

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi
METEOROLOJİ MÜHENDİSLİĞİ

İnşaat Fakültesi
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ



II. HAVA KİRLENMESİ, MODELLEMESİ VE KONTROLU SEMPOZYUMU '95

KONULAR:

- Meteorolojik Modelleme Çalışmaları ve Global Oluşumlar
- Türbülans ve Difüzyon, Kimyasal Dönüşümler
- Uzun Menzilli Taşınım ve Asidik Birikme
- Atmosferik Sınır Tabaka
- Emisyon ve Hava Kalitesi Ölçüm ve Standartları
- Hava Kalitesi Yönetimi ve Yasal Düzenlemeler
- Yakıtlar, Yanma ve Kirlenme Kontrolü
- Ulaşımdan Kaynaklanan Kirlenme ve Kontrolü
- Endüstriyel Kaynaklar ve Kontrolü
- Kapalı Mekanlarda Hava Kirlenmesi ve Kontrolü
- Şehir Planlaması ve Isı İzolasyonu
- Hava Kirliliğinin İnsanlar, Ekosistemler ve Yapılar Üzerine Etkileri.

YER : İTÜ Büyük Toplantı Salonu, Maslak- İSTANBUL

TARİH : 22-24 Mart 1995

DESTEKLEYEN KURULUŞLAR: İstanbul İli Çevre Koruma Vakfı (İstanbul Valiliği),
Alarko Sanayi ve Ticaret A.Ş., YETSAN Yapı Elamanları Tic. San. A.Ş.,
İstanbul Sanayi Odası, Mil-Ten, Şişli Belediye Başkanlığı

ORGANİZASYON

İTÜ Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi
Meteoroloji Mühendisliği Bölümü

İTÜ İnşaat Fakültesi
Çevre Mühendisliği Bölümü

DÜZENLEME KOMİTESİ

Orhan ŞEN (Başkan)
Kadir ALP
Levent ŞAYLAN
Hüseyin TOROS
Ali DENİZ

PROGRAM KOMİTESİ

Kadir ALP (İTÜ)
Oğuz BORAT (İTÜ)
Ayten ÇETİNER (İTÜ)
Ekrem EKİNCİ (İTÜ)
Selahattin İNCECİK (İTÜ)
Güven ÖNAL (İTÜ)
Orhan ŞEN (İTÜ)
Zekai ŞEN (İTÜ)
Olca TUMAY (İTÜ)

TÜRKİYE HAVA KİRLİLİĞİ VE METEOROLOJİ VERİLERİNİN ÇAPRAZ TOPLAM SEMİVARIÖGRAM YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ

Zekâi Şen ve Hüseyin Toros

İTÜ, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü
Ayazağa 80626

ÖZET

Bütün dünyada hava kirliliği ile ilgili çeşitli hava kirletici konsantrasyonları ve meteorolojik değişkenler gelişmiş güzel bir ölçüm ağı vasıtasıyla ölçülerek veriler elde edilmektedir. Ölçüm aşamasından sonra en önemli konu bu verilerin sınıflandırılarak genel bazı yorumların yapılmasına ilaveten bölgesel modellerinin kurularak gerekli yerlerde önceden tahminlerin yapılması için programların geliştirilmesi teşkil etmektedir. Bu çalışmada dünya literatüründe ilk defa *çapraz toplam semivariogram* modellerinin Türkiye verileri için uygulanması yer almaktadır. Bu modeller daha sonra Kriging gibi etkin ve fiziksel yorumlamaları da içine alan geniş kapsamlı haritalama modellerinde kullanılacak esasları teşkil eder. Çalışmanın esas amacı hava kirliliği ve meteorolojik değişkenlerin çapraz bölgesel ilişkilerinin ortaya çıkarıldıktan sonra yorumların çeşitli coğrafik yönlerde yapılmasını kapsar.

ABSTRACT

Anywhere in the world the air pollutants and meteorological variabilities are measured at irregular sites within a region. Following the measurement period the most important issue is to classify these data with meaningful interpretations and to construct useful models in order to make their regional predictions with reliability. This study presents first time in the world literature the application of *cross cumulative semivariogram* techniques for the data obtained within Türkiye which constitute the basis of universally accepted Kriging mapping models. The main purpose of this study is to detect the cross cumulative semivariogram properties of Turkish air pollutants and meteorological variables leading to useful and reliably interpretations along different geographical directions.

GİRİŞ

Atmosferin alt tabakalarında görülen hava kirleticilerinin oluşum, hareket ve dağılımları meteorolojik, topoğrafik ve antropolojik etkiler dolayısıyla oldukça karmaşık bir durum arz eder. Bu karmaşıklıkta hava akımları, kimyasal reaksiyon, ışınım ve meteorolojik oluşumlar gibi fiziksel olayların payı çok büyüktür. Özellikle atmosferin sınır tabakasındaki rüzgar hızı ve yönü, sıcaklık, yağış ve nemlilik gibi meteorolojik şartlar hava kirleticilerinin konsantrasyonlarını kritik bir şekilde etkiler. Bu kirleticilerin dağılımını yükseklik farkları, ormanlar, göller gibi bölgesel ve yerel faktörler de etkilerler. Antropolojik faktörler arasında ise insan faaliyetlerinden şehirleşme, sanayi yapıları, ulaşım vasıtaları, enerji üretimi, çölleşme, çarpık çevre şartlarının gelişmesi gibi olaylar bulunur.

Hava kirliliğinin en aza indirilmesi için kaynakta kirletici üretimine sebep olan faktörlerin kontrol altına bağlı olmasına rağmen maalesef ülkemizde gerekli kalitede yakacak, planlama, şehirleşme gibi tedbirlerin yerel veya merkezi yöneticiler tarafından ilmi esaslara

uygun olarak alınmamasından dolayı hava kirliliği gün geçtikçe artan bir şekilde devam etmektedir. Özellikle veri toplama işlemlerinde son yıllarda görülen önemli kıpırdanışlar gelecekte yapılacak çalışmalara bir esas teşkil etmesi açısından sevindirici olmakla beraber, buna paralel olarak dışarıdan hazır program veya modeller bilinçsizce ithal edilerek ülke içinde kendi model ve yaklaşımlarımızı geliştirecek yetenekli kişileri ortaya çıkarmak gereklidir. İşte bu gaye için buradaki çalışmada hava kirletici ve meteorolojik şartların ortak davranışlarını detaylı olarak inceleyebilmek için çapraz toplam semivariogram yöntemi geliştirilerek uygulanmıştır.

Hava kirleticileri ve meteorolojik faktörlerin bölgesel değişimleri tamamen kontrol edilemeyen rastgele kısımları ihtiva eden stokastik bir görünüme sahiptir. Bunun için bu faktörlerin modellenmelerinde başarıya ulaşabilmek için aşağıdaki noktaların ayrı ayrı yerine getirildikten sonra haritalama yönüne gidilmelidir. Bunlar :

(1) Birçok istasyonda toplanmış olan değişkenlerin bölgesel yapılarının ve bağımlılıklarının incelenerek basit fonksiyonlarla ifade edilmesi gerekir. Burada sadece bir değişkenin yalnız başına değil başka değişkenlerle de olan ortak yani çapraz ilişkilerinin de araştırılarak fonksiyonlar halinde belirlenmesi arzu edilir. Bu çalışmada işte bu tür ortak ilişkilerin ampirik fonksiyonları elde edilerek gerekli yorumların tümü yapılmıştır.

(2) Yukardaki adımda elde edilen ampirik fonksiyonlara en uygun olan teorik fonksiyonların (küresel, logaritmik, kuvvet, doğrusal, üssel, vb.) tesbit edilmesi lazımdır. Bu fonksiyonlara teorik çapraz toplam semivariogram modelleri denir.

(3) Bundan sonra bölgesel tahmin yapacak uygun Kriging modelinin önceki adımda belirlenen teorik modelin göz önünde tutulması ile geliştirilerek istenilen noktalardaki tahminlerin yapılması gelir.

(4) Uygulanan modelin geçerliliğinin kontrolü için geçmişte gözlenmiş olan verilerin göz önünde tutularak çapraz yeterlilik (cross-validation) kontrollerinin yapılarak modelin en azından % 90'lık bir güvenilirlikle tahmin yapıp yapmadığının tahkik edilmesi gerekir.

(5) Tüm yukardaki aşamalardan başarı ile geçen bir model daha sonra hiç gözlemi olmayan konumlar veya zamanlar için tahmin yapmakta kullanılmalıdır.

Buradaki çalışmada sadece birinci adımda belirtilen çapraz toplam semivariogram ampirik olarak verilerden elde edildikten sonra yorumları yapılacaktır.

MODELİN ESASI

Literatürde şimdiye kadar daha ziyade hava kirleticilerinin zamansal değişimleri ve tahminleri üzerinde durulmuştur. Ancak birçok istasyonda ölçülmüş geçmiş verileri esas alarak anlık haritaların çıkartılması mümkün olmasına rağmen, esas arzu edilen, bu verilerden yararlanarak gelecekteki hava kirletici konsantrasyonlarının zaman ve mekan davranışlarının büyük bir güvenilirlikle kontrol altına alınacak biçimde tahminlerin yapılmasına ihtiyaç vardır. Bunu başardıktan sonra bir istasyondaki hava kirleticisi zaman serisi yerine birçok istasyonu esas alarak hazırlanacak *zaman harita* serileri'nin elde edilmesi mümkün olur. Bunu yaparken de son zamanlarda dinamik bir şekilde kullanılan *jeoistatistik* diğer bir tabirle *bölgesel değişken*'ler teorisinden yararlanılmalıdır. Ortalıkta bu işleri yapan hazır programların bulunduğu bir gerçektir ama bu programların geçerliliği hakkında kullanıcının temel jeoistatistik, modelleme ve yorum yeteneklerine sahip olup olmadığı çok daha önemlidir. Çünkü hazır programlar giriş verildikten sonra çıkışı mutlaka verecektir ancak yukardaki esasları iyi bilmeyen yöneticilerin veya araştırmacıların önünde bu çıktılar gerekli ve yerinde yorumların yapılmasına imkan vermeyecektir. Bu bakımdan modellemeye adım adım yaklaşılmasında fayda vardır. Bunun için burada bu tür modellemelerin ilk aşaması olan

bölgesel değişim yorumlamalarına yarayan çapraz toplam semivariogram kavramı ve uygulaması üzerinde durulmuştur.

Herşeyden önce Matheron(1963) tarafından teklif edilen ve bölgesel bağımlılığın bir ölçüsü olarak ortaya çıkan variogram veya semi variogram göz önünde tutulan değişkenin yapısında mesafe ile nasıl değişmelerin olduğunu ortaya çıkaran bir büyüklük olarak karşımıza çıkmaktadır. Uzayda cereyan eden bir tabiat olayının bizim tarafımızdan sayısal hale dönüştürülmesi ancak ayırık ve gelişi güzel istasyonlarda yapılan ölçmelerle mümkün olmaktadır. Öyle ise bu istasyonlardaki bilgilerden yararlanarak o olayın tüm bölgede ortaya çıkışı hakkında bir fonksiyon elde edebilmeyiz sorusuna cevap olarak $V(m)$ ile gösterilen variogram fonksiyonunun mesafe, m , ile değişimini tesbit etmemiz lazımdır. Mantıksal olarak iki istasyon ne kadar birbirlerine yakın ise ölçülen değerlerin o kadar birbirlerine benzer veya farklarının o kadar küçük olması beklenir. İşte variogram, bir bölgede ayırık istasyonlarda ölçülmüş olan verilerin birbirlerinden olan farklarının karelerinin o iki istasyon arasındaki mesafe ile değişimini gösteren bir fonksiyon olarak karşımıza çıkmaktadır. Aralarında m mesafesi bulunan n tane istasyon çifti mevcut ise bu taktirde variogram

$$V(m) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [Y(h) - Y(h+m)]^2 \dots \dots \dots (1)$$

formülü ile tanımlanır. Burada $Y(h)$, h konumundaki bir istasyonda ölçülen değişkenin değerini $Y(h+m)$ ise ondan m mesafesi kadar uzakta olan herhangi bir istasyondaki değişkenin değerini gösterir. Denklem (1), n tane aynı uzaklıkta olan istasyon çiftinin arasındaki fark karelerinin ortalamasını gösterir. Bu hesaplamadaki bazı güçlükler Şen(1989) tarafından detaylı olarak anlatılmış ve semivariogramın verilerden hesap edilmesinden sonra teorik semivariogramların bulunmasında ve yorumların yapılmasındaki zorluklarda ayrıca belirtilmiştir. Bu formül özellikle düzenli olan istasyon konumları için uygun ve çarpık olmayan neticeler verir. Alınan ortalamalar da gerçek bölgesel bağımlılığı belirtemez. Yeni bir yöntem olarak Şen(1989, 1992) tarafından toplam semivariogram metodu geliştirilerek literatüre sunulmuş ve ilk defa hava kirliliği ile olan uygulaması yine Şen(1994) tarafından İstanbul şehri için verilmiştir. Ancak şimdiye kadar yapılan uygulamalarda birtek değişkenin bölgesel dağılım ve bağımlılığı incelenmiştir.

İki tane birbirinden farklı değişkenin, mesela bir meteoroloji ve bir de hava kirliliği değişkeninin ortak bölgesel ilişkilerinin tesbit edilmesi gayesi ile burada çapraz toplam semivariogram kavramı teklif edilerek uygulanmıştır. X ve Y gibi aralarındaki mesafe farkı m olan iki istasyondaki değişkenler arasındaki çapraz toplam semivariogram, $C(m)$ şu şekilde tanımlanır.

$$C(m) = \sum_{i=1}^n [X(h) - X(h+m)] \cdot \sum_{j=1}^n [Y(h) - Y(h+m)] \dots \dots \dots (2)$$

İşte $C(m)$ 'nin m ile değişiminin verilerden elde edilerek çizilmesi sonucunda ortaya çıkacak grafiğe ampirik çapraz toplam semivariogram (AÇTOSEV) adı verilir. Bu çalışmada ayrıca denklem(2)'nin sadece global olarak uygulamasından ziyade istasyon konumlarının değişik coğrafik istikametlerindeki iz düşümleri alınarak uygulanması göz önünde tutulmuştur. Buradaki gaye hava kirliliği verilerinin izotropik olarak bir bölge üzerinde yayılıp yayılmadıklarının tesbiti olmuştur. Alışlagelmiş bu tür modellemelerde yön farkına bakılmadan çalışmaların yapılması, aslında değişkenlerin izotrop olarak dağıldığı kabulü bulunmaktadır.

KULLANILAN VERİ

Bu çalışmada Türkiye genelinde 63 il merkezinde ölçülen hava kirliliği verilerinden SO₂ ile Meteorolojik verilerden sıcaklık, nem, rüzgar değerleri ve yükseklik değerleri kullanılmıştır. Veriler daha önce yapılan bir çalışmadan alınmıştır (Gebizlioğlu ve Güven, 1993). Kullanılan veriler 1990 yılı ocak ayı ortalama değerleridir. Test sonucunda meteorolojik verilerin normal dağılıma uyduğu, SO₂ değerlerinin uymadığı görülmüştür. Bunun sonucunda Meteorolojik veriler ham veri olarak kullanılırken, Hava kirliliği verilerinin logaritmaları alınarak normal dağılıma uymaları sağlanmıştır. AÇTOSEV'lerin kıyaslanmasının daha kolay olması için orjinal veriler standartlaştırılarak boyutsuz hale getirilmiştir.

YORUM VE TARTIŞMALAR

Ampirik çapraz toplam semivariogramların (AÇTOSEV) elde edilmesi için yükseklik, sıcaklık, nem, rüzgar hızı gibi topografik ve meteorolojik değişkenlerle hava kirleticilerini temsilen sadece kükürt dioksit (SO₂) göz önünde tutulmuştur. AÇTOSEV'lerin hesaplanmasında doğu-batı istikameti 00 derece, kuzey-güney istikameti ise 90 derece ile gösterilmiştir. Diğer 30 ve 60 derecelik istikametlerin ne oldukları aşikardır. Denklem (2)'deki ifadenin SO₂ ve yükseklik değişkenlerine uygulanması sonucunda dört coğrafik doğrultuda AÇTOSEV fonksiyonları elde edilerek Şekil 1'de verilmiştir. Bu şekilden yükseklik ile SO₂ arasında aşağıdaki yorumların yapılması mümkündür.

(1) SO₂ konsantrasyonları bütün Türkiye üzerinde 800 km uzaklıklara kadar yükseklik artması sonucunda artım gösterir ve takriben 800-1000 km arasında bir maksimum değere ulaştıktan sonra azalmaya geçer. Bu artış aşağı yukarı 500-600 km uzaklıklara kadar doğrusal olarak kendini gösterir ancak daha sonra bir tepeden geçer ve uzun mesafelerde sabit bir seviyeye ulaşır.

(2) SO₂ konsantrasyonunun yükseklikle değişiminde coğrafik yönlerin önemi oldukça azdır ve özellikle 500-600 metreye kadar üç yön birbirinden hiç farksız gibi davranırken sadece kuzey-güney yönünde bir farklılık mevcuttur. Diğer taraftan 600-1200 metre mesafeler arasında yönler arası farklar fazlalaşarak izotrop olmamaya işaret eder. Buradan da anlaşılmaktadır ki uzun mesafe taşınımalarında yüksekliğin SO₂ üzerinde izotrop olmayan etkisinin mutlaka göz önünde bulundurulması gerekir. Kısa mesafelerdeki izotropluk daha üniformdur.

SO₂ değerlerinin sıcaklıkla bölgesel olarak ne şekilde değiştiği Şekil 2'den görülebilir.

(1) Burada yüksekliğin aksine mesafe arttıkça hava kirletici konsantrasyonun sıcaklıkla azaldığı görülmektedir. Bu azalma takriben 200 km mesafesine kadar hem izotrop hemde doğrusal olarak devam etmektedir. Bunun anlamı global olan bölgesel modellerde sıcaklığın etkisinin üniform olarak bulunduğuudur.

(2) 200 km'den sonra artık yavaş yavaş anizotropi olmayış rol oynamaya başlar ve SO₂'nin en büyük azalmasının kuzey-güney istikameti ile 60 derece olan doğrultuda bulunduğu buna karşılık en düşük azalmanın ise 00 ve 30 derecelerde olduğu görülebilir.

(3) Uzun mesafelerde sıcaklığın etkisi artık sabit kalır yani sıcaklık değişimlerinin hava kirleticisine etkisi olmaz Ancak bu en kısa mesafe olarak 60 derece doğrultusunda takriben 400km'de; daha sonra 600 km mesafesinde 90 derece yani kuzey-güney doğrultusunda en sonunda da 1200 km uzaklıkta diğer doğrultularda ortaya çıkar.

Meteorolojik değişkenlerden nemin SO₂ üzerine olan etkisi Şekil 3'de her dört istikamet için verilmiştir.

(1) SO₂ miktarları nem ile mesafe arttıkça doğru orantılı olarak artar ve bu artış sabit bir seviyeye ulaşıncaya kadar birbirinden farklı iki davranış gösterir. Kısa mesafelerde şekilden görüleceği üzere yaklaşık olarak 200 km mesafeye kadar yönün bu değişimde önemli bir etkisinin olmadığı görülür. Bu mesafeye kadar izotrop bir dağılımın söz konusu olacağı söylenebilir.

(2) 200 km'den-sonra bir izotrop olmayan bölge başlar ki bu değişik yönler için değişik mesafelerde son bulur. Örneğın nemin en etkili olduğu yön kuzey-güney, en az ise doğu-batı doğrultusudur.

(3) 800 km'den sonra ise bütün yönler boyunca aynı sabit seviyede kalan SO₂ ve nem bölgesel bağıntısı bu mesafeden sonra tekrar izotropluğun mevcut olduğunu gösterir. Bunun sebebi ise bu mesafeden sonra bu iki değişken arasında bölgesel bir bağıntının olmamasındandır.

Son olarakta rüzgar hızının SO₂'ye olan etkisinin bölgesel değişimini gösteren AÇTOSEV diyagramı Şekil 4'te sunulmuştur. Diğerleri ile kıyaslandığında bunun daha karmaşık bir yapı arz ettiği rahatça görülmektedir.

(1) Bilhassa kuzey-güney doğrultusundaki izdüşümden elde edilen AÇTOSEV fonksiyonu başlangıçtan takriben 100 km'ye kadar bölgesel doğru orantı göstermesine karşılık daha sonraki mesafelerde bazen ters bazende doğru orantılar göstermektedir. Bu ise SO₂'nin rüzgar hızı dolayısı ile maruz kaldığı rastgele etkiler ve sonunda konsantrasyonun iyi karışımı için bir faktör olduğunu ifade etmeye yeter.

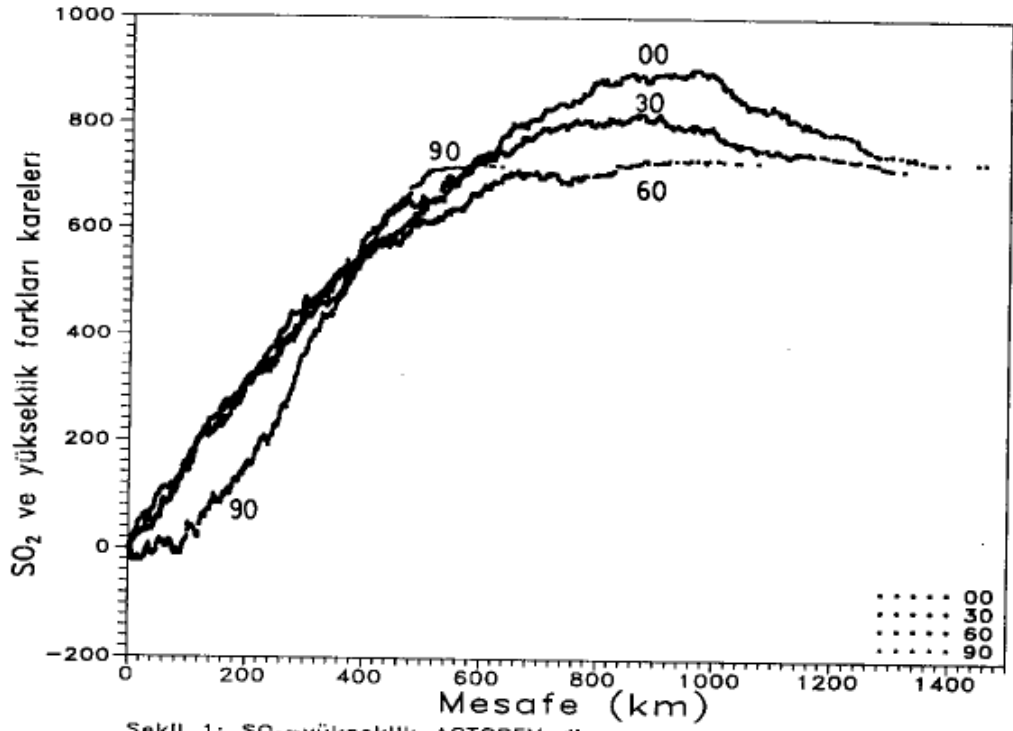
(2) Diğer üç doğrultu boyunca ise her ne kadar arizi bazı rastgelelikler mevcut ise de kirlenici konsantrasyonunun devamlı olarak rüzgar hızı ile ters bir bölgesel ilişki içinde olduğu izlenebilir. En kısa uzun mesafe taşınımının 60 derecelik doğrultuda olduğu açıkça görülmektedir.

SONUÇLAR

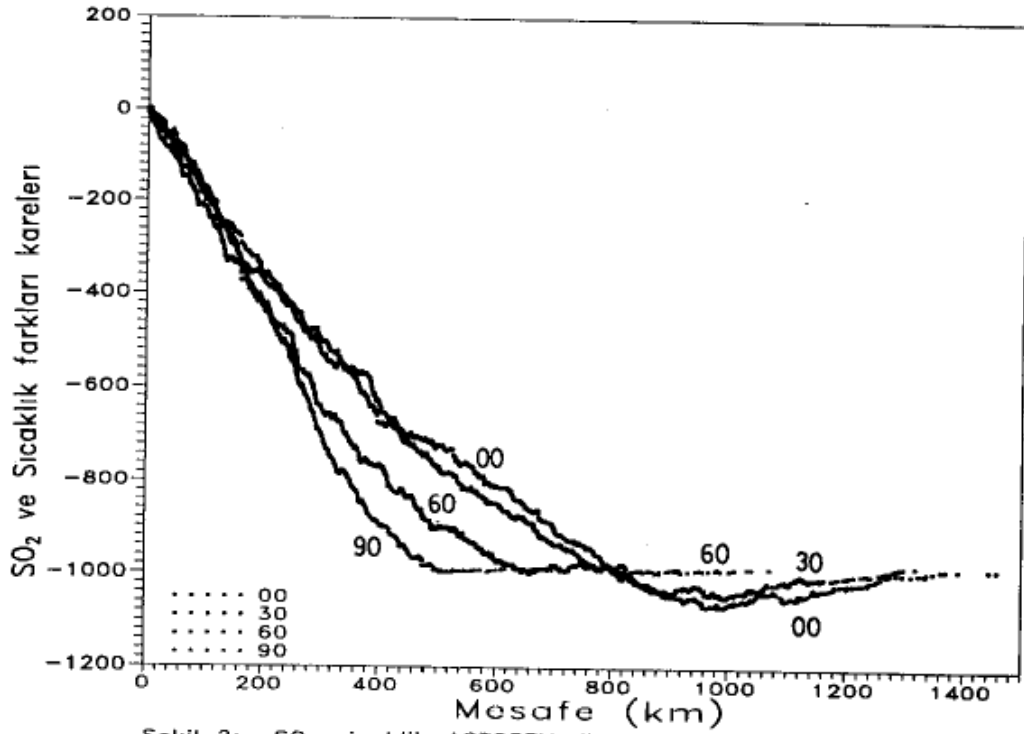
Bu çalışmada yeni geliştirilmiş olan çapraz toplam semivariogram yöntemi bazı meteorolojik, topoğrafik ve hava kirlenici konsantrasyonlarına uygulanmıştır. Türkiye üzerinde SO₂ kirlenici konsantrasyonlarının yükseklik, rüzgar hızı, sıcaklık, ve nem ile bölgesel olarak nasıl değiştikleri, hangi mesafelerde izotrop veya anizotrop oldukları, hangi yönlerde farklı dağılımlar gösterdikleri sergilenmiştir. Gelecekte AÇTOSEV'lerin teorik modellerinin kurularak Kriging haritalama programlarına ithal edilmesi hususunda araştırmaların yapılması beklenmektedir.

REFERANSLAR

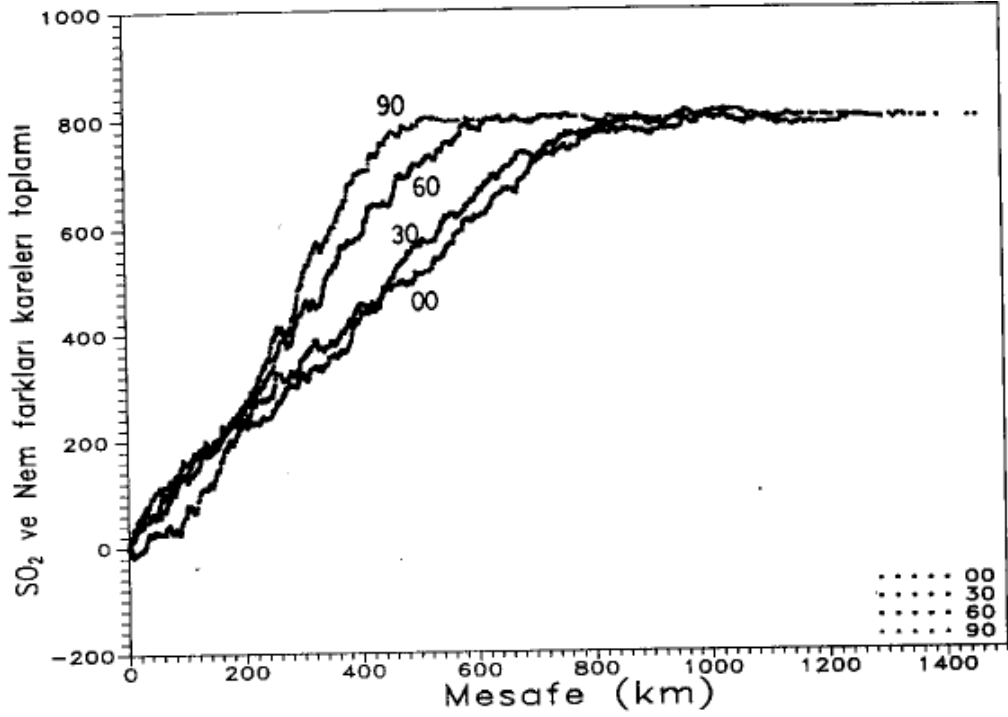
- Gebizlioğlu, Ö.L. ve Güven. S., 1993. SO₂, PM için bir çoklu doğrusal mekan boyutlu regresyon model denemesi. Birinci Hava Kirlenmesi ve Kontrolü Sempozyumu '93. İstanbul Teknik Üniversitesi, 54-71.
- Matheron, G. 1963. Principles of geostatistics. Economic Geology, 58, 1246-1266.
- Şen, Z., 1989. Cumulative semivariogram models of regionalized variables. Int. J. Math. Geol. 21, 891-903.
- Şen, Z., 1992. Standart cumulative semivariograms of stationary stochastic processes and regional correlation. Int. J. Math. Geol. 24, 417-435.
- Şen, Z., 1994. Regional air pollution assessment by cumulative semivariogram technique. Atmospheric Environment. V. 28.



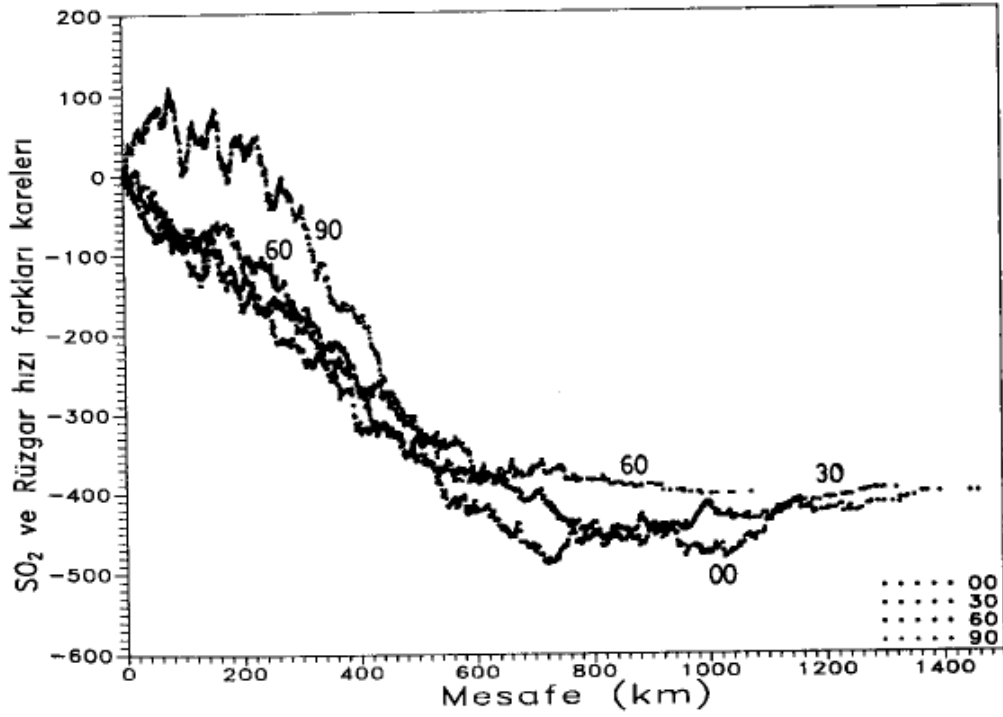
Sekil 1: SO₂-yükseklik ACTOSEV diyagramı



Sekil 2: SO₂-sıcaklık ACTOSEV diyagramı



Sekil 3: SO₂-nem ACTOSEV diyagramı



Sekil 4: SO₂-rüzgar ACTOSEV diyagramı