



Çevresel ve Atmosferik Değişkenlerin Allerjenik Polenler Üzerindeki Etkileri

The Influence of Environmental and Atmospheric Variables on Allergenic Pollen

Adem BIÇAKCI, Aycan TOSUNOĞLU

Uludağ Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Bursa, Türkiye
Department of Biology, Uludağ University, Faculty of Arts & Sciences, Bursa, Turkey

ÖZ

Solunum yolu allerjilerine yol açabilen ve çoğunluğu rüzgarla tozlaşan bitkilere ait polenler ile bunların havadaki konsantrasyonları, büyük oranda iklim parametrelerinden etkilenmektedir. Genel olarak güneşli ve sıcaklığın yüksek olduğu, orta şiddetli rüzgarlı ve yağışsız günler polen salınımının en yüksek miktarda görüldüğü dönemlerdir. Son yüzyılda yapılan çalışmalarla, dünya üzerinde küresel ısınma ve artan CO₂ konsantrasyonlarının, bazı bitkilerde polinizasyon dönemlerinin başlaması, sona ermesi ve atmosferdeki polen konsantrasyonları üzerinde etkili olduğu gösterilmiştir. Atmosferik değişimlerin polenler üzerine olan bir diğer önemli etkisi de uzun mesafe taşınımında görülmektedir. Ayrıca Kuzey Atlantik Salınımı (KAS), uzun mesafe taşınımına ve özellikle erken ilkbaharda bitkileri etkileyerek polinizasyonun erken veya geç başlamasına neden olmaktadır.

Anahtar kelimeler: Kuzey Atlantik Salınımı, küresel ısınma, uzun mesafe taşınım, polen

Geliş Tarihi: 04/01/2016 • **Kabul Tarihi:** 10/05/2016

ABSTRACT

Atmospheric pollen grains belong to mostly wind pollinated plants, which may cause respiratory allergies, and their concentrations in the air is largely influenced by climatic parameters. In general, the days with sun, high temperature and moderate wind, and without rain are the periods that have shown maximum pollen release. In the studies of the last century it has been shown that global warming and increasing CO₂ concentrations in the world affected the starting and ending dates of pollination periods for some plants and their pollen concentrations in the atmosphere. The other important effect of atmospheric changes on pollen grains is seen in long-range transport. Additionally, the North Atlantic Oscillation (NAO) has an influence on long-range transport, especially affecting the plants in the early spring and leading to early or late onset of pollination.

Key words: North Atlantic Oscillation, global warming, long distance transport, pollen

Received: 04/01/2016 • **Accepted:** 10/05/2016

GİRİŞ

Allerjik duyarlılığa ve allerjik hastalıkların bulgularının ortaya çıkmasına neden olan en önemli allerjenlerden biri polenlerdir. Birçok allerjik protein içeren, hassas bireylerde duyarlılık gelişmesine ve bunu takiben hastalık bulgularının oluşmasına neden olan polenlerin, çiçekte erkek organ (stamen) içerisinde oluştuktan ve olgunlaştıktan sonra dölleme için dişi organa taşınmaları gerekmektedir. Polinizasyon adı verilen bu olayda polenler en

yaygın olarak böceklerle ve rüzgarla taşınmaktadırlar. Böceklerle tozlaşan bitkiler genelde az miktarda polen üretmekte olup, yüzeyleri genellikle girintili çıkıntılı ve yapışkan özelliklere sahiptir. Rüzgarla tozlaşan bitkilerin polenleri ise genelde küçük, hafif, kuru, yüzeyleri çoğunda düz olup tozlaşma ve döllemenin garanti altına alınabilmesi için bitki tarafından çok miktarda üretilmektedirler. Örneğin *Ambrosia artemisiifolia* (arsız zaylan) bitkisinde 3-8 milyar (1,2), *Platanus* (cınar ağacı)'da 67-100 milyar

(3,4) *Cupressus sempervirens* (Akdeniz servisi)'de ise 275 milyar - 1 trilyon (5) polen üretilebilmektedir. Çok fazla üretilen ve havaya karışan polenler belli bir süre havada kaldıktan sonra rüzgarın kesilmesi ve yerçekiminin etkisiyle aşağı doğru düşmektedir. Bunların bir kısmı dışı organa ulaşarak tozlaşmayı garanti altına alırken, takip eden dölleme ve tohum oluşumu ile de bitkinin soyunun devamı sağlanmaktadır. Bir kısmı da solunum sistemimize ulaşmakta ve duyarlı bireylerde allerjik rinit, allerjik konjunktivit ve allerjik astım gibi rahatsızlıklara neden olabilmektedir. Polen allerjenleri genellikle glikoproteinlerdir ve polen dışı organa ulaştığında meydana gelen uyum - tanıma reaksiyonlarında, polen tüpünün oluşumu, büyümesi ve gelişmesinde rol oynamaktadırlar (6). Bu proteinler polende endoplazmik retikulumda, mitokondride, polisakkarit partiküllerinde, nişasta granüllerinde ve bazen de polen duvarında bulunabilmektedir (7,8).

Allerjiye yol açan ve özellikle rüzgarla tozlaşan polenlerin havadaki dağılımı büyük oranda iklim parametrelerine bağlıdır. İklimin polinizasyon üzerine etkisi uzun süreli ölçüm ve araştırmalara dayanmakta olup, kısa süreli değişimler ise meteorolojik olayların etkisi altında gerçekleşmektedir. Havadaki polenlerin miktarlarına meteorolojik faktörlerden sıcaklık, rüzgar hızı, bağıl nem, bulutluluk ve toplam yağış miktarı etkili olmaktadır. Genel olarak bol güneşli, yağışsız, yüksek sıcaklık ve orta şiddetli rüzgarlı günler polen salınımının en yüksek olduğu dönemlerdir (9-11).

Meteorolojik faktörler içerisinde sıcaklık oldukça önemlidir. Birçok çalışmada, polen miktarı ile sıcaklık pozitif yönde anlamlı bir ilişki göstermektedir. Rakımı yüksek bölgelerde atmosferdeki polen konsantrasyonu hava sıcaklığının daha düşük olması nedeni ile daha azdır ve polen mevsimi 3-4 hafta daha geç başlamaktadır. Diğer yandan ılıman geçen kışlar bitkilerin gelişimini olumlu yönde etkilediğinden polinizasyon daha erken başlamakta, çok soğuk kışlarda ise tersi durum gözlenmektedir (9-12).

Polinizasyon döneminde rüzgar, polen tanelerinin taşınması üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Hafif rüzgarlar polenlerin genellikle bitkinin yakınlarında, orta şiddetli rüzgarlar ise çoğunlukla polen tanelerinin atmosferde en yüksek konsantrasyonda bulunmasını sağlamaktadır (9-11).

Yağışlar ve nem polenlerin dağılımı üzerinde olumsuz etki göstermektedir. Yağmur, polenlerin serbest kalmasını ve rüzgar tarafından dağıtımını

engellemektedir. Polinizasyon dönemindeki ardışık yağmurlu günler esnasında bitkiler, en uygun koşullarda salınmak üzere polen tanelerini depolarlar. Havadaki polen konsantrasyonu yağışlı veya nemin yüksek olduğu dönemlerde çok düşüktür. Polenler nemin yüksek olduğu dönemlerde ortamdan bünyelerine su alırlar ve buna bağlı olarak ağırlıkları artar; yer çekimi etkisi ile yere düşerler. Ayrıca yüksek nem miktarı, anterlerin açılmasını da engellemektedir. Bağıl nemin bu etkilerinden dolayı atmosferdeki polen miktarı azalmaktadır (9-11).

Gün içerisinde havada her saat az veya çok polen bulunduğu; ancak taksonlara ve bölgelere göre değişmekle birlikte genel olarak sabah saatlerinden itibaren sıcaklığın yükselmesi ile birlikte polen konsantrasyonlarında da bir artış gözlemlendiği bilinmektedir (11).

Polenlerin taşınımı sırasında polenlerden allerjen salınımı da oldukça önemlidir. Kuru havalarda polenler çok stabil olup içeriklerini yıllarca koruyabilirler (13). Bununla birlikte yüksek nispi nem, gök gürültülü sağanak yağış ve hava kirliliğinin yüksek konsantrasyonları gibi özel durumlarda polen allerjenleri birkaç dakika içerisinde bile salınabilmektedir. Nispi nem yüksek olduğunda polen allerjenleri tozlaşmada olduğu gibi dışarı verilmektedir (7). Tozlaşma sezonunda çayır-çimen (Gramineae) (14), zaylan (*Ambrosia*) (15) ve huş ağacı (*Betula*) (16) polenlerindeki allerjenlerin havaya serbest olarak salınımı açıkça bildirilmiştir. Allerjenler polenlerden daha uzun süre havada kalmakta ve daha uzun mesafelere taşınabilmektedirler. Gök gürültülü sağanak yağışların olduğu günlerde polenlerin yarıldığı (çatladığı), içerisinde bulunan nişasta taneleri gibi çok küçük allerjen partiküllerin salınarak havaya karıştığı; bu partiküllerin çok küçük olması nedeniyle alt solunum yollarına kadar ulaşabildiği ve astımı tetikledikleri belirtilmektedir (17). Bunun yanı sıra, *Betula verrucosa* (= *Betula pendula*) (huş ağacı) poleninde bulunan Bet v 1 allerjeninin hafif yağmurlardan sonra havada artış gösterdiği ve bu allerjenin, atmosferde *Betula* poleni bulunmadığı zamanlarda dahi varlık gösterdiği tespit edilmiştir (18). Gramineae familyası üyelerinden *Lolium perenne* bitkisinde su ile temas eden her bir polenden yaklaşık olarak 700 adet 0.6-2.5 µm çapında nişasta tanesi salındığı; yağmurlu bir günden sonra bu parçacıkların 1 m³ havadaki miktarlarının 50 kat arttığı bildirilmiştir (19). Allerjik nişasta granüllerinin Gramineae polenlerinin havada görüldüğü sezonda ortaya çıkan ani astım atakları ile bağlantılı olduğu bildirilmiştir (20).

KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE POLENLER

Küresel ısınma, özellikle son 50 yıldan bu yana yeryüzü ve okyanuslarda meydana gelen ortalama sıcaklıktaki artış olarak tanımlanmaktadır. 1750'li yıllardan bu yana, sanayi devrimine paralel olarak fosil yakıtlarının artan oranda kullanılması, ormanların tahrip edilmesi, artan nüfus, çarpık kentleşme ve tarımdaki yanlış uygulamaların bir sonucu olarak atmosferde özellikle son 130 yıllık periyotta karbondioksit, metan, azot oksit gazları, kloroflorokarbon ve ozon ile su buharı oranındaki artışın bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır (21,22). Atmosfere salınan bu gazlar yeryüzünü bir örtü gibi kaplamakta, yeryüzü ve troposfer güneş ışınlarıyla ısınan ama içindeki ısıyı dışarıya bırakmayan bir serayı andırmaktadır. Bu sebeple bu olay sera etkisi olarak tanımlanmaktadır.

Yapılan ölçümler, son yüzyılda dünyanın ortalama yüzey sıcaklığının 0.74°C arttığını göstermekte ve yayınlanan son Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) raporuna göre küresel sıcaklıklardaki bu artış, büyük oranda insan kaynaklı sera gazı salınımına bağlanmaktadır (21). İklim modellerine göre 21. yüzyılın sonlarına kadar küresel ısınmanın yüzey sıcaklığını 1.1-6.4°C daha arttıracığı öngörülmektedir. IPCC'nin senaryosuna göre aynı dönemde, Türkiye'de de sıcaklıkların 2 - 6°C arasında yükseleceği öngörülmektedir (21). Artan küresel ısınma, iklimde büyük farklılıklara neden olmakta yani iklim değişikliklerini meydana getirmektedir. Klinik açıdan birçok önemli allerjenin kaynağı olan bitkilerin, sıcaklık ve yağış gibi iklim değişkenleri ile birlikte aynı zamanda CO₂ değişiklikleri gibi ortam değişkenlerine de duyarlı oldukları bilinmektedir.

İklim değişikliğinin özellikle polen üretimi, atmosferik polen konsantrasyonu, polen sezonu, bitki ve polen dağılımı üzerinde etkileri bulunmaktadır (23). İklim değişikliği sonucu meydana gelen sıcaklık artışının; birçok bitkinin polen sezonlarının erken başlamasına ve uzamasına yol açtığı görülmüştür (24). Avrupa'da vejetasyon mevsiminin sıcaklık artışına bağlı olarak 8 gün erken başladığı bildirilmiştir (25). Yine Avrupa'da 1960'lı yıllardan 2000'li yıllara kadar yapılan fenolojik gözlemlerde küresel ısınmanın bir sonucu olan sıcaklık artışına bağlı olarak vejetasyon mevsiminin 6 gün önce başladığı, 4.8 gün sonra sona erdiği yani 10.8 günlük bir uzamanın meydana geldiği sonucuna varılmıştır (26-27). Akdeniz ekosisteminde yaprak dökken ağaçların çoğunun 50 yıl öncesine göre küresel ısınmaya bağlı olarak 16

gün daha erken yapraklandığı ve yaprak dökümünün de 13 gün daha geç olduğu görülmüştür (28). Hollanda'da yapılan atmosferik polen çalışmalarında 1990 yıllarda 1970'li yıllara göre polen sezonunun 3 ila 22 gün daha erken başladığı tespit edilmiştir. Sonuçlar ayrıca polen mevsimi başlamadan önceki sıcaklığın da önemli olduğunu göstermiştir (29,30). Hollanda'da yapılan bir başka çalışmada *Fraxinus* (dişbudak), Gramineae (çayır-çimen), *Rumex* (kuzukulağı) ve *Pinus* (çam ağacı) polinizasyonlarının son yıllarda sıcaklık artışı nedeniyle 10 gün erken başladıkları tespit edilmiş ve sıcaklık artışının bu şekilde devam etmesi halinde 2090'lı yıllara kadar daha da erken başlayacağı öngörülmüştür (29). Avrupa'da 35 yıllık periyotta küresel ısınmaya bağlı olarak huş ağacının polinizasyon döneminin daha erken başladığı belirtilmiştir (31). İspanya'da 1982-2001 yılları arasında yapılan çalışmada, küresel iklim değişikliği nedeniyle zeytin ağacı (*Olea*) polinizasyonunun erken başladığı, gelecek yüzyılda ise 1-3 hafta daha erken başlayacağı öngörülmüştür (32). İspanya'nın kuzey batı kesiminde yer alan Lugo kentinde yapılan bir çalışmada, 1999-2001 yılları arasında bitkilerin ana polen sezonları ile konsantrasyonları belirlenmiş ve özellikle *Poaceae*, *Urticaceae* ve *Plantago* gibi otsu bitki taksonlarına ait polen sezonlarının yıllara bağlı olarak uzadığı görülmüştür (33). Polonya'nın batısında polenleri allerjik öneme sahip *Artemisia* türlerinin polen sezonunun önceki haftalarda görülen yağışlardan etkilendiği ve küresel ısınma nedeniyle erken başlayan polinizasyon periyodunun da uzadığı görülmüştür (34). İtalya'da küresel ısınma nedeniyle *Urticaceae* gibi özellikle yaz döneminde çiçeklenen bitkilerin polen sezonlarının uzayacağı öngörülmüştür (35,36). *Ambrosia psilostachya* (batı zaylanı) ile sera ortamında yapılan çalışmada, sıcaklık artışı ile bitkinin ürettiği polen miktarının %84 oranında artacağı bildirilmiştir (37). Kanada'nın batısında, *Populus tremuloides* (Amerikan titrek kavağı)'in sıcaklık artışına bağlı olarak önceki yüzyıla göre 26 gün daha erken çiçeklendiği tespit edilmiştir (38).

Yapılan birçok aerobiolojik çalışmada havadaki toplam polen miktarının yıllara bağlı olarak arttığı bulunmuştur; Kırgızistan'da 1984, 1988 ve 1992 yıllarında yapılan atmosferik örneklemelerde toplam polen sayısının ilerleyen yıllarda arttığı belirtilmiştir (39). Yunanistan'da yapılan ardışık 15 yıllık çalışmada, havadaki toplam polen sayısının 1996'dan sonraki yıllarda, önceki yıllardan farklı olarak 10.000 polen/m³'den fazla olduğu belirlenmiştir (40). Avusturya'nın Innsbruck ve Obergurgl bölgelerinde

1980-2001 yıllarını kapsayan 22 yıllık sürede küresel ısınmaya bağlı olarak polinizasyonun erken başladığı, süresinin uzadığı ve polen miktarlarında artış görüldüğü tespit edilmiştir (41). Finlandiya'nın Turku kentinde 1974-2004 yılları arasındaki 31 yıllık sürede atmosferdeki Huş ağacı poleni konsantrasyonunda sıcaklığa bağlı olarak artış olduğu ve polen sezonunun nisan ayına doğru genişlediği saptanmıştır (42). İsveç'te yapılan çalışmada 38 yıllık periyotta *Betula* polen miktarının sıcaklık artışına bağlı olarak arttığı tespit edilmiştir (43). Yapılan çalışmalarda uzun yıllar zarfında gerçekleşen sıcaklık artışına bağlı olarak *Betula* ve *Alnus* gibi allerjik öneme sahip türlerin polen konsantrasyonlarının artış eğiliminde olduğu saptanmıştır ve bu çalışmalar iklim değişikliklerinin polen konsantrasyonları üzerine önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir (41,42). Japonya'da Japon sedirinin (*Cryptomeria japonica*) atmosferik polen konsantrasyonlarının belirlenmesine yönelik olarak yapılan çalışmada, artan sıcaklığa bağlı olarak polen sezonunun genişlediği ve polen miktarının arttığı; küresel ısınmanın polen salınımının daha erken tarihe çekilmesine neden olduğu belirtilmiştir (44).

İspanya'da yapılan çalışmada, son 50 yılda meşe ağacının (*Quercus*) çiçeklenme öncesi sıcaklık artışı nedeniyle çiçeklenme dönemine erken girdiği ve atmosfere salınan polen miktarının artış gösterdiği tespit edilmiştir (45). Küresel ısınmaya bağlı olarak kurakçıl bitkiler lehine değişen günümüz ekosistemlerinde, kuraklık direnci yüksek ve aynı zamanda oldukça allerjik olan *Artemisia* (Pelino) ile *Urticaceae* (Isırgan-*Urtica*, duvar yapışkan otu, duvar fesleğeni -*Parietaria*) ve *Gramineae* (grass-çayır, çimen) familyalarına ait üyelerin yayılım alanları; dolayısıyla da atmosferdeki polen miktarlarının artış gösterdiği tespit edilmiştir (34,36,46,47). Aynı şekilde, yaz sonu çiçeklenen *Artemisia* ve *Ambrosia* gibi otsu bitkilerin iklim değişikliği nedeniyle uzun bir polinizasyon dönemi göstermeleri, daha fazla miktarda polenlerine maruz kalınması ve bunlardan kaynaklanan hastalıkların da artması beklenmektedir (34,48,49). İtalya'da yapılan çalışma ise *Parietaria* polen miktarının 1981'den 1997 yılına kadar olan 17 yıllık sürede atmosferde artış gösterdiği belirlenmiştir (50). İtalya'da 1981-2007 arasındaki 27 yıllık sürede, iklim değişiklikleri sonucu sıcaklık artışı nedeniyle atmosferde *Parietaria*, *Olea* ve *Cupressus* taksonlarına ait polenlerin miktarının arttığı ve polen sezonunun da *Parietaria* için 85, *Olea* ve *Cupressus* taksonları için ise 18 gün uzadığı saptanmıştır (51).

Sıcaklıkla birlikte CO₂ miktarının da artışı polen üretiminin ve dolayısıyla atmosferik polen konsantrasyonlarının artışına neden olmaktadır (23). ABD'nin Maryland eyaletinde 2001-2002 yıllarında ortalama sıcaklığın 1.8 - 2°C, CO₂ konsantrasyonunun ise %30-31 daha yüksek olduğu kentsel bir bölgede yetişen *Ambrosia artemisiifolia* bitkisi ile kırsal bir alandakinin karşılaştırıldığı çalışmada, CO₂ ve sıcaklığın yüksek olduğu kentsel bölgede yetişen bitkinin daha hızlı geliştiği, daha erken çiçeklendiği, daha fazla biyokütleyle sahip olduğu ve polen konsantrasyonunun yüksek olduğu saptanmıştır (52). Sera ortamında gerçekleştirilen bir çalışmada, iki katına çıkarılan CO₂ konsantrasyonunun *Ambrosia artemisiifolia* polen konsantrasyonunu %61 oranında arttırdığı belirlenmiştir (53). Bir başka çalışmada CO₂ miktarının sanayi öncesi miktarı (280 µmol/mol) ile karşılaştırıldığında *Ambrosia artemisiifolia* bitkisinde polen üretiminin günümüz CO₂ miktarı (370 µmol/mol) ve gelecek yüzyılda beklenen CO₂ oranları (600 µmol/mol) değerlendirildiğinde sırası ile %131 ve %320 oranında artış göstereceği öngörülmektedir (54). Yüksek CO₂ ortamında yetişen bataklık çamına (*Pinus taeda*) ait bireylerin normal ortamlarda yetişenlere göre daha fazla polen ürettikleri, ayrıca yüksek CO₂ bulunan ortamdaki bireylerin daha küçük ölçülerde ve daha çok miktardaki poleni, daha genç yaşta üretmeye başladıkları tespit edilmiştir (55). Yirmi birinci yüzyılın sonunda Akdeniz ülkelerinde CO₂ miktarının 2 katına çıkması ile *Quercus* (Meşe) polen sezonun 1 ay erken başlayacağı ve polen miktarının da günümüze oranla %50 oranında artacağı, iç bölgelerde ise bu oranın daha yüksek miktarlarda olacağı öngörülmüştür (45). Bunun yanı sıra, küresel ısınma ve artan CO₂ konsantrasyonunun etkileri ile bazı *Gramineae* türlerinin kuzeye doğru yayılış alanlarını arttırdıkları da bildirilmiştir (56).

İklim değişikliğinin polenlerin allerjenitesi üzerine de etkili olduğu belirtilmiştir. Sanayi öncesi ve günümüzdeki CO₂ seviyesinde büyüyen *Ambrosia* bitkisi polenlerinin allerjenitesinin, gelecekteki yüksek CO₂ oranında büyüyen polenlerinde daha fazla olacağı bildirilmiştir (57). Sıcaklık artışı ile *Betula* polenlerinin allerjenitesinin de artabileceği gösterilmiş, *Betula pendula* ile yapılan çalışmalarda yüksek sıcaklık nedeniyle, en yüksek allerjen miktarının ağacın güney tarafında bulunan çiçeklerdeki polenlerde olduğu tespit edilmiştir (58,59).

POLENLERİN UZUN MESAFE TAŞINMASI

Aerobiolojik çalışmalarda tespit edilen polenlerin, geleneksel olarak araştırmanın yapıldığı yakın çevredeki bitkilerden kaynaklandığı algısı bulunmaktadır. Ancak atmosferik polen çalışmalarında, bazı polenlerin ait oldukları bitkilerin çalışma yapılan bölgede yer almaması veya normal tozlaşma sezonunun dışında görülmesi söz konusu olmaktadır; böyle bir durum ise ancak polenlerin uzun mesafe taşınımalarıyla açıklanabilmektedir ve bu durum çok uzun zamandır bilinen ve yoğun araştırmalara konu olan bir olgudur (60).

Polenler rüzgarın yönüne ve şiddetine bağlı olarak 50-100 km uzağa kadar taşınabilseler de genellikle bu değer 1-10 km arasıyla sınırlı kalmaktadır. Kaynaktan 100 km uzaklığa kadar olan taşınım, atmosfer sınır tabakası altında (1.5-2 km yükseklik) yerel rüzgar ve topografik özelliklere bağlı olarak yatay yönde meydana gelmekte ve küçük ölçekte taşınım adını almaktadır. 100 km mesafeden daha fazla olan taşınım ise sınır tabaka üzerinde kıtalararası veya küresel hava hareketleri ile gerçekleşmekte ve geniş ölçekte taşınım veya uzun mesafe taşınımı adını almaktadır. Polenlerin taşınma mesafeleri şu şekilde açıklanabilir (61):

Küçük ölçekte taşınım (0-100 m) - Yere yakın hava tabakaları ile oluşan hava hareketleri ile dağılım; bitkinin bulunduğu yerdeki hava hareketleri ile taşınım.

Orta ölçekte taşınım (100 m-100 km) - Yerel hava hareketleri ile taşınım; Kara ve deniz esintileri, dağ-vadi arasındaki akımlar gibi daha yerel hareketlerle taşınım.

Bölgesel taşınım (100-1000 km) - Sabit yüksek ve alçak basınç merkez cephe sistemleri ve buna benzer hareketlerle taşınım.

Küresel ölçekte taşınım (>1000 km) - Ekvatorda ısınan ve yükselen havanın yerini kutuplardan akan soğuk hava kütesinin almasıyla oluşan tipik hava hareketlerinin, dünyanın batı-doğu yönünde kendi etrafında dönme hareketinin etkisiyle savrulan makro ölçekli rüzgarlarla taşınım.

Atmosferdeki polenlerin hareketi ve dağılımı toprağın farklı ısınmasından dolayı ortaya çıkan termal türbülansla oluşan hava akımlarının aşağı ve yukarı hareketine bağlıdır (62). Toprağın farklı ısınması söz konusu olduğu için küresel ısınma da uzun mesafe taşınımını etkileyebilmektedir. Örneğin, hava sıcaklığının artışı atmosferik kararsızlığı (dengesizliği) arttırabilmekte

ve bunun sonucunda oluşan hava akımı türbülansı, polenleri uzun mesafelere taşıyabilmektedir. Rüzgarla uzun mesafe taşınım frekansı ile hava sıcaklığı arasında pozitif bir ilişki söz konusudur. Bu gözlemler, lokal hava sıcaklığındaki artışın rüzgarla tozlaşan bitkilerdeki polen dağılım mesafesini arttırdığını göstermiştir (63). Uzun mesafe taşınım ile ilgili çalışmalar özellikle allerjik öneme sahip *Betula* ve *Ambrosia* polenleri üzerinde yapılmıştır. Finlandiya'nın birçok şehrinde yürütülen fenolojik modele dayalı *Betula* polen sezonunun belirlenmesi çalışmasında, 1999 yılında anormal olarak saptanan polen düzeyinin Rusya ve Estonya'dan hava akımları ile taşınan polenlerden kaynaklandığını belirlenmiştir (64). Litvanya'da tespit edilen *Betula* polenlerinin Letonya, güney İsveç, Damimarka, Belarus, Ukrayna, Rusya, hatta Almanya ve Polonya'dan uzak mesafe taşınımıyla geldiği saptanmıştır (65). İsveç ve Finlandiya'da tespit edilen *Betula* polenlerinin güneybatı Rusya ve Polonya'dan uzak mesafe taşınımıyla (2000 km'den daha fazla mesafe) geldiği saptanmıştır (66). Aynı şekilde Danimarka'da henüz huş ağacı çiçeklerinin polen yaymasından önce atmosferde rastlanılan *Betula* polenlerinin uzak mesafe taşınımıyla Almanya ve Polonya'dan geldiği saptanmıştır (67). Polonya'da *Ambrosia* polenleri üzerine yapılan geri yörünge analizi çalışmalarından birinde, polenlerin güney Slovakya, Çek Cumhuriyeti, Avusturya ve Ukrayna kaynaklarından geldiği (48); bir başka çalışmada ise Slovakya ve Macaristan'dan hava hareketleriyle taşındığı tespit edilmiştir (68). Estonya ve Litvanya'daki *Ambrosia* polenlerinin Ukrayna'dan kaynaklandığı bildirilmiştir (69). Sırbistan'da Pannonian ovasında yetişen *Ambrosia* bitkisine ait polenlerin hava hareketleri ile Makedonya'nın Üsküp şehrine ulaştığı tespit edilmiştir (70). Ukrayna'da Vinnitsa ilinde yapılan çalışmada *Ambrosia* polenlerinin hem lokal kaynaklı olduğu, hem de Vinnitsa'nın 100 km güneyinden geldiği tespit edilmiştir (71). İsviçre'de *Ambrosia* polenlerinin hem lokal kaynaklardan hem de güneyli rüzgarlarla Rhone Vadisi ve İtalya'nın kuzeyinden geldiği bildirilmiştir (72). Pannonian ovasından uzun mesafe taşınımıyla Polonya'nın Poznan iline gelen hava örneklerinde *Ambrosia*'ya ait Amb a 1 allerjeni bulunduğu ve bu allerjenin hâlâ potansiyel olarak allerjik reaksiyonlara neden olabileceği belirtilmişse de, uzun mesafeli taşınımında *Ambrosia* polenlerinin klinik etkisinin kesin olmadığı bildirilmektedir (73,74). Avrupa'da gerçekleştirilen bazı çalışmalarla *Ambrosia* ve *Betula*'nın yanı sıra *Artemisia*, *Fagus*, *Quercus* ve *Olea* polenlerinin de uzak mesafelerde taşındığı belirlenmiştir (75-78). Amerika kıtasında

gerçekleştirilen çalışmalarda da polenlerin kaynağından 100-500 km uzağa taşınabildiği tespit edilmiş, *Juniperus ashei* (Meksika ardıcı) polenlerinin 200 km; Cupressaceae polenlerinin 500 km mesafelere taşınabildikleri gösterilmiştir (79,80). Kuzey kutbunda saptanan *Betula* ve *Pinus* polenlerinin Kuzey Avrupa'dan, Grönland'da tespit edilen *Carya* ve *Tsuga* polenleri ile birlikte birçok bitkiye ait polenin 1000 km'den daha uzak bir mesafeden (Kuzey Amerika) taşındıkları saptanmıştır (81-83).

Ülkemizde ise uzun mesafe polen taşınımı ve geri yörünge analizleri ile kaynağının belirlenmesi konusunda sadece *Ambrosia* taksonu üzerine iki çalışma bulunmaktadır (84-85). Bursa ilinde 2013 yılında yapılan çalışmada tespit edilen *Ambrosia* polenlerinin geri yörünge analizi ile bölgede bitkinin yayılış göstermemesi de göz önünde bulundurulmaktadır; en yakın kaynak olan Düzce'den ve bunun dışında Ukrayna üzerinden de uzun mesafe taşınım ile gelebileceği bildirilmiştir (85).

KUZEY ATLANTİK SALINIMI (KAS) VE POLENLER

Kutuplarda açısı daralan güneş ışınlarından dolayı düşük ısı enerjisi ile deniz seviyesinde yüksek basınç alanı, ekvatorial bölgelerde ise bunun aksine yüksek ısı enerjisiyle deniz seviyesinde alçak basınç alanı oluşmaktadır. Kuzey Atlantik'te bulunan Azor antisiklon alanı ile İzlanda siklon alanı arasındaki basınç farkı, özellikle atmosfer etkinliğinin arttığı kış mevsiminde (Aralık-Mart arası) yıllar arasında farklılık gösterebilmektedir. Bazı yıllarda, kış mevsiminde Azor adaları çevresinde merkezlenen yüksek basınç değerleri normalin üstünde veya altında; İzlanda adası çevresinde merkezlenen alçak basınç değerleri de normalin altında veya üstünde olabilmektedir. Kuzey Atlantik'te meydana gelen bu meridyonel salınım, Kuzey Atlantik Salınımı (North Atlantic Oscillation-NAO) olarak adlandırılmaktadır. Kuzey Atlantik Salınım indeksi ise; bu iki bölge arasındaki basınç farkının uzun yıllar ortalaması ile normalize edilmiş halidir. Eğer Azor ve İzlanda'daki basınç farkı uzun yılların ortalamasına paralel bir değerde ise KAS indeksi nötr (sıfır) ya da nötre yakın bir değer almaktadır. Buna karşın, güneydeki Azor yüksek basıncı normalden daha yüksek, başka bir ifadeyle bu basınç kuşakları arasındaki fark normalden fazla ise KAS indeksi sıfırın üzerinde ve pozitif, daha düşük çıkarsa negatif değer almaktadır (86-90).

Pozitif KAS, yüksek basınç alanlarının Azor Adaları ve Azor Adaları ile aynı enlemlerde bulunan coğrafik bölgelerde yoğunlaşması olarak tanımlanır. Bu nedenle Türkiye ve Akdeniz kuşağı, daha çok yüksek basıncın etkisi altında kalmaktadır; kuzeyden soğuk hava dalgalarının tekrarlanan biçimde etkisi altında kaldığında ise yağışlı gün sayısı belirgin derecede azalmaktadır. Bu durumda Kuzey Avrupa ise normalden ılık ve yağışlı bir dönem geçirmektedir. Negatif KAS durumunda Türkiye, bu sefer saatin tersi yönünde dönen alçak basınçların neden olduğu bol lodoslu ve bol yağmurlu sistemlerin etkisi altında kalmaktadır. Kış mevsiminde sıcaklık güneşli akımlarla mevsim normallerinin çok üzerinde olurken; Akdeniz kuşağının tam tersine başta Britanya olmak üzere Kuzey Avrupa ve Amerika Birleşik Devletleri'nin doğu kıyası kutupsal soğuk hava dalgalarının etkisi altında kalmaktadır (86-90).

KAS'ın oluşum nedeni henüz tam olarak belirlenmemiş olmakla birlikte, araştırmacıların bir kısmı bu durumu atmosferin doğal değişkenliğinin bir sonucu olarak, bir kısmı ise dinamik bir okyanus-atmosfer etkileşiminin sonucu olarak değerlendirmektedir. Ayrıca yeryüzü ve stratosfere ait özellikler ve antropojenik etkilerle oluşan küresel ısınmanın, KAS'ın evre ve büyüklüğünü etkilediği düşünülmektedir (86-90). Karalar üzerinde, KAS indekslerindeki değişimler daha çok bitkilerin çiçeklenme dönemini etkilemektedir. KAS, ülkemizde erken ilkbahar döneminde çiçeklenen ve allerjik öneme sahip olan *Corylus* (findık), *Alnus* (kızıl ağaç), *Betula* (Huş ağacı), *Fraxinus* (dişbudak) gibi rüzgarla tozlaşan ağaçlarda çiçeklerin erken veya geç açılmasına neden olmaktadır. KAS negatif ise çiçeklerin açılması dolayısı ile polinizasyon daha erken, pozitif ise daha geç olacaktır. KAS ile ilgili çalışmalarda atmosferik basınç farklarının uzun mesafe polen taşınmasını da desteklediği görülmektedir; kuzeybatı Avrupa üzerindeki batıdan esen Atlantik rüzgarlarındaki artışın; Kuzey ve Orta Avrupa'dan İskandinav ülkelerine uzun mesafe polen taşınımını artırdığı bildirilmiştir (91).

ÇÖL TOZLARI VE POLENLER

Sahra Çölü tozlarının oluşumu ve taşınımında etkili olan atmosferik faktörler, Orta Enlem Siklonları, rüzgarlar ve Kuzey Atlantik Salınımı olarak gösterilmektedir. Yaz mevsiminde etkili olan bölgesel rüzgarlar, Sahra Çölü ve Arabistan Yarımadası'ndaki karasal tropikal hava kütesinin kuzeye doğru ilerlemesiyle meydana gelmektedir. Akdeniz

Havzası'na taşınan çöl tozlarıyla Kuzey Atlantik Salınımı arasında önemli ilişkiler bulunmaktadır. KAS'ın pozitif evresinde siklonik aktivitelerin Akdeniz Havzası'nda az olmasından dolayı toz faaliyetlerinin de az olduğu; buna karşılık KAS'ın negatif evresinde ise Akdeniz Havzası'nda siklonik aktivitelerin yoğunlaşmasıyla toz taşınımının artmaya başladığı belirtilmektedir (90, 92-96). Ülkemize gelen tozların Büyük Sahra, Arabistan, İran ve Suriye çöllerinden taşındığı yapılan araştırmalarla ortaya konmuştur (92-94). Çöl tozları ile mineral partiküller, bakteriler, virüsler, sporlar ve polenler yaklaşık 2 km yükseklikte bir toz bulutu oluşturmakta ve binlerce kilometre uzağa taşınabilmektedir (97). Fas'tan Malaga-İspanya'ya ulaşan çöl tozlarında *Cannabis sativa* (Hint keneviri) (98), Afrika'dan Cordoba-İspanya'ya ulaşan çöl tozlarında ise *Cannabis*, *Cupressus*, *Pinus*, *Platanus* ve *Sambucus* polenlerine rastlanılmıştır (99). Tenerife-Kanarya Adaları'nda yapılan aerobiyojik çalışmada uzun mesafe taşınımı İber yarımadası güneyi ve Fas'tan gelen *Casuarina*, *Olea*, *Quercus*, *Artemisia*, Chenopodiaceae-Amaranthaceae ve Gramineae polenleri; Sahra Çölünden gelen Chenopodiaceae-Amaranthaceae, Cyperaceae, *Casuarina* ve Gramineae polenleri; Sahel-Sudan'dan gelen *Arecaceae*, Chenopodiaceae-Amaranthaceae, Cyperaceae ve Gramineae polenlerinin varlığı tespit edilmiştir (78).

Sonuç olarak polenlerin havadaki dağılımı büyük oranda iklim parametrelerine bağlıdır. Genel bir ifade ile bol güneşli, yağışsız, yüksek sıcaklık ve orta şiddetli rüzgarlı günler polen salınımının en yüksek olduğu dönemlerdir. Gün içerisinde her saat havada görülebilen polenlerin miktarı taksonlara göre değişmekle birlikte öğle saatlerinde en yüksek miktara ulaşmaktadır. Son yüzyılda dünya üzerinde küresel ısınma sonucu bir sıcaklık artışı görülmektedir. Küresel sıcaklıklardaki bu artışın nedeni büyük oranda insan kaynaklı sera gazı salınımına bağlanmaktadır. Küresel ısınma ve artan CO₂ konsantrasyonunun bazı bitkilerin polinizasyon döneminin erken başlaması, polen konsantrasyonunun yüksek olması ve polen sezonunun uzaması yönünde etkileri bulunmaktadır. Yine küresel ısınmaya bağlı olarak havanın kararsız hale geçmesi ile polenlerin uzun mesafe taşınabileceği, KAS indeksinin negatif olması ile ülkemizde allerjik öneme sahip bazı ağaçların erken çiçeklenebileceği ve çöl tozu taşınımının artmaya başlamasına paralel olarak atmosferdeki allerjen polen miktarlarının artabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Thompson JL, Thompson JE. The urban jungle and allergy. *Immunol Allergy Clin* 2003;23:371-87.
2. Bagarozzi D-A, Travis J. Ragweed pollen proteolytic enzymes: Possible roles in allergies and asthma. *Phytochemistry* 1998;47:593-8.
3. Bricchi E, Frenguelli G, Mincigrucchi G. Experimental results about Platanus pollen deposition. *Aerobiologia* 2000;16:347-52.
4. Molina RT, Rodriguez AM, Palacios IS, Lopez FG. Pollen production in anemophilous trees. *Grana* 1996;35:38-46.
5. Aboulaich N, Bouziane H, El Kadiri M, Riad H. Male phenology and pollen production of *Cupressus sempervirens* in Tetouan (Morocco). *Grana* 2008;47:130-8.
6. Radauer C, Bublin M, Wagner S, Mari A, Breiteneder H. Allergens are distributed into few protein families and possess a restricted number of biochemical functions. *J Allergy Clin Immunol* 2008;121:847-52.
7. Behrendt H, Becker WF. Localization, release and bioavailability of pollen allergens: The influence of environmental factors. *Current Opinion in Immunology* 2001;13:709-15.
8. Rodriguez-Garcia MI, Fernandez MC, Alche JD, Olmedilla A. Endoplasmic reticulum as a storage site for allergenic proteins in pollen grains of several Oleaceae. *Protoplasma* 1995;187:111-6.
9. Bıçakçı A, Inceoğlu Ö, Sapan N, Malyer H. Bursa ili atmosferinde polen dağılımına meteorolojik faktörlerin etkisi. *Turk J Bot* 1996;20:107-11.
10. Gemici Y. Atmosferik koşulların polen dağılımına etkisi. *Türkiye Klinikleri J Allergy-Special Topics* 2011;4(1):31-7.
11. Tosunoglu A, Bıçakçı A. Seasonal and intradiurnal variation of airborne pollen concentrations in Bodrum, SW Turkey. *Environ Monit Assess* 2015;187:167.
12. Sin AB, Pınar NM, Mısırlıgil Z, Çeter T, Yıldız A ve Alan Ş. Polen allerjisi; Türkiye allerjik bitkilerine genel bir bakış. Ankara: Engin Yayınevi, 2007.
13. Pollen: Biology -biochemistry- management. Stanley RG, Linskens HF (eds.). Berlin: Springer, 1974.
14. Stewart GA, Holt PG. Submicronic airborne allergens. *The Medical Journal of Australia* 1985;143(9):426-7.
15. Busse WW, Charles ER, Hoehne JH. Where is the allergic reaction in ragweed asthma? II. Demonstration of ragweed antigen in airborne particles smaller than pollen. *J Allergy Clin Immunol* 1972;50:289-93.
16. Rantio-Lehtimäki A, Matikainen E. Pollen allergen reports help to understand pre-season symptoms. *Aerobiologia* 2002;18:135-40.
17. D'Amato G, Liccardi G, Frenguelli G. Thunderstorm-asthma and pollen allergy. *Allergy* 2007a;62(1):11-6.
18. Schappi GF, Suphioglu C, Taylor PE, Knox RB. Concentrations of the major birch tree allergen Bet v 1 in pollen and respirable fine particles in the atmosphere. *J Allergy Clin Immunol* 1997;100:656-61.

19. Suphioglu C, Singh MB, Taylor P, Knox RB. Mechanism of grass-pollen-induced asthma. *Lancet* 1992;339:569-72.
20. Bellomo R, Gigliotti P, Treloar A, Holmes P, Suphioglu C, Singh MB. Two consecutive thunderstorm associated epidemic of asthma in Melbourne. *Med J Aust* 1992;156:834-7.
21. IPCC, 2007. Climate Change 2007. Synthesis Report. In: Core Writing Team, Pachauri RK and Reisinger A. (Eds). Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Cambridge University Press; 2007. p. 1-308.
22. Çeter T. Uzun mesafeli polen taşınması ve küresel ısınmanın polen allerjenitesi ve dağılımına etkisi. *Türkiye Klinikleri J Allergy-Special Topics* 2011;4(1):25-30.
23. Beggs PJ. Adaptation to impacts of climate change on aeroallergens and allergic respiratory diseases. *Int J Environ Res Public Health* 2010;7:3006-21.
24. Huynen M, Menne B. Phenology and human health: allergic disorders. Report of a WHO meeting, Rome, Italy, Jan 16-17, 2003. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen; 2003. p. 1-55.
25. Rötzer T, Chmielewski FM. Phenological maps of Europe. *Clim Res* 2001;18:249-57.
26. Menzel A, Fabian P. Growing season extended in Europe. *Nature* 1999;397:659.
27. D'Amato G, Cecchi L, Bonini S, Nunes C, Annesi-Maesano I, Behrendt H, Liccardi G, Popov T, van Cauwenberge P. Allergenic pollen and pollen allergy in Europe. *Allergy* 2007b;62:976-90.
28. Penuelas J, Filella I. Phenology: Responses to a Warming World. *Science* 2001;294(5543):793-5.
29. Van Vliet AJH, Overeem A, De Groot RS, Jacobs AFG, Spieksma FTM. The Influence of temperature and climate change on the timing of pollen release in the Netherlands. *Int J Climatol* 2002;22:1757-67.
30. Cleland EE, Chuine I, Menzel A, Mooney HA, Schwartz MD. Shifting plant phenology in response to global change. *Trends Ecol Evol* 2007;22:357-65.
31. Emberlin J, Detandt M, Gehrig R, Jaeger S, Nolard N, Rantio-Lehtimäki A. Responses in the start of Betula (birch) pollen seasons to recent changes in spring temperatures across Europe. *Int J Biometeorol* 2002;46:159-70.
32. Galan C, Garcia-Mozo H, Vazquez L, Ruiz L, de la Guardia CD, Trigo MM. Heat requirement for the onset of the *Olea europaea* L. pollen season in several sites in Andalusia and the effect of the expected future climate change. *International Journal of Biometeorology* 2005;49(3):184-8.
33. Rodriguez-Rajo FJ, Jato V, Aira MJ. Pollen content in the atmosphere of Lugo (NW Spain) with reference to meteorological factors (1999-2001). *Aerobiologia* 2003;19:213-25.
34. Stach A, García-Mozo H, Prieto-Baena JC, Czarnecka-Operacz M, Jenerowicz D, Silny W, Galán C. Prevalence of *Artemisia* Species Pollinosis in Western Poland: Impact of Climate Change on Aerobiological Trends, 1995-2004. *J Investig Allergol Clin Immunol* 2007;17(1):39-47.
35. Cecchi L, D'Amato G, Ayres JG, Galan C, Forastiere F, Forsberg B, Gerritsen J, Nunes C, Behrendt H, Akdis C, Dahl R, Annesi-Maesano I. Projections of the effects of climate change on allergic asthma: The contribution of aerobiology. *Allergy* 2010;65:1073-81
36. Frenguelli G. Interactions between climate changes and allergenic plants. *Monaldi Arch Chest Dis* 2002;57:141-3.
37. Wan S, Yuan T, Bowdish S, Wallace L, Russell SD, Luo Y. Response of an allergenic species, *Ambrosia psilostachya* (Asteraceae), to experimental warming and clipping: Implications for public health. *Am J Bot* 2002;89:1843-6.
38. Beaubien EG, Freeland HJ. Spring phenology trends in Alberta, Canada: links to ocean temperature. *Int J Biometeorol* 2000;44:53-9.
39. Kobzar VN. Aeropalinological monitoring in Bishkek, Kyrgyzstan. *Aerobiologia* 1999;15:149-53.
40. Gioulekas D, Papakosta D, Damialis A, Spieksma F, Giouleka P, Patakas D. Allergenic pollen records (15 years) and sensitization in patients with respiratory allergy in Thessaloniki, Greece. *Allergy* 2004;59:174-84.
41. Bortenschlager S, Bortenschlager I. Altering airborne pollen concentrations due to the Global Warming. A comparative analysis of airborne pollen records from Innsbruck and Obergurgl (Austria) for the period 1980-2001. *Grana* 2005;44:172-80.
42. Yli-Panula E, Fekedulegn DB, Green BJ, Ranta H. Analysis of airborne *Betula* pollen in Finland; A 31-year perspective. *Int J Environ Res Public Health* 2009;6:1706-23.
43. Frei T, Gassner E. Climate change and its impact on birch pollen quantities and the start of the pollen season an example from Switzerland for the period 1969-2006. *Int J Biometeorol* 2008;52:667-74.
44. Teranishi H, Kenda Y, Katoh T, Kasuya M, Oura E, Taira H. Possible role of climate change in the pollen scatter of Japanese cedar *Cryptomeria Japonica* in Japan. *Clim Res* 2000;14:65-70.
45. Garcia-Mozo H, Galan C, Jato V, Belmonte J, Guardia CD, Fernandez D, Gutierrez M, Aira MJ, Roure JM, Ruiz L, Trigo MM, Domínguez-Vilches E. Quercus pollen season dynamics in the Iberian Peninsula: Response to meteorological parameters and possible consequences of climate change. *Ann Agric Environ Med* 2006;13:209-24.
46. Burr ML. Grass pollen: Trends and predictions. *Clin Exp Allergy* 1999;29:735-8.
47. Emberlin J, Mullins J, Corden J, Jones S, Millington W, Brooke M, et al. Regional variations in grass pollen seasons in the UK, long-term trends and forecast models. *Clin Exp Allergy* 1999;29:347-56.
48. Stach A, Smith M, Skjoth CA, Brandt J. Examining Ambrosia pollen episodes at Poznań (Poland) using back-trajectory analysis. *Int J Biometeorol* 2007;51:275-86.
49. Breton MC, Garneau M, Fortier I, Guay F, Louis J. Relationship between climate, pollen concentrations of *Ambrosia* and medical consultations for allergic rhinitis in Montreal, 1994-2002. *Sci Total Environ* 2006;370:39-50.

50. Voltolini S, Minale P, Troise C, Bignardi D, Modena P, Arobba D, et al. Trend of herbaceous pollen diffusion and allergic sensitisation in Genoa, Italy. *Aerobiologia* 2000;16:245-9.
51. Ariano R, Canonica GW, Passalacqua G. Possible role of climate changes in variations in pollen seasons and allergic sensitizations during 27 years. *Ann Allergy Asthma Immunol* 2010;104:215-22.
52. Ziska LH, Gebhard DE, Frenz DA, Faulkner S, Singer BD, Straka JG. Cities as harbingers of climate change: Common ragweed, urbanization, and public health. *J Allergy Clin Immunol* 2003;111:290-5.
53. Wayne P, Foster S, Connolly J, Bazzaz F, Epstein P. Production of allergenic pollen by ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) is increased in CO₂-enriched. *Ann Allergy Asthma Immunol* 2002;8:279-82.
54. Ziska LH, Caulfield AF. Rising CO₂ and pollen production of common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*), a known allergy-inducing species: Implications for public health. *Aust J Plant Physiol* 2000;27:893-8.
55. Ladeau SL, Clark JS. Pollen production by *Pinus taeda* growing in elevated atmospheric CO₂. *Functional Ecology* 2006;20:541-7.
56. Olesen JE, Bindi M. Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. *Eur J Agron* 2002;16:239-62.
57. Singer BD, Ziska LH, Frenz DA, Gebhard DE, Straka JG. Increasing Amb a 1 content in common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) pollen as a function of rising atmospheric CO₂ concentration. *Funct Plant Biol* 2005;32:667-70.
58. Ahlholm JU, Helander ML, Savolainen J. Genetic and environmental factors affecting the allergenicity of birch (*Betula pubescens* ssp. *czerepanovii* [Orl.] Hamet-Ahti) pollen. *Clin Exp Allergy* 1998;28:1384-8.
59. Hjelmroos M, Schumacher MJ, Van Hage-Hamsten M. Heterogeneity of pollen proteins within individual *Betula pendula* trees. *Int Arch Allergy Immunol* 1995;108:368-76.
60. Erdtman G. Pollen grains recorded from the atmosphere over the Atlantic. *Medd Goteborgs Bot Tradg* 1937;12:186-96.
61. Seinfeld JH, Pandis SN. *Atmospheric chemistry and physics: From air pollution to climate change*. 2nd ed. New York: Wiley Interscience, 2006:1203.
62. Puc M, Wolski T. *Betula* and *Populus* pollen counts and meteorological conditions in Szczecin, Poland. *Ann Agric Environ Med* 2002;9:65-9.
63. Kuparinen A, Katul G, Nathan R, Schurr FM. Increases in air temperature can promote wind-driven dispersal and spread of plants. *Proc Biol Sci* 2009;276:3081-7.
64. Ranta H, Kubin E, Siljamo P, Sofiev M, Linkosalo T, Oksanen A, et al. Long distance pollen transport cause problems for determining the timing of birch pollen season in fennoscandia by using phenological observations. *Grana* 2006;45:297-304.
65. Veriankait L, Siljamo P, Sofiev M, Sauliene I, Kukkonen J. Modelling analysis of source regions of long-range transported birch pollen that influences allergenic seasons in Lithuania. *Aerobiologia* 2010;26:47-62.
66. Hjelmroos M. Evidence of long-distance transport of *Betula* pollen. *Grana* 1991;30:215-28.
67. Skjoth CA, Sommer J, Stach A, Smith M, Brandt J. The long-range transport of birch (*Betula*) pollen from Poland and Germany causes significant pre-season concentrations in Denmark. *Clinical and Experimental Allergy* 2007;37:1204-12.
68. Smith M, Skjoth CA, Myszkowska D, Uruska A, Puc M, Stach A, Balwierz Z, Chlopek K, Piotrowska K, Kasprzyk J, Brandt J. Long-range transport of *Ambrosia* pollen to Poland. *Agr Forest Meteorol* 2008;148(10):1402-11.
69. Saar M, Gudziuskas Z, Plompuu T, Linno E, Minkiene Z, Motiekaityte V. Ragweed plants and airborne pollen in the Baltic states. *Aerobiologia* 2000;16(1):101-6.
70. Sikoparija B, Smith M, Skjoth C. The Pannonian plain as a source of *Ambrosia* pollen in the Balkans. *Int J Biometeorol* 2009;53(3):263-72.
71. Slobodianiuk LV, Rodinkova VV, Palamarchuk O, Mazur OI, Motruk II, DuBuske L. *Ambrosia* airborne pollen migration seen in Vinnitsa, Ukraine during 2012. *Allergy* 2013;68(97):103.
72. Peeters AG. Ragweed in Switzerland. In: Spieksma FThM (ed). *Ragweed in Europe*. 6th International Conference on Aerobiology; 1998 Aug 31-Sep 5; Perugia, Italy. 1998. p. 16-9.
73. Grewling L, Nowak M, Jenerowicz D, Szymanska A, Czarnecka-Operacz M, Kostecki L, et al. Atmospheric concentrations of ragweed pollen and Amb a 1 recorded in Poznań (Poland), 2010–2012. *Allergy* 2013;68(97):686.
74. Cecchi L, Testi S, Campi P, Orlandini S. Long-distance transport of ragweed pollen does not induce new sensitizations in the short term. *Aerobiologia* 2010;26:351-2.
75. Jato V, Rodriguez-Rajo FJ, Mendez J, Aira MJ. Phenological behaviour of *Quercus* in Ourense (NW Spain) and its relationship with the atmospheric pollen season. *Int J Biometeorol* 2002;46:176-84.
76. Orlandi F, Ruga L, Romana B, Fornaciari M. An integrated use of aerobiological and phenological data to analyse flowering in olive groves. *Grana* 2005;44:51-6.
77. Belmonte J, Alarcon M, Avila A, Scialabba E, Pino D. Long-range transport of beech (*Fagus sylvatica* L.) pollen to Catalonia (North-eastern Spain). *Int J Biometeorol* 2008;52(7):675-87.
78. Miguel RI. Source areas and atmospheric transport processes of chemical compounds and pollen in the NE Iberian Peninsula and the Canary Islands. PhD Thesis Barcelona University 2012.
79. Rogers CA, Levetin E. Evidence of long-distance transport of mountain cedar pollen into Tulsa, Oklahoma. *Int J Biometeorol* 1998;42:65-72.
80. Van De Water PK, Levetin E. Contribution of upwind pollen sources to the characterization of *Juniperus ashei* phenology. *Grana* 2001;40:133-41.

81. Rousseau DO, Duzer D, Cambon G, Jolly D, Poulsen U, Ferrier J et al. Long distance transport of pollen to Greenland. *Geophys. Res. Lett* 2003;30(14):1765.
82. Rousseau DO, Schevin P, Ferrier J, Jolly D, Andreasen T, Ascanius SE, Hendriksen SE, Poulsen U. Long distance pollen transport from North America to Greenland in spring. *J Geophys Res* 2008;113.
83. Rousseau DD, Duzer D, Etienne JL, Cambon G, Jolly D, Ferrier J, et al. Pollen record of rapidly changing air trajectories to the North Pole. *J Geophys Res* 2004;109.
84. Zemmer F, Karaca F, Ozkaragoz F. Ragweed pollen observed in Turkey: Detection of sources using back trajectory models. *Sci Total Environ* 2012;430:101-8.
85. Bıçakçı A, Tosunoğlu A. Allerjenik Ambrosia (zaylan) polenlerinin Türkiye'deki dağılımları. *Asthma Allergy Immunol* 2015;3(1):33-46.
86. Erlat E. Türkiye'de Yağış Anomalileri ve Kuzey Atlantik Salınımı Arasındaki İlişkiler. *Klimatoloji Çalıştayı 2002*, Ege Üniversitesi, İzmir.
87. Türkeş M, Erlat E. Türkiye'de Kuzey Atlantik Salınımı ile bağlantılı yağış değişiklikleri ve değişebilirliği. Şen O, Şaylan L, Koçak K, Toros H (Ed). III. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu İstanbul 2003;318-33.
88. Hurrell JW. Decadal trends in the North Atlantic Oscillation and relationships to regional temperature and precipitation. *Science* 1995;269:676-9.
89. Hurrell JW, Hoerling MP, Folland CK. Climatic Variability Over The North Atlantic. In: Frse RP (Ed). *Meteorology at the Millennium: Contributions from Invited Speakers*. Academic Press, 2000;1-22.
90. Yetmen H. GAP alanında Kuzey Atlantik Salınımı'na bağlı yağış ve akım değişimleri. Ankara Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Ankara 2006.
91. Emberlin J. The effects of patterns in climate and pollen abundance on allergy. *Allergy* 1994;49:15-20.
92. Şengün MT, Kıranşan K. Çöl tozlarının Türkiye'de doğal ve beşeri ortam üzerine etkisi. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi* 2012;22(2):1-15.
93. Şengün MT, Kıranşan K. Sahra Çölu Tozlarının Akdeniz Havzasına Etkisi. 3. Uluslararası Coğrafya Sempozyumu-GEOMED 2013 Bildiriler Kitabı, 582-596, Kemer, Antalya.
94. Bağcı HR, Şengün MT. Çöl tozlarının beşeri, çevre ve bitkiler üzerindeki etkileri. *Marmara Coğrafya Dergisi* 2012;409-33.
95. Oğuz K, Dündar C. Toz taşınımı olayının uzaktan algılama ve sayısal tahmin modeli ile analizi. *Ege Coğrafya Dergisi* 2014;23/2:53-64.
96. Dayan U, Ziv B, Shoob T, Enzel Y. Suspended dust over Southeastern Mediterranean and its relation to atmospheric circulations. *Int J Climatology* 2007;1-10.
97. Sofiev M, Belmonte J, Gehrig R, Izquierdo R, Smith M, Dahl A, Siljamo P. Airborne Pollen Transport. In: Sofiev M, Bergmann KC (Eds). *Allergenic pollen*. Springer Science+Business Media Dordrecht. 2013;127-60.
98. Cabezudo B, Recio M, Sanchez-Laulhe JM, Trigo MM, Toro FJ, Polvorinos F. Atmospheric transportation of marihuana pollen from North Africa to the Southwest of Europe. *Atmospheric Environment* 1997;31:3323-8.
99. Carinanos P, Galan C, Alcazar P, Dominguez E. Analysis of the particles transported with dust-clouds reaching Cordoba, Southwestern Spain. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 2004;46:141-6.