

Ege Bölgesi'nde Yağışın Mekânsal Dağılımı

Spatial distribution of precipitation in Aegean Region

Olgu Aydın^{1*}, İhsan Çiçek¹

¹Ankara Üniversitesi, Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Ankara

Öz: Çevre çalışmalarında iklimsel değişkenlerin mekânsal olarak modellenmesi önemli bir yer tutar. Hidrolojik çalışmalar, kuraklık ve sel gibi olayların tahmin edilmesi, yerüstü ve yeraltı su kaynakları miktarının tahmini, su kaynaklarının kirlenmesi, hava kirliliği ile ilişkili konular özellikle yağış değişkeninin iyi bir şekilde modellenmesini gerektirir. Yağış, iklimsel değişkenlerin en önemli parametrelerinden biridir. Bu çalışmada, 1975-2010 dönemine ait 36 meteoroloji istasyonunun verileri kullanılarak, Ege Bölgesi'nin yıllık ortalama yağışının mekânsal deseni ortaya konulmuştur. Yağış değişiminin modellenmesinde mekânsal enterpolasyon tekniklerinden Ordinary Kriging ve Inverse Distance Weighted teknikleri kullanılmıştır. Elde edilen tahmin haritalarının doğruluğu Çapraz Geçerlilik (Cross-Validation) yöntemiyle test edilmiştir. Ordinary Kriging, Inverse Distance Weighted tahmin sonuçları ile karşılaştırıldığında, daha doğru tahmin haritaları oluşturulmuştur. Bu çalışmada Ordinary Kriging yönteminin yağışın genel mekânsal desenini daha iyi yansıttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Yıllık ortalama yağış, mekânsal enterpolasyon, Ordinary Kriging, Inverse Distance Weighted, Ege Bölgesi.

Abstract: Spatial modelling of climatological variables is one of the most crucial parts of environmental studies. Prediction of natural events such as hydrological phenomenon, drought, flood, ground-surface water amount, pollution of water sources, and issues related to air pollution requires an efficient model of precipitation. Precipitation is one of the most indispensable climatological variables. In this study, spatial pattern of Aegean Region was shown using precipitation data from 36 meteorological stations obtained between 1975 and 2010. Modelling of annual mean precipitation pattern was performed using either Ordinary Kriging as a spatial interpolation technique or Inverse Distance Weighted technique. Precision of prediction maps were tested with cross-validation. In comparison with Inverse Distance Weighted technique, Ordinary Kriging technique has generated more precisely prediction maps. In this study, it might be concluded that Ordinary Kriging has better reflected the spatial pattern of precipitation.

Keywords: Annual mean precipitation, spatial interpolation, Ordinary Kriging, Inverse Distance Weighted, Aegean Region.

* İletişim yazarı: Olgu Aydın, e-posta: oaydin@ankara.edu.tr

1.Giriş

Küresel çevre değişimi tüm dünyanın yüzleştirdiği kritik bir konudur. İklim değişimi ise, küresel çevre değişiminin en önemli konuları arasında yer almaktadır. İklim değişiminin önemli etkileri hidrolojik döngü, sanayi alanları için su gereksinimi, taşkın kontrolü, sulama ve tarım, rezervuar işletme gibi çeşitli etmenler üzerinde gözlenmektedir. İklim değişimi, doğal felaketlerin büyüklüğünün artışı yönünde de güçlü bir etkiye sahiptir. Örneğin Amerika'da 20. yüzyılın ikinci yarısında iklim değişiminden dolayı, sel felaketlerinin büyüklüğü artmıştır (Pielke Jr ve Downton, 2000). Yıllık 3-4 milyar dolarlık ekonomik boyuta ulaşan sel felaketleri, tüm doğal felaketler arasında kasırga felaketinin neden olduğu ekonomik kayıplardan sonra ikinci sırayı almıştır (Changnon ve Hewings, 2001). Türkiye'de de, son on yıl içinde meydana gelen sel felaketleri, can kayıplarının yanı sıra, hem kentsel, hem kırsal kesimde çok büyük maddi zararlara neden olmuştur. İklim değişiminin en önemli etkisi yağış üzerine izlenmektedir. Gelecekte, dünyanın bazı bölgelerinde kasırgalar, kuvvetli yağışlar ile onlara bağlı seller ve taşkınlar gibi meteorolojik afetlerin şiddetlerinde ve sıklıklarında artışlar olurken, bazı bölgelerinde uzun süreli ve şiddetli kuraklıklar ve bunlarla ilişkili yaygın çölleşme olayları daha fazla etkili olabilecektir. İklim değişikliğinin yağışlar üzerine olan bu etkileri, Türkiye gibi kuraklığa karşı hassas bölgelerde doğal ortamdan sosyal ortama kadar olumsuz sonuçların ortaya çıkmasına neden olabilecektir. Bu sebeple, küresel iklim değişikliğinin Türkiye yağışlarına etkisinin yönü bu noktada önem kazanmaktadır.

Son yıllarda yapılan birçok iklim çalışmasında iklim parametrelerindeki değişim ve eğilimi ortaya koyabilmek amacıyla modellemelerden faydalanılmaktadır. Model, karmaşık bir sistemi daha iyi kavrayabilmek amacıyla gerçeğin soyutlanması şeklinde tanımlanabilir. Barnsley (2007)'e göre ise, model karmaşık bir durumun, sürecin veya sistemin basitleştirilmiş bir gösterimidir. Çevre ile ilgili çalışmalarda strateji ve plan geliştirirken, çevresel değişkenlerin değerlerini tahmin etmek ve karmaşık yapısını anlamak oldukça önemlidir. Bu sebeple, çevre üzerine çalışan araştırmacılar bir alanda yer alan iklim sistemi elemanları, hidrolojik süreçler, ekosistem ve biyokimyasal döngüler gibi herhangi bir çevresel değişkenin gösterilmesi, değerinin tahmin edilmesi ve açıklanması üzerine çevresel modeller ortaya koymuşlardır. Bundan dolayı, yağış değerlerinin tahmini ile ilgili modeller üzerine çok sayıda basit ve karmaşık mekânsal enterpolasyon teknikleri geliştirilmiştir. Geleneksel enterpolasyon yaklaşımları Thiessen Poligonu, Spline, Inverse Distance Weighting (IDW) gibi yöntemlerdir. Bu deterministik tekniklere alternatif olan yaklaşımlar ise, jeostatistik yöntemler olarak bilinir.

Mekânsal enterpolasyon tekniklerinin uygulandığı günlük yağış değişkeni üzerine yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır (Beek, vd., 1992; Hutchinson, 1998; Kyriakidis, vd., 2001; Carrera-Hernandez ve Gaskin, 2007; Symeonakis, vd., 2009). Yine aynı teknikler kullanılarak aylık yağış değişkeninin de ortaya konulduğu çalışmalar mevcuttur (Wotling, vd., 2000; Gemmer, vd., 2004; Lloyd, 2005; Sharples, vd., 2005; Lloyd, 2010). Martínez-Cob (1996), Hofierka vd. (2002), Goovaerts (2000), Hession ve Moore (2011) çalışmalarında yıllık yağış değişkenini hesap ederken mekânsal enterpolasyon yöntemlerini kullanmışlardır. Enterpolasyon tekniklerinin bazıları sadece ölçüm noktaları arasındaki mekânsal ilişkileri dikkate alırken, yağışı etkileyen faktörleri hesaba katmaz. Bu sebeple, bu enterpolasyon yöntemleri özellikle dağlık bölgeler gibi engebeli araziler için doğru yağış tahmini elde edilmesinde yetersiz kalır (Marquínez, vd., 2003; Sharples, vd., 2005). Yağışı etkileyen diğer faktörlerin bir arada bulunduğu enterpolasyon teknikleri ile daha doğru yağış modelleri elde edilmiştir. Bazı araştırmacılar yardımcı değişken olarak yalnız yükseklik faktörünü kullanmışken (Phillips, vd., 1992; Wotling, vd., 2000; Lloyd, 2005; Lloyd, 2010), bazıları, yağışı etkileyebilecek yükseklik, bakı, eğim, arazi kullanımı, denizden uzaklık, güneş radyasyonu, sıcaklık, rüzgar, nem gibi diğer faktörlerden de yararlanmışlardır (Hutchinson, 1998; Kieffer Weisse ve Bois, 2002; Boer, vd., 2001; Kyriakidis, vd., 2001; Hofierka, vd., 2002; Diodato, 2005; Yin, vd., 2008; Apaydin, vd., 2011; Hession ve Moore, 2011). Belirtilen bu çalışmalarda, yağışı etkileyen değişkenler yardımıyla

oluşturulan modellerin daha doğru tahmin sonuçları verdiği sonucuna ulaşılmıştır. Goovaerts (2000), farklı enterpolasyon yönteminin yağış tahmin haritası oluşturmadaki etkinliğini incelediği araştırmasında, Thiessen Poligon, IDW ve Ordinary Kriging (OK) yöntemlerini ve yağış verileriyle yükseklik değişkenini bir arada kullanarak Kriging with External Drift (KED), Collocated Ordinary Co-kriging (CCK) yöntemlerini karşılaştırmıştır. Çalışmasında en büyük tahmin hatalarını Thiessen Poligon ve IDW yöntemlerinde bulmuştur. OK yönteminin diğer yöntemlerden daha az hataya sahip olduğunu bildirmiştir. Tobin vd. (2011), İsviçre Alpleri'ndeki yağış ve sıcaklığı modellemek için farklı enterpolasyon yöntemlerini kullanmış ve bunları birbirleriyle karşılaştırmıştır. Çalışmada IDW, OK ve KED yöntemleri test edilmiştir. Sonuçta IDW'in OK ve KED'e göre daha düşük tahmin değerleri verdiği, jeostatistik yöntemlerin mekânsal desenini daha iyi açıkladığı belirtilmiştir.

OK ve IDW tekniğinin kullanıldığı bu çalışmada, Türkiye için önemli bir iklim parametresi olan yağış ele alınmıştır. Türkiye'de kıyıya paralel uzanan dağ sıraları, yüksek dağlar ve platolar en fazla yağış alan yerleri, İç Anadolu, havzalar ve kıyıya paralel uzanan dağların ardındaki subsidans sahaları yağışı daha az alan yerleri oluşturmaktadır. Bu durum, yükselti faktörünün yağış üzerine olan etkisini göstermektedir. Yamaçların eteklerinin ve alçak alanların yağmur şeklinde yağışlar, yüksek yamaçlar ve dorukların kar şeklinde yağışlar alması ise, yükseklik faktörünün yağış şekli tayininde de oldukça belirleyici bir role sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Birbirine yakın yerler arasında büyük yükselti farklarının varlığı, yerel farkların ortaya çıkmasına yağış ve sıcaklık koşullarının yatay ve düşey yönde hızla değişmeler göstermesine neden olmaktadır (Koçman, 1993:7). Cephesel depresyonların geçiş yollarına karşı yamaçların konumu yani, bakı özellikleri yağışı etkileyen coğrafi faktörler arasında önemli bir rol oynar. Ülkenin güneyindeki Toros dağları, özellikle Batı Toroslar fazla yağış alan yerler arasında yer alır. Ancak, bu alan özellikle yükselti ve bakı koşullarına bağlı olarak daha az yağışlı alanlarla kesintiye uğramaktadır. Dik yamaçlar daha kuvvetli ve sürekli yükselmelere sebep olarak daha bol ve şiddetli yağış sağlar ki, bu noktada eğimin yağış üzerine etkisi kaçınılmazdır. Diğer taraftan ormanların yağış miktarları üzerinde etkisi bulunmaktadır. Bu alanlar hava akımlarının düzenini bozarak onları yükselmeye ve türbülans hareketler yapmaya sevk eder (Koçman, 1993). Bu durum yağış miktarlarında az da olsa bir artışa sebep olmaktadır. Denize olan yakınlık uzaklık etkisi yine yağışı etkileyen diğer önemli coğrafi faktörler arasında yer alır. Uygun koşullarda adyabatik olarak soğuyan yükselici hava, yağışı arttırır. Buna karşın alçaltıcı hava hareketler, adyabatik olarak ısınmaya neden olarak yağış olasılığını azaltır. Bu durum yağış üzerine basınç rejiminin etkisini göstermektedir. Kısaca, yükselti, bakı, engebelilik, eğim, denize yakınlık uzaklık, basınç rejimi gibi coğrafi faktörlerin etkisi yağış dağılımını önemli ölçüde etkilemektedir.

Türkiye'de bu faktörlerin ortak etkisi altında özellikleri ve alanları değişen farklı yağış rejimlerinin gözlemlendiği bir ülke olup, yağışın mekânsal enterpolasyon gibi modern istatistik teknikler ile araştırılmasını ve doğru yağış modellerin oluşturulmasını gerektirmektedir. Türkiye'de yağış değişimine ilişkin çalışmaların güncel olarak sürekli tekrarlanması ve modern yöntemler kullanılarak doğru bilgilere ulaşılması gerekmektedir. Bundan dolayı yağış dağılımında gözlenen değişimlerin ortaya konulması ve izlenmesi üzerine yapılan araştırmalara son derece önem verilmiştir. Literatürde, genellikle geleneksel istatistik teknikleri kullanılarak Türkiye'de yağış değişkenliği, yağışlardaki eğilim ve dalgalanmalar, yağış olasılığı kavramı ve Türkiye geneli yağış değişkenliği üzerine atmosferik salınım desenleri ve dolaşım tipleri üzerine yapılan çalışmalar bunlardan bazılarıdır (Koçman, 1993; Türkeş, 1995, 1996; Koçman, vd., 1996; Erinç, 1996; Kadioğlu, 1997; Türkeş, 1998a; Türkeş, 1998b; Türkeş, 1999; Erlat, 1999; Türkeş, 2000; Kadioğlu, 2001; Çiçek, 2001a, 2001b; Koç, 2001; Türkeş, vd., 2002; Türkeş ve Erlat, 2003; Tatlı, vd., 2004; İrdem, 2005; Kutiel ve Türkeş, 2005; Türkeş ve Erlat, 2005; Türkeş ve Erlat, 2006; Sarış, 2006; Erbekçi, 2006; Koç ve İrdem, 2007; Türkeş, vd., 2007; Demir, vd., 2008; Sarış, vd., 2010; Iyigun, vd., 2013; Yozgatligil, vd., 2013). Geleneksel istatistik yöntemlerinin yanı sıra sınırlı sayıda jeostatistik tekniklerinin kullanıldığı yağış üzerine çalışmalar da mevcuttur.

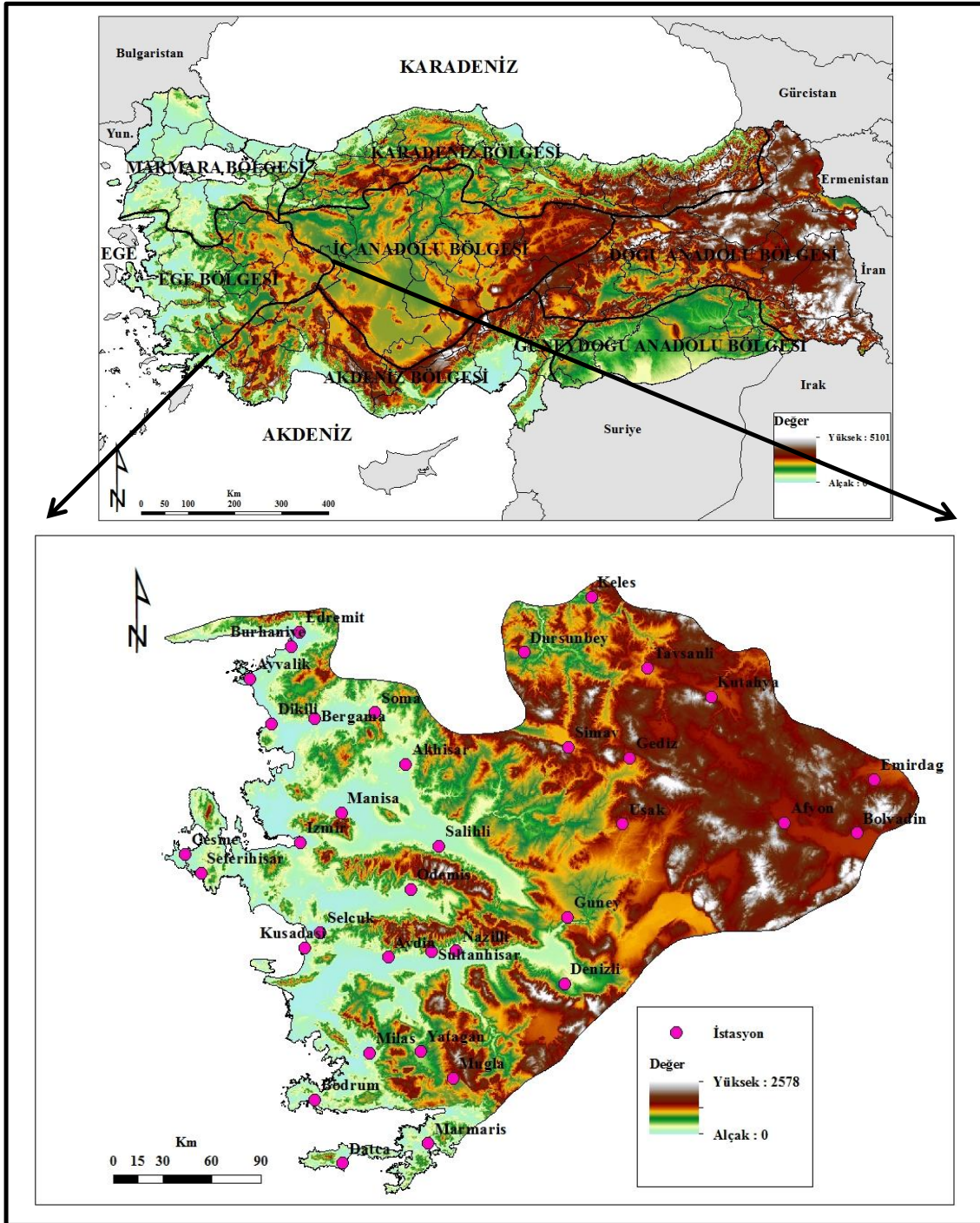
Çanakkale ve Balıkesir illerindeki bazı istasyonları kapsayan ve Marmara Havzasının güneyinde kalan alanda yapılan bir çalışmada jeostatistik yöntemlerden OK ve Ordinary Co-kriging yöntemleri kullanılmıştır (Öztürk ve Batuk, 2010). Çetin ve Tülücü (1998), Doğu Akdeniz Bölgesi ve geçiş kuşağında yer alan yağış gözlem istasyonlarından uzun yıllık, aylık yağış gözlem değerlerini ele almışlar ve bölge yağışları yersel değişimlerinin belirlenmesinde jeostatistik yöntemler kullanmışlardır. Çalışmalarında gözlemi bulunmayan nokta ve alanlar için Kriging yöntemi ile aylık yağış serilerinin türetilmesini ve optimum haritalama tekniği ile bölgenin yağış ve hata haritalarını oluşturarak yağış gözlem ağı yoğunluğunun yeterli olup olmadığını ortaya koymuşlardır. Apaydın vd. (2011) İç Anadolu Bölgesi'nde, 1976-2005 dönemine ait aylık ortalama global güneş radyasyonu, güneşlenme süresi, yüzey hava sıcaklığı, nisbi nem, rüzgar hızı ve yağış gibi iklim parametreleri üzerine topografyanın ve coğrafi etmenlerin etkilerini geleneksel istatistik yöntem (Çoklu Regresyon) ve jeostatistik enterpolasyon yöntemlerini (Kriging, Co-kriging) kullanarak araştırmışlardır. Bostan vd. (2012) yükseklik, bakı, yüzey pürüzlüğü, kıyıya uzaklık, arazi kullanımı ve ekolojik bölgeler gibi çok sayıda değişken kullanarak Türkiye'de 1970-2006 yılları arası yıllık ortalama yağış değişiminin mekânsal dağılım haritasını oluşturmuşlardır. 225 istasyondan elde edilen yıllık ortalama yağış verileri ve diğer yardımcı değişkenler yardımıyla gerçekleştirdikleri analizlerinde Multiple Linear Regression (MLR), OK, Regression Kriging (RK), Universal Kriging (UK), Geographical Weighted Regression (GWR) tekniklerini karşılaştırmışlardır.

Bu çalışmanın amacı, 1975-2010 dönemi 36 meteoroloji istasyonuna ait yağış verileri yardımıyla jeostatistik enterpolasyon tekniklerinden OK yöntemi ve deterministik tekniklerinden IDW yöntemi kullanılarak Ege Bölgesi'nin yıllık ortalama yağış modellerinin oluşturulması ve karşılaştırılmasıdır.

2. Çalışma Alanının Genel Özellikleri

Türkiye'nin batısında yer alan Ege Bölgesi, kuzeyden Marmara, doğudan İç Anadolu, güneyden Akdeniz Bölgeleri ile sınırlanmıştır. 79.000 km²'lik yüzölçümü ile ülke yüzölçümünün % 11'ini oluşturmaktadır. Bölge, İzmir, Manisa, Denizli, Aydın, Muğla, Afyon, Uşak, Kütahya olmak üzere 8 ilden oluşmaktadır (Şekil 1). Kıyılara doğru dik bir şekilde uzanan yüksek topografyanın, genelde doğu-batı doğrultulu ovalarla parçalanması ve birbirinden ayrılması, Ege Bölgesi kıyılarının daha çeşitli ve çok girintili çıkıntılı nitelikte olmasına yol açmıştır. Yapı ve yer şekilleri özelliklerine bağlı olarak izlenen bu durum, ülkenin diğer kıyı bölgelerine göre farklılık göstermesine neden olmuştur. Ege Bölgesi yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı olarak tanımlanan Akdeniz ikliminin etkisi altındadır. Karadeniz ve Akdeniz bölgelerinde kıyıya paralel dağların birbirine yakın yerlerde yarattıkları büyük iklim zıtlıkları burada görülmez (Darkot ve Tuncel, 1988:13). Ege Bölgesi için iklimin birbirine göre az-çok ayrılıklar gösterdiği üç kesim seçilebilir: 1) tam Akdeniz ikliminin hüküm sürdüğü Ege kıyıları; 2) zemini deniz yüzeyinden pek yüksek olmayan, yaz ve kış sıcaklık farkları kıyıya göre biraz artan Ege bölümü çukur ovaları; 3) zemini yüksek, yaz-kış sıcaklıkları arasındaki farkları fazla olan İçbatı Anadolu eşliğidir (Darkot ve Tuncel, 1988:13).

Ege Bölgesi'ni ele alan çalışmalar incelendiğinde; Koçman vd. (1996) Ege ovalarının bulunduğu bölge üzerinde gerçekleştirdikleri çalışmalarında, 1941-1988 yılları arasında yağışın değişimini ve yıl içindeki yağış dağılımını ortaya koymaya çalışmışlardır. Çalışmalarının sonucunda, 48 yıllık bir dönemde yağış değerlerinde bir artış ya da azalış olmadığını belirterek, Ege ovalarında süreleri birbirine eşit olmayan kurak ve nemli dönemlerin peşi sıra geldiğinin altını çizmişlerdir. Bahadır (2011) Ege Bölgesi'nde yağışın uzun yıllık zamansal değişimlerini incelediği çalışmasında, 1975 yılından 1995 yılına kadar genel anlamda bir azalma, 1995'den 2005 yılına kadar ortalamaya yakın bir seyir izlediğini tespit etmiştir. Buna karşılık 2005'den 2010 yılına kadar olan 5 yıllık dönemde yağışta tekrar bir azalma eğilimi ortaya çıkmıştır. Geleceğe yönelik zamansal değişim analizlerine göre ise, bölgede yağışta azalma eğilimi olacağını öngörmüştür.



Şekil 1. Çalışma alanı

Ege Bölgesi'nin 2012 yılı yıllık yağış toplamalarının ortalaması 775 mm, uzun yıllık ortalaması 625 mm'dir. 2011 yılına ait yıllık yağış toplamalarının ortalaması ise, 587 mm'dir. Yağışların uzun yıllık ortalamasına göre % 24, 2011 yıl yağışına göre ise, % 32 artma gözlenmiştir (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2013:9). Ege Bölgesi'nde en fazla yağış alan yerler Muğla, Milas, Edremit ve Uşak; en az

yağış alan yerler ise Bolvadin, Akhisar ve Salihli'dir (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2013:9). Topografya şartlarının yağışa elverişli durum yarattığı yerlerde yağış değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir.

3. Veri ve Yöntem

3.1. Çalışmada Kullanılan Veri Seti

Çalışmada, Ege Bölgesi'ne ait yıllık ortalama yağış desenini belirleyebilmek için, uzun süreli yağış gözlemi yapan 36 meteoroloji istasyonundan elde edilen 1975-2010 dönemine ait yıllık ortalama yağış verileri kullanılmıştır. Veriler Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden elde edilmiştir. Çok sayıda aktif meteoroloji istasyonu bulunmasına rağmen, 35 yıllık bir dönem için ölçüm yapan istasyonlar seçilmiş ve yıllık ortalama yağış değerleri hesap edilmiştir. Dünya Meteoroloji Örgütü, tahminler yaparken güvenilir iklim değerleri elde etmek için kullanılması gereken en uygun uzunluğa sahip sürenin 30 yıllık bir dönemi kapsamaması gerektiğini belirtmiştir (Jagannathan, vd., 1967). Muğla istasyonu 1921 tarihinde gözleme başlayan en eski istasyondur. İstasyonların büyük çoğunluğu Sinoptik (SNP) ve Büyük Klima (BK) özelliğine sahiptir. Az sayıda Küçük Klima (KK) istasyonlarına rastlanmaktadır. İstasyonlar Lambert Conformal Conic projeksiyon sistemi, Datum European 1950 (ED50) olarak ayarlanmıştır. Bu çalışmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının bulunduğu lokasyonlar Şekil 1'de gösterilmektedir.

3.2. Mekânsal Enterpolasyon Yöntemleri

İncelenen bir doğa olayı zaman ve mekâna bağlı olarak bir değişim gösteriyorsa ve bu değişim belirli bir yapıya sahipse, bu değişken çevresel değişken olarak adlandırılır (Hengl, 2009). Çevresel değişkenlerin en dikkat çeken özelliklerinden biri, onların mekânsal-zamansal boyutunun varlığıdır. Bir çevresel değişkenin mekânsal-zamansal boyutu; değişkenin, coğrafi lokasyonu (enlem, boylam), yüksekliği, ölçüm zamanı (yıl, ay, gün, saat, dakika vb. gibi) ve mekânsal-zamansal destek boyutunu (çalışma alanının boyutu ve ölçüm zaman aralığı) kapsayan en az dört parametresiyle ifade edilmektedir (Hengl, 2009:1). Mekânsal planlama, karar verme, arazi değerlendirme konularında çevresel değişkenlerin önemli bir yeri vardır. Bir alanda mevcut değişkene ait dağılım haritası oluşturmak, değişken hakkında doğru ölçüm ve güvenilir analizler yapmayı gerektirmektedir. Çünkü çevresel değişkenler yalnızca mevsimsel olarak değil, birkaç saniye içinde de değişim gösterebilmektedir. Geleneksel istatistik yöntemleri ile yapılan analizlerde herhangi bir değişkenin varyans ve ortalaması hesaplanırken gözlemlerin yapıldığı yerin coğrafi konumu ve gözlemlerarası mekânsal otokorelasyonu dikkate alınmamaktadır (Webster, 1985). Bir dağılımın mekânsal deseni, mekânın içerisindeki her bir varlığın düzeni ve bunlar arasındaki coğrafi ilişkileri tarafından belirlenir (Hansen, 1997). Mekânsal otokorelasyon, "*herşey başka herşeyle ilişkilidir, yakın olan şeyler uzak olanlara göre daha çok ilişkilidir*" olduğunu ifade eden coğrafyanın ilk kanuna dayalıdır (Tobler, 1970:236). Böylece mekânsal otokorelasyon, bir alan içindeki benzer objeleri veya alandaki bir mekânsal fenomenin kendisiyle olan bağlılık derecesini ölçmektedir (Cliff ve Ord, 1973, 1981). Gözlemlerarası ilişkinin (korelasyon) önemli olduğu durumlarda, verilerin analizi, gözlemi bulunmayan noktalara ilişkin tahminler yapılması, değişkenin alansal ortalama değerinin tahmin edilmesi ve haritalanması geleneksel istatistik yöntemleri ile mümkün değildir (Olea, 1982). Bu sebeple, gözlemlerin yapıldığı noktaların konumlarını ve gözlemlerarası ilişkiyi göz önüne alan jeostatistik yöntemler, Bölgesel Değişkenler Teorisinin (Theory of Regionalized Variables) geliştirilmesini takiben, pek çok disiplinde hızlı bir şekilde uygulanmaya başlamıştır. Gözlem verilerinin deneysel yarıvarioqram yapısının belirlenmesi ve bu yarıvarioqram yapısına teorik bir modelin uydurulması jeostatistik çalışmaların temelidir. Değişkenin doğru olarak tahmin edilmesi, gözlem noktalarının sıklığına, gözlem noktalarının mekânsal değişkenliğine ve bu değişkenin göstergesi olan yarıvarioqram modelinin doğru olarak belirlenmesine bağlıdır (Bailey ve Gatrell,

1995; Hengl, 2009; Fotheringham, vd., 2000; Kalkhan, 2011; Chun ve Griffith, 2013). Yarıvariogram modelleri geleneksel istatistik yöntemleri gibi tek bir noktanın, örneğin, istasyonun gözlem değerleri ile ilgilenmemektedir. Bir alan veya doğrultu üzerinde düzenli veya düzensiz bir şekilde dağılmış mevcut tüm gözlem noktalarının eş zamanlı gözlemleri kullanılmakta ve zaman boyutu yanında, çevresel değişkenlik boyutu da araştırmaların içine dâhil edilebilmektedir. Veri noktalarını almak ve “tüm alanda verilerin nasıl bir dağılım gösterdiği ile ilgili kullanışlı ve ilgi çekici sonuçları anlatan bir model oluşturmak” jeostatistik tekniklerin en önemli amaçlarından birini oluşturmaktadır (Hengl, 2009). Kısaca jeostatistik teknikler, mekânsal değişim ölçeğinin belirlenmesi ve tahmin edilmesi, bölge tanımlanması, çoklu veri analizi, olasılık haritaları gibi birçok mekânsal problemlerde uygulanabilir olmayı ve sadece çevresel bir değişkenin bulunduğu alan boyunca tahmin haritaları oluşturmayı değil, değişkenin neden orada/o lokasyonda yer aldığını ve buna etki eden nedenleri de anlamayı amaçlamaktadır.

Bu çalışma dört aşamada gerçekleştirilmiştir: (1) mekânsal verinin gösterimi ve araştırılması; (2) mekânsal modelin oluşturulması için mekânda bulunan bağımlılık kuralının bulunması (teorik yarıvariogram); (3) çalışma sahası içinde gözlem yapılmamış noktaların teorik yarıvariograma ve IDW yöntemiyle (teorik yarıvariogram olmaksızın) tahmin edilmesi; (4) ve yapılan bu tahminler için doğruluk testinin uygulanması ve tahmin yöntemlerinin karşılaştırılmasıdır.

Jeoistatistik analizlerin en önemli gerekliliklerden birisi, analiz edilecek verinin gösterilmesidir. Bu amaçla Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), mekânsal veriler için haritalar oluşturulmasında ve mekânsal desenlerin ve ilişkilerin tespit edilmesinde kolaylıklar sağlayarak, karmaşık coğrafi problemlerin çözümüne yardımcı olmaktadır (Krivoruchko, vd., 2003; Anselin, 2003; Wong ve Lee, 2005).

Mekânsal verinin araştırılması, değişkenin iyi anlaşılmasını, oluşturulacak tahmin yüzeylerini etkileyen hataların bulunmasını, nasıl bir dağılım gösterdiği hakkında bilgilerin edinilmesini sağlamaktadır. Bundan başka, coğrafi konumun ve mekânsal etkileşimin önemini de vurgulamaktadır. Mekânsal verinin araştırılması, modelleme tekniklerine geçmeden önce jeostatistik uygulamalarında gerçekleştirilmesi gereken en önemli aşamalarından biridir. Histogram, Normal Q-Q Plot, Yarıvariogram/Kovaryans Bulutu vb. gibi tanımlayıcı istatistik yöntemlerinin uygulanması ile gerçekleştirilebilmektedir. Normal dağılım gösteren verinin enterpolasyon sonuçları daha iyi çıktılar vermektedir. Eğer çarpık bir durum söz konusu ise, veriye dönüşüm uygulamak gerekmektedir. Dönüşüm, değişkenler arasındaki ilişkiyi değiştirmeden, değişkenler arasındaki farklılıkları yani, ölçme birimini değiştirerek gerçekleşen bir uygulamadır. İşlem, analiz edilecek verinin tümüne uygulandığı için, verinin değerinde bir değişiklik olmamaktadır.

3.2.1. Yarıvariogram

Jeoistatistik analizler, mekânsal ilişkinin gözlenmesi veya varsayımı temeline dayanmaktadır. Birbirine yakın lokasyonlardan elde edilen ölçümler, birbirine uzak olanlara göre daha benzer sonuçlar verir. Yarıvariogram/Kovaryans Bulutu, artan mesafe ile ilişkide meydana gelen değişimi ölçmede kullanılan en önemli araçtır. Yarıvariogram bulutu mümkün olabilecek tüm gözlem çiftlerinin $(N(N - 1))$ arasındaki farkın karesinin $(Z(X) - Z(X + h))^2$ bu çiftlerin ayırım mesafesine (h) göre gösterilmesiyle elde edilir. Yarıvariogram aşağıdaki formülle hesap edilir.

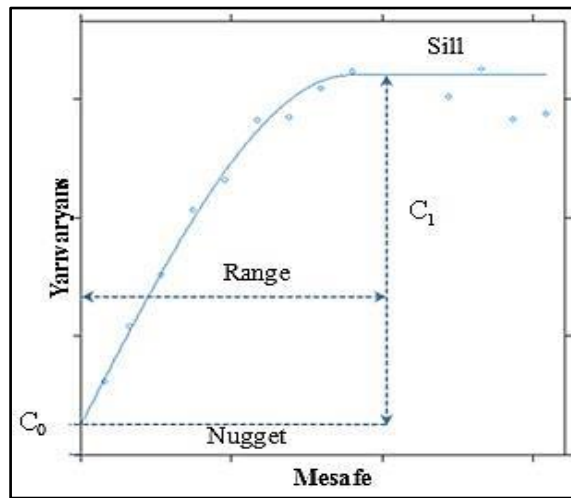
$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E(Z(X) - Z(X + h))^2$$

İstasyon sayısı arttıkça, $X + h$ uzaklığı ve $\gamma(h)$ değerinin grafik üzerinde gösterimi ve yorumu güçleşmektedir. Bu nedenle, uygulamada uygun sınıf aralıkları belirlenerek deneysel yarıvariogramın oluşturulması yoluna gidilir. Yarıvariogram bulutunun kovaryans değerlerinin belirli sınıf aralığına

(lag distance) ayrılıp, o mesafeye düşen yarıvaryans değerlerinin ortalamasının alınması “deneysel yarıvariogram” grafiğini vermektedir (Şekil 2).

$$\hat{\gamma}(\tilde{h}_j) = \frac{1}{2N_h} \sum_{i=1}^{N_h} (Z(X_i) - Z(X_i + h))^2$$

Formülde $Z(X_i)$, X_i konumundaki istasyonun yıllık ortalama yağış değerini; $Z(X_i + h)$, $X_i + h$, konumundaki istasyonun yıllık ortalama yağış değerini; N_h 'de h mesafesindeki toplam istasyon çifti sayısını ifade etmektedir. Deneysel yarıvariogram ile çevresel değişkenin mekânsal değişimi hakkında önemli bilgi edinilebilir. Ancak, tahmin analizlerinde doğrudan kullanılamaz. Bundan dolayı, tahmin sürecinde ikinci tip yarıvariogram gereklidir. Bu yarıvariogram modeline “teorik yarıvariogram” denir. Mekânsal modelin oluşturulması için mekânda bulunan bağımlılık kuralının bulunması yani, teorik yarıvariogramın belirlenmesi gerekmektedir. Teorik yarıvariogram modeli jeostatistik çalışmalarının en önemli bölümünü oluşturmaktadır. Bu yarıvariogram matematik modeli temel alır ve deneysel yarıvariograma oturtularak (fit edilerek) elde edilir (Şekil 2). Kısaca, gözlem değerlerinden yararlanılarak hesapla oluşturulan yarıvariograma deneysel yarıvariogram, deneysel yarıvariograma matematiksel bir fonksiyon uydurularak elde edilen yarıvariogram modeline de teorik yarıvariogram denir (Bailey ve Gatrell, 1995; Hengl, 2009; Fotheringham, vd., 2000; Kalkhan, 2011; Chun ve Griffith, 2013). Yarıvariogramda örnekler arasındaki sınıf aralığı arttıkça, yarıvariogram değerleri de artar. Sonunda yarıvariogramın maksimum değerlerine ulaştığı değer yarıvariogramın “tepe varyans (sill)” değerini vermektedir ve gözlem noktaları bu değer etrafında değişim gösterir. Yarıvariogramın tepe varyans’a ulaştığı mesafe ise, “etki uzaklığı (range)” olarak adlandırılır. Gözlem değerlerinin birbirinden bağımsız olduğu kabul edilen mesafeyi ifade etmektedir. Bu mesafeden sonra herhangi iki veri noktası arasında mekânsal ilişki yoktur. Birbirine en yakın iki gözlem arasındaki uzaklıktan daha küçük uzaklıklarda, değerler arasındaki farkın değişimi, veri olmadığından belirlenmemektedir. Bu durum, yarıvariogramın 0’den farklı pozitif bir değer almasına yol açar. Örnekleme ve analiz hatalarında aynı etkiye neden olmaktadır. Teorik olarak h ’ın sıfır olması gereken yarıvariogramın, bu nedenlerden dolayı aldığı sıfırdan farklı pozitif değer “kontrolsüz etki (nugget)” olarak bilinir (Bailey ve Gatrell, 1995; Hengl, 2009; Fotheringham, vd., 2010; Kalkhan, 2011; Chun ve Griffith, 2013). Jeostatistikte, Exponential, Spherical, Gaussian, Circular, Linear yaygın olarak kullanılan yarıvariogram modelleridir (Isaaks ve Srivastava, 1989).



Şekil 2. Deneysel ve teorik yarıvariogram modeli

Not: Grafik R 3.0.2 programında çizilerek elde edildi. Grafikte R, gözlemlerin birbirinden bağımsız olduğu kabul edilen, etki uzaklığı; c_0 , kontrolsüz etki (nugget); $c_0 + c_1$, eşik değer veya tepe varyans (sill); c_1 , yapısal veya stokastik varyansı (partial sill) ifade etmektedir.

3.2.2. Ordinary Kriging (OK)

Deneyssel yarıvariogram yapısına en iyi oturan teorik yarıvariogram modeli seçilerek, alanı temsil eden ortalama yarıvariogram modeli fonksiyonel olarak belirlenmiş olur. Belirlenen bağımlılık kuralından sonra, çalışma sahası içinde gözlem yapılmamış noktaların değerleri tahmin edilebilir.

Bu amaç için kullanılan Kriging, ölçümü yapılmış lokasyonlardan, ölçüm yapılmamış olan lokasyonlardaki değişkenlerin değerini tahmin etmek için kullanılan tekniklerin genel ismi olarak ifade edilmektedir. İlk olarak Güney Afrikalı maden mühendisi, D.G. Krige tarafından 1950'li yıllarda cevher rezervi alanlarının daha doğru tahmini için geliştirilmiş olan bir enterpolasyon yöntemidir (Kalkhan, 2011:85). 1963 yılında, Fransız maden mühendisi Matheron'nun bu yöntemden yola çıkarak Bölgesel Değişkenler Teorisini geliştirmesiyle, farklı bilim alanlarında da sıkça kullanılmaya başlamıştır. Son yıllarda, Kriging tekniği jeostatistik alanında temel bir araç haline gelmiştir (Caruso ve Quarta, 1998; Kalkhan, 2011). En küçük hata kareler ortalaması yöntemine dayanan Kriging yöntemi en iyi doğrusal yansız tahmin edici olarak bilinmektedir. Kriging yöntemi ile belirlenen ağırlıklar yarıvariograma ve verinin mekânsal konumuna bağlıdır. Tahmin değerleri ile gerçek değerler arasındaki ortalama farkın sifıra eşit ve tahmin hata varyansı en düşük seviyede olacak şekilde hesaplanır. Farklı Kriging teknikleri olup, OK bunlardan en yaygın kullanılanıdır. OK yönteminde bilinmeyen değerlerin tahmini, değişkenlerin durağan ve ortalamanın sabit olduğu varsayımına göre gerçekleştirilir. Tahmin ağırlıkları yarıvariogram modellerine dayanır. OK'de kullanılan temel eşitlik,

$$\hat{Z}(X_0) = \sum_{i=1}^N W_i Z(X_i)$$

Formülde $\hat{Z}(X_0)$, X_0 noktasına ilişkin Kriging değerini; $Z(X_i)$, değişkenlerin her bir X_i noktasında gözlenen değerleri; W_i , her bir $Z(X_i)$ 'ye karşılık gelen ağırlık değerlerini; N ise, $\hat{Z}(X_0)$ ' in Kriging tahmininde kullanılacak nokta sayısını ifade etmektedir. IDW'nin aksine, OK'de belirlenen ağırlıklar sadece mesafeye değil, aynı zamanda model yarıvariograma dayanır.

3.2.3. Inverse Distance Weighted (IDW)

IDW yaygın olarak kullanılan tahmin tekniklerinden biridir. IDW yönteminde, iki nokta arasındaki ilişkinin ve benzerliğin, aralarındaki mesafeyle orantılı olduğu varsayılır. Mekânsal yağış enterpolasyonunda sıkça kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, yeterli örnek sayısı olduğunda (en az 14) ve örneklerin lokal ölçekte uygun bir dağılım göstermesi durumunda iyi sonuçlar verir. IDW aşağıdaki formülle ifade edilir,

$$\hat{Z}(X_0) = \frac{\sum_{i=1}^N w(X_i) Z(X_i)}{\sum_{i=1}^N w(X_i)}$$

$$w(X_i) = \|X_i - X_0\|^{-p}$$

N , bilinen ölçüm noktasının toplam sayısını; $w(X_i)$, i 'inci bilinen konumdaki ağırlığı; $Z(X_i)$ ise, i 'inci konumdaki yağış miktarını ifade eder. Formülde kullanılan ağırlıklar ise, ikinci formülden elde edilir. Örnek noktası (X_0) ve tahmin noktası arasındaki mesafeyi (X_i) ifade eder. p ise üstel katsayıdır (power/güç). IDW etkileyen ana faktör p parametresinin değeridir. En yaygın olarak

kullanılan p değerleri 1, 2, 3, 4 ve 5'tir. IDW enterpolasyonunun doğruluğu kullanılan verinin miktarı ve seçilen üstel katsayısına bağlıdır (Kravchenko, vd., 1999). Ancak literatürde, optimum örnek sayısı ve üstel katsayı belirlenmesi konusunda kesin bir tavsiye yoktur. Bu çalışmada en popüler olan 2 değeri, IDW hesaplamasında güç değeri olarak seçilmiştir.

3.2.4. Çapraz Geçerlilik (Cross-Validation)

Çapraz Geçerlilik, tahmin modellerin doğruluğunu belirlemede sık kullanılan yöntemlerden biridir. Örnek veri setindeki mevcut bilgileri kullanarak, tahmin edilen ve gerçek değerleri (istasyon ölçüm değerleri) arasındaki ilişkiyi inceler. Teknikte, bir lokasyondaki değer, veri setinden geçici olarak çıkarılır ve geriye kalan diğer değerler kullanılarak çıkartılan bu lokasyon için tahmin yapılır (One Leave Out). Bu işlem aynı şekilde geride kalan tüm örnekler için tekrarlanır (Isaaks ve Srivastava, 1989). Tahmin haritalarının değerlendirilmesinde çeşitli hata ölçüm yöntemlerinden yararlanılmaktadır. Bu çalışmada, ME (Mean Error), MAE (Mean Absolute Error), RMSE (Root Mean Square) ve R^2 ölçümleri kullanılmıştır ve aşağıda belirtilen formüllerle ifade edilir,

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [\hat{Z}(X_i) - Z(X_i)]$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |\hat{Z}(X_i) - Z(X_i)|$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\hat{Z}(X_i) - Z(X_i))^2}$$

$$r_{xy}^2 = 1 - \frac{\sigma_{y|x}^2}{\sigma_y^2}$$

$$\sigma_{y|x}^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2$$

$$\sigma_y^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

$\hat{Z}(X_i)$ tahmin edilen değeri, $Z(X_i)$ gözlemlenmiş değerleri ifade etmektedir. $\sigma_{y|x}^2$ terimi x_i 'nin y_i 'ye arasındaki ilişkinin bir $y = a + bx$ doğrusu ile ifade edilmesinin kestirimi sırasında ortaya çıkan hata karelerinin toplamıdır. σ_y^2 ise, y için varyansdır. ME, hatanın yanlışlık derecesini belirlemek için kullanılır (Isaaks ve Srivastava, 1989). RMSE, hatanın büyüklüğünü belirtir; ancak büyük hatalara daha çok ağırlık vereceğinden uç değerlere karşı hassastır (Hernandez-Stefanoni ve Ponce-Hernandez, 2006). MAE, uç değerlerden RMSE gibi etkilenmez (Willmont, 1982; Vicente-Serrano, vd., 2003). MAE ve RMSE benzer ölçümler sağlar ve ortalama hata tahminini verir. R^2 , gözlem değerleri ile tahmin değerleri arasındaki ilişkiyi ifade eder ve genellikle Pearson çarpım-moment ilişki katsayısının karesi (belirtme katsayısı) ile ifade edilir. R^2 , doğrusal ilişkinin gücünü gösterir.

Bu çalışmada veri tabanının oluşturulması ve verinin gösterilmesinde ArcGIS 10.1 (ESRI, Redlands, CA) programı; verinin açıklanması ve jeostatistik analizlerinde ise, R 3.0.2 (Ihaka ve

Gentleman, Auckland, New Zealand) programı ve içindeki gstat, sp, rgdal, maptools paketleri kullanılmıştır (Pebesma ve Wesseling, 1998; Bivand, vd., 2004; Pebesma, 2004).

4. Bulgular

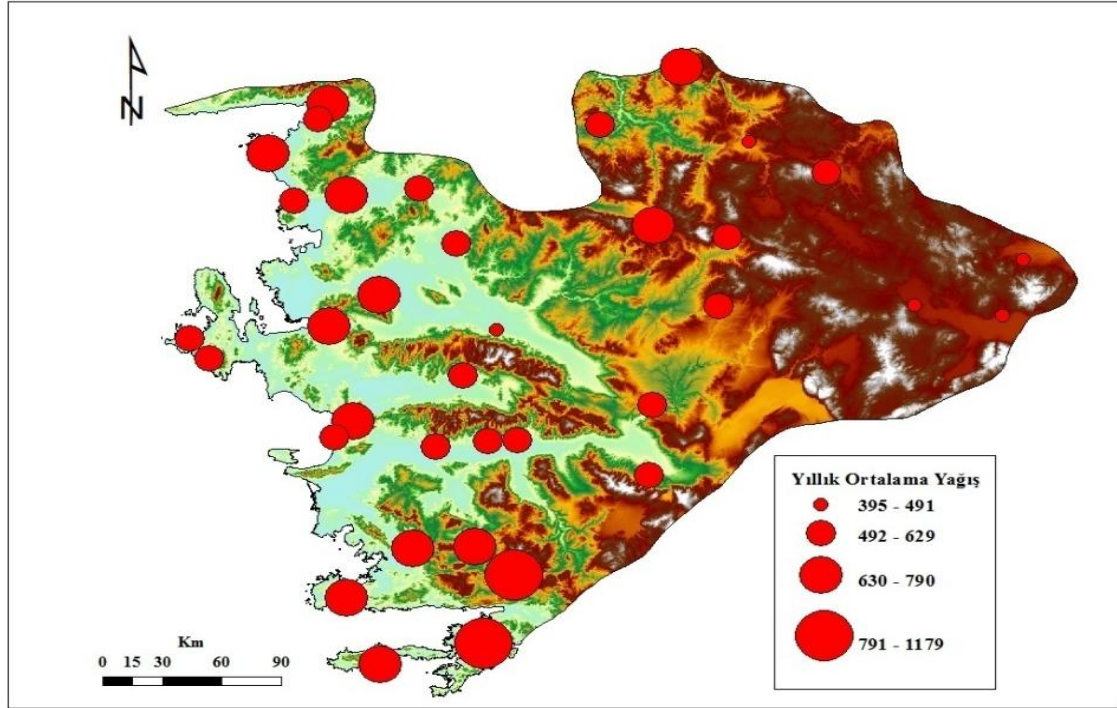
Mekânsal verinin gösteriminden elde edilen Ege Bölgesi'nin 1975-2010 dönemine ait yıllık ortalama yağış değerlerinin coğrafi dağılışı haritası Şekil 3'de gösterilmektedir. Şekil 3'e göre, yıllık ortalama yağışın 395-491 mm olduğu alanlar Düşük Yağışlı Alanlar (DYA), 492-629 mm olduğu yerler Orta Yağışlı Alanlar (OYA), 630-790 mm arasındakiler Yüksek Yağışlı Alanlar (YYA) ve 791-1179 mm arasındakiler ise, En Yüksek Yağışlı Alanlar (EYYA) olarak belirlenmiştir. Buna göre, bölgenin EYYA'larını, güneyde yer alan Muğla ve Marmaris istasyonlarının bulunduğu yerler oluşturmaktadır. Bu istasyonlar sırasıyla, 1142 mm ve 1179 mm yıllık ortalama yağış değerlerine sahiptir. Buna karşılık, DYA'lar bölgenin doğu kesimi için dikkat çekmektedir. 395 mm yıllık ortalama yağış değeri ile Bolvadin, 404 mm ve 422 mm ile Emirdağ ve Afyon istasyonları en belirgin olanlarıdır. İç bölgelerde yağışın kıyı bölgelere oranla az olmasının önemli nedenleri vardır. Bunlardan birincisi, kıyı bölgelere ulaşan nem yüklü hava kütlelerin kıyı kuşağı dağ sıralarının yamaçlarından yükselir, yağış bırakır. Böylece, iç kısımlara ulaşan hava kütleleri taşıdıkları nemin önemli bir kısmını kıyı kesimlerde bırakması ve dağları aşarak alçaldıkları sırada adiyabatik olarak ısınmaları daha az nem içermelerine neden olur. Bir diğer önemli neden, iç bölgelerde özellikle kış döneminde yüksek basınç koşulları hâkimdir ve yazın da yüksek olan sıcaklığın yoğunlaşmayı zorlaştırması yağışların bu alanlarda az olmasında etkili olur. Ayrıca, ülkenin batısından doğusuna doğru yer değiştiren cephesel depresyonlar batı ve kuzeybatıya bakan yamaçlar üzerine daha fazla yağış bırakmaktadır (Koçman, 1993:50). Kış aylarında Akdeniz üzerinde termik değişim sonucu oluşan Akdeniz hava kütlesi ve buna bağlı cephe sistemleri güneybatılı (lodos) rüzgârlar ile Türkiye'ye gelir ve özellikle Güneybatı Anadolu'da orografik-cephesel yağışlara neden olur. Bunun yanında batıdan sokulan hava kütleleri ise, Ege Bölgesi'nde dağların kıyılara dik oluşu nedeniyle fazla yükselmeye zorlanmadan içerilere kadar sokulmakta, bu durum orografik kökenli yağışların sınırlı olmasına neden olmaktadır. Boz dağların yağış gölgesinde kalan Salihli'de, güneybatılı sistemlerin orografik şekillenmesi ve yağış dağılışında bu faktörlerin etkisi görülmektedir. Yağışın mekânsal dağılışı haritası yağış açıklamalarını destekler niteliktedir.

Ege Bölgesi'nin yıllık ortalama yağış değişkeninin tanımlayıcı istatistik değerleri Çizelge 1'de gösterilmiştir. Buna göre, 35 yıllık döneme ait yıllık ortalama yağış maksimum değeri 1179.4 mm, minimum değeri 395.6 mm'dir. Ortalama değer ise, 627.43 mm olarak hesap edilmiştir. Bölge için standart sapma değeri 158.57 mm'dir. Standart sapma değerinin yıllık yağış toplamının $\frac{1}{4}$ 'i kadar olması bölgede yüksek yağış değişkenliği olduğunu göstermektedir.

Çizelge 1. Ege Bölgesi yıllık ortalama yağış için tanımlayıcı istatistik değerleri (mm)

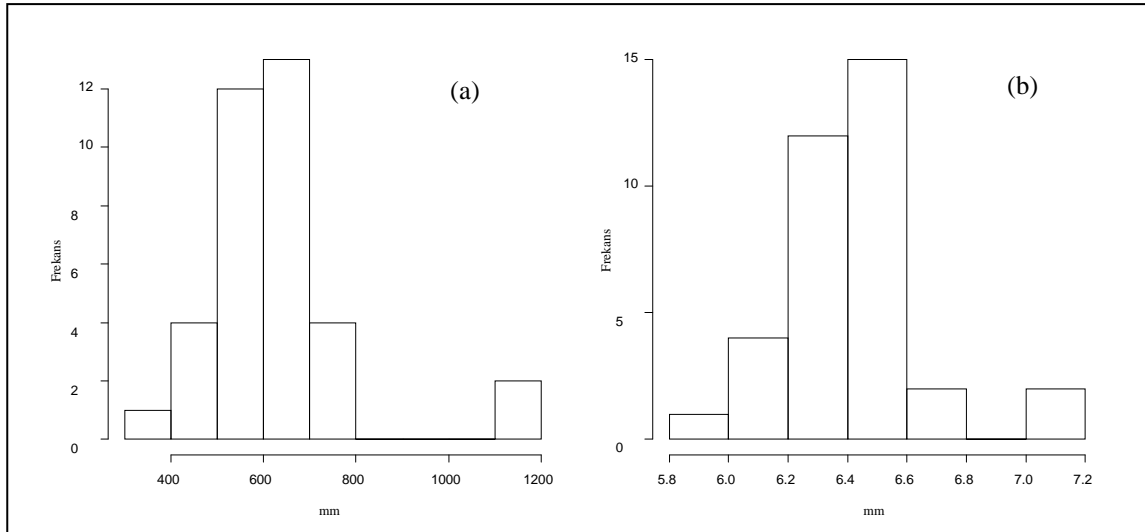
Ort.	Std. sap.	Min.	Ortanca	Maks.
627.43	158.57	395.60	610.20	1179.40

Ege Bölgesi yıllık ortalama yağış verisinin histogram grafiğine (Şekil 4a) göre, logaritmik dönüştürme işlemi gerçekleştirilmiştir. Logaritmik dönüştürme, dağılımı normale yaklaştırır, doğrusal olmayan ilişkiyi doğrusallaştırır, varyansların heterojenliğini ve uç/sapma değerlerini azaltır. Logaritmik dönüşüm sonucuna ait grafik Şekil 4b'de gösterilmektedir. Histogramın sağa çarpık olması yağışların büyük bir kısmının düşük yağışlar etrafında kümelenildiğini, yüksek yağışların ise, düşük olduğunu göstermektedir. Ege Bölgesi'nde düşük yağışların frekansı yüksek, yüksek yağışların frekansı düşüktür.



Şekil 3. Ege Bölgesi 1976-2010 yıllık ortalama yağış değerlerinin gösterimi

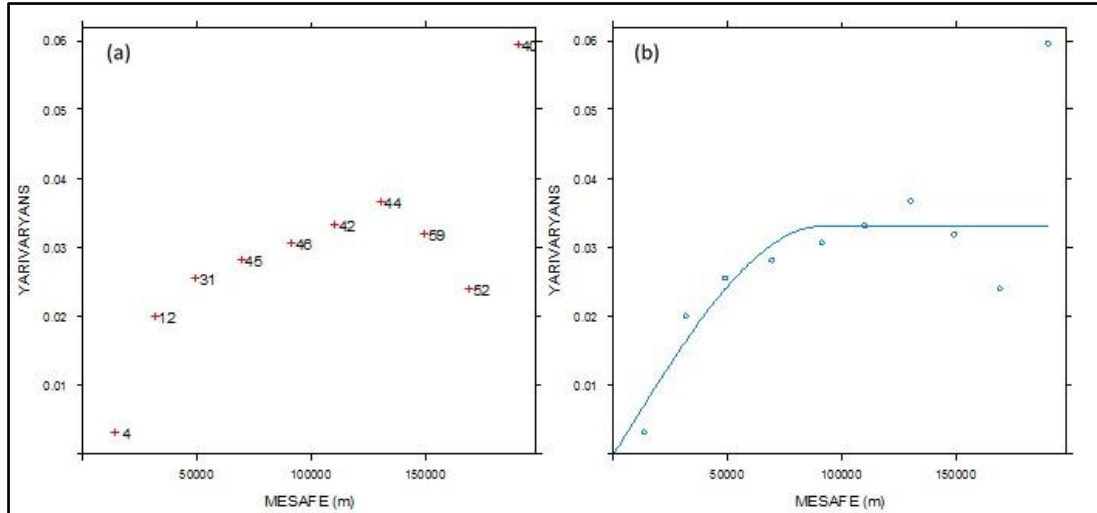
Not: 395-491 mm Düşük Yağışlı Alanlar (DYA), 492-629 mm Orta Yağışlı Alanlar (OYA), 630-790 mm Yüksek Yağışlı Alanlar (YYA), 791-1179 mm En Yüksek Yağışlı Alanlar (EYYA).



Şekil 4. Ege Bölgesi yıllık ortalama yağışın (mm) histogramı, (a) veri sağa çarpık; (b) logaritmik dönüşüm uygulandıktan sonra veri normal dağılım göstermektedir.

İstasyonlar arasındaki sınıf aralığı ve sınıf sayısı, incelenen yıllık ortalama yağış değişkenini temsil edebilecek en uygun model bulununcaya kadar değişik aralık ve sayıda işleme alınmıştır. Yıllık ortalama yağış değerlerine ait en uygun sınıf aralık ve sayısını gösteren deneysel yarıvariogram sonuçları Çizelge 2 ve Şekil 5a'de gösterilmektedir. Yıllık ortalama yağış değişkenine ait

yarıvariogram yapısı ise, “*Spherical*” tip teorik yarıvariogram modeli olarak belirlenmiştir (Şekil 5b). Teorik yarıvariograma oturan yıllık ortalama yağış değişkeninin eşik değeri 0.10, etki uzaklığı ise, 400 km olarak tespit edilmiştir (Çizelge 3). Model parametreleri belirlendikten sonra gözlemi bulunmayan yerlerin noktasal değerleri OK tahmin parametreleri ile elde edilmiştir. OK tahmin haritası ve varyans haritası Şekil 6 (a, b)'de, IDW analizi ile oluşturulan yağış tahmin haritası ise, Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 5. Ege Bölgesi yıllık ortalama yağış için (a) deneysel yarıvariogram; (b) teorik yarıvariogram

Not: Deneysel yarıvariogramda (a) yarıvariogram çiftlerinin belirlenmesinde azami diagonal mesafenin yarısı temel alınmış ve sınıf aralığı, sınıf sayısı ve yarıvariogramın hesaplandığı aralık (cut-off) mesafeleri buna göre belirlenmiştir (sınıf sayısı=10; sınıf aralığı=20 km; yarıvariogramın hesaplandığı aralık=200 km); (b) teorik yarıvariogramın elde edilmesinde “*Spherical model*”

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \begin{cases} 1.5 \frac{h}{a} - 0.5 \left(\frac{h}{a}\right)^3 & \text{eğer } h \leq a \\ C_0 + C_1 & \text{aksi halde} \end{cases} \text{ ve}$$

“Fit Method 7 (N_j/h_j^2)” kullanılmıştır.

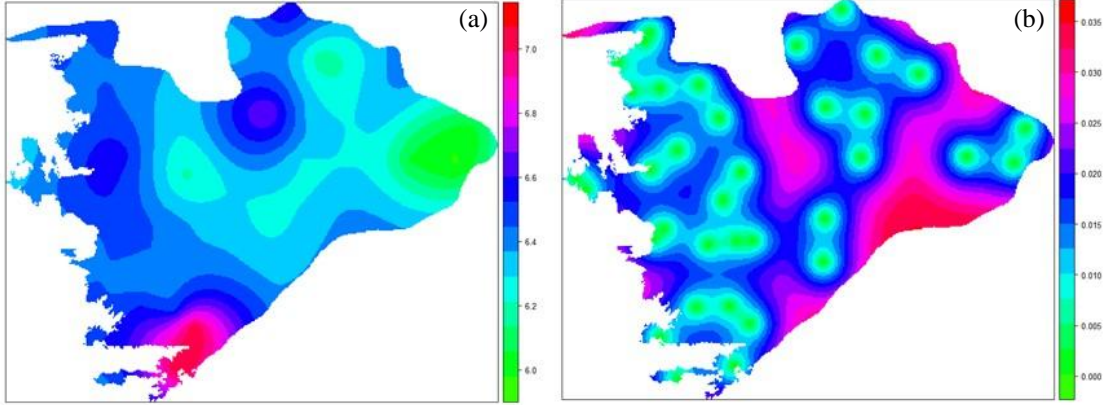
Çizelge 2. Deneysel yarıvariogramın sonuçları

	Çift sayısı	Sınıf aralık (km)	Yarıvaryans
1	4	13.4	0.00
2	12	31.7	0.02
3	31	49.2	0.03
4	45	69.3	0.03
5	46	91.4	0.03
6	42	110.3	0.03
7	44	130.5	0.04
8	59	149.9	0.03
9	52	169.5	0.02
10	40	190.8	0.06

Çizelge 3. Teorik yarıvariogram sonucu

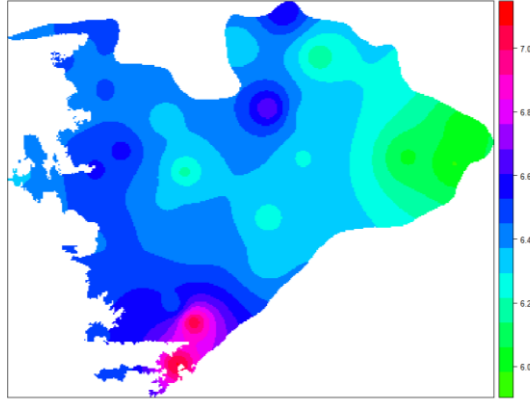
Model	Eşik değer	Etki uzaklığı (km)
Nug	0.05	0
Sph	0.10	400

Not: Nug, Nugget; Sph, Spherical modellerinin kısaltmasıdır.



Şekil 6. (a) Ege Bölgesi yıllık ortalama yağış tahmin haritası; (b) yıllık ortalama yağış tahmin haritası varyansı

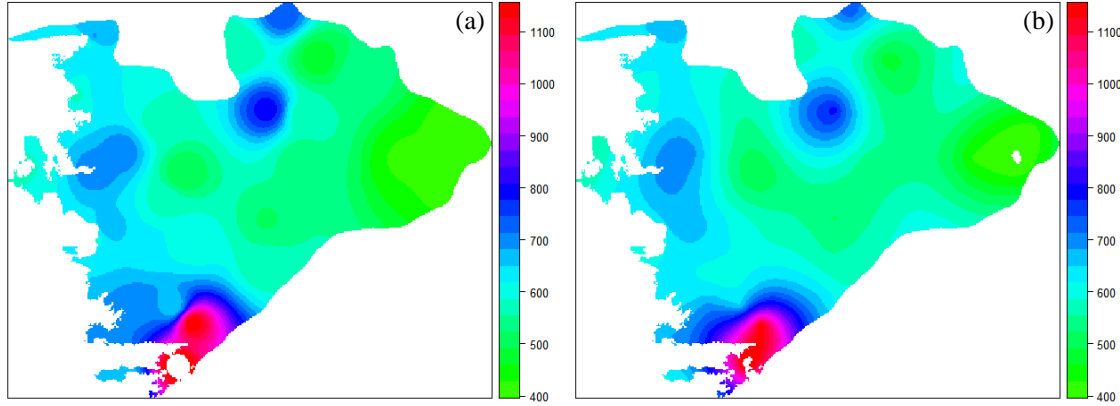
Not: Tahmin ve varyans haritaları OK yöntemiyle elde edilmiştir. Kriging tahmini, gözlemlenen yıllık ortalama yağış değerlerinin logaritmik dönüşümü gerçekleştirildikten sonra yapılmıştır.



Şekil 7. Ege Bölgesine yıllık ortalama yağış tahmin haritası

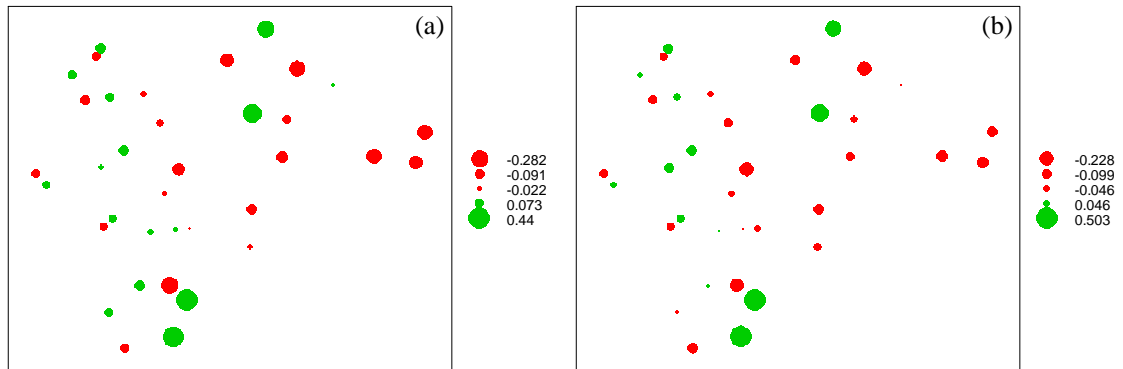
Not: Tahmin haritası IDW yöntemiyle elde edilmiştir. IDW tahmini, gözlemlenen yıllık ortalama yağış değerlerinin logaritmik dönüşümü gerçekleştirildikten sonra yapılmıştır.

Şekil 8 (a, b)' de, OK ve IDW enterpolasyon sonuçlarının logaritmik tahminden gerçek değere dönüşümü karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Hem OK, hem de IDW yağış tahmin haritasında Muğla ve Bozburun yarımadası çevresi en yağışlı alanlar olup, bu yöredeki yağış 1000 mm üzerindedir. Marmara Bölgesi sınırındaki Simav ve Domaniç Dağları'nın bulunduğu yüksek sahalar 800-1000 mm civarında yağış almaktadır. Bölgenin "Asıl Ege Bölümü" yöresinin iç kesimlerinden daha fazla yağış almaktadır. İçbatı Anadolu Bölümü'nde Emirdağ'ı ve çevresi ise, bölgenin en az yağış alan yöreleridir. OK ve IDW tahminlerindeki en büyük fark ise, OK ile çizilen haritada 500 mm den az yağış alanlar düşük yağış adaları şeklinde görülürken, IDW ile çizilen haritada bu alanlar doğu-batı uzanımlı geniş alanları oluşturmaktadır.



Şekil 8. Logaritmik değerlerin tekrar orijinal değerlerine dönüştürülmesi ile elde edilen gerçek yağış değerlerine sahip yağış dağılımı haritası, (a) OK tahmin haritası; (b) IDW tahmin haritası

OK ve IDW yöntemlerinin doğruluğunu gösteren ME, MAE, RMSE ve R^2 değerleri Çizelge 4'te verilmiştir. ME değeri, sistematik sapmanın derecesini gösterir. MAE değeri, tahminden sapmanın boyutunu ifade eder. RMSE değeri ise, uç değerleri de hesaplamaya dâhil eder. ME değeri sıfıra yakın ve RMSE değeri küçük ise, modelin daha doğru olduğu söylenir. MAE ve RMSE değerleri benzer ölçümlerdir. Ortalama RMSE değeri istatistikte hata (residual) olarak da değerlendirilir ve bu değerlerin sıfıra yakınlığı tahmin edilen değerlerin gerçeğe yakınlığını göstermektedir. Çapraz Geçerlilik grafiğinde (Şekil 9), değerlerin pozitif olması ölçülen değerlerden daha büyük değerlerin tahmin edildiğini göstermektedir. Harita incelendiğinde bölgenin güneybatısında yağışın fazla, İç Batı Anadolu'da ise az tahmin edildiği ve bu yörelerde tahminlerdeki hatanın büyüdüğü, Asıl Ege Bölümü'nde ise gerçeğe daha yakın tahminlerin yapıldığı görülmektedir. Bu durum yükseklik farklarının belirgin olduğu alanlarda tahmin edilen değerlerde hatanın büyüdüğünü, topografik belirginliğin azaldığı yörelerde ise, ölçülen değerlere yakın tahminler yapıldığını göstermektedir.



Şekil 9. Çapraz Geçerlilik (One Leave Out) yöntemiyle elde edilen hata haritaları, (a) OK için ölçüm noktalarındaki hata değerleri; (b) IDW için ölçüm noktalarındaki hata değerleri

Çizelge 4. OK ve IDW modellerinin performans karşılaştırılması

	ME	MAE	RMSE	R ²
Ordinary Kriging	-0.001	0.126	0.167	0.446
Inverse Distanse Weighted	-0.002	0.121	0.168	0.439

5. Tartışma ve Sonuç

Yağışın mekânsal dağılımı yüksek değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle doğru tahmin yapabilmek oldukça zordur. Yüksek kalitede yağış haritalarının elde edilmesi özellikle suyun birincil kaynak olduğu bölgelerde, tarım ve hidroloji yönetimi açısından çok önemlidir. Tahmin haritalarının üretilmesi, yağış istasyonu olmayan herhangi bir noktada yağış bilgisi elde edilmesini sağlar. Bu haritaların üretilmesinde mümkün olabilecek en doğru tahminlerin oluşturulması için farklı mekânsal enterpolasyon yöntemleri geliştirilmiştir. Kriging ve IDW, mekânsal değişkenliği karakterize edilmesinde ve gözlem noktaları arasındaki enterpolasyonda yaygın olarak kullanılan tekniklerden ikisidir ve bu çalışmada Ege Bölgesi'nin yıllık ortalama yağış haritasının modellenmesinde bu tekniklerden faydalanılmıştır.

IDW göreceli olarak daha basit ve kolay uygulanabilir olmasına rağmen, OK kadar doğru sonuç vermemektedir. Yağışın mekânsal desenini her iki yöntem de göstermektedir; ancak yağış ölçüm istasyonlarının homojen bir şekilde dağılmaması, özellikle dağlık alanlarda istasyon bulunmaması ve sayılarının yetersiz olması enterpolasyon sonuçlarını etkilemektedir. Bunun dışında kısa mesafede yükseklik farklılıklarındaki büyük değişkenlik de sonuçları olumsuz olarak etkilemektedir. IDW sonuçlarını etkileyen bir diğer faktör ise optimum üstel katsayının seçimidir. Birçok araştırmacı üstel katsayının değeri hakkında çalışmalar yaparak çeşitli tavsiyelerde bulunsa da bunlar birbirleriyle tartışmalıdır. Örneğin, Morisson (1971) 3 ile 7, Peucker (1980) 6 ile 9, Hodgson (1992) 4 ile 7 arasında üstel katsayı değerlerinin belirlenmesi gerektiğini bildirmişlerdir. Ancak, Declercq (1996), yumuşak geçişli yüzeyler için 4 ile 8 arasında, keskin kenarlı geçiş gösteren yüzeyler için 16 ile 24 arasında değerler kullanılması gerektiğini bildirmiştir. Bu çalışmada üstel katsayı doğrudan ilişkili bir karşılaştırma unsuru olmadığından ve OK ile karşılaştırmalarda karmaşıklığı ortadan kaldırmak için R/gstat paketinde de tavsiye edildiği şekilde standart 2 değeri tercih edilmiştir.

OK yöntemini IDW'den ayıran en önemli özellik; tahmin edilen her bir nokta veya alan için bir varyans değerinin hesaplanabilmesidir. Yöntemin diğer bir üstünlüğü, Kriging varyansı aracılığı ile tahmin hatasının büyüklüğünü değerlendirecek bir olanak sunmasıdır. Kriging enterpolasyon yöntemi genellikle normal dağılıma sahip olmayan verilerden etkilenmemesine rağmen (Hohn, 1998:235), bu çalışmada daha iyi sonuçlar elde edebilmek için veriye log dönüşümü uygulanmıştır.

IDW ve OK yöntemlerinin her ikisinde de Asıl Ege Bölümü için daha doğru tahmin sonuçlarına rastlanmaktadır. Buna karşılık yüksek dağlık alanların yaygın olduğu İç Batı Anadolu'da hata oranı artmaktadır. Yağışın yüksek olduğu Muğla ve çevresinde yağış her iki modelde de fazla tahmin edilmiştir. Yağışın düşük olduğu Afyonkarahisar ve çevresinde yağış, ölçülen değerlerden az tahmin edilmiştir. Yani karasallığın artışına bağlı olarak, düşük yağış tahmin olasılığı artmaktadır. OK yönteminde düşük yağışlı alanların parçalı olması gerçeğe daha yakındır. IDW'de bu alanlar birbiriyle ilintili geniş bir şekilde gözükmektedir. Bu dağılım üzerinde bakı ve istasyon konumunun etkili olması OK yönteminin daha doğru olduğunu göstermektedir.

Çapraz Geçerlilik için Wilmott'un (1982) önerdiği şekilde tahmin edilen veri ile gerçek veri arasındaki hatayı gösteren istatistiksel hesaplamalardan yararlanılmıştır. R² değeri ve model performansı arasındaki ilişkinin çok iyi belirlenememesi ve R²'nin büyüklüğünün tahminin doğruluyla tutarlı bir bağlantı olmaması nedeniyle çalışmada ME, MAE ve RMSE gibi diğer istatistiksel yöntemlerden de yararlanılmıştır. Gözlemlenen ve tahmin edilen değerlerin ortalama farkı RMSE ve MAE ile diğer yöntemlere göre daha iyi model performans değerlendirme sağlamaktadır (Wilmott,

1982). Bu nedenle, çalışmada R^2 ve ME'nin yanı sıra, RMSE ve MAE değerleri de hesaplanmıştır. RMSE hesaplamalarında hata üzerine çok fazla ağırlık verilirken, MAE uç değerlere daha az hassastır. Ege Bölgesi için hem OK, hem de IDW enterpolasyonlarında MAE değerleri RMSE değerlerine göre daha düşüktür (Çizelge 4). Bu da MAE'un uç değerlerden az etkilenmesiyle açıklanabilir. Enterpolasyon sonuçlarının değerlendirilmesinde kullanılan istatistiksel hesaplama araçlarının yanı sıra, Daly vd. (2002), sonuçların yorumlanması ve değerlendirilmesinin de göz ardı edilmemesi gerektiğini vurgulamaktadır. Bu nedenle yağışın mekânsal dağılımıyla ilgili bilgiye dayalı yorumlar da yapılmıştır.

Günümüzde alansal enterpolasyon modelleri hızla gelişmektedir. Modellere farklı değişkenler eklenerek daha doğru tahmin yapan karmaşık modeller geliştirilmektedir. Ege Bölgesi'nde de bu tür model uygulamalarına gereksinim vardır. Bu nedenle OK ve IDW gibi basit matematik modelleri, karmaşık mekânsal enterpolasyon modelleri ile birlikte karşılaştırılarak değerlendirilmelidir.

6. Teşekkür

Çalışmanın değerlendirilmesine büyük katkı sağlayan Doç. Dr. Necla Türkoğlu'na teşekkür ederiz.

Referanslar

- Anselin, L. (2003) "Spatial externalities, spatial multipliers, and spatial econometrics", *International Regional Science Review*, 26, 153-166.
- Apaydin, H.; Anli, A.S.; Ozturk, F. (2011) "Evaluation of topographical and geographical effects on some climate parameters in the Central Anatolia Region of Turkey", *International Journal of Climatology*, 31, 1264-1279.
- Bahadır, M. (2011) "Ege Bölgesi'nde yağışın yüzeyel dağılım modellemesi", *Turkish Studies-International Periodical for the Languages, Literature and History of Turkish or Turkic*, 6(2), 213-228.
- Bailey, T.C.; Gatrell, A.C. (1995) *Interactive Spatial Data Analysis*, Addison Wesley Longman Limited, Harlow, UK.
- Barnsley, M.J. (2007) *Environmental Modeling*, CRC Press, USA.
- Beek, E.G.; Stein, A.; Janssen, L.L.F. (1992) "Spatial variability and interpolation of daily precipitation amount", *Stochastic Hydrology and Hydraulics*, 6, 304-320.
- Bivand, R.S.; Pebesma, E.; Gómez-Rubio, V. (2008) *Applied Spatial Data Analysis with R (use R!)*, 1. Edition, Springer, London.
- Boer, E.P.J.; Beurs, K.M.; Hartkamp, A.D. (2001) "Kriging and thin plate splines for mapping climate variables", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 3(2), 146-154.
- Bostan, P.A.; Heuvelink, G.B.M.; Akyurek, S.Z. (2012) "Comparison of regression and kriging techniques for mapping the average annual precipitation of Turkey", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 19, 115-126.
- Carrera-Hernandez, J.J.; Gaskin, S.J. (2007) "Spatio temporal analysis of dairly precipitation and temperature in the Basin of Mexico", *Journal of Hydrology*, 336, 231-249.
- Caruso, C.; Quarta, F. (1998) "Interpolation methods comparison", *Computers and Mathematics with Applications*, 35(12), 109-126.
- Changnon, S.A.; Hewings, G.J.D. (2001) "Losses from weather extremes in the United States", *Natural Hazards Review*, 2, 113.
- Chun, Y.; Griffirrh, D.A. (2013) *Spatial Statistics & Geostatistics*, SAGE, London.
- Cliff, A.D.; Ord, J.K. (1973) *Spatial Autocorrelation*, Pion Ltd, London, UK.
- Cliff, A.D.; Ord, J.K. (1981) *Spatial Process: Models and Applications*, Pion Ltd, London, UK.
- Çetin, M.; Tülüçü, K. (1998) "Doğu Akdeniz Bölgesi'nde aylık yağışların yersel değişimlerinin jeostatistik yöntemle incelenmesi", *Turkish Journal of Engineering and Environmental Science*, 22, 279-288.
- Çiçek, (2001a) "Türkiye'de mevsimlere göre yağış şiddetleri ve sıklıkları", *Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi*, 8, 1-27.
- Çiçek, (2001b) "Türkiye'de günlük yağış şiddetleri ve sıklıkları", *Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi*, 8, 27-49.
- Daly, C.; Gibson, W.P.; Taylor, G.H.; Johnson, G.L.; Pasteris, P. (2002) "A knowledge-based approach to the statistical mapping of climate", *Climate Research*, 22, 99-113.
- Darkot, B.; Tuncel, M. (1988) *Ege Bölgesi Coğrafyası*, İstanbul Üniversitesi Yayınları/Coğrafya Enstitüsü Yayınları, 2.Baskı, İstanbul.
- Declercq, F.A.N. (1996) "Interpolation methods for scattered sample data: accuracy, spatial patterns, processing time" *Cartography and Geographic Information Systems*, 23, 128-144.

- Demir, İ.; Kılıç, G.; Çoşkun, M. (2008) "Türkiye'de maksimum, minimum ve ortalama hava sıcaklıkları ile yağış dizilerinde gözlenen değişiklikler ve eğilimler", *TMMOB İklim Değişimi Sempozyumu, Bildiriler Kitabı*, TMMOB adına TMMOB Meteoroloji Mühendisleri Odası, Ankara.
- Diodato, N. (2005) "The influence of topographic co-variables on the spatial variability of precipitation over small regions of complex terrain", *International Journal of Climatology*, 25(3), 351-363.
- Erbekçi, E. (2006) *Türkiye'de Yağış Olasılığının Zamansal ve Alansal Değişimleri*, Basılmamış Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Çanakkale.
- Erinç, S. (1996) *Klimatoloji ve Metodları*, Alfa Basım ve Dağıtım, İstanbul.
- Erlat, E. (1999) "El nino, la nina ve güneyli salınım", *Ege Coğrafya Dergisi*, 10, 195-217.
- Fotheringham, A.; Brunson, C.; Charlton, M. (2000) *Quantitative Geography Perspectives on Spatial Data Analysis*, SAGE, London.
- Gemmer, M.; Becker, S.; Jiang, T. (2004) "Observed monthly precipitation trends in China 1951-2002", *Theoretical and Applied Climatology*, 77, 39-45.
- Goovaerts, P. (2000) "Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall", *Journal of Hydrology*, 228, 113-129.
- Hansen, H.S. (1997) "ArcView-a powerful environment for developing spatial data analysis tools", *12th ESRI European User Conference*, 29 Eylül-1 Ekim 1997, Copenhagen, Denmark.
- Hengl, T. (2009) *A Practical Guide to Geostatistical Mapping*, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Hernandez-Stefanoni, J.L.; Ponce-Hernandez, R. (2006) "Mapping the spatial variability of plant diversity in a tropical forest: comparison of spatial interpolation methods", *Environmental Monitoring and Assessment*, 117, 307-334.
- Hession, S.L.; Moore, N. (2011) "A spatial regression analysis of the influence of topography on monthly rainfall in East Africa", *International Journal of Climatology*, 31, 1440-1456.
- Hodgson, M.E. (1992) "Sensitivity of spatial interpolation models to parameter variation: ACSM Technical Papers", *American Congress on surveying and mapping*, Bethesda, MD.
- Hofierka, J.; Parajka, J.; Mitasova, H.; Mitas L. (2002) "Multivariate interpolation of precipitation using regularized spline with tension", *Transactions in GIS*, 6(2), 135-150.
- Hohn, M.E. (1998) *Geostatistics and Petroleum Geology*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Hutchinson, M.F. (1998) "Interpolation of rainfall data with thin plate smoothing splines-part II: analysis of topographic dependence", *Journal of Geographic Information and Decision Analysis*, 2(2), 152-167.
- Isaaks, E.; Srivastava, R. (1989) *An Introduction to Applied Geostatistics*, Oxford University Press, New York.
- Iyigun, C.; Türkeş, M.; Batmaz, İ.; Yozgatligil, C.; Purutçuoğlu, V.; Kartal Koç, E.; Öztürk, M.Z. (2013) "Clustering current climate regions of Turkey by using a multivariate statistical method", *Theoretical and Applied Climatology*, 114, 95-106.
- İrdem, C. (2005) *Türkiye'de Yağışların Şiddet Bakımından Alansal ve Zamansal Değişkenliği*, Basılmamış Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Çanakkale.
- Jagannathan, P.; Arlery, R.; Ten, K.H.; Zavarina, M. (1967) "A note on climatological normals", *World Meteorological Organization, Technical Note 84*, WMO, Geneva.
- Kadioğlu, M. (1997) "Şehirleşmenin Marmara Bölgesi'ndeki yağışlara etkisi", *TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Su ve Çevre Sempozyumu*, 2-5 Haziran 1997, İstanbul.
- Kadioğlu, M. (2001) *Bildiğimiz Havaaların Sonu*, Güncel Yayıncılık, İstanbul.
- Kalkhan, M.A. (2011) *Spatial Statistics Geospatial Information Modelling and Thematic Mapping*, CRC Press, USA.
- Kieffer Weisse, A.; Bois, P.H. (2002) "A comparison of methods for mapping statistical characteristics of heavy rainfall in the French Alps: the use of daily information", *Hydrological Sciences*, 47(5), 739-752.
- Koç, T. (2001) *Kuzeybatı Anadolu'da İklim ve Ortam: Sinoptik, İstatistik ve Uygulama Boyutlarıyla*, Çantay Kitabevi, İstanbul.
- Koç, T.; İrdem, C. (2007) "Türkiye'de yağışların şiddet bakımından zamansal ve alansal değişkenliği", *Türk Coğrafya Dergisi*, 49, 1-42.
- Koçman, A. (1993) *Türkiye İklimi*, Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü, İzmir.
- Koçman, A.; Işık, S.; Mutluer, M. (1996) "Ege Ova'larında yağış değişkenliği ve kuraklık sorunu", *Ege Coğrafya Dergisi*, 8:25-36.
- Kravchenko, A.N.; Boast, C.W.; Bullock, D.G. (1999) "Multifractal analysis of soil spatial variability", *Agronomy Journal*, 91, 1033-1041.
- Krivoruchko, K.; Gotway, C.; Zhigimont, A. (2003) "Statistical tools for regional data analysis using GIS", *GIS'03 Proceedings of the 11th Association for Computing Machinery (ACM) International Symposium on Advances in Geographic Information Systems*, 7 Kasım 2003, USA.
- Kutiel, H.; Türkeş, M. (2005) "New evidence about the role of the North Sea-Caspian Pattern (NCP) on the temperature and precipitation regimes in Continental Central Turkey", *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 87, 501-513.

- Kyriakidis, P.C.; Kim, J.; Miller, N.L. (2001) "Geostatistical mapping of precipitation from rain gauge data using atmospheric and terrain characteristics", *Journal of Applied Meteorology*, 40, 855-1877.
- Lloyd, C.D. (2005) "Assessing the effect of integrating elevation data into the estimation of monthly precipitation in Great Britain", *Journal of Hydrology*, 308, 128-150.
- Lloyd, C.D. (2010) "Nonstationary models for exploring and mapping monthly precipitation in the United Kingdom", *International Journal of Climatology*, 30, 390-405.
- Martínez-Cob, A. (1996) "Multivariate geostatistical analysis of evapotranspiration and precipitation in mountainous terrain", *Journal of Hydrology*, 174, 9-35.
- Marquínez, J.; Lastra, J.; García, P. (2003) "Estimation models for precipitation in mountainous regions: the use of GIS and multivariate analysis", *Journal of Hydrology*, 270 (1-2), 1-11.
- Morrison, J.L. (1971) "Method-produced error in isarithmic mapping", *American Congress on Surveying and Mapping*, Washington, DC.
- Olea, R.A. (1982) "Optimization of the high plains aquifer observation network, Kansas", *Kansas Geological Survey, Groundwater Series*, 7.
- Orman ve Su İşleri Bakanlığı, (2013) *2012 Yılı Yağış Değerlendirmesi*, Ankara.
- Öztürk, D.; Batuk, F. (2010) "Meteorolojik verilerin CBS ve çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemleriyle konumsal enterpolasyonu", *DMI, I. Meteoroloji Sempozyumu*, 27-28 Mayıs 2010, Ankara.
- Pebesma, E.J.; Wesseling, C.G. (1998) "Gstat, a program for geostatistical modelling, prediction and simulation", *Computers & Geosciences*, 24(1), 17-31.
- Pebesma, E.J. (2004) "Multivariable geostatistics in S: the gstat package", *Computer & Geosciences*, 30, 683-691.
- Peucker, T.K. (1980) "The impact of different mathematical approaches to contouring", *Cartographica*, 17, 73-95.
- Phillips, D.L.; Dolph, J.; Marks, D. (1992) "A comparison of geostatistical procedures for spatial analysis of precipitation in mountainous terrain", *Agricultural and Forest Meteorology*, 58(1-2), 119-141.
- Pielke Jr, R.A.; Downton, M.W. (2000) "Precipitation and damaging floods: trends in the United States, 1932-97", *Journal of Climate*, 13(20), 3625-3637.
- Sarış, F. (2006) *Türkiye'de Yağış Yoğunluğunun Alansal ve Zamansal Değişkenliği*, Basılmamış Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Çanakkale.
- Sarış, F.; Hannah, D.M.; Eastwood, W.J. (2010) "Spatial variability of precipitation regimes over Turkey", *Hydrological Sciences Journal*, 55(2), 234-249.
- Sharples, J.; Hutchinson, M.F.; Jellett, D.R. (2005) "On the horizontal scale of elevation dependence of Australian monthly precipitation", *Journal of Applied Meteorology*, 44 (12), 1850-1865.
- Symeonakis, E.; Bonifacio, R.; Drake, N. (2009) "A comparison of rainfall estimation techniques for sub-Saharan Africa", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 11, 15-26.
- Tatlı, H.; Dalfes, N.; Menteş, S. (2004) "A statistical downscaling method for monthly total precipitation over Turkey", *International Journal of Climatology*, 54, 161-188.
- Tobin, C.; Nicotina, L.; Parlange, M.B.; Berne, A.; Rinaldo, A. (2011) "Improved interpolation of meteorological forcings for hydrologic applications in a Swiss Alpine region", *Journal of Hydrology*, 401, 77-89.
- Tobler, W.R. (1970) "Computer movie simulating urban growth in the Detroit region", *Economic Geography*, 46, 234-240.
- Türkeş, M. (1995) "Türkiye'de yıllık ve mevsimlik yağış verilerindeki eğilimler ve dalgalanmalar", *Türkiye Ulusal Jeodezi-Jeofizik Birliği (TUJJB) ve Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği Kongreleri Bildiri Kitabı*, Harita Genel Komutanlığı, Ankara.
- Türkeş, M. (1996) "Spatial and temporal patterns analyses of rainfall variations in Turkey", *International Journal of Climatology*, 16, 1057-1076.
- Türkeş, M., (1998a) "İklimsel değişebilirlik açısından Türkiye'de çölleşmeye eğilimli alanlar", *DMI/ITÜ II. Hidrometeoroloji Sempozyumu Bildiri Kitabı, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü*, Ankara.
- Türkeş, M. (1998b) "Influence of geopotential heights, cyclone frequency and southern oscillation on rainfall variations of Turkey", *International Journal of Climatology*, 18, 649-680.
- Türkeş, M. (1999) "Vulnerability of Turkey to desertification with respect to precipitation and aridity conditions", *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 23, 363-380.
- Türkeş, M. (2000) "El nino-güneyli salınım ekstremeleri ve Türkiye'deki yağış anomalileri ile ilişkileri", *TMMOB Çevre Bilim ve Teknoloji*, 1, 1-13.
- Türkeş, M.; Sümer, U.M.; Kılıç, G. (2002) "Persistence and Periodicity in the precipitation series of Turkey and associations with 500hPa geopotential heights", *Climate Research*, 21, 59-81.
- 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.
- Türkeş, M.; Erlat, E. (2005) "Climatological responses of winter precipitation in Turkey to variability of the North Atlantic Oscillation during the period 1930-2001", *Theoretical and Applied Climatology*, 81, 45-69.
- Türkeş, M.; Erlat, E. (2006) "Influences of the North Atlantic Oscillation on precipitation variability and changes in Turkey", *Nuovo Cimento Della Società Italiana Di Fisica C-Geophysics and Space Physics*, 29, 117-135.

- Türkeş, M.; Koç, T.; Sarıış, F. (2007) "Türkiye'nin yağış toplamı ve yoğunluğu dizilerindeki değişikliklerin ve eğilimlerin zamansal ve alansal çözümlemesi", *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 5(1), 57-73.
- Webster, R. (1985) "Quantitative spatial analysis of soil in the field", *Advances in Soil Science*, 3, 1-70.
- Wilmott, C.J. (1982) "Some comments on the evaluation of model performance", *Bulletion of the American Meteorological Society*, 63, 1309-1313.
- Wong, A.D.; Lee, J. (2005) *Statistical Analysis of Geographic Information with ArcView and ArcGIS*, John Wiley&Sons, Inc Hoboken, NJ.
- Wotling, G.; Bouvier, Ch.; Danloux, J.; Fritsch, M.J. (2000) "Regionalization of extreme precipitation distribution using the principal components of the topographical environment", *Journal of Hydrology*, 233(1-4), 86-101.
- Vicente-Serrano, S.M.; Saz-Sánchez, M.A.; Cuadrat, J.M. (2003) "Comparative analysis of interpolation methods, in the middle Ebro Valley (Spain): application to annual precipitation and temperature", *Climate Research*, 24, 161-180.
- Yin, Z.Y.; Zhang, X.; Liu, X.; Colella, M.; Chen, X. (2008) "An assessment of the biases of satellite rainfall estimates over the Tibetan plateau and correction methods based on topographic analysis", *Journal of Hydrometeorology*, 9, 301-417.
- Yozgatligil, C.; Aslan, S.; Iyigun, C.; Batmaz, İ. (2013) "Comparison of missing value imputation methods in time series: the case of Turkish meteorological data", *Theoretical and Applied Climatology*, 112, 143-167.