Turkish Studies
Volume 13/3, Winter 2018, p. 163-179
DOI Number: http://dx.doi.org/10.7827/TurkishStudies.12858
ISSN: 1308-2140, ANKARA-TURKEY

Research Article / Araştırma Makalesi

Article Info/Makale Bilgisi
Received/Geliş: Ocak 2018 **Accepted/Kabul:** Mart 2018
Referees/Hakemler: Prof. Dr. Adnan PINAR – Prof. Dr. Ali MEYDAN – Prof. Dr. Tahsin TAPUR - Prof. Dr. Cemalettin ŞAHİN

This article was checked by iThenticate.

SICAKLIK TERSELMESİNİN HAVA KİRLİLİĞİNE ETKİSİ (ISPARTA ŞEHİR MERKEZİ ÖRNEĞİ)

Adnan Doğan BULDUR - Sabahattin SARI***

ÖZET

Enerji tüketiminin artması başta kentler olmak üzere, yerleşim alanlarında hava kirliliğini önemli bir sorun haline getirmiştir. Ülkemizde doğalgaz kullanımının yaygınlaşması ve kaliteli kömüre olan yöneliş, sorunun büyümesini kısmen engellese de ortadan kaldırmış değildir. Beşeri faaliyetlerin bir sonucu olan hava kirliliği üzerinde topografik ve klimatik faktörlerin etkisi oldukça önemlidir. Topografya, havanın kararlılığını dolayısı ile sıcaklık terselmesini ve rüzgâr hızını yönlendiren bir faktör olarak kirliliğe tesir eder.

Bu araştırmada, Isparta şehir merkezinde yer alan Hava Kalitesi İzleme İstasyonu'ndan (37˚ 46′ 41″ Kuzey-30˚ 32′ 51″ Doğu) elektronik olarak indirilen Kükürtdioksit (SO_2) ve Partikül Madde (PM_{10}) verileri kullanılmıştır. Bu veriler **Ulusal ve Avrupa Birliği ülkeleri sınır değer** kriterleriyle karşılaştırılmış ve sınırların çok aşıldığı aylara ait (2006-2016 yıllarının Kasım-Aralık-Ocak-Şubat ve Mart Ayları) günlük verileri, SPSS 23 programı kullanılarak analiz edilmiştir.

Araştırmada, Yüksek Atmosfer Balonları verilerinden sıcaklık terselmesi değerleri hesaplanmış ve kirleticiler arasındaki ilişki analiz edilmiştir. Analizlerde Çoklu Regresyon ve Pearson Korelasyon testleri kullanılmıştır. Regresyon analizine göre, PM_{10} yoğunluğu üzerinde sıcaklık terselmesinin tek başına % 38.8'lik; sıcaklık terselmesi ile rüzgâr hızının birlikte % 47.7'lik kontrolü söz konusudur. SO_2 yoğunluğu üzerinde ise rüzgâr hızının % 18.4'lük; rüzgâr hızı ile birlikte sıcaklık terselmesinin % 23.4'lük bir hakimiyeti vardır. Pearson Korelasyon testi sonuçları, Isparta'daki hava kirliliğinin önemli parametrelerinden olan SO_2 ve PM_{10} yoğunluğu ile sıcaklık terselmesi arasında orta ve pozitif yönlü; rüzgâr hızı ve bulutluluk arasında zayıf ve negatif yönlü bir ilişkiyi ifade etmektedir. Her iki kirleticinin yoğunluğunda son yıllarda bir düşüş

* Yrd. Doç. Dr., NEÜ Eğitim Fakültesi Coğrafya Eğitimi ABD, El-mek: abuldur@konya.edu.tr

** Dr. Muhittin Güzelkılınç Anadolu Lisesi, El-mek: sabahattinsarii72@hotmail.com

eğilimi saptanmıştır. Bunda doğalgaz kullanımının yaygınlaşması, yakıt kalitesinin yükseltilmesi ve ulaşım araçlarının standardındaki yükselmenin etkili olduğu düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sıcaklık Terselmesi, Topografya, Isparta, Hava Kirliliği, SO_2, PM_{10}

THE EFFECTS OF TEMPERATURE INVERSION ON AIR POLLUTION (ISPARTA CITY CENTER EXAMPLE)

ABSTRACT

The increase in energy consumption has made air pollution an important problem in residential areas, especially in cities. The widespread use of natural gas in our country and tendency to use high quality coal have partially prevented the increase of the problem but have not eliminate it. The effect of topographic and climatic factors on air pollution, which is a consequence of human activities, is very important. The topography affects temperature inversion due to the stability of the air and also affects pollution as a factor that directs the wind speed.

In this study, sulfur dioxide (SO_2) and Particulate Matter (PM_{10}) data electronically downloaded from Air Quality Monitoring Station (37° 46' 41'' North-30° 32' 51'' East) in Isparta city center were used. These data were compared with the National and European Union upper limit value criteria and the daily data of the months when the limits were exceeded (November-December-January-February-March of 2006-2016) were analyzed using the SPSS 23 program.

In the study, temperature inversion values were calculated from the data of High Atmosphere Balloons and the relationship between pollutants was analyzed. Multiple Regression and Pearson Correlation tests were used in the data analyzes. According to the regression analysis, the temperature inversion alone gives 38% control over the PM_{10} density, the temperature inversion and the wind speed together control 47.7%. On the SO_2 density, 18.4% of the wind speed; temperature inversion with wind speed has a 23.4% control. Pearson Correlation test results show that there is a moderate and positive correlation between the SO_2 and PM_{10} concentrations which are important parameters of air pollution and the temperature reversal there is also a weak and negative relationship between wind speed and cloudiness in Isparta. There has been a downward trend in the concentration of both pollutants in recent years. This is thought to be due to the widespread use of natural gas, the upgrading of fuel quality and the increase in the standard of transport vehicles.

STRUCTURED ABSTRACT

The increase in energy consumption has made air pollution an important problem in residential areas, especially in cities. The widespread use of natural gas in our country and tendency to use high quality coal have partially prevented the increase of the problem but have not eliminate it. The effect of topographic and climatic factors on air

pollution, which is a consequence of human activities, is very important. The topography affects temperature inversion due to the stability of the air and also affects pollution as a factor that directs the wind speed.

As in many cities in Turkey, there is air pollution in Isparta which is stronger in the winter season. Topography and climatic factors are not the cause of air pollution, but they have significant effects on air pollution in Isparta. Isparta's topographical features, which makes horizontal and vertical air movement difficult, thus preventing the spread of pollutants.

In this study, sulfur dioxide (SO_2) and Particulate Matter (PM_{10}) data electronically downloaded from Air Quality Monitoring Station (37° 46' 41'' North-30° 32' 51'' East) in Isparta city center were used. These data were compared with the National and European Union upper limit value criteria and the daily data of the months when the limits were exceeded (November-December-January-February-March of 2006-2016) were analyzed using the SPSS 23 program.

In the study, temperature inversion values were calculated from the data of High Atmosphere Balloons and the relationship between pollutants was analyzed. Multiple Regression and Pearson Correlation tests were used in the data analyzes.

According to the regression analysis, temperature inversion alone controls 38.8% of the PM_{10} density. Control of wind speed is 26%, cloudy is 17.4%. When the climatic factors are analyzed together by Multiple Regression (Stepwise), the effect of wind speed on PM_{10} density (R2) is 47.7% with temperature inversion. The cloudiness has no effect. According to these results, almost half of the density of PM_{10} in the city center of Isparta is realized by the temperature inversion and the control of the wind speed.

Pearson Correlation test was performed to determine whether the relationship between PM_{10} density and climatic factors was positive or negative. According to the analysis results, there is a meaningful and moderate (.613) positive correlation between temperature inversion and PM_{10} density ($p < 0.01$). Thus, the intensity of PM_{10} increases when the temperature inversion is strengthened.

There is a meaningful, moderate (-.510) and negative relationship between PM_{10} density and wind speed. In other words, the increase in wind speed in Isparta is the second climatic factor that affects the density of PM_{10} after the temperature inversion. The effect of cloudiness is again negative (-.417). Regression Analysis was repeated to determine which of the climatic factors influenced the SO_2 density more. According to the results of the analysis, SO_2 density is affected by wind speed 18.4%, temperature inversion 14.4% and cloudiness 10.7% respectively. When the effects of all three factors were analyzed together, this ratio increased to 23.9%. The cloudiness has a very insignificant effect on this too. The Pearson Correlation Test was applied to determine the relationship between SO_2 density and climatic factors. According to the analysis results, the wind speed is the climatic factor with the greatest effect (-.428) on SO_2 density. There was meaningfull, weak (.380) and positive correlation between temperature inversion and SO_2 concentration ($p < 0.01$). The increase in wind speed in Isparta has played a leading role in reducing the intensity by transporting SO_2 to other regions.

During the study period, the intensity of SO_2 and PM_{10} increases on the days when the average wind speed decreases, but the intensity decreases when the speed exceeds 10 m/s.

The wind direction also plays an important role in air pollution in Isparta. The PM10 and SO_2 densities rise to maximum levels in days when the wind is blowing through the NNW and N directions, on days when the wind is SSE, S, SSW and SW directions, the intensity is at the minimum level.

As a result, The Pearson Correlation Test results show that there is a moderate and positive correlation between the SO_2 and PM_{10} concentrations which are important parameters of air pollution and the temperature reversal there is also a weak and negative relationship between wind speed and cloudiness in Isparta. There has been a downward trend in the concentration of both pollutants in recent years. This is thought to be due to the widespread use of natural gas, the upgrading of fuel quality and the increase in the standard of transport vehicles.

Keywords: Temperature inversion, Topography, Isparta, Air Pollution, SO_2, PM_{10}

GİRİŞ

Nüfus artışı ve sanayileşme sonucu ortaya çıkan hava kirliliğinde ısınma, ulaşım ve sanayide kullanılan fosil yakıtlar başlıca kirleticileri oluşturur (Sungur ve Gönençgil, 1997). Kirlilik üzerinde topografya, yükselti, sıcaklık terselmesi, sıcaklık, basınç, rüzgâr hızı ve yönü, nem, yağış ve bulutluluk gibi *fiziki;* nüfus artışı, şehirleşme, sanayileşme, sanayi kuruluşlarının dağılışı ve şehir içi arazi kullanımı gibi *beşeri* faktörlerin etkileri görülür (Şahin, 1989). Bu yönüyle konu (tıp, biyoloji, zooloji, mimari, kimya, çevre, coğrafya, klimatoloji, meteoroloji vb. gibi) birçok bilim dalının inceleme alanına girer.

Diğer kirlilik türleri gibi, hava kirliliği de temelde nüfus artışıyla ortaya çıkan bir sorundur. İnsanlar, kırsaldaki geçim sıkıntısı, modern hayata özen veya kendisi ile çocuklarına daha güvenli bir gelecek, daha uygun yaşam ve eğitim fırsatları gibi sebeplerle büyük yerleşim birimlerine göç etmektedir (Şahin, 1989). Böylece yerleşim alanları genişlemekte ve esasında yerleşmeye çok uygun olmayan alanlar bile yerleşim bölgesine dâhil olmaktadır (İbret ve Aydınözü, 2009).

Kırsal alanlardan kentlere olan yoğun göç, çarpık kentleşmeyi de beraberinde getirmiştir. Yerleşmeye uygun alanlardaki arsa ve konut fiyatlarının yüksekliği, insanları kentin mera ve tarım alanlarına yönelterek, yeşil sahaların ortadan kalkmasına yol açmıştır. Göç aynı zamanda dar ve çarpık sokakların da sebebidir. Artan nüfusa paralel olarak bir taraftan tüketilen yakıt miktarı artarken, diğer taraftan gelir seviyesinin düşüklüğü insanları kalitesiz yakıtlara yöneltmiştir.

Şehirlerin büyümesine bağlı olarak sanayi tesislerinin artışı da fosil yakıt üretim ve tüketimini yükselterek hava kirliliğine etki etmiştir. Bu arada sanayi tesislerinin sayısı kadar, tesisin kuruluş yerinin seçimi de önemlidir. Kurulduğunda şehrin dışında olan birçok fabrika günümüzde şehirlerin içinde kalmıştır. Bir başka husus ise fabrikaların kurulduğu yerin klimatik unsurlarıyla olan uyumudur. Bazı şehirlerde sanayi tesislerinin çoğunun hâkim rüzgâr yönünde kurulması kirletici maddeleri şehir üzerine taşımaktadır (Bozyiğit, 1997).

Zaman zaman kurak ve yarı kurak bölgelerde meydana gelen kum ve toz fırtınaları da havadaki partikül madde oranını yükseltir. Özellikle çöl bölgelerinden gelen toz fırtınaları, güney

illerimizdeki hava kalitesini düşürür ve solunum yolları hastalıklarını arttırır (Topuz ve Karabulut 2017).

Hava kirliliğinin asıl sebebi olmasa da, klimatik faktörler ve topoğrafya, hava kirliği üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Sungur (1977), Ankara'daki hava kirliliğinin kontrolünün esasen klimatik bir faktör olan sıcaklık terselmesine bağlı olduğu görüşündedir. Topografyası çanak ve vadi şeklinde olan yerleşim yerleri kirliliğe daha çok maruz kalmaktadır. Bu durum başta Ankara, Erzurum, Konya, Bursa, Kastamonu, Malatya, Uşak gibi kentlerimizde yapılan araştırmalarla ortaya konulmuştur (Şahin, 1989; Keser, 2002; Çiçek vd., 2004; Atayeter, 2005; Çukur vd., 2006, İbret ve Aydınözü, 2009; Kopar ve Zengin, 2009; Çiftçi vd., 2012; Menteşe, 2012; Garipağaoğlu ve Duman, 2017).

Çanak veya vadi şeklindeki yerleşim alanlarında kirleticilerin dağılımı (difüzyon) ve başka alanlara nakli (adveksiyon) klimatik faktörlerin etkisi altındadır (Sungur ve Gönençgil, 1997). Bunların içindeki başat faktör ise havanın kararlılık-kararsızlık özelliği, dolayısıyla sıcaklık terselmesidir (Şahin, 1989, Erol, 2014, 96). Mevsimlere göre değişmekle birlikte atmosferdeki kuru havanın adyabatik sıcaklık değişme oranı 0.98 °C/100 m, nemli havanın adyabatik değişme oranı ise 0.65 °C/100 m'dir. Yani hava kuru iken her 100 metre yükseldiği zaman atmosfer içindeki sıcaklık, 0.98 °C veya daha çok azalıyorsa bu hava kütlesi kararsız demektir. Bu sıcaklık azalması 100 m'de 0.98 °C den daha az ise hava kütlesi kararlıdır (Şahin, 1989). Sıcaklık terselmesi (inversion) ise, troposferdeki soğumanın tamamen aksinin oluşması yani yükseldikçe sıcaklığın artması demektir (Sungur, 1980). Sıcaklık terselmesi halinde havanın kararlılığı çok yüksektir ve bu durum havanın dikey yönde karışmasına engel olur. Dikey karışmanın zayıflaması, insan kaynaklı kirleticileri atmosferin en alt katmanlarında tutulmasına sebep olur. Özellikle yeryüzüne yakın katmanlarda gelişen sıcaklık terselmesi, havaya karışan kükürtdioksit (SO_2) ve partikül maddelerin (PM_{10}) hapsolmasına ve dolayısı ile kirliliğin daha fazla hissedilmesine ve etkili olmasına yol açar (Türkeş, 2010, 302). Yaygın ve yoğun sis kararlılığın, dolayısı ile sıcaklık terselmesinin en önemli göstergesidir. Sıcaklık terselmesi soğuk dönemlerde en kuvvetli şekilde oluşur ve bu devrede yakıt tüketiminin yükselmesi de terselmenin kirlilik üzerindeki etkisini daha da artırır (Sungur, 1980).

Sıcaklık terselmesinin yaşandığı dönemlerde sıcaklık düşük, gökyüzü açık ve rüzgâr hızı zayıftır (Erinç, 1996, 61-62; Erol, 2014, 92-93). Rüzgâr hızının düşük olması havadaki kirleticilerin yatay olarak dağılmasını engeller. Havanın kararlılığı aynı zamanda dikey yönlü hava hareketlerini de ortadan kaldırır ve böylece kirlilik sürekli hale gelir. Havanın kararsızlığı durumunda ise yeryüzüne yakın olan sıcak hava daha az yoğun olduğu için yukarıya yükselir ve böylece havanın içindeki kirleticileri de yerden ve dolayısıyla insanlardan uzaklaştırır.

Yüksek Atmosfer Balonları (YAB), birçok meteorolojik rasat için kullanılmaktadır. Bu balonların verileri için Skew-T Log-P diyagramları ya da eşdeğeri bir logaritmik termodinamik diyagram kullanılarak, doyma sıcaklığı, bağıl nem ve oluşabilecek yağış tutarı yaklaşık olarak hesaplanabilmektedir. Ayrıca, hava kütlelerindeki yükselmeyle yoğunlaşma düzeyi, kararlılık ya da kararsızlık durumu ve terselme düzeyi gibi değişkenler, olaylar veya süreçler de belirlenebilmektedir (Türkeş, 2010, 307). Türkiye'de 8 istasyonda[1] Yüksek Atmosfer Balonu kullanılarak ölçümler yapılmaktadır. Bu ölçümlerden atmosferin yeryüzüne yakın bölümlerinde bir sıcaklık terselmesinin gerçekleşip-gerçekleşmediği, gerçekleşti ise değerinin ne olduğunu hesaplamak mümkündür.

Türkiye'de ciddi boyutlara ulaşan ilk hava kirliliği 1970'li yıllarda başkent Ankara'da yaşanmıştır (Keser, 2002). Sonraki yıllardaki hızlı nüfus artışı, sanayileşme ve motorlu araçların kullanımının yaygınlaşması, hava kirliliğini diğer şehirlerimizin de bir sorunu haline gelmiştir.

[1] Türkiye'de Yüksek Atmosfer Balonları ile ölçümler 12 ve 24 saatlerinde ***sadece*** İstanbul, Ankara, İzmir, Erzurum, Diyarbakır, Samsun, Adana ve Isparta illerinde yapılmaktadır.

PROBLEM, AMAÇ VE ÖNEM

Klimatik unsurlar ve topoğrafya hava kirliliğinin sebebi olmasa da, hava kirliliğini yöneten faktörlerin başında gelmektedir. Topografya, sıcaklık terselmesi, sıcaklık, rüzgâr hızı ve yönü, basınç ve nemlilik gibi faktörler ile hava kirliliği arasındaki ilişki ve ilişkinin etkileri birçok araştırmaya konu olmuştur. Araştırmaların neredeyse tamamında ***sıcaklık terselmesi*** hava kirliliğini yöneten temel faktörler arasında görülse de, bu faktörün etkileri sayısal verilere dökülmemiştir. Oysaki YAB ile ölçümler, yeryüzü ile Troposferin alt katmanları arasındaki sıcaklık değişimine bağlı olarak sıcaklık terselmesinin olup-olmadığı ve varsa değerinin ne olduğunu somut verilerle destekleme imkânı vermektedir. Bu nedenle çalışmada Isparta şehir merkezi örneğinde;

a) Hava kirliliğinin önemli parametrelerinden olan SO_2 ve PM_{10} yoğunluğu ile sıcaklık terselmesi arasında bir ilişki var mıdır?,

b) SO_2 ve PM_{10} yoğunluğuna sıcaklık terselmesinin etkisi ne kadardır?

c) SO_2 ve PM_{10} yoğunluğu üzerinde en fazla etkiye sahip klimatik faktörler nelerdir? gibi sorulara cevap aranacaktır.

Böylece geleceğin önemli problemleri arasında yer alan hava kirliliğini önlemeye yönelik çalışmalarda sıcaklık terselmesinin de etkisi dikkate alınacaktır.

METOT VE MATERYAL

Isparta'da hava kirliliği, Ekim ayında çok az olmak üzere, Kasım ayından Mart ayı sonuna kadar zaman zaman ulusal standartların üstüne çıkmaktadır. Bu nedenle araştırmada Kasım'dan Mart'a kadar olan günlerin verileri incelenmiş ve bu süre ***araştırma dönemi*** olarak belirlenmiştir. Araştırmada, Isparta'nın 2006-2016 yılları arasındaki meteorolojik verileri (sıcaklık, basınç ve rüzgâr, nemlilik ve yağış) Meteoroloji Genel Müdürlüğünden, SO2 ve PM10 değerleri http://www.havaizleme.gov.tr/'den ve sıcaklık terselmesine ait veriler http://weather.uwyo.edu/ adlı siteden sağlanmıştır.

Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı (ICAO), 1964 yılında Standart Basınç Değerleri belirlemiş ve bu standartları 1993 yılında genişletmiştir. ICAO standartlarına göre 850 milibar değeri, önemli basınç eşiklerinden biridir (Camalan, 2012). Hava kirliliği yeryüzü ile Troposferin alt katları arasında gerçekleştiğinden, bu araştırmada 997 metredeki Isparta Meteoroloji İstasyonu'nun sıcaklığı ile 850 milibarın görüldüğü yükseltinin sıcaklığı esas alınmıştır. Yüksek Atmosfer Balonlarının saat 24:00'te ölçtüğü sıcaklık, zeminden 850 milibar eşiğine doğru ne kadar artmışsa, bu değer sıcaklık terselme miktarı olarak hesaplanmış; artış yoksa sıcaklık terselmesi 0 (yok) kabul edilmiştir. Elde edilen veriler SPSS 23 programı ile analiz edilmiş ve hesaplamalarda ise Office 2010 programları kullanılmıştır. Harita çizimlerinde Global Mapper 19 ve Mapinfo 11 programlarından yararlanılmıştır.

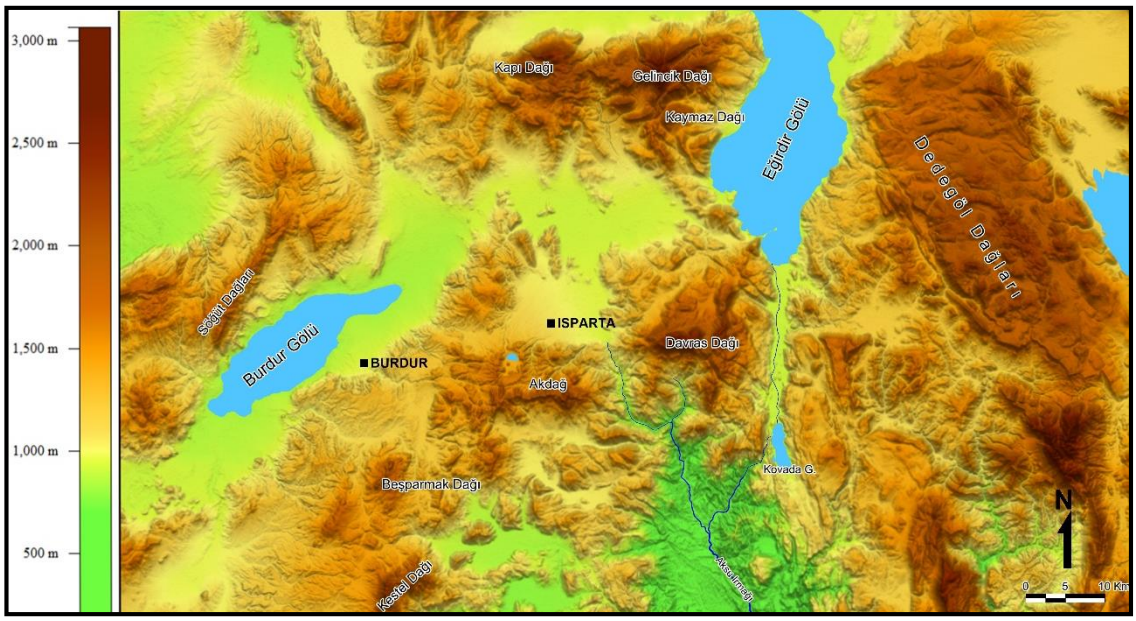
Analizler yapılırken kirlilik parametreleri (SO2 ve PM10) bağımlı değişken, meteorolojik faktörler (sıcaklık, rüzgâr hızı, bağıl nem, bulutluluk) ile sıcaklık terselmesi verileri ise bağımsız değişken olarak ele alınmıştır. Bağımlı ve bağımsız değişken arasında ilişkinin bulunup bulunmadığı, varsa ilişkinin derecesi, Çoklu Regresyon Analizi ve Korelasyon analizi ile tespit edilmiştir.

Araştırma Sahasının Yeri ve Konumu

Araştırma sahası, Isparta şehir merkezidir (Şekil 1).

Şekil 1: *Lokasyon Haritası*

Akdeniz Bölgesinin Göller Yöresinde yer alan Isparta'nın güneyinde Akdağ (2271 m.), doğusunda Barla Dağı (2639 m) yer alırken, kuzeyi nispeten sade olup, Bayat Ovasına açılır. Batıdaki tepelik alanların yükseltisi yer yer 1500 metreyi geçer (Şekil 2).



Şekil 2: *Isparta ve Çevresinin Fizyografi Haritası*

Araştırmanın yapıldığı Isparta'nın Akdeniz'e uzaklığı yaklaşık 100 km'dir. Ancak Isparta'nın güneyinde yer alan dağlık kütle, Akdeniz kıyılarını etkileyen nemli ve ılıman hava kütlelerinin Isparta'ya ulaşmasını zorlaştırmaktadır. Isparta'nın mevcut yükseltisi (997 m) ve Anadolu'nun merkezi kısımları ile komşuluğu ise karasal etkileri güçlendirmektedir. Bu yönüyle Isparta kış mevsiminde hem karasal polar (Cp) hem de denizel polar (Mp) hava kütlelerinin etkisi altında kalmaktadır. Şayet Isparta'da Atlantik'ten başlayıp Adriyatik üzerinden Akdeniz'e ulaşan

depresyonların etkisi kuvvetliyse, hava nispeten ılıman ve yağışlıdır ki, bu şartlar altında hava kirliliği oldukça düşüktür. Ancak Anadolu'da Sibirya kökenli bir hava kütlesi söz konusu ise, hava oldukça kararlı bir hal alır ve kirlilik artar.

Topografya

Yerleşim yerlerinin topografik şartları ile sıcaklık terselmesi arasında yakın bir ilişki vardır (Sarı ve Buldur, 2017). Bu nedenle şehirlerin kuruluş yerinin topografik özellikleri, hava kirliliğinin yoğunluğunu ve kirliliğin süresini etkilemektedir. Bu yönüyle Isparta'nın çanak şeklindeki topografyası, bir taraftan rüzgâr hızını düşürerek kirleticilerin yatay doğrultudaki hareketini; öte yandan da sıcaklık terselmesini kolaylaştırarak kirleticilerin dikey yönlü hareketini zayıflatmaktadır. Kabaca bir çanağa benzeyen Isparta Ovası içerisine yerleşmiş olan Isparta şehri, bu topografik yapısı dolayısıyla kış aylarında hava kirliliğine daha fazla maruz kalmaktadır (Atayeter, 2005).

Klimatik Faktörler

Hava kirliliği üzerinde sıcaklık, rüzgârın hızı ve yönü ile nemlilik ve bulutluluk gibi klimatik faktörlerin etkileri vardır. Isparta şehir merkezindeki kirliliğin nedenlerine yönelik bu araştırmada rüzgâr yönlerinin sıcaklık, nemlilik ve bulutluluğu doğrudan etkilediği tespit edilmiştir. Bu amaçla araştırma döneminin (2006-2016 Kasım-Mart arası) rüzgâr esiş yönlerine ait sıcaklık, nemlilik ve bulutluluk ortalamaları incelenmiştir.

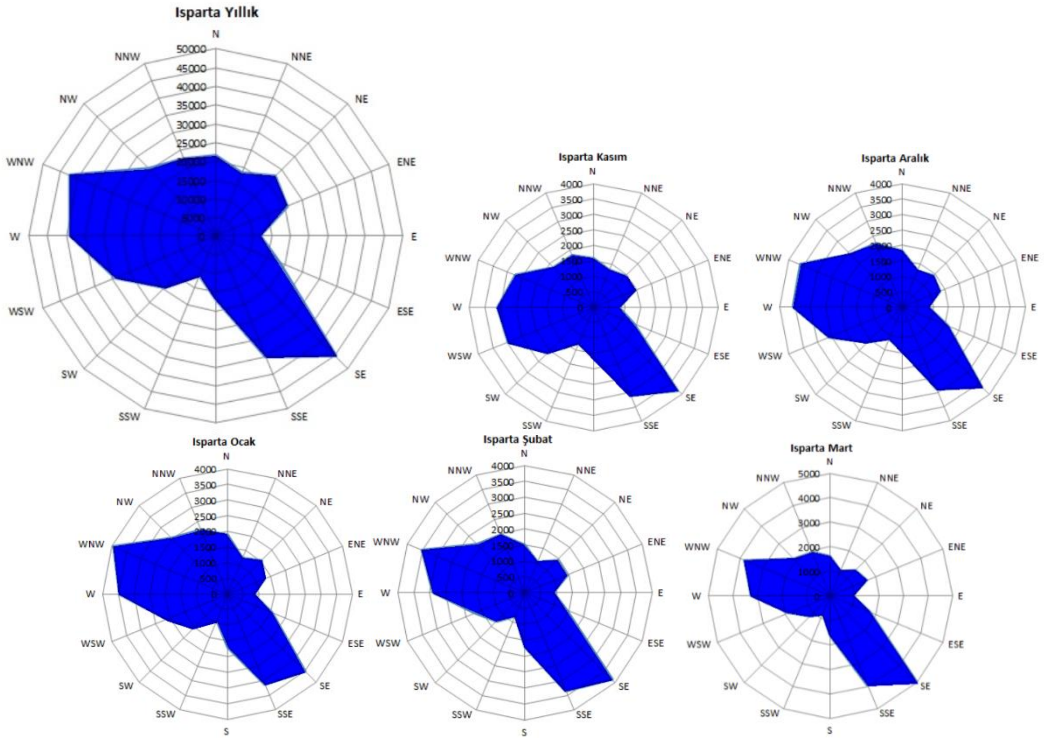
Hakim Rüzgâr Yönü

Yıllık ortalamalara göre Isparta'da rüzgârın en fazla estiği yön ve frekansları % 11.3 ile SE ve % 10.6 WNW'dir (Tablo). Isparta'da rüzgârın esme frekansının SSW (% 2,8) ve E (% 3) yönünde düşük olduğu görülmektedir (Tablo 1). Bu durum büyük ölçüde araştırma sahasının topografyası ile ilgilidir.

Tablo 1: *Isparta'da Yönlerine Göre Rüzgârın Yıllık Esme Sayıları ve Frekansları*

Yönler	**N**	**NNE**	**NE**	**ENE**	**E**	**ESE**	**SE**	**SSE**	**S**	**SSW**	**SW**	**WSW**	**W**	**WNW**	**NW**	**NNW**
Esme Fr (%)	5.4	4.6	5.7	5.2	3.0	4.6	**11.3**	8.7	4.2	2.8	4.8	7.3	9.8	**10.6**	6.3	5.6
Esme Sayıları	21430	18338	22593	20762	11976	18577	45320	34791	16845	11354	19235	29206	39092	42332	25374	22463

Isparta'da rüzgârın esme sayılarına göre oluşturulan yıllık grafik ile araştırma dönemindeki ayların grafikleri büyük ölçüde benzerlik göstermektedir (Şekil 3).



Şekil 3: *Isparta'da Rüzgâr Esme Sayıları (Yıllık, Kasım-Mart Arası)*

Rüzgâr Yönü-Sıcaklık İlişkisi

Kuzey yarım kürede yer alması nedeniyle Türkiye'de kuzey sektörlü rüzgârlar sıcaklığa negatif, güney sektörlü rüzgârlar pozitif etki yapar. Isparta'da da durum farklı değildir. Yani 2006-2016 yılları arasındaki (Kasım-Mart arası) ölçümler güney yönlü rüzgârların sıcaklığa pozitif etki ettiğini göstermektedir[2]. Nitekim araştırma döneminde rüzgârın SSW yönünden estiği günlerin ortalama sıcaklığı 7.5 °C iken, rüzgârın NNE yönünden estiği günlerin ortalama sıcaklığı 2.3 °C'dir (Tablo 2).

Tablo 2: *Rüzgârın Araştırma Dönemindeki (Kasım-Mart Arası) Esme Yönü ve Ortalama Sıcaklılar (°C)*

Yönler	**N**	**NNE**	**NE**	**ENE**	**E**	**ESE**	**SE**	**SSE**	**S**	**SSW**	**SW**	**WSW**	**W**	**WNW**	**NW**	**NNW**
Ort. Sıcaklık	3.4	2.3	3.6	4.0	6.4	5.9	7.1	7.2	7.3	7.5	6.5	5.2	4.5	5.1	3.2	3.8

Rüzgâr Yönü-Nemlilik İlişkisi

Isparta'da rüzgârın esiş yönünün nemlilik üzerinde bariz etkileri söz konusudur. Güney yönlü (Akdeniz üzerinden) rüzgârların etkin olduğu günlerde nemlilik oranı, araştırma döneminin ortalamasını (% 70.2) geçmiştir. Isparta'da nemlilik, rüzgâr NE (% 63.8) yönünden estiği günlerde en alt seviyeye inerken, SW (% 74.4) yönünden estiği günlerde nemlilik en üst seviyeye çıkmıştır (Tablo 3).

[2] Rüzgar yönü ile günlük ortalama sıcaklıklar arasındaki ilişki ortaya konulurken, araştırma döneminde her güne ait günlük maksimum rüzgar yönü ile o günün ortalama sıcaklıkları eşleştirilmiş ve buna bağlı olarak hesaplamalar yapılmıştır. Bu durum bulutluluk ve nemlilik için de uygulanmıştır.

Tablo 3: *Rüzgârın Araştırma Dönemindeki Esme Yönü ve Ortalama Nemlilik (%)*																	
Yön	**N**	**NNE**	**NE**	**ENE**	**E**	**ESE**	**SE**	**SSE**	**S**	**SSW**	**SW**	**WSW**	**W**	**WNW**	**NW**	**NNW**	**Ort.**
Nemlilik	68.1	65.1	63.8	65.5	68.4	72.2	71.8	70.6	74.1	70.8	74.4	72.6	71.3	72.4	72.8	68.3	**70.2**

Rüzgâr Yönü-Bulutluluk İlişkisi

Rüzgârın esme yönünün bulutluluğa yaptığı etki ile nemliliğe yaptığı etki büyük bir benzerlik içindedir. Araştırma dönemindeki ortalama bulutluluk 3.4 gün iken, rüzgârın N, NNE ve NNW yönlerinden estiği günlerde bulutluluk 1.9 güne kadar düşmektedir. Rüzgârın SSW yönünden esmesi halinde bulutluluk 5.3 güne kadar çıkmaktadır. Yani Isparta'da rüzgârın güneyden esmesi bulutluluğa pozitif; kuzeyden esmesi ise negatif etki yapmaktadır. Ayrıca, batıdan esen rüzgârların da bulutluluğa pozitif etkisi söz konusudur (Tablo 4). Bu durum kış döneminde araştırma alanını etkisi altına alan batı ve güney denizel kökenli hava kütlelerinin etkisiyle ilişkilidir.

Tablo 4: *Rüzgârın Araştırma Dönemindeki Esme Yönü ve Ortalama Bulutluluk (gün)*																	
Yönler	**N**	**NNE**	**NE**	**ENE**	**E**	**ESE**	**SE**	**SSE**	**S**	**SSW**	**SW**	**WSW**	**W**	**WNW**	**NW**	**NNW**	**Ort.**
Ort.Bulut.	1.9	1.9	2.6	2.8	3.0	3.9	3.9	4.2	5.1	5.3	5.1	4.0	4.0	4.1	3.8	1.9	**3.4**

BULGULAR VE YORUMLAR

Partikül Maddeler (PM_{10}), aerodinamik çaplarına göre tanımlanmaktadır. PM_{10}'nin temel bileşenlerini sülfatlar, nitratlar, ammonia, sodium klorit, karbon, mineral tozları ve su oluşturur. PM_{10}, havada askıda bulunan organik ve inorganik maddelerin katı ve sıvı partiküllerinin bir kompleks karışımıdır. Kükürtdoksit (SO_2), kükürt içeren yakıtların (sıvı yakıtlar, kömür) yanması sonucu oluşan zehirli bir gazdır. SO_2 sırası ile ısınma, sanayi ve trafik bölgelerinde oluşan bir kirleticidir. Kış aylarında SO_2 yoğunluğu, kararlı hava koşulları nedeniyle çok yüksek değerlere çıkabilmektedir (Hava Kalitesi İzleme Raporu-Adana).

Türkiye'de havanın kirlilik değerlerine ilişkin ölçümler, Hava Kalitesi İzleme istasyonları tarafından yapılmaktadır. Hava Kalitesi İzlemenin kriterlerine göre risk oluşturan değerler, Partikül Maddelerde (PM_{10}) uzun vadeli limit 70 µg/m^3'tür. Kükürtdioksit (SO_2) için saatlik sınır değeri 410 µg/m^3; günlük sınır değeri ise 175 µg/m^3'tür (Tablo 5). Avrupa Birliği ülkelerindeki sınır değerler Türkiye'deki sınır değerlerin de altındadır.

Tablo 5: *Türkiye ve AB Üyesi Ülkelerdeki Kirlilik Sınır Değerleri*			
Parametre	**PM_{10} (µg/m³)**	**SO_2 (µg/m³)**	
	Günlük	Saatlik	Günlük
Ulusal Sınır Değer	70	410	175
AB Üye Ülkeleri Sınır Değeri	50	350	125

(Kaynak: http://www.havaizleme.gov.tr)

Isparta'da bu parametrelere ait yoğunluk değerleri sürekli olmasa da zaman zaman bu sınır değerlerin üzerine çıkarak insan sağlığını tehdit eder boyutlara ulaşmaktadır. Örneğin 26 Kasım 2011 tarihinde artan hava kirliliği şehirde bir haftadan daha uzun sürmüş ve oldukça etkili bir kirliliğe yol açmıştır. PM_{10} yoğunluğu, 28 Kasım 2011 (412 µg/m³), 2 Aralık 2011 (428 µg/m³) ve 3 Aralık 2011

(410 µg/m³) tarihlerinde yüksek seviyede seyretmiştir. Aynı dönemde SO_2 yoğunluğunun da yüksek değerlere ulaştığı görülmüştür.

Isparta'daki önemli kirlilik parametrelerinden olan SO_2 ve PM_{10} yoğunluğunun hangi klimatik faktörden daha çok etkilendiğini belirlemek için birçok araştırmada olduğu gibi Regresyon Analizi yapılmıştır. Birden fazla klimatik faktörün etkisini analiz etmek için ise Çoklu Regresyonda Stepwise seçeneği kullanılmıştır (Çuhadaroğlu ve Demirci, 1996; Comrie ve Diem, 1999; Çiçek vd., 2004; Akpınar vd., 2009; Banerjee vd., 2010; Menteşe ve Tağıl, 2012).

Regresyon analizine göre sıcaklık terselmesi tek başına PM_{10} yoğunluğunun % 38.8'ini kontrol etmektedir. Burada rüzgâr hızının kontrolü tek başına % 26, bulutluluğun ise % 17.4'dir. Çoklu Regresyon (Stepwise) yoluyla faktörler birlikte analiz edildiğinde, sıcaklık terselmesi ile rüzgâr hızının PM_{10} yoğunluğuna tesiri (R^2) % 47.7'ye çıkarken, bulutluluğun bir tesirinin olmadığı ortaya çıkmıştır (Tablo 6). Bu sonuçlara göre, Isparta şehir merkezindeki PM_{10} yoğunluğunun neredeyse yarısı sıcaklık terselmesi ve rüzgâr hızının kontrolünde gerçekleşmektedir.

Tablo 6: *PM_{10} Yoğunluğuna İnversion, Rüzgâr Hızı ve Bulutluluğun Etkisi*

Model Summary				
Model	R	R^2	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.622[a]	.387	.387	72.939
2	.690[b]	.477	.476	67.437
3	.691[c]	.477	.476	67.414
1. Predictors: (Constant), İnversion				
2. Predictors: (Constant), İnversion, Rüzgâr Hızı				
3. Predictors: (Constant), İnversion, Rüzgâr Hızı, Bulutluluk				

PM_{10} yoğunluğu ile yukarıda etkisi tespit edilen klimatik faktör arasındaki ilişkinin pozitif mi yada negatif mi olduğunu belirlemek için Pearson Korelasyon testi yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, sıcaklık terselmesi ile PM_{10} yoğunluğu arasında ($p<0.01$) anlamlı ve orta düzeyli (.613) pozitif bir ilişki vardır (Tablo 7). Yani sıcaklık terselmesinin kuvvetlenmesi halinde PM_{10} yoğunluğu artmaktadır.

PM_{10} yoğunluğu ile Rüzgâr hızı arasında anlamlı, orta düzeyde (-.510) ve negatif yönlü bir ilişki söz konusudur. Yani Isparta'da rüzgâr hızının artması PM_{10} yoğunluğunu, inversiondan sonra etkileyen ikinci klimatik faktördür. Bulutluluğun etkisi ise yine negatif (-.417) yönlüdür (Tablo 7). Bulutluluğun artması, havanın kararlı halinin sona ermesi yani sıcaklık terselmesinin ortadan kalkması anlamına gelir ki, bu durumda kirleticiler kolaylıkla yatay ve dikey yönde hareket imkânı bulur (Türkeş, 2010, 304-306; Şahin, 1989).

Tablo 7: *PM_{10} Yoğunluğu, İnversion, Rüzgâr Hızı ve Bulutluluk İlişkisi*

Correlations				
		İnversion	Rüzgâr Hızı	Bulutluluk
Partikül Madde	Pearson Correlation	.613**	-.510**	-.417**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000
	N	1450	1360	1446
** İki uçlu test, $p< 0.01$ anlamlılık düzeyinde gösterilmiştir.				

SO_2 yoğunluğunun hangi klimatik faktörlerden daha çok etkilendiğini belirlemek için Regresyon Analizi tekrarlanmıştır. Analiz sonuçlarına göre SO_2 yoğunluğu rüzgâr hızından % 18.4,

sıcaklık terslemesinden % 14.4 ve bulutluluktan % 10.7 oranında etkilenmektedir. Her üç faktörün etkisi birlikte analiz edildiğinde bu oran % 23.9'a çıkmıştır. Bulutluluğun burada da oldukça önemsiz bir tesire sahip olduğu görülmektedir (Tablo 8).

Tablo 8: *SO_2 Yoğunluğuna İnversion, Rüzgâr Hızı ve Bulutluluğun Etkisi*

Model Summary				
Model	R	R^2	Adjusted R Square	Standart Sapma
1	.429[a]	.184	.183	57.947
2	.484[b]	.234	.233	56.150
3	.489[c]	.239	.237	55.993
1. Predictors: (Constant), Rüzgâr_Hızı				
2. Predictors: (Constant), Rüzgâr Hızı, İnversion				
3. Predictors: (Constant), Rüzgâr Hızı, İnversion, Bulutluluk				

SO_2 yoğunluğu ile klimatik faktörler arasındaki ilişkinin yönünü belirlemek için Pearson Korelasyon testi uygulanmıştır. Analiz sonuçlarına göre, rüzgâr hızı, SO_2 yoğunluğu üzerinde en yüksek etkiye sahip (-.428) klimatik faktör durumundadır. Sıcaklık terselmesi ile SO_2 yoğunluğu arasında da ($p<0.01$) anlamlı, zayıf (.380) ve pozitif yönlü bir ilişki tespit edilmiştir (Tablo 9). Isparta'da rüzgâr hızının artması SO_2'i başka bölgelere taşıyarak yoğunluğunun azalmasında başrolü üstlenmiştir.

Tablo 9: *SO_2 Yoğunluğu, İnversion, Rüzgâr Hızı ve Bulutluluk İlişkisi*

Correlations				
		İnversion	Rüzgâr Hızı	Bulutluluk
Kükürtdioksit	Pearson Correlation	.380**	-.428**	-.327**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000
	N	1330	1266	1326
** İki uçlu test, $p< 0.01$ anlamlılık düzeyinde gösterilmiştir.				

Rüzgâr Hızı ve Yönünün SO_2 ve PM_{10} Yoğunluğuna Etkisi

Hızı 3.3 m/sn'nin altındaki rüzgârlar hafif rüzgâr ve esinti olarak, 5.5 m/sn ve üzerindeki rüzgârlar ise orta şiddetli ve şiddetli rüzgârlar olarak belirtilebilir. Dolayısıyla bir alan üzerinde biriken kirleticilerin dağılması için en az 5 m/sn ve üstü rüzgârların olması gerekir (Sungur ve Gönençgil, 1997). Rüzgârın esme hızının Isparta'daki hava kirliliğini etkilediği görülmektedir. Şöyle ki, Isparta'da araştırma döneminde ortalama rüzgâr hızının düştüğü günlerde (NNW yönünde 4.4 m/sn ve N yönünde 4.9 m/sn) SO_2 ve PM_{10} yoğunluğu üst değerlere çıkarken, hızın 10 m/sn'yi geçtiği günlerde (S yönünde 12.3 m/sn) yoğunluğun düştüğü görülmektedir (Tablo 10).

Tablo 10: *Isparta'nın Araştırma Döneminin Rüzgâr Hızları (Yönlere göre) ile PM_{10} ve SO_2 Yoğunluğu*

Yönler	**N**	**NNE**	**NE**	**ENE**	**E**	**ESE**	**SE**	**SSE**	**S**	**SSW**	**SW**	**WSW**	**W**	**WNW**	**NW**	**NNW**
Ort.Rüzg H.	**4.9**	5.8	7.4	6.7	7.4	8.5	8.7	10.5	12.3	11.4	10.0	6.6	6.5	6.8	6.9	**4.4**
PM_{10}	**161.8**	**159.4**	102.7	125.5	127.5	127.3	114.5	116.2	87.0	85.6	70.3	108.2	106.9	86.4	108.3	**169.1**
SO_2	72.9	79.0	49.8	65.4	73.3	51.1	55.8	54.3	39.6	43.1	31.3	53.9	51.2	50.5	67.5	**109.2**

Rüzgârın esme yönünün tesiri aynı zamanda SO_2 ve PM_{10} yoğunluğu üzerinde de kendini göstermiştir. PM_{10} yoğunluğu, rüzgârın NNW (169.1 µg/m³) ve N (161.8 µg/m³) yönlerinden estiği günlerde maksimum; SSE (116.2 µg/m³), S (87 µg/m³), SSW (85.6 µg/m³), ve SW (70.3 µg/m³) yönlerinden estiği günlerde minimum seviyede gerçekleşmiştir. SO_2 yoğunluğu için de durum hemen hemen aynıdır (Tablo 10).

Konuyu daha somut hale getirmek için, Isparta'da SO_2 ve PM_{10} yoğunluğunun arttığı bir dönemin klimatik parametreleri detaylıca incelenmiştir. Isparta'da 26 Kasım 2011 ile 3 Aralık 2011 tarihleri arasında SO_2 ve PM_{10} yoğunluğunda önemli bir artış gerçekleşmiştir. Aynı günlerde bariz bir sıcaklık terselmesi de söz konusudur. Yani Isparta'daki yer sıcaklığı Troposferin alt katlarındaki sıcaklıktan daha düşüktür ve bu günlerdeki zemin ile 850 Mb seviyesi arasında oluşan sıcaklık farkı, 5.7-10.3 °C arasında değişmektedir ve bu durum o günlerdeki önemli bir sıcaklık terselmesine işaret etmektedir. Örneğin, 2 Aralık 2011 tarihinde sıcaklık terselmesi 10.3 °C olup, PM_{10} yoğunluğu 428 µg/m³ olarak gerçekleşmiştir (Tablo 11).

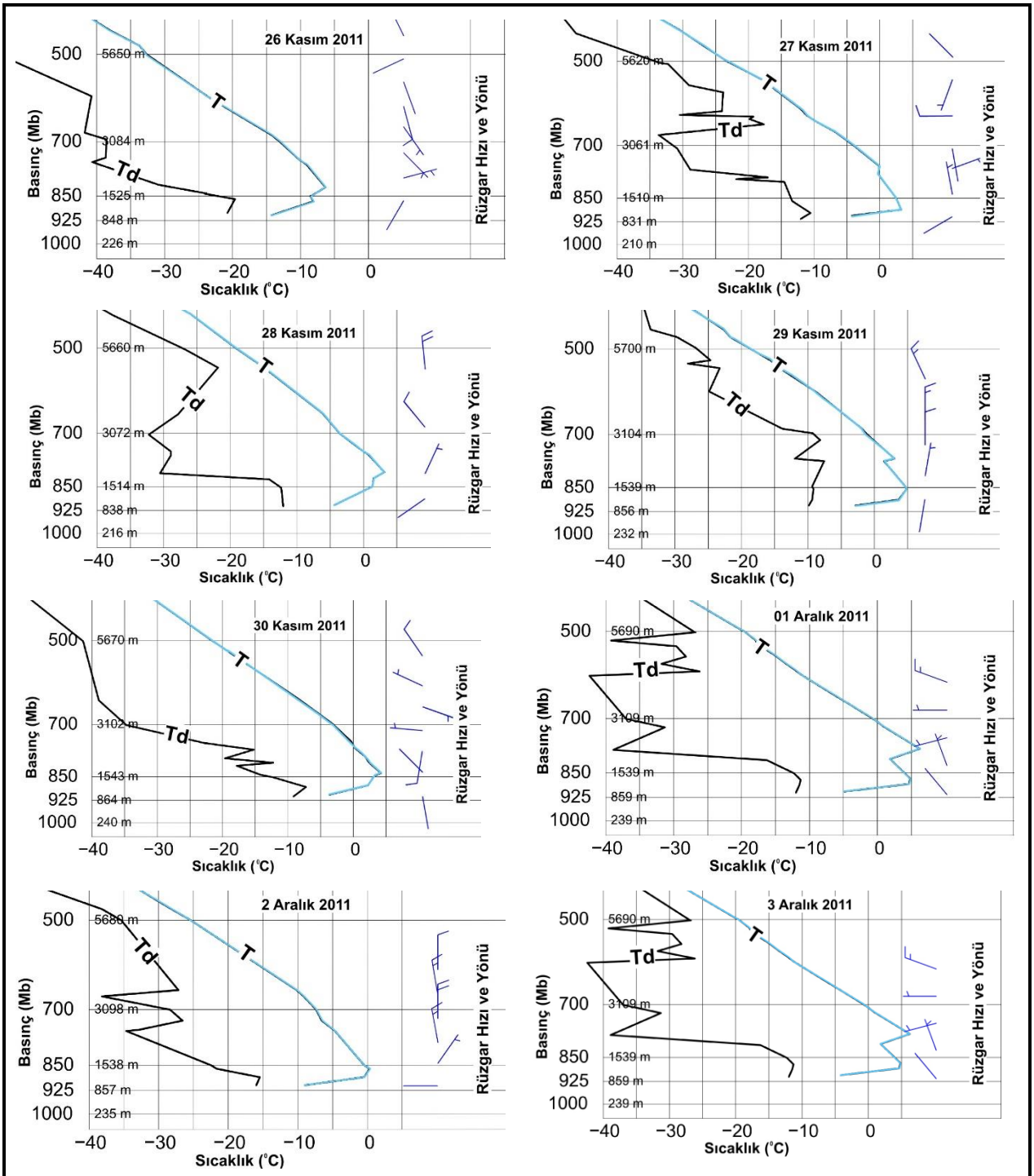
Söz konusu günlerde hava kararlı ve rüzgâr hızı oldukça düşüktür. 29 Kasım 2011 tarihi hariç rüzgâr hızının 3.5 m/sn'ye bile çıkmamış olması dikkat çekicidir. Kirliliğin yükseldiği bu günlerde daha çok kuzey yönlü rüzgârların hâkimiyeti vardır (Tablo 11).

29 Kasım 2011 tarihindeki belirgin sıcaklık terselmesine rağmen (7.7 °C), SO_2 ve PM_{10} yoğunluğunun nispeten düşük düzeyde kalması, 9.7 m/s'yi bulan rüzgâr hızının bir sonucu olarak değerlendirilebilir. Bu sonuçlara göre Isparta'daki SO_2 ve PM_{10} yoğunluğunun, sıcaklık terselmesi ve rüzgâr hızından doğrudan etkilendiğini söylemek mümkündür.

Tablo 11: *26 Kasım-3Aralık 2011 Günlerindeki SO_2 ve PM_{10} Yoğunluğu, İnversion, Rüzgâr Hızı ve Yönü*

Tarih	PM_{10}	SO_2	Sıcaklık Terselmesi (inversion)	Rüzgâr Hızı	Rüzgâr Yönü
26.11.2011	335	172	6.1	3.2	ENE
27.11.2011	281	138	7.5	3.3	WSW
28.11.2011	**412**	240	5.7	2.6	NNE
29.11.2011	214	130	7.7	9.7	ENE
30.11.2011	238	202	6.9	3.2	NNE
1.12.2011	298	232	9.2	3	N
2.12.2011	**428**	237	10.3	3	NNE
3.12.2011	**410**	248	9.5	2.1	E

Hava kirliliğinin artış gösterdiği 26 Kasım 2011 ile 3 Aralık 2011 tarihleri arasındaki sıcaklık terselmesi grafiklere de yansımıştır. Isparta'da YAB tarafından muhtelif yükseltilerde ölçülen sıcaklığın (T), zeminden 850 Mb eşiğine doğru yükselmiştir. Grafikler, 1-2 ve 3 Aralık 2011 tarihlerinde sıcaklık terselmesinin daha kuvvetli olduğuna işaret etmektedir. Grafiklerdeki rüzgâr hızları incelendiğinde, söz konusu günlerde havanın durgun/sakin olduğu görülür (Şekil 4). Burada Td ise doyma noktası sıcaklığını ifade etmektedir.



Bu grafikler, http://weather.uwyo.edu/ adresinden alınmış ve sadeleştirerek oluşturulmuştur.

T: *Yüksek Atmosfer Balonlarının Troposferde ölçtüğü sıcaklığı;* ***Td:*** *Doyma noktası sıcaklığını ifade eder.*

Şekil 4: *26 Kasım-3Aralık 2011 Tarihlerindeki Günlük Sıcaklık (T) ve Doyma Noktası Sıcaklığı (Td), Rüzgâr Hızı ve Yönü*

Isparta'nın kirlilik parametrelerinden PM_{10} ve SO_2 yoğunluğunun zaman içindeki (2006-2016 yılları Kasım-Mart arası) durumuna ilişkin yapılan analiz sonuçları, bu parametrelerin azalış eğiliminde olduğunu ifade etmektedir. Azalış eğilimi her iki parametre için de (P<0,01) anlamlı olup, korelasyon katsayısı PM_{10}'da -,249 (zayıf); SO_2'te ise -,621(orta) düzeydedir (Tablo 12). Bu durum büyük ölçüde Isparta'da doğalgaz kullanımının yaygınlaşmasıyla alakalıdır. Zira şehirlerde doğalgaz kullanımının yaygınlaşması, kullanılan kömür kalitesinin artması ve araçlarda kullanılan yakıtların kükürt oranının düşürülmesi, kirliliği azaltan başlıca etmenlerdir (Çay ve Çelik, 2015; Yıldız vd., 2012; Çetin ve Demirci, 2016).

Tablo 12: *Isparta'daki PM_{10} ve SO_2 Yoğunluğunun Yıllar İçindeki Değişimi*

Correlations		
		Yıllar
Partikül Madde (PM_{10})	Pearson Correlation	-.249**
	Sig. (2-tailed)	.000
	N	1450
Kükürt (SO_2)	Pearson Correlation	-.621**
	Sig. (2-tailed)	.000
	N	1330

** İki uçlu test, p< 0.01 anlamlılık düzeyinde gösterilmiştir.

SONUÇ

Türkiye'de birçok şehrimizde olduğu gibi Isparta'da da kış mevsiminde daha kuvvetli olmak üzere hava kirliliği yaşanmaktadır. Esasen kirliliğin kaynağı olmayan ama kirliliği yönlendiren topografya ve klimatik faktörlerin, Isparta'daki kirliliğe önemli etkileri tespit edilmiştir. Isparta'nın çanak şeklindeki topografyası kirleticilerin yatay ve dikey hareketini zorlaştırarak, kentteki kirleticilerin dağılmasını engellemektedir.

Yüksek Atmosfer Balonlarının ölçtüğü (T) sıcaklıklardan faydalanılarak şehirdeki sıcaklık terselmesi değeri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler ve meteorolojik veriler ile kirliliğin önemli parametrelerinden olan PM_{10} ve SO_2 yoğunluğu SPSS 23 programı ile analiz edilmiştir. Yapılan Regresyon analizi sonuçlarına göre; Isparta'daki PM_{10} yoğunluğunun % 38,8'ini sıcaklık terselmesi kontrol etmektedir. Burada rüzgâr hızının tek başına kontrolü % 26, bulutluluğun ise % 17,4'dir. Bu üç faktör birlikte analiz edildiğinde, sıcaklık terselmesi ile rüzgâr hızının PM_{10} yoğunluğuna tesiri % 47,7'ye çıkmış, bulutluluğun bir tesirinin olmadığı görülmüştür.

SO_2 yoğunluğunun rüzgâr hızından % 18.4, sıcaklık terslemesinden % 14.4 ve bulutluluktan % 10.7 oranında etkilenmektedir. Her üç faktörün etkisi birlikte analiz edildiğinde oran % 23.9'a çıkmıştır.

Klimatik faktörlerin etki derecesi ve etkinin yönünü belirlemek için Pearson Korelasyon Testi uygulanmıştır. Analiz sonuçları; sıcaklık terselmesinin PM_{10} yoğunluğuna orta düzeyde (.613) pozitif, rüzgâr hızının yine orta düzeyde (-.510) negatif etki yaptığını ifade etmektedir. Rüzgâr hızının SO_2 yoğunluğuna etkisi düşük düzeyde (-.428) ve negatiftir. Sıcaklık terselmesinin SO_2 yoğunluğuna tesiri ise zayıf düzeyde (.380) ve pozitif yönlüdür. Yani sıcaklık terselmesinin kuvvetlenmesi daha çok PM_{10} yoğunluğu olmak üzere her iki parametrenin yoğunluğunu artırmaktadır. Rüzgâr hızının artması ise kirleticilerin yoğunluğunu azaltmaktadır.

Isparta'da rüzgârın güney yönlü esmesi halinde sıcaklık, nemlilik ve bulutluluğun arttığı, kirlilik parametrelerinin etkisinin ise azaldığı tespit edilmiştir. Son yıllarda Isparta'da kirliliğin nispi bir azalma eğiliminde olduğu, bunun da büyük ölçüde kentteki doğal gaz kullanımının giderek yaygınlaşmasına bağlı geliştiği düşünülmektedir.

Yüksek Atmosfer Balonlarının ölçümlerine dayalı olarak diğer illerdeki hava kirliliği ile sıcaklık terselmesi arasındaki sıkı ilişkiyi ortaya koymak, şehirlerdeki kirliliği azaltmaya yönelik çalışmaların daha verimli sonuçlar vermesine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

Akpınar, E., Akpınar, S. ve Öztop, H. F. (2004). Statistical Analysis of Meteorological Factors and Air Pollution at Winter Months in Elazığ, Turkey. *Journal of Urban and Enviromental Engineering*, Volume: 3, p. 7-16.

Atayeter, Y. (2005). Isparta'da Bazı Yıllarda Görülen Hava Kirliliğinin Sebepleri ve Bu Kirlilikte Etkili Olan Coğrafi Faktörler. *Burdur Eğitim Fakültesi Dergisi*, s.114-128.

Banerjee, T. Singh, S.B ve Srivastava R.K. (2011). Development and Performance Evaluation of Statistical Models Correlating Air Pollutants and Meteorological Variables at Pantnagar, India. *Atmospheric Research* 99, p.505–517.

Bozyiğit, R. (1997). Konya'da Hava Kirliliği. *Marmara Coğrafya Dergisi*, Sayı 1, s.335-346.

Camalan, İ. (2012). JAA ATPL Eğitimi. http://ibrahimcamalan.weebly.com/uploads/tropikal_storm_-_jaa_atpl_meteorology_-_ibrahim_camalan.pdf (Erişim Tarihi: 20/12/2017).

Comrie, A. C. ve Diem, J. E. (199). Climatology and Forecast Modeling of Ambient Carbon Monoxid in Phoenix, Arizona. *Atmospheric Enviroment*, Volume: 33, p. 5023-5036.

Çay, Y. ve Çelik, E. (2015). Hava Kirliliğinin Doğal Gaz Kullanımı ile Değişimi, Sakarya İli Örneği, *Akademik Platform*, s.1495-1504.

Çetin, M. ve Demirci, O. K. (2016). Erzincan'da Doğal Gaz Kullanımının Hava Kalitesine Etkisi. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Sayı: 9, s. 8-18.

Çuhadaroğlu ve Demirci Çuhadaroğlu, B. ve Demirci, E. (1997). Insuence of Some Meteorological Factors on Air Pollution in Trabzon City. *Energy and Building*, Volume: 25, p.179-184.

Çukur, H., Gündüzoğlu, G. ve Aşkın, Y. (2006). İzmir-Buca'da Morfo-Klimatik Özelliklerin Sıcaklık Terselmesi ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkilerinin CBS İle Sorgulanması. *4. Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri Sempozyumu,* İstanbul.

Çiçek, İ. Türkoğlu, N. ve Gürgen, G. (2004). Ankara'da Hava Kirliliğinin İstatistiksel Analizi. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, Cilt: 14, Sayı: 2, 1-18.

Çiftçi, Ç. Dursun, Ş. Levend, S. ve Kunt, F. (2012). Topografik Yapı, İklim Şartları ve Kentleşmenin Konya'da Hava Kirliliğine Etkisi. *Uluslararası Katılımlı Şehirlerin Yapılandırılması Sempozyumu* (KENTSEL DÖNÜŞÜM 2012). İstanbul. 26-29 Eylül 2012. 94-103.

Erol, O. (2014). *Genel Klimatoloji*, Ankara: Çantay Kitabevi.

Erinç, S. (1996). *Klimatoloji ve Metodları*. İstanbul: Alfa Basım Yayım Dağıtım.

Garipağaoğlu, N. ve Duman, C. (2017). Bursa Kenti Hava Kalitesinin Zaman İçerisindeki Değişimi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, Sayı: 36. s. 57-70.

İbret, Ü. ve Aydınözü, D. (2009). Şehirleşmede Yanlış Yer Seçiminin Hava Kirliliği Üzerine Olan Etkisine Bir Örnek. *Kastamonu Şehri. İstanbul Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Coğrafya Dergisi*, Sayı 18, s. 71-88.

Keser, N. (2002). Kütahya'da Hava Kirliliğine Etki Eden Topografik ve Klimatik Faktörler. *Marmara Coğrafya Dergisi*, Sayı 5, s. 69-100.

Menteşe, S. ve Tağıl, Ş. (2012). Bilecik'te İklim Elemanlarının Hava Kirliliği Üzerine Etkisi. *Balıkesir Ün. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Sayı 15, 3-16.

Kopar, İ. ve Zengin, M. (2009). Coğrafi Faktörlere Bağlı Olarak Erzurum Kentinde Hava Kalitesinin Zamansal ve Mekânsal Değişiminin Belirlenmesi. *Türk Coğrafya Dergisi*, Sayı 53, s. 51-68.

Özdemir, M. A. ve Poyraz, Z. (2002). Elazığ Şehir Merkezinde Hava Kirliliğini Doğuran Nedenler Ve Kirlilik Parametrelerinin Zaman İçindeki Değişimine Coğrafi Bir Yaklaşım. *Doğu Coğrafya Dergisi*, Cilt 7, Sayı 8, s.163-182.

Sarı, S. ve Buldur, A. D. (2017). Topografik Faktörlerin Ekstrem Minimum Sıcaklıklara Etkisi (Karaman-Hadim Örneği). Turkish Studies - International Periodical for the Languages, Literature and History of Turkish or Turkic Volume 12/29 Fall 2017, p. 487-504, ISSN: 1308-2140, www.turkishstudies.net, DOI Number: http://dx.doi.org/10.7827/TurkishStudies.12581, ANKARA-TURKEY.

Sungur, K. A. (1977). Ankara'da Hava Kirlenmesi Bakımından Isı Terselmesinin Rolü. *İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Dergisi*, S:22, s. 119-126.

Sungur, K.A. (1980). Isı Terselmesi'nin (Inversion) Hava Kirliliği Üzerindeki Rolü ve Negatif Etkisinin Azaltılması İçin Alınacak Önlemler. *İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enst. Dergisi*, No 23, s. 171-180.

Sungur, K. A. ve Gönençgil, B. (1997). Çeşitli İklim Elemanlarının Hava Kirliliği Üzerine Etkileri. *Ankara Üni. Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi*, Sayı:6, s.337-345.

Şahin, C. (1989). Hava kirliliği ve Hava Kirliliğini Etkileyen Doğal Çevre Faktörleri. *Atatürk Kültür Dil ve Tarih Yüksek Kurumu Coğrafya Bilim ve Uygulama Kolu Coğrafya Araştırmaları Dergisi*, Cilt 1, Sayı 1, s.25-45.

Topuz, M. ve Karabulut, M. (2017). Eylül 2015 Hatay Çöl Tozu Taşınımı Değerlendirmesi. Turkish Studies - International Periodical for the Languages, Literature and History of Turkish or Turkic Volume 12/3 Winter 2017, p. 565-580, ISSN: 1308-2140, www.turkishstudies.net, DOI Number: http://dx.doi.org/10.7827/TurkishStudies.11575, ANKARA-TURKEY.

Türkeş, M. (2010). *Klimatoloji ve Meteoroloji*. İstanbul. Kriter Yayınevi.

Yıldız, A., Çay, Y. ve Özer, F. (2012). Karabük İlinde Hava Kirliliğinin Doğal Gaz Kullanımı ile Değişimi. *Tarih Kültür ve Sanat Araştırmaları Dergisi*, Sayı:1, s. 497-506.

http://www.havaizleme.gov.tr/Default.ltr.aspx Hava Kalitesi İndeksi. (Erişim Tarihi:10/12/2017)

http://www.havaizleme.gov.tr/Default.ltr.aspx Hava Kalitesi İzleme Raporu (Adana) s. 19-21. (Erişim Tarihi: 15/12/2017)

http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html (Erişim Tarihi: 05/11/2017)