

Standart Yağış İndeksi Metodu İle Sel Risk İzleme

Ertan Turgu¹, Ali Ümran Kömüşcü², Osman Eskioglu³, Özkan Öz⁴, Alaattin Uğurlu⁵

Anahtar Kelimeler: Kızılırmak ve Sakarya havzaları, SPI indeksi, sel risk izleme, aylık toplam yağış.

Özet: Su kaynakları yönetiminde sel riskini izlemek ve tespit etmek kolay değildir. Buna karşılık uygun indekslerin mevcudiyeti ve uygulanması sele yatkın alanlarda su kaynaklarının durumunun sürekli izlenmesinde kılavuzluk yapabilir. İyi uyarlanmış bir indeksin kullanılması felaketin etkilerinin azaltılması için önleyici tedbirler alınmasında sel olayının potansiyel tehditinin sürekli izlenmesine yardımcı olabilir. Bu makalenin amacı, Kızılırmak ve Sakarya havzalarında sele yatkın alanlarda tekrar eden seller ve buna neden olan şiddetli yağışlara bağlı olarak bu bölgelerde sel riskini izlemek için SPI yönteminin potansiyel kullanımını analiz etmektir. Esasen SPI yöntemi ilk olarak kuraklık tespiti ve izlemesi için geliştirilmiştir. Buna karşın SPI yönteminin özellikleri nedeniyle normalden daha nemli periyodların izlenmesinde ve sel riski altındaki alanların tespitinde kullanılabilir. Çalışmanın ilk aşamasında 239 büyük klima istasyonuna ait 1980-2014 yılları arasındaki aylık toplam yağış verisinden nemlilik ve kuraklık şiddetlerini ifade eden farklı zaman ölçeklerindeki (1, 3, 6 ve 12 aylık) SPI değerleri elde edilmiştir. Sonraki aşamada ise iki farklı havzada meydana gelen yedi farklı sel olayında SPI yönteminin sel oluşum riskini izlemede nasıl kullanılabileceği araştırılmıştır.

1. GİRİŞ

Sel olayları Türkiye’de can ve mal kayıplarına neden olan, en çok zarar veren ve yıkıcı özelliği olan doğal afetlerden birisidir. Avrupa Birliği Sel Direktifi seli normalde suyla kaplı olmayan arazilerin sel suları altında kalması olarak tanımlanır (Directive 2007/60/EC). Sel olayı, nehir veya göl setlerinden toprağın suya doyması nedeniyle taşan sudur. Selden ilk etkilenenler arasında kanallar, geçitler, kanalizasyon sistemleri, köprüler ve binalar gibi altyapılar olmakla beraber, insanlarda can ve mal kaybı şeklinde selden etkilenir.

Sel afeti meteorolojik şartlarla yakından karakterize edilmektedir. Sel iklimin normal bir parçası olmasına rağmen ekstrem iklim olayı olarak doğal afete dönüşebilir ve suya bağlı sektörler üzerinde etkili olabilir. Yeterli sel kontrol planları ve uygun politikalar selin meydana getireceği zararları önemli derecede azaltabilmektedir.

Kömüşcü,1999’da, Sönmez ve arkadaşları 2005 de yaptıkları araştırmada SPI kullanarak kuraklığa karşı duyarlılığın alansal ve zamansal boyut analizlerini yapmıştır. SPI metodu esasen kuraklık analizleri için geliştirilmiş olsa da, Wilhite ve ark (1996 ve 2000) sel analizlerinde de bu yöntemin başarıyla kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır. Sel riskinin sürekli izlenmesi ve selin

¹ Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara, Mühendis, eturgu@mgm.gov.tr

² Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara, Jeomorfoloğu, aukomuscu@mgm.gov.tr

³ Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara, Mühendis, oeskioglu@mgm.gov.tr

⁴ Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara, Mühendis, ooz@mgm.gov.tr

⁵ Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara, Mühendis, augurlu@mgm.gov.tr

önceden tahmin edilebilmesi için indekslerin elde edilmesi bir kurumda olması gereken ihtiyaçlardan birisidir. Seiler (2002). SPI yöntemi McKee (1993,1995) tarafından kuraklık izleme ve tanımlama amacıyla geliştirilmiştir. Buna karşın bazı araştırmacılar örneğin Komuscu (1999) ve Hayes (1999) SPI yönteminin sele neden olabilecek toprak doygunluğunun belirlenmesinde yol gösterici olabileceğini önermiştir.

Bu çalışmada amaç, SPI yöntemi kullanılarak 2010 ve 2014 yıllarında Kızılırmak ve Sakarya havzalarında meydana gelen sel risk durumlarını öngörme potansiyelini analiz etmektir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

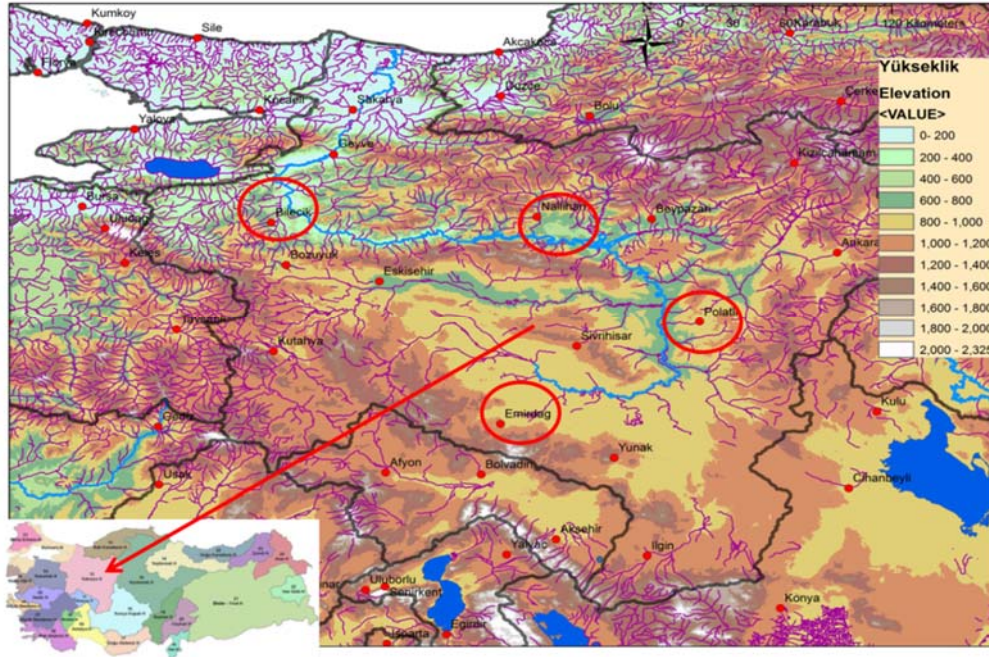
Türkiye’de uzun dönem yıllık toplam yağışlarının (1981-2010) dağılımı incelendiğinde kıyı bölgelerimizin en yüksek yağışları aldığı görülmektedir (Şekil 1). Doğu Karadeniz’de Artvin civarı yaklaşık 2200 mm yıllık yağış ile ülke genelindeki maksimum yağışların görüldüğü yerdir. Akdeniz bölgesinde, özellikle Antalya ve Hatay’da, yıllık yağış toplamı 1500 mm civarındadır. Yıllık yağış değerleri Ege bölgesinde daha düşük değerler göstermektedir. Marmaris ve çevresinde yıllık yağış toplamı yaklaşık 1300 mm dir. Doğu Anadolu bölgesinde ise yağış dağılımı nispeten düzensizdir. Güney Doğu Anadolu bölgesinde ise yıllık yağışlar 756 mm ortalama değerler göstermektedir. Türkiye genelindeki en düşük yıllık yağış değerleri 250 ile 550 mm arasında değişen miktarlarda İç Anadolu bölgesinde ölçülmüştür.



Şekil 1. Yıllık toplam yağış ortalamaları (1981-2010) Source: DMI

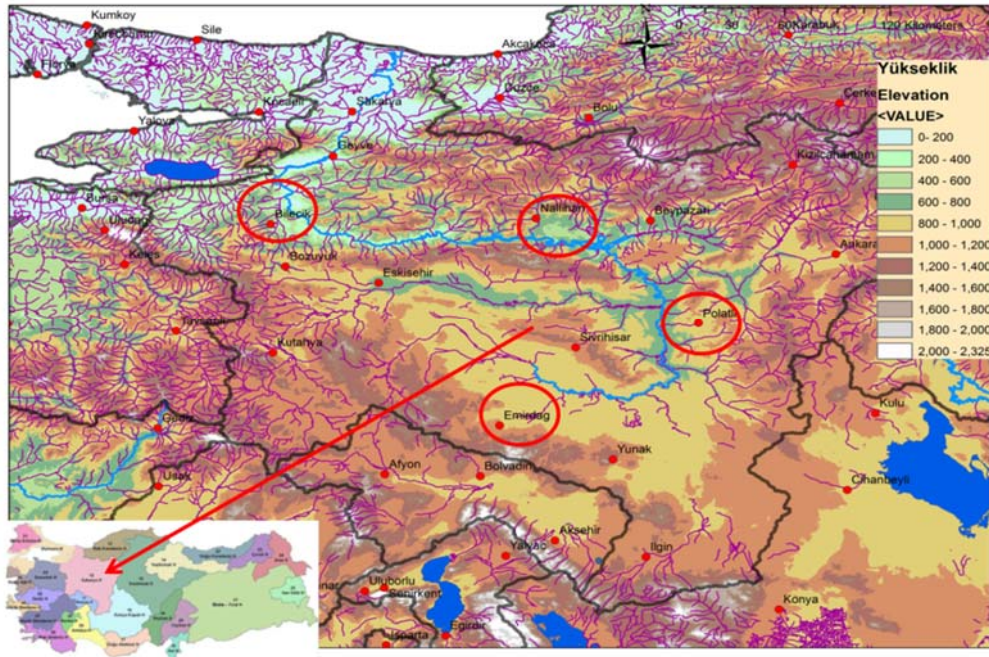
Sel olayı sele yatkın alanlarda yüzey akışını drene eden akarsulardan yağış fazlalığı nedeniyle meydana gelir. Sel olayının meydana gelmesinde toprağın suya doygunluğu, yüzey akış miktarı, yağış süresi, toprak tipi, selin meydana geldiği alan, topografya ve eğim önemli rol oynamaktadır. Yüzey akışı olayının meydana gelmesinde esas etken yağış toplamı ve yağış şiddetidir. Bu çalışmada 239 büyük klima istasyonunun 29 yıllık yağış verisi kullanılmıştır. Çalışma için Türkiye’nin kuzey batısında yer alan Sakarya ve Kızılırmak havzaları seçilmiştir. Sakarya nehri Sakarya havzası içinden geçen Türkiye’nin 3. uzun nehridir. Bu nehrin kaynağı Afyon’un kuzey doğusundaki Bayat platosudur. Karadeniz’e ulaşmadan önce Polatlı yakınında

Porsuk çayı ile birleşen Sakarya nehri Adapazarı düzlükleri içinden geçer. Nallıhan, Polatlı ve Emirdağ, Sakarya havzasında Bilecik için sele yatkın alanların yukarı havzasıdır. (Şekil 2).



Şekil 2. Çalışma alanı, özellikle Sakarya havzası ve meteoroloji istasyonları, Sol alt köşede yer alan küçük şekil DSI tarafından belirlenen havzalardır. Kırmızı daire sele yatkın alanları göstermektedir.

Kızılırmak nehri ülkemizin en uzun nehridir ve kuzeyde delta içinden Karadeniz'e dökülür. Osmancık, Kırıkkale, Nevşehir ve Kayseri şehirlerimiz zayıf drenaja sahip yukarı havza alanlarıdır. Bu lokasyonlar uzun ve güvenilir veri setlerine sahip oldukları için seçilmişlerdir (Şekil 3).



Şekil 3. Çalışma alanı, özellikle Kızılırmak havzası ve meteoroloji istasyonları, Sol alt köşede yer alan küçük şekil DSI tarafından belirlenen havzalardır. Kırmızı daire sele yatkın alanları göstermektedir.

2.2. Yöntem

Kuraklık ve sel ile ilgili tanımlarda en bariz problemlerden biri kurak ve nemli dönem süresi boyunca normale göre yağış azlığı veya fazlalığının toprak nemi, su rezervuarları, kar kütleleri, nehir akımları ve yeraltı suları gibi farklı su kaynaklarına nasıl etki ettiği. Burada en önemli sorun su toplama havzalarında aşırı yağışlar ve kar erimelerinden kaynaklanan taşkınların bu kaynaklar üzerindeki etkisinin süre ve şiddeti açısından farklı olmasından kaynaklanmasıdır. Bu durumda aşırı yağışların izlenmesi açısından yağışta normale göre fazlalığın farklı zaman ölçüleri (dilimleri) içinde kantitatif olarak ifade edilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Standart Yağış İndeksi (Standardized Precipitation Index veya kısaca SPI) yağış azlığının veya fazlalığının farklı zaman dilimleri içindeki değişkenliğini dikkate alabilen bir yöntemdir. Yağış azlığının veya fazlalığının farklı su kaynaklarına olan etkisinin ne kadar sürede hissedilebileceği mantığına göre, analizde 3, 6, 12 ve 24 aylık zaman dilimleri seçilerek sel riskinin var olup olmayacağı yorumlanabilir. Buradaki yaklaşım aylık toplam yağışta meydana gelebilecek yükselmenin toprak nem düzeyine hemen etki ettiği halde nehirlere, göllere, yeraltı sularına daha geç etki etmesi ile ilgilidir.

SPI değerlerinin hesaplanmasında şu yöntem izlenir. En az 30 yıllık sürekli periyoda sahip aylık yağış dizileri (m boyutunda) hazırlanır. Yağış eksikliğinin farklı su kaynaklarına etkisi dikkate alınarak indekslerdeki değişimlerin gözleneceği 3,6,12,24, ve 48 aylık (i) gibi farklı zaman dilimleri belirlenir. Bu zaman dilimleri yağıştaki eksikliğin kullanılabilir su kaynaklarına olan etkisinin ne kadar sürede hissedilebileceği gibi subjektif bir mantığa göre seçilmiştir. Örneğin herhangi bir ayda yağışta meydana gelen azalma toprak nemine hemen etki edebilirken, yeraltı sularının ve nehirlerin bundan etkilenmesi daha uzun süreli bir zaman dilimi içinde olur. Her zaman dilimindeki veri dizileri kayan bir özellikte olup o ayın indeks değeri önceki (i) ayları değerlerine göre belirlenir. Daha sonra her veri setine Gamma dağılımı uydurulur ve böylece gözlenmiş yağış olasılıkları tanımlanır. Eldeki mevcut verilerden elde edilen bu olasılık tanımlamaları daha sonra herhangi bir ayda gözlenmiş bir değer için kümülatif olasılığını bulmak için kullanılabilir. Yöntemin son aşamasında ise Kümülatif olasılık değeri $H(x)$, ortalama değeri sıfır (0) ve varyans değeri bir (1) olan standart normal rastlantısal Z değişkenine dönüştürülür. Farklı zaman ölçekleri için belirtilen nemli dönem terimi SPI değerinin sürekli pozitif kaldığı dönem için kullanılmaktadır. SPI yöntemine ait daha fazla detay McKee ve ark. (1994 ve 1995) çalışmalarında bulunmaktadır.

Table1.SPI Kuraklık indeksine Göre Nemlilik Sınıflandırması (McKee vd,1994)

SPI Sınıflandırması	SPI Değerleri
Normal Civarı(Near Normal)	$-0.50 < SPI \leq +0.50$
Hafif Nemli(Abnormaly Moist)	$+0.50 < SPI \leq +0.80$
Orta Nemli(Moderately Moist)	$+0.80 < SPI \leq +1.30$
Çok Nemli(Very Moist)	$+1.30 < SPI \leq +1.60$
Aşırı Nemli(Extremely Moist)	$+1.60 < SPI \leq +2.00$
Olağanüstü Nemli(Exceptionally Moist)	SPI +2.00 den büyük

Kuraklık indeksine göre nemlilik sınıflandırmasında pozitif ve +0.5 den büyük SPI değerleri nemliliğin şiddetini göstermektedir. (Tablo 1).

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

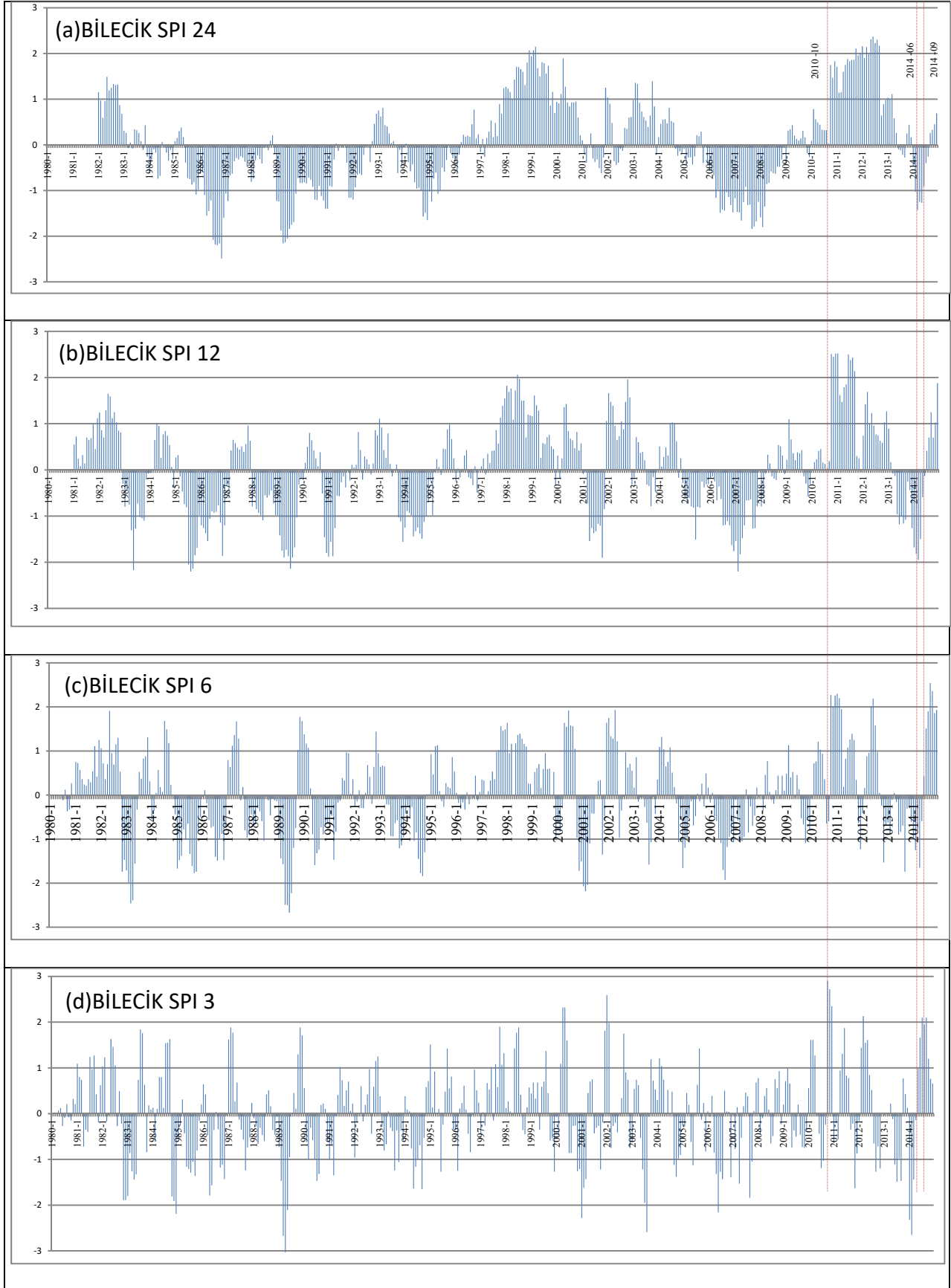
Bu çalışmada 1980-2014 arasında hesaplanan SPI veri setindeki nemli devreler (wet cycles) ile bu nemli dönemle ilişkili olan önemli sel olayları araştırılmıştır. 24 aylık zaman ölçeğindeki SPI (SPI_{24}) değerleri analiz edildiğinde, Sakarya havzasındaki Bilecik 'de 2 belirgin nemli devre (Şekil 4a); Nallıhan'da 1 adet belirgin nemli devre (Şekil 5a); Polatlı'da 2 belirgin nemli devre (Şekil 6a) ve Emirdağ'da 1 belirgin nemli devre (Şekil 7a) olduğu ortaya çıkmaktadır. Kızılırmak havzasında Osmancık'da 1 belirgin nemli devre (Şekil 8a); Kırıkkale'de 2 belirgin nemli devre (Şekil 9a); Nevşehir'de 2 belirgin nemli devre (Şekil 10a) ve Kayseri'de 2 belirgin nemli devre (Şekil 11a) gözlemlenmiştir. Esasen aynı nemli devreler 12 aylık zaman ölçeğindeki SPI değerleri (SPI_{12}) içinde aynı gözlemlenmiştir. Buna karşılık daha kısa zaman ölçeği seçildiğinde (Şekil 4b, Şekil 5b, Şekil 6b, Şekil 7b, Şekil 8b, Şekil 9b, Şekil 10b, Şekil 11b) SPI değerlerindeki salınımlar artmaktadır. 6 aylık zaman ölçeğindeki SPI (SPI_6) değerleri analiz edildiğinde 3 aylık zaman ölçeğindeki SPI (SPI_3) değerlerine göre nemli periyot daha kolay ayırd edilmektedir. 3 aylık zaman ölçeğindeki SPI (SPI_3) değerlerine göre Sakarya havzasında Bilecik- SPI_3 (Şekil 4d), Nallıhan- SPI_3 (Şekil 5d), Polatlı- SPI_3 (Şekil 6d) ve Emirdağ- SPI_3 (Şekil 7d); Kızılırmak havzasında ise Osmancık- SPI_3 (Şekil 8d), Kırıkkale- SPI_3 (Şekil 9d), Nevşehir- SPI_3 (Şekil 10d) and Kayseri- SPI_3 (Şekil 11d) çok daha sık kuraklık sınır değeri olan sıfırın (0) etrafında salınımlar göstermektedir. Bu sonuçlar farklı zaman ölçeklerinde SPI değerlerinin karakteristiklerini açıklamaktadır. Zaman ölçeği 12 ve 24 aylık olarak yükseltildiğinde SPI, kısa dönem yağış farklılıklarına daha yavaş cevap vermektedir ve pozitif yada negatif SPI değerleri daha ayırd edilir hale gelmektedir.

Sakarya havzası içinde yer alan Nallıhan, Polatlı ve Emirdağ için 2014 yılı SPI analiz sonuçlarına göre SPI_{12} ve SPI_6 tarafından temsil edilen nemli ve aşırı nemli devreler daha aşağıdaki havza olan Bilecik'de gözlemlenmiştir. Aynı sonuçlar Kızılırmak havzası içinde yer alan Kırıkkale, Nevşehir ve Kayseri için 2014 yılı SPI analiz sonuçlarına göre SPI_{12} ve SPI_6 tarafından temsil edilen nemli ve aşırı nemli devreler daha aşağıdaki havza olan Osmancık'da gözlemlenmiştir.

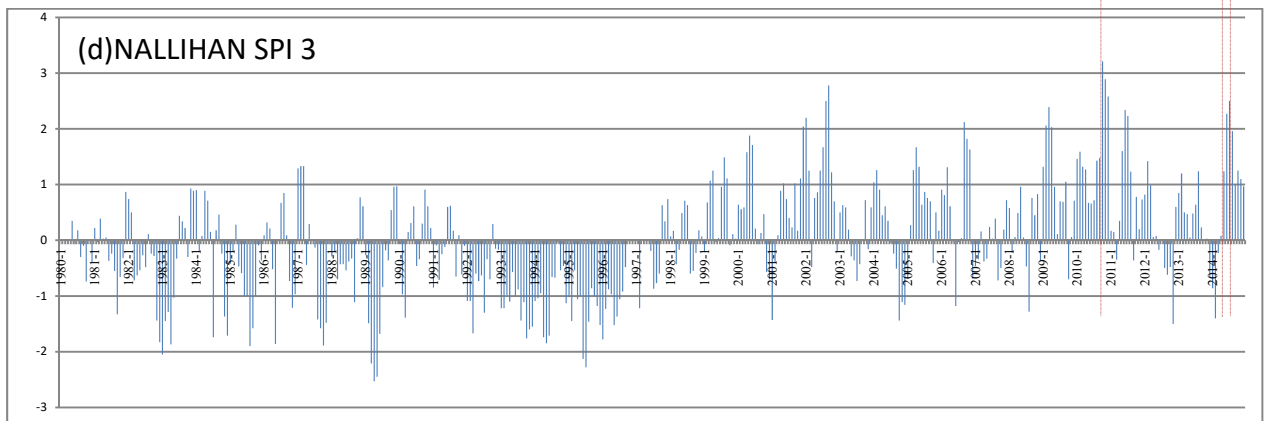
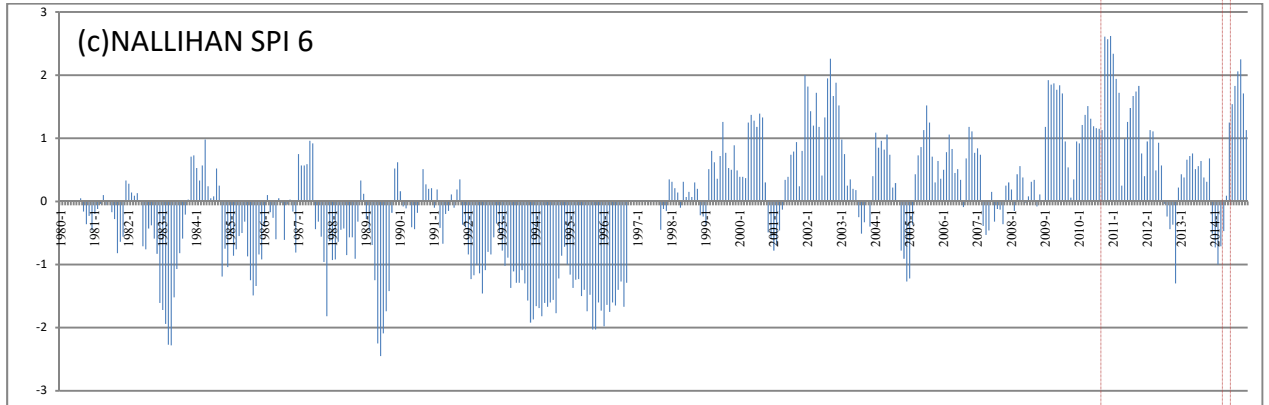
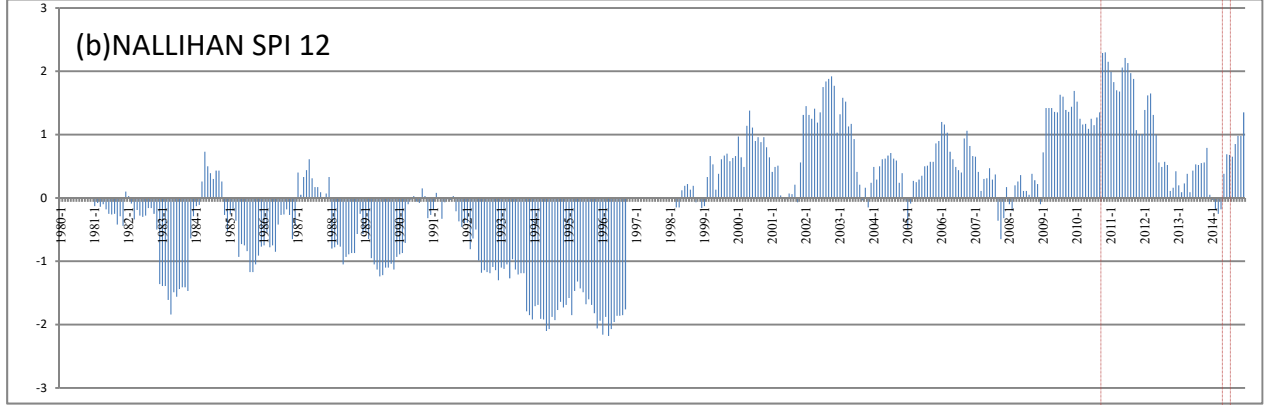
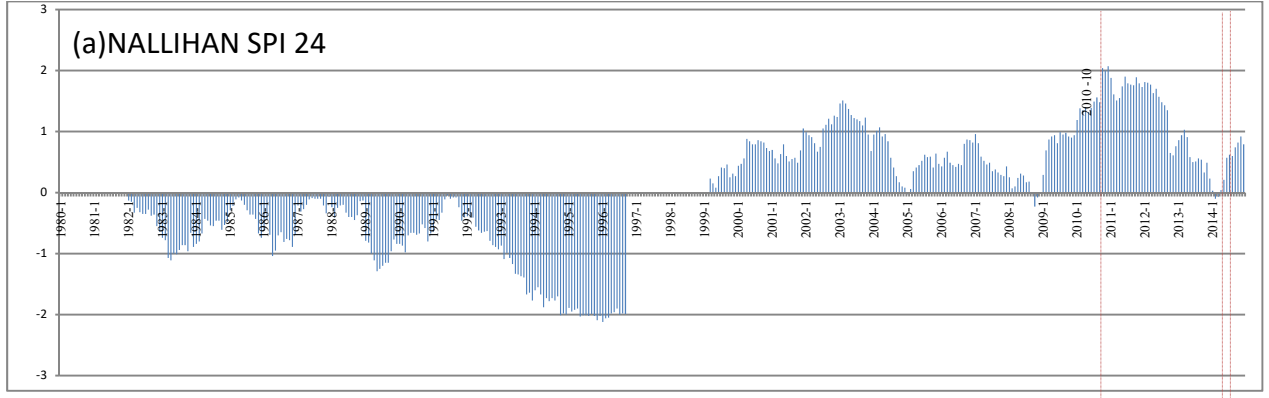
Sel riski, (SPI_{24} , SPI_{12} , SPI_{06} and SPI_{03}) için yüksek SPI değeri deseni analiz edilerek belirlenebilir. Örneğin Osmancık'ta Nisan 2014 'deki sel riski açısından dikkate değer ölçüde yüksek SPI değerleri bulunmasına karşın sel olayı yaşanmamıştır. (Tablo 3). Buna karşın, uzun dönem zaman ölçekleri bölgedeki mevcut suyun bir göstergesidir ve önemli sel olayları (sarı renkte) esnasında yüzey akışında artışı açıklamaktadır.

Bilecik ve Polatlı SPI sonuçlarının analizi, meydana gelen her bir sel olayının aynı periyotta benzersiz özellikleri olduğunu göstermiştir. Osmancık'da nemli dönemin uzatılmasıyla Ocak 2010 ile Ağustos 2014 arasında daha uzun zaman ölçeğinin (SPI_{24} ve SPI_{12}) kullanılması geçmişten ilave edilen nemlilik durumuna (toprak nemi, akarsu ve yeraltı su seviyesinde yükselmeler) işaret etmektedir. (Tablo 3 and Şekil 8a).

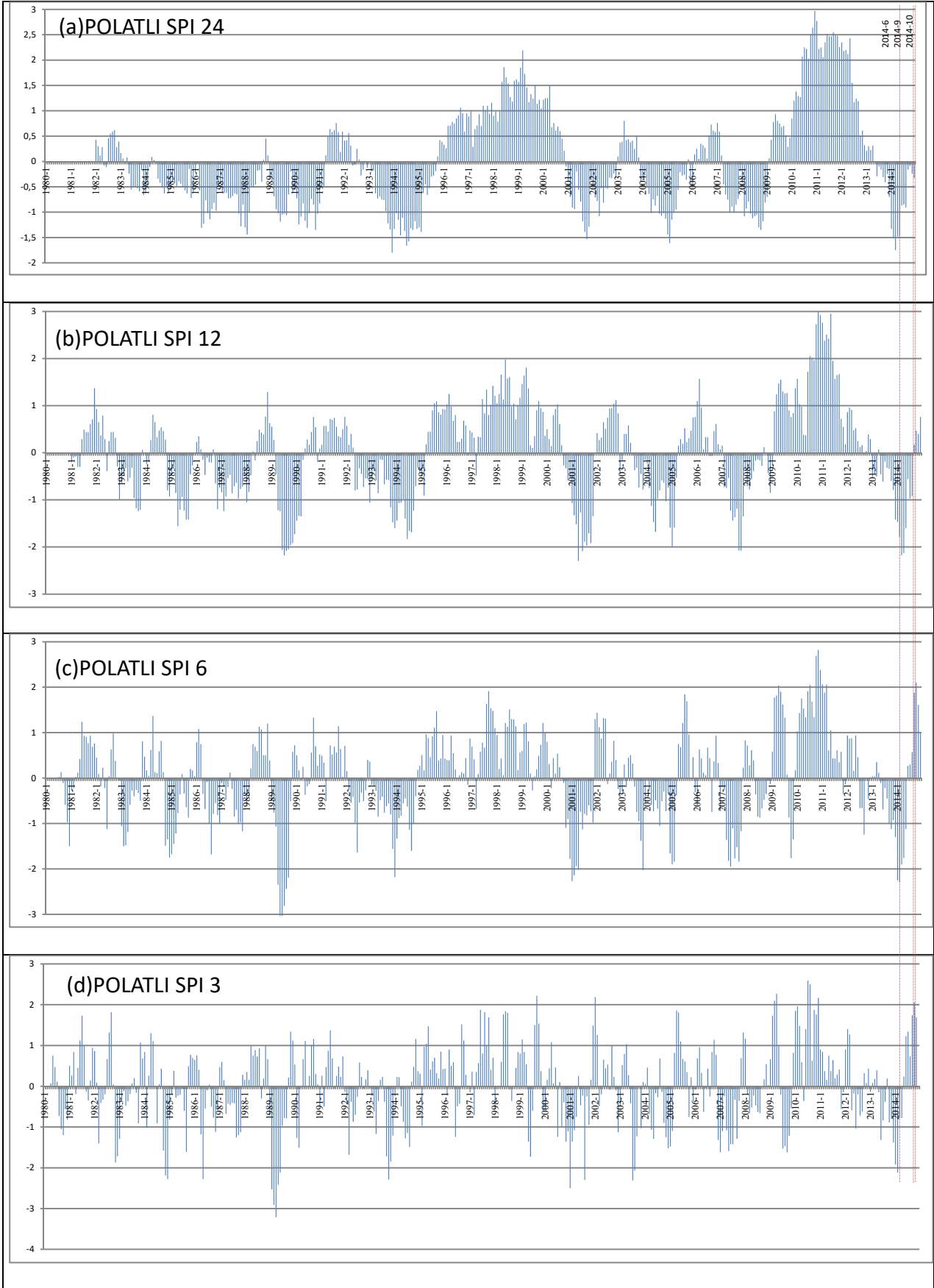
Tablo 2 Sakarya havzasında uzun dönem geçmişten ilave edilen nemlilik durumu (long-term antecedent conditions) gözlemlenmiştir. Sakarya havzasında 2010-Nallıhan, 2010-Polatlı ve 2010-Emirdağ için yüksek SPI_{24} değerleri Ekim 2010 da Bilecik'de sele neden olmuştur. Uzun dönem geçmişten ilave edilen nemlilik durumu Bilecik ve Nallıhan'da Ekim-2010 da meydana gelen sel olaylarını açıklamaktadır. Tablo 3 ve Şekil 12 Kızılırmak havzasına ait Kırıkkale SPI_1 ve Kayseri SPI_1 serileri incelendiğinde bunlardan Ağustos 2014 şiddetli yağışının kısa dönem katkısıyla Osmancık'da Eylül 2014 'de sel'e neden olduğu söylenebilir. İlginç sonuçlardan birisi de Tablo 2 ve Tablo 3 'de sarı renk ile belirtilen sel olaylarının göstergeleri her bir olayın 1,3,6,12 ve 24 aylık periyotları büyük pozitif değerli SPI değerleriyle uyumludur. Nallıhan' da Ekim 2010 daki sel olayında 11 ardışık pozitif SPI_3 değeri görülmüştür. Bu da kısa periyotlu nemliliğin uzun sürmesi anlamındadır (Şekil 5c and Tablo 2).



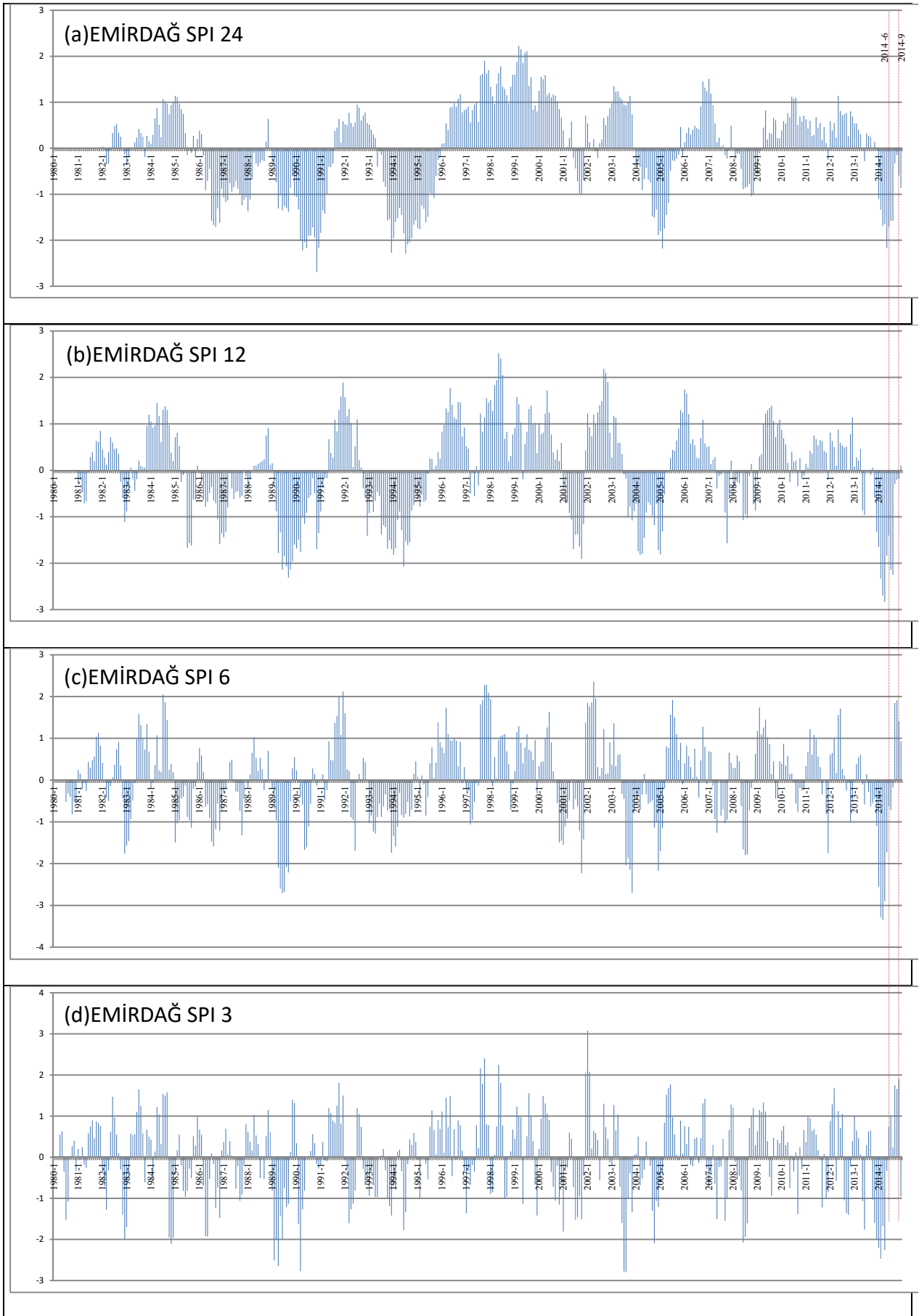
Şekil 4. Bilecik için 1980-2014 yağış serisi kullanılarak hesaplanmış SPI değerleri (a)24 aylık zaman ölçeğine (SPI₂₄) (b)12 aylık zaman ölçeğinde (SPI₁₂) (c)6 aylık zaman ölçeğinde (SPI₆) (d)3 aylık zaman ölçeğinde (SPI₃) ve son dönemlerde meydana gelen sel olayları (okla gösterilen).



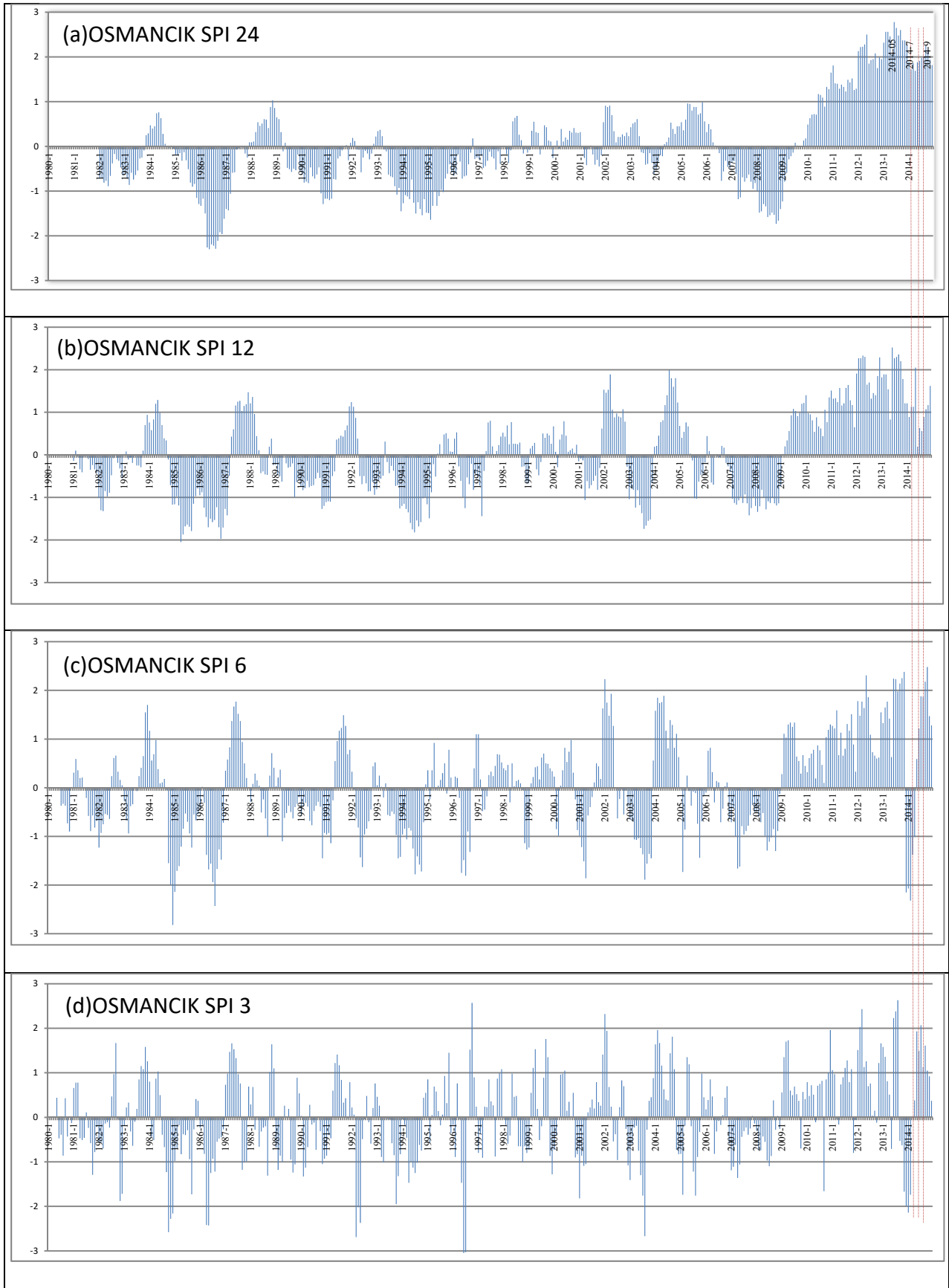
Şekil 5.Nallihan için 1980-2014 yağış serisi kullanılarak hesaplanmış SPI değerleri (a)24 aylık zaman ölçeğine (SPI₂₄) (b)12 aylık zaman ölçeğinde (SPI₁₂) (c)6 aylık zaman ölçeğinde (SPI₆) (d)3 aylık zaman ölçeğinde (SPI₃) ve son dönemlerde meydana gelen sel olayları (okla gösterilen).



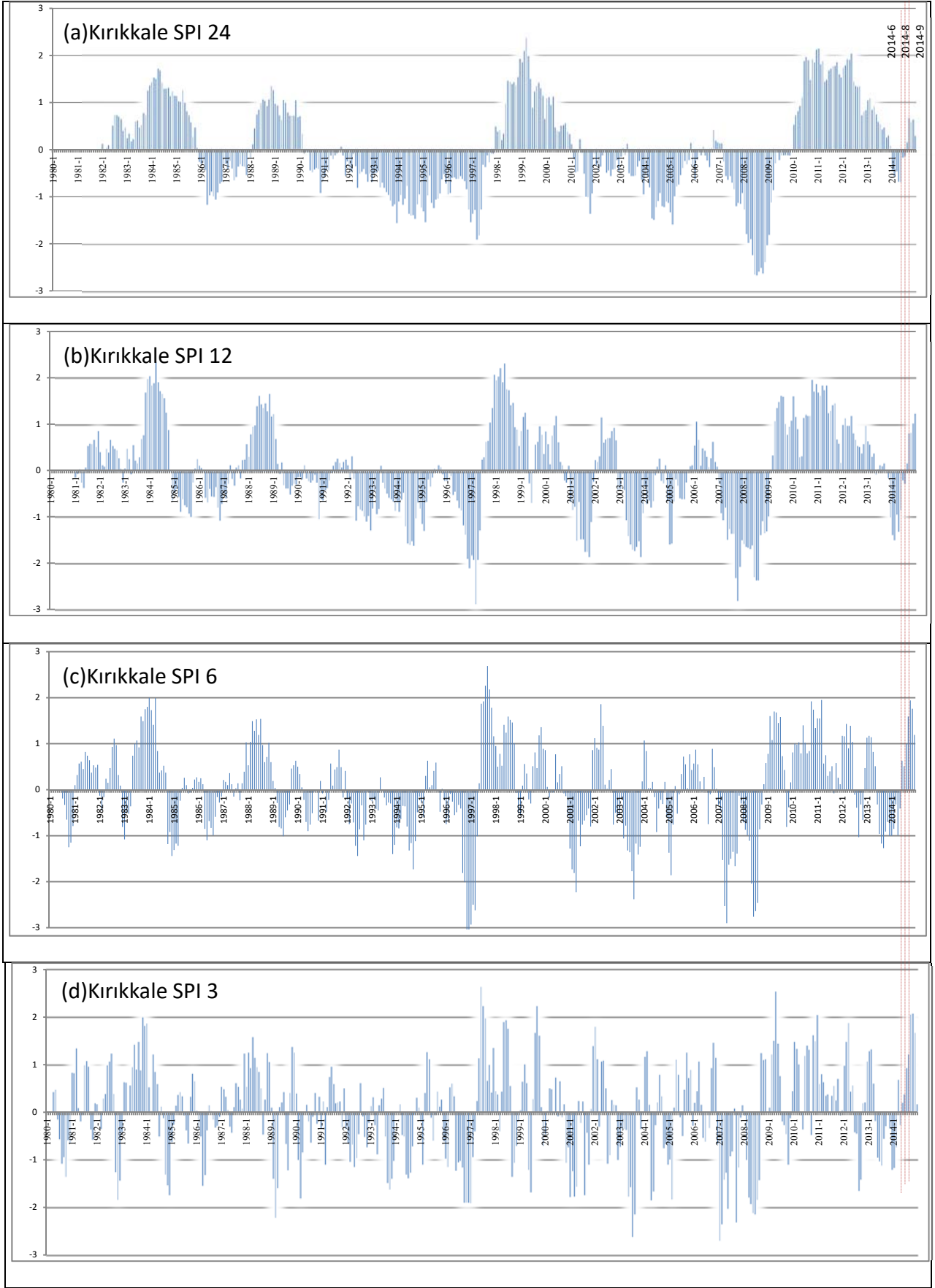
Şekil 6.Polatlı için 1980-2014 yağış serisi kullanılarak hesaplanmış SPI değerleri (a)24 aylık zaman ölçeğine (SPI₂₄) (b)12 aylık zaman ölçeğinde (SPI₁₂) (c)6 aylık zaman ölçeğinde (SPI₆) (d)3 aylık zaman ölçeğinde (SPI₃) ve son dönemlerde meydana gelen sel olayları (okla gösterilen).



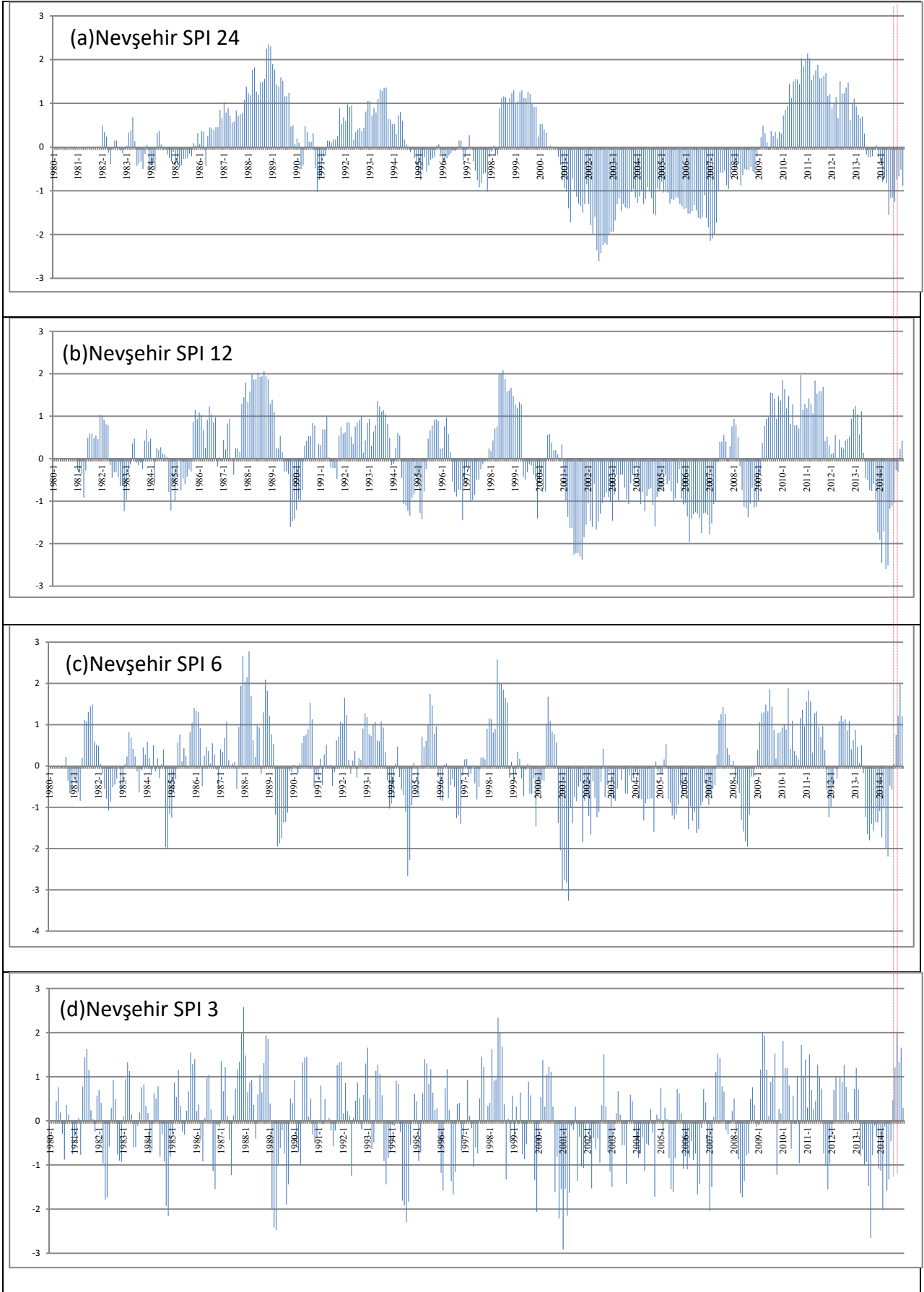
Şekil 7.Emirdağ için 1980-2014 yağış serisi kullanılarak hesaplanmış SPI değerleri (a)24 aylık zaman ölçeğine (SPI₂₄) (b)12 aylık zaman ölçeğinde (SPI₁₂) (c)6 aylık zaman ölçeğinde (SPI₀₆) (d)3 aylık zaman ölçeğinde (SPI₀₃) ve son dönemlerde meydana gelen sel olayları (okla gösterilen).



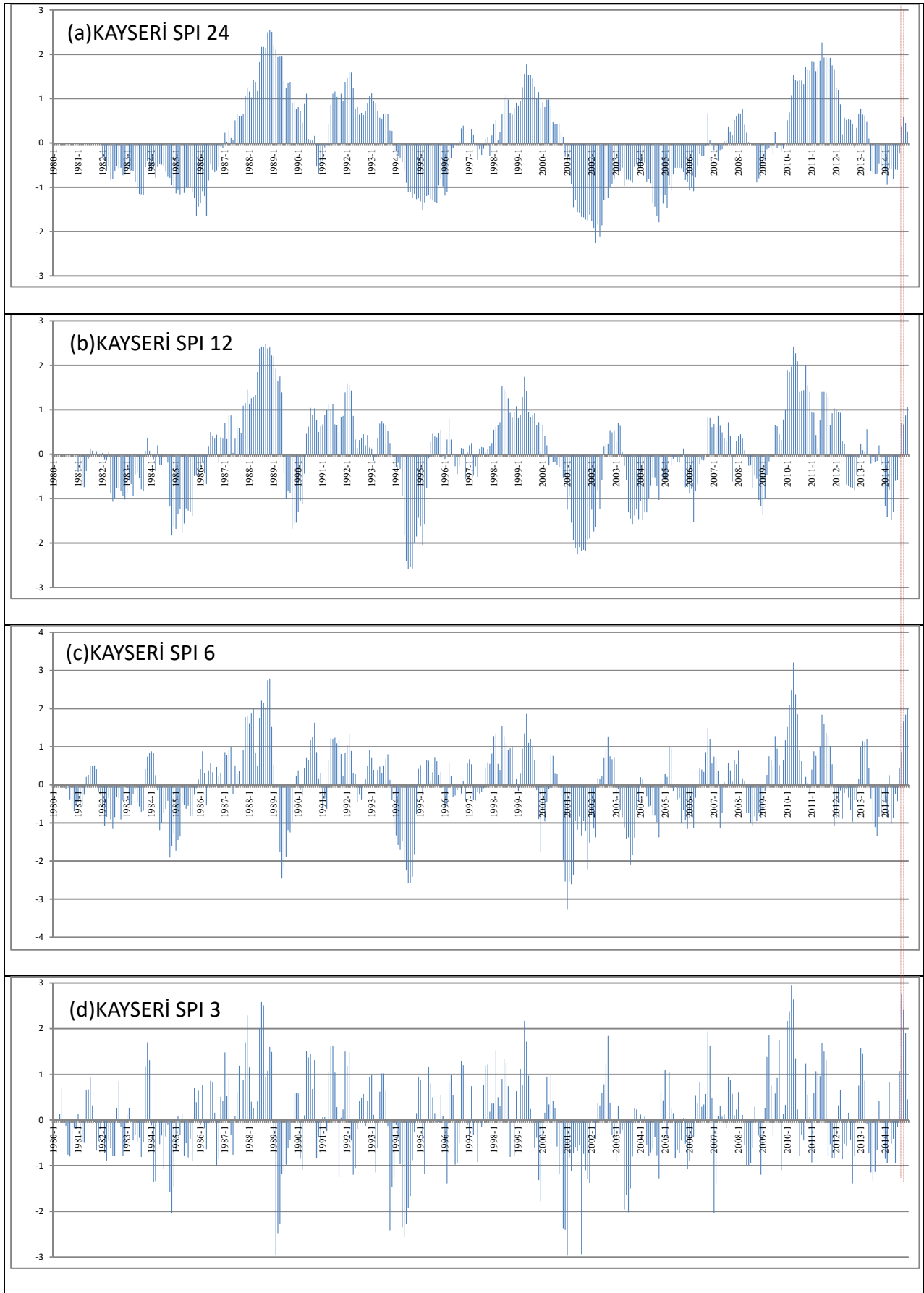
Şekil 8.Osmancik için 1980-2014 yağış serisi kullanılarak hesaplanmış SPI değerleri (a)24 aylık zaman ölçeğine (SPI₂₄) (b)12 aylık zaman ölçeğinde (SPI₁₂) (c)6 aylık zaman ölçeğinde (SPI₆) (d)3 aylık zaman ölçeğinde (SPI₃) ve son dönemlerde meydana gelen sel olayları (okla gösterilen).



Şekil 9.Kırıkkale için 1980-2014 yağış serisi kullanılarak hesaplanmış SPI değerleri (a)24 aylık zaman ölçeğine (SPI₂₄) (b)12 aylık zaman ölçeğinde (SPI₁₂) (c)6 aylık zaman ölçeğinde (SPI₆) (d)3 aylık zaman ölçeğinde (SPI₃) ve son dönemlerde meydana gelen sel olayları (okla gösterilen).



Şekil 10. Nevşehir için 1980-2014 yağış serisi kullanılarak hesaplanmış SPI değerleri (a) 24 aylık zaman ölçeğine (SPI₂₄) (b) 12 aylık zaman ölçeğinde (SPI₁₂) (c) 6 aylık zaman ölçeğinde (SPI₆) (d) 3 aylık zaman ölçeğinde (SPI₃) ve son dönemlerde meydana gelen sel olayları (okla gösterilen).



Şekil 11. Kayseri için 1980-2014 yağış serisi kullanılarak hesaplanmış SPI değerleri (a) 24 aylık zaman ölçeğine (SPI₂₄) (b) 12 aylık zaman ölçeğinde (SPI₁₂) (c) 6 aylık zaman ölçeğinde (SPI₆) (d) 3 aylık zaman ölçeğinde (SPI₃) ve son dönemlerde meydana gelen sel olayları (okla gösterilen).

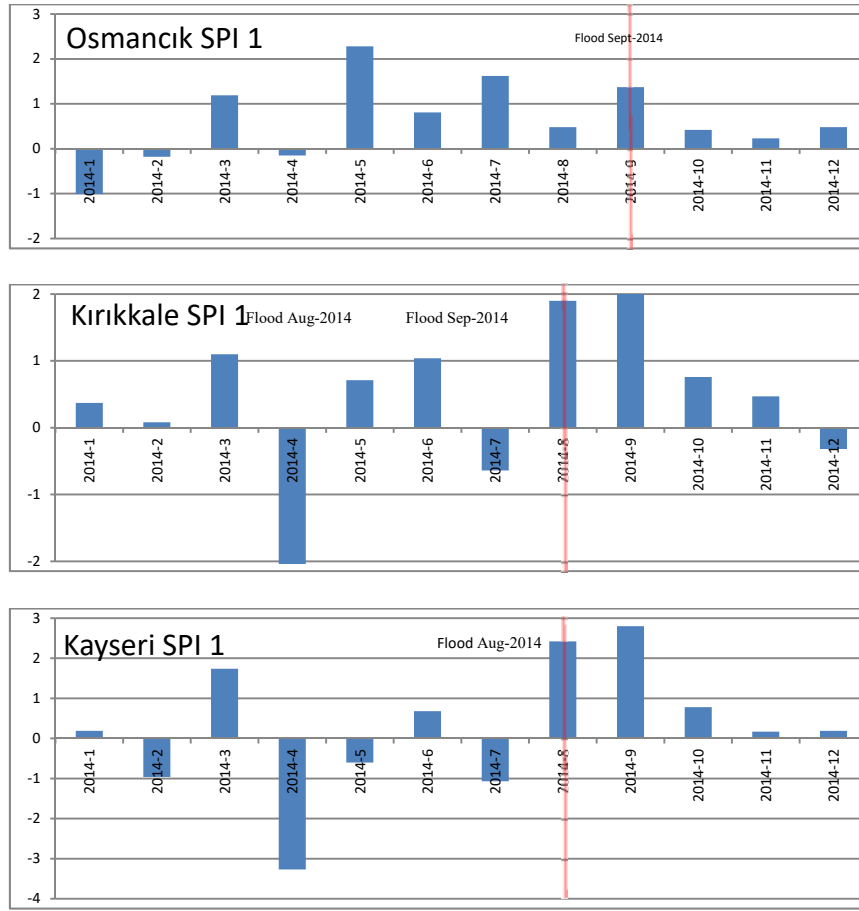
Sakarya havzasında bulunan Bilecik ve Nallıhan 2010 yılında bir, 2014 yılında ise 2 önemli sel olayı yaşanmıştır. Diğer taraftan, Polatlı'da 3 ve Emirdağ'da ise 2 önemli sel afeti yaşanmıştır. Kızılırmak havzasında ise Osmaniçik ve Kırıkkale 2014 'de 3, Nevşehir ve Kayseri 2014 de 1 önemli sel hadisesi meydana gelmiştir.

Tablo 2.Sakarya havzasında 1,3,6,12 ve 24 aylık zaman ölçeklerinde meydana gelmiş önemli sel olayları. Sarı renk şiddetli yağışlar neticesinde meydana gelen sel afetini göstermektedir.

Year	Mo	Bilecik 17120 (539 m)					Nallıhan 17679 (650 m)					Polatlı 17728 885 m					Emirdağ 17752 983 m				
		SPI01	SPI03	SPI06	SPI12	SPI24	SPI01	SPI03	SPI06	SPI12	SPI24	SPI01	SPI03	SPI06	SPI12	SPI24	SPI01	SPI03	SPI06	SPI12	SPI24
2010	1	0.81	0.56	-0.08	-0.02	0.09	1.15	1.46	0.92	1.52	1.19	1.25	1.85	1.03	1.57	0.85	0.18	0.65	0.39	0.87	0.39
2010	2	1.83	1.61	0.72	0.17	0.78	1.26	1.59	1.21	1.25	1.38	1.18	1.96	1.43	1.03	1.20	0.88	0.76	0.87	0.69	0.59
2010	3	0.43	1.61	0.76	0.23	0.56	0.96	1.32	1.37	1.16	1.35	1.02	1.48	1.75	0.98	1.38	-0.15	0.29	0.35	0.56	0.54
2010	4	0.32	1.27	1.21	0.41	0.49	0.91	1.27	1.51	1.17	1.40	-1.00	0.59	1.53	0.38	1.29	0.28	0.36	0.58	0.16	0.76
2010	5	-0.68	-0.05	1.03	0.45	0.44	-0.58	0.67	1.31	1.09	1.32	-0.58	-0.36	1.34	0.37	1.27	-1.03	-0.75	0.15	-0.25	0.68
2010	6	-0.08	-0.44	0.94	0.16	0.33	0.96	0.66	1.19	1.25	1.39	2.55	1.40	1.91	1.72	2.07	0.94	0.04	0.16	0.40	1.12
2010	7	-1.09	-1.19	0.36	0.13	0.32	1.20	0.72	1.16	1.15	1.49	1.48	2.59	2.05	2.05	2.25	-0.31	-0.35	-0.04	0.18	1.08
2010	8	-1.19	-1.03	-0.65	0.04	0.32	1.46	1.43	1.15	1.27	1.56	-1.58	2.50	1.68	2.02	2.22	-0.73	0.12	-0.56	0.21	1.10
2010	9	0.80	-0.24	-0.60	0.19	0.03	0.97	1.48	1.13	1.35	1.48	-0.02	0.63	1.34	1.97	2.03	-0.73	-1.38	-0.77	-0.34	0.51
2010	10	2.89	2.90	2.27	2.51	1.75	3.55	3.21	2.61	2.29	2.04	2.20	1.87	2.69	2.73	2.51	1.02	0.24	-0.19	0.26	0.69
2014	1	-1.83	-2.32	-0.98	-1.68	-0.47	-0.16	-0.86	-0.73	-0.03	0.03	-0.29	-1.92	-2.25	-1.47	-1.33	-0.46	-2.20	-2.55	-1.65	-1.10
2014	2	-1.07	-2.65	-1.25	-1.82	-1.03	-0.66	-1.40	-1.00	-0.19	-0.10	-1.37	-2.12	-2.29	-1.79	-1.52	-1.90	-2.47	-3.28	-2.33	-1.34
2014	3	0.21	-1.44	-0.80	-1.95	-1.43	0.44	-0.23	-0.71	-0.25	-0.07	0.00	-0.78	-1.90	-2.18	-1.75	-0.61	-1.67	-3.35	-2.70	-1.69
2014	4	0.56	-0.14	-1.65	-1.50	-1.25	0.43	0.08	-0.47	-0.18	0.04	-0.21	-0.78	-1.76	-2.13	-1.48	-1.47	-2.26	-2.90	-2.83	-1.64
2014	5	1.36	0.98	-0.59	-0.59	-1.27	2.04	1.24	0.09	0.38	0.21	0.85	0.24	-1.12	-1.60	-1.48	1.11	-0.33	-1.73	-1.84	-2.17
2014	6	1.23	1.66	0.43	-0.13	-0.91	2.52	2.27	1.25	0.69	0.57	1.38	1.23	0.27	-0.56	-0.87	1.05	0.75	-0.63	-1.40	-1.71
2014	7	1.41	2.10	1.51	0.41	-0.40	0.44	2.50	1.54	0.68	0.62	-0.35	1.34	0.30	-0.97	-0.85	-0.48	1.02	-0.72	-2.14	-1.58
2014	8	1.67	1.95	1.90	0.70	-0.26	0.34	1.96	1.83	0.65	0.60	-0.47	0.74	0.57	-0.92	-0.91	-0.30	0.24	-0.18	-2.25	-1.58
2014	9	1.47	2.10	2.54	1.25	0.26	1.35	1.01	2.06	0.85	0.74	2.26	1.74	1.88	0.17	-0.16	2.62	1.75	1.85	-0.30	-0.33
2014	10	0.04	1.20	2.36	0.70	0.33	0.98	1.25	2.25	0.98	0.82	0.95	2.05	2.10	0.47	-0.09	-0.13	1.66	1.91	-0.20	-0.15

Tablo 3.Kızılırmak havzasında 1,3,6,12 ve 24 aylık zaman ölçeklerinde meydana gelmiş önemli sel olayları. Sarı renk şiddetli yağışlar neticesinde meydana gelen sel afetini göstermektedir.

Year	Mo	Osmaniçik 17652 (410 m)					Kırıkkale 17135 (747 m)					Nevşehir 17193 (1260 m)					Kayseri 17196 (1093 m)				
		SPI01	SPI03	SPI06	SPI12	SPI24	SPI01	SPI03	SPI06	SPI12	SPI24	SPI01	SPI03	SPI06	SPI12	SPI24	SPI01	SPI03	SPI06	SPI12	SPI24
2013	12	-1.01	-2.14	-2.07	1.21	1.89	-1.63	-1.21	-1.00	-1.01	0.08	-1.38	-1.09	-1.37	-1.74	-0.23	-0.60	-0.42	-0.70	-0.76	-0.59
2014	1	-0.18	-1.74	-2.32	0.89	1.72	0.37	-1.17	-1.00	-1.39	-0.46	0.22	-1.13	-1.09	-1.91	-0.34	0.19	-0.85	-0.45	-1.16	-0.65
2014	2	1.19	0.00	-1.38	1.13	1.86	0.08	-0.74	-0.85	-1.50	-0.58	-2.09	-2.01	-1.73	-2.46	-0.80	-0.96	-0.95	-0.85	-1.41	-0.93
2014	3	-0.15	0.38	-1.01	1.13	1.69	1.10	0.69	-0.32	-0.95	-0.47	1.06	-0.13	-1.03	-1.71	-0.70	1.74	0.83	0.25	-0.80	-0.57
2014	4	2.28	1.93	0.59	2.05	1.88	-2.11	-0.27	-0.99	-1.32	-0.69	-3.07	-1.58	-1.99	-2.60	-0.82	-3.27	-0.52	-1.02	-1.48	-0.59
2014	5	0.81	1.49	1.22	0.19	1.91	0.71	0.21	-0.41	-0.85	-0.70	-0.71	-1.33	-2.19	-2.51	-1.55	-0.60	-0.41	-0.88	-1.30	-0.82
2014	6	1.62	2.07	1.88	0.63	1.98	1.04	0.38	0.63	-0.19	-0.18	1.44	-0.46	-0.48	-1.18	-1.17	0.68	-0.95	-0.25	-0.60	-0.60
2014	7	0.48	1.13	1.87	0.56	2.01	-0.64	0.94	0.51	-0.28	-0.15	0.24	0.47	-0.57	-1.12	-1.15	-1.07	-0.15	-0.43	-0.59	-0.61
2014	8	1.37	1.61	2.18	0.89	2.25	1.90	1.22	1.00	0.17	0.15	0.74	1.21	0.05	-1.03	-1.25	2.42	1.07	0.43	-0.08	-0.24
2014	9	0.42	1.05	2.48	1.07	2.17	2.01	2.06	1.59	0.82	0.66	2.27	1.98	0.75	-0.27	-0.74	2.80	2.76	0.87	0.70	0.37



Şekil 12. Kızılırmak havzası içinde yer alan Osmancık, Kırıkkale ve Kayseri için bölgesel su fazlasını gösteren SPI değerleri

4. SONUÇLAR

SPI yöntemi 2005 yılından bu yana kuraklık ve nemlilik durumlarının izlenmesinde operasyonel olarak kullanılmaktadır. Bu analizlerden elde edilen sonuçlar SPI yönteminin hidrolojik şartlar ve sel riski izlemede bir araç olarak kullanılabilirliğini göstermiştir. SPI analizi bölgesel akarsu havza sistemine dahil edilirse toprakta geçmişten ilave edilen nemlilik durumunu izlemek için bir araç olabilir. 3 ve 6 aylık zaman ölçekleri toprak nemi durumunu belirtse de daha uzun zaman ölçekleri (12 ve 24 aylık) toprak altı nem durumu, yüzey altı su kaynakları ve yer altı su kaynaklarının durumunu göstermektedir. Analizlerde farklı SPI zaman ölçekleri birlikte kullanılarak sel risk durumlarını daha iyi izah edilebilecektir.

KAYNAKLAR

Akman, Y,1990: İklim ve Biyoiklim (Bioiklim Metotları ve Türkiye İklimleri), Mühendislik Serisi:103, Palme Kitapevi (in Turkish)

Directive 2007/60/EC Chapter 1 Article 2. eur-lex.europa.eu. Retrieved on 2012-06-12

Haan,1977, Hydrological Methods in Hydrology

Komuscu A.U.1999: Using the SPI to Analyze Spatial and Temporal Patterns of Drought in Turkey.Drought Network News,(11)7-11

McKee T.B., Doesken N.J. and Kleist J., 1993: The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. Preprints, 8 th.Conference on Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim, CA, 179-184

McKee T.B., Doesken N.J., and Kleist J., 1994: Drought Monitoring With Multiple Time Scales. American Meteorological Society, Proceedings of 9 th.Conference on Applied Climatology, 233-236.

McKee TB, Doesken NJ, Kleist J. 1995; Drought monitoring with multiple time scales. In Preprints, Ninth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society: Dallas, TX. 233–236

MSN Encarta Dictionary, 2006: Flood, Retrieved on 2006-12-28

Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2013-2017: Yukarı Havza Sel Kontrolü Eylem Planı. (in Turkish)

Seiler R.R., Hayes M. and Bressan,L., 2002: Using the Standardized Index for Flood Risk Monitoring, International Journal of Climatology,22:1365-1376.

Sen Z, 2003: Su Bilimi ve Yöntemleri, Su Vakfı Yayınları, ISBN:975-6455-02-0. (in Turkish)

SPI Methodology defined by McKee, <http://ccc.atmos.colostate.edu/pub/spi.pdf>

Sönmez F.K., Kömüşçü A.Ü., Erkan A. and Turgu E., 2005: An analysis of spatial and Temporal dimension of drought vulnerability in Turkey using the standardized precipitation index. Natural Hazards, 35, 243-265.

Thom, H.C.S. 1958: A note on the Gamma Distribution. Monthly Weather Review, 86 (4):117-122

Wilhite DA. 1996: A methodology for drought preparedness. Natural Hazards **13**: 229–252.

Wilhite DA, Hayes MJ. 1998: Drought planning in the United States: status and future directions. In The Arid Frontier, Bruins HJ, Lithwick H (eds). Kluwer.

Wilhite DA, Hayes MJ, Knutson C, Smith KH. 2000: Planning for drought: moving from crisis to risk management. Journal of the American Water Resources Association **36**(4): 697–710.