

# İstanbul ve çevresinin yüzey karakteristiklerinin yerel hava dolaşımına etkisi

Yasemin EZBER\*, Mehmet KARACA, Ömer Lütfi ŞEN

İTÜ Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, Yer Sistem Bilimi Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

## Özet

*Bir bölgenin yerel hava akışını, kara-deniz meltemi, şehir ısı adası gibi farklı yüzeylerin termal özelliklerinin neden olduğu mezo-ölçek sirkülasyonlar etkilemektedir. Bu çalışmada, hem stratejik açıdan önemli olan hem de Türkiye'nin en kalabalık şehri olan İstanbul ve çevresi için yerel hava akışı incelenmiştir. Şehrin morfolojisinin ve şehirleşmenin yerel hava akışına yapmış olduğu katkıyı göreceli olarak incelemek için duyarlılık testleri, atmosferik-meteorolojik sayısal model yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Dinamik modelleme, duyarlılık testlerinin gerçekleştirilmesi sırasında kullanılan yöntemdir. Bu çalışmada, üç boyutlu, hidrostatik olmayan mezo-ölçek model Operational Multi-scale Environment model with Grid Adaptivity (OMEGA) kullanılmıştır. İstanbul Boğazı'nın etkisi ve hafif yükseltilerden oluşan şehir topoğrafyasının meydana getireceği etki de bu çalışmada incelenmiştir. Duyarlılık testleri kurgulanırken, mümkün olabilecek en basit durumdan mevcut duruma kadar yapılan çeşitli değişikliklerle akış özellikleri incelenmiştir. Topoğrafyanın olmadığı ve tek bir arazi örtüsünün kullanıldığı bölge üzerindeki mevcut su yüzeylerinin etkisinin de izole edildiği test en basit durum olarak düşünülmüştür. Daha sonra İstanbul Boğazı ilave edilerek boğaz etkisi incelenmiştir. Büyük ölçek hava akışlarının etkisini anlamak için ise farklı jeostrofik rüzgâr yönü ile benzeşim yapılmıştır. Bu testlere topoğrafya ve mevcut arazi örtüsü de ilave edilerek simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, Boğaz'ın kanal etkisi yarattığı ve topoğrafyanın varolan akışı kuvvetlendirdiği gözlenmiştir. Boğaz boyunca yer alan yerleşimin ise deniz melteminin kıydan içeriye doğru ilerlemesini engellediği belirlenmiştir. Ayrıca sinoptik ölçekli rüzgârın yön değişiminin yerel akışı etkilediği de elde edilen önemli bir sonuçtur.*

**Anahtar Kelimeler:** Karadeniz meltemi, şehir ısı adası, dinamik modelleme.

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Yasemin EZBER. ezber@itu.edu.tr; Tel: (212) 285 62 47.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, Yer Sistem Bilimi Programı'nda tamamlanmış olan "A numerical investigation of meso-scale flow and air pollutant transport patterns over the region of Istanbul" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 04.12.2009 tarihinde dergiye ulaşmış, 10.02.2010 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 30.09.2010 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

## Effect of surface characteristics of Istanbul and its outskirts on the local weather circulation

### Extended abstract

Atmospheric motion is affected by wide range of scales from a few millimeters to thousands of kilometers. Therefore, it is crucial to understand the behavior of the atmospheric flows on these scales. Although all of these scales play a role on the transport and dispersion of the pollutants, mesoscale atmospheric processes are significant over the traveling time and distance for short and long range transport and dispersion of pollutants. Thermally and terrain induced circulations contribute to the transport and dispersion pattern of the pollutants via terrain characteristics and the surface inhomogeneities. Besides, growing urbanization modifies the mesoscale circulation characteristics. The response of the local scale circulation to the other scales or its interaction with them influences the characteristics of pollutant transport by means of the modified mesoscale circulation. Therefore, understanding mechanism of the development and evolution of small scale flow features and their interaction with large scale flow features is one of the desires. Mesoscale circulations such as sea-land breeze, urban heat island are controls our local atmosphere. Theoretically, the mechanism behind the development of the sea-land breeze circulation has been known since 1800s. Thermally-induced circulations, sea-land breeze and urban heat island, occur depending on the difference on the heating and cooling of the underlying surface. Heat capacity difference between land and water triggers the onset of the sea-land breeze. Similar to the sea-land breeze circulation, urban heat island circulation occurs due to the heat capacity difference between the urban and rural areas. Although mechanisms of the thermally-induced circulations are known, the interaction between other mesoscale features (such as mountain-valley wind) or large scale circulations is important and it changes by the properties of the location. Since the shorelines are preferred as a residential area, it is unavoidable to encounter the interaction between the sea-land breeze and the urban heat island. In addition to these circulations, topography makes the contribution to the local flow.

The present research is concentrated on the mesoscale circulations, sea-land breeze and urban heat island. Since the dynamic downscaling is very useful

tool while studying sensitivity studies, the idealized numerical simulations are performed using a fully non-hydrostatic three-dimensional numerical model OMEGA with its unstructured grid. The unstructured grid enables us to resolve land and water boundaries better than the other mesoscale models which use structured grid. The more detailed information about the land cover benefits us to study mesoscale circulation. It should be kept in mind that it is not possible to solve any small properties of the domain even using unstructured grid. Uniform initial flow is utilized at horizontal and vertical directions. The study is focused on Istanbul since it is the longest and the most crowded city in Turkey and also the wide range of data availability for direct comparison. Since each feature of a region affects the local flow, relative effects of geographic features on the local circulation are exemplified by means of the idealized simulations. Simulations are conducted starting from very simple case to a complex one, which means that contribution of each feature is added one-by-one to the domain. For instance, as a simple case, surface is set to the flat, and a uniform land-use and land cover map is used. Then after, effect of the presence of a strait is investigated adding the Bosphorus strait to the domain. Topographic effect is also analyzed including model resolved topography. Finally, current land-use types and land-water properties are used with different large scale flow directions to investigate effect of the urbanization. Although studies in the literature have showed that smooth topography has no influence on the circulation, topography-induced effect is observed over the hilly topography of Istanbul.

Results show that the Bosphorus strait channeled the air flow that is blowing from the north through the Bosphorus. This channeled flow is enhanced when the topography is added to the domain. Significant contribution to the local flow comes from urbanization by arranging the sea-land breeze existence or penetration over the domain. The presence of the urban area causes a convergence over the urbanized area by hindering the inland penetration of the sea breeze. Results indicate that the flow over Istanbul converges at a point depending on the surface properties which are utilized in the sensitivity simulation. The southwesterly flow direction prevents the existence of the land breeze that is observed under the northeasterly flow condition.

**Keywords:** Sea-land breeze, urban heat island, dynamic modeling.

## **Giriş**

Havanın akışından kompozisyonundaki değişime kadar zamanla meydana gelebilecek farklılaşmalar, insanoglunun yaşamını doğrudan etkilemektedir. Bunun en açık örneği ise yerel ölçekte oluşabilecek değişikliklerdir. Atmosferik hareketler; milimetreden binlerce metreye kadar uzanan yatay ölçüğe ve birkaç saatten günlerce süren zaman ölçüğü ile geniş bir ölçek perspektifine sahiptir. Bu neden ile de atmosferik hareketlerin tümü ile tanımlanması oldukça zor bir bilimsel problemdir.

Denize kıyısı olan yerleşimlerde önem arz eden dolaşimlardan biri, kara ve deniz arasındaki günlük sıcaklık farkının yaratmış olduğu termal dolaşimlardır. Kara-deniz meltemi 1800'lü yıllardan beri bilinen bir mezo-ölçek atmosferik olaydır. Kara ve deniz meltemi ile ilgili daha fazla bilgi edinmek amacı ile 1930'lardan sonra teorilere ve gözlemlere dayalı pek çok detaylı çalışma yürütülmüştür (Estoque, 1962; Walsh, 1974; Haurwitz, 1947). Bununla birlikte teknolojik gelişmelere paralel olarak teorik ve gözlemlere dayalı çalışmalara ilave olarak modelleme çalışmaları da literatürdeki yerini almıştır; Fisher (1960, 1961), hem gözlemlere hem de sayısal model yardımı ile deniz melteminin dinamik teorisini tanımlamaya çalışmıştır. Kara-deniz melteminin oluşumunu ve ilerlemesini etkileyen faktörler bu çalışmaların ışığında ortaya çıkmıştır. Örneğin; kara ve deniz melteminin görüldüğü bölge üzerindeki hâkim büyük ölçek dolaşimlar, meltemin oluşma zamanını, ilerlemesini ve meltemin süresini etkileyecektir.

Kara ve deniz meltemine benzer olarak, şehir ve kırsal alan arasında da arazi örtüsündeki farkın yaratmış olduğu farklı ısı kapasiteleri şehir ve kırsal alan arasında dolaşıma neden olur. Şehirler, civarlarındaki bölgelerden daha sıcak olduklarından, yere yakın atmosferik tabakada sıcaklıkta adaya benzer bir kubbe yapısına sahiptir ki bu tür davranışa literatürde şehir ısı adası denilmektedir. Artan nüfusa bağlı olarak şehir ısı adası ve yerel dolaşımda meydana getireceği değişikliklerin gözardı edilmesi mümkün değildir. Şehirleşmeye bağlı olarak meydana gelen yüzey pürüzlüğü değişimi, bölge üzerindeki

rüzgâr yapısını önemli ölçüde etkiler. Şehirler, gündüz türbülans kinetik enerjinin termal ve mekanik üretimi nedeni ile daha yüksek bir sınır tabakaya sahiptir (Oke, 1987). Şehirleşmenin ortaya çıkardığı önemli bir problem de insan aktiviteleri sonucu ortaya çıkan kirliliktir. Şehirleşmenin kirliliğe yapmış olduğu olumsuz katkı yapılan çalışmalarla da kanıtlanmıştır (Martilli vd., 2003; Sarrat vd., 2006).

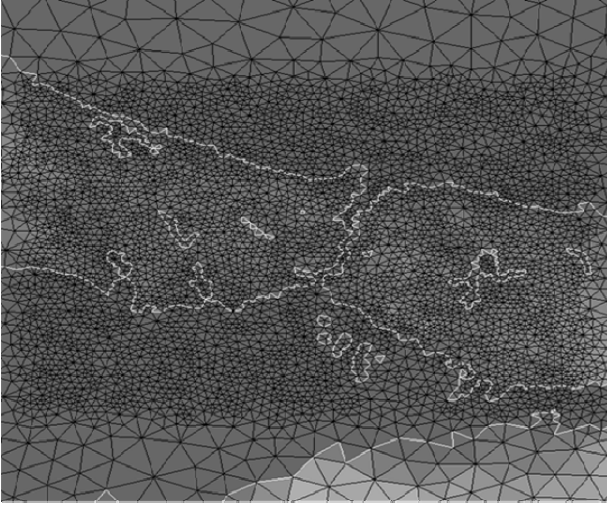
Günlük termal değişim nedeni ile oluşan dolaşıma ilave olarak topoğrafyanın etkisi ile de bir bölgedeki yerel akışta değişimler meydana gelmektedir. Özellikle de yükseltinin fazla olduğu yerlerde, dağ-vadi rüzgârlarının yerel akışa katkıları önemlidir. Termal ve topoğrafik olarak etkileyen bu dolaşimların bir yerin meteorolojisine olası katkıları bu bölgede yaşayan insanların günlük yaşamlarından sağlıklarına kadar geniş bir yelpazede etkili olacağı şüphesizdir. Dolayısıyla ile de bir bölgeye etki edebilecek dışsal etkilerin incelenmesi, bölgenin meteorolojik şartlarının belirlenmesi aşamasında önemlidir.

Bilgisayarların hesaplama güçlerindeki gelişmeye paralel olarak modelleme çalışmalarında da büyük ilerlemeler katedilmiştir. Hesaplama gücünün artması, günümüzde, atmosferik-meteorolojik modellerin, iklimsel ve meteorolojik pek çok soruyu cevaplamak için yaygın olarak kullanılmasına zemin hazırlamıştır. Böylece, yaşadığımız atmosferi daha iyi temsil edebilme şansımız doğmuştur. Ülkemizde, modellemeye dayalı bu tip çalışmalar son birkaç yılda büyük bir ivme kazanmıştır. Bu çalışmada, İstanbul ve çevresi için yerel akışa etki eden mezo-ölçek, büyük ölçek dolaşimlar ve coğrafik özelliklerin atmosferik model yardımı ile duyarlılık testleri uygulayarak belirlenmesi amaçlanmıştır.

## **Yöntem**

Atmosferik modeller yardımı ile duyarlılık testlerinin gerçekleştirilmesi, incelenmek istenen olayların oluşma mekanizmasını anlamada kolaylık sağlamaları yanı sıra, her bir etmenin geniş bir alan üzerindeki etkisini anlamamıza yardım etmektedir. Çalışmada duyarlılık testlerini gerçekleştirmek için, üç boyutlu hidrostatik olmayan mezo-ölçek model OMEGA kullanılmış-

tır. OMEGA genel olarak bakıldığında, diğ er mezo-ölçek modellerden daha basit parametrelendirme ş emaları kullanmaktadır. Ancak modelin grid yapısı diğ er modellerden farklı olarak, düzensiz bir yapıya sahiptir. OMEGA temel eşitliklerin çözümünde kullandığı yöntem bakımından da diğ er modellerden ayrılır. Düzenli grid yapılarına ilave olarak mezo-ölçek modeller sonlu farklar metodu ile eşitlikleri çözerken, OMEGA sonlu hacimler yöntemi ile eşitlikleri çözer (Bacon, 2003). Dolayısı ile, grid yapısındaki bu karmaşık yapı basit parametrelendirme ş emaları kullanılarak aşılımaya çalışılmıştır (Şekil 1). Buna bağılı olarak da hesaplama zamanı bakımından model, çalışmasını makul değerlerde tamamlayabilmektedir. Ancak yüksek çözünürlükteki gridin kullanılması durumunda, model performansının düşmesi yine de engellenemez.



Şekil 1. Model çalışma alanı ve grid yapısı

Bu çalışmada, OMEGA'nın meteorolojik model olarak seçilmesinin nedeni; kullanmış olduğu grid yapısının, bir bölgenin kara-deniz sınırlarını iyi bir şekilde belirleme özelliğine sahip olmasıdır. Çalışmada, Boğaz'ın İstanbul üzerindeki akışa etkisini anlamak önem arz etmektedir. Bu nedenle mümkün olan yüksek çözünürlükte model benzeşimleri gerçekleştirilmelidir. Pekçok atmosferik model İstanbul Boğazı gibi dar kanalları çözemezler. OMEGA bu modellere göre Boğaz'ı çözmeye nispeten daha başarılı olmuştur. Model, üç adet iç içe yuvalanmış grid kullanmaktadır. Çalışmada üçüncü grid yapısı, İstanbul'u daha iyi temsil edebilmek için yüksek

çözünürlükle İstanbul ve civarına odaklanmaktadır (Şekil 1). Model daha öncede ifade edildiği gibi değış en yatay çözünürlüğe sahiptir. Yatayda modelin sahip olduğu en yüksek çözünürlük 0.56 km'dir. Düşeyde ise 35 tabaka ile model eşitlikleri çözülmektedir.

## Analizler

Model çalışmasında, her bir etkiyi inceleyebilmek için tamamen ideal atmosferik şartlar kullanılmıştır. Model atmosferik basıncı, 1013.25 mb olarak kabul edilmiştir. Kara ve deniz meltemi ya da şehir ısı adaları gibi dolaşım lar ilkbahar-yaz aylarında daha sık görüldüğü için modelin yere yakın standart atmosfer sıcaklık değeri 20°C'ye ayarlanmıştır.

Klimatolojik olarak bakıldığında, İstanbul için hâkim rüzgârlar kuzeydoğu ve güneybatı yönlerinden olduğundan, model için kullanılan jeostrofik rüzgâr da hâkim rüzgâr yönüne bağılı olarak ilk aşamada kuzeydoğulu olarak modele uygulanmıştır. Uygulanan jeostrofik rüzgârın hızı da mezo-ölçek dolaşım ların özellikle de şehir ısı adası oluşturan sakin günlerde etkisini göstermektedir. Bu nedenle de kuzeydoğulu jeostrofik rüzgar yaklaşık 0.3 m/s olarak çalışma alanı için modelde kullanılmıştır. Model arazi kullanım altlığı, yapılan çalışmada iki farklı şekilde modelde kullanılmıştır. İlk olarak bütün çalışma alanının aynı yüzey tipine sahip olduğu varsayılmıştır.

Böylece, farklı yüzey tiplerinin akış üzerindeki etkilerinden izole olarak çalışmak mümkün olacaktır. İstanbul ve civarı için, yüzeyin orman olarak modele uygulanması ile yapılan duyarlılık testleri için basitleştirmeye gidilmiştir. Buna ilave olarak, en basit duyarlılık çalışması için, topoğrafya ihmal edilmiş ve Boğaz ve göller de çalışma alanından kaldırılarak tamamen tekdüze bir çalışma alanı üzerinde model çalıştırılmıştır.

Şekil 2, modelin çalıştırıldığı en basit durum için yapılan değışiklikleri göstermektedir. Sonraki duyarlılık testleri için ise sadece bir özellik değıştirilerek, her bir özelliğ in çalışma alanına olan bağılı katkısı incelenilmeye çalışılmıştır. Şekil 2'de gösterilen durumdaki yüzeye Boğaz

ilave edilerek Boğaz'ın yerel dolaşıma olan etkisi anlaşılmaya çalışılmıştır.



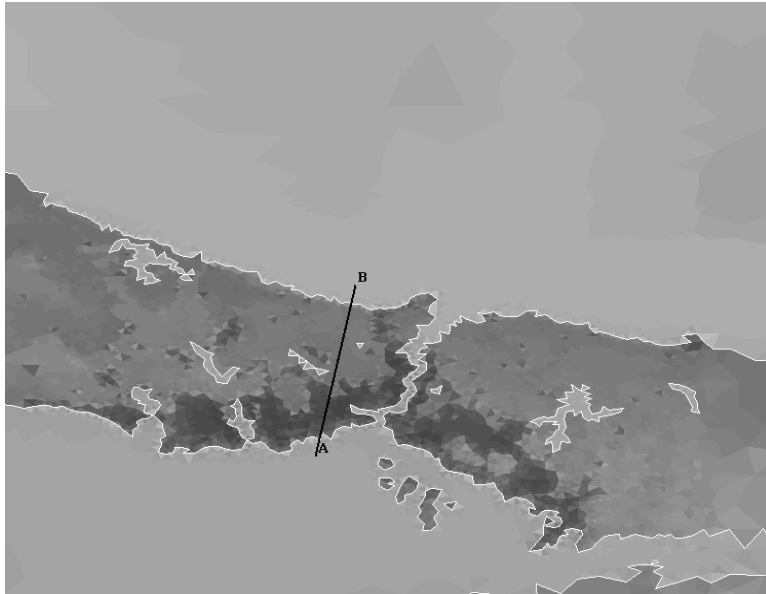
*Şekil 2. Model için hazırlanan tekdüze topoğrafya ve arazi kullanım tipi (orman)*

Bir sonraki aşama olarak topoğrafya etkisi çalışmaya dâhil edilmiştir. Her ne kadar İstanbul yüksek bir topoğrafyaya sahip olmasa da yüzeydeki pürüzlülük yerel akış üzerinde önemli farklılıklara neden olacaktır.

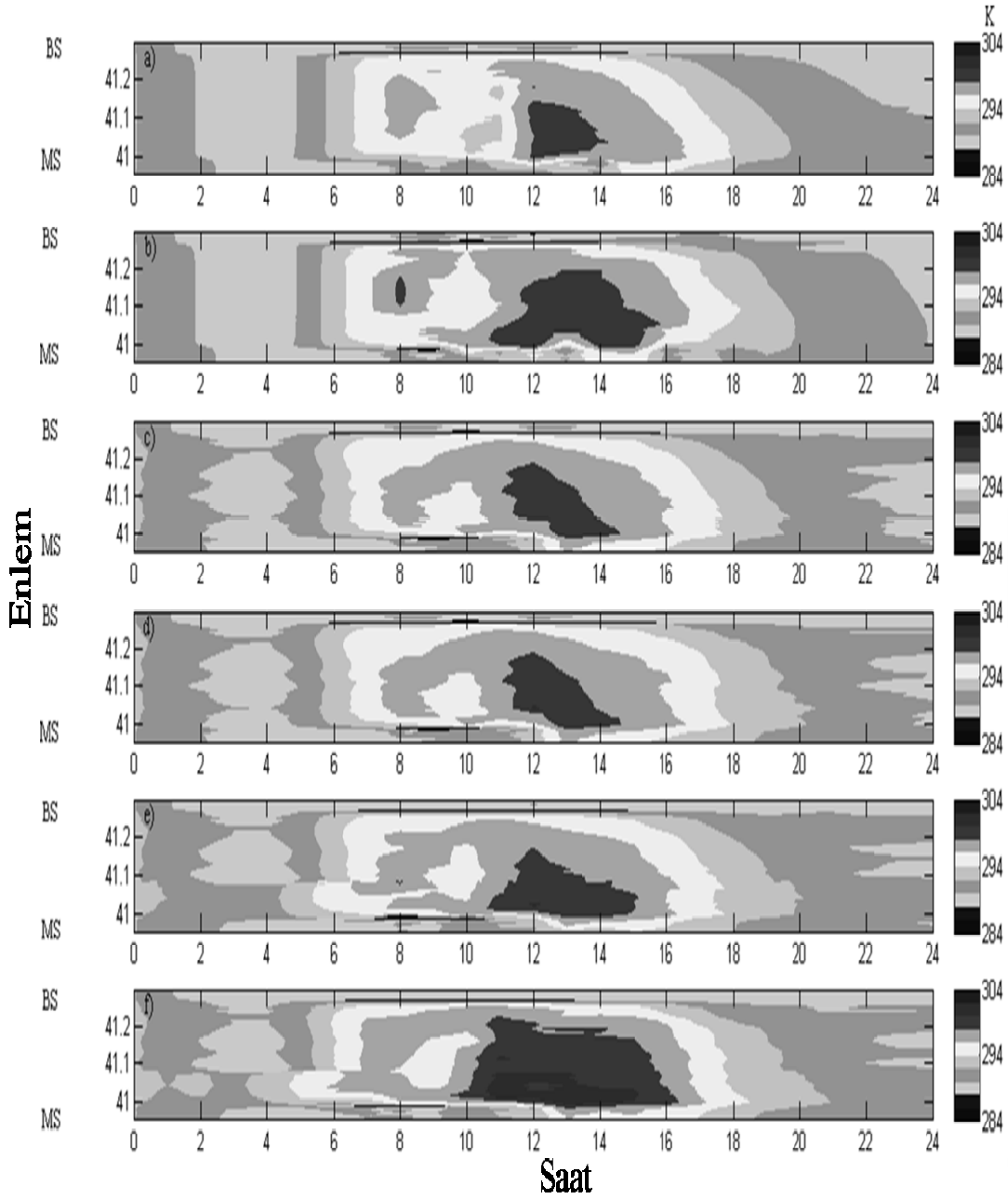
Bu çalışmalara ek olarak İstanbul'un güneyindeki adaların etkisi de çalışmaya katılmıştır. Bütün bu duyarlılık testlerinde kullanılan jeostrofik rüzgâr yönü ve hızı, daha önce de ifade edildiği gibi sakin kuzeydoğuludur. Bu nedenle, son olarak sinoptik ölçek dolaşımların incelenecek olan mezo ölçek dolaşımlara olan etkisi düşünülerek, çalışma alanı üzerinde güneybatılı sakin rüzgâr

için de çalışma yapılmıştır. Yapılan bütün duyarlılık testlerinde modele ilk adımda verilmiş olan üniform akış, yatayda bütün çalışma alanı üzerine uygulanırken düşeyde de bütün tabakalarda ilk model adımı için verilen akış en alt tabaka ile aynıdır. Çalışma alanı üzerinden alınan kesit yardımı ile herbir özelliğin yaratmış olduğu etki anlaşılmaya çalışılmıştır. Şekil 3, bu çalışmada kullanılan kesitin yerini göstermektedir.

Şekilden de görüleceği gibi kesit Boğaz'ın etkisini inceleyebilmek için düşey doğrultuda alınmıştır. Ayrıca, çalışma alanının kıyı bölgeleri şehirleşmenin yoğun olduğu yerler olduğundan, kesit Marmara kıyısındaki şehir kısmını da kesecek şekilde belirlenmiştir. Potansiyel sıcaklık ve rüzgârın V-yönündeki bileşenin saatlik değişimi bu çalışmada kullanılan model değişkenleridir. Model benzeşimleri bir günlük zaman dilimi için gerçekleştirilmiştir. Mezo-ölçek dolaşımlarda sıcaklık dağılımındaki farklılıkların yerel akışı kontrol ettiği görülmektedir. Tek bir yüzey tipi ve topoğrafya ve Boğaz gibi coğrafik yapıların olmadığı durumun ele alındığı en basit duyarlılık testinde, potansiyel sıcaklık dağılımı sinoptik ölçek akışı etkileyecek herhangi bir bozulmanın olmaması nedeni ile oldukça üniform bir yapı göstermektedir (Şekil 4a). Oysa Şekil 4b'de görüldüğü gibi, boğaz çalışma alanına dâhil edil diğinde potansiyel sıcaklıkta bozulma meydana gelmektedir. Her bir özellik, sıcaklık



*Şekil 3. Çalışma alanından alınan kesitin lokasyonu*



Şekil 4. Kesit boyunca saatlik potansiyel sıcaklık değişimi

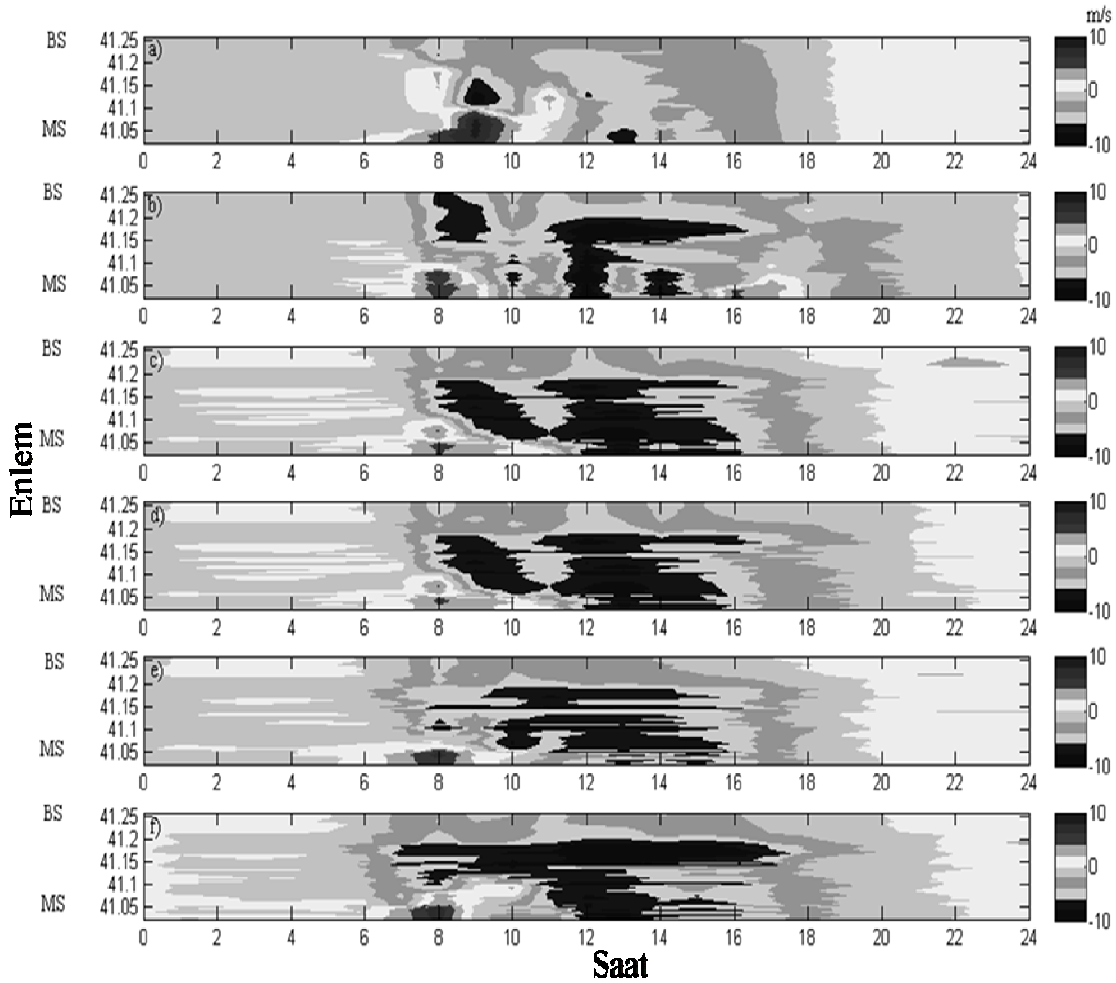
üzerinde farklı bozulmalara neden olmaktadır (Şekil 4). Günlük sıcaklık değişimi ile uyumlu olarak maksimum ısınma öğleden sonraki zaman diliminde görülmektedir. Sıcaklık, kesit boyunca farklı davranışlar göstermektedir. Örneğin; öğleden sonra meydana gelen sıcaklık artışı Boğaz'ın olduğu durumda daha uzun zaman devam etmekte iken üniform basit durum için daha kısa sürmektedir. İstanbul'un kuzey ve güneyindeki (Karadeniz ve Marmara Denizi) denizlerin varlığı, denizler üzerinde karalara gö-

re daha soğuk olan havanın, deniz meltemi vasıtası ile, kara üzerinde artan güneşlenme ile ısınan havayı her iki sahil kesiminden içerilere doğru taşır. Dolayısı ile de bölgenin orta noktasında havanın daha sıcak olduğu görülmektedir. Saat 1800 UTC'den itibaren bu fark yavaş yavaş ortadan kalkmakta ve daha üniform bir sıcaklık dağılımı kendini göstermektedir. Sıcaklık dağılımına bağlı olarak rüzgâr dağılımı da her bir duyarlılık çalışmasında değişmektedir. Kara-deniz melteminin oluşma ve kara içine

doğru ilerlemesi, çalışmada rüzgârın V bileşeni vasıtası ile incelenmiştir. Şekil 4f ve 5f haricindeki diğer model simülasyonlarında kuzeydoğulu rüzgâr kullanılırken, Şekil 4f ve 5f güneybatılı rüzgârların hâkim olduğu rüzgârlar ile benzeşimlere başlanmıştır.

Topoğrafya etkisinin olmadığı benzeşimlerde, daha şiddetli rüzgârlarla kara ve deniz melteminin ilerlediği gözlenirken, diğer özelliklerin eklenmesi ile rüzgâr şiddetinde bir azalma görülmektedir. Çalışma alanının güney kıyısı, topoğrafyanın olmadığı, üniform ve Boğaz'ın olduğu durumlarda güneyde kara meltemi oluşmaktadır. Ancak, topoğrafyanın yeni bir özellik olarak alana ilave edilmesi ile hem kuzey hem de güneyde kara meltemi oluşmuştur. Şekil 5d Marmara Denizi'nin İstanbul kıyısındaki mevcut adaların varlığının akışa yapmış olduğu etkiyi incelemek üzere yapılmış bir benzeşimlerdir.

Fakat, buradaki kesitten Şekil 5c ve 5d'nin farkını görmek kesitin İstanbul'un batısından alınması nedeni ile mümkün değildir. Ancak, yapılan diğer bir kesit çalışması, adalar ile kara arasında kanal akışının meydana geldiğini göstermektedir. Şekil 5e ve 5f mevcut bütün yüzey şekilleri ve arazi örtüsü kullanılarak hazırlanmış bir testtir. Kara meltemi, güneybatılı rüzgâr için çalışma alanının Marmara kıyısında şehirleşme nedeni ile oluşmaz iken yalnızca kuzeydoğulu rüzgâr durumunda kara meltemi her iki kıyıda kesit boyunca görülmektedir. İstanbul'un Karadeniz kıyısında, deniz melteminin başlama zamanı, kuzeydoğulu rüzgârlarla yapılan testlere saat 0600 UTC iken bu durum şehirleşmenin etkisi ile günümüz yüzey tiplerinin kullanıldığı kuzeydoğulu ve güneybatılı rüzgâr için erken meydana gelmektedir. Bunun en önemli nedeni ise şehirleşme nedeni ile sıcaklığın diğer bölgelerden daha yüksek olmasıdır. Ayrıca, bölgenin



*Şekil 5. Kesit boyunca rüzgârın V bileşeninin saatlik değişimi*

hem kuzey hem de güneyinde meydana gelen deniz melteminin, İstanbul'un Karadeniz ve Marmara kıyılarındaki oluşma zamanı, hâkim rüzgâr yönüne göre birbirinden farklıdır. Güneybatılı hâkim rüzgâr şehirleşmenin de etkisi ile Marmara kıyısında oluşan deniz melteminin erken oluşmasına neden olur. Kesitin kuzey ve güneyinde başlayan deniz meltemi ilerleyen saatlerde karşılaşır ve konverjans oluşmasına neden olur. Şekil 5'ten de görüldüğü gibi, konverjans alanı tekdüze ve düz bir İstanbul düşünüldüğünde saat 0900 UTC'de meydana gelirken (Şekil 5a), geri kalan testler konverjansın saat 0800 UTC'de oluştuğunu göstermektedir. Kuzeyde Karadeniz'in etkisi ile oluşan deniz meltemi öğle saatlerinden itibaren güneyde Marmara Denizi'nin neden olduğu deniz meltemini yenerek kuzeyli rüzgârın çalışma alanı üzerinde etkili olmasını sağlar. İstanbul Boğazı'nın varlığı kanal etkisi yaratarak, kuzeyli rüzgârı daha etkin kılmaktadır. Topoğrafyanın varlığı ise rüzgârın şiddetini daha da arttırmaktadır (Şekil 5c ve 5d). Şehirleşmesinde dâhil edildiği gerçek durumu gösteren Şekil 5e ve 5f ise, Karadeniz'in mevcudiyeti nedeni ile meydana gelen kuzeyli rüzgarların, güneye kadar sokulmasının şehirleşme nedeni ile diğer duyarlılık testlerinden daha kuvvetli güneyli deniz meltemi vasıtası ile engellenmektedir. Güneşin batışı ile birlikte genel olarak bütün benzeşimler benzer yapı göstermektedir.

## Sonuçlar

Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- İstanbul Boğazı'nın varlığı kanal etkisinin oluşmasına neden olmaktadır.
- Topoğrafya ise Boğaz'ın varlığı ile oluşan kanal etkisini şiddetlendirir.
- Karadeniz ve Marmara Denizi'nin kara ile sıcaklık farkları sonucunda meydana gelen deniz meltemleri karşılaşmakta ve konverjans alanı meydana getirmektedir.
- Bölgenin özellikle güneyindeki yoğun şehirleşme, deniz melteminin ilk aşamada kara

ıçlerine ilerlemesini engellemekte ve deniz meltemlerinin meydana getirdiği konverjansdan önce, şehir üzerinde konverjans alanı oluşturmaktadır.

- Şehirleşme, deniz melteminin erken oluşmasına neden olmaktadır. Ayrıca, kara meltemi oluşması da şehirleşme nedeni ile güneybatılı rüzgarların hakim olduğu durumda meydana gelmez. Oysa, kuzeydoğulu hakim rüzgarlar söz konusu olduğunda kara meltemi oluşmakta ancak şehirleşme etkisi ile kısa bir süre sonra yerini deniz meltemine bırakmaktadır.

## Semboller ve Kısaltmalar

- BS : Karadeniz (Black Sea)  
MS : Marmara Denizi (Marmara Sea)  
UTC : Universal Time Coordinate

## Kaynaklar

- Bacon, D.P., (2003). *Operational multiscale environment model with grid adaptivity (OMEGA) system design*, Copyright 2001, Science Applications International Corporation, 1-124.
- Estoque, M.A., (1962). The sea breeze as a function of the prevailing synoptic situation, *Journal of Atmospheric Sciences*, **19**, 244-250.
- Fisher, E.L., (1960). An observational study of the sea breeze, *Journal of Meteorology*, **17**, 645-660.
- Fisher, E.L., (1961). A theoretical study of the sea breeze, *Journal of Meteorology*, **18**, 216-233.
- Haurwitz, B., (1947). Comments on the sea breeze circulation, *Journal of Meteorology*, **4**, 1-8.
- Martilli, A., Roulet, Y.A., Junier, M., Kirchner, F., Rotach, M. ve Clappier, A., (2003). On the impact of urban surface exchange parameterizations on air quality simulations: The Athens case, *Atmospheric Environment*, **37**, 4217-4231.
- Oke, T.R., (1987). *Boundary layer climates*, 2<sup>nd</sup> edition, 423, Cambridge University Press.
- Sarrat, C., Lemonsu, A., Masson, V. ve Guedalia, D., (2006). Impact of urban heat island on regional atmospheric pollution, *Atmospheric Environment*, **40**, 1743-1758.
- Walsh, J.E., (1974). Sea Breeze theory and applications, *Journal of Atmospheric Sciences*, **31**, 2012-2026.