

Caner Karakaş¹ ve Zekai Şen²

Yazışma yazarı:

Caner Karakaş,

canerkarakas@hotmail.com

¹Çorlu Meydan Meteoroloji Müdürlüğü, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Çorlu Atatürk Hava Limanı, e-posta:

canerkarakas@hotmail.com

²İstanbul Medipol Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Beykoz 34181. E-

posta: zsen@medipol.edu.tr

Referans:

Karakaş, C., Şen, Z., (2019), İstanbul Yağış Şiddetinin Alansal Tahmini, Su Kaynakları, 4, (2), 1-8

Makale Gönderimi : 5 EKİM 2019

Online Kabul : 9 EKİM 2019

Online Basım : 25 EKİM 2019

Özet Meteorolojik değişkenlerin tahmini genelde istasyon noktaları için yapılır. Halbuki bizim için, istasyon noktaları dışında kalan yerleşim alanları, yollar, iş yerleri vb. gibi noktalar daha da önemlidir. Öyle ise istasyon noktalarına göre yapılan tahminlerin en doğru bir şekilde herhangi bir noktaya taşınması gereklidir. Bunun için araştırmacılar günümüze kadar birçok yöntem geliştirmiştir. Bunlardan en yenisi olan noktasal toplam yarı-variogram yöntemi bu çalışmada kullanılmıştır. Yöntemin esası, tesir yarıçaplarının daha önce ölçülmüş verilerden bulunmasıdır. Halbuki meteorolojide kullanılmakta olan Cressman yöntemi, sabit tesir yarıçapları kabulü ile ölçülmüş verilere dayanmadığından gerçeklikten uzaktır.

Anahtar Kelimeler: Alan, tahmin, şiddet, yağış, meteoroloji, nokta, yarı-variogram

Title

Abstract In general, the meteorological variable estimations are made for station locations. In practice, apart from the station locations settlement areas, business centers and like points are more important. Accordingly, the station location estimations must be transferred to any desired points. For this purpose, many researchers have developed various methodologies. One of these new methods is used in this study as the point semi-variogram approach. The basis of the methodology is to benefit from the influence radius of previously obtained data. In the meteorology literature classically Cressman method is used but it depends on selective constant radius of influences.

Keywords: Area, estimation, intensity, meteorology, point, rainfall, semi-variogram

1. Giriş

Meteorolojik değişkenler sabit bir konumda zamansal değişim gösterdikleri gibi, sabit bir zamanda da alansal değişim de gösterirler. Zamansal değişimi belirleyebilmek için, istasyonlarda düzenli ve belirli zaman aralıkları ile ölçümler yapılır. Yersel değişimi saptayabilmek için ise belirli fakat düzensiz mesafelerde ölçüm istasyonları kurulmuştur. Mantığı olarak iki istasyon arasındaki mesafe ne kadar küçültülürse meteorolojik değişkenin alansal süreksizliği o kadar azalır ve bağımlılığı artar. Burada karşımıza çıkan sorun istasyonlar arasındaki mesafe ne kadar olmalıdır ki en ekonomik ve en iyi olarak meteorolojik değişkenlerin bir bölgedeki ölçümleri temin edilebilsin. Genel bir düşünüş, çok sayıda istasyon kurulmasını arzu eder. Ancak bu, ekonomik ve pratik olarak mümkün değildir. Bu problemi çözmek için günümüze kadar, el ile eş değer haritalarının çizilmesi yöntemi kullanılmıştır. Çizilen bu eş değer haritaları, değerler aynı olsa bile çizen kişiye göre farklılık göstermektedir. Bu nesnellığı (sübjektifliği) gidermek için araştırmacılar kişiden kişiye değişmeyen ve belirli kurallara sahip objektif yöntemleri geliştirmeye çalışmışlardır. 1955 yılında başlayan ilk çalışmalar ile matematik esaslı bir yöntem olan objektif analizin temelleri atılmış ve böylece günümüze kadar gelişim göstermiştir. Cressman (1959) tarafından ortaya atılan ve sabit tesir yarıçapları kabulü ile nesnellik içeren yöntem ülkemizde hala kullanılmaktadır. Bu yöntemin en tenkide açık yönü, bir bölgedeki meteorolojik değişkenlerin ölçülmüş değerlerini göz önünde tutmadan sadece istasyonların konumlarını esas alarak çözümler önermesidir. Hangi yöntem olursa olsun ölçülmüş veri değerleri esas alınmıyorsa o sadece veri değerlerinin üniform olması kabulüne göre işlemlerin yapılmasına yarar. Böyle bir durum ise pratikte ve özellikle meteoroloji çalışmalarında asla mümkün değildir.

Meteoroloji biliminde, alansal tahminlerin yapılması çok önemli araştırma konuları arasında gelmektedir. Bu amaçla nesnel ve öznel (objektif) yöntemler geliştirilmiştir. Objektif yöntemler, belirli kurallara bağlı ve kişisellikten uzak olması nedeniyle tercih edilirler. Bu doğrultuda yapılan en son

çalışmalar Şen (1989) tarafından bulunan toplam semivariogram (TSV) yöntemi ve Habib (1993) tarafından geliştirilen noktasal toplam variogram (NTV) yöntemidir.

NTV yöntemini diğer yöntemlerden ayıran en önemli husus, tesir yarıçaplarının, bilinen noktalardaki ölçülmüş verilerden elde edilmesidir. Hâlbuki ülkemizde de hala kullanılmakta olan ve Cressman (1959) tarafından ortaya atılan yöntem sabit tesir yarıçapları içermekte ve gözlenmiş verilere dayanmamaktadır. Karakaş (1996) tarafından noktasal toplam variogram yöntemi İstanbul'un değişik meteoroloji istasyonlarındaki yağış şiddetleri için kullanılmıştır.

Bu çalışmada, NTV yöntemi kullanılarak istasyonlar arası mesafe ile yine bu istasyonlarda ölçülen yağış şiddeti değerlerinin farkının karesi arasındaki ilişki üstel bir modelle belirtilmiştir. Bu modeldeki eğri, birincisi küçük mesafeler boyunca eğrisel, ikincisi ise büyük mesafeler boyunca olan doğrusal kısımları ihtiva eder.

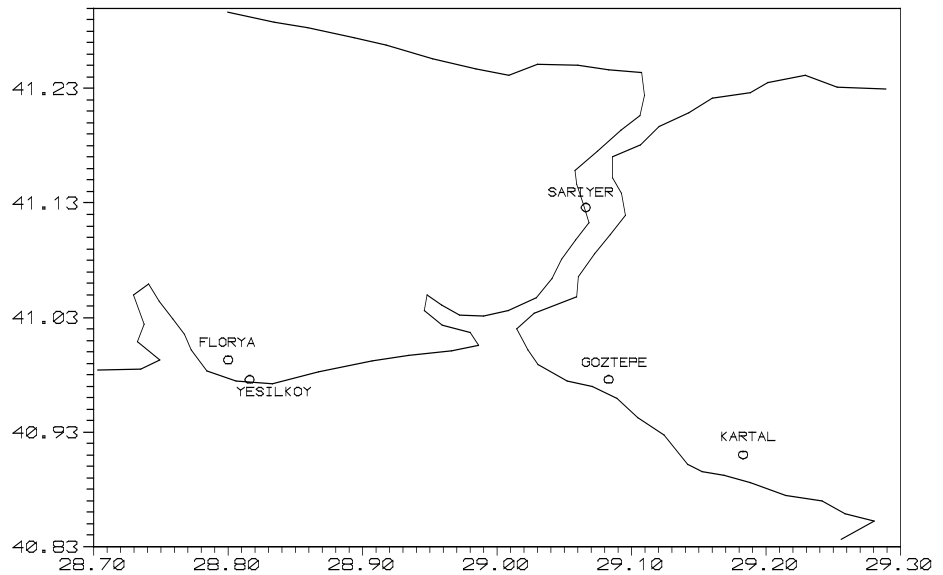
Tesir yarıçapı, eğrisel kısmın bitip doğrusal kısmın başladığı yere kadar olan mesafe olarak tanımlanmıştır. Böylece İstanbul meteoroloji istasyonlarında ölçülmüş ve hesaplanmış olan 2, 5, 10, 25, 50 ve 100 yıllık yağış şiddetlerinin alansal değişimini temsil eden TSV ve bunlardan yararlanarak da çeşitli yağış şiddeti haritaları elde edilmiştir. Yağış şiddeti bilinmeyen herhangi bir noktadaki yağışın şiddetini İstanbul ili için bulmak mümkün olmaktadır.

Bu çalışmada, TSV yönteminin gerçeğe yakınlığı ve uygulanma kolaylığını gözler önüne sermek için İstanbul bölgesinde Florya, Göztepe, Kartal, Sarıyer ve Yeşilköy istasyonlarındaki yağış şiddetleri kullanılmıştır.

Objektif analizin amacı, meteorolojik değişkenlerin ölçüldüğü istasyon noktaları yardımıyla hiç ölçüm yapılmayan noktalardaki değerleri tahmin etmektir. Ölçüm yapılmamış bir noktada hava alanı, yol, baraj vb. inşaatlar; ziraat faaliyetleri, yerleşim alanı, spor tesisi gibi çalışmaların yapılması önemli olabilir. Buralarda yapılacak olan her türlü mühendislik yapıları için meteorolojik verilerin tahmin edilmesi mutlaka gereklidir. Cressman (1959) tarafından ortaya atılan yöntem ile alansal tahmin meteorolojide uzun yıllar kullanılmıştır. Fakat yöntemin sabit tesir yarıçapları kullanması, araştırmacıların zihnini daima meşgul etmiştir. Habib(1993) tarafından ortaya atılan TV yöntemi ise değişik istasyonlarda ölçülmüş verilerin mesafe ile ilişkisini saptayarak tesir yarıçapının hesaplanmasını sağlamaktadır.

2. Yağış şiddeti verileri

Bu çalışmada İstanbul sınırları içinde olan beş tane istasyon kullanılmıştır. Bunlar Şekil 1'deki haritada konum olarak gösterilmiş olan Florya, Göztepe, Kartal, Sarıyer ve Yeşilköy istasyonlarıdır.



Şekil 1 İstasyon konumları

Bu istasyonların, birbirlerine olan mesafelerini hesaplayabilmek için gerekli olan enlem ve boylamları Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1 Enlem ve boylamlar.

Istasyon	Enlem	Boylam
Florya	40° 59' K	28° 48' D
Göztepe	40° 58' K	29° 05' D
Kartal	40° 54' K	29° 11' D
Sarıyer	41° 07' K	29° 04' D
Yeşilköy	40° 58' K	28° 49' D

Karakaş (1996) tarafından geliştirilerek verilen ve Fortran dilinde yazılmış bilgisayar programı ile hesaplanmış istasyonlar arası mesafeler Çizelge 2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2 İstasyon arası mesafeler (km).

	Florya	Göztepe	Kartal	Sarıyer	Yeşilköy
Florya	0	23.49	33.14	27.56	2.20
Göztepe		0	10.55	17.73	21.89
Kartal			0	26.12	31.19
Sarıyer				0	26.76
Yeşilköy					0

En uzak iki istasyonun arasındaki mesafe 33.14 km ile Florya-Kartal arası, en yakın olanlar ise 2.2 km ile Florya-Yeşilköy arasıdır.

Yağış şiddeti ile süre arasında ters orantı vardır. Eğer yağış miktarını sabit tutarsak, yağış süresi kısaldığında yağış şiddeti artar; yağış süresi artarsa yağış şiddeti azalır. Bu çalışmada süre olarak tekerrür süresi kullanılmıştır. Bunlar 2, 5, 10, 25, 50 ve 100 yıllık tekerrür süreleridir. Her bir tekerrür süresinin bir yağış şiddeti değeri vardır.

Çizelge 3'de çalışmada kullanılan tekerrür sürelerine ait yağış şiddeti değerleri verilmiştir. Buradaki yağış şiddetleri İstanbul Havza Planı (1995) kaynağından alınmıştır.

Çizelge 3 Yağış şiddeti-tekerrür süresi (mm/dak)

Istasyon	Tekerrür Süresi					
	2 yıl	5 yıl	10 yıl	25 yıl	50 yıl	100 yıl
Florya	6.08	8.71	10.30	12.19	13.52	14.80
Göztepe	6.00	9.43	11.72	14.58	16.68	18.72
Kartal	6.80	11.44	15.36	21.42	26.82	33.06
Sarıyer	6.11	8.52	10.00	11.77	13.04	14.26
Yeşilköy	5.94	8.68	10.59	13.11	15.05	17.05

Bu çizelgeden görüleceği üzere yağış şiddeti en yüksek Kartal daha sonra da Göztepe istasyonlarındadır. Bunun anlamı ise İstanbul'un Asya yakası istasyonlarında kayıt edilen yağış şiddetlerinin her tekerrür süresi için Avrupa yakası istasyonlarından daha fazla olduğudur.

3. Kullanılan yöntem

Alansal olarak ölçüm yapılmamış bir noktadaki meteorolojik değişkenin tahmini için etrafındaki komşu istasyonlarda yapılmış kayıtlardan yararlanılır. Böylece bir tahmin işleminde şimdiye kadar en basitten başlayarak gittikçe karmaşıklaşan çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Bu yöntemler arasında en basit olarak en yakındaki üç istasyonun aritmetik ortalamasının o istasyon için tahmin değeri kabul edilmesidir. Daha sonra, tahmin yapılacak noktadan birbirine dik geçirilen iki eksen ile dört kısma bölünen civarın her bir kısmındaki en yakın istasyonlar göz önünde tutularak aritmetik ortalama alınır ve tahmin böylece gerçekleştirilir.

Cressman tarafından ağırlıklı ortalama esasına dayanan ve günümüzde hala kullanılan yöntemde ağırlık katsayıları w olarak

$$w = \left(\frac{R^2 - d^2}{R^2 + d^2} \right)^\alpha \quad (1)$$

şeklinde belirtilen formülde R tesir yarıçapı, d tesir alanı içindeki herhangi bir istasyonun hesaplanan noktaya uzaklığı ve α ise yumuşatma katsayısıdır. Bu yöntemde α ve R 'nin

belirlenmesinde o bölgenin fiziksel özellikleri göz önüne alınmamaktadır. Maalesef, ülkemizde yıllarca A.B.D. için geçerli olan katsayılar kullanılmıştır.

Ağırlık katsayıları bulunduğundan sonra ağırlıklı ortalama formülü

$$x_1 = \frac{w_1 \cdot y_1 + w_2 \cdot y_2 + \dots + w_{n-1} \cdot y_{n-1} + w_n \cdot y_n}{w_1 + w_2 + \dots + w_{n-1} + w_n} \quad (2)$$

olarak yazılabilir. Burada y_i 'ler etki alanı içindeki istasyonlarda ölçülen değerler, w_i 'ler ise o istasyonların ağırlık katsayıları ve x_1 ise değeri istenilen noktanın tahmin değeridir.

Toplam semivariogram yönteminin en önemli özelliği, tesir yarıçaplarının o bölgedeki ölçülmüş olan verilerden yola çıkılarak bulunmasıdır. Bu özelliği ile diğer yöntemlere karşı önemli bir avantaja sahip olan TV yöntemi ana hatları ile aşağıda verilmiştir.

1) Yöntemin uygulanacağı alan üzerindeki tüm istasyonların birbirleri arasındaki mesafeler hesap edilerek bulunur. Böylece n tane istasyon için $n(n-1)/2$ tane mesafe elde edilmiş olur.

2) İstasyonlarda ölçülmüş değerlerin diğer istasyonlarda ölçülen değerlerle farkları alınarak bu farkların kareleri bulunur. Böylece her bir mesafeye karşılık gelen bir fark karesi değeri bulunur.

3) Mesafe değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanırken aynı zamanda bu mesafelere karşı gelen fark kareleri de birlikte hareket ettirilir. Böylece iki tane dizi elde etmiş oluruz.

4) Fark kareleri dizisi ardışık olarak toplanarak yeni bir dizi elde edilir. Bu işlem yöntemin toplam sıfatını kazanmasına sebep olur.

5) Yatay eksen mesafe, dikey eksen fark kareleri toplamı (FKT) olacak şekilde saçılma diyagramı çizilir.

6) Bu noktalara üstel bir eğri uydurulur. Elde edilen sonuç grafik, toplam variogram (TV) olarak adlandırılır.

7) Elde edilen eğrinin mesafeye göre türevi alınarak variogram grafiği bulunur. Bu grafik dikkatlice incelendiğinde modelin iki kısımdan oluştuğu görülür. Birinci kısım eğimi değişen, ikinci kısım ise doğrusal olandır. Eğriliğin bitip doğrusallaşmaya başladığı noktadan mesafe eksenine inilen bir dikme ile tesir yarıçapı bulunur.

Çizelge 2'de verilen mesafeler küçükten büyüğe dizildiğinde aşağıdaki gibi bir durum ortaya çıkar (Çizelge 4).

Çizelge 4. Küçükten büyüğe dizilmiş mesafeler

İstasyon Çifti	Mesafe [km]
Florya - Yeşilköy	2.20
Göztepe - Kartal	10.55
Göztepe - Sarıyer	17.73
Göztepe - Yeşilköy	21.89
Florya - Göztepe	23.49
Kartal - Sarıyer	26.12
Sarıyer - Yeşilköy	26.76
Florya - Sarıyer	27.56
Kartal - Yeşilköy	31.19
Florya - Kartal	33.14

Şimdi, değişik tekerrür süreleri için hesaplanmış fark karelerini Çizelge 5'de gösterelim.

Çizelge 5 Fark kareleri

FARK KARELERİ (Yağış şiddeti)		[mm ² / sa ²]			
2 yıllık	5 yıllık	10 yıllık	25 yıllık	50 yıllık	100 yıllık
0.020	0.001	0.084	0.846	2.341	5.063
0.640	4.040	13.250	46.786	102.820	205.636
0.012	0.828	2.958	7.896	13.250	19.892
0.004	0.562	1.277	2.161	2.657	2.789
0.006	0.518	2.016	5.712	9.986	15.366
0.476	8.526	28.730	93.123	189.888	353.440
0.029	0.026	0.348	1.796	4.040	7.784

0.001	0.036	0.090	0.176	0.230	0.292
0.740	7.618	22.753	69.056	138.533	256.320
0.518	7.453	25.604	21.420	176.890	333.428

Değişik tekerrür süreleri için bu çizelgede verilen fark karelerini ardışık olarak topladığımızda oluşan yeni diziler aşağıda Çizelge 6'da gösterilmiştir.

Çizelge 6 Fark kareleri ardışık toplamı

FARK KARELERİ TOPLAMI (Yağış şiddeti) [mm2 / sa2]					
2 yıllık	5 yıllık	10 yıllık	25 yıllık	50 yıllık	100 yıllık
0.020	0.001	0.084	0.846	2.341	5.063
0.660	4.041	13.334	47.632	105.161	210.699
0.672	4.869	16.292	55.528	118.411	230.591
0.676	5.431	17.569	57.689	121.068	233.380
0.682	5.949	19.585	63.401	131.054	248.746
1.158	14.475	48.315	156.524	320.942	602.186
1.187	14.501	48.663	158.320	324.982	609.970
1.188	14.537	48.753	158.496	325.212	610.262
1.928	22.155	71.506	227.552	463.745	866.582
2.446	29.608	97.110	248.972	640.635	1200.010

Şimdiye kadar yapılan işlemleri formüllerle ifade ettiğimizde : İstasyon sayısı $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ve buradan toplam istasyon sayısı n olur. İstasyonlar arasındaki birbirinden farklı mesafeler m_i tane ise,

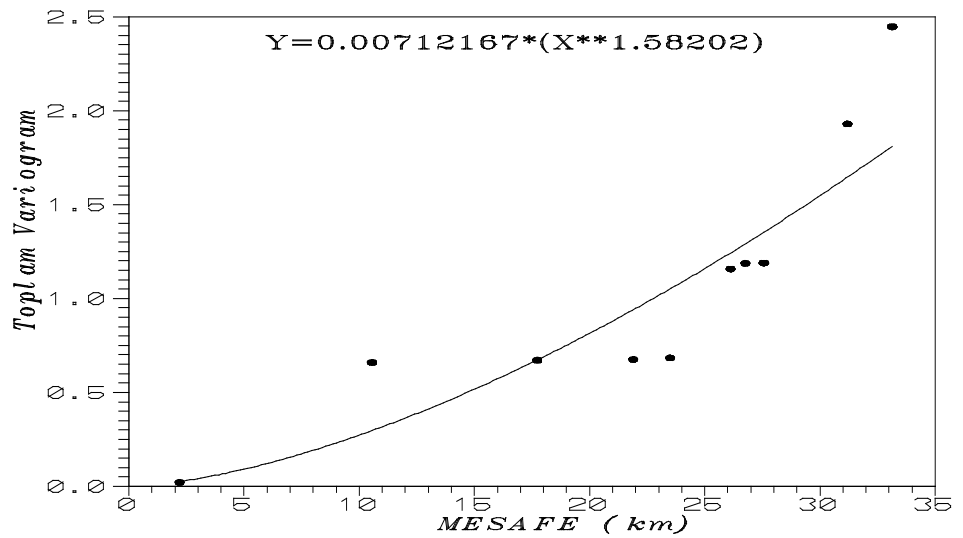
$$m_i = \frac{n(n-1)}{2}$$

Bu çalışmada $n = 5$ tane istasyon kullanıldığı için $m_5 = 10$ tane farklı mesafe değeri bulunur. İstasyonlardaki yağış şiddeti değerlerini D ile gösterirsek, bu takdirde x ve y istasyonları yağış şiddetleri arasındaki farkların kareleri (F_m),

$$F_m = (D_x - D_y)^2$$

olur.

2 yıllık tekerrür süresi için, mesafe ile toplam fark karelerinin saçılma diyagramı ve üstel olarak en iyi model Şekil 2'deki gibi olur.



Şekil 2 Üstel Eğri Uydurulmuş Saçılma Diyagramı (Toplam variogram grafiği)

Bu eğrinin denklemini, en küçük kareler metodunu uygulayarak bulan "Grapher" adlı paket program vasıtası ile gerekli işlemlerin yapılması sonucunda

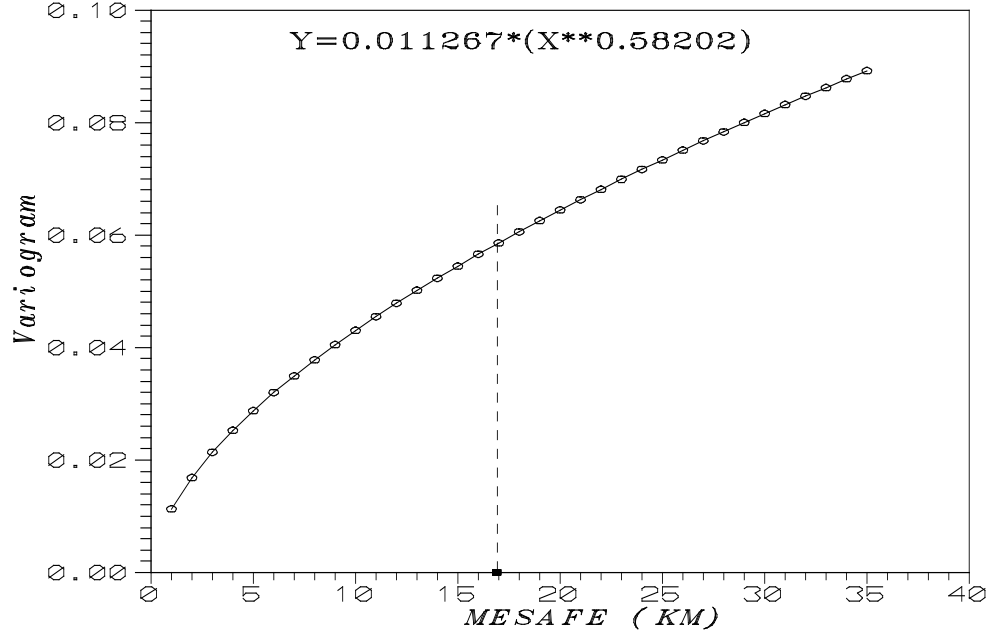
$$y = 0.00712167 \cdot x^{1.58202}$$

denklemini elde edilir.

Bu denklemin mesafeye göre türevini aldığımızda,

$$y' = 0.011267 \cdot x^{0.58202}$$

bulunur. Denkleminde hesaplanmış olduğumuz mesafe değerlerini yerine koyarak yeniden çizdiğimizde Şekil 3 elde edilir.



Şekil 3 Türevi Alınmış Model Eğrisi (Variogram grafiği)

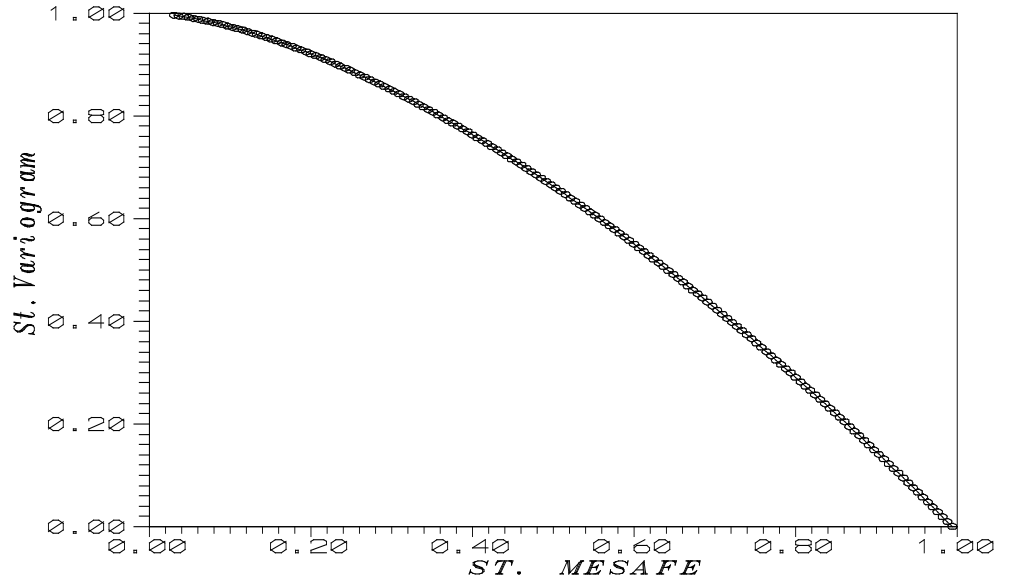
Bu eğri incelendiğinde, eğrinin iki kısımdan oluştuğu görülür. Küçük mesafelere denk gelen birinci kısmın eğimi değişkendir. Büyük mesafelere karşı gelen ikinci kısmın eğimi ise sabit olup doğrusaldır. Bu doğrusallık bize farklar karesi toplamının (FKT) mesafeye ilişkisinin bittiğini ifade eder. Dolayısıyla model eğrisinin doğrusallaştığı noktadan mesafe eksenine inilen dikme ile bulunan değer "tesir yarıçapıdır".

Bu çalışmada, eğrinin doğrusallaştığı noktayı tespit etmek için Fortran dilinde yazılan bilgisayar programının esası, çok küçük aralıklar alınarak ardışık aralıklardaki eğiminin çok küçük hata oranı ile değişmediği noktanın belirlenmesi ve o anda eğrinin x yani mesafe eksenindeki değerinin bulunmasıdır. Çizelge 7'de tesir yarıçapları verilmiştir.

Çizelge 7 Tekerrür Sürelerine Ait Tesir Yarıçapları [km]

2 yıllık	5 yıllık	10 yıllık	25 yıllık	50 yıllık	100 yıllık
16.9	27.1	21.5	6.6	8.9	7.8

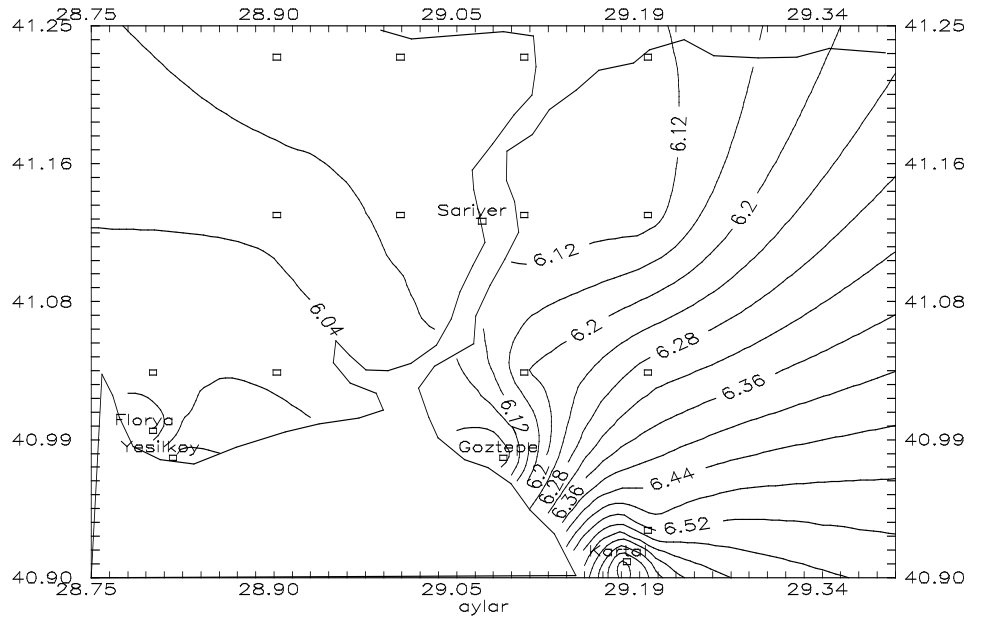
Tesir alanı bulunduktan sonra değeri bilinmeyen noktanın hesabı için, bu alan içinde kalan istasyonlardaki yağış şiddeti değerleri ağırlıklı ortalama ile hesaba katılır. Ağırlık katsayıları için ise, 2 yıllık tekerrür süresi için Şekil 4'de gösterilen eğrinin ordinatlarının 1'den çıkarılarak y eksenine göre simetriği elde edilir. Daha sonra x ve y eksenleri standartlaştırılır. Yani eksenlerdeki her değer o eksenlerdeki en büyük değere bölünür. Tüm bu işlemlerden sonra elde edilen eğri Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Ağırlık katsayısı eğrisi

Böylece ağırlık katsayıları, değeri bilinmeyen noktanın tesir alanı içindeki herhangi bir istasyona olan mesafesinin standartlaştırılması ve Şekil 4'de yerine konması ile eğrinin düşey eksendeki okunan değeridir.

Bu çalışmanın amacı İstanbul ilinin TV yöntemi kullanılarak yağış şiddeti haritasını çıkarmak olduğundan harita üzerinde keyfi noktalar alınarak yukarıda anlatılan işlemler her bir tekerrür süresi için yapılarak yağış şiddeti haritaları elde edilir. Burada 2 yıllık tekerrür süresi için çıkarılan yağış şiddeti haritası Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. İstanbul'un 2 yıllık tekerrür süresi için yağış şiddeti haritası

4. Sonuç ve tavsiyeler

Bir bölgede ölçüm yapılmamış noktalarda meteoroloji verilerine ihtiyaç vardır. İşte ölçüm noktalarından ölçüm yapılmamış olan noktaya bilgi taşınarak tahmin yapılması için bu çalışmada basit fakat etkin bir objektif yöntem geliştirilmiştir. Yöntemin esasları aşağıdaki adımlardır.

- 1) Çalışma bölgesinde mevcut olan ölçüm noktalarının (meteoroloji istasyonları) enlem, boylam dereceleri ile meteorolojik değişkenleri tespit edilir.

- 2) Enlem ve boylam derecelerinden yararlanarak istasyonlar arası mesafe matrisi teşkil edilir.
- 3) İstasyonlar arası verilerin farklarının kareleri bulunur.
- 4) Bu farklar en küçük mesafeden başlayarak büyüğüne doğru sıraya konur.
- 5) Dizili bu fark karelerinin ardışık toplamları alınır.
- 6) Mesafeler ile bu ardışık toplamların saçılma diyagramı çizilir.
- 7) Bu saçılma diyagramına en uygun olan eğri geçirilir.
- 8) Bu eğri standartlaştırılarak ağırlıklar mesafeye göre bulunur.
- 9) İstasyon ağırlıkları ve ölçüm değerleri nazarı itibara alınarak ölçüm yapılmamış bir noktadaki tahmin ağırlıklı ortalamaya göre bulunur.

Ağırlık katsayısı eğrisine dikkatle bakıldığında Cressman'ın elde ettiği eğrilere benzediği görülebilir. Yani TSV yöntemi ile Cressman'ın yöntemindeki α katsayısı objektif olarak bulunmuş olur.

Yukarıdaki yöntemin İstanbul'daki Florya, Yeşilköy, Kartal, Sarıyer ve Göztepe istasyonlarında ölçülen yağış şiddetlerine uygulanması sonucu bu çalışmada, İstanbul ili için yağış şiddeti haritaları elde edilmiştir.

5. Kaynaklar

- Cressman, G.P., 1959. The correlation between wind and height on an isobaric surface II: summer data, *Journal of Meteorology*, 15, 12, 502 - 512
- Habib, Z. Z., 1993. Meteorolojide Nokta Semi-variogram ile Objektif Analiz. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Meteoroloji Müh. Böl., İstanbul, 87 s
- Karakaş, C., 1996. İstanbul yağış şiddeti haritalarının toplam variogram yöntemiyle elde edilmesi, İTÜ, Bitirme ödevi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, 43 sayfa.
- Şen, Z., 1989. Cumulative semivariogram models of regionalized variables, *Mathematical Geology*, 21, 8, 891-903