

HYSPLIT BACK-TRAJECTORY MODELİ İLE İZMİR VE ÇEVRESİNDEKİ HAVA KİRLLETİCİ KAYNAKLARIN BÖLGENİN HAVA KALİTESİNE ETKİLERİNİN ANALİZİ

Faruk DİNÇER ^{1(*)}, Tolga ELBİR ¹, Aysen MÜEZZİNOĞLU ¹

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Buca/İzmir

ÖZET

Türkiye'nin üçüncü büyük kenti olan İzmir, ülkenin diğer büyük kentleri gibi hava kalitesi sorunları yaşamaktadır. Bu çalışmada İzmir kenti ve çevresinde faaliyet gösteren kirletici kaynakların kentin hava kalitesine yaptığı etkiler, bölgenin meteorolojik ve topoğrafik koşulları altında incelenmiştir. İzmir'de faaliyet gösteren hava kalitesi ölçüm ağının 2000 yılı içinde tespit ettiği en yüksek SO₂ konsantrasyon değerleri ve bunların görüldüğü günler öncelikle belirlenmiştir. Daha sonra HYSPLIT back-trajectory modeli yardımıyla yüksek hava kirliliği seviyelerinin görüldüğü günlerde kirleticilerin o andaki meteorolojik koşullar altında ölçüm yerine ulaşmaya kadar izlediği yörüngeler belirlenmiştir. Bu yörüngeler ve kentin etrafındaki kirletici kaynakların konumları ve özellikleri dikkate alınarak bölgedeki mevcut hava kalitesi hakkında yorumlar yapılmıştır. Buna göre bölgeyi en çok etkileyen rüzgârların kuzeyli rüzgârlar olduğu, bu nedenle kirlenmenin kentin kuzey-güney aksı boyunca görüldüğü, bu nedenle büyük kirletici kaynakların yer aldığı Aliğa ve Soma bölgelerinden kente ciddi boyutlarda kirleticilerin taşınabildiği gösterilmektedir.

ABSTRACT

Izmir, the third biggest city of Turkey, is facing air pollution problems like other large cities in the country. In this study, deterioration of air quality due to polluting sources around the city is investigated by taking into account the meteorological and topographic conditions in the region. HYSPLIT back-trajectory model was used to determine the pathways of air masses creating the maximum daily SO₂ concentrations detected by the ambient air quality monitoring network in the city during 2000. These pathways as well as the locations and characteristics of air polluting sources were used to explain the air quality in and around the city. Results showed that deterioration of air quality is associated with the northerly winds, which means that pollutants are blown from north towards the city. This axis involves large polluting sources in the Aliğa and Soma regions.

ANAHTAR SÖZCÜKLER

Yörünge analizi, hava kalitesi, HYSPLIT modeli

* fdincer@deu.edu.tr

GİRİŞ

Literatürde kullanılan “hava toplama havzası” terimi, bilinen kirletici kaynaklar etrafındaki, hava hareketleri ve kirleticilerin kimyasal değişim oranları da dikkate alınarak yapılan hava kirliliği modellerinin çalıştığı sınırlı bölge olarak tanımlanabilir (Goudie vd, 1994). Hava toplama havzası HKKY’de belirtilen “temiz hava planı ölçeği”ne karşılık gelmektedir. Genellikle bir şehrin hava toplama havzasının sınırlarını belirlemek, topoğrafyanın getirdiği karmaşıklıklar ve hava hareketleri nedeniyle çok zordur. Bu zorluk topoğrafyası çok engebeli olan ve ayrıca vadi-tepe esintileri ile birlikte deniz meltemlerinin sık sık yön değiştirdiği bilinen İzmir kenti için özellikle geçerlidir.

Yörünge (trajectory) analizleri, hava kalitesi çalışmalarında kirletici kaynak ve alıcı ortam arasındaki ilişkinin belirlenmesinde kullanılan etkili bir yöntemdir (Fast ve Berkowitz, 1997) ve hava kütlelerinin izlediği yörüngelerin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bu analizler hava hareketlerinin izlenmesinde ve bir şehirde hava toplama havzasının sınırlarının belirlenmesinde etkili olmaktadır (Sturman ve Zawar-Reza, 2002; Brankov vd, 1998). Bu analizlerde, kirli havanın kent üzerinde oluştuğu zaman ve ölçüm yerine ulaşmak için izlediği yolun bilinmesi önemli bir unsurdur.

Daha önce İzmir için yapılmış olan Temiz Hava Planı çalışmasında 200*170 km²’lik bir alan şehrin kuzey, güney ve doğu aksındaki sanayi bölgelerini de içine alacak şekilde seçilmişti. Böyle bölgesel büyüklükte bir ölçekte temiz hava planlaması yapmak doğal olarak çok büyük zorluklar yaratmıştır (THP, 2001).

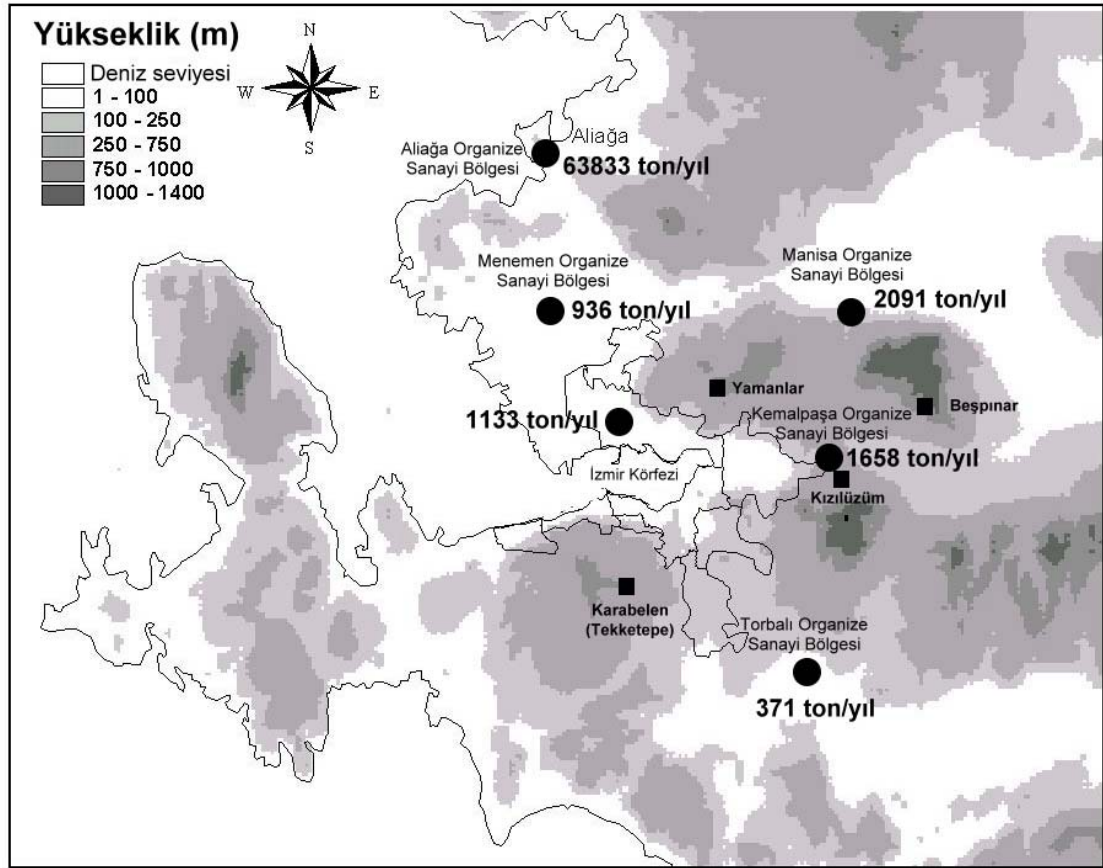
Ege Denizi kıyısında bulunan İzmir, gerek 2,7 milyon olan merkezdeki yerleşik nüfusu, gerekse çok çeşitli endüstri kuruluşuna sahip olması nedeniyle büyük miktarlarda hava kirleticileri atmosfere vermektedir. Bölgede yapılan çalışmalar klasik kirleticiler arasında en önemli kirlilik türünün kükürt dioksit olduğunu göstermektedir (Elbir, 2002). Kükürt dioksitin 2000 yılı için hazırlanan emisyon envanterinde yıllık 81752 ton emisyonu sahip olduğu (Şekil 1) ve bu emisyonların en büyük kaynağının % 86’lık bir katkı değerine sahip olan endüstriler olduğu belirlenmiştir (Elbir, 2002; Müezzinoğlu vd, 2001).

İzmir kenti 1000-1500 metrelere varan yükseltilerle çevrilmiş olup, sadece batısı Ege Denizine açılmaktadır (Şekil 1). Kentin deniz kıyısında bulunması ve karadaki topografik yapı nedeniyle hava hareketleri genelde deniz-kara ve vadi-tepe arasında gidip gelen rüzgarların süperpoze olması ile ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle rüzgarlar, günün saatlerine, ve seçilen noktanın denizlere ve dağlara göre konumuna bağlı olarak yerden yükseldikçe yön değiştirmekte hatta bazen zıt yönlere dönmektedir. Rüzgar yönlerindeki bu değişimler, yer seviyesinde ve atmosferin topografik etkilerin belirgin olduğu yere yakın alt tabakalarında görülmektedir.

İzmir’in hava kalitesi yaz-kış kuzeyli rüzgarların etkisi altında olup, dolayısıyla kentin hava kalitesi Aliağa bölgesindeki SO₂ kaynaklarının etkisi altındadır (THP, 2001). Kışın bu durum güneyli rüzgarların etkisi ile zaman zaman ortadan kalkmaktadır. Ayrıca İzmir kentsel alanında özellikle Altındağ-Bornova aksında yerleşmiş olan sanayi kuruluşları da kentiçi hava kirlenmesinde gerek SO₂ gerek PM ve diğer gaz kirleticiler bakımından önemli olduklarını görülmektedir. Kış aylarında yakılan yakıtların çıkardığı emisyonların etkisi kent içinde yerel boyutta ayrıca önem taşımaktadır.

Diğer taraftan İzmir'i çevreleyen dağlardaki ormanlarda yapılan kükürt birikimi ve gelişme engellenmesi etüdlarının sorunlara işaret etmesi üzerine, İ.Ü.Orman Fakültesi ile birlikte bir çalışma yapılarak, dağlık alanlarda havada SO₂ ölçümleri yapılmıştı (İzmir Çevresindeki Ormanlarda Hava Kirliliğinin Etkilerinin Araştırılması projesi, 2002). Bu dağ ölçümlerinden bir seriye dayanarak yapılan yörünge izleme çalışması, kuzey-kuzeybatı yönlerden esen rüzgârların önemli ölçüde etkili olduğunu ve dağ istasyonuna kirliliğin bu yönlerden ulaştığını göstermiştir (Dinçer vd, 2003).

Bu çalışmada ise en yüksek günlük ölçümlerin kirletici kaynaklarla ilişkisi rüzgar verileri dikkate alınarak tamamlanmıştır. Şekil 2'de İzmir Büyükşehir Belediyesine ait Alsancak'da kurulu olan hava kalitesi ölçüm istasyonunda elde edilmiş olan günlük ortalama SO₂ konsantrasyonları 2000 yılı için verilmiştir. Bu verilerde yaz ayları eksik ise de, çalışma maksimum değerleri kullandığından ve en yüksek değerler de zaten kışın ortaya çıktığından dolayı bu eksikliğin fazla bir önemi bulunmamaktadır.

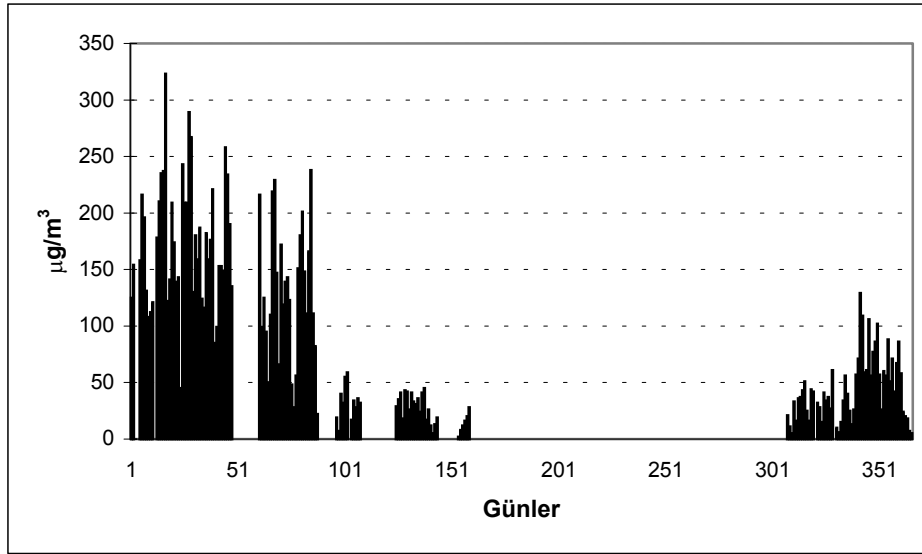


Şekil 1. İzmir çevresindeki SO₂ kaynaklarının yerleri ve yıllık emisyonları

Çalışmada kentin yoğun yerleşim alanını temsil etmesi için, İzmir Büyükşehir Belediyesine ait Alsancak hava kalitesi ölçüm istasyonundan elde edilmiş veriler kullanılmıştır. Bu istasyonda bir yıl boyunca ölçülmüş olan en yüksek 20 adet SO₂ verisinin ortaya çıktığı günler için 24 saatlik yörünge analizi yapılmış ve hesaplanmış olan yörüngeler yardımıyla İzmir'in hava toplama havzasına kirlilik girişlerinin hangi yönlerden olduğu araştırılmıştır.

MATERYAL ve METOD

Bu çalışmadaki yörünge analiz hesaplarında Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory (HYSPLIT) modeli kullanılmıştır. HYSPLIT modeli (Heffter, 1980) tekil kirletici parçacıkların geçmişte izlediği veya gelecekte izleyeceği yörüngeleri hesaplar. Modelin yörünge hesaplarında kullandığı meteorolojik veriler çok geniş bir veri tabanına ihtiyaç göstermektedir. Yörüngeler hesaplanırken ister parçacığın izlemiş olduğu yani geri-yörüngesi (back-trajectory), isterse gelecekte izleyeceği yani öne doğru yörüngesi (forward-trajectory) bulunmak istensin, her durumda büyük bir veri tabanından çok sayıda veriye ihtiyaç vardır. HYSPLIT modeli ile yörünge analizi web üzerinden yapılabileceği gibi (<http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>), PC'lerde de model gerekli meteorolojik verilerin gerekli dönüşümünü yapmak kaydıyla çalıştırılabilir.



Şekil 2. 2000 yılında Alsancak istasyonunda ölçülen günlük ortalama SO₂ konsantrasyonları

İzmir'de hava kütlelerinin hareketlerini belirlemek amacıyla yıl içinde en yüksek günlük SO₂ konsantrasyonlarının Alsancak istasyonunda elde edilmiş 20 adedi için 6 saatlik zaman dilimlerinde 24 saatlik yörünge analizleri yapılmıştır. Bu yolla bu en büyük kirlilik değerlerine neden olan kirletici kaynakların hangileri olduğu araştırılmıştır.

SONUÇLAR

Çalışmada kullanılan veriler, İzmir Alsancak istasyonunda 2000 yılında ölçülmüş olan en yüksek 20 SO₂ konsantrasyonuna sahip olan günlere aittir. Bu konsantrasyonların hangi ayda ve günde ölçüldüğü Tablo 1'de verilmiştir. Günlük ortalama SO₂ konsantrasyonları bu günler için 196 ila 323 µg m⁻³ arasında değişmektedir. Bu konsantrasyon değerlerinin Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliğindeki KVS sınır değerinin (400 µgm⁻³) altında olmasına rağmen Avrupa Birliğinin 24 saatlik limit değerlerinden (100-150 µgm⁻³) daha yüksek olduğu görülmektedir.

HYSPLIT modeli ile web üzerinden yapılan yörünge analizi sonuçlarına bakıldığında 20 günlük bu periyotta kirliliğin %55'lik bölümünün kuzeydeki kaynaklardan geldiği görülmektedir (Şekil 3). Bunlar N, N-NW ve N-NE sektörlerinde yer almaktadır. Diğer sektörler ise sırasıyla %25 ve %20 ağırlıklara sahip olan doğulu (E) ve güneyli (S ve S-SE) rüzgâr sektörleridir. Tablo 2'de her bir rüzgâr yönünün (E, N, NE, NW, S, SE) frekansı hem tek tek (E, N, NE, NW, S, SE) hem de sektörel olarak (kuzeyli, doğulu ve güneyli rüzgârlar)

verilmiştir. Ayrıca her sektörden gelen kirli hava paketlerinin hava kirlenmesine katkı değerleri de Tablo 2’de verilmiştir.

Alsancak istasyonunda ölçülen değerlerin %55’i kuzeyden gelen kirli havanın etkisiyle oluşmaktadır. Her ne kadar kış ayları olması nedeniyle evsel ısınmadan kaynaklanan kirlilik katkıları mevcutsa da, bu katkılar önemli bulunmamıştır. Kuzeyli sektörlerden gelen kirli hava kütleleri İzmir’in kuzeyinde bulunan ve çok yüksek SO₂ emisyonuna sahip olan Aliğa, Menemen, Soma ve Manisa üzerinden geçmekte ve buralarda oluşan kirli hava kütlelerini İzmir üzerine sürüklemektedir. Aynı şekilde doğulu ve güneyli sektörlerden esen rüzgârlar da doğuda Kemalpaşa ve güneydoğuda Torbalı üzerinde oluşan kirli hava kütlelerini İzmir kentine sürüklemekte ve ulaştırmaktadır.

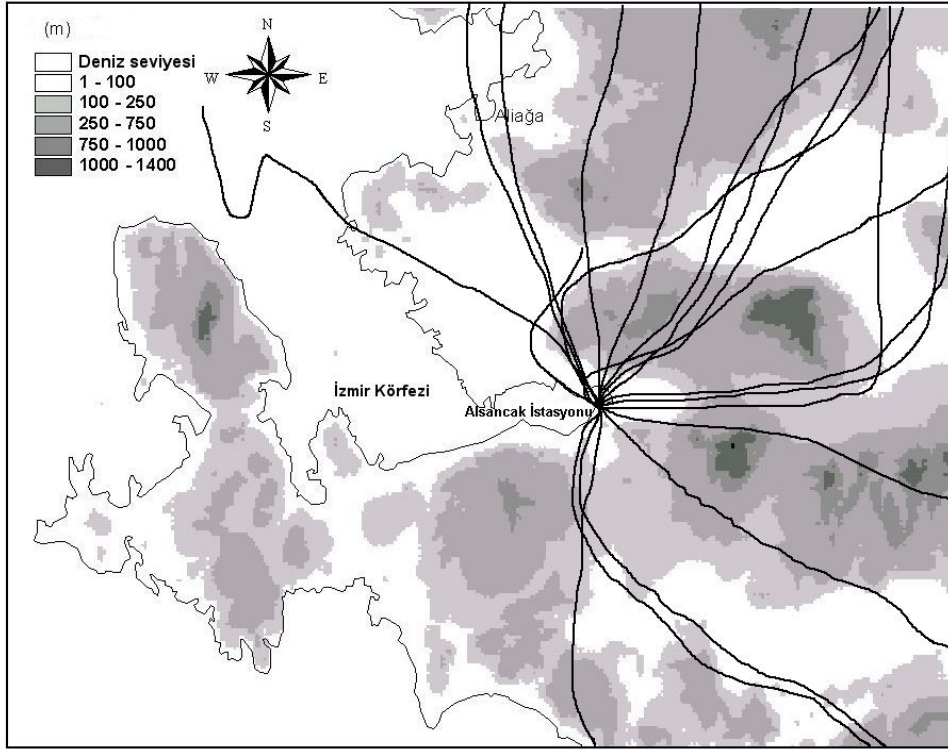
Daha önce açıklandığı gibi buna benzer bir çalışma İzmir’in güneyinde bulunan dağlarda, Tekketepe zirvesinde yapılmıştı. Denizden 980 m yüksekte insan etkisinden uzak bir noktada bir yıl boyunca SO₂ ölçümleri yapılmış ve kirliliğin kaynaklarını tespit etmek amacıyla bu veriler kullanılarak yörünge analizleri yardımıyla bu noktanın daha çok hangi bölgelerden etkilendiği belirlenmişti. Bu çalışmanın sonucunda tüm sene boyunca kirliliğinin %68’inin kuzeyli sektörlerden gelen hava kütlelerinden kaynaklandığı (Şekil 4) ve en yüksek kirliliğin N-NW, N-NE sektörlerinden dağa ulaştığı bulunmuştu (Dinçer vd, 2003). Yine aynı çalışmada ölçüm yerinin özellikle yaz aylarında daha çok kirlendiği ve bu aylarda kuzeyli sektörlerden gelen hava paketlerinin kirliliğe %88 oranında katkıda bulunduğu belirlenmiştir. Ayrıca bu çalışmanın diğer bir sonucu olarak batı sektöründen gelen hava kütlelerinin Ege Denizi üzerinden taze ve nemli hava getirerek kirliliği azalttığı gözlenmiştir.

Tablo 1. Alsancak istasyonunda 2000 yılında ölçülmüş en yüksek 20 SO₂ konsantrasyonunun görüldüğü günler

Yıl	Ay	Gün	SO ₂ (µg m ⁻³)
2000	1	17	323
2000	1	28	289
2000	1	29	267
2000	2	14	258
2000	1	25	243
2000	3	25	238
2000	1	16	237
2000	1	15	235
2000	2	15	234
2000	3	8	229
2000	2	8	221
2000	3	7	219
2000	3	1	216
2000	1	6	216
2000	1	14	210
2000	1	20	209
2000	1	26	209
2000	1	27	209
2000	3	21	201
2000	1	7	196

Analiz sonuçlarına göre çizilen yörüngelerin verildiği Şekil 3’den açıkça görüldüğü gibi İzmir’e ulaşan hava kütleleri topoğrafik yapıya uygun hareket etmektedir. Deniz, vadi ve ovalar üzerinden hareket eden hava kütleleri İzmir şehrine özgü olan deniz-kara esintileri ve dağ-vadi sirkülasyonlarının etkisi altındadır.

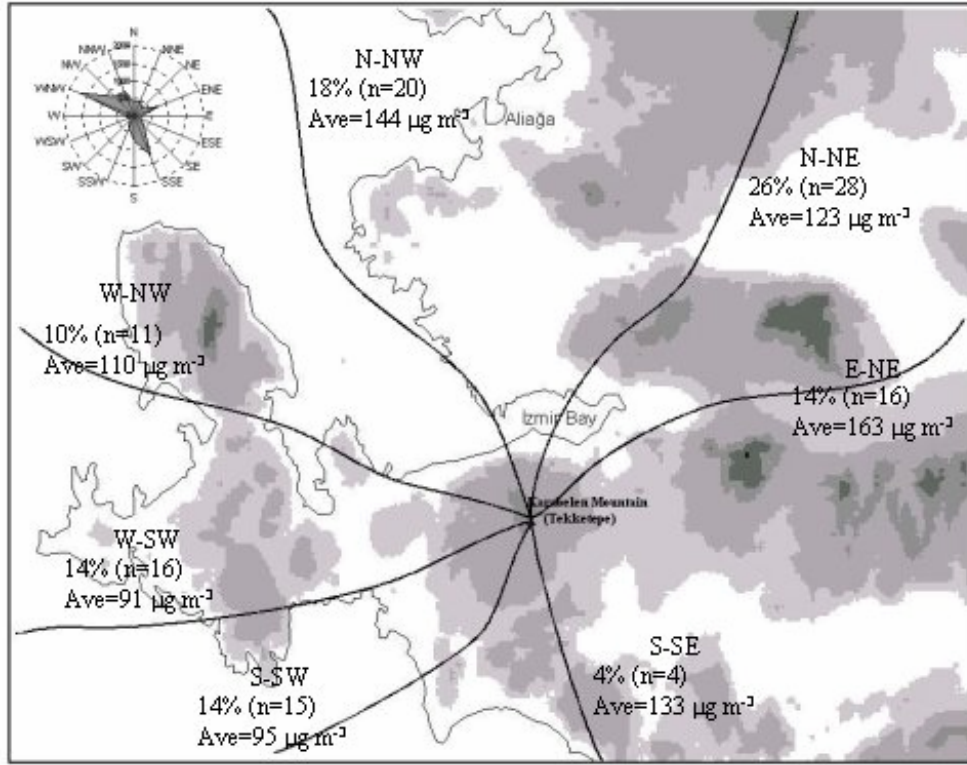
Yörünge analizleri sonucuna göre kuzeyde Aliğa, Menemen ve Soma ilçeleri, doğuda Kemalpaşa ilçesi, kuzey-doğuda Manisa organize sanayi bölgesi ve güneyde Torbalı ilçesinden kaynaklanan kirlilik bulutları, İzmir kentinin hava kalitesi için tehdit unsuru oluşturmaktadır.



Şekil 3. Alsancak istasyonuna çalışma döneminde ulaşan hava paketlerinin yörüngeleri

Tablo 2. Alsancak istasyonuna çalışma döneminde ulaşan hava paketlerinin yörüngelerinin analizi

Sektör	Görülme Adedi	Frekans (%)	Toplam sektörel frekans (%)	Ortalama SO ₂ Konsantrasyonu
E	5	25	25	240
N	5	25	55	230
NE	3	15		
NW	3	15	20	232
S	2	10		
SE	2	10		



Şekil 4. Tekketepe'ye ulaşan hava paketlerinin yörüngeleri, oluşum frekansları ve ortalama kirlenme seviyeleri (Dinçer vd., 2003)

TARTIŞMA

Bir kentte hava kalitesini koruma stratejilerinin geliştirilebilmesi ve yönetimi için o kentin hava kirlenmesi düzeyinin iyi bilinmesi gerekir. Bu kapsamda kent içindekiler kadar kenti çevreleyen alanda bulunan kirlilik kaynaklarının da hava kalitesine olan etki derecesi bilinmelidir.

Bu çalışmanın amacı kentin en kirli günlerde hava kütlelerinin yörüngelerini belirlemek suretiyle İzmir kentine ulaşan kirli hava akımlarının güzergâhını belirlemek ve buna bağlı olarak hava kalitesinin hangi kaynaklardan ne kadar etkilendiği hakkında kanıt aramaktır. Bu amaçla Alsancak ölçüm istasyonunda ölçülen yıl içinde en yüksek SO₂ konsantrasyonlarının görüldüğü günlerde yörünge analizleri yapılmıştır.

Kent dışında olmakla birlikte aynı hava toplama havzasındaki kirlilik kaynaklarının etkilerini hesaba katabilmek ve İzmir gibi bir metropolde hava kalitesi stratejileri geliştirebilmek amacıyla oldukça geniş ölçekli bir alanda temiz hava planı yapmak gerekmiştir (THP, 2001). Bu temiz hava planında ortaya konmuş olan kent dışı büyük kirlenme kaynaklarının İzmir'in hava kalitesine olan etkileri ise tartışma konusu olmakta ve hangi kaynağın ne zaman ve ne kadar etkili olduğu sorgulanmaktadır.

Bu analizler sonucunda İzmir kentine ulaşan kirli hava kütlelerinin en çok kuzeyli, ikinci olarak doğu ve güneyli rüzgâr sektörlerinden geldiği bulunmuştur. İzmir kentinin gerek kuzey ve güney aksında gerekse doğusunda yüksek SO₂ emisyonuna sahip büyük sanayi kaynakları bulunmaktadır. Özellikle kentin kuzeyinde oransal olarak çok yüksek SO₂ emisyonuna sahip

olan endüstriler yerleşmiş bulunmaktadır. Rüzgârlar yardımıyla bu kirli hava kütleleri taşınmakta ve kente ulaşmaktadır.

KAYNAKLAR

Brankov, E., Rao Trivikrama, S. and Porter, S.P. A trajectory-clustering-correlation methodology for examining the long-range transport of air pollutants, *Atmospheric Environment*, 32, 1525-1534, 1998.

Dinçer, F., Müezzinoğlu, A., Elbir, T. SO₂ levels at forested mountains around Izmir, Turkey and their possible sources, *Water, Air and Soil Pollution*, 147, 331-341, 2003.

Elbir, T. Application of ISCST3 model for predicting urban air pollution in the Izmir metropolitan area, *International Journal of Environment and Pollution*, 18 (5), 2002.

Fast, J.D., Berkowitz, C.M. Evaluation of back trajectories associated with ozone transport during the 1993 North Atlantic regional experiment, *Atmospheric Environment*, 31, 825-837, 1997.

Gouide, A., Atkinson, B.W., Gregory, K.J., Simmons, I.G., Stoddart, D.R., Sudgen, D. The Encyclopedic Dictionary of Physical Geography, Blackwell, Oxford, 1994

Heffter, J.L. Air Resources Laboratories Atmospheric Transport and Dispersion Model (ARL-ATAD). NOAA Techn. Memo. ERL ARL-81, NOAA Environmental Research Laboratories, Boulder, Colorado, 1980.

İzmir Çevresindeki Ormanlarda Hava Kirliliğinin Etkilerinin Araştırılması, T.C. İzmir Valiliği İl Çevre Müdürlüğü için İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümü ile Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü işbirliğinde gerçekleştirilmiştir, 2002.

İzmir İli Temiz Hava Planı, T.C. İzmir Valiliği İl Çevre Müdürlüğü için Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü tarafından hazırlanmıştır, 2001.

Müezzinoğlu, A., Elbir, T., Bayram, A. Air Quality Planning in Izmir, Proceedings of the 2nd Air Quality Management at Urban, Regional and Global Scales Symposium, Istanbul, Turkey. ed S. Topcu, M. F. Yardım, S. İncecik, 350-357, 2001.

Sturman, A., Zawar-Reza, P. Application of back-trajectory techniques to the delimitation of urban clean air zones, *Atmospheric Environment*, 36, 3339-3350, 2002.