

**TÜRKİYE'DE 1901-2015 YILLARI ARASINDA
STANDART YAĞIŞ İNDEKSİ'NE (SPI) GÖRE
TREND ANALİZİ**

Yüksek Lisans Tezi

Mustafa KUZAY

Eskişehir 2019

**TÜRKİYE'DE 1901-2015 YILLARI ARASINDA STANDART YAĞIŞ
İNDEKSİ'NE (SPI) GÖRE TREND ANALİZİ**

Mustafa KUZAY

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İnşaat Mühendisliği Hidrolik Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Mustafa TOMBUL**

**Eskişehir
Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Ocak, 2019**

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Mustafa Kuzay'ın “Türkiye’de 1901-2015 Yılları Arasında Standart Yağış İndeksi’ne (SPI) Göre Trend Analizi” başlıklı tezi 03/01/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek “Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği”nin ilgili maddeleri uyarınca, İnşaat Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

	<u>Unvanı Adı Soyadı</u>	<u>İmza</u>
Üye (Tez Danışmanı)	: Prof. Dr. Mustafa TOMBUL	
Üye	: Prof. Dr. Recep BAKIŞ	
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi S. J. Hadi AL-DOORİ	

Prof. Dr. Ersin YÜCEL
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

TÜRKİYE'DE 1901-2015 YILLARI ARASINDA STANDART YAĞIŞ İNDEKSİ'NE (SPI) GÖRE TREND ANALİZİ

Mustafa KUZAY

İnşaat Mühendisliği Hidrolik Anabilim Dalı

Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ocak 2019

Danışman: Prof. Dr. Mustafa TOMBUL

Kuraklık, bir bölgenin nem miktarındaki geçici dengesizliğin o bölgedeki su kıtlığı ile ilişkisi olarak tanımlanmaktadır. Kuraklığın olası etkilerini en aza indirebilmek veya bu etkilerden en az derecede etkilenmek amacıyla önceden tahmin yapabilmek önemlidir. Standart Yağış İndeksi ise kısa ve uzun dönemde (12 ay veya daha fazla) kuraklık için net sonuçlar verebilmektedir.

Bu çalışmada, Climate Research Unit'ten alınan yağış verileri kullanılıp, uygulama alanı olarak Türkiye belirlenmiş ve analiz yapılmıştır. Modelleme R Studio (Versiyon 1.1.456) ile yapılmıştır. Türkiye'nin coğrafi konumundan faydalanılarak gerekli kodlama ile dünyaya ait yağış verileri Türkiye ve bölgeler ölçeğinde kısıtlanmıştır. Açık kaynaklı bir programlama dili olan R Studio sayesinde 6 aylık, 12 aylık ve 24 aylık SPI hesaplanmıştır. Hesaplanan SPI değerleri sayesinde Theil-Sen Eğim Tahmini yöntemi ile trend belirlenmiştir.

Sonuçlara bakıldığında, Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve Akdeniz Bölgesi'nde ilerleyen yıllarda ciddi şekilde kuraklığın arttığı görülmektedir. Ancak genel anlamda Marmara Bölgesi, Karadeniz Bölgesi ve Ege Bölgesi'nde ise nemliliğin arttığı görülmektedir. Bu sonuçlara göre de Türkiye'de ilerleyen yıllar için su ihtiyacına göre planlama yapılabilecektir.

Anahtar Kelimeler: İklimsel Değişiklik, Kuraklık Analizi, Standart Yağış İndeksi, Su İhtiyacı, Trend Analizi.

ABSTRACT

ACCORDING TO THE STANDARDIZED PRECIPITATION INDEX (SPI) TREND ANALYSIS BETWEEN THE YEARS OF 1901-2015 IN TURKEY

Mustafa KUZAY

Department of Civil Engineering, Hydraulics Division

Anadolu University, Graduate School of Sciences, January 2019

Advisor: Prof. Dr. Mustafa TOMBUL

Drought is defined as the temporal imbalance of the moisture content of a region due to water scarcity in this region. It is important to minimize the potential impacts of the rule or to anticipate these effects to a minimum. The Standard Precipitation Index, can give clear results for the drought in the short and long term (12 months or more).

In this study, precipitation data from the Climate Research Unit are used and, as the area of application defined geographical area was carried out in Turkey and analyzed. Modeling was done with R Studio (Version 1.1.456). Precipitation data belonging to the world with the necessary coding benefiting from Turkey's geographical position has been restricted in Turkey and the regional level. An open source programming language, R Studio, 6 months, 12 months and 24 months SPI is calculated. With the calculated SPI values, the trend was determined with Theil-Sen Slope Estimation method.

When the results are analyzed, it is observed that drought in the Southeast Anatolia Region and the Mediterranean Region has increased in the coming years. However, in the Marmara Region, Black Sea Region and Aegean Region, it is seen that the humidity increases in general. These results can also be made by the planning needs water in Turkey in the coming years.

Keywords: Climate Change, Drought Analysis, Standardized Precipitation Index, Water Needs, Trends Analysis

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilemeyen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Anadolu Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm.

Mustafa KUZAY

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim süresince ilgi ve alakasıyla birlikte yardımlarını esirgemeyen, yol gösteren ve ayrıca akademik hayata bakış açımı değiştiren tez danışmanım Prof. Dr. Mustafa TOMBUL'a, tez çalışması boyunca bilgi ve becerilerini benimle paylaşan Prof. Dr. Recep BAKIŞ ve Dr. Öğr. Üyesi Sinan Jasim Hadi ALDOORİ'ye, yönlendirici ve bilgilendirici katkılarıyla bölümümüzdeki diğer hocalarıma, yüksek lisans tezimde bana yardımcı olan çok değerli arkadaşlarım İnş. Müh. Burak ELCUMAN, End. Müh. Fazıl GÖLEÇ, Melike Nur GENÇ, Mim. Gökçenur CENGİZ ve Yusuf Berk ÇALIŞIR'a teşekkür ediyorum.

Hayatım boyunca hep yanımda olan maddi ve manevi desteğini esirgemeyen kıymetli aileme sonsuz şükranlarımı sunuyorum.

Mustafa KUZAY

İÇİNDEKİLER

BAŞLIK SAYFASI.....	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
TABLolar DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiii
1.GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı.....	4
1.2. Literatür Araştırması	4
2. KURAKLIK KAVRAMINA GENEL BAKIŞ	7
2.1. Kuraklık Tanımı	7
2.2. Kuraklık Çeşitleri	8
2.2.1. Meteorolojik kuraklık.....	8
2.2.2.Tarımsal kuraklık	9
2.2.3. Hidrolojik kuraklık.....	9
2.3. Kuraklık Etkileri	10
2.3.1. Ekonomik etkiler.....	10
2.3.2. Sosyal etkiler	10
2.3.3.Çevre etkileri.....	10
2.4. Kuraklık Yönetimi.....	10
2.5. Türkiye'de Kuraklık.....	12
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	15
3.1. Standart Yağış İndeksi (SPI).....	15
3.2. Theil-Sen Eğim Tahmincisi	20
4. KURAKLIK ANALİZİ VE TARTIŞMA	22

4.1. Analiz	22
4.2. Tartışma.....	45
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	47
KAYNAKÇA.....	48
ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 3.1. SPI metoduna göre indeks değerleri ve sınıflandırma	16
---	----

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Dünya üzerinde yıllık sıcaklıktaki değişim.....	1
Şekil 1.2. 1998 yılında dünya üzerindeki toplam yağış dağılımı	2
Şekil 1.3. 2016 yılında dünya üzerindeki toplam yağış dağılımı	2
Şekil 1.4. Türkiye'de yıllık ortalama sıcaklık verisinin 1970-2016 yılları arasında dağılımı	3
Şekil 1.5. Türkiye geneli 1981-2016 yılları arasında yıllık alansal yağış dağılımı	3
Şekil 1.6. Nevada ve Doğu California'da 1900-2010 yılları arasında yapılan çalışmanın SPI ve SPEI sonuçları	5
Şekil 2.1. Güney Afrika'da kuraklık etkisi	7
Şekil 2.2. Kuraklık Çeşitleri ve Etkileri	9
Şekil 2.3. Türkiye’de MGM gözlemlerine göre 1950-2010 yılları arasında rapor edilen kuraklık afeti sayısının uzun yıllara göre zamansal dağılımı	13
Şekil 2.4. Türkiye’de 1940-2010 yılları arasında afete neden olan kuraklık olaylarının alansal dağılımı	13
Şekil 3.1. 1950-2015 yılları arasında yapılan SPI analiz çalışması örneği	17
Şekil 3.2. Türkiye 12 aylık kuraklık grafiği	19
Şekil 3.3. 12 aylık periyot için Avrupa'da standart yağış indeksi değerleri	20
Şekil 4.1. Türkiye'nin yağış verilerinin alındığı koordinatlar.....	22
Şekil 4.2. Eskişehir'de 6 aylık Standart Yağış İndeksi'nin zamanla değişimi	23
Şekil 4.3. Eskişehir'de 12 aylık Standart Yağış İndeksi'nin zamanla değişimi	23
Şekil 4.4. Eskişehir'de 24 aylık Standart Yağış İndeksi'nin zamanla değişimi	23
Şekil 4.5. Ege Bölgesi illerinin 6 aylık Sen Eğim Tahmini değerleri.....	24

Şekil 4.6. Ege Bölgesi illerinin 12 aylık Sen Eğitim Tahmini değerleri.....	25
Şekil 4.7. Ege Bölgesi illerinin 24 aylık Sen Eğitim Tahmini değerleri.....	26
Şekil 4.8. Marmara Bölgesi illerinin 6 aylık Sen Eğitim Tahmini değerleri.....	27
Şekil 4.9. Marmara Bölgesi illerinin 12 aylık Sen Eğitim Tahmini değerleri.....	28
Şekil 4.10. Marmara Bölgesi illerinin 24 aylık Sen Eğitim Tahmini değerleri.....	29
Şekil 4.11. Karadeniz Bölgesi illerinin 6 aylık Sen Eğitim Tahmini değerleri	30
Şekil 4.12. Karadeniz Bölgesi illerinin 12 aylık Sen Eğitim Tahmini değerleri	31
Şekil 4.13. Karadeniz Bölgesi illerinin 24 aylık Sen Eğitim Tahmini değerleri	32
Şekil 4.14. İç Anadolu Bölgesi illerinin 6 aylık Sen Eğitim Tahmini değerleri.....	33
Şekil 4.15. İç Anadolu Bölgesi illerinin 12 aylık Sen Eğitim Tahmini değerleri.....	34
Şekil 4.16. İç Anadolu Bölgesi illerinin 24 aylık Sen Eğitim Tahmini değerleri.....	35
Şekil 4.17. Doğu Anadolu Bölgesi illerinin 6 aylık Sen Eğitim Tahmini değerleri	36
Şekil 4.18. Doğu Anadolu Bölgesi illerinin 12 aylık Sen Eğitim Tahmini değerleri	37
Şekil 4.19. Doğu Anadolu Bölgesi illerinin 24 aylık Sen Eğitim Tahmini değerleri	38
Şekil 4.20. Akdeniz Bölgesi illerinin 6 aylık Sen Eğitim Tahmini değerleri.....	39
Şekil 4.21. Akdeniz Bölgesi illerinin 12 aylık Sen Eğitim Tahmini değerleri.....	40
Şekil 4.22. Akdeniz Bölgesi illerinin 24 aylık Sen Eğitim Tahmini değerleri.....	41
Şekil 4.23. Güneydoğu Anadolu Bölgesi illerinin 6 aylık Sen Eğitim Tahmini	42
Şekil 4.24. Güneydoğu Anadolu Bölgesi illerinin 12 aylık Sen Eğitim Tahmini	43
Şekil 4.25. Güneydoğu Anadolu Bölgesi illerinin 24 aylık Sen Eğitim Tahmini	44

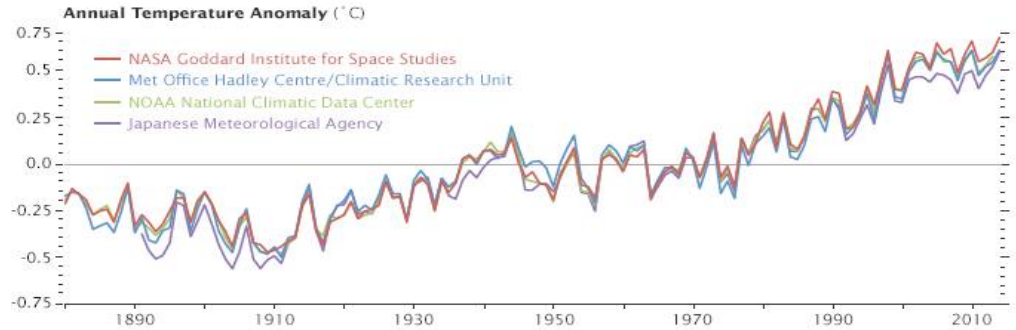
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

β_1	: Sen Eğim Tahmincisi Değeri
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
CRU	: Climate Research Unit
DSİ	: Devlet Su İşleri
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
PSDI	: Palmer Kuraklık Şiddet İndeksi
SPEI	: Standart Yağış ve Buharlaşma İndeksi
SPI	: Standart Yağış İndeksi

1.GİRİŞ

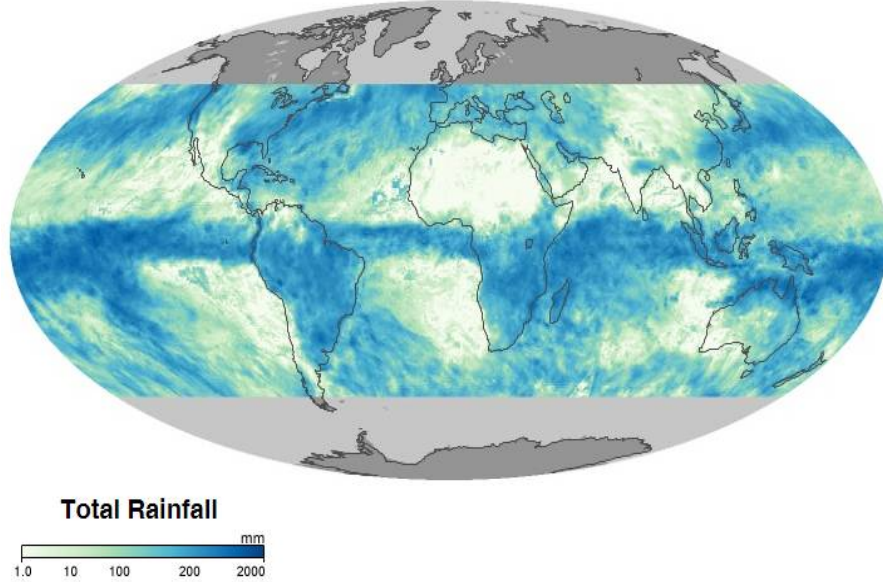
Kuraklık, belirli bölgedeki nem durumunun geçici dengesizliği sebebi ile su kıtlığıdır. Doğal bir iklim olayıdır ve herhangi bir zamanda ve yerde meydana gelebilir. İklimsel değişiklikler, tarımda ve insan hayatında su ihtiyacı ve buna bağlı olarak mahsul veriminde azalma gibi nedenlerden dolayı insan hayatı tehlikeye girebilir. Doğal iklim değişikliği nedeni ile oluşan kuraklık üç ana başlık altında incelenebilir. Yağış azalması, yüksek sıcaklık, sızma, yer altı suyunda azalma, buharlaşma ve terlemede artma gibi sebeplerle Meteorolojik Kuraklık oluşur. Sonrasında aynı nedenlerle Tarımsal Kuraklık dönemi gerçekleşir. Tarımsal Kuraklık döneminde toprak neminde azalma, bitkilerde su sıkıntısı ve mahsul veriminde azalma görülür. Gerekli önlemler alınmadığı takdirde en tehlikeli ve uzun süreli kuraklık oluşturabilecek Hidrolojik Kuraklık dönemine geçilir. Bu dönemde ise akışta azalma, akarsu, göl vb. yerlerde kuruma ve azalma görülür. Bu durumlar sosyal, ekonomik ve çevresel zararlara sebep olur.

Kuraklığın sadece iklimsel olaylardan kaynaklanmadığı son yıllardaki çalışmalarda belirlenmiştir. Dünyada beklenmedik şekilde etkiler ortaya çıkaran güneş patlamaları ve güneşte meydana gelen olaylarında etkili olduğu söylenmektedir. Yapılan bilimsel çalışmalarda güneşte meydana gelen ve dünyayı etkileyen bu olayların sayısı sürekli artmaktadır. Bu sebeple radyasyon artmakta ve sıcaklığın sürekli artması da kaçınılmaz olmaktadır ve güneş patlamalarının sıcaklığı yükseltmesi yanında basıncı da yükselttiği söylenmektedir. Ayrıca yanlış sanayi faaliyetleri, tarımsal faaliyetler gibi sebeplerde sıcaklığı artırmaktadır. Şekil 1.1’de verilen grafikte olduğu gibi dünya üzerinde sıcaklık belirgin şekilde artmaktadır.

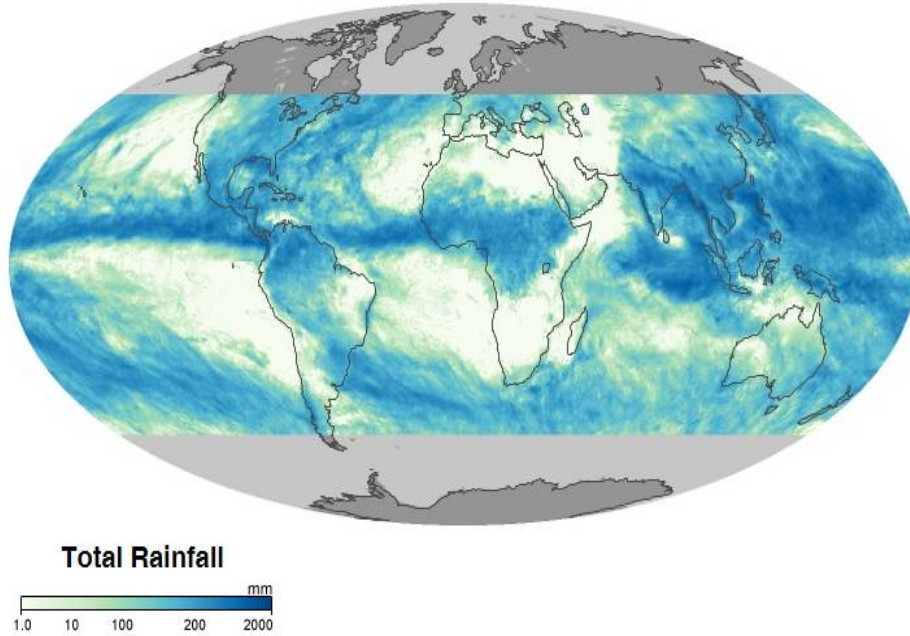


Şekil 1.1. Dünya üzerinde yıllık sıcaklıktaki değişim (<http-1>)

Dünya üzerinde yağış dağılımının da kuraklık ile doğrudan etkisinin bulunduğu bilindiğinden analiz aşamasında kullanılacak verilerin netliği önemli bir konudur. Ayrıca bu verilerin yıllar içinde değişimi de göz önünde bulundurulması gerektiğinden hidrolojik incelemelerde en az 30 yıllık verisi olan yağış istasyonlarından faydalanılmalıdır.



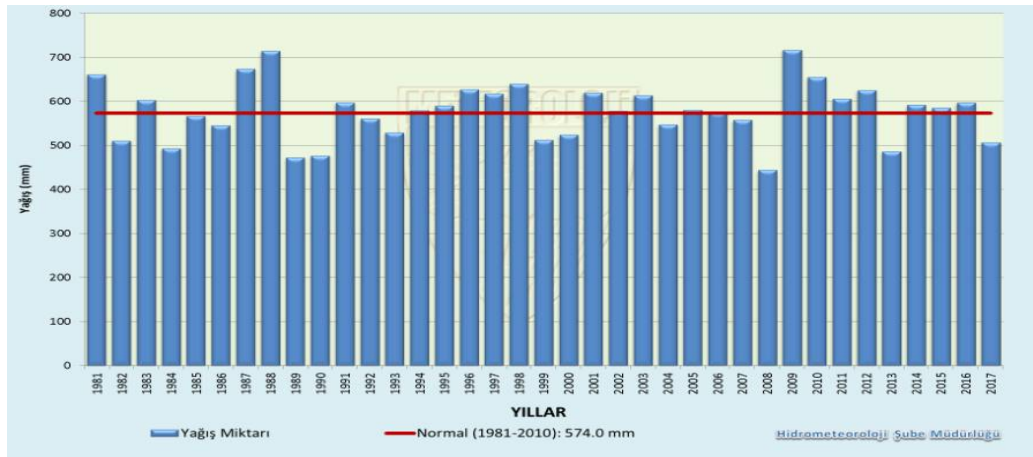
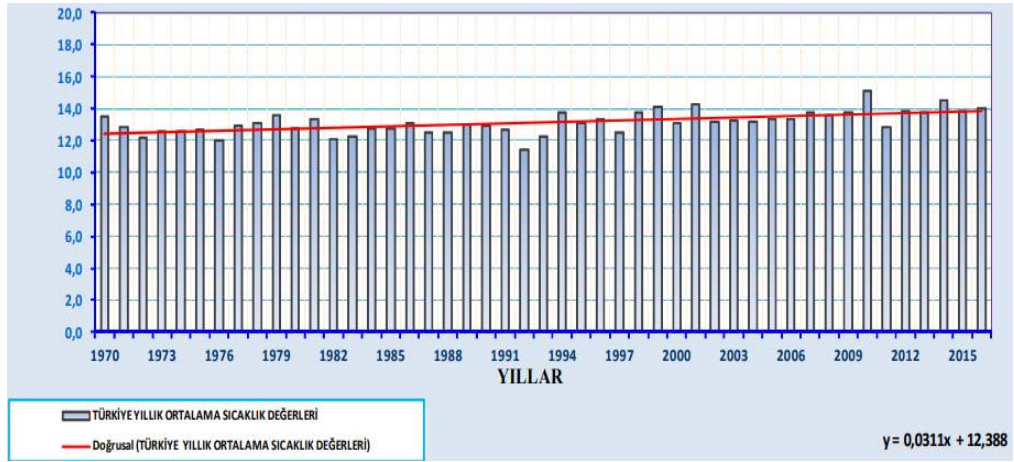
Şekil 1.2. 1998 yılında dünya üzerindeki toplam yağış dağılımı (<http-1>)



Şekil 1.3. 2016 yılında dünya üzerindeki toplam yağış dağılımı (<http-1>)

Ülkemiz yarı kurak ılıman iklim kuşağında yer aldığından kuraklık çok ağır boyutlara ulaşmamıştır. Fakat Şekil 1.2 ve Şekil 1.3’de görüldüğü gibi yağış azlığından kaynaklı olarak kuraklaşma etkileri görülmüştür. Ayrıca doğa tahribatı, sanayileşmenin artışı ve güneş olaylarındaki değişimler sonucu da kuraklık etkisi artmaktadır.

Ülkemizde sıcaklık ortalamasının 1970’ten günümüze kadar 2°C arttığı görülmüştür. Ayrıca 2017 yılına kadar yıllık alansal yağışın ortalama değerinin de 574 mm olduğu bilinmektedir (<http-6>).



Kuraklığı önceden tahmin edebilmek ve kuraklığın yaratabileceği hasarları en aza indirebilmek amacıyla kuraklık analiz metotları geliştirilmiş ve kullanılmaktadır.

1.1. Çalışmanın Amacı

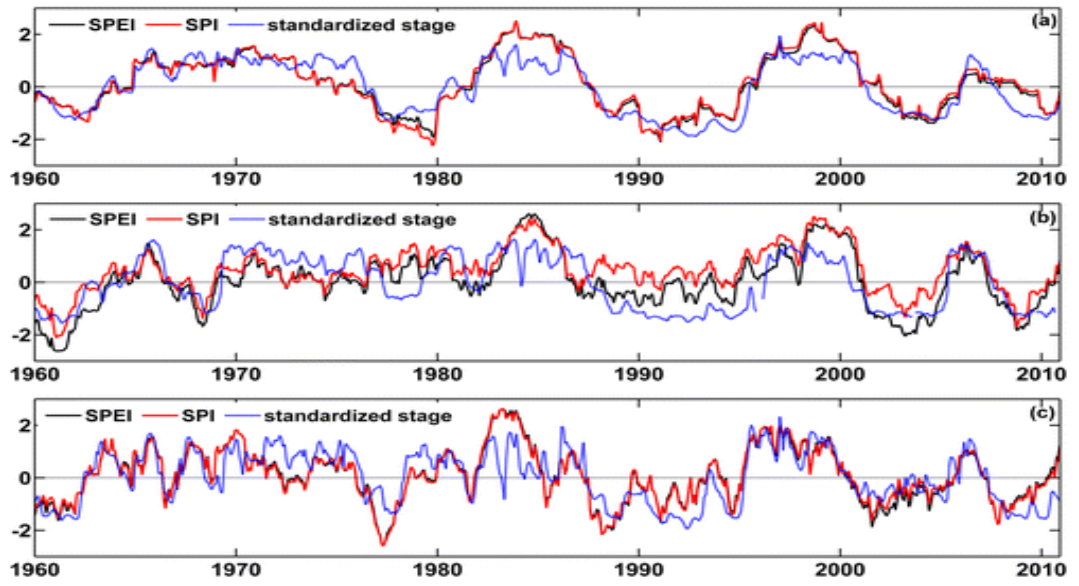
Bu çalışmada, 1901-2015 yılları arasında Climate Research Unit'den alınan dünya yağış verileri sayesinde Türkiye'de SPI metoduna göre Trend Analizi yapılmıştır. Kuraklık analizinin SPI yöntemi ve trend analizi ile yapılmasındaki temel amaç belirlenen periyotlarda (6 aylık, 12 aylık ve 24 aylık) su açığını hesaplayarak gelecekte ülkemizde kuraklığın etkilerini öngörmek ve bu sonuçlar yardımı ile gerekli planların yapılmasına yardım edebilmektir.

1.2. Literatür Araştırması

Kullanım amaçlarına göre yöntem değişikliği gösteren kuraklık analiz metotları birçok alanda kullanılmaktadır.

Bu çalışmalara örnek olarak; yerel düzeyde 1960-2009 yılları arasında yapılan çalışmada yüzey akışlarının ve toprak neminin fazla olduğu bölgelere göre mahsul verimleri ve ağaçlık alanların dağılışı kuraklık analiz metotları ile çıkarılmıştır. Bu çalışmalar yapılırken PDSI, SPI ve SPEI yöntemleri kullanılarak mevcut mahsul verimi ve toprak nemi açısından değerlendirmeler de yapılmıştır. Değişik yöntemler kullanılsa da birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir (Vincenzo-Serrano, vd., 2013).

Nevada ve Doğu California'nın 1900-2010 arasında ölçülen verileri ile PSDI, SPI ve SPEI kullanılarak yapılan çalışma sonucunda PDSI yönteminin diğer yöntemlere göre daha teorik oluşundan ve yeterli derecede modelleme ve buharlaşma verilerini net olarak içereemediğinden yetersiz kaldığı görülmüştür. Şekil 1.6'da görüldüğü gibi SPI ve SPEI yöntemlerinin zamansal ve mekansal bağlamda aralarında çok az farklılıklar bulunmuştur. Her iki yöntemde hidrolojik kuraklık belirlemede etkili olmuştur. Ancak sürekli yağış olmayan bölgelerde SPEI yöntemi buharlaşma verilerini de modellemeye dahil ettiğinden daha doğru sonuçlar vermiştir ve SPI yönteminin aylık bazda yetersiz kaldığı görülmüştür (McEvoy, vd., 2012).



Şekil 1.6. Nevada ve Doğu California'da 1960-2010 yılları arasında yapılan çalışmanın SPI ve SPEI sonuçları (McEvoy vd., 2012)

Güneybatı Çin için 1982-2012 yılları arasında yapılan bir çalışma sonucunda 1, 3, 6, 12 ve 24 ay arasında değişen SPEI değerlerinin küresel ısınmaya bağlı sıcaklık trendinin artışı dolayısıyla buharlaşma artışı ve nem oranının ortalamasının altında seyretmesi sebebi ile giderek arttığı, en şiddetli kuraklığın ise 2010 yılında görüldüğü belirlenmiştir. Ayrıca bölgedeki bitki örtüsü ve toprak nem durumu endeksi verilerinin kullanımı açısından SPEI yönteminin çok faydalı olduğu belirlenmiştir (Li, vd., 2015).

Türkiye'de ise analiz farklı zamanlarda farklı havzalar için yapılmıştır. Kuraklık ve nemlilik şiddeti ve süresi SPI metodu kullanılarak belirlenmiştir. Kuraklık ve nemlilik etkileri açısından Van Kapalı Havzası, Dicle-Fırat Havzası , Ceyhan Havzası ve Batı Karadeniz Havzası'nda Olağanüstü Kuraklık (-2.0 veya daha düşük SPI indis değerleri) görülmüştür. Büyük Menderes Havzası, Küçük Menderes Havzası, Gediz Havzası ve Batı Akdeniz Havzası'nda Çok Şiddetli Kuraklık (-1.60 ve -1.99 arasında SPI indis değerleri) görülmüştür. Nemlilik açısından ise, Doğu Akdeniz Havzası, Dicle-Fırat Havzası ve Gediz Havzası'nda Çok Nemlilik (1.30 ile 1.59 arasında SPI indis değerleri) görülmüştür. Aras Havzası, Dicle-Fırat Havzası, Batı Akdeniz Havzası, Kuzey Ege Havzası ve Marmara Havzası'nda Aşırı Nemlilik (1.60 ile 1.99 arasında SPI indis değerleri) görülmüştür. Van Kapalı Havzası, Sakarya Havzası ve Dicle-Fırat Havzası'nda ise Olağanüstü Nemlilik (2.0 veya daha fazla SPI indis değerleri)

görülmüştür. En çok etkilenen havza, %11.8 ile Çok Nemlilik (1.30 ile 1.59 arasında SPI indis değerleri) görülen Doğu Akdeniz Havzası'dır. Doğu Akdeniz Havzası'nı yine Çok Nemlilik sınıfında bulunan %11.4 ile Dicle-Fırat Havzası ve %11.4 ile Gediz Havzası izlemiştir. Karadeniz Havzası ve İç Anadolu Havzası'nda ise daha çok Şiddetli Kuraklık görülmüştür. Sonuç olarak farklı havzalar için gerekli görülen durumlarda su kaynaklarının durumu, baraj işletim seviyelerinin değiştirilmesi, yer altı sularının kullanımı, toprak neminin durumu gibi hidrolojik yönden önemli bilgiler elde edilebildiği görülmüştür (Turgu vd., 2015).

Ülkemizin su potansiyelinin %3,5'ini oluşturan Kızılırmak Havzası için SPI metodu ile yapılan çalışmada havza bazında zamanın çoğunluğunun kurak geçmediği, çok şiddetli kuraklık sayının 6 aylık periyotta maksimuma ulaştığı, geçmişe göre günümüzde Kızılırmak Havzası'nın daha fazla kuraklıktan etkilendiği belirlenmiş ve orta şiddetli kuraklığın (-0.80 ile -1.29 arasında SPI indis değerleri) diğer kuraklık sınıflarına göre sayısının daha fazla olduğu belirlenmiştir (Arslan vd., 2016).

Analiz yöntemlerinde farklı yaklaşım tipleri bulunmasının sebebi verilerin işlenme şekilleridir.

2. KURAKLIK KAVRAMINA GENEL BAKIŞ

2.1. Kuraklık Tanımı

Su kıtlığının yaşamsal dengeyi farklı sebeplerden etkilemesinden dolayı araştırmacılar kuraklık ile ilgili birçok tanım yapmışlardır. Kuraklık bir bölgenin nem miktarındaki geçici dengesizliğin o bölgedeki su kıtlığı ile ilişkisi olarak tanımlanır (Özlü, 2007).



Şekil 2.1. Güney Afrika'da kuraklık etkisi (http-9)

Genel anlamda kuraklık, yağışların uzun yıllar ortalamasının önemli ölçüde ortalama altına düşmesi sonucu ortaya çıkan, tüm canlı hayatı olumsuz etkileyen, hidrolojik dengede bozulmalara sebep olan şiddet, süre ve coğrafi yayılım bileşenleri ile nitelendirilebilen doğal bir olaydır. (http-4).

Kurak iklim bölgelerinden nemli iklim bölgelerine kadar her yerde kuraklık görülebilir. Kurak iklimlerdeki nem miktarı azlığı ve yağıştaki değişkenliklerden dolayı kuraklık görülme olasılığı daha fazladır. Kuraklık çok uzun yıllarda kendini gösterir ve atmosferik olay sonuçları arasında ön görülmesi en zor olan afettir. Kuraklık genellikle

yağış miktarındaki azalmadan dolayı oluşur. Ancak kuraklık öngören hesaplarda evapotranspirasyon (buharlaşma) ve bölgedeki yağışın uzun süreli kayıtları göz önünde bulundurulmalıdır. Kuraklık zaman (yağış başlangıcındaki gecikmeler, yağış süreleri), yağış tesirleri (yağış yoğunluğu, yağış sayısı), sıcaklık, nem miktarındaki düşüklük ve rüzgar şiddeti gibi değişkenler ile ilişkilidir (http-2)

Kuraklık, tüm canlı dünyasını etkilemektedir. Küresel ısınma sonucunda iyice artan kuraklık topraktaki nemin azalmasına dolaylı yoldan ise ormanlık alanların ve tarım alanlarının azalmasına sebep olmaktadır. Bu durum da ülke ve dünya ekonomisini ciddi şekilde etkilemektedir. Doğal hayatı da etkileyen kuraklıktan dolayı hayvanlar otlamadığından ve su kaynağı bulamadığından toplu hayvan ölümleri ciddi şekilde artacaktır. Bu gibi sebepler sonucunda kentsel sorunlar, temiz su kaynağı yetersizliği, üretimde düşme dolayısıyla tüketim artışı ve sağlık problemleri baş göstermeye başlayacaktır.

2.2. Kuraklık Çeşitleri

Kuraklık; tarımsal, hidrolojik, meteorolojik, coğrafik, sosyal ve ekonomik yönden farklı biçimlerde tanımlanmıştır. Ancak literatürde üç kuraklık türünden söz edilmektedir. Bunlar; meteorolojik kuraklık, hidrolojik kuraklık ve tarımsal kuraklıktır.

2.2.1. Meteorolojik kuraklık

En az otuz yıllık zaman periyoduna ait normal olgulardan (yağış, buharlaşma) meydana gelen sapma olarak tanımlanır. Yağışın ve yağış sürelerinin belirli bir seviyeden az olması kurak periyotları belirlemektedir. Meteorolojik kuraklık tanımına genellikle yıl boyu yağış alan bölgelerde rastlanır.

Bu tanımlamalar genellikle bölgeseldir ve tahminen bölgesel klimatolojinin tam olarak anlaşılması temeline oturur. Normal olarak meteorolojik ölçümler kuraklığı ifade etmede başta gelen göstergelerdir. Devam eden bir meteorolojik kuraklık olayı hızlı bir şekilde kuvvetlenebilir veya aniden sona erebilir. Kuraklık periyotları genellikle, belirlenen eşik değerlerinin altında yağışlı olan günlerin sayısı olarak tanımlanmıştır (Köksoy, 2012).

2.2.2. Tarımsal kuraklık

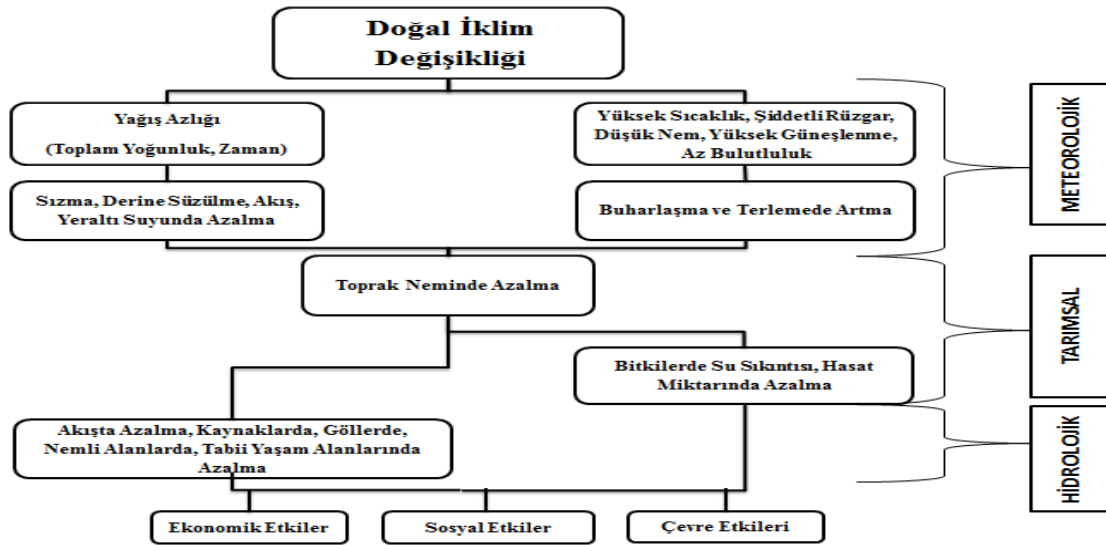
Bitkinin kök bölgesinde, büyüüp gelişmesi için yeterli nem bulunmaması durumu olarak ifade edilir. Büyüme periyodu boyunca, belirli bir bitkinin suya ihtiyaç duyduğu belirli bir kritik dönemde yeterli toprak nemi olmadığı zaman tarımsal kuraklık meydana gelir (Köksoy, 2012).

Nem kayıpları ve su kaynaklarında oluşan azalma, ürün miktarlarını azaltır veya ürünlerin büyümelerinde değişikliklere sebep olur. Sonuç olarak insan ve hayvan sağlığı da tehlikeye girer.

2.2.3. Hidrolojik kuraklık

Uzun süre devam eden yağış eksikliği neticesinde ortaya çıkan yeryüzü ve yer altı sularındaki azalma ve eksiklikleri ifade eder. Nehir akım ölçümleri ve göl, rezervuar, yer altı su seviyesi ölçümleri ile takip edilebilir. Yağmur eksikliği ile akarsu, dere ve rezervuarlardaki su eksikliği arasında bir zaman aralığı olduğundan dolayı hidrolojik ölçümler kuraklığın ilk göstergelerinden değildir (Köksoy, 2012).

Meteorolojik kuraklığın uzaması hidrolojik kuraklığı meydana getirir. Yağış azlığından akarsularda kuruma, göller ve yer altı sularında çekilmeler görülür. Hidrolojik kuraklığı etkileyen bir diğer önemli sebep de yanlış arazi kullanımıdır. Ayrıca bölgeler birbirlerine hidrolojik sistemler ile bağlı olduklarından meteorolojik kuraklık etkisi ile yağışın da azalması o bölgeyi tamamen etkileyebilir. (Köksoy, 2012).



Şekil 2.2. Kuraklık Çeşitleri ve Etkileri (http-2)

2.3. Kuraklık Etkileri

Meteorolojik kuraklık, tarımsal kuraklık ve hidrolojik kuraklık sonucu ortaya çıkan kuraklık etkileri ekonomik etkiler, sosyal etkiler ve çevre etkileridir. Bu etkiler genellikle birbirlerini tetikleyerek insan ve canlı hayatı üzerinde hem psikolojik hem de fiziki açıdan zarara dönüşebilir.

2.3.1. Ekonomik etkiler

Kuraklık sonucunda yetiştirilen ürünlerde kayıplar meydana gelir, kereste üretiminde azalma görülür, balık üretiminde kayıplar belirgin şekilde artar, enerjide kaynak azalması durumu yaşanır, yeni su kaynakları bulma konusunda maddi sıkıntılar doğar, üretim aksar ve üretim gelirleri düşer, tarımsal üretime bağlı endüstri kuruluşlarında kayıplar görülür, üretimdeki azalmaya bağlı işsizlik sorunu ortaya çıkar ve ekonomik gelişmeler yavaşlar. Böylece ulusal büyümede kayıplar görülür.

2.3.2. Sosyal etkiler

Kuraklık sosyal hayatı; üretimdeki sıkıntılardan dolayı yiyecek kıtlığı, ekonomik etkenlerden kaynaklı yoksullukta artış, işsizlikten dolayı psikolojik sorunlar, kırsal kesimde yaşayan insanların kente göç etmeleri ve sosyal huzursuzluk gibi nedenlerle etkiler.

2.3.3.Çevre etkileri

Kuraklık ekin alanlarına ve doğal bitki örtüsüne zarar verir, oluşan bu zarar ile hayvan yaşamı tehlikeye girer, balık alanları zarar görür, su kalitesinde azalma meydana gelir, toprakta erozyona sebep olur. Sonuç olarak doğal ekosistemde ciddi değişiklikler ve tahribat görülür.

2.4. Kuraklık Yönetimi

Kuraklık yönetimi ise, muhtemel kuraklık riskleriyle karşılaşıldığında yaşanacak olan olumsuz etkilerin azaltılmasına yönelik olarak, kuraklık öncesinde, kuraklık esnasında ve kuraklık sonrasında alınacak tedbirlerin belirlenmesidir.

Kuraklık, dünyada etkili olan doğal afetlerin karakteristik özellikleri ve etki derecelerine göre yapılan değerlendirmede ilk sırada yer almakta, kuraklık olgusu son

yılların en önemli gündem maddesini oluşturmaktadır. Ülkemiz kuraklık yönetim stratejilerinde, kriz yönetimi (reaktif) anlayışı benimsenmektedir. Kuraklık gerçekleşmeden yapılması gereken çalışmaları içeren risk yönetimi (proaktif) ile kuraklığın etkilerini azaltmak, kuraklık olgusu kendini hissettirdikten sonra uygulanan kriz yönetimi anlayışına oranla daha başarılıdır. Bu nedenle kuraklık ile ilgili nicel veriler tanımlanarak analiz edilmeli ve sonuçlara göre planlamalar yapılmalıdır (Günay vd., 2011).

Kuraklık yönetiminde tarihte yaşanmış olaylar ve gelecekte yaşanılması muhtemel olaylar dikkatlice incelenmelidir. Dünyada yapılan en eski barajın Anadolu'da Hititler tarafından kuraklık yüzünden yapılan bir baraj olduğu bilinmektedir. Tarih boyunca toplumlar da bu sebeple su kenarlarına medeniyetler kurmuşlardır ve kuraklık yüzünden savaş ve göç gibi tarihi olaylar olmuştur. Gelecekte de su kıtlığı ve küresel ısınma sonucu kuraklık olacağı ön görülmektedir ([http-4](http://4)).

Bu sebeplerden dolayı kuraklık döneminin önceden belirlenmesi ve gerekli çalışmaların başlatılması son derece önemlidir. İpek'e (2008, s 493-500) göre kuraklığa karşı alınması gereken tedbirler ise şu şekildedir;

- Kuraklık ile ilgili verilerin yorumlanmalı, tanımlanmalı ve veri olarak depolanmalıdır.
- Önleme sistemlerinin geliştirilmeli ve güncellenmelidir.
- Su kaynakları ve su potansiyelleri belirlenmelidir.
- Yer altı suyu miktarı belirlenmelidir.
- Suyu kullanan tüketicilerin sayısı ve durumları belirlenmelidir.
- Yağış-akış ve su temini tahminleri sıklıkla yapılmalıdır.
- Belirli bir sistematik geliştirilerek yerel bağlamda sayısal çalışmalar yapılmalıdır.
- Yanlış arazi kullanımından kaynaklı sorunlar giderilmelidir.
- Su tutma ile ilgili yatırımlar teşvik edilmelidir.
- Gerekli hallerde su tasarrufu için su kullanımı ve su dağıtım şekli değiştirilmelidir.
- Barajlarda rezervuar işletimleri kontrol edilmelidir.
- Göletler inşa edilmelidir.
- Kuraklık toplantıları ve konferansları yapılarak veya bildirgeleri yayımlanarak halka bilgilendirme sağlanmalıdır.

- Halk ile iş birliği içerisinde çalışılmalıdır.
- Kriz yönetimi yerine önceden tahmin yapan bilimsel çalışmalara ağırlık verilen risk yönetimi sistemine geçilmelidir.

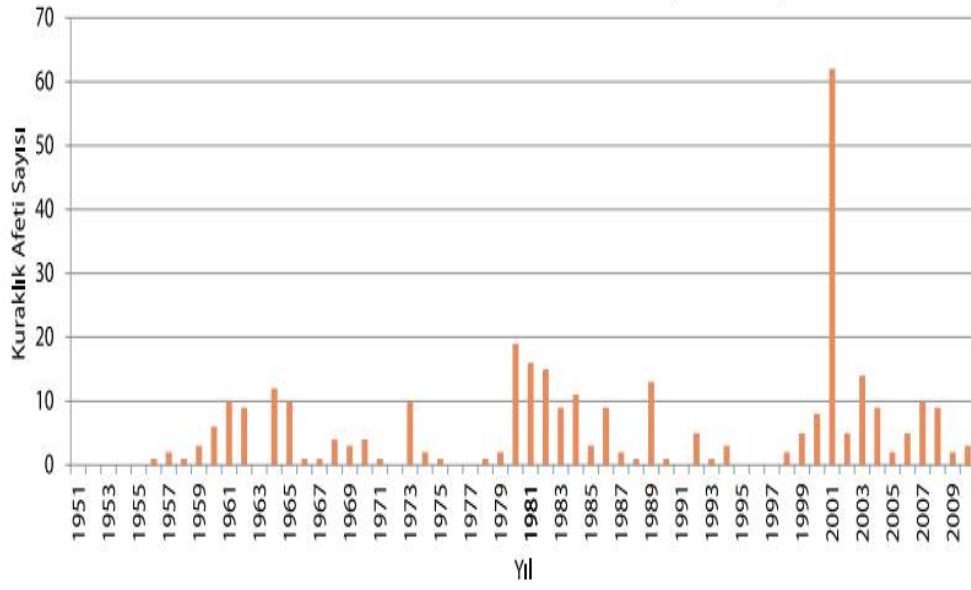
Kuraklık planlamasında kurak bir dönem için yapılacak çalışmalar üç ana çalışma grubunda toplanmalıdır. Bunlar izleme birimi, etkileri inceleme birimi ve kuraklık görev gücüdür. İzleme birimi klimatolojistler ve hidrolojistlerden oluşur, şu an ve gelecek için su miktarını izler. Etkileri inceleme birimi doğal kaynak yöneticilerinden oluşur. Tarım, belediyeler gibi çeşitli alanların su eksikliğini miktar ve süre olarak belirlerler. Kuraklık görev gücü ise yüksek seviye resmi memurlardan oluşur, seçimle veya atama ile görev alırlar. Konu ile ilgili kanun yapma yetkileri vardır. Kuraklığın etkileri ve mevcut kaynaklar hakkında bilgi toplarlar (http-3).

2.5. Türkiye'de Kuraklık

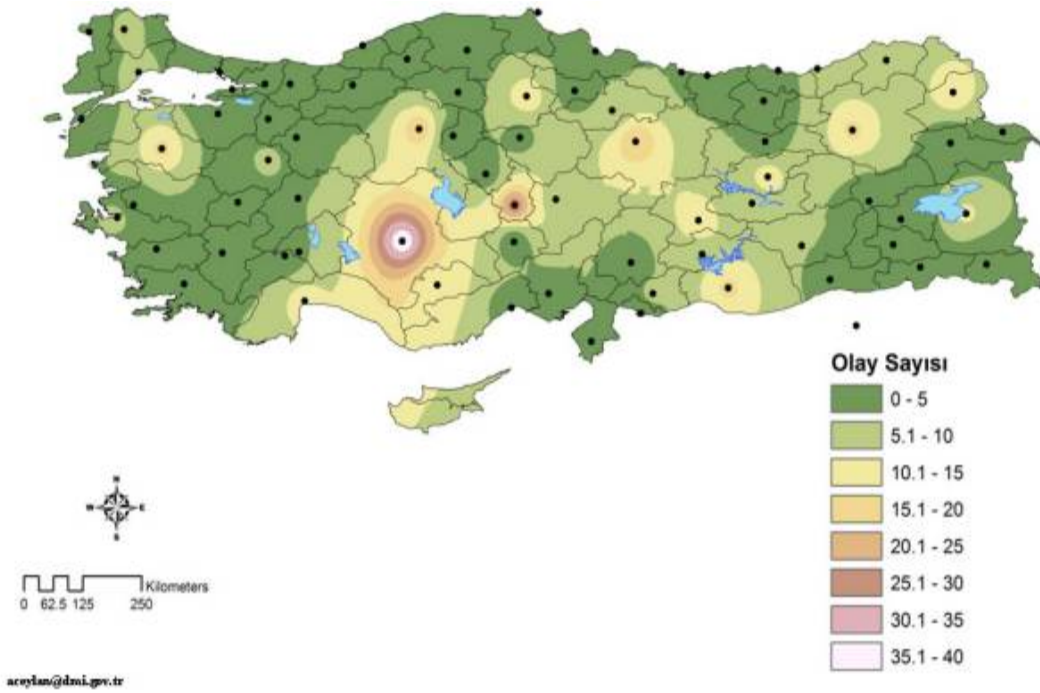
Subtropikal yarı-kurak iklim kuşağında yer alan ülkemiz kuraklık riski ile sıkça karşılaşmaktadır. Türkiye'de ortalama altı yılda bir orta, on sekiz yılda bir ise şiddetli olmak üzere meteorolojik kuraklıklar gözlenmiştir. Cumhuriyet döneminde ilk büyük kuraklık 1928–1929 yıllarında yaşanmış ve özellikle Konya Ovası'nda büyük tarımsal tahribata neden olmuştur. Anadolu'da yaşanan tarihsel kuraklıklara ait ayrıntılı bilgiler ve veriler yetersiz olup, bu konuda çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır (Bilen, 2008).

Ülkemizde kurak ve yarı kurak alanlar bulunmaktadır. Bu sebeple tarımda su ihtiyacı ve insani kullanım suyu ihtiyacında ciddi sıkıntılar ilerleyen yıllarda oluşabilecektir.

Yapılan çalışmada Karadeniz ve Akdeniz bölgelerinde yağışlarda azalma olduğunu göstermektedir. Ayrıca 1930'lu yılların ilk dönemlerinde, 1950'li yılların son dönemlerinde, 1970'li yılların ilk dönemlerinde, 1980'li ve 1990'lı yılların başında kuraklıktan etkilenen dönemler gözlenmiştir (Şekil 2.3 ve Şekil 2.4). Nemli dönemler ise 1935-1945 arasında, 1960'lı yıllarda ve 1970'li yılların sonlarında gözlenmiştir (Kadioğlu, 2012).



Şekil 2.3. Türkiye’de MGM gözlemlerine göre 1950-2010 yılları arasında rapor edilen kuraklık afeti sayısının uzun yıllara göre zamansal dağılımı (Kadioğlu, 2012)



Şekil 2.4. Türkiye’de 1940-2010 yılları arasında afete neden olan kuraklık olaylarının alansal dağılımı (Kadioğlu, 2012)

Osmanlı İmparatorluğu döneminde Anadolu’da 1874 kuraklığı ünlü olup, bu kuraklık sırasında Ankara ve civarında 20 000 insanın öldüğü, 5000 kişinin göç ettiği,

koyun ve keçilerin hemen hemen tamamının ve büyükbaş hayvanların yüzde altmışının telef olduğu belirtilmektedir. (Acatay, 2008).

Ülkemizde kuraklığın en büyük belirtisi ise nüfus yoğunluğu fazla olan Marmara Bölgesi'nde görülmektedir. Son yıllardaki yağış değişikliklerinden ve nüfusun bu bölgede giderek artmasından kaynaklı ciddi kuraklık problemleri ortaya çıkmaktadır.

26 nehir havzasında 1965-2002 arasında yapılan çalışmaya göre Türkiye' de gözlenmiş yüzey akımlarının yıllık toplamının 195,5 milyar m³'den 63,9 milyar m³'e düştüğü görülmüştür. Bu düşüşün düzenlenmesi için baraj yapımına ihtiyaç duyulmaktadır (Bilen, 2008).

Ayrıca küresel ısınmanın da ülkemizde kuraklığa etkisi yavaş yavaş kabul edilmektedir. Ancak bu durumu ispatlamak için uzun yıllar boyunca yağış ve buharlaşma verileri gerekmektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Kuraklık, tarım, ekonomi ve çevresel hasarın önemli bir nedenidir. Kuraklık etkileri yağış sıkıntısı ile uzun bir süre sonra ortaya çıktığından başlangıçlarını, kapsamını ve bitimini belirlemek çok zor olmaktadır. Bu nedenle, kuraklık dönemlerinin özelliklerini yoğunluk, büyüklük, süre ve mekânsal kapsam açısından objektif olarak ölçmek zordur ([http-5](http://5)).

En önemli kuraklık analiz yöntemleri bir toprak suyu dengesi denklemine dayanan Palmer Kuraklık Şiddet İndeksi (PDSI) ve bir yağış olasılığı yaklaşımı üzerine kurulan Standart Yağış İndeksi (SPI) ve daha sonraki dönemde farklı olayları birleştirerek farklı disiplinler arası çalışma yapabilen Standart Yağış ve Buharlaşma İndeksi (SPEI) literatüre girmiştir.

Kuraklık ile ilgili çalışma yapan araştırmacılar yağış verilerine ihtiyaç duydukları için, düzenli veriler alınabilen yağış gözlem istasyonlarını kullanmaktadırlar. Gelişen bilgisayarlar sayesinde veriler matematiksel ve istatistiksel olarak daha kolay işlenmeye başlanmış, sonuç olarak ağır problemler ve analizler çözüme ulaşmıştır. Bahsedilen bu durumlar ışığında kuraklık analiz metotları arasında kullanıma en uygun olan yöntemin seçilmesi incelenen bölgenin fiziki koşullarına (yağış tipi ve süresi, buharlaşma süresi, toprak nemi oranı, bölge eğimi vb.) bağlıdır. Ayrıca iklim değişikliği gibi önemli bir konunun çalışılması ve araştırılması için bu metotlar önemli rol üstlenirler.

Climate Research Unit'ten alınan 1901-2015 yılları arasındaki uydu görüntülerinin dağıtılması ile işlenmiş aylık yağışın piksel verileri sayesinde koordinat bazlı yağış miktarları SPI analizinde ve daha sonrasında Theil-Sen Eğim Tahmini testinde kullanılmıştır. 1368 aylık veri seti geçmişe yönelik (1901 yılına kadar) türetilmiştir.

3.1. Standart Yağış İndeksi (SPI)

Standart Yağış İndeksi (SPI), belirlenen zaman dilimi içinde yağışın ortalamadan olan farkının standart sapmaya bölünmesi ile elde edilir (McKee, vd., 1993). Standart Yağış İndeksi yöntemi yer altı suları, yüzey suları, rezervuar hazneleri ve toprak nemi gibi bütün su kaynakları ile ilgilenir. Farklı su kaynaklarının yönetimi ve

izlenmesi belirli bir zaman ölçeğinde değerlendirilmesi Standart Yağış İndeksi yönteminin ana mantığı olarak kabul edilebilir.

SPI metodu ile kuraklık değişimleri analizi yapılabileceğine örnek olması açısından SPI uygulama yazılımı geliştirilmiştir. Bu yazılım sayesinde tek yada çoklu istasyon seçeneği ile aylık toplam yağış verileri kullanılarak geçmiş yıllara ait kuraklık analizi yapılabileceği gibi, ileriye dönük kuraklık tahmini de yapılabilmekte ve farklı kategorilerde kuraklık oluşumlarını sağlayan kritik yağış değerleri elde edilebilmektedir. Program istenilen istasyon için 1, 3, 6, 12 ve 24 ay bazında bunların herhangi bir kombinasyonu için kuraklık indeksinin zaman ve yüzde oluşumunu hesaplayabilmekte ve aynı zamanda farklı kuraklık şiddeti kategorilerinde analize imkan vermektedir (World Meteorological Organization, 2012).

$$SPI = (X_i - X)/\sigma \quad (3.1)$$

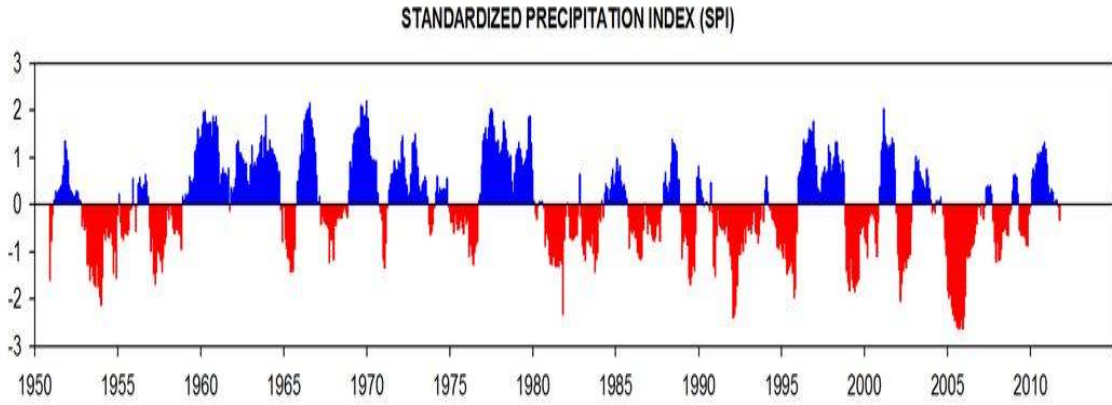
Burada; *SPI* standart yağış indeksi, X_i aktüel yağış miktarı (mm) , X ortalama yağış miktarı (mm), σ standart sapma değeridir.

Tablo 3.1. *SPI metoduna göre indeks değerleri ve sınıflandırma (McKee vd., 1993)*

SPI İNDİS DEĞERLERİ	SINIFLANDIRMA	CLASSIFICATION
2.0 ve fazla	Olağanüstü Nemli	ExceptionallyMoist
1.60 ile 1.99	Aşırı Nemli	ExtremelyMoist
1.30 ile 1.59	Çok Nemli	VeryMoist
0.80 ile 1.29	Orta Nemli	ModeratelyMoist
0.51 ile 0.79	Hafif Nemli	AbnormallyMoist
0.50 ile -0.50	Normal Civarı	Near Normal
-0.51 ile -0.79	Hafif Kurak	AbnormallyDry
-0.80 ile -1.29	Orta Kurak	ModeratelyDry
-1.30 ile -1.59	Şiddetli Kurak	SeverelyDry
-1.60 ile -1.99	Çok Şiddetli Kurak	ExtremelyDry
-2.0 ve düşük	Olağanüstü Kurak	ExceptionallyDry

SPI, gelecekteki kuraklık koşullarında sıcaklık artışını hesaplamaya dâhil etmeyen bir yöntemdir. Bu yüzden sıcaklık değişkenliği ve ısı dalgalarının rolünü açıklamaz. Son 200 yıllık dönemde sıcaklıklarda belirgin bir artış (0.5°C - 2.0°C) görülmektedir. Sıcaklık artışının ilerleyen yıllarda artarak devam edeceği ve buharlaşma sebebi ile kuraklık koşullarının daha ağır geçebileceği tahmin edilmektedir.

SPI değerleri dikkate alınarak yapılan bir kuraklık değerlendirmesinde indeksin sürekli olarak negatif olduğu zaman periyodu kurak dönem olarak tanımlanır. İndeksin sıfırın altına ilk düştüğü dönem kuraklığın başlangıcı olarak kabul edilirken, indeksin pozitif değere yükseldiği ay kuraklığın bitimi olarak değerlendirilir (McKee, vd., 1994).



Şekil 3.1. 1950-2015 yılları arasında yapılan SPI analiz çalışması örneği (<http-5>)

Ayrıca ülkemizde Kuraklık İzleme Sistemi Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından kurulmuştur ve günümüzde bu sistem sanal ortamda SPI hesaplarına göre 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık dönemlere göre sonuçları göstermektedir (<http-7>).

1 aylık bir SPI haritası, 30 günlük bir süre için normal yağış yüzdesini gösteren bir haritaya çok benzemektedir. Aslında türetilmiş SPI, dağılım normalleştirildiği için aylık yağışların daha doğru bir temsildir (World Meteorological Organization, 2012).

3 aylık SPI, 3 aylık periyottaki yağışların, tarihsel kayıtlardaki tüm yıllar boyunca aynı 3 aylık dönemdeki toplam yağışlarla karşılaştırılmasını sağlar. Her yıl veri eklenir, kayıt dönemine bir yıl daha eklenir, böylece tüm yıllardan gelen değerler tekrar kullanılır. 3 aylık bir SPI, kısa ve orta vadeli nem koşullarını yansıtır ve mevsimsel yağış tahminini sağlar. Birincil tarım bölgelerinde, 3 aylık bir SPI, mevcut nem koşullarını vurgulamak için yavaş yanıt veren Palmer Kuraklık İndeksi veya mevcut diğer

hidrolojik endekslerden daha etkili olabilir. 3 aylık SPI'yı daha uzun zaman ölçekleriyle karşılaştırmak önemlidir. Daha uzun zaman çizelgelerine bakmak, aslında sadece nemli bir dönem olduğu zaman bir kuraklığın bitebileceğine inanan yanlış yorumlamayı engelleyebilir. Kuraklıkların ne zaman başlayıp biteceğini belirlemek için sürekli kuraklık izleme şarttır (World Meteorological Organization, 2012).

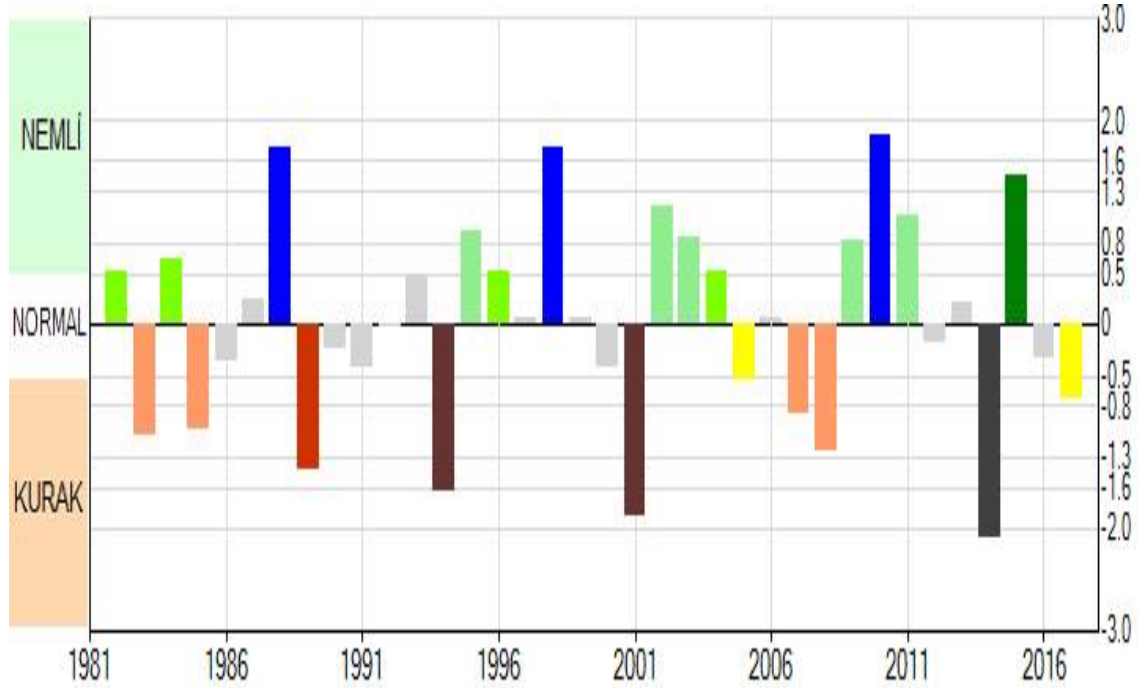
6 aylık SPI, mevsimsel ve orta vadeli eğilimlerin yağışla ilgili olduğunu göstermektedir ve bu ölçekteki koşullara hala Palmer Kuraklık İndeksinden daha duyarlı olduğu düşünülmektedir. 6 aylık bir SPI, farklı mevsimlerdeki yağışları göstermede çok etkili olabilir. 6 aylık bir SPI'dan alınan bilgiler, bölgeye ve yılın zamanına bağlı olarak, anormal akış ve rezervuar seviyeleriyle de ilişkilendirilmeye başlayabilir (World Meteorological Organization, 2012).

9 aylık SPI, belirli bir zaman dilimi boyunca mevsimsel yağış modellerinin bir göstergesidir. Kuraklık, bir sezon veya daha fazla sürede görülür. Bu zaman dilimleri için -1,5'in altındaki SPI indis değerleri genellikle kuraklığın tarım üzerinde önemli bir etkisi olduğunu ve diğer sektörleri de etkileyebileceğini gösterir. Palmer Kuraklık İndeksi haritasının görüntülediği paternin 9 aylık SPI haritaları ile yakından ilişkili olduğu görülebilir. Bu zaman periyodu, kısa süreli mevsimsel kuraklığın, doğada hidrolojik veya çok yıllık hale gelebilecek uzun vadeli kuraklıklara doğru gittiğini gösterir (World Meteorological Organization, 2012).

12 aylıktan 24 aya kadar SPI, uzun vadeli yağış durumlarını belirtir. 12 aylık bir SPI, 12 ay ardışık görülen yağışların mevcut verilerinin önceki tüm yıllarda aynı 12 ay boyunca kaydedilenlerle karşılaştırılmasıdır. Bu zaman ölçekleri normalin üstünde veya altında olabilecek daha kısa periyotların kümülatif sonucu olduğu için, daha uzun SPI'lar, belirgin bir nemli veya kuru eğilim olmazsa, sıfıra doğru eğimlidirler. 12 ay ile 24 ay arasındaki SPI değerleri yüzey akışlarına, rezervuar seviyelerine ve hatta yeraltı su seviyesine bağlıdır. Bazı yerlerde, 12 aylıktan 24 aya kadar SPI, Palmer Kuraklık İndeksi ile yakından ilişkilidir ve iki gösterge benzer koşulları yansıtabilir (World Meteorological Organization, 2012).

Ülkemizde Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından oluşturulan kuraklık izleme sistemi bulunmaktadır. Bu sistem, SPI analiz metodunu kullanılarak aylık bazda her ayın ilk haftasında güncellenen veriler ile kurak ve nemli dönemler hakkında tüm Türkiye'de veya bölgesel olarak bilgi vermektedir. Sistem en az 30 yıllık verisi olan

yağış gözlem istasyonlarından veri olarak analiz yapmaktadır. Ayrıca analiz sonuçları grafiksel olarak yayınlanmaktadır. Şekil 3.2’de bu sistemin grafik sonucu verilmiştir.

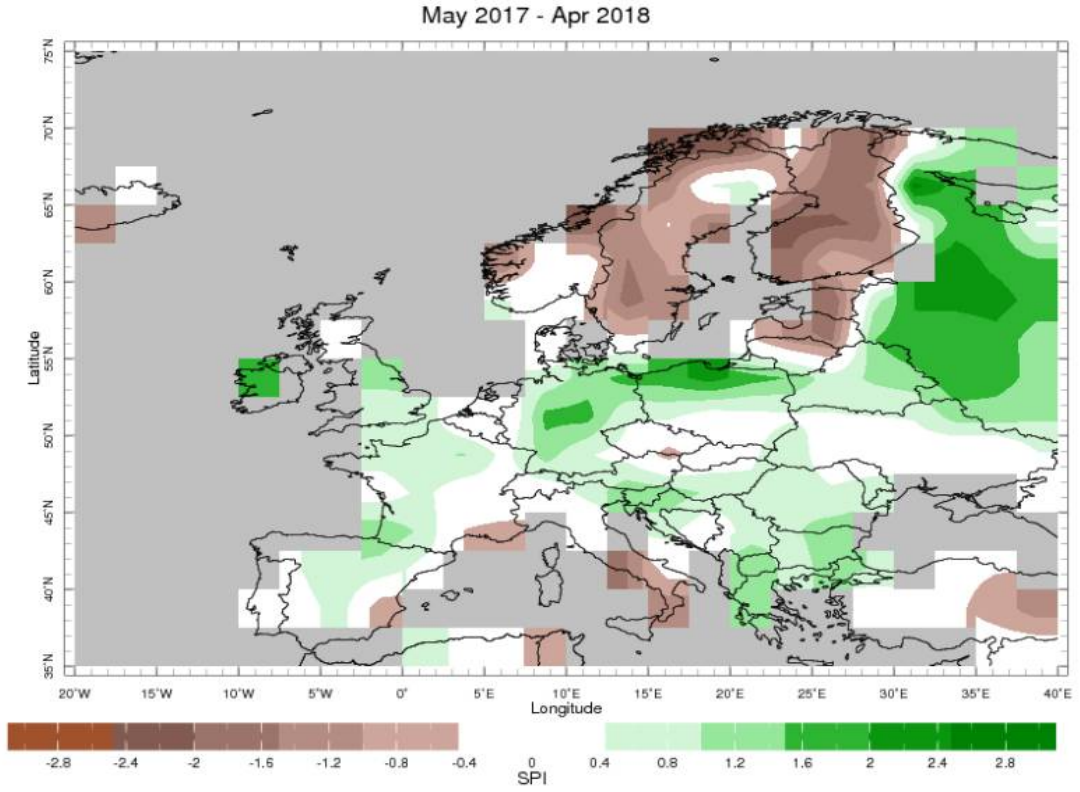


Şekil 3.2. Türkiye 12 aylık kuraklık grafiği (http-7)

En az 30 yıllık veriye sahip olan yağış istasyonlarından 1982 yılından itibaren alınan verilerle seçilen 3 ile 24 aylık periyotta, başlangıç ve bitiş dönemlerine göre nemli veya kurak dönem sayıları ve yüzdeleri de sistemde ayrıca belirtilmektedir.

Mayıs 2017 ve Nisan 2018 arasında 12 aylık dönem baz alındığında ülkemizin doğusunda Hafif Kurak (-0.51 ile -0.79), Orta Kurak (-0.80 ile -1.29) ve Şiddetli Kurak (-1.30 ile -1.59), Marmara bölgesinde Hafif Nemli (0.51 ile 0.79), Orta Nemli (0.80 ile 1.29) ve Çok Nemli (1.30 ile 1.59) kategorisinde bölgeler gözlenmektedir. Ülkemizin diğer bölgelerinde ise Normal Civarı (0.50 ile -0.50) indis değerleri gözlenmiştir. Ayrıca daha kısa süreli periyotlar ile üretilen haritalarda Ege Bölgesi'nde de Hafif Kurak bölgeler olduğu görülmektedir (http-7)

Avrupa'da Şekil 3.3'te görüldüğü gibi Kuzey Avrupa ve Güney Avrupa sahilleri dışında genel olarak nemli bölgelere rastlanmaktadır (http-8).



Şekil 3.3. 12 aylık periyot için Avrupa'da standart yağış indeksi değerleri (<http-8>)

3.2. Theil-Sen Eğim Tahmincisi

Theil – Sen eğim tahmincisi bir dizi noktaya sağlam bir çizginin yerleştirilmesi için parametrik olmayan bir testtir (Theil, 1950), (Sen, 1968). Test, örneklemdeki her bir çift nokta arasındaki çizginin eğimlerinin medyanını tanımlar. Theil-Sen testi şu şekilde tahmin edilir:

$$Q_i = \frac{y_j - y_k}{t_j - t_k} \quad i = 1, 2, 3, 4, 5, \dots, N \quad (5.6)$$

Burada y_j ve y_k , $t_j > t_k$ olduğu her zaman noktasında t_j ve t_k için geçerlidir ve yalnızca bir veri noktasının bulunduğu yerlerdeki gözlemlerdir.

$$N = n(n - 1)/2 \quad (5.7)$$

n , zaman noktalarının sayısıdır. Q_i eğimlerinin N değerlerini sıralamak için ($Q_1 \leq Q_2 \leq \dots \leq Q_N$) Sen tahmincisi (β_1) kullanılır.

$$\beta_1 = \left\{ \begin{array}{l} Q_{(N+1)/2} \\ \frac{1}{2}(Q_{N/2} + Q_{(N+2)/2}) \end{array} \right| \begin{array}{l} N \text{ tek ise} \\ N \text{ çift ise} \end{array} \right\} \quad (5.8)$$

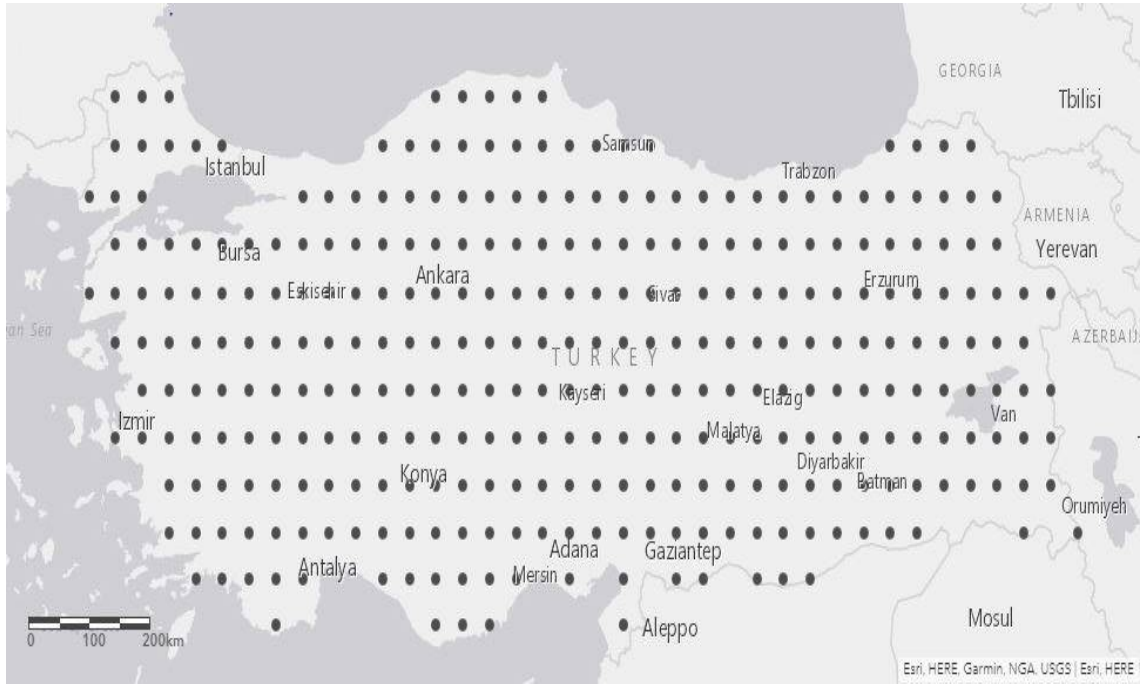
Bu test sayesinde bir olayın veya veri setinin istenilen dönemde durumunun ne trendi çıkarılabilir. Bu sayede dönemsel olaylara karşı önlem alınabilir. Test sonuçları ayarlanan aralığa göre 1,0 değerine yaklaşarak yükselmiş ise ilerleyen bir durum söz konusu olup önemlidir, 0,5 test değerine yaklaşan bir sonuçta ise muhtemel yükselişte ve önemlidir (Sen, 1968).

4. KURAKLIK ANALİZİ VE TARTIŞMA

4.1. Analiz

Analiz aşamasında 1901-2015 yılları arasında Climate Research Unit'ten (CRU) alınan 1368 aylık dünya yağış verilerinden Türkiye'nin coğrafi konumu kullanılarak 323 noktaya (36-42 Kuzey Paralelleri, 26-45 Doğu Meridyenleri arasında kara üzerinde bulunan noktalar 0,5 derecelik atış ile değişmekte olan noktalar) özgü veriler çıkarılmıştır (http-10).

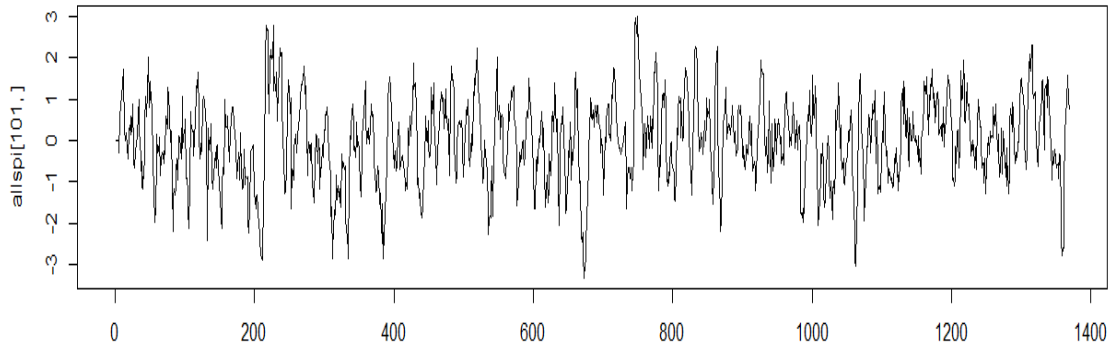
R Studio (Versiyon 1.1.456) yazılımının açık kaynaklı ve kütüphanesinde SPI ve trend analizi yöntemlerinin bulunmasından faydalanılarak bu 323 nokta için 6 aylık, 12 aylık ve 24 aylık SPI analizi yapılmıştır. Yapılan kuraklık analiz sonuçlarına göre noktaların denk geldiği iller ve bu illerin bağlı olduğu bölgeler belirlenmiştir (Şekil 4.1).



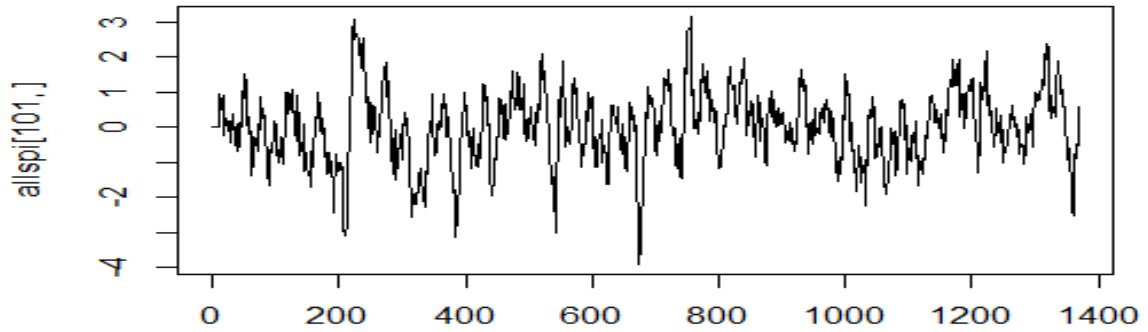
Şekil 4.1. Türkiye'nin yağış verilerinin alındığı koordinatlar

Trend sonuçları alınırken Theil-Sen Eğim Tahmini estimate değerleri belirlenmiştir. Sen Eğim Tahmini yönteminde eğimi anlamlı kılmak adına tahmin değeri 10^3 ile çarpılarak grafiklere eklenmiştir. Sen Eğim Tahmini değerleri ile Türkiye'nin yedi farklı bölgesi ve iller için 6 aylık trend ve 12 aylık trend grafikleri hazırlanmıştır.

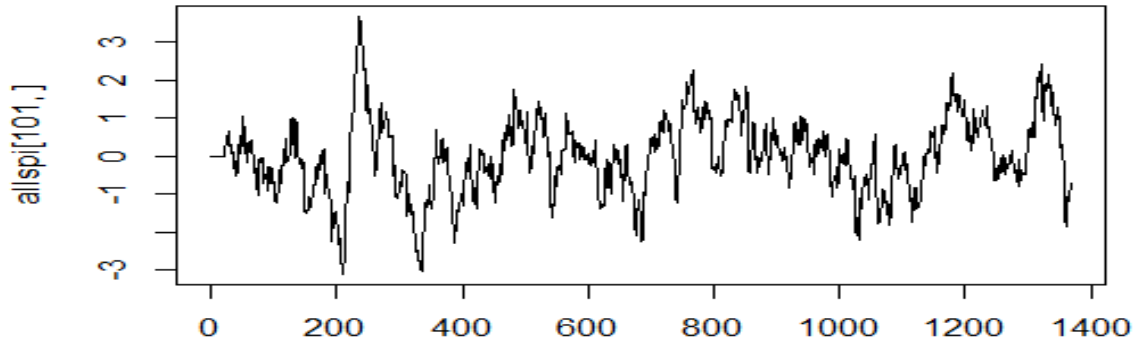
Yapılan modelleme ve analizi Eskişehir’de bir nokta özelinde incelersek 30,25 Kuzey Paraleli, 39,75 Doğu Meridyeni üzerinde bulunan Eskişehir 1 noktası (101’inci nokta) için Standart Yağış İndeksi’nin zamanla değişim grafiği Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’de verilmiştir. Ayrıca Sen Eğim Tahmini testindeki trend değeri de 6 aylık değerlendirme de 0,0002229938 olarak, 12 aylık değerlendirmede 0,0002923762 olarak, 24 aylık değerlendirmede ise 0,0004430961 olarak hesaplanmıştır.



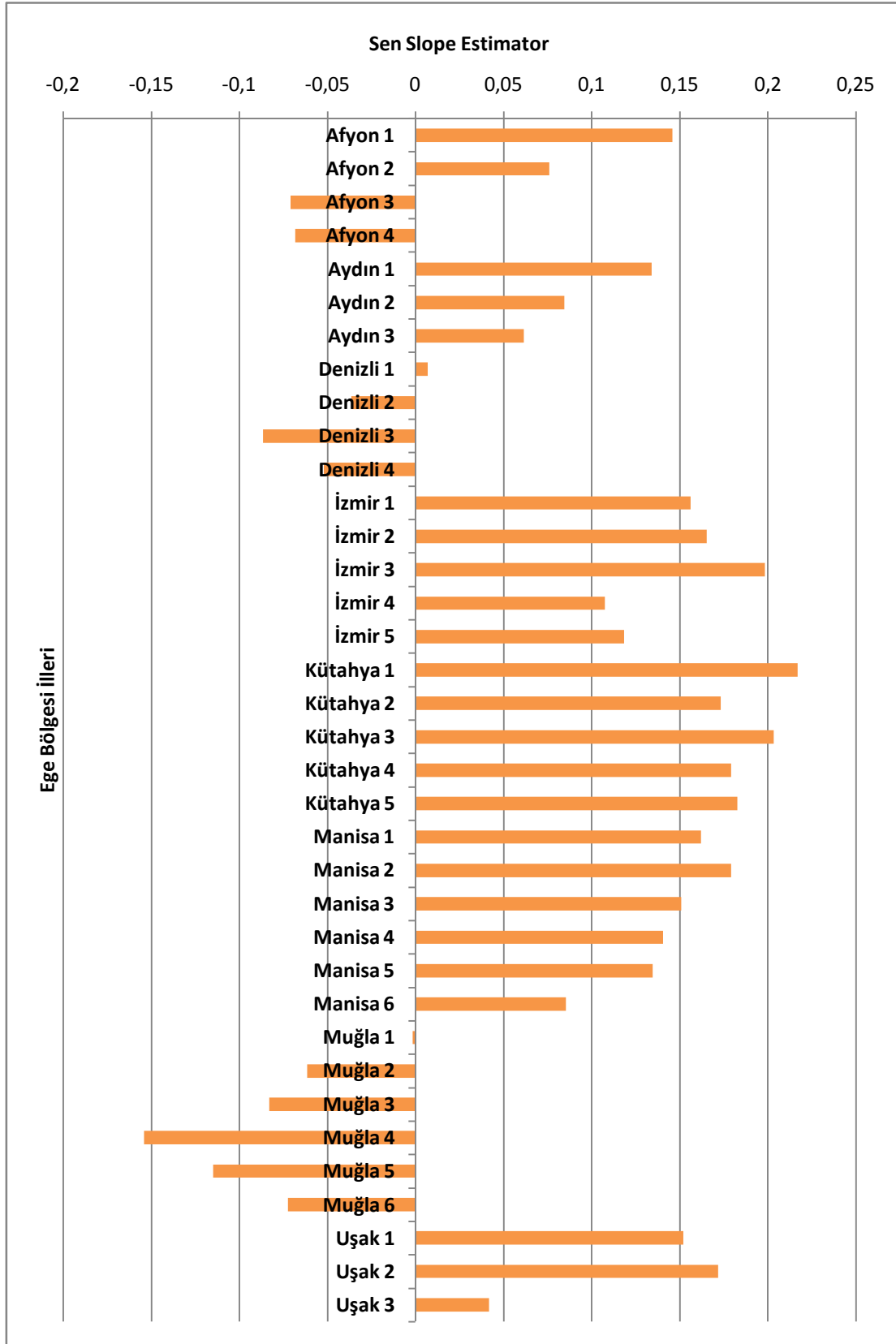
Şekil 4.2. Eskişehir'de 6 aylık Standart Yağış İndeksi'nin zamanla değişimi



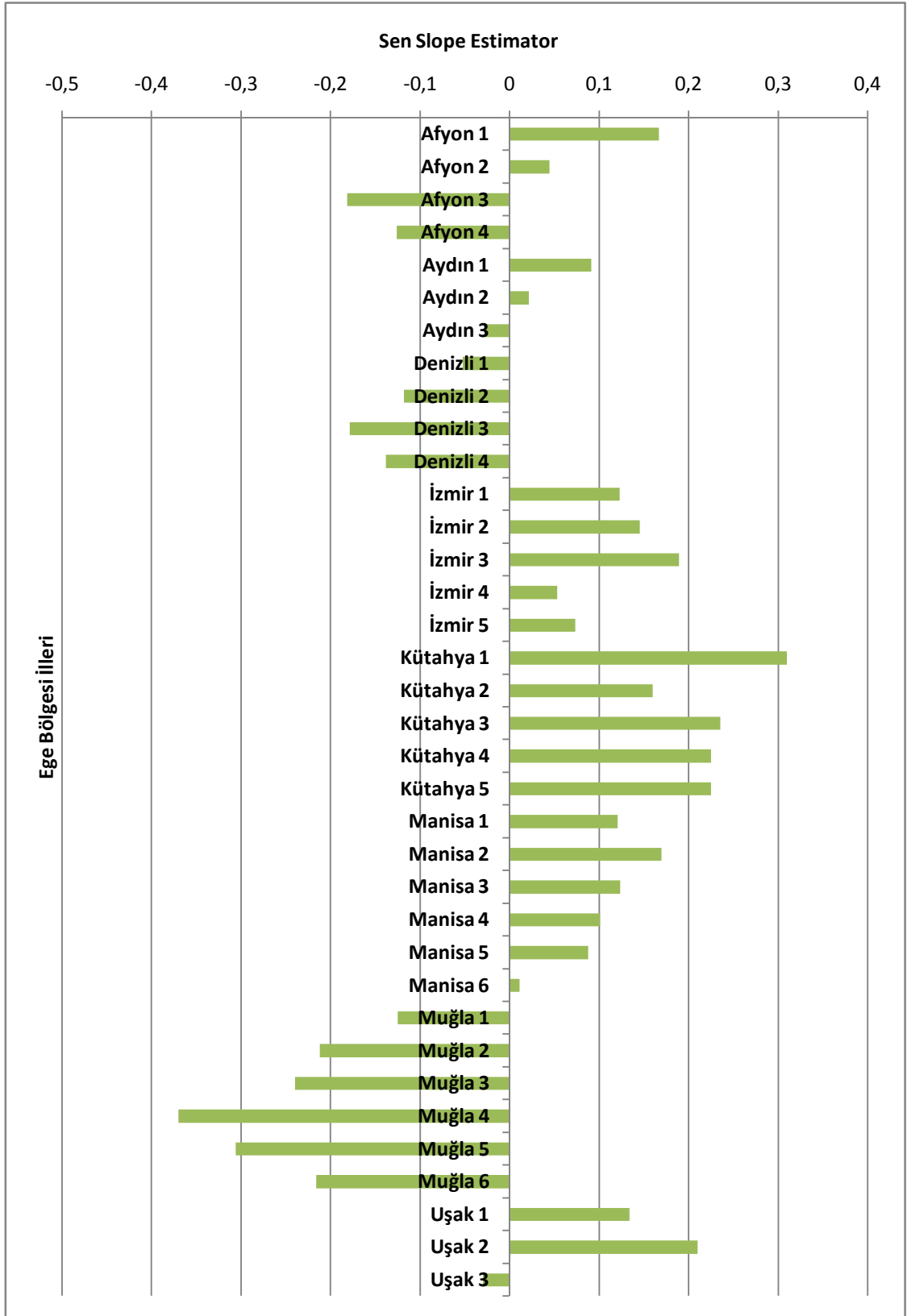
Şekil 4.3. Eskişehir'de 12 aylık Standart Yağış İndeksi'nin zamanla değişimi



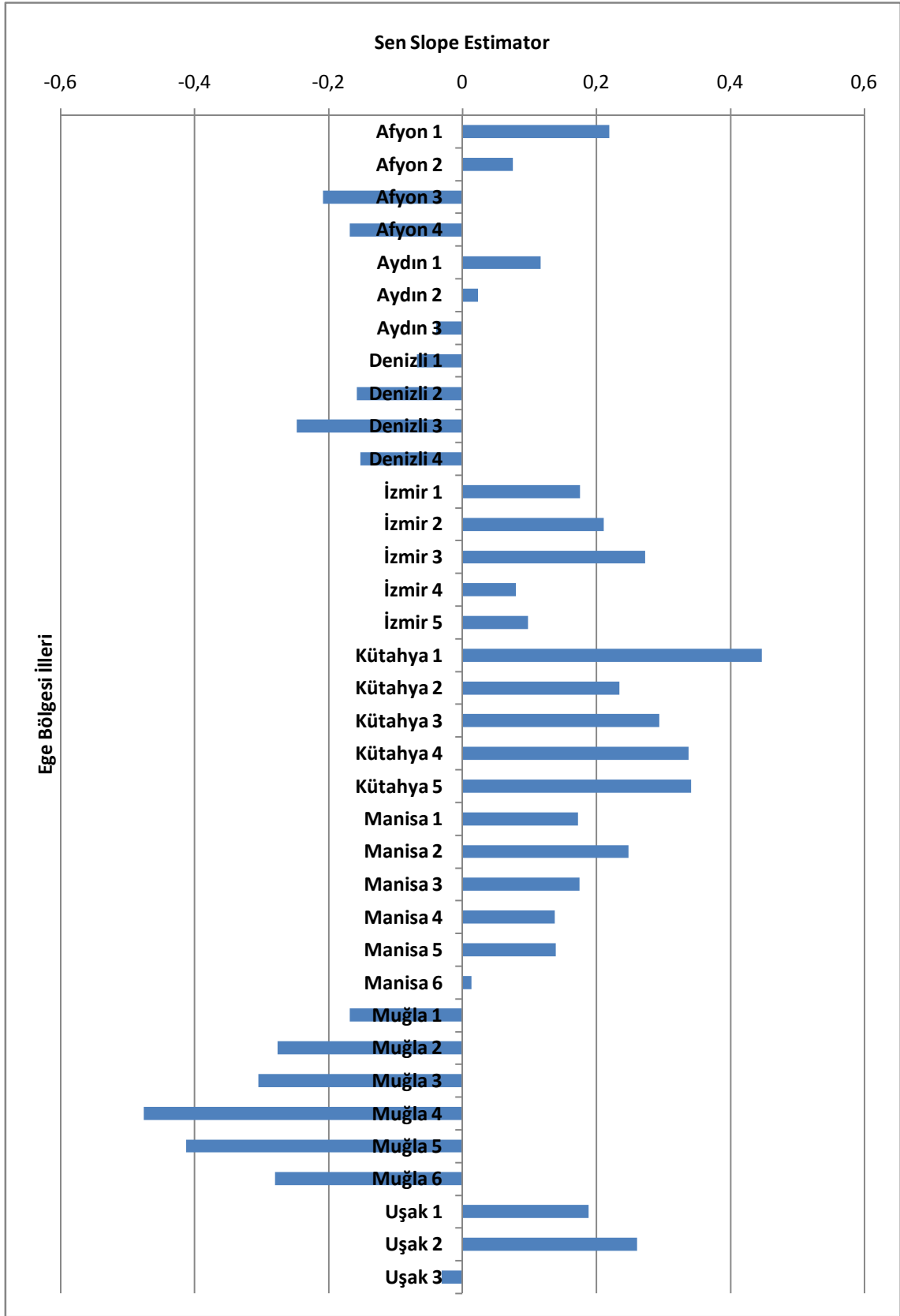
Şekil 4.4. Eskişehir'de 24 aylık Standart Yağış İndeksi'nin zamanla değişimi



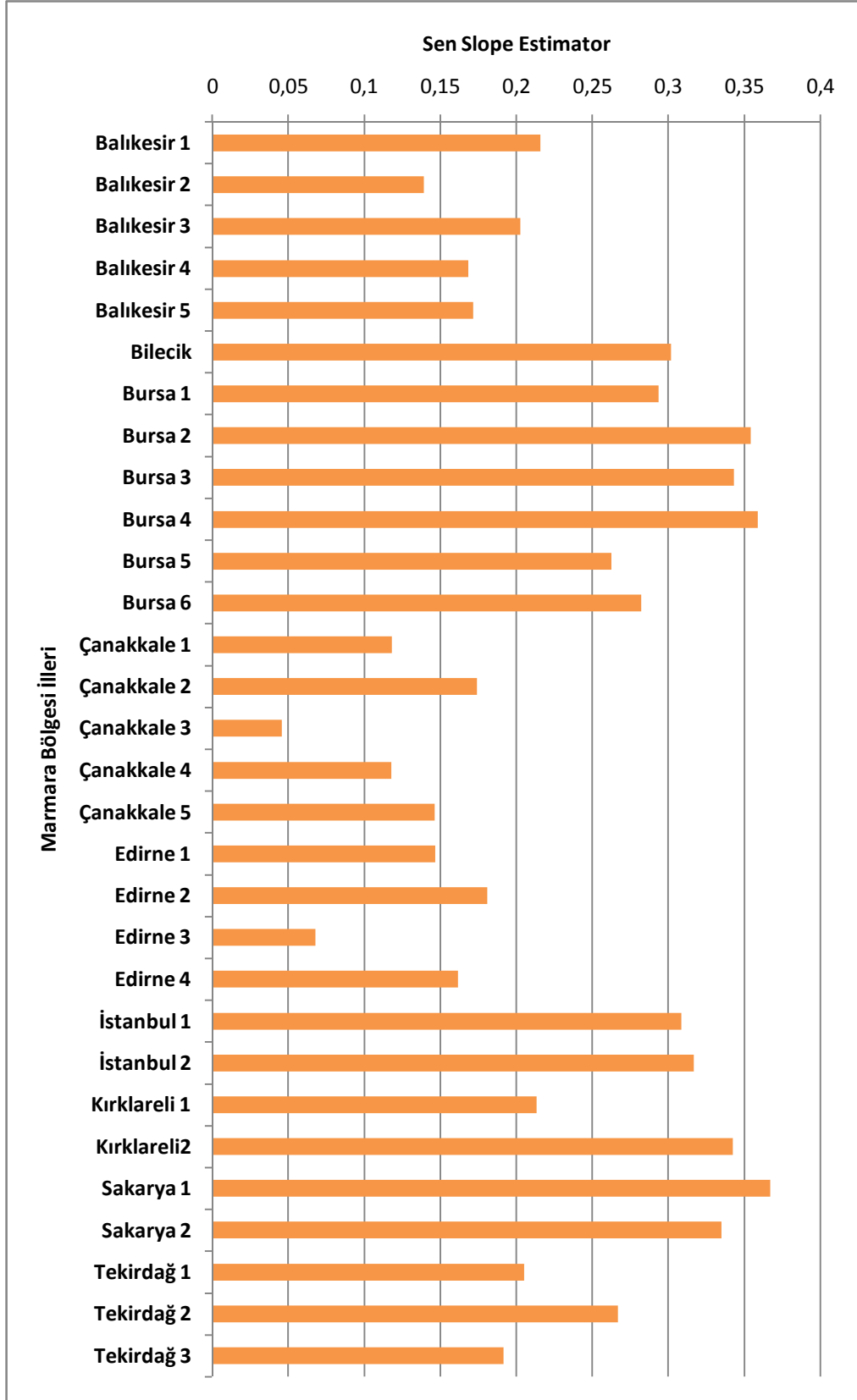
Şekil 4.5. Ege Bölgesi illerinin 6 aylık Sen Eğim Tahmini değerleri



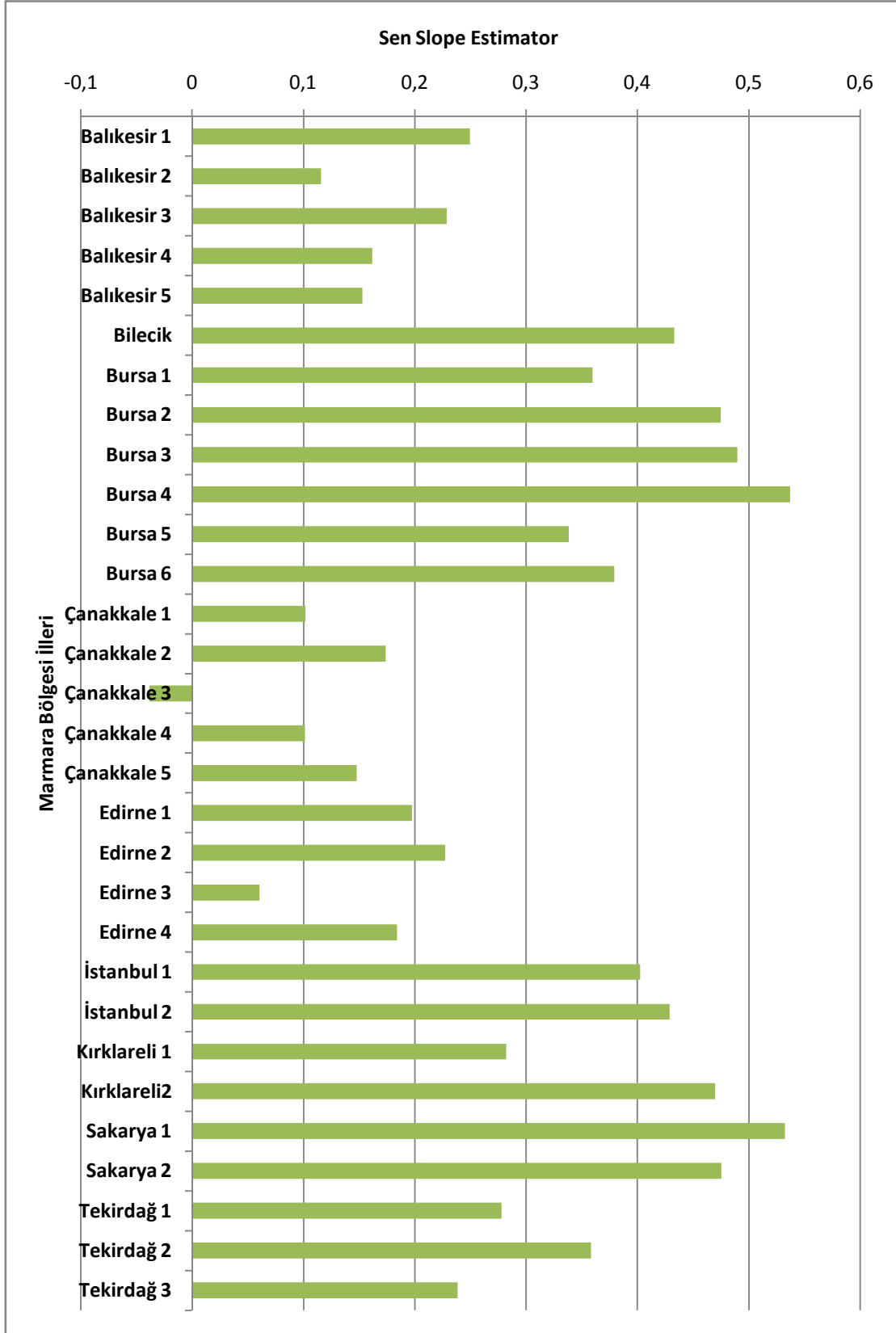
Şekil 4.6. Ege Bölgesi illerinin 12 aylık Sen Eğim Tahmini değerleri



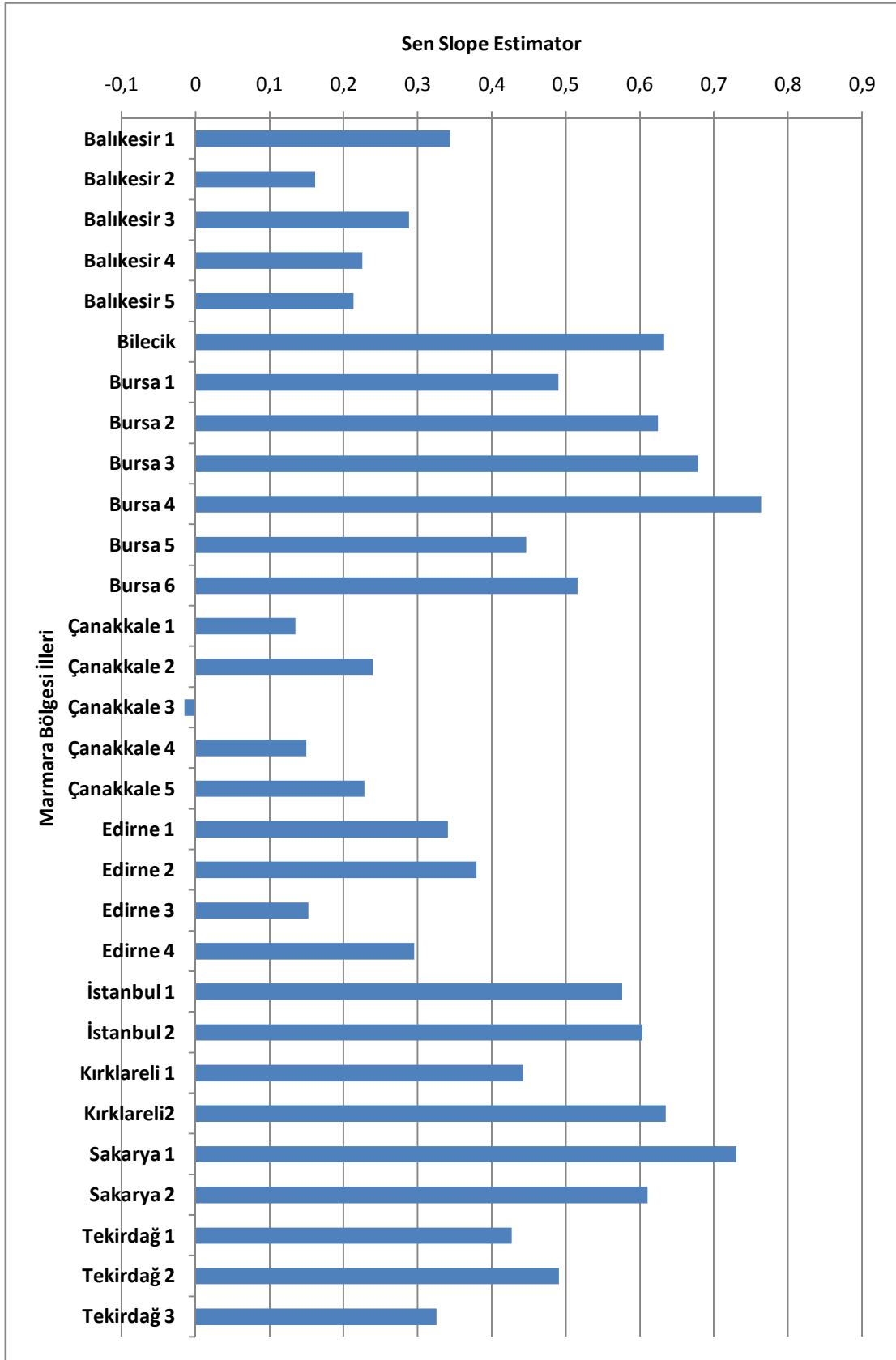
Şekil 4.7. Ege Bölgesi illerinin 24 aylık Sen Eğim Tahmini değerleri



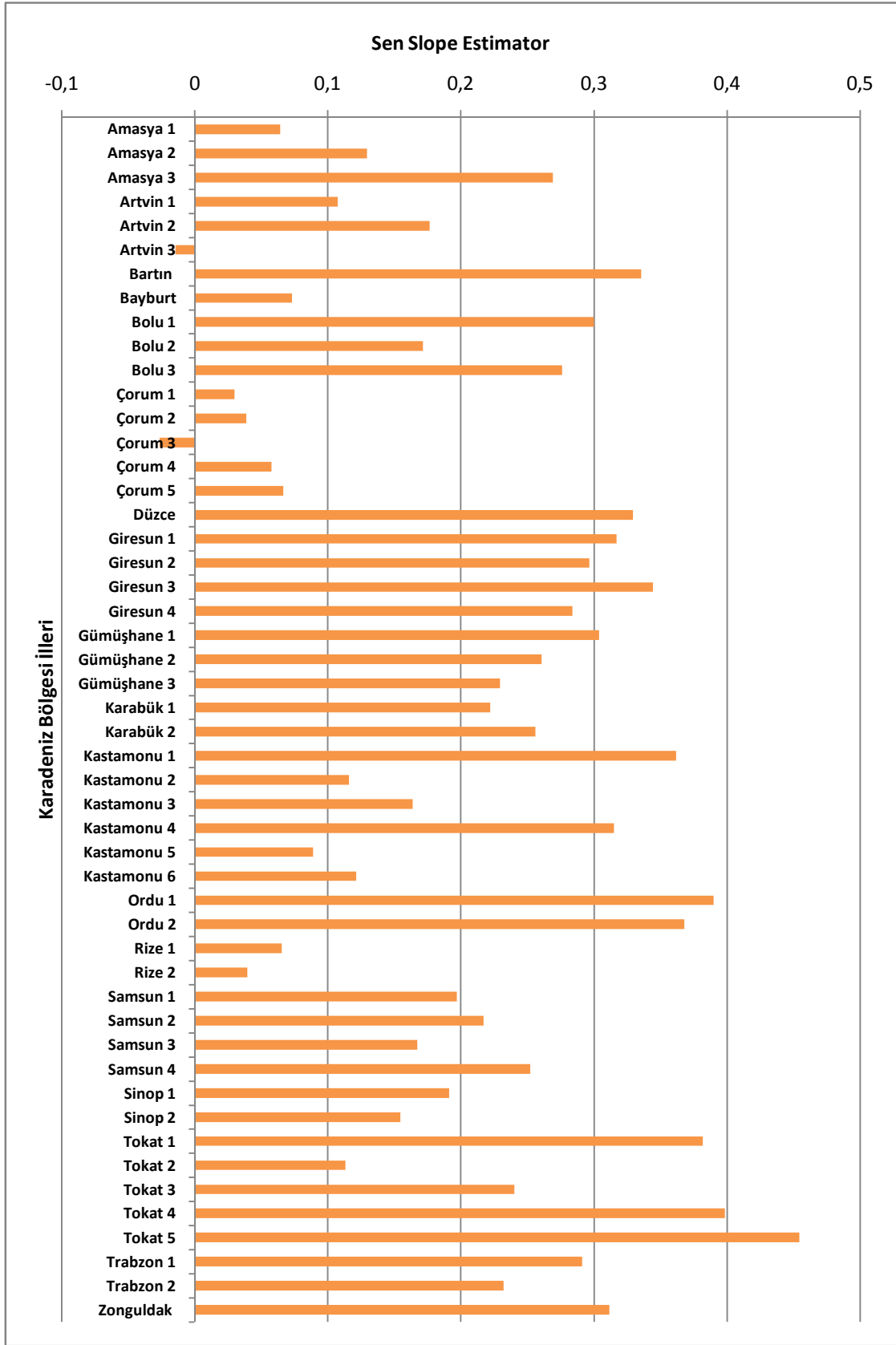
Şekil 4.8. Marmara Bölgesi illerinin 6 aylık Sen Eğim Tahmini değerleri



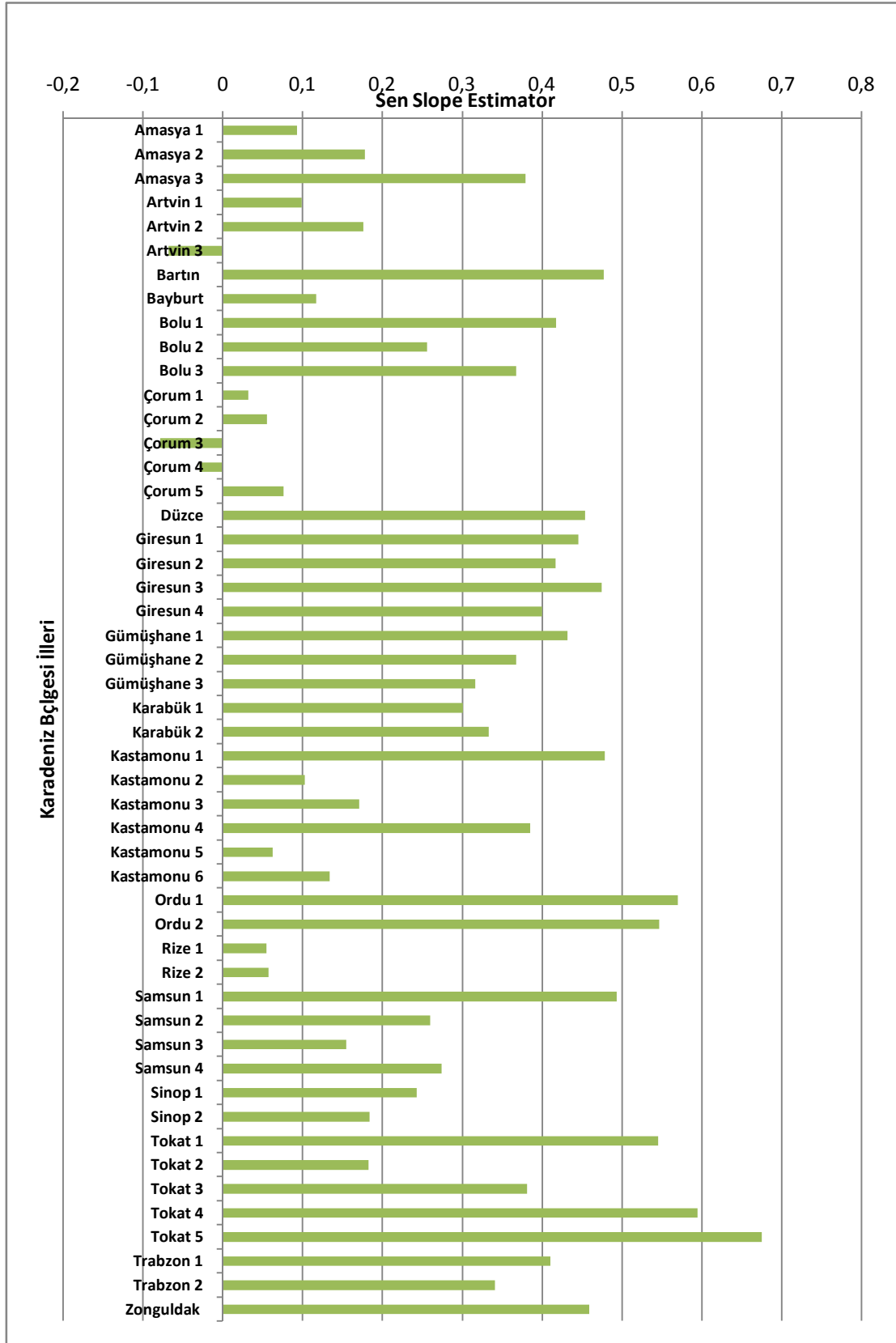
Şekil 4.9. Marmara Bölgesi illerinin 12 aylık Sen Eğim Tahmini değerleri



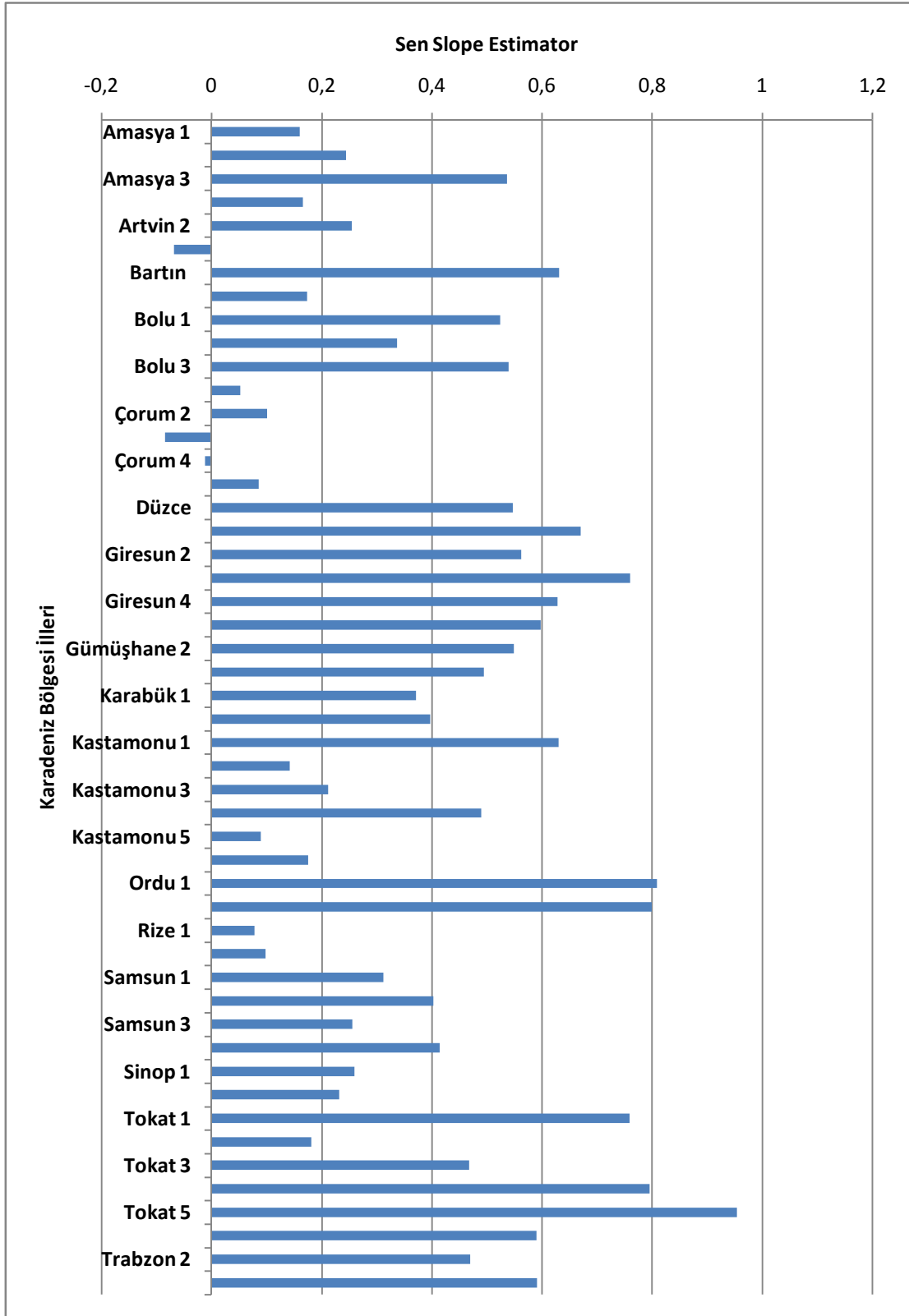
Şekil 4.10. Marmara Bölgesi illerinin 24 aylık Sen Eğim Tahmini değerleri



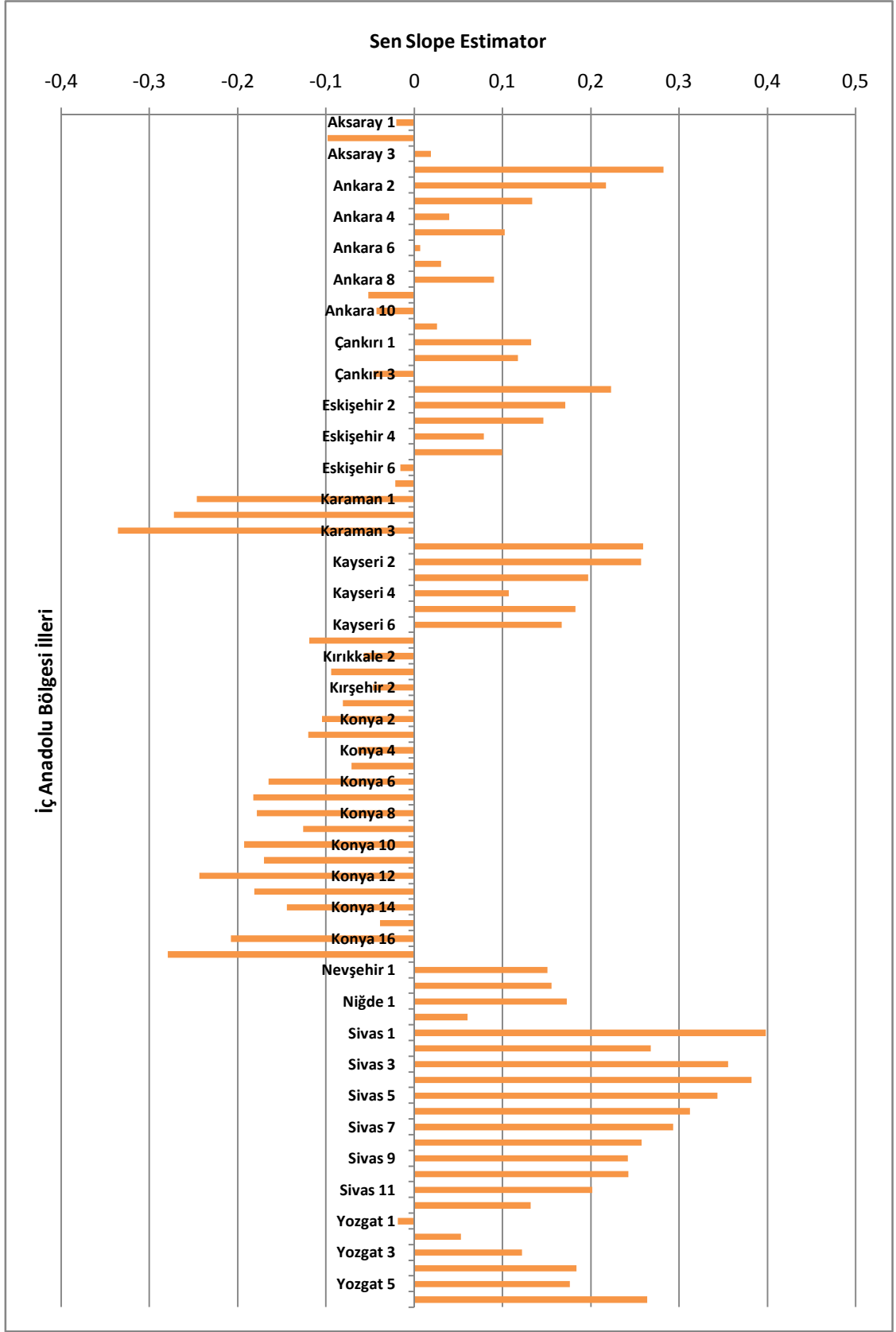
Şekil 4.11. Karadeniz Bölgesi illerinin 6 aylık Sen Eğim Tahmini değerleri



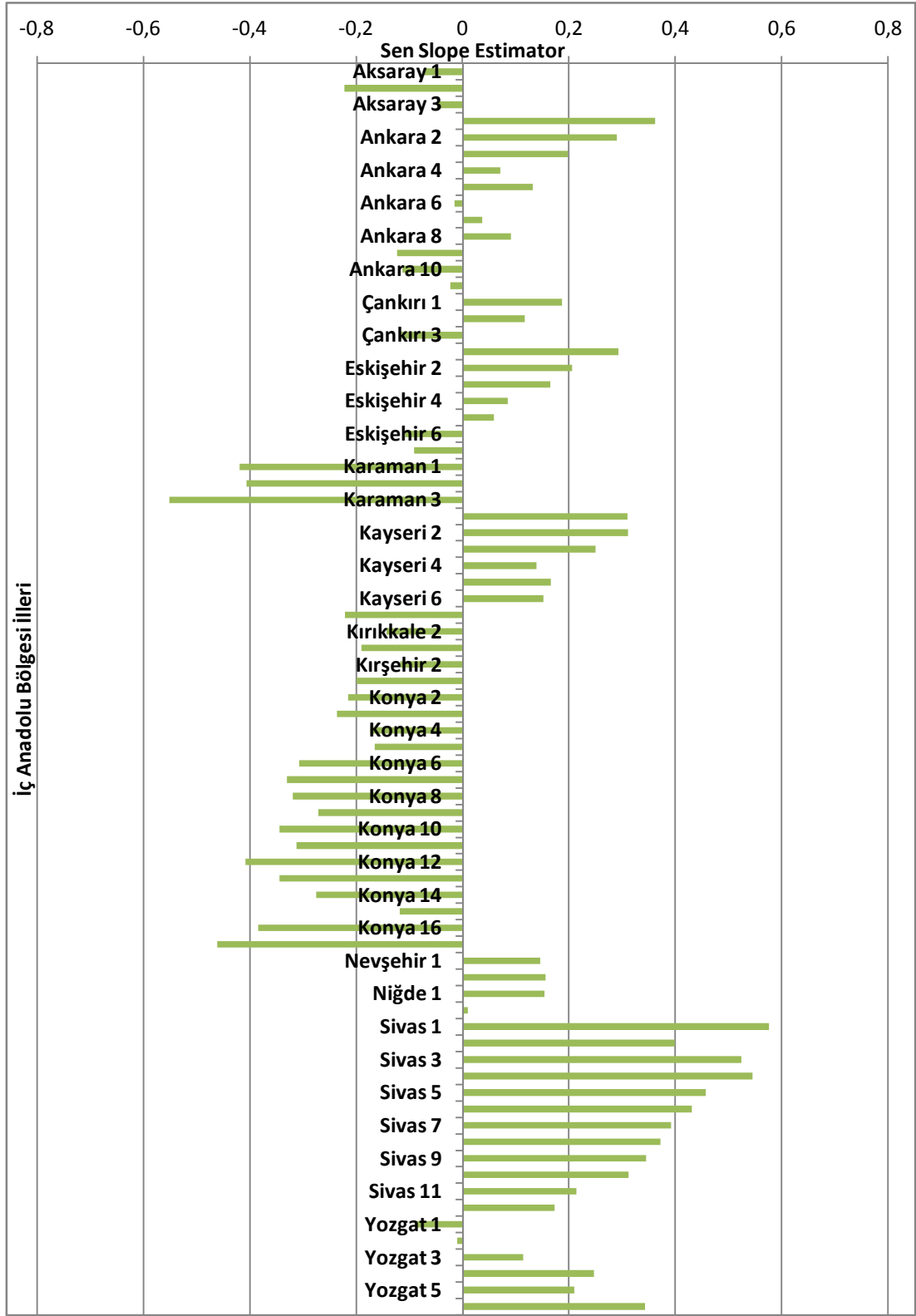
Şekil 4.12.Karadeniz Bölgesi illerinin 12 aylık Sen Eğim Tahmini değerleri



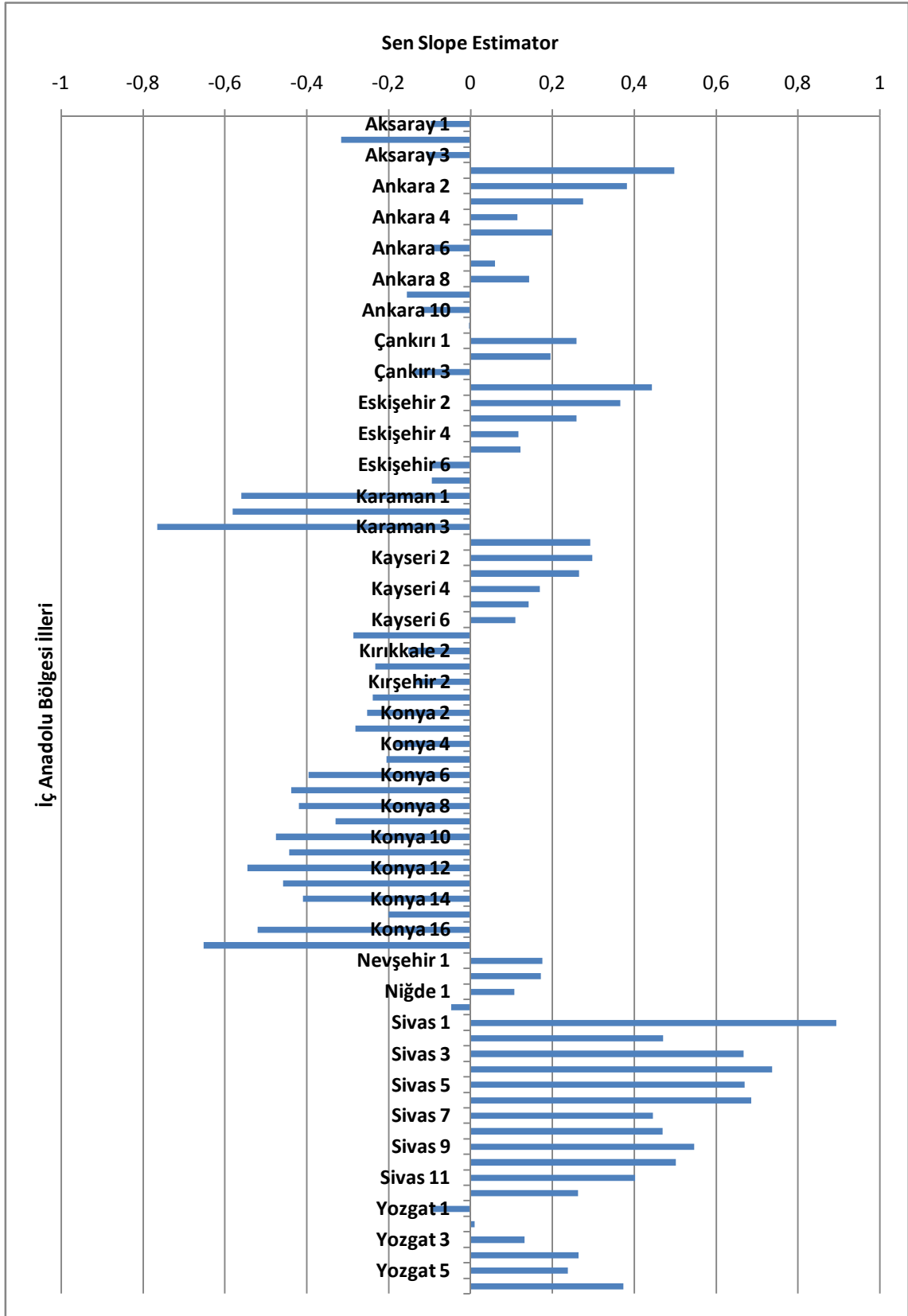
Şekil 4.13.Karadeniz Bölgesi illerinin 24 aylık Sen Eğim Tahmini değerleri



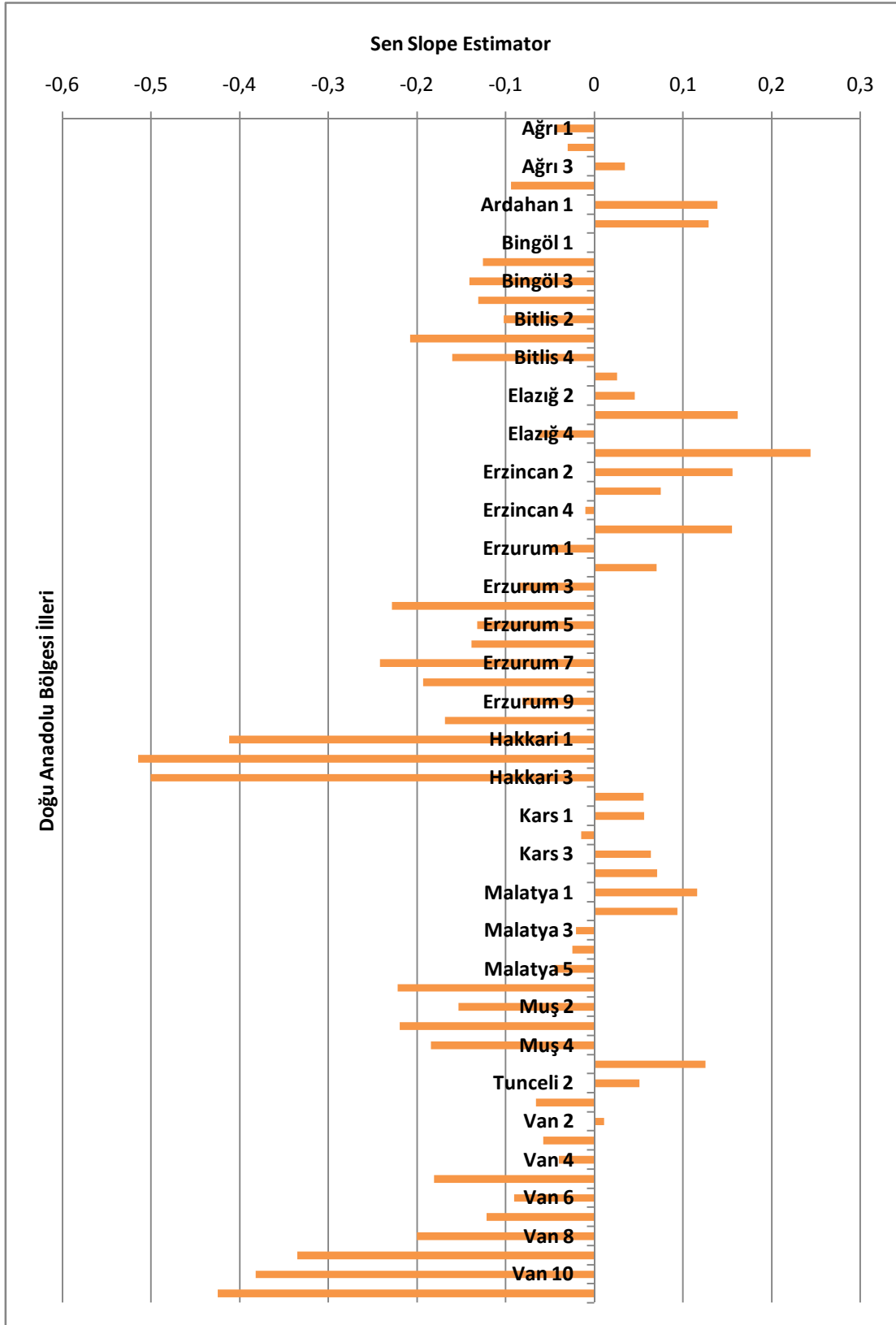
Şekil 4.14. İç Anadolu Bölgesi illerinin 6 aylık Sen Eğim Tahmini değerleri



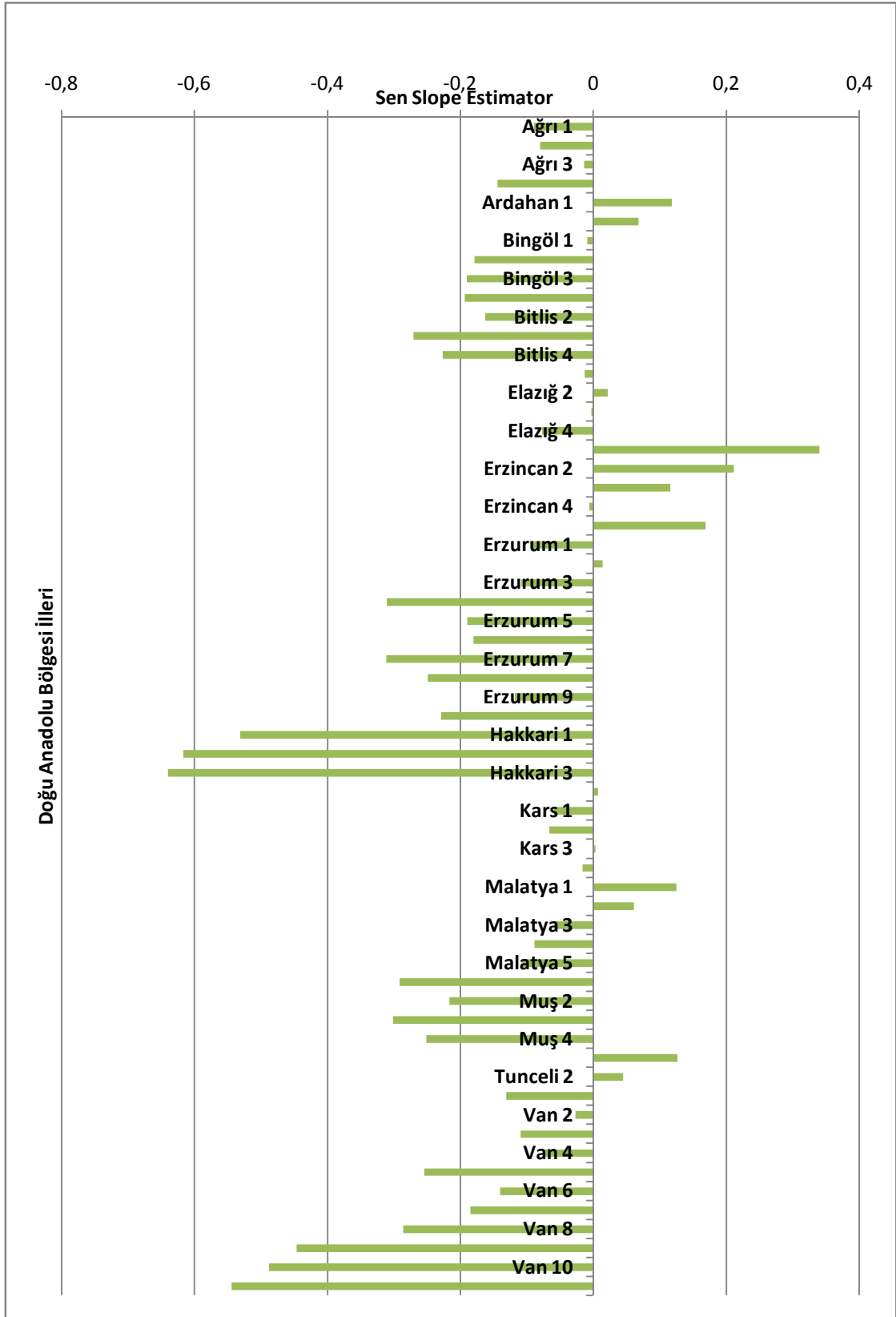
Şekil 4.15. İç Anadolu Bölgesi illerinin 12 aylık Sen Eğim Tahmini değerleri



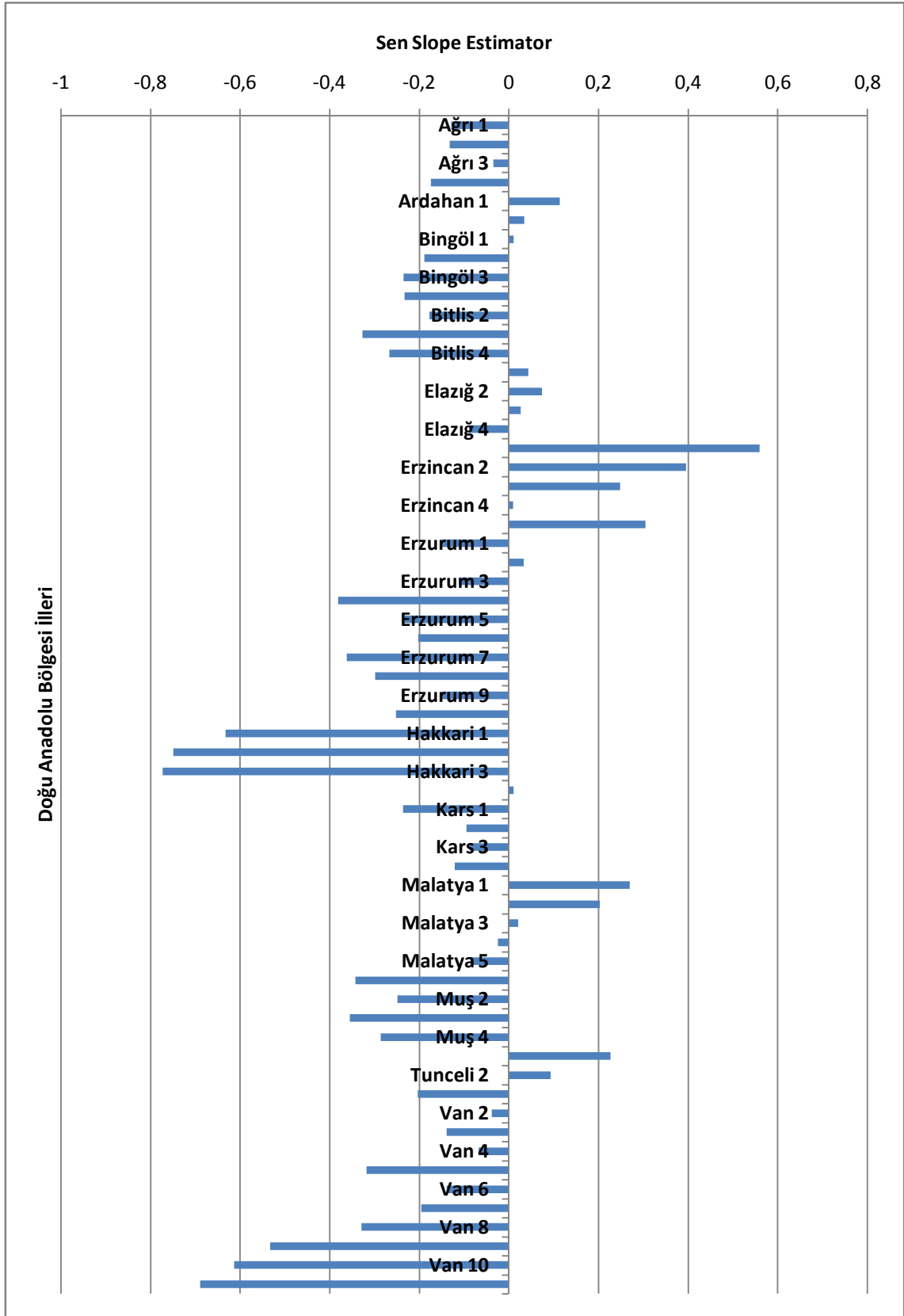
Şekil 4.16. İç Anadolu Bölgesi illerinin 24 aylık Sen Eğim Tahmini değerleri



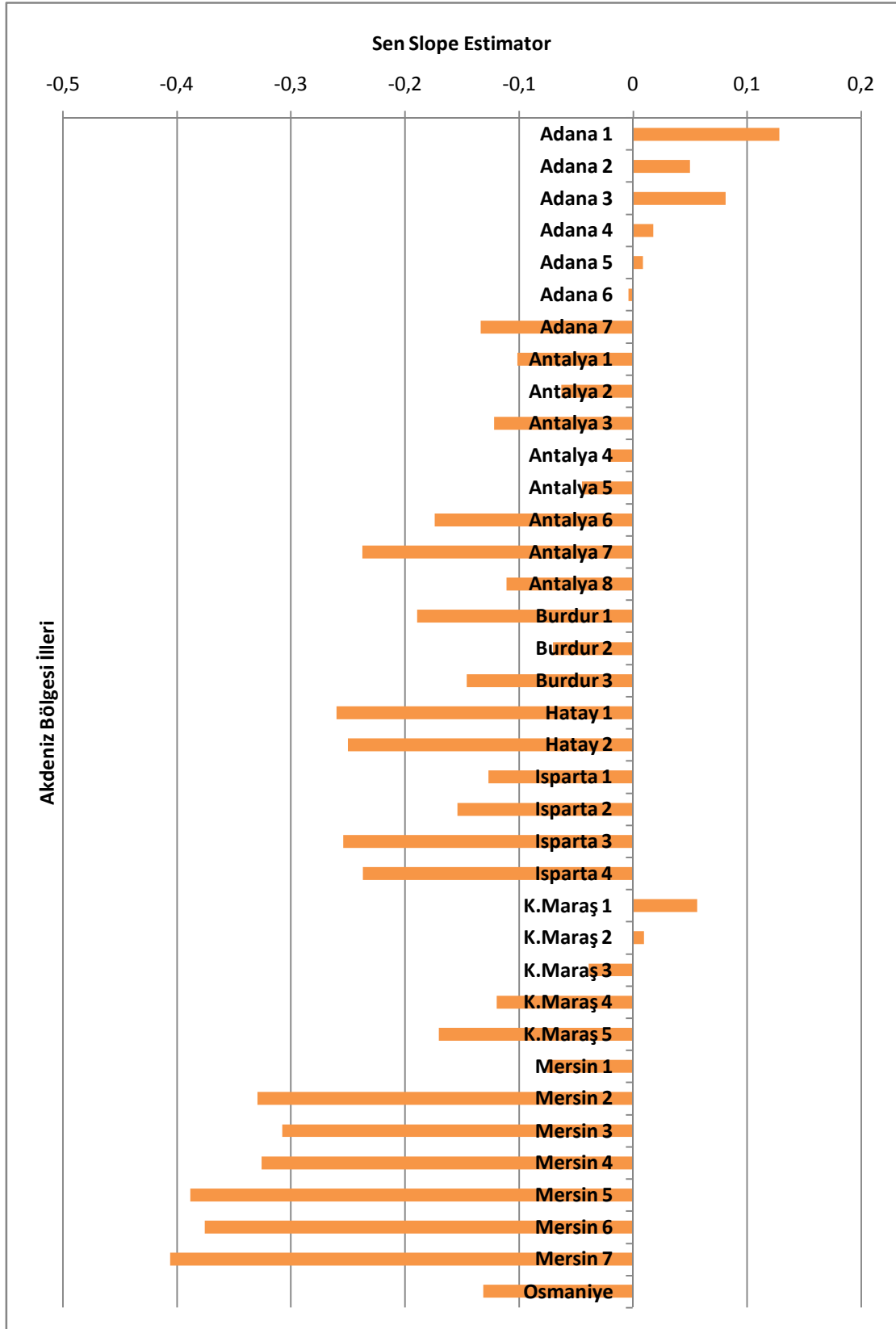
Şekil 4.17. *Doğu Anadolu Bölgesi illerinin 6 aylık Sen Eğim Tahmini değerleri*



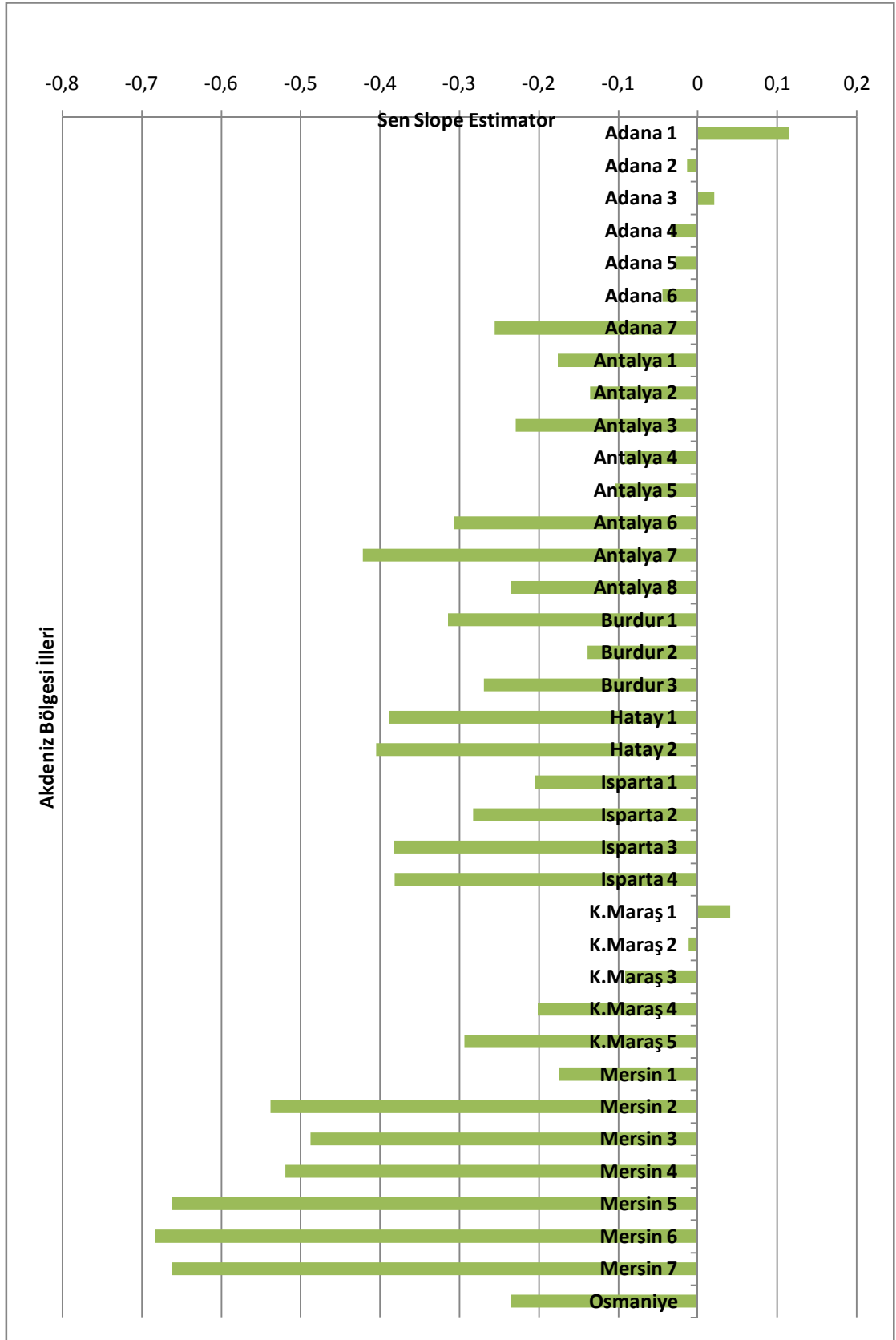
Şekil 4.18. Doğu Anadolu Bölgesi illerinin 12 aylık Sen Eğim Tahmini değerleri



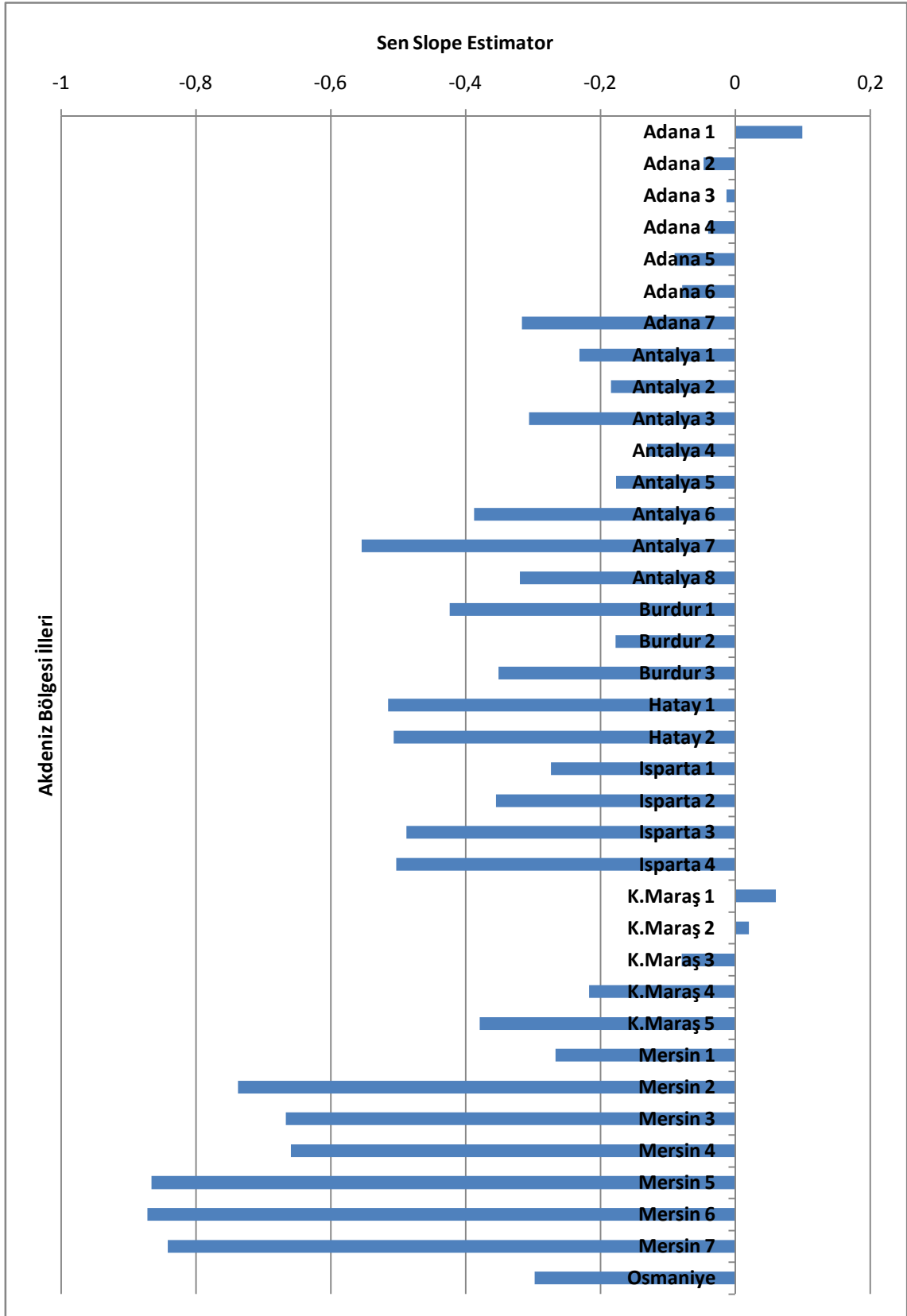
Şekil 4.19. Doğu Anadolu Bölgesi illerinin 24 aylık Sen Eğim Tahmini değerleri



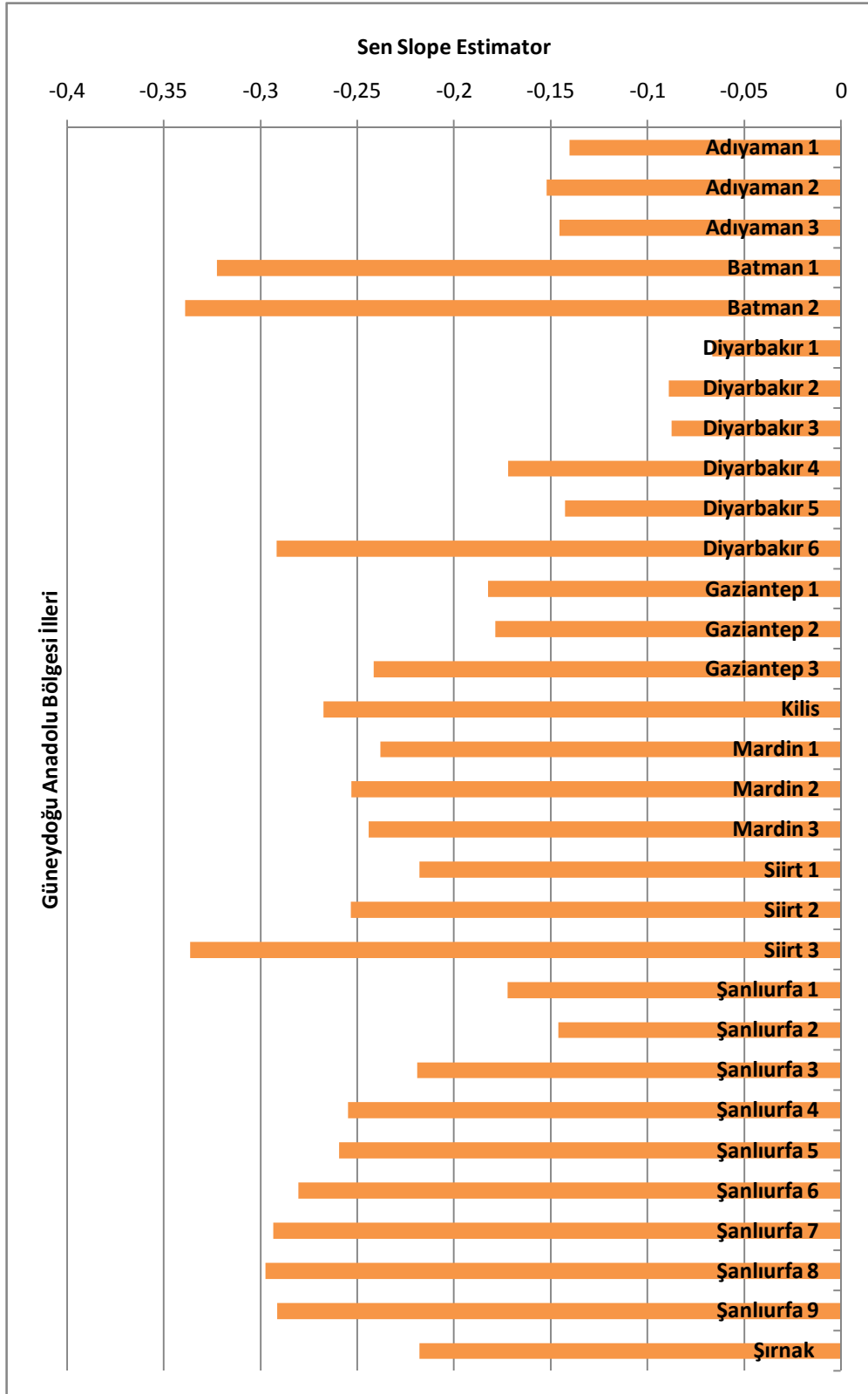
Şekil 4.20. Akdeniz Bölgesi illerinin 6 aylık Sen Eğim Tahmini değerleri



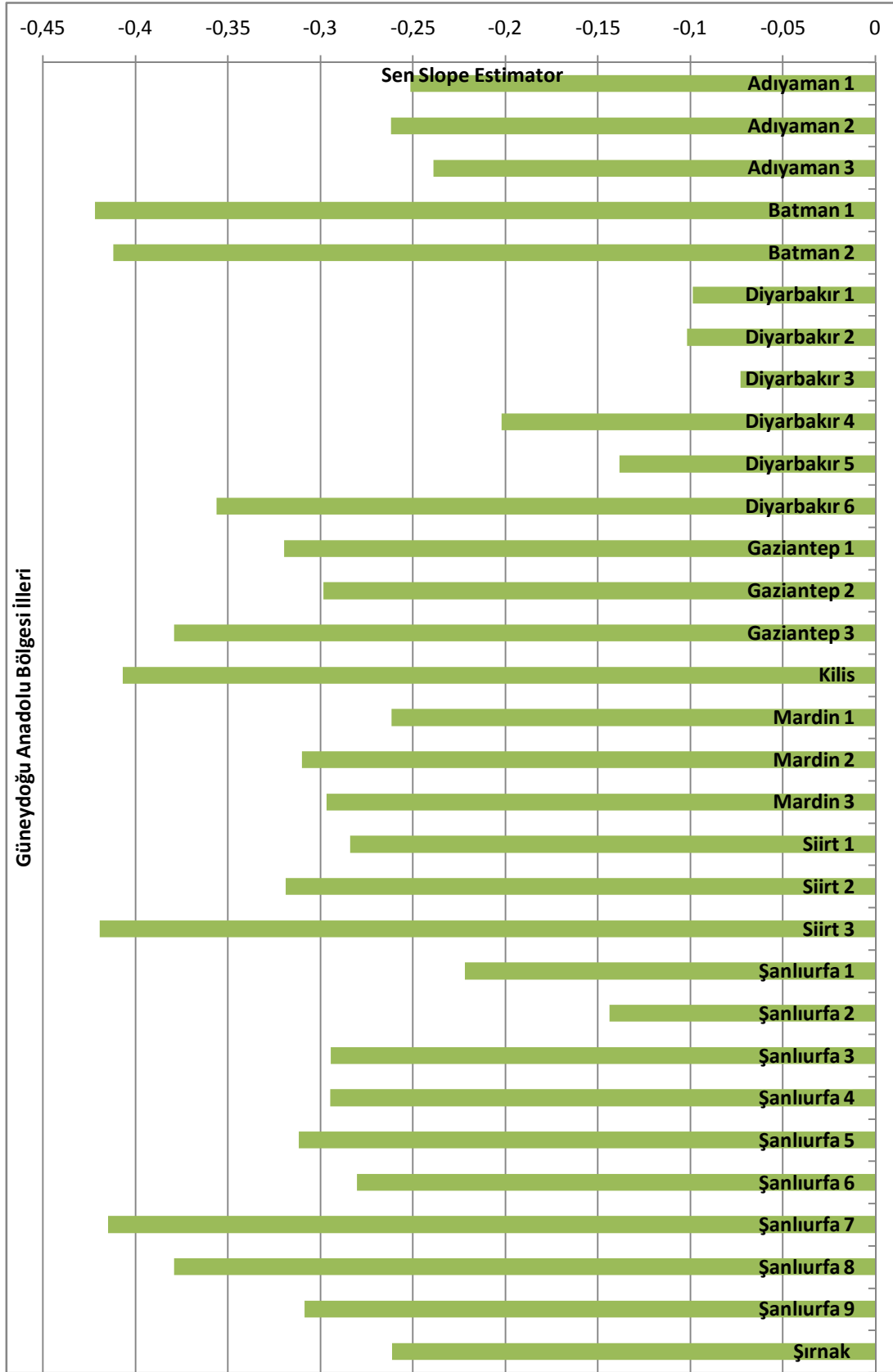
Şekil 4.21. Akdeniz Bölgesi illerinin 12 aylık Sen Eğim Tahmini değerleri



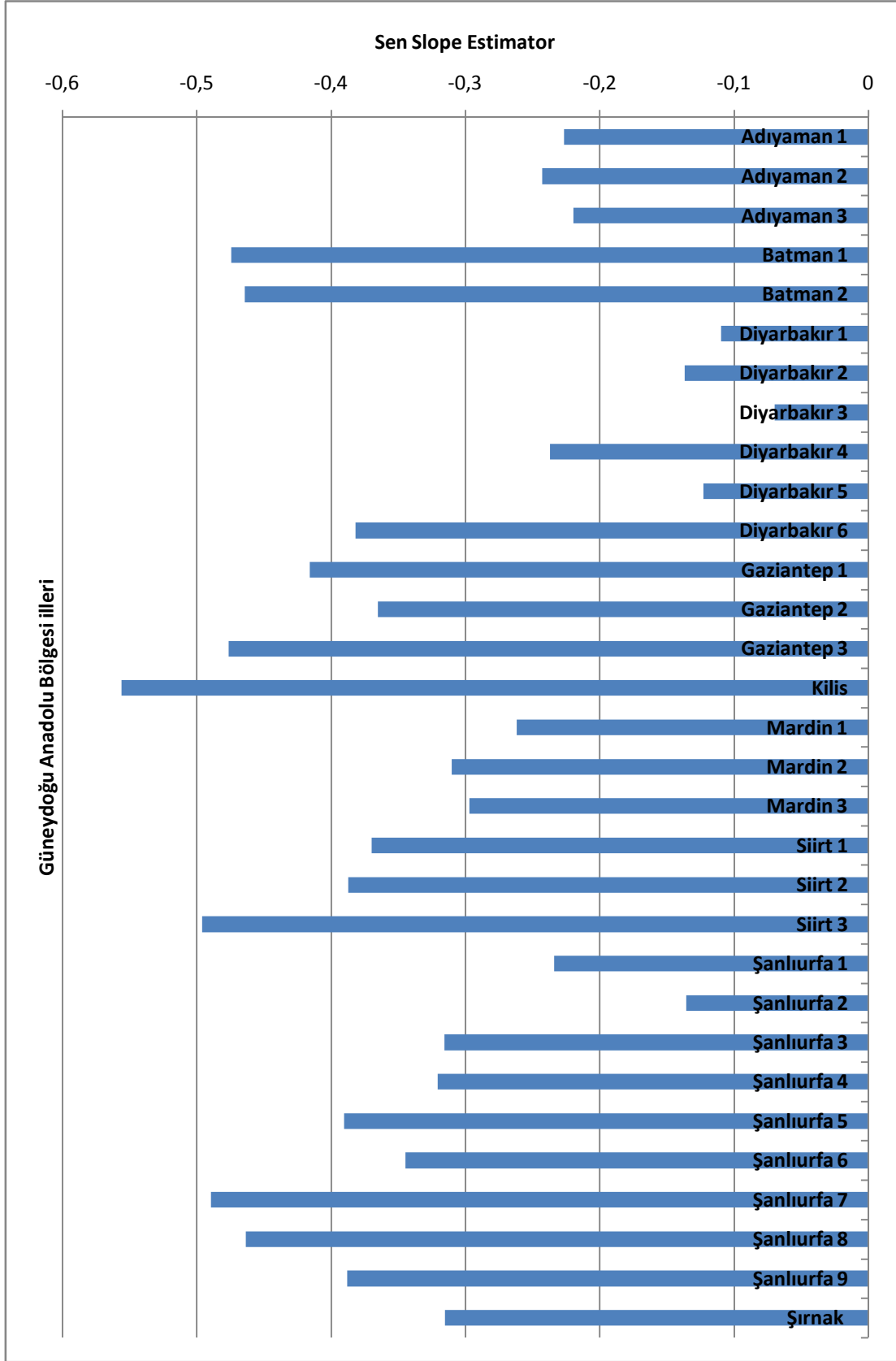
Şekil 4.22. Akdeniz Bölgesi illerinin 24 aylık Sen Eğim Tahmini değerleri



Şekil 4.23. Güneydoğu Anadolu Bölgesi illerinin 6 aylık Sen Eğim Tahmini değerleri



Şekil 4.24. Güneydoğu Anadolu Bölgesi illerinin 12 aylık Sen Eğim Tahmini değerleri



Şekil 4.25. Güneydoğu Anadolu Bölgesi illerinin 24 aylık Sen Eğim Tahmini değerleri

4.2. Tartışma

Türkiye'de bulunan 323 noktanın 1901-2015 yılları arasındaki yağış verileri sayesinde SPI yöntemi ile yapılan kuraklık analiz çalışmasına dayalı Sen Eğim Tahmini testi sonuçlarına göre eğim değerleri(trend) çıkarılmıştır.

Ege Bölgesi'nde nemlilik miktarının en fazla arttığı il 6 aylık 0,216981, 12 aylık 0,3096802 ve 24 aylık 0,4467406 tahmin değerleri ile Kütahya'dır. Ayrıca İzmir, Manisa, Aydın ve Afyon'un bir bölümünde nemlilikte artış gözlenmiştir. Kuraklığın en fazla artış gösterdiği il 6 aylık -0,1540658, 12 aylık -0,3695925 ve 24 aylık -0,475813 tahmin değerleri ile Muğla iken, Denizli ve Afyon'un bazı bölümlerinde ise kuraklaşmada artış durumu söz konusu olmuştur.

Marmara Bölgesi'nin genelinde nemlilikte artış gözlenmektedir. Bu bölgede nemlilik miktarının en fazla arttığı iller 6 aylık 0,3667494 tahmin değeri ile Sakarya, 12 aylık 0,5370775 ve 24 aylık 0,7633688 tahmin değerleri ile Bursa olmuştur. Bölgede 6 aylık analizde kuraklık görülmemesine karşın, kuraklaşmada artış olan il ise 12 aylık tahmin değeri -0,03806951 ve 24 aylık tahmin değeri -0,01551402 olan Çanakkale'dir.

Karadeniz Bölgesi'nin genelinde nemlilikte artış gözlenmektedir ve nemlilik miktarının en fazla arttığı il 6 aylık 0,4542958, 12 aylık 0,6752438 ve 24 aylık 0,9537003 tahmin değerleri ile Tokat olmuştur. Bu bölgede 6 aylık -0,02640912, 12 aylık -0,07791043 ve 24 aylık -0,08409558 tahmin değerleri ile Çorum bölgenin en fazla kuraklaştığı ildir. Ayrıca Artvin'in bir bölümünde de kuraklık gözlenmiştir.

İç Anadolu Bölgesi'nde nemlilik miktarında en fazla artış 6 aylık 0,3981982, 12 aylık 0,5756044 ve 24 aylık 0,8936311 tahmin değerleri ile Sivas'tadır. Ayrıca Ankara, Çankırı, Eskişehir, Kayseri, Nevşehir, Niğde ve Yozgat illerinde nemlilikte artış olan bölgeler mevcuttur. Bölgede kuraklık miktarının en fazla arttığı il 6 aylık -0,3353154, 12 aylık 0,5513764 ve 24 aylık -0,7651872 tahmin değerleri ile Karaman'dır ve Kırıkkale, Kırşehir, Konya, Aksaray şehirlerinde de kuraklık etkileri görülmektedir.

Doğu Anadolu Bölgesi'nde nemlilik miktarında en fazla artış 6 aylık 0,2434659, 12 aylık 0,3401309 ve 24 aylık 0,5595849 tahmin değerleri ile Erzincan olmuştur. Ayrıca Ardahan, Elazığ, Kars, Malatya ve Tunceli illerinin genelinde nemlilikte artış

gözlenmiştir. Bölgede kuraklık etkisinin en fazla arttığı il ise 6 aylık -0,5144154, 12 aylık -0,6398574 ve 24 aylık -0,7727366 tahmin değerleri ile Hakkari olmuştur. Ayrıca Ağrı, Bingöl, Bitlis, Erzurum, Muş ve Van illerinde kuraklık artmıştır.

Akdeniz Bölgesi'nin genelinde kuraklık miktarında artış görülmektedir. Fakat Adana'nın kuzeyi ve Kahramanmaraş'ın kuzeyinde nemlilikte artış gözlenmektedir. Bölgede nemlilik miktarında en fazla artış 6 aylık 0,1282952, 12 aylık 0,1150608 ve 24 aylık 0,09879546 tahmin değerleri ile Adana ilinin kuzeyinde görülmektedir. Kuraklık miktarındaki artışın en fazla olduğu il ise 6 aylık -0,4057777, 12 aylık -0,6832769 ve 24 aylık -0,8715449 tahmin değerleri ile Mersin'dir.

Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin tamamında kuraklık miktarında artış görülmektedir. Bu bölgede kuraklıkta en fazla artışın yaşandığı il 6 aylık -0,3389379 ve 12 aylık -0,4219679 tahmin değerleri ile Batman'dır. Ancak 24 aylık analizde kuraklaşma miktarının en fazla arttığı il -0,5557042 tahmini ile Kilis'tir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, 1901-2015 yılları arasında Climate Research Unit'ten alınan aylık dünya yağış verilerinden Türkiye'nin coğrafi konumu kullanılarak yağış verileri çıkarılıp Standart Yağış İndeksi (SPI) metoduna göre analiz yapılmış ve Türkiye'de belirlenen SPI değerlerinin değişim durumları Theil-Sen Eğitim Tahmincisi testi ile değerlendirilerek bölgelere trend belirlenmiştir. SPI metoduna göre yapılan analizde kısa dönemi temsil etmesi için 6 aylık SPI, uzun dönemi temsil etmesi ve daha net sonuçlar ortaya çıkarması için 12 aylık ve 24 aylık SPI kullanılmıştır.

Her il ve bölge için yapılan analiz ve trend çalışmalarının sonucunda Türkiye'nin kuzeyinden güneyine doğru gidildikçe Standart Yağış İndeksi sonuçları ile hazırlanan Sen Slope Tahmin değerlerinin düştüğü yani kuraklaşmanın arttığı belirlenmiştir. Türkiye'de şu anki durumuna göre ciddi miktarda kuraklık artışı olan il 6 aylık ve 12 aylık analizde, İç Anadolu Bölgesi'nin güneyinde yer alan Karaman iken 24 aylık analizde Akdeniz Bölgesi'nin ili olan Mersin'dir. Ayrıca En fazla nemlilik artışı görülen il 6 aylık ve 12 aylık analizde, İç Anadolu Bölgesi'nin kuzey doğusunda yer alan Sivas iken 24 aylık analizde Karadeniz Bölgesi ili olan Tokat'tır. Yedi coğrafik bölge içinde en fazla nemlilik artışı olan bölge Marmara Bölgesi, kuraklaşmanın ciddi şekilde ortaya çıkarttığı bölgeler ise Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve Akdeniz Bölgesi'dir.

Sonuçlara bakıldığında kuraklığın arttığı bölgelerde acil yönetim planları hazırlanmalı ve bu planlara bağlı olarak kuraklık dönemi öncesi çalışmalar ve projeler desteklenmelidir. Reaktif yönetim sisteminden proaktif yönetim sistemine geçilmelidir. Kuraklık ile ilgili veriler işlenmeli ve depolanmalıdır. Kuraklık önleme sistemleri sürekli güncellenmelidir. Su kaynakları, su potansiyelleri ve su tüketim durumları belirlenerek su yönetimi dikkatli şekilde yapılmalıdır. Yağış-akış tahmin ve analizleri yapılmalıdır. Gerekli hallerde baraj ve gölet inşaatları yapılmalı ve tüm bu işler halka anlatılarak, halk ile iş birliği içerisinde çalışılmalıdır.

KAYNAKÇA

- Acatay, T. (2008). 2007 Yılındaki Sıcaklık ve Kuraklık Konusunda Rasatların Söylediği. *TMMOB 2. Su Politikaları Kongresi*. Ankara: TMMOB.
- Akbaş, A. (2014). Türkiye’de Klimatolojik Kuraklık Olasılıklarının Dağılışı. *Türk Coğrafya Dergisi* (63), 1-7.
- Arslan, O., Bilgiç, A., Veske, O. (2016). Standart Yağış İndisi Yöntemi İle Kızılırmak Havzası'nın Meteorolojik Kuraklık Analizi. *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* , 5 (2), 188-194.
- Bilen, Ö. (2008). *Türkiye'nin Su Gündemi-Su Yönetimi Ve AB Su Politikaları*. Ankara: DSİ Matbaası.
- Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü. (2014). Türkiye'deki Barajlar. *Barajlar Kongresi*. İstanbul.
- Günay, P. M., Anaç, S., Özçakal, E. (2011). Kuraklık Yönetim Stratejileri. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* , 48 (2), 175-181.
- İpek, Ş. İ. (2008). Türkiye’de Kuraklığa Karşı Alınacak Tedbirlerin Kuraklık Planlaması. *TMMOB 2. Su Politikaları Kongresi* , 2, 493-500.
- Kadıoğlu, M. (2012). Türkiye’de İklim Değişikliği Risk Yönetimi. *Türkiye’nin İklim Değişikliği II. Ulusal Bildiriminin Hazırlanması Projesi Yayını*.
- Köksoy, E. N. (2012). *TR52 Bölgesi (Konya Karaman) Kuraklık İndeksi*. Konya: Mevlana Kalkınma Ajansı.
- Li, X., He, B., Liao, Z., Bai, X. (2015). Use of the standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) to characterize the drying trend in southwest China from 1982–2012. *Remote Sensing* 2015 , 10917-10937.
- McEvoy, D. J., Huntington, J. L., Abatzoglou, J. T., Edwards, L. M. (2012). An evaluation of multiscalar drought. *Earth Interactions* , 16, 1-18.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., Kleist, J. (1993). The Relationship Of Drought Frequency And Duration To Time Scales. *American Meteorological Society Eighth Conference on Applied Climatology* (s. 179-186). Anaheim: CA. American Meteorological Society, Boston, MA.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., Kleist, J. (1994). Drought Monitoring With Multiple Time Scales. *American Meteorological Society Proceedings of 9th. Conference on Applied Climatology*, (s. 233-236). Dallas.

- Özlü, H. (2007). Kuraklık Ve Su Yönetimi. *İklim Değişimi ve Su Ekonomisi Paneli*, Ankara: G. Ü. Bilim ve Teknoloji Stratejileri Araştırma ve Geliştirme Merkezi.
- Sen, P. K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's. *J. Amer. Statist. Assoc.* (63), 1379-1389.
- Theil, H. (1950). A rank-invariant method of linear and polynomial regression. *I. Proc. Kon. Ned. Akad. v. Wetensch.* (A53), 386-392.
- Turgu, E., Eskioğlu, O., Öz, Ö., Uğurlu, A. (2015). Farklı Zaman Ölçeklerindeki Standart Yağış İndekslerinin Havza Bazında Değerlendirilmesi. *VII. Uluslararası Katılımlı Atmosfer Bilimleri Sempozyumu*. İstanbul.
- Vicente-Serrano, S. M., Begueria, S., Lopez-Moreno, J. I. (2010). Journal of Climate. *A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index* , 1696-1718.
- Vincent-Serrano, S. M., Gouveia, C., Camarero, J. J., Begueria, S., Trnka, R., Lopez-Moreno, J. I., (2013). Response of vegetation to drought time-scales across global land biomes. *Proceedings of the National Academy of Sciences* , 110, 52-57.
- World Meteorological Organization. (2012). *Standardized Precipitation Index User Guide*. Geneva, Switzerland: (Svoboda, Mark; Hayes, Michael; Wood, Deborah A.). (WMO-No. 1090).
- http-1: <https://earthobservatory.nasa.gov/WorldOfChange/decadaltemp.php> (Erişim Tarihi: 24.03.2018)
- http-2: <https://mgm.gov.tr> (Erişim Tarihi: 16.05.2018)
- http-3: <http://www.icisleriafad.gov.tr/kuraklik> (Erişim Tarihi: 01.06.2018)
- http-4: <http://suyonetimi.ormansu.gov.tr> (Erişim Tarihi: 01.06.2018)
- http-5: <http://spei.csic.es> (Erişim Tarihi: 15.05.2018)
- http-6: <http://www.dsi.gov.tr/haberler> (Erişim Tarihi: 11.06.2018)
- http-7: <http://kuraklikizle.mgm.gov.tr> (Erişim Tarihi: 27.06.2018)
- http-8: https://iridl.ldeo.columbia.edu/maproom/Global/Precipitation/SPI.html?var=.SPI-CAMSOP1_12-Month (Erişim Tarihi: 14.05.2018)

http-9: <https://tr.sputniknews.com/cevre/201802141032253921-guney-afrika-kuraklik-ulusal-felaket> (Erişim Tarihi: 17.04.2018)

http-10: <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg> (Erişim Tarihi: 21.03.2018)