması log-logistic dağılımına göre su fazlalığı ya da su azlığı (Di) kümülatif olasılığının %50’sine denk gelen bir değere işaret eder.

Kurak dönemlerin tespiti ve izlenmesi ve hesaplama yöntemleri gibi birçok konuda SPEI, SPI’ya benzemektedir. SPI gibi SPEI hem pozitif hem negatif değerlerin hesaplandığı bir şiddet ölçeğine sahiptir. Bu sayede hem yağışlı hem de kurak dönemlerin tespitini sağlayabilmektedir. Benzer şekilde SPEI değerleri normalize edilmiş olduğundan tüm iklim rejimlerinde uygulanabilir ve karşılaştırılabilir bir indekstir. SPI gibi bu indeks de aylık bir indeks olması sebebiyle ani gelişen kuraklık durumlarının hızlıca tespit edilmesinde yeterli olamayabilir. SPEI 1 aydan 48 ay ya da daha fazla olan zaman aralıkları için aylık olarak hesaplanabilir. SPEI için literatürde yaygın olarak kullanılan kuraklık şiddetleri ve eşik değerleri Çizelge 6 ile verilmiştir.

Çalışma kapsamında mevcut durum ve gelecek senaryoları için SPEI analizi yapılmıştır. Mevcut durum analizinde 1970-2015 arasındaki dönem için çalışma alanında 8 meteoroloji istasyonuna ait sıcaklık ve buharlaşma değerleri kullanılarak SPEI hesaplanmıştır. Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ il merkezlerindeki meteoroloji istasyonları için 1, 3, 6, 12 ve 24 aylık SPEI analizi sonuçları Şekil 6’da verilmiştir.

Çizelge 6. SPEI kuraklık sınıflandırması ve eşik değerleri.

SPEI Değerleri	Kuraklık Kategorisi
0 ~ -0.99	Hafif Şiddetli Kuraklık
-1.00 ~ -1.49	Orta Şiddetli Kuraklık
-1.50 ~ -1.99	Şiddetli Kuraklık
≤ -2	Çok Şiddetli Kuraklık



Şekil 6. Mevcut durum SPEI analizi.

Edirne için hesaplanan SPEI değerlerine göre ilde geçmiş dönemden bu yana yapılan hesaplamalarda 2000 sonrası yağış eksiklikleri belirginleşmekte olup SPEI değerleri özellikle 2000-2005 arası dönemde -2 değerlerine varmıştır. 2015 sonrası ise yağış artışları gözlenmiştir. Kırklareli için yapılan değerlendirmeye göre ise 1985'lerden itibaren sürekli yağış eksiklikleri ile karşı karşıya kalındığı ve 2000 sonrası SPEI değerlerinin çok şiddetli kuraklık değerleri olan -3 seviyelerine yaklaştığı görülmektedir. Son dönemde ise yağışlarda artışlar kaydedilmiştir. Tekirdağ ilinde ise geçmiş dönem SPEI analizi sonuçları 2005-2010 arası -2 seviyelerine varan yağış eksiklikleri ile karşı karşıya kalındığını göstermektedir. Yağış eksiklikleri diğer iki ilden farklı olarak son döneme kadar sürmüştür.

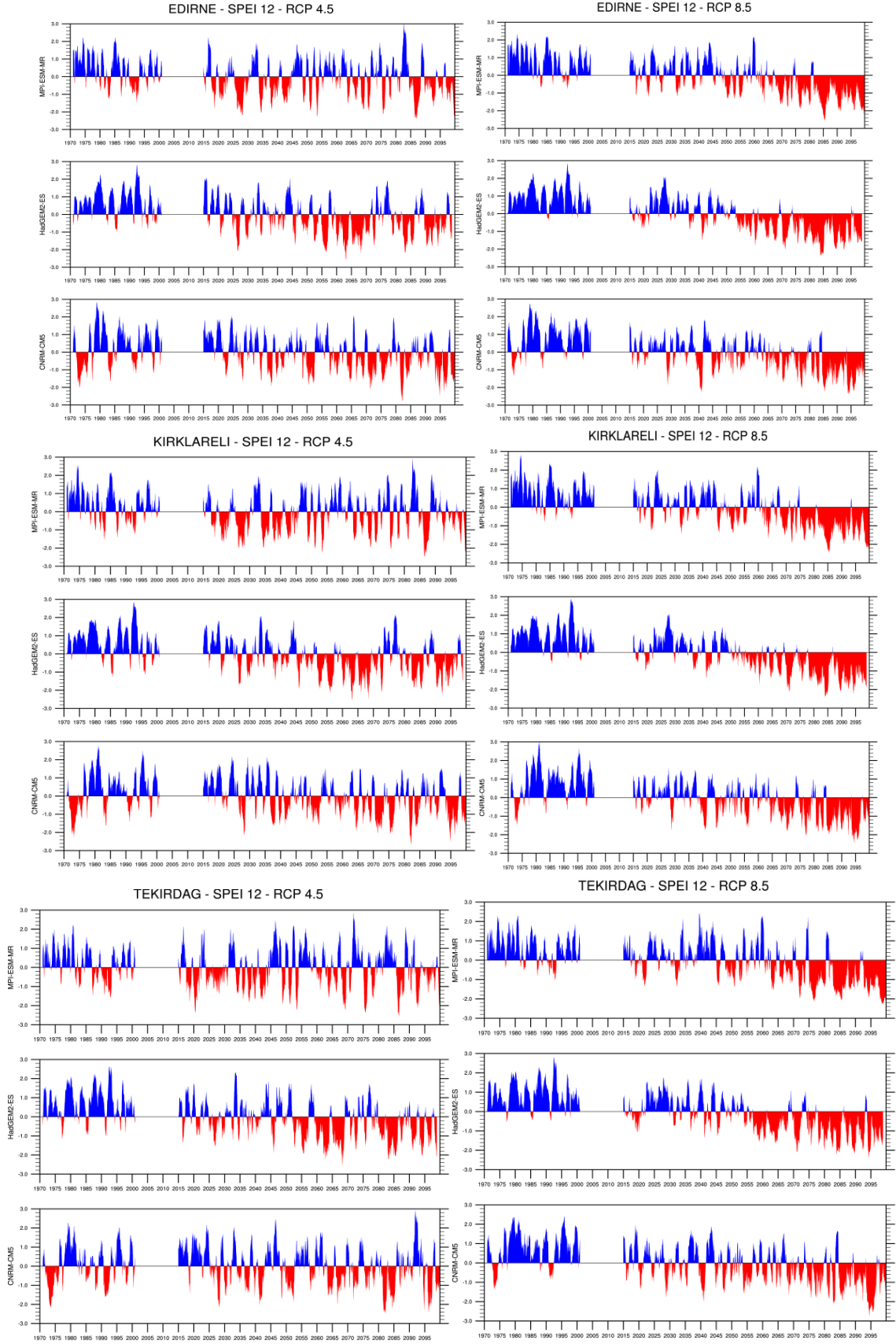
Edirne, Tekirdağ ve Kırklareli il merkezleri için üretilen 12 aylık SPEI analizi sonuçları Şekil 7'de verilmiştir. Tüm model ve senaryo sonuçları göstermektedir ki çalışma yapılan her üç ilde de projeksiyon döneminin başından itibaren yağış eksiklikleri beklenmekte, yağışta beklenen bu azalmalar projeksiyon döneminin ikinci yarısında belirginleşmekte ve özellikle Tekirdağ ili için -3 seviyelerine varan SPEI değerlerine denk gelen yağış azalmaları öngörülmektedir.

3.6. Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü Değişim İndeksi (NDVI)

Günümüzde uzaktan algılama verilerinin kullanılmasıyla yeşil bitki örtüsünün izlenmesinde en çok kullanılan araçlardan biri Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü Değişim İndeksi NDVI'dir. NDVI, arazi örtüsündeki değişimin tespitinin yanı sıra orman sınıflandırmasında ve tarım çalışmalarında oldukça yaygın olarak kullanılan bitki örtüsü indekslerinden bir tanesidir. Bitki yapraklarındaki belli pigmentler güçlü bir şekilde görünür dalga boyundaki (390 nm-700 nm dalga boyu aralığı) ışınları, özellikle kırmızı dalga boyundaki (620 nm-700nm dalga boyu aralığı) ışınları, fotosentez sırasında kullanmak üzere soğurmaktadır, Öte yandan insan gözüyle görünmez olan yakın kızılötesi dalga boyundaki (760 nm-900 nm dalga boyu aralığı) ışınlar bitkideki süngerimsi mezofil aracılığıyla güçlü bir şekilde yansıtılır, NDVI bu farklılık bilgisini normalize ederek bitkinin yeşilliği hakkında çıkarım yapar, Değişik uydular tarafından sensörleri aracılığıyla kırmızı ve yakın kızılötesi dalga boyunun değişik aralıkları ölçülmektedir. NDVI uydu görüntülerinin yakın kızıl ötesi (NIR) ve kırmızı (RED) dalga boyunda yapılan gözlemlere dayanarak aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} \quad (2)$$

NDVI değerleri teorik olarak (-1) ile (+1) arasında değişmektedir (yakın kızılötesi dalga boyunda kırmızı dalga boyuna kıyasla daha fazla ışın yansımaktadır), Yeşil bitki örtüsünün fazla olduğu alanlarda indeks değeri +1'e doğru yaklaşırken (NIR - RED farkı çok artıp NIR + RED toplamına yakınlaşmaktadır), bulutlar, su ve kar örtüsü düşük (-) NDVI indeks değerlerine sahiptir. Çıplak toprak ve zayıf bitki örtüsü ise sıfıra yakın veya (-) NDVI değeri gösterir,

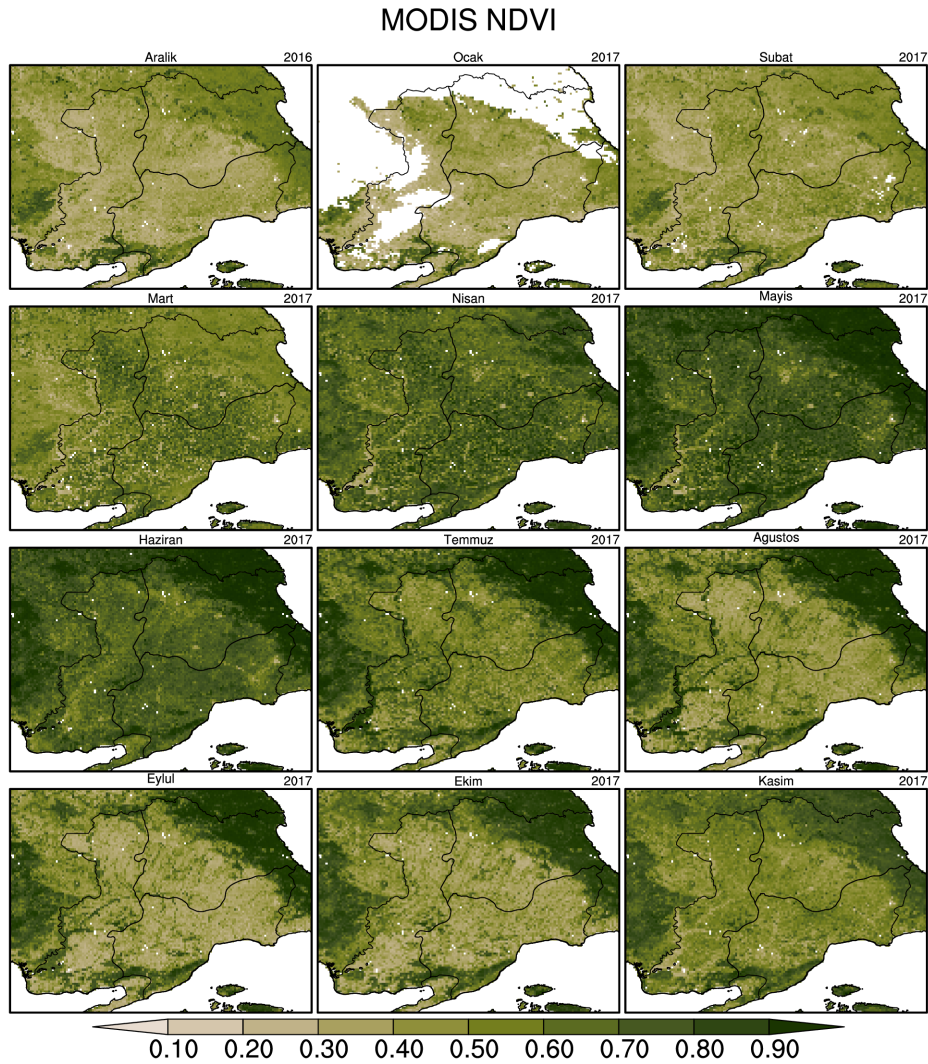


Şekil 7. RCP4.5 ve RCP8.5 senaryo sonuçlarına göre 12 aylık SPEI analizi.

Bir NDVI haritasında tarımın yoğun olduğu bölgeler gözlemlendiğinde, düşük NDVI değerlerine sahip alanlar kuraklık, aşırı rutubet, hastalık ve zararlılar gibi çeşitli nedenlerle zayıf bitki gelişiminin olduğu bölgeleri işaret etmektedir. Diğer taraftan yüksek NDVI değerleri ise bitki gelişiminin sağlıklı olduğu yerleri göstermektedir.

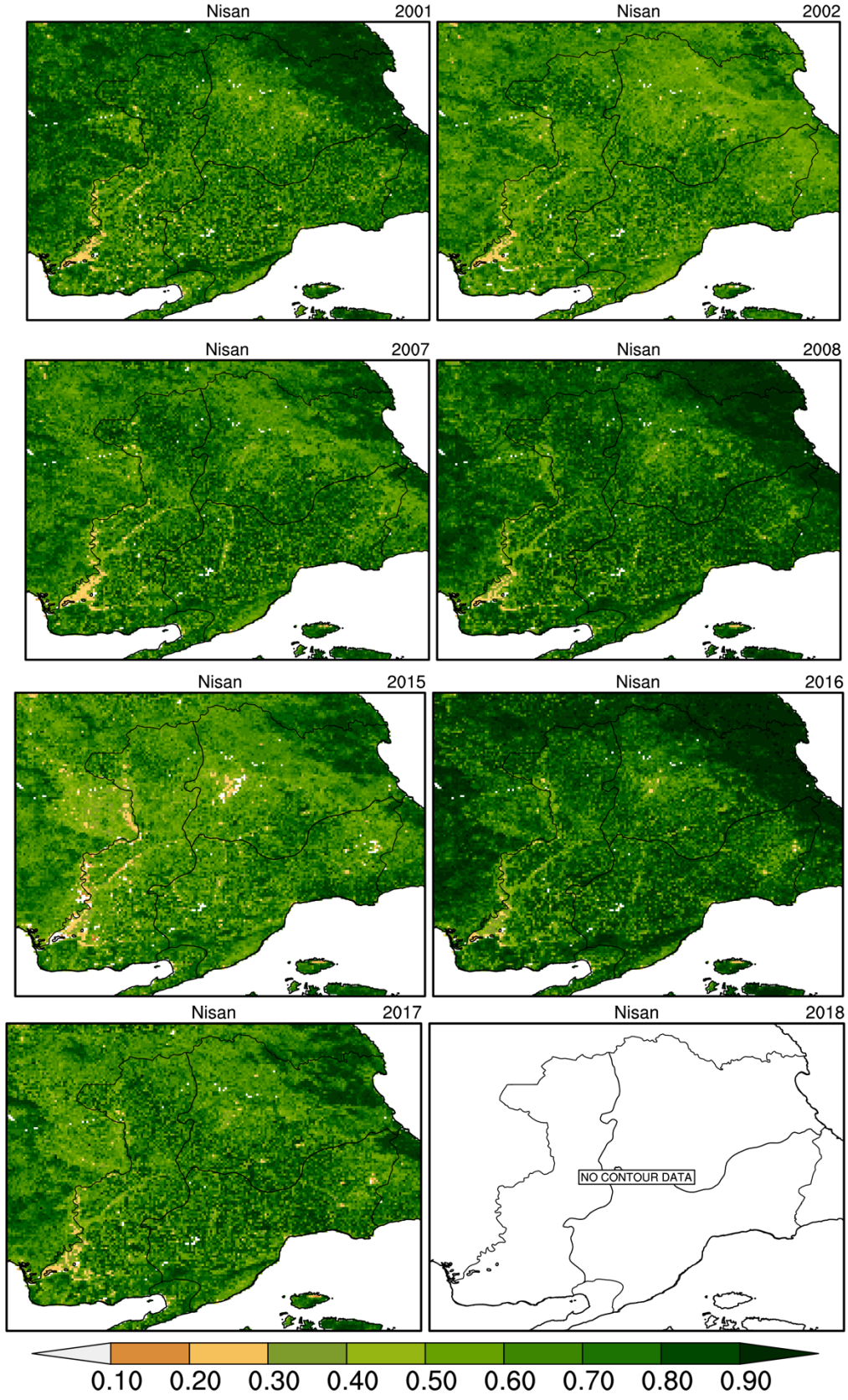
Bu çalışma kapsamında çalışma alanındaki NDVI indisinin belirlenmesinde MODIS uydu görüntüsü verileri değerlendirilmiştir. MODIS vejetasyon endeksleri 16 günlük aralıklarla ve çoklu uzamsal çözünürlüklerde üretir ve yaprak bölgesinin, klorofilin ve kanopi yapısının bir kompozit özelliği olan vejetasyon gölgelik yeşilliğinin mekansal ve zamansal olarak tutarlı karşılaştırmasını sağlar. NDVI'nin tarihsel değerlendirmeleri için NOAA'nın AVHRR NDVI zaman serisi kaydında süreklilik sağlayan normalize fark bitki örtüsü endeksi (NDVI) MODIS uydusu aracılığıyla belirlenebilir. Çözünürlüğü yüksektir.

MODIS verileri kullanılarak 2000-2017 arasındaki zaman dilimindeki her yıl için aylık NDVI indisleri hesaplanmıştır. Şekil 8'de 2017 yıllarına ait aylık ortalama NDVI görüntüsü verilmiştir. Şekil 9'da ise 2000-2017 dönemi çeşitli yıllara ait Nisan ayı NDVI görseli verilmiştir.



Şekil 8. 2017 yılı aylık NDVI görseli- MODIS uydusu.

MODIS NDVI



Şekil 9. 2000-2017 dönemi çeşitli yıllara ait nisan ayı NDVI görseli- MODIS uydusu.

3.7. Yüksek Akımların Analizi

İklim değişikliğiyle birlikte hidrolojik ekstremler tüm dünyada artmaktadır (Feyen ve diğ., 2012) çalışmasına göre küresel ısınmanın Avrupa'daki gelecek taşkın riskini önemli ölçüde etkilemesi beklenmektedir.

Trakya Bölgesi'nde iklim değişikliğinin taşkın akımları üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacıyla çalışma bölgesi sınırları içinde en büyük topraklara sahip havza olan Meriç-Ergene Havzası'nda inceleme yapılmıştır.

Meteorolojik değişimlerin akımlar üzerindeki etkisinin ne olduğunun anlaşılabilmesi için akımların müdahalesiz (tüketim, depolama, buharlaşma vb. durumların dikkate alındığı akımlar) halde olmaları önem taşımaktadır. Aksi durumda akımlardaki azalışın insan etkisinden mi meteorolojik değişimlerin etkisinden mi olduğu belirsizlik içerir. Ancak membain çok yakınında olmadığı sürece müdahalesiz akarsu kolları ve uzun dönem verisi bulmak oldukça zordur. Akımların doğallaştırılması bu noktada önem kazanmaktadır. Ancak günlük düzeyde akım doğallaştırmak pratik olmadığı gibi tüketim verilerinin günlük değerleri bilinmediğinden mümkün de değildir.

Bu doğrultuda müdahalesiz (doğal) akımların elde edilmesi amacıyla yapılan hesaplamalarda; elde edilebilen tüm tüketim verileri (sulama, içme-kullanma, endüstri suyu ve buharlaşma), derive edilen sular ve rezervuarların depolamasındaki değişim değerleri mansabında bulunan akım gözlem istasyonlarına (AGİ) ait akım değerlerine ilave edilerek ve dönen sular düşülerek akımlar doğal hale getirilir. Bu tüketim verilerine ancak aylık olarak ulaşılabildiği için doğal akımlar aylık veriler olarak kullanılmıştır.

3.8. Taşkın Akımları

Taşkın akımı, bir zaman aralığında (ay-yıl) gözlenen en büyük debiyi ifade eder. Çizelge 7 ile Çizelge 11 arasında havzada seçilmiş olan 5 AGİ'nin aylık ve yıllık en büyük akımları, yani taşkın akımları görülmektedir. Bu çizelgeler günlük akımlardan oluşturulmuş olup o ayda görülmüş en büyük günlük debiyi göstermektedir.

Çizelge 7'de görüldüğü gibi havzanın batısında Meriç Nehri üzerinde yer alan D01A003 istasyonunda görülmüş en büyük günlük ortalama debi 2013 yılı Şubat ayında 92 m³/s olarak görülmüştür.

Çizelge 8'de verilen E01A001 numaralı istasyona ait veriler istasyonun yağış alanı diğer istasyonlara göre küçük olan bir akım kolunda olmasından dolayı akım verileri diğer istasyonlara göre görece daha düşüktür. Ölçülen en yüksek aylık maksimum ortalama akım 2010 yılının şubat ayına aittir en düşüğü 2012 yılının kasım ayına aittir. E01A001 numaralı gözlem istasyonu en düşük akım ortalamalarını çeşitli yılların sonbahar aylarında elde etmiştir.

Çizelge 9'da görüldüğü üzere Hayrabolu Deresi üzerindeki E01A006 istasyonunun ölçülmüş günlük akımları arasında en büyüğü 2010 yılı Aralık ayında ve 351 m³/s dir. Bu istasyonun ölçüm süresi kısa olduğu için veriler üzerinden yapılan analizlerin güvenilirliği de daha azdır.

Çizelge 7. D01A003 nolu AGİ ölçülmüş taşkın akımları.

D01A003 - Günlük ortalama akımların aylık maksimumları (m3/s)													
Yıl/Ay	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara	Yıllık Maks
1964										210	300	410	410
1965	950	1100	1800	620	1900	350	100	130	150	115	105	300	1900
1966	660	530	290	600	820	530	270	160	230				820
1985										36	95	98	98
1986	91	580	480	150	160	150	180	72	76	160	175	195	580
1987	190	185	200	540	330	140	115	155	155	170	190	320	540
1988	260	220	560	550	220	310	160	135	58	115	240	195	560
1989	160	110	470	150	185	165	100	150	150	210	190	240	470
1990	185	220	125	210	220	115	88	30	62	98	59	280	280
1991	155	910	220	185	350	210	190	100	88	195	260	210	910
1992	190	135	98	210	135	150	130	44	64	140	110	115	210
1993	190	175	200	185	290	95	19	47	96	49	220	110	290
1994	76	165	115	190	88	42	39	17	29	96	155	360	360
1995	590	370	320	440	220	150	79	47	62	110	185	210	590
1996	280	880	490	440	300	90	72	98	140	135	240	983	983
1997	510	150	380	520	390	125	66	92	140	140	200	420	520
1998	590	974	500	313	730	325	180	103	168	204	480	643	974
1999	375	808	590	518	277	218	91	131	129				808
2000													0
2001										105	96	143	143
2002	155	120	451	162	97	78	217	177	213	271	266	508	508
2003	731	800	273	381	468	346	84	74	102	105	159	853	853
2004	537	503	202	165	111	240	177	135	130	121	177	418	537
2005	669	1131	1034	481	247	326	432	765	374	355	417	553	1131
2006	919	788	1690	605	331	218	374	153	218	222	263	236	1690
2007	242	191	635	323	517	602	110	224	130	219	1476	660	1476
2008	448	334	297	545	275	153	129	85	157	106	102	114	545
2009	248	297	390	366	297	127	155	85	185	153	172	601	601
2010	413	1606	884	523	407	211	352	253	225	280	344	248	1606
2011	298	298	220	198	185	130	115	115	91	189	166	162	298
2012	974	1396	497	310	788	688	109	159	181				1396
2013	1038	680	635	807	207	174	151	89	157	213	217	187	1038
2014	168	146	409	634	454	372	235	191	592	1020	909	1500	1500
2015	649	1994	1373	1239	381	357	363	238	335				1994

Çizelge 10 Meriç Nehri üzerinde yer alan İpsala Gümrük Köprüsü istasyonunun günlük akımlarının aylık maksimumlarını göstermektedir. 2015 yılı şubat ayı en yüksek maksimum akım ortalamasının görüldüğü aydır. Maksimum akımlar bu istasyonda oldukça büyük debilere karşılık gelmiştir.

Çizelge 11'de, Ergene Nehri üzerinde bulunan D01A020 ölçüm istasyonu gözlem süresince ölçülmüş en büyük günlük akım debisi 2012 Ekim ayında görülmüş olan 307 m³/s dir. Bu istasyon akımları oldukça uzun dönemli olduğu için frekans analizi sonuçları da daha güvenilir denebilir. Uydu verilerinden izlendiğine göre özellikle 2000 sonrası dönem için yeşil alan miktarında ilkbahar ve yaz aylarında azalmalar sonbahar ve kış aylarında sıcaklık yükselmelerine bağlı artışlar gözlenmektedir.

Çizelge 8. E01A001 nolu AGİ ölçülmüş taşkın akımları.

E01A001 - Günlük ortalama akımların aylık maksimumları (m3/s)													
Yıl/Ay	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara	Yıllık Maks
1993											3	2	
1994	0	1	1	1	0	0				24	1	16	24
1995	43	10	8	14	2	1	1			1	2	3	43
1996	1	21	2	15	1	3	2	3	3	0	1	6	21
1997	2	1	6	14	2	3	3	1	1	1	1	2	14
1998	2	64	40	9	7	18	7	10	12	11	7	26	64
1999	52	34	17	11	4	3	2	2	3	2	6	2	52
2000	2	9	1	1	3	6	3	3	2	1	1	1	9
2001	1	1	1	1	1	1	2	2	1	0	1	2	2
2002	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	7	1	7
2003	14	51	9	3	3	2	2	2	2	1	1	1	51
2004	6	2	2	1	1	2	2	5	1	1	1	1	6
2005	4	13	5	1	5	3	4	3	1	1	3	28	28
2006	4	3	68	4	2	22	6	4	2	2	4	2	68
2007	20	4	7	3	15	4	3	2	1	1	5	5	20
2008	1	1	1	1	1	2	2	4	1	0	0	1	4
2009	2	13	2	1	1	1	2	2	28	4	1	20	28
2010	12	31	35	8	2	3	3	3	2	2	37	28	37
2011	3	3	1	2	1	2	2	3	2	3	1	4	4
2012	3	2	1	2	4	3	3	3	1	1	1	7	7
2013	31	92	19	10	2	2	3	3	2	1	1	1	92
2014	16	2	3	1	2	26	5	5	3	2	4	3	26
2015	3	34	12	21	2	4	5	3	3				34

Çizelge 9. E01A006 nolu AGİ ölçülmüş taşkın akımları

E01A006 - Günlük ortalama akımların aylık maksimumları (m3/s)													
Yıl/Ay	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara	Yıllık Maks
2009										128	16	147	
2010	135	301	111	5	3	3	3	2	2	92	223	351	351
2011	42	56	12	93	15	10	7	6	41	156	1	139	156
2012	52	33	21	53	18	10	8	7	4	6	4	99	99
2013	147	152	23	16	8	101	7	8	11	7	6	1	152
2014	31	2	11	2	18	14	9	44	7	138	13	69	138
2015	30	325	55	284	12	9	8	6	10				325

Çizelge 10. D01A026 nolu AGİ ölçülmüş taşkın akımları.

D01A026 - Günlük ortalama akımların aylık maksimumları (m3/s)													
Yıl/Ay	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara	Yıllık Maks
1969										135	180	640	
1970	840	690	1150	680	300	220	145	140	150	350	390	350	1150
1971	630	820	2800	1350	440	560	620	170	330	200	280	340	2800
1972	440	390	310	270	310	155	115	115	120	760	390	260	760
1973	780	1100	1150	1300	1150	320	210	170	210	260	160	320	1300
1974	240	400	500	270	370	185	140	96	61				500
2001										100	91,8	1322	1322
2002	602	188	610	238	134	76	98,5	182	222	295	574	574	610
2003	1004	1486	371	487	520	506	60	51,2	96,6	95,6	95,6	634	1486
2004	617	998	256	218	117	235	136	91,8	122	109	170	308	998
2005	709	1617	1727	560	247	364	405	654	361	320	463	892	1727
2006	1099	711	2593	921	651	274	365	102	227	252	290	257	2593
2007	356	237	897	420	510	510	76	130	123	183	1507	1156	1507
2008	421	320	257	506	303	138	104	66,1	163	157	109	116	506
2009	224	401	397	360	286	135	157	66,1	192	204	216	1020	1020
2010	691	2738	1122	577	427	170	285	234	169	246	296	1047	2738
2011	1009	330	248	236	202	111	84	76,6	134	276	144	355	1009
2012	844	1294	806	310	1011	1088	94,6	69,3	104	399	368	850	1294
2013	1770	1437	959	959	231	300	124	76,8	134	182	272	213	1770
2014	413	279	632	771	543	460	593	211	548	1015	1118	2593	2593
2015	903	3024	1938	1756	604	404	303	303	319				3024

Çizelge 11. D01A020 nolu AGİ ölçülmüş taşkın akımları.

D01A020 - Günlük ortalama akımların aylık maksimumları (m ³ /s)													
Yıl/Ay	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara	Yıllık Maks
1961										0,43	0,68	89	
1962	15,5	26	61	17,5	1,8	0,94	0,34	0	1,35	5,20	4,7	200	200
1963	61	170	210	10,5	5,6	2,7	0,8	0,43	0,53	16,00	12	100	210
1964	6,3	30	23	9,4	21	1,1	0,47	0,41	15,5	2,70	0,86	116	116
1965	13,5	84	23	34	15	1,5	0,79	0,45	0,79	1,00	85	115	115
1966	130	150	67	41	6,1	14,5	1,8	0,64	4,9	5,90	115	95	150
1967	120	60	13	3,5	4,5	4,4	1,4	1,2	1,15	1,10	3,3	7,8	120
1968	115	39	99	3,4	7,4	8,9	7,3	8,7	23	1,95	7,5	110	115
1969	78	140	12,5	7,2	2,2	9	2,5	2,5	3,6	0,90	0,97	7,4	140
1970	9	65	53	73	7,1	8,1	5	0,26	0,63	1,55	23	20	73
1971	53	24	125	37	22	6,7	5	3,2	0,52	0,63	8,6	7	125
1972	19,5	1,45	6,6	0,46	1,75	0,08	0,2	0	0	2,00	31	3,4	31
1973	62	115	47	5,5	3,1	2,4	0,98	34	1,05	59,00	1,4	2,4	115
1974	1,55	42	24	2,1	4,2	1,4	0,51	0,37	0,43	0,77	2,5	1,15	42
1975	39	5,2	39	2,9	20	8,9	0,62	19	0,7	120,00	240	110	240
1976	8,6	62	8,5	7,1	9,8	4,4	0,45	0,68	0,56	2,50	2,2	43	62
1977	66	22	23	7,8	7,6	1,45	1,1	0,35	0,62	0,65	0,98	8,8	66
1978	41	46	13,5	21	9,5	1	0,43	0,31	0,77				46
1980										0,51	1,25	13,5	14
1981	175	74	155	2,7	4	1	1	0,58	0,41	1,35	7,6	69	175
1982	45	5,1	5,8	33	8,2	24	1,45	0,79	0,72	0,98	1,25	6,2	45
1983	9,8	71	4,6	1,45	0,98	2	0,68	1	1,8	0,92	1	2,5	71
1984	10	9,9	77	12	11,5	2	0,63	1,55	1,65	1,00	8,8	3,2	77
1985	18,5	9,3	25	1,85	6,8	6,9	0,61	0,3	0,68	1,30	64	20	64
1986	78	80	100	2,1	1,35	6,3	0,36	0,039	0,15	1,20	3,1	5,4	100
1987	30	11	28	21	24	1,3	22	0,27	1	0,57	4,4	19,5	30
1988	7,5	4,9	20	35	6,3	5,4	2	0,36	0,66	0,98	67	100	100
1989	5,3	2,7	44	2,4	1,85	2,8	4	0,82	1,25	1,25	4,3	11	44
1990	8,6	2,2	2,1	2,6	1,65	2,4	0,41	0,2	1,3	1,30	6,7	50	50
1991	18,5	6,9	6,4	33	17	16	1,95	1,9	1,3	230,00	3,1	16	230
1992	7,3	15	42	12	3,3	8	9,3	1,95	1	1,90	2,7	2,5	42
1993	9,4	22	20	8,9	11	2,2	0,98	0,89	1	1,05	2,7	8,4	22
1994	4,1	20	12	7,9	2,9	1,1	0,63	0,58	0,75	2,30	6,6	9,8	20
1995	250	60	13,5	31	2,8	2,4	21	5,9	2,1	2,00	6,9	45	250
1996	20	41	44	72	2,7	1,9	1,5	2	2,9	2,30	2,9	13	72
1997	60	15,5	39	165	3,8	5,9	1,8	3,2	1,75	210,00	19	280	280
1998	35	195	115	14	61	16,5	2,9	2	2,7	18,50	32	230	230
1999	53	125	63	27	5,1	4,2	3,6	2,9	12	2,90	4,6	24	125
2000	17	94	17,5	7,2	7,9	2,7	1,75	2	1,95	1,95	2,2	2,2	94
2001	11	15	17	6,7	4,1	3,9	2,3	2,1	8,8	3,10	7	57	57
2002	37,6	26,1	44,1	19	4,15	5,74	3,06	6,82	4,15	17,80	133	31,8	133
2003	22,8	174	35,3	38	8,07	4,54	3,36	4,95	3,89	17,70	20,7	16	174
2004	153	86,3	65,1	13,93	13,665	21,7	8,3	8,53	6,46	3,55	3,36	4,52	153
2005	10	18,4	15,3	4,8	7,9	4,98	4,52	6,04	5,17	5,45	7,45	12,9	18
2006	15,7	34,6	41	7,9	6,76	43,9	34,4	6,59	8,71	7,34	9,39	6,94	44
2007	4,95	5,96	7,62	3,74	5,83	3,29	2,96	22,8	4,95	5,96	70,7	24,7	71
2008	12,3	29,7	37,7	6,95	9,06	5,25	3,61	3,51	33,1	3,51	3,84	3,76	38
2009	15,5	22,8	43,8	8	4,35	3,31	4,83	3,25	68,6	6,41	21,7	80,4	80
2010	45,8	144	30,1	7,89	5,12	5,4	6,49	4,27	4,35	34,60	101	165	165
2011	35,3	79,4	63	165	158	8,38	6,81	4,34	5,86	41,00	6,63	106	165
2012	68,8	127	51,3	54,9	10,3	7,57	5,61	5,21	6,79	307,00	27	293	307
2013	166	97,2	61,7	13,2	8,05	41,4	6,48	5,07	5,47	20,20	16,7	7,41	166
2014	12,8	6,63	47,9	6,48	7,73	129	113	9,02	81	45,00	75,1	87,8	129
2015	149	204	19,7	188	19,9	18,4	5,88	6,48	144				204

3.9. Taşkın Frekans Analizi

Bir yıl içinde gözlenen en büyük debi olarak tanımlanan ekstrem akış debisi yıldan yıla büyük değişiklikler gösterebilen yani değişim katsayısı (standart sapma/aritmetik ortalama oranı) oldukça yüksek olan bir rastgele değişkendir. Çalışma kapsamında, taşkın debilere uygunluğu literatürde belirtilmiş olan olasılık dağılımları arasında, o istasyona en uygun olanı seçilerek belirli dönüş aralıkları için taşkın debilerinin tahmini yapılmıştır. Bu dağılımların seçiliminde gözlenen verilerin eklenik frekans dağılımının teorik bir dağılıma uygunluğunun

kontrolünde kullanılan bir test olan Kormogorov – Smirnov testi (K-S Testi) kullanılmıştır ve en uygun olanı seçilmiştir. Çalışmada bir önceki bölümde belirlenmiş olan günlük ortalama akımların yıllık maksimumu değerleriyle çalışılmış ve en uygun dağılımlar belirlenmiştir. Bu verilerin dağılımların olasılık yoğunluk fonksiyonlarına uyumunu ifade eden histogramları oluşturulmuştur.

Ekstrem debi değerlerinin olasılık dağılımlarına uyması, gözlem süresinden daha büyük dönüş aralıklarına karşılık gelen debilerinin tahmin edilebilmesine olanak sağlar. Bu tahminin yapılabilmesi için frekans faktörlerinden yararlanılmış ve 5, 10, 25, 50, 100 yıllık taşkın debisi tahminleri yapılmıştır. Bu tahminler Çizelge 12’de verilmiştir. Buna göre örneğin D01A003 nolu istasyonda 25 yılda bir görülmesi beklenen taşkın debisi 1982.6 m³/s dir. E01A006 nolu AGİ’nin olduğu kolda 100 yılda bir görülmesi beklenen taşkın debisi 885.11 m³/s dir. Bu hesaplamaların günlük ölçülmüş akımlarla yapıldığı ve doğal akım olmadıkları unutulmamalıdır.

Çizelge 12. AGİ’lerin çeşitli dönüş aralıklarına denk gelen taşkın akımları

Dönüş Aralığı (Yıl)	Taşkın Akımı (m ³ /s)				
	D01A003	E01A001	E01A006	D01A020	D01A026
5	1189.1	45.17	264.98	167.7	2109
10	1540.3	61.271	364.89	213.35	2677.3
25	1982.6	83.681	533.46	271.91	3452.9
50	2307.1	101.94	693.23	316	4069.8
100	2625.6	121.56	885.11	360.32	4718.2

4. Uyum Faaliyetleri

İklim değişikliğine uyum toplumların ve ekosistemlerin, değişen iklim şartları ile baş edebilmelerine yardımcı olmak için gerçekleştirilen eylemler ve alınan önlemlerdir (IPCC 2007). Bir diğer deyişle; iklim olaylarının (risklerinin) etkileriyle mücadele etmek, fırsatlardan fayda sağlamak ve etkileri yönetebilmek için stratejilerin güçlendirilmesi, geliştirilmesi ve uygulanması sürecidir (UNDP, 2005). Bu anlamda iklim değişikliğine uyum, iklim değişikliğinin gelecekteki negatif etkilerinin azaltılması için doğru önlemler almayı zorunlu kılmakla birlikte fırsatlardan da yararlanmayı amaçlamaktadır.

Uyum sonuç değil bir süreçtir. Ülkelerin mevcut durumda sürdürdükleri kalkınma çabaları içinde gerçekleştirdikleri eylemler (yatırım, iyileştirme, destekleme, teşvik, vb. çalışmalar) ile iklim değişikliğine uyum çalışmaları arasında açık bir ayrım bulunmamaktadır. Çoğu uyum önleminin açık ya da kapalı biçimde kalkınma bileşeni bulunmaktadır. Bu nedenle iklim değişikliğine uyum çalışmalarının kalkınma çabalarına dahil edilmesi gerekmektedir (GIZ, 2014).

İklim değişikliğinin gelecekteki etkileri belirsizlik içermektedir ve uyum tedbirleri gelecekte olabilecek iklim değişikliği beklentisiyle uygulanmaktadır. Bu nedenle pişman olunmayacak önlemler (no regret measures) alınmasına özen gösterilmelidir. Yani gelecekte

karşılaşılabileceğimiz iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı değil, iklim değişikliği olmasa bile şu anda karşılaştığımız sorunların çözümünü sağlayacak uyum önlemlerinin alınması sağlanmalıdır (GIZ, 2014).

Uyum çalışmasında iklim değişikliğinin etkilerinin belirlenmesi, etkilenebilirlik ve uyum süreçlerinin anlaşılması ve bunlara yönelik değerlendirmelerin yapılması gerekmektedir. Bu kapsamda ilk olarak uyum ihtiyaçlarının belirlenmesi gerekmektedir.

Uyum ihtiyaçları bölgeye, insanlara ve sektörler göre farklılık gösterir. Etkili ve stratejik uyum planlaması yapılabilmesi için iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinden en fazla etkilenecek sistemlerin (yer, topluluk, sektör) hedeflenmesi gerekmektedir.

İklim değişikliğine uyum konusunda öncelikle etkilenebilirlik kavramı önem taşımaktadır. Bu kavram iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin arkasında yatan gerçeğin anlaşılmasına ve iklim değişikliğine karşı en duyarlı noktaların tespitine yardımcı olmaktadır. (Özdemir ve Yazıcı, 2017). Aşağıdaki bölümde iklim ekstremlerine karşı havzada alınacak uyum tedbirleri sıralanmıştır.

4.1. Ekstrem iklim olayları ile ilgili önlemler

1. Ekstrem sıcaklıkları azaltmak için mikro iklimlerin yeniden yapılandırılması.
2. Ağaçlandırma yapılması.
3. Taşkın riski olan altyapıların belirlenmesi ve yeni yapıların taşkına meyilli alanlara yapılmaması.
4. Yüksek taşkın riski olan bölgelerde yeni yapıların inşasına izin verilmemesi.
5. Yapılarda suya dayanıklı malzemenin kullanılması, izolasyonun geliştirilmesi, drenajın taşkın önleyici şekilde tasarlanması, ağaçlandırmanın ısı yükünü azaltması.
6. Su koruma alanlarının tasarlanması ve ağaçlandırma yoluyla göl ve nehir kenarlarının korunması.
7. Binalarda ve kaldırımlarda albedo etkisinin azaltılması.
8. Kentsel alanlarda binaların gölgelendirilmenin sağlanması ve böylece ısı adası etkisinin azaltılması.
9. Taşkınların önlenmesi için nehir kıyılarına kalın halatlar, çim-çalı veya ağaç şeritlerden oluşan tampon bölgeler oluşturulması.
10. Afet ve kriz yönetim sistemlerinin oluşturulması.
11. Taşkınlardan korunmak için bölgenin kalın tampon şeritlerle alanlara ayrılması.
12. Demiryollarının iklim değişikliğine dirençli hale getirilmesi için kalınlaştırılması, bu sayede ulaşımındaki aksamaların önüne geçilmesi.
13. Ulaşım ağları ve yapıları için (karayolu, demiryolu, liman ve nehir yapıları) etkilenebilirlik analiz metodu geliştirilmesi.
14. Erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesi ve bu sayede oluşacak taşkınlardan toplumun minimum etkilenmesinin sağlanması.
15. Ekstrem yağmur yağışlarına karşı koruma ve yağmur suyunun daha iyi uzaklaştırılmasını sağlamak amacıyla, merkezi enerji sektörü tesislerinde atıksu

sistemlerinin kurulması.

16. Gerekli alarm ve acil müdahale planlamasının yapılması.
17. Güvenlik yönetimi alanında yasal ve teknik düzenlemelerin yapılması.
18. Kaldırımlar, park alanları ve parklar gibi alanlarda zeminin geçirgen yapılması ve böylece suyun süzülerek depolanması.
19. Ekstrem hava olaylarına toplumun hazırlıklı olmasının sağlanması.
20. Sigorta sektörü için özel modellerinin geliştirilmesi.

5. Kaynaklar

- Alexander, L. V., Zhang, X., Peterson, T. C., Caesar, J., B. Gleason, A. M. G. Klein Tank, M. Haylock, D. Collins, B. Trewin, F. Rahimzadeh, A. Tagipour, K. Rupa Kumar, J. Revadekar, G. Griffiths, L. Vincent, D. B. Stephenson, J. Burn, E. Aguilar, M. Brunet, M. Taylor, M. New, P. Zhai, M. Rusticucci, J. L. Vazquez Aguirre (2006). Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research*, 2006. <https://doi.org/10.1029/2005JD006290>.
- Fischer, E. M., Oleson, K. M., Lawrence, D. M. (2013). Contrasting urban and rural heat stress responses to climate change. *Geophysical Research Letters*, Vol:39:1-8.
- GIZ (2014). The Vulnerability Sourcebook: Concept and guidelines for standardized vulnerability assessments.
- IPCC, In Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Theme], Pachauri R. K., Reisinger A. (eds). IPCC: Geneva; 104, (2007).
- İklimSu (2016). İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Raporu- Meriç Ergene Havzası Havzası Raporu.
- Kadioğlu, M., Ünal, Y., İlhan, A., Yürük, C., (2017). Türkiye’de İklim değişikliği ve Tarımda Sürdürülebilirlik.
- Klein Tank, A. M. G., Zwiers, F., Zhang, X. (2009). Guidelines on analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation. WMO, Geneva.
- Özdemir, A.D., Demirel, Yazıcı, D. (2017). İklim Değişikliğine Uyum, IV. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi-TİKDEK 2017, 5-7 Temmuz 2017, İstanbul.
- Thorntwaite C. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38(1), 55-94.
- UNDP (2005). National Adaptation Programmes of Action (NAPA).
- Vicente-Serrano, Beguería, S., López-More, (2010). A multi scalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23(7), 1696-1718.