



Şiddet-süre-frekans bağıntıları ve kümeleme analizi yardımıyla homojen alt bölgelerin belirlenmesi: Ege Bölgesi için bir uygulama

Determination of homogeneous sub-regions by using intensity-duration- frequency relationships and cluster analysis: an application for the Aegean Region

Halil KARAHAN^{1*} 

¹İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye.
hkarahan@pau.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 17.04.2019, Kabul Tarihi/Accepted: 18.11.2019

* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2019.09365

Özel Sayı Makalesi/Special Issue Article

Öz

Bu çalışmada Kompozit Diferansiyel Gelişim Algoritması (KDGA) ile Şiddet-Süre-Frekans (SSF) analizi yapan çözüm algoritması önerilmektedir. Önerilen algoritmanın test edilmesi için Ege Bölgesi'nde yer alan MGM tarafından işletilmekte olan 32 meteoroloji istasyonunun Standart Süreli Maksimum Yağış (SSMY) verileri kullanılarak farklı matematiksel ve istatistiksel bağıntıların ağırlık parametreleri belirlenmekte ve elde edilen bağıntıların farklı hata değerlendirme ölçütlerine göre performansları incelenmektedir. Ayrıca, bulanık mantık c ortalama yöntemleriyle kümeleme analizi yapılmakta ve bölge 6 adet alt bölgeye ayrılmaktadır. Belirlenen bölgeler için bölgesel SSF bağıntıları elde edilmekte ve bölgesel bağıntıların performansı istasyon bazında elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar, bölgesel bağıntıların noktasal bağıntılara oldukça yakın sonuçlar verdiğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Şiddet-Süre-Frekans bağıntısı, Bölgesel bağıntı, Kompozit diferansiyel gelişim algoritması, Kümeleme analizi

Abstract

In this study, a solution algorithm making Intensity-Duration-Frequency (IDF) analysis with Composite Differential Evolution is proposed. For testing the proposed algorithm, the weight parameters of different mathematical and statistical relationships are determined by using the Standard Duration Maximum Rainfall (SDMR) data from 32 meteorological stations operated by MGM located in the Aegean Region and the performances of the obtained relationships are investigated according to various error measures. Additionally, cluster analysis is made by using fuzzy c-means method and the region is divided into 6 subregions. Regional IDF relationships are obtained for the determined regions and the performances of the regional relationships are compared with the obtained results. The comparisons show that the regional relationships produce results very close to the points relationships.

Keywords: Intensity-Duration-Frequency relationship, Regional relationship, Composite differential evolution, Cluster analysis

1 Giriş

Su kaynakları sistemlerinin tasarım ve işletmesi, kentsel drenaj sistemleri, taşkın kontrolü ve ulaşım gibi farklı sektörlere ait planlama çalışmaları ve bu sistemler üzerinde yer alan mühendislik yapılarının güvenli ve ekonomik olarak boyutlandırılması ve işletilmesi için yağışın şiddeti, alansal ve zamansal değişiminin bilinmesi gereklidir [1]. Standart Süreli Maksimum Yağış (SSMY) gözlem verileri gibi rastgele unsuru ağır basan hidrolojik olaylar ancak oluşum frekansları (görülme sıklıkları) ile tanımlanabilmektedirler

Tüm istasyonlar ve standart süreler için; gözlenmiş frekansları temsil edebileceği beklenen çok sayıda kuramsal dağılımın denenmesi, en uygun olanın belirlenmesi, aykırı değerlerin ayıklanması zor ve zaman alıcı bir işlemdir. Bu nedenle yağış özellikleri benzerlik gösteren istasyonların gruplandırılması; gözlem süresi kısa olan istasyonlar için yapılacak tahminlerde güvenirliliğin artırılması, gözlemi bulunmayan yerleşim yerleri için kabul edilebilir tahminlerin yapılması ve işlem yoğunluğunun azaltılması açısından büyük bir öneme sahiptir [1],[2]. Yağışın süresi, şiddeti ve frekansı (tekerrür veya yinelenme süresi) arasındaki ilişki Şiddet-Süre-Frekans (SSF) bağıntısı olarak adlandırılır. Bu bağıntı, yağış süresi (t) ve tekerrür süresi (T) ile ağırlık parametreleri olarak adlandırılan, konuma ve zamana göre değişen parametrelerin bir fonksiyonu

olarak matematiksel ya da istatistiksel formda ifade edilebilir [3]-[5]. Geleceğe yönelik güvenilir tahminlerin yapılabilmesi için; mevcut verilerin uzunluğu, güncelliği ve alansal dağılımı (yoğunluğu) kadar, tahmin için seçilen modellerin mevcut gözlemleri temsil edebilecek yeterlilikte olması da gereklidir. Bu amaçla kullanılan farklı ampirik ve istatistiksel formlarda bağıntıların ağırlık katsayılarının veri setine en uygun olarak belirlenmesi ve yeni gözlem değerleri elde edildiğinde bu bağıntıların güncellenmesi gerekir

SSF formüllerindeki ağırlık parametrelerinin belirlenmesi, genellikle matematiksel dönüşümler ve/veya istatistiksel analizler gerektirir ve çoğu zaman hangi dağılımın gözlem verilerine daha iyi uyum gösterdiğinin belirlenmesi çok sayıda denemeyi veya bu amaçla geliştirilen yazılımların kullanımını gerektirir [5],[6]. Çok sayıda deneme gerektiren bu yaklaşım yerine SSF ilişkisinin farklı ampirik ve istatistiksel formlarda ifade edilerek, veri setine en uygun ağırlık parametreleri sezgisel optimizasyon algoritması kullanılarak yazar ve arkadaşları tarafından tek aşamada belirlenmiştir [5]. Belirtilen çalışmada İzmir DMİ için uygulanan bu yaklaşım, istasyonlara ait; enlem, boylam ve yükselti gibi coğrafi özellikler eklenmek suretiyle GAP bölgesi için uygulanmış ve önerilen çözüm tekniğinin bölgesel ölçekte kullanılabilirliği gösterilmiştir [7]. Yazarın yürütücülüğünde gerçekleştirilen bir TÜBİTAK projesi kapsamında Ege Bölgesinde yer alan meteoroloji istasyonlarının verileri kullanılarak L-Momentler ve kümeleme

analizi teknikleri kullanılarak belirlenen homojen alt bölgeler için bölgesel bağıntılar elde edilmiş ve bölgesel analiz sonuçları ile noktasal analiz sonuçları karşılaştırılmak suretiyle bölgesel analizlerin etkinliği gösterilmiştir. Belirtilen projede optimizasyon tekniği olarak Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA) kullanılmış ve söz konusu algoritmanın tüm stratejileri gerek test fonksiyonları ve gerekse SSMY verileri üzerinden performans açısından değerlendirilmiştir [2]. Aynı veri setine Armoni Araştırma Tekniği (AAT) [1] ve Yapay Bağışıklık Algoritması (YBA) [8] uygulanmış tüm istasyonlar için ŞSF bağıntılarının ağırlık katsayıları belirlenmiş ve model performansları karşılaştırılmıştır.

Yukarıda belirtilen çalışmalarda farklı optimizasyon teknikleri kullanılarak elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde; genel anlamda benzer sonuçlar elde edilmesine karşılık; algoritmaların amaç fonksiyonu (MSE), fonksiyon değerlendirme sayısı (FDS) ve bilgi-işlem süresi (CPU) gibi parametreler açısından belirgin farklılıklar gösterdiği ve formülasyonu göreceli olarak daha zor olan bağıntılarda ise optimal sonuçların bazı algoritmalarda elde edilemediği görülmüştür.

Bu makalede, daha önce yazar tarafından oluşturulan [2] veri seti, son yıllara ait gözlem değerleri eklenmek suretiyle güncellenmiştir. Böylece; son yıllarda yağış rejimlerindeki değişiklikler de dikkate alınmak suretiyle, strateji araştırmasına ve algoritmanın ayarlanabilir parametrelerine bağlı olmayan bir sezgisel optimizasyon algoritması olan Kompozit Diferansiyel Gelişim Algoritması (KDGA) kullanılarak güncel noktasal ve bölgesel Şiddet-Süre-Frekans (ŞSF) bağıntıları belirlenmiştir. Ayrıca, [2]'de her standart süre için ve kısa, orta ve uzun süreli yağışlar için ayrı olarak yapılan kümeleme analizi yerine bu çalışmada tüm standart süreler birlikte değerlendirilmek suretiyle kümeleme analizi yapılmıştır. Bölgesel ŞSF bağıntılarının pratikte kullanılabilirliğini göstermek için; bölgesel ve noktasal analiz sonuçları karşılaştırılmış ve önerilen kümeleme analizinin etkinliği gösterilmiştir.

2 Şiddet-süre-frekans bağıntıları

ŞSF ilişkisi iki grup halinde ifade edilebilir.

2.1 Ampirik bağıntılar

$$I = \frac{w_0 T^{w_1}}{t^{w_2}} \quad (1)$$

$$I = \frac{w_0 T^{w_1}}{(w_2 + t)^{w_3}} \quad (2)$$

Burada; I , yağış şiddeti (mm/dk), T , yinelenme süresi, t , yağış süresi ve w_k ise ağırlık katsayılarını göstermektedir (Denklem (1) için : $k=0,1,2$ Denklem (2) için : $k=0,1,2,3$). [5]' de önerilen, ve bu çalışmada kullanılan iki ampirik bağıntı aşağıdaki gibidir:

$$I = \left[\frac{\sum_{i=0}^M w_i [\ln(T)]^i}{(w_{M+1} + t^{M+2})^{M+3}} \right] \quad (3)$$

$$I = \left[\frac{\sum_{i=0}^M w_i [\ln(T)]^i}{w_{(M+1)+i} [\ln(t)]^i} \right] \quad (4)$$

Burada; M ilgili denklemin mertebesidir ve bu çalışmada işlem süresi ve sonuçlar üzerindeki etkisi dikkate alınarak $M=4$ kabul edilmiştir.

2.2 İstatistiksel bağıntılar

Şiddet-Süre-Frekans ilişkisinde genellikle kullanılan istatistiksel dağılımlar: Gumbel, Genelleştirilmiş Ekstrem Değer (GEV), Gamma, Pareto vb. dir. Kaynak [4]'te ŞSF probleminin Gumbel ve GEV dağılımlarına daha iyi uyduğu gösterilmiştir. Genel olarak *Gumbel*, *GEV*, *Üstel* ve *Pareto* dağılımları sırasıyla (5)-(8)'de verilmiştir.

Gumbel dağılımı:

$$I = w_0 \frac{w_1 - \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right]}{(w_2 + t)^{w_3}} \quad (5)$$

GED dağılımı:

$$I = \frac{w_0 \left\{ w_1 + \frac{\left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right]^{-w_2}}{w_2} \right\}}{(w_3 + t)^{w_4}} \quad (6)$$

Üstel dağılımı:

$$I = \frac{w_0 (w_1 + \ln(T))}{(w_2 + t)^{w_3}} \quad (7)$$

Pareto dağılımı:

$$I = \frac{w_0 \left(w_1 + \frac{T^{w_2} - 1}{w_2} \right)}{(w_3 + t)^{w_4}} \quad (8)$$

şeklinde ifade edilebilmektedir [4].

2.3 Hata değerlendirme ölçütleri

Gözlem verilerine en iyi uyum gösteren ŞSF bağıntısının belirlenmesi için aşağıda belirtilen hata değerlendirme ölçütleri kullanılmıştır. Bunlar; hata karelerinin ortalaması (*MSE*), mutlak ortalama hata (*MAE*), değiştirilmiş model etkinlik katsayısı (*E*) ve Determinasyon katsayısıdır (*R²*).

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (I_i^{Gözlem} - I_i^{Hesap})^2 \quad (9.1)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |I_i^{Gözlem} - I_i^{Hesap}| \quad (9.2)$$

$$E = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^N |I_i^{Gözlem} - I_i^{Hesap}|}{\sum_{i=1}^N |I_i^{Gözlem} - \bar{I}_i^{Gözlem}|} \right] \quad (9.3)$$

Burada $I_i^{Gözlem}$ gözlenen, I_i^{Hesap} hesaplanan yağış şiddetlerini, $\bar{I}_i^{Gözlem}$ gözlenen yağış şiddetlerinin ortalamasını ve N optimizasyon işleminde kullanılan veri sayısını göstermektedir. Gözlem verilerine en uygun bağıntının ağırlık katsayılarının belirlenmesi için; *MSE* ve *MAE* değerleri minimum yapılmaya çalışılırken, *E* ve *R²* değerlerinin maksimum yapılması amaçlanmaktadır.

2.4 Durma koşulu

KDGA optimizasyon modelinde durma koşulu olarak; maksimum fonksiyon değerlendirme sayısı 10^6 veya popülasyondaki en iyi ve en kötü amaç fonksiyonu değeri arasındaki fark 10^{-12} olarak kullanılmıştır.

3 Kompozit diferansiyel gelişim algoritması

Diferansiyel Gelişim Algoritması, Price ve Storn tarafından [9] geliştirilmiş, işleyiş ve kullanmış olduğu operatörleri GA'ya büyük benzerlikler gösteren popülasyon tabanlı bir sezgisel optimizasyon tekniğidir. DGA çok boyutlu bir arama uzayında (D), değişkenlerin alabilecekleri alt ve üst limit değerlere göre rastgele üretilmiş ve popülasyonu oluşturan birey sayısı kadar vektörün çözüm uzayında mutasyon, çaprazlama, değerlendirme ve seçim operatörleri kullanılarak geliştirilmesine dayalı iteratif bir çözüm tekniğidir.

DGA algoritmasının performansı; mutasyon stratejisi seçimi ile kontrol parametrelerinin (toplum büyüklüğü NP , ölçek katsayısı F ve çaprazlama katsayısı CR seçimine bağlıdır. Genel olarak DGA kullanılırken; önce mutasyon stratejisi seçilir, sonra NP , F ve CR değerlerinin uygun değerleri deneme-yanılma tekniği kullanılarak belirlenir

DGA'nın yakınsama hızını ve performansını artırmak için NP , F ve CR gibi kontrol parametrelerinin uygun değerlerinin belirlenmesi için birçok araştırmacı tarafından öneriler yapılmıştır. Örneğin, Price ve Storn tarafından [10] NP için 5D-10D, $F=0.5$, $CR=0.1$ veya $CR=0.9$; Gamperle vd [11]'de NP için 3D-8D, $F=0.6$, $CR=0.3$ veya $CR=0.9$; Ronkkonen vd [12]'de ise NP için 2D-4D, problemin türüne göre $F=[0.4-0.95]$ aralığında ve $CR=1$ veya $CR=0$ 'a yakın değerleri önerilmiştir. Burada D optimizasyon sürecindeki karar değişkeni (modeldeki parametre) sayısını göstermektedir.

Ancak, gerek mutasyon stratejisinin seçimi, gerekse yukarıda belirtilen kontrol parametrelerinin uygun değerlerinin seçimi probleme bağlı, zaman alıcı bir işlemdir. Bu güçlüğü üstesinden gelmek için literatürde önerilmiş çok sayıda DGA türevi bulunmaktadır. Bunlardan toplum büyüklüğünü sabit tutarak, F ve CR değerlerinin ayarlanabilir bulanık mantıkla belirlendiği FADE algoritması [13] ve NP , F ve CR değerlerinin optimizasyon süreci boyunca dinamik olarak değişimini esas alan DESAP [14] algoritması, Qin ve Suganthan tarafından önerilen "DE/rand/1" ve "DE/current-to-best/1" mutasyon stratejilerinin her 50 iterasyonda başarı oranlarını değerlendirmek suretiyle F ve CR değerlerinin belirlendiği SADE [15] gibi DGA türevleri sayılabilir.

"rand/1/bin"

$$x_{i,j}^g = \begin{cases} x_{r1,j}^g + F(x_{r2,j}^g - x_{r3,j}^g) & \text{eğer } rand < CR \\ \text{değilse} & \\ x_{i,j}^g & \end{cases} \quad (10)$$

"rand/2/bin"

$$x_{i,j}^g = \begin{cases} x_{r1,j}^g + F(x_{r2,j}^g - x_{r3,j}^g) + F(x_{r3,j}^g - x_{r4,j}^g) & \text{eğer } rand < CR \\ \text{değilse} & \\ x_{i,j}^g & \end{cases} \quad (11)$$

"current-to-rand/1"

$$u_i = x_i + rand(x_{r1} - x_i) + F(x_{r2} - x_{r3}) \quad (12)$$

Bu çalışmada kullanılan Kompozit DG algoritmasının (KDGA) kullanılmasının arkasındaki temel düşünce; literatürde sıklıkla kullanılan "DE/rand/1", "DE/rand/2" ve "DE/current-to-best/1" gibi üç mutasyon stratejisi ile önceki çalışmalarda önerilen $F = [1, 1, 0.8]$ ve $CR = [0.1, 0.9, 0.2]$ değerleri arasında rastgele seçilen kombinasyonlarının kullanımıyla strateji seçimi ve kontrol parametrelerinin deneme-yanılma prosedürüyle seçimi ortadan kaldırılmış ve böylece işlem süresi kısaltıldığı

gibi çözüm kalitesi de artırılmıştır. Mutasyon stratejilerinde kullanılan *rand* ve *current-to-best* terimleri sırasıyla rastgele ve o zamana kadar bulunan en iyi çözümleri göstermekte olup DG algoritmasında kullanılan stratejileri ifade etmektedir.

KDGA-RIDF optimizasyon modelinde kullanılan popülasyon büyüklüğü, durma koşulu ve Denklem (1)-(8)'de RIDF ağırlık parametreleri sayısı aşağıda belirtilmiştir. KDGA algoritması kullanılarak Ege bölgesinde yer alan 32 MGM istasyonu için Denklem 1-8'in ağırlık katsayıları 9.1'de verilen amaç fonksiyonu kullanılarak belirlenmiştir. Optimizasyon sürecinde popülasyon büyüklüğü ve durma koşulu olarak Tablo 1'de belirtilen değerler kullanılmıştır. Model performansının yansız belirlenebilmesi için KDGA Denklem 1-8 için tüm istasyonlar için 30 defa uygulanmış ve sonuçlar kullanılan 8 bağıntı için Ek A' da verilmiştir. Bölge ölçeğinde en uygun bağıntının belirlenebilmesi için Ek A'da tüm istasyonlar ve tüm bağıntılar için verilen sonuçların istatistik olarak değerlendirmesi Tablo 2'de özetlenmiştir.

Tablo 1: Model parametreleri.

Popülasyon büyüklüğü (NP)	10^* Ağırlık parametresi
Durma koşulu	Maksimum fonksiyon değerlendirme sayısı 10^6 veya popülasyondaki en iyi ve en kötü amaç fonksiyonu arasındaki fark 10^{-12} olarak kullanılmıştır.
	Denklem (1): 3, Denklem (2): 4
	Denklem (3): 7, Denklem (4): 10
Ağırlık parametresi sayısı	Denklem (5): 4, Denklem (6): 5
	Denklem (7): 4, Denklem (8): 5

Tablo 2'den görüleceği gibi 4 Denklemi amaç fonksiyonu açısından en iyi performansı göstermesine karşılık fonksiyon değerlendirme sayısı (FDS) ve bilgi-işlem süresi (CPU) açısından diğerlerine göre oldukça uzun süre gerektirmektedir. 3 Denklemi ise 4'e göre yakın performans göstermesine karşılık daha hızlı sonuç vermektedir. 3 ve 4 denklemleri gözlem süresi içinde kalan tahminlerde oldukça iyi sonuçlar vermesine karşılık, aşırı öğrenme nedeniyle gözlem süresinden daha uzun yinelenme süreleri için yapılan tahminlerde yanlışlıklara sebep olabilmektedir [16]. Bu nedenle kümeleme analizinde belirtilen bağıntılara en yakın, ancak çok hızlı sonuç veren GEV dağılımına dayalı 6 denklemi kullanılacaktır.

4 Kümeleme analizi

Aynı toplumdaki gelen veya benzer özelliklere sahip ölçüm ve gözlem değerlerinin bir grup altında sınıflandırılması için çeşitli kümeleme analiz teknikleri kullanılmaktadır. Bu amaçla; her bir küme bir küme merkezi ile bunun etrafında yer alan benzer verilerin bir araya getirilmesiyle oluşturulmaktadır.

Bu işlem, veri noktaları ile küme merkezleri arasında hesaplanan uzaklıkların minimum, küme merkezleri arasındaki uzaklıkların maksimum olmasını sağlayınca kadar ardışık olarak devam etmektedir. Bu makalede, Ege bölgesine ait SSMY verileri literatürde yaygın olarak kullanılan bulanık c-ortalamar (fuzzy c-means) yöntemi kullanılarak kümeleme analizine tabi tutulmuştur [17]. Aşağıda, bulanık c-ortalamar yöntemi ile ilgili detaylı bilgi verilmiş ve yağış verilerinin nasıl benzer gruplar altına toplandığı detaylı olarak anlatılmıştır.

Tablo 2: KDGA performans değerlendirilmesi.

Denklem	İstatistik Değerlendirme	FDS	CPU	Performans Ölçütleri			
				MSE	MAE	E	R2
1	Minimum	7260	2.02	0.0048	0.0366	0.9223	0.9248
	Ortalama	7625	3.07	0.0106	0.0628	0.9504	0.9523
	Maksimum	8040	4.39	0.0227	0.0958	0.9719	0.9742
2	Minimum	17320	5.25	0.0039	0.0304	0.9326	0.9329
	Ortalama	19100	8.06	0.0088	0.0480	0.9585	0.9587
	Maksimum	20360	11.86	0.0195	0.0771	0.9793	0.9798
3	Minimum	100000	55.64	0.0006	0.0129	0.9796	0.9799
	Ortalama	106656	91.26	0.0018	0.0226	0.9915	0.9916
	Maksimum	111230	138.67	0.0049	0.0412	0.9959	0.9959
4	Minimum	873700	719.28	0.0005	0.0129	0.9809	0.9810
	Ortalama	955169	1236.27	0.0017	0.0215	0.9921	0.9922
	Maksimum	1000000	1985.49	0.0046	0.0390	0.9961	0.9961
5	Minimum	18080	4.86	0.0005	0.0124	0.9744	0.9745
	Ortalama	20501	7.53	0.0026	0.0246	0.9878	0.9878
	Maksimum	22040	11.30	0.0062	0.0459	0.9963	0.9964
6	Minimum	33400	10.60	0.0005	0.0123	0.9789	0.9792
	Ortalama	52819	23.48	0.0021	0.0225	0.9900	0.9901
	Maksimum	83350	45.62	0.0050	0.0427	0.9965	0.9965
7	Minimum	18840	4.61	0.0013	0.0181	0.9663	0.9664
	Ortalama	20780	6.81	0.0041	0.0308	0.9813	0.9814
	Maksimum	22680	9.73	0.0099	0.0511	0.9920	0.9920
8	Minimum	37000	10.44	0.0007	0.0146	0.9717	0.9720
	Ortalama	39716	16.11	0.0026	0.0251	0.9880	0.9880
	Maksimum	42700	24.24	0.0060	0.0474	0.9955	0.9955

4.1 Bulanık c-ortalamlar (fuzzy c-means) yöntemi

Bu yöntemde, her bir veri noktası ilgili küme merkezlerine tanımlanan bir uygunluk değeri ile bağlıdır. Hangi veri noktasının hangi kümeye ait olacağı, hesaplanan uygunluk fonksiyonu değerine göre belirlenmektedir. Bu yaklaşıma göre, maksimum uygunluk değerini veren küme merkezi, ilgili veri noktasını içerecek şekilde kümeleme analizi yapılmaktadır. Bir veri noktasının bütün kümelere ait uygunluk değerlerinin toplamı 1 olmaktadır. Literatürde Bulanık c-ortalamlar yönteminin farklı alanlara uygulandığı görülmektedir. Bunlardan bazıları, veri madenciliği [18]-[20], soğutma sistemlerinin tasarımı [21], sismik parametrelerin değerlendirilmesi [22] sediment sınıflandırılması [23] gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır. Bulanık c-ortalamlar yönteminde, kümeleme işlemi küme merkezi ile noktaların arasındaki uzaklıkların kareleri toplamını minimum yapacak şekilde tanımlanan bir amaç fonksiyonu ile ifade edilmektedir.

Yöntem, aşağıdaki hesap adımlarına göre kümeleme işlemini yapmaktadır:

$X = \{x_j\}_{j=1}^n \subseteq R^d$, c küme sayısını, n kümelenecek veri sayısını göstermek üzere, X veri setinin c adet kümeye bölünebilmesi için $c \times n$ boyutunda ve denklem (13.1-13.4)'de belirtilen koşulları sağlayan üyelik matrisi $U = [u_{i,j}]$, başlangıçta tamamen rastgele olarak oluşturulmaktadır.

$$0 \leq u_{ij} \leq 1 \quad i = 1,2,3, \dots, c; \quad j = 1,2,3, \dots, n \quad (13.1)$$

$$\sum_{i=1}^c u_i = 1 \quad j = 1,2,3, \dots, n \quad (13.2)$$

$$\sum_{j=1}^n u_i > 0 \quad i = 1,2,3, \dots, c \quad (13.3)$$

Burada; U_{ij} , i -no'lu küme merkezinden j -no'lu veri noktasına olan üyelik değerini göstermektedir. Hesaplanan üyelik değerleri kullanılarak aşağıdaki amaç fonksiyonunun minimize edilmesiyle kümeleme işlemi yapılmaktadır.

$$J_{\hat{m}}(U, V) = \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n u_{ij}^{\hat{m}} \|x_j\| \quad (13.4)$$

Burada; \hat{m} üyelik değerlerinin ağırlıklarını ayarlamakta kullanılan bulanıklık terimini,

($1 \leq \hat{m} \leq 2$), $\|\cdot\|$, normu ve $V = \{v_i\}_{i=1}^c \subset R^d$ ise; küme merkezlerini küme merkezlerini göstermektedir. Bu makalede uzaklıkları belirlemek için Öklid normu kullanılmıştır. Bu işlem; Denklem (13.4)'ün V 'ye göre kısmi türevi alınıp sifıra eşitlenmesiyle aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$V_i = \frac{\sum_{j=1}^n u_{ij}^{\hat{m}} x_j}{\sum_{j=1}^n u_{ij}^{\hat{m}}} \quad i = 1, 2, 3, \dots, c \quad (13.5)$$

Daha sonra hesaplanan küme merkezleri için yeni uygunluk fonksiyonları Denklem (13.4)'ün U 'ya göre kısmi türevinin sifıra eşitlenmesi sonucu Denklem (13.6) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$u_{ij} = \left[\sum_{k=1}^c \left(\frac{\|x_j - v_k\|}{\|x_j - v_i\|} \right)^{\frac{2}{\hat{m}-1}} \right]^{-1} \quad i = 1, 2, 3, \dots, c; \quad (13.6)$$

$$j = 1, 2, 3, \dots, n$$

Denklem (13.6) kullanılarak güncellenen üyelik değerleri ile Denklem (13.4) ile (13.6) arasındaki işlemler tekrar yapılmakta ve aşağıda tanımlanan durma koşulu sağlanıncaya kadar devam etmektedir.

$$\|v^{(j+1)} - v^{(j)}\| < \zeta \quad (13.7)$$

Denklem (13.7)'de $v^{(j+1)}$ ve $v^{(j)}$ değerleri sırasıyla $l + 1$ ve l -inci iterasyonlardaki küme merkezlerini, ζ ise iki iterasyon arasında sağlanması gereken hoşgörü (tolerans) sınırını ifade etmektedir.

Yazar tarafından kaynak [2]'de belirtilen proje kapsamında, benzer yağış özelliklerine sahip veri setini bulanık c-ortalama yöntemleriyle kümelemek için; MATLAB ortamında çözüm için bir kod geliştirilmiş ve farklı standart sürelerde aynı özelliklere sahip istasyonların kümelenebilirliği gerçekleştirilmiştir. Bulanık c-ortalama yöntemleri ile literatürde kullanılan diğer kümeleme yöntemlerinin tümünde karşılaşılan en önemli sorun, hesap başlangıcında küme sayısının seçilmesidir. Ancak, küme sayısı bir bilinmeyen olup, uygun küme sayısı deneme-yanılma sonucu bulunabilmektedir. Ayrıca küme sayısının belirlenebilmesi için farklı araştırmacılar tarafından önerilen indeksleme yaklaşımları bulunmaktadır [24]-[28]. Bu indeksleme yöntemlerinde de maksimum küme sayısının önceden seçilmesi gerekmektedir. En uygun küme sayısının ne olması gerektiği konusunda net bir yaklaşım bulunmamakla birlikte pek çok araştırmacının maksimum küme sayısının istasyon sayısının karekökünden küçük olması gerektiği konusunda hem fikirdirler [28]. Bu çalışmadaki istasyon sayısı 32 olduğundan kullanılabilir maksimum küme sayısı 6 olarak seçilmiştir. Bulanık c-ortalama yöntemiyle küme sayısı 6 seçilerek yapılan analiz sonuçları Tablo 3'te özetlenmiştir.

Tablo 3: Bulanık C ortalama kümeleme analizi sonuçları.

Küme No	İstasyon No	İstasyon Adı
1	3	Akhisar
	4	Aydın
	11	Denizli
	17	Güney
	24	Nazilli
	26	Salihli
	28	Simav
	29	Sultanhisar
	30	Tavşanlı
	2	6
12		Dikili
20		Manisa
32		Yatağan
5		Ayvalık
9		Bornova
10		Çeşme
14		Edremit
18		İzmir
22		Milas
3	27	Selçuk
	7	Bodrum
	15	Fethiye
	23	Muğla
	1	Acıpayam
	2	Afyon
	8	Bolvadin
	13	Dinar
	16	Gediz
	19	Kütahya
4	25	Ödemiş
	31	Uşak
	21	Marmaris

Tablo 3'ten görüleceği gibi Marmaris istasyonu diğerlerinden farklı bir davranış göstermiştir. Aynı istasyon küme sayısı 4 ve 5 seçildiğinde de diğerlerinden farklı davranış göstermiştir. Bu nedenle tekil olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 3'te verilen kümeleme analizi sonuçlarına göre GEV dağılımına dayalı olarak elde edilen 6 denklemi için KDGA kullanılarak, elde edilen bölgesel bağıntıların katsayıları, fonksiyon değerlendirme sayıları (FDS), bilgi-işlem süreleri (CPU) ve farklı performans değerlendirme ölçütleri Tablo 4'te verilmiştir. Tablo 4'ten görüleceği gibi Bölgesel bağıntılarda performans ölçütlerinde çok az bir düşüş olmasına karşılık tüm bölgeler için model etkinlik katsayısı (E) ve R^2 değerleri 0.96'dan büyüktür.

Tablo 5'te Noktasal ve bölgesel analizler için model performansları karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır. Tablo 4 ve 5'te verilen sonuçlar; uygulama açısından bölgesel bağıntıların noktasal bağıntılar yerine güvenle kullanılabilirliğini göstermektedir.

5 Sonuçlar

Bu çalışmada önerilen KDGA-ŞSF modeliyle; literatürde sıklıkla kullanılan "DE/rand/1", "DE/rand/2" ve "DE/current-to-best/1" gibi üç mutasyon stratejisi ile önceki çalışmalarda önerilen $F=[1, 1, 0.8]$ ve $CR=[0.1, 0.9, 0.2]$ değerleri arasından rastgele seçilen kombinasyonlarının kullanımıyla strateji seçimi ve F ve CR gibi kontrol parametrelerinin deneme-yanılma prosedürüyle seçimi ortadan kaldırılmış ve çözüm kalitesi de artırılmıştır.

Tablo 4: GEV dağılımına dayalı bölgesel YSSF bağıntılarının katsayıları ve performans ölçütleri.

ALT B.	wo	w1	w2	w3	w4	FDS	CPU	Performans Değerlendirme Ölçütü			
								MSE	MAE	E	R ²
I	2.5848	2.2404	1.02E-01	5.7176	0.7691	37400	116.67	0.0069	0.0347	0.9642	0.9643
II	2.3095	2.7347	1.67E-15	5.6340	0.7352	73750	118.31	0.0027	0.0264	0.9866	0.9866
III	2.6845	2.4648	2.18E-15	5.5283	0.7151	86950	240.36	0.0047	0.0357	0.9827	0.9828
IV	2.3192	3.2105	8.51E-16	5.4361	0.7028	74050	108.98	0.0050	0.0419	0.9839	0.9839
V	3.1125	2.0790	5.23E-02	6.8073	0.8275	35700	105.58	0.0037	0.0256	0.9760	0.9760
VI	2.2354	3.5487	1.18E-01	5.9459	0.6136	37900	16.58	0.0050	0.0427	0.9907	0.9910

Tablo 5: Bölgesel ve noktasal analiz sonuçlarının karşılaştırılması.

ALT BÖLGE	İstasyon	Noktasal Analiz				Bölgesel Analiz			
		Performans Değerlendirme Ölçütü				Performans Değerlendirme Ölçütü			
		MSE	MAE	E	R ²	MSE	MAE	E	R ²
I	Akhisar	0.0025	0.0231	0.9898	0.9898	0.0106	0.0347	0.9574	0.9726
	Aydın	0.0038	0.0275	0.9789	0.9792	0.0078	0.0394	0.9571	0.9597
	Denizli	0.0034	0.0261	0.9833	0.9833	0.0041	0.0284	0.9802	0.9818
	Güney	0.0021	0.0243	0.9864	0.9864	0.0059	0.0373	0.9617	0.9801
	Nazilli	0.0024	0.0220	0.9842	0.9842	0.0045	0.0266	0.9709	0.9808
	Salihli	0.0017	0.0202	0.9909	0.9910	0.0039	0.0270	0.9792	0.9798
	Simav	0.0018	0.0182	0.9885	0.9886	0.0049	0.0375	0.9688	0.9825
	Sultanhisar	0.0019	0.0197	0.9875	0.9875	0.0070	0.0314	0.9531	0.9714
Tavşanlı	0.0037	0.0282	0.9864	0.9866	0.0131	0.0473	0.9516	0.9821	
II	Bergama	0.0013	0.0179	0.9947	0.9947	0.0036	0.0295	0.9849	0.9925
	Dikili	0.0014	0.0196	0.9929	0.9929	0.0022	0.0226	0.9886	0.9897
	Manisa	0.0011	0.0181	0.9941	0.9941	0.0022	0.0255	0.9884	0.9914
	Yatağan	0.0027	0.0224	0.9872	0.9872	0.0033	0.0286	0.9844	0.9849
III	Ayvalık	0.0025	0.0268	0.9913	0.9914	0.0043	0.0273	0.9847	0.9856
	Bornova	0.0017	0.0205	0.9921	0.9921	0.0059	0.0418	0.9731	0.9909
	Çeşme	0.0038	0.0356	0.9870	0.9872	0.0049	0.0387	0.9834	0.9853
	Edremit	0.0024	0.0253	0.9900	0.9901	0.0041	0.0294	0.9829	0.9869
	İzmir	0.0013	0.0173	0.9946	0.9946	0.0035	0.0323	0.9861	0.9900
	Milas	0.0020	0.0245	0.9937	0.9937	0.0060	0.0443	0.9809	0.9887
	Selçuk	0.0014	0.0230	0.9957	0.9957	0.0052	0.0378	0.9839	0.9927
IV	Bodrum	0.0017	0.0216	0.9950	0.9950	0.0046	0.0362	0.9866	0.9910
	Fethiye	0.0027	0.0322	0.9916	0.9917	0.0041	0.0389	0.9869	0.9888
	Muğla	0.0020	0.0208	0.9930	0.9930	0.0059	0.0482	0.9789	0.9866

Tablo 5: Bölgesel ve noktasal analiz sonuçlarının karşılaştırılması.

ALT BÖLGE	İstasyon	Noktasal Analiz				Bölgesel Analiz			
		Performans Değerlendirme Ölçütü				Performans Değerlendirme Ölçütü			
V	Acıpayam	0.0025	0.0223	0.9828	0.9829	0.0029	0.0228	0.9802	0.9808
	Afyon	0.0012	0.0177	0.9916	0.9916	0.0022	0.0258	0.9845	0.9887
	Bolvadin	0.0027	0.0262	0.9851	0.9851	0.0082	0.0347	0.9555	0.9615
	Dinar	0.0010	0.0157	0.9925	0.9925	0.0025	0.0204	0.9811	0.9887
	Gediz	0.0013	0.0167	0.9934	0.9934	0.0046	0.0270	0.9757	0.9891
	Kütahya	0.0025	0.0189	0.9870	0.9870	0.0047	0.0303	0.9752	0.9856
	Ödemiş	0.0008	0.0141	0.9931	0.9931	0.0037	0.0239	0.9693	0.9876
Uşak	0.0005	0.0123	0.9965	0.9965	0.0022	0.0207	0.9843	0.9871	
VI	Marmaris	0.0050	0.0427	0.9907	0.9910	0.0050	0.0427	0.9907	0.9910

KDGA-ŞSF ile Ege Bölgesinde yer alan 32 MGM istasyonunun SSMY gözlem değerleri kullanılarak; ampirik ve istatistiksel formüllere dayalı olarak geliştirilen 8 farklı ŞSF bağıntısının optimal ağırlık parametreleri belirlenmiştir.

Yapılan analizler; bölge genelinde polinom tipindeki ampirik bağıntının gözlem sonuçlarını en iyi şekilde temsil ettiğini göstermiştir. Ancak, ilgili denklemin ağırlık katsayılarının belirlenmesi için gerekli fonksiyon değerlendirme sayısı (FDS) ve bilgi-işlem süresi (CPU) diğer algoritmalarda olduğu gibi oldukça uzun süre gerektirmektedir. Bu nedenle; kümeleme analizinde belirtilen bağıntılara en yakın, ancak çok hızlı sonuç veren GEV dağılımına dayalı bağıntı kullanılmış ve Bulanık C Ortalamalar kümeleme analizi ile bölge 6 homojen alt bölgeye ayrılmıştır. Her alt bölge için elde edilen denklemler kullanılarak alt bölge içindeki istasyonların model performansları, noktasal analiz sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Bölgesel analiz sonuçlarının noktasal analiz sonuçlarına göre çok az bir miktar düşük olmasına karşılık E ve R^2 değerlerinin 0.96'dan büyük olması bölgesel analiz sonuçlarının güvenle kullanılabileceğini göstermektedir. Bölgede yer alan Marmaris istasyonun yağış özellikleri açısından bölgedeki diğer istasyonlardan farklı bir davranış gösterdiği görülmüştür. Bu durumun coğrafi konumdan kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

6 Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan veriler yazarın yöneticiliğinde tamamlanmış olan 108Y299 No'lu TÜBİTAK projesinde kullanılan verilerin güncellenmesiyle elde edilmiştir. Yazar desteklerinden dolayı TÜBİTAK ve çalışmada kullanılan SSMY verilerinin temin edildiği MGM'e teşekkürlerini sunar.

7 Kaynaklar

[1] Karahan H. "Şiddet-Süre-frekans bağıntısının armoni araştırma tekniği ile belirlenmesi ve ege bölgesi istasyonları için uygulama". *VI. Ulusal Hidroloji Kongresi*, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye, 22-24 Eylül 2010.

- [2] Karahan H. "Bölgesel Yağış-Şiddet-Süre-Frekans Bağıntılarının Diferansiyel Gelişim Algoritması Kullanılarak Elde Edilmesi", TÜBİTAK (108Y299), Sonuç Raporu, 2011.
- [3] Chen CI. "Rainfall intensity-duration-frequency formulas", *J. Hydraul. Eng.* 109(12),1603-1621,1983.
- [4] Koutsoyiannis D, Kozonis D, Manetas A. "A mathematical framework for studying rainfall intensity-duration-frequency relationships". *Journal of Hydrology*, 206, 118-135, 1998.
- [5] Karahan H, Ceylan H, Ayvaz, MT. "Predicting Rainfall-Intensity using Genetic Algorithm Approach". *Hydrological Processes*, 21(4), 470-475, 2007.
- [6] Karahan H, Özkan E. "Ege bölgesi standart süreli yıllık maksimum yağışları için en uygun dağılımlar", *Pamukkale Univ. Müh Bilim Dergisi*,19(3),152-157,2013.
- [7] Karahan H, Ayvaz, MT, Gürarslan G. "Şiddet-süre frekans bağıntısının Genetik Algoritma ile belirlenmesi: GAP Örneği", *İMO Teknik Dergi*, 4393-4407, 2008.
- [8] Eryiğit M, Karahan H. "Şiddet-Süre-Frekans bağıntısının yapay bağışıklık algoritması kullanılarak belirlenmesi". *VII. Ulusal Hidroloji Kongresi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, İsparta, Türkiye, 22-24 Eylül 2013.
- [9] Storn R, Price K. "Differential evolution: A simple and efficient adaptive scheme for global optimization over continuous spaces", *Int. Comput. Sci. Inst., Berkeley, CA, Tech. Rep. TR-95-012*, 1995.
- [10] Storn R, Price KV. "Differential evolution: A simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces". *J. Global Opt.*, 11(4), 341-359,1997.
- [11] Gämperle R, Müller SD, Koumoutsakos, P. "A parameter study for differential evolution" *Int. on Advances in Intelligent Systems, Fuzzy Systems, Evolutionary Computation*, A. Grmela and N. E. Mastorakis, Eds. Interlaken, Switzerland: WSEAS Press, 293-298, 2002.
- [12] Ronkkonen J S, Kukkonen S, Price, KV. "Real parameter optimization with differential evolution". *in Proc. IEEE CEC*, 1, 506-513, 2005.

- [13] Liu, J. and Lampinen, J. "A fuzzy adaptive differential evolution algorithmé, *Soft Comput. A Fusion Found. Methodol. Applicat.*, 9(6), 448-462, 2005.
- [14] Teo J. "Exploring dynamic self-adaptive populations in differential evolution," *Soft Comput.*, 10(8), 637-686, 2006.
- [15] Qin K, Suganthan PN., "Self-adaptive differential evolution algorithm for numerical optimization," in *Proc. IEEE Congr. Evolut. Comput.*, Edinburgh, Scotland, 1785-1791, Sep. 2005.
- [16] Karahan H. "Determining Rainfall-Intensity Duration Frequency Relationship Using Particle Swarm Optimization". *KSCE Journal of Civil Engineering*, 16(4), 667-675, 2012.
- [17] Bezdek JC. *Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms*. Plenum Press, New York, USA, doi: 10.1007/978-1-4757-0450-1, 1981.
- [18] Agrawal R, Imilinski T, Swami A. "Mining Association Rules between sets of items in large database", *ACM SIGMOD*, 27, 207-216, 1993.
- [19] Fu A, Knok CM, Wong MH. "Mining Association Rules database". *ACM SIGMOD*, 27, 41-46, 1998.
- [20] Kandel A, Last M, Bunke H. "Data Mining and Computational Intelligence". Physica- Verlag, 2001.
- [21] Wichasilp C, Wiriryasuttiwong W, Kantapanit K, "Design of fuzzy logic controllers by fuzzy c-means clustering". *Thammasat Int. J. Sc. Tech.*, 8,12-16, 2003.
- [22] Zhao F, Le L. "Fuzzy C-means Clustering for 3D Seismic Parameters Processing", *Journal of Geography and Geology*, 1, 47-50, 2009.
- [23] Lucieer V, Lucieer A. "Fuzzy clustering for sea floor classification", *Marine Geology*, 264 (3-4), 230-241, 2009.
- [24] Pal R, Bezdek, JC. "On Cluster validity for the fuzzy c-means model", *IEEE Trans. On Fuzzy Systems*, 3,370-379, 1995.
- [25] Velthuizen RP, Hall LO, Clarke LP, Silbiger ML. "An investigation of mountain method clustering for large data sets", *Pattern Recognition*, 30, 1121-1135, 1997.
- [26] Sugar C A, James GM. "Finding the number of clusters in a data set: an information-theoretic approach", *J. Am. Statist. Ass.*, 98, 750-763, 2003.
- [27] Shen J, Chang SI, Lee E S, Deng Y, Brown SJ, "Determination of cluster number in clustering microarray data Judong", *Applied Mathematics and Computation*, 169, 1172-1185, 2005.
- [28] Zhang Y, Wang W, Zhang X, Li Y. "A cluster validity index for fuzzy clustering". *Information Sciences*, 178, 1205-1218, 2008.

8 Ek A

A.1: Denklem (1) için KDGA-RIDF modelinin performansı.

İstasyon	MSE			İterasyon	FDS	CPU	Performans Değerlendirme Ölçütü			
	En İyi	Ortalama	Std.Sapma				MSE	MAE	E	R2
1	0.0102	0.0102	1.25E-14	255	7650	2.93	0.0102	0.0600	0.9310	0.9348
2	0.0085	0.0085	2.22E-14	248	7440	3.14	0.0085	0.0510	0.9393	0.9407
3	0.0093	0.0093	2.13E-14	259	7770	3.07	0.0093	0.0511	0.9625	0.9637
4	0.0085	0.0085	4.13E-14	255	7650	3.28	0.0085	0.0553	0.9535	0.9561
5	0.0129	0.0129	1.45E-14	265	7950	3.05	0.0129	0.0779	0.9541	0.9573
6	0.0081	0.0081	2.53E-14	242	7260	2.75	0.0081	0.0527	0.9660	0.9668
7	0.0113	0.0113	6.31E-15	252	7560	2.95	0.0113	0.0710	0.9669	0.9692
8	0.0109	0.0109	1.77E-14	252	7560	2.58	0.0109	0.0647	0.9411	0.9430
9	0.0113	0.0113	2.36E-14	248	7440	2.77	0.0113	0.0606	0.9483	0.9492
10	0.0227	0.0227	1.85E-14	247	7410	2.86	0.0227	0.0958	0.9228	0.9261
11	0.0116	0.0116	3.71E-15	256	7680	3.31	0.0116	0.0674	0.9436	0.9454
12	0.0069	0.0069	1.10E-14	252	7560	3.29	0.0069	0.0496	0.9637	0.9650
13	0.0099	0.0099	2.66E-14	254	7620	2.87	0.0099	0.0597	0.9243	0.9265
14	0.0106	0.0106	1.09E-14	256	7680	3.03	0.0106	0.0684	0.9557	0.9578
15	0.0138	0.0138	7.58E-15	268	8040	3.45	0.0138	0.0847	0.9563	0.9585
16	0.0065	0.0065	2.14E-14	256	7680	2.66	0.0065	0.0500	0.9658	0.9670
17	0.0119	0.0119	5.40E-15	256	7680	2.80	0.0119	0.0661	0.9223	0.9248
18	0.0070	0.0070	2.94E-14	254	7620	4.39	0.0070	0.0476	0.9716	0.9725
19	0.0106	0.0106	3.92E-15	255	7650	3.99	0.0106	0.0612	0.9435	0.9453

A.1: Devamı.

İstasyon	MSE			İterasyon	FDS	CPU	Performans Değerlendirme Ölçütü			
	En İyi	Ortalama	Std.Sapma				MSE	MAE	E	R2
20	0.0106	0.0106	1.73E-14	258	7740	3.41	0.0106	0.0658	0.9431	0.9452
21	0.0150	0.0150	1.41E-14	262	7860	3.02	0.0150	0.0886	0.9719	0.9742
22	0.0162	0.0162	9.87E-15	256	7680	3.02	0.0162	0.0845	0.9484	0.9511
23	0.0155	0.0155	1.28E-14	247	7410	3.99	0.0155	0.0676	0.9447	0.9457
24	0.0093	0.0093	3.54E-14	249	7470	2.02	0.0093	0.0568	0.9397	0.9422
25	0.0060	0.0060	1.06E-14	251	7530	2.76	0.0060	0.0440	0.9502	0.9516
26	0.0077	0.0077	7.86E-15	247	7410	2.79	0.0077	0.0582	0.9588	0.9615
27	0.0111	0.0111	8.95E-15	256	7680	3.02	0.0111	0.0640	0.9656	0.9669
28	0.0050	0.0050	3.03E-14	257	7710	3.03	0.0050	0.0366	0.9686	0.9694
29	0.0098	0.0098	1.37E-14	244	7320	2.27	0.0098	0.0544	0.9343	0.9360
30	0.0122	0.0122	5.43E-15	267	8010	2.92	0.0122	0.0719	0.9550	0.9580
31	0.0048	0.0048	3.83E-15	249	7470	3.96	0.0048	0.0453	0.9660	0.9675
32	0.0141	0.0141	2.30E-14	260	7800	3.00	0.0141	0.0754	0.9329	0.9361
Minimum	0.0048	0.0048	3.71E-15	242	7260	2.02	0.0048	0.0366	0.9223	0.9248
Ortalama	0.0106	0.0106	1.61E-14	254	7625	3.07	0.0106	0.0628	0.9504	0.9523
Maksimum	0.0227	0.0227	4.13E-14	268	8040	4.39	0.0227	0.0958	0.9719	0.9742

A.2: Denklem (2) için KDGA-RIDF modelinin performansı.

İstasyon	MSE			İterasyon	FDS	CPU	Performans Değerlendirme Ölçütü			
	En İyi	Ortalama	Std.Sapma				MSE	MAE	E	R2
1	0.0081	0.0081	1.04E-14	466	18640	7.18	0.0081	0.0419	0.9451	0.9455
2	0.0077	0.0077	9.79E-15	500	20000	8.81	0.0077	0.0416	0.9455	0.9456
3	0.0085	0.0085	4.81E-14	507	20280	8.35	0.0085	0.0432	0.9659	0.9661
4	0.0073	0.0073	8.00E-14	489	19560	8.74	0.0073	0.0406	0.9598	0.9604
5	0.0097	0.0097	2.18E-14	473	18920	7.52	0.0097	0.0550	0.9656	0.9662
6	0.0074	0.0074	3.92E-14	477	19080	7.56	0.0074	0.0440	0.9686	0.9687
7	0.0073	0.0073	3.72E-14	433	17320	7.15	0.0073	0.0464	0.9787	0.9788
8	0.0088	0.0088	6.89E-15	496	19840	6.99	0.0088	0.0480	0.9525	0.9526
9	0.0103	0.0103	1.70E-14	484	19360	7.57	0.0103	0.0502	0.9526	0.9527
10	0.0195	0.0195	1.30E-14	468	18720	7.59	0.0195	0.0771	0.9337	0.9342
11	0.0103	0.0103	2.35E-14	478	19120	8.73	0.0103	0.0519	0.9497	0.9500
12	0.0061	0.0061	1.18E-14	471	18840	8.61	0.0061	0.0417	0.9679	0.9681
13	0.0087	0.0087	3.20E-14	486	19440	7.60	0.0087	0.0449	0.9338	0.9340
14	0.0088	0.0088	3.23E-14	472	18880	7.83	0.0088	0.0510	0.9634	0.9638
15	0.0108	0.0108	7.46E-15	459	18360	8.23	0.0108	0.0609	0.9659	0.9662
16	0.0056	0.0056	9.13E-15	476	19040	6.90	0.0056	0.0371	0.9706	0.9708
17	0.0103	0.0103	2.96E-14	473	18920	7.28	0.0103	0.0503	0.9326	0.9329

A.2: Devamı.

İstasyon	MSE			İterasyon	FDS	CPU	Performans Değerlendirme Ölçütü			
	En İyi	Ortalama	Std.Sapma				MSE	MAE	E	R2
18	0.0064	0.0064	4.21E-14	489	19560	11.86	0.0064	0.0385	0.9742	0.9743
19	0.0082	0.0082	2.31E-14	463	18520	10.12	0.0082	0.0446	0.9563	0.9563
20	0.0083	0.0083	3.40E-14	470	18800	8.72	0.0083	0.0513	0.9553	0.9554
21	0.0110	0.0110	2.74E-14	476	19040	7.70	0.0110	0.0681	0.9793	0.9798
22	0.0121	0.0121	3.55E-14	458	18320	7.55	0.0121	0.0607	0.9615	0.9616
23	0.0147	0.0147	2.25E-14	464	18560	10.43	0.0147	0.0632	0.9479	0.9480
24	0.0069	0.0069	1.94E-14	464	18560	5.25	0.0069	0.0362	0.9558	0.9559
25	0.0052	0.0052	5.25E-14	487	19480	7.48	0.0052	0.0354	0.9563	0.9564
26	0.0059	0.0059	2.97E-14	489	19560	7.75	0.0059	0.0400	0.9684	0.9687
27	0.0096	0.0096	1.41E-14	486	19440	8.01	0.0096	0.0561	0.9701	0.9702
28	0.0041	0.0041	2.27E-14	509	20360	8.37	0.0041	0.0304	0.9743	0.9743
29	0.0089	0.0089	8.13E-15	476	19040	6.17	0.0089	0.0458	0.9403	0.9404
30	0.0099	0.0099	1.72E-14	494	19760	7.55	0.0099	0.0497	0.9634	0.9640
31	0.0039	0.0039	4.01E-14	476	19040	10.55	0.0039	0.0352	0.9719	0.9720
32	0.0115	0.0115	3.21E-14	471	18840	7.64	0.0115	0.0546	0.9456	0.9459
Minimum	0.0039	0.0039	0.0000	433	17320	5.25	0.0039	0.0304	0.9326	0.9329
Ortalama	0.0088	0.0088	0.0000	478	19100	8.06	0.0088	0.0480	0.9585	0.9587
Maksimum	0.0195	0.0195	0.0000	509	20360	11.86	0.0195	0.0771	0.9793	0.9798

A.3: Denklem (3) için KDGA-RIDF modelinin performansı.

İstasyon	MSE			İterasyon	FDS	CPU	Performans Değerlendirme Ölçütü			
	En İyi	Ortalama	Std.Sapma				MSE	MAE	E	R2
1	0.0023	0.0023	2.35E-14	1439	100730	76.41	0.0023	0.0233	0.9843	0.9847
2	0.0009	0.0009	7.87E-14	1504	105280	96.01	0.0009	0.0168	0.9938	0.9938
3	0.0024	0.0024	6.31E-14	1585	110950	92.51	0.0024	0.0230	0.9903	0.9903
4	0.0037	0.0037	1.04E-14	1537	107590	98.11	0.0037	0.0284	0.9796	0.9799
5	0.0023	0.0023	3.71E-14	1510	105700	86.27	0.0023	0.0280	0.9917	0.9921
6	0.0013	0.0013	4.04E-14	1589	111230	89.12	0.0013	0.0188	0.9945	0.9945
7	0.0014	0.0014	6.07E-14	1489	104230	86.86	0.0014	0.0201	0.9959	0.9959
8	0.0019	0.0019	7.03E-14	1506	105420	74.30	0.0019	0.0230	0.9895	0.9895
9	0.0013	0.0013	7.12E-14	1577	110390	86.77	0.0013	0.0223	0.9939	0.9939
10	0.0027	0.0027	6.72E-14	1467	102690	83.73	0.0027	0.0367	0.9907	0.9913
11	0.0016	0.0016	2.39E-14	1559	109130	101.50	0.0016	0.0227	0.9920	0.9921
12	0.0016	0.0016	7.55E-14	1575	110250	102.75	0.0016	0.0217	0.9915	0.9916
13	0.0006	0.0006	8.06E-14	1464	102480	80.14	0.0006	0.0151	0.9951	0.9952
14	0.0024	0.0024	3.02E-14	1575	110250	91.92	0.0024	0.0261	0.9900	0.9901
15	0.0019	0.0019	1.69E-14	1502	105140	95.82	0.0019	0.0289	0.9940	0.9943

A.3: Devamı.

İstasyon	MSE			İterasyon	FDS	CPU	Performans Değerlendirme Ölçütü			
	En İyi	Ortalama	Std.Sapma				MSE	MAE	E	R2
16	0.0012	0.0012	1.36E-14	1541	107870	77.61	0.0012	0.0164	0.9935	0.9935
17	0.0013	0.0013	4.66E-14	1549	108430	83.01	0.0013	0.0193	0.9915	0.9915
18	0.0013	0.0013	5.61E-14	1562	109340	138.67	0.0013	0.0190	0.9947	0.9947
19	0.0013	0.0013	4.86E-14	1445	101150	115.04	0.0013	0.0184	0.9932	0.9932
20	0.0009	0.0009	4.45E-15	1501	105070	99.43	0.0009	0.0176	0.9950	0.9950
21	0.0049	0.0049	6.61E-14	1537	107590	87.71	0.0049	0.0412	0.9908	0.9911
22	0.0019	0.0019	1.30E-13	1510	105700	88.01	0.0019	0.0279	0.9939	0.9943
23	0.0014	0.0014	4.82E-14	1555	108850	127.60	0.0014	0.0205	0.9949	0.9949
24	0.0026	0.0026	1.94E-14	1470	102900	55.64	0.0026	0.0222	0.9835	0.9835
25	0.0009	0.0009	6.35E-14	1560	109200	83.75	0.0009	0.0148	0.9925	0.9925
26	0.0018	0.0018	5.81E-14	1484	103880	83.10	0.0018	0.0215	0.9905	0.9907
27	0.0014	0.0014	3.91E-14	1547	108290	90.09	0.0014	0.0228	0.9958	0.9958
28	0.0019	0.0019	5.80E-14	1540	107800	89.84	0.0019	0.0188	0.9882	0.9883
29	0.0014	0.0014	5.06E-14	1577	110390	70.44	0.0014	0.0197	0.9910	0.9910
30	0.0034	0.0034	3.87E-14	1503	105210	80.65	0.0034	0.0320	0.9875	0.9881
31	0.0006	0.0006	3.14E-14	1510	105700	122.43	0.0006	0.0129	0.9958	0.9958
32	0.0023	0.0023	5.04E-14	1488	104160	85.05	0.0023	0.0223	0.9890	0.9891
Minimum	0.0006	0.0006	4.45E-15	1439	100730	55.64	0.0006	0.0129	0.9796	0.9799
Ortalama	0.0018	0.0018	4.91E-14	1524	106656	91.26	0.0018	0.0226	0.9915	0.9916
Maksimum	0.0049	0.0049	1.30E-13	1589	111230	138.67	0.0049	0.0412	0.9959	0.9959

A.4: Denklem (4) için KDGA-RIDF modelinin performansı.

İstasyon	MSE			İterasyon	FDS	CPU	Performans Değerlendirme Ölçütü			
	En İyi	Ortalama	Std.Sapma				MSE	MAE	E	R2
1	0.0022	0.0022	4.54E-13	9978	997800	1171.07	0.0022	0.0206	0.9851	0.9851
2	0.0008	0.0008	7.60E-14	8925	892500	1258.24	0.0008	0.0159	0.9946	0.9947
3	0.0022	0.0022	6.71E-14	9383	938300	1222.00	0.0022	0.0236	0.9910	0.9911
4	0.0035	0.0035	8.23E-14	9352	935200	1341.17	0.0035	0.0271	0.9809	0.9810
5	0.0022	0.0022	7.93E-14	10000	1000000	1250.46	0.0022	0.0256	0.9921	0.9922
6	0.0012	0.0012	3.67E-14	9464	946400	1183.93	0.0012	0.0179	0.9948	0.9948
7	0.0013	0.0013	5.64E-14	9526	952600	1244.27	0.0013	0.0212	0.9961	0.9961
8	0.0016	0.0016	6.18E-14	9583	958300	1046.92	0.0016	0.0232	0.9913	0.9914
9	0.0013	0.0013	7.64E-14	9639	963900	1184.70	0.0013	0.0216	0.9941	0.9941
10	0.0025	0.0025	3.41E-13	10000	1000000	1275.93	0.0025	0.0334	0.9914	0.9915
11	0.0014	0.0014	4.35E-14	9436	943600	1380.14	0.0014	0.0209	0.9930	0.9930
12	0.0015	0.0015	3.79E-14	9486	948600	1384.76	0.0015	0.0214	0.9919	0.9920
13	0.0006	0.0006	7.20E-14	9269	926900	1140.43	0.0006	0.0147	0.9955	0.9955

A.4: Devamı.

İstasyon	MSE			İterasyon	FDS	CPU	Performans Değerlendirme Ölçütü			
	En İyi	Ortalama	Std.Sapma				MSE	MAE	E	R2
14	0.0022	0.0022	5.51E-14	9847	984700	1286.16	0.0022	0.0240	0.9909	0.9909
15	0.0014	0.0014	4.94E-14	9992	999200	1432.98	0.0014	0.0229	0.9955	0.9955
16	0.0011	0.0011	1.83E-14	9004	900400	1010.72	0.0011	0.0168	0.9944	0.9944
17	0.0011	0.0011	5.00E-14	8737	873700	1045.97	0.0011	0.0184	0.9927	0.9928
18	0.0013	0.0013	4.60E-14	9850	985000	1985.49	0.0013	0.0185	0.9948	0.9948
19	0.0012	0.0012	1.59E-14	9183	918300	1694.74	0.0012	0.0182	0.9936	0.9936
20	0.0009	0.0009	6.54E-14	9502	950200	1413.71	0.0009	0.0167	0.9954	0.9954
21	0.0046	0.0046	1.51E-13	10000	1000000	1157.04	0.0046	0.0390	0.9914	0.9915
22	0.0015	0.0015	2.82E-13	10000	1000000	1180.04	0.0015	0.0215	0.9951	0.9951
23	0.0014	0.0014	2.41E-13	10000	1000000	1680.93	0.0014	0.0202	0.9950	0.9950
24	0.0025	0.0025	1.80E-14	9573	957300	719.28	0.0025	0.0225	0.9839	0.9839
25	0.0009	0.0009	3.39E-14	9358	935800	1014.24	0.0009	0.0148	0.9925	0.9925
26	0.0017	0.0017	4.20E-14	9180	918000	1039.47	0.0017	0.0213	0.9909	0.9910
27	0.0014	0.0014	3.47E-14	9658	965800	1138.91	0.0014	0.0237	0.9958	0.9959
28	0.0018	0.0018	9.10E-14	9713	971300	1145.53	0.0018	0.0188	0.9883	0.9884
29	0.0013	0.0013	2.74E-14	9448	944800	845.04	0.0013	0.0200	0.9911	0.9911
30	0.0031	0.0031	4.59E-12	10000	1000000	1084.53	0.0031	0.0280	0.9886	0.9887
31	0.0005	0.0005	9.22E-14	9103	910300	1505.24	0.0005	0.0129	0.9961	0.9961
32	0.0022	0.0022	3.17E-14	9465	946500	1096.65	0.0022	0.0219	0.9897	0.9897
Minimum	0.0005	0.0005	1.59E-14	8737	873700	719.28	0.0005	0.0129	0.9809	0.9810
Ortalama	0.0017	0.0017	2.32E-13	9552	955169	1236.27	0.0017	0.0215	0.9921	0.9922
Maksimum	0.0046	0.0046	4.59E-12	10000	1000000	1985.49	0.0046	0.0390	0.9961	0.9961

A.5: Denklem (5) için KDGA-RIDF modelinin performansı.

İstasyon	MSE			İterasyon	FDS	CPU	Performans Değerlendirme Ölçütü			
	En İyi	Ortalama	Std.Sapma				MSE	MAE	E	R2
1	0.0026	0.0026	2.01E-14	510	20400	6.96	0.0026	0.0234	0.9821	0.9822
2	0.0013	0.0013	1.98E-14	505	20200	7.73	0.0013	0.0199	0.9907	0.9907
3	0.0062	0.0062	3.41E-14	496	19840	7.10	0.0062	0.0381	0.9750	0.9750
4	0.0039	0.0039	2.56E-14	519	20760	8.02	0.0039	0.0275	0.9789	0.9792
5	0.0029	0.0029	3.45E-14	517	20680	7.13	0.0029	0.0274	0.9898	0.9900
6	0.0013	0.0013	1.09E-14	526	21040	7.27	0.0013	0.0183	0.9945	0.9945
7	0.0018	0.0018	1.47E-14	531	21240	7.64	0.0018	0.0221	0.9947	0.9947
8	0.0046	0.0046	1.54E-14	452	18080	5.61	0.0046	0.0316	0.9752	0.9752
9	0.0018	0.0018	3.15E-14	519	20760	7.05	0.0018	0.0209	0.9916	0.9916
10	0.0040	0.0040	2.62E-14	505	20200	7.11	0.0040	0.0363	0.9863	0.9864
11	0.0038	0.0038	1.75E-14	499	19960	7.91	0.0038	0.0271	0.9813	0.9814
12	0.0014	0.0014	3.35E-14	551	22040	8.70	0.0014	0.0196	0.9927	0.9928
13	0.0011	0.0011	1.65E-14	492	19680	6.65	0.0011	0.0160	0.9919	0.9919
14	0.0025	0.0025	8.73E-15	497	19880	7.12	0.0025	0.0255	0.9895	0.9896
15	0.0027	0.0027	3.04E-14	543	21720	8.44	0.0027	0.0329	0.9913	0.9914

A.5 Devamı.

İstasyon	MSE			İterasyon	FDS	CPU	Performans Değerlendirme Ölçütü			
	En İyi	Ortalama	Std.Sapma				MSE	MAE	E	R2
16	0.0024	0.0024	3.05E-14	525	21000	6.65	0.0024	0.0228	0.9872	0.9872
17	0.0023	0.0023	3.08E-14	515	20600	6.88	0.0023	0.0252	0.9851	0.9851
18	0.0020	0.0020	8.06E-15	544	21760	11.30	0.0020	0.0213	0.9918	0.9918
19	0.0026	0.0026	2.21E-14	484	19360	9.12	0.0026	0.0186	0.9862	0.9863
20	0.0012	0.0012	4.48E-14	524	20960	8.41	0.0012	0.0184	0.9937	0.9937
21	0.0060	0.0060	1.55E-14	516	20640	7.28	0.0060	0.0459	0.9887	0.9890
22	0.0021	0.0021	2.13E-14	535	21400	7.65	0.0021	0.0251	0.9934	0.9934
23	0.0021	0.0021	2.41E-14	531	21240	10.26	0.0021	0.0214	0.9925	0.9925
24	0.0026	0.0026	2.21E-14	488	19520	4.86	0.0026	0.0229	0.9834	0.9834
25	0.0009	0.0009	6.83E-15	496	19840	6.62	0.0009	0.0142	0.9928	0.9928
26	0.0017	0.0017	1.38E-14	526	21040	7.32	0.0017	0.0204	0.9908	0.9909
27	0.0014	0.0014	5.41E-14	540	21600	7.72	0.0014	0.0230	0.9956	0.9957
28	0.0040	0.0040	7.47E-15	507	20280	7.31	0.0040	0.0296	0.9744	0.9745
29	0.0020	0.0020	2.18E-14	508	20320	5.83	0.0020	0.0192	0.9866	0.9866
30	0.0060	0.0060	3.25E-14	481	19240	6.43	0.0060	0.0381	0.9780	0.9781
31	0.0005	0.0005	3.37E-14	517	20680	9.91	0.0005	0.0124	0.9963	0.9964
32	0.0028	0.0028	1.63E-14	502	20080	7.10	0.0028	0.0226	0.9867	0.9867
Minimum	0.0005	0.0005	6.83E-15	452	18080	4.86	0.0005	0.0124	0.9744	0.9745
Ortalama	0.0026	0.0026	2.33E-14	513	20501	7.53	0.0026	0.0246	0.9878	0.9878
Maksimum	0.0062	0.0062	5.41E-14	551	22040	11.30	0.0062	0.0459	0.9963	0.9964

A.6: Denklem (6) için KDGA-RIDF modelinin performansı.

İstasyon	MSE			İterasyon	FDS	CPU	Performans Değerlendirme Ölçütü			
	En İyi	Ortalama	Std.Sapma				MSE	MAE	E	R2
1	0.0025	0.0025	4.58E-14	699	34950	15.04	0.0025	0.0223	0.9828	0.9829
2	0.0012	0.0012	9.12E-14	681	34050	16.12	0.0012	0.0177	0.9916	0.9916
3	0.0025	0.0025	4.65E-14	720	36000	15.79	0.0025	0.0231	0.9898	0.9898
4	0.0038	0.0038	1.87E-14	712	35600	16.92	0.0038	0.0275	0.9789	0.9792
5	0.0025	0.0025	1.45E-14	752	37600	15.91	0.0025	0.0268	0.9913	0.9914
6	0.0013	0.0013	3.05E-14	1459	72950	30.65	0.0013	0.0179	0.9947	0.9947
7	0.0017	0.0017	1.31E-05	1667	83350	36.23	0.0017	0.0216	0.9950	0.9950
8	0.0027	0.0027	3.26E-14	729	36450	13.64	0.0027	0.0262	0.9851	0.9851
9	0.0017	0.0017	2.26E-14	1470	73500	30.37	0.0017	0.0205	0.9921	0.9921
10	0.0038	0.0038	9.57E-15	1513	75650	32.28	0.0038	0.0356	0.9870	0.9872
11	0.0034	0.0034	2.70E-14	731	36550	17.59	0.0034	0.0261	0.9833	0.9833
12	0.0014	0.0014	5.66E-14	1539	76950	36.97	0.0014	0.0196	0.9929	0.9929
13	0.0010	0.0010	3.41E-14	1416	70800	29.19	0.0010	0.0157	0.9925	0.9925
14	0.0024	0.0024	1.94E-14	741	37050	16.08	0.0024	0.0253	0.9900	0.9901
15	0.0027	0.0027	2.33E-14	1466	73300	34.59	0.0027	0.0322	0.9916	0.9917
16	0.0013	0.0013	8.83E-14	753	37650	14.43	0.0013	0.0167	0.9934	0.9934
17	0.0021	0.0021	1.49E-14	1440	72000	29.03	0.0021	0.0243	0.9864	0.9864
18	0.0013	0.0013	1.42E-14	742	37100	23.75	0.0013	0.0173	0.9946	0.9946

A.6 Devamı.

İstasyon	MSE			İterasyon	FDS	CPU	Performans Değerlendirme Ölçütü			
	En İyi	Ortalama	Std.Sapma				MSE	MAE	E	R2
19	0.0025	0.0025	6.76E-14	674	33700	19.64	0.0025	0.0189	0.9870	0.9870
20	0.0011	0.0011	1.92E-14	1481	74050	36.18	0.0011	0.0181	0.9941	0.9941
21	0.0050	0.0050	8.19E-15	783	39150	16.74	0.0050	0.0427	0.9907	0.9910
22	0.0020	0.0020	6.59E-15	1420	71000	30.88	0.0020	0.0245	0.9937	0.9937
23	0.0020	0.0020	8.44E-15	1529	76450	45.62	0.0020	0.0208	0.9930	0.9930
24	0.0024	0.0024	1.09E-14	716	35800	10.60	0.0024	0.0220	0.9842	0.9842
25	0.0008	0.0008	2.68E-14	1449	72450	29.22	0.0008	0.0141	0.9931	0.9931
26	0.0017	0.0017	1.11E-14	678	33900	14.25	0.0017	0.0202	0.9909	0.9910
27	0.0014	0.0014	3.27E-14	746	37300	16.22	0.0014	0.0230	0.9957	0.9957
28	0.0018	0.0018	1.15E-14	749	37450	16.30	0.0018	0.0182	0.9885	0.9886
29	0.0019	0.0019	2.93E-14	1479	73950	25.39	0.0019	0.0197	0.9875	0.9875
30	0.0037	0.0037	1.86E-14	741	37050	14.96	0.0037	0.0282	0.9864	0.9866
31	0.0005	0.0005	6.64E-14	668	33400	19.72	0.0005	0.0123	0.9965	0.9965
32	0.0027	0.0027	3.85E-14	1461	73050	31.07	0.0027	0.0224	0.9872	0.9872
Minimum	0.0005	0.0005	6.59E-15	668	33400	10.60	0.0005	0.0123	0.9789	0.9792
Ortalama	0.0021	0.0021	4.11E-07	1056	52819	23.48	0.0021	0.0225	0.9900	0.9901
Maksimum	0.0050	0.0050	1.31E-05	1667	83350	45.62	0.0050	0.0427	0.9965	0.9965

A.7: Denklem (7) için KDGA-RIDF modelinin performansı.

İstasyon	MSE			İterasyon	FDS	CPU	Performans Değerlendirme Ölçütü			
	En İyi	Ortalama	Std.Sapma				MSE	MAE	E	R2
1	0.0035	0.0035	3.80E-15	479	19160	5.81	0.0035	0.0269	0.9764	0.9764
2	0.0016	0.0016	3.43E-14	518	20720	7.02	0.0016	0.0197	0.9885	0.9886
3	0.0035	0.0035	2.85E-14	482	19280	6.17	0.0035	0.0287	0.9858	0.9858
4	0.0055	0.0055	2.25E-14	528	21120	7.29	0.0055	0.0339	0.9700	0.9704
5	0.0042	0.0042	2.79E-14	503	20120	6.21	0.0042	0.0350	0.9852	0.9854
6	0.0033	0.0033	3.33E-14	540	21600	6.87	0.0033	0.0291	0.9859	0.9859
7	0.0035	0.0035	2.10E-14	547	21880	7.13	0.0035	0.0289	0.9898	0.9898
8	0.0035	0.0035	1.03E-14	486	19440	5.39	0.0035	0.0282	0.9809	0.9810
9	0.0050	0.0050	1.44E-15	527	21080	6.41	0.0050	0.0352	0.9769	0.9769
10	0.0099	0.0099	9.08E-15	515	20600	6.47	0.0099	0.0511	0.9663	0.9664
11	0.0051	0.0051	4.59E-14	490	19600	6.83	0.0051	0.0336	0.9750	0.9750
12	0.0033	0.0033	1.64E-14	560	22400	7.85	0.0033	0.0276	0.9826	0.9826
13	0.0032	0.0032	2.05E-14	506	20240	6.16	0.0032	0.0262	0.9753	0.9753
14	0.0045	0.0045	4.29E-14	518	20720	6.63	0.0045	0.0352	0.9815	0.9816
15	0.0068	0.0068	2.56E-14	543	21720	7.49	0.0068	0.0478	0.9786	0.9787
16	0.0015	0.0015	3.69E-14	521	20840	5.89	0.0015	0.0181	0.9920	0.9920

A.7: Devamı.

İstasyon	MSE			İterasyon	FDS	CPU	Performans Değerlendirme Ölçütü			
	En İyi	Ortalama	Std.Sapma				MSE	MAE	E	R2
17	0.0034	0.0034	1.02E-14	497	19880	5.93	0.0034	0.0268	0.9781	0.9781
18	0.0028	0.0028	2.46E-14	533	21320	9.73	0.0028	0.0247	0.9889	0.9889
19	0.0039	0.0039	5.20E-15	492	19680	8.21	0.0039	0.0268	0.9791	0.9791
20	0.0032	0.0032	4.88E-15	498	19920	7.12	0.0032	0.0307	0.9830	0.9830
21	0.0062	0.0062	2.51E-14	542	21680	6.81	0.0062	0.0491	0.9884	0.9887
22	0.0060	0.0060	2.07E-14	520	20800	6.81	0.0060	0.0409	0.9808	0.9809
23	0.0062	0.0062	5.49E-14	553	22120	9.55	0.0062	0.0377	0.9778	0.9778
24	0.0033	0.0033	5.17E-14	509	20360	4.61	0.0033	0.0271	0.9785	0.9785
25	0.0023	0.0023	1.41E-14	547	21880	6.50	0.0023	0.0233	0.9811	0.9811
26	0.0028	0.0028	7.31E-15	537	21480	6.64	0.0028	0.0256	0.9850	0.9851
27	0.0032	0.0032	3.29E-14	525	21000	6.70	0.0032	0.0318	0.9899	0.9900
28	0.0022	0.0022	2.18E-14	519	20760	6.63	0.0022	0.0221	0.9862	0.9863
29	0.0048	0.0048	7.05E-14	567	22680	5.81	0.0048	0.0304	0.9679	0.9679
30	0.0051	0.0051	3.67E-14	471	18840	5.61	0.0051	0.0332	0.9814	0.9815
31	0.0013	0.0013	4.37E-14	552	22080	9.28	0.0013	0.0192	0.9909	0.9909
32	0.0056	0.0056	2.92E-14	499	19960	6.23	0.0056	0.0322	0.9736	0.9736
Minimum	0.0013	0.0013	1.44E-15	471	18840	4.61	0.0013	0.0181	0.9663	0.9664
Ortalama	0.0041	0.0041	2.61E-14	520	20780	6.81	0.0041	0.0308	0.9813	0.9814
Maksimum	0.0099	0.0099	7.05E-14	567	22680	9.73	0.0099	0.0511	0.9920	0.9920

A.8: Denklem (8) için KDGA-RIDF modelinin performansı.

İstasyon	MSE			İterasyon	FDS	CPU	Performans Değerlendirme Ölçütü			
	En İyi	Ortalama	Std.Sapma				MSE	MAE	E	R2
1	0.0031	0.0031	3.86E-14	770	38500	14.14	0.0031	0.0255	0.9794	0.9794
2	0.0010	0.0010	2.93E-14	792	39600	16.70	0.0010	0.0175	0.9932	0.9933
3	0.0033	0.0033	1.69E-14	809	40450	16.29	0.0033	0.0280	0.9868	0.9868
4	0.0052	0.0052	2.90E-14	848	42400	18.34	0.0052	0.0324	0.9717	0.9720
5	0.0038	0.0038	2.91E-14	800	40000	15.51	0.0038	0.0324	0.9864	0.9865
6	0.0018	0.0018	1.58E-14	800	40000	15.33	0.0018	0.0211	0.9924	0.9924
7	0.0015	0.0015	3.45E-14	840	42000	16.53	0.0015	0.0209	0.9955	0.9955
8	0.0035	0.0035	3.12E-14	769	38450	12.96	0.0035	0.0284	0.9810	0.9810
9	0.0027	0.0027	2.87E-14	808	40400	15.12	0.0027	0.0264	0.9875	0.9875
10	0.0030	0.0030	1.88E-14	740	37000	14.47	0.0030	0.0348	0.9899	0.9900
11	0.0049	0.0049	1.16E-14	805	40250	17.42	0.0049	0.0315	0.9763	0.9763
12	0.0020	0.0020	1.86E-14	843	42150	18.51	0.0020	0.0218	0.9894	0.9894
13	0.0007	0.0007	8.95E-15	747	37350	14.03	0.0007	0.0157	0.9946	0.9946
14	0.0040	0.0040	1.32E-14	805	40250	15.83	0.0040	0.0322	0.9832	0.9833

A.8: Devamı.

İstasyon	MSE			İterasyon	FDS	CPU	Performans Değerlendirme Ölçütü			
	En İyi	Ortalama	Std.Sapma				MSE	MAE	E	R2
15	0.0031	0.0031	4.98E-15	824	41200	17.73	0.0031	0.0336	0.9900	0.9902
16	0.0015	0.0015	3.49E-14	762	38100	13.18	0.0015	0.0178	0.9921	0.9921
17	0.0014	0.0014	3.44E-14	758	37900	13.93	0.0014	0.0201	0.9908	0.9908
18	0.0027	0.0027	2.88E-14	841	42050	24.24	0.0027	0.0246	0.9889	0.9890
19	0.0035	0.0035	2.40E-14	764	38200	20.05	0.0035	0.0229	0.9814	0.9814
20	0.0010	0.0010	2.33E-14	754	37700	16.75	0.0010	0.0183	0.9944	0.9944
21	0.0060	0.0060	7.21E-14	793	39650	15.55	0.0060	0.0474	0.9888	0.9891
22	0.0024	0.0024	1.94E-14	784	39200	15.57	0.0024	0.0242	0.9925	0.9925
23	0.0015	0.0015	4.60E-14	766	38300	20.62	0.0015	0.0204	0.9947	0.9947
24	0.0030	0.0030	6.96E-14	770	38500	10.44	0.0030	0.0266	0.9809	0.9810
25	0.0013	0.0013	2.06E-14	823	41150	15.11	0.0013	0.0189	0.9893	0.9893
26	0.0022	0.0022	3.22E-14	800	40000	15.25	0.0022	0.0229	0.9883	0.9884
27	0.0016	0.0016	2.48E-16	842	42100	16.70	0.0016	0.0233	0.9950	0.9951
28	0.0020	0.0020	1.63E-14	854	42700	16.87	0.0020	0.0214	0.9874	0.9874
29	0.0015	0.0015	6.39E-14	767	38350	11.96	0.0015	0.0207	0.9898	0.9899
30	0.0050	0.0050	3.34E-14	770	38500	14.17	0.0050	0.0329	0.9816	0.9817
31	0.0008	0.0008	3.10E-14	816	40800	21.59	0.0008	0.0146	0.9941	0.9941
32	0.0026	0.0026	2.29E-14	754	37700	14.73	0.0026	0.0227	0.9877	0.9878
Minimum	0.0007	0.0007	2.48E-16	740	37000	10.44	0.0007	0.0146	0.9717	0.9720
Ortalama	0.0026	0.0026	2.82E-14	794	39716	16.11	0.0026	0.0251	0.9880	0.9880
Maksimum	0.0060	0.0060	7.21E-14	854	42700	24.24	0.0060	0.0474	0.9955	0.9955