

Yeni istatistiksel ölçek küçültme yöntemleri ve Türkiye için uygulamalar

Hasan TATLI*, H. Nüzhet DALFES, Ş. Sibel MENTEŞ

İTÜ Uçak Ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Hava ve iklim süreçlerinin yeryüzündeki yaşam üzerinde hayati etkileri vardır. İklim değişkenliği ve değişiminin anlaşılabilmesi, bölgesel ve yerel iklim tanılarının geliştirilmesi, iklim çalışmalarının temel konularından biridir. İklim etkilerini araştıranlar genelde iklim değişiminin ve değişkenliğinin geçmişi, bugünü ve geleceği hakkında detaylı ve doğru bilgilere gereksinim duyarlar. İklim değişimi ve değişkenliği konusunda önemli ve temel araçlar genel dolaşım modelleridir (GDM). Ne yazık ki kaba sayısal çözünürlük üzerinde çalıştırılan GDM'ler yerel iklim değişimi ve değişkenliği hakkında doğru bilgi veremezler. Bu bağlamda, GDM'lerin kısıtlarından dolayı "ölçek küçültme" stratejilerinin geliştirilmesine gerek vardır. İklim araştırma ve etkilerinin arasındaki farklı ölçekler; "ölçek küçültme" ve "ölçek büyültme" yaklaşımları ile birbirine bağlanabilir. Bu çalışma, yeni ölçek küçültme yöntemlerini geliştirme ve Türkiye üzerine uygulanması konusunda ilk ve tek araştırmadır.

Anahtar Kelimeler: Bölgesel, genel dolaşım modeli, iklim etki, ölçek küçültme, Türkiye, yinelemeli yapay sinir ağları.

New Statistical downscaling methods and applications for Turkey

Abstract

Weather and climate have a profound influence on life on earth. Understanding climate variability and climate change reveals the increasing need for improving regional and local-scale climate diagnosis which is one of the main goals of climate research. The climate impact researches usually require accurate and detailed climate information on yesterday, present, and tomorrow with high resolution space scale. The main and important tools of studying climate are general circulation models (GCMs). Unfortunately, GCMs running on coarse resolution may not be able to detect the local scale climate variability. The spatial-scale mismatch between climate research and climate impact studies has to be bridged by "downscaling" on the side of the climate research and "upscaling" on the side of the climate impact research. This study is the first research of developing downscaling strategies over Turkey. Two new downscaling strategies for climate diagnosis are developed in this study. The proposed methods are based on artificial recurrent neural networks (RNN) and multivariate statistical techniques that derive transfer functions from the large-scale free troposphere variables of which are assumed to govern the local climate over Turkey. This study presents two new approaches for downscaling monthly near-surface air temperature and total precipitation for Turkey stations by surface large-scale pressure systems and upper air circulations derived from National Centers for Environmental Prediction- National Center of Atmospheric Research (NCEP-NCAR) Reanalysis data sets.

Keywords: Regional, general circulation model, climate impact, downscaling, Turkey, artificial recurrent neural networks.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Hasan TATLI. tatli@itu.edu.tr; Tel: (212) 285 31 84.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi'nde tamamlanmış olan "New statistical downscaling methods and applications for Turkey" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 20.12.2004 tarihinde dergiye ulaşmış, 28.01.2005 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.07.2006 tarihine kadar dergiye gönderilmektedir.

Giriş

İklim etkilerini araştıranlar, genelde iklim değişimi ve değişkenliğinin geçmişi, bugünü ve geleceği hakkında doğru ve detaylı bilgilere gereksinim duyarlar. İklim değişimi ve değişkenliği konusunda önemli ve temel araçlar genel dolaşım modelleridir (GDM). Ne yazık ki kaba sayısal çözünürlük üzerinde çalıştırılan GDM'ler yerel iklim değişimi ve değişkenliği hakkında detaylı ve doğru bilgi veremezler. Bu bağlamda, GDM'lerin uzaysal çözünürlükte ve benzeşim verilerinin doğruluğundaki kısıtlardan dolayı "uzaysal ölçek küçültme (downscaling)" stratejilerinin geliştirilmesine ihtiyaç duyulur. Örneğin, hidrologisiler ele aldıkları havza ölçeğine bağlı, günlük toplam yağışların verisine gereksinim duyarlar. Kıyı mühendisleri deniz seviye-yüksekliği ve fırtınaların şiddeti ile frekansları hakkında doğru bilgilere ihtiyaç duyarlar. Diğer taraftan, ekolojistler, dağlık bölgelerdeki ormanların dinamiği ve yanıtları konusunda aylık toplam yağış ve sıcaklıklarının birkaç km ölçekli verisine gereksinim duyarlar (Gyalistras vd., 1994; von Storch vd., 1993; von Storch, 1995). Genel anlamda, iklim çalışmalarının büyük bir kısmında, özellikle yüzey değişkenlerin 50-100 km veya daha küçük ölçekteki doğru ve anlaşılır bilgisine gereksinim duyulur. Ancak GDM'ler yere-yakın süreçlerin iklimsel özelliklerini doğrulukla benzeşimlerini veremedikleri gibi bu model çıktıları, çalışma ortamını sürekli varsayarlar. Böylece, sayısal ağın varlığı, sadece ekonomik anlamda verilerin depolanması anlamına gelir ki alt-grid ölçek bilgisi, sadece yakınındaki gride bağımlı olur ve sıradan uzaysal iç-değer bulma (interpolasyon) işlemi olarak görülebilir.

Örneğin, iklimsel özellikleri birbirinden oldukça farklı olan İstanbul ve Bolu gibi iki bölgenin iklimsel özellikleri, GDM'lerin, tipik olarak seçilen $400 \times 400 \text{ km}^2$ grid sayısal ölçeğinde, incelenmesi; bizi bu iki bölge ikliminin benzer olduğu yanlış sonucuna götürebilir. İklim araştırma ve iklim etkilerinin arasındaki uzaysal ölçek farkı, "uzaysal ölçek küçültme (downscaling)" ve "uzaysal ölçek büyültme (upscaling)" yaklaşımları ile hem iklim araştırmaları açısından hem de iklim etki araştırmaları açısından kapatılabilir. Bu çalışma Türkiye üzerinde uzaysal öl-

çek küçültme stratejilerinin geliştirilmesi konusunda yapılan ilk ve araştırmadır. Bu çalışmada, iklim tanısı için iki yeni model geliştirilmiştir. Geliştirilen modellerin dönüşüm fonksiyonları, yerel iklimi idare ettiği düşünülen, büyük ölçekli serbest troposfer değişkenleri ile yerel ölçek değişkenleri arasındaki istatistiksel bağıntıların incelemesinden elde edilmiştir. Kullanılan yöntemler; Yapay Yinelemeli Sinir Ağları (YYSA) ve çok değişkenli istatistiksel yöntemler; asal bileşen (principal component), bağımsız bileşen (independent component), kümelerarası ilişki (canonical correlation) ve gereksizlik (redundancy) analizlerine dayanmaktadır.

Biraz önce verilen giriş bölümünden sonra ikinci kısımda, çalışmada kullanılan ve geliştirilen uzaysal ölçek küçültme stratejileri tanıtılmıştır. Üçüncü bölüm ise Türkiye yağışları ve sıcaklıklarının önerilen yaklaşımlar ile uzaysal ölçek küçültmesinin uygulamalarını kapsamaktadır. Dördüncü bölüm ise çalışmanın sonuç ve tartışmalarından oluşmaktadır.

Geliştirilen istatistiksel ölçek küçültme stratejileri

Herhangi bir ölçek küçültme modeli büyük ölçekli değişkenler ile küçük ölçekli değişkenler arasındaki asimetric (bakışık olmayan) ilişkilere duyarlıdır, dolayısıyla model kurulmadan önce, büyük ölçekli ve küçük ölçekli değişkenler arasındaki bağıntılar Sampson ilişki oranı (Sampson, 1984) ile incelemeye tabi tutulmuştur. Bu bağlamda, büyük ölçekli fiziksel süreçlerin etkilerinin yorumlanması Sampson ilişki oranı ile çok daha basite indirgenebilmektedir (Tatlı vd., 2004). Diğer taraftan, genelde iklim çalışmalarında yaygın olarak kullanılan, kümeler arası ilişki desenlerinin (canonical correlation patterns) yorumlanması (Glahn, 1968; Nicholls, 1987; Chen vd., 1994a,b; Tatlı vd., 2004 ve Tatlı vd. 2005) Sampson ilişki oranı desenleri ile incelenmesinden çok daha karmaşık olduğu gözlenmiştir. Sampson ilişki oranı:

$$R_s = \sqrt{\frac{\text{Tr}(\mathbf{C}_{YX}\mathbf{C}_{XX}^{-1}\mathbf{C}_{XY})}{\text{Tr}(\mathbf{C}_{YY})}} \quad (1)$$

şeklinde tanımlıdır. Bu ifadede, \mathbf{X} büyük ölçekli iklim değişkenlerini ve \mathbf{Y} ise küçük-ölçek yerel iklim değişkenlerini temsil etmek üzere, $\mathbf{C}_{\mathbf{YX}}$ ve $\mathbf{C}_{\mathbf{XX}}$ sırasıyla çapraz özvaryans ve varyans-özvaryans matrisleridir.

Birinci uygulanan yapay yinilemeli sinir ağları temelli ölçek küçültme modelinde; büyük ölçekli deniz seviyesi basınçlarının (DSB), 500 hPa jeopotansiyel yüksekliklerinin, 700 hPa jeopotansiyel yüksekliklerinin, 500-1000 hPa kalınlıkların ve 500 hPa düşey basınç hızlarının anlamlı asal bileşenleri (Diaz ve Fullbright, 1981; Preisendorfer, 1988; Jöreskog ve Sörbom, 1989) üzerinden elde edilen kümeler arası ilişki değişkenleri, Türkiye'nin aylık toplam yağışlarının tahmin edicileri olarak ele alınmıştır. Önerilen Jordan türü (Jordan, 1986) YYS modelini sadece büyük ölçekli çevrimlerin etkisini yansıtmakla kalmayıp yerel ölçekli iklim özelliklerini de yansıtmakta olduğu görülmüştür (detaylı bilgi için bkz. Tatlı vd., 2004).

Türkiye yağışlarının istatistiksel uzaysal ölçek küçültmesinde geliştirilen modelin tanıtılması amacıyla; farz edelim ki \mathbf{X} değişkenleri büyük ölçekli serbest atmosferin değişkenleri ve GDM'lerinin doğrulukla tahmin edebildikleri değişkenler olsunlar. Diğer taraftan \mathbf{Y} ilgili yerel bölgenin değişkenlerini temsil ediyor olsunlar. Bu durumda uzaysal ölçek küçültme,

$$\mathbf{Y} = F(\mathbf{X}) + \mathbf{e} \quad (2)$$

şeklinde yazılabilir. Bu ifadede \mathbf{e} çok değişkenli hata terimlerini temsil etmekte ve F ise \mathbf{X} ile \mathbf{Y} değişkenleri arasındaki bağıntıdan bulunacak bir işleçtir (operatör). Eğer F operatörü doğrusal yapılı ise bu durumda (2)-denklemini çok değişkenli regresyon (bağıntı) denklemine dönüştür. Diğer taraftan, yerel dinamikler açısından konu irdelenecek olunursa, yani büyük ölçekli iklim değişkenlerinin olmadığı varsayıldığı durumda,

$$\mathbf{Y}(t + \Delta t) = G\left[\sum \mathbf{Y}(t - k\Delta t)\right] + \mathbf{e}(t); k = 0, 1 \dots n \quad (3)$$

yerel değişkenlerin, kendilerinin bir önceki durumlarından (states) tahmin edilebileceğini gös-

terir. Böylece uzaysal ölçek küçültme, aslında, 'saf (naive)' ve 'nedensel (causal)' olmak üzere aşağıdaki şekilde iki farklı bileşene ayrılmıştır (Tatlı vd., 2004).

$$\mathbf{Y}_1(t + \Delta t) = \mathbf{A}[\mathbf{X}(t + \Delta t)] \quad (\text{nedensel}) \quad (4)$$

$$\mathbf{Y}_2(t + \Delta t) = \mathbf{B}[\mathbf{Y}(t)] \quad (\text{saf}) \quad (5)$$

Bu ifadelerdeki \mathbf{A} ve \mathbf{B} dönüşüm matrislerini ve $\mathbf{X}(t)$ nedensel değişkenleri temsil etmekte, ayrıca gösterim kolaylığı açısından hata terimleri ihmal edilmiştir. Ancak son durumda, önemli bir problem ortaya çıkmaktadır. Çünkü hangi modelin üstün olduğu veya yerel değişken açısından hangi modelin önemli olduğu konusu açık değildir. Dolayısıyla, Bras ve Rodriguez-Iturbe (1993) tarafından önerilen ve hidrolojik süreçlerin modellenmesinde uygulanan fark-denklemleri şeklinde bir model elde edilebilir. Şöyle ki:

$$\mathbf{Y}(t) = \mathbf{M}_1[\mathbf{Y}(t - \Delta t)] + \mathbf{M}_2[\mathbf{X}(t)] + \mathbf{M}_3[\mathbf{e}(t)] \quad (6)$$

Burada \mathbf{M}_1 , \mathbf{M}_2 ve \mathbf{M}_3 sırasıyla doğrusal işleçlerdir. Ayrıca $\mathbf{e}(t)$ vektörü ilişkisiz hata terimlerini içermekte ve vektörün özvaryansı (covariance) bir köşegen matrisidir:

$$\mathbf{D}_e = E(\mathbf{e}(t)^T \mathbf{e}(t)) \quad (7)$$

E beklenen değeri temsil etmektedir, ancak pratikte, genelde örnek ortalama olarak değerlendirilir. Ancak (6)-denklemini iki farklı bileşenin birleştirilmesinde önerilebilecek bir yaklaşım olmasına karşın; keza biri doğrusal dinamik ve diğeri doğrusal statik olmak üzere iki bileşenden oluştuğundan, sonuçta probleme doğrusal yaklaşıklık anlamında bir çözüm önermektedir. Oysa iklimsel ve meteorolojik olaylar doğası gereği yüksek dereceden doğrusal-olmayan (nonlinear) davranışlıdır. Dolayısıyla, (6)-denklemini doğrusal-olmayan kısıtları sağlamadığından, bu problemi aşmak için çok daha gelişmiş bir yöntem önerilmiştir Tatlı vd. (2004)'e bağlı olarak, eğer (4) ve (5) denklemleri $\mathbf{Z}(t) = [\mathbf{Y}_1(t), \mathbf{Y}_2(t)]$ şeklinde bir vektörle kısaltılırsa, önerilen model:

$$\mathbf{Y}(t) = \mathbf{M}[H[\mathbf{Z}(t)]] + \mathbf{e}(t) \quad (8)$$

şeklinde yazılabilir. Son ifadedeki $e(t)$ çok değişkenli hata terimini ve \mathbf{M} ise $H[\mathbf{Z}(t)]$ baz fonksiyonlarının, tahmin edici işleçisidir. Ayrıca H doğrusal-olmayan ve (9)-denkleminde verilen ve yapay sinir ağlarında sıkça kullanılan (örn. Connor vd., 1994; Haykin, 1999; Haykin; 2001) türevlenebilir ve sürekli bir fonksiyondur.

$$\left. \begin{aligned} H_1(y) &= \tanh(\alpha y) \\ H_2(y) &= \frac{1}{1 + \exp(-\alpha y)} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Böylece önerilen model hem yerel dinamiği hem de doğrusal-olmayan statik bağıntıyı sağladığından, sonuçta, doğrusal-olmayan bir dönüşüm özelliğindedir. Ancak (4)-denkleminin geçerli olabilmesi, ancak, bağımlılıkta-tek-türlülüğü (homogeneity dependence) gerektirir. Bu problemi aşmak için, önce veriler Kümeler Arası İlişki Analizi (KİA) yaklaşımı ile anlamlı Kümeler Arası İlişki Değişkenlerine (KİD) dönüştürülür, daha sonra nedensel model çalıştırılır. Bu çalışmada KİA verileri Bağımsız Bileşenler Analizi (BBA) (independent component analysis) takiben uygulanmıştır (Comon, 1994; Everson ve Roberts, 1999; Hyvarinen ve Oja, 1997; Hyvarinen vd., 2001). Bu çalışmada BBA detayları verilmemiştir; ancak, asal bileşenler analizi (ABA) üzerinden hareket edilerek BBA tanıtılabilir. Çok değişkenli veri serileri \mathbf{X} matrisinin sütunlarında gösterildiğinde, her bir değişkenin ortalaması sıfırlanarak, verinin özvaryansı:

$$\mathbf{S}_{\mathbf{XX}} = E(\mathbf{X}^T \mathbf{X}) \quad (10)$$

şeklinde yazılabilir. $\mathbf{S}_{\mathbf{XX}}$ matrisinin dikleştirerek ayrıştırması (orthogonal decomposition) işlemi:

$$\mathbf{S}_{\mathbf{XX}} = \mathbf{E}_X \mathbf{D}_X \mathbf{E}_X^T \quad (11)$$

şeklinde verilebilir. Burada \mathbf{E}_X matrisi $\mathbf{S}_{\mathbf{XX}}$ matrisinin ortonormal özvektörlerini içermekte ve $\mathbf{D}_X = \text{diag}(\lambda_1, \dots, \lambda_k)$ köşen matrisi $\mathbf{S}_{\mathbf{XX}}$ matrisinin büyükten küçüğe doğru sıralanmış özdeğerlerini temsil etmektedir. Asal bileşenler ise bu durumda:

$$\mathbf{V}_X = \mathbf{X} \mathbf{E}_X \quad (12)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Burada \mathbf{V}_X asal bileşenleri temsil etmektedir. Asal bileşenler her biri kendi aralarında ilişkisizdir, ancak bağımsız olmayabilirler. Eğer değişkenlerin tümü normal (Gaussian) dağılımlı ise ilişkisizlik aynı zamanda bağımsızlık anlamına da gelir. Diğer taraftan, değişkenler bağımsız iseler aynı zamanda ilişkisiz olduklarını, tersinin ise geçerli olmadığıdır (Hyvarinen vd., 2001). BBA ise yüksek dereceden istatistik üzerinden değişkenlere dönüşüm uygulanarak, bağımsız bileşenlerin bulunma işlemidir. BBA yaklaşımı daha çok sayısal işaretlerin işlenmesi ve kör-kaynak (blind source) ayrıştırma çalışmalarında, son yıllarda, sıkça kullanılan etkili bir yöntemdir. Oysa ABA birinci ve ikinci dereceden istatistiğe dayanır, çünkü normal dağılımlı değişkenlerin yüksek dereceden istatistikleri sıfırdır. BBA modeli, değişkenlerin bilinmeyen bağımsız bileşenlerin karışımından oluştuğunu ve dağılımlarının bilinmesine gerek duyulmaksızın, tersten, bağımsız bileşenlerin bulunma işlemi olarak da görülebilir. Yani \mathbf{S} bağımsız bileşenleri temsil ettiğinde ve \mathbf{X} gözlem değişkenleri olmak üzere

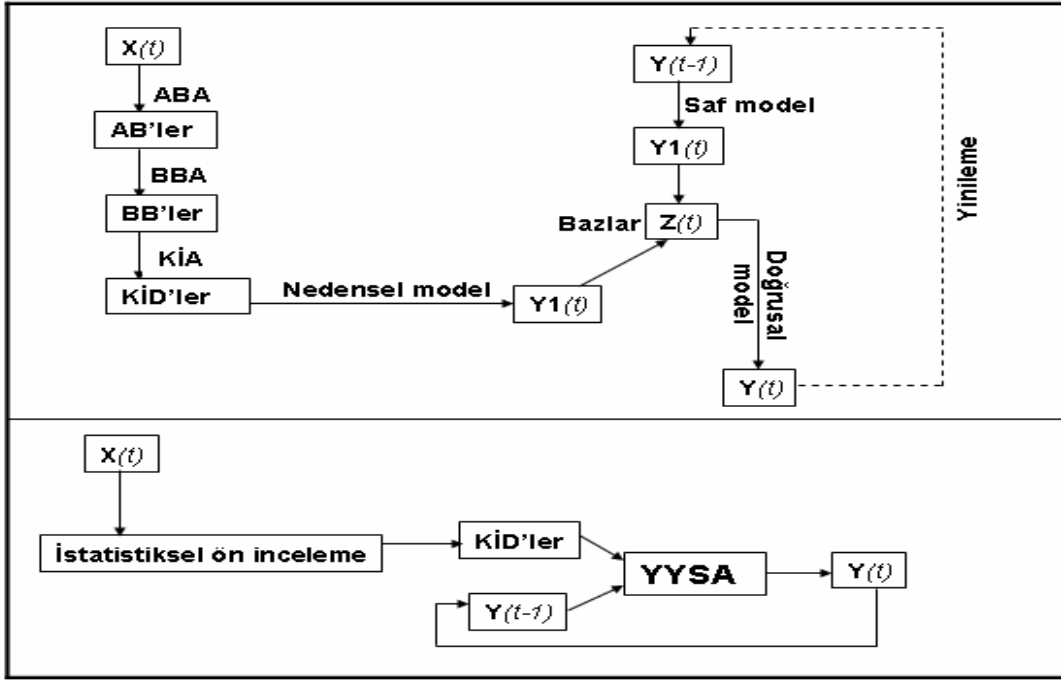
$$\mathbf{X} = \mathbf{S} \mathbf{A} \quad (13)$$

şeklinde olduğu varsayılır. Benzerlik açısından, BBA'yı ABA'nin terimleri ile yazmak istersek

$$\mathbf{S} = \mathbf{X} \mathbf{W} = \mathbf{V}_X \mathbf{E}_X^T \mathbf{W} \quad (14)$$

şeklinde gösterilebilir. Son ifadede \mathbf{A} karışma matrisini ve $\mathbf{W} = \mathbf{A}^{-1}$ ise ayrıştırma matrisini temsil etmektedir. Bu çalışmada bağımsız bileşenler FASTICA olarak adlandırılan, Hyvarinen ve Oja (1997) tarafından geliştirilen, çok değişkenli ve yüksek dereceden istatistik bilgisine dayalı bir yöntemin, Matlab altında çalışan FASTICA isimli yazılım paket (toolbox) ile hesaplanmıştır. FASTICA yöntemi bilgi teoriye (information theory) dayanan bir yaklaşımdır. Yüksek dereceden istatistiklerden olan değişkenlerin, sivrilik katsayısının mutlak değerini, en büyüklenmesinin 'bilgi ölçüsü (information measure or negentropy)' üzerinden hareketle geliştirilmiş bir yöntemdir.

$$J(y) = \frac{1}{12} E\{y^3\}^2 + \frac{1}{48} kurt(y)^2 \quad (15)$$



Şekil 1. Önerilen modelin akış şeması (Tatlı vd., 2004)

bilgi ölçüsünü göstermekte, ayrıca, $kurt(y)$ ise değişkenin sivrilik katsayısını göstermekte ve

$$kurt(y) = E\{y^4\} - 3(E\{y^2\})^2 \quad (16)$$

şeklinde tanımlıdır. Tekrar (8)-denklemine dönecek olursak, bu denklemin Jordan (1986) türü yapay yenilemeli sinir ağlarına topolojik olarak denk olduğu görülebilir. Ancak gizli tabakadaki sinir hücrelerinin sayısı nedensel değişkenlerinin sayısı ile sınırlandırılmıştır. Önerilen uzaysal ölçek küçültme yönteminin algoritma akış şeması Şekil 1'de verilmiştir (detaylı bilgi için bkz. Tatlı vd., 2004).

İkinci önerilen uzaysal ölçek küçültme yöntemi ise çok değişkenli istatistik yöntemlerinden olan Gereksizlik Analizi (GA) (Redundancy Analysis) dayanmaktadır (Tyler, 1982). X ve Y sırasıyla büyük ölçekli ve küçük ölçekli iklim değişkenlerini temsil etmesi durumunda; çok değişkenli doğrusal tahmin modelini oluşturmadan önce GA'nın ağırlık katsayıları aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\left. \begin{aligned} C_{XX}^{-1/2} C_{XY} &= HEV^T \\ W &= C_{XX}^{-1/2} H \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

Bu ifadeye W büyük ölçekli değişkenlerin ağırlıkları ve V ise küçük ölçekli değişkenlerin ağırlıkları ve E köşegen matrisindeki elemanlar GA değişkenlerinin çapraz-varyansını temsil etmektedir. Denklem (17) asimetrik (bakışık olmayan) matrisler üzerinde GA yaptığından, çok daha basit ve simetrik (bakışık) matrisler üzerinde hesaplanan ve Tyler (1982) tarafından önerilen bir yöntem ile önce $C_{YX} C_{XX}^{-1} C_{XY}$ matrisinin U özvektörleri bulunur. İkinci adım da ise:

$$W = C_{XX}^{-1} C_{XY} U R^{-1/2} \quad (18)$$

şeklinde büyük ölçekli (yani tahmin edicilerin) ağırlık katsayıları bulunur. Son ifadeye R bakışık matrisin kümelerarası ilişki katsayılarının karesini içeren bir köşegen matristir. Yukarıda verilen iki yöntemden birisi ile ağırlık katsayıları bulunduğundan sonra, istatistik model aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$Y = X W W^T C_{XY} \quad (19)$$

Uygulama sonuçları

Bu bölümde Türkiye'nin aylık toplam yağışlarının uzaysal ölçek küçültmesinde yapay yenilemeli

sinir ağırları modeli ve Türkiye aylık yüzey sıcaklıklarının uzaysal ölçek küçültmesinde, gereksizlik analizi üzerinden oluşturulan modelin uygulama sonuçları verilmiştir.

Aylık toplam yağışlar ile büyük-ölçekli iklim değişkenleri arasındaki Sampson ilişki desenleri

Büyük ölçekli değişkenler ile Türkiye yağışları arasındaki bağıntıları göstermek üzere, Şekiller 2-6'da, Sampson ilişki oranı (R_S) desenleri verilmiştir. Bu şekillerdeki büyük ölçekli değişkenler 30-60°K ve 10-50°D enlem ve boylamları arasında kalan bölgeyi içeren NCEP-NCAR (National Centers for Environmental Prediction-National Center of Atmospheric Research) yeniden incelemeye tabi tutulmuş (reanalysis) (Kalnay vd., 1996) büyük ölçekli deniz seviyesi basıncı (DSB), 500 hPa ve 700 hPa jeopotansiyel yükseklikler, 500-1000 hPa jeopotansiyel kalınlıklar ve 500 hPa düşey basınç hızlarıdır.

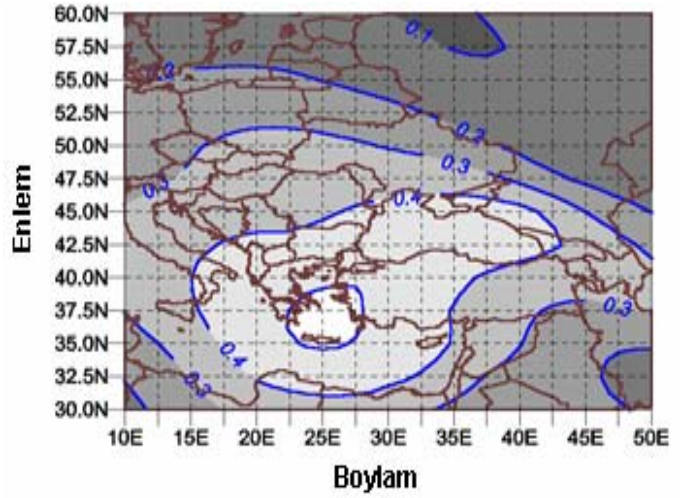
Bu şekillerde R_S ilişki desenlerinin istatistiksel anlamlılığı gri-tonda gösterilmiş ve koyu renkten açık tonlu renge doğru olan gidiş, anlamlılığın artış yönünü göstermektedir.

Şekil 2 DSB'ler ile yağışlar arasındaki Sampson ilişki desenini göstermektedir (yağışlı ve kurak mevsimler kış ve yaz ile karakterize edilmiştir). Anlamlı ilişki bölgeleri, tüm İtalya, Balkanlar, Türkiye ve Doğu Akdeniz'i kapsamaktadır. Bu etkiler alçak basınç anomalileri ile Türkiye yağışları arasındaki bağıntıyı açıklamaktadır.

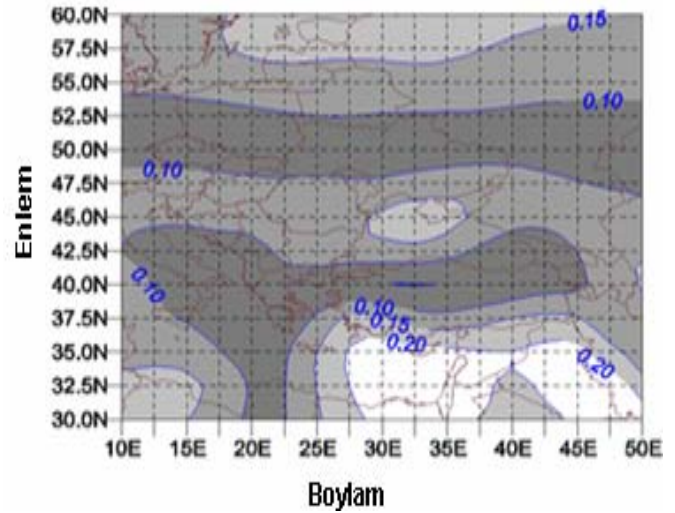
Bu çalışmanın sonuçları ile Kutiel ve diğerleri. (2001) yaptığı benzer bir çalışma ile uyumluluk içinde olduğu görülmüştür. En kuvvetli ilişkiler orta ve güney Ege'de olduğu görülmektedir. Yaz mevsiminde ise zayıf da olsa Doğu Akdeniz'de anlamlı ilişkiler görülmektedir.

Şekil 3'ten, 500 hPa jeopotansiyel yükseklikler ile yağışlar arasında anlamlı ilişkiler olduğu görülür. Anlamlı ilişki desenin yer aldığı alanlar; Türkiye'nin batısı, Adriyatik Denizi, Balkanlar ve İtalya'nın doğu bölgeleridir. Kış mevsiminde, 500 hPa alçağı Türkiye'yi kuzey-batıdan etkilemektedir. Bu yerde alçak basınç merkezi ve

ilintili cephe sistemlerinin varlığından dolayı bu tür ilişki şartlarının yüksek seviyelerde gözlemlenmesi doğal bir beklenti olarak değerlendirilebilir (Tatlı vd., 2004).



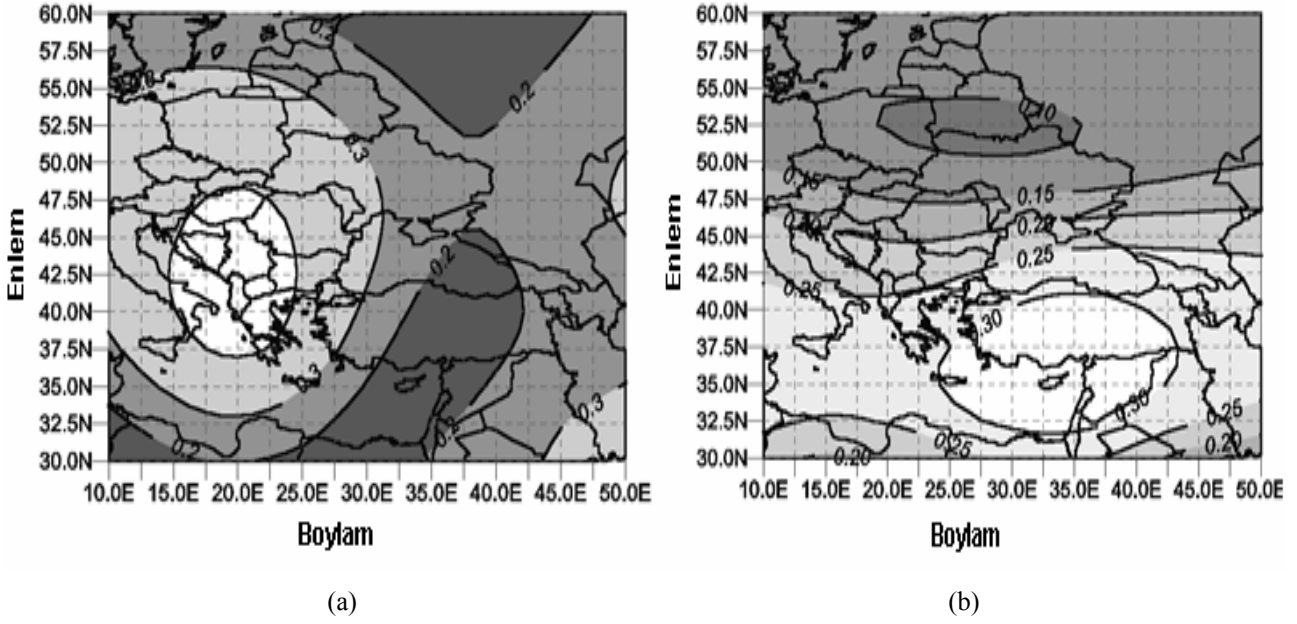
(a)



(b)

Şekil 2. Deniz seviyesi basınçları ile yağışlar arasındaki Sampson ilişki desenleri: (a) kış ayları; (b) yaz ayları

Yaz mevsiminde ise anlamlı ilişkilerin daha çok Doğu Akdeniz'de (güney Türkiye ve Kıbrıs) olduğu görülmektedir. Yaz aylarında Türkiye tropik menşeli sıcak hava sistemlerin etkisinde olduğundan (Erinç, 1984), bu durum, 500 hPa seviyesinde yüksek seviyelerde pozitif anomaliler ile kendini hissettirmektedir. İlkbahar ve sonbahar ayları ise kış ve yaz mevsimlerin iklim rejimleri arasında, geçiş özellikleri arz ederler.



Şekil 3. 500 hPa jeopotansiyel yükseklikler ile yağışlar arasındaki Sampson ilişki desenleri: (a) kış ayları; (b) yaz ayları

Şekil 4 ise 700 hPa jeopotansiyel yükseklikler ile Türkiye yağışları arasındaki ilişkilerin 500 hPa jeopotansiyel yükseklikler ile benzer olduğunu anlatmaktadır. Bu şekilde, anlamlı ilişkilerin, Türkiye'nin batısında kalan bölgelerde yoğunlaştığı görülmektedir. Ancak, yaz aylarında, %95 anlamlılık seviyesinde, anlamlı ilişkilerin olmadığı gözlemlenmektedir. 500-1000 hPa kalınlık anomalileri ile yağışlar arasındaki kuvvetli anlamlı ilişkilerin orta Avrupa'da yoğunlaştığı Şekil 5'te görülmektedir. Özellikle kış aylarında, negatif anomalilerin soğuk bir adveksiyona işaret etmekte olduğu söylenebilir. Çünkü kalınlığın kendisi, termal adveksiyonun bir ayrıdır (Tatlı vd., 2004). 500 hPa düşey basınç hızları ile yağışlar arasındaki ilişki Şekil 6'da gösterilmiştir. Her iki mevsim için kuvvetli ilişkilerin bulunduğu alanlar; tüm Yunanistan, tüm Karadeniz ve tüm Doğu Akdeniz bölgeleri olduğu görülmektedir. Ayrıca, Türkiye'nin güney bölgeleri ile Kıbrıs'ı içine alan üzerinde, kuvvetli ilişkiler olduğu gözükmektedir. Kış mevsiminde, düşey basınç hızlarının anomalileri, Akdeniz alçak basınç sistemi yörüngesi üzerinde olduğu ve Alpert ve diğerleri (1990) yaptıkları çalışmayla örtüşmesi açısından beklenen bir sonuçtur.

Yaz aylarında ise kuvvetli ilişkilerin bulunduğu alanların, oldukça dağınık bir şekilde saçıldığı

görülmektedir. En büyük değerler Balkan'larda, Kuzey Afrika'da, Orta Akdeniz, Basra körfezi ve Arap yarımadasında yer almaktadır. Bu merkezler Azor yüksekliğinin çöken hareketler ile ilintisi ve Hindistan alçağı oluşunun uzantısı (Arap alçağı) ile bağlantılı, Türkiye'deki kurak dönemi işaret etmesi açısından önem arz eder.

Türkiye yağışlarının istatistiksel ölçek küçültmesi

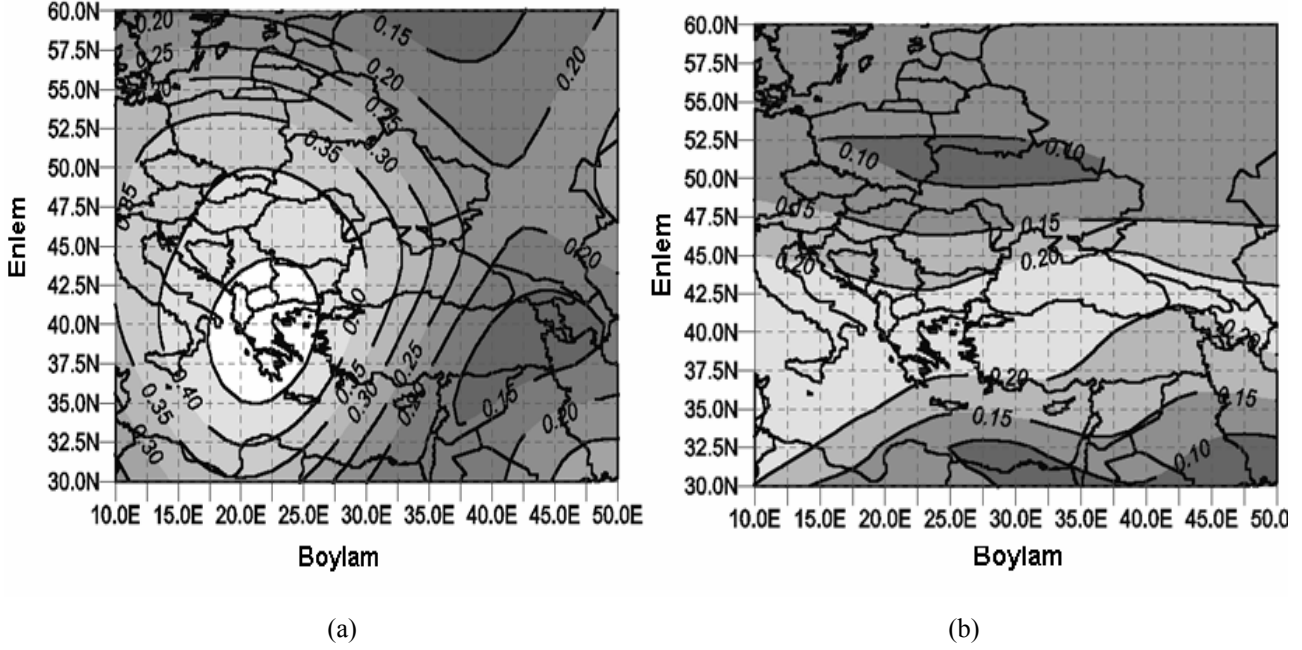
Önerilen modelin başarı verimini göstermesi açısından, gözlenmiş yağışlar ile önerilen model sonuçlarının asal bileşen desenleri Şekiller 7-9'da gösterilmiştir. Türkeş (1996, 1998) tarafından önerilen, Türkiye'nin yağış bölgelerinin her birinden birer istasyon örnek olarak seçilip, gözlenmiş yağış serileri ile uzaysal ölçek küçültme model sonuçlarının karşılaştırıldığında %95 anlamlılık seviyesinde model sonuçları kabul edilir bulunmuştur (Tatlı vd., 2004).

Türkiye yüzey sıcaklıklarının istatistiksel ölçek küçültmesi

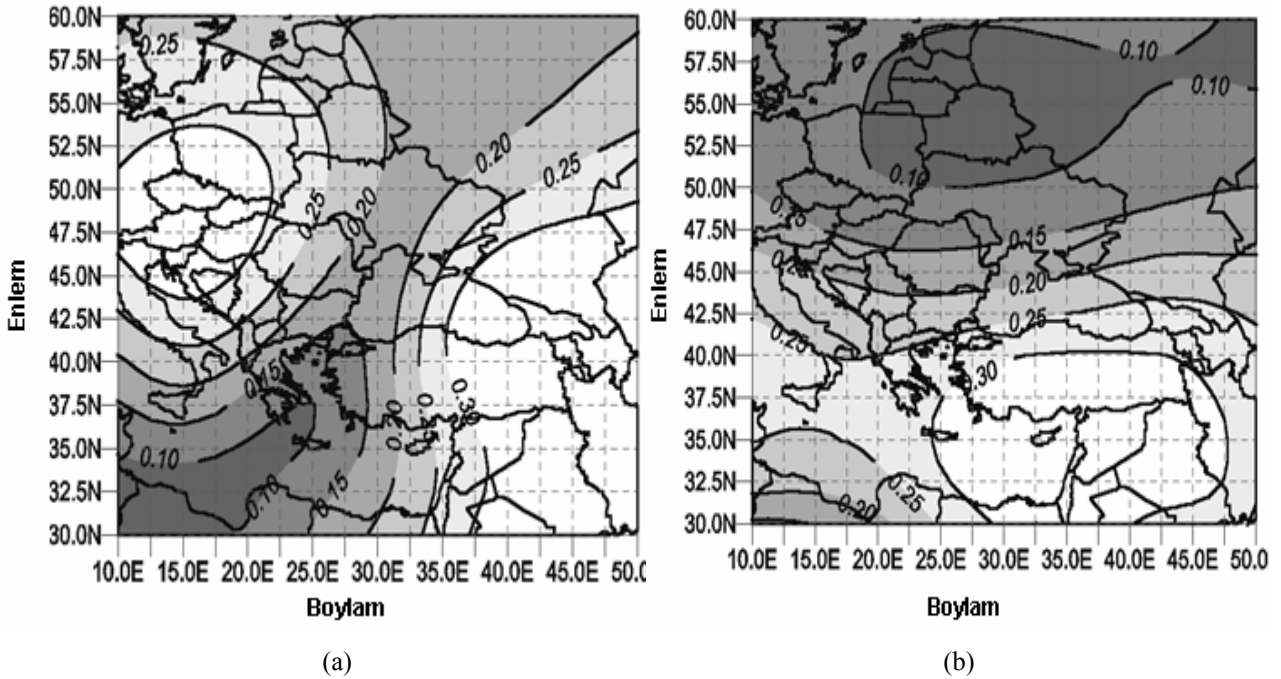
Türkiye yüzey sıcaklıkları olan aylık en büyük, ortalama ve en küçük sıcaklıkları önerilen gereksizlik analizi üzerinden geliştirilen model ile istatistiksel küçültmesi yapılmıştır. Sıcaklıkların tahmin edicileri, 500 hPa jeopotansiyel yükseklikler ve 500-1000 hPa kalınlıklardır. Tahmin

ediciler, NCEP-NCAR veri kümesinden elde edilmiş ve Sampson ilişki desenleri, her dört mevsim için incelenmiş olmasına karşın, yer darlığından dolayı, burada desenleri verilmeyecek, sadece sonuç verimleri sunulmuştur. Bu ça-

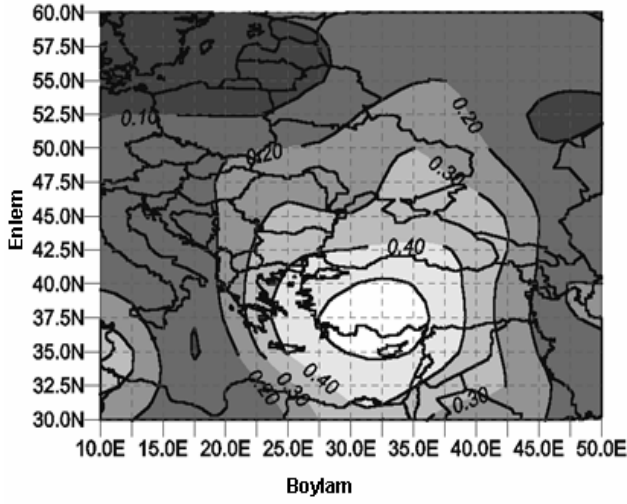
lışmada, önerilen modelin veriminin testi amacıyla gözlenmiş sıcaklıklar ile önerilen uzaysal küçültme model sonuçlarının döndürülmüş (Kaiser, 1959) asal bileşen desenleri Şekil 10-12'de sunulmuştur.



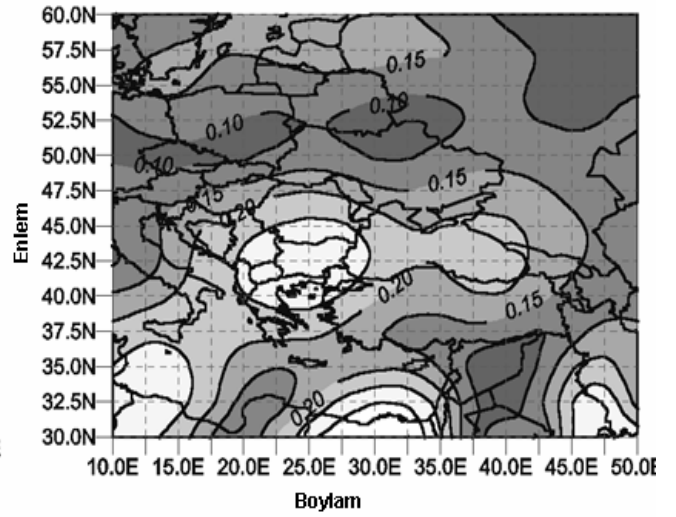
Şekil 4. 700 hpa jeopotansiyel yükseklikler ile yağışlar arasındaki Sampson ilişki desenleri: (a) kış ayları; (b) yaz ayları



Şekil 5. 500-1000 hpa kalınlıklar ile yağışlar arasındaki Sampson ilişki desenleri: (a) kış ayları; (b) yaz ayları

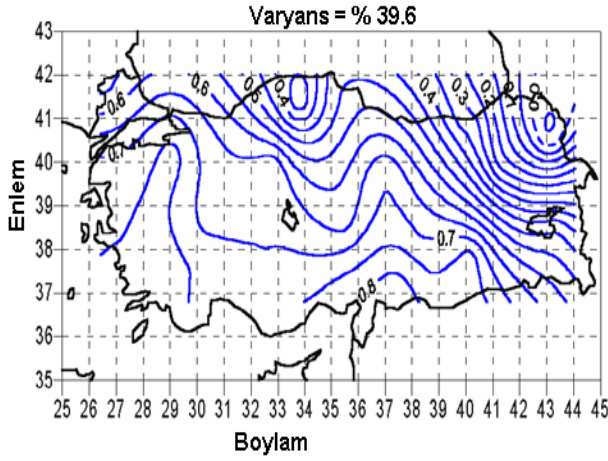


(a)

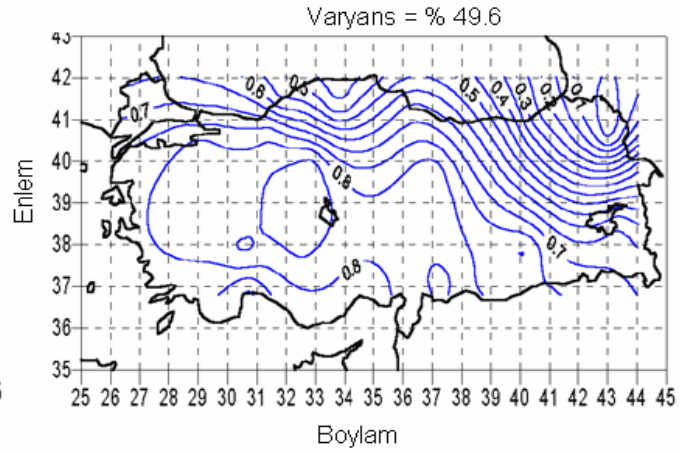


(b)

Şekil 6. 500 hpa düşey basınç hızları ile yağışlar arasındaki Sampson ilişki desenleri: (a) kış ayları; (b) yaz ayları

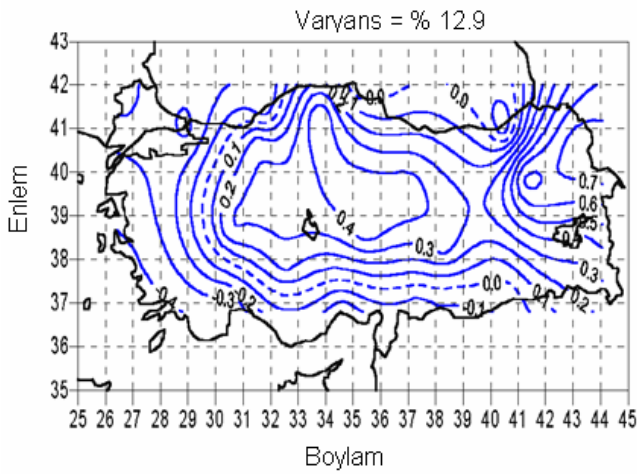


(a)

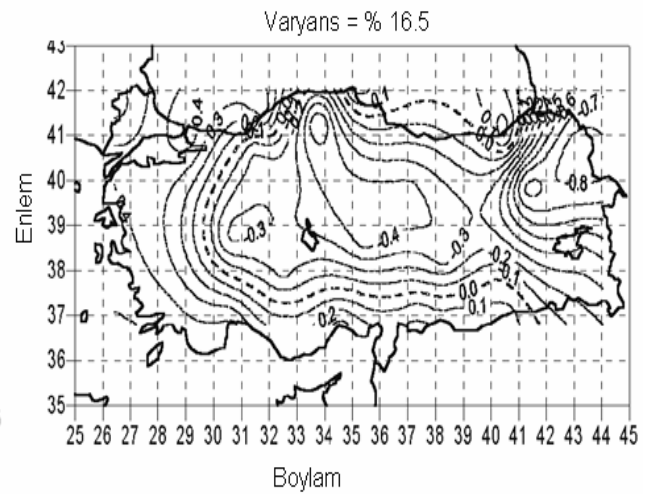


(b)

Şekil 7. Türkiye yağışlarının birinci asal bileşen deseni: (a) gözlemler; (b) ölçek küçültme model sonuçları

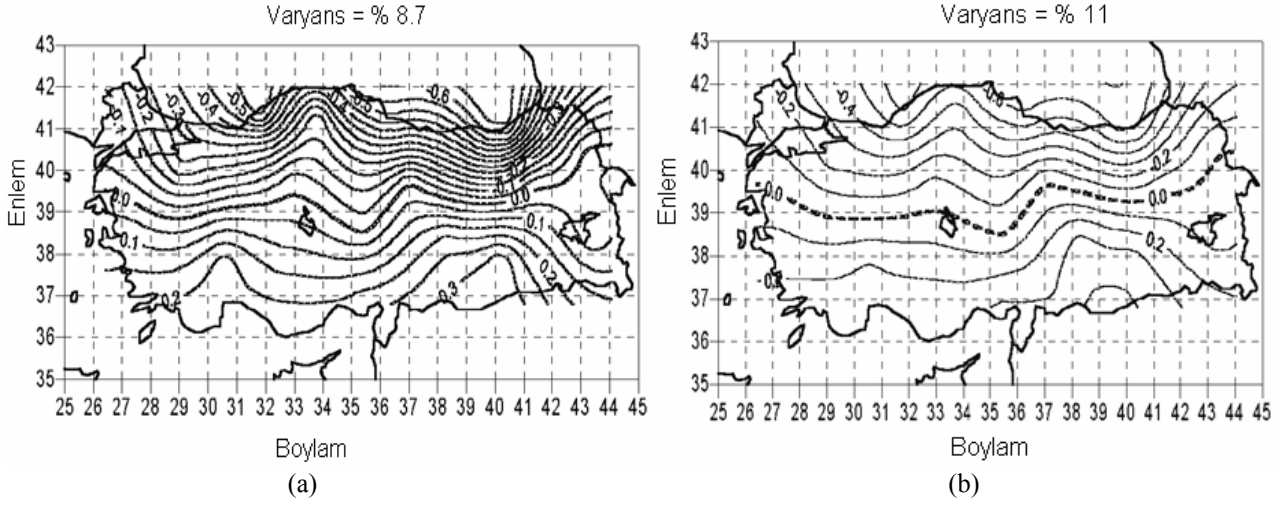


(a)

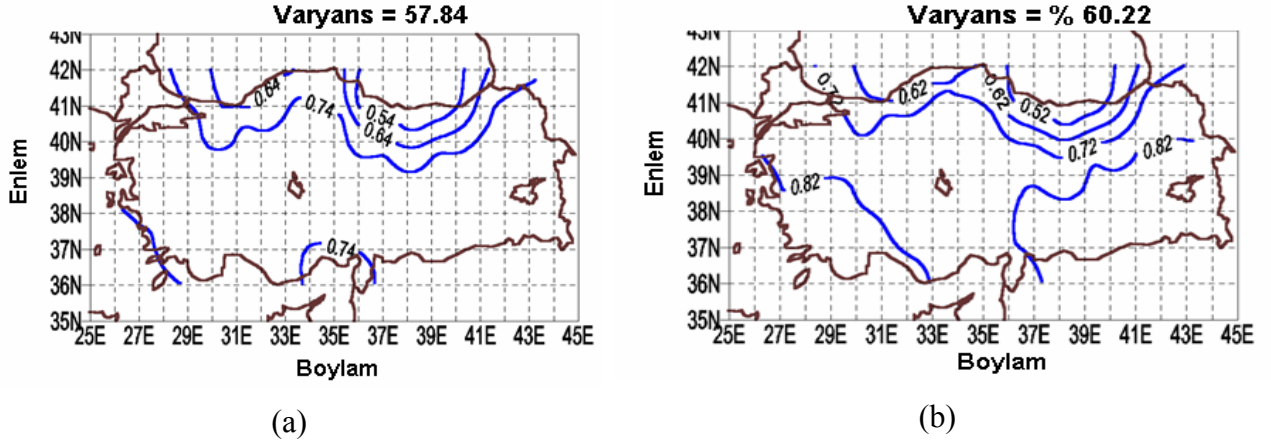


(b)

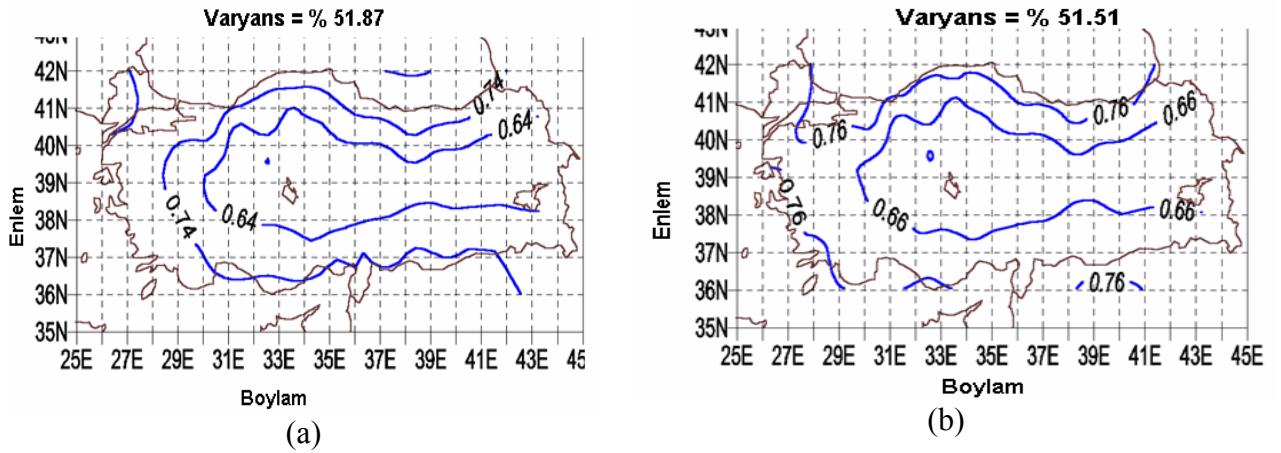
Şekil 8. Türkiye yağışlarının ikinci asal bileşen deseni: (a) gözlemler; (b) uzaysal ölçek küçültme model sonuçları



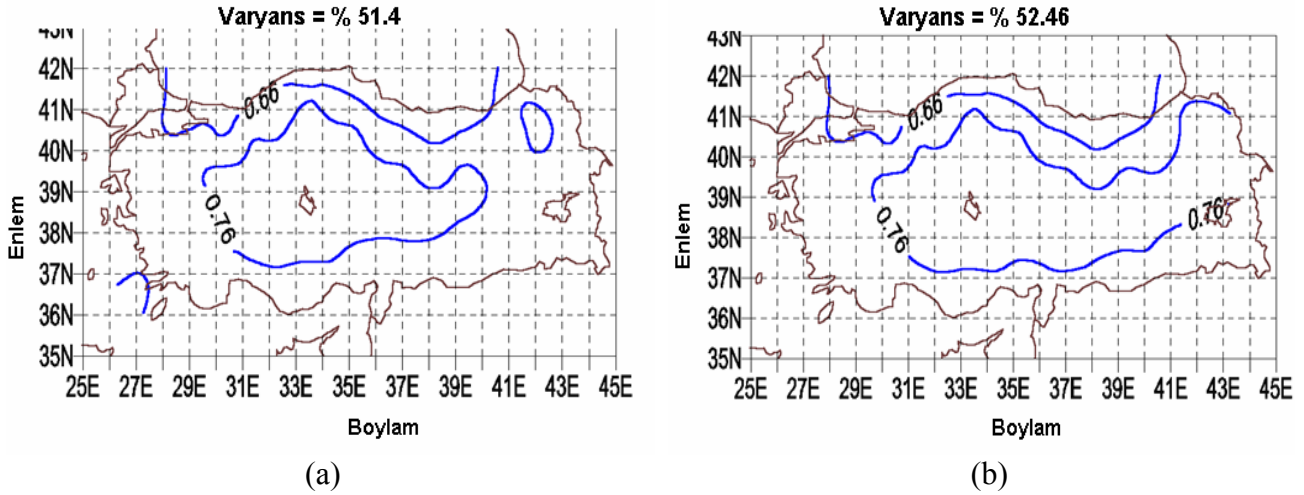
Şekil 9. Türkiye yağışlarının üçüncü asal bileşen deseni:
(a) gözlemler; (b) uzaysal ölçek küçültme model sonuçları



Şekil 10. Aylık en büyük sıcaklıkların döndürülmüş birinci asal bileşenleri:
(a) gözlemler; (b) model sonuçları



Şekil 11. Aylık en küçük sıcaklıkların döndürülmüş asal bileşen desenleri:
(a) gözlemler; (b) model sonuçları



Şekil 12. Aylık ortalama sıcaklıkların döndürülmüş asal bileşen desenleri: (a) gözlemler; (b) model sonuçları

Sonuçlar ve tartışma

Bu çalışmada, uygulama sonuçlarından görülebileceği üzere; tüm veri türlerine veya herhangi bir bölge üzerine uygulanabilecek, evrensel anlamda, tek bir uzaysal küçültme stratejisinin geçerli olmadığı belirtilebilir. Bu bağlamda, uzaysal ölçek küçültme model tasarımı, bölgenin coğrafi ve iklim şartları ile ilgili meteorolojik büyüklüklerinin özelliğine göre yapılması, zorunlu bir adım olarak görülmektedir.

Birinci uygulanan modelde, büyük ölçekli iklim değişkenleri; özellikle kıyı bölgelerinde, yağış serilerini kabul edilebilir hata seviyesi ile tahmin edebilmesine karşın; Doğu Karadeniz ve Anadolu Platosunun iç kesimlerinde, istenilen seviyede sonuçlar elde edilememiştir. Bu durumun temel nedenlerinden biri, örneğin yağış-gölgelerine kaynaklık eden küçük ölçekli topografik etkiler gibi yerel koşulların büyük ölçekli iklim süreçleri tarafından, ölçek farkından (scale gap) dolayı, yakalayamamasıdır denebilir.

Yüzey sıcaklıklar için geliştirilen ikinci model, yağışlar için geliştirilen modele göre bağıl olarak daha kolay tasarlanmakta ve verimli sonuçlar üretebilmektedir. Bu durumun, başlıca nedeni; sıcaklıklardaki baskın periyodik bileşenlerin varlığı ve bu bileşenlerin büyük ölçekli yukarı-seviye hava dolaşimleri (upper air circulations) ile paralellik göstermesidir denebilir. Oysa yağış

miktarına, büyük ölçekli süreçlerin yanısıra, yerel şartların etkisi de azımsanmayacak bir mertebede olduğu gözlemlenmiştir. Uygulama sonuçlarından görülebileceği üzere; hidrologistler, ekolojistler, tarım-orman-hayvancılık turizm, enerji ve toprak-kullanım planlamacı ve araştırmacıları ile diğerleri iklim etki ve değişkenliğini, büyük ölçekli genel dolaşım model sonuçlarının etkilerini basit uzaysal interpolasyon işlemi sonucundan değil, ölçek küçültme stratejilerine bağlı olarak, çıkarıma varmaları bir zorunluluk olarak görülmektedir.

Kaynaklar

- Alpert, P., Neeman, B.U., ve Shah-El, Y., (1990). Intermonthly variability of cyclone tracks in the Mediterranean, *Journal of Climate*, **3**, 1474-1478.
- Bras, R.L., ve Rodriguez-Iturbe, I., (1993). *Random Functions and Hydrology*, 237, Dover Publications.
- Chen, J.M., ve Chang, C.P., (1994). A technique for analyzing optimal relationships among multiple sets of data fields. Part II: Reliability case study, *Monthly Weather Review*, **122**, 2494-2505.
- Chen, J.M., Chang C.P., ve Harr, P., (1994). A technique for analyzing optimal relationships among multiple sets of data fields. Part I: The method, *Monthly Weather Review*, **122**, 2482-2493.
- Comon, P., (1994). Independent component analysis-a new concept? *Signal Processing*, **36**, 287-314.
- Connor, J., Martin R., ve Atlas, L., (1994). Recurrent neural networks and robust time series

- prediction, *IEEE Transaction on Neural Networks*, **5**, 240–253.
- Diaz, H.F., ve Fulbright D.C., (1981). Eigenvector analysis of seasonal temperature, precipitation and synoptic-scale system frequency over the Contiguous United States. Part I: Winter, *Monthly Weather Review*, **109**, 1267-1284.
- Erinç, S., (1984). *Klimatoloji ve metodları*, İstanbul Üniversitesi Basımevi, Deniz Bilimleri, Coğrafya Enstitüsü, İstanbul.
- Everson, R., ve Roberts, S., (1999). Independent component analysis: a flexible non-linearity and decorrelating manifold approach, *Neural Computing*, **11**, 1957–1984.
- Glahn, H.R., (1968). Canonical correlation and its relationship to discriminant analysis and multiple regression, *Journal of Atmospheric Science*, **25**, 23-31.
- Gyalistras, D., von Storch, H., Fischlin, A., ve Beninston, M., (1994). Linking GCM simulated climatic changes to ecosystem models: Case studies of statistical downscaling in the Alps, *Climate Research*, **4**, 167-189.
- Haykin, S., (1999). *Neural Networks: a comprehensive foundation*, 2nd ed., Prentice-Hall: New Jersey.
- Haykin, S., (2001). *Kalman Filtering and Neural Networks*, Wiley: New York.
- Hyvarinen, A., ve Oja, E., (1997). A fast fixed-point algorithm for independent component analysis, *Neural Computing*, **9**, 1483-1492.
- Hyvarinen, A., Karhunen, J., ve Oja, E., (2001). *Independent Component Analysis*, John Wiley.
- Jordan, M.I., (1986). Attractor dynamics and parallelism in a connectionist sequential machine, *Proceedings of 1986 Cognitive Science Conference*, 531-546.
- Jöreskog, K.G., ve Sörbom, D., (1989). *LISREL-7 A Guide to the Program and Applications*, 2nd ed., SPSS Publications. Chicago.
- Kaiser, H.F., (1959). Computer program for varimax rotation in factor analysis, *Educational and Psychological Measurement*, **19**, 413-420.
- Kalnay, E., Kanamitsu M., Kistler., R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woolen, J., Zhu, Y., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Higgins, W., Janowiak, J., Mo, K.C., Ropelewski, C., Wang, J., Leetmaa, A., Reynolds, R., Jenne, R., ve Joseph, D., (1996). The NCEP/NCAR Reanalysis 40-year Project, *Bulletin of American Meteorology Society*, **77**, 437-471.
- Kutiel, H., Hirsch-Eshkol, T.R., ve Türkeş, M., (2001). Sea level pressure patterns associated with dry or wet monthly rainfall conditions in Turkey, *Theoretical and Applied Climatology*, **69**, 39-67.
- Nicholls, N., (1987). The use of canonical correlations to study teleconnections. *Monthly Weather Review*, **115**, 393-399.
- Preisendorfer, R.W., (1988). *Principal Component Analysis in Meteorology and Oceanography*, Elsevier.
- Sampson, A.R., (1984). A multivariate correlation ratio, *Statistics and Probability Letters*, **2**, 77-81.
- Tatlı, H., Dalfes, H.N., Menteş, Ş.S., (2004). A statistical downscaling method for monthly total precipitation over Turkey, *International Journal of Climatology*, **24**, 161-180.
- Tatlı, H., Dalfes, H.N., ve Menteş, Ş.S., (2005). Surface air temperature variability and its connection to the upper air circulation via multivariate techniques via multivariate techniques, *International Journal of Climatology* (baskıda).
- Türkeş, M., (1996). Spatial and temporal analysis of annual rainfall variations in Turkey, *International Journal of Climatology*, **16**, 1057-1076.
- Türkeş, M., (1998). Influence of geopotential heights, cyclone frequency and southern oscillation on rainfall variations in Turkey, *International Journal of Climatology*, **18**, 649-680.
- Tyler, D.E., (1982). On the optimality of the simultaneous redundancy transformations, *Psychometrika*, **47**, 77-86.
- von Storch, H., (1995). Inconsistencies at the interface of climate impact studies and global climate research, *Meteorologie Zeitschrift*, **4**, 72–80.
- von Storch, H., Zorita, E., ve Cubash, U., (1993). Downscaling of global climate change estimates to regional scales: An application to Iberian rainfall in wintertime, *Journal of Climate*, **6**, 1161-1171.