

Ölçümleri Az Olan Kıyı Bölgelerinde Yağışın Yerel Dağılımının Belirlenmesi: Doğu Karadeniz Bölgesi

Ebru ERİŞ¹
Necati AĞIRALIOĞLU²

ÖZ

Yağışın alandaki dağılımının belirlenmesi, hidrolojik uygulamaların ve su kaynaklarının doğru değerlendirilmesi açısından büyük önem taşır. Özellikle dağlık ve/veya kıyı bölgelerde hem orografiyi hem de kıyı etkilerini yağışın dağılımını belirlemede hesaba katmak gerekebilir. Bu gerekliliği, dağlık bölgelerde yağış gözlem istasyonlarının az ve düzensiz olması zorlaştırır. Bu çalışmada da, orografik yağış özelliği gösterdiği bilinen ve sınırlı sayıda yağış gözlem istasyonuna sahip Doğu Karadeniz Bölgesinin kıyı kesimi için yağış dağılımının belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma, Doğu Karadeniz Bölgesinin kıyı kesimine ait yamaçlardaki yağış dağılımının temsilinde su dengesinin, kıyı ve vadilerdeki yağış dağılımının temsilinde ise regresyon denklemlerinin birleştirilerek kullanılması açısından bir ilktir.

Anahtar Kelimeler: Yağış dağılımı, Doğu Karadeniz Bölgesi, eşyağış haritası.

ABSTRACT

Determination of Spatial Distribution of Precipitation on Poorly Gauged Coastal Regions: Eastern Black Sea Region

Determination of spatial distribution of precipitation has an importance in terms of hydrological applications and water resources assessment. Particularly, the effects of orography and coastline on precipitation distribution should be taken into account in mountainous and/or coastal regions. This necessity is complicated by the limited number of rain gauges which have also a nonhomogenous distribution. In this study, it is aimed to determine the spatial distribution of precipitation for the coastal part of the Eastern Black Sea Region. It can be said that this study is the first in terms of combination of precipitation distribution on both hillside and coastal part by using two different approaches. One of these approaches is the water balance that reflects the precipitation distribution on hillside. The other one depends on the regression equations which explains the precipitation variability on coastline and valleys, for the coastal part of the Eastern Black Sea Region.

Keywords: Precipitation distribution, Eastern Black Sea Region, isohyetal map.

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 24.11.2014 günü ulaşmıştır.
- 31 Mart 2017 gününe kadar tartışmaya açıktır.

1 Ege Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir - ebru.eris@ege.edu.tr

2 İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul - necati@itu.edu.tr

1. GİRİŞ

Yağış hidrolojik çevrimin en önemli girdisi olduğundan, alandaki dağılımının belirlenmesi de su kaynaklarının doğru değerlendirilmesi açısından önem kazanmaktadır. Özellikle yağış gözlem istasyonlarının az olduğu ve homojen olarak dağılmadığı dağlık ve kıyı bölgelerde yağış dağılımının belirlenmesi hayli güçtür. Dağlık bölgelerde çoğu zaman mevcut yağış istasyonları üzerinden kurulan modeller yağışın daha az tahmin edilmesine yol açmaktadır. Kıyı bölgelerde ise denizden gelen nemin ve kıyı topografyasının göz ardı edilmemesi gerekir.

Yağışın alandaki dağılımını belirleyebilmek için kullanılan metotlar, grafik, nümerik ve topografik olmak üzere üç ana grupta toplanmaktadır [1]. Literatürde Thiessen çokgeni gibi teknikleri içeren grafik metotlarla ilgili çalışmalar [2, 3] olduğu gibi, Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Yöntemi, Lokal Polinom, Radyal Tabanlı Fonksiyon, Kriging vb. yöntemleri içeren nümerik metot çalışmaları da bulunmaktadır [4, 5, 6, 7, 8, 9]. Topografik metotlar ise, bir bölgedeki nokta ölçümleri ile bu bölgeye ait yükseklik, eğim, bakı, rüzgar yönü ve hızı gibi bir takım coğrafik ve topoğrafik özelliklerin ilişkisini kapsamaktadır [1, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17].

Öte yandan, orografik etkiler gösteren dağlık bölgelerde yağış dağılımının daha doğru belirlenmesi açısından su dengesi gibi farklı yaklaşımlar da uygulanmaktadır [18, 19, 20]. Bu yaklaşımdaki amaç, genellikle düşük yükseklikte ve/veya yerleşim bölgeleri yakınına kurulan ve bu sebeple orografik yağış özelliğini tam olarak yansıtamayan mevcut gözlem istasyonlarının verilerini kullanmak yerine, akım, buharlaşma, sızma gibi diğer hidrolojik çevrim elemanlarından yararlanarak yağışın tahmin edilmesini sağlamaktır.

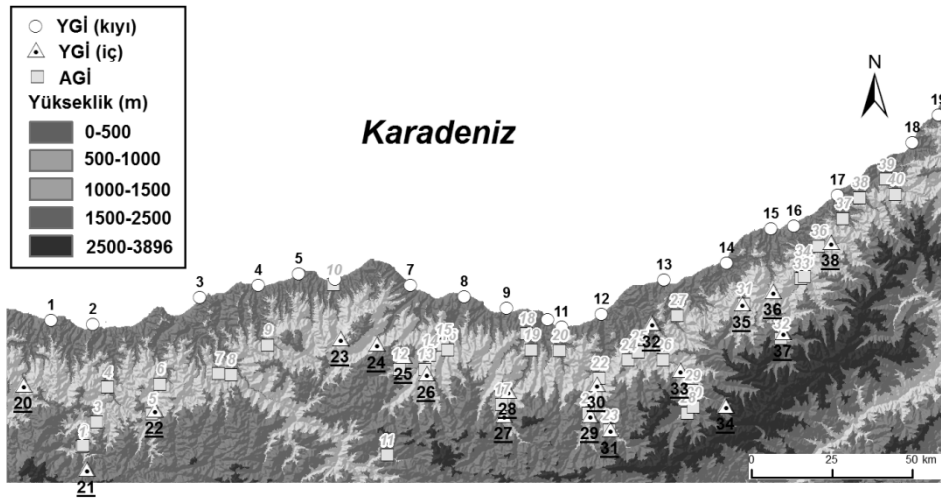
Bu çalışmada da, Doğu Karadeniz Bölgesi'nin kıyı kesiminde yağış dağılımının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle bölgenin yağış dağılımı üzerinde, kıyı şekli ile birlikte enlem, boylam, yükseklik, denizden mesafe gibi coğrafik ve topoğrafik özelliklerin etkisinin incelendiği ve bu etkilerin regresyon analizi yardımıyla denklemlere dönüştürüldüğü Eriş ve Ağırlioğlu [21, 22] çalışmalarından da yararlanılmıştır. Öncelikle; bu çalışmalardan alınan regresyon denklemleri kullanılarak bölgenin eşyağış haritası oluşturulmuştur. Sözü geçen bu eşyağış haritası, Kriging yöntemi ile elde edilen eşyağış haritası ile karşılaştırılmış ve ayrıca haritaların doğruluğu uzun dönem akış katsayıları ile kontrol edilmiştir. Her bir havza için ayrı ayrı bulunan akış katsayıları neticesinde yağış gözlem verileri kullanılarak kurulan modelin ya da Kriging gibi klasik bir yöntemin iyi sonuç vermediği anlaşılacak daha iyi bir yağış dağılım tahmini için su dengesi yaklaşımı uygulanmıştır. Su dengesi metoduyla bulunan dağılımın yamaçları ve yüksek yerleri temsil ettiği, önceden gözlem verileri kullanılarak bulunan regresyon denklemlerinin de kıyı ve vadi kesimi daha iyi temsil ettiği kabul edilerek; bu iki sonuç birleştirilip yeni bir eşyağış haritası hazırlanmıştır. Düzeltilmiş eşyağış haritasının bölgenin yağış dağılımını belirlemede daha iyi bir sonuç verdiği düşünülmektedir.

2. ÇALIŞMA BÖLGESİ VE VERİLER

Yağış dağılımının belirlenmesinde, çalışma bölgesi olarak Doğu Karadeniz Bölgesinin kıyı kesimi kullanılmıştır. Bölgenin kıyı kesimi; Karadeniz kıyı şeridi ile Doğu Karadeniz dağları arasında kalan bölge olarak tanımlanabilir. Bilindiği üzere Doğu Karadeniz dağları

kıyıya paralel uzanmakta, yer yer 3000 m'yi aşan yüksekliklere ulaşmaktadır. Doğu Karadeniz ılık ve nemli bir iklime sahip olup kışın kar yağışı görülmektedir. Bölgede genellikle yılın her ayında yağış yağmakla birlikte Mayıs-Haziran ile Ekim-Kasım aylarında daha çok, Temmuz ayında en az yağış yağmaktadır. Fakat yüksek yerlerde kışın yağın kar yağışları bahar ve yaz aylarında eridiği için genellikle en çok akış Mayıs ayında, en az akış Şubat ayında meydana gelmektedir. Kıyı bölgesindeki ortalama sıcaklık 14-15 °C ve ortalama yağış ise 1000 mm'den fazladır. Bölgedeki hakim rüzgar yönü rüzgar gülünün kuzey-batı diliminde oluşmaktadır [23, 24].

Çalışmada 38 Yağış Gözlem İstasyonuna (YGİ) ait ortalama yıllık yağış verisi, 40 Akım Gözlem İstasyonuna (AGİ) ait ortalama yıllık akım verisi kullanılmıştır. YGİ ve AGİler ile ilgili bilgiler ve konumları Tablo 1, 2 ve Şekil 1'de görülmektedir. İstasyonlar yorum kolaylığı açısından batıdan doğuya doğru numaralandırılmıştır. YGİ yükseklikleri 6 m ile 1700 m arasında değişmekte olup 1700 m'den sonra yağış istasyonu bulunmamaktadır. AGİ yükseklikleri ise 17 m ile 1450 m arasında değişmekte olup AGİ drenaj alanı büyüklükleri yaklaşık 66 km² ve 835 km² arasındadır. Evapotranspirasyon hesabı için bölgedeki 23 istasyonunun (Tablo 1) sıcaklık, rüzgar hızı, nem, güneşlenme süresi, radyasyon vb. meteorolojik verileri kullanılmıştır.



Şekil 1. Çalışma bölgesi ve yağış istasyonları

Çalışmada kullanılan yağış verileri 1960-2005 yıllarını, akım verileri ise 1944-2006 yıllarını kapsamakla beraber eksik veriler de mevcuttur. Eksik verileri tamamlamak için komşu istasyonlardan yararlanarak regresyon denklemleri kurulmuştur. Yağış ve akım verilerinin homojenliği çift toplam eğrisi metodu ve trendi ise Mann-Kendall trend testi ile belirlenmiştir. Homojen olmayan ya da trend gösteren istasyonlarda, veri homojenleştirildikten ve trend çıkarıldıktan sonraki değerler; gözlenen orijinal değerlerden en fazla % 27 oranında farklı çıktığı için tüm istasyonlarda gözlem değerleri doğrudan kullanılmıştır.

Ölçümleri Az Olan Kıyı Bölgelerinde Yağışın Yerel Dağılımının ...

Tablo 1. Çalışmada kullanılan YGİ
(*evapotranspirasyon hesabında verileri kullanılan istasyonlar)

Yağış Gözlem İstasyonları						
Sıra No	YGİ No	YGİ Adı	X	Y	Yükseklik (m)	Gözlem Periyodu
1	1453	Bulancak*	435457	4531639	10	1973-1997
2	17034	Giresun*	448474	4530365	38	1960-2005
3	1460	Tirebolu*	481778	4538780	70	1975-2000
4	1299	Görece	500000	4542457	20	1960-1999
5	1300	Eynesil*	512603	4546169	10	1963-1993
6	1302	Vakıfkebir*	523811	4544346	25	1960-2005
7	17626	Akçaabat*	547167	4542486	6	1960-2005
8	17037	Trabzon	564012	4538882	30	1975-2005
9	1471	Arsin*	577132	4535461	10	1963-1995
10	1472	Araklı*	589799	4531904	10	1963-1996
11	1473	Sürmene	594327	4529502	12	1960-1981
12	1475	Of*	606655	4533597	9	1960-1989
13	17040	Rize*	626172	4544221	9	1960-2005
14	1312	Çayeli	645595	4549455	10	1960-1986
15	17628	Pazar*	659298	4560169	79	1975-2005
16	1156	Ardeşen*	666343	4561005	10	1965-1992
17	1015	Fındıklı*	680093	4570589	100	1960-2000
18	17042	Hopa*	703345	4586759	33	1975-2005
19	818	Kemalpaşa	711502	4595512	75	1984-1999
20	22-018	Sofulu	426837	4511367	600	1980-2005
21	22-001	Tamdere	446348	4485297	1700	1960-2005
22	22-020	Sinir	467607	4503676	750	1984-2005
23	1623	Tonya*	525275	4525849	900	1963-1995
24	1624	Düzköy*	536517	4524046	850	1960-2003
25	22-017	Güzelyayla	544967	4520393	1250	1979-2005
26	1626	Maçka*	552032	4514888	300	1960-1997
27	22-011	Kayaçı	576055	4502037	1050	1977-2002
28	1787	Dağbasi*	577403	4509559	1450	1968-1998
29	22-016	Kökner	602839	4502007	1218	1980-1997
30	1801	Çaykara*	604880	4511576	264	1960-1998
31	1962	Uzungöl*	609071	4497483	1110	1969-2005
32	1476	Kalkandere*	622103	4530518	400	1975-1996
33	1803	İkizdere*	630786	4515861	800	1975-1996
34	22-003	Sivrikaya	645053	4504915	1650	1974-1995
35	1480	Kaptanpaşa*	650060	4536588	525	1975-1996
36	22-009	Hemşin	659797	4540496	500	1963-1974
37	22-013	Meydan	662887	4527605	1100	1979-2002
38	22-019	Tunca	677661	4555718	500	1983-2005

Tablo 2. Çalışmada kullanılan AĞİler

Akım Gözlem İstasyonları								
Sıra No	AĞİ No	AĞİ Adı	Akarsu	X	Y	Drenaj alanı (km ²)	Yükseklik (m)	Gözlem Periyodu
1	2236	İkisu	Aksu	445223	4492244	317.2	1037	1965-1974
2	22071	İkisu	Aksu	445532	4492765	292.7	1050	1986-1999
3	22090	Alancık	Aksu	449695	4500044	470.2	750	1986-2004
4	2213	Dereli	Aksu	453193	4510906	713.0	248	1962-2004
5	22080	Sınırköy	Yağlı	466875	4502569	296.9	750	1983-2005
6	22073	Tuğlacık	Yağlı	469448	4511808	397.9	400	1986-2006
7	22087	Hasanşeyh	Gelevera	487532	4515178	256.8	355	1984-2006
8	22013	Süttası	Kavraz	491562	4514710	124.9	188	1970-2004
9	22058	CücenKöprü	Görelle	502809	4523957	162.7	300	1980-2006
10	2228	Bahadırlı	Fol	523443	4542680	191.4	17	1963-2002
11	22084	İkisu	Korum - Yağlı	540191	4489746	149.6	1450	1984-1999
12	22088	Ormanüstü	Maçka	543960	4516409	150	770	1985-1999
13	22061	Ortaköy	Altın	551927	4516460	261	450	1980-2002
14	2206	Kanlıpelit	Değirmendere	553256	4520756	708	257	1951-1989
15	22086	Öğütlü	Değirmendere	557517	4523964	728.4	160	1984-2004
16	22059	Çiftdere	Galyan	558911	4522341	121.5	250	1980-2005
17	22044	Aytaş	Kara	575591	4505532	421.2	510	1979-2005
18	22034	Fındıklı	Yanbolu	583441	4527512	258.6	258.6	1970-2004
19	2202	Ağnas	Kara	584879	4522532	635.7	78	1944-2002
20	22053	Ortakoy	Sürmene	593617	4522268	173.6	150	1979-2006
21	22057	Alçakköprü	Ögene	602599	4502760	243	700	1979-2005
22	22052	Ulucami	Solaklı	606083	4513714	576.8	260	1979-2005
23	22007	Şerah	Haldizen	609060	4497459	154.7	1170	1966-2001
24	22068	Yenikoy	Baltacı	615095	4519240	171.6	470	1982-2004
25	22066	Cevizlik	Maki	618217	4521849	115.9	400	1982-2001
26	2218	Şimşirli	İyidere	625873	4519354	834.9	308	1963-2004
27	22082	Kömürcüler	Salarha	630293	4533126	83.3	250	1984-2002
28	2233	Tosköy	Tosköy	633458	4502861	223.1	1296	1965-2002
29	2215	Dereköy	Çamlıdere	634927	4509890	445.2	942	1965-2002
30	22078	Tosköy	Tosköy	635353	4504561	284.3	1000	1986-2001
31	22085	Kaptanpaşa	Şenöz	651039	4536732	231.2	400	1984-2006
32	22074	Çat	Hemşin	662384	4525990	277.6	1100	1982-1999
33	22062	Konaklar	Hemşin	668797	4544554	496.7	300	1980-2005
34	2232	Topluca	Fırtına	669079	4548541	762.3	233	1964-2002
35	22063	Mikronköprü	Halo	669784	4545317	239.2	325	1980-2004
36	22076	Kemerköprü	Durak	674187	4554678	302.2	230	1984-1997
37	22072	Arılı	Arılı	681674	4563223	92.15	175	1982-2005
38	22006	Köprübaşı	Abuçağlayan	686891	4569712	156	60	1966-1999
39	22049	Başköy	Kapistre	695072	4575544	186.2	75	1978-2006
40	22089	Küçükköy	Ballı	698017	4570809	66.37	400	1985-2006

3. EŞYAĞIŞ HARİTALARI

3.1. Yöntem

Eşyağış haritalarının hazırlanmasında Ordinary Kriging yöntemi ve Regresyon Analizi (RA) yardımıyla çıkarılan denklemlerden yararlanılmıştır.

Kriging, Denklem 1’de görülen ağırlıkların (λ_i), tahmin hatalarının ortalamasının sıfır ve varyansı en küçük olacak şekilde belirlenmesidir. Kriging matris formunda Denklem 2’deki gibi gösterilebilir. Matriste görülen γ değerleri noktalar arasında uzaklığa ilişkin yarıvaryogram değerlerini, μ ise Lagrange sabitini göstermektedir. Yarıvaryogram ise Denklem 3 formülüyle hesaplanır.

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i) \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & \cdot & \gamma_{1N} & 1 \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \cdot & \gamma_{2N} & 1 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \gamma_{N1} & \gamma_{N2} & \cdot & \gamma_{NN} & 1 \\ 1 & 1 & \cdot & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \cdot \\ \lambda_N \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma_{01} \\ \gamma_{02} \\ \cdot \\ \gamma_{0N} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^N (Z(x+h) - Z(x))^2 \quad (3)$$

Burada $Z(x)$ ve $Z(x+h)$; x ve $x+h$ noktalarındaki yağış değerlerini, $N(h)$ birbirinden h kadar uzaklıktaki tüm veri çiftlerinin sayısını göstermektedir. Herhangi bir bölgede enterpolasyon için Kriging kullanılacaksa, çalışma bölgesindeki verilerden yararlanarak deneysel varyogram Denklem 3’e göre hesaplanır. Böylece, deneysel varyogram yardımıyla teorik modele ait parametreler belirlenebilir. Kriging yöntemiyle belirlenen ağırlıklar seçilen teorik varyogram fonksiyonuyla doğrudan ilişkilidir. Geoistatistikte sıkça kullanılan fonksiyonlar, gauss, üssel, küresel, logaritmik ve liner modellerdir.

3.2. Uygulama

Eşyağış haritaları Kriging ve regresyon olmak üzere iki farklı yöntemle hazırlanmıştır. Yağışın dağılımının belirlenmesinde kullanılan Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon (Inverse Distance Weighted-IDW), Radyal Tabanlı Fonksiyon (Radial Basis Function-RBF) gibi yöntemler bu çalışmada kullanılmışsa da; söz konusu yöntemlerin orografik özellik gösteren bölgelerde yetersiz kalması nedeniyle [25, 26] bulunan sonuçlara burada değinilmemiştir.

Haritaların hazırlanmasında daha önce Eriş ve Ağırlioğlu [21, 22] çalışmalarında, bölgedeki yağış dağılımı için bulunan regresyon denklemleri kullanılmıştır. Bahsi geçen bu regresyon denklemleri bölgedeki yağış ile coğrafik/topografik değişkenlerin ilişkisinden

yararlanılarak çıkarılmıştır. Bu denklemler, ayrıca kıyı şeklinin yağış üzerindeki etkisini temsil eden ve yeni bir değişken olarak sunulan kıyı açısını da içermektedir. Bu çalışmada regresyon analizinin ayrıntılarına girilmeyecek olup çıkarılan denklemler Denklem 4a ve 4b’de kıyı ve iç istasyonlar için ayrı ayrı verilmiştir.

$$P = \beta_o + \beta_1 A \quad (4a)$$

$$P = \beta_o + \beta_1 Y + \beta_2 A \quad (4b)$$

Bu bağıntılarda; P ; yağış yüksekliğini, Y ; enlem, A ise kıyı açısını göstermektedir. β ’lar ise regresyon katsayılarıdır.

İki farklı yöntemle çıkarılmış eşyağış haritaları Şekil 2’de verilmiştir. Yöntemler hem çapraz doğrulama (kalibrasyon) hem de basit doğrulama (validasyon) ile kontrol edilmiştir. Çapraz doğrulamada söz konusu yöntem içerisinde yer alan ölçüm noktalarındaki değerler; çevresindeki değerlerle tahmin edilmiş ve daha sonra gerçek değerlerle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar Ortalama Hatanın Karesinin Karekökü (OHKK) ve Ortalama Mutlak Hata (OMH) istatistiklerine göre değerlendirilmiştir. Basit doğrulamada ise rastgele seçilen 6 YGİ için modellerin validasyonu yapılmıştır (Tablo 3).

Tablo 3. Eşyağış haritalarının elde edilmesinde kullanılan yöntemlere ait kalibrasyon ve validasyon sonuçları

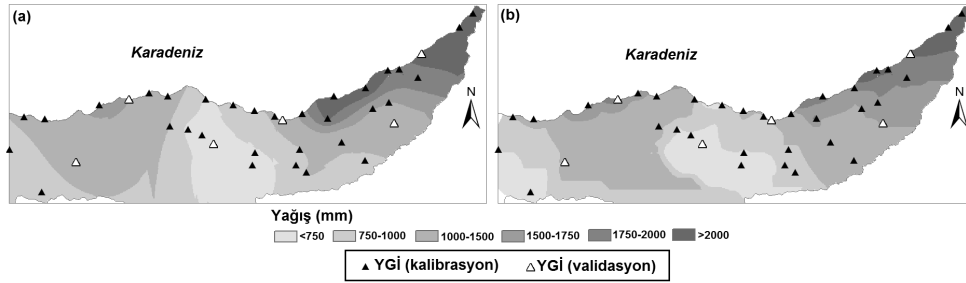
Kalibrasyon				Validasyon			
İstasyon Türü	İstatistik	Kriging	Regresyon	İstasyon Adı	Ölçüm	Tahmin (Kriging)	Tahmin (Regresyon)
Kıyı istasyonlar (16 adet)	R^2	0.924	0.839	Görece (4)	1595.4	1511.1	1899.4
	OHKK	167.27	227.02	Sürmene (11)	1181.4	1171.3	1045.8
	OMH	118.02	198.43	Fındıklı (17)	2217.4	2075.2	2067.9
İç istasyonlar (16 adet)	R^2	0.833	0.993	Sınır (22)	993.2	1127.7	1165.0
	OHKK	178.41	42.29	Maçka (26)	684.1	702.6	632.2
	OMH	144.63	20.96	Meydan (37)	1185.4	1283.2	1528.7

İki farklı yöntemden çıkarılan haritalar birbirine benzemekte, determinasyon katsayıları ve validasyon sonuçları oldukça tatminkar gözükmektedir. Ancak bölgenin dağlık olduğu ve YGİ noktalarının çok olmaması ya da homojen dağılmaması nedeniyle çıkarılan eşyağış haritalarının ayrıca kontrol edilmesi gerekli görülmüştür. Haritaların doğruluğunu tespit etmek için yıllık akış katsayıları hesaplanmıştır. Buna göre ortalama yıllık akım verisi bulunan 40 AĞİ’ye ait drenaj havzaları için ortalama alan yağış değerleri çıkarılmış ve akış katsayısı hesabında kullanılmıştır. Sonuçlar Şekil 3’te görülmektedir.

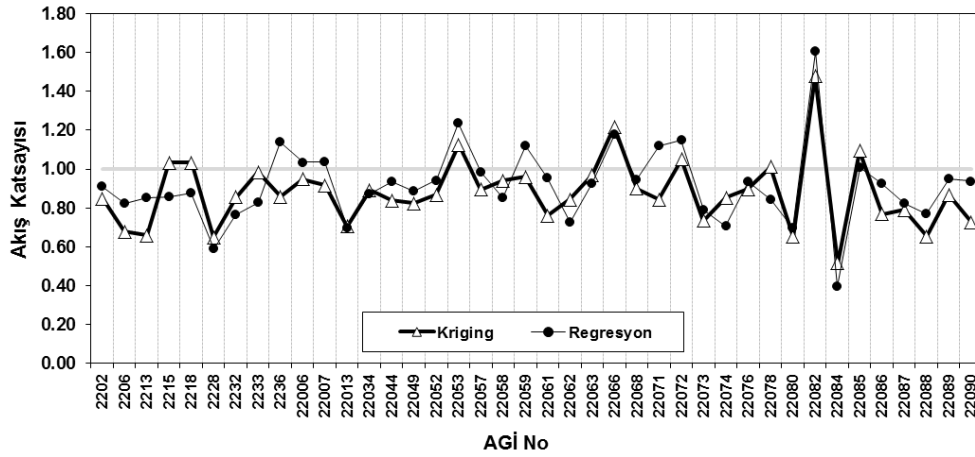
Şekil 3’ten görüldüğü üzere, farklı yöntemlere göre bulunan eşyağış haritalarından çıkarılan ortalama alan yağışlarına göre bulunan akış katsayılarından önemli bir kısmı 1’den büyük ya da 1’e çok yakındır ki bu durum teorik olarak anlamsız görünmektedir. Aylık bazda kar

Ölçümleri Az Olan Kıyı Bölgelerinde Yağışın Yerel Dağılımının ...

erimesi ya da yer altı suyu beslenmesinden dolayı 1'den büyük çıkabilecek akış katsayılarının yıllık bazda 1'den büyük çıkması mümkün olmamaktadır. Bu durum akış katsayısı hesabında kullanılan ortalama alan yağışlarının doğru olmadığını düşündürmektedir. Bir başka deyişle YGİler, konumları nedeniyle orografik yağış etkilerini temsil edememektedir. Çalışma bölgesi için doğru bir yağış dağılımı tespiti doğrudan mevcut YGİler üzerinden kurulan modellerle mümkün olamayacağından, farklı bir yaklaşım olarak su dengesinden yararlanarak yağış dağılımının belirlenmesi yoluna gidilmiştir. Bu yaklaşımla ortalama yıllık akım ile gerçek evapotranspirasyon haritaları çıkarılmış ve beraberinde değerlendirilerek yağış dağılımına ulaşılmıştır. Bölge özellikleri ve zaman ölçeği (yıllık) göz önüne alınarak akiferdeki net debi değişimi ihmal edilmiştir.



Şekil 2. Eşyağış haritaları (a) Kriging ve (b) Regresyon



Şekil 3. AGİ havzalarına ait yıllık akış katsayıları

4. SU DENGESİ YAKLAŞIMI

4.1. Yöntem

Yağış dağılımının belirlenmesinde su dengesi yöntemi uygulanmıştır (Denklem 5).

$$\bar{P} = \bar{Q} + \bar{ET} + G \quad (5)$$

Burada, \bar{P} , \bar{Q} , \bar{ET} sırasıyla uzun dönem ortalama yıllık yağış, akım ve evapotranspirasyonu göstermektedir. G ise akiferdeki (sistemi besleyen veya beslenen) net debi değişimini ifade eder. Mevsim ve su tablası seviyelerine göre net debi değişimi (G) pozitif veya negatif olabilir. Ancak uzun yıllar ortalaması alındığında bu değişimin etkisi ihmal edilebilmektedir [19]. Özellikle akifer alanları ihmal edilecek kadar küçük olan Doğu Karadeniz Bölgesindeki [27] söz konusu değişim, topografyasının aşırı derecede eğimli ve jeolojik yapısının genelde volkanik kayalar niteliğinde olmasına [28] bağlı olarak su bütçesi çalışmasında ihmal edilmiştir.

Akımın alan üzerinde enterpolasyonunda Huang ve Yang [29] çalışmasından yararlanılmıştır. Buna göre ortalama yıllık akım, akım yüksekliğine dönüştürülerek havza ağırlık merkezine yerleştirilmiş, daha sonra Kriging yöntemi yardımıyla alandaki dağılımı bulunmuştur. Akım yüksekliği, yağış gibi bir noktayı temsil etmekten ziyade üzerinde kalan alanı temsil ettiğinden dolayı ağırlık merkezine yerleştirilmiştir.

Öte yandan, evapotranspirasyonun alandaki dağılımını belirlemek için öncelikle gerçek (muhtemel) evapotranspirasyon değerleri, Turc [30]-Pike [31] formülüne göre hesaplanmıştır. Turc-Pike gerçek evapotranspirasyon modeli aşağıdaki şekilde gösterilebilir.

$$\frac{MET}{PET} = \frac{(P/PET)}{\sqrt{1 + \left(\frac{P}{PET}\right)^2}} \quad (6)$$

Burada, MET , PET ve P sırasıyla gerçek (muhtemel) ve potansiyel evapotranspirasyon, ortalama yıllık yağıştır. Modelde bulunan potansiyel evapotranspirasyon FAO-56 Penman-Monteith [32] denklemi ile bulunmuştur (Denklem 7).

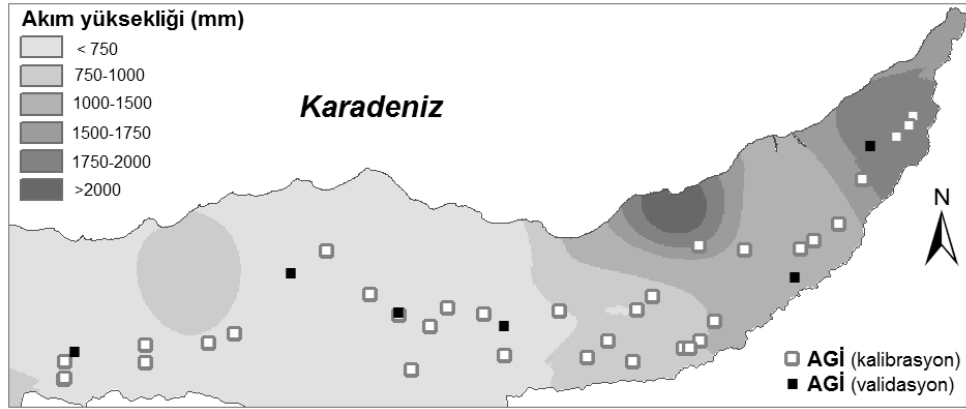
$$ET_0 = \left[\frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \left(\frac{900}{T + 273} \right) u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \right] \quad (7)$$

Burada; ET_0 : Referans evapotranspirasyon (mm/gün), R_n : bitki yüzeyindeki net radyasyon (MJ/m^2 gün), G : zemin ısı değişim yoğunluğu (MJ/m^2 gün), T : 2 m yükseklikte günlük ortalama hava sıcaklığı ($^{\circ}C$), u_2 : 2 m yükseklikteki ortalama rüzgar hızı (m/s), e_s : doymuş buhar basıncı (kPa), e_a : mevcut buhar basıncı (kPa), $e_s - e_a$: doymuş buhar basıncı açığı

(kPa), Δ = buhar basıncı eğrisinin eğimi (kPa / °C) ve γ : psikrometrik sabit (kPa / °C) değerlerini göstermektedir.

4.2. Uygulama

Akım yüksekliği haritasının belirlenmesinde, 40 adet AGİ'ye ait akım yüksekliği, yine bu havzalara ait ağırlık merkezlerine yerleştirilmiştir. Modelin validasyonu için rastgele 6 AGİ seçilmiştir. Huang ve Yang [25] çalışmasından yararlanılarak Ordinary Kriging yöntemi uygulanmıştır. Uygulanan yöntemle göre çıkarılan akım yüksekliği haritası Şekil 4'te ve validasyon aşamasına ait sonuçlar ise Tablo 4'te verilmiştir.

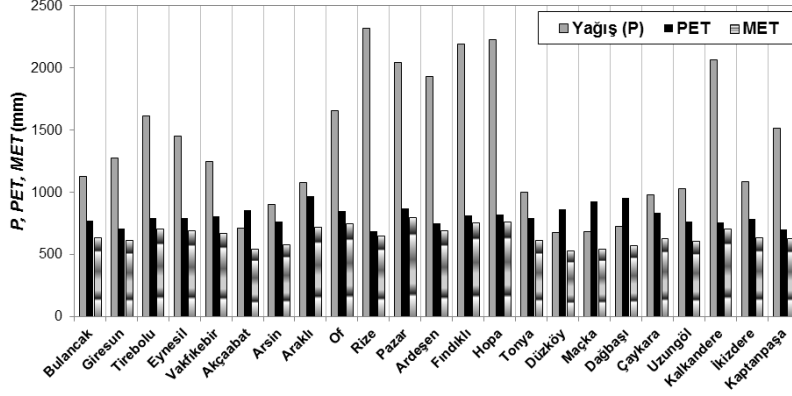


Şekil 4. Akım yüksekliği haritası

Tablo 4. Akım yüksekliği için validasyon sonuçları

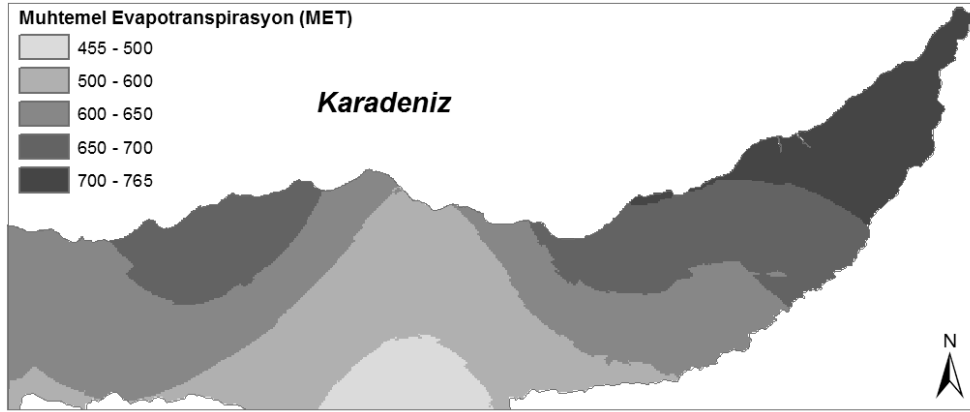
AGİ No	Ölçüm debisi (m ³ /s)	Tahmini akım yüksekliği (mm)	Tahmin debisi (m ³ /s)
2202	12.20	702.57	14.16
2213	13.80	640.43	14.48
22058	5.68	651.27	3.36
22072	6.32	1722.26	5.03
22074	8.79	965.31	8.50
22086	12.85	504.50	11.65

Evapotranspirasyon haritası için bölgede büyük ve küçük klima istasyonlarına ait minimum, maksimum sıcaklıklar, ortalama rüzgar hızı, ortalama nem, güneşlenme süresi, global güneş radyasyonu Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) temin edilerek potansiyel ve muhtemel evapotranspirasyon değerleri sırasıyla FAO-56 Penman-Monteith ve Turc-Pike formülüyle hesaplanmıştır, bulunan değerler Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Hesaplanan potansiyel evapotranspirasyon (PET), muhtemel evapotranspirasyon (MET) ve ölçülen yağış değerleri

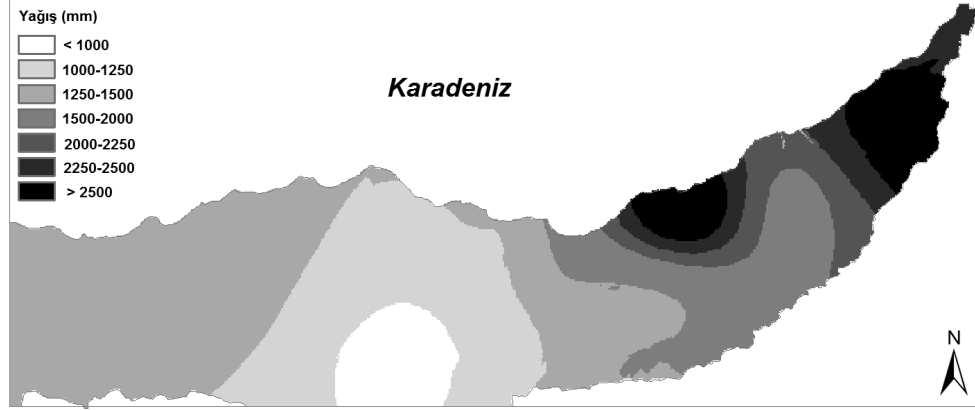
Kriging yöntemi bir kez daha kullanılarak evapotranspirasyon haritası elde edilmiştir. Veri sayısı çok olmadığından validasyon aşaması için veri ayrılmamıştır. Çapraz doğrulama sonuçları ile yetinilmiştir. Turc-Pike formülüne göre hesaplanan muhtemel evapotranspirasyon haritası ise Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Muhtemel Evapotranspirasyon (MET) haritası

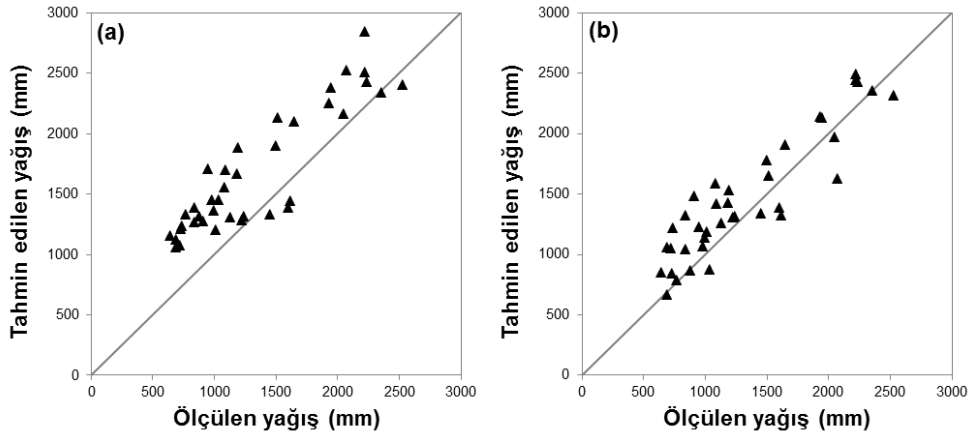
Elde edilen akım yüksekliği ve evapotranspirasyon haritaları beraber değerlendirilerek Şekil 7'de görülen yağış haritası elde edilmiştir. Anlaşılabileceği üzere bu eşyağış haritasının elde edilmesinde herhangi bir YGİ kullanılmamış olup yalnızca su dengesinden yararlanılmıştır. Yüksek kısımlarda ve/veya yamaçlarda herhangi bir YGİ bulunmadığından çıkarılan eşyağış haritası öncelikle mevcut YGİlerle kontrol edilmiştir. Mevcut YGİlerden elde edilen yıllık ortalama yağış değerleri ile eşyağış haritasından çıkarılan yağış değerlerine ait karşılaştırma Şekil 8(a)'da görülmektedir.

Ölçümleri Az Olan Kıyı Bölgelerinde Yağışın Yerel Dağılımının ...



Şekil 7. Akım yüksekliği ve evapotranspirasyon haritalarından elde edilen eşyağış haritası

Şekil 8 (a)'dan görüleceği üzere, mevcut YGİler için genel olarak daha büyük tahmin değerleri bulunmuştur. Akım yüksekliği- evapotranspirasyon haritalarından elde edilen eşyağış haritasının daha büyük yağış miktarı verdiği yerler özellikle iç kesimlerdir. Bu durum iç kesimlerin daha az yağış aldığına dair fikri güçlendirmektedir. İç kesimlerin daha az yağış alması yazarların önceki çalışmalarında da [21, 22] işaret ettiği üzere kıyı şeklinin bir sonucudur. Doğu Karadeniz kıyısı doğu-batı yönlü olup kıyı şeridi burun ve koylara sahiptir. Bu topoğrafya nemi taşıyan ve hakim rüzgar yönü olan kuzeyli ve batılı rüzgarlar için doğal bir engel oluşturmaktadır.



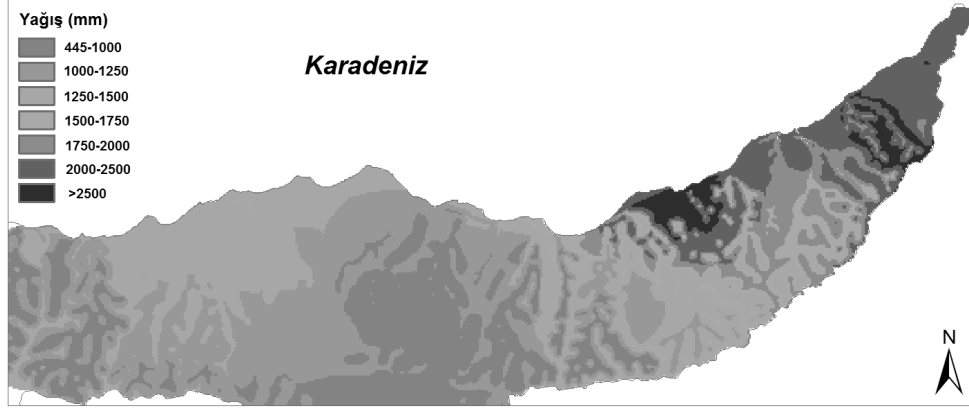
Şekil 8. Ölçüm-tahmin saçılma diyagramı (a) eşyağış haritası; (b) düzeltilmiş eşyağış haritası

Yukarıdaki sebepler göz önüne alınarak bölgenin yağış dağılımının yeniden belirlenebilmesi için vadi içleri ve kıyı kesimi daha iyi temsil ettiği düşünülen, kıyı açısı

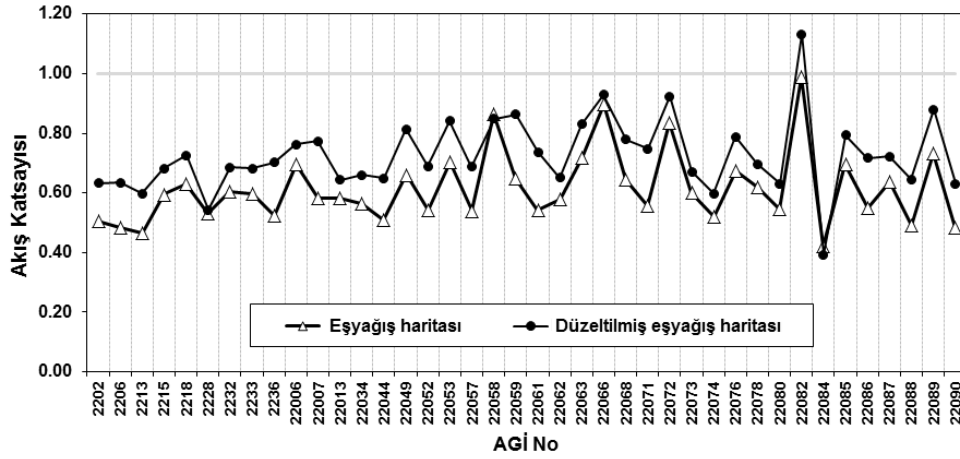
değişkenini içeren regresyon denklemleri, akım yüksekliği-evapotranspirasyon haritalarından elde edilen eşyağış haritası ile birleştirilmiş ve “düzeltilmiş eşyağış haritası” olarak adlandırılmıştır. Birleştirme işlemi uygun bir Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yazılımı ile yapılmıştır. Kıyı kesimi için Denklem 4(a); vadi içleri için ise Denklem 4 (b) kullanılmıştır. Kıyı kesimi boyunca seçilen noktalarda kıyı açıları bulunarak Denklem 4(a) uygulanmıştır. Öte yandan, bölgedeki akarsular denize dik konumlandıkları için her bir akarsu üzerinde/yakınında rastgele noktalar seçilerek Denklem 4(b) uygulanmıştır. Söz konusu noktalar ile kıyı kesimindeki noktalar (regresyon denklemlerinin uygulandığı noktalar) dışında kalan alanda ise akım yüksekliği-evapotranspirasyon haritalarından elde edilen eşyağış haritasının geçerli olduğu varsayılarak birleştirme işlemi yapılmıştır. Böylece kıyı ve vadi içleri regresyon denklemleri ile yamaçlar ve yüksek kısımlar ise su dengesi yaklaşımı ile temsil edilmiştir. Bir başka deyişle kıyı topoğrafyasının yağış dağılımı üzerindeki etkisinin yalnızca kıyıda değil yüksek dağ sıraları arasında kalan vadi içlerinde de temsili sağlanmıştır.

Düzeltilmiş eşyağış haritası; akım yüksekliği-evapotranspirasyon haritalarından elde edilen eşyağış haritasının, regresyon denklemleri ile birleştirilerek düzeltilmiş halidir. Mevcut YGİlerin yıllık ortalama yağış değerleri ile düzeltilmiş eşyağış haritasından çıkarılan yağış değerlerine ait çapraz doğrulama Şekil 8(b)'de verilmiştir. Şekil 8(b), vadi içleri ve kıyıların daha iyi temsil edildiğini göstermektedir. Düzeltilmiş eşyağış haritası Şekil 9'da görülmektedir. Her bir AĞİ drenaj havzası için çıkarılan yıllık akış katsayıları düzeltilmiş eşyağış haritası kullanılarak yeniden hesaplanmış ve sonuçlar Şekil 10'da verilmiştir. Düzeltilmiş eşyağış haritasına göre bulunan akış katsayılarının bölge ağırlıklı ortalaması yaklaşık 0.70 olarak bulunmuştur.

Bölüm 3'te Kriging ve Regresyon yöntemlerinden çıkarılmış haritalar kullanılarak bulunan akış katsayılarına göre düzeltilmiş eşyağış haritasından hesaplanan ortalama alan yağış değerleri kullanılarak bulunan akış katsayılarının bir tanesi hariç hepsi 1'den küçüktür. Akım yüksekliği-evapotranspirasyon haritalarından elde edilen eşyağış haritası kullanılarak bulunan akış katsayıları, düzeltilmiş eşyağış haritası kullanılarak bulunan akış katsayılarına göre daha küçüktür. Vadi içlerinde daha az yağış ölçüldüğü ve modelleme buna göre düzeltildiği için, ortalama alan yağışı da daha düşük bir değerde çıkmış ve dolayısıyla akış katsayılarının değeri, düzeltilmemiş eşyağış haritasından bulunan yağışlara göre hesaplanan akış katsayılarına nazaran yükselmiştir. Akış katsayısı 1'den büyük olan tek havza yaklaşık 83 km² lik alana sahip Kömürcüler (22082) istasyonuna aittir. Bu istasyonun drenaj havzasına ait akış katsayıları her model için (Kriging, Regresyon, Akım yüksekliği- evapotranspirasyon haritalarından elde edilen düzeltilmemiş eşyağış haritası ile düzeltilmiş eşyağış haritası) en büyük değeri vermiştir. Bu havzaya ait akış katsayısının büyük çıkmasının; bölgedeki en küçük drenaj alanına sahip olması ve yağış dağılımına ait yüzey haritası oluşturulurken havza çevresinde kendisine en yakın 2000 mm.'nin üstünde yağış alan Kalkandere (32) YGİsi ile bu YGİ etrafında konumlanmış daha az yağış alan (974-1646 mm) diğer YGİler arasında kurulan enterpolasyonun neden olduğu düşünülmektedir.



Şekil 9. Düzeltmiş eşyağış haritası



Şekil 10. AGİ havzalarına ait ve düzeltilmiş eşyağış haritası kullanılarak bulunan yıllık akış katsayıları

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada Doğu Karadeniz Bölgesi kıyı kısmı için yağışın alandaki dağılımının belirlenmesine çalışılmıştır. Çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Özellikle dağlık bölgelerde mevcut YGİler, konumları nedeniyle bölgedeki yağış dağılımını temsil etmekte yetersiz kalmaktadırlar. Mevcut YGİlerle kurulan modeller yağışı çoğu zaman olduğundan daha az tahmin etmektedirler. Nitekim bu sonuç Bozkurt vd. [33] çalışmasıyla da doğrulanmaktadır. Söz konusu çalışmada kurulan iklim modeli sonuçları ile nokta ölçümleri arasındaki farkın; yüksek kısımlarda

gözlem istasyonunun bulunmamasından kaynaklandığı ve mevcut YGİlerle yağış dağılımının belirlenmesinin iyi sonuç vermeyeceği belirtilmektedir.

- Günümüzde yağış dağılımının belirlenmesinde sıkça kullanılan Kriging vb. jeostatistiksel yöntemlerin doğruluğu özellikle karmaşık topoğrafyaya ve/veya yetersiz sayıda gözlem istasyonuna sahip bölgeler için akış katsayısı vb. bir yöntemle kontrol edilmelidir.
- Yüksek kesimlerde ve/veya yamaçlarda YGİ mevcut değilse su dengesi yaklaşımı ile daha doğru bir eşyağış haritasına ulaşmak mümkündür. Ancak elde edilecek haritanın çalışma bölgesinin yağış karakteristiğine göre düzeltilmesi gerekli olabilir.
- Doğu Karadeniz Bölgesi kıyı kesimi için çıkarılan düzeltilmiş eşyağış haritasına dayanarak elde edilen akış katsayılarının bölge ağırlıklı ortalaması yaklaşık 0.70 olarak bulunmuştur.
- Çalışma bölgesi için eşyağış haritası çıkarımında kullanılmak üzere elde edilen akım yüksekliği ve muhtemel evapotranspirasyon haritası; bölgede bu türde ölçümü bulunmayan noktalar açısından bakıldığında, kullanıcıya faydalı olabilecek niteliktedir. Bu çalışmada elde edilen haritalar, bölge için mevcut haritalara göre kullanıcıya daha gerçekçi sonuçlar sunabilecektir.

Semboller

A	Kıyı açısı
MET	Muhtemel evapotranspirasyon
PET	Potansiyel evapotranspirasyon
Y	Enlem
$Z^*(x_0)$	Tahmin noktasındaki yağış değeri
$Z^*(x_i)$	Çevre noktadaki yağış değerleri
$Z(x)$	x noktasındaki yağış değeri
$Z(x+h)$	$x+h$ noktasındaki yağış değeri
β	Regresyon katsayısı
γ	Yarıvaryogram
λ_i	Ağırlık
μ	Hata terimi, Lagrange sabiti

Teşekkür

Yazarlar çalışmaya desteğinden dolayı TÜBİTAK'a ve makalenin gelişmesine katkıda bulunan hakemlere teşekkür eder.

Kaynaklar

- [1] Daly C., Neilson R.P. ve Phillips D.L., A statistical-topographic model for mapping climatological precipitation over mountainous terrain, *Journal of Applied Meteorology*, 33, 2, 140–158, 1994.
- [2] Tabios III, G.Q. ve Salas, J.D., A comparative analysis of techniques for spatial interpolation of precipitation, *Water Resources Bulletin*, 21, 3, 265–380, 1985.
- [3] Pardo-Iguzquiza, E., Comparison of geostatistical methods for estimating the areal average climatological rainfall mean using data on precipitation and topography, *International Journal of Climatology*, 18, 1031-104, 1998.
- [4] Hevesi, J.A., Istok, J.D. ve Flint, A.L., Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistics, Part I: structural analysis, *Journal of Applied Meteorology*, 31, 661–676, 1992a.
- [5] Hevesi, J.A., Istok, J.D. ve Flint, A.L., Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistics. Part II: isohyetal maps, *Journal of Applied Meteorology*, 31, 677–688, 1992b.
- [6] Dirks K.N., Hay J.E., Stow C.D. ve Harris, D., High-resolution studies of rainfall on Norfolk Island, Part II: interpolation of rainfall data, *Journal of Hydrology*, 208, 3–4, 187–193, 1998.
- [7] Goovaerts, P., Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall, *Journal of Hydrology*, 228, 113–129, 2000.
- [8] Lloyd, C. D., Assessing the effect of integrating elevation data into the estimation of monthly precipitation in Great Britain, *Journal of Hydrology*, 308, 128-150, 2005.
- [9] Basistha A., Arya D.S. ve Goel, N.K., Spatial distribution of rainfall in Indian Himalayas-A case study of Uttarakhand region, *Water Resources Management*, 22, 1325-1346, 2008.
- [10] Hastenrath, S. L., Rainfall distribution and regime in Central America, *Theoretical and Applied Climatology*, 15, 3, 201-241, 1967.
- [11] Park, J.I. ve Singh, V.P., Temporal and spatial characteristics of rainfall in the Nam River dam basin of Korea, *Hydrological Processes*, 10, 1155-1171, 1996.
- [12] Baker, D.R., Lynn, B.H., Boone, A., Tao, W.K. ve Simpson, J., The influence of soil moisture, coastline curvature, and land-breeze circulations on sea-breeze-initiated precipitation, *Journal of Hydrometeorology*, 2, 2, 193–21, 2001.
- [13] Marquinez, J., Lastra, J. ve Garcia, P., Estimation models for precipitation in mountainous regions: the use of GIS and multivariate analysis, *Journal of Hydrology*, 270, 1–11, 2003.
- [14] Naoum, S. ve Tsanis, I. K., Orographic precipitation modeling with multiple linear regression, *Journal of Hydrologic Engineering*, 9, 2, 79-102, 2004.

- [15] Bostan P. A. ve Akyurek Z., Exploring the mean annual precipitation and temperature values over Turkey by using environmental variables, Poster presentation, ISPRS Joint Workshop: Visualization and Exploration of Geospatial Data, Germany, 2007.
- [16] Ranhao S., Baiping Z. ve Jing, T., A multivariate regression model for predicting precipitation in the Daqing mountains, Mountain Research and Development, 28, 3-4, 318-325, 2008.
- [17] Sun, W., Zhu, Y., Huang, S. Ve Guo, C., Mapping the mean annual precipitation of China using local interpolation techniques, Theoretical and Applied Climatology, 119, 1, 171-180, 2015.
- [18] Fekete, B. M., Vörösmarty, C. J. ve Grabs, W., Global composite runoff fields based on observed river discharge and simulated water balances, Documentation for UNH-GRDC Composite Runoff Fields, v.1.0, Global Runoff Data Center, Koblenz, Germany, 2000.
- [19] Adam, J. C., Clark, E. A. ve Lettenmaier, D. P., Correction of global precipitation products for orographic effects, Journal of Climate, 19, 15-38, 2006.
- [20] Xia, Y., Adjustment of global precipitation data for orographic effects using observed annual streamflow and the LaD model, Journal of Geophysical Research, 113, D04106, 2008.
- [21] Eris E. ve Ağırlioğlu, N., Effect of coastline configuration on precipitation distribution in coastal zones, Hydrological Processes, 23, 3610-3618, 2009.
- [22] Eriş, E. ve Ağırlioğlu, N., Kıyı alanlarında kıyı şeklinin yağış dağılımına etkisi, Bildiriler Kitabı, 6. Ulusal Hidroloji Kongresi, 428-438, Denizli, 2010.
- [23] SHODB (Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı), Karadeniz Meteoroloji Atlası, İstanbul; 39, 1991.
- [24] Agiralioglu, N., Cigizoglu, H.K., Yilmaz, L., Coskun, H.G., Aksoy, H., Toprak, Z.F., Eris, E., Alganci, U., Andic, G., Usta, G., Besiktas, M., Ulken, I., Akım ölçümleri olmayan akarsu havzalarında teknik hidroelektrik potansiyelin belirlenmesi, 188, TÜBİTAK, Proje No 106M043, 2009.
- [25] Coulibaly, M. ve Becker, S., Spatial interpolation of annual precipitation in South Africa- Comparison and evaluation of methods, Water International, 32 (3), 494-502, 2007.
- [26] Vasiliades, L. ve Loukas, A., Precipitation spatial interpolation methods assessment in Pinios River Basin, Greece, Proceedings of the 11th International Conference on Environmental Science and Technology, A1523-1530, 2009.
- [27] Kaya, N., Sarımsaklı akarsuyuna olan beslenme miktarının akım gözlemlerinden faydalanarak hesaplanması, DSİ Teknik Bülten, 101, 1-17, 2006.
- [28] Akın M. ve Akın, G., Suyun önemi, Türkiye’de su potansiyeli, su havzaları ve su kirliliği, Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi, 47, 2, 105-118, 2007.

- [29] Huang, W.C. ve Yang, F.T, Streamflow estimation using Kriging, Water Resources Research, 34, 6, 1599-1608, 1998.
- [30] Turc, L., Le Bilan D'eau des sols. Relation entre les precipitation, l'évaporation et l'écoulement, Annales Agronomique, 5, 491– 595, 1954.
- [31] Pike, J. G., Estimation of annual run-off from meteorological data in tropical climate, Journal of Hydrology, 2, 2, 116-123, 1964.
- [32] Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 1998.
- [33] Bozkurt, D., Turuncuoglu, U., Sen, O.L., Onol, B., Dalfes, H.N., Downscaled simulations of the ECHAM5, CCSM3 and HadCM3 global models for the eastern Mediterranean-Black Sea region: evaluation of the reference period, Climate Dynamics, 39, 207-225, 2012.