

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

TÜRKİYE'NİN KURAKLIK ANALİZİ

Doktora Tezi

Hurşit YETMEN

Ankara - 2013

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

TÜRKİYE'NİN KURAKLIK ANALİZİ

Doktora Tezi

Hurşit YETMEN

Tez Danışmanı

Prof. Dr. İhsan ÇİÇEK

Ankara - 2013

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

TÜRKİYE'NİN KURAKLIK ANALİZİ

Doktora Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İhsan ÇİÇEK

Tez Jürisi Üyeleri

<u>Adı ve Soyadı</u>	<u>İmzası</u>
Prof. Dr. İhsan ÇİÇEK (danışman)	
Prof. Dr. Ülkü Eser ÜNALDI	
Prof. Dr. Hakan YİĞİTBAŞIOLU	
Doç. Dr. Necla TÜRKOĞLU	
Doç. Dr. Salih ŞAHİN	

Tez Sınavı Tarihi:

TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Bu belge ile, bu tezdeki bütün bilgilerin akademik kurallara ve etik davranış ilkelerine uygun olarak toplanıp sunulduğunu beyan ederim. Bu kural ve ilkelerin gereği olarak, çalışmada bana ait olmayan tüm veri, düşünce ve sonuçları andığımı ve kaynağını gösterdiğimi ayrıca beyan ederim (26/02/2014).

Tezi Hazırlayan Öğrencinin

Adı ve Soyadı

Hurşit YETMEN

İçindekiler

Önsöz	iv
Şekil Dizini	vi
Tablo Dizini	ix

1. BÖLÜM GİRİŞ

1.1. Kuraklık Tanımı, Etkileri ve Çeşitleri	1
1.2. Literatür Özeti	10
1.3. Tezin Amacı ve Önemi	15

2. BÖLÜM KÜRESEL İKLİM, KURAKLIK OLUŞUMU VE KURAKLIK İNDEKSLERİ

2.1. Küresel İklim Sistemi ve İklim Değişikliği	19
2.2. Kuraklığa Neden Olan Meteorolojik Faktörler	29
2.2.1. Troposferdeki Genel Hava Dolaşımı.....	29
2.2.2. Kuraklık Oluşumu ve Kurak Bölgeler	34
2.2.3. Türkiye'yi Etkileyen Sinoptik Sistemler, Hava Kütleleri ve Kuraklık Bağlantıları	41
2.3. Kuraklık İndeksleri	44
2.3.1. Erinç İndeksi	45
2.3.2. De Martonne Yöntemi	46
2.3.3. Thornthwaite Yöntemi	48
2.3.4. Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksi (PKŞİ).....	50
2.3.5. Normalin Yüzdesi İndeksi (NYİ)	54
2.3.6. Standart Yağış İndeksi (SYİ)	55

3. BÖLÜM

METODOLOJİ VE TÜRKİYE UYGULAMASI

3.1. Kullanılan Veri ve Yöntemler	58
3.1.1. Yağış Verileri ve Kuzey Atlantik Salınımı İndeksleri	58
3.1.2. Kriging Yöntemi	59
3.1.3. Gidişler Analizi	61
3.1.4. Standart Yağış İndeksi	62
3.1.5. Kuraklık Oranı	67
3.1.6. Yeni Kuraklık Oranı	68
3.1.7. Pearson Korelasyon Katsayısı.....	70
3.2. Türkiye'nin Yağış Klimatolojisi	72
3.2.1. Türkiye'de Yıllık Ortalama Yağışın Dağılışı.....	72
3.2.2. Türkiye'de Yağışların Mevsimlere Dağılışı	73
3.2.3. Türkiye'de Yıllık ve Mevsimlik Yağışların Yıllar arası Değişkenliği	80
3.3. Standart Yağış İndeksine Göre Türkiye'nin Kuraklık Analizi	82
3.3.1. Kuraklığın Yıllık ve Mevsimlik Değerlendirmesi.....	83
3.3.2. Kuraklık Olasılığı ve Süresi	99
3.3.3. Kuraklık Şiddeti ve Genliği	105
3.4. Kuzey Atlantik Salınımı'nın Türkiye'deki Kuraklık Olaylarına Etkisi	109
3.4.1. Kuzey Atlantik Salınımı-KAS ve Türkiye'deki Yağışlara Etkisi	109
3.4.2. Kuzey Atlantik Salınımı'nın Türkiye'deki Kuraklık Olaylarına Etkisi	113
3.4.2.1. Aylık KAS İndeksleri İle Eşzamanlı SYİ Serilerinin Korelasyonu	121
3.4.2.2. Mevsimlik KAS İndeksleri İle Eşzamanlı SYİ Serilerinin Korelasyonu	126
3.4.2.3. Yıllık KAS İndeksi İle Yıllık SYİ Serilerinin Korelasyonu	129

4. BÖLÜM SONUÇ

Sonuç.....	132
EK 1: Minimum SYİ değerlerinin Türkiye’deki dağılışı	142
EK 2: KAS Kış indeksi ile Türkiye’deki SYİ serileri arasındaki korelasyon katsayıları.....	177
EK 3: Yağış verileri kullanılan istasyonların bilgileri	181
Kaynakça	186
Özet	191
Abstract	193

ÖNSÖZ

Her iklim bölgesinde yaşanabilen ve oldukça tehlikeli sonuçları olan kuraklık, meteorolojik süreçlerle başlar. Bir bölgede, belirli bir sürede su kaynaklarına olan asgari toplam talebi karşılayacak yağış gerçekleşmediğinde ciddi sorunlar baş gösterir. Bu nedenle su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi ve gıda üretiminin talebi karşılayacak düzeyde devam etmesiyle ilgili planlamalar, kuraklığın takibini/araştırılmasını gerektirmektedir.

Türkiye'nin çok büyük bir bölümünde yarı kurak iklim koşullarının egemen olması kuraklık çalışmalarının önemini arttırmaktadır. Sözü edilen yarı kurak bölgelerde, iklim normali olarak kabul edilen yaz kuraklığı periyodik olarak yaşanmakta ve hem doğal hayat hem de beşeri faaliyetler bu duruma uyum sağlamıştır. Fakat içinde bulunduğumuz Akdeniz havzasında, genel hava dolaşımından dolayı yağışlı geçmesi beklenen kış ve bahar aylarında yaşanan kuraklıklar daha büyük yıkımlara neden olmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada, geçmişte yaşanan kuraklıklar incelenirken yağışlı olması beklenen mevsimlerdeki kuraklık olayları üzerinde durulmuştur.

Tüm doğal afetler içinde üst sıralarda yer alan kuraklık, küresel iklim değişikliğiyle bağlantılı olarak yakın gelecekte bulunduğumuz bölgede daha ciddi bir tehdite dönüşebilir. Nitekim Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin raporlarında karar vericilere yönelik bu yöndeki tespitlere ve uyarılara yer verilmektedir. Türkiye'de kuraklığın öneminin anlaşılması, kuraklık planlarının hazırlanması ve politikaların belirlenmesi için daha fazla araştırmaya ihtiyaç olduğu gerçeği, bu çalışmanın ana motivasyon kaynağını oluşturmuştur.

Tez çalışmasını yürüttüğüm dönem boyunca yardımlarını esirgemeyen, ilgisini ve desteğini her zaman hatırlayacağım saygıdeğer hocam Prof. Dr. İhsan ÇİÇEK'e ne kadar teşekkür etsem azdır. Bilimsel yaklaşımın ve bilim insanı olmanın temel stratejilerini ondan öğrendim. Lisans döneminde bir 'coğrafyacı perspektifi' kazanmamıza katkı sunan DTCF'deki tüm hocalarımın emeklerini de burada anmak isterim. Hepsine, katkılarından dolayı şükran borçluyum. Tezin metodolojisine dair çok değerli ipuçları veren ve gerekli

yazılıma erişmemi sağlayan İTÜ’de görevli saygıdeğer hocam Doç. Dr. Sevinç SİRDAŞ’a şükranlarımı sunarım. Tez izleme komitesinde yer alan hocalarım Prof. Dr. Ülkü Eser ÜNALDI ve Doç. Dr. Necla Türkoğlu’na değerli katkıları ve eleştirileri için çok teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasını, ilköğretimden yüksek lisansa her adımda hayatımı kolaylaştıran rehberliğiyle, hem manevi hem maddi desteğini hiçbir koşulda esirgemeyen sevgili ablam Mukaddes YETMEN’e ithaf ediyorum.

Büyük bir sabır göstererek bana zaman kazandıran ve destek olan sevgili eşim Aynur YETMEN’e; küçük yaşına rağmen olgunluk göstererek çalışma masamı terk etmeyi bilen biricik kızım Rengin’e sevgilerimi sunuyorum.

Tez çalışmasında kullanılan bilgi kaynaklarının yönetimi, düzenlenmesi ve bilgisayar yazılımlarının kullanılması konusunda desteğini esirgemeyen sevgili Rıza Mahfuz YARGICI’ya; çalışmam boyunca yakın ilgi ve sevgisini hissettiren Nevin AKGÜL’e teşekkürü bir borç bilirim.

Şekil Dizini

Şekil 1.1. Meteorolojik, Tarımsal ve Hidrolojik kuraklık arasındaki ilişkiler

Şekil 2.1. Ortalama küresel sıcaklık değişimi

Şekil 2.2. Son 1 milyon yıl boyunca buzul ve buzularası dönemlerin döngüsü

Şekil 2.3. Küresel ısı akışı

Şekil 2.4. Üç hücreli genel atmosfer sirkülasyonu

Şekil 2.5. Kuzey yarımkürede kış mevsimi genel hava dolaşımı

Şekil 2.6. Küresel atmosfer dolaşımının mevsimsel hareketi

Şekil 2.7. Kuzey Atlantik Salınımı'nın pozitif ve negatif evrelerinde kurak ve yağışlı bölgeler

Şekil 2.8. Akdeniz Havzası'nda etkili olan siklonların zonal ve meridyonel ana yörüngeleri

Şekil 2.9. SVİ değerini ifade eden standart normal dağılım

Şekil 3.1. Yağış gözlem istasyonlarının dağılışı

Şekil 3.2. Kurak ve nemli/yağışlı gidişler

Şekil 3.3. Türkiye'de yıllık ortalama yağış miktarının dağılışı

Şekil 3.4. Türkiye'de kış mevsimi ortalama yağış miktarının dağılışı

Şekil 3.5. Türkiye'de ilkbahar mevsimi ortalama yağış miktarının dağılışı

Şekil 3.6. Türkiye'de yaz mevsimi ortalama yağış miktarının dağılışı

Şekil 3.7. Türkiye'de sonbahar mevsimi ortalama yağış miktarının dağılışı

Şekil 3.8. Türkiye'de şiddetli, çok şiddetli ve olağanüstü kuraklık yaşanan alanların 1984 ve 1989'daki dağılışı

Şekil 3.9. 1989 yılının kış mevsiminde şiddetli, çok şiddetli ve olağanüstü kuraklık yaşanan alanların dağılışı

Şekil 3.10. 1989 yılının ilkbahar mevsiminde şiddetli, çok şiddetli ve olağanüstü kuraklık yaşanan alanların dağılışı

Şekil 3.11. 1978 yılının sonbahar mevsiminde şiddetli, çok şiddetli ve olağanüstü kuraklık yaşanan alanların dağılışı

Şekil 3.12. Türkiye’de şiddetli, çok şiddetli ve olağanüstü kuraklıkların toplam olasılık (%) dağılışı

Şekil 3.13. Türkiye’de şiddetli, çok şiddetli ve olağanüstü kurak sürenin dağılışı

Şekil 3.14. Türkiye’de toplam kuraklık olasılıklarının dağılışı

Şekil 3.15. Türkiye’de toplam kurak sürenin ($SYI \leq -0,51$) dağılışı

Şekil 3.16. Türkiye’de kurak dönem sayısının dağılışı

Şekil 3.17. Türkiye’de Kurak dönemlerin maksimum süresi

Şekil 3.18. Türkiye’de kuraklık şiddetinin dağılışı

Şekil 3.19. Türkiye’de Maksimum kuraklık şiddetinin dağılışı

Şekil 3.20. Türkiye’de kuraklık şiddetinin maksimum olduğu bazı dönemler ve bu dönemlerde maksimum kuraklık şiddetinin dağılışı

Şekil 3.21. Kuzey Atlantik Salınımı’nın pozitif ve negatif evrelerinde kurak ve yağışlı bölgeler

Şekil 3.22. KAS İndeksi (1823-2012; Aralık-Mart)

Şekil 3.23. Kasım 1978’de SYİ değerlerinin dağılışı

Şekil 3.24. Mart 1986’da SYİ değerlerinin dağılışı

Şekil 3.25. Şubat 1989’da SYİ değerlerinin dağılışı

Şekil 3.26. Mart 1990’da SYİ değerlerinin dağılışı

Şekil 3.27. Aralık 2004’te SYİ değerlerinin dağılışı

Şekil 3.28. Aralık 2006’da SYİ değerlerinin dağılışı

Şekil 3.29. Kasım ayında KAS indeksi ile SYİ arasındaki korelasyon katsayılarının Türkiye’deki dağılışı

Şekil 3.30. Aralık ayında KAS indeksi ile SYİ arasındaki korelasyon katsayılarının Türkiye’deki dağılışı

Şekil 3.31. Şubat ayında KAS indeksi ile SYİ arasındaki korelasyon katsayılarının Türkiye’deki dağılışı

Şekil 3.32. Mart ayında KAS indeksi ile SYİ arasındaki korelasyon katsayılarının Türkiye’deki dağılışı

Şekil 3.33. KAS’ın mevsimlik (ocak-şubat-mart) indeksi ile aynı ayları kapsayan Türkiye’deki 3 aylık SYİ serilerinin korelasyon katsayıları

Şekil 3.34. KAS’ın mevsimlik (şubat-mart-nisan) indeksi ile aynı ayları kapsayan Türkiye’deki 3 aylık SYİ serilerinin korelasyon katsayıları

Şekil 3.35. KAS’ın yıllık indeksi ile Türkiye’deki yıllık SYİ serilerinin korelasyon katsayıları

Tablo Dizini

Tablo 2.1. Erinç İndeksi'ne göre iklim tipleri

Tablo 2.2. De Martonne İndeksi'ne göre iklim tipleri

Tablo 2.3. Thornthwaite'a göre iklim tipleri

Tablo 2.4. PKŞİ değerlerine göre nemli ve kurak dönemler

Tablo 2.5. Normalin yüzdesi indeksine göre kuraklık sınıflandırması

Tablo 2.6. SYİ değerleri ve kuraklık/nemlilik sınıflandırması

Tablo 3.1. SYİ değerlerine göre kuraklık/nemlilik sınıflandırması

1. BÖLÜM

GİRİŞ

1.1. Kuraklık Tanımı, Etkileri ve Çeşitleri

Kuraklık, yaygın ve teknik kullanım yönünden göreceli bir kavram olup farklı bölgeler ve farklı kaynaklar için ayrı ayrı tanımlanabilir. Coğrafya, atmosfer bilimleri ve çevre bilimleri kuraklık için farklı tanımlar geliştirmiştir:

- 1) Evapotranspirasyon ile su kaybının yağış yoluyla su girişinden büyük olduğu iklimsel durumdur.
- 2) Belirli bir bölgede etkili olan anormal kuru havanın neden olduğu su eksikliğinin sonucu olan ciddi hidrolojik dengesizliktir.
- 3) Uzun bir süre aşırı düşük yağış koşullarına maruz kalan canlıların olumsuz etkilenmesidir.
- 4) Bir bölgede görülen uzun süreli yağış eksikliğidir.
- 5) Bir bölgede kaydedilen yüzey ya da yeraltı suyu eksikliğinin aylara veya yıllara yayılan bir süre devam etmesidir.
- 6) Uzun bir süre etkili olan kuru hava nedeniyle bitki ve hayvanların yaşayabilmesi için yeterli su bulunmamasıdır.
- 7) Çok az veya hiç yağış görülmeyen uzun bir periyottur.
- 8) Uzun ve kuru/yağışsız bir dönemin yaşanması sonucunda tarım ürünlerinin sağlıklı büyümemesi ve büyük zarar görmesidir.

Bu tanımlar farklı disiplinlerin bakış açısını yansıttığı için tam olarak örtüşmeseler de genel olarak “yağış eksikliği”, “uzun bir süre devam etmesi” ve “olumsuz etkilerin ortaya çıkması” noktalarında birleşmektedirler. Buna dayanarak **kuraklık**, belirli bir bölgede ortalama yağış değerlerinden daha az yağışın gerçekleşmesiyle başlayan ve aylar veya yıllarca süren, suya bağımlı tüm doğal/beşeri ortam bileşenleri üzerinde bir baskı oluşturan su eksikliği olarak tanımlanabilir.

Kuraklık, iklim sisteminin doğasından kaynaklanan ve herhangi bir mevsimde veya belirli bir zaman diliminde, herhangi bir iklim bölgesinde meydana gelebilir. Kuraklık, geçici bir süreliğine ‘iklim normallerinden sapma’ durumu olup iklimin kalıcı bir özelliği olarak, çok az miktarda yağış alan iklim bölgelerini tanımlamak için kullanılan ‘aridite’den farklı bir kavramdır (www.pdc.org). İklim değişimleri, normal değerlerin altındaki yağış, düşük toprak nemi, sıcak ve kuru hava gibi birçok faktörün etkisiyle meydana gelir. Karalar üzerinde bulunan su kaynaklarının devamlılığını sağlayan temel kaynak yağışlar olduğundan, yağışlardaki herhangi bir geçici düşüş kuraklığın başlıca nedenidir. Yağışlardaki anormallikler iklim değişikliğinin doğal ve yinelenen bir özelliğidir. Yapılan araştırmalar göstermiştir ki; meteorolojik kuraklık hiçbir zaman tek bir nedene bağlı olarak değil, pek çok birbiriyle ilişkili nedene bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Yağışların yanında kuraklığın oluşmasında ve şekillenmesinde payı olan etmenler sıcaklık, nemlilik, buharlaşma, rüzgâr hızı ve basınç gibi etmenlerdir. Tüm bu etmenler yağışların etkinliğini ve

kuraklığın ciddiyetini belirleyici rol oynamaktadır (WWF Kuraklık Değerlendirme Raporu-2008).

Kuraklık geçmişten günümüze insan ve faaliyetleri ile diğer canlıların su kaynaklarına olan bağımlılığı nedeniyle toplum ve ekosistemler üzerinde çeşitli olumsuz etkilere neden olagelmıştır. Kuraklık birçok yönüyle diğer doğal afetlerden ayrılır. Çok kısa sürede gelişen ve ciddi tahribatlara yol açan jeolojik veya hidrometeorolojik karakterli afetlere oranla kuraklık daha uzun bir zaman dilimine yayılır. Kuraklık, ani olarak ortaya çıkmayan fakat diğer doğal afetlerden daha fazla insana zarar verebilen ve yıllık zararı ortalama 8- 10 milyar doları bulan yüksek maliyetli afetlerdendir (Wilhite, 2000). Başlangıç ve bitiş zamanı ile ne ölçüde şiddetli seyredeceği belirsiz olan, kümülatif biçimde artan kuraklık aynı anda birden çok doğal ve beşeri süreci etkiler (Kömüşçü vd., 2002). İklimbilimciler kuraklığın frekansını, süresini, şiddetini ve etki alanını bazı istatistiksel yöntemlerle araştırarak kuraklık tahmini için daha etkin araçlar geliştirmektedir. Özellikle kurak ve yarı kurak iklim bölgelerinde planlama ve yatırım yapan ya da karar verici konumda bulunanlara daha fazla bilgi sağlayacak bilimsel çalışmalar büyük önem taşımaktadır.

Toprak nemi, nispeten daha kısa sürede yağış anomalilerine yanıt verir. Bu nedenle kuraklık başladığında ilk olumsuz etkiler tarımsal üretimde görülür. Nehir akımları, göl suları, rezervuar suları ve yer altı suyu ise yağış anomalilerini uzun vadede yansıtır (Mc Kee vd., 1993). Yağış yetersizliği tarımsal faaliyetler, içme suyu, turizm, enerji üretimi,

nehir taşımacılığı ve çevre üzerinde önemli olumsuzluklara yol açabilir. Toprakta yeterli suyun bulunmaması, ekinlerin ve çayırların/meraların yeterince gelişmemesine bu da sürdürülebilir ve güvenli gıda üretiminin tehlikeli sınırlara ulaşmasına neden olabilir. Kuraklık sonucunda yeraltı ve yer üstü su kaynaklarının azalması, sulamaya bağlı tarımsal üretimin kesintiye uğramasına yol açar. Kuraklık, kentlerdeki yeşil alanların, ağaçların ve diğer bitkilerin sulanması için su sıkıntısına neden olabilir. Bu nedenle genellikle kuraklık sırasında, kalabalık kentlerde su tasarrufu kaçınılmaz olur.

Kurak dönemler önceden tahmin edilemez. Kuraklığın önceden bilinmesi, mevsimsel yağış ve sıcaklık tahmin yeteneğimize bağlıdır. Dünyanın birçok yerinde bir ay veya daha uzun bir periyotta yaşanabilecek kuraklık için önceden kesin tahminlerde bulunmak henüz mümkün değildir. Fakat küresel hava paternlerini ve bunların tekrarlanma süreçlerini anlamaya çalışan bilimsel araştırmalar, normalden daha az yağışlı sürenin uzunluğu hakkında değerlendirmeler yapmak için bize yardımcı olabilir.

Wilhite ve Glantz (1985), yaptıkları kuraklığı sınıflandırma çalışmasında 150'den fazla tanımlı analiz etmişlerdir. Kuraklık tanımlarında kullanılan kriterlerin rastgele seçildiğini ve kuraklığın anahtar konumdaki ekonomik sektörlere spesifik etkilerinin göz ardı edildiğini belirlemişlerdir. Amaca uygun olmayan formülasyonlara ve eksik değerlendirmelere bağlı yapılan kuraklık tanımları farklı disiplinlerdeki uygulamalarda sorunlara neden

olmuştur. Kuraklığın diğer afetlerden farklı olan özellikleri ve birçok hükümet tarafından formüle edilen kuraklık acil durum planlaması, kuraklığın tam ve güvenilir biçimde, etkilerinin ve şiddetinin zamanında tahmin edilmesini engellemektedir (Wilhite ve Svoboda, 2000). Wilhite ve Glantz, iklimle ilgili bilim çevreleri ve kuraklığı takip eden bölgesel/uluslar arası birçok kuruluş (ör. National Drought Mitigation Center (NDMC-ABD)) ve MGM) tarafından da kabul gören, kuraklığın ölçümü/değerlendirmesi için *meteorolojik, hidrolojik, tarımsal ve sosyoekonomik* olmak üzere dört temel yaklaşıma göre kuraklık kategorilerini önermişlerdir. Bunlardan ilk üçü kuraklığı fiziksel bir olay olarak ölçmeyle ilgilenirler. Sonuncusu ise su açığının sosyoekonomik sistemlerde neden olduğu dalgalanmaları izleyerek kuraklığı arz ve talep açısından ele alır (<http://drought.unl.edu/DroughtBasics/TypesofDrought>).

- **Meteorolojik Kuraklık**

Meteorolojik kuraklık, genellikle bölgesel klimatolojik ortalamanın altındaki yağışların derecesi ve bu az yağışlı dönemlerin süresi temelinde tanımlanmıştır. Meteorolojik kuraklık, bölgeden bölgeye farklılık gösteren, yağışların azalmasıyla gelişen atmosfer koşullarından kaynaklanan ve bölgesel nitelikli bir olay olarak kabul edilmektedir. Kuraklık yavaş bir gelişim göstererek genellikle en az üç ay sürer, fakat mevsimler veya yıllar sürebilir (www.ametsoc.org/policy/drought2.html).

Bazı tanımlara göre, belirlenen bir eşik değerden daha az yağışlı gün sayısı esas alınarak kurak periyotlar saptanmaktadır. Bu ölçü yıl boyunca yağışlı bir rejimle karakterize edilen tropikal yağmur ormanları, nemli subtropikal iklim ya da orta kuşak okyanusal iklim bölgeleri için uygundur. Fakat yağışların belirli mevsimlerde toplandığı ve yıl içinde uzun sayılabilecek bir sürenin yağışsız geçtiği rejimlerin etkili olduğu bölgeler için bu yaklaşım gerçekçi değildir. Diğer tanımlar, aktüel yağış gidişini aylık, mevsimlik veya yıllık zaman ölçeklerindeki ortalama yağış miktarıyla ilişkilendirir.

Meteorolojik kuraklık, hidrolojik ve tarımsal kuraklıktan önce başlar. Bu nedenle uzun ve şiddetli seyreden hidrolojik ve tarımsal kuraklıkların ortaya çıkması doğrudan meteorolojik kuraklığa bağlanabilir. Kurak ve yarı kurak iklim bölgelerinde yağış değişebilirliği çok fazla olduğu için (Shadeed ve Masri, 2007) bu iklim bölgelerinde kuraklık olayları daha büyük ekolojik/ekonomik kayıplara neden olabilir.

- **Tarımsal Kuraklık**

Tarımsal kuraklık, bitkinin gelişimi için toprakta yeterli miktarda su bulunmamasıdır. Toprak neminin büyük ölçüde azalması sonucunda meydana gelir. Bitkilerin su ihtiyacı hakim hava koşullarına, bitkilerin biyolojik özelliklerine, büyüme sürecine, toprağın biyolojik ve fiziksel özelliklerine bağlıdır

(<http://www.ametsoc.org>). Topraktaki nem açığının tarımsal üretime etkisini değerlendirmek veya hesaplamak için kullanılan bu kavram, kısmi bile olsa ürün kaybına neden olabilecek bir süre etkili olan kuraklık olarak da kabul edilebilir (The Dictionary of Physical Geography, Blackwell Publishing, 2000). Meteorolojik veya hidrolojik kuraklığın tarıma çeşitli etkileri, sulama suyu için oluşturulan su rezervuarlarının düzeyi, yeraltı suyunun azalması, topraktaki su açığı ve yağış yetersizliği gibi süreçler tarımsal kuraklık çerçevesinde ele alınan başlıca konulardır.

Tarımsal kuraklık, yağış açığıyla ilgilenen meteorolojik kuraklığın aksine bitkinin büyüme döneminde toprak neminin azalmasına odaklanarak yağış ve buharlaşma potansiyelini toprak nemliliği ile bağlantılı olarak değerlendirilir (Wigley ve Atkinson, 1977). Kurak koşullarda önce toprağın, ardından bitkinin su potansiyeli azalır ve daha ileri aşamalarda turgor basıncında düşme, stomalarda kapanma, yaprak büyümesinde azalma ve fotosentez oranında düşüş meydana gelir (Monti, 1986). Belirli bir bitkinin nem ihtiyacı bilindiği takdirde, bitkinin kuraklık toleransı ve eşik değerleri hesaplanabilir (Agnew ve Anderson, 1992). Böylece meteorolojik kuraklığın gerçek bitkisel üretim düzeyine etkisini değerlendirmek mümkün olur. Ürün ekiminin ve hasadının zamanlaması ile yıl içinde görülen yağışlar, mutlak yağış açığından daha önemli faktörler olabilir. Kuraklığa karşı hassas bölgelerde ekilen ürünlerin

değiştirilmesi, tarımsal üretimin meteorolojik kuraklıktan daha az etkilenmesini sağlayabilir (Barrow, 1987).

- **Hidrolojik Kuraklık**

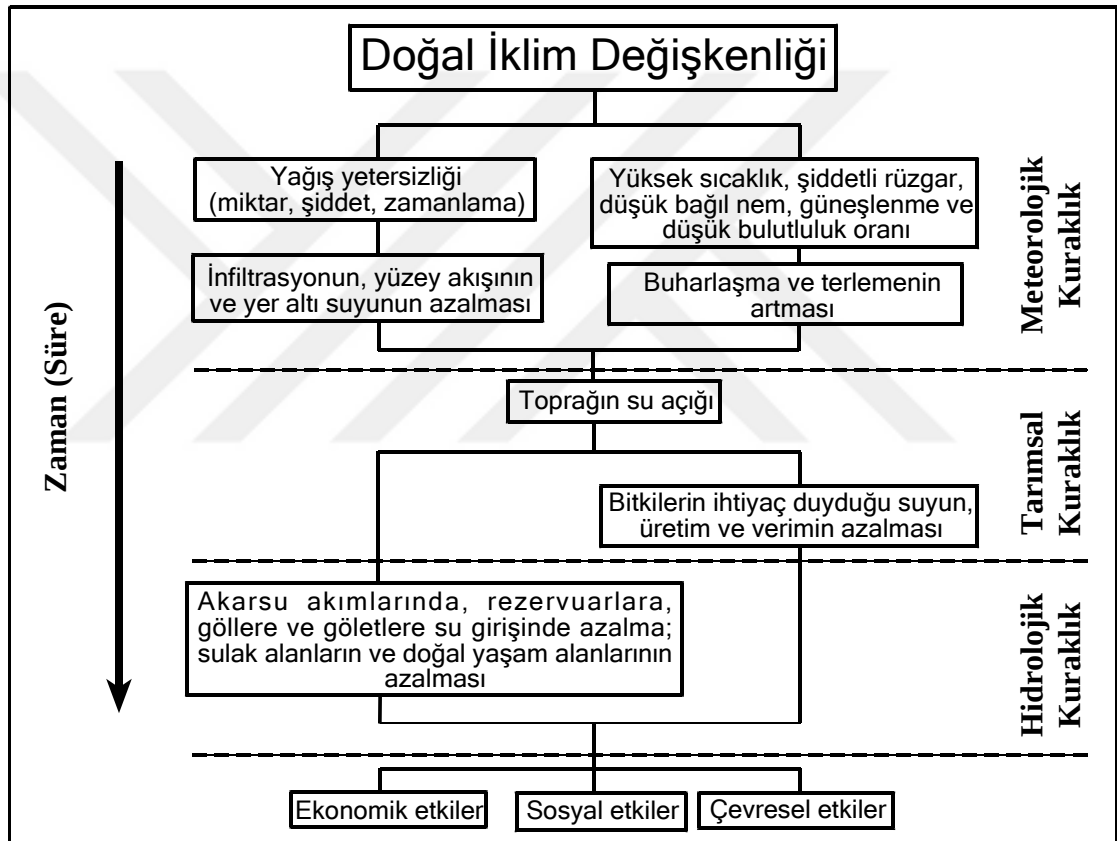
Hidrolojik kuraklık, yağış açığının olduğu dönemlerin etkisiyle yeraltı ve yer üstü sularında (akarsular, göller, su rezervuarları ve yeraltı suları) görülen azalmadır. Başka bir ifadeyle, yağışlarda görülen azalma hemen hidrolojik kuraklığa neden olmaz, uzun süreli bir yağış eksikliğinden sonra hidrolojik sistemin bileşenleri buna tepki verir. Meteorolojik kuraklığın gecikmiş bir göstergesi olarak, bir bölgede gerçekleşebilecek kuraklık için erken bir haberci değildir.

Hidrolojik sistemler birbiriyle bağlantılı olabildiği için komşu bir bölgede meydana gelen meteorolojik kuraklığın etkileri, yağışların azaldığı bölgenin dışında bulunan yerlere kadar ulaşabilir. Böylece hidrolojik kuraklıkla bağlantılı, önemli boyutlara ulaşan ekolojik ve sosyoekonomik sorunlar daha geniş bir bölgeye yayılmış olur (<http://www.nws.noaa.gov>).

- **Sosyoekonomik Kuraklık**

Sosyoekonomik kuraklık, meteorolojik, hidrolojik ve tarımsal kuraklık sonucunda ortaya çıkan bir süreç olup kuraklık dönemlerinde ekonomik malların arz ve talebiyle ilgili bir kavramdır

(Şekil 1.1). Bu yaklaşım, arz ve talebin iki temel süreci olarak, kuraklığın objektif bir tanımını içeren yer ve zaman prosesleriyle ilgilenir (<http://www.ametsoc.org>). Kurak dönemlerde gıda ve temiz su temininde ortaya çıkan zorlukların aşılması ve gerekli önlemlerin alınması için kuraklık izleme-değerlendirme-planlama çalışmalarının önemi büyüktür.



Şekil 1.1. Meteorolojik, Tarımsal ve Hidrolojik kuraklık arasındaki ilişkileri ve kuraklık gelişimini gösteren akış şeması. Kuraklığın ekonomik, sosyal ve çevresel etkileri zaman ölçeğine bağlı olarak şemanın alt kısmında gösterilmiştir. Kuraklık sırasında herhangi bir aşamada bu etkiler ortaya çıkabilir. (NDMC, <http://www.drought.unl.edu/whatis/concept.htm>)

1.2. Literatür Özeti

Kuraklık çalışmaları dört kategoride sınıflandırılabilir. İlk kategori, kuraklık nedenlerini ve kuraklığa neden olan atmosfer sirkülasyonunu ileri düzeyde bir yaklaşımla açıklama çalışmalarından oluşmaktadır. İkinci kategori, çeşitli büyüklükteki kuraklıkların meydana gelme olasılığını hesaplamak için kuraklığın sıklığını ve şiddetini anlamaya yöneliktir. Üçüncü kategori ise kuraklığın etkilerini anlamaya ve açıklamaya çalışır. Bu kategori kuraklıkla ilgili maliyetlere ve kayıplara odaklanır. Bu kayıplar, doğrudan veya dolaylı, ekonomik, sosyal ya da çevresel olarak sınıflandırılabilir. Son kategori, kuraklığa hazırlık stratejilerinin ve kuraklıktan kaynaklanan olumsuz etkilerin azaltılmasına yönelik tedbirlerin hangi ölçüde başarıya ulaştığına bakar (Byun ve Wilhite, 1999).

McKee vd. (1993), Standart Yağış İndisi (SYİ) yöntemini geliştirmişlerdir. Bu yöntem yalnızca yağış değerlerine dayalı, kolay hesaplanabilen, sadece olasılıkla ilgili ve devam eden dönemde yağış eksikliğini hesaplama esasına dayanır. Yağış eksikliğinin farklı zaman dilimlerindeki değişkenliğini dikkate alabilen bu yöntem, kuraklığın izlenmesinde geniş bir kullanım alanı bulmuştur. SYİ, belirlenen zaman dilimi içinde yağışın ortalamadan olan farkının standart sapmaya bölünmesi ile elde edilir. SYİ değerleri dikkate alınarak yapılan bir kuraklık değerlendirmesinde indeksin sürekli olarak negatif olduğu zaman periyodu kurak dönem olarak tanımlanır. İndisin sıfırın altına ilk düştüğü

dönem kuraklığın başlangıcı olarak kabul edilirken, indisin pozitif değere yükseldiği ay kuraklığın bitimi olarak değerlendirilir.

Palmer (1965), Kansas ve Iowa bölgeleri için yaptığı çalışmada uzun süreli yetersiz yağış ve buna bağlı gelişen toprak nemi eksikliğine neden olan meteorolojik kuraklıkları belirlemek ve izlemek için bir indis geliştirilmiştir. Indisin hesaplama süreci, su dengesi ile başlar. Su dengesi, aylık toplam yağış ve aylık ortalama sıcaklık verilerine dayanır.

Türkeş (1996), 1930-1993 yılları arasında Türkiye'deki meteorolojik kuraklığı incelemiştir. Yıllık ve mevsimlik yağış verilerine Mann-Kendall Sıra Korelasyon testini uygulamıştır. Çalışmasında Türkiye genelindeki yıllık yağışlarda azalma saptamıştır.

Kömüşçü (1999), 1940-1997 yılları arasında Türkiye'deki 40 istasyonun aylık ortalama yağış serilerini 3, 6, 12 ve 24 ay ölçeğinde Standart Yağış İndisi (SYİ) metoduyla incelemiştir. 3 aylık SYİ sonuçlarına göre kıyılarda yer alan istasyonlarda kuraklık daha ısrarlı ve kalıcıyken doğu Anadolu'da daha düşük frekanslıdır. 6 ve 12 aylık SYİ değerlerine göre kuraklığın daha uzun periyotlarla ve düşük frekanslı gerçekleştiğini belirtmiştir. Zaman ölçeği genişledikçe kıyı istasyonlarında kuraklık frekansının arttığını; iç bölgelerde ise düşük frekanslı ve uzun süren kuraklıkların yaşandığını saptamıştır. Bu çalışmaya göre iç bölgelerde uzun süren kuraklıklar yaşanırken mevsimlik kuraklığın kıyı bölgelerinde daha yaygın olduğu sonucuna varmıştır.

Koç (2000), Kuzeybatı Anadolu'da yağış etkinliğini araştırdığı çalışmasında De Martonne, Thornthwaite, Erinç ve Sezer yöntemlerini kullanmıştır. Genel hatları ile Ege kıyılarından Marmara kıyılarına, kıydan iç kesimlere ve alçaktan yükseğe doğru yağış etkinliğinde bir artış belirlemiştir. En kurak merkezin Bozcaada, en nemli istasyonun da Uludağ olduğunu belirlemiştir. Aylık ve yıllık ortalamalara göre belirlenen yağış etkinliği değerleri ile her yıl yaşanan yağış etkinliği değerleri arasında belirgin farklar saptamıştır. Çalışmasının sonunda Kuzeybatı Anadolu genelinde bir kuraklaşma eğilimi gözlemlendiğini aktarmıştır.

Sırdaş (2002), Doktora tezi olarak hazırladığı çalışmasında hidrometeorolojik değişkenlerden özellikle yağış, sıcaklık ve bağıl nem yardımıyla kuraklık özelliklerine yeni yorumlar geliştirmeyi amaçlamıştır. Bunları üçlü-değişken kuraklık yaklaşımı grafikleri olarak tanımlamıştır. Yağış, kuraklık tanımlamada esastır, fakat bu çalışmada sıcaklık ve nem zaman serilerinin ilavesiyle üçlü değişken olarak genişletilmiştir. Üçlü-değişken kuraklık ilişki yaklaşımı uygulamaları, Türkiye'nin farklı iklim bölgelerindeki 60 istasyon için sunulmuştur. Aylık yağış, sıcaklık ve nemin 1930 ve 1990 yılları arasındaki kayıtları bu çalışmadaki uygulamada kullanılmıştır. SYİ yöntemiyle kuraklık analizi ve bazı kesim seviyeleri için kuraklık süresi, genliği ve şiddetini hesaplanmıştır. Ayrıca bu çalışmada, SYİ'nin her istasyonun kesim seviyesinin 0, -1, -1.5, -2 olmasından kaynaklanan sorunlar tespit edilmiştir. Bu nedenle, SYİ'ye ilave yeni bir yaklaşım geliştirmiştir. Bunu kuraklık oranı yaklaşımı olarak tanımlamıştır.

Sırdaş ve Şen (2003), Trakya'nın (İstanbul, Edirne, Tekirdağ ve Kırklareli) kuraklık analizini SYİ metoduyla yapmışlardır. Çalışma alanı için farklı zaman ölçeklerinde seriler üretilmiş ve kriging yöntemiyle kuraklık haritaları hazırlanmıştır. Kuraklık süresi ve magnitudü arasındaki ilişkileri gösterebilmek için kurak dönem, kuraklık şiddeti ve SYİ değerleri hesaplanmıştır.

Pamuk vd. (2004), Ege Bölgesi'nin 1971-2001 yılları arasındaki kuraklık özelliklerini SYİ yöntemiyle belirlemişlerdir. Ege bölgesi aylık ortalama SPI değerlerinde yaz mevsimi dâhil olmak üzere kuraklık sınırında bir bulguya rastlanılmamıştır. Ancak istasyon bazında inceleme yapıldığında özellikle Temmuz ve Ağustos ayında normal seviyenin üzerinde kuraklık yaşandığı görülmüştür. Değerlendirmede, Ege Bölgesi'nin özellikle yağışlı dönemden sonra normal sınırlar içerisinde bir kuraklık süreci yaşamakta olduğunu ancak yağış döneminde İç Batı Anadolu Bölümü'nün nemli olduğu belirtilmiştir.

Yeğnidemir (2005), 1953-2003 yılları arasında İç Anadolu Bölgesi'ndeki 28 istasyonu kapsayan kuraklık değerlendirmesinde SYİ metodunu kullanmıştır. Bölgedeki her bir istasyonda farklı eşik değerleri için kuraklık karakteristikleri belirlenerek noktasal kuraklık özellikleri tanımlanmıştır. Kriging yöntemiyle bölgesel kuraklık haritaları çizilmiş; bu haritalar yardımıyla su eksikliği olan yerler tespit edilmiştir.

Keskin vd. (2008), yürütülen proje kapsamında, Isparta bölgesine ait istasyonlar için Devlet Meteoroloji İşleri'nden alınan yağış verileri kullanılarak SYİ yöntemi ile kuraklık analizi yapılmıştır. Kuraklık analizinden elde edilen değerlere bağlı olarak Göller bölgesi için yapay zekâ yöntemlerinden yapay sinir ağları (YSA) ve adaptif sinir ağına dayalı bulanık çıkarım sistemi (ANFİS) kullanılarak kuraklık modelleri geliştirilmiştir. SYİ, YSA ve ANFİS sonuçları kullanılarak oluşturulan veri tabanı ile bölgenin kuraklık haritaları elde edilmiştir.

Yıldız (2008), Kırıkkale meteoroloji istasyonundan elde edilen 1953-2007 yıllarına ait aylık yağış verilerinden farklı zaman ölçekleri için hesaplanan SYİ değerlerini kullanarak Kırıkkale'de yaşanan kuraklıkların özelliklerini analiz etmiştir. Yağışlardaki azalmalar göz önüne alınarak bu durumun su kaynakları üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Karavitis vd. (2011), SYİ yöntemiyle Yunanistan'ın tümü için 1947-2004 dönemini ve 46 istasyonu kapsayan 1, 3, 6, 12 ve 24 aylık zaman ölçeklerinde kuraklık analizi yapmışlardır. Daha sonra, SYİ değerlerinin alansal dağılışı SURFER 9 yazılım paketi kullanılarak geo-istatistiksel yöntemlerle gerçekleştirilmiştir. Ulaştıkları sonuçların, kuraklık planlamalarının bir parçası olarak kuraklık tahmini ve erken uyarı sistemlerinde SYİ kullanımının önemini ortaya koyduğunu belirtmişlerdir.

Fidan (2011), Doğu Akdeniz Bölgesi'nde (Adana Bölümü) yer alan meteoroloji gözlem istasyonlarının uzun yıllık aylık yağış serilerini

kullanarak, SYİ yöntemine göre kuraklık indekslerinin bulunması ve Markov zinciri ile kurak olma olasılıkları araştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, bölgede kuraklık açısından en kritik istasyonun kurak olma olasılığı, ardışık 48 ay-sürelili serilerde %70'lik oranıyla Tufanbeyli olduğu saptanmıştır. Bir ay süreli yağışlara göre kuraklık riski en düşük olan istasyonlar Gözne ve Nizip olarak bulunmuştur.

Hughes ve Saunders (2002), Avrupa'da 20. yy'da yaşanan kuraklıkların klimatolojisini farklı zaman ölçekleri için çalışmışlardır. 1901-1999 yılları arasında 10° Batı - 35° Doğu boylamları ile 35° - 70° Kuzey enlemlerini kapsayan bölgede 0.5° grid aralıklarıyla 3, 6, 9, 12, 18 ve 24 aylık SYİ değerlerine göre Avrupa'daki kuraklık analizi yapılmıştır. 12 aylık SYİ değerlerine göre ortalama ekstrem kurak ($SYİ < -2$) sürenin 27 ± 8 ay, ortalama maksimum kuraklık süresinin de 48 ± 17 ay olduğu saptanmıştır.

Bordi vd. (2001), bölgesel kuraklık değerlendirmeleri için SYİ yöntemini önerdikleri çalışmada doğu İtalya'daki Marche bölgesinin yağış rasatlarını kullanmışlardır. 1948-1981 dönemini kapsayan değerlendirmede, daha geniş bir makroklima bölgesi olarak Akdeniz iklim bölgesi ile çalışılan alan arasında iyi bir uyum olduğu saptanmıştır.

1.3. Tezin Amacı ve Önemi

Dünyadaki tüm doğal afetlerin şiddeti, etkili olduğu süre, etkilediği alan, neden olduğu toplam can kaybı ve ekonomik kayıp, sosyal etki, uzun

dönemdeki etkisi ve ilişkili olduğu tehlikelerin sayısı dikkate alınarak yapılan değerlendirmede kuraklığın önem sıralamasında en önemli doğal afet olduğu ortaya konulmuştur (Bryant, 2005). Yarı kurak bir iklim kuşağında bulunan Türkiye’de, yağışın hem alansal hem de zamansal dağılışının düzensiz olması (Türkeş 1990, Erlat 2002, Sırdaş 2002, Kadioğlu 2008) kuraklıktan kaynaklanan olumsuzlukların bir plan dahilinde yönetilmesini zorunlu kılmaktadır.

Türkiye’nin Karadeniz kıyı kuşağı ve kuzeydoğusu dışında kalan bölgelerinde genel olarak yaz mevsiminin diğer mevsimlerden daha kurak geçmesi, bu bölgelerin Akdeniz İklimi yağış rejimi bölgesinde kalmasıyla ve yaz aylarında gelişen sinoptik koşullarla açıklanabilir. Bu koşullar Türkiye’nin bulunduğu bölgenin iklim normalleri olarak beşeri faaliyetleri ve doğal ortamı kendine uydurmuştur. Bu iklim kuşağında yine bir iklim normali olarak sonbaharla birlikte ve kış aylarında frekansı artan orta enlem depresyonları ile Akdeniz üzerinde oluşan siklonlar yağışlı dönemin başlamasına neden olur. Fakat iklimin doğası gereği bazı dönemlerde iklim olayları anormal şekilde seyredebilir. Türkiye’nin büyük bir bölümünde yağışlı geçmesi beklenen serin dönemin, kuraklığa neden olan hava paternlerinin etkisiyle daha az yağış alması, takip eden kurak yaz döneminde problemin katlanarak büyümesine neden olur. Böylece su kaynaklarıyla ilişkili ekonomik kayıplar, büyük kentlerde içme ve kullanma suyu sıkıntısı ve ekolojik kayıplar çok önemli boyutlara ulaşır.

Kuzey Atlantik Salınımı (KAS), Akdeniz Havzası'nda yağış ve sıcaklığın zamansal gelişimi üzerindeki dominant atmosferik paternlerden biridir (Trigo vd., 2002). Türkiye'nin de içinde bulunduğu Akdeniz havzasında yağışlı dönemin ana hava akımlarının (Şekil 2.5 ve 2.8), kuzey Atlantik'teki aksiyon merkezleri olan Asor antisiklonu ile İzlanda siklonu arasındaki etkileşimden etkilendiği bilinmektedir (Cullen ve deMenocal, 2000). Türkiye'deki yağış miktarının yıllar arası değişimi ile bunun etkilerini anlamaya yönelik yapılan çalışmalarda (Ör. Türkeş ve Erlat 2003) KAS'ın her bölgede aynı ölçüde anlamlı olmasa da önemli bir faktör olduğu ortaya konulmuştur. KAS kış indeksinin güçlü pozitif olduğu dönemlerde Türkiye'nin de içinde bulunduğu Akdeniz Havzası'na yağış getiren kuzey Atlantik kökenli siklonik orta enlem cephe sistemlerinin frekansında meydana gelen düşüşle yağışlarda meydana gelen azalma arasında güçlü bir ilişki olduğu saptanmıştır. KAS kış indeksinin güçlü negatif olduğu dönemlerde ise yağış değerlerinde artışlar saptanmıştır (Erlat, 2002).

KAS'ın bir faktör olarak Türkiye'deki yağışların zamansal ve alansal değişimini belirli ölçülerde kontrol etmesi, meteorolojik kuraklık ve bununla bağlantılı hidrolojik ve tarımsal kuraklık olaylarını da aynı ölçüde kontrol ettiğini öngören bir hipotezin doğruluğunu istatistiksel yöntemlerle test etmek, bu çalışmanın temel amacıdır.

1975-2008 yıllarını kapsayan dönemde meydana gelen kuraklık olaylarının Türkiye'de zamansal ve alansal dağılışını yaparak kuraklığın farklı zaman ölçekleri için nerede ısrarlı olduğunu belirlemek, farklı kuraklık

seviyelerine göre kuraklık şiddetinin ve olasılığının alansal dağılışını yapmak bu tezin diğer amaçlarındandır.

Türkiye'nin bulunduğu jeopolitik çevre, enerji kaynaklarının yanında iklim koşullarıyla ilişkili olarak su kaynaklarının da önemini gözardı etmemeyi gerektirir. Barışın oldukça kırılgan olduğu Orta Doğu'da yer alan Türkiye'deki su kaynakları ve bununla ilişkili planlar iklim değışkenliğı dikkate alınarak değeriendirilmelidir.

Su kaynaklarının yönetimi açısından kuraklık analizleri, planların en önemli bileşenleridir. Ekonomik sektörler ve doğal ortam unsurlarının su gereksinimi ile ilgili olası risklerin belirlenebilmesi, iklim değışkenliğinin takibiyle belirli ölçülerde mümkündür. Bu çalışmada, iklimsel öngörüler açısından yeterli uzunlukta kabul edilen yağış verilerinden Türkiye'de;

- kuraklık görülen bölgeler,
- kuraklık olasılığı,
- kuraklık süresi,
- en uzun kuraklık süresi,
- kuraklık genliğı,
- kuraklık şiddeti

gibi planlama unsuru olabilecek önemli parametreler belirlenmiştir. Bu çalışmada üretilen ve iklimsel öngörülerimizi geliştirmeye yardımcı olacak diğer önemli bir nokta da KAS indekslerinin pozitif ve negatif dönemleriyle Türkiye'deki kurak dönemler arasındaki ilişkileri alansal ve zamansal düzeyde ortaya koymasıdır.

2.BÖLÜM

KÜRESEL İKLİM, KURAKLIK OLUŞUMU VE KURAKLIK İNDEKSLERİ

2.1. Küresel İklim Sistemi ve İklim Değişikliği

Jeolojik Geçmişten Günümüze İklim Değişimi

Dünya atmosferi, Güneş Sisteminin oluşmaya başladığı 4,6 milyar yıl öncesinden günümüze kadar büyük değişimler geçirmiştir. Başlangıçta evrende bolca bulunan helyum ve hidrojenden oluşan atmosfer, daha sonra volkanik faaliyetlerle yüzeye ulaşan su buharı, karbondioksit ve azottan oluşan, sıcaklığı 85-110 °C olarak tahmin edilen bir yapıya dönüşmüştür (Koçak, <http://web.itu.edu.tr/~kkocak/atmevrin.html>). Atmosferin evriminde ikinci evre diyebileceğimiz bu dönemde bulut ve yağış oluşumuna uygun koşullar olduğu için yeryüzüne düşen yağışlar akarsuları, gölleri ve okyanusları oluşturabilmiştir. Bu evreden sonra biyolojik dönemin başlamasıyla ilk oksijen üretimi başlamıştır. Fotosentez yapan bitkilerin ortaya çıkması ve biokütlelerinin artması atmosferdeki karbondioksitin çoğunun oksijene dönüşmesi sürecini hızlandırmıştır (Öngür, 2008). Böylece azot ve oksijence zengin Dünya atmosferi teşekkül etmiştir.

Dünya iklim sistemi Güneş enerjisi, atmosfer, okyanuslar, denizler ve diğer su kaynakları, kar örtüsü, buzullar, kara parçaları ve canlılar arasındaki etkileşime bağlı olarak şekillenmektedir. İklim sistemi, kendisini

oluşturan bu bileşenlerin herhangi birinde oluşacak -küçük dahi olsa- değişimlerden etkilenir. Bu anlamda **iklimsel değişebilirlik**, hava durumuna bağlı gelişen hava olayları dışında bütün zaman ve alan ölçeklerinde ortalama iklim şartlarında meydana gelen değişimlere karşılık gelir (<http://ccir.ciesin.columbia.edu/nyc/pdf/q1a.pdf>). İklimsel değişebilirlik, iklim sistemindeki doğal iç süreçlere veya doğal kaynaklı dış zorlama etmenlerindeki değişimlere bağlı olarak oluşabilir (Türkeş, 2008a). **İklim değişikliği** ise nedeni ne olursa olsun iklim koşullarındaki büyük ölçekli (küresel) ve önemli yerel etkileri bulunan, uzun süreli ve yavaş gelişen değişiklikler olarak tanımlanır (Türkeş, 2008a). İklim değişikliği, doğal ve antropojen faktörlerin atmosfer ile yeryüzünde neden olduğu değişimlerden kaynaklanmaktadır. Güneşten alınan kısa dalga ve yeryüzünden uzaya verilen uzun dalga enerjinin bilânçosunda değişikliğe neden olabilecek tüm yersel, yörüngesel, atmosferik ve Güneşle ilgili süreçler iklim değişikliğinin temel hazırlayıcılarıdır.

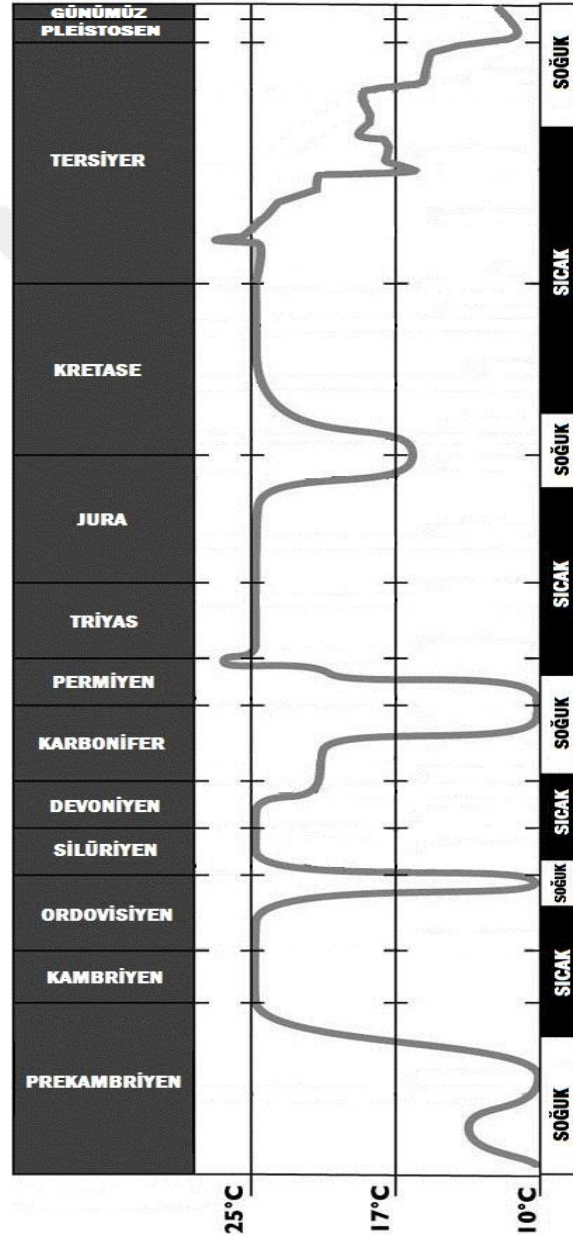
Dünya iklimi, 4,6 milyar yıllık jeolojik tarih boyunca Güneş'ten alınan enerji miktarı, Dünya'nın yörüngesi ve dönüş eksenindeki değişimler, yerkabuğu hareketleri, volkanik faaliyetler, atmosfer-okyanus etkileşimi ve atmosferin bileşimindeki değişimlere bağlı olarak birçok kez değişmiştir. Tarihlendirilebilen ve iklim koşullarını yansıtan uygun doğal kayıtlardan farklı tekniklerle (radyokarbon yöntemi, oksijen-18 izotopuna dayanan yöntem, diyatome ve mercanların jeokimyasal analizi gibi) elde edilen veriler bu konudaki detaylara ulaşmamızı sağlamaktadır. Böylece geçmiş dönemlerdeki iklim koşullarına ait ulaşılan bilgilerden jeolojik dönemler

arasında yağış ve sıcaklıkla ilgili karşılaştırma yapma olanağı bulmaktayız (Şekil 2.1). Yapılan karşılaştırmalı veya birbirini tamamlayan çalışmalardan jeolojik geçmişin iklim koşullarıyla ilgili önemli dönemler jeokronolojik sırayla aşağıda özetlenmiştir.

Amerikan biyomagnetist ve paleomagnetist J.L. Kirschvink'e göre günümüzden yaklaşık 2,4 milyar yıl önce ile 580 milyon yıl (my) öncesi arasında kalan zaman diliminde kutuplardan Ekvatora tüm okyanus ve kara yüzeylerinin buzlarla kaplandığı (snowball earth) üç dönem yaşanmıştır (www.snowballearth.org; Hoffman ve Schrag, 2002). Bunlardan *Makganyene* olarak adlandırılan ilk buzul dönemi Proterozoik'in başlarında (2,22 milyar yıl önce), *Sturtian* buzul dönemi 710 my önce ve *Marinoan* buzul dönemi de Proterozoik'in sonlarına doğru 640 my önce gerçekleşmiştir. Günümüzden yaklaşık olarak 542 my önce başlayıp 251 my öncesine kadar devam eden **Paleozoik'te** de küresel iklim değişmeye devam etmiştir.

Kambriyen'de karaların dağılımı ve okyanus akıntılarının etkisiyle gelişen ılıman iklim, buzullaşmaya izin vermemiştir. Bu dönem iki buzul çağı arasında kalan buzul arası bir dönem olup Dünya iklimi günümüzden daha sıcaktı (<http://www.ucmp.berkeley.edu/cambrian/cambrian.php>). Bu iklim koşulları geç **Ordovisiyen'**e kadar devam etmiştir. Ordovisiyen'in sonlarında iklim soğumaya başlamış ve yaklaşık 500 bin yıl süren bir buzul çağı yaşanmıştır (Aklaya, 2006). **Siluriyen'**de iklim ısınmış ve bir önceki dönemde oluşan buzullar eriyerek global deniz seviyesinin yükselmesine neden

olmuştur. Bu dönemde iklim, önceki dönemlere oranla daha kararlı ve günümüzde görülen enlemsel iklim farklılıkları bu dönemde de görülmektedir. **Devoniyen**'de iklim ılıman ve çoğunlukla kuraktı. Dönemin sonlarına doğru küresel iklim soğumuştur. **Karbonifer**, güney paleokutup bölgesinde iklimin kademeli olarak soğuduğu ve buzullaşmanın yaşandığı



Şekil 2.1. Ortalama küresel sıcaklık değişimi (C.R. Scotese, Paleomap Project 2008).

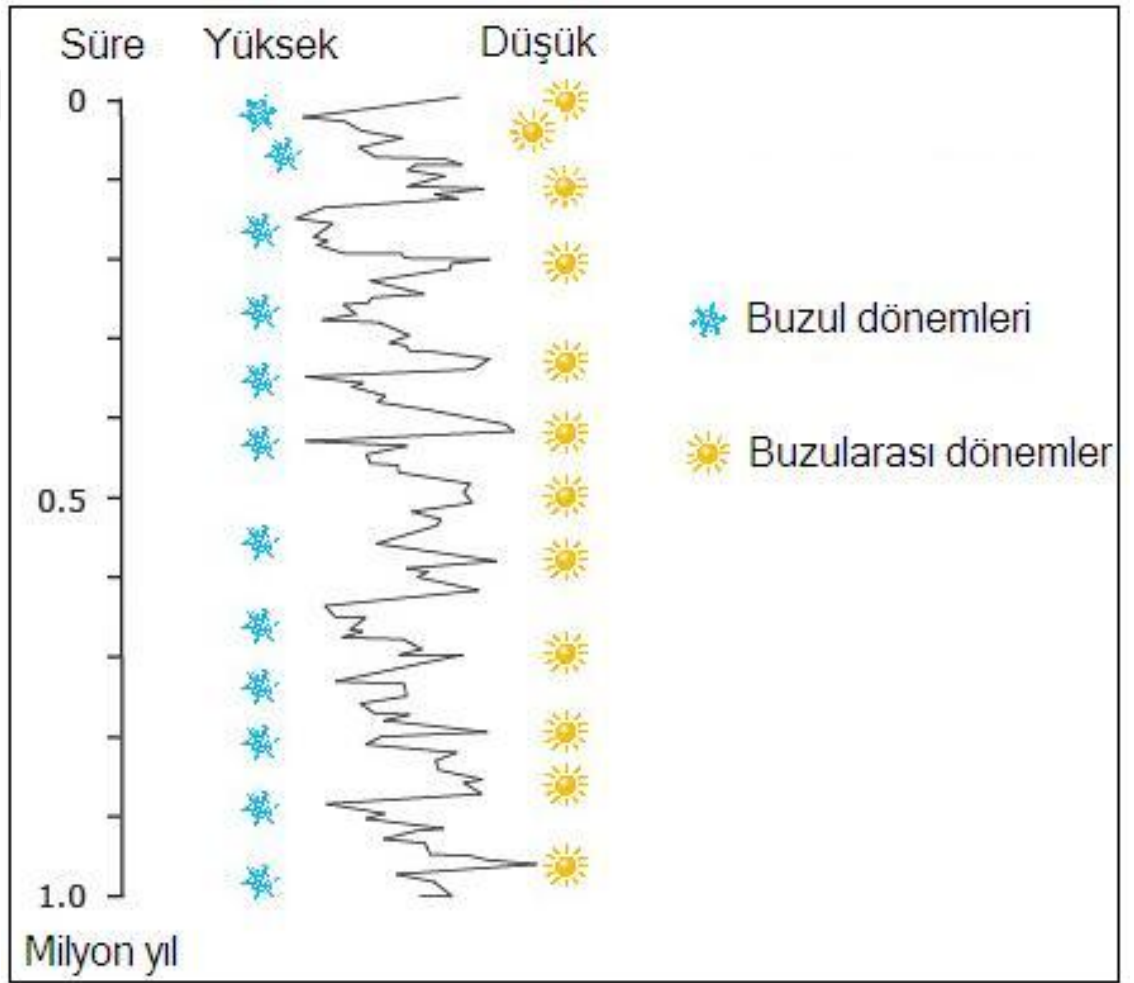
bir evredir. Bu dönemde Ekvatorial bölgede bulunan Kuzey Amerika'nın büyük bölümü ve Avrupa'da Karbonifer boyunca tropikal iklim koşulları hüküm sürmüştür. **Permiyen**'in başlarında iklim oldukça soğuk olduğundan güney yarımkürenin büyük bölümü buzullarla kaplanmıştır. Daha sonraki dönemlerde, Pangea kıtasının iç kesimleri çölleşmiş, ekvatorial kuşaktaki yağmur ormanları kaybolmuştur. Kuzey kutbu buzullarla kaplı kalmış, ancak Güney kutbu buzulları yok olmuştur (Ekmekçi, 2008).

Mesozoyik Zaman, günümüzden 251 my öncesiyile 65,5 my öncesi arasındaki dönemi kapsar. Mezozoik boyunca dünya sıcak bir dönem yaşamıştır. Kutuplarda buzullaşma olmamıştır. Permiyende başlayan kurak ve karasal iklim, **Trias** boyunca devam etmiştir. Mevsimler aşırı yağışlı ve aşırı kurak dönemler şeklinde yaşanmıştır. Pangea'nın iç kısımları aşırı kurak/çöl durumdaydı. **Jura**'da iklim yeniden nemli hale gelmiş, kıtalar yeniden bitkilerle kaplanmıştır. Dönemin büyük bir bölümünde kutuplarda buzullar yoktur. Bu devirde sıcaklık değerleri düşerken yağışlar artmıştır. Bu nemli ve mevsimselliğin çok belirgin olmadığı yumuşak iklimsel eğilim, **Kretase**'de devam etmiştir. **Kretase**'nin ortalarından itibaren iklim değişmeye başlamış, mevsimler arasındaki farklılıklar artmıştır. Küresel sıcaklık düşmüş, ekvator ve kutuplar arasındaki sıcaklık farkı büyümüştür (Alkaya, 2006; <http://www.biltek.tubitak.gov.tr>).

65,5 my öncesinden günümüze uzanan **Senozoyik**'in başlarında, **Paleojen**'de [2004 yılında U. S. Komisyonu Tersiyer ve Kuvaterner terimlerini iptal etmiştir. Yeni Jeolojik Zaman Çizelgesi'nde Senozoyik

Zaman, Paleojen ve Neojen olmak üzere iki devire bölünmüştür (Alkaya, 2006). Bu düzenlemeye göre Paleojen, *Paleosen*, *Eosen* ve *Oligosen*; Neojen ise *Miyosen*, *Pliyosen*, *Pleyistosen* ve *Holosen* olarak alt devrelere ayrılmıştır.] Kuzey Amerika, Afrika ve Avustralya'nın iç kesimleri kuraktı. İklim genel olarak sıcak olduğu için gür ormanlar yüksek enlemlere kadar çıkabilmişti. Paleojen'in ortalarında iklim günümüzden daha sıcak, yağışlı ve ılıman olmakla birlikte Güney kutbunda buzullar gelişmeye başlamıştı. Mevsimler ise belirgin değildi. Paleojen sonlarında iklimde görülen soğuma dikkat çekicidir. Örtü buzullar Güney kutbunu, Antarktika'yı kaplamaya başlamıştır (Hay vd., 2002). **Neojen**'in başlarında iklim koşulları günümüzdekine benzemekle birlikte daha sıcaktı. Ekvatorla kutuplar arasında uzanan iklim kuşakları belirgindi. Kuzey Avrupa'da iklimin bu günkü tropikal değerlere yakın seviyede sıcak olduğunu gösteren fosillere rastlanmıştır (C.R. Scotese, Paleomap Project, www.scotese.com/miocene1.htm). Kıtaların konumlarının değişmesi, orojenik hareketler ve okyanus akıntılarının değişmesi birtakım iklimsel değişimlere neden olmuştur. Dünya genelinde yaşanan bu tektonik süreçlerin Neojen'deki (Miyosen-Pliyosen) buzullaşmaya da neden olduğu düşünülmektedir (Hay vd., 2002; Alkaya, 2006; www.ucmp.berkeley.edu). Karaların iç kısımlarında kuraklık olayları ortaya çıkmış, kutup buzulları büyümeye başlamıştır. 4,5 my önce Kuzey ve Güney Amerika'nın birleşmesiyle Karayip Denizi ve Pasifik Okyanusu'nun bağlantısı kesilmiştir. Böylece sıcak okyanus akıntılarının geçip kuzeye yöneldiği suyolunun kapanması buzulların oluşmaya başlaması üzerinde önemli rol oynamıştır. Fakat yine de Kuzey yarımküre'deki yaygın buzullaşma süreçleri elverişsiz yörünge koşullarından dolayı 3,2 my'dan

önce başlamamıştır (Hay vd., 2002). 1,8 my önce başlayan **Pleyistosen**'de Kuzey yarımkürede, ortalama 100 bin yıllık periyotlarla orta enlemlere kadar inen kutup buzulları bir dizi soğuk dönemin yaşandığını göstermektedir. Bu soğuk dönemler arasında ise sıcak/ılıman dönemler yaşanmıştır (Şekil 2.2). Soğuma dönemleri ortalama 50-100 bin yıl sürerken ısınma 10 bin yıl gibi daha kısa bir sürede gerçekleşebilmiştir.



Şekil 2.2. Foraminifera fosillerinden elde edilen oksijen izotop kayıtlarına göre son 1 milyon yıl boyunca buzul ve buzularası dönemlerin döngüsü. (The University of Waikato - www.sciencelearn.org.nz)

Doğal iklim değişikliğini açıklayan astronomik teori, 19. yüzyılın ilk yarısında J.A. Adhemar'ın ve daha sonra J. Croll'un ilk temellerini oluşturdukları; teoriye en büyük katkıyı sunan M. Milanković'in de detaylı matematiksel hesaplarıyla geliştirdiği ve günümüzde doğal iklim değişimini en iyi açıklayan teoridir (Bekaroğlu, 2011). Dünya'nın yörüngesinde ve dönüş ekseninde meydana gelen değişimlerin düzenli aralıklarla tekrar eden döngüler şeklinde olduğuna dayanan ve bu 'yörüngesel baskı'nın kombine etkileri sonucunda farklı enlemlerde Güneş'ten alınan enerjinin değişmesi ile birlikte küresel iklimin de bu döngülere uygun bir değişim gösterdiği, 20. yüzyılın ikinci yarısında farklı yöntemleri içeren bilimsel çalışmalarla (Emiliani, 1955; Broecker vd., 1968; Hays vd., 1976; Shackleton, 1977) kanıtlanmıştır. Bu kanıtlara göl sedimentlerinden alınan materyallerin, buzullardan alınan kesitlerin, mercan resiflerinden alınan örneklerin ve karstik mağaraların içinde gelişen dikitlerin farklı tekniklerle (oksijen izotop analizleri, radyometrik tarihleme, U/Th tarihleme ve manyetik terselmelerin ölçülmesi gibi) incelenmesiyle ulaşılmıştır. Uzak geçmişteki iklim koşullarıyla ilgili çalışmalarda kullanılan derin deniz çökelleri düşük çözünürlüklü (500 yıllık) veri sağlarken, yakın jeolojik geçmişteki iklimsel koşulları 'kaydeden' buzullar, mercan resifleri, göl depoları ve mağara damlataşları yüksek çözünürlükte (10-100 yıl) veri sağlamaktadır (Ekmekçi, 2008).

Son 2,5-3 my'da (Pliosen, Pleyistosen ve Holosen) yaşanan glasyal ve interglasyal dönemler incelendiğinde, küresel iklimin önceki jeolojik devirlere oranla daha sık aralıklarla ve büyük zıtlıklar oluşturarak değiştiği

görülmektedir. Endüstriyel faaliyetlere bağlı fosil yakıt kullanımının da yaygınlaştığı ve arazi örtüsündeki değişim nedeniyle son 150 yıllık süreçte insan faktörünün iklim değişimine katkıları artmıştır. Farklı tarihlerde yayımlanan Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) değerlendirme raporlarında (IPCC, 1990; IPCC, 1995; IPCC, 2001; IPCC, 2007) bu yöndeki vurgulara sıkça rastlamak mümkündür. Fakat bazı bilim insanlarına göre son buzul çağından sonraki sıcak ara dönemin sonundayız ve bu nedenle küresel iklimin yeni başlayacak bir buzul çağının eşiğinde olabileceği belirtilmektedir (Abdussamatov, 2012). Bu tespitin dayanakları ise Vostok buzul sondajlarından elde edilen verilere dayalı son 420 bin yıllık ısınma ve soğuma döngüsü ile Güneş lekeleri ve parlaklığındaki değişim döngüsünün devam edeceği yönündeki görüştür.

İklim değişikliği sıcaklık, buharlaşma, toprak nemi, yağışlar ve su kaynaklarını etkileme potansiyeline sahip olduğu için kuraklık proseslerini de kontrol etmektedir. IPCC 3. değerlendirme raporuna (TAR, 2001) göre Türkiye’de geçtiğimiz yüzyılın son çeyreğinde her 10 yılda ortalama yıllık sıcaklık 0,2 °C ile 0,4 °C arasında artma eğilimi göstermişken yıllık yağış miktarı Akdeniz rejiminin etkisindeki bölgelerde %4 ile %8 arasında değişen oranlarda azalma eğilimi göstermiştir. Aynı raporda mevsimlik sıcaklık eğilimleri de artma yönünde olup özellikle yaz mevsimi sıcaklıklarındaki artış diğer mevsimlere göre daha fazladır. Benzer şekilde Türkeş vd.’nin (2002) 1930-2000 yılları arasını kapsayan çalışmasına göre her 10 yıllık ortalama, maksimum ve minimum sıcaklıklar -Karadeniz iklim bölgesi hariç- Türkiye genelinde artma eğilimindedir. Aynı çalışmaya göre minimum mevsimlik

sıcaklıklar özellikle ilkbahar ve yaz aylarında belirgin bir artma eğilimi göstermiştir. Sıcaklık artışının devam etmesi, özellikle kurak geçen yaz mevsiminde buharlaşmanın şiddetlenmesiyle su kaynaklarına bağlı ortam bileşenlerinde ciddi sıkıntıların yaşanmasına neden olabilir. Artan sıcaklıklar, yağışların daha küçük bir bölümünün kar şeklinde gerçekleşeceği anlamına gelebilir. Kar yağışının marjinal olduğu bölgelerde kar artık yağmayabilir ve bunun hidrolojik rejimler için çok önemli sonuçları mutlaka olacaktır (Şen, 2005).

SRES (IPCC tarafından 2000 yılında hazırlanan Emisyon Senaryoları Özel Raporu - Special Report on Emissions Scenarios) emisyon senaryolarına göre (gelecekteki sera gazı emisyon tahminleri, nüfus artışı, enerji kullanımı, ekonomik yapılanma, teknolojik gelişmeler ve arazi kullanımındaki değişiklikleri içeren tahminler kullanılarak dört ana senaryo A1, A2, B1, B2 ve bunların altında farklı kombinasyonlardan oluşan çok sayıda üretilen senaryolar) yapılan simülasyonlar önümüzdeki yirmi yıl içinde (2000 - 2020 yılları arasında), her on yıl için 0,2°C'lik bir ısınma meydana geleceğini göstermiştir. Bütün sera gazları ve aerosol yoğunlukları 2000 yılı düzeyinde sabit tutulsalar bile, her on yılda 0,1°C civarında ısınma beklenmektedir (IPCC 4. Raporu-AR4, 2007).

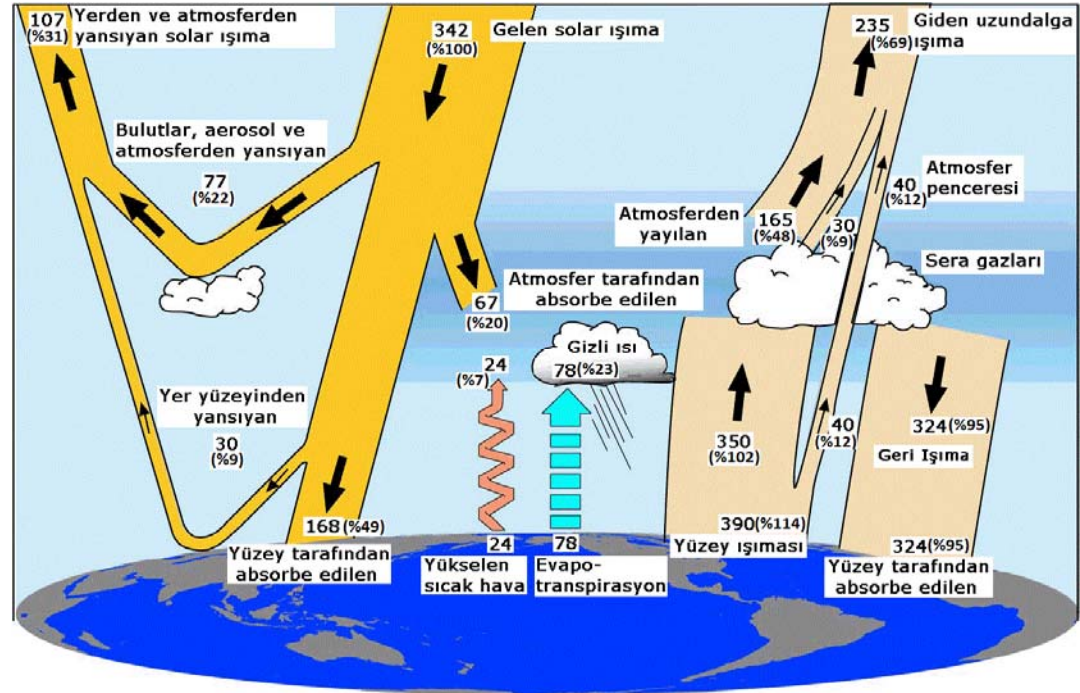
Akdeniz Havzası ve Türkiye'deki kuraklık süreçlerini kontrol eden sıcaklık ve yağış paternlerinde, küresel iklim değişiminin neden olacağı olası değişiklikler bir bütün olarak değerlendirildiğinde; kuraklık olaylarının şiddeti ve sıklığının artacağı sonucuna varılabilir. Bu durumda en azından gelecek

birkaç on yılda su kaynaklarıyla ilişkili faaliyetlerde, ormanlarda, tarımsal üretimde ve ekosistemde kayıpların meydana gelebileceği öngörülebilir. Kamu yetkililerince yeterli ilgi gösterilirse, kuraklık zararlarını en aza indirmek amacıyla kuraklık risk yönetimini de içeren su kaynaklarının yönetimi ile ilgili politikalar geliştirilebilir.

2.2. Kuraklığa Neden Olan Meteorolojik Faktörler

2.2.1. Troposferdeki Genel Hava Dolaşımı

Güneş ışınımı, elektromanyetik dalgalarla uzaya yayılır. Yayılan bu dalgaların küçük bir bölümü (%2) dünyaya ulaşarak yeri ve atmosferini ısıtır (Şekil 2.3). Fakat yer yüzeyinin ve atmosferin özelliklerine bağlı olarak ışınlama yer sistemine ulaşan ısı, yer yüzeyine ve atmosfere eşit dağılmamıştır. Ekvator ve yakın çevresi kutuplar çevresine göre daha fazla

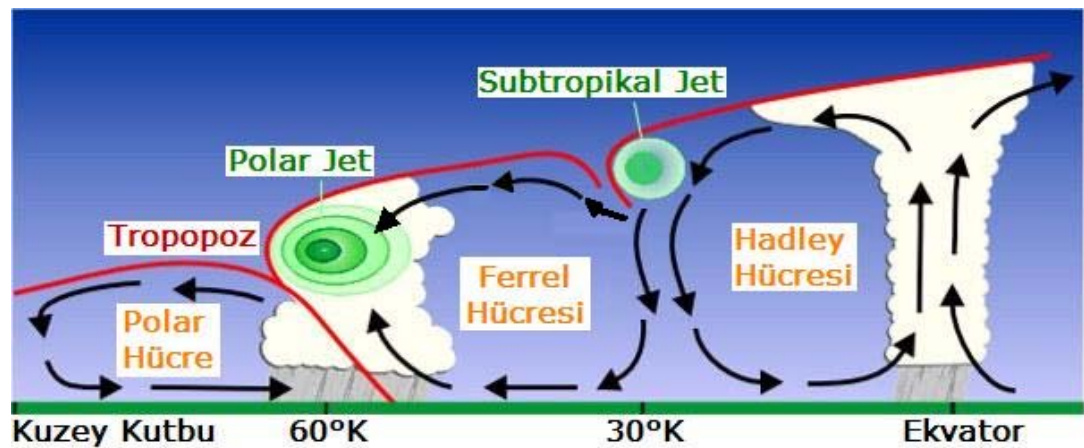


Şekil 2.3. Küresel ısı akışı (W/m²). (Kiehl ve Trenberth, 1997)

ısıdır. Atmosferdeki hava hareketleri ve okyanus akıntıları, taşıyıcı bant gibi çalışarak tropikal bölgeden kutuplara doğru enerji transferini gerçekleştirirler. Dünyanın eksenini etrafındaki dönüşünden kaynaklanan koriolis kuvveti ve mevsim faktörünün etkisiyle genel atmosfer dolaşımı, hareketsiz bir dünya modelindeki enerji transferinden farklı işlemektedir. Ekvatordan kutuplara doğru gelişen küçük dalgalar, fırtınalar ve türbülans yardımıyla enerji taşınır. Yer yüzeyinin kara ve denizlerden oluşması, yerel topografik farklılıklar ve yer yüzeyinin diğer özelliklerinden kaynaklanan dinamik faktörlerin oluşturduğu kombinasyonlar alt atmosferdeki hava hareketlerini daha da karmaşık hale getirir. Güney yarımkürede okyanuslar yarımkürenin yaklaşık 4/5 ini kapladığı için basınç ve rüzgâr kuşakları kuzey yarımküreye göre daha düzenlidir. Troposferde gelişen hava hareketlerinin bir bölümü kısa sürelerle etkili olan geçici karakterdeyken bir bölümü de daha uzun süreli ve yılın tamamında veya belirli dönemlerinde genellikle zamansal bir istikrar da göstererek gerçekleşirler. Bu ortalama atmosfer dolaşımı yıldan yıla aynı kalma eğilimindedir.

Kronolojik sırasıyla G. Hadley, W. Ferrel ve T. Bergeron'un gelişimine katkı sunduğu Klasik Sirkülasyon Teorisi'nin en gelişmiş son şekli olan üç hücreli dolaşım modeline göre (Şekil 2.4) Ekvator ve 60° enlemleri civarında alçak, kutuplarda ve 30° enlemleri civarında yüksek basınç koşulları hava akımlarını kontrol etmektedir. Bu hücrelerin etkileşimleri hava olaylarının oluşmasına ve daha uzak bölgelere taşınmasına neden olur. Üç hücreli dolaşım modeli, Ekvator ile kutuplar arasındaki ısı dengesinin bir birine bağlı ve kuzey-güney yönünde gelişmiş sirkülasyonla gerçekleştiğini kabul

etmektedir. Ekvator çevresinde ısınmaya bağlı olarak gelişen termik alçak basınç bölgesinden yukarı seviyelere taşınan hava, Tropopoz seviyelerinde Ekvatordan kutuplara doğru hareket eden üst hava akımlarına dönüşür. Dünyanın dönüşünden kaynaklanan koryolis kuvvetin etkisiyle 30° enlemi üzerinde sapmaya uğrayan ve soğuyan hava alçalışına zorlanır. Hava alçaldıkça adyabatik olarak ısındığı için doyma açığı artar ve böylece daha kuru bir hava olarak yere ulaşır. Sübsidansın gerçekleştiği bu sahalar tropikal kuşaktaki çöl bölgelerine denk gelmektedir. Alçalan hava yer seviyesinde kuzeye ve güneye doğru ilerlemeye başlar. Bu şekilde oluşan direkt hücreye Hadley hücresi denilmektedir. Ekvatora doğru bulunduğu yarımküreye göre güneybatı veya kuzeybatı yönünde hareket eden hava akımlarına alize rüzgârları; kutuplara yönelen hava akımlarına da batı rüzgârları denir. Batı rüzgârları kuzey yarımkürede güneybatıdan kuzeydoğuya doğru eserler. Bu rüzgârlar, 60° enlemi civarında kutup bölgesindeki termik yüksek basınçtan kaynaklanan soğuk ve yoğun havayla



Şekil 2.4. Üç hücreli genel atmosfer sirkülasyonu.

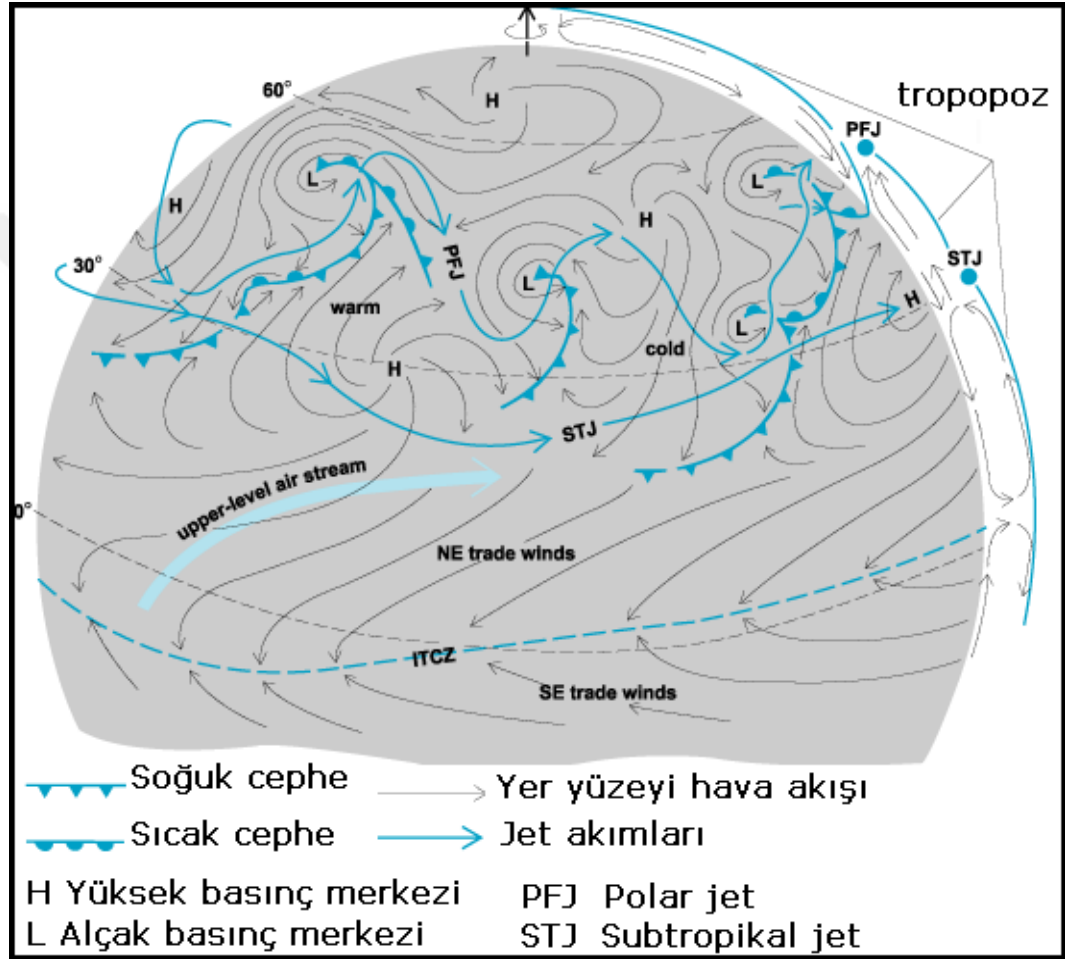
(<http://www.srh.weather.gov/srh/jetstream/global/jet.htm>)

karşılaşır. Bu karşılaşma alanında gelişen dinamik alçak basınç kuşağı aynı zamanda aktif bir cepheye karşılık gelir. Bu bölgede yükselmeye zorlanan soğuk hava ile subtropikal bölgede alçalmaya zorlanan sıcak hava, Kutup hücresi ile Hadley hücresi arasında bir endirekt hücre oluşturur. Bu hücreye Ferrel hücresi denir. Kutuplardaki soğuk havanın çökmesi ve 60° enlemi civarında sıcak havanın yükselmesiyle de Kutup hücresi oluşur.

Yüksek atmosfer gözlemlerinin artmasıyla klasik sirkülasyon teorisinin açıklayamadığı bazı konuları daha iyi açıklama olanağı doğmuştur. Başta Rossby, S. Petterssen ve H. Flohn Modern Sirkülasyon Teorisi'ni geliştirmişlerdir. Bu teoriye göre genel atmosfer dolaşımına neden olan faktör, Klasik Sirkülasyon Teorisi'nde olduğu gibi Ekvator ve kutuplar arasındaki sıcaklık farkıdır. Kutuplardaki net enerji kaybı ekvatordeki net enerji kazancıyla dengelenir. Ancak, Klasik teoriden farklı olarak bu bölgeler arası sıcaklık gradyanının orta enlemlerde güçlü yatay hava akımlarını oluşturduğu ve buradan kuzey ve güneye havanın dağılmasına neden olduğu savunulmuştur.

Bu teoriye göre tropikal sıcak hava gezici siklonlarla kutuplara doğru, kutupların soğuk havası da yine gezici antisiklonlarla ekvatora doğru taşınmaktadır. Klasik teorinin meridyonel hava dolaşımına karşı modern teori zonal hava hareketini esas almaktadır. Modern teorinin diğer önemli bir yönü de üst troposferdeki yüksek seviye rüzgârlarının genel dolaşıma olan etkisiyle ilgilidir. Yer seviyesindeki hava akımlarının tropopozda batıdan doğuya sürekli ilerleyen jet akımları tarafından yönlendirildiği kabul

edilmektedir. 60° enlemi civarında, tropopoz seviyesinde orta enlem gezici depresyonlarını da yöneten Polar Jet; 30° enlemleri üzerinde de yine batıdan doğuya doğru sürekli ilerleyen Subtropikal Jet akımları bulunmaktadır(Şekil 2.5). Bu jet akımları geniş bantlar şeklinde menderesler



Şekil 2.5. Kuzey yarımkürede kış mevsimi genel hava dolaşımı.

(<http://www.answers.com/topic/atmospheric-general-circulation>)

oluşturarak hem doğu-batı hem de kuzey-güney yönünde hareket ederler. Üst seviye rüzgârlarının kontrol ettiği yer seviyesindeki rüzgârların, koriyolis

etkisi, yerden kaynaklanan termik ve dinamik faktörlerin etkisiyle önemli ölçüde modifikasyona uğradığı kabul edilir.

Modern teori ayrıca;

- Orta enlemlerde yer seviyesinde ve üst troposferde her zaman kuzey-güney yönlü düzenli hava akımlarının görülmediğini,
- Tropikal bölgelerin büyük bölümünde Alize ve Üst Alizeleri oluşturabilecek güçte bir sıcaklık gradyanı bulunmadığını,
- Yer seviyesi hariç atmosferin içindeki hava akışının genellikle zonal olduğunu,
- Klasik teoride tanımlanan termik ve dinamik basınç kuşaklarının olmadığını ve bunun yerine tropopoz seviyesindeki hava akımlarının kontrolünde yerel faktörlerin etkisiyle gelişen hava sirkülasyon hücrelerinin dolaşımı sağladığını kabul etmektedir.

Ortalama zonal ve meridyonel akışlarla ilgili değerler karşılaştırıldığında zonal akışların daha kuvvetli olması, Modern teorinin genel hava dolaşımını daha iyi açıkladığı kanaatini güçlendirmektedir.

2.2.2. Kuraklık Oluşumu Ve Kurak Bölgeler

Rüzgâr sistemleri, yağış getiren hava patenlerinin dünya etrafında hareket etmesine neden olur. Zamanla bu patenler belli bir düzen içinde rutin hale gelerek iklimin önemli bir bileşenine dönüşür. Dönem dönem bu

paternler değişir ve bu değişim gerçekleştiğinde bazı bölgelerde normalden daha az veya daha fazla yağış gerçekleşir.

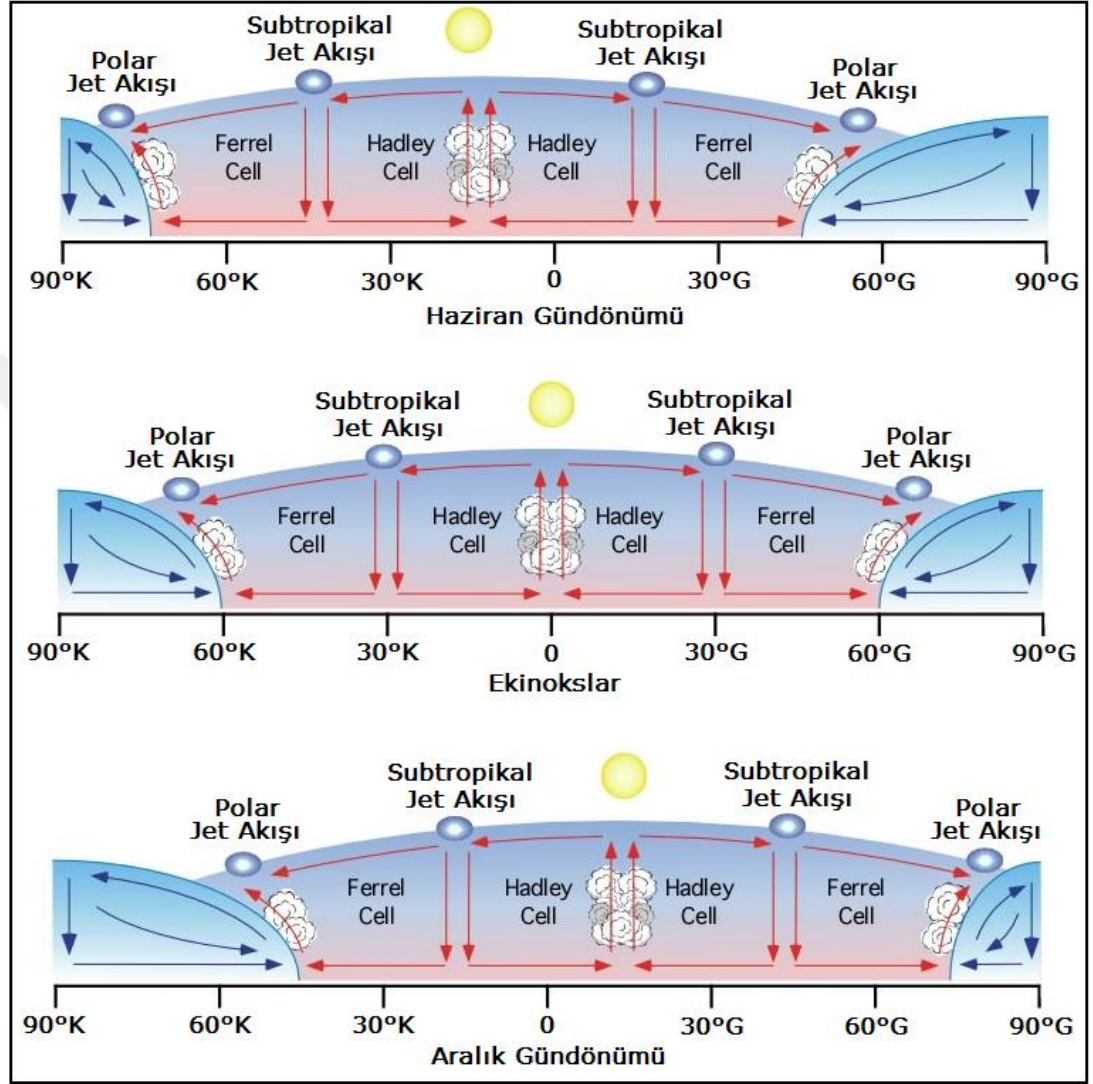
Kuraklığa neden olan süreçler fiziksel, istatistiksel ve sinoptik yönden değerlendirildiğinde karmaşık ve henüz tam anlaşılamayan bazı mekanizmaların kuraklık oluşumunu denetlediği görülür. Termik veya dinamik nedenlerle Troposferde gelişen bir yüksek basınç çekirdeği sürekli veya yarı sürekli olabilir. Yüksek basınç sistemindeki düşey hava hareketi sırasıyla havanın alçalmasına, adyabatik olarak ısınmasına, kuru ve sıcak bir özellik göstereceğinden bağıl nemin düşmesine bu da bulut oluşumunu engelleyeceğinden açık bir gökyüzü ve yağışsız bir havaya neden olur. Bulut örtüsünün ve yağışın azalması, güneşlenmenin artmasına bu da toprağın kurumasına ve ısınmasına, toprağa temas eden havanın da bu yolla ısınmasına neden olacağı için kuraklık açısından pozitif bir geri besleme oluşturur. Yüksek basınç bölgeleri ile bu bölgelerin mevsimlik yer değiştirmesinin sonucunda ortaya çıkan kurak/yarı kurak bölgeler, troposferdeki genel hava dolaşımıyla açıklanabilmektedir. Kuzey Afrika (Büyük Sahra), Arabistan yarımadası, güneybatı ABD - Meksika (Sonoran, Mojave, Büyük Havza ve Chihuahuan lleri), Güney Afrika (Kalahari) ve Avustralya lleri gibi sürekli kurak bölgeler 30° enlemi civarında bulunan sürekli dinamik yüksek basınç merkezlerinden kaynaklanan sübsidansın etkisindedir. Kuzey yarımkürede yaz mevsiminde bu yüksek basınç merkezleri kuzeye doğru etki alanlarını genişleterek ulaştığı bölgelerde (rneğin Akdeniz Havzası) mevsimin kurak geçmesine neden olur. Kış mevsiminde ise bu yüksek basınç sistemi Ekvatorial kuşak ile tropikal çöller

arasında bulunan Savan bölgelerinde kuraklığa neden olmaktadır (Şekil 2.6).

Uzakbağlantı (teleconnection), atmosfer ile okyanuslar arasındaki etkileşiminden kaynaklanan ve bölgesel iklim anomalilerini kontrol eden dinamik bir sistemdir. Dönemsel karaktere sahip iklim anomalileri, çok geniş alanlarda etkili olabilen ve sürekli olmayan atmosfer hareketinin sonucunda gelişen salınımlardır. Bu olay, birbirinden binlerce kilometre uzakta bulunan bölgelerde sıcaklık, basınç ve nemlilik bakımından zıt koşulların ortaya çıkmasını sağlar. Dünya'nın birbirinden uzak bölgelerinde meydana gelen iklimdeki bu eş zamanlı aynı zamanda zıt karakterli değişimler, meteoroloji ve klimatoloji literatüründe 'teleconnection' olarak adlandırılmaktadır.

El Niño - Güneyli Salınım, Kuzey Atlantik Salınımı ve Arktik Salınım Kuzey yarımkürede etkileri iyi bilinen uzakbağlantı paternleridir. Bu uzakbağlantı paternleri de dünyanın bazı bölgelerindeki dönemsel kuraklıkları açıklayabilmektedir. Örneğin El Niño dönemlerinde tropikal orta ve doğu Pasifik'te ve Meksika Körfezi'nin kuzey kıyılarında yağışlar artarken; Avustralya, Endonezya, Malezya, Papua Yeni Gine ve Filipinler'de şiddetli kuraklıklar yaşanmaktadır. Bu durumun nedeni tropikal Pasifik Okyanusu'nun batı kıyılarındaki sıcak yüzey sularının doğuya doğru yer değiştirmesi sonucu oluşan zıt basınç koşullarıdır. El Niño dönemlerinde doğu Pasifik'te basınç düşerken batı ve orta Pasifik'te basınç artmaktadır. Benzer şekilde Kuzey Atlantik'teki dinamik yüksek basınç merkezi ile daha

kuzeyde yer alan dinamik alçak basınç merkezi arasında dönem dönem basınç gradyanı zayıflar veya kuvvetlenir. Bu zıt dönemlerde kuzeybatı



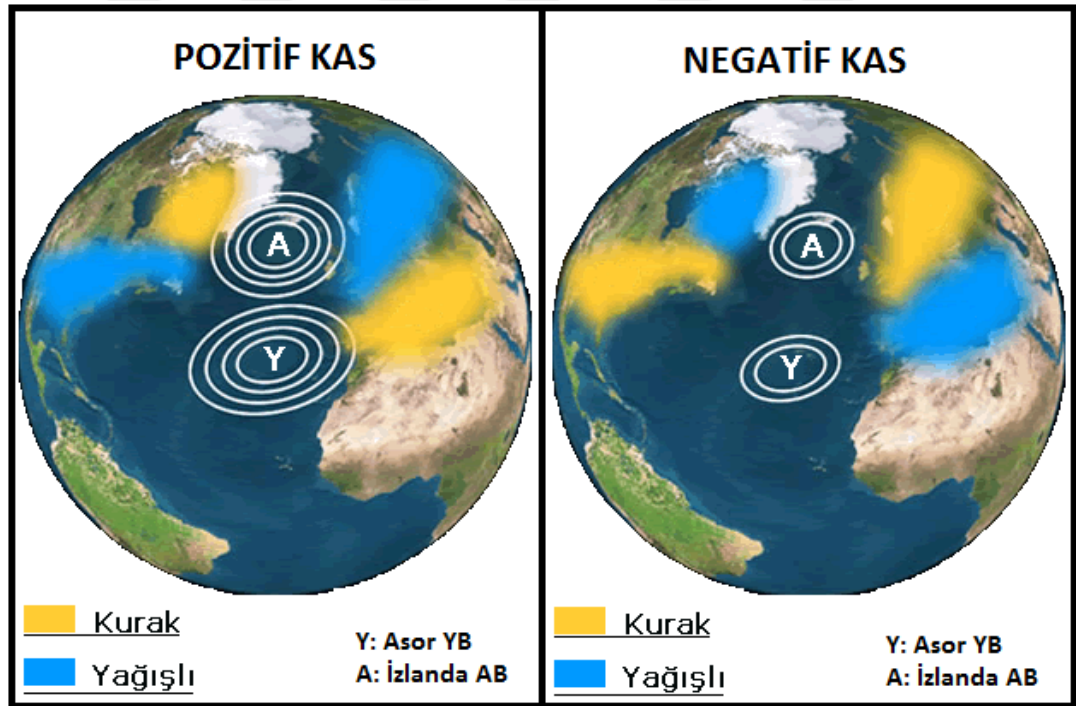
Şekil 2.6. Küresel atmosfer dolaşımının mevsimsel hareketi.

(<http://www.physicalgeography.net/fundamentals/7u.html>)

Avrupa ile Akdeniz Havzası'nda yağış bakımından önemli zıtlıklar ortaya çıkmaktadır. Kuzey Atlantik'teki bu iki merkez arasında basınç gradyanı arttığında (pozitif KAS evresi) fırtınaların yönü kuzeye kaymakta ve kuzeybatı Avrupa'da ve kuzey Amerika'nın güneydoğu ve doğu kıyılarında

yağışlar artmaktadır. Aynı dönemde Akdeniz Havzası'na yağış getiren Kuzey Atlantik doğuşlu orta enlem depresyonlarının frekansı düştüğü için Akdeniz üzerinde ve kıyılarında yağışlar azalarak kuraklık oluşabilmektedir (Şekil 2.7).

Yer şekillerinin etkisiyle ortaya çıkan alçalıcı hava hareketleri de Dünya'nın bazı bölgelerindeki kuraklıkları açıklayabilmektedir. Nemli hava kütlelerini taşıyan rüzgâr sistemleri, dağ sıralarını aşarken yükselimin meydana geldiği yamaçta yağışa; zıt yönde, rüzgâr altı tarafta kalan yamaçta ise alçaldıkça sıcak ve kuru bir karakter kazanacağı için kuraklığa neden olur. Örneğin Batı Rüzgârları kuşağında, And Dağları'nın doğusunda bulunan Patagonya'da ve Kuzey Amerika'da Kayalık Dağları'nın doğusu;



Şekil 2.7. Kuzey Atlantik Salınımı'nın (North Atlantic Oscillation-NAO) pozitif ve negatif evrelerinde kurak ve yağışlı bölgelerin dağılışı.

(<http://eo.ucar.edu/spotlight/nao/page3.html>'den değiştirilerek düzenlenmiştir.)

Himalayalar'ın kuzeyinde yer alan Orta Asya'daki kuraklıklar bu etkiyle açıklanabilir. Benzer şekilde Türkiye'de Kuzey Anadolu Dağları'nın güney; Torosların da kuzey yamaçları ile bu alanlara komşu platolar ve vadi tabanlarında yaşanan kuraklıklar yer şekillerine bağlı alçalıcı hava hareketlerinin etkisine bağlanabilir.

Birçok faktörün etkisiyle gerçekleşebilen atmosferdeki kararlılık, kuraklığın diğer bir nedenidir. Afrika'nın ve Amerika'nın batı kıyılarında etkili olan soğuk okyanus akıntıları, üst troposferden yeryüzüne doğru gerçekleşen dinamik alçalmayla ısınan havanın alt katmanlarının soğumasına neden olarak kararlılığın gelişmesini sağlar. Bu akıntıların etkili oldukları kıyılarda görülen kurak iklim özellikleri, kararlılık mekanizmasının neden olduğu bir sürecin sonucudur.

Endüstrileşme ve modern kentleşmeyle birlikte tam yanmayan tüm fosil yakıtlardan kaynaklanan ve atmosfere salınan kurum (karbon karası), sülfatlar ve is gibi mikro taneciklerin miktarı artmıştır. Havadaki bu parçacıklar, Güneş'ten yeryüzüne ulaşan ışınların azalmasına neden olduğu için bu süreç 'küresel loşlaşma' (global dimming) olarak ifade edilmiştir (Liljegren, 2004). G. Stanhill ve S. Cohen (2001), İsrail'de güneş ışıması ile tarımsal verim arasındaki ilişkileri araştırırken 1958-1992 yılları arasında yeryüzüne ulaşan güneş ışınlarında yıllık ortalama %0,23 ile %0,32 arasında değişen oranlarda azalma olduğunu saptamışlardır. Bu durumun güneş ışınlarını yansıtması sonucunda küresel ısınmayı yavaşlatacağı tezi ise J. Hensen tarafından çürütülmüştür. J. Hensen'e göre mikrotaneciklerin

güneş ışınlarını yansıtarak küresel ısınma hızını azaltma etkisi, ısınmanın ancak yarısı kadardır.

Atmosferdeki partikül emisyonu artışına bağlı olarak iklim olaylarının seyrinde meydana gelen bazı değişimler küresel loşlaşmaya bağlanmaktadır. Liljegren'e göre (2004) bu sürecin bulut fiziğinde neden olduğu değişimlere bağlı olarak kuraklık olayları yaygınlaşmıştır. Aerosoller, üzerinde su buharının yoğunlaşıp küçük bulut damlacıkları oluşturabileceği daha fazla çekirdek sağlayabilirler. Sülfatlar, bulutların içindeki damlacık boyutlarının iyice küçülmesine neden olur. Damlacık boyutunun küçük olması, yağmur bulutlarının oluşumunu geciktirir ve bölgesel yağış paternlerinin değişmesine neden olur. Normal bir buluta göre daha fazla ve daha küçük damlacıklar içeren bulutlarda çok küçük ve hafif olan damlacıkların buluttan koparak yere düşmeleri daha zordur. Böylece bulut yağış bırakmadan varlığını uzunca bir süre sürdürebilir. Bu süreç optik açıdan daha kalın bulutlar ve daha az yağışa neden olur.

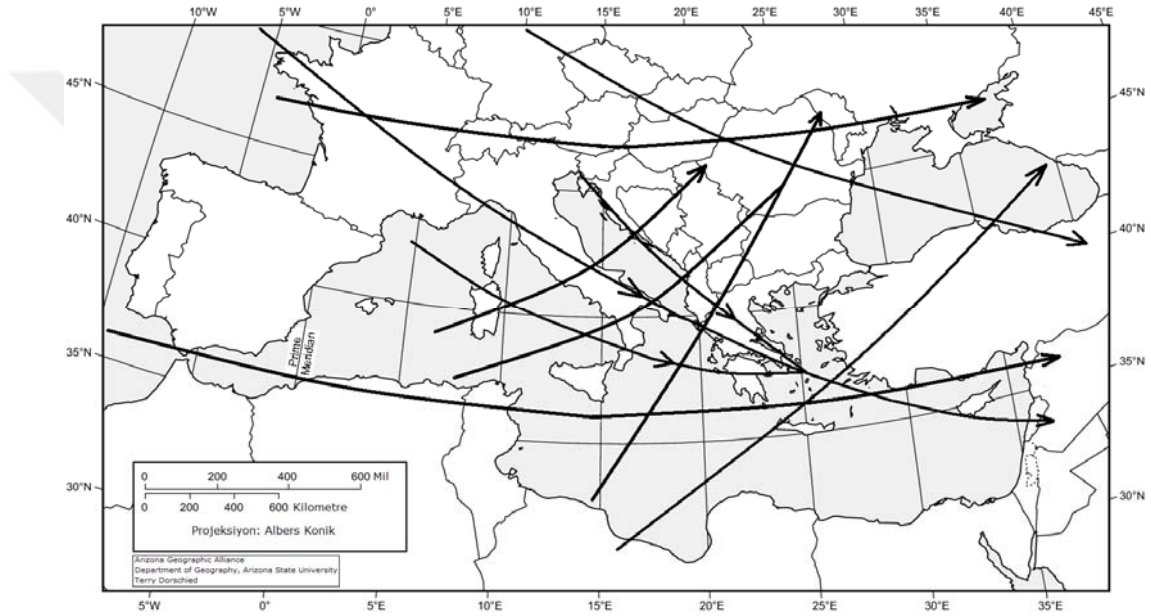
Aerosollerin, aynı zamanda iklimin ısınmasında da payları vardır. Kurum parçacıkları, solar ışımayı yansıtmak yerine absorbe ederler; bu yüzden, atmosferi ısıtırlar ve yansıtıcı sülfat aerosollerin soğutucu etkisine karşı bir denge oluştururlar. Kurum, atmosferi ısıtarak bulut oluşumuna engel olur ve bu sayede daha çok güneş ışığı yeryüzüne ulaşır yüzeyi ısıtır. Bu yönüyle de aerosoller kuraklık oluşumuna katkıda bulunurlar.

2.2.3. Türkiye'yi Etkileyen Sinoptik Sistemler, Hava Kütleleri ve Kuraklık Bağlantıları

Büyük bölümü Akdeniz İklimi kuşağında yer alan Türkiye'de yaz ve kış mevsimlerinde farklı hava kütleleri ve basınç sistemleri etkili olmaktadır. Polar Jet akımları özellikle Ekim-Mayıs ayları arasında Akdeniz Havzası'ndaki hava hareketlerinin yönünü ve cephe sistemlerinin oluşumunu kontrol etmektedir (Sırdaş, 2002). Kışın polar jet akımının subtropikal enlemlere kadar sokulması sonucunda, Akdeniz Havzası'nda oluşan ya da bazı orta enlem depresyonlarının havzaya girdikten sonra derinleşmesi ile gelişen ve kuzey kolu izleyen Akdeniz depresyonları, özellikle kışın, Karadeniz, Marmara, Ege ve Akdeniz bölgelerinde yağışların oluşmasını sağlarlar. Yağış bakımından bu uygun koşullar, polar jet akımının yazın 55°-60° Kuzey enlemlerindeki polar cephe kuşağına ve ötesine çekilmesi nedeni ile ortadan kalkar (Türkeş, 2001).

Türkiye'ye yağış getiren hava sistemlerinin hareket yönü ve oluşum bölgeleri incelendiğinde kuzey Atlantik, en önemli kaynak bölgesidir (Şekil 2.8). Kuzey Atlantik kökenli maritim polar (mP) ve maritim tropikal (mT) hava kütlelerinin yanında, Akdeniz üzerinde termodinamik modifikasyona uğramış mP hava kütleleri olan Akdeniz hava kütlesi, Türkiye'de yağışlara neden olan hava tiplerinin oluşmasını sağlamaktadır. Kışın orta ve doğu Avrupa'dan doğu Akdeniz Havzası'na inen soğuk karakterli mP ve kontinental polar (cP) hava kütleleri ile güneyden gelen daha sıcak ve nemli mT ve kontinental tropikal (cT) hava kütleleri karşılaşır. Bu hava kütleleri ile

bunlara bağılı oluşan cephe sistemleri, Türkiye'nin batısında ve kıyı bölgelerinde genel olarak yağışlı ılık dönemlerle, serin-soğuk ve yağışsız dönemlerin birbirini izlemesine neden olur. Buna karşılık Doğu ve İç Anadolu bölgeleri kışın uzun bir süre Hazar Havzası'ndan kaynaklanan soğuk karakterli cP hava kütlesinin etkisi altında bulunur. Bu durum iç bölgelerde kış yağışlarının azalmasına neden olur (Çiçek ve Ataoğlu, 2009).



Şekil 2.8. Akdeniz Havzası'nda etkili olan siklonların zonal ve meridyonel ana yörüngeleri (Maheras, 1989).

Akdeniz Havzasında yağışın dağılışı ve miktarı, genel atmosfer dolaşımına, özellikle de batı rüzgârları ile gezici orta enlem depresyonlarının gücüne ve etkinlik süresine bağılıdır. İç ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri nemli hava kütlelerinin etkisine daha kapalı olduğu için kuraklığın en yaygın yaşandığı bölgelerdir (Türkeş, 1990).

Türkiye’de kışın ve bahar mevsimlerinde görülen kuraklık olayları, Türkiye ve Akdeniz çevresinde etkili olan termik ve subtropikal yüksek basınç merkezleriyle ilişkilidir. Sibirya antisiklonu, Avrupa’nın ortalarına kadar genişleyerek subtropikal antisiklon parçalarıyla birleşebilir. Bu kombinasyon, orta enlem depresyonlarını önemli ölçüde bloke eder veya yönlerini değiştirir. Bunun sonucunda Türkiye’de uzun süren kış kuraklıkları oluşabilmektedir. Sibirya antisiklonu ve subtropikal antisiklonlar daha da güneyde, orta Akdeniz ve Türkiye üzerinde de birleşebilir. Bu durumda Türkiye’den daha doğuda bulunan ve Sibirya antisiklonunun güney kenarından kaynaklanan doğulu hava akımlarıyla Türkiye’ye taşınan cP hava kütleleri; sisli, soğuk, yağışsız ve durgun bir hava oluşturur (Türkeş, 1990).

Kış aylarında Türkiye’de yağışlara neden olan kuzey Atlantik veya Akdeniz kaynaklı hava kütleleri, Anadolu’nun kuzey ve güney kıyılarına paralel uzanan dağ sıralarının denize dönük yamaçlarına orografik yükselim sonucunda bol yağış bırakarak diğer yamaçta alçalıma geçerler. Bu dağ sıralarının içe dönük yamaçlarındaki hava, sübsidansın etkisiyle yamaçlarda ve yamaçlara komşu ovalarda, platolarda, derin vadilerde ise yağışsız havaya/kuraklığa neden olur.

Siklonların sıklıkla görülmediği yaz mevsiminde Türkiye, kuzey Afrika ve Muson alçak basıncının Arabistan üzerine kadar uzanan bölgelerinden (Basra alçak basıncı) kaynaklanan cT hava kütlelerinin etkisine girmektedir.

Bu dönemde Karadeniz bölgesi ve Erzurum, Kars, Ardahan çevreleri dışında kalan yerlerde sıcak ve kurak koşullar hâkimdir.

Yaz aylarında Azor antisiklonunun kuzeye doğru yer değiştirerek Avrupa üzerinde yayılmasıyla birlikte, Akdeniz havzası ve Türkiye, tropikal hava kütlelerinin etkisi altına girer. Böylece Akdeniz havzası üzerinde cephe ve yağış oluşum koşulları ortadan kalkar. Ancak, Karadeniz Bölgesi ve Kuzeydoğu Anadolu, kuzey ya da kuzeybatıdan gelerek Karadeniz üzerinden geçen depresyonların etkisi ile yaz yağışları alabilmektedir (Çiçek ve Ataol, 2009; Türkeş, 1990).

Özet olarak, Orta Kuşak'ta egemen olan hava dolaşımı, birçok faktörün etkisiyle yıldan yıla salınımlar gösterebilmektedir. Bu nedenle Akdeniz Havzası'nda yıllık yağış miktarında belirgin farklar ortaya çıkmakta ve yağış azalmasına bağlı olarak kuraklıklar yaşanabilmektedir.

2.3. Kuraklık İndeksleri

Kuraklığın tanımlanması, izlenmesi ve kuraklık yönetimi için birçok yöntem geliştirilmiştir. Kuraklık indeksleri, kuraklık şiddetinin kategorilere ayrılarak incelenmesinde istatistiksel hesaplamaların kullanıldığı önemli araçlardır. Dünya'nın farklı bölgelerinde yaşanan tüm kuraklıkların takip edilmesinde ve değerlendirilmesinde etkin biçimde faydalanılacak, üzerinde uzlaşma sağlanmış tek bir indeks yoktur. Çünkü her bölgenin yerel fiziki coğrafya özellikleri kendine özgü kuraklık eğilimlerinin gelişmesine neden

olabilir. Kuraklık indeksleri, birçok iklim faktörünün bir fonksiyonu olarak formüllerle gösterilerek klimatolojik uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu formüller, iklim sınıflandırmalarının temeli olarak da kullanılmıştır. Kuraklığın zamansal ve alansal karakteristiklerini belirlemek amacıyla oluşturulan indekslerin bir bölümü birçok değişkeni içerirken, sadece yağışı içeren yaklaşımlar da geliştirilmiştir. Aşağıda Türkiye’de de uygulanmış olan önemli bazı kuraklık indeksleri verilmiştir.

2.3.1. Erinç İndeksi

Erinç İndeksi, bir bölgedeki yağış miktarı ve maksimum sıcaklığın neden olduğu buharlaşma yoluyla kaybedilen su miktarı arasındaki oran dikkate alınarak hesaplanır. Erinç yağış etkinliği/kuraklık indeksi aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanır:

$$I_m = \frac{P}{T_{om}}$$

Eşitlikteki I_m , yağış etkinliğini; P , yıllık yağış miktarını (mm) ve T_{om} , yıllık ortalama maksimum sıcaklığı (°C) gösterir. Evapotranspirasyon ile su kaybının önemsiz düzeyde olduğu, aylık ortalama maksimum sıcaklığın 0°C’nin altına düştüğü aylar dikkate alınmamaktadır.

Erinç, indeks hesaplamaları sonucunda elde ettiği kategorileri bitki formasyonlarının dağılışı alanlarıyla karşılaştırarak aşağıdaki iklim sınıflarını belirlemiştir:

İklim Tipi	İndeks Değeri	Bitki Örtüsü
Tam Kurak	< 8	Çöl
Kurak	8 - 15	Çölümsü Step
Yarı Kurak	15 - 23	Step
Yarı Nemli	23 - 40	Park Görünümlü Kuru Orman
Nemli	40 - 55	Nemli Orman
Çok Nemli	> 55	Çok Nemli Orman

Tablo 2.1. Erinc İndeksi'ne göre iklim tipleri.

Erinc tarafından geliştirilen bu indeks farklı zaman ölçekleri için kullanılabilir. Elde edilen indeks değerinin hangi kategoride olduğunu hesaplamak için süreye göre değişen katsayılar kullanılır. Örneğin 3 aylık indeks değeri 4 ile, 6 aylık indeks değeri 2 ile çarpılarak yıllık indeks değerine dönüştürülür.

2.3.2. De Martonne Yöntemi

De Martonne, ilk oluşturduğu formülü ($I_{ar} = \frac{P}{T} + 10$; I_{ar} , yıllık kuraklık indeksi; P , yıllık toplam yağış (mm); T , yıllık ortalama sıcaklık ve 10, sabit sayıdır.) daha sonra Gottmann ile birlikte yıllık ortalama yağış ve sıcaklığın yanında, en kurak ayın yağışı ve sıcaklık ortalamaları arasındaki ilişkiyi de

hesaplama dikkate alarak geliştirmiştir. Buna göre son formülasyon aşağıda verilmiştir:

$$I_a = \left[\frac{P}{T+10} + \frac{12p}{t+10} \right] / 2$$

Eşitlikte I_a , yıllık kurak indeksini; P , yıllık toplam yağışı (mm); T , yıllık ortalama sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$); p , en kurak ayın toplam yağışını (mm); t , en kurak ayın ortalama sıcaklığını ($^{\circ}\text{C}$) ve 10, sıcaklığın 0°C 'nin altında olduğu yerlerde t 'yi pozitif yapmaya yarayan sabit sayıdır.

De Martonne'un indeks değerine göre belirlediği iklim tipleri aşağıdaki verilmiştir:

Kuraklık İndeksi	İklim Tipi
0 - 5	l
5 - 10	Step (Yarı kurak)
10 - 20	Step-Nemli arası
20 - 28	Yarı Nemli
28 - 35	Nemli
35 - 55	ok Nemli
> 55	Islak
< 0 ($T < -5^{\circ}\text{C}$)	Kutupsal

Tablo 2.2. De Martonne İndeksi'ne göre iklim tipleri.

2.3.3. Thornthwaite Yöntemi

Thornthwaite yöntemi sıcaklık ve yağışın yanı sıra toprağın su depolama kapasitesini de üçüncü bir öge olarak değerlendirmektedir. Evapotranspirasyonun doğrudan hesaplanamadığı yerlerde kullanılabilen bir yöntemdir. Bu yöntemin en önemli özelliği, evapotranspirasyonun hesaplanmasında su bilançosu çizelgesinin kullanılmasıdır. Oluşturulan çizelge aracılığıyla, aynı zamanda iklim tipi de belirlenmektedir.

Thornthwaite yöntemine göre potansiyel ve gerçek evapotranspirasyon hesaplama adımları aşağıda verilmiştir:

1. Aylık sıcaklık indeksi,

$$i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1.514}$$

bağıntısıyla hesaplanır. i , aylık sıcaklık indeksini ve t , aylık ortalama sıcaklığı (°C) göstermektedir.

2. Aşağıdaki denkleme göre her aya ait sıcaklık indeksleri (i) toplanarak yıllık sıcaklık indeksi hesaplanır:

$$I = \sum_{k=1}^{12} i \quad k = 1, \dots, 12$$

3. Potansiyel evapotranspirasyon (mm/ay),

$$PE = 16 \left(\frac{10t}{I} \right)^a$$

eşitliğiyle hesaplanır. Eşitlikte kullanılan a , katsayıdır.

$$(a = (0.000000675 * I^3) - (0.000077 * I^2) + (0.01792 * I) + 0.49239)$$

4. Düzeltilmiş potansiyel evapotranspirasyon, her aya ait evapotranspirasyon değeri ile enlem düzeltme katsayısı çarpılarak elde edilir. Enlem düzeltme katsayısı, ortalama güneşlenme sürelerine göre değişen bir değerdir ve çizelge biçiminde Thornthwaite tarafından hazırlanmıştır.

Aylık su bilânçosu tablolarının hazırlanması için evapotranspirasyon hesaplarından elde edilen veriler kullanılır. İstasyonlar için oluşturulan bu tablolarda yağışın evapotranspirasyondan fazla olduğu dönemlerde ortaya çıkan aylık su fazlası ile yağışın evapotranspirasyondan daha az olduğu dönemlerde oluşan aylık su açığı, yağış etkinlik indeksinin hesaplanmasında kullanılır. Buna göre yağış etkinlik indeksi;

$$I_m = \frac{100s - 60d}{n}$$

eşitliğiyle hesaplanır. I_m , yağış etkinliği indeksini; s , yıllık su fazlası; d , yıllık su eksiği ve n , yıllık potansiyel evapotranspirasyondur.

Thornthwaite, iklimleri yağış ve evapotranspirasyon arasındaki ilişkiye göre nemli ve kurak iklimler olarak ikiye gruba ayırmıştır. Nemli iklimleri kendi içinde 6 alt gruba, kurak iklimleri 3 alt gruba ayırmıştır (Tablo 2.3).

I_m	İklim Tipi	Sembol
> 100	Çok nemli	A
100 - 80	Nemli	B4
80 - 60	Nemli	B3
60 - 40	Nemli	B2
40 - 20	Nemli	B1
20 - 0	Yarı nemli	C2
0 - (-20)	Kurak-Yarı nemli	C1
-20 - (-40)	Yarı Kurak	D
-40 >	Tam Kurak (Çöl)	E

Tablo 2.3. Thornthwaite'a göre iklim tipleri.

2.3.4. Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksi (PKŞİ)

W. Palmer tarafından geliştirilen (1965) PKŞİ hesaplanırken yağış, sıcaklık ve yerel toprak su kapasitesi veri olarak kullanılır. Standart nem koşullarını gösteren PKŞİ, mekânsal ve zamansal karşılaştırma yapma olanağı vermektedir (Smakhtin ve Hughes, 2004). Tartışılan özellikleri olmasına karşın ABD'de kuraklığın izlenmesi, değerlendirilmesi ve yönetilmesinde kullanılmaktadır.

Palmer kuraklık algoritmasına göre ilk önce aylık ortalama sıcaklık ve aylık toplam yağış verileri kullanılarak su dengesi hesaplanır. Toprak dikey olarak alt ve üst katmanlar şeklinde düşünülerek, su biriktirme yapısı uygulamalı bir yaklaşımla tanımlanmıştır. Buna göre topraktaki kullanılabilir suyun yüzeydeki katmanda bulunan bölümü 25 mm kabul edilmektedir.

Su dengesinin hesaplanabilmesi için üç potansiyel parametreye ihtiyaç duyulur. Bunlar;

1. *Potansiyel yeniden doldurma* (PR), $PR = AWC - S'$ (AWC , topraktaki toplam kullanılabilir su miktarı ve S' , ayın başlangıcında topraktaki toplam kullanılabilir su miktarıdır.) denklemleriyle hesaplanır.

2. *Potansiyel kayıp* (PL), $PL = PL_s + PL_u$ (PL_s , potansiyel evapotranspirasyon veya başlangıçta yüzey tabakada bulunan kullanılabilir su miktarıdır. Bunlardan hangisi küçükse o kullanılır.

PL_u ise $PL_u = (PE - PL_s) \frac{S'_u}{AWC}$ denklemleriyle bulunur. PE ,

potansiyel evapotranspirasyon ve S'_u , ayın başlangıcında toprağın alt katmanında bulunan kullanılabilir su miktarıdır.) denklemleriyle hesaplanır.

3. *Potansiyel yüzey akışı* (PRO), $PRO = AWC - PR = S'$ eşitliğiyle hesaplanır.

İklim özellikleriyle ilgili belirlemeler yapabilmek için yukarıda hesaplama prosedürleri verilen potansiyel süreçler ve potansiyel evapotranspirasyon aşağıdaki katsayıların hesaplanmasında kullanılır. Katsayıların hesaplanmasında kullanılan ortalamalar, aylık ortalamalardır.

- Evapotranspirasyon (ET) katsayısı (α): $\alpha = \overline{ET} / \overline{PE}$,
- Yeniden doldurma (PR) katsayısı (β): $\beta = \overline{R} / \overline{PR}$,
- Yüzey akışı (PRO) katsayısı (γ): $\gamma = \overline{RO} / \overline{PRO} = \overline{RO} / \overline{S'}$,
- Kayıp (PL) katsayısı (δ): $\delta = \overline{L} / \overline{PL}$.

Hesaplanan katsayılar, her ayın gerçek yağış miktarı (P) ve CAFEC (Climatically Appropriate For Existing Conditions, mevcut koşullar için iklimsel uygunluk) yağışı ($\dot{P}$) arasındaki farkı (d) hesaplamak için kullanılır: $d = P - \dot{P}$ ($\dot{P} = (\alpha.PE) + (\beta.PR) + (\gamma.PRO) + (\delta.PL)$). Burada hesaplanan d değeri, nemlilik anomalisidir.

Daha sonra d mutlak değerinin uzun dönem aylık ortalaması ($\overline{D}$), ortalama su varlığı ($\overline{P} + \overline{L}$) ve ortalama su tüketimi ($\overline{PE} + \overline{R} + \overline{RO}$) kullanılarak aylık ağırlık faktörü olan K' değeri aşağıdaki eşitlikle hesaplanır:

$$K'_i = 1.5 \log_{10} \left[\left(\frac{\overline{PE}_i + \overline{R}_i + \overline{RO}_i}{\overline{P}_i + \overline{L}_i} + 2.8 \right) / \overline{D}_i \right] + 0.5$$

Bu denklemden elde edilen K' değeri geliştirilerek yeni bir ağırlık faktörü olarak K geliştirilmiştir:

$$K_i = \frac{17.67}{\sum_{j=1}^{12} \overline{D_j} K'_j} K'_i$$

Yeni hesaplanan K değeri, kurak ve nemli dönemlerin belirlenmesi için standartlaştırılmış Z indeksinin veya nem anomali indeksinin hesaplanmasında kullanılır. Buna göre nem anomali indeksi, Z , aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

$$Z = dK$$

Son olarak aylık PKŞİ, aşağıdaki denkleme göre oluşturulur:

$$X_i = X_{i-1} + \frac{Z_i}{3} - 0.103X_{i-1} .$$

İndeks değerinin negatif olması kurak dönemi, pozitif olması da nemli dönemi ifade eder. PKŞİ değerlerine göre nemli ve kurak dönemlerin sınıflandırması ise aşağıdaki tabloda verilmiştir.

PKŞİ değeri	Sınıflandırma
≥ 4.00	Aşırı nemli
3.00 - 3.99	Çok nemli
2.00 - 2.99	Orta nemli
1.00 - 1.99	Hafif nemli
0.50 - 0.99	Nemli dönem başlangıcı
0.49 - -0.49	Normal
-0.50 - -0.99	Kurak dönem başlangıcı
-1.00 - -1.99	Hafif kurak
-2.00 - -2.99	Orta kurak
-3.00 - -3.99	Şiddetli kurak
$-4.00 \geq$	Aşırı kurak

Tablo 2.4. PKŞİ değerlerine göre nemli ve kurak dönemler.

2.3.5. Normalin Yüzdesi İndeksi (NYİ)

Aylık, mevsimlik veya yıllık yağış zaman serilerinden basitçe hesaplanan bir indekstir. Kaydedilen yağış miktarı (P_i), aynı yağış serisinin ortalamasına ($\overline{P_i}$) bölünerek yüzdelik değeri elde edilir. Aşağıdaki eşitlikle hesaplanır:

$$NYİ = (P_i / \overline{P_i}) 100$$

Tek bir bölge veya bir mevsimlik hesaplamalar için daha elverişlidir. Normal nemlilik değerlerinden sapma bu yöntemle belirlenememekte ve farklı bölgelerini karşılaştırma olanağı sınırlıdır. Ayrıca bu yöntemle kuraklığın spesifik etkileri ve kuraklık risk yönetim planları için önleyici faktörler tanımlanamamaktadır.

Periyot	Normal/nemli	Hafif Kurak	Orta Kurak	Şiddetli kurak
1	> %75	%65 - %75	%55 - %65	%55'ten küçük
3	> %75	%65 - %75	%55 - %65	%55'ten küçük
6	> %80	%70 - %80	%60 - %70	%60'tan küçük
9	> %83.5	%73.5-%83.5	%63.5-%73.5	%63.5'tan küçük
12	> %85	%75 - %85	%65 - %75	%65'ten küçük

Tablo 2.5. Normalin yüzdesi indeksine göre kuraklık sınıflandırması.

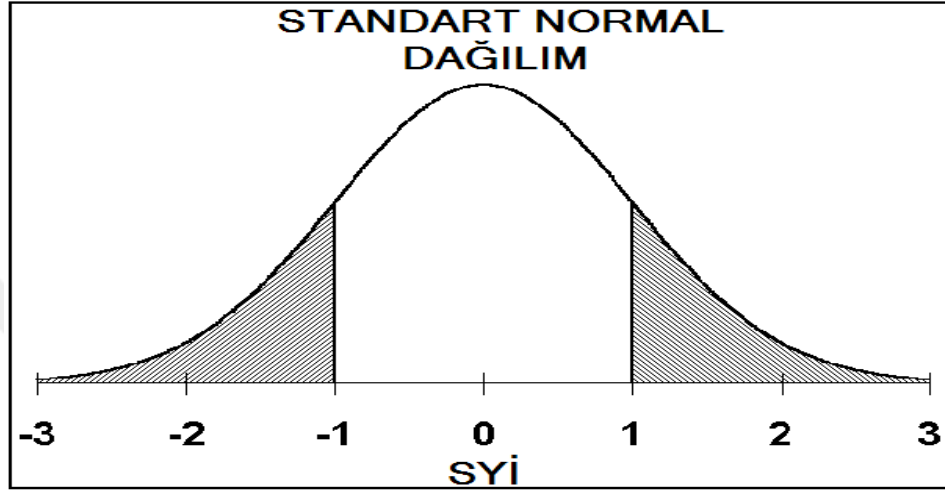
2.3.6. Standart Yağış İndeksi (SYİ)

SYİ metodu, 1993 yılında McKee, Doesken ve Kleist tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntemde kullanılan tek meteorolojik değişken yağıştır. En önemli avantajı, yeraltı ve yerüstü su kaynakları ile tarımsal faaliyetler üzerinde yağış eksikliğine bağlı olarak meydana gelen kuraklık etkisini belirlemek için farklı zaman ölçeklerinin kullanılabilmesidir.

SYİ, belirlenen zaman dilimi (1, 3, 6, 9, 12, 24 ay) içinde yağışın ortalamadan olan farkının standart sapmaya bölünmesi ile elde edilir:

$$SYI = \frac{X_i - \overline{X_i}}{\sigma}$$

Bu eşitlikte X_i , aylık yağış miktarını; $\overline{X_i}$, yağış serisinin ortalamasını ve σ , yağış serisinin standart sapmasıdır.



Şekil 2.9. Ortalaması sıfır ve varyansı bir olan SYI değerini ifade eden standart normal dağılım.

Yağış 12 ay ve daha kısa periyotlarda normal dağılıma uymadığı için SYI'nin normal dağılıma dönüştürülmesi gerekir. Bu prosedür için yağış serisini en iyi temsil eden Gamma dağılımı kullanılır (Thom, 1958). Yani aylık yağış frekansı dağılımına Gamma olasılık yoğunluk fonksiyonu uydurulur. Gamma olasılık yoğunluk fonksiyonu aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}$$

Bu eşitlikte; $x > 0$ x , yağış miktarını; $\alpha > 0$, α şekil parametresini; $\beta > 0$, β ölçek parametresini ve $\Gamma(\alpha)$, Gamma fonksiyonunu ifade eder. Bu

hesaplamalardan sonra herhangi bir ayda gözlenmiş bir yağış değerinin kümülâtif olasılık dağılım fonksiyonu aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$G(x) = \int_0^x g(x)dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} dx$$

McKee vd. (1993), bu yöntemle standart hale getirilen yağış verilerinin aldıkları pozitif ve negatif değerlere göre kuraklık/nemlilik sınıflandırması oluşturmuşlardır (Tablo 2.6).

SYİ DEĞERLERİ	SINIFLANDIRMA
2.00 ve üstü	Olağanüstü Nemli
1.60 ile 1.99	Aşırı Nemli
1.30 ile 1.59	Çok Nemli
0.80 ile 1.29	Orta Nemli
0.51 ile 0.79	Hafif Nemli
0.50 ile -0.50	Normal
-0.51 ile -0.79	Hafif Kurak
-0.80 ile -1.29	Orta Kurak
-1.30 ile -1.59	Şiddetli Kurak
-1.60 ile -1.99	Çok Şiddetli Kurak
-2.00 ve düşük	Olağanüstü Kurak

Tablo 2.6. SYİ değerleri ve kuraklık/nemlilik sınıflandırması.

3.BÖLÜM

METODOLOJİ VE TÜRKİYE UYGULAMASI

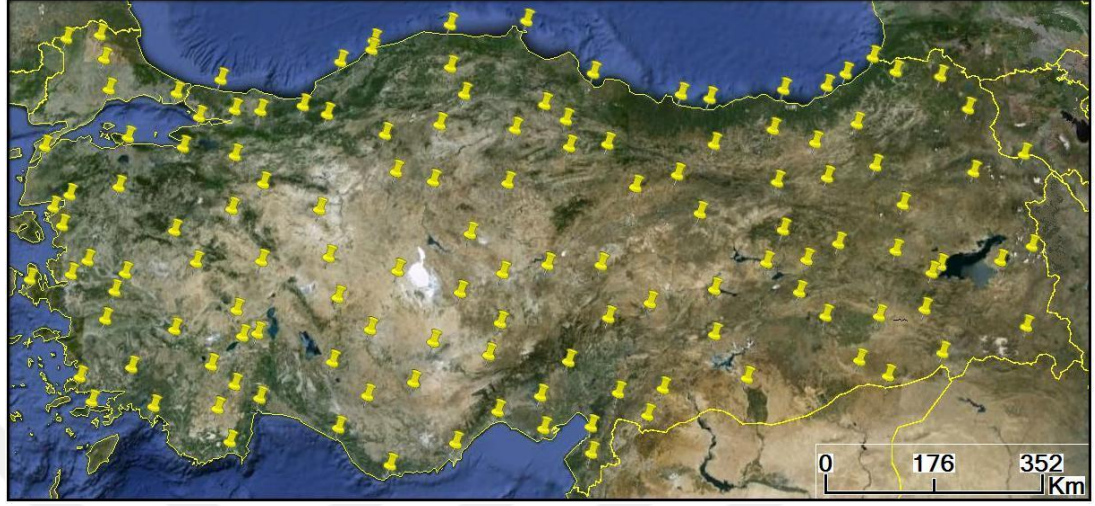
3.1. Kullanılan Veri ve Yöntemler

3.1.1. Yağış Verileri ve Kuzey Atlantik Salınımı İndeksleri

Türkiye’de yağış ve kuraklık karakteristiklerinin belirlenmesi için kullanılan aylık toplam yağışlar, iklimsel hesaplamalar için öngörülen 30 yıldan az olmama kriterine uygun olarak 1975-2008 dönemini kapsamaktadır. Bu dönemin seçilmesinde 1970 yılından önceki yıllarda eksik veri oranının yüksek olması da önemli bir etkidir. Söz konusu dönemde Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü’ne bağlı, Türkiye genelindeki 133 istasyonun verileri kullanılmıştır (Şekil 3.1 ve Ek 3). İstasyonların eksik yağış verisi, aralarında yüksek korelasyon bulunan ve benzer klimatolojik özelliklere sahip komşu istasyonların yağış verileri kullanılarak tahmin edilebilmektedir. Gözlem süresi boyunca referans istasyonlar ile eksik verisi tamamlanacak istasyonun yağış farkına ait uzun süreli ortalamalar hesaplanarak eksik veriler tamamlanabilmektedir (Erinç, 1996). Hesaplanan eksik veriler, istasyonların eş zamanlı yağış zaman serileri arasındaki oranla kontrol edilmiştir.

Türkiye’deki kuraklık olaylarının KAS ile ilişkilerinin anlaşılabilmesi için kullanılan KAS indeksleri, istasyon tabanlı (station-based) indekslere göre daha elverişli olan ve alansal KAS paternini tam gösteren ana bileşen

tabanlı (the principal component (PC)-based) indekslerdir. J. Hurrell tarafından geliştirilen bu KAS indeksleri, Kuzey Atlantik'te 20° - 80° Kuzey



Şekil 3.1. Yağış gözlem istasyonlarının dağılışı.

enlemleri ile 90°Batı - 40° Doğu boylamları arasında kalan bölgedeki deniz seviyesi basınç anomalilerinin Deneyisel Ortogonal Fonksiyonla (DOF) elde edilen zaman serileridir. DOF analizi, zaman serilerinde yer alan değişik periyotlu sinyalleri gürültüden ayırmak için kullanılan istatistiksel yöntemlerden birisidir. KAS indeksleri, Azor yüksek basıncı ile İzlanda alçak basıncının yıl boyunca mevsimlik hareketlerini izlemek için kullanılır. KAS indeksi verileri www.climatedataguide.ucar.edu/guidance/hurrell-north-atlantic-oscillation-nao-index-pc-based web sitesinden alınmıştır.

3.1.2. Kriging Yöntemi

İklimsel değişkenler yeryüzünde her noktada ölçülemediği için ölçüm yapılan bir noktanın verisi referans alınarak bu nokta çevresindeki yerlerin

referans noktaya olan uzaklıklarına göre alabileceği değerin kestirimi için genelde jeoistatistik yöntemler kullanılır. Uygulanan bu yöntemler içinde en yaygın kullanılanlarından biri olan Kriging, şu temel adımlarla hesaplanır:

- a. Ampirik variogram hesaplanması
- b. Model uydurma
- c. Matrislerin oluşturulması
- d. Tahminlerin yapılması

Jeoistatistik yöntemlerde yeryüzündeki ayrı noktalardan elde edilen verilerin aralarında bir korelasyon olduğu varsayılır. Gözlem yapılan noktalar arasındaki mesafenin artması ile bu noktalardan elde edilen verilerin arasındaki korelasyonun gittikçe zayıfladığı ve belli bir noktadan sonra da sıfır (0) olduğu varsayılır. Kriging tahminindeki temel amaç, komşu verilerle verisi hesaplanacak nokta arasındaki mesafeye göre belirlenen ağırlıklı ortalama ile gerçeğe olabildiğince yakın bir değer üretmektir.

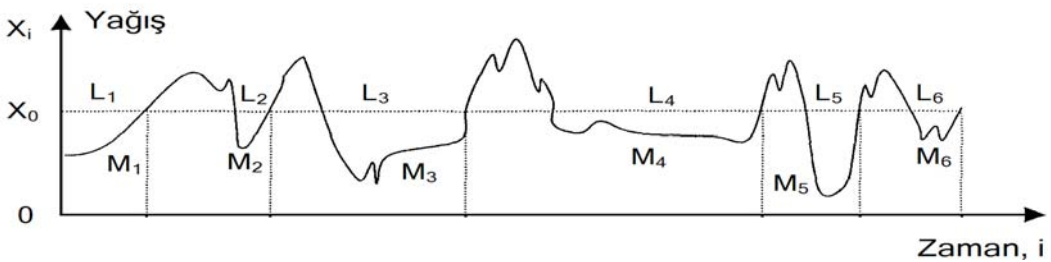
İklimsel verilerin alansal dağılımını elde etmek için ölçülen değerlerden yararlanarak tahminleri de içeren haritalar elde edilebileceği gibi, veriyle mekânsal ilişkisi olan başka verilerin kullanılmasıyla da haritaların elde edilmesi mümkündür. Bu tez çalışmasında yağış ve kuraklık özelliklerinin alansal dağılımıyla ilgili haritaların hazırlanmasında Kriging yönteminin uygulanabileceği Surfer bilgisayar programı kullanılmıştır.

3.1.3. Gidişler Analizi

Kaydedilmiş verilerden yararlanarak geçmişte yaşanan kuraklıkların süresi, şiddeti, sıklığı ve alansal kapsamı gibi kuraklık karakteristikleri hesaplanabilir. Elde edilen verilerden mevcut durumda veya gelecekte yaşanabilecek kuraklıklarla benzeşim kurulabilir.

Bir bölgedeki yağış serisi veya hesaplanmış bir kuraklık indeksi kullanılarak belirlenecek sabit bir seviyeye göre değerlerin zamanla gösterdiği değişim kuraklıkla ilgili özelliklerin anlaşılmasını kolaylaştırabilir. Elde edilecek bir gidiş grafiğindeki eğrinin gün, hafta, ay veya yıl gibi bir alt zaman birimine sahip olduğu düşünülmelidir (Şen, 2003).

Gidiş çizgisinin belirlenen sabit seviye ile karşılaştırılması sonucunda tanımlanan kuraklık büyüklüklerinden yararlanarak kuraklık değerlendirmeleri yapılabilir. Belirli bir zaman dilimindeki kurak dönemler, kuraklığın başlangıcı ve bitişi, kurak dönemlerin sayısı, kuraklık süresi, kuraklığın büyüklüğü, kuraklık şiddeti ve kuraklık olasılığı gibi değişkenler gidiş çizgisinin belirlenen sabit seviye ile karşılaştırılmasıyla elde edilebilir (Şen, 2003).



Şekil 3.2. Kurak ve nemli/yağışlı gidişler (M_j : eksiklik; L_j : kurak süre).

Kurak ve nemli/yağışlı gidişler grafiğindeki bütün kurak periyotlar $L_1, L_2, \dots, L_m$ olarak kabul edilirse; "m" her bir kesme seviyesi (SYİ kuraklık sınıfları) için kurak periyot sayısıdır. Toplam kuraklık genliği her kurak periyottaki eksikliklerin toplamı olarak elde edilir ve kurak genliklerin serisi $M_1, M_2, \dots, M_m$ olarak gösterilir (Şekil 3.2). Serideki j-inci eksikliklerin toplamı (M_j) ise;

$$M_j = \sum_{i=t}^m |X_0 - X_i|$$

eşitliği ile hesaplanır. Eşitlikteki X_0 , tanımlanan her SYİ kuraklık sınıfı için kesim seviyesi ve X_i , tanımlanan standartlaştırılmış seridir.

Bir istasyon için hesaplanmış SYİ serisinden kuraklık şiddeti (I_j), kuraklık genliğinin (M_j) kuraklık süresine (L_j) bölünmesiyle elde edilir ve aşağıdaki gibi gösterilir:

$$I_j = \frac{M_j}{L_j} \quad (\text{Sırdaş, 2002}).$$

3.1.4. Standart Yağış İndeksi

SYİ metodu, 1993 yılında McKee, Doesken ve Kleist tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntemde ihtiyaç duyulan tek meteorolojik değişken yağıştır. En önemli avantajı, yeraltı ve yerüstü su kaynakları ile tarımsal faaliyetler üzerinde yağış eksikliğine bağlı olarak meydana gelen kuraklık etkisini belirlemek için farklı zaman ölçeklerinin kullanılabilmesidir.

Bu yöntemde en az 30 yıllık yağış kayıtları kullanılır. Yağış zaman serisi aylık toplam yağışlar şeklinde düzenlenerek hesaplamalar yapılır. SYİ, belirlenen zaman dilimi (1, 3, 6, 9, 12, 24 ay) içinde yağışın ortalamadan olan farkının standart sapmaya bölünmesi ile elde edilir:

$$SYİ = \frac{X_i - \overline{X_i}}{\sigma}$$

Bu eşitlikte X_i , aylık yağış miktarını; $\overline{X_i}$, yağış serisinin ortalamasını ve σ , yağış serisinin standart sapmasıdır.

Yağış 12 ay ve daha kısa periyotlarda normal dağılıma uymadığı için SYİ'nin normal dağılıma dönüştürülmesi gerekir. Her zaman dilimindeki veri dizileri kayan bir özellikte olup o ayın indeks değeri önceki ayların değerlerine göre belirlenir. Daha sonra her veri setine Gama dağılımı uydurulur ve böylece gözlenmiş yağış olasılıkları tanımlanır. Bu prosedür için yağış serisini en iyi temsil eden Gamma dağılımı kullanılır (Thom, 1958). Yani aylık yağış frekansı dağılımına Gamma olasılık yoğunluk fonksiyonu uydurulur. Gamma olasılık yoğunluk fonksiyonu aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}$$

Bu eşitlikte; $x > 0$ x , yağış miktarını; $\alpha > 0$, α şekil parametresini; $\beta > 0$, β ölçek parametresini ve $\Gamma(\alpha)$, Gamma fonksiyonunu ifade eder. Gamma dağılımının α ve β parametrelerinin tahmininde maksimum olasılık çözümleri aşağıdaki eşitliklerle hesaplanır:

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \text{ ve } \beta = \frac{\bar{x}}{\alpha}$$

Bu eşitliklerde A ,

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n}$$

denklemleriyle hesaplanır. Burada n , yağış gözlemlerinin sayısıdır. Bu parametreler hesaplandıktan sonra herhangi bir ayda gözlenmiş bir yağış değerinin kümülâtif olasılık dağılım fonksiyonu aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$G(x) = \int_0^x g(x)dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} dx$$

Gama fonksiyonu $x=0$ için tanımsızdır fakat yağış dağılımı sıfır (0) içerebilmektedir. Bu durumda kümülâtif olasılık dağılımı aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$H(x) = q + (1 - q)G(x)$$

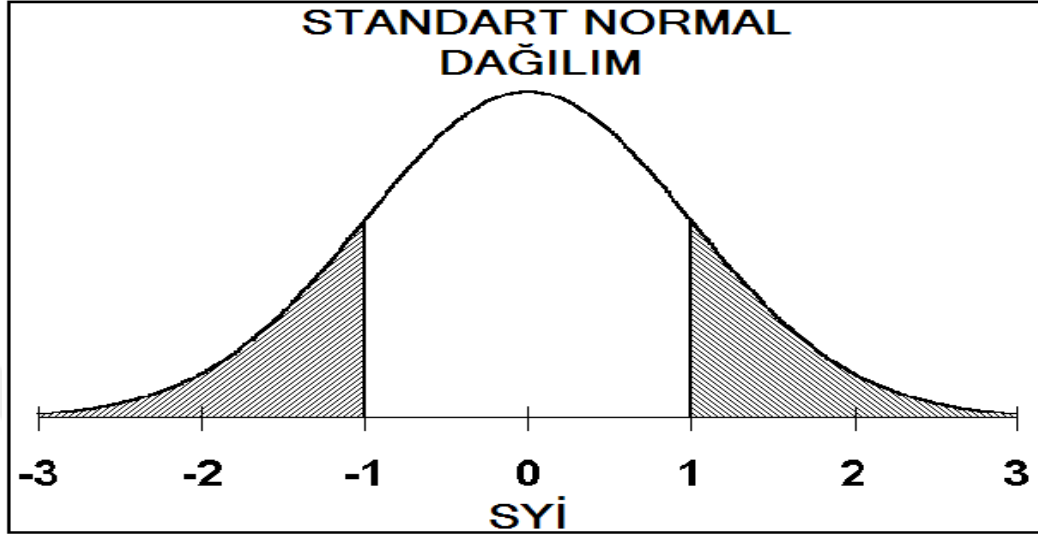
Bu eşitlikte q , yağışların bulunmama olasılığını ifade eder. Başka bir ifadeyle, yağışsız günlerin yüzdesidir. Eğer, m yağış zaman serisinde yağışsız günlerin sayısı ise, bu yüzde;

$$q = m / n$$

olarak hesaplanabilir (Şen, 2003).

Kümülatif olasılık değeri $H(x)$, ortalaması sıfır (0) ve varyansı bir (1) olan SPI değerini ifade eden standart normal rasgele değerli Z değişkenine dönüştürülür (Şekil 10). $H(x)$, SYİ'nin değeridir. Bu durum Panofsky ve Brier (1958) tarafından tanımlanan formun dağılımının, bir değişim olarak yeni bir dağılıma dönüşümü için gerekli olan bir özelliktir. SYİ değerlerinin

normalize edilmesi ile bir istasyona ait yağış dizilerinde hem zaman ve hem de alan bazında olan değişkenliklerin dikkate alınması sağlanmaktadır (McKee ve ark. 1993; Guttman, 1999).



Şekil 2.9. Ortalaması sıfır ve varyansı bir olan SYİ değerini ifade eden standart normal dağılım.

McKee vd. (1993), bu yöntemle standart hale getirilen yağış verilerinin aldıkları pozitif ve negatif değerlere göre kuraklık/nemlilik sınıflandırması oluşturmuşlardır (Tablo 2.6). SYİ değerleri yağış eksikliği ile lineer olarak artan ve azalan bir eğilim gösterir. İndeksin sürekli olarak negatif olduğu zaman periyodu kurak dönem olarak tanımlanır. İndeksin sıfırın altına ilk düştüğü ay kuraklığın başlangıcı olarak kabul edilirken indekzin pozitif değere yükseldiği ay kuraklığın bitimi olarak değerlendirilir (McKee vd. 1995).

Farklı zaman dilimlerinde gerçekleşen yağıştaki azalmanın yeraltı suyu, su biriktirme hazneleri, toprak nemi, kar yığınları ve akarsular

üzerindeki etkileri SYİ ile belirlenebilmektedir. Toprak nemliliği, görelî olarak kısa dönem yağış anomalilerini daha hızlı yansıtmaktadır. Yeraltı suyu, akarsu ve su biriktirme hazneleri ise yağış anomalilerine daha uzun bir dönemde tepki verir. SYİ kullanılarak aylık, mevsimlik, yıllık ve uzun yıllık dönemler için yağışlardaki salınım izlenebilmekte; kurak bir dönemin başlangıcı, bitişı ve kuraklık şiddeti takip edilebilmektedir.

SYİ, devam eden bir periyotta yağış eksikliğini hesapladığı için kuraklık erken uyarı sistemleri için elverişli bir bileşen olabilir. Bu yöntemin önemli diğêr avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Veri olarak sadece yağış kullanılır
- PKŞİ gibi hesaplaması ve verileri karmaşık değildir
- Sadece olasılıkla ilgilidir
- Belirli bir zaman periyodu için ortalamanın altında kalan negatif toplamlarının yüzdesini hesaplar
- Normal dağılımlı olduğu için hem kurak dönemler hem nemli/yağışlı dönemler izlenebilir
- Birçok su kaynağı için kullanılabilir

SYİ, başta ABD olmak üzere birçok ülkede kuraklık takibi ve yönetimi için kullanılmaktadır. ABD’de Nebraska Üniversitesi’nde bulunan ve kuraklık etkilerini azaltmaya yönelik çalışmalar yürüten National Drought Mitigation Center (NDMC)’in web sitesinden (<http://drought.unl.edu>) sağlanan yazılım aracılığıyla bu tezde kullanılan indeksler hesaplanmıştır.

SYİ DEĞERLERİ	SINIFLANDIRMA
2.00 ve üstü	Olağanüstü Nemli
1.60 ile 1.99	Aşırı Nemli
1.30 ile 1.59	Çok Nemli
0.80 ile 1.29	Orta Nemli
0.51 ile 0.79	Hafif Nemli
0.50 ile -0.50	Normal
-0.51 ile -0.79	Hafif Kurak
-0.80 ile -1.29	Orta Kurak
-1.30 ile -1.59	Şiddetli Kurak
-1.60 ile -1.99	Çok Şiddetli Kurak
-2.00 ve düşük	Olağanüstü Kurak

Tablo 3.1. SYİ değerleri ve kuraklık/nemlilik sınıflandırması.

3.1.5. Kuraklık Oranı

Türkiye’de yağış miktarı bölgeden bölgeye ve yöreden yöreye değişim gösterebilmektedir. Fakat SYİ kuraklık skalasında kesim seviyeleri yerel olarak değişmemektedir. Başka bir deyişle az yağış alan bir bölgedeki kuraklık seviyesi ile çok yağış alan bölgelerin kuraklık kesim seviyesi aynı değere sahip olmaktadır. Oysa doğal ve beşeri sistemlerin asgari su gereksinimi, az yağışlı bölgelerde yaşanabilecek bir şiddetli kuraklık olayı karşısında daha hassastır.

Bir yağış serisi için SYİ hesaplanırken hareketli ortalamalar ve standart sapma, tanımlanan fonksiyonun önemli bileşenleridir. Yağış miktarı fazla olan Karadeniz iklimi bölgesindeki istasyonlarda standart sapma diğer bölgelerden yüksek olduğu için yapılan hesaplamalarda bu istasyonların kuraklık süresinin daha uzun ve kuraklık olasılığının daha yüksek olduğu görülmüştür. SYİ prosedürlerinden kaynaklanan yöntemsel bir eksiklik olarak - en azından Türkiye koşullarında - karşımıza çıkan bu durumu düzeltmek için Sırdaş'ın (2002) önerdiği Kuraklık Oranı (KO) yöntemi bu çalışmada biraz daha geliştirilerek kullanılmıştır. Sırdaş'ın (2002) önerdiği KO, aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmaktadır:

$$KO = \frac{X_{\min}}{S_x}$$

Eşitlikteki $X_{\min}$ incelenen herhangi bir istasyondaki aylık toplam yağış serisinin en küçük değerini, S_x ise aynı yağış serisinin standart sapmasıdır.

Her bir istasyon için hesaplanan KO, SYİ kuraklık seviyelerine eklendiğinde daha gerçekçi kuraklık seviyeleri elde edilecektir. Bu durumda her istasyonun yeni standart yağış indisi (YSYİ);

$$YSYİ = SYİ + KO$$

eşitliğiyle hesaplanmış olur.

3.1.6. Yeni Kuraklık Oranı

Türkiye'deki birçok istasyonun yağış serileri özellikle mart ve ekim ayları arasındaki dönemde 0 (sıfır) değerini içerdiği için bu istasyonların sözü edilen aylara ait KO hesaplanamamaktadır. Ayrıca bir istasyonun yağış

serisindeki diğer ayların yağış miktarından daha az ve sıfıra çok yakın bir yağış değeri incelenen dönemde sadece bir kez gerçekleşmiş olabilir. Bu olumsuzlukları bertaraf etmek ve tüm istasyonlarda her aya ait KO hesaplayabilmek için yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. Kuraklık süresi, kuraklık genliği, kuraklık şiddeti ve kuraklık olasılığının doğru şekilde hesaplanabilmesi için tüm ayların SYİ değerleri bu yaklaşıma göre düzeltilmiştir. Bu çalışmada kullanılmak üzere geliştirilen yeni kuraklık oranı (YKO) aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

- I. 1975-2008 yıllarını kapsayan dönemde belirli bir ayın her yıl kaydedilen aylık toplam yağış miktarlarından oluşan veri serisi kullanılarak yağış değişim aralığı (YDA) ve buna bağlı olarak hesaplanan sınıf aralığı (SA) belirlenmiştir. Böylece sınıf aralık değerlerine göre alt ve üst sınırları belirlenmiş en küçük veri sınıfı elde edilmiştir. Yağış değişim aralığı;

$$YDA = Y_{\max} - Y_{\min}$$

eşitliğiyle hesaplanmıştır. Eşitlikteki $Y_{\max}$ belirli bir ay için kaydedilmiş en yüksek yağış miktarını, $Y_{\min}$ aynı ay için kaydedilmiş en düşük yağış miktarını ifade etmektedir. Elde edilen yağış değişim aralığı kullanılarak 10 sınıf aralığı;

$$SA = \frac{YDA}{10}$$

eşitliğiyle hesaplanmıştır. Sınıf aralık değerine göre belirlenmiş alt ve üst sınır değerleri kullanılarak yağış verileri 10 sınıfa bölünmüştür. Yağış verilerinin 10 sınıfa bölünmesi, normal dışında

10 sınıfa bölünmüş SYİ kuraklık seviyelerine uyum amacını taşımaktadır.

- II. Oluşturulan en küçük sınıf aralığındaki aylık toplam yağışların aritmetik ortalaması alınarak kuraklık oranının hesaplanması için uygun bir veri üretilmiş olur. Bu durumda önerilen yeni kuraklık oranı;

$$YKO = \frac{Min_{ao}}{S_x}$$

eşitliğiyle hesaplanabilir. Burada Min_{ao} en küçük yağış sınıf aralığının aritmetik ortalamasını, S_x aylık toplam yağışların standart sapmasını göstermektedir. Bu yöntemle Türkiye'deki 133 istasyon için her ayın kuraklık oranı hesaplanmıştır. Sadece 4 istasyonda birer ay kuraklık oranı hesaplanamamıştır. Bu istasyonlar yaz kuraklığının çok belirgin olduğu Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu'da yer almaktadır.

- III. Yukarıda I. ve II. maddelerde anlatılan prosedürler yerine getirildikten sonra her istasyon için üretilen kuraklık oranı, istasyonun SYİ değerlerine eklenerek kuraklık karakteristiklerinin belirlenmesi için yeni indeks değerleri üretilmiş olur.

3.1.7. Pearson Korelasyon Katsayısı

Bu çalışmada Türkiye'deki 133 istasyonun aylık yağış miktarlarından hesaplanan SYİ serileri ile KAS indeksleri arasındaki ilişkinin büyüklüğü ve yönü hakkında bir sonuca ulaşabilmek için Pearson çarpım-moment

korelasyon katsayısı hesaplanmıştır. Sürekli ve normal dağılım gösteren serilere uygulanan Pearson korelasyonu, KAS indeksi ve SYİ serilerinin veri yapısına en uygun korelasyon yöntemi olduğu için tercih edilmiştir.

Pearson korelasyon katsayısı aşağıda gösterilen eşitliğe göre hesaplanmaktadır:

$$r = \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2 \sum (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

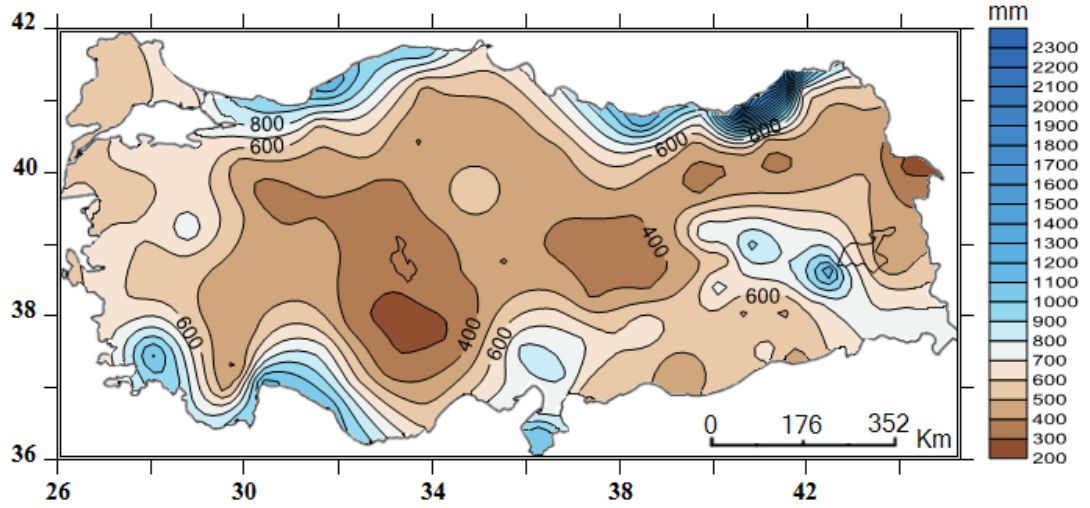
Eşitlikteki r , korelasyon katsayısını; X_i , X değişkeninin i . değerini; Y_i , Y değişkeninin i . değerini; $\bar{X}$, X değişkeninin ortalamasını; $\bar{Y}$, Y değişkeninin ortalamasını göstermektedir.

3.2. Türkiye'nin Yağış Klimatolojisi

3.2.1. Türkiye'de Yıllık Ortalama Yağışın Dağılışı

Türkiye'nin etrafındaki denizler, matematik konumu ile kuzey ve güney kıyılarına paralel uzanan dağ sıraları, yağış dağılışını kontrol eden en önemli faktörlerdir. Türkiye'yi çevreleyen denizler, nem kaynağı olmanın yanında kış aylarında karadan farklı termik koşullara sahip olduğu için yerel siklonların oluştuğu ve cephesel depresyonlara geçiş olanağı veren alanlardır (Türkeş, 1990). Anadolu'nun kuzey ve güneyindeki dağ sıraları, nemli hava kütlelerinin yükselmesini sağlayarak kıyı kuşağında orografik yağışların artmasına neden olurken, nemli hava kütlelerinin iç kısımlara ulaşmasını önlemektedir. Bu nedenle kuzey ve güney bölgelerinde kıyı kuşağı ile bu alanlara komşu iç kısımlara arasında yağış bakımından büyük zıtlıklar görülmektedir. Batı Anadolu kıyılarında ise topografik koşullar, kıyı ile içi kısımlar arasında daha az yağış farkı oluşturacak şekildedir (Erinç, 1996).

Yıllık ortalama yağışın, incelenen dönemde (1975-2008) Karadeniz ve Akdeniz kıyıları ile Van Gölü'nün güney, güneybatı ve batısında Türkiye ortalamasının (643,6 mm) üzerinde olduğu görülmektedir (Şekil 3.3). İç Anadolu'da Konya ve Yukarı Sakarya bölümleri, Doğu Anadolu'nun batısı ile yer yer kuzeyi 400 mm'nin altında yağış alan Türkiye'nin az yağışlı yerleridir. Türkiye'nin çok önemli bir bölümü 400 ile 600 mm arasında değişen değerlerde yağış almaktadır.



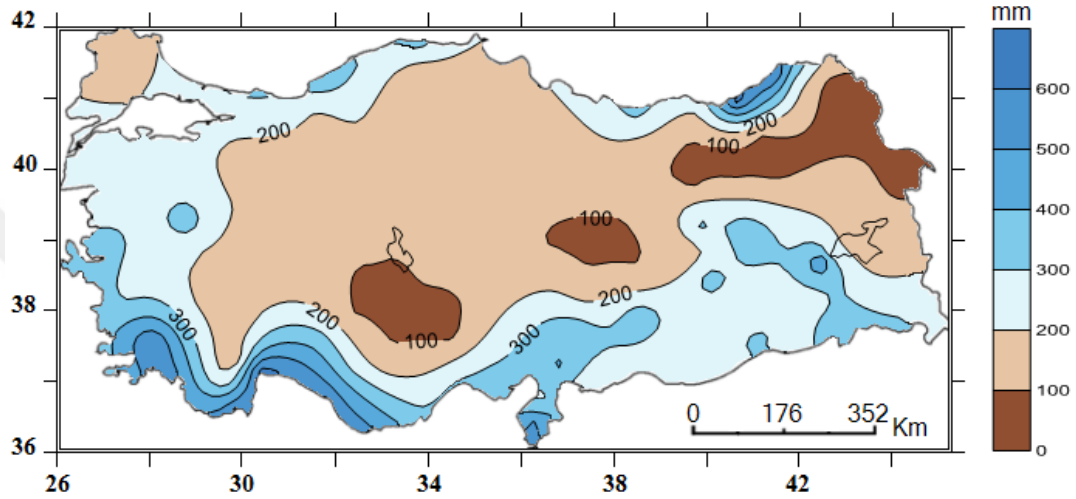
Şekil 3.3. Türkiye’de yıllık ortalama yağış miktarının dağılışı.

İç Anadolu’nun hemen hemen tamamında, Doğu Anadolu’nun batı, kuzey ve doğu kısımlarında, Güneydoğu Anadolu’nun ise güney kısımlarında yağış 500 mm den azdır. Türkiye’de en çok yağış alan yerler ise genellikle yıllık toplam yağışın 1000 mm’nin üzerinde olduğu Doğu ve Batı Karadeniz kıyıları; Akdeniz kıyılarında Menteşe Yöresi, Antalya Körfezi kıyıları ve Antakya çevresidir. Doğu Akdeniz doğuşlu depresyonların kuzeydoğuya yönelerek ilerlemesi ve Bitlis çevresinde bu doğrultuyu dik kesen Güneydoğu Toroslardan kaynaklanan orografik etki ile bu bölgede yağışlar artmaktadır (Türkeş, 1990). Karasal bölgelerde 1000 mm yağışın aşıldığı tek istasyon bu nedenle Bitlis’tir.

3.2.2. Türkiye’de Yağışların Mevsimlere Dağılışı

Genel atmosfer sirkülasyonunun bir sonucu olarak Türkiye’de genel olarak yaz ayları - Karadeniz kıyıları ve kuzeydoğu Anadolu dışında - kurak

geçerken, bahar ayları ve kış mevsimi, yağış getiren Atlantik ve Akdeniz kökenli hava sistemlerine bağlı olarak yağışlıdır. Ancak fiziki coğrafya faktörlerinin etkisiyle meydana gelen değişimler, mevsimlik yağışların bölgeden bölgeye değişmesine neden olmuştur (Erinç, 1996). Erinç (1996),



Şekil 3.4. Türkiye’de kış mevsimi ortalama yağış miktarının dağılışı.

Türkiye’de üç ana yağış rejimi ile iki geçiş rejimi ayırt ederek bu alanları ve özelliklerini aşağıdaki şekilde tanımlamıştır:

1. Karadeniz Yağış Rejimi

Yıllık yağış miktarı fazla ve mevsimlere nispeten düzenli dağılmıştır. Bu rejim, konum ve yer şekilleriyle ilgili olarak dar bir kıyı şeridinde etkili olmaktadır. Yağışın en fazla olduğu dönem, cephesel etkinliğin en güçlü olduğu sonbahara ve kışa rastlar. Yağış miktarının en fazla olduğu mevsim Karadeniz kıyılarındaki hemen hemen tüm istasyonlarda sonbahardır. Yaz mevsiminde ise kuzeybatılı hava

akımlarının etkisiyle orografik yağışlar meydana gelir. İlbahara mevsiminde fönlü hava tiplerinin daha fazla görülmesine neden olan güney yönlü rüzgâr frekansının artması ve denizle kara arasındaki sıcaklık farkının azalması, yağışların azalmasına neden olur.

2. Akdeniz Yağış Rejimi

Çok yağışlı kışlar ve oldukça kurak geçen yazlarla karakterize edilir. Yıllık toplam yağışın önemli bir bölümü kış aylarında kaydedilir. Bütün Batı ve Güney Anadolu bu rejimin bölgesinde kalır.

Bu rejim bölgesinde kalan, Akdeniz bölgesine göre daha karasal olan Güneydoğu Anadolu'da, Doğu Akdeniz'den kaynaklanan ve kuzeydoğu yönünde Güneydoğu Anadolu'ya doğru ilerleyen depresyonların frekansı ilkbahar mevsiminde, sonbahar mevsimine göre daha fazladır. Bu nedenle bu bölgede ilkbahar yağışları, sonbahar yağışlarından fazladır (Türkeş, 1990).

3. Kontinental Yağış Rejimi

Geciken cephesel etkinliklerden dolayı en çok yağış ilkbahar veya ilkyaza denk gelir. Sibiry ve Aral-Hazar havzasından kaynaklanan cP hava kütlelerinin etkisinde uzun bir süre antisiklonal hava şartları altında geçen kış mevsimi, en az yağışlı dönemdir. Yazın seyrek olmakla beraber, yerel konveksiyonel sağanaklar görülür. Bu rejim, karasallığın en şiddetli görüldüğü iç kısımların kuzeydoğu ve kuzey kısımları olan Erzurum-Kars bölümünde görülür.

4. İç Anadolu Geçiş Rejimi

Mevsimsel hava dolaşım şartlarına bağlı olarak en yağışlı mevsimler ilkbahar ve kış; en az yağışlı mevsim yazdır. Fakat yaz kuraklığı, konveksiyonel hareketlerin etkisiyle Akdeniz kıyılarına göre daha hafiftir. Genellikle en çok yağış ilkbahara doğru kayma gösterir.

5. Marmara Geçiş Rejimi

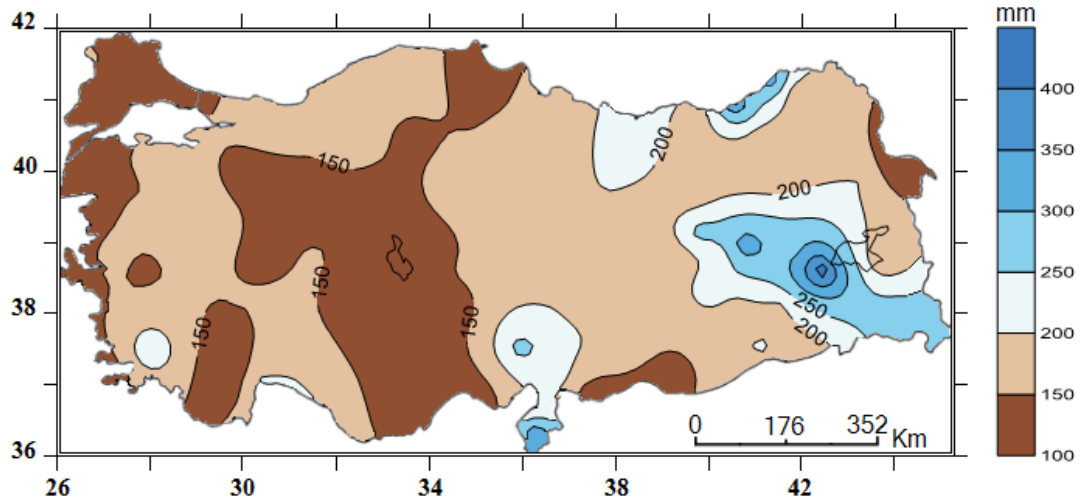
Akdeniz rejimindeki gibi en çok yağış kış mevsiminde, en az yağış yaz mevsiminde gerçekleşmektedir. Fakat yaz kuraklığı daha hafif ve ilkbahar yağışları Akdeniz kıyılarındakinden daha kuvvetlidir. Bu yönüyle yağış rejimi, Akdeniz rejiminden daha düzenlidir.

Türkiye’de yağışın mevsimlere dağılışı incelendiğinde genel olarak Ege ve Akdeniz bölgelerinde yıllık toplam yağışın önemli bir bölümü kış mevsiminde; Güneydoğu Anadolu’da kış ve ilbaharda gerçekleşmektedir. Sözü edilen bölgelerde, yağışın mevsimselliği Türkiye’nin diğer tüm bölgelerinden daha güçlüdür. Bu bölgelerde asıl yağışlı dönem olan kış mevsiminde yaşanabilecek bir kuraklık, iklim normali olarak kabul edilen yaz kuraklığından daha tehlikeli sonuçlar doğuracaktır. Karadeniz bölgesinde ve Marmara bölgesinin Karadeniz kıyılarında ise yıllık toplam yağış bir mevsimde yığılma göstermemiştir. Bu sonuçlar Türkeş (2010)’ın Türkiye’deki yağışlar için hesapladığı ve haritaladığı mevsimsellik indeksiyle de uyumludur.

Türkiye’de kış mevsimindeki yağış dağılışıyla yıllık ortalama yağış miktarının dağılışı arasında alan bakımından büyük bir benzerlik dikkati çekmektedir. Bu durum, Türkiye’deki yağış dağılışının büyük oranda kış yağışlarıyla şekillendiğini göstermektedir. İncelenen tüm meteoroloji istasyonlarının verilerine göre Türkiye’deki yıllık toplam yağışın %37’sinin kış mevsiminde kaydedilmesi de Türkiye’deki su kaynakları açısından bu mevsimdeki yağışların hayati öneme sahip olduğunu göstermektedir. Bu mevsimdeki yağışların azalması, kuraklık şiddeti ve kuraklığın yönetilmesiyle ilgili önemli ipuçları içerebilir.

Kış mevsiminde kıyılardan iç kısımlara doğru gidildikçe yağış miktarı azalmaktadır (Şekil 3.4). Doğu Karadeniz kıyıları, Menteşe Yöresi kıyıları, Antalya Körfezi ve Antakya çevresi 500 mm’nin üzerindeki yağışlarla bu mevsimde en çok yağış alan yerlerdir. İç Anadolu’da Konya bölümü, Doğu Anadolu’nun batısı ile kuzey kısımları 100 mm den daha az yağış alan yerlerdir.

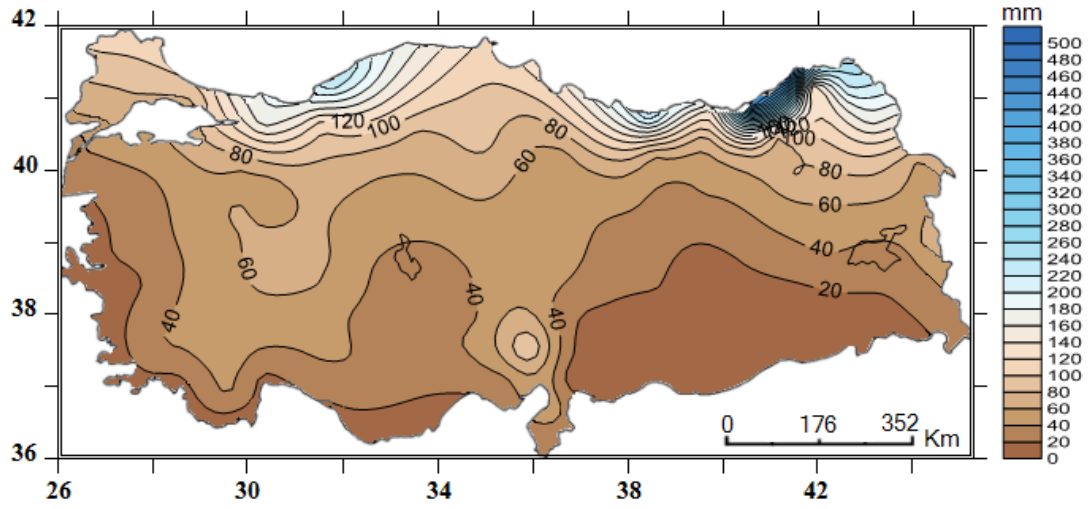
İlkbahar mevsiminde, Türkiye’nin büyük bir kısmında yağış 150 ile 200 mm arasındadır (Şekil 3.5). Trakya, Batı Anadolu kıyıları, İç Anadolu’nun batı yarısı, İç batı Anadolu bölümü, Iğdır çevresi, Ş.Urfa - Kilis hattı, Sinop çevresi ve Mersin - Silifke çevresi ilkbahar yağışlarının 150 mm’nin altına düştüğü en az yağışlı alanlardır. Doğu Anadolu’da Bitlis, Tatvan ve Bingöl çevresi, Antakya ve Doğu Karadeniz kıyıları ilkbaharda en yağışlı yörelerdir. Yaz aylarında Türkiye’nin büyük bir bölümü 100 mm’nin altında yağış almaktadır. Bu mevsimde kabaca 40° K enleminin güneyinde kalan yerler,



Şekil 3.5. Türkiye’de ilkbahar mevsimi ortalama yağış miktarının dağılışı.

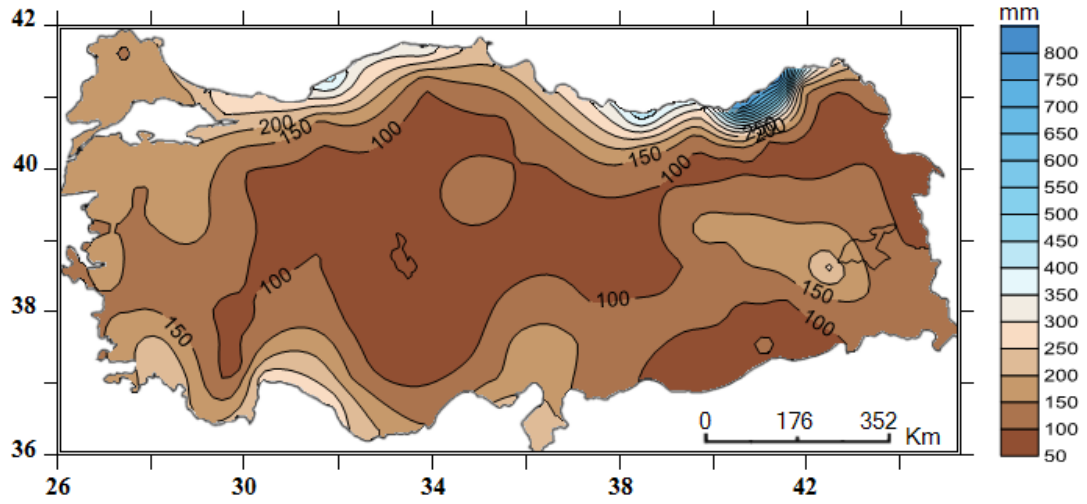
(Çanakkale-Ankara-Erzurum hattı) cT hava kütlelerinin etkisi ve orta enlem siklonlarına bağlı cephesel etkinliğin iyice kuzeye çekilmesi sonucunda oldukça kurak bir dönem geçirir. Ege ve Akdeniz kıyıları ile Güneydoğu Anadolu’da yaz yağışları toplamı 20 mm’nin altına, Güneydoğu Anadolu’nun Suriye sınırına yakın yerlerde ise neredeyse 0 mm’ye iner (Şekil 3.6). Buna karşın Doğu ve Batı Karadeniz kıyıları ile aynı enlemdeki karasal Kuzeydoğu Anadolu’da orta enlem siklonlarının geçişine bağlı cephesel yağışlar ile kuzeyli hava akımlarının neden olduğu orografik yağışlar nedeniyle yaz yağış miktarı artmaktadır. 500 mm’ye yaklaşan yaz yağış miktarıyla Doğu Karadeniz kıyıları bu mevsimde Türkiye’nin en çok yağış alan yeridir.

Yazdan sonra sonbahar mevsiminde, yağış getiren cephe sistemlerinin oluşması için uygun hava dolaşımı koşulları oluşmaya başlar ve yağış miktarı karasal Kuzeydoğu Anadolu’daki bazı istasyonlar dışında tüm istasyonlarda artar. Yağış miktarı bakımından olmasa da alansal dağılışı



Şekil 3.6. Türkiye’de yaz mevsimi ortalama yağış miktarının dağılışı.

deseni bakımından kış yağışlarının dağılışına büyük bir benzerlik söz konusudur(Şekil 3.4-3.7). Bu durum büyük ölçüde, sonbaharda başlayan ve



Şekil 3.7. Türkiye’de sonbahar mevsimi ortalama yağış miktarının dağılışı.

kış mevsiminde devam eden Kuzey Atlantik kökenli orta enlem depresyonlarının ve Akdeniz kökenli depresyonların geçişi ile ilgilidir.

Sonbaharda Batı ve Doğu Karadeniz kıyıları diğer bölgelerden daha çok yağış almaktadır. Batı Karadeniz kıyılarında yer yer 400 mm'yi geçen yağış, Doğu Karadeniz kıyılarının doğu kısımlarında 800 mm'yi geçer (Şekil 3.7). Akdeniz kıyılarında Menteşe Yöresi kıyıları, Antalya Körfezi ve Antakya çevresi; Doğu Anadolu'da Bitlis çevresi 200 mm'den çok yağış alan yerlerdir. İç Anadolu'nun tümü, Doğu Anadolu'nun kuzeyi ve doğusunda Van Gölü doğusuna kadar olan yerler, Güneydoğu Anadolu'nun büyük bir bölümü ile Teke yarımadasının iç kısımlarında kuzeye doğru uzanan bir kuşak 100 mm'nin altındaki yağışlarla Türkiye'nin sonbaharda en az yağış alan yerleridir.

3.2.3. Türkiye'de Yıllık ve Mevsimlik Yağışların Yıllar Arası Değişkenliği

Bir istasyonda kaydedilen yıllık toplam yağışın yıldan yıla değişim oranını hesaplamak için yıllık yağış toplamalarının standart sapması, yıllık ortalama toplam yağışa bölünür. Aynı yöntemle bir mevsimdeki yağışların da yıllar arası değişim oranı hesaplanabilir (Türkeş, 2010). Bu yaklaşıma göre hesaplanan yıllar arası değişim oranları Türkiye genelinde %10 ile %30 arasında değişmekte, Türkiye'nin büyük bir bölümünde ise %15-25 arası değişim göstermektedir. Akdeniz yağış rejiminin egemen olduğu bölgelerde yıllar arası değişkenlik diğer bölgelerden daha yüksek; Doğu Karadeniz kıyılarında ise daha düşüktür. Yıllar arası değişkenlik, Ege kıyılarında %20-25 arasında; Akdeniz kıyılarında ve Güneydoğu Anadolu'da %25-30 arasında; Karadeniz bölgesinde genel olarak %10-15 arasında; Güney Marmara ve Çatalca yarımadası hariç Trakya'da %20'nin biraz

üstünde ve Çatalca-Kocaeli bölümünün Şile çevresi dışındaki yerlerinde %20'nin altındadır.

Mevsimlik yağışlarda yıldan yıla görülen değişkenlik genel olarak değerlendirildiğinde, kış mevsimi yağışlarındaki değişkenlik oranı diğer mevsimlerden daha düşüktür. Değişkenliğin en fazla olduğu mevsim ise yazdır. Geçiş mevsimlerinde, ilkbahar mevsimi yağışları, sonbahar yağışlarına göre daha az değişkendir.

Yıldan yıla kış mevsimi yağışlarındaki değişkenlik oranları Türkiye genelinde %20 ile %40 arasında değişmekle beraber Türkiye'nin çok büyük bir bölümünde %30-40 arasındadır. Değerlerin en düşük olduğu yerler Batı Karadeniz kıyılarında ve %20-30 arasında değişmektedir. Çukurova çevresi, Göller yöresi, Kütahya çevresi, Trakya'nın iç kısımları, Doğu Anadolu'nun kuzeyi ve doğusu oranların %35-40 değerlerine eriştiği yerlerdir.

İlkbahar mevsimi yağışlarındaki yıllar arası değişkenlik, Marmara, Ege, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu'da büyük ölçüde %35-50 arasında değişmektedir. Diğer bölgelerde değişkenlik oranı genel olarak %35'in altındadır. İlkbahar mevsiminde değişkenliğin en az olduğu yerler Doğu Karadeniz kıyılarıdır. Bu kıyılarda değişkenlik oranı %25'in altına iner.

Yaz mevsimi yağış değişkenlik oranları diğer mevsimlere göre daha büyük oranlarda ve daha büyük bir aralıkta değişim göstermektedir. Ege ve Akdeniz kıyıları ile Güneydoğu Anadolu'da değişkenlik oranı %100'ün

üzerinde, yer yer %150'nin üstüne de çıkmaktadır. Kuzeydoğu Anadolu ve Doğu Karadeniz kıyılarında %50'nin altına inen değişkenlik oranı diğer bölgelerde %50 ile %80 arasında değişmektedir.

Sonbahar mevsimindeki yağış değişkenliği genel olarak %30 ile %60 arasında değişmektedir. Ege ve Akdeniz kıyıları ile Güneydoğu Anadolu'da değişkenlik oranı %50 ve üstündedir. Türkiye genelinde kuzeye doğru gidildikçe değişkenlik oranı azalmakta, Doğu Karadeniz kıyılarında %30'un altına inmektedir.

3.3. Standart Yağış İndeksine Göre Türkiye'nin Kuraklık Analizi

SYİ ile elde edilen veriler normal dağılıma sahip olduğu için nemli ve kurak dönemlere ait olasılıklar birlikte değerlendirilebilir. Ancak konu kuraklık analizi olduğu için burada sadece kuraklıkla ilgili özellikler ele alınacaktır. SYİ kuraklık sınıflamasına göre şiddetli, çok şiddetli ve olağanüstü kuraklıkların yıl içinde mevsimden mevsime ve yıldan yıla gösterdiği alansal değişim; özellikle yıllık toplam yağış miktarı Türkiye ortalamasının altında olan ve bu nedenle kuraklıktan daha fazla etkilenen bölgelerdeki zamansal ve alansal kuraklık karakteristikleri; şiddetli ve ekstrem kuraklık olasılıkları; kuraklık süresi, genliği ve şiddeti incelenmiştir.

Bir istasyonun yağış verileri, SYİ'ye göre hesaplanarak standartlaştırıldıktan sonra farklı kuraklık seviyelerine göre değerlendirilebilir. Ancak belirlenen herhangi bir kuraklık seviyesinin, yağış

miktarları ve rejimleri farklı olan istasyonlar açısından aynı şiddette yaşandığı anlamına gelmez. Bu nedenle kuraklık özellikleri SYİ'ye göre değerlendirildiğinde, her istasyonun bölgesel yağış özellikleri dikkate alınmalıdır.

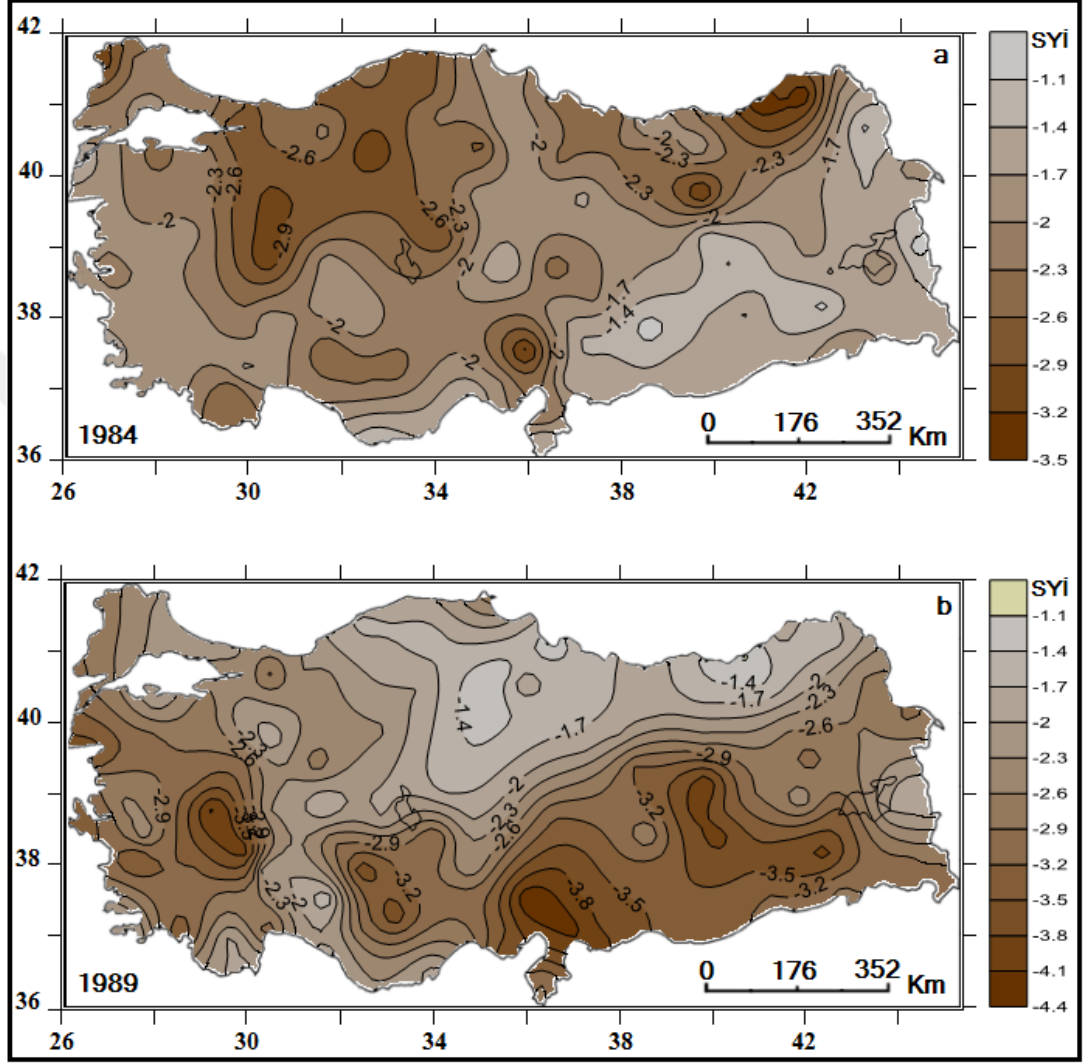
3.3.1. Kuraklığın Yıllık ve Mevsimlik Değerlendirmesi

SYİ kuraklık sınıflamasına göre kuraklığın yıldan yıla ve yıl içinde mevsimden mevsime gösterdiği alansal değişimin incelenen zaman diliminde Türkiye'de nasıl gerçekleştiğini anlamak ve varsa kuraklığın alansal olarak ısrarlı olduğu bölgeleri tespit etmek için 136 adet harita elde edilmiştir (Ek 1). Her istasyon için her yılın mutlak minimum aylık indeks değeri, yani en kurak ayın indeks değeri kullanılarak yıllık haritalar elde edilmiştir. Bu haritaların incelenmesiyle şiddetli kuraklıkların eriştiği alansal genişlik ve aynı zamanda önemli kurak yılların tespiti de yapılmıştır.

1984, 1989, 1990, 2001 ve 2006 yılları tüm Türkiye'de şiddetli, çok şiddetli veya olağanüstü kuraklıklar her bölgede yaşanmıştır (Şekil 3.8a ve 3.8b). Sözü edilen yıllarda Türkiye'de kaydedilen toplam yağış incelendiğinde de Türkiye ortalamasının altında yağış gerçekleştiği görülmüştür. 1978, 1986, 1990, 1992, 1993, 1995, 1996, 1997, 1999, 2000, 2004 ve 2008 yılları yaygın biçimde kuraklık görülen diğer yıllardır.

Güneydoğu Anadolu, İç Anadolu, Doğu Anadolu'nun doğusu, Güney Marmara, Çukurova ve çevresi incelenen yılların yarısından çoğunda SYİ

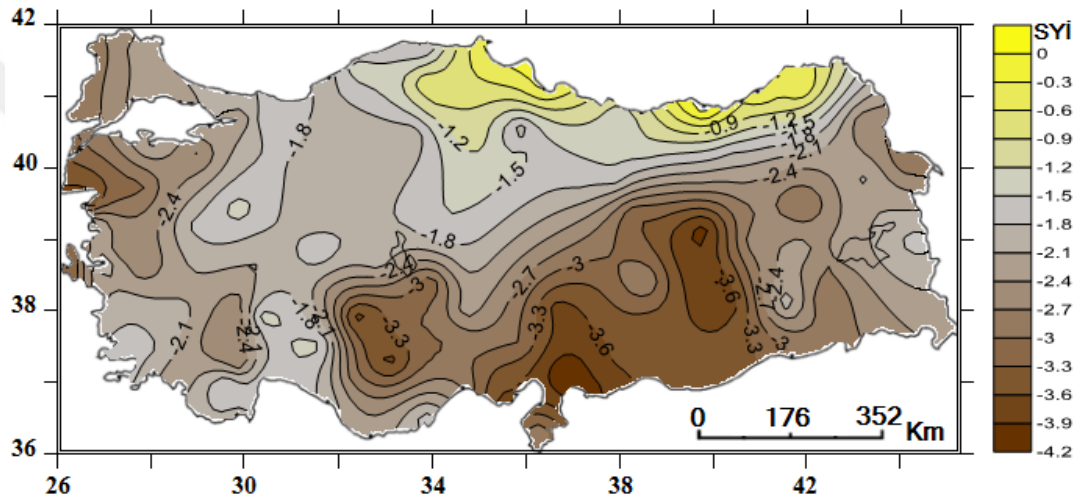
ölçeğine göre şiddetli veya daha kurak şartların, bu bölgeler için kurak kabul edilen yaz mevsimi dışındaki bir mevsimde yaşandığı görülmüştür.



Şekil 3.8. Türkiye’de şiddetli ($SYİ \leq -1,30$), çok şiddetli ($SYİ \leq -1,60$) ve olağanüstü kuraklık ($SYİ \leq -2$) yaşanan alanların 1984 (a) ve 1989 (b)’daki dağılışı

Mutlak minimumların gerçekleştiği ayların hangi mevsimde olduğu önemlidir. Çünkü sinoptik koşullardan dolayı yağışlı geçmesi beklenen mevsimlerde gerçekleşen kuraklık, kurak dönem olan yaz mevsiminde gerçekleşen kuraklıktan daha tehlikelidir ve bunun belirlenmesi gerekir. Bu

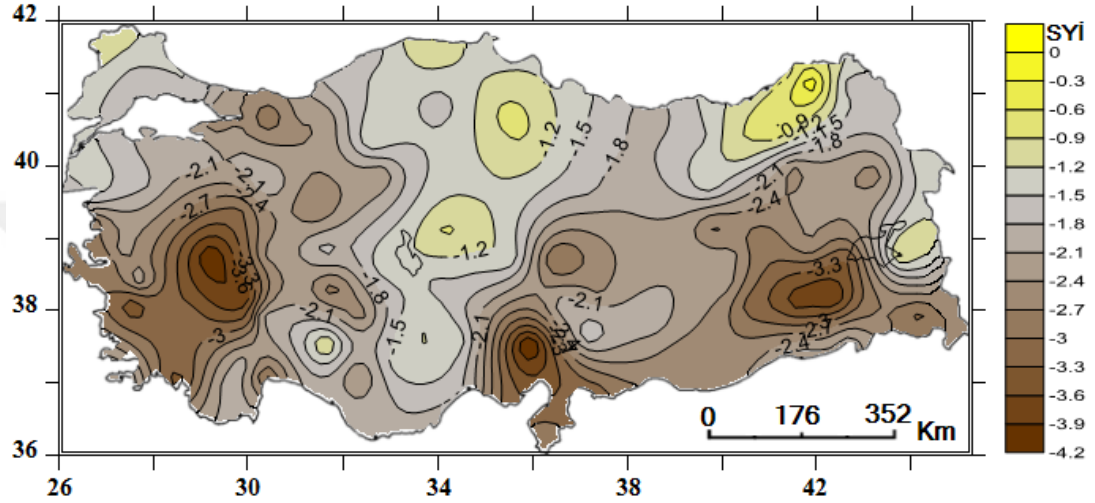
amaçla veriler incelendiğinde mutlak minimumların hemen hemen tüm istasyonlarda genel olarak kış, ilkbahar ve sonbaharda gerçekleştiği görülmüştür. Bu durumun nedeni yağışların daha çok bu mevsimlerde gerçekleşmesiyle ilgilidir. Mutlak minimumların bu üç mevsimde görülme olasılığı tüm istasyonlar için ortalama olarak %85'in üstünde, kış mevsiminde görülme olasılığı ise ortalama %30 dur.



Şekil 3.9. 1989 yılının kış mevsiminde şiddetli ($SYİ \leq -1,30$), çok şiddetli ($SYİ \leq -1,60$) ve olağanüstü kuraklık ($SYİ \leq -2$) yaşanan alanların dağılışı

İncelenen yılların kış mevsimlerinde şiddetli veya daha kurak koşulların yaşandığı alanlar 1989 yılında Orta ve Doğu Karadeniz kıyıları dışında kalan tüm bölgelere yayılmıştır. Özellikle Güneydoğu Anadolu, Doğu Anadolu, Akdeniz, Ege ve Marmara bölgelerinin çoğu yerinde olağanüstü kuraklıklar yaşanmıştır (Şekil 3.9). 1984, 1990, 1992, 1995, 2001, 2004 ve 2006 yıllarının kış mevsimleri şiddetli veya daha kurak koşulların yaygın biçimde yaşandığı dönemlerdir. Diğer yılların kış mevsimlerinde orta kurak, hafif kurak, normal veya nemli koşullar Türkiye genelinde egemendir (Ek 1).

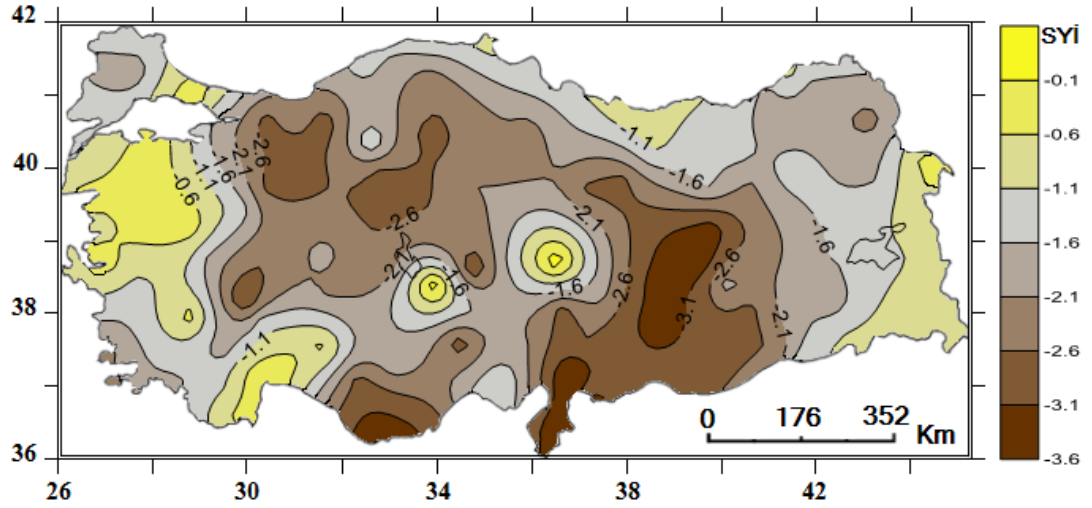
Yıllara göre ilkbahar mevsimi incelendiğinde 1986, 1989 ve 1999 yıllarında şiddetli veya daha kurak koşulların en büyük alansal genişliğe eriştiği görülmüştür (Şekil 3.10). 1975, 1980, 1982, 1988, 1995, 1996, 1998,



Şekil 3.10. 1989 yılının ilkbahar mevsiminde şiddetli ($SYİ \leq -1,30$), çok şiddetli ($SYİ \leq -1,60$) ve olağanüstü kuraklık ($SYİ \leq -2$) yaşanan alanların dağılışı

2000 ve 2005 yıllarının dışında kalan yılların ilkbahar mevsiminde bölgesel ölçekte ve parçalı bir desen oluşturan şiddetli veya daha kurak koşullar görülmüştür (Ek 1).

Yıllara göre sonbahar mevsiminde ise en yaygın ve şiddetli kuraklıkların olduğu yıllar 1978, 1984, 1993, 1996, 2000 ve 2004'tür (Şekil 3.11). Bu yılların dışında 1975, 1977, 1982, 1986, 1987, 1992, 1996, 1998, 1999 ve 2001 yıllarında da bölgesel olarak şiddetli veya daha kurak koşullar yaşanmıştır (Ek 1).



Şekil 3.11. 1978 yılının sonbahar mevsiminde şiddetli ($SYI \leq -1,30$), çok şiddetli ($SYI \leq -1,60$) ve olağanüstü kuraklık ($SYI \leq -2$) yaşanan alanların dağılışı

Yıl içinde şiddetli veya daha kurak koşulların yaşandığı alanların değişimini izlemek için düzenlenen haritaların (Ek 1) incelenmesi, yağışlı geçmesi beklenen kış ve bahar aylarındaki kuraklık olaylarının alansal/zamansal özellikleri konusunda oldukça yararlı bilgiler sağlamıştır. Kış ve bahar aylarının kuraklık dağılışını gösteren haritaların karşılaştırılmasıyla yıl ölçeğinde nerelerde şiddetli kuraklık yaşanmadığı da takip edilebilmiştir. Yıl bazında alansal kuraklık ısrarının belirlenebilmesine olanak sağlayan bu değerlendirme, incelenen zaman dilimindeki yıllar için detaylı biçimde aşağıda verilmiştir.

1975: *Sonbaharda* Çukurova çevresinden Orta Kızılırmak, Yukarı Kızılırmak, Elazığ, Malatya ve K. Maraş çevresine kadar olan bölgede şiddetli veya daha kurak koşullar görülmüştür. *Kışın* Ordu-Giresun ve Iğdır Ovası dışındaki tüm bölgelerde normal veya normale yakın koşullar

egemendir. *İlkbaharda* ise Van Gölü doğusunda kalan alan dışındaki yerlerin tümü normal veya normale yakın koşullara sahiptir.

1976: *Sonbaharda* Ege'nin iç kısımları, Doğu Karadenizin kıyı kuşağı ve Türkiye-Irak sınırında Cizre çevresi dışındaki yerler; *Kışın* Tekirdağ ve Artvin-Hopa çevresi dışındaki yerlerin tümü normal veya normale yakın koşullara sahiptir. *İlkbaharda* ise şiddetli kurak koşullar yaygınlaşmıştır. Bu mevsimde Van çevresi başta olmak üzere Doğu Anadolu'nun doğusu, Doğu ve Batı Karadeniz kıyıları, Yukarı Kızılırmak bölümü, Menteşe yöresi ve Çatalca-Kocaeli bölümü şiddetli veya daha kurak koşulların yaşandığı alanlardır.

1977: *Sonbaharda* Erzurum-Kars bölümünden Yukarı ve Orta Fırat Havzasına ve Akdeniz Bölgesi'ne kadar uzanan bir alan ile Konya bölümü; *Kışın* Doğu Marmara, Sinop-Kastamonu-Ankara hattı ve çevresi ile Doğu Karadeniz; *İlkbaharda* ise Ege Bölgesi'nde şiddetli veya daha kurak koşullar yaşanmıştır.

1978: *Sonbaharda* Güney Marmara, Antalya çevresi ve Antalya Körfezi'nin batı kıyıları, Aksaray ve Kayseri çevresi dışındaki yerler; *Kışın* İzmir ve Edremit körfezleri arasındaki kıyı kuşağı dışındaki yerlerin tümü normal veya normale yakın koşullara sahiptir. *İlkbaharda* ise kuraklık yaygınlaşmıştır. Akdeniz Bölgesi, Orta Fırat Bölümü, Yukarı ve Orta Kızılırmak bölümleri, Doğu Karadeniz'den Elazığ-Bingöl çevresine kadar

uzanan bir kuşak, Ardahan ve Hakkâri çevreleri şiddetli veya daha kurak koşullarının yaşandığı yerlerdir.

1979: *Sonbaharda* sadece Erzurum-Kars Bölümü; *Kışın* Orta Karadeniz ve Göller Yöresi; *İlkbaharda* Marmara Bölgesi, Yukarı Sakarya Bölümü, Orta Karadeniz Bölümü, Antalya, K.Maraş, Mardin ve Ağrı-Iğdır çevresi şiddetli veya daha kurak koşulların yaşandığı yerlerdir.

1980: *Sonbaharda* İstanbul, Ankara, Mardin, Elazığ, Bitlis, Hakkâri çevrelerinde dar bir alanda ve Doğu Karadeniz Bölümünde; *Kışın* Yukarı Kızılırmak ve doğusundaki devamı olan Erzincan-Bayburt-Gümüşhane çevreleri, Muş, Iğdır, Kars, Ardahan ve Rize-Artvin çevresi; *İlkbaharda* ise sadece Ağrı-Iğdır çevresi şiddetli veya daha kurak koşulların yaşandığı yerlerdir.

1981: *Sonbaharda* Sinop-İnebolu, Muğla-Denizli-Burdur-Antalya çevreleri; *Kışın* Orta ve Doğu Karadeniz kıyıları ile Doğu Anadolu'nun doğusu; *İlkbaharda* Antalya-Burdur-Muğla-Denizli-İzmir'e kadar uzanan ve buradan Güney Marmara Bölümü'ne doğru genişleyen bir kuşak boyunca, Bolu ve Sivas çevreleri ile Konya Bölümü şiddetli veya daha kurak koşulların yaşandığı yerlerdir.

1982: Sonbahar ve Kış mevsiminde yaygın kuraklıkların yaşandığı bir yıldır. *Sonbaharda* İzmir'den Antalya'ya kadar olan kıyı şeridi, Kapadokya-Konya Bölümü-Taşeli Platosu boyunca uzanan bir kuşak, Antakya-K.Maraş

hattı ve tüm Güneydoğu Anadolu, Iğdır-Ağrı çevresi ile Doğu Karadeniz kıyılarının çok önemli bir bölümü dışında kalan yerler; *Kışın* Mersin-Anamur arası kıyı kuşağı, Orta ve Yukarı Kızılırmak ile Yukarı Fırat bölümleri, Kars-Ardahan ve Hakkâri çevresi ile Sinop çevresi şiddetli veya daha kurak koşulların yaşandığı alanlardır. İlkbahar mevsiminde ise Türkiye genelinde şiddetli kuraklık yaşanmamıştır.

1983: *Sonbaharda* sadece Samsun çevresi; *Kışın* Çatalca-Kocaeli ve Batı Karadeniz kıyıları, Kayseri-Sivas-Erzincan-Bayburt hattı ve devamındaki Erzurum-Kars Bölümü, Van ve Hakkâri çevresi; *İlkbaharda* Marmara Bölgesi ve daha güneydeki İzmir'e kadar olan yerler ile Marmara Bölgesi'nin Karadeniz kıyıları ve doğuya doğru Bartın kıyılarına kadar olan yerler, Doğu Karadeniz kıyı kuşağı ile Gümüşhane-Bayburt-Erzincan-Tunceli-Van-Hakkâri hattını takip eden bir kuşak şiddetli veya daha kurak koşulların yaşandığı yerlerdir.

1984: *Sonbaharda* Güneydoğu Anadolu ve doğusundaki Van-Hakkâri çevresi ile Burdur çevresi dışındaki geniş bir alanda; *Kışın* Marmara Bölgesi, Batı Karadeniz, Yukarı Sakarya, Ege'nin iç kısımları, Kapadokya, Samsun-Antakya hattının doğusunda Iğdır-Ağrı çevresi dışındaki yerlerde; *İlkbaharda* ise Ege ve Akdeniz bölgeleriyle Çukurova'nın kuzeyine doğru Kapadokya'ya kadar genişleyen bir alanda şiddetli veya daha kurak koşullar yaşanmıştır. Bu yıla ait mevsimlik haritalar karşılaştırıldığında Türkiye'nin en kurak yıllarından biri elde edilmiştir (Şekil 3.8a).

1985: *Sonbaharda* Yukarı Sakarya Bölümü ve Bilecik çevresi, Yukarı ve Orta Kızılırmak ile Ordu çevresindeki yerler; *Kışın* Trakya'nın batısı ile bu alanın güneyine doğru İzmir'e kadar olan yerler; *İlkbaharda* yine Trakya'dan başlayan fakat bu sefer kıyı Ege boyunca Fethiye-Kaş çevresine kadar genişleyen bir kuşak, Ordu-Trabzon arası kıyı kuşağı ile K.Maraş-Kayseri çevresi şiddetli veya daha kurak koşulların yaşandığı yerlerdir.

1986: *Sonbaharda* Antalya Körfezinden kuzeydoğuya doğru Konya Bölümü, Orta ve Yukarı Kızılırmak'ın da içinde bulunduğu bir kuşak ve Antalya Körfezinden kuzeybatıya doğru Ege ve Güney Marmara'yı içine alan bir bölge; *Kışın* çok dar bir kıyı şeridi biçiminde Samsun-Sinop kıyıları; *İlkbaharda* ise önceki mevsimlerden daha yaygın kuraklıklar yaşanmıştır. Kilis-Ardahan arasına çizilecek bir hattın doğusunda -Bitlis çevresi hariç- bulunan bölge ile Konya çevresi ve Ege kıyıları dışındaki yerlerde şiddetli veya daha kurak koşullar yaşanmıştır.

1987: *Sonbaharda* Çatalca-Kocaeli Bölümü ile Bilecik'ten, Batı ve Orta Karadeniz bölümlerine buradan da Doğu Karadeniz kıyı kuşağının ardındaki dağ sıraları arasında kalan olukları takip ederek Kuzeydoğu Anadolu'ya ulaşan bir kuşak ve İzmir-Kaş arasındaki kıyı kuşağı; *Kışın* sadece Finike-Kaş çevresi; *İlkbaharda* Konya Bölümü ve Samsun-Antakya hattının doğusunda -Elazığ, Malatya, Sivas, Ordu, Giresun ve Ardahan çevresi hariç- kalan bölge şiddetli veya daha kurak koşullar yaşamıştır.

1988: *Sonbaharda* Bolu, Kırklareli ve Çorum-Tokat çevresi; *Kışın* Konya Bölümü, Göller Yöresi, Manisa-Uşak çevresi, Güney Marmara ve Çatalca-Kocaeli Bölümlerinde özellikle Marmara Denizi kıyıları, Çankırı-Kastamonu çevresi ve Iğdır Ovası; *İlkbaharda* Yozgat, Ordu, Erzurum ve Kars çevresi şiddetli veya daha kurak koşulların yaşandığı yerlerdir.

1989: Bu yılın Kış ve İlkbahar mevsimlerinde şiddetli ve yaygın kuraklıklar yaşanmıştır (Şekil 3.8b). *Sonbaharda* Isparta ve Kütahya dışındaki tüm bölgelerde normal veya nemli koşullar egemendir. *Kış* mevsiminde Orta ve Doğu Karadeniz kıyıları dışındaki tüm bölgeler; *İlkbahar* mevsiminde Doğu Karadeniz, Orta Karadeniz'in iç kısımları, Kırşehir, Van, İnebolu ve Kırklareli çevresi dışındaki tüm bölgelerde şiddetli veya daha kurak koşullar yaşanmıştır.

1990: *Sonbaharda* İzmir-Manisa çevresinden Menteşe Yöresi'ne ve Antalya Körfezi kıyılarına kadar uzanan bir kıyı kuşağı, Yukarı Murat-Van Bölümü ile Şanlıurfa; *Kışın* Giresun-Şanlıurfa hattının doğusu, Malatya-K.Maraş çevresi, Orta Kızılırmak, Konya Bölümü ve Bursa-Sakarya-Bartın boyunca uzanan bir kuşak dışında kalan yerler; *İlkbaharda* Yukarı Sakarya, Batı Karadeniz, Çatalca-Kocaeli ve Güney Marmara bölümleri, Antalya'dan Taşeli Platosu ve Çukurova'ya kadar uzanan kıyı kuşağı, Kapadokya, Orta Fırat Bölümü ve Iğdır-Ağrı-Van-Hakkari boyunca uzanan bir kuşak dışında kalan yerler şiddetli veya daha kurak koşullar yaşamıştır.

1991: Kuraklığın çok yaygın yaşanmadığı bir yıldır. *Sonbaharda* Bursa, İzmir, Manisa, Aydın çevresi ve Rize-Hopa arasındaki dar bir kıyı kuşağı; *Kışın* Kırklareli, Kızılcahamam ve Kelkit vadisi; *İlkbaharda* Bursa-Balıkesir-Kütahya çevreleri, Afyon ve Alanya çevresi, Kars-Ardahan ve Artvin çevreleri şiddetli veya daha kurak koşullar yaşamıştır.

1992: *Sonbaharda* Kütahya-Eskişehir çevreleri, Akdeniz Bölgesi, Dicle, Hakkâri ve Yukarı Murat bölümleri; *Kışın* Orta Fırat Bölümü, Akdeniz, Ege ve Marmara bölgeleri, İç Anadolu'da Yukarı Kızılırmak ve Orta Kızılırmak Bölümü'nün Kapadokya Yöresi dışında kalan yerleri; *İlkbaharda* Yukarı Sakarya Bölümü ile birlikte Kütahya çevresi ve Batı Karadeniz Bölümü'nün dar bir kıyı kuşağı dışındaki kısımları, Çukurova, Kapadokya, Doğu Karadeniz'de Çoruh-Kelkit oluğu, Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve Doğu Anadolu'da Van çevresi dışındaki tüm kısımları şiddetli veya daha kurak koşullar yaşamıştır.

1993: *Sonbaharda* Hakkâri- Van çevresi ve Dicle Bölümü, Antalya Bölümü, Kıyı Ege ve Trakya'nın batısı ile Orta Karadeniz kıyıları dışındaki yerler; *Kışın* Sinop-İnebolu arası kıyı kuşağı, Konya Bölümü, Amanos Dağlarını takip eden bir kuşak, Mardin-Diyarbakır-Muş çevreleri; *İlkbaharda* Tuz Gölü çevresi, Çankırı, Erzurum ve Iğdır çevreleri şiddetli veya daha kurak koşullar yaşamıştır.

1994: *Sonbaharda* Çatalca-Kocaeli, Batı, Orta ve Doğu Karadeniz kıyılarına kadar uzanan bir kuşak; *Kışın* Bartın-Zonguldak çevresi;

İlkbaharda Doğu Karadeniz kıyılarından Kelkit vadisi ve Sivas üzerinden K.Maraş-Kilis çevresine ve Tuz Gölü güneyine kadar uzanan geniş bir kuşak ve Çorum-Samsun arasındaki alan şiddetli veya daha kurak koşullar yaşamıştır.

1995: *Sonbaharda* sadece İstanbul çevresi; *Kışın* İstanbul ve Trakya üzerinden Kıyı Ege'de İzmir çevresine kadar uzanan bir kuşak, Denizli, Tuz Gölü çevresi, Çukurova, Zonguldak-Bartın arası, Erzurum, Kars, Van ve Hakkari çevresi dışındaki çok geniş bir alan; *İlkbaharda* Marmara Bölgesi şiddetli veya daha kurak koşullar yaşamıştır.

1996: *Sonbaharda* Ege ve Akdeniz kıyıları ile Orta Fırat Bölümü dışındaki yerlerde; *Kışın* sadece Artvin-Hopa çevresinde; *İlkbaharda* tuz Gölü çevresi, Kelkit vadisi ve Iğdır-Ağrı-Van çevresinde şiddetli veya daha kurak koşullar yaşanmıştır.

1997: *Sonbaharda* İzmit Körfezi çevresi, Kırklareli, Orta ve Doğu Karadeniz kıyı kuşağı; *Kışın* Dikili-Çandarlı körfezleri, Teke Yarımadası ve Anamur kıyıları, Antakya-K.Maraş Grabeni, Erzurum-Iğdır hattı ve yakın çevresi; *İlkbaharda* Tuz Gölü, Eskişehir ve Balıkesir çevresi, Sivas doğusu ve Kelkit vadisi üzerinden Trabzon çevresine kadar uzanan bir kuşak şiddetli veya daha kurak koşullar yaşamıştır.

1998: *Sonbaharda* sadece Kilis-Ardahan arasına çizilecek bir hattın doğusunda kalan geniş bir alan; *Kışın* Alanya'dan Ankara'ya ve Alanya'dan

Taşeli Platosu, Çukurova ile K.Maraş-Malatya'ya kadar uzanan birer kuşak, Yukarı Murat havzası, Kars, Hakkâri ve Nusaybin çevresi; *İlkbaharda* sadece Orta Karadeniz'de Samsun kıyıları, Artvin çevresi ve Edremit Körfezi kıyıları şiddetli veya daha kurak koşullar yaşamıştır.

1999: *Sonbaharda* İzmir güneyinden Menteşe Yöresi'ne buradan tüm güney Anadolu'ya ve Yukarı Murat havzasına kadar yayılan bir bölgede; *Kışın* Doğu Anadolu, Doğu ve Batı Karadeniz kıyıları ile Sakarya-Kocaeli çevresi ve Kapadokya'dan Karaman'a uzanan bir kuşakta; *İlkbaharda* Doğu ve Orta Karadeniz bölümleri, Van Gölü çevresi, Kayseri ve Kırklareli çevresi dışındaki geniş bir alanda şiddetli veya daha kurak koşullar yaşanmıştır.

2000: *Sonbaharda* Kıyı Ege, Akdeniz, Güneydoğu Anadolu ve Sivas çevresi dışındaki çok geniş bir alanda; *Kışın* Cizre-Nusaybin çevresi, Adana ve Antalya çevreleri, Kıyı Ege ve daha kuzeyde Tekirdağ çevresinde; *İlkbaharda* Van, Hakkâri, Bitlis, Bayburt, Gaziantep ve Ulukışla çevrelerinde şiddetli veya daha kurak koşullar yaşanmıştır.

2001: *Sonbaharda* Marmara ve Ege Bölgeleri ile Batı Karadeniz ve İç Anadolu'nun Konya Bölümü dışındaki kısımları, Cizre-Nusaybin çevresi; *Kışın* Doğu ve Orta Karadeniz kıyı kuşağı, Van Gölü çevresi, Trakya, Kıyı Ege ve Antalya çevresine kadar olan kıyı kuşağı dışındaki çok geniş bir alan; *İlkbaharda* Menteşe Yöresi kıyıları dışındaki Batı Anadolu kıyıları ve Alanya çevresine kadar uzanan kıyı bölgeleri, Orta Kızılırmak ve

Çukurova'yı içine alan kuzey-güney uzanıslı bir koridorda parçalı olarak şiddetli veya daha kurak koşullar yaşanmıştır.

2002: *Sonbaharda* sadece Artvin çevresinde; *Kışın* Batı Karadeniz, Orta Karadeniz'in iç kısımları, Tuz Gölü ve Antalya Körfezi çevresi, Güney Marmara'da Bandırma-Bursa-Mudanya arasındaki alan, Iğdır, Van ve Ordu çevrelerinde; *İlkbaharda* Orta Karadeniz ve Orta Kızılırmak'ın bu alana komşu kısımları ile Trabzon'a kadar olan kıyı şeridi, Kapadokya ve Trakya'nın Çatalca Yarımadası dışındaki kısımlarında şiddetli veya daha kurak koşullar yaşanmıştır.

2003: *Sonbaharda* Batı Karadeniz'in iç kısımlarından Yukarı Sakarya Bölümü'ne ve Kütahya çevresine kadar olan bölge, Trakya ve güneyine doğru Ege kıyıları boyunca İzmir çevresine kadar olan yerler; *Kışın* Van Gölü havzası, Erzurum, Batman ve Karaman çevresi; *İlkbaharda* Van Gölü havzası, Erzincan-Erzurum hattı ve kuzeyindeki Çoruh vadisi, Elazığ-Malatya-Kayseri hattı, Batı Karadeniz, Yukarı Sakarya ve Çatalca-Kocaeli bölümleri şiddetli veya daha kurak koşullar yaşamıştır.

2004: *Sonbaharda* Akdeniz kıyıları, Van Gölü çevresi, Kuzeydoğu Anadolu ve Orta Karadeniz kıyıları dışındaki çok geniş bir alanda; *Kışın* Doğu Karadeniz kıyıları ve Orta Karadeniz, Van, Gaziantep, Malatya, Kapadokya, Edremit Körfezi ve Bartın-Zonguldak arası dar bir kıyı şeridi dışındaki bölgelerde; *İlkbaharda* Edremit Körfezi-Tuz Gölü-Van Gölü hattının

güneyinde -Hakkari ve Muş çevresi hariç- kalan Türkiye'nin güney yarısında şiddetli veya daha kurak koşullar yaşanmıştır.

2005: *Sonbaharda* sadece Iğdır çevresinde; *Kışın* İç Anadolu'nun iç kısımları, Taşeli Platosu ve Elazığ çevresinde; *İlkbaharda* Taşeli Platosu ve kuzeyi, Niğde çevresi, Nusaybin-Cizre-Hakkâri hattında şiddetli veya daha kurak koşullar yaşanmıştır.

2006: *Sonbaharda* sadece Edremit Körfezi kıyıları; *Kışın* Dicle ve Hakkâri bölümleri ile Van Gölü havzası ve Iğdır çevresine kadar olan bir alan, Orta ve Doğu Karadeniz kıyıları ile Sakarya-Kocaeli çevresi dışında kalan Türkiye'nin çok büyük bir bölümü; *İlkbaharda* Karaman - Adana - K.Maraş - Osmaniye-Kilis-Şanlıurfa boyunca uzanan bir kuşakta, Hakkâri ve Iğdır çevresinde, Samsun'dan itibaren Orta ve Batı Karadeniz üzerinden Yukarı Sakarya ve tüm Marmara'yı da içine alan, güneye doğru Ege kıyılarında Aydın çevresine kadar uzanan geniş bir kuşakta şiddetli veya daha kurak koşullar yaşanmıştır.

2007: *Sonbaharda* Yukarı Sakarya Bölümü ve Bilecik-Bolu çevresi, İskenderun Körfezi, Erzurum-Kars Bölümü ve batısında Sivas'a kadar olan yerler ile Yukarı Murat-Van Bölümü; *Kışın* Batı Karadeniz ve batısındaki Doğu Marmara, Mersin, Alanya, Samsun ve Siirt çevreleri; *İlkbaharda* Trakya, Edremit Körfezi, K. Menderes vadisinin yukarı kısımları, Menteşe Yöresi, Teke Yarımadası'nın iç kısımları ve Göller Yöresi ile Tuz Gölü

çevresine kadar uzanan bir kuşak, Trabzon-Giresun kıyıları ile Kelkit vadisi şiddetli veya daha kurak koşullar yaşamıştır.

2008: *Sonbaharda* sadece Kırklareli'nde ve Ordu-Giresun arası dar bir kıyı şeridinde; *Kışın* Trakya, Ege Bölgesi, Antalya Körfezi ve Göller Yöresinde, Tuz Gölü çevresinde kuzeye ve batıya doğru genişleyen bir alanda; *İlkbaharda* Gelibolu ve Biga yarımadalarında, Denizli çevresinde, Kapadokya'dan güneye doğru Mersin kıyılarına kadar olan bir kuşakta, Güneydoğu Anadolu ve Güneydoğu Torosların kuzeyinde bulunan tektonik çöküntü kuşağında, Yukarı Murat-Van Bölümü'nde ve Ardahan-Artvin çevresinde şiddetli veya daha kurak koşullar yaşanmıştır.

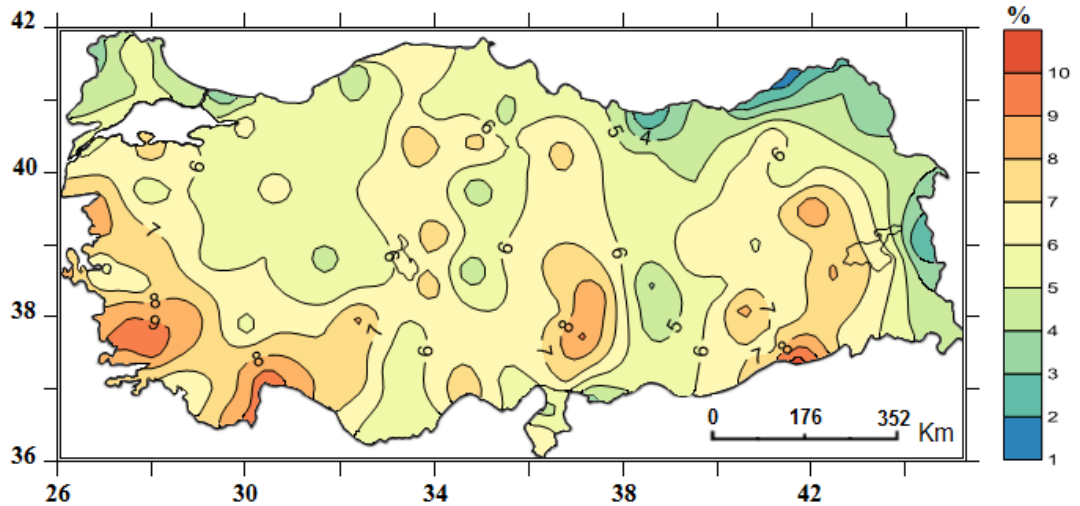
1 aylık SYİ serilerinden her istasyon için hesaplanan mod değerleri yardımıyla, şiddetli veya daha kurak seviyelerin 2 yıllık periyotlarla nerelerde daha çok tekrarlandığı belirlenerek haritalanmıştır. Bu haritalar incelendiğinde İç Anadolu'da ve bu bölgeye komşu alanlar olan Afyon-Kütahya-Balıkesir, Tokat-Amasya ve Malatya-Bingöl çevreleri ile Batman çevresinde şiddetli veya daha kurak koşulların diğer bölgelerden daha çok tekrarlandığı görülmüştür. Aynı SYİ serilerinden 4 yıllık periyotlarla şiddetli kuraklıkların nerelerde daha sık tekrarlandığını gösteren mod değerleri için hazırlanan haritalar incelendiğinde ise yukarıda sayılan bölgelere ek olarak Bayburt-Gümüşhane çevresi (Çoruh vadisi), Erzurum-Kars, Van-Bitlis ve Sinop çevreleri öne çıkmaktadır.

3 aylık SYİ serilerinden 2, 4, 6 ve 10 yıllık periyotlarla şiddetli veya daha kurak koşulların nerelerde daha çok tekrarlandığını saptamak amacıyla hesaplanan mod değerleri de haritalanarak incelenmiştir. 2 yıllık periyotlarda İç Anadolu, Güneydoğu Anadolu ve Doğu Anadolu bölgeleri, İç batı Anadolu bölümü ve Amasya-Tokat çevresinde şiddetli veya daha kurak koşullar diğer bölgelerden daha çok tekrarlanmıştır. 4 yıllık periyotlarda Güneydoğu Anadolu, İç Anadolu'nun Yukarı Sakarya dışında kalan bölümleri, Afyon-Uşak çevresi, Göller Yöresi, Van, Tunceli-Erzincan-Erzurum ve Çoruh vadisi şiddetli veya daha kurak koşulların diğer bölgelerden daha çok tekrarlandığı yerlerdir. 6 yıllık periyotlarda İç Anadolu, Amasya-Çorum çevreleri, Balıkesir-Edremit Körfezi-Kütahya çevreleri, Göller Yöresi, Tunceli-Erzincan-Erzurum-Ardahan-Ağrı-Van çevreleri ve İzmit Körfezi şiddetli veya daha kurak koşulların diğer bölgelerden daha çok tekrarlandığı yerlerdir. 10 yıllık periyotlarda Konya-Kapadokya çevresi, Sivas ve Kütahya çevresinde şiddetli veya daha kurak koşullar diğer bölgelerden daha çok tekrarlanmıştır.

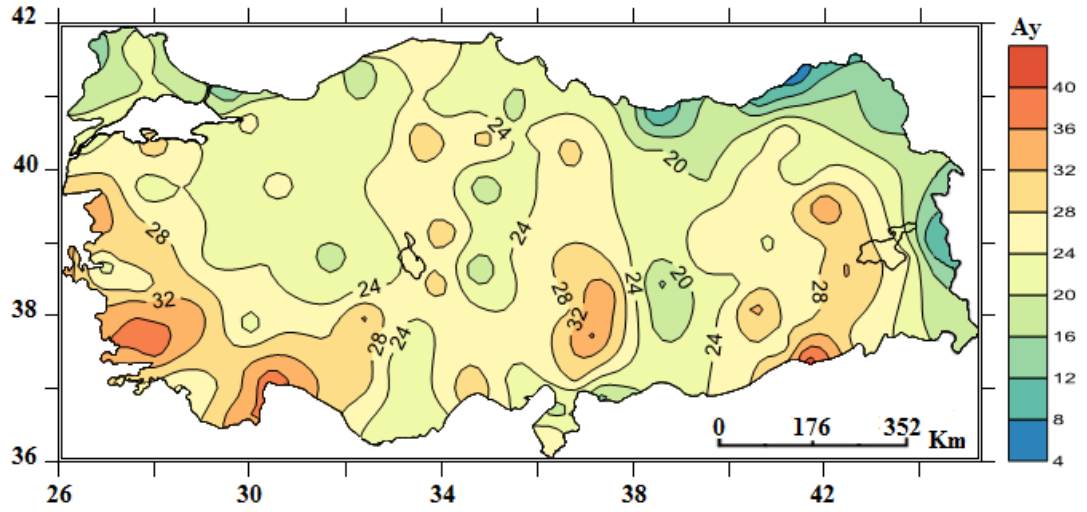
3.3.2. Kuraklık Olasılığı Ve Süresi

SYİ serilerinden elde edilen verilerin kullanılmasıyla farklı kuraklık seviyelerinin olasılıkları belirlenerek haritalanmıştır. Hafif ve orta seviyedeki kuraklık koşullarından çok, şiddetli ($SYİ \leq -1,30$), çok şiddetli ($SYİ \leq -1,60$) ve olağanüstü kuraklıkların ($SYİ \leq -2$) su kaynaklarıyla ilişkili sektörlere ve ekosisteme olan etkisinin daha yıkıcı olduğu gerçeği göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Bu amaçla hazırlanan harita incelendiğinde şiddetli, çok

şiddetli ve olağanüstü kurak koşulların toplam olasılığı genel olarak Akdeniz ve Ege kıyıları, Güneydoğu Anadolu, Güney Marmara, Orta Anadolu ve Doğu Anadolu'da diğer bölgelerden daha yüksektir. Bu olasılığın en düşük olduğu yerler ise Doğu Karadeniz kıyıları, Ardahan-Kars çevresi ve Van Gölü'nün doğusunda kalan kuzey-güney uzanıslı bir kuşaktır (Şekil 3.12). Olasılık değerleri ise %1 ile %11 arasında değişmektedir. Menteşe Yöresi, Antalya Körfezi kıyıları, Mardin-Nusaybin çevresinden kuzeye doğru Diyarbakır, Batman, Bitlis, Muş, Bingöl, Elazığ ve Hınıs'ı içine alan bir kuşak, Kahramanmaraş-Kayseri çevresi, Konya, Edremit Körfezi kıyıları ve Bandırma çevresi olasılık değeri en yüksek yerlerdir. Ordu-Giresun çevresi, Rize-Hopa arasında kalan yerler, Ardahan-Kars platoları, Van Gölü doğusu, Şile ve Edirne çevresi ise olasılığın en düşük olduğu yerlerdir. Aynı kuraklık seviyeleri için hesaplanan toplam kuraklık süresinin dağılışı incelendiğinde desen olarak olasılık haritasıyla tam örtüştüğü görülmüştür (Şekil 3.13).



Şekil 3.12. Türkiye'de şiddetli, çok şiddetli ve olağanüstü kuraklıkların toplam olasılık (%) dağılışı

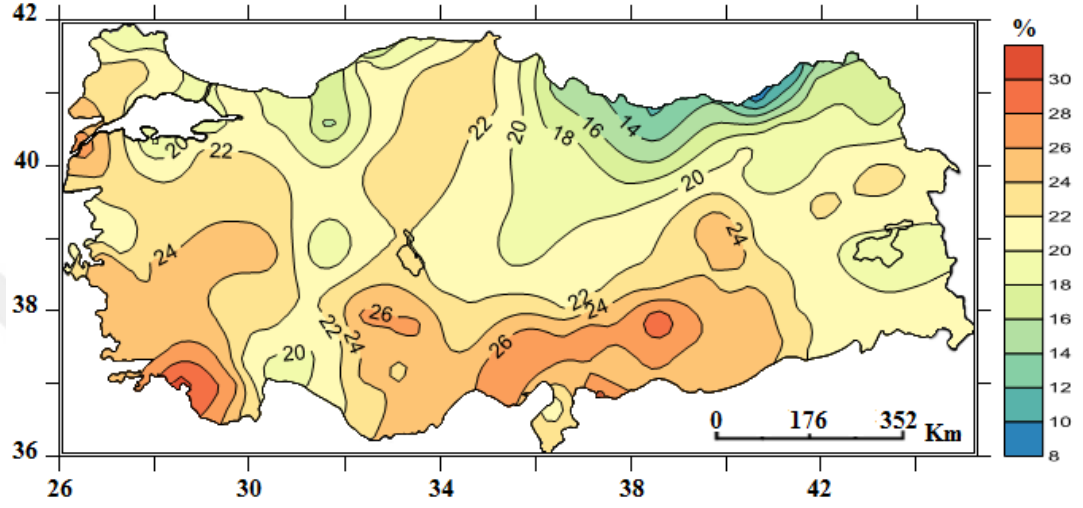


Şekil 3.13. Türkiye’de şiddetli, çok şiddetli ve olağanüstü kurak sürenin dağılışı.

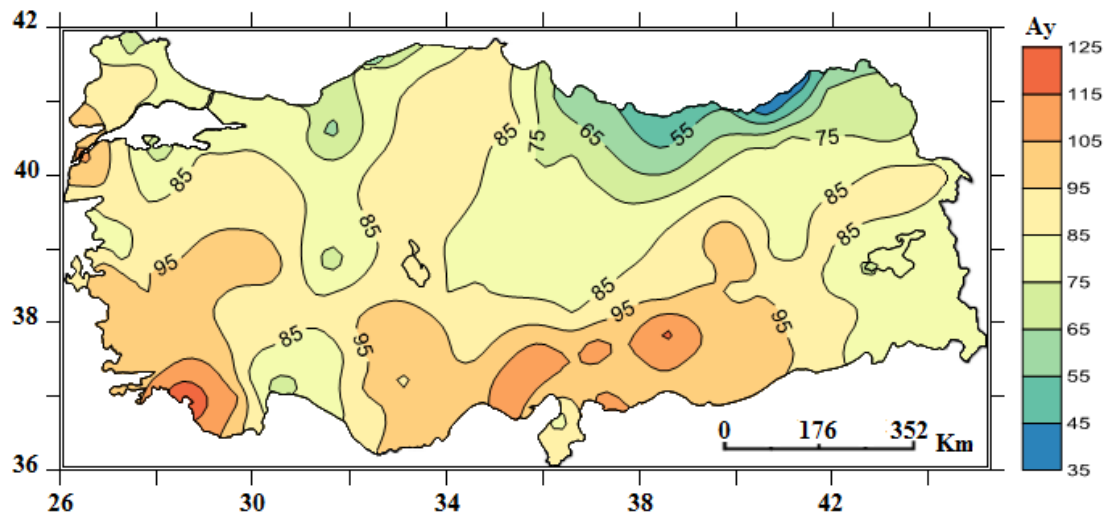
Normalin altındaki tüm kuraklık seviyeleri ($SYI \leq -0,51$) için hesaplanan toplam kuraklık olasılığını gösteren harita incelendiğinde genel olarak Akdeniz iklimi yağış rejimi bölgesinde olasılık değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 3.14). Çanakkale çevresi, İzmir-Afyonkarahisar ile Antalya arasında kalan Güneybatı Anadolu, Konya, Çukurova, Mersin, Kahramanmaraş, Gaziantep, Şanlıurfa, Kilis, Adıyaman, Malatya, Tunceli, Elazığ, Diyarbakır ve Mardin çevreleri olasılık değerleri en yüksek olan yerlerdir. Sinop-Kastamonu çevresi dışında Türkiye’nin kuzey bölgelerinde kuraklık olasılık değerleri genel olarak diğer bölgelerden daha düşük ve %20’nin altındadır. Doğu Karadeniz kıyılarında ise kuraklık olasılığı %10-12 seviyesinde ve Rize çevresinde %8’e kadar düşmektedir (Şekil 3.14).

Normalin altındaki tüm kuraklık seviyelerinin ($SYI \leq -0,51$) Türkiye genelinde süre olarak uzunluğunu gösteren harita, aynı kuraklık seviyeleri için oluşturulan olasılık haritasıyla örtüşmektedir (Şekil 3.15). Karadeniz

kıyılarında kurak süre daha kısıyken Güney Marmara'da, Ege'de, Akdeniz'de, İç Anadolu'nun güneyinde, Güneydoğu Anadolu'da ve Yukarı Fırat bölümünde daha uzundur.

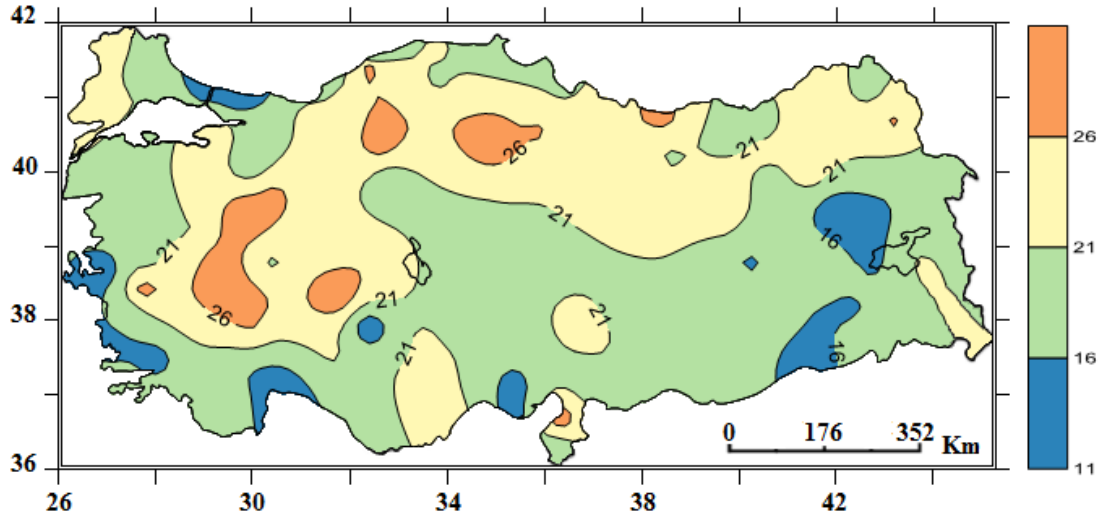


Şekil 3.14. Türkiye'de toplam kuraklık olasılıklarının ($SYI \leq -0,51$) dağılışı



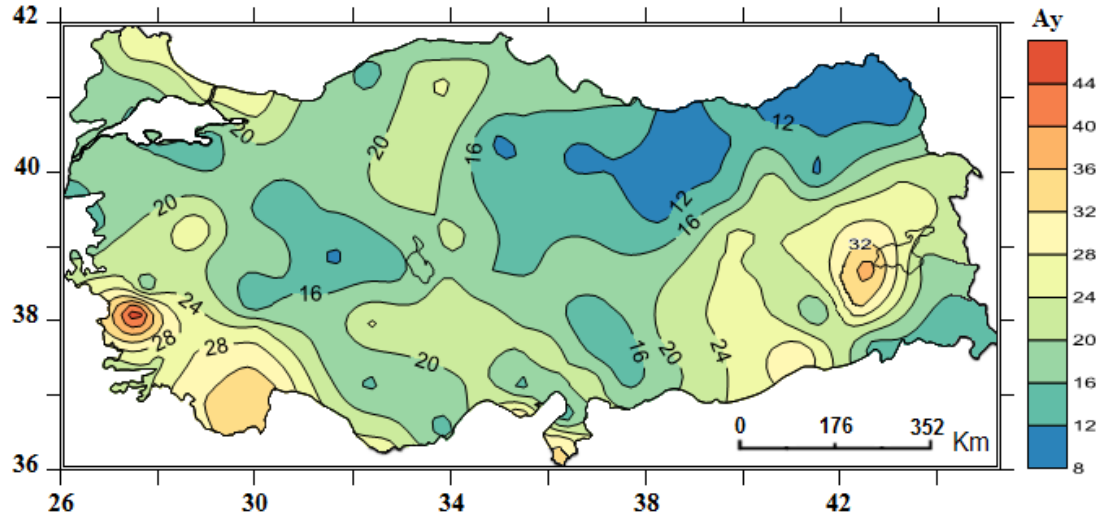
Şekil 3.15. Türkiye'de toplam kurak sürenin ($SYI \leq -0,51$) dağılışı

Kuraklık seviyeleri 12 aylık SYİ serilerinden incelenen istasyonların tüm kuraklık sınıfları için belirlenen kurak dönem sayısı Türkiye genelinde 11 ile 31 arasında değişmekle beraber ortalama 20'dir. İskenderun Körfezi, İç Anadolu'nun kuzey ve Tuz Gölü'nün batısında kalan kısımları, İçbatı Anadolu, Orta ve Batı Karadeniz'in iç kısımları ile Ordu-Giresun çevresi kurak dönem sayısı en fazla olan yerlerdir (Şekil 3.16). Bu bölgelerin dışında kalan yerlerde kurak dönem sayısı genel olarak Türkiye ortalamasının altındadır. Çatalca-Kocaeli platosunun Karadeniz'e dönük kısımları, İzmir, Aydın ve Muğla çevreleri, Antalya Körfezi, Konya, Çukurova, Mardin-Batman ile Tatvan-Muş-Hınıs çevreleri kurak dönem sayısı en az olan yerlerdir (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. Türkiye’de kurak dönem sayısının dağılışı.

Kurak dönemlerin Türkiye genelinde en fazla ne kadar sürdüğü sorusuna cevap bulmak amacıyla istasyonların 12 aylık SYİ serileri incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:



Şekil 3.17. Türkiye’de Kurak dönemlerin maksimum süresi

- Kesintisiz devam eden, tüm seviyelerdeki en uzun kurak dönemlerin ortalama süresi 20 aydır.
- Tüm seviyelerdeki en uzun kurak dönemlerin süre olarak en az olduğu istasyonlar 8 ayla Rize ve Giresun’dur.
- Tüm seviyelerdeki en uzun kurak dönemlerin süre olarak en fazla olduğu istasyon 49 ayla Aydın’dır.
- Çatalca-Kocaeli platosu ile Trakya’nın Kardeniz kıyılarında, İzmir-Kütahya-Anamur hattının altında kalan bölgede, Çukurova’nın güneyi ve Hatay’ın güney kısımlarında, Konya Ovasında, Ankara-Kastamonu arasındaki bölgede, Karasu ile Aras vadilerinden güneye doğru Suriye sınırına kadar -Gaziantep ve Hakkari çevresi dışında- olan yerlerde en uzun kurak dönemlerin süresi Türkiye ortalamasının üstündedir (Şekil 3.17).
- Karadeniz bölgesinde, Erzurum-Kars bölümünde, Yukarı ve Orta Kızılırmak bölümlerinde, Çukurova’da, Taşeli platosunda, Yukarı

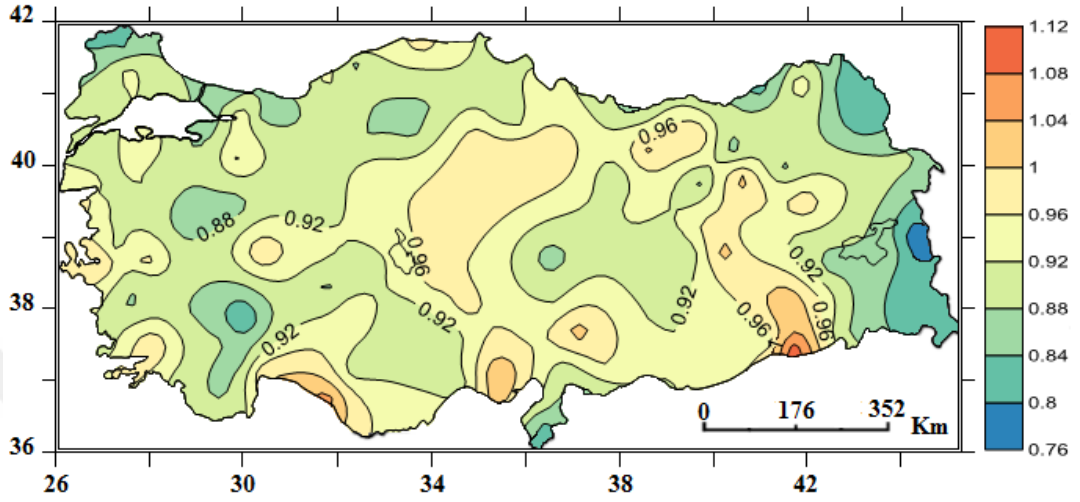
Sakarya ve İçbatı Anadolu'da, Güney Marmara ve Edremit Körfezi kıyılarında, Gaziantep-Kahramanmaraş çevresi ile Hakkari bölümünde en uzun kurak dönemlerin süresi Türkiye ortalamasının altında, 8 ile 20 ay arasında değişmektedir (Şekil 3.17).

3.3.3. Kuraklık Şiddeti ve Genliği

Herhangi bir kuraklık seviyesine göre kuraklık şiddeti, seçilen bir periyottaki kuraklık genliğinin kuraklık süresine bölünmesiyle elde edilir (Bkz. bölüm 3.1.3). İncelenen dönemde kuraklık şiddetinin belirlenmesi için 12 aylık SYİ serileri kullanılmıştır. Bu seriler kullanılarak kuraklık genliği ve süresi, dolayısıyla kuraklık şiddeti değerlendirilmiştir. Her istasyon için tüm kuraklık seviyeleri dikkate alınarak hesaplanan kurak periyotlar ile bunların genliği oranlanarak her periyodun kuraklık şiddeti saptanmıştır. Her bir istasyon için kullanılabilecek tek bir kuraklık şiddeti verisi elde etmek amacıyla kurak periyotların ortalaması alınmıştır. Bu veriler kullanılarak kuraklık şiddetinin dağılışını gösteren harita elde edilmiştir.

Harita incelendiğinde genel olarak kuraklık şiddetinin fazla olduğu yerlerin iç bölgelerde yaygın olduğu belirlenmiştir. Güneydoğu Anadolu'da, Bingöl-Tunceli ve Hınıs çevrelerinde, K.Maraş-Gaziantep çevresinde, Kapadokya'da, Orta Kızılırmak bölümünde, Orta Karadeniz bölümünde, Afyon-Konya ve Bilecik çevresinde, Kelkit-Yeşilırmak havzasında ve Çoruh havzasının aşağı kısımlarında, Edremit Körfezinde, İzmir-Manisa

çevresinde, Menteşe yöresinde, Antalya Körfezi kıyıları ile Taşeli platosunda, Göksu vadisi ve deltasında, Çukurova’da ve İnebolu çevresinde

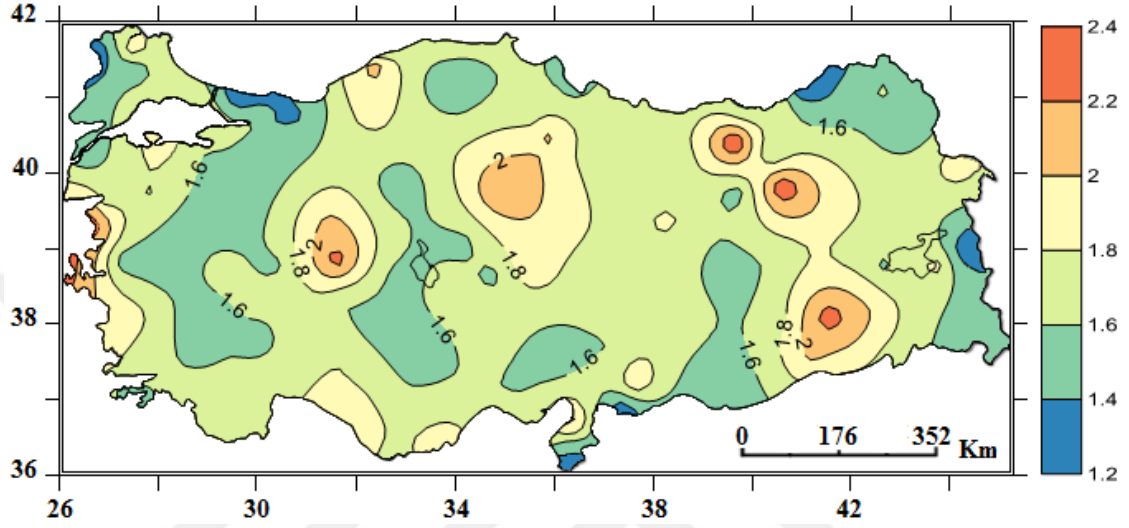


Şekil 3.18. Türkiye’de kuraklık şiddetinin dağılışı

kuraklık şiddeti diğer bölgelerden daha fazladır (Şekil 3.18). Kuraklık şiddetinin az olduğu yerler ise; Doğu Karadeniz kıyıları, Batı Karadeniz bölümünün İnebolu kıyıları dışında kalan kısımları, Çankırı-Kızılcahamam çevreleri Çatalca-Kocaeli platosu, İzmit ve Gemlik körfezleri, Trakya’nın kuzeyi, Erzurum-Kars bölümü ve Erzincan çevresi, Uzunyayla Platosu, Van-Hakkari çevreleri, Kütahya ve Simav çevreleri, Aydın-Denizli çevreleri ile Büyük Menderes vadisi, Isparta-Burdur-Korkuteli-Tefenni-Dinar-Elmalı çevreleri ile Hatay-Kilis çevresidir (Şekil 3.18).

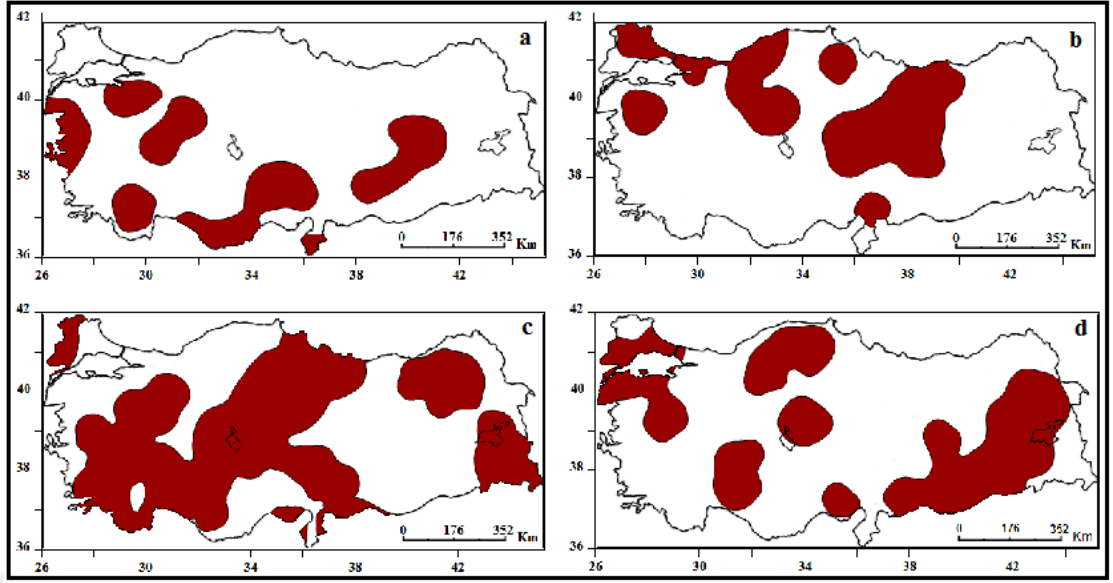
Türkiye’de kuraklık şiddetinin dağılışıyla birlikte her istasyonda gerçekleşen maksimum kuraklık şiddetinin dağılışı değerlendirildiğinde en şiddetli kuraklıkların nerelerde yaşanabileceği hakkında fikir edinilebilir.

Kuraklık şiddetinin fazla olduğu yerlerin dağılışıyla maksimum kuraklık şiddetinin dağılışı büyük oranda örtüşmektedir. Maksimum kuraklık şiddetinin dağılışını gösteren harita incelendiğinde şu sonuçlara ulaşılmıştır:



Şekil 3.19. Türkiye’de Maksimum kuraklık şiddetinin dağılışı.

- İç Anadolu’da Konya-Yunak, Eskişehir-Sivrihisar ile Afyon arasında kalan bölgede, Orta Kızılırmak bölümü ve daha kuzeyinde Orta Karadeniz’in iç kısımlarında,
- Ege kıyılarının İzmir-Edremit Körfezi arasında kalan kısımlarında
- Batı Karadeniz’de Bartın-Amasra çevresi,
- İskenderun Körfezinde,
- Anadolu’nun doğusunda Gümüşhane çevresinden başlayan ve güneye doğru Tercan üzerinden Siirt-Batman-Mardin çevresine kadar uzanan genel olarak kuzey-güney uzanımlı bir koridor boyunca maksimum kuraklık şiddeti en büyük değerlere ulaşmaktadır.



Şekil 3.20. Türkiye’de kuraklık şiddetinin maksimum olduğu bazı dönemler ve bu dönemlerde maksimum kuraklık şiddetinin dağılışı (a:1989-90-91 dönemi, b:1993-94-95 dönemi, c:1999-2000-2001 dönemi, d:2008 dönemi)

Maksimum kuraklık şiddeti verileri hazırlanırken aynı zamanda bunların hangi yıllarda gerçekleştiği de tespit edilmiştir. Kuraklık şiddetinin maksimum ve aynı zamanda yaygın olduğu dört belirgin dönem belirlenmiştir. Bunlar; 1989-1990-1991 dönemi, 1993-1994-1995 dönemi, 1999-2000-2001 dönemi ve 2008 yılını kapsayan dönemlerdir (Şekil 3.20). Kuraklık şiddetinin maksimum olduğu fakat daha dar bölgelere sıkıştığı diğer dönemler ise; 1977-78-79 dönemi, 1983-84-85 dönemi, 2004 yılı ve 2007 yılıdır. Bu son anılan dönemlerden 1983-84-85 döneminde diğerlerinden biraz daha yaygın kuraklıklar yaşanmıştır.

İncelenen dönemdeki kuraklık genliği 12 aylık SYİ serilerinden her istasyon için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Kuraklık büyüklüğünün belirlenmesi

için önemli bir parametre olan genlik, kurak bir periyottaki kuraklıkların toplamıdır. Bunun belirlenmesi amacıyla incelenen istasyonların %72'sinde (96 istasyon) kuraklık genliğinin artış eğiliminde olduğu ve özellikle 1990'lı yıllarda ve sonrasında genliğin artış gösterdiği belirlenmiştir. Kuraklık genliği, genel olarak kıyılarda ve Doğu Anadolu'da bulunan bazı istasyonlarda azalma eğilimi gösterirken özellikle İç Anadolu'da, Güneydoğu Anadolu'da, İçbatı Anadolu'da, Trakya'da ve Batı Karadeniz'de artış eğilimi hâkimdir. Bu durum, küresel iklim değişikliğiyle bağlantılı bir süreç olabilir.

3.4. Kuzey Atlantik Salınımı'nın Türkiye'deki Kuraklık Olaylarına Etkisi

Türkiye'de, özellikle kuzey Atlantik kökenli orta enlem depresyonlarının sıklığı dönemlerde yağış olaylarını kontrol eden önemli mekanizmalardan biri olarak bilinen KAS, yağışlara olan etkisinden dolayı Türkiye'de meydana gelen kuraklık olaylarıyla da ilgisinin olması beklenir. Bu hipotezin doğruluğunu araştırmak için KAS'ın yapısı, işleyişi ve Akdeniz Havzası'na olan etkileri açıklandıktan sonra istatistiksel yöntemlerle KAS indeksleri ile Türkiye için hesaplanan SYİ serilerinin ilişkisi çözümlenecektir.

3.4.1. Kuzey Atlantik Salınımı ve Türkiye'deki Yağışlara Etkisi

Dünya'nın birbirinden uzak bölgelerinde meydana gelen iklimdeki eş zamanlı aynı zamanda zıt karakterli değişimler, meteoroloji literatüründe 'teleconnections' olarak adlandırılmaktadır (J.W.Hurrell vd. 2003).

Yeryüzünde çok sayıda teleconnection tespit edilmiştir. Kuzey Atlantik Salınımı bunlardan biridir.

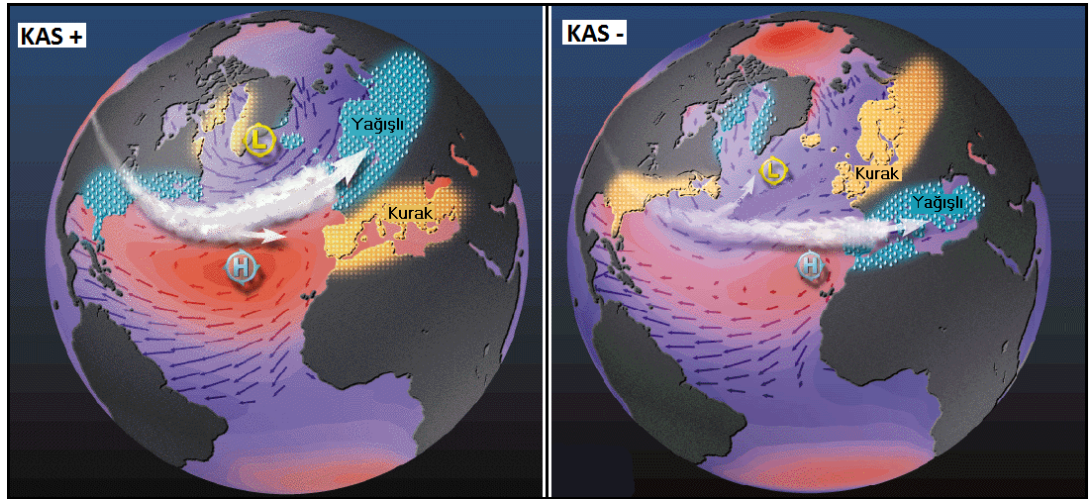
Kuzey Atlantik'te bulunan Azor antisiklonu ile İzlanda siklonu arasındaki basınç farkı, özellikle atmosfer etkinliğinin arttığı kış mevsiminde yıllar arası farklılık gösterebilmektedir. Bazı yıllarda, kış mevsiminde Azor adaları çevresinde merkezlenen yüksek basınç değerleri normalin üstünde; İzlanda adası çevresinde merkezlenen alçak basınç değerleri de normalin altında olabilmektedir. Bazı kış dönemlerinde ise tam tersine Azor yüksek basınç alanında normalin altında basınç değerleri, İzlanda alçak basınç alanında da normalin üstünde basınç değerleri kaydedilmektedir. Kuzey Atlantik'te meydana gelen bu meridyonel salınım, Kuzey Atlantik Salınımı (North Atlantic Oscillation-NAO) olarak adlandırılmaktadır.

Azor ve İzlanda basınç merkezleri arasında ortaya çıkan bu salınının değişim değerini ortaya koymak için farklı indeksler hazırlanmaktadır. İzlanda için Stykkisholmur-İzlanda, Azor için ise Ponta Delgada-Azor Adaları, Lizbon-Portekiz ya da Cebelitarık istasyonlarının deniz seviyesine indirgenmiş basınç değerleri kullanılmaktadır. İndeksler yıllık, mevsimlik veya aylık olarak hazırlanmaktadır. Fakat KAS'ın etkinliğinin en fazla olduğu dönem, Aralık-Mart ayları arasındaki zaman dilimini kapsadığından, bu dört ayı içine alan bir indeks de hazırlanmaktadır (Şekil 3.22).

KAS, pozitif evresindeyken Azor antisiklonunun basınç değerleri normalden daha yüksektir. Aynı anda İzlanda siklonunda ise basınç

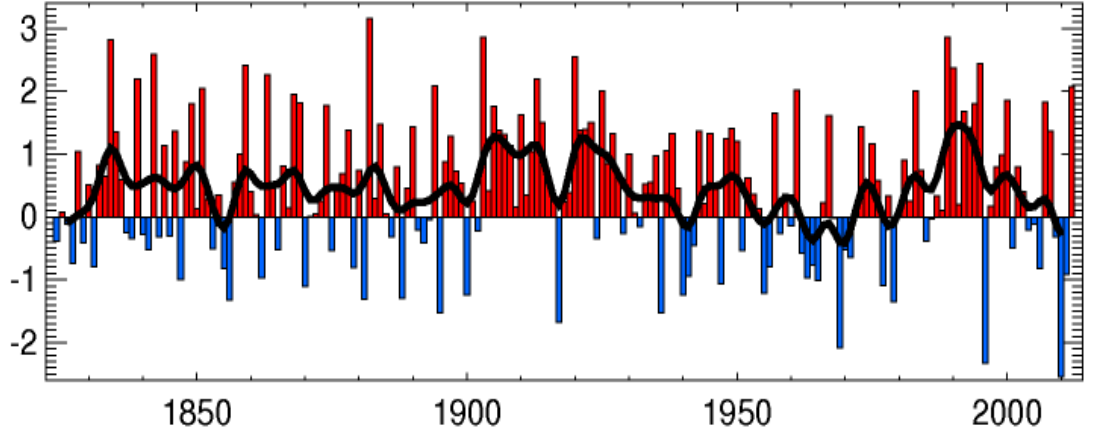
değerleri normalin altında seyreder. Bu dönemde yer seviyesine yakın Batı Rüzgârları kuvvetlenir ve indeksin negatif evresine oranla yaklaşık 8 m/sn daha hızlı eser (J.W.Hurrell,1995). Batı Rüzgârları, Subtropikal Atlantik'teki mT hava kütlelerini Kuzeybatı Avrupa'ya taşırlar. Bu evrede Akdeniz Havzası, Arktik Kanada'nın doğusu ve Grönland Batı Rüzgârlarının taşıdığı nemli hava kütlelerinden yararlanamadığı için kuraktır (Şekil 3.21).

KAS negatif evresindeyken Azor ile İzlanda arasındaki basınç farkı azalmaktadır. Azor, normal basınç değerinin altında; İzlanda ise normal basınç değerinin üstündedir. Bu dönemde Batı Rüzgârları zayıflamaktadır. Bu nedenle Akdeniz Havzası, Kuzey Atlantik üzerinden yağış getiren sistemlerin etkisinde kalmaktadır (Şekil 3.21). Kuzeybatı Avrupa ise bu dönemde soğuk ve kuru hava kütlelerinin etkisinde soğuk ve az yağışlı kışlar geçirir (Hurrell vd., 2003).



Şekil 3.21. KAS'ın pozitif ve negatif evrelerinde yağışlı ve kurak bölgelerin dağılışı

(<http://www.ldeo.columbia.edu/res/pi/NAO/>)



Şekil 3.22. KAS İndeksi (1823-2012; Aralık-Mart)

(<http://www.cru.uea.ac.uk/~timo/datapages/naoi.htm>)

KAS indeksinde meydana gelen değişimlerle birlikte buharlaşma, nem ve yağış dağılışında da zıtlıkların eş zamanlı olarak ortaya çıktığını gösteren çok sayıda bilimsel çalışmada literatürdeki yerini almıştır. KAS kış indeksinin kuvvetli pozitif olduğu yıllarda, Grönland ve Arktik Kanada'nın birçok bölgesinde buharlaşma miktarı yağış miktarını aşmaktadır. Bu dönemlerde Orta ve Güney Avrupa ile Akdeniz Havzası'nda ve Orta Doğu'da kurak koşullar oluşurken İzlanda ve Kuzeybatı Avrupa'da pozitif yönlü yağış anomalileri meydana gelmektedir. İspanya ve Portekiz'den Türkiye'nin doğusuna kadar olan bölgede, KAS indeksinin kuvvetli pozitif anomali gösterdiği son birkaç on yılda (Şekil 3.22) şiddetli kuraklıklar yaşanmıştır (Cullen vd., 2002).

KAS indeksinin negatif ve pozitif evrelerinde, Akdeniz Havzası'nda yağış ile ilgili ortaya çıkan genel durum Türkiye için de geçerlidir. KAS kış indeksinde kuvvetli pozitif ve kuvvetli negatif dönemler dikkate alındığında, yıllık ve kış mevsimi yağışlarının pozitif evrede azalma, negatif evrede ise

artış eğilimi gösterdiği belirlenmiştir (Erlat, 2002b). 1962-70 yılları arasındaki dönem yıllık ve kış mevsimi yağışlarının belirgin olarak arttığı, uzun süreli ortalamaların üstünde değerlerin kaydedildiği nemli/çok nemli yıllara karşılık gelmektedir. Bu zaman diliminde KAS indeksi kuvvetli negatif anomali göstermiştir (Şekil 3.22). 1962-1963 yılları, yıllık ve kış mevsimi yağışlarının en yüksek değerlere ulaştığı yıllardır (Türkeş ve Erlat 2003). 1971 yılı sonrası Türkiye'de şiddetli ve yaygın kuraklıkların görüldüğü 1972-1973, 1988-1989 ve 1998-2000 yıllarında KAS kış indeksi kuvvetli pozitif değerler göstermiştir.

3.4.2. Kuzey Atlantik Salınımı'nın Türkiye'deki Kuraklık Olaylarına Etkisi

Kış aylarında Kuzey Atlantik'te bulunan dinamik basınç merkezleri arasındaki etkileşime bağlı olarak orta enlem cephesel depresyonlarının oluşması ve doğuya doğru hareketlenmeleri artmaktadır. Bu süreci kontrol eden birçok faktörden biri olan KAS için oluşturulan aylık, mevsimlik ve yıllık indeksler yardımıyla KAS'ın yağış olaylarına etkisi takip edilebilmektedir. KAS indekslerinde güçlü pozitif veya negatif değerlerin görüldüğü kış mevsimlerinde Akdeniz Havzası'nı doğrudan ilgilendiren yağış paternleri gelişmektedir. Bir önceki bölümde anlatıldığı üzere, indeksteki güçlü pozitif anomali Akdeniz Havzası'nda daha kurak koşullara; güçlü negatif anomali ise yağışlı geçen kış dönemlerine neden olmaktadır. Örneğin 1984, 1989, 1990, 1992, 1995 ve 1999 yıllarında kış ve ilkbahar aylarını içeren KAS indeksleri (aralık-ocak-şubat, ocak-şubat-mart ve şubat-mart-nisan) incelendiğinde kuvvetli pozitif değerlerin gerçekleştiği görülmektedir. Sözü

edilen yılların kış-ilkbahar SYİ serileri incelendiğinde Türkiye’de yağışların azalmasına bağlı yaygın ve şiddetli kuraklıkların yaşandığı görülmektedir (Bkz. Bölüm 3.3.1). Bu karşılaştırmadan da anlaşılacağı üzere KAS ile Türkiye’deki yağış ve dolayısıyla kuraklık olayları arasında bir bağlantı olduğu anlaşılmaktadır. Fakat KAS indekslerindeki her değişime Türkiye’de aynı hassasiyetle ve ölçülebilir bir yağış veya kuraklık tepkisi ortaya çıktığı da söylenemez. Çünkü Türkiye’de yağış olaylarını kontrol eden tek faktör KAS değildir. Yerel sayılabilecek ölçekte yer şekilleri, Türkiye’nin etrafındaki denizler ile geniş kara parçaları, mevsimden mevsime değişen termik koşullar ve genel hava dolaşımında meydana gelen değişimlerin oluşturduğu kombinasyonlar da Türkiye’deki hava olaylarını etkilemektedir.

KAS ile Türkiye’deki kuraklık olayları arasındaki ilişkinin doğasını tanımlayabilmek amacıyla aralık-ocak-şubat, ocak-şubat-mart ve şubat-mart-nisan aylarını dikkate alarak hazırlanan KAS indeksleri ile aylık ve yıllık KAS indeksi kullanılmıştır. Bu indekslerin seçilmesinde belirleyici olan faktörler; KAS’ın etkinliğinin aralık-mart ayları arasında diğer mevsimlerden daha fazla olması, Türkiye’nin geniş bir bölümünde yağışların önemli bir kısmının bu aylarda kaydedilmesi, SYİ veri yapısının bu indekslerle uyumlu olması ve bu çalışmanın daha çok kış mevsimi kuraklığına odaklanmasıdır.

1975-2008 yılları arasındaki dönemde aylık KAS indeksi incelendiğinde en güçlü pozitif veya negatif değerlerin istisnasız kasım-mart ayları arasındaki dönemde gerçekleştiği görülmüştür. Ayrıca her yılın en büyük pozitif KAS indeks değerleri incelendiğinde bunların %91’i kasım-mart ayları

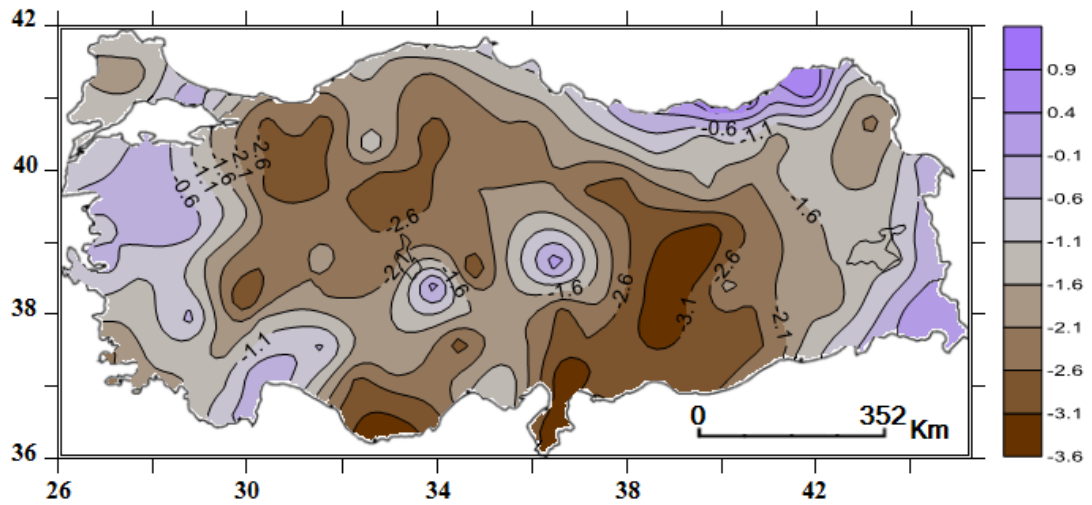
arasındaki dönemde gerçekleştiği görülmüştür. Araştırmanın amaçları bakımından bu durum oldukça önemlidir. Çünkü yağışlı geçmesi beklenen bu dönemlerde gerçekleşen kuraklık olaylarının hangi ölçüde KAS ile ilişkili olduğu bu veriler yardımıyla anlaşılabilir.

Araştırma kapsamında incelenen 133 istasyonda her yılın en büyük pozitif KAS aylık indeks değerı ile aynı ay için hesaplanan SYİ değerleri eşleştirilmiştir. Bu yaklaşımla SYİ'nin bütün kuraklık seviyeleri dikkate alınarak saptanan kurak ayların, Türkiye genelindeki tüm gözlemlerin %37,5'i olduğu saptanmıştır. Sadece güçlü pozitif (KAS indeksi ≥ 2) değerler dikkate alındığında ise kurak ayların, toplam gözlem serisi içindeki oranı artmaktadır. Aylık KAS indeksi kiş aylarında güçlü pozitif olduğuunda genellikle SYİ, şiddetli veya daha kurak koşullara karşılık gelen negatif değerlere düşmekte; KAS indeksi negatife döndüğünde ise SYİ, genellikle normal veya nemli koşullara karşılık gelen pozitif değerler almaktadır. KAS kiş indeksinin en güçlü pozitif değerleri ile birçok istasyonun eşzamanlı SYİ serileri arasında genel olarak negatif korelâsyon gözlemlenirken Karadeniz iklim bölgesindeki istasyonlarda bu durum belirgin olmayıp zaman zaman tersine de dönmektedir.

Türkiye'de kaydedilen yağış miktarının belirgin biçimde azaldığı yıllarda veya SYİ değerlerinin Türkiye genelinde belirgin olarak düştüğü yıllarda KAS'ın aylık ve kiş mevsimi indeksleri ile SYİ arasındaki negatif korelâsyon artmaktadır. Aylık KAS indeksi, genellikle yağışlı dönemleri kapsayan kasım-mart ayları arasında +3 veya daha büyük olduğuunda SYİ değerleri

genellikle güçlü negatif kalma eğilimindedir (1978, 1986, 1989, 2006 yılları). Fakat bazı yıllarda KAS indeksi +2/2,5 civarında olduğunda da SYİ güçlü negatif değerler alabilmektedir. Aşağıda bazı yılların bu açıdan değerlendirmesi verilmiştir.

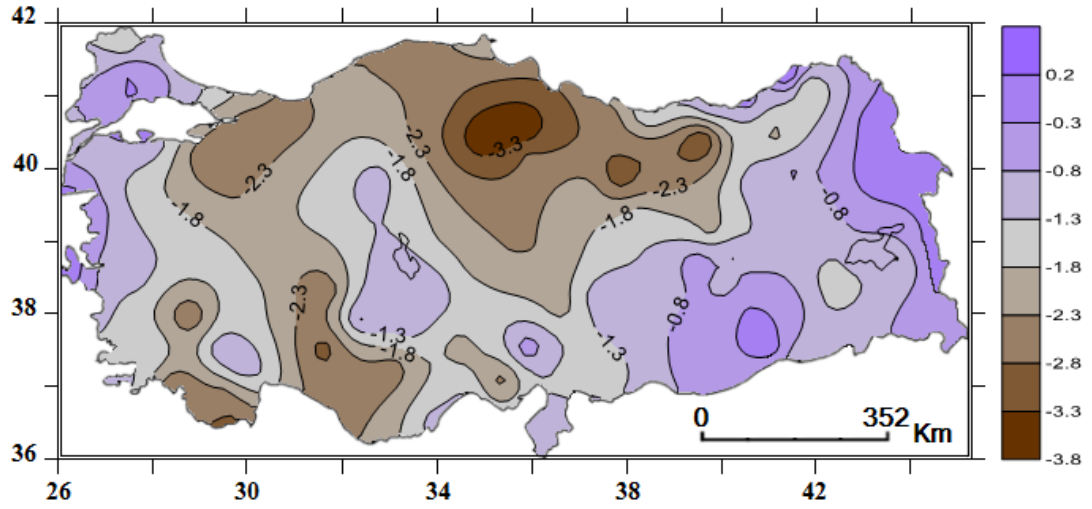
1978 yılının **Kasım** ayında KAS indeksi +2,45'tir. Çalışılan tüm istasyonların aynı aydaki SYİ değerleri incelendiğinde istasyonların %68'inde (90 istasyon) şiddetli veya daha kurak koşullara karşılık gelen indeks değerleri; %12'sinde (16 istasyon) de orta düzeyde kurak koşullara karşılık gelen indeks değerleri saptanmıştır. Doğu Karadeniz, Antalya çevresi, Iğdır - Van - Hakkâri hattı, Güney Marmara, Manisa - İzmir-Denizli



Şekil 3.23. Kasım 1978'de (KAS indeksi: +2,45) SYİ değerlerinin dağılışı.

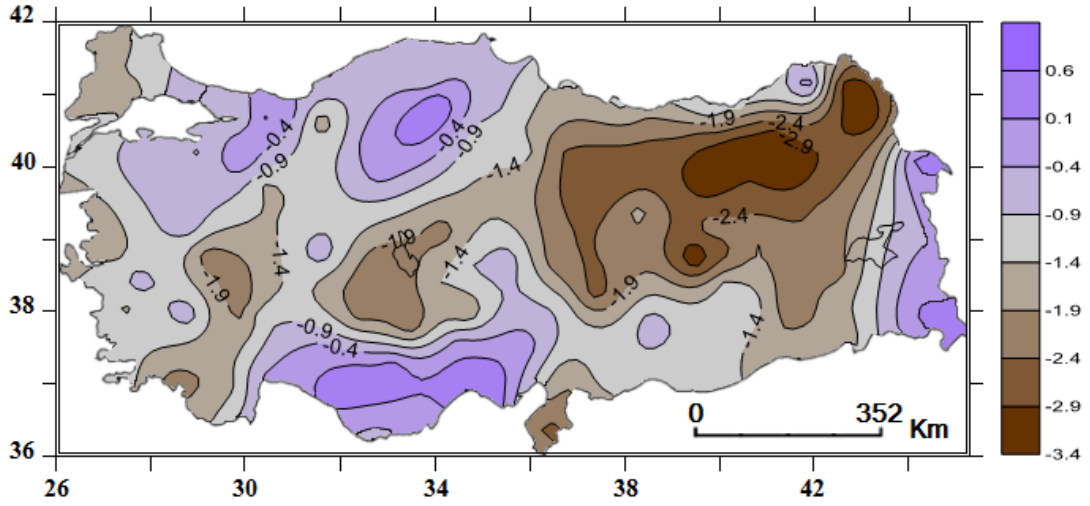
çevreleri, Kayseri-Aksaray ve İstanbul çevresi dışındaki yerlerde şiddetli veya daha kurak koşullar yaşanmıştır (Şekil 3.23).

1986 yılının **Mart** ayında KAS indeksi +3,1'dir. Türkiye genelindeki istasyonların bu aydaki SYİ değerleri incelendiğinde istasyonların %59,4'ünde (79 istasyon) şiddetli veya daha kurak koşullara karşılık gelen indeks değerleri; %23,3'ünde orta düzeyde kurak koşullara karşılık gelen indeks değerleri saptanmıştır. Doğu Karadeniz kıyıları, Doğu ve Güneydoğu Anadolu'nun nerdeyse tamamı, Hatay, Tuz Gölü çevresi, Trakya ve daha güneyde Aydın'a kadar olan Ege kıyıları dışında kalan bölgelerde şiddetli veya daha kurak koşullar görülmüştür (Şekil 3.24).



Şekil 3.24. Mart 1986'da (KAS indeksi: +3,1) SYİ değerlerinin dağılışı.

1989 yılının **Şubat** ayında KAS indeksi +3,19'dur. Türkiye genelindeki istasyonların bu aydaki SYİ değerlerine bakıldığında istasyonların %79,7'sinde (106 istasyon) şiddetli veya daha kurak koşullara karşılık gelen indeks değerleri; %8,3'ünde orta düzeyde kurak koşullara karşılık gelen indeks değerleri saptanmıştır. Karadeniz Bölgesi, Antalya, Iğdır ve Dikili-

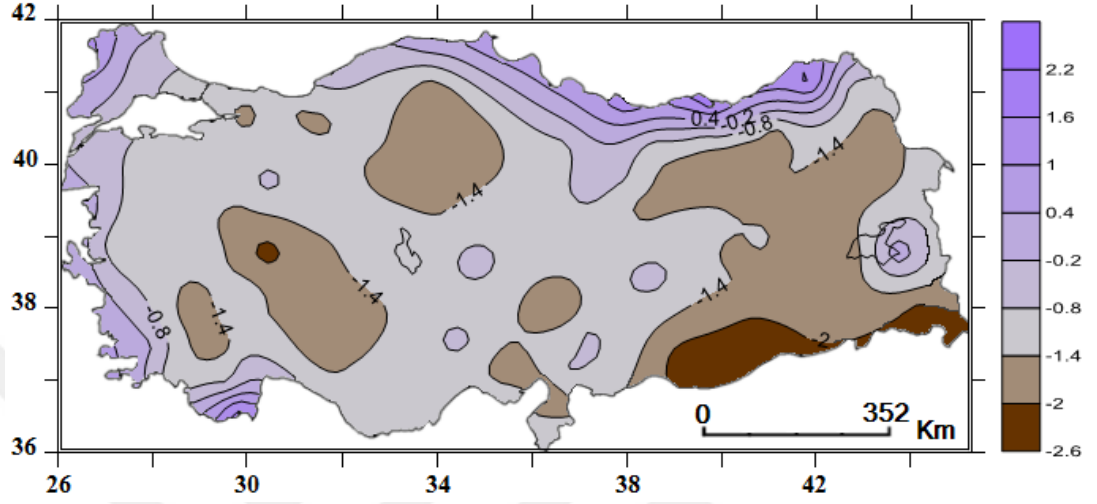


Şekil 3.26. Mart 1990'da (KAS indeksi: +3,08) SYİ değerlerinin dağılışı.

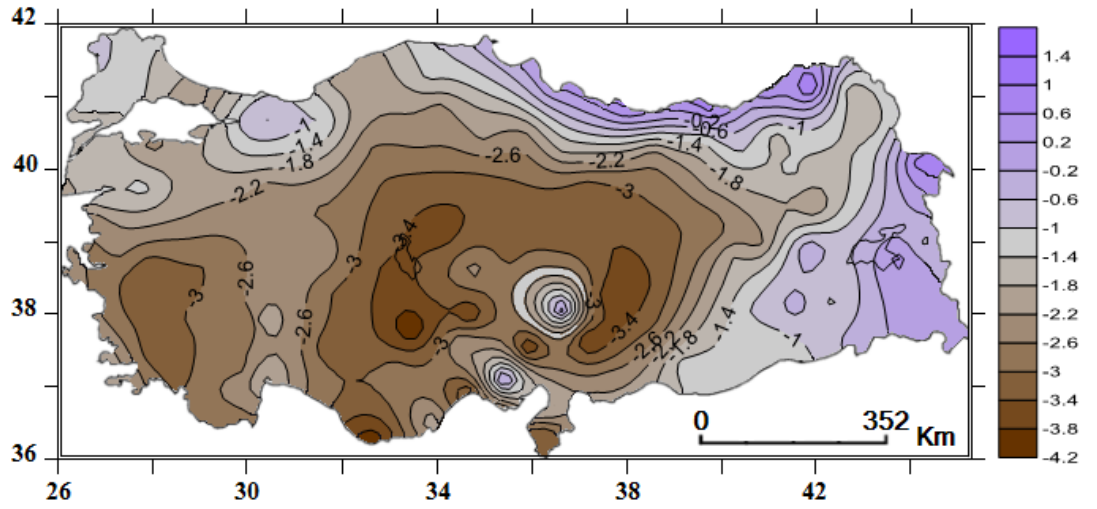
indeks değerleri; %29,3'ünde orta düzeyde kurak koşullara karşılık gelen indeks değerleri saptanmıştır. Güneydoğu Anadolu'da, Doğu Anadolu'da, Çukurova'da, İç Anadolu'da ve Göller Yöresi'nde şiddetli veya daha kurak koşullar görülmüştür (Şekil 3.27). KAS indeksi ile SYİ arasındaki ilişkiyi göstermesi bakımından bu dönemdeki şiddetli veya daha kurak alanların daralmış olması önemlidir. Daha önceki güçlü pozitif KAS aylarına göre ortaya çıkan bu alansal daralma, KAS'ın Türkiye'de kış ve bahar aylarında gelişen kuraklık olaylarını indeksin gücü oranında etkilediğini göstermektedir.

2006 yılının Aralık ayında indeks +2,24'tür. Türkiye genelindeki istasyonların bu aydaki SYİ değerleri incelendiğinde istasyonların %73,7'sinde (98 istasyon) şiddetli veya daha kurak koşullara karşılık gelen indeks değerleri; %11,3'ünde orta düzeyde kurak koşullara karşılık gelen indeks değerleri saptanmıştır. Orta ve Doğu Karadeniz ile Iğdır-Van-Hakkâri

hattı dışında kalan bölgelerde şiddetli veya daha kurak koşullar görülmüştür (Şekil 3.28).



Şekil 3.27. Aralık 2004'te (KAS indeksi: 1,97) SYİ değerlerinin dağılışı.



Şekil 3.28. Aralık 2006'da (KAS indeksi: +2,24) SYİ değerlerinin dağılışı.

KAS'ın en güçlü pozitif aylık indeks değerlerinin Türkiye'deki eşzamanlı SYİ değerleriyle ilişkisinin incelenmesi sonucunda, şiddetli veya daha kurak

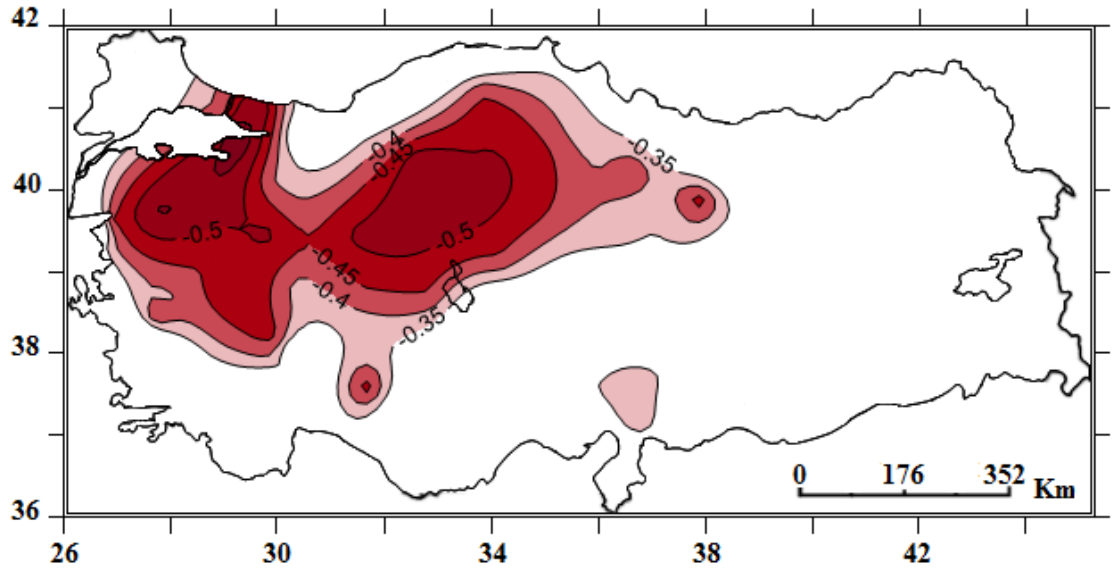
alanların genel olarak kıyı Ege, Akdeniz Bölgesi, Orta ve Doğu Karadeniz ile Doğu Anadolu'nun doğu kısımları dışında kalan bölgelerde daha ısrarlı olduğu görülmüştür.

Yukarıda anlatılan ve basit gözlemlere dayanan değerlendirmelerin dışında KAS indeksleri ile eşzamanlı SYİ serilerinin veri yapısına uygun bir korelasyon yöntemi olan Pearson korelasyon katsayısı aylık, mevsimlik ve yıllık ölçekte hesaplanmıştır. Bu yöntemle özellikle kış ve bahar aylarının hem aylık hem de mevsimlik KAS indeksleri ile bunlarla eşzamanlı SYİ serileri kullanılarak KAS'ın Türkiye'deki kuraklık olaylarıyla ilişkisi incelenmiştir. Aylık indekslerden kasım, aralık, ocak, şubat, mart ve nisan; mevsimlik indekslerden kasım-aralık-ocak, aralık-ocak-şubat-mart, aralık-ocak-şubat, ocak-şubat-mart ve şubat-mart-nisan ile yıllık indeksler kullanılmıştır. Fakat KAS indeksleri ve SYİ serileri kullanılarak yapılan tüm hesaplamalarda anlamlı korelasyon katsayıları elde edilememiştir. %95 ve %99 güven seviyesindeki korelasyon katsayıları kasım, aralık, şubat ve mart indekslerinde; ocak-şubat-mart, şubat-mart-nisan mevsimlik indeksleri ile yıllık indekste saptanmıştır. Korelasyon katsayıları genelde orta düzeyde negatif bir ilişkiye işaret etmektedir.

3.4.2.1. Aylık KAS indeksleri ile eş zamanlı SYİ serilerinin korelasyonu

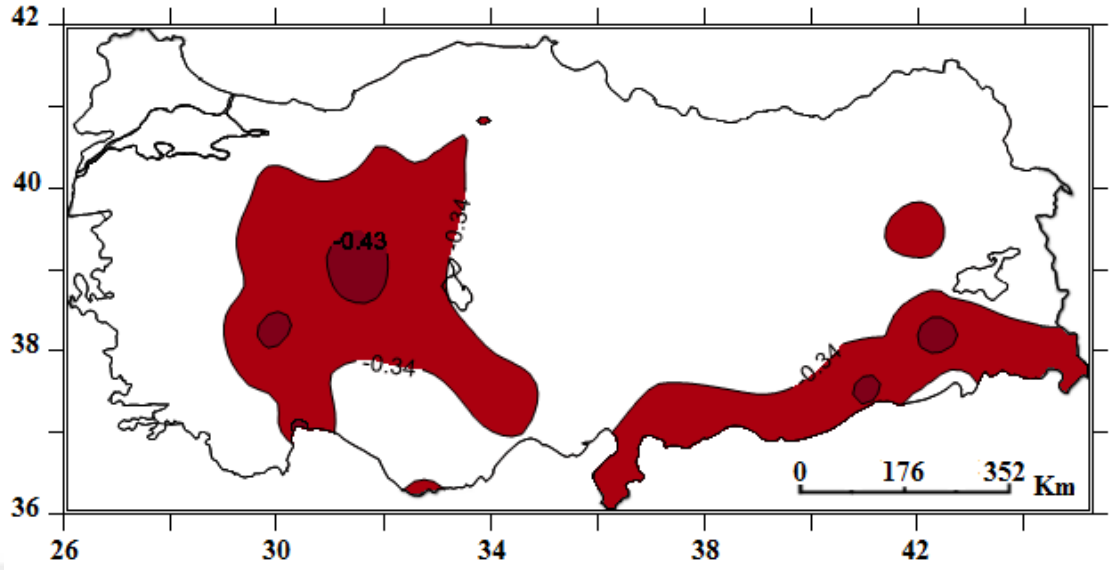
Aylık KAS indeksleri ile eşzamanlı SYİ serileri arasındaki korelasyon katsayılarının değerlendirilebilmesi için anlamlı ilişki bulunan ayların haritası oluşturulmuştur. Aşağıda bu aylarla ilgili değerlendirmeler verilmiştir:

Kasım ayında %95 ile %99 güven seviyesindeki korelasyon katsayıları -0.35 ile -0.60 arasında değişmektedir. Bu değerler, değişkenler arasında orta düzeyde negatif bir korelasyon olduğunu göstermektedir. Çatalca-Kocaeli platosundan güney Marmara'ya ve buradan İçbatı Anadolu'ya, daha doğuda İç Anadolu'un kuzeyi ile Batı ve Orta Karadeniz'in iç kısımlarını da kapsayan bir kuşak boyunca korelasyon değerleri yukarıda belirtilen aralıkta dağılım göstermektedir (Şekil 3.29). Özellikle Yalova (-0.60), Şile (-0.56), Bursa (-0.55), Balıkesir (-0.55), Ankara (-0.54), Çankırı (-0.50), Kızılcahamam (-0.53), Kütahya (-0.51), Sivrihisar (-0.51) ve Uşak (-0.50) çevreleri negatif korelasyonun en güçlü olduğu yerlerdir.



Şekil 3.29. Kasım ayında KAS indeksi ile SYİ arasındaki korelasyon katsayılarının Türkiye'deki dağılışı.

Aralık ayında %95 ile %99 güven seviyesindeki korelasyon katsayıları -0.34 ile -0.51 arasında değişmektedir. Korelasyonun en güçlü olduğu yerler



Şekil 3.30. Aralık ayında KAS indeksi ile SYİ arasındaki korelasyon katsayılarının Türkiye'deki dağılışı.

iki bölge şeklinde karşımıza çıkmaktadır. Bunlardan ilki: Antalya çevresinden kuzeye doğru Göller yöresini ve Afyon-Kütahya-Eskişehir ile Bilecik çevresini, daha doğuda Çankırı çevresine kadar olan yerleri, buradan güneye doğru Tuz Gölü'nün batı sahilinden ve Konya Ovası üzerinden güneydoğuya Ulukışla, Niğde ve Mersine kadar olan bölgeyi kapsar. İkinci bölge ise Antakya-K.Maraş grabeni ile Güneydoğu Anadolu bölgesini ve Hakkari çevrelerine kadar yerleri kapsamaktadır (Şekil 3.30). Antalya (-0.45), Dinar (-0.48), Bilecik (-0.41), Sivrihisar (-0.43), Kütahya (-0.43), Ankara (-0.42), Ilgın (-0.41), Yunak (-0.46), Ulukışla (-0.43), Gaziantep (-0.43), Kilis (-0.43), Siirt (-0.51), Mardin (-0.47), Hakkari (-0.42) ve Hınıs (-0.44) çevreleri negatif korelasyonun en güçlü olduğu yerlerdir.

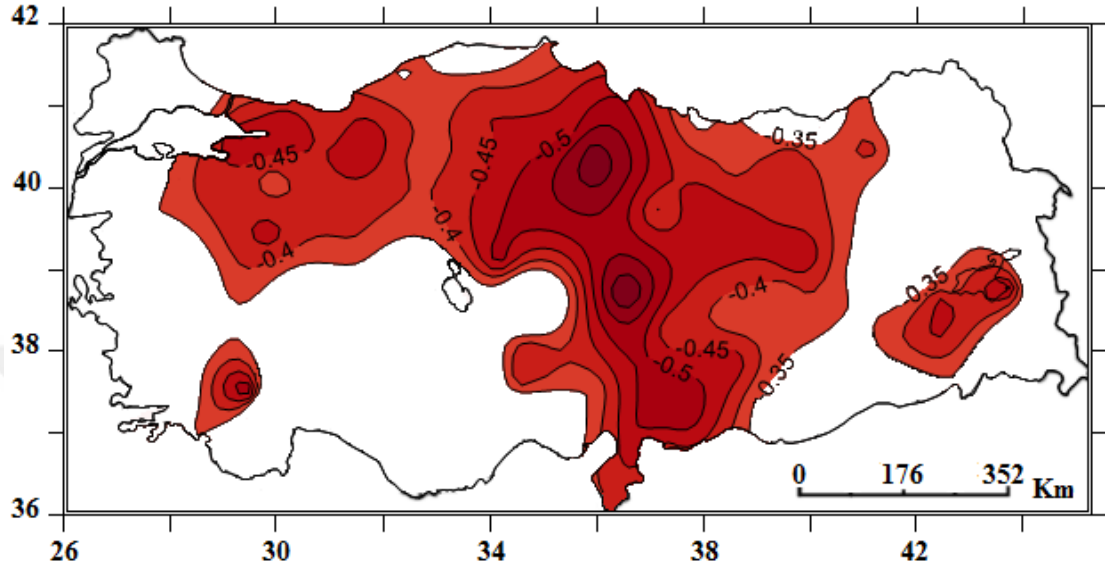
Ocak ayında anlamlı korelasyon katsayıları Kastamonu (-0.37) ve

0.42), Datça (-0.44), Çeşme (-0.43), Dinar (-0.42), Aydın (-0.44), Ayvalık (-0.45), Antakya (-0.42), İslahiye (-0.41), İskenderun (-0.40), İspir (-0.41), Kastamonu (-0.41), Konya (-0.40), Diyarbakır (-0.40), Mardin (-0.45), ve Zile (-0.53) çevreleri negatif korelasyonun en güçlü olduğu yerlerdir.

Mart ayındaki korelasyon katsayıları diğer tüm aylardan daha yüksek ve anlamlı ilişkinin bulunduğu bölge daha geniştir. Orta Karadeniz, Orta ve Yukarı Kızılırmak, Yukarı ve Orta Fırat bölümlerini kapsayan kuzey-güney uzanırlı bir kuşak boyunca korelasyon katsayıları diğer bölgelerden daha yüksektir. Trakya, Kıyı Ege, Akdeniz kıyıları, Konya bölümü, Kapadokya, Doğu Karadeniz bölümü, Erzurum-Kars bölümü ve Hakkari bölümü dışında kalan bölgelerde %95-99 güven seviyesinde orta düzeyde negatif korelasyon katsayıları -0.35 ile -0.67 arasında değişmektedir (Şekil 3.32). Amasya (-0.61), Gaziantep (-0.55), Göksun (-0.52), İslahiye (-0.51), Kırşehir (-0.52), Kahramanmaraş (-0.53), Kocaeli (-0.50), Pınarbaşı (-0.67), Samsun (-0.51), Tefenni (-0.56), Tokat (-0.55), Tucei (-0.52), Van (-0.51), Yalova (-0.50), Yozgat (-0.53) ve Zile (-0.64) çevreleri negatif korelasyonun en güçlü olduğu yerlerdir.

Nisan ve **Ekim** aylarında korelasyon katsayıları anlamsız ve çok zayıftır. Bu durumda sözü edilen aylar arasında kalan dönem, kuzey Atlantik kökenli cephesel depresyonların en aktif olduğu dönem olarak tanımlanabilir. Bu dönemdeki aylardan Ocak hariç diğer aylarda negatif korelasyonun yaygın olması incelemenin yapıldığı 1975-2008 yılları

arasındaki dönemde KAS aylık indeksinin genel olarak pozitif olmasına bağlanabilir.



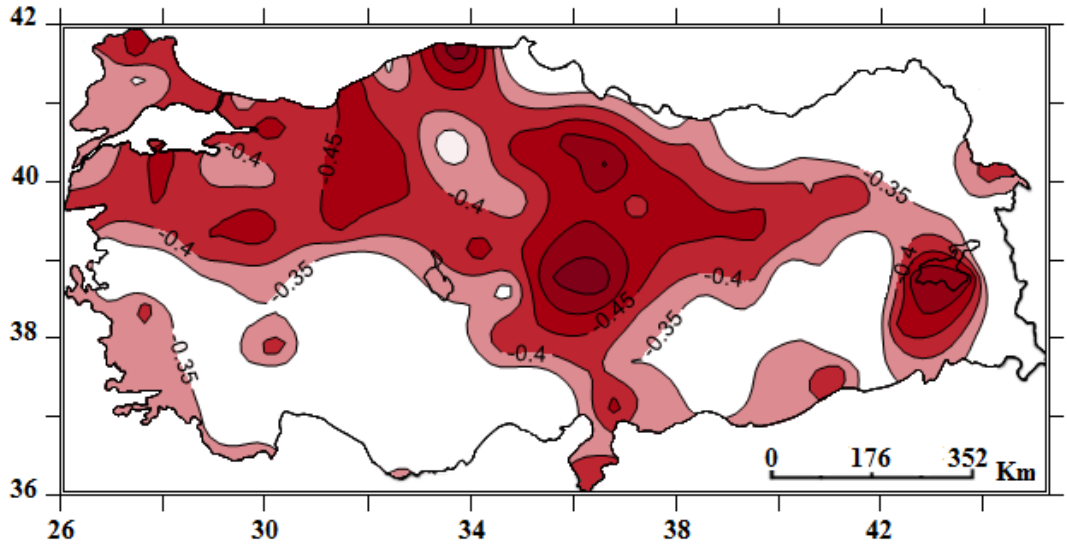
Şekil 3.32. Mart ayında KAS indeksi ile SYİ arasındaki korelasyon katsayılarının Türkiye'deki dağılışı.

3.4.2.2. Mevsimlik KAS indeksleri ile eş zamanlı SYİ serilerinin korelasyonu

Kış ve kısmen bahar aylarını kapsayan mevsimlik KAS indeksleri ile eşzamanlı 3 aylık SYİ serileri arasındaki korelasyon katsayılarının değerlendirilebilmesi için anlamlı ilişki bulunan dönemlerin haritası oluşturulmuştur. Aşağıda bu dönemlerle ilgili değerlendirmeler verilmiştir:

KAS'ın **ocak-şubat-mart** aylarını kapsayan mevsimlik indeksi ile aynı ayları kapsayan Türkiye'deki 133 istasyonun (1975-2008 yıllarını kapsayan) 3 aylık SYİ serileri arasındaki doğrusal ilişkinin yönünü ve gücünü

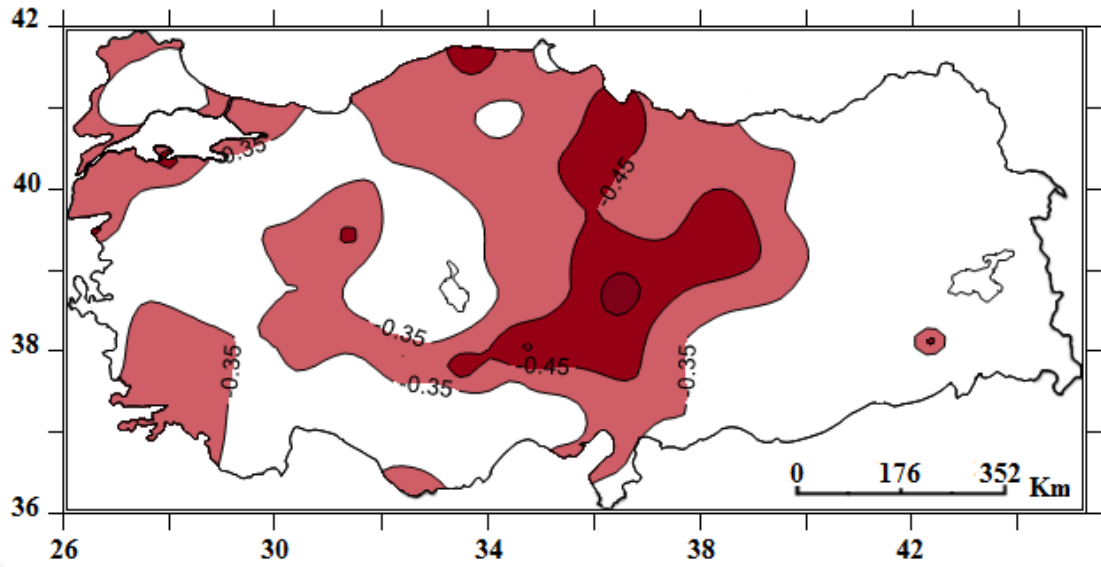
belirlemek amacıyla Pearson korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Türkiye genelindeki neredeyse tüm istasyonlarda negatif katsayılar elde edilmiştir. Türkiye'nin büyük bir bölümünde orta derecede negatif korelasyon katsayıları elde edilmiş ve bu katsayılar %95 ile %99 güven seviyesinde anlamlı olup -0.35 ile -0.61 arasında değişmektedir. Marmara Bölgesi'nden Batı Karadeniz'e ve Yukarı Sakarya üzerinden Orta ve Yukarı Kızılırmak bölümlerine, buradan da Yukarı Fırat Bölümü'ne kadar uzanan bir kuşak boyunca, Antakya-Kahramanmaraş Grabeni'nde ve Van Gölü çevresinde korelasyon katsayıları diğer bölgelerden daha yüksektir (Şekil 3.33). Orta ve Doğu Karadeniz kıyıları ile Kuzeydoğu Anadolu'da, Doğu Anadolu'da Van Gölü'nün doğusu ile Hakkâri ve Muş-Bingöl çevresinde, Güneydoğu Anadolu'da Batman-Diyarbakır ve Adıyaman çevresinde, İç Anadolu'da Konya Bölümünde, Akdeniz bölgesinin Teke yarımadası kıyıları, Anamur ve Hatay dışında kalan kısımlarında ise katsayılar çok zayıf ve anlamsızdır.



Şekil 3.33. KAS'ın mevsimlik (ocak-şubat-mart) indeksi ile aynı ayları kapsayan Türkiye'deki 3 aylık SYİ serilerinin korelasyon katsayıları.

Korelasyon katsayılarının yüksek olduğu bölgelerde bulunan 52 istasyonda korelasyon katsayıları -0.40 ile -0.61 arasında değişmektedir. En güçlü korelasyon katsayıları İnebolu (-0.61), Amasya (-0.52), Tokat (-0.56), Kayseri (-0.55), Pınarbaşı (-0.58), Van (-0.52) ve Tatvan (-0.55) istasyonlarında saptanmıştır. 21 istasyonda katsayılar -0.45 ile -0.50 arasında; 24 istasyonda da -0.40 ile -0.45 arasında değişmektedir (Ek 2).

KAS'ın **şubat-mart-nisan** aylarını kapsayan mevsimlik indeksi ile aynı ayları kapsayan Türkiye'deki 3 aylık SYİ serileri arasındaki korelasyon katsayılarının dağılışı incelendiğinde, ocak-şubat-mart dönemindekine göre anlamlı katsayıların saptandığı bölge daha sınırlıdır. Fakat en güçlü korelasyon katsayılarının görüldüğü yerler bir ölçüde örtüşmektedir. Trakya'nın iç kısımlarında, Düzce - Bolu - Bilecik - Kütahya - Balıkesir ve İzmir'i kapsayan kuzeydoğu-güneybatı uzanıslı bir kuşak boyunca, Tuz Gölü çevresinde, Akdeniz bölgesinin Dalaman, Anamur ve İskenderun Körfezi dışında kalan kısımlarında, Doğu Karadenizde, Doğu ve Güneydoğu Anadolu'nun neredeyse tamamında korelasyon katsayıları anlamsız ve çok zayıftır (Şekil 3.34). Korelasyon katsayılarının en yüksek olduğu bölgelerde bulunan 35 istasyonda korelasyon katsayıları -0.40 ile -0.62 arasında değişmektedir. En güçlü korelasyon katsayıları Amasya (-0.53), Ayvalık (-0.50), Divriği (-0.54), İnebolu (-0.51), Karapınar (-0.51), Niğde (-0.58), Pınarbaşı (-0.62) ve Samsun (-0.50) istasyonlarında saptanmıştır. 7 istasyonda katsayılar -0.45 ile -0.50 arasında; 20 istasyonda da -0.40 ile -0.45 arasında değişmektedir (Ek 2).



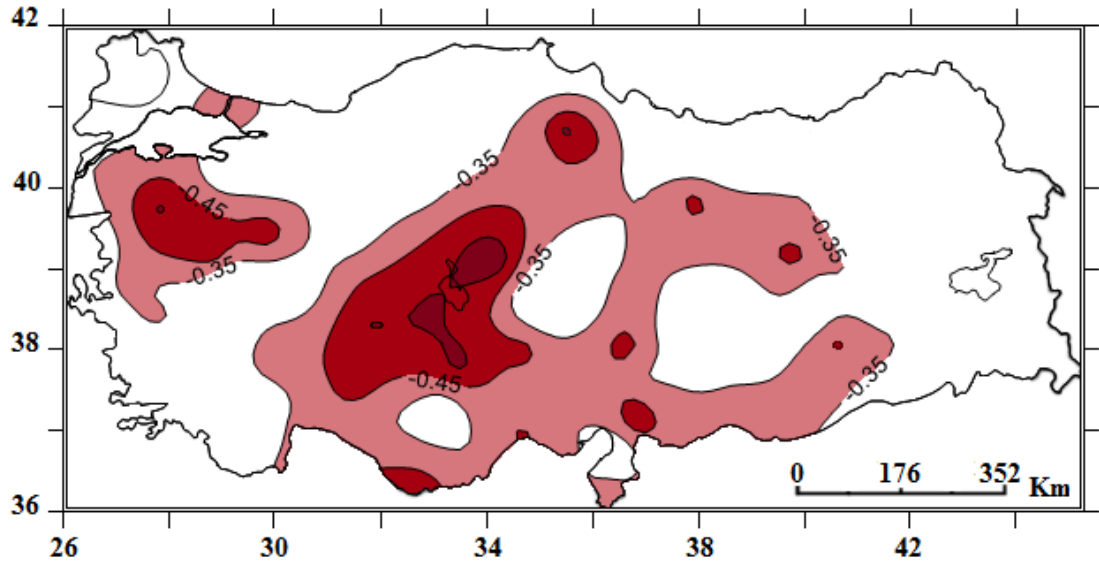
Şekil 3.34. KAS'ın mevsimlik (şubat-mart-nisan) indeksi ile aynı ayları kapsayan Türkiye'deki 3 aylık SYİ serilerinin korelasyon katsayıları.

Diğer mevsimlik KAS indekslerinden **aralık-ocak-şubat-mart** indeksi ile eşzamanlı SYİ serileri arasındaki korelasyon katsayılarının Türkiye'deki dağılışı **ocak-şubat-mart** dönemiyle büyük oranda örtüşmekte fakat katsayılar daha düşüktür. **Kasım-aralık-ocak** ve **aralık-ocak-şubat** indeksleri ile eşzamanlı SYİ serileri arasındaki korelasyon katsayıları da hesaplanmış fakat birkaç istasyon dışında, anlamsız ve oldukça zayıf katsayılara ulaşılmıştır.

3.4.2.3. Yıllık KAS indeksleri ile yıllık SYİ serilerinin korelasyonu

KAS'ın yıllık indeksi ile Türkiye'deki yıllık SYİ serileri arasındaki ilişkinin yönünü ve gücünü belirlemek amacıyla korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Türkiye genelindeki 133 istasyonun 6'sı (Trabzon, Artvin, Kars, Iğdır, Özalp ve Van) dışında tüm istasyonlarda negatif katsayılar elde edilmiştir. %95 ile %99 güven seviyesinde anlamlı orta derecede negatif korelasyon

katsayıları -0.35 ile -0.64 arasında değişmektedir. Bölgesel olarak Tuz Gölü çevresinde, Orta Karadenizin iç kısımlarında ve Güney Marmara'da korelasyon katsayıları diğer bölgelerden daha yüksektir (Şekil 3.35). Korelasyon katsayılarının en yüksek olduğu bölgelerde bulunan 34 istasyonda korelasyon katsayıları -0.40 ile -0.64 arasında değişmektedir. En güçlü korelasyon katsayıları Amasya (-0.50), Merzifon (-0.56), Simav (-0.52), Balıkesir (-0.56), Iğın (-0.55), Konya (-0.51), Cihanbeyli (-0.55), Karapınar (-0.58), Kırşehir (-0.64) ve Anamur (-0.53) istasyonlarında saptanmıştır. 10 istasyonda katsayılar -0.45 ile -0.50 arasında; 14 istasyonda da -0.40 ile -0.45 arasında değişmektedir (Ek 2).



Şekil 3.35. KAS'ın yıllık indeksi ile Türkiye'deki yıllık SYİ serilerinin korelasyon katsayıları.

Yukarıda ulaşılan sonuçlara göre Türkiye'nin genel olarak yağış aldığı kış aylarında KAS aylık ve mevsimlik indekslerinin güçlü pozitif olması, Türkiye'deki yağış değişkenliğine ve dolayısıyla SYİ serilerine orta düzeyde

yansıyan negatif etkilere neden olmaktadır. Başka bir deyişle, KAS indeksleri ile Türkiye'deki kuraklık olayları orta düzeyde negatif ilişkilidir. Sözü edilen bu ilişki aylık, mevsimlik ve yıllık ölçeklerin hiç birinde Doğu Karadeniz, Erzurum-Kars bölümleri ve Van Gölü'nün doğusunda kalan bir yöre için geçerli değildir.

Orta Karadeniz bölümünün iç kısımlarında, Orta ve Yukarı Kızılırmak bölümlerindeki istasyonlarda ise korelasyon katsayılarının aylık, mevsimlik ve yıllık hesaplamalarda genel olarak diğer bölgelerden daha yüksek ve alansal olarak ısrarlı olduğu belirlenmiştir. Sözü edilen bu bölümlerde korelasyon katsayıları -0.50 ile -0.67 arasında değişmektedir.

4. BÖLÜM

SONUÇ

IPCC için çalışan iklimbilimciler, küresel iklim değişikliğinin insan faaliyetleriyle ilgili sera gazı emisyonlarından kaynaklandığına %90 oranında emin olduklarını 2007'de yayımlanan 4. raporda (AR4) belirtmişler. Henüz resmen yayımlanmayan 5. raporda (AR5) ise insan kaynaklı sera gazlarının iklim değişikliğine neden olma olasılığının %99 oranında kesinliğe ulaştığı belirtilmektedir (www.guardian.co.uk). Bu son raporda sıcaklık artışının yıkıcı ve yönetilemez boyutlara ulaşacağı, 2100 yılına gelindiğinde küresel sıcaklık artışının 2,6 °C ile 4,8 °C arasında olacağı tahmin edilmiştir. Global ısınma sürecinin kuraklığa etkisine de değinilen raporda, kuraklığın birçok bölgede yoğunlaşacağı, kuraklık şiddeti ve sıklığının bazı bölgelerde %66'dan fazla olasılıkla artacağı belirtilmiştir.

Kuraklık takibi için geliştirilen araçlar, güncel kuraklık bilgilerini ilgili bölge ya da kişilerin erişimine sunmalı, bunun için sıcaklık, yağış, yüzey akışı, toprak nemi gibi ana iklimsel ve yağışla ilgili değişkenler düzenli olarak izlenmeli ve normal değerlerden olan sapmaları gözlenmelidir. Kuraklık verileri formüle edilip sınırları tanımlandığında, kuraklığın izlenmesi ve araştırılması kolaylaşmaktadır. Bu amaçla geliştirilen SYİ yöntemi kısa, orta veya uzun dönemlerde ortaya çıkan yağış eksikliğine bağlı kuraklık olaylarının izlenmesinde etkili bir araçtır.

Kuraklık analizine geçmeden önce Türkiye’de yağışın yıllık ve mevsimlik dağılışının yanında, yıllar arası ve mevsimlik değişim oranı incelenmiştir. Kuraklık olaylarının yıkıcı etkilere neden olabileceği bölgelerin tespiti açısından bu inceleme önemli veriler sağlamıştır. Akdeniz yağış rejimi bölgesinde yıllık değişim oranının diğer bölgelerden yüksek, Karadeniz Bölgesi’nde ise daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmada, Türkiye’deki 133 istasyonda kaydedilen aylık toplam yağışlar için 1 aylık, 3 aylık ve 12 aylık SYİ serileri hesaplanmıştır. Çalışmanın kapsadığı zaman aralığındaki tüm yılların kış, ilkbahar ve sonbahar ayları 1 aylık SYİ serileri ve bunlara göre hazırlanan haritalar kullanılarak incelenmiş, 1984 ve 1989 yılları gibi önemli kurak yıllar bu yolla belirlenmiştir.

1 aylık SYİ serileri ve haritalarına göre Güneydoğu Anadolu, İç Anadolu, Doğu Anadolu’nun doğusu, Güney Marmara, Çukurova ve çevresi incelenen yılların yarısından çoğunda SYİ ölçeğine göre şiddetli veya daha kurak şartların, bu bölgeler için kurak kabul edilen yaz mevsimi dışındaki bir mevsimde yaşandığı görülmüştür. Mutlak minimum SYİ değerlerinin sonbahar, kış ve ilkbahar mevsimlerinde görölme olasılığı tüm istasyonlar için ortalama olarak %85’in üstünde, kış mevsiminde görölme olasılığı ise ortalama %30 dur.

1984, 1990, 1992, 1995, 2001, 2004 ve 2006 yıllarının kış mevsimleri şiddetli veya daha kurak koşulların yaygın biçimde yaşandığı dönemlerdir.

İlkbahar mevsimi incelendiğinde 1986, 1989 ve 1999 yıllarında şiddetli veya daha kurak koşulların en büyük alansal genişliğe eriştiği görülmüştür. 1975, 1980, 1982, 1988, 1995, 1996, 1998, 2000 ve 2005 yıllarının dışında kalan yılların ilkbahar mevsiminde bölgesel ölçekte ve parçalı bir desen oluşturan şiddetli veya daha kurak koşullar görülmüştür. Sonbahar mevsiminde ise en yaygın ve şiddetli kuraklıkların olduğu yıllar 1978, 1984, 1993, 1996, 2000 ve 2004'tür. Bu yılların dışında 1975, 1977, 1982, 1986, 1987, 1992, 1996, 1998, 1999 ve 2001 yıllarında da bölgesel olarak şiddetli veya daha kurak koşullar yaşanmıştır.

Her istasyonun SYİ serilerinden, bir merkezi dağılım ölçüsü olan **mod** hesaplanmıştır. 1 aylık ve 3 aylık SYİ serilerinden 2, 4, 6 ve 10 yıllık periyotlarla hesaplanan mod değerleri yardımıyla şiddetli kuraklık olaylarının nerelerde en çok tekrarladığı saptanmıştır. Karadeniz, Ege ve Akdeniz kıyıları ile Trakya dışında kalan iç bölgelerde şiddetli veya daha kurak koşulların daha çok tekrarlandığı sonucuna ulaşılmıştır.

Kuraklık olasılığı değerlendirildiğinde; şiddetli, çok şiddetli ve olağanüstü kurak koşulların toplam olasılığı genel olarak Akdeniz ve Ege kıyıları, Güneydoğu Anadolu, Güney Marmara, Orta Anadolu ve Doğu Anadolu'da diğer bölgelerden daha yüksek olduğu görülmüştür. Normalin altındaki tüm kuraklık seviyeleri ($SYİ \leq -0,51$) için hesaplanan toplam kuraklık olasılığını gösteren harita incelendiğinde ise genel olarak Akdeniz iklimi yağış rejimi bölgesinde olasılık değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür.

Kuraklık seviyeleri 12 aylık SYİ serilerinden incelenen istasyonların tüm kuraklık sınıfları için belirlenen **kurak dönem sayısı**, Türkiye genelinde 11 ile 31 arasında değişmekle beraber ortalama 20'dir. İskenderun Körfezi, İç Anadolu'nun kuzey kısımları ve Tuz Gölü'nün batısında kalan yerler, İçbatı Anadolu, Orta ve Batı Karadeniz'in iç kısımları ile Ordu-Giresun çevresi kurak dönem sayısı en fazla olan yerler olarak belirlenmiştir.

Kesintisiz devam eden, tüm seviyelerdeki **en uzun kurak dönemlerin** ortalama süresi 20 ay olarak saptanmıştır. Tüm seviyelerdeki en uzun kurak dönemlerin süre olarak en az olduğu istasyonlar 8 ayla Rize ve Giresun; en fazla olduğu istasyonun 49 ayla Aydın olduğu saptanmıştır. Çatalca-Kocaeli platosu ile Trakya'nın Kardeniz kıyılarında, İzmir-Kütahya-Anamur hattının altında kalan bölgede, Çukurova'nın güneyi ve Hatay'ın güney kısımlarında, Konya Ovasında, Ankara-Kastamonu arasındaki bölgede, Karasu ile Aras vadilerinden güneye doğru Suriye sınırına kadar -Gaziantep ve Hakkari çevresi dışında- olan yerlerde en uzun kurak dönem süresinin Türkiye ortalamasının üstünde olduğu belirlenmiştir.

Kuraklık süresi ve genliği her istasyon için 12 aylık SYİ serilerinden belirlenerek **kuraklık şiddeti** hesaplanmış ve haritalanmıştır. Buna göre kuraklık şiddeti İç Anadolu başta olmak üzere iç bölgelerde daha fazladır. Kıyılarda ise kuraklık, Çukurova, Antalya, Menteşe yöresi, İzmir çevresi ve Sinop-İnebolu arasındaki kıyı kuşağında diğer kıyılardan daha şiddetlidir.

Maksimum kuraklık şiddetinin dağılışı incelendiğinde ise; İç Anadolu'da Konya-Yunak, Eskişehir-Sivrihisar ile Afyon arasında kalan bölgede, Orta Kızılırmak bölümü ve daha kuzeyinde Orta Karadeniz'in iç kısımlarında, Ege kıyılarının İzmir-Edremit Körfezi arasında kalan kısımlarında, Batı Karadeniz'de Bartın-Amasra çevresinde, İskenderun Körfezinde, Anadolu'nun doğusunda Gümüşhane çevresinden başlayan ve güneye doğru Tercan üzerinden Siirt-Batman-Mardin çevresine kadar uzanan genel olarak kuzey-güney uzanırlı bir koridor boyunca kuraklık şiddetinin en büyük değrlere ulaştığı görölmüştür.

Kuraklık şiddetinin maksimum ve aynı zamanda yaygın olduğı dört belirgin dönem belirlenmiştir. Bunlar; 1989-1990-1991 dönemi, 1993-1994-1995 dönemi, 1999-2000-2001 dönemi ve 2008 yılını kapsayan dönemlerdir.

İncelenen istasyonların %72'sinde (96 istasyon) **kuraklık genliğinin** artış eğiliminde olduğı ve özellikle 1990'lı yıllarda ve sonrasında genliğinin artış gösterdiği belirlenmiştir. Kuraklık genliğinin, genel olarak kıyılarda ve Doğı Anadolu'da bulunan bazı istasyonlarda azalma eğilimi gösterirken özellikle İç Anadolu'da, Güneydoğı Anadolu'da, İçbatı Anadolu'da, Trakya'da ve Batı Karadeniz'de artış eğiliminde olduğı saptanmıştır.

Türkiye'nin de içinde bulunduğı Akdeniz Havzası'na, özellikle kış aylarında yağış getiren orta enlem cephesel depresyonların frekansını etkileyen bir faktör olarak KAS'ın Türkiye'deki kuraklık olaylarını da etkilediğı

bir hipotez olarak kabul edilmiş ve bu durum test edilmiştir. Sonuçta, özellikle kış mevsiminde aylık veya mevsimlik KAS indeksleri yüksek pozitifken Türkiye’de yaygın ve şiddetli kuraklık olayları olduğu tespit edilmiştir.

Araştırma kapsamında incelenen 133 istasyonda her yılın en büyük pozitif KAS aylık indeks değeri ile aynı ay için hesaplanan SYİ değerleri eşleştirilmiştir. Bu yaklaşımla SYİ’nin bütün kuraklık seviyeleri dikkate alınarak saptanan kurak ayların, Türkiye genelindeki tüm gözlemlerin %37,5’i olduğu saptanmıştır. Sadece güçlü pozitif (KAS indeksi ≥ 2) değerler dikkate alındığında ise kurak ayların, toplam gözlem serisi içindeki oranı artmaktadır.

Aylık KAS indeksi kış aylarında güçlü pozitif olduğunda genellikle SYİ, şiddetli veya daha kurak koşullara karşılık gelen negatif değerlere düşmekte; KAS indeksi negatife döndüğünde ise SYİ, genellikle normal veya nemli koşullara karşılık gelen pozitif değerler almaktadır. KAS kış indeksinin en güçlü pozitif değerleri ile birçok istasyonun eşzamanlı SYİ serileri arasında genel olarak negatif korelasyon gözlemlenirken Karadeniz iklim bölgesindeki istasyonlarda bu durum belirgin olmayıp zaman zaman tersine de dönmektedir.

Aylık KAS indeksi, genellikle yağışlı dönemleri kapsayan kasım-mart ayları arasında +3 veya daha büyük olduğunda SYİ değerlerinin güçlü negatif kalma eğiliminde olduğu görülmüştür (1978, 1986, 1989, 2006

yılları). Fakat bazı yıllarda KAS indeksi +2/2,5 civarında olduğunda da SYİ güçlü negatif değerler alabilmektedir.

KAS'ın en güçlü pozitif aylık indeks değerlerinin Türkiye'deki eşzamanlı SYİ değerleriyle ilişkisinin incelenmesi sonucunda, şiddetli veya daha kurak alanların genel olarak kıyı Ege, Akdeniz Bölgesi, Orta ve Doğu Karadeniz ile Doğu Anadolu'nun doğu kısımları dışında kalan bölgelerde daha ısrarlı olduğu görülmüştür.

Kasım ayı korelasyon katsayılarının -0.35 ile -0.60 arasında değiştiği belirlenmiştir. Bu değerler, değişkenler arasında orta düzeyde negatif bir korelasyon olduğunu göstermektedir. Çatalca-Kocaeli platosundan güney Marmara'ya ve buradan İçbatı Anadolu'ya, daha doğuda İç Anadolu'un kuzeyi ile Batı ve Orta Karadeniz'in iç kısımlarını da kapsayan bir kuşak boyunca korelasyon değerleri yukarıda belirtilen aralıkta dağılım göstermektedir.

Aralık ayı korelasyon katsayılarının -0.34 ile -0.51 arasında değiştiği belirlenmiştir. Korelasyonun en güçlü olduğu yerler iki bölge şeklinde karşımıza çıkmaktadır. Bunlardan ilki: Antalya çevresinden kuzeye doğru Göller yöresini ve Afyon-Kütahya-Eskişehir ile Bilecik çevresini, daha doğuda Çankırı çevresine kadar olan yerleri, buradan güneye doğru Tuz Gölü'nün batı sahilinden ve Konya Ovası üzerinden güneydoğuya Ulukışla, Niğde ve Mersine kadar olan bölgeyi kapsar. İkinci bölge ise Antakya-

K.Maraş grabeni ile Güneydoğu Anadolu bölgesini ve Hakkari çevrelerine kadar yerleri kapsamaktadır.

Şubat ayı korelasyon katsayılarının -0.35 ile -0.53 arasında değiştiği belirlenmiştir. Korelasyonun daha güçlü olduğu bölgeler Güneybatı Anadolu'da, Orta Karadeniz'in iç kısımlarında ve Güneydoğu Anadolu'da daha geniştir. Bu ayda anlamlı korelasyon katsayılarının değişim aralığı kasım ve aralık aylarına benzese de erişilen alansal genişlik daha azdır.

Mart ayındaki korelasyon katsayılarının diğer tüm aylardan daha yüksek ve anlamlı ilişkinin bulunduğu bölgenin daha geniş olduğu dikkat çekicidir. Orta Karadeniz, Orta ve Yukarı Kızılırmak, Yukarı ve Orta Fırat bölümlerini kapsayan kuzey-güney uzanışlı bir kuşak boyunca korelasyon katsayıları diğer bölgelerden daha yüksektir. %95-99 güven seviyesinde orta düzeyde negatif korelasyon katsayıları -0.35 ile -0.67 arasında değişmektedir.

KAS kış indeksleri ile eşleşen 3 aylık SYİ serilerinin korelasyonu incelenmiş, ocak-şubat-mart döneminde 52 istasyonda; şubat-mart-nisan döneminde 35 istasyonda en az %95 güven seviyesinde orta derecede negatif korelasyon katsayıları elde edilmiştir. Sözü edilen istasyonların Marmara, Batı Karadeniz, İç Anadolu, Doğu Anadolu'nun Yukarı Fırat Bölümü ve Van Gölü çevresinde olduğu belirlenmiştir.

KAS'ın yıllık indeksi ile Türkiye'deki yıllık SYİ serileri arasındaki korelasyon katsayılarının ise %95 ile %99 güven seviyesinde anlamlı, orta derecede negatif olup -0.35 ile -0.64 arasında değiştiği saptanmıştır. Bölgesel olarak Tuz Gölü çevresinde, Orta Karadenizin iç kısımlarında ve Güney Marmara'da korelasyon katsayıları diğer bölgelerden daha yüksektir.

Hesaplanan korelasyon katsayılarının genel olarak orta düzeyde negatif bir ilişkiye işaret ettiği belirlenmiştir. Bu ilişki aylık, mevsimlik ve yıllık ölçeklerin hiç birinde Doğu Karadeniz, Erzurum-Kars bölümleri ve Van Gölü'nün doğusunda kalan bir yöre için geçerli değildir. Orta Karadeniz bölümünün iç kısımlarında, Orta ve Yukarı Kızılırmak bölümlerindeki istasyonlarda ise korelasyon katsayılarının aylık, mevsimlik ve yıllık hesaplamalarda genel olarak diğer bölgelerden daha yüksek ve alansal olarak ısrarlı olduğu belirlenmiştir. Sözü edilen bu bölümlerde korelasyon katsayıları -0.50 ile -0.67 arasında değişmektedir.

Türkiye'deki su kaynaklarının etkin ve verimli bir şekilde yönetilmesi amacıyla hazırlanacak planlarda, havza ölçeğinde kuraklık takibi ve havzalar arası su transferini içeren projeler yakın gelecekte kaçınılmaz olacaktır. Küresel iklim değişikliğinin etkisiyle veya iklimin doğasından kaynaklanan geçici salınımların etkisiyle gelişecek kuraklıkların olumsuz etkisini bertaraf etmek için Türkiye'nin doğal coğrafyası önemli avantajlar sunmaktadır. Kısa mesafelerde yağış ve diğer bazı iklim elemanları büyük zıtlıklar gösterebilmektedir. Bu çalışma için hazırlanan kuraklık haritalarında birçok komşu bölge arasında hemen hemen her dönemde kuraklık derecesi

bakımından büyük zıtlıklar saptanmıştır. SYİ'nin kısa sayılabilecek zaman ölçeklerinde de kuraklık takibine olanak tanınması, enerji üretimi ve tarımsal üretim bakımından önemli havzalarla komşu havzalar arasında su paylaşımını düzenleyecek planlamalarda avantaj sağlayabilir. KAS'ın davranışlarından en fazla etkilenen bölgelerde su yapılarının kapasiteleri ve su sektöründeki yatırımların limitleri belirlenirken veya kentleşme planları yapılırken KAS'ın önemli bir faktör olduğu unutulmamalıdır.

Bu çalışmada ulaşılan sonuçlar, Türkiye'nin önemli bir bölümünde yağış ve kuraklık olaylarını özellikle yaz mevsimi dışındaki yağışlı mevsimlerde etkileyen bir faktör olarak KAS'ın mutlaka izlenmesi gerektiğini ortaya koymuştur. Su kaynaklarının yönetimi, su yapılarının planlanması ve kuraklık erken uyarı sistemleri oluşturulurken ilgili bakanlıklar ve bunlara bağlı genel müdürlükler ile özel sektör bileşenleri KAS indekslerinden elde edilen analizleri planlarına dahil etmelidir.

EK 1.

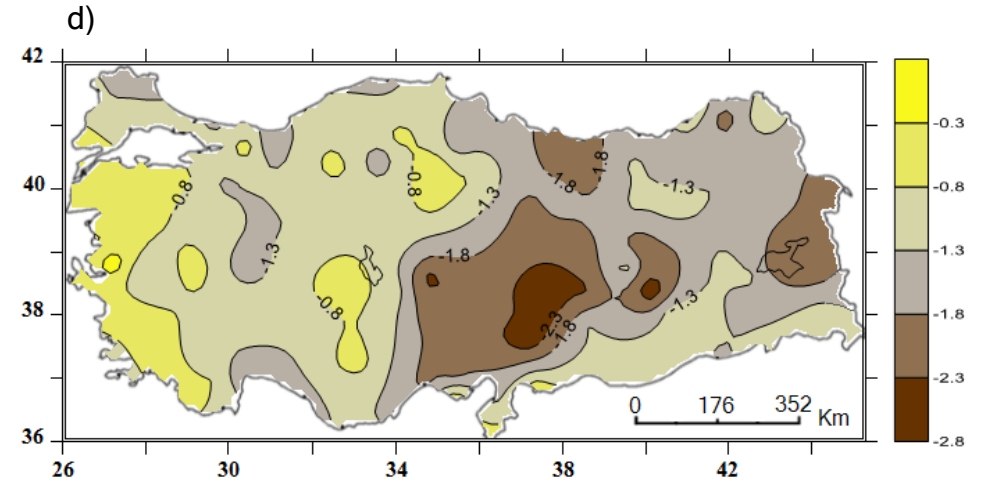
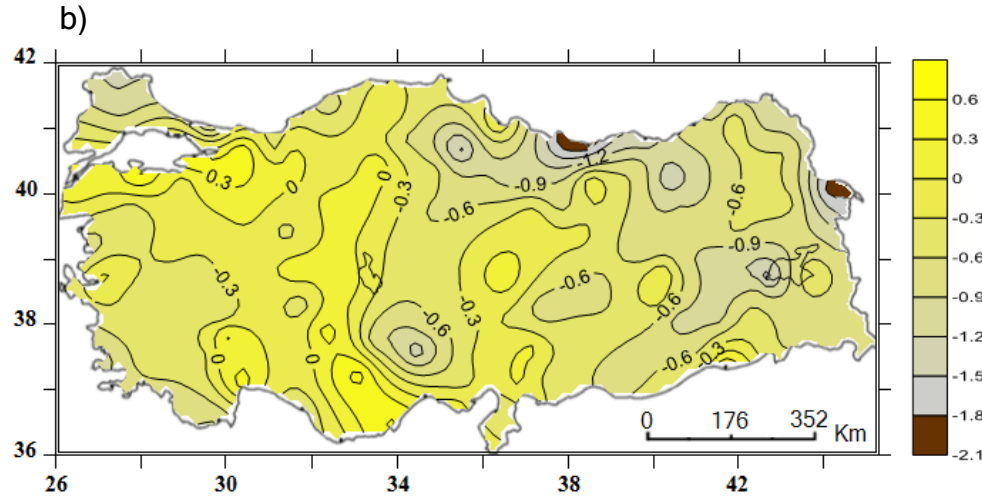
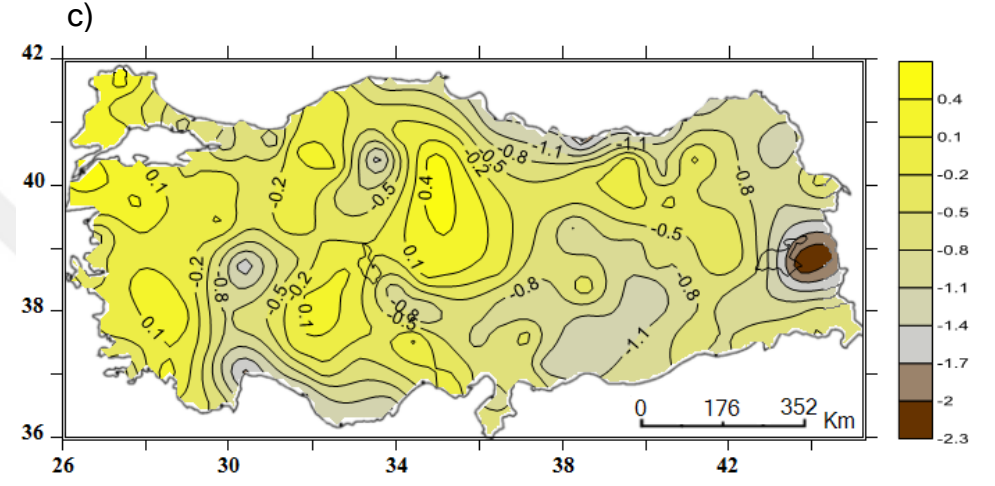
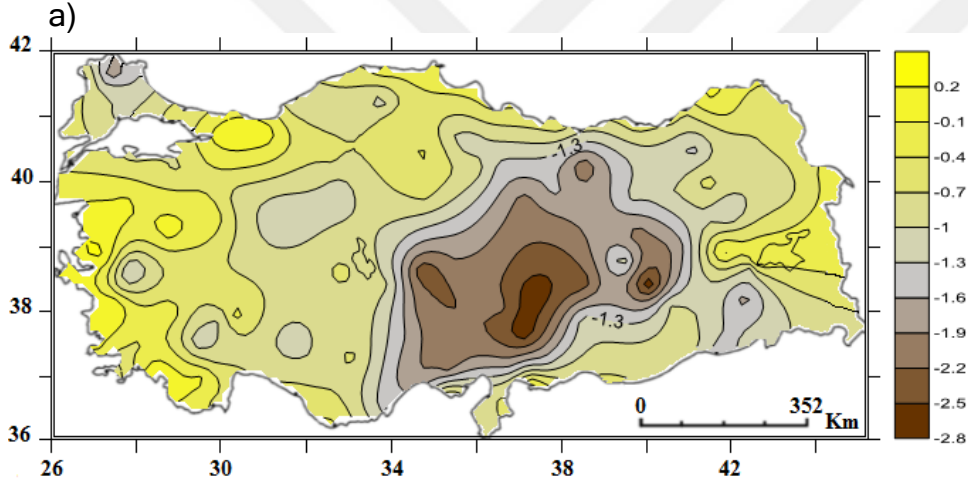
1975-2008 yılları arasında

Sonbahar (a), kış (b), ilkbahar (c) ve yıllık (d) minimum

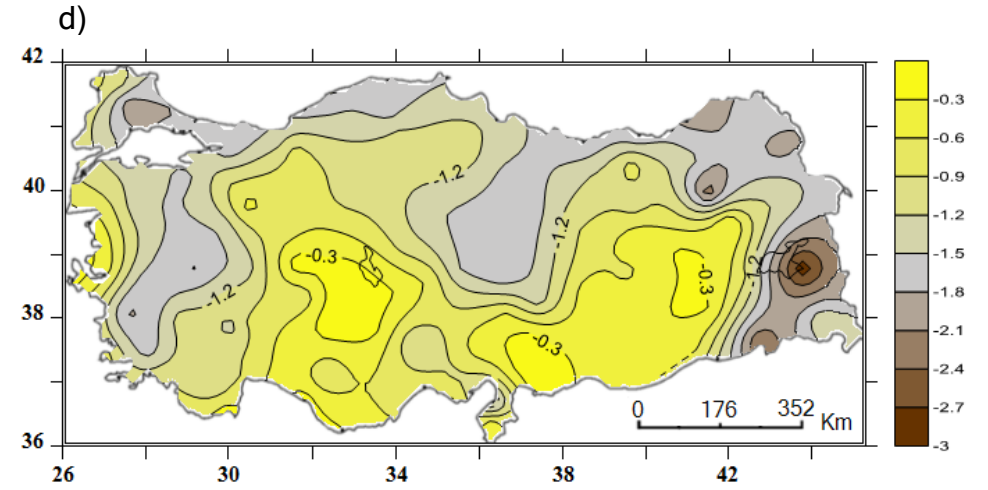
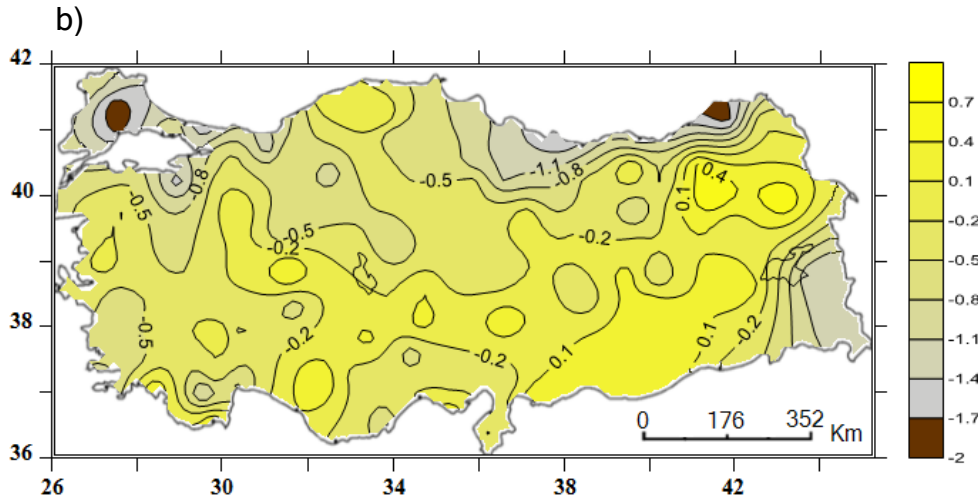
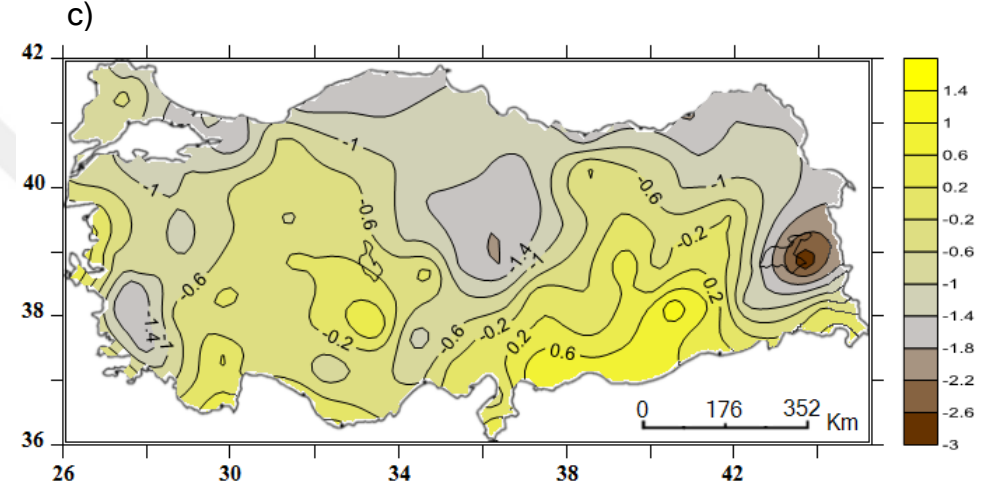
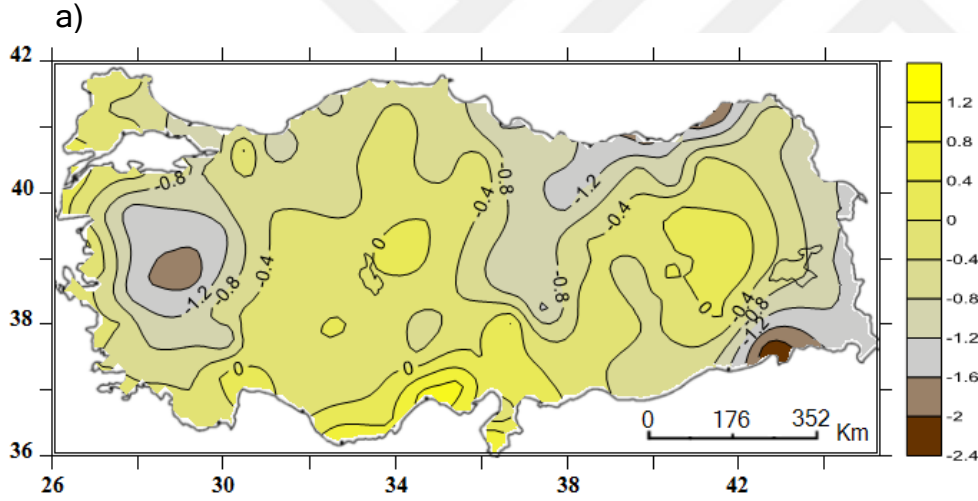
SYİ değerlerinin Türkiye'deki dağılışı

136 Harita

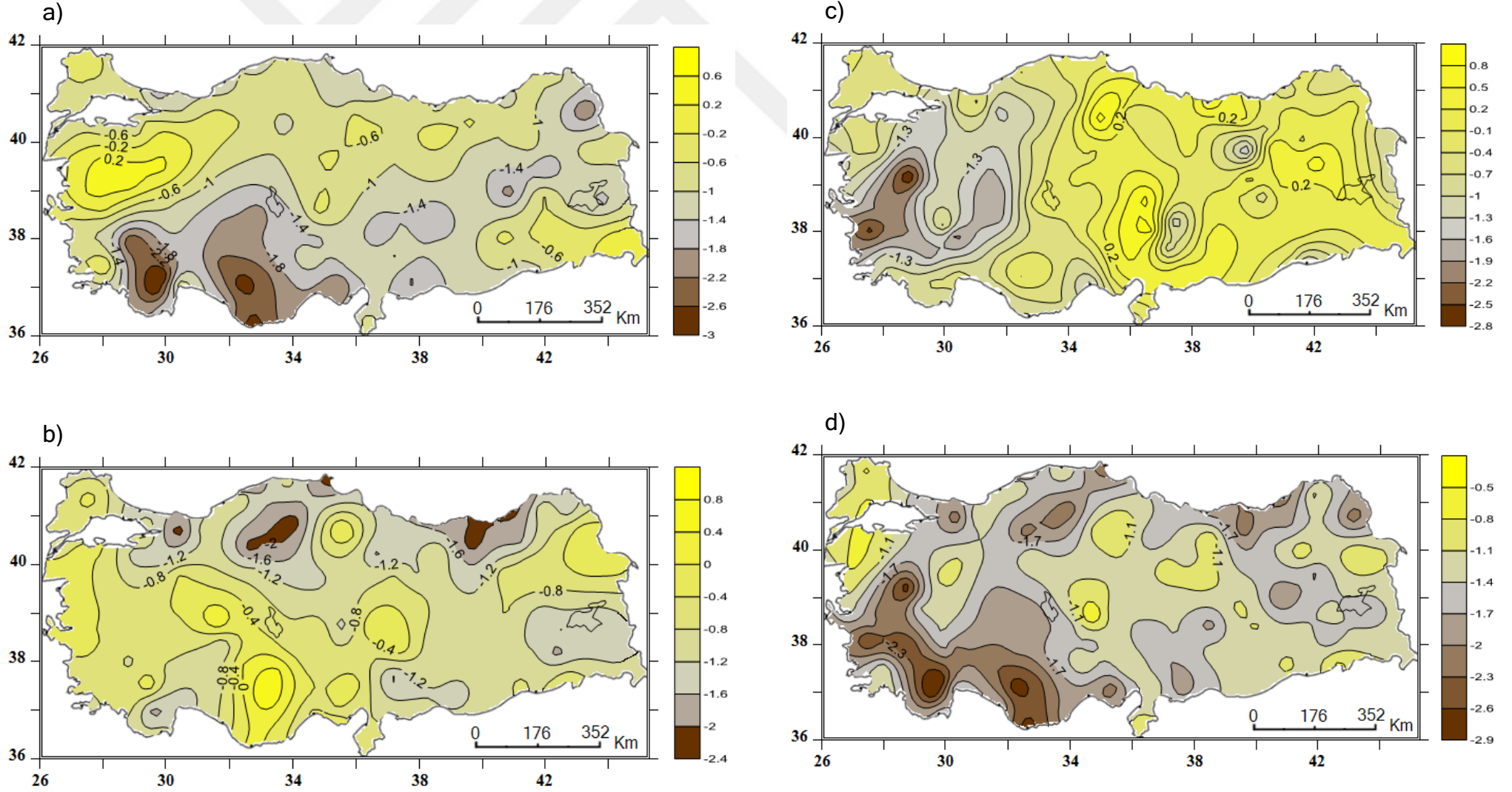
1975 yılı sonbahar (a), kış (b), ilkbahar (c) ve yıllık (d) minimum SYİ değerlerinin dağılışı.



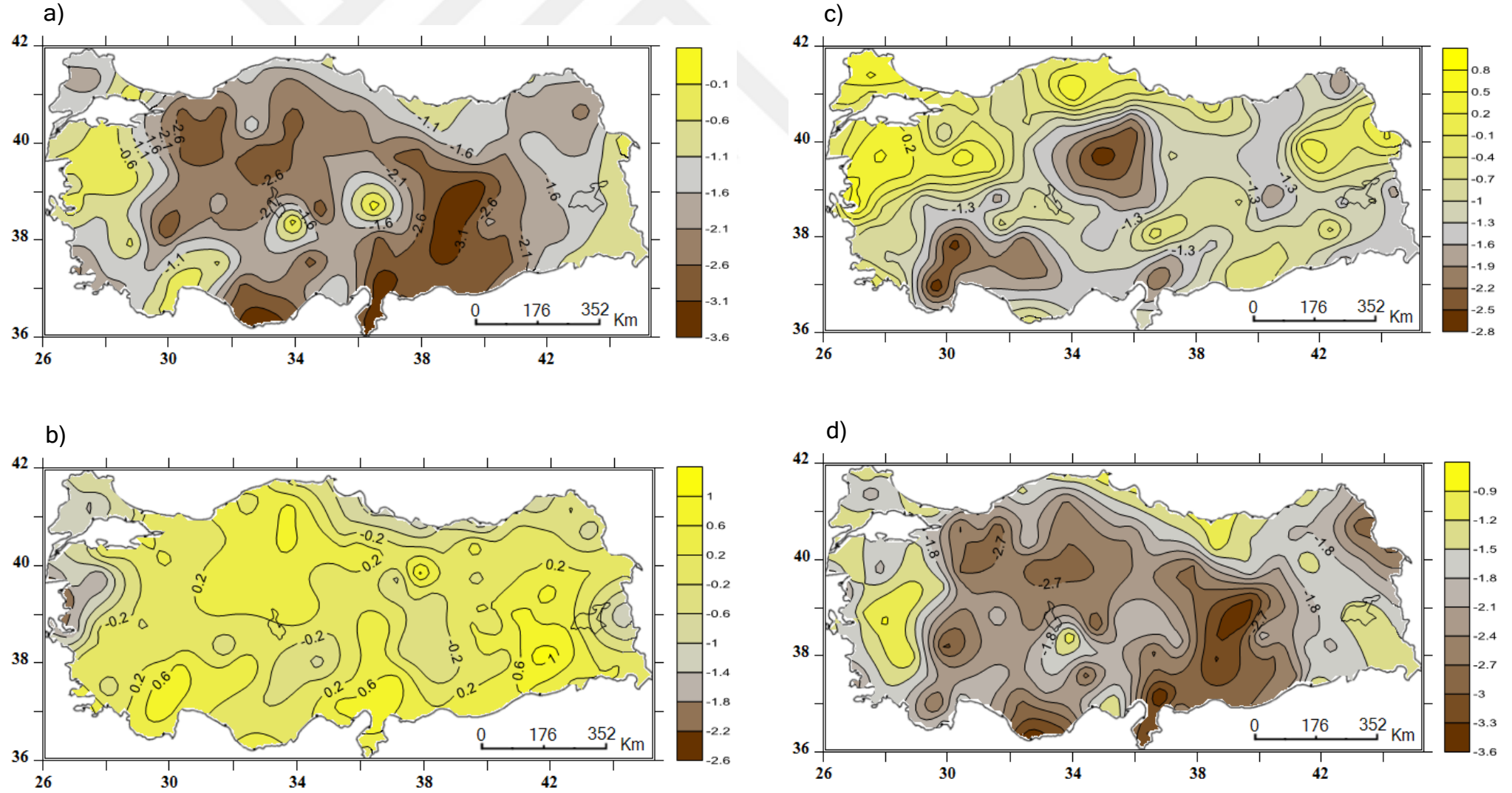
1976 yılı sonbahar (a), kış (b), ilkbahar (c) ve yıllık (d) minimum SYİ değerlerinin dağılışı.



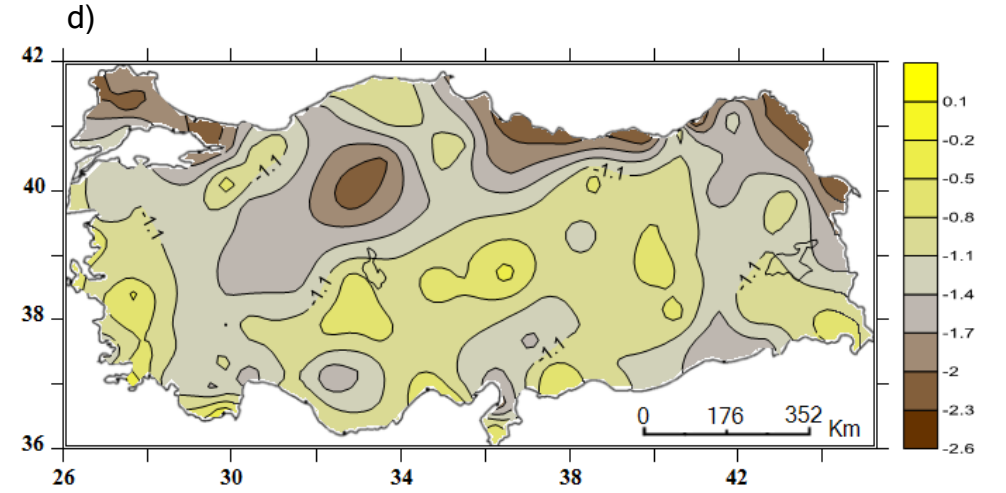
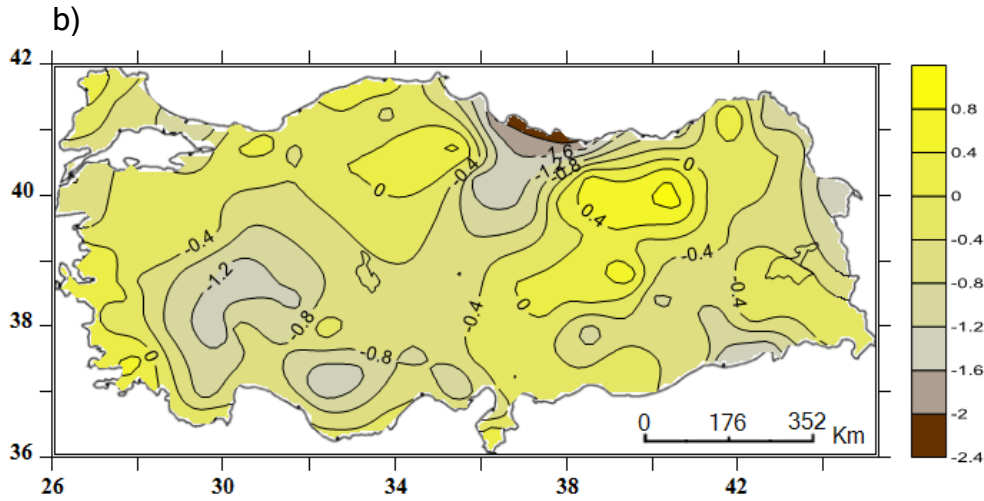
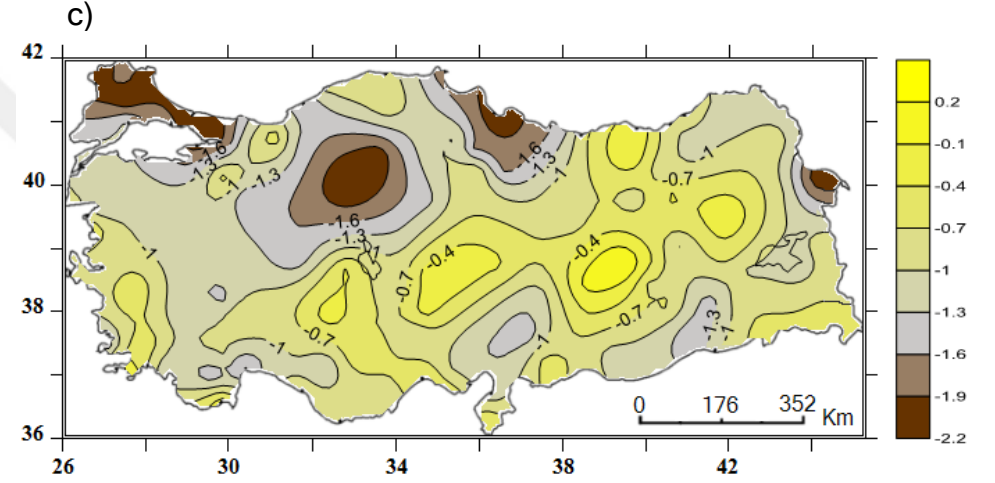
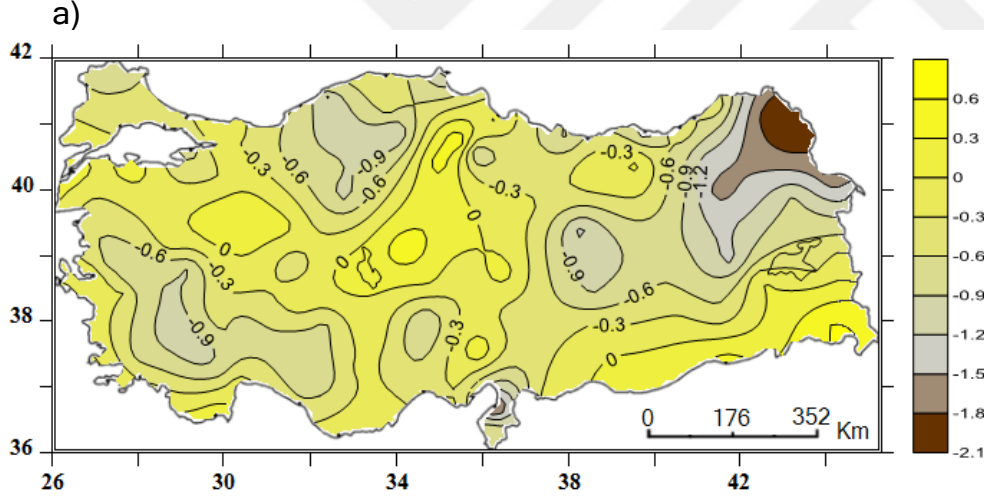
1977 yılı sonbahar (a), kış (b), ilkbahar (c) ve yıllık (d) minimum SYİ değerlerinin dağılışı.



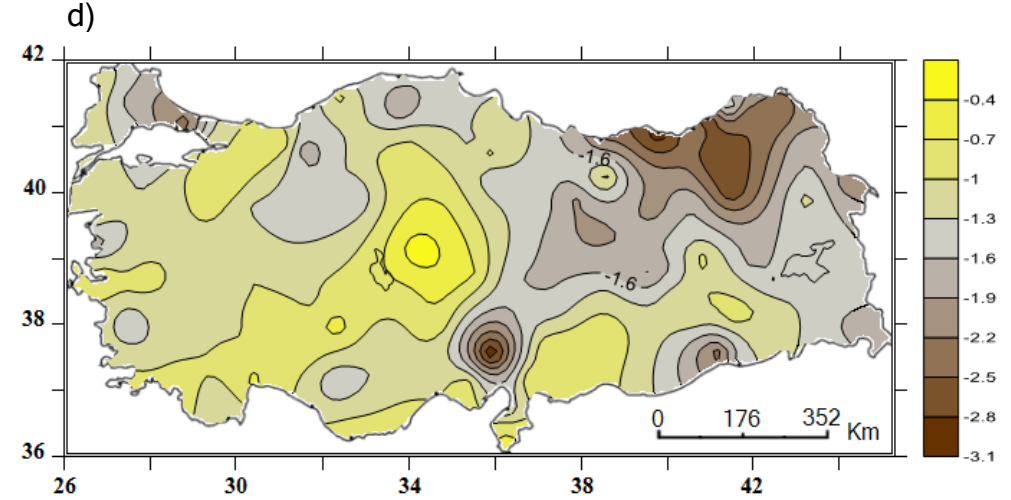
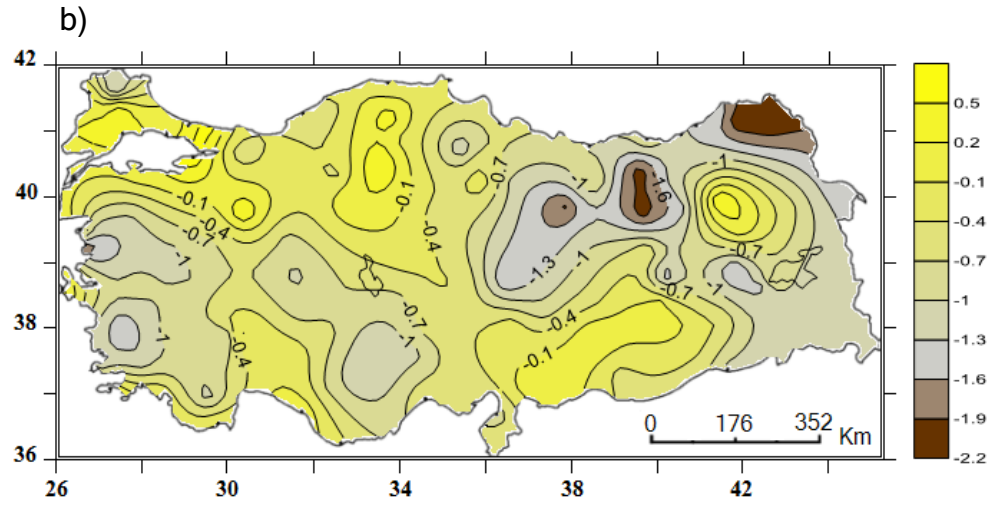
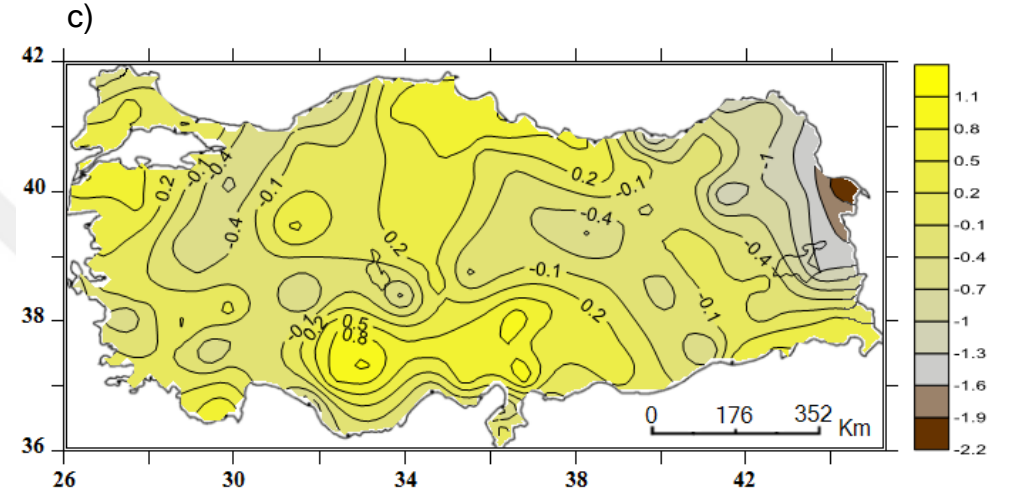
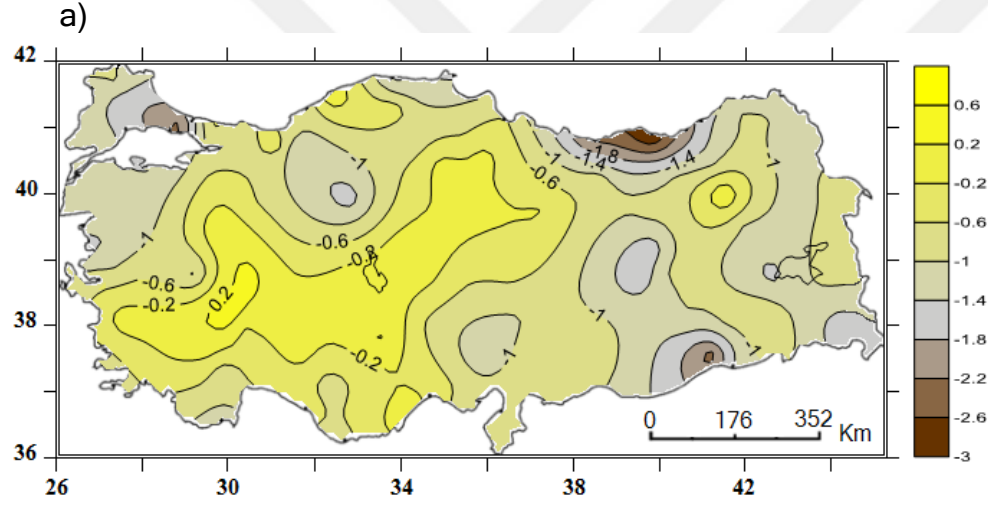
1978 yılı sonbahar (a), kış (b), ilkbahar (c) ve yıllık (d) minimum SYİ değerlerinin dağılışı.



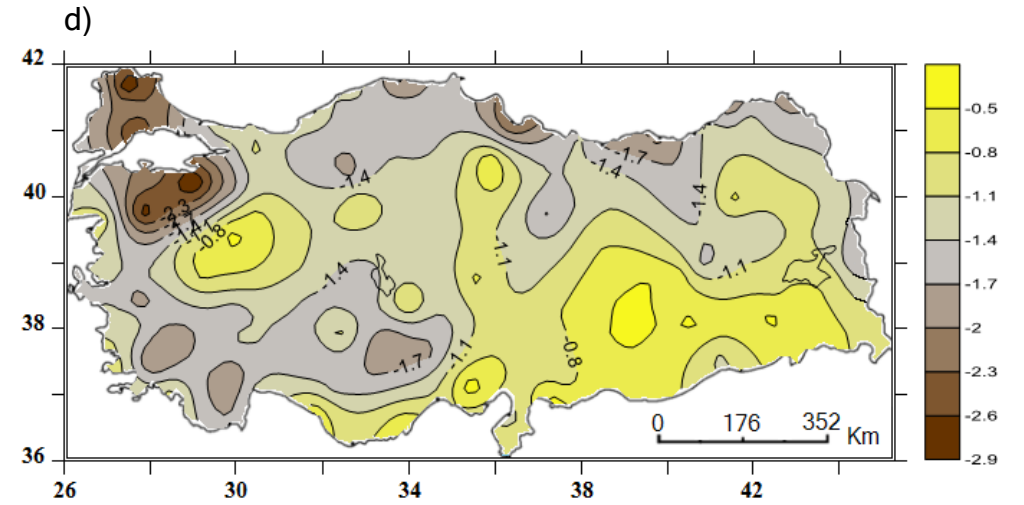
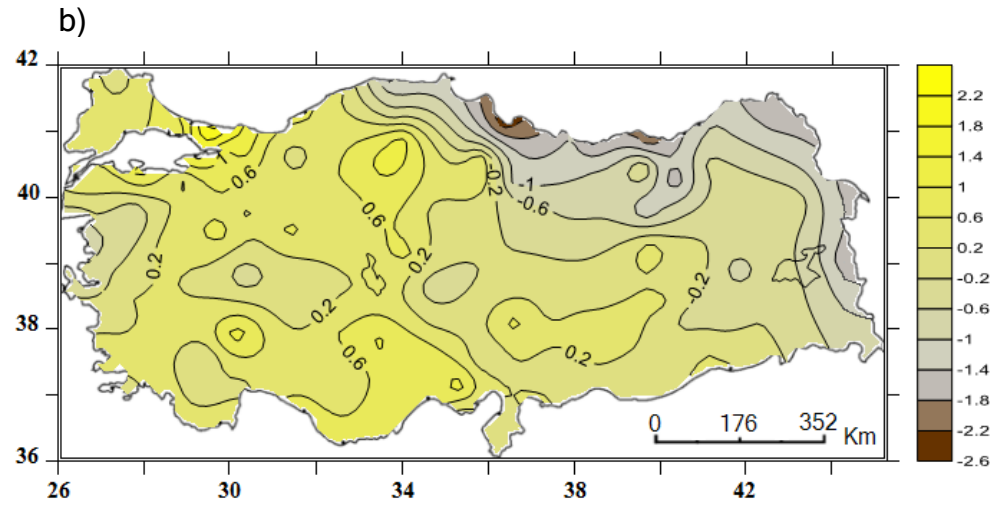
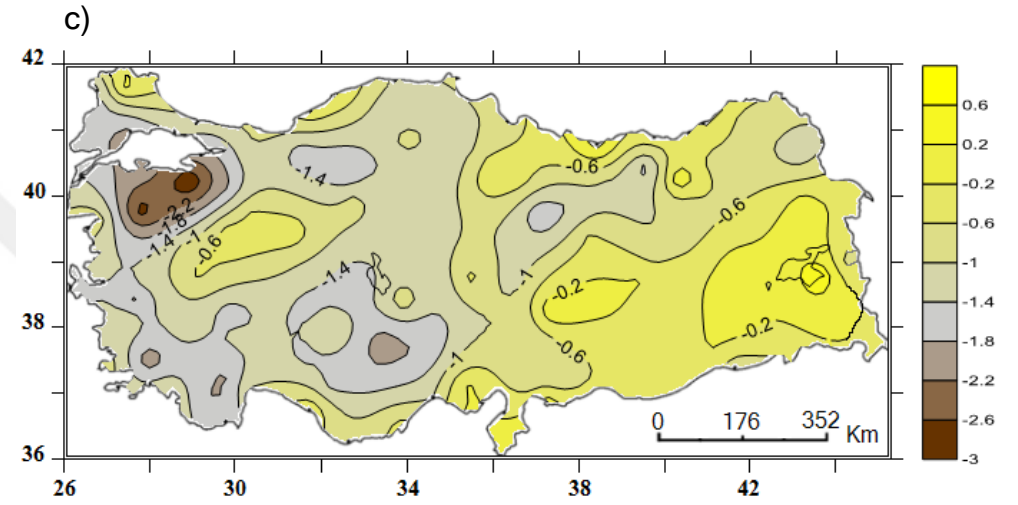
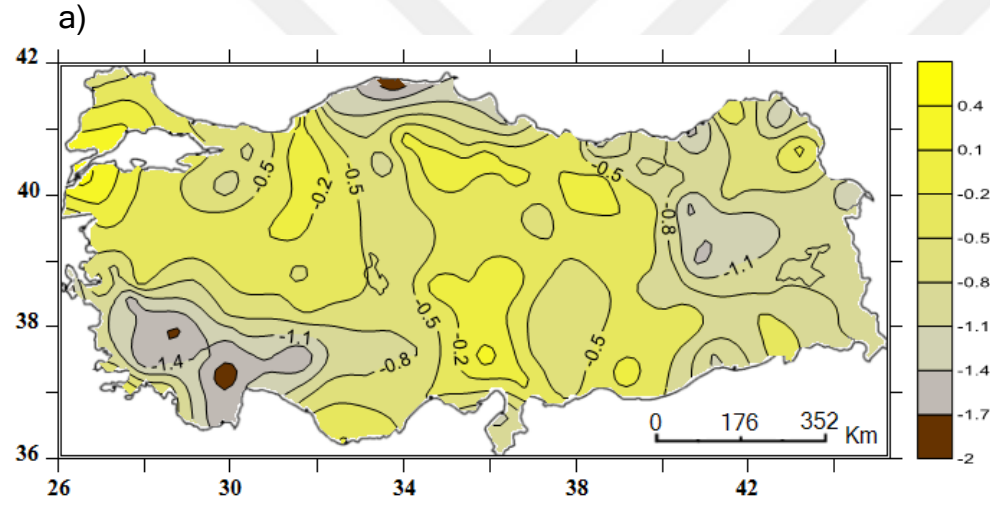
1979 yılı sonbahar (a), kış (b), ilkbahar (c) ve yıllık (d) minimum SYİ değerlerinin dağılışı.



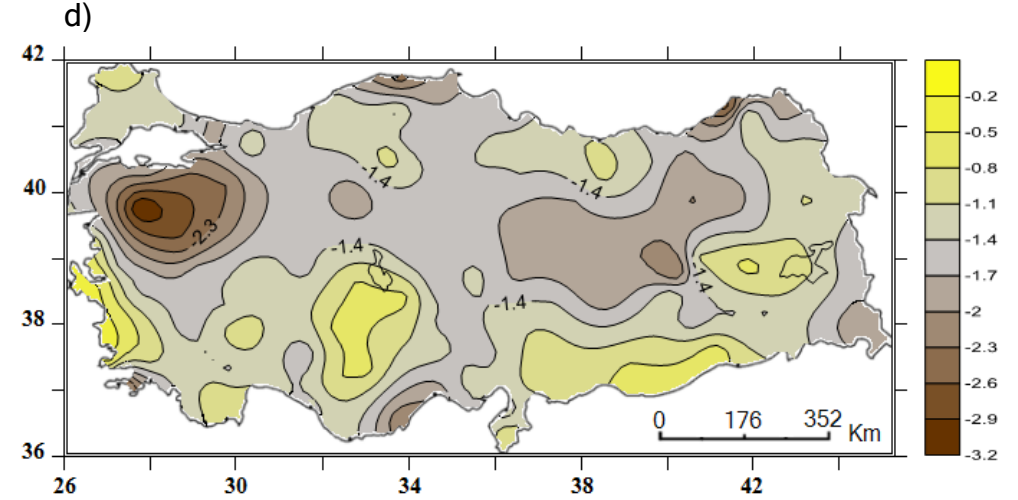
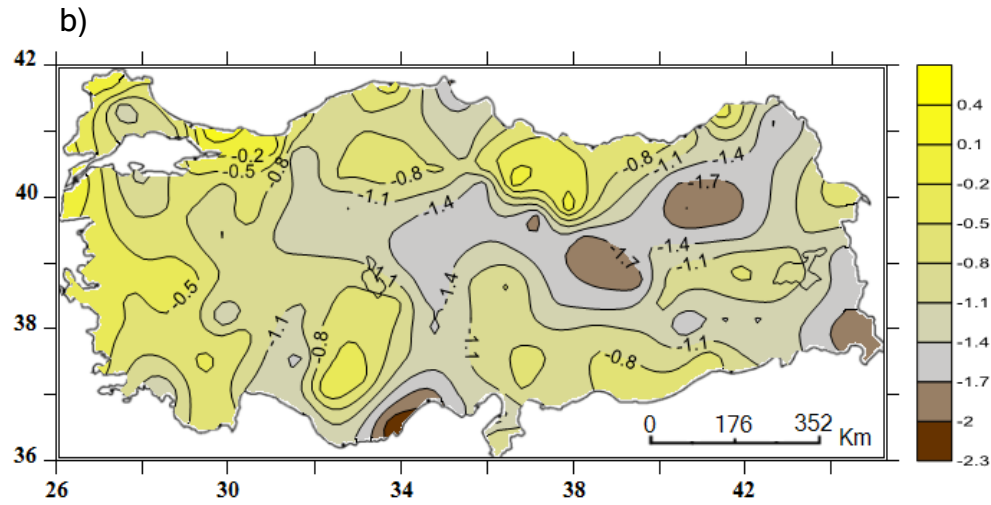
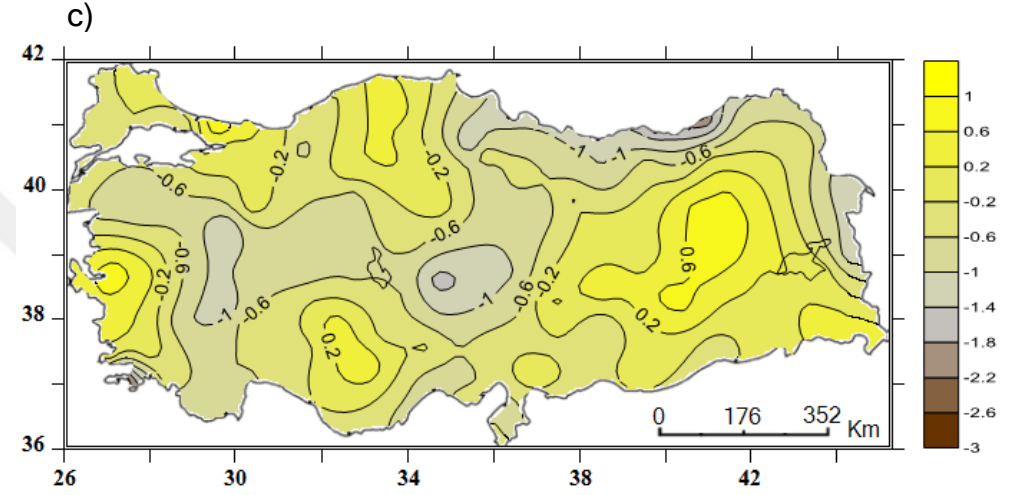
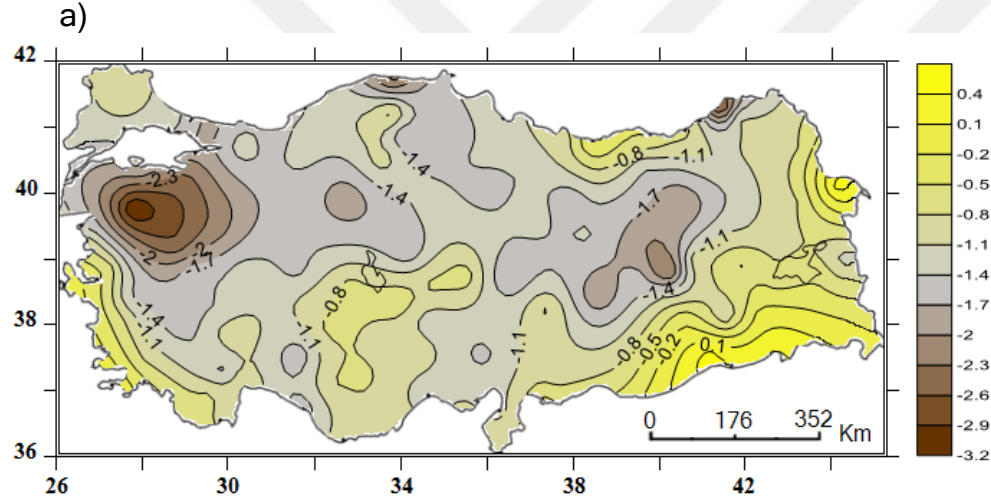
1980 yılı sonbahar (a), kış (b), ilkbahar (c) ve yıllık (d) minimum SYİ değerlerinin dağılışı.



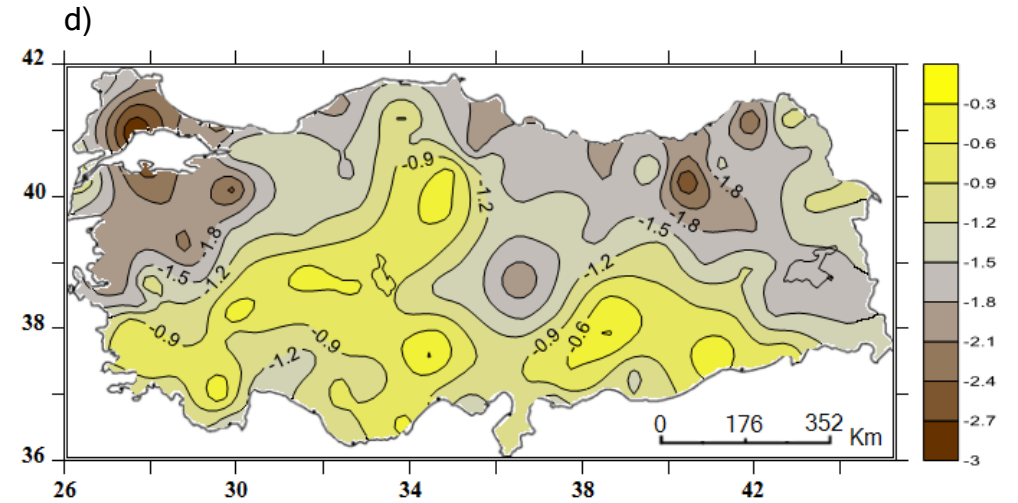
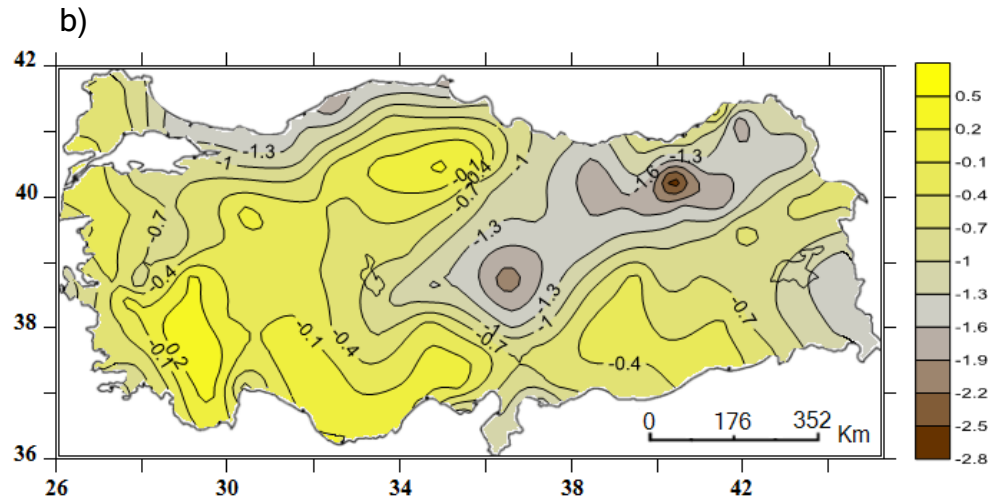
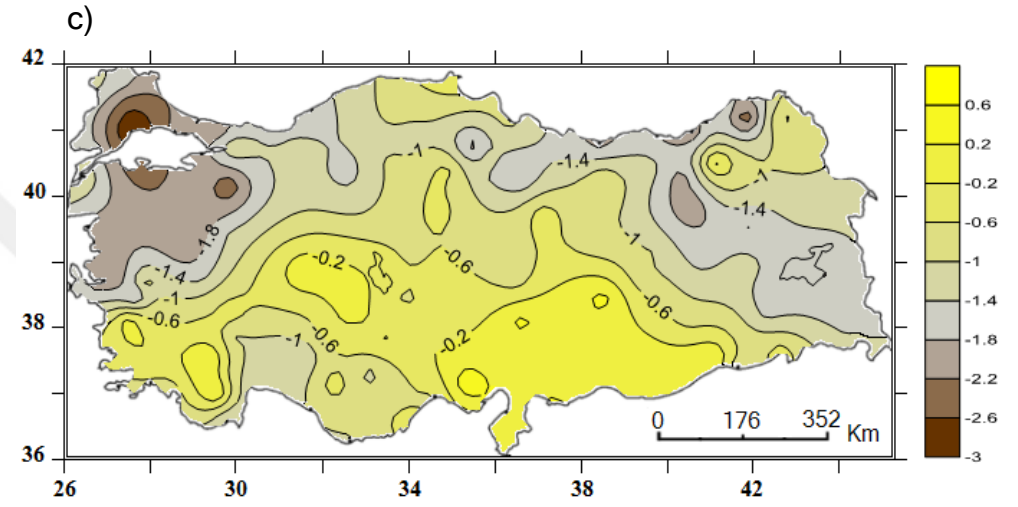
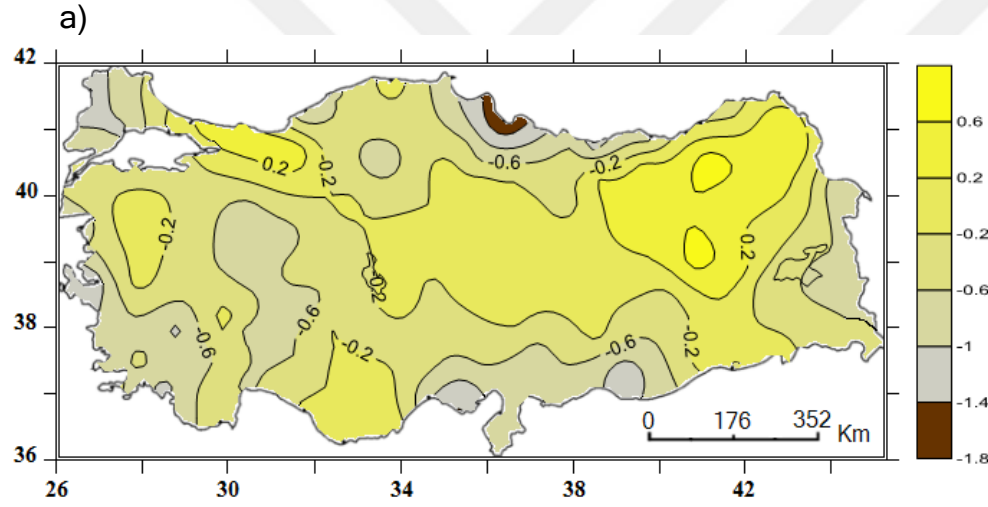
1981 yılı sonbahar (a), kış (b), ilkbahar (c) ve yıllık (d) minimum SYİ değerlerinin dağılışı.



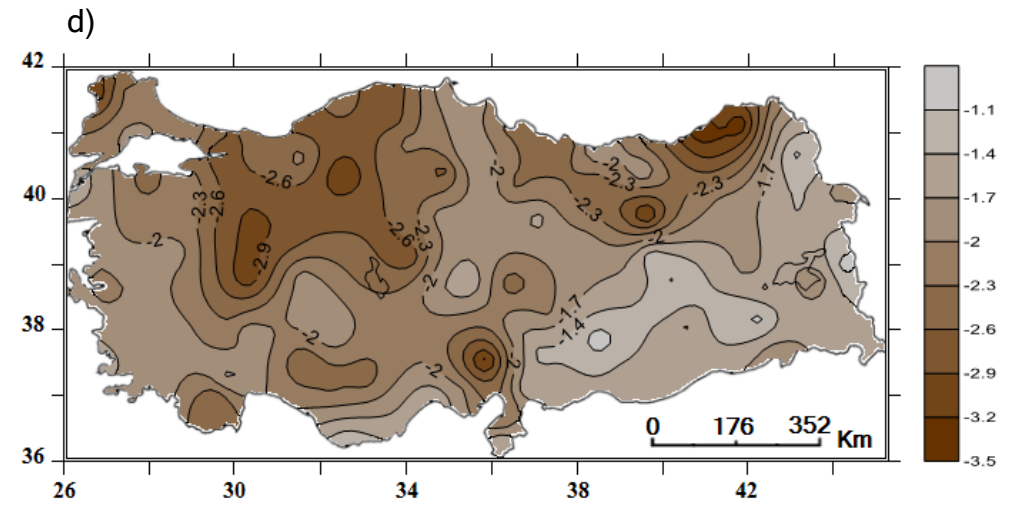
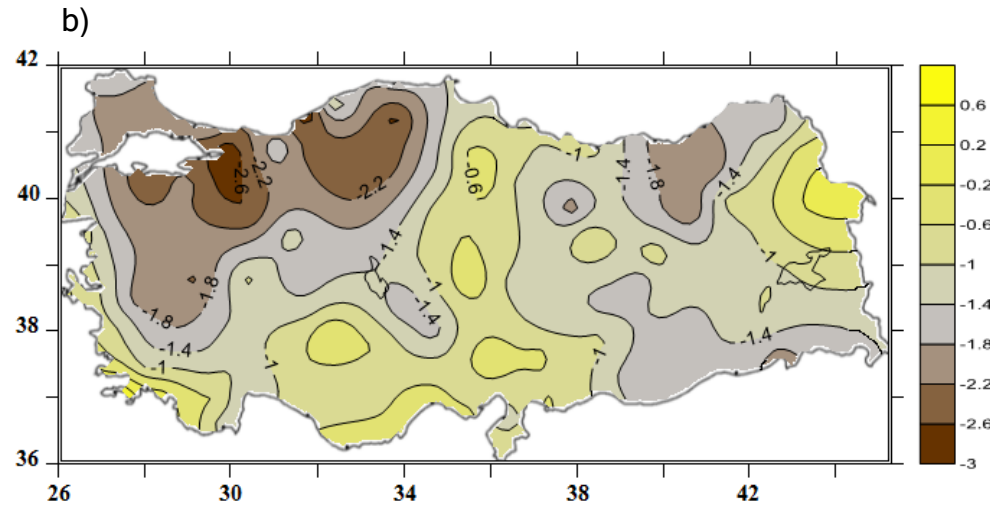
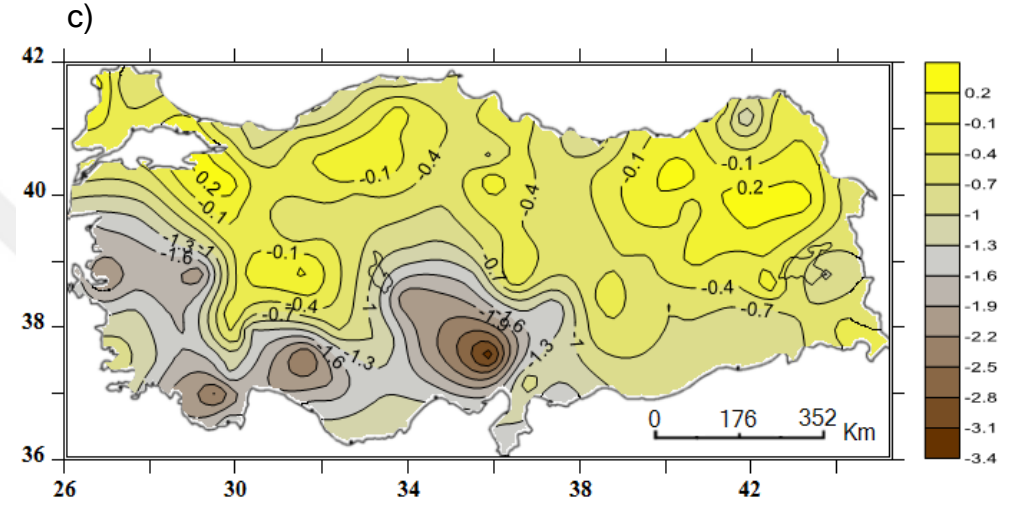
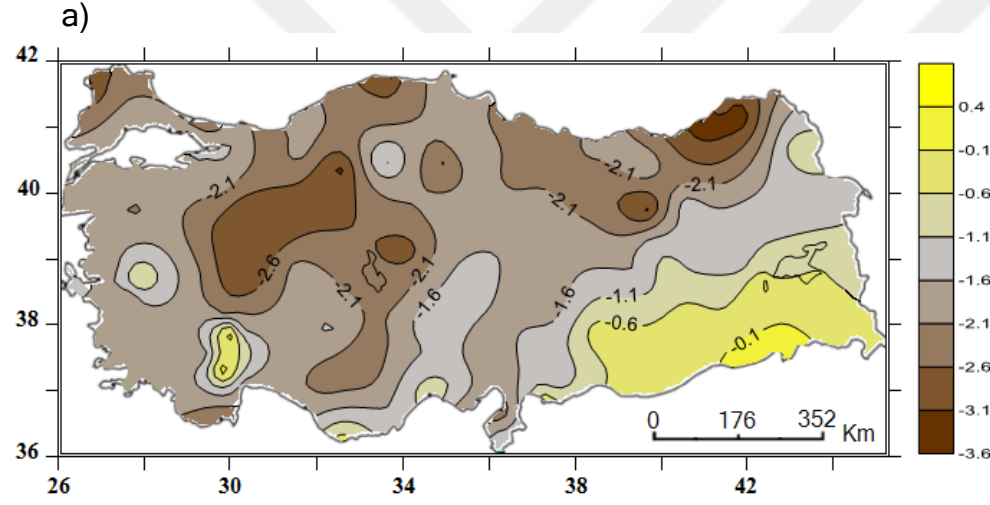
1982 yılı sonbahar (a), kış (b), ilkbahar (c) ve yıllık (d) minimum SYİ değerlerinin dağılışı.



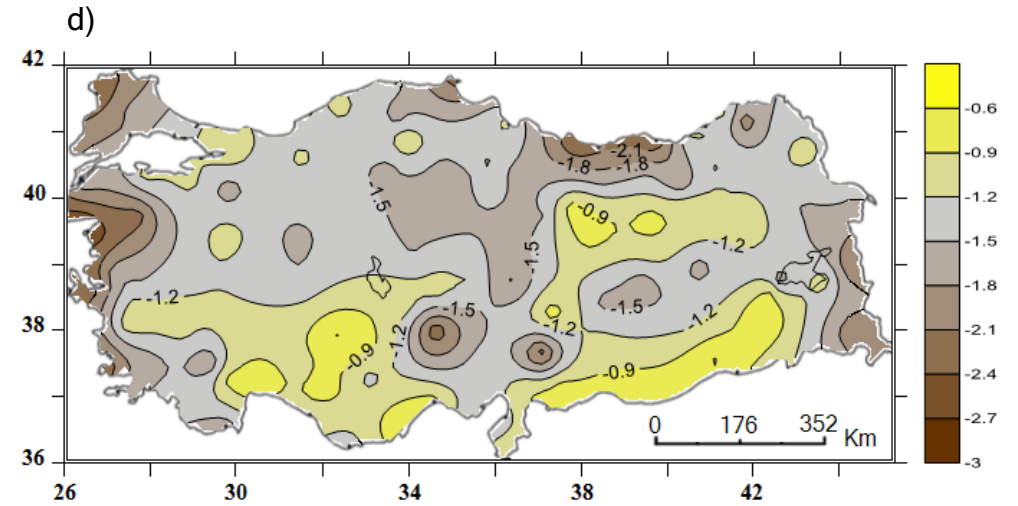
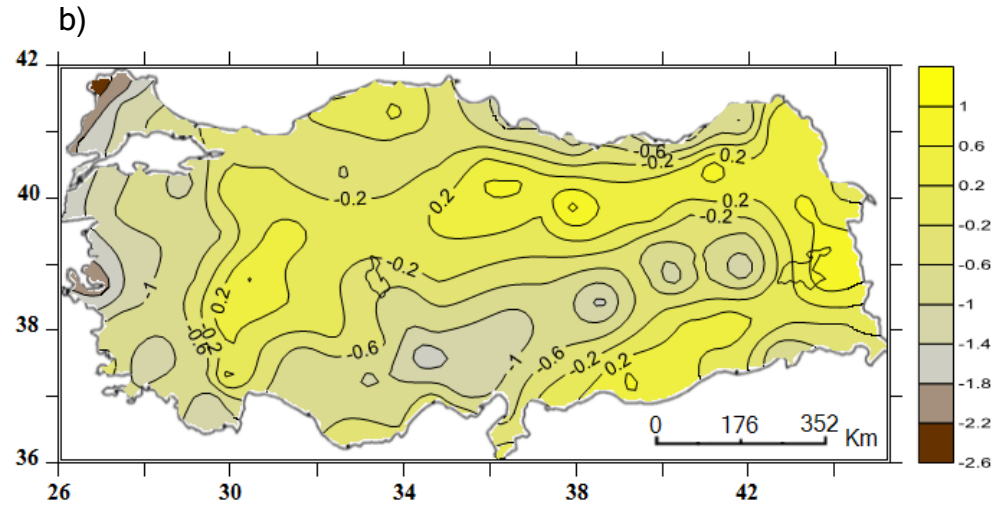
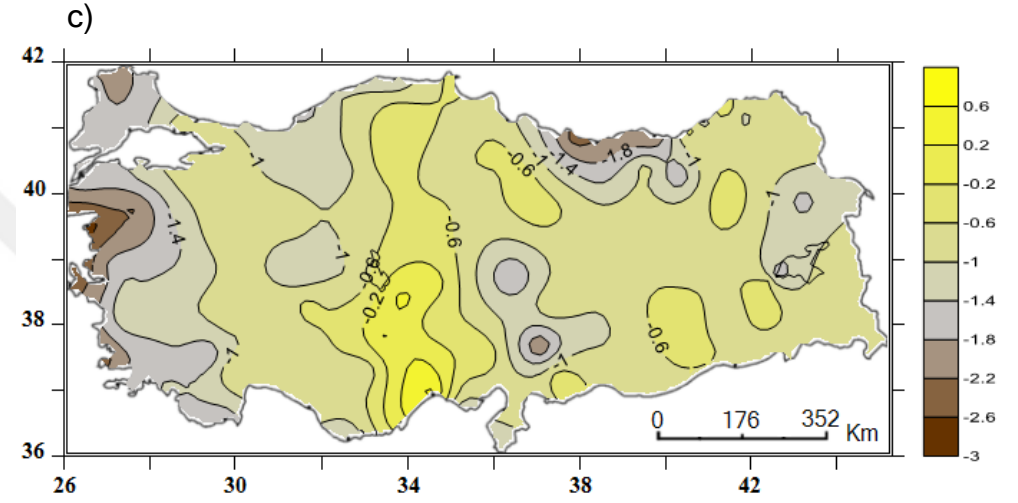
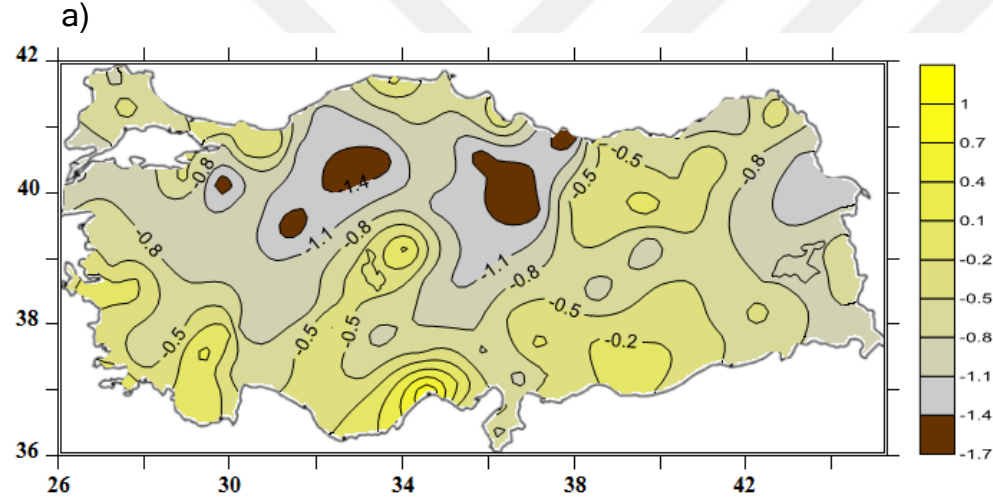
1983 yılı sonbahar (a), kış (b), ilkbahar (c) ve yıllık (d) minimum SYİ değerlerinin dağılışı.



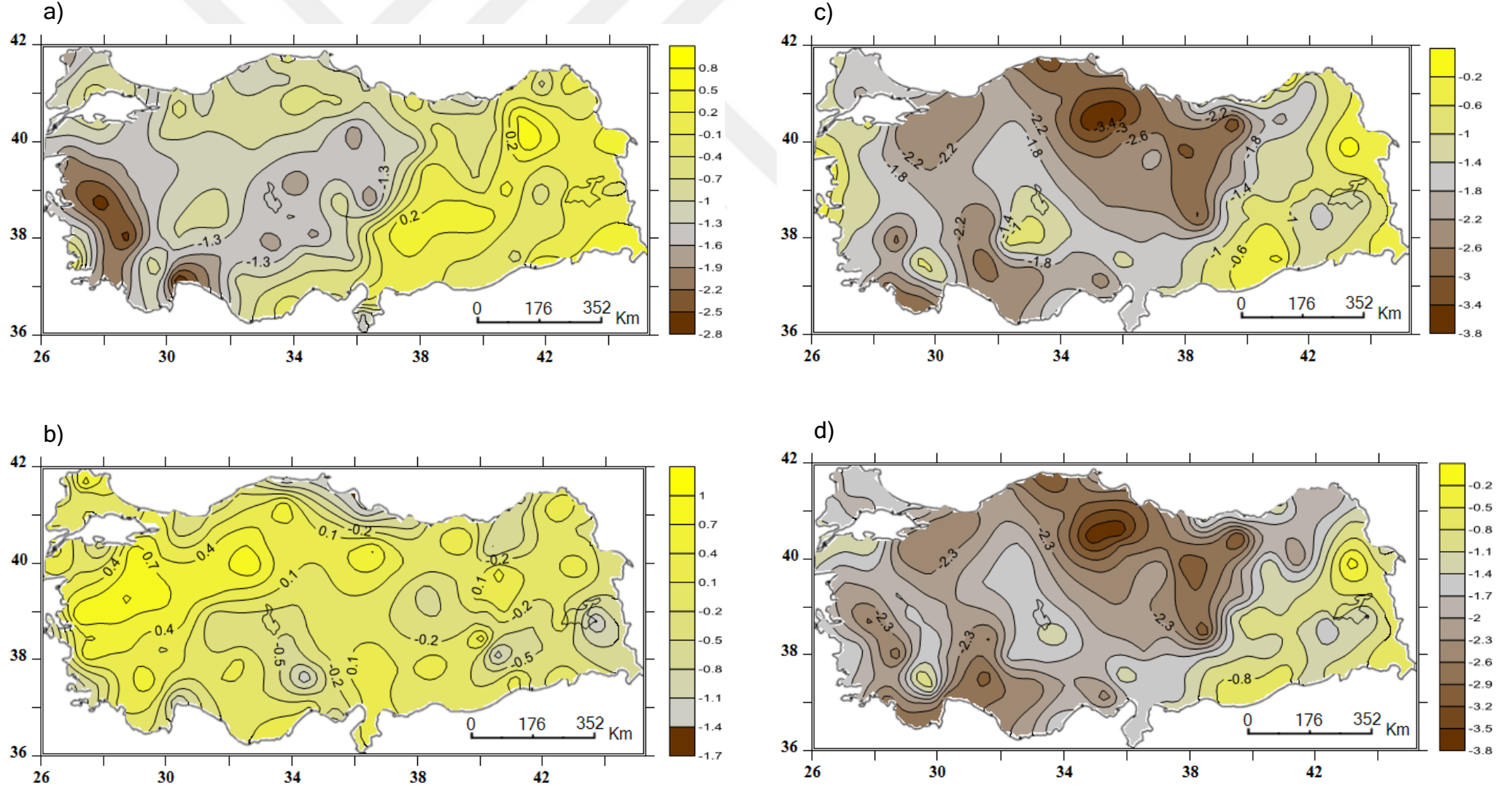
1984 yılı sonbahar (a), kış (b), ilkbahar (c) ve yıllık (d) minimum SYİ değerlerinin dağılışı.



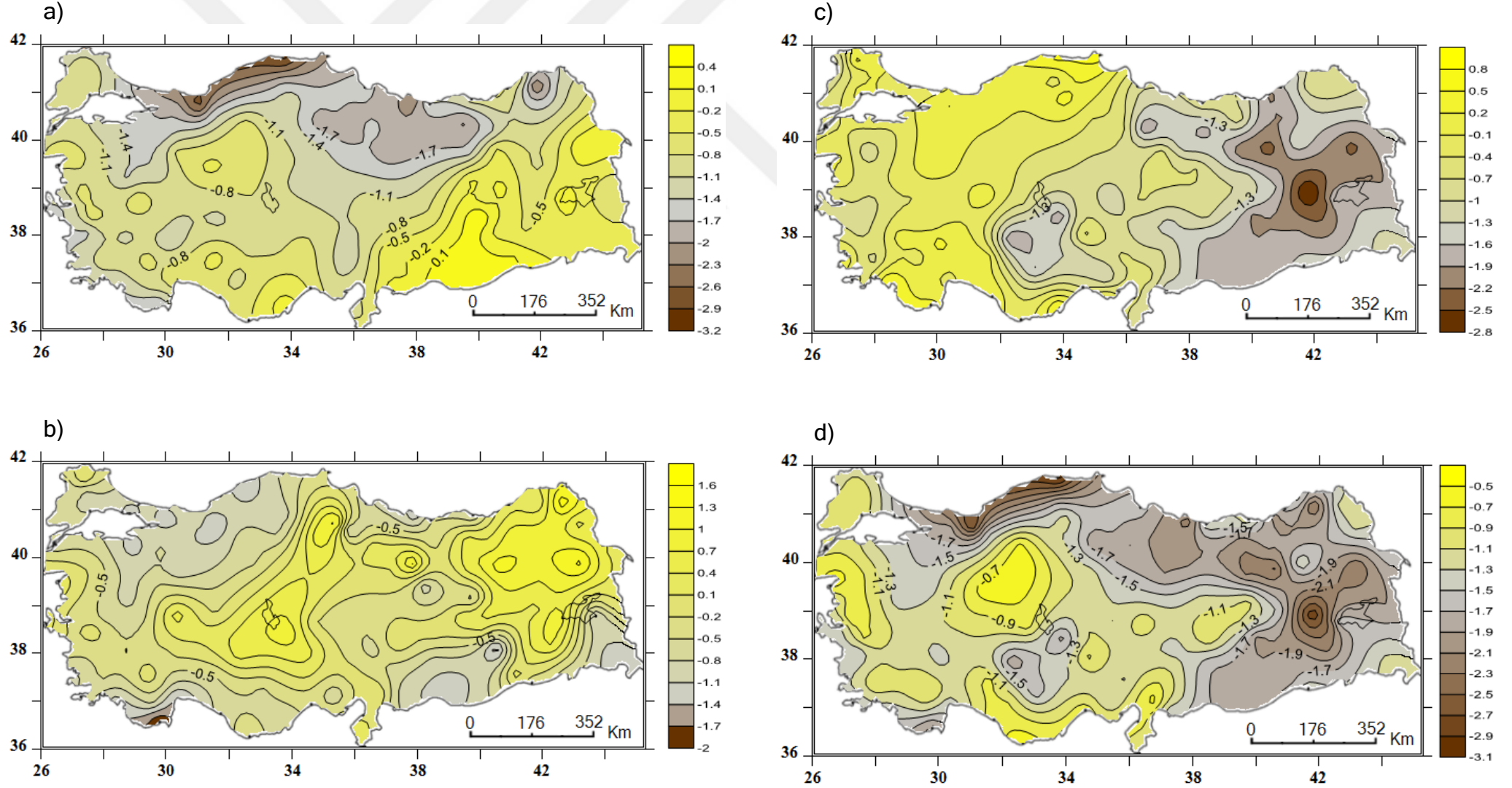
1985 yılı sonbahar (a), kış (b), ilkbahar (c) ve yıllık (d) minimum SYİ değerlerinin dağılışı.



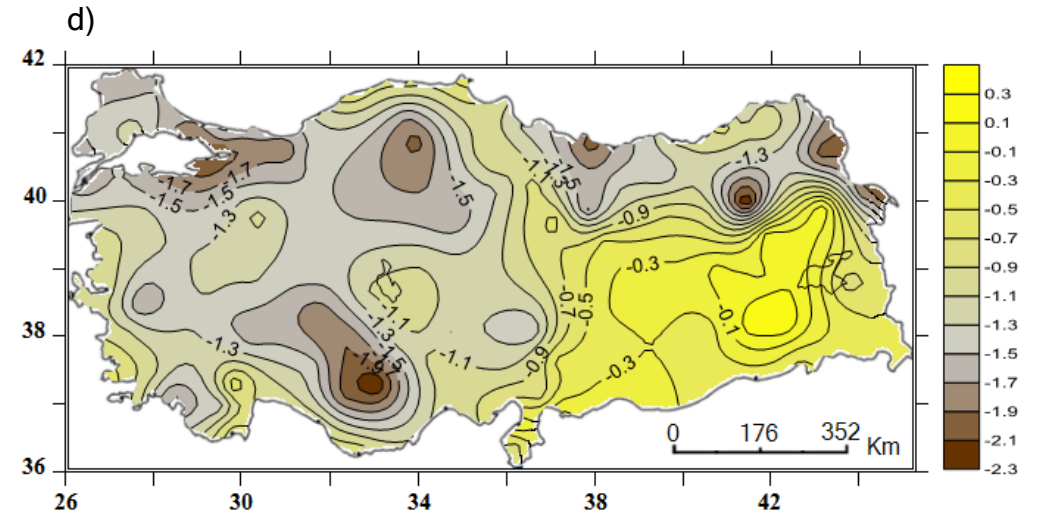
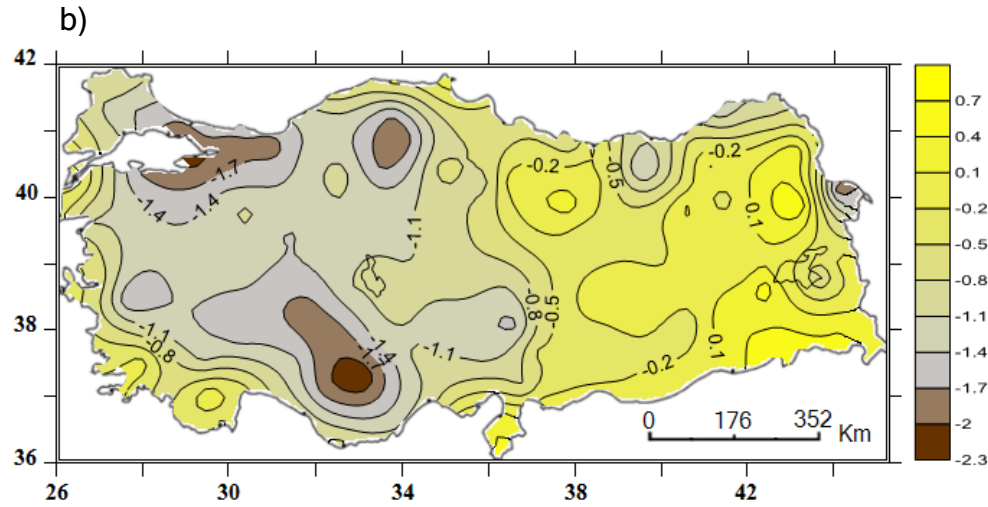
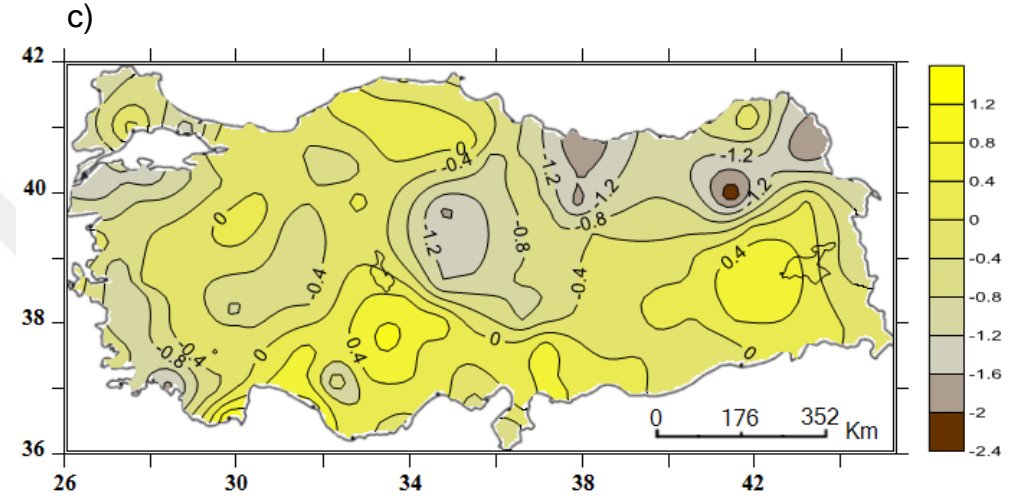
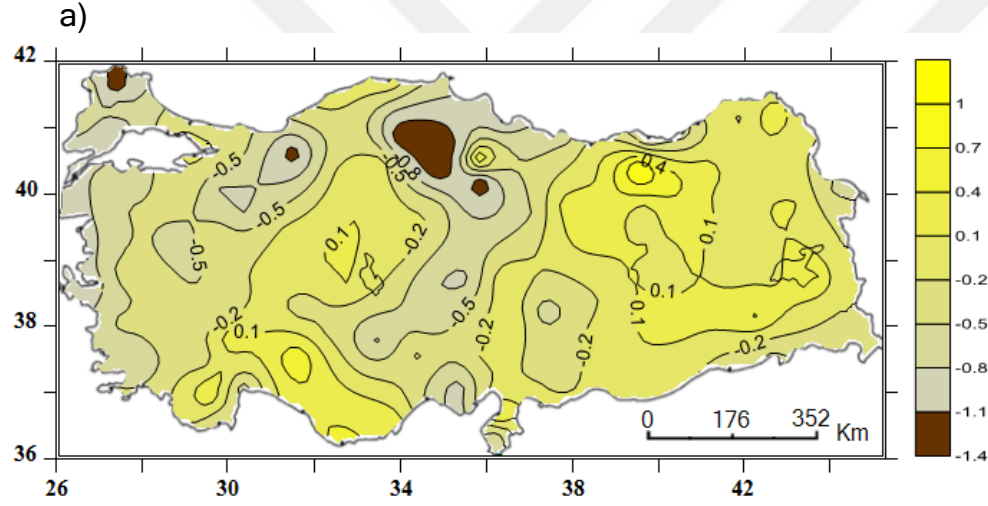
1986 yılı sonbahar (a), kış (b), ilkbahar (c) ve yıllık (d) minimum SYİ değerlerinin dağılışı.



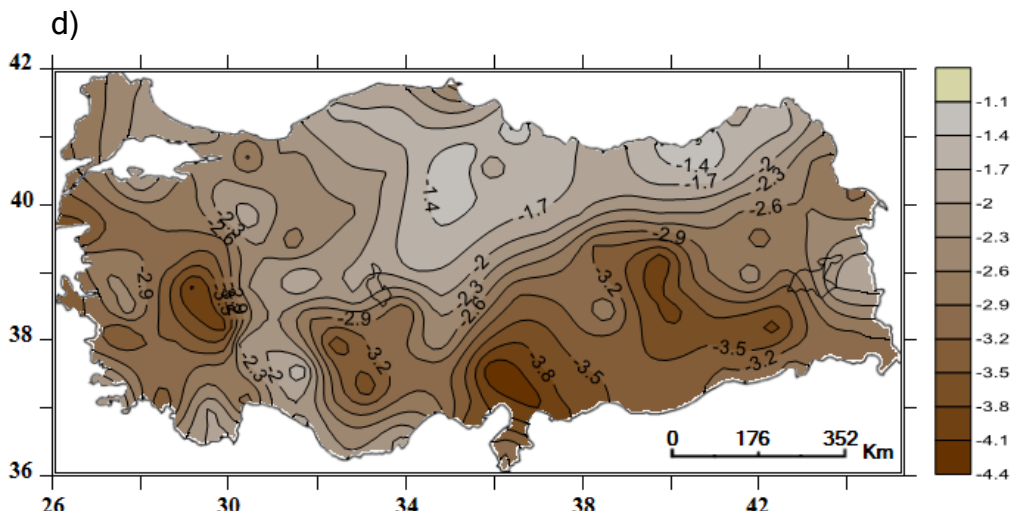
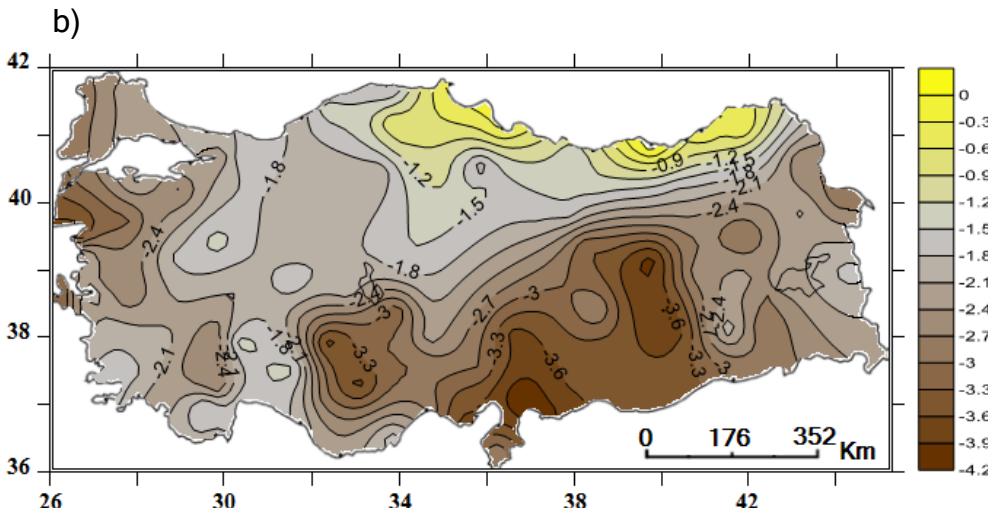
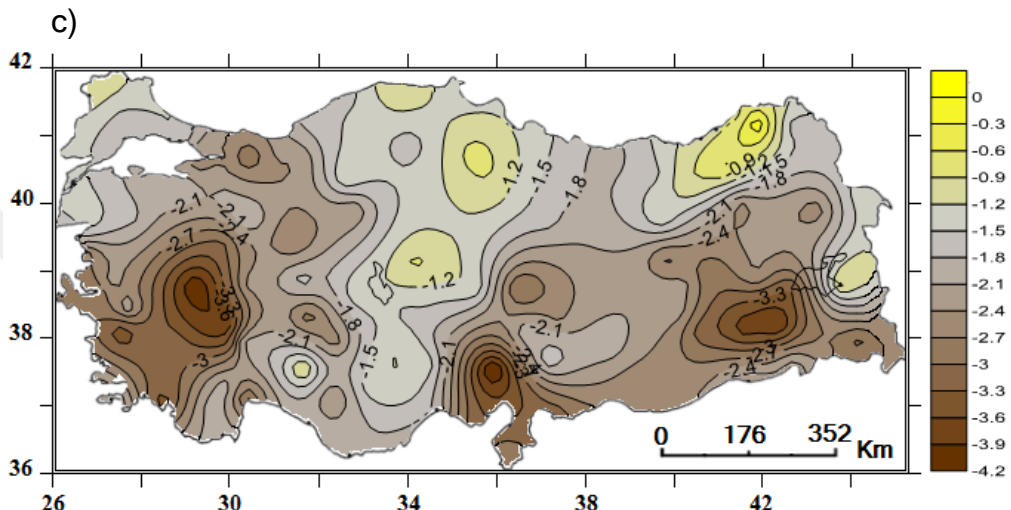
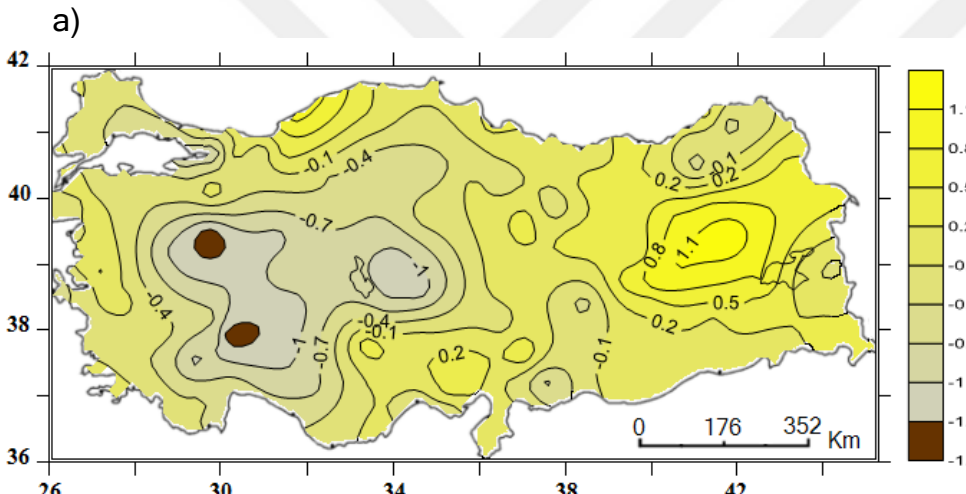
1987 yılı sonbahar (a), kış (b), ilkbahar (c) ve yıllık (d) minimum SYİ değerlerinin dağılışı.



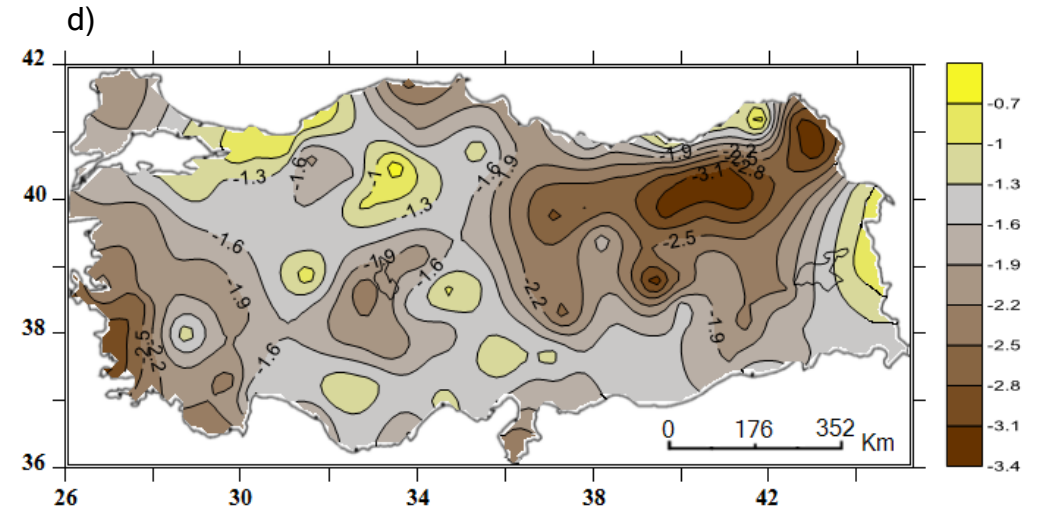
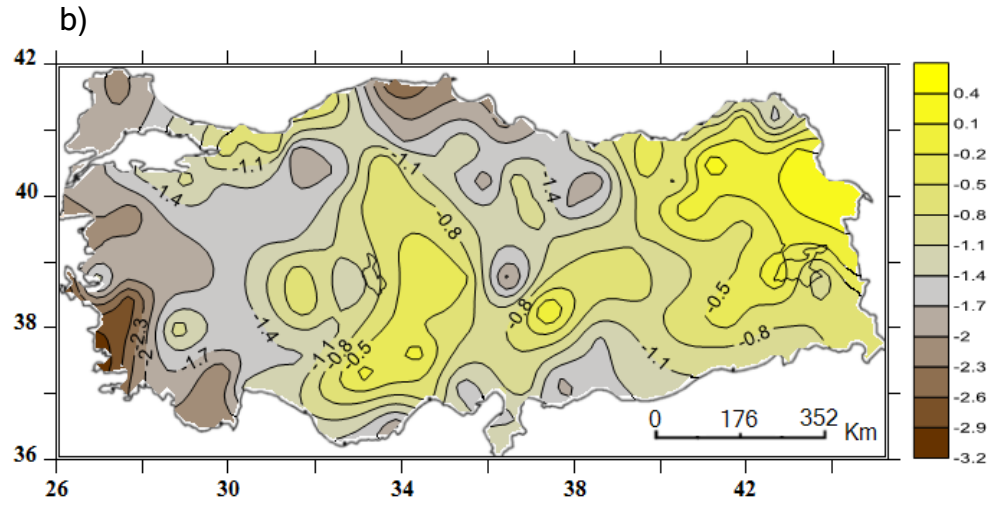
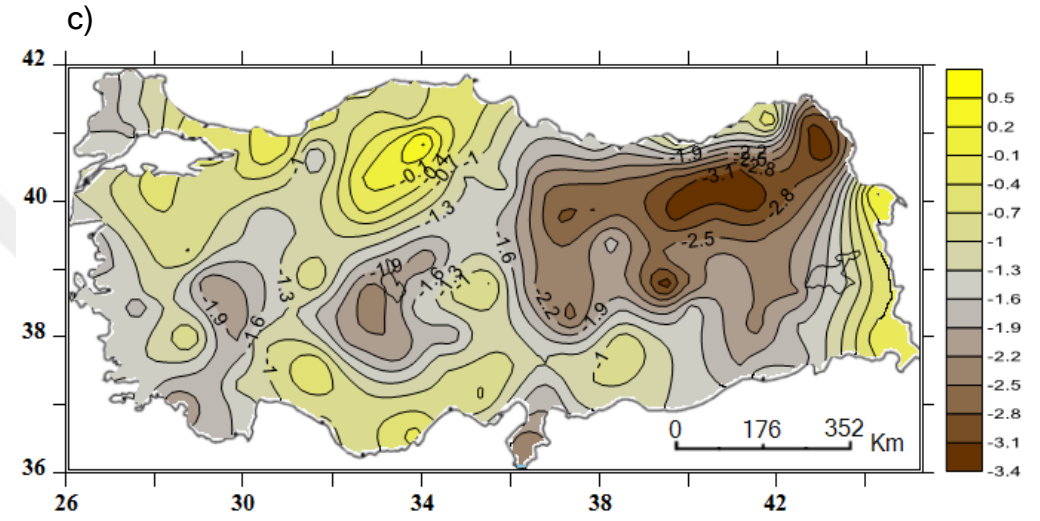
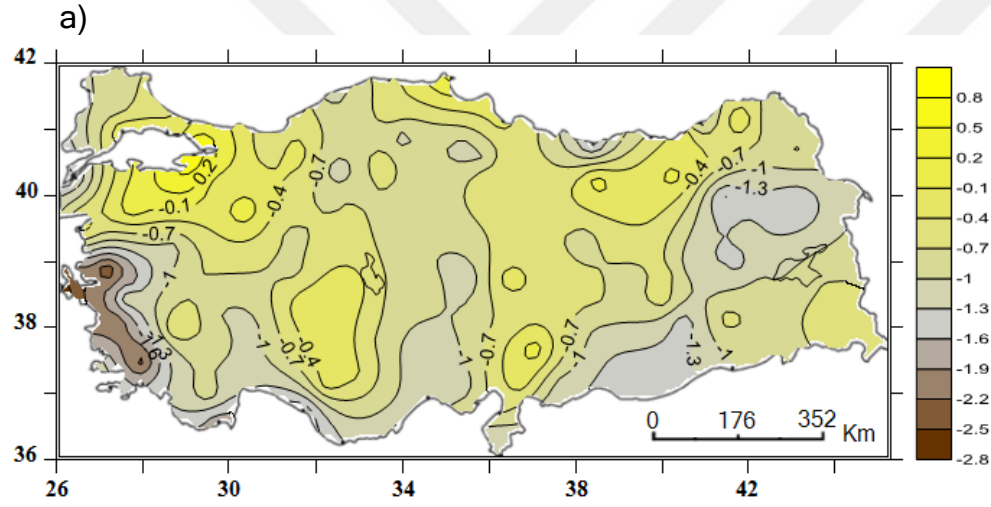
1988 yılı sonbahar (a), kış (b), ilkbahar (c) ve yıllık (d) minimum SYİ değerlerinin dağılışı.



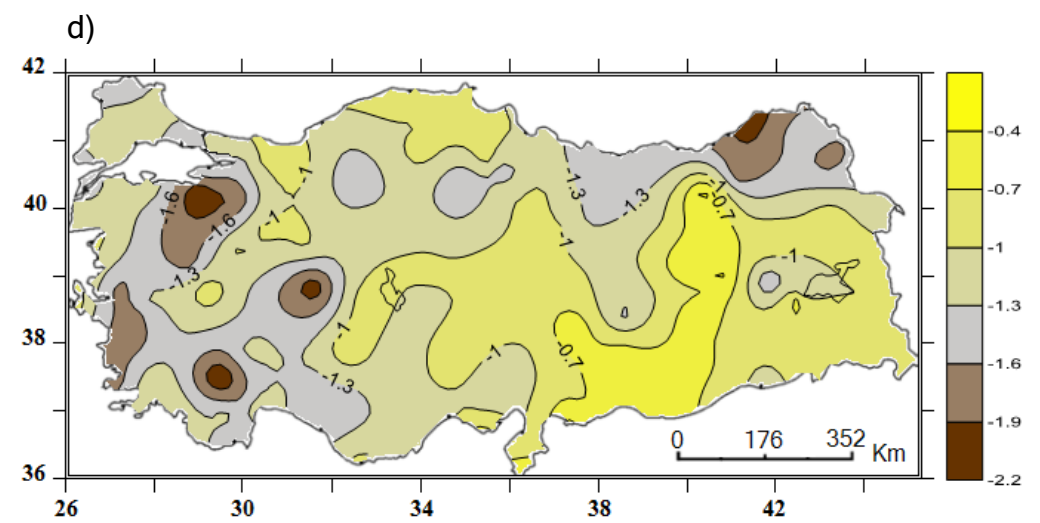
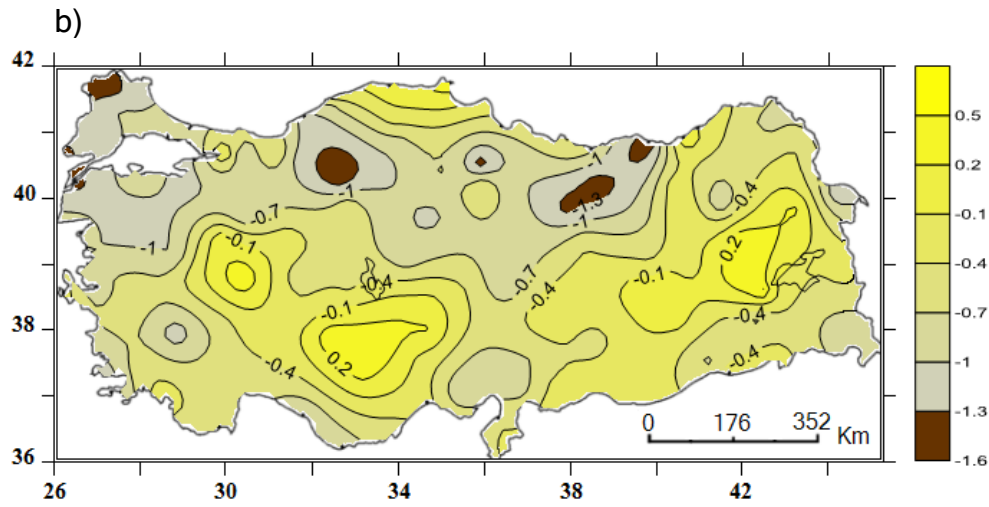
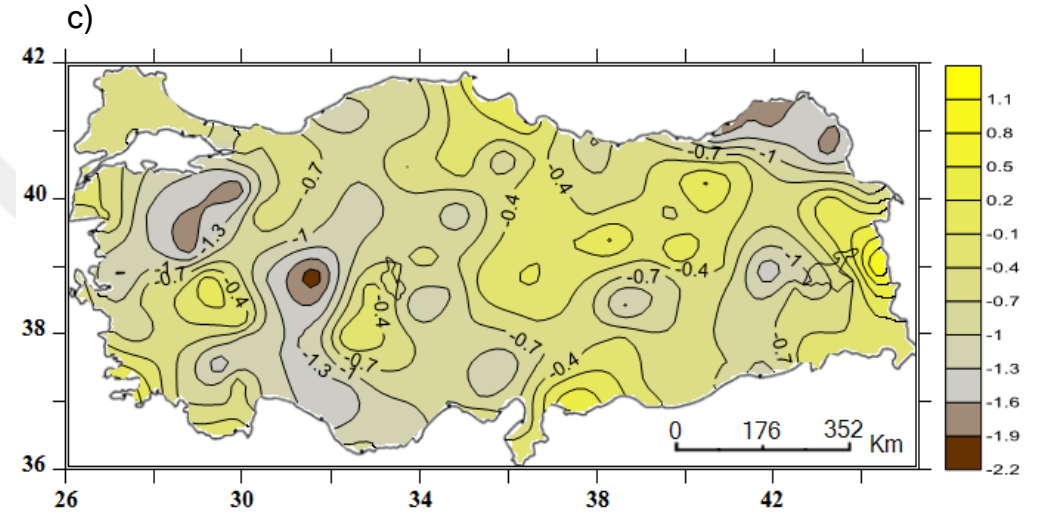
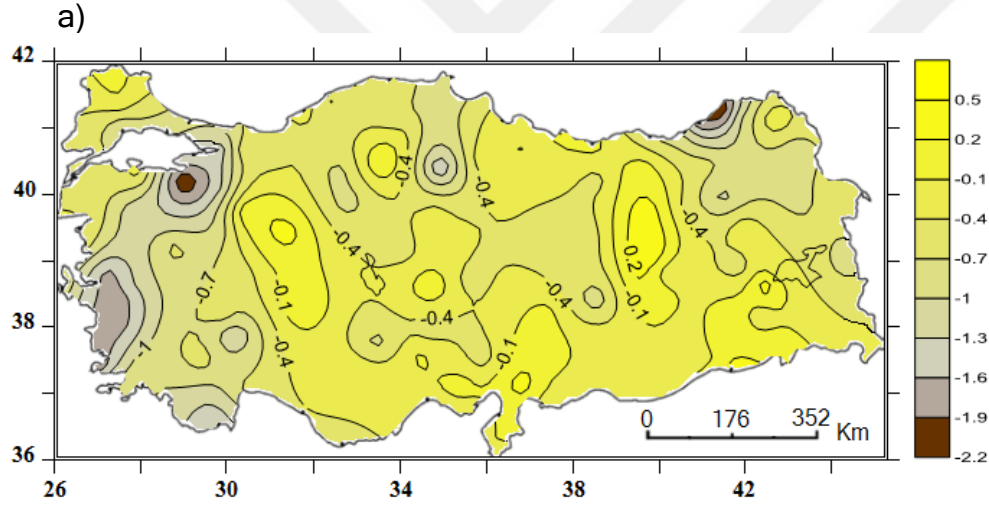
bahar (a), kış (b), ilkbahar (c) ve yıllık (d) minimum
inin dağılışı.



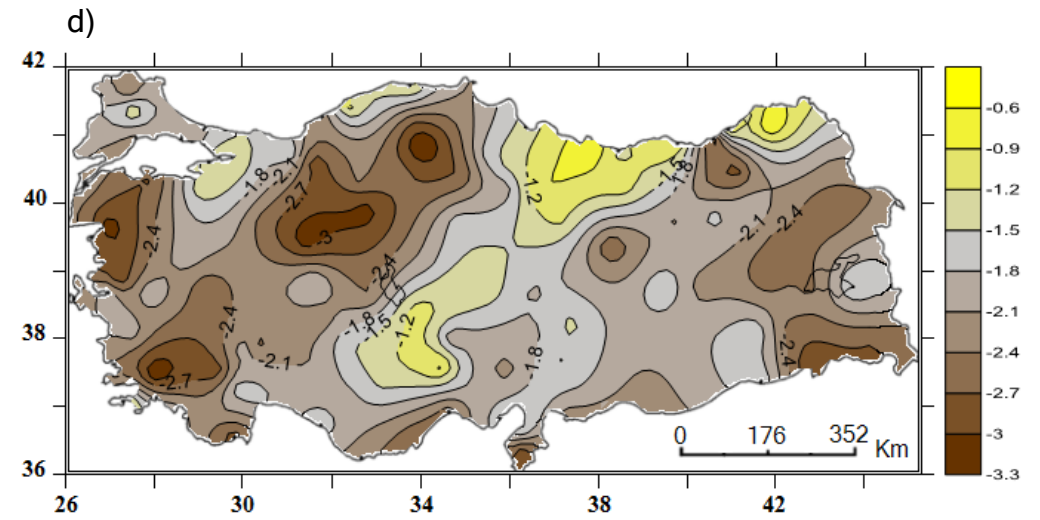
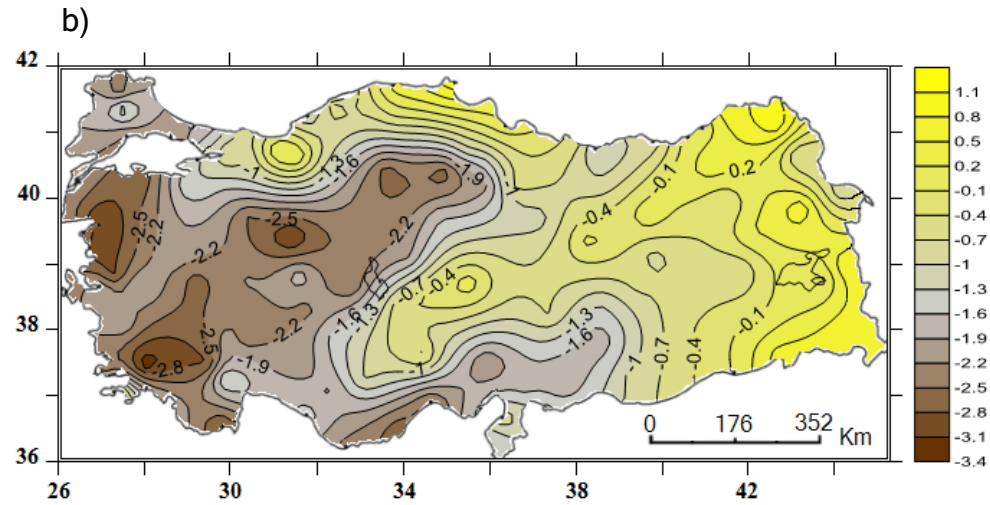
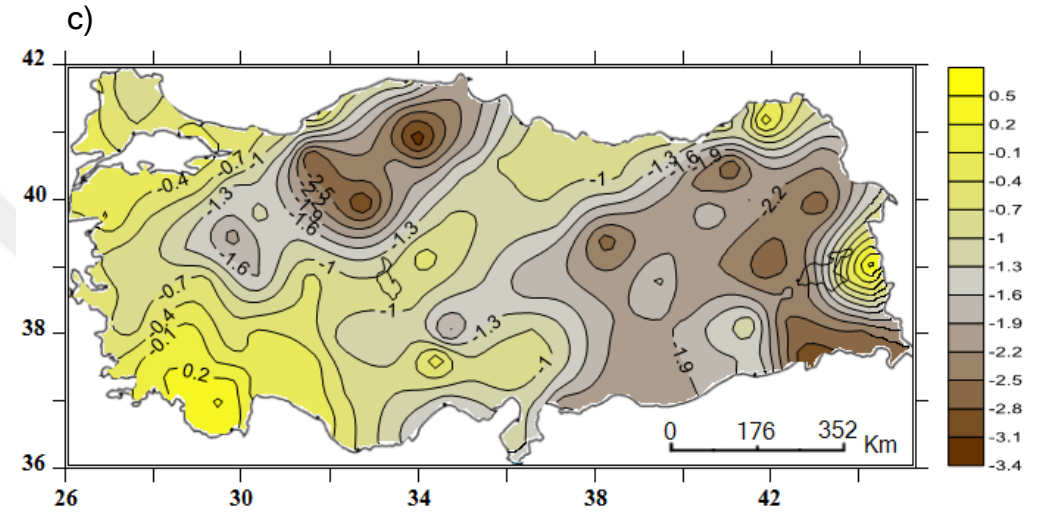
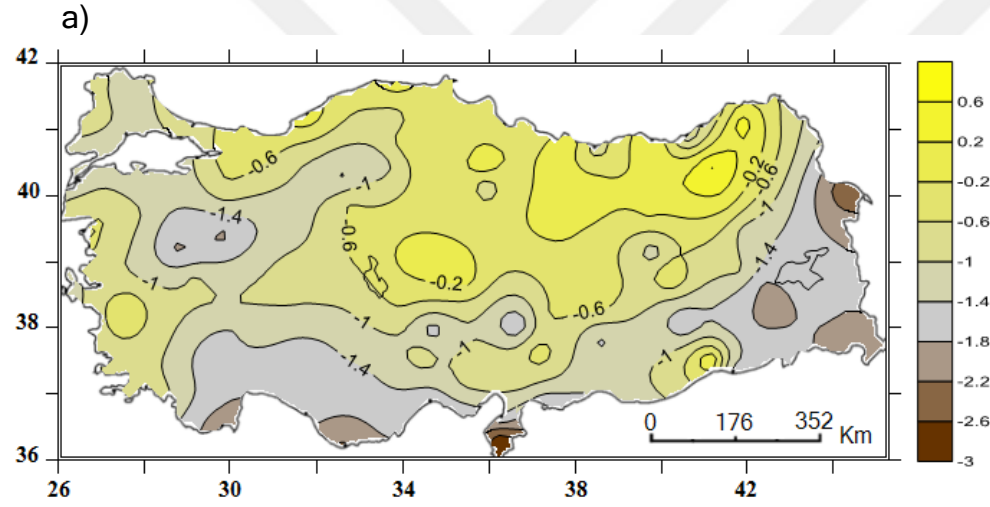
1990 yılı sonbahar (a), kış (b), ilkbahar (c) ve yıllık (d) minimum SYİ değerlerinin dağılışı.



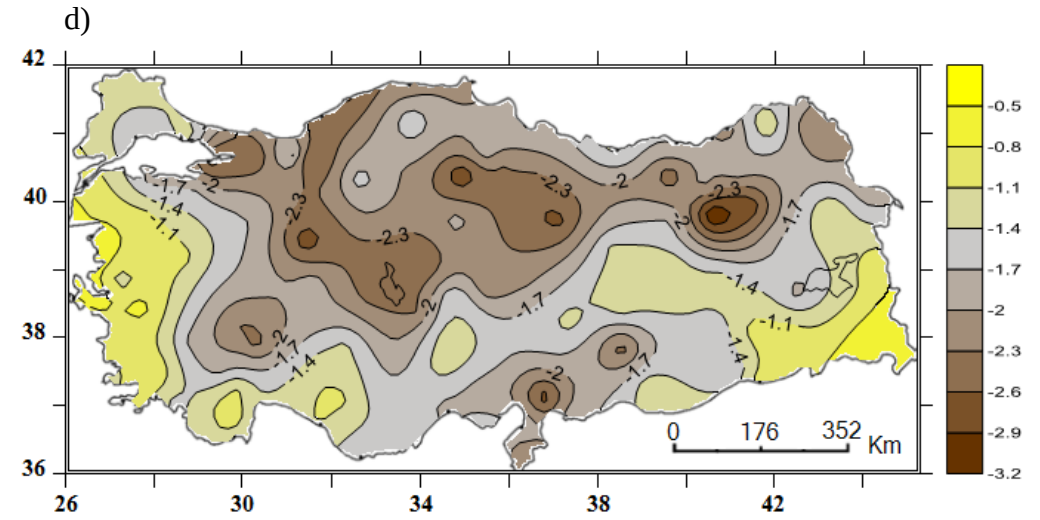
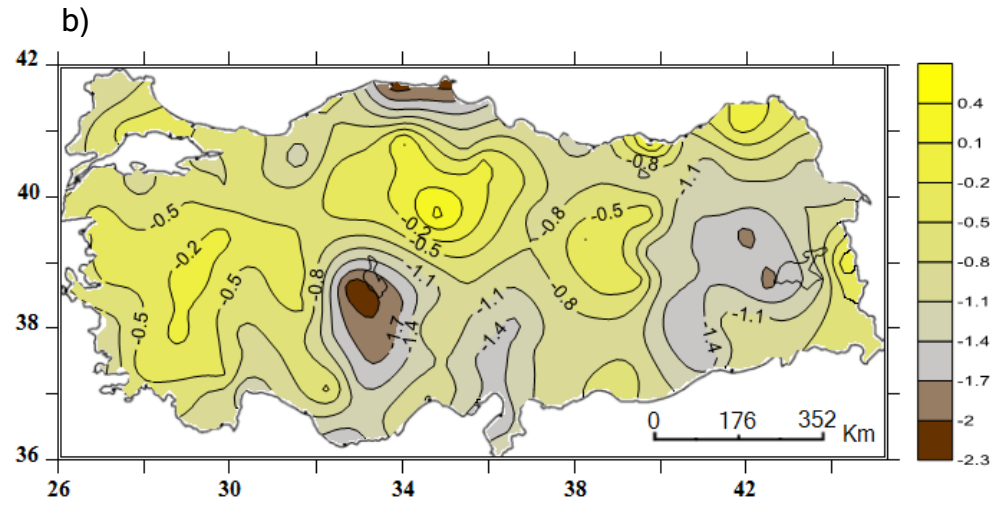
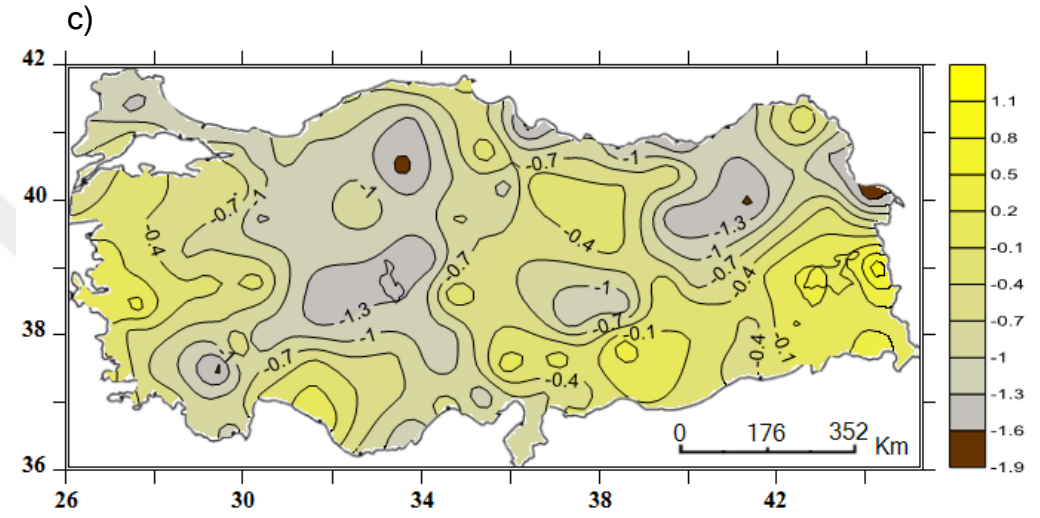
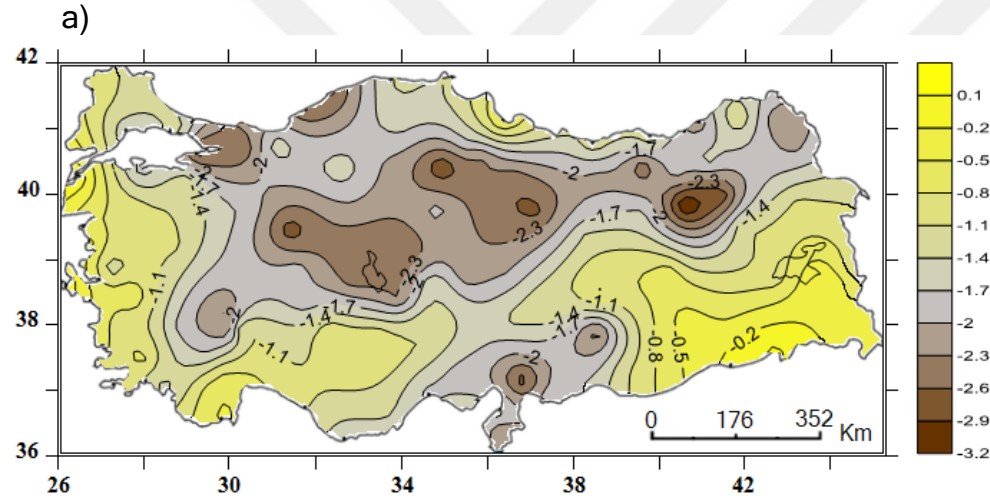
1991 yılı sonbahar (a), kış (b), ilkbahar (c) ve yıllık (d) minimum SYİ değerlerinin dağılışı.



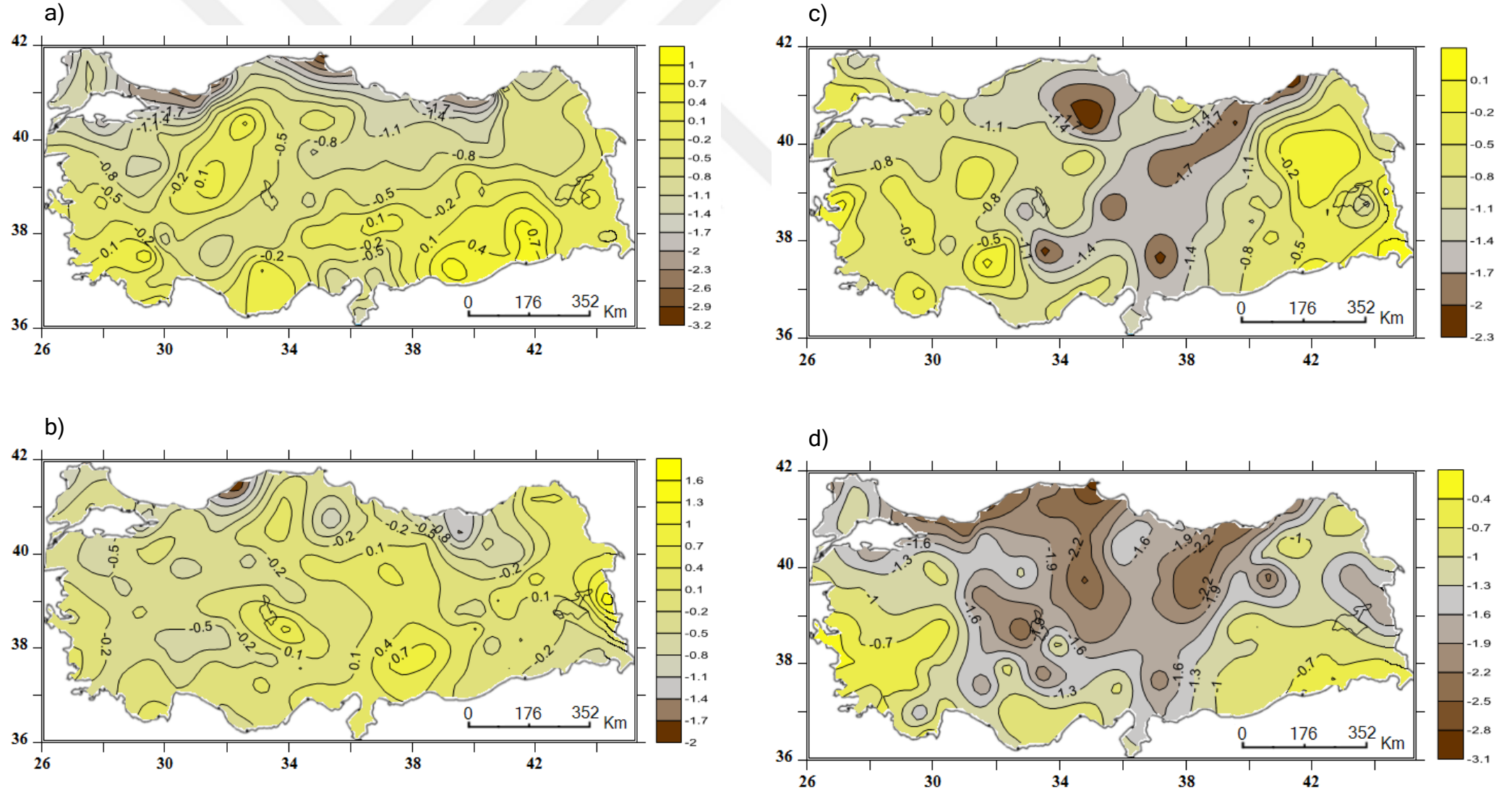
1992 yılı sonbahar (a), kış (b), ilkbahar (c) ve yıllık (d) minimum SYİ değerlerinin dağılışı.



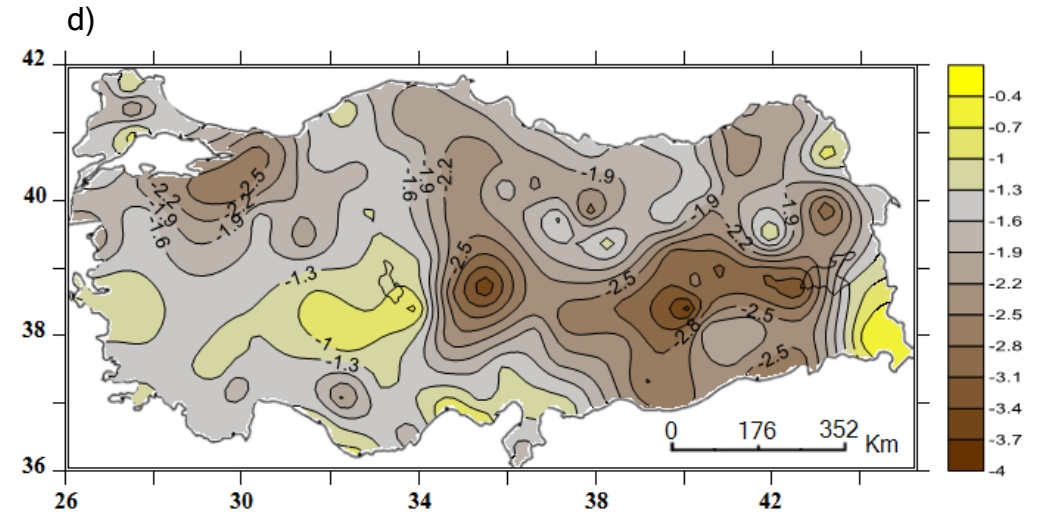
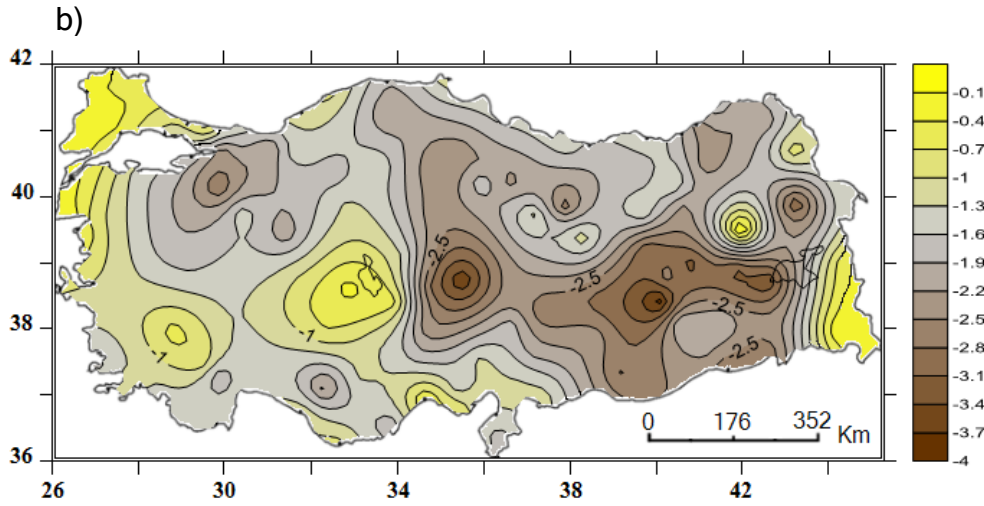
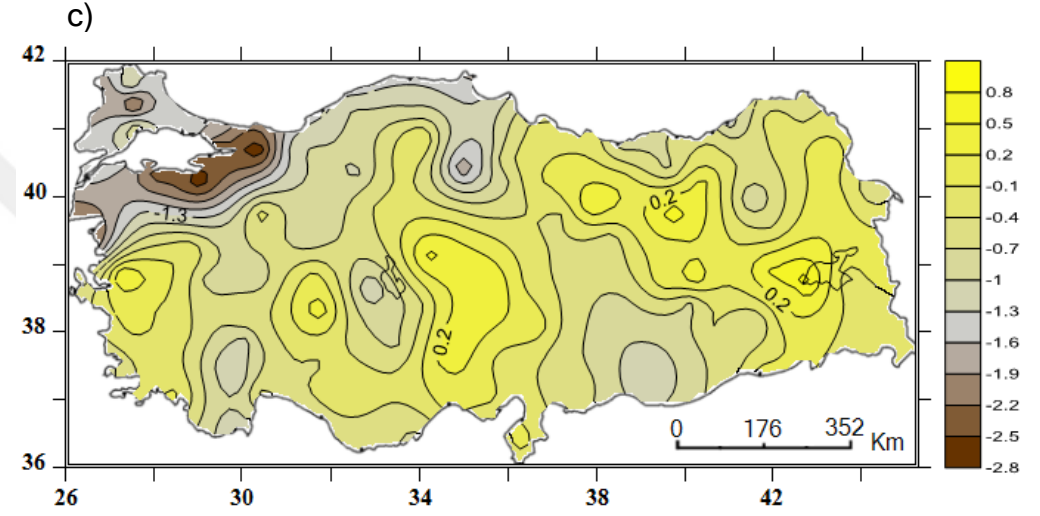
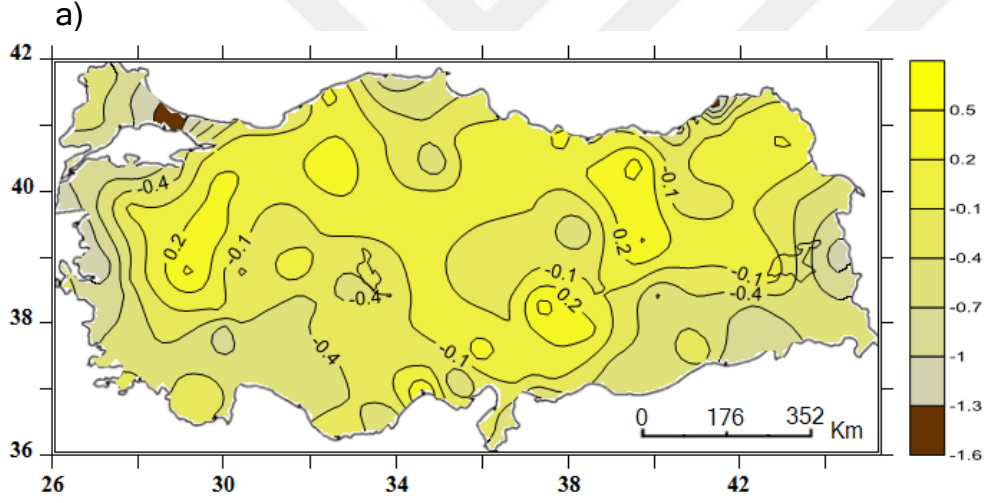
1993 yılı sonbahar (a), kış (b), ilkbahar (c) ve yıllık (d) minimum SYİ değerlerinin dağılışı.



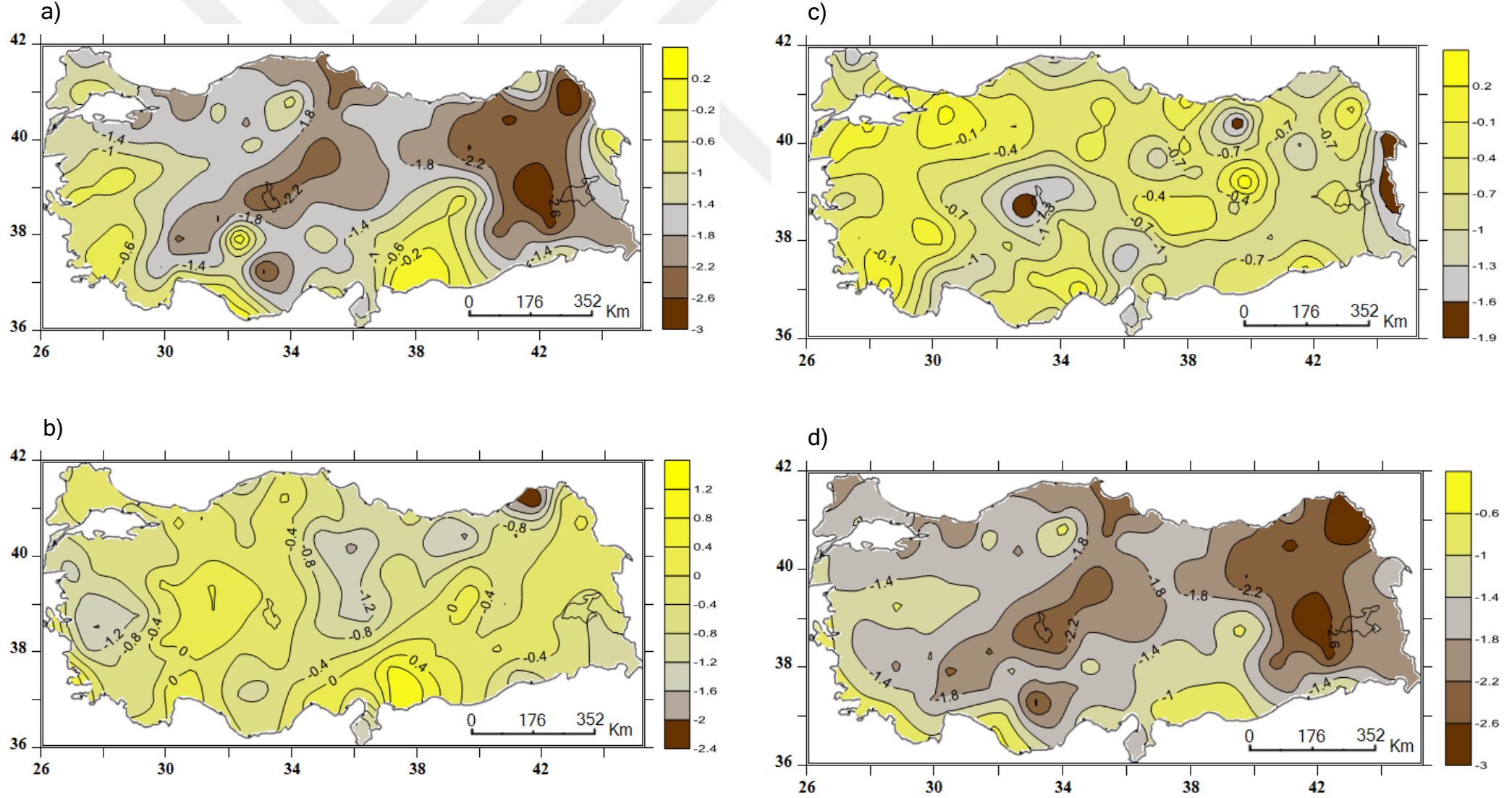
1994 yılı sonbahar (a), kış (b), ilkbahar (c) ve yıllık (d) minimum SYİ değerlerinin dağılışı.



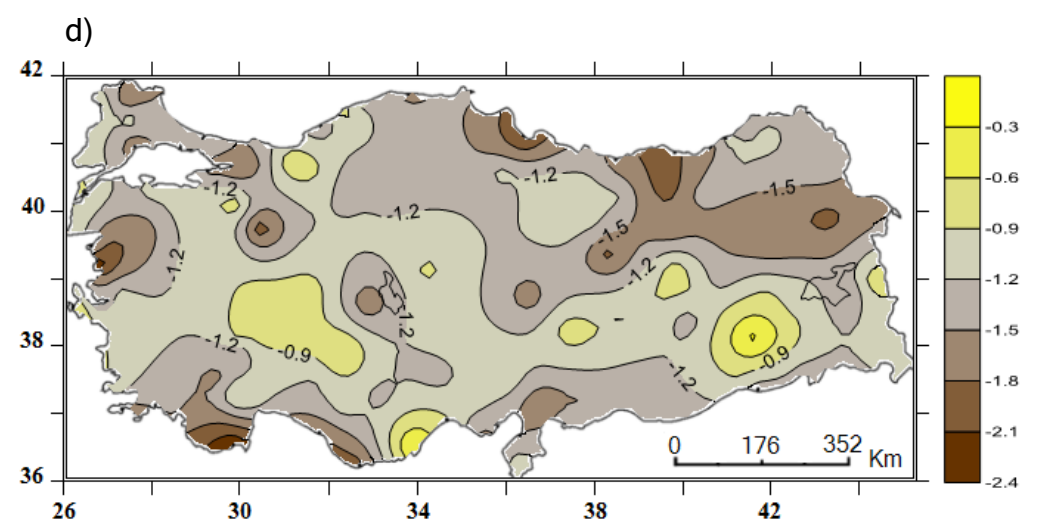
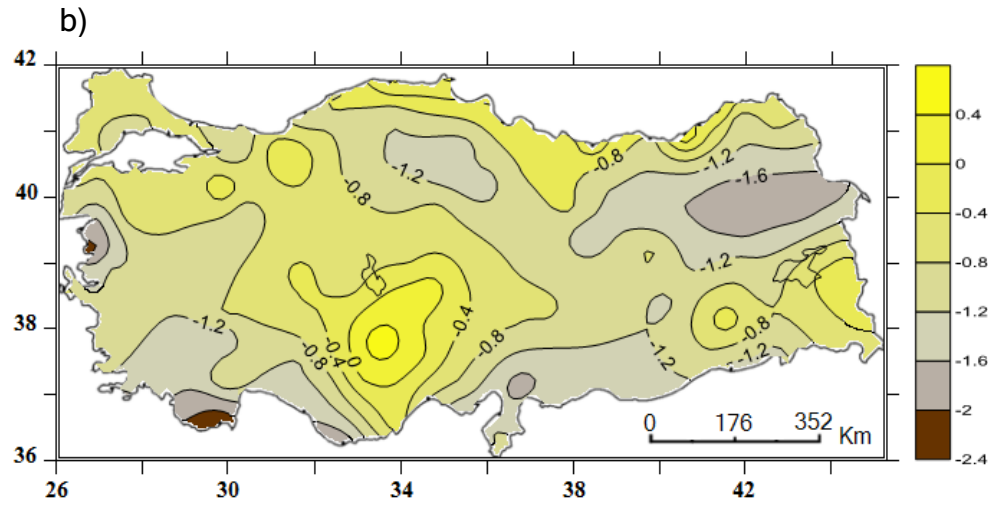
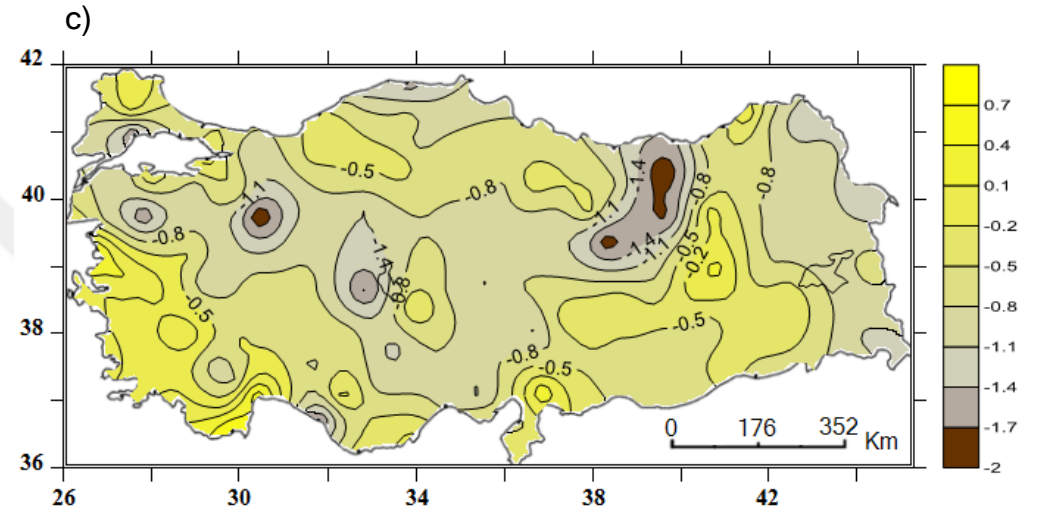
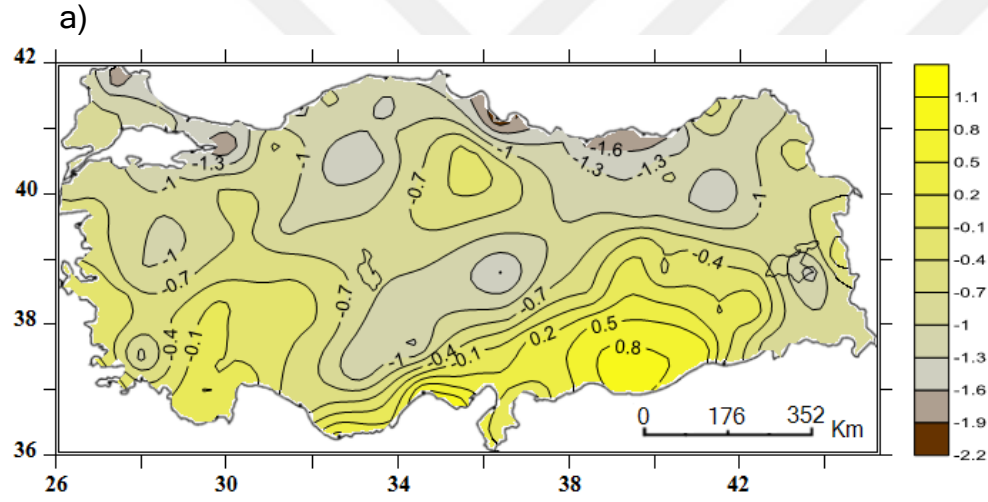
1995 yılı sonbahar (a), kış (b), ilkbahar (c) ve yıllık (d) minimum SYİ değerlerinin dağılışı.



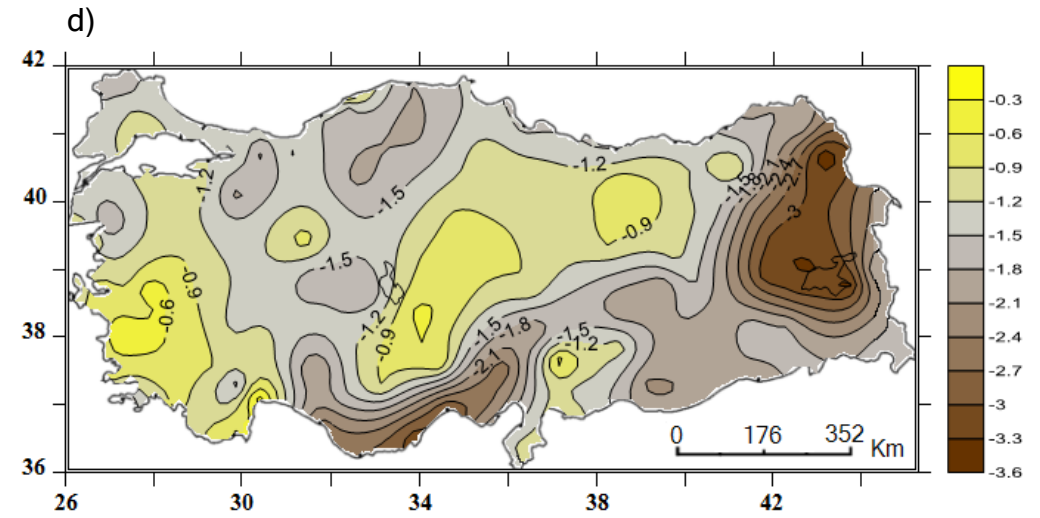
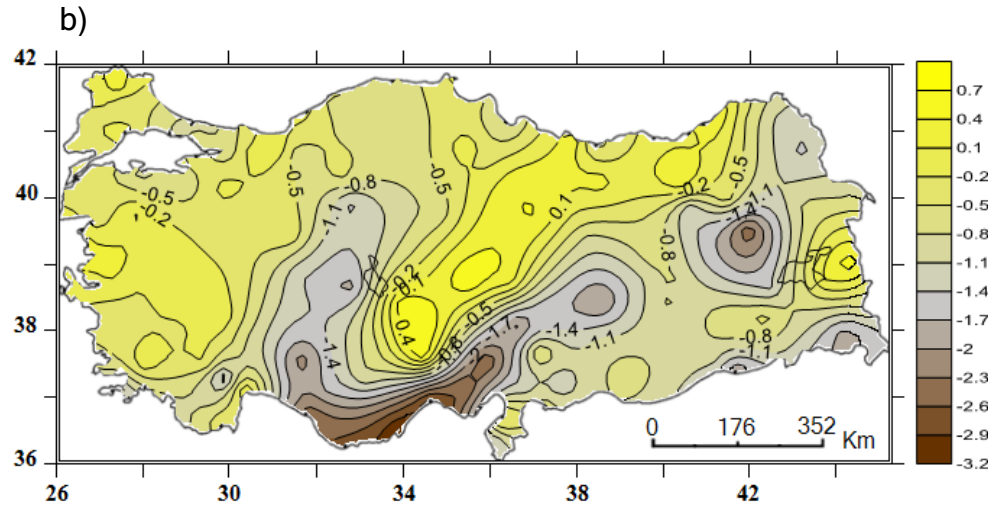
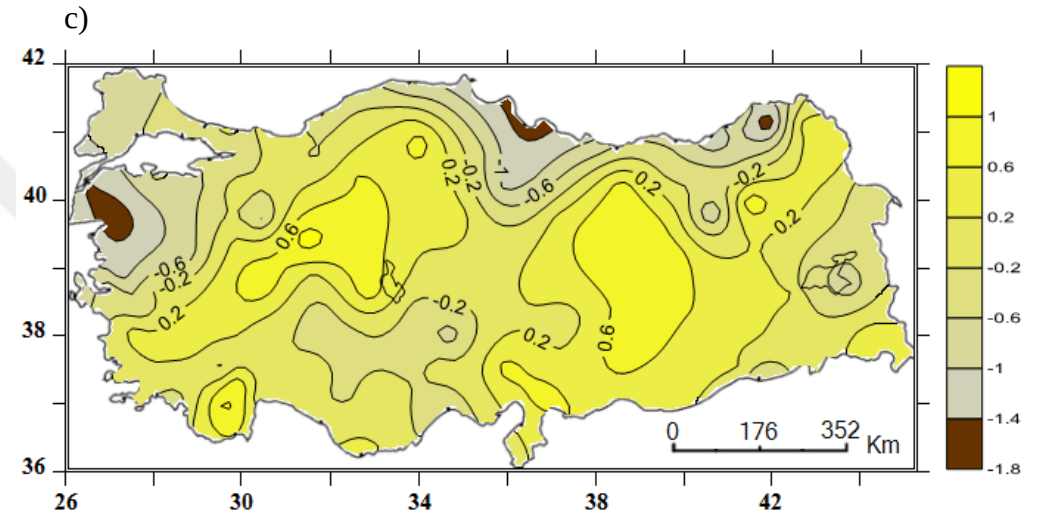
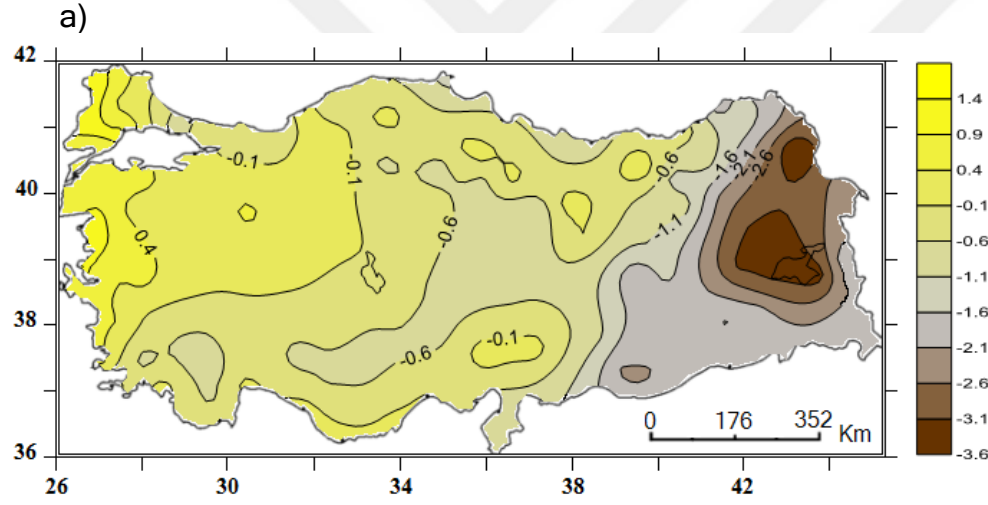
1996 yılı sonbahar (a), kış (b), ilkbahar (c) ve yıllık (d) minimum SYİ değerlerinin dağılışı.



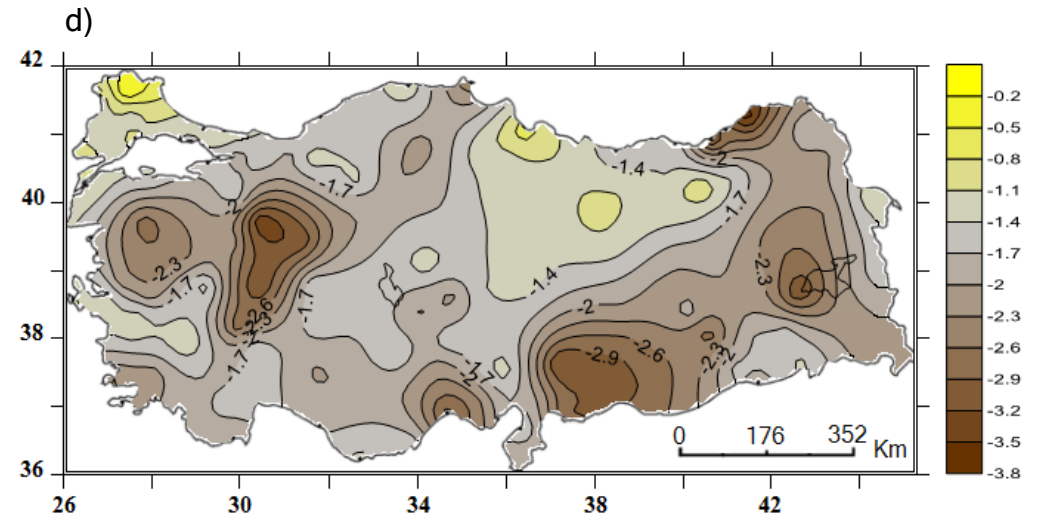
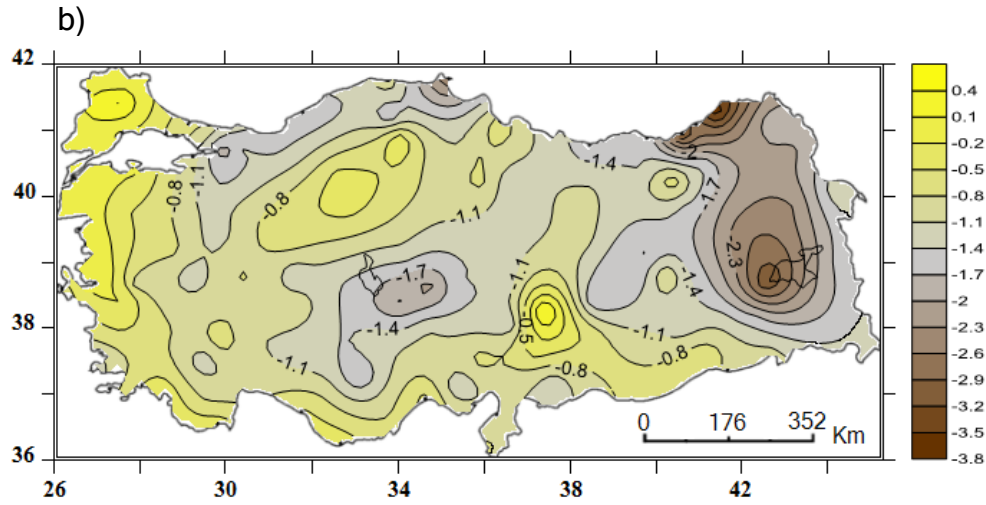
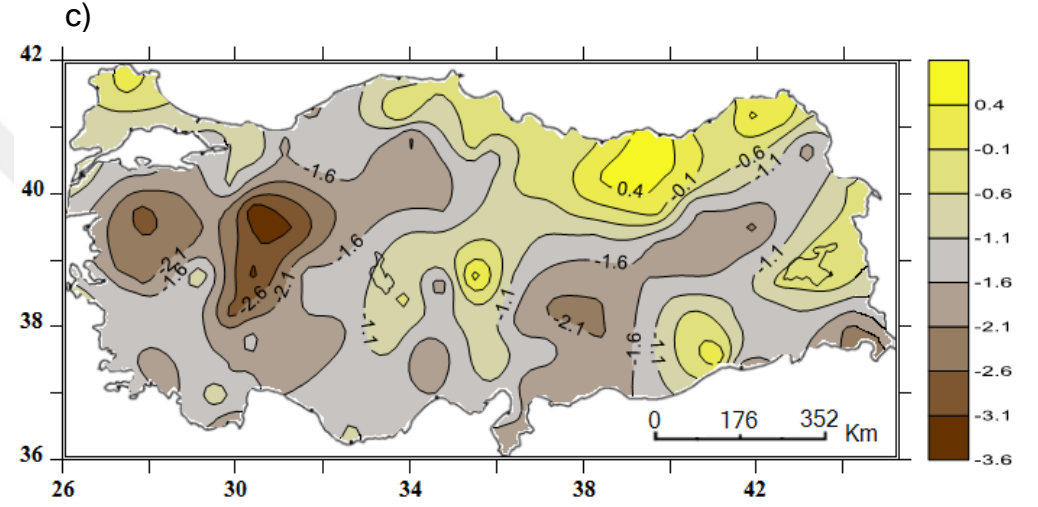
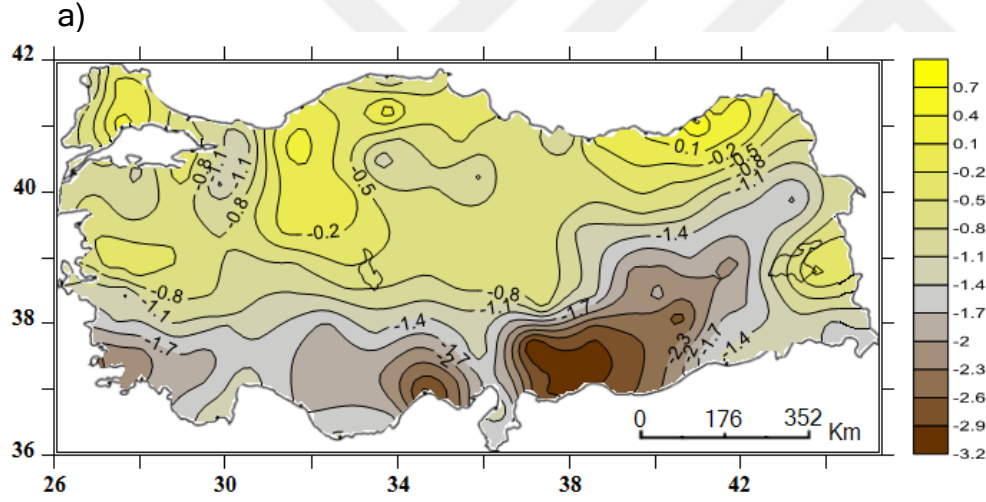
1997 yılı sonbahar (a), kış (b), ilkbahar (c) ve yıllık (d) minimum SYİ değerlerinin dağılışı.



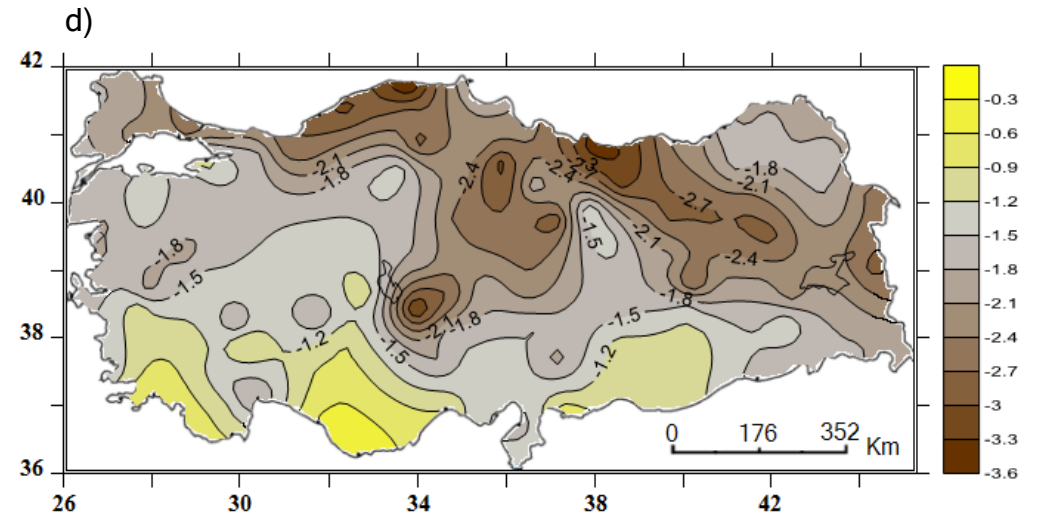
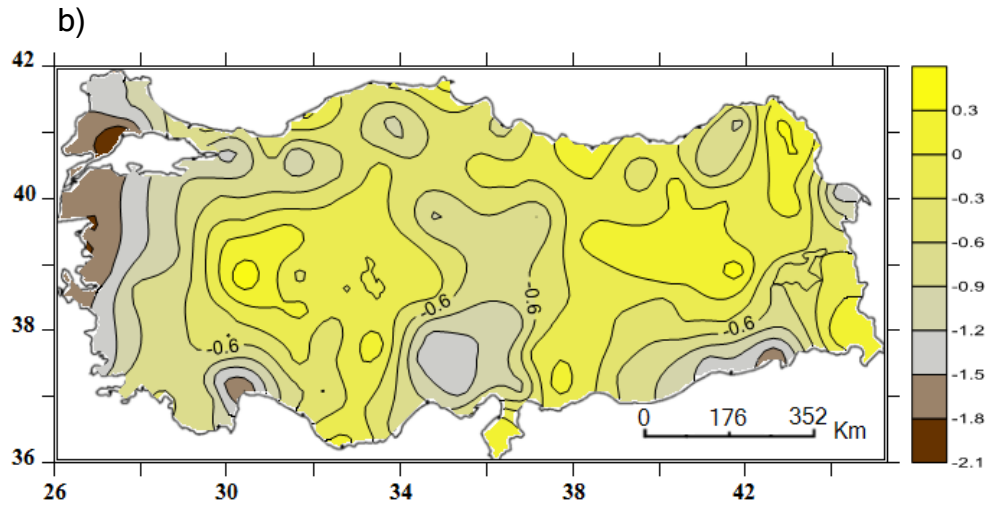
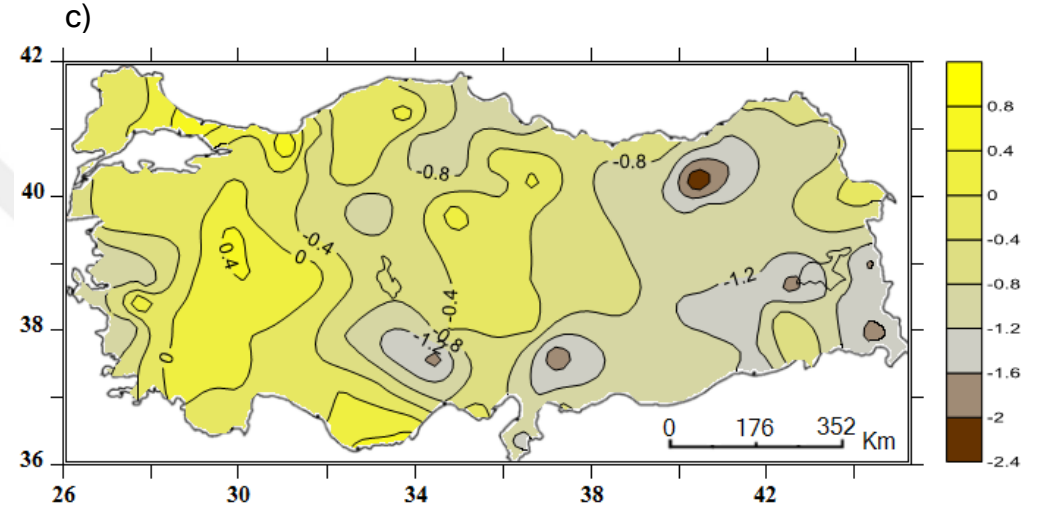
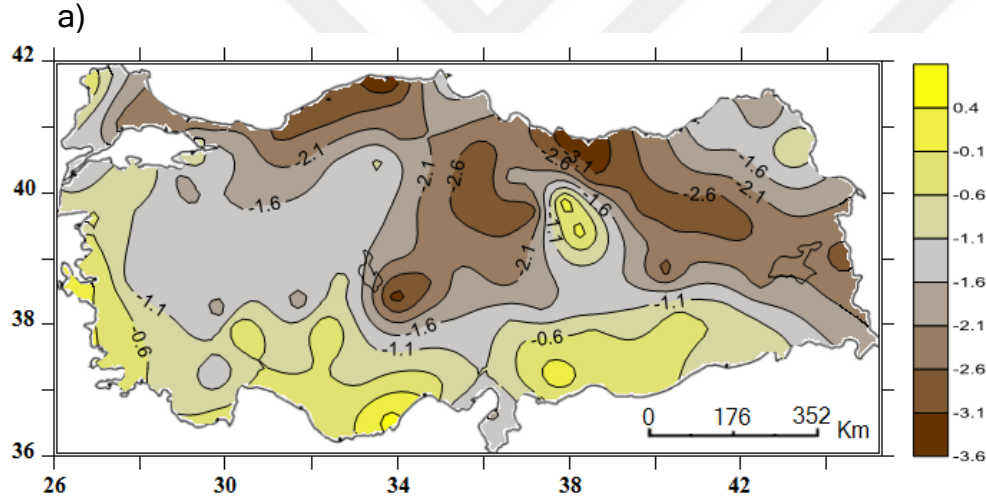
1998 yılı sonbahar (a), kış (b), ilkbahar (c) ve yıllık (d) minimum SYİ değerlerinin dağılışı.



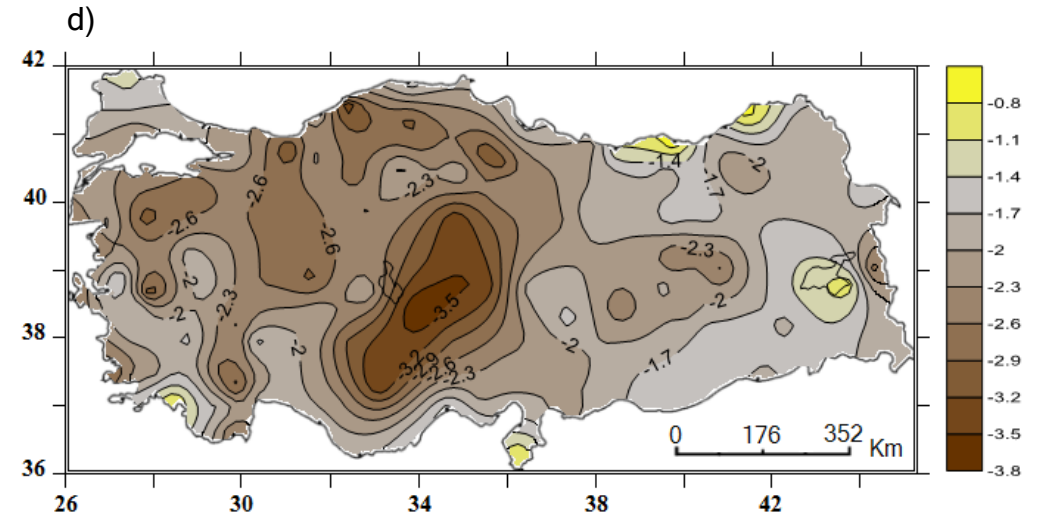
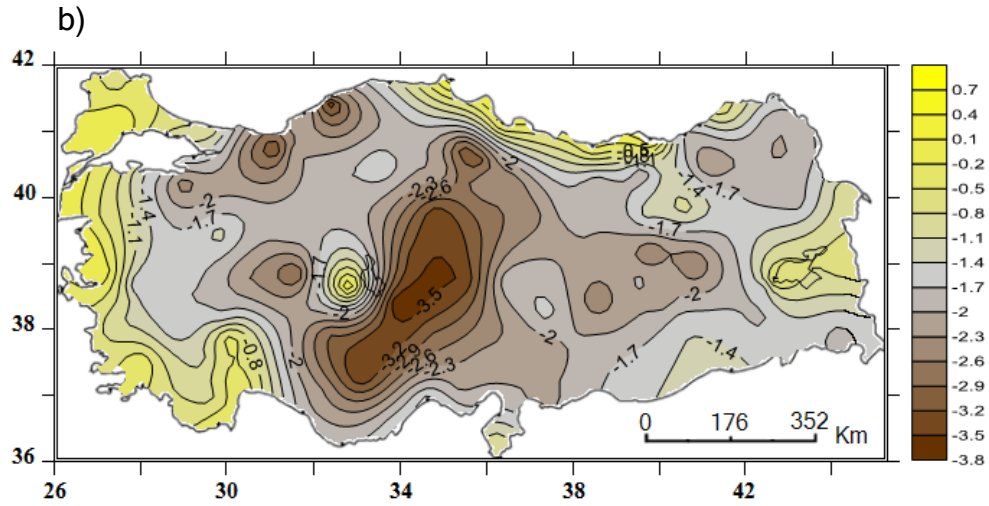
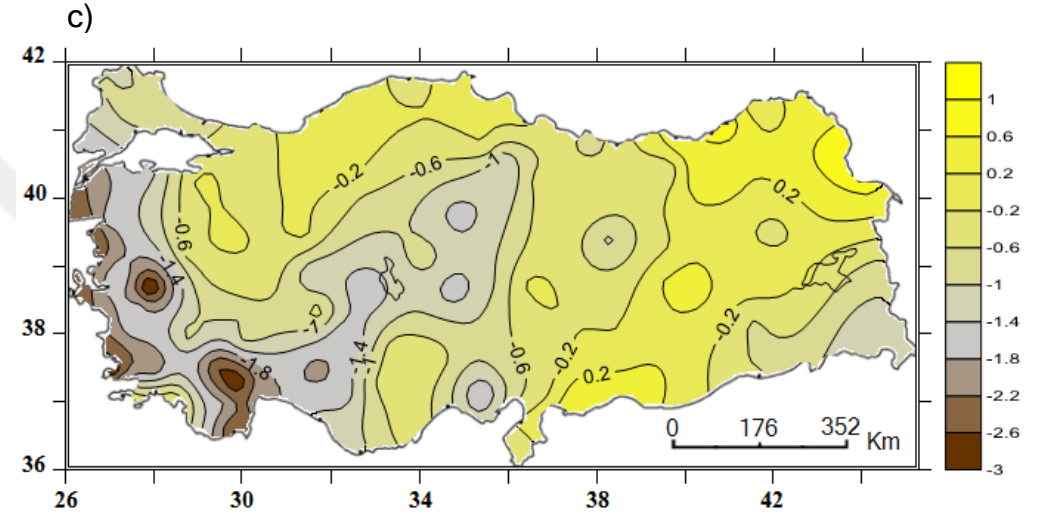
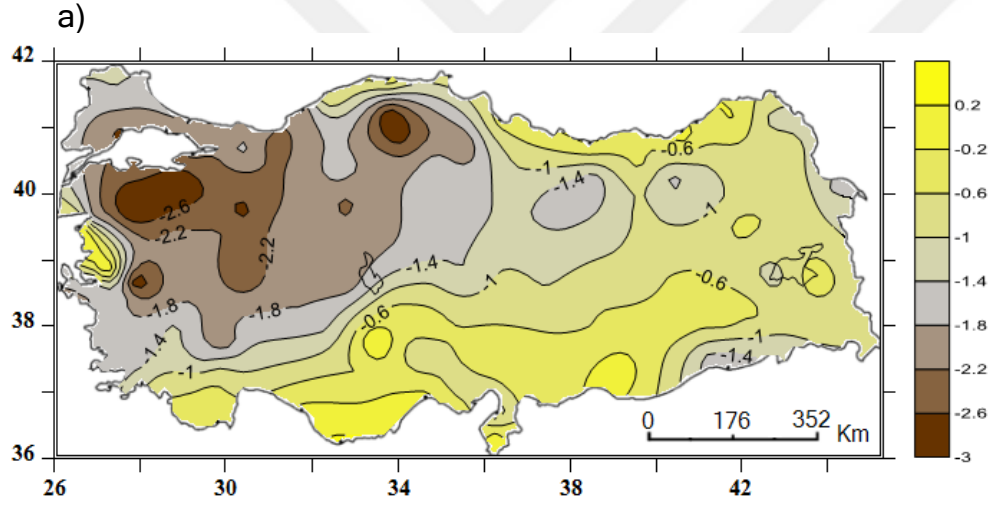
1999 yılı sonbahar (a), kış (b), ilkbahar (c) ve yıllık (d) minimum SYİ değerlerinin dağılışı.



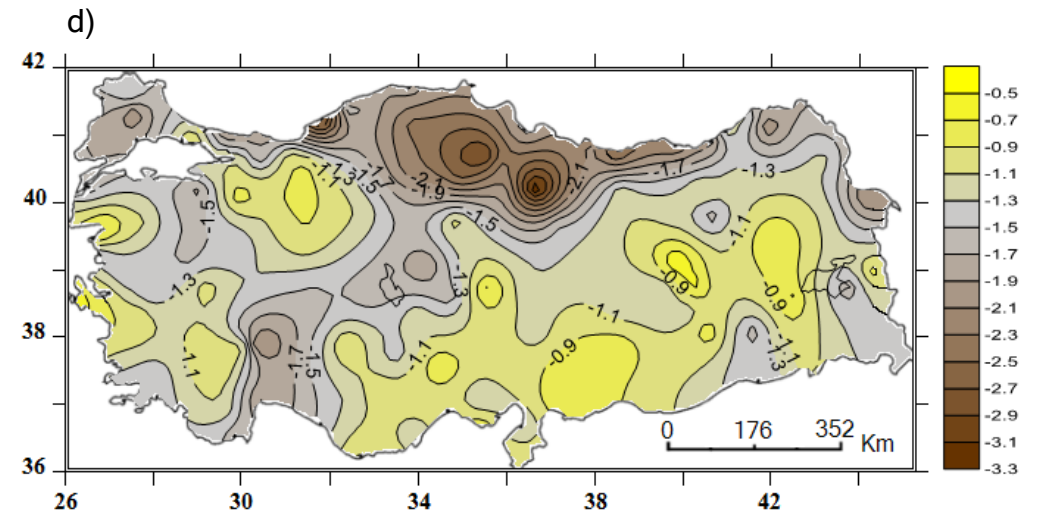
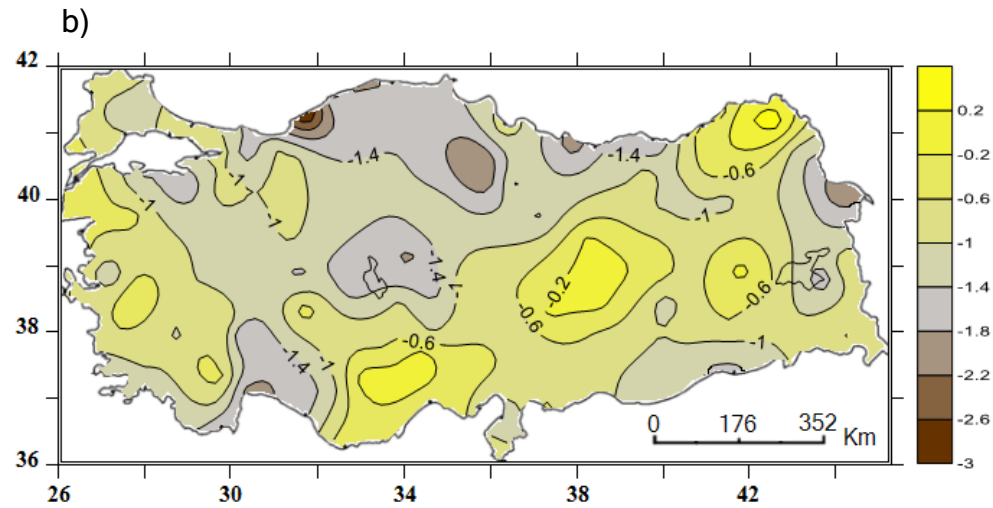
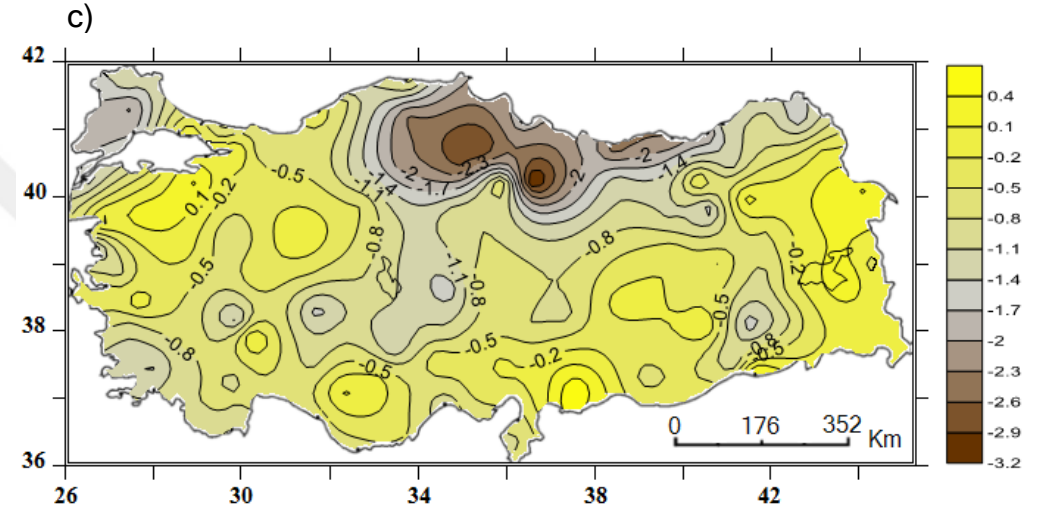
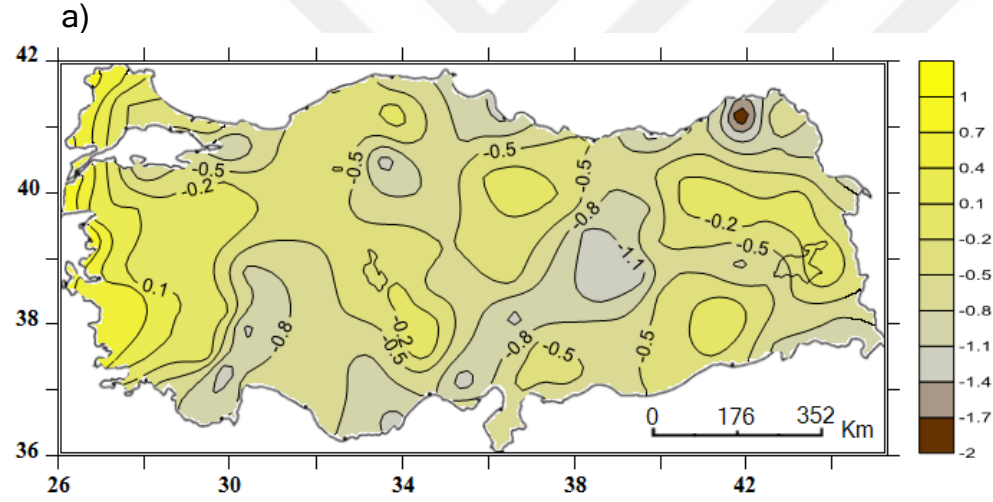
2000 yılı sonbahar (a), kış (b), ilkbahar (c) ve yıllık (d) minimum SYİ değerlerinin dağılışı.



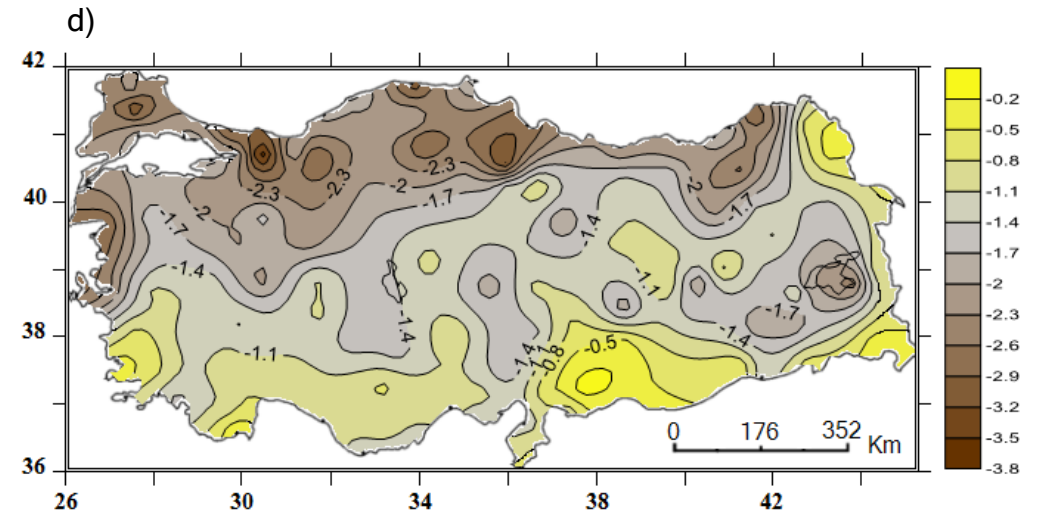
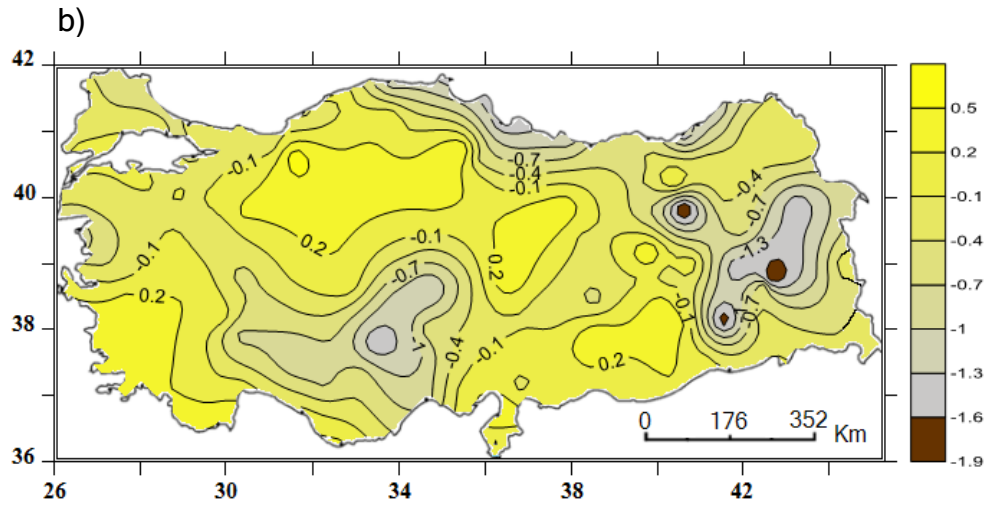
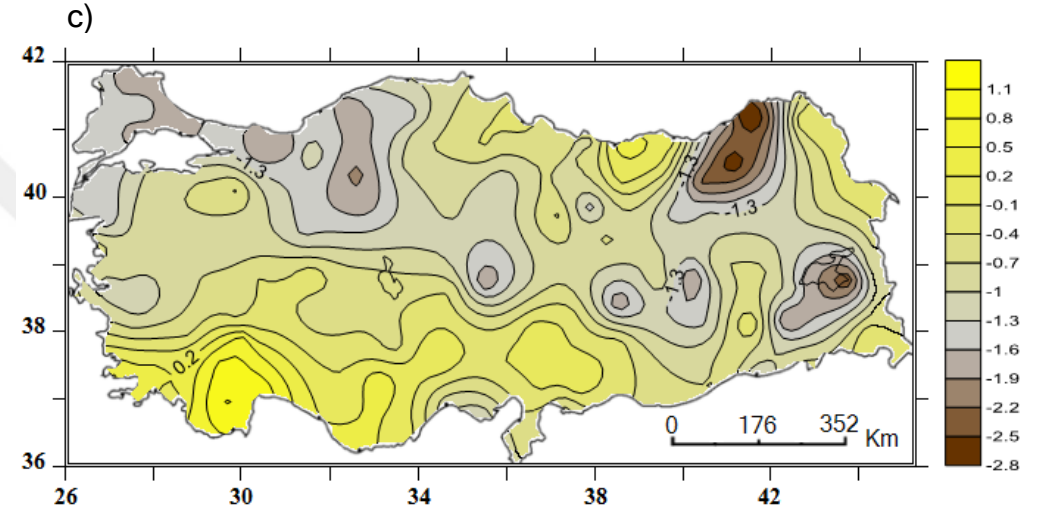
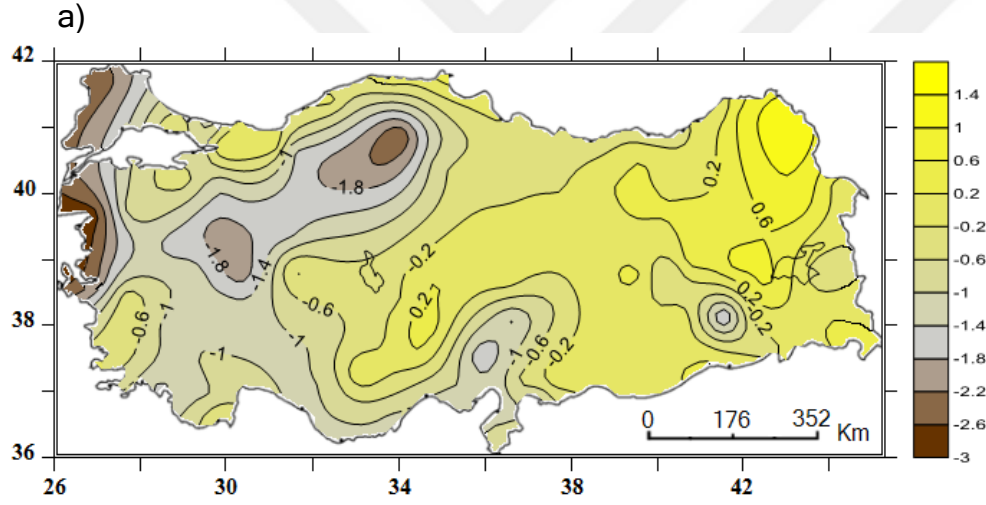
2001 yılı sonbahar (a), kış (b), ilkbahar (c) ve yıllık (d) minimum SYİ değerlerinin dağılışı.



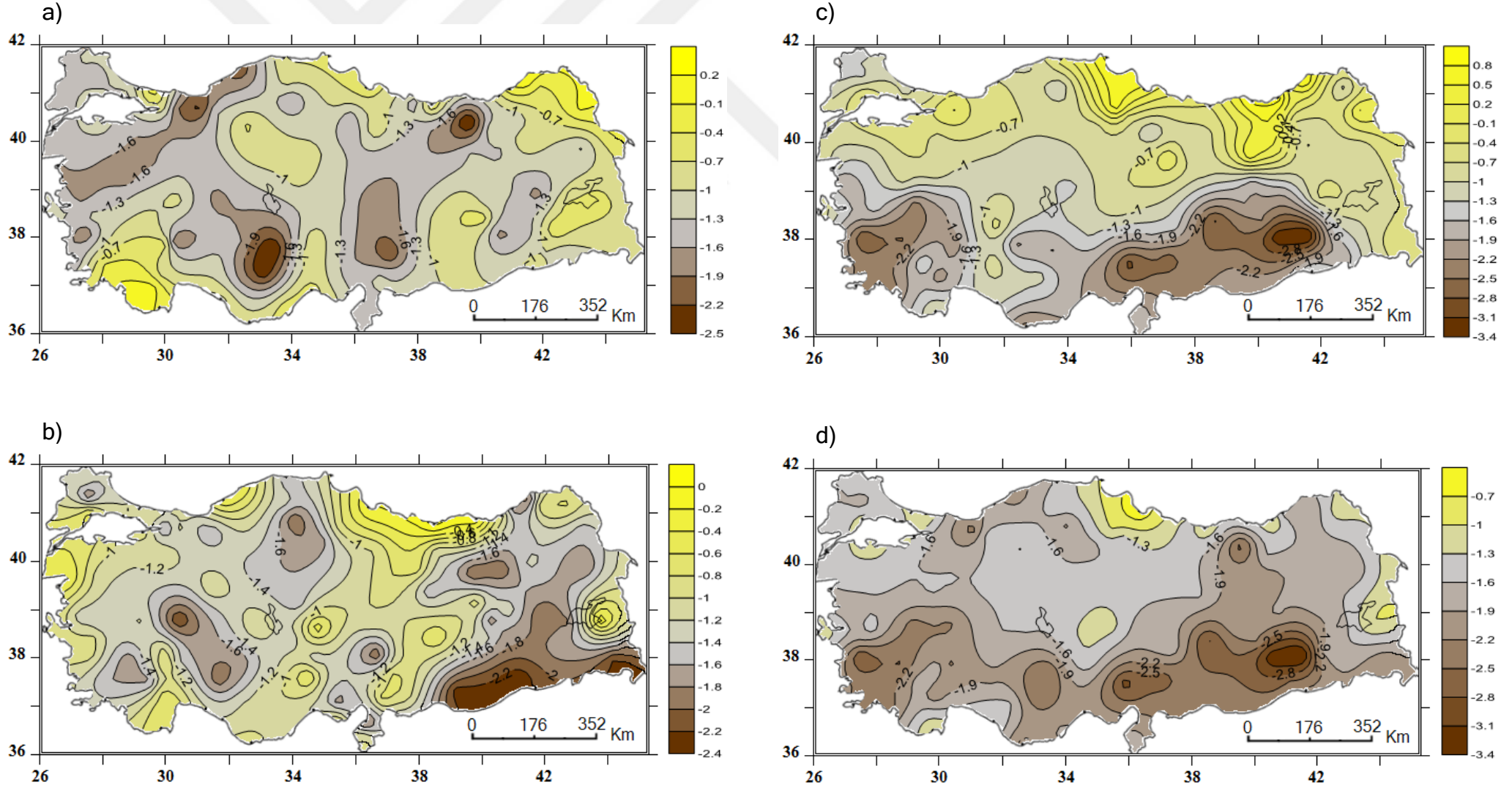
2002 yılı sonbahar (a), kış (b), ilkbahar (c) ve yıllık (d) minimum SYİ değerlerinin dağılışı.



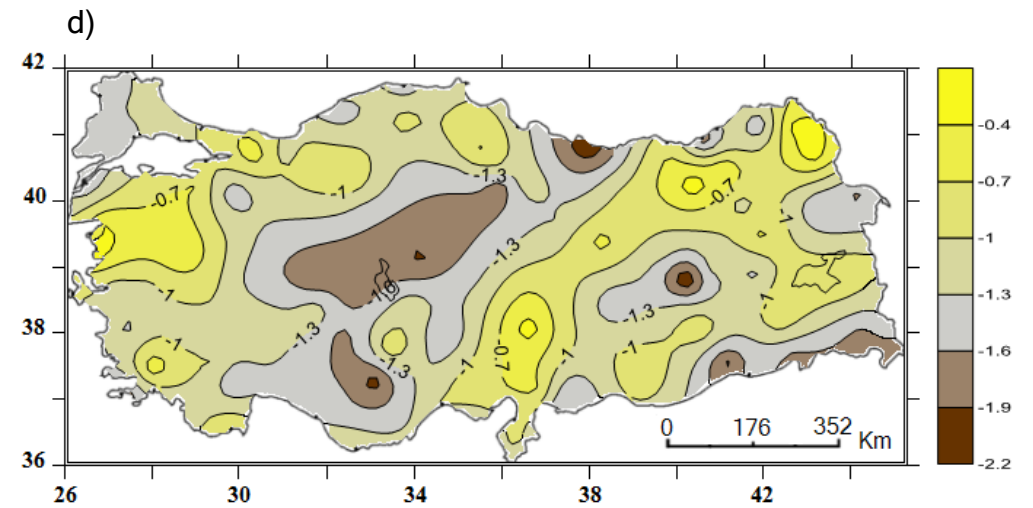
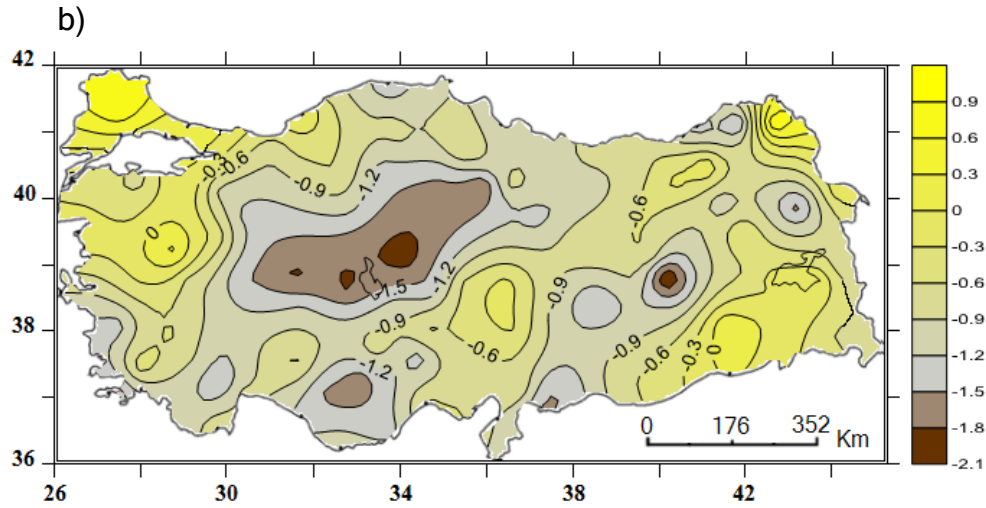
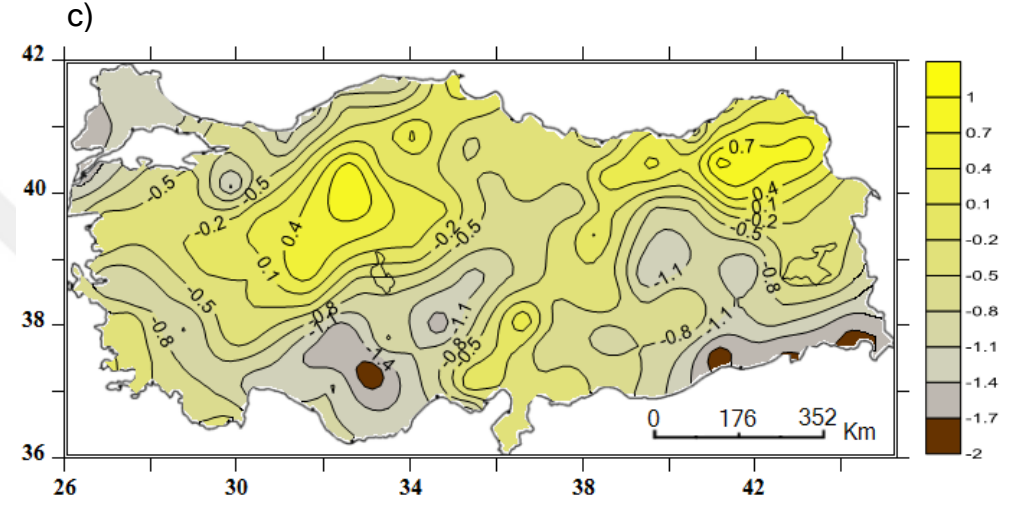
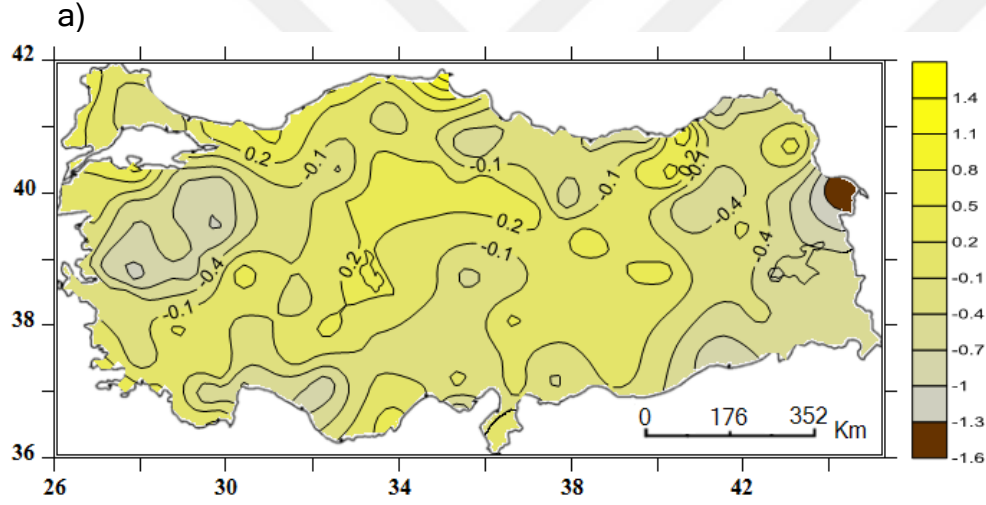
2003 yılı sonbahar (a), kış (b), ilkbahar (c) ve yıllık (d) minimum SYİ değerlerinin dağılışı.



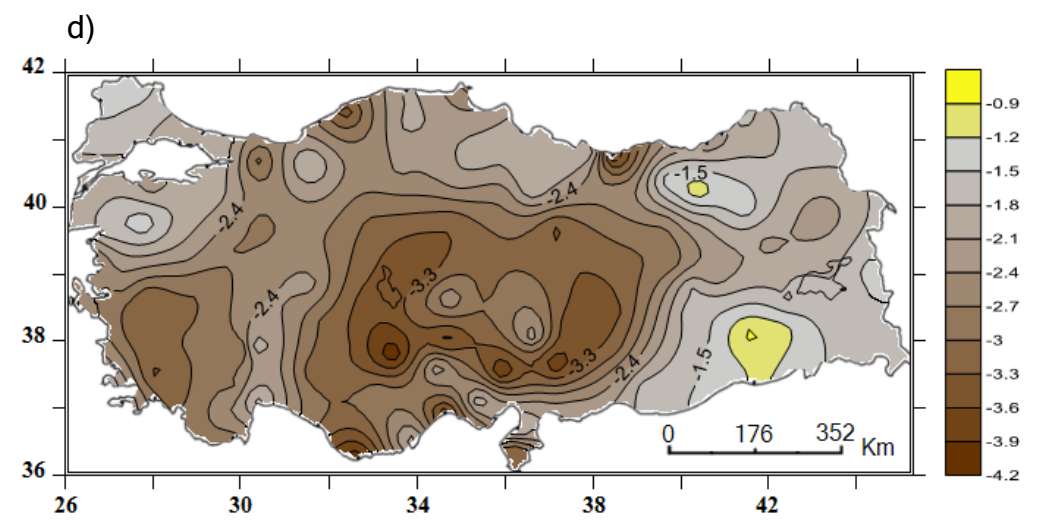
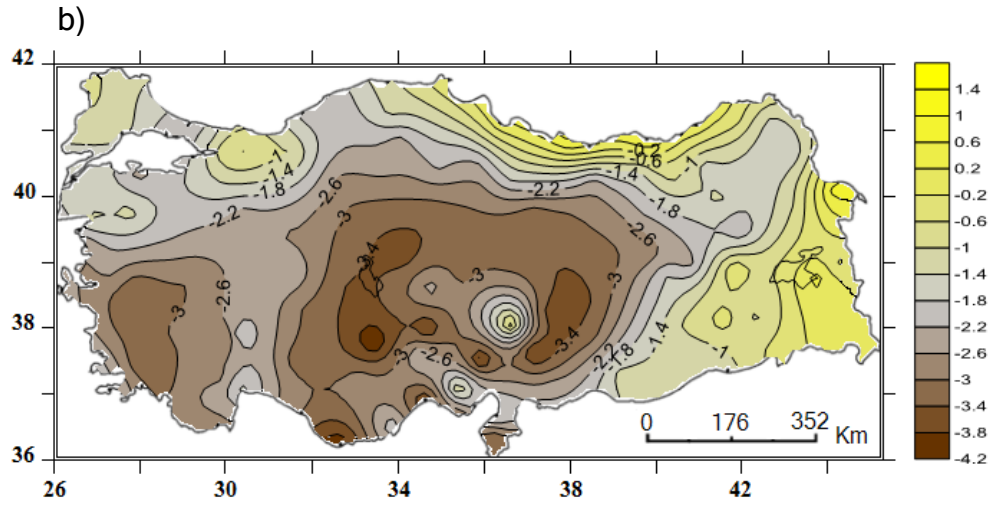
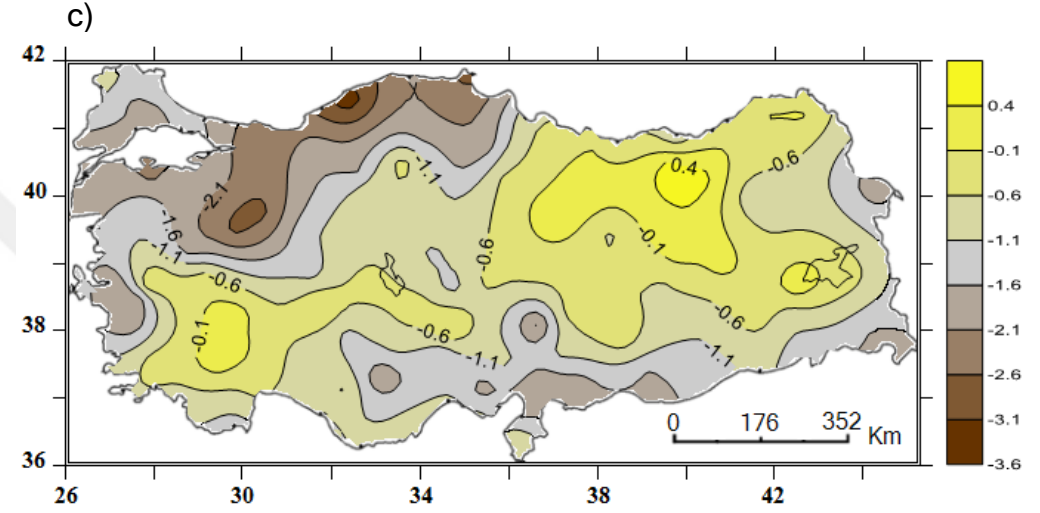
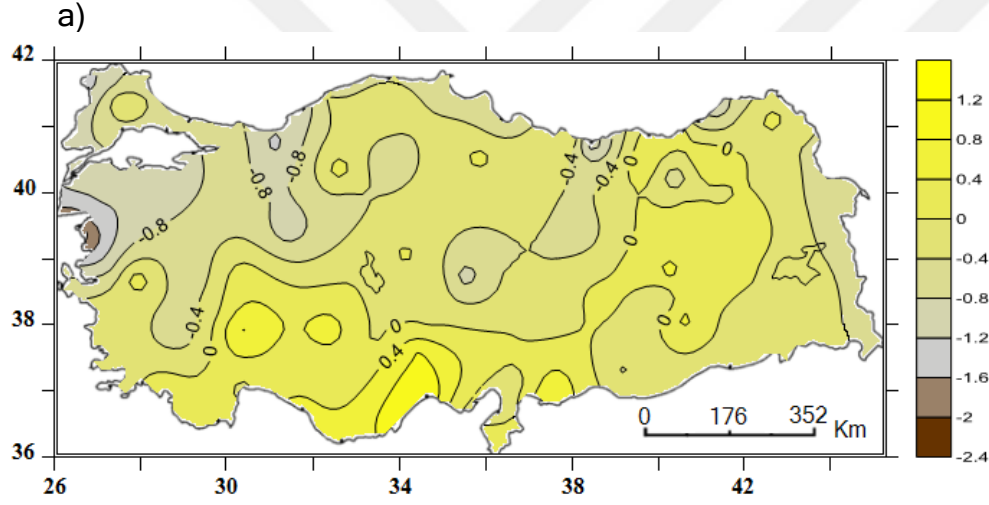
2004 yılı sonbahar (a), kış (b), ilkbahar (c) ve yıllık (d) minimum SYİ değerlerinin dağılışı.



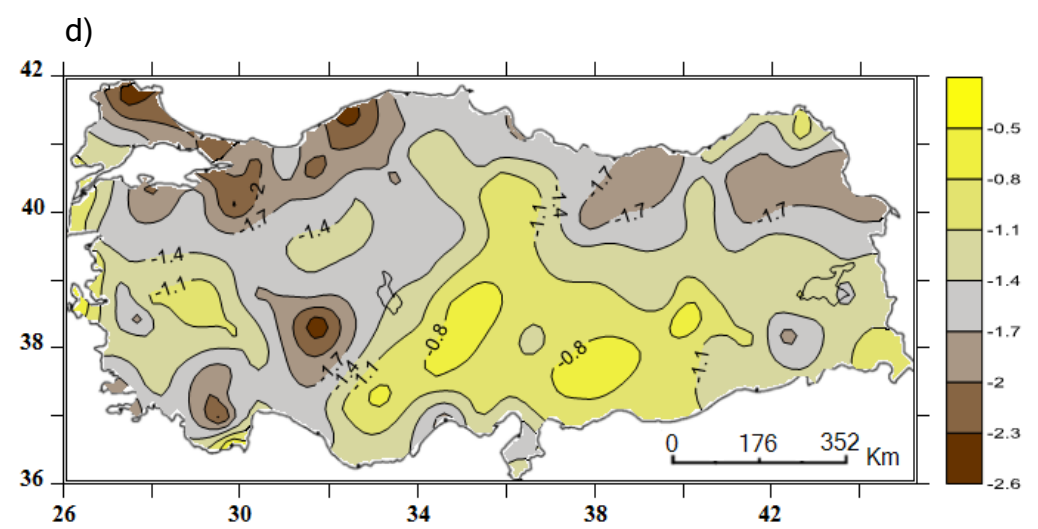
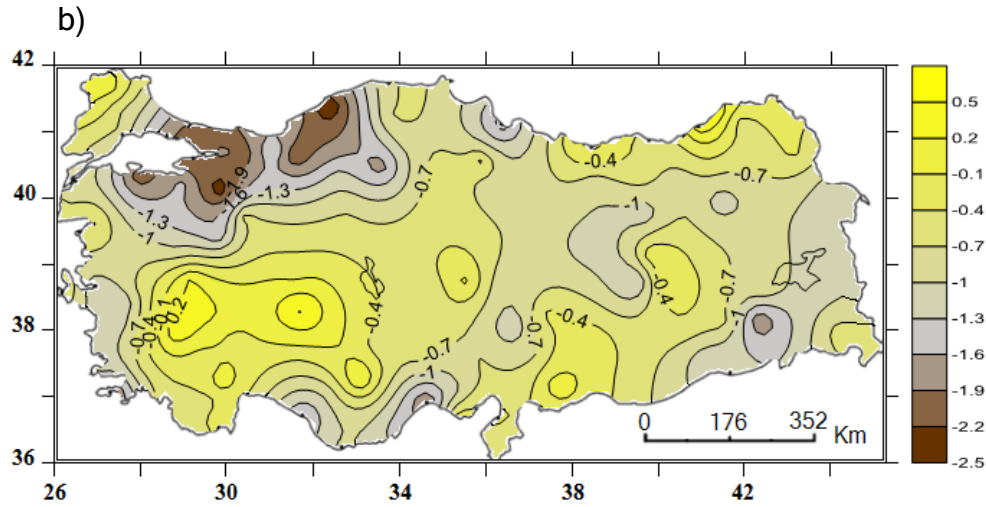
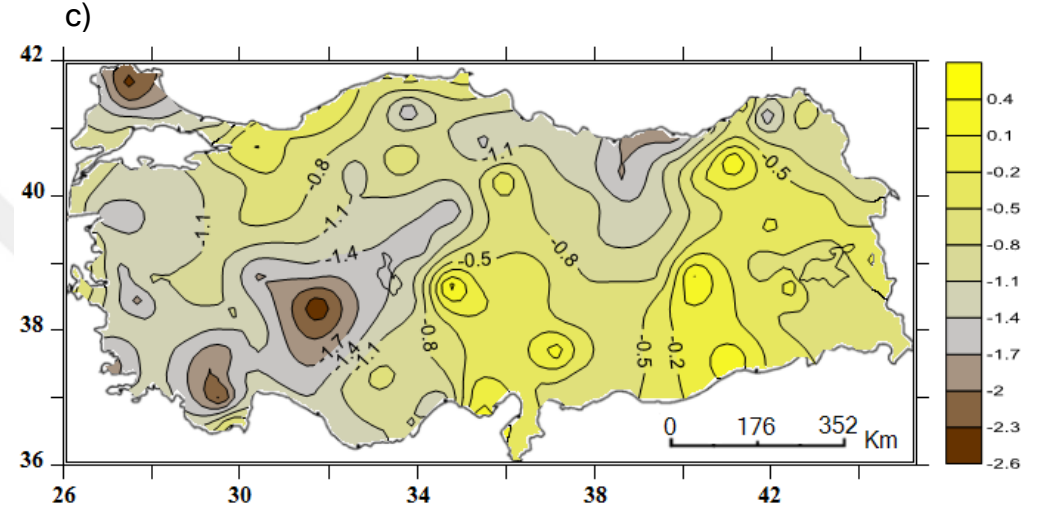
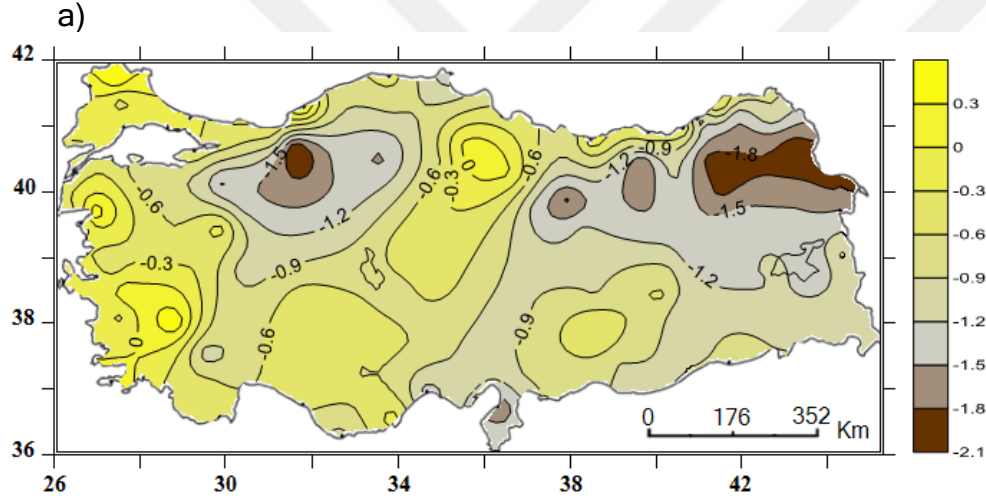
2005 yılı sonbahar (a), kış (b), ilkbahar (c) ve yıllık (d) minimum SYİ değerlerinin dağılışı.



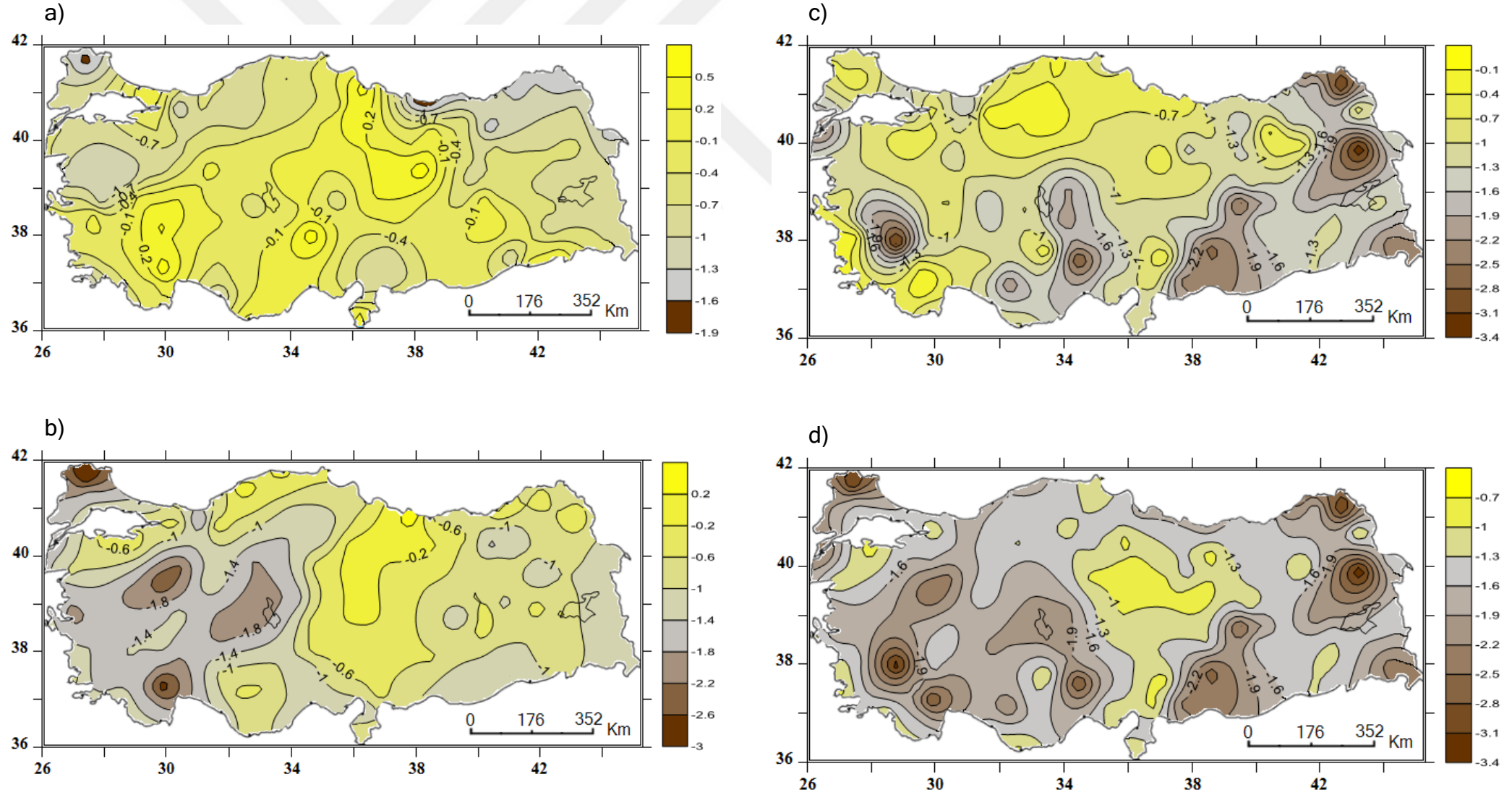
2006 yılı sonbahar (a), kış (b), ilkbahar (c) ve yıllık (d) minimum SYİ değerlerinin dağılışı.



2007 yılı sonbahar (a), kış (b), ilkbahar (c) ve yıllık (d) minimum SYİ değerlerinin dağılışı.



2008 yılı sonbahar (a), kış (b), ilkbahar (c) ve yıllık (d) minimum SYİ değerlerinin dağılışı.



EK 2.

1975 - 2008 yıllarında KAS'ın yıllık indeksi, ocak-şubat-mart ve şubat-mart-nisan aylarını kapsayan mevsimlik indeksi ile aynı dönemleri kapsayan Türkiye'deki 133 istasyonun yıllık ve 3 aylık SYİ serileri arasındaki korelasyon katsayıları.



Yıllık korelasyon katsayıları:

İstasyon	kk*	İstasyon	kk*	İstasyon	kk*	İstasyon	kk*
ADANA	-0,36	ÇEŞME	-0,23	İSKENDERUN	-0,18	PALU	-0,31
ADYAMAN	-0,33	ÇORUM	-0,38	İSPİR	-0,10	PAZAR	-0,33
AFYON	-0,24	DALAMAN	-0,23	İZMİR	-0,34	PINARBAŞI	-0,40
AĞRI	-0,06	DATÇA	-0,06	KARAMAN	-0,25	RİZE	-0,35
AKSARAY	-0,46	DENİZLİ	-0,28	KARAPINAR	-0,58	SAKARYA	-0,17
ALANYA	-0,43	DİKİLİ	-0,29	KARATAŞ	-0,43	SALİHLİ	-0,31
AMASRA	-0,21	DİNAR	-0,38	KARS	0,03	SAMSUN	-0,30
AMASYA	-0,50	DİVRİĞİ	-0,41	KASTAMONU	-0,14	SEYDİŞEHİR	-0,47
ANAMUR	-0,53	DIYARBAKIR	-0,47	KAYSERİ	-0,12	SIİRT	-0,30
ANKARA	-0,31	DÜZCE	-0,28	KIRKLARELİ	-0,25	SİLİFKE	-0,35
ANTAKYA	-0,38	EDİRNE	-0,23	KIRŞEHİR	-0,64	SİMAV	-0,52
ANTALYA	-0,41	ELAZIĞ	-0,38	KIZILCAHAMAM	-0,26	SİNOP	-0,10
ARDAHAN	-0,02	ELBİSTAN	-0,30	KİLİS	-0,43	SİVAS	-0,36
ARTVİN	0,17	ELMALI	-0,27	K.MARAŞ	-0,34	SİVRİHİSAR	-0,28
AYDIN	-0,23	ERGANİ	-0,25	KOCAELİ	-0,29	Ş.URFA	-0,37
AYVALIK	-0,27	ERZİNCAN	-0,36	KONYA	-0,51	Ş.KARAHİSAR	-0,27
BALIKESİR	-0,56	ERZURUM	-0,09	KORKUTELİ	-0,23	ŞİLE	-0,37
BANDIRMA	-0,40	ESKİŞEHİR	-0,36	KOZAN	-0,42	TATVAN	-0,18
BARTIN	-0,08	FİNİKE	-0,34	KÜTAHYA	-0,52	TEFENNİ	-0,30
BATMAN	-0,37	FLORYA	-0,41	LÜLEBURGAZ	-0,17	TEKİRDAĞ	-0,27
BAYBURT	-0,35	G.ANTEP	-0,38	MALATYA	-0,15	TERCAN	-0,28
BİLECİK	-0,27	GİRESUN	-0,15	MANİSA	-0,40	TOKAT	-0,34
BİNGÖL	-0,36	GÖKSUN	-0,49	MARDİN	-0,33	TOSYA	-0,31
BİTLİS	-0,23	GÜMÜŞHANE	-0,28	MERSİN	-0,47	TRABZON	0,05
BODRUM	-0,15	HADİM	-0,34	MERZİFON	-0,56	TUNCELİ	-0,48
BOLU	-0,23	HAKKARİ	-0,12	MUĞLA	-0,28	ULUKIŞLA	-0,41
BURDUR	-0,43	HINIS	-0,25	MUŞ	-0,02	UŞAK	-0,14
BURHANİYE	-0,36	HOPA	-0,19	NEVŞEHİR	-0,24	VAN	0,00
BURSA	-0,25	IĞDIR	0,14	NİĞDE	-0,48	YALOVA	-0,33
CİHANBEYLİ	-0,55	ILGIN	-0,55	NUSAYBİN	-0,28	YOZGAT	-0,43
CİZRE	-0,15	ISLAHİYE	-0,52	ORDU	0,00	YUNAK	-0,45
ÇANAKKALE	-0,35	ISPARTA	-0,41	ÖDEMiŞ	-0,40	ZARA	-0,48
ÇANKIRI	-0,27	İNEBOLU	-0,23	ÖZALP	0,31	ZİLE	-0,40
						ZONGULDAK	-0,10

Ocak-şubat-mart korelasyon katsayıları:

İstasyon	kk*	İstasyon	kk*	İstasyon	kk*	İstasyon	kk*
ADANA	-0,19	ÇEŞME	-0,40	İSKENDERUN	-0,36	PALU	-0,27
ADYAMAN	-0,34	ÇORUM	-0,48	İSPİR	-0,28	PAZAR	-0,17
AFYON	-0,36	DALAMAN	-0,38	İZMİR	-0,31	PINARBAŞI	-0,58
AĞRI	-0,31	DATÇA	-0,36	KARAMAN	-0,13	RİZE	-0,17
AKSARAY	-0,35	DENİZLİ	-0,29	KARAPINAR	-0,29	SAKARYA	-0,45
ALANYA	-0,21	DİKİLİ	-0,33	KARATAŞ	-0,35	SALİHLİ	-0,23
AMASRA	-0,34	DİNAR	-0,35	KARS	-0,31	SAMSUN	-0,37
AMASYA	-0,52	DİVRİĞİ	-0,46	KASTAMONU	-0,45	SEYDİŞEHİR	-0,20
ANAMUR	-0,38	DİYARBAKIR	-0,34	KAYSERİ	-0,55	SİİRT	-0,47
ANKARA	-0,45	DÜZCE	-0,42	KIRKLARELİ	-0,47	SİLİFKE	-0,20
ANTAKYA	-0,43	EDİRNE	-0,39	KİRŞEHİR	-0,48	SİMAV	-0,45
ANTALYA	-0,26	ELAZIĞ	-0,41	KIZILCAHAMAM	-0,47	SİNOP	-0,13
ARDAHAN	-0,13	ELBİSTAN	-0,37	KİLİS	-0,36	SİVAS	-0,43
ARTVİN	0,36	ELMALI	-0,20	K.MARAŞ	-0,35	SİVRİHİSAR	-0,47
AYDIN	-0,40	ERGANİ	-0,30	KOCAELİ	-0,48	Ş.URFA	-0,34
AYVALIK	-0,46	ERZİNCAN	-0,45	KONYA	-0,32	Ş.KARAHİSAR	-0,40
BALIKESİR	-0,45	ERZURUM	-0,44	KORKUTELİ	-0,20	ŞİLE	-0,38
BANDIRMA	-0,47	ESKİŞEHİR	-0,41	KOZAN	-0,38	TATVAN	-0,55
BARTIN	-0,33	FİNİKE	-0,40	KÜTAHYA	-0,49	TEFENNİ	-0,32
BATMAN	-0,18	FLORYA	-0,44	LÜLEBURGAZ	-0,33	TEKİRDAĞ	-0,40
BAYBURT	-0,38	G.ANTEP	-0,37	MALATYA	-0,32	TERCAN	-0,40
BİLECİK	-0,38	GİRESUN	-0,41	MANİSA	-0,34	TOKAT	-0,56
BİNGÖL	-0,38	GÖKSUN	-0,43	MARDİN	-0,44	TOSYA	-0,42
BİTLİS	-0,45	GÜMÜŞHANE	-0,26	MERSİN	-0,14	TRABZON	-0,07
BODRUM	-0,36	HADİM	-0,13	MERZİFON	-0,45	TUNCELİ	-0,44
BOLU	-0,47	HAKKÂRİ	-0,28	MUĞLA	-0,38	ULUKIŞLA	-0,35
BURDUR	-0,42	HINIS	-0,37	MUŞ	-0,20	UŞAK	-0,36
BURHANİYE	-0,42	HOPA	-0,06	NEVŞEHİR	-0,32	VAN	-0,52
BURSA	-0,36	İĞDIR	-0,44	NİĞDE	-0,45	YALOVA	-0,41
CİHANBEYLİ	-0,33	ILGIN	-0,12	NUSAYBİN	-0,32	YOZGAT	-0,36
CİZRE	-0,38	ISLAHİYE	-0,48	ORDU	-0,30	YUNAK	-0,25
ÇANAKKALE	-0,35	ISPARTA	-0,42	ÖDEMiŞ	-0,42	ZARA	-0,48
ÇANKIRI	-0,30	İNEBOLU	-0,61	ÖZALP	-0,07	ZİLE	-0,48
						ZONGULDAK	-0,47

Şubat-mart-nisan korelasyon katsayıları:

İstasyon	kk*	İstasyon	kk*	İstasyon	kk*	İstasyon	kk*
ADANA	-0,25	ÇEŞME	-0,04	İSKENDERUN	-0,41	PALU	-0,28
ADYAMAN	-0,23	ÇORUM	-0,43	İSPİR	-0,36	PAZAR	-0,19
AFYON	-0,35	DALAMAN	-0,45	İZMİR	-0,25	PINARBAŞI	-0,62
AĞRI	-0,17	DATÇA	-0,42	KARAMAN	-0,16	RİZE	-0,21
AKSARAY	-0,36	DENİZLİ	-0,38	KARAPINAR	-0,51	SAKARYA	-0,33
ALANYA	-0,33	DİKİLİ	-0,25	KARATAŞ	-0,39	SALİHLİ	-0,29
AMASRA	-0,36	DİNAR	-0,36	KARS	-0,19	SAMSUN	-0,50
AMASYA	-0,53	DİVRİĞİ	-0,54	KASTAMONU	-0,41	SEYDİŞEHİR	-0,25
ANAMUR	-0,42	DIYARBAKIR	-0,21	KAYSERİ	-0,44	SIİRT	-0,48
ANKARA	-0,27	DÜZCE	-0,26	KIRKLARELİ	-0,37	SİLİFKE	-0,28
ANTAKYA	-0,32	EDİRNE	-0,40	KIRŞEHİR	-0,40	SİMAV	-0,17
ANTALYA	-0,14	ELAZIĞ	-0,40	KIZILCAHAMAM	-0,36	SİNOP	-0,30
ARDAHAN	-0,03	ELBİSTAN	-0,38	KİLİS	-0,22	SİVAS	-0,36
ARTVİN	0,12	ELMALI	-0,24	K.MARAŞ	-0,44	SİVRİHİSAR	-0,48
AYDIN	-0,41	ERGANİ	-0,16	KOCAELİ	-0,37	Ş.URFA	-0,18
AYVALIK	-0,50	ERZİNCAN	-0,33	KONYA	-0,46	Ş.KARAHİSAR	-0,43
BALIKESİR	-0,22	ERZURUM	-0,20	KORKUTELİ	-0,27	ŞİLE	-0,45
BANDIRMA	-0,49	ESKİŞEHİR	-0,33	KOZAN	-0,41	TATVAN	-0,23
BARTIN	-0,35	FİNİKE	-0,24	KÜTAHYA	-0,38	TEFENNİ	-0,33
BATMAN	-0,23	FLORYA	-0,35	LÜLEBURGAZ	-0,23	TEKİRDAĞ	-0,31
BAYBURT	-0,18	G.ANTEP	-0,36	MALATYA	-0,33	TERCAN	-0,27
BİLECİK	-0,20	GİRESUN	-0,41	MANİSA	-0,29	TOKAT	-0,43
BİNGÖL	-0,23	GÖKSUN	-0,48	MARDİN	-0,28	TOSYA	-0,28
BİTLİS	0,01	GÜMÜŞHANE	-0,41	MERSİN	-0,32	TRABZON	-0,02
BODRUM	-0,38	HADİM	-0,29	MERZİFON	-0,40	TUNCELİ	-0,40
BOLU	-0,33	HAKKARİ	-0,10	MUĞLA	-0,34	ULUKIŞLA	-0,32
BURDUR	-0,30	HINIS	-0,23	MUŞ	-0,06	UŞAK	-0,30
BURHANİYE	-0,40	HOPA	-0,22	NEVŞEHİR	-0,36	VAN	-0,02
BURSA	-0,28	İĞDIR	-0,28	NİĞDE	-0,58	YALOVA	-0,41
CİHANBEYLİ	0,00	ILGIN	-0,36	NUSAYBİN	-0,06	YOZGAT	-0,39
CİZRE	-0,15	ISLAHİYE	-0,42	ORDU	-0,37	YUNAK	-0,31
ÇANAKKALE	-0,36	ISPARTA	-0,42	ÖDEMiŞ	-0,44	ZARA	-0,45
ÇANKIRI	-0,46	İNEBOLU	-0,51	ÖZALP	0,19	ZİLE	-0,49
						ZONGULDAK	-0,40

kk* : Korelasyon katsayısı

EK 3.

Aylık yağış verileri kullanılan Türkiye'deki 133 istasyonun bilgileri.



İstasyon Adı	Yükseklik (m)	Enlem	Boylam	Yağış dönemi
Adana	23	37.0 K	35.3 D	1975-2008
Adıyaman	672	37.7 K	38.2 D	1975-2008
Afyonkarahisar	1034	38.7 K	30.5 D	1975-2008
Ağrı	1646	39.7 K	43.0 D	1975-2008
Aksaray	970	38.3 K	33.9 D	1975-2008
Alanya	6	36.5 K	31.9 D	1975-2008
Amasra	73	41.7 K	32.3 D	1975-2008
Amasya	409	40.6 K	35.8 D	1975-2008
Anamur	2	36.0 K	32.8 D	1975-2008
Ankara	891	39.9 K	32.8 D	1975-2008
Antakya	104	36.2 K	36.1 D	1975-2008
Antalya	47	36.8 K	30.6 D	1975-2006
Ardahan	1827	41.1 K	42.7 D	1975-2008
Artvin	625	41.1 K	41.8 D	1975-2008
Aydın	56	37.8 K	27.8 D	1975-2008
Ayvalık	4	39.3 K	26.6 D	1975-2008
Balıkesir	102	39.6 K	27.9 D	1975-2006
Bandırma	63	40.3 K	27.9 D	1975-2008
Bartın	33	41.6 K	32.3 D	1975-2008
Batman	610	37.8 K	41.1 D	1975-2008
Bayburt	1584	40.2 K	40.2 D	1975-2008
Bilecik	539	40.1 K	29.9 D	1975-2008
Bingöl	1177	38.8 K	40.5 D	1975-2008
Bitlis	1785	38.4 K	42.1 D	1975-2008
Bodrum	26	37.0 K	27.4 D	1975-2008
Bolu	743	40.7 K	31.6 D	1975-2008
Burdur	957	37.7 K	30.2 D	1975-2008
Burhaniye	20	39.4 K	26.9 D	1975-2008
Bursa	100	40.2 K	29.0 D	1975-2008
Cihanbeyli	969	38.6 K	32.9 D	1975-2008
Cizre	400	37.3 K	42.2 D	1975-2008
Çanakkale	6	40.1 K	26.3 D	1975-2008
Çankırı	751	40.6 K	33.6 D	1975-2008
Çeşme	5	38.3 K	26.3 D	1975-2008
Çorum	776	40.5 K	34.9 D	1975-2008
Dalaman	9	36.7 K	28.7 D	1975-2008
Datça	28	36.7 K	27.6 D	1975-2008
Denizli	425	37.7 K	29.0 D	1975-2008
Dikili	3	39.0 K	26.8 D	1975-2008
Dinar	864	38.0 K	30.1 D	1975-2008
Divriği	1121	39.3 K	38.1 D	1975-2008
Diyarbakır	674	37.8 K	40.2 D	1975-2008
Düzce	146	40.8 K	31.1 D	1975-2008

İstasyon Adı	Yükseklik (m)	Enlem	Boylam	Yağış dönemi
Edirne	51	41.6 K	26.5 D	1975-2008
Elazığ	989	38.6 K	39.2 D	1975-2008
Elbistan	1137	38.2 K	37.1 D	1975-2008
Elmalı	1095	36.7 K	29.9 D	1975-2008
Ergani	865	38.2 K	39.7 D	1975-2008
Erzincan	1154	39.7 K	39.5 D	1975-2008
Erzurum	1869	39.9 K	41.2 D	1975-2008
Eskişehir	787	39.8 K	30.5 D	1975-2008
Finike	2	36.3 K	30.1 D	1975-2008
Florya	37	40.9 K	28.7 D	1975-2008
Gaziantep	854	37.0 K	37.3 D	1975-2008
Giresun	38	40.9 K	38.3 D	1975-2008
Göksun	1344	38.0 K	36.4 D	1975-2008
Gümüşhane	1216	40.4 K	39.4 D	1975-2008
Hadim	1135	36.9 K	32.4 D	1975-2008
Hakkari	1727	37.5 K	43.7 D	1975-2008
Hınıs	1715	39.3 K	41.6 D	1975-2008
Hopa	33	41.4 K	41.4 D	1975-2008
İğdır	856	39.9 K	44.0 D	1975-2008
İlgin	1036	38.2 K	31.8 D	1975-2008
İslahiye	470	36.9 K	36.5 D	1975-2008
İsparta	997	37.7 K	30.5 D	1975-2008
İnebolu	64	41.9 K	33.7 D	1975-2008
İskenderun	4	36.5 K	36.1 D	1975-2008
İspir	1223	40.4 K	40.9 D	1975-2008
İzmir	29	38.3 K	27.0 D	1975-2008
Karaman	1018	37.1 K	33.2 D	1975-2008
Karapınar	996	37.7 K	33.5 D	1975-2008
Karataş	22	38.6 K	35.3 D	1975-2008
Kars	1777	40.6 K	43.1 D	1975-2008
Kastamonu	800	41.3 K	33.7 D	1975-2008
Kayseri	1094	38.6 K	35.5 D	1975-2008
Kırklareli	751	39.8 K	33.5 D	1975-2008
Kırşehir	1007	39.1 K	34.1 D	1975-2008
Kızılcahamam	1033	40.4 K	32.6 D	1975-2008
Kilis	640	36.7 K	37.1 D	1975-2008
Kahramanmaraş	572	37.5 K	36.9 D	1975-2008
Kocaeli	74	40.7 K	29.9 D	1975-2008
Konya	1029	37.8 K	32.4 D	1975-2006
Korkuteli	1017	37.0 K	30.1 D	1975-2008
Kozan	112	37.4 K	35.8 D	1975-2008
Kütahya	969	39.4 K	29.9 D	1975-2008

İstasyon Adı	Yükseklik (m)	Enlem	Boylam	Yağış dönemi
Lüleburgaz	46	41.3 K	27.3 D	1975-2008
Malatya	950	38.3 K	38.2 D	1975-2008
Manisa	71	38.6 K	27.4 D	1975-2008
Mardin	1040	37.3 K	40.7 D	1975-2008
Mersin	7	36.7 K	34.6 D	1975-2008
Merzifon	535	40.8 K	35.5 D	1975-2008
Muğla	646	37.2 K	28.3 D	1975-2008
Muş	1322	38.7 K	41.5 D	1975-2008
Nevşehir	1260	38.6 K	34.7 D	1975-2008
Niğde	1195	37.9 K	34.6 D	1975-2008
Nusaybin	488	37.0 K	41.2 D	1975-2008
Ordu	5	40.9 K	37.8 D	1975-2008
Ödemiş	111	38.2 K	27.9 D	1975-2008
Özalp	2000	38.6 K	43.9 D	1975-2008
Palu	869	38.6 K	39.9 D	1975-2008
Pazar	78	41.1 K	40.8 D	1975-2008
Pınarbaşı	1542	38.7 K	36.3 D	1975-2008
Rize	3	41.0 K	40.5 D	1975-2008
Sakarya	30	40.7 K	30.3 D	1975-2008
Salihli	111	38.4 K	28.1 D	1975-2008
Samsun	4	41.3 K	36.2 D	1975-2008
Seydişehir	1129	37.4 K	31.8 D	1975-2008
Siirt	895	37.9 K	41.9 D	1975-2008
Silifke	10	36.3 K	33.9 D	1975-2008
Simav	809	39.0 K	28.9 D	1975-2008
Sinop	32	42.0 K	35.1 D	1975-2008
Sivas	1294	39.7 K	37.0 D	1975-2008
Sivrihisar	1070	39.4 K	31.5 D	1975-2008
Şanlıurfa	550	37.1 K	38.7 D	1975-2008
Şebinkarahisar	1364	40.2 K	38.4 D	1975-2008
Şile	83	41.1 K	29.6 D	1975-2008
Tatvan	1687	38.5 K	42.2 D	1975-2008
Tefenni	1142	37.3 K	29.7 D	1975-2008
Tekirdağ	4	40.9 K	27.4 D	1975-2008
Tercan	1429	39.7 K	40.3 D	1975-2008
Tokat	611	40.3 K	36.5 D	1975-2008
Tosya	870	41.0 K	34.0 D	1975-2008
Trabzon	39	40.9 K	39.7 D	1975-2008
Tunceli	981	39.1 K	39.5 D	1975-2008
Ulukışla	1453	37.5 K	34.4 D	1975-2008
Uşak	919	38.6 K	29.4 D	1975-2008
Van	1675	38.4 K	43.3 D	1975-2008

İstasyon Adı	Yükseklik (m)	Enlem	Boylam	Yağış dönemi
Yalova	4	40.6 K	29.2 D	1975-2008
Yozgat	1301	38.8 K	34.8 D	1975-2008
Yunak	1148	38.8 K	31.7 D	1975-2008
Zara	1338	39.8 K	37.7 D	1975-2008
Zile	719	40.2 K	35.8 D	1975-2008
Zonguldak	135	41.4 K	31.7 D	1975-2008



Kaynakça

- Abdussamatov, H.I., 2012. Bicentennial Decrease of the Total Solar Irradiance Leads to Unbalanced Thermal Budget of the Earth and the Little Ice Age. *Applied Physics Research* 4, 178-184.
- Agnew, C., Anderson, E.W., 1992. *Water resources in the arid realm*. Routledge, London.
- Alkaya, H.F., 2006. Tarihsel Jeoloji. 30 Mart 2013 tarihinde <http://www.fusunalkaya.net/tarihsel.htm> adresinden erişildi.
- Barrow, C., 1987. *Water Resources and Agricultural Development in the Tropics*. Lonngman Scientific and Technical, New York.
- Bekaroğlu, C.E., 2011. Son İnterglasyal'deki Deniz Seviyesi Değişimlerinin TIMS U/Th Tarihleme Metoduyla Belirlenmesi. Yayınlanmamış doktora tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Bordi, I., Frigio, S., Parenti, P., Speranza, A., Sutera, A., 2001. The analysis of the Standardized Precipitation Index in the Mediterranean area: regional patterns. *Annali di Geofisica* 44, 979-993.
- Broecker, W.S., 1968. In Defense of the Astronomical Theory of Glaciation. *Meteorological Monographs* 8(30), 139-41.
- Bryant, E., 2005. *Natural Hazards*. Cambridge University press, Cambridge.
- Byun, H.R., Wilhite, D.A., 1999. Objective Quantification of Drought Severity and Duration. *American Meteorological Society Journal Of Climate* 12, 2747-2756.
- Cullen, H.M., deMenocal, P.B., 2000. North Atlantic influence on Tigris–Euphrates streamflow. *International Journal Of Climatology* 20, 853-863.
- Cullen, H.M., Kaplan, A., Arkin, P.A., deMenocal, P.B., 2002. Impact Of The North Atlantic Oscillation On Middle Eastern Climate And Streamflow. *Climatic Change* 55, 315–338.
- Çiçek, İ., Ataol M., 2009. Türkiye'nin su potansiyelinin belirlenmesinde yeni bir yaklaşım. *Coğrafi Bilimler Dergisi* 7, 51-64.
- Ekmekçi, M., 2008. Jeolojik geçmişten günümüze iklim değişiklikleri. TMMOB İklim Değişimi Sempozyumu bildiriler kitabı, 5-24, Ankara.
- Emiliani, C., 1955. Pleistocene temperatures. *Journal of Geology* 63, 538-578.
- Erinç, S., 1996. *Klimatoloji Ve Metodları*. Alfa Basım Yayım Dağıtım, İstanbul.

Erlat, E., 2002a. Türkiye'de Minimum Sıcaklık Anomalileri Ve Kuzey Atlantik Salınımı İle İlişkisi. *Klimatoloji Çalıştay Bildiri Kitabı*, 107-118, İzmir.

Erlat, E. 2002b. Türkiye'de Yağış Anomalileri Ve Kuzey Atlantik Salınımı İle İlişkisi. *Klimatoloji Çalıştay Bildiri Kitabı*, 193-210, İzmir.

Erlat, E. 2002. Nao Ve Türkiye. *Bilim ve Teknik Dergisi* 411, 88-91.

Fidan, İ.H., 2011. Doğu Akdeniz Bölgesinde Standardize Yağış İndeksi (SYİ) İle Kuraklık Analizi Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.

Hay, W.W., Soeding, E., DeConto, R.M., Wold, C.N., 2002. The Late Cenozoic uplift – climate change paradox. *Int J Earth Sci (Geol Rundsch)* 91, 746–774.

Hays, J.D., Imbrie, J., Shackleton, N. J., 1976. Variation in the Earth's orbit: pacemaker of the ice ages. *Science* 194, 1121-1132.

Hughes, B.L., Saunders, M.A., 2002. A Drought Climatology For Europe. *International Journal Of Climatology* 22, 1571-1592.

Hurrell, J.W., 1995a. Decadal Trends In The North Atlantic Oscillation And Relationships To Regional Temperature And Precipitation. *Science* 269, 676-679.

Hurrell, J.W., Kushnir, Y., Ottersen, G., Visbeck, M., 2003. The North Atlantic Oscillation: Climatic Significance and Environmental Impact. *Geophysical Monograph* 134, 1-35.

Hansen, J.E., Lacis, A.A., 1990: Sun and dust versus greenhouse gases: An assessment of their relative roles in global climate change. *Nature* 346, 713-719.

Guttman, N.B., 1999. Accepting the Standardized Precipitation Index: A calculation algorithm. *Journal of the American Water Resources Association* 35, 311-322.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1990. *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press. 10 Nisan 2013 tarihinde http://www.ipcc.ch/ipccreports/far/wg_i/ipcc_far_wg_i_full_report.pdf adresinden erişildi.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1995. *IPCC Second Assessment: Climate Change 1995*. 10 Nisan 2013 tarihinde <http://www.ipcc.ch/pdf/climate-changes-1995/ipcc-2nd-assessment/2nd-assessment-en.pdf> adresinden erişildi.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2000. *Special Report on Emissions Scenarios*. 10 Nisan 2013 tarihinde <https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/sres-en.pdf> adresinden erişildi.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2001. *Climate Change 2001: Synthesis Report*. 10 Nisan 2013 tarihinde http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/ adresinden erişildi.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007a. Climate Change 2007: Synthesis Report. 10 Nisan 2013 tarihinde http://www.ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar4/syr/ar4_syr.pdf adresinden erişildi.

Kadioğlu, M., 2008. Günümüzden 2100 Yılına Küresel İklim Değişimi. TMMOB İklim Değişimi Sempozyumu bildiriler kitabı, 25-44, Ankara.

Karavitis, C.A., Alexandris, S., Tsesmelis, D.E., Athanasopoulos, G., 2011. Application of the Standardized Precipitation Index (SPI) in Greece. Water 3, 787-805.

Keskin, M.E., Terzi, Ö., Taylan, E.D., 2008. Göller Bölgesi Meteorolojik Kuraklık Analizi. TÜBİTAK Çevre, Atmosfer, Yer ve Deniz Bilimleri Araştırma Grubu, Proje No: 106-Y-300, 85s, Isparta.

Kiehl, J.T., Trenberth, K.E., 1997. Earth's Annual Global Mean Energy Budget. Bulletin Of The American Meteorological Society 78, 197-208.

Koç, T., 2000. Kuzeybatı Anadolu'da Yağış Etkinliği. Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi Cilt:3, Sayı:4, 1-21.

Koçak, K., Atmosferin Kısa Tarihi. 20 Nisan 2013 tarihinde <http://web.itu.edu.tr/~kkocak/atmevrin.html> adresinden erişildi.

Kömüşçü, A.Ü. 1999. Using the SPI to analyze spatial and temporal patterns of drought in Turkey. Drought Network News 11, 7-13.

Kömüşçü, A.Ü., Erkan, A., Turgu, E., 2002. Normalleştirilmiş Yağış İndeksi Metodu ile Türkiye'de Kuraklık Oluşumunun Coğrafik Analizi. DİM Genel Müdürlüğü Araştırma ve Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığı Yayını, Ankara.

Liljegren, J.C., 2004. Global Dimming: A Hot Climate Topic. ACRF Southern Great Plains Newsletter. 25 Nisan 2013 tarihinde <http://education.arm.gov/outreach/publications/sgp/jul04.pdf> adresinden erişildi.

Maheras, P., 1989. Delimitation of the Summer-Dry Period in Greece According to the Frequency of Weather Types, Theoretical and Applied Climatology 39, 171-176.

McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J., 1993. The relation of drought frequency and duration to time scales. Eighth Conference on Applied Climatology (Anaheim, California, USA), 179-184.

McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J., 1995. Drought monitoring with multiple time scales. Ninth Conference on Applied Climatology (Dallas, Texas, USA), 233-236.

Monti, L.M., 1986. Breeding Plants For Drought Resistance: The Problem And Its Relevance, Drought Resistance in Plants. Meeting Held In Amalfi (19-23 October 1986, Belgium), 1-8.

Öngür, T., 2008. Yer Yuvarının Geçmişinde İklim Değişimi Ve Bu Günü Anlamada Mühendislik Etiği. TMMOB İklim Değişimi Sempozyumu bildiriler kitabı, 373-384, Ankara.

Palmer, W.C., 1965. Meteorological Drought. Office Of Climatology Research Paper No: 45, Weather Bureau, Washington, D.C., 58 pp.

Pamuk, G., Özgürel, M., Topçuoğlu, K., 2004. Standart Yağış İndisi (SPI) ile Ege Bölgesinde Kuraklık Analizi. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 41, 99-106.

Panofsky, H.A., Brier, G.W., 1958. Some Applications of Statistics to Meteorology. Pennsylvania State University Press, 244 pp.

Scotese, C.R., 2008. Paleomap Project. 25 Nisan 2013 Tarihinde <http://www.scotese.com/climate.htm> adresinden erişildi.

Shackleton, N.J., 1977. The oxygen isotope stratigraphic record of the late Pleistocene. Philosophical Transactions Of The Royal Society B 280, 169-179.

Shadeed, S., Almasri, M., 2007. Statistical Analysis of Long-Term Rainfall Data for a Mediterranean Semi-arid Region: A Case Study from Palestine. Included in the international conference, Sustainable Development and Management of Water in Palestine. Amman, Jordan.

Sırdaş, S., 2002. Meteorolojik Kuraklık Modellemesi ve Türkiye Uygulaması. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 237s, İstanbul.

Sırdaş, S., Şen, Z., 2003. GAP Bölgesinde Kurak Dönem Özelliklerinin Araştırılması. III. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu, 305-317.

Smakhtin, V.U., Hughes, D.A., 2004. Review, Automated Estimation and Analyses of Drought Indices in South Asia. Working Paper 83. Colombo, Sri Lanka. International Water Management Institute.

Stanhill, G., Cohen, S. 2001. Global dimming: a review of the evidence for a widespread and significant reduction in global radiation with discussion on its probable causes and possible agricultural consequences. Agricultural And Forest Meteorology 107, 255–278.

Şen, Z., 2003. *Su Bilimi ve Yöntemleri*. Su Vakfı Yayınları, 266, İstanbul.

Şen, Z., 2005. İklim Değişikliği Ve Su Kaynaklarına Etkisi. 22 Mart Dünya Su Günü, “İklim Değişikliğinin Su Ve Enerji Kaynaklarımıza Etkisi” Paneli, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.

Thom, H.C.S., 1958. A Note on the Gamma Distribution, Monthly Weather Review 86, 117-122.

Trigo, R.M., Osborn, T.J., Corte-Real, J., 2002. The North Atlantic Oscillation influence on Europe: Climate impacts and associated physical mechanisms. Climate Research 20,9–17.

Türkeş, M., 1990. Türkiye'de Kurak Bölgeler ve Önemli Kurak Yıllar. Basılmamış doktora tezi, İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü, İstanbul.

Türkeş, M., 1996. Spatial and Temporal Analysis of Annual Rainfall Variations in Turkey. *International Journal of Climatology* 16, 1057-1076.

Türkeş, M., 2001. Küresel iklimin korunması, İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve Türkiye. *Tesisat Mühendisliği, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Süreli Teknik Yayın* 61, 14-29.

Türkeş, M., Sümer, U.M., Demir, İ., 2002. Türkiye'nin günlük ortalama, maksimum ve minimum hava sıcaklıkları ile sıcaklık genişliğindeki eğilimler ve değişiklikler. Prof. Dr. Sırrı Erinç Anısına Klimatoloji Çalıştayı 2002, *Bildiriler Kitabı*, 89-106. Ege Üniversitesi Coğrafya Bölümü, 11-13 Nisan 2002, İzmir.

Türkeş, M., 2008a. İklim değişikliği ve küresel ısınma olgusu: Bilimsel değerlendirme. Küresel Isınma ve Kyoto Protokolü: İklim Değişikliğinin Bilimsel, Ekonomik ve Politik Analizi (Yayına Hazırlayan, Karakaya, E.), 21-57. Bağlam Yayınları No. 308, Bağlam Yayıncılık, İstanbul.

Türkeş, M., 2010. *Klimatoloji ve Meteoroloji*. Birinci Baskı, Kriter Yayınevi, İstanbul.

Türkeş, M., Erlat, E. 2003. Precipitation changes and variability in Turkey linked to the North Atlantic Oscillation during the period 1930-2000. *International Journal of Climatology* 23, 1771-1796.

Wigley, T.M.L., Atkinson, T.C. 1977. Dry years in south-east England since 1698. *Nature* 265, 431-434.

Wilhite, D.A., 2000. Drought: A Global Assessment. Natural Hazards and Disasters Series. London: Routledge Publishers.

Wilhite, D.A., GLANTZ, M.H., 1985. Understanding of the drought phenomenon: the role and definition. *Water International* 10, 111-120.

Wilhite, D.A., Svoboda, M.D., 2000. Drought early warning systems in the context of drought preparedness and mitigation. In *Early warning systems for drought preparedness and drought management* (pp. 1-21). Lisboa: World Meteorological Organization.

Yeğnidemir, M.K., 2005. İç Anadolu Bölgesi'nin Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SYİ) Metodu İle Kuraklık Analizi. Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 173s, Kırıkkale.

Yıldız, O., 2008. Standart Yağış İndisi (SYİ) Metodu İle Kırıkkale İlinde Kuraklık Analizi. 21. Yüzyılın Başında II. Kırıkkale Sempozyumu, 1-8, Kırıkkale.

ÖZET

Akdeniz Havzası'nda ve Türkiye'deki bölgesel hava paternlerini anlamaya çalışan bilimsel araştırmalar, normalden daha az yağışlı sürenin uzunluğu ve şiddeti hakkında değerlendirmeler yapmak için bize yardımcı olabilir. Örneğin, Türkiye'nin çok büyük bir bölümünde yaz mevsiminin yağışsız geçmesi, Polar Cephe'nin bu mevsimde iyice kuzeye çekilmesi, yüksek basınç sistemi ve cT hava kütlelerinin etkisiyle ilgili olduğu bilindiği için bu durum iklim normali ve her yıl tekrarlanan bir süreç olarak su kaynaklarının yönetimi konusunda bir belirsizliği ortadan kaldırmıştır. Fakat yaza göre daha yağışlı olan mevsimlerde gerçekleşen, periyodik olmayan, ne zaman, ne şiddette ve ne kadar uzun süreceği belli olmayan kuraklıklar en tehlikeli ve baş edilmesi en zor olanlarıdır.

Yağış miktarının yıllar arası değişim oranı yüksek olan yarı kurak iklim bölgelerinde yaşanan kuraklıklar, doğal ve beşeri ortamda büyük zararlara neden olabilir. Türkiye'nin Kuzey bölgeleri dışında kalan çok önemli bir bölümü, yaşanabilecek şiddetli veya ekstrem kurak koşulların neden olacağı stres karşısında ciddi problemler yaşayabilir. Tarım sektöründen kentsel ve kırsal bölgelerin su ihtiyacına, hidroelektrik üretiminden ekosisteme varıncaya kadar suyla ilişkili bütün sistemler yıkıcı etkilerle karşılaşabilir.

Bu çalışmada, fiziksel iklim bileşenleri, iklim değişikliği ve Türkiye'nin bulunduğu bölgenin iklim koşullarını kontrol eden sinoptik süreçler ile yerel faktörler hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Kuraklık tanımı, etkileri, çeşitleri ve kuraklığa neden olan doğal sistemler geniş bir literatür taranarak anlatılmıştır. 1975-2008 yılları arasında Türkiye'de ortaya çıkan kuraklık olayları, Türkiye'deki 133 istasyonun aylık toplam yağış miktarları SYİ yöntemiyle incelenerek ele alınmıştır. Türkiye genelinde kuraklığın zamansal ve alansal karakteristikleri, şiddetli ve ekstrem kuraklık olasılıkları, kuraklık süresi, kuraklık genliği ve şiddeti incelenmiştir. Özellikle kış aylarında Akdeniz havzasına yağış getiren Kuzey Atlantik

kökenli cephesel depresyonların frekansını etkileyen, dolayısıyla meteorolojik kuraklık olaylarına da neden olabilen süreçlerden KAS'ın Türkiye'deki kuraklıkları ne ölçüde etkilediği araştırılmıştır.



ABSTRACT

The scientific researches that are about the regional air patterns in mediterranean basin and Turkey may give us an idea about the length and severity of drought periods. For example, Summer drought in Turkey is related with effects of high pressure system, cT air masses and moving of the polar front to north in summer. This yearly occurring event which is accepted as a climate normal, puts away an uncertainty corresponding water resources management. However, the droughts occurring in the seasons which are more rainy with respect to summer, that are non-periodic and uncertain in occurring time, severity and duration are the most difficult ones to cope with.

The droughts which are experienced in semi-arid climate regions that have high variation rate of precipitation amount between years lead to large damage in physical environment and human activities. An important part of Turkey excluding northern regions, may experience serious problems due to stress by severe and extreme drought conditions. All water-related systems as agriculture, water supply of urban and rural regions, hydropower generation and ecosystem can face destructive effects.

Detailed informations about physical climate components, climate change as well as regional factors and synoptic processes that control the climate conditions of Turkey are given in this study. Definition, types and effects of drought and also natural systems causing drought are explained by a comprehensive literature review. The drought events which occurred in Turkey between the years 1975 and 2008 are investigated by the monthly total precipitation amounts of 133 stations with SPI method. Temporal and spatial characteristics of droughts, probabilities of severe and extreme droughts, duration, amplitude and severity of droughts in Turkey are studied. The correlation between droughts in Turkey and NAO, one of the processes which affect the frequency of North Atlantic origin frontal

depressions resulting in precipitation in Mediterranean basin especially in winter and thus may cause meteorological droughts, is also investigated.

