

## Kükürt dioksit analizi için West-Gaeke ve hidrojen peroksit yöntemlerinin uygulanabilirliğinin araştırılması

### Investigation of the applicability of West-Gaeke and hydrogen peroxide methods for sulfur dioxide analysis

Sibel ÇUKURLUOĞLU<sup>1\*</sup>, Elif Gözde TEMÜR<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye.

scukurluoglu@pau.edu.tr

<sup>2</sup>Fen Bilimleri Enstitüsü, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye.

e.gzdtemur@hotmail.com

Geliş Tarihi/Received: 12.04.2017, Kabul Tarihi/Accepted: 28.06.2017

\* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2017.40221

Araştırma Makalesi/Research Article

#### Öz

Atmosferik kükürt dioksit ( $SO_2$ ) konsantrasyonları West-Gaeke ve hidrojen peroksit ( $H_2O_2$ ) yöntemleri ile Pamukkale Üniversitesi Kınıklı Yerleşkesi'nde eş zamanlı örnekleme ve analiz yapılarak belirlenmiştir. 2015 yılı bahar döneminde ortalama  $SO_2$  konsantrasyonları West-Gaeke ve  $H_2O_2$  yöntemleri ile Denizli 1 hava kalitesi ölçüm istasyonu için sırasıyla  $19.7 \pm 16.1$ ,  $62.8 \pm 22.0$  ve  $20.6 \pm 40.3$   $\mu g/m^3$  olarak bulunmuştur. West-Gaeke yöntemi ile elde edilen  $SO_2$  konsantrasyonları  $H_2O_2$  yöntemi ile belirlenen değerlerden daha düşüktür. Bu çalışma kapsamında iki farklı yöntemle elde edilen  $SO_2$  veri setinin istatistiksel ilişkisi incelendiğinde regresyon katsayılarının doğrusal eğilim için 0.21, polinom eğilim için 0.25 düzeyinde olduğu görülmektedir.  $H_2O_2$  yöntemi ile elde edilen  $SO_2$  konsantrasyonlarının Denizli 1 hava kalitesi ölçüm istasyonu  $SO_2$  konsantrasyonlarından daha yüksek olduğu, West-Gaeke yöntemi ile belirlenen  $SO_2$  konsantrasyonlarının hava kalitesi ölçüm istasyonu  $SO_2$  konsantrasyonları ile belirgin bir değişim göstermediği görülmüştür. Belirlenen  $SO_2$  konsantrasyonları Türkiye için öngörülen sınır değerlerin altındadır.

**Anahtar kelimeler:** Hava kirliliği, Hidrojen peroksit yöntemi, Kükürt dioksit, West-Gaeke yöntemi

#### Abstract

The atmospheric sulfur dioxide ( $SO_2$ ) concentrations were determined by performing simultaneous sampling and analysis with West-Gaeke and hydrogen peroxide ( $H_2O_2$ ) methods at Pamukkale University Kınıklı Campus. In the spring of 2015, average  $SO_2$  concentrations were found to be  $19.7 \pm 16.1$ ,  $62.8 \pm 22.0$  and  $20.6 \pm 40.3$   $\mu g/cubic\ meter$  for the West-Gaeke and  $H_2O_2$  methods and for the Denizli 1 air quality monitoring station, respectively. The  $SO_2$  concentrations obtained by the West-Gaeke method are lower than the values determined by the  $H_2O_2$  method. When the statistical relation of the  $SO_2$  data set obtained by two different methods in this study is examined, it is seen that the regression coefficients are 0.21 for the linear trend and 0.25 for the polynomial trend. It has been found that the  $SO_2$  concentrations obtained by the  $H_2O_2$  method are higher than the  $SO_2$  concentrations of the Denizli 1 air quality monitoring station and the  $SO_2$  concentrations determined by the West-Gaeke method do not show a distinct change with the  $SO_2$  concentrations of the air quality monitoring station. The determined  $SO_2$  concentrations are below the limit values for Turkey.

**Keywords:** Air pollution, Hydrogen peroxide method, Sulfur dioxide, West-Gaeke method

## 1 Giriş

Çevrenin doğal yapısını bozan, canlı ve cansız varlıkları olumsuz yönde etkileyen kirletici maddelerin çevresel ortamlara bırakılması sonucu çevre kirliliği oluşur. Çevre kirliliği hava, su, toprak gibi doğal bileşenleri olumsuz yönde etkilemektedir. Hava kirlenmesi bina dışı açık havada bir veya daha fazla türden kirleticinin insan, bitki ve hayvan yaşamına; ticari veya kişisel eşyalara ve yaşamaktan zevk duyulabilecek bir çevre kalitesine zarar veren bir miktarda belli bir sürenin üstünde bulunması şeklinde tanımlanmaktadır [1].

Hava kalitesi ısınma, ulaşım ve sanayi kaynaklı hava kirletici maddelerin atmosferdeki miktarına göre değişmektedir. Hava kalitesini sıcaklık, basınç, yağış, rüzgâr, nem ve güneş radyasyonu gibi meteorolojik faktörler, konum ve topografik yapı etkilemektedir. Plansız kentleşme, yeşil alanların yetersizliği ve kullanılan düşük kaliteli yakıtlar da hava kirliliğine büyük ölçüde etki etmektedir.

Hava kirliliği insan sağlığını etkileyerek yaşam kalitesini düşürmektedir. Bir bölgede meydana gelen hava kirliliği sadece o bölgede görülme yetmez meteorolojik olaylara bağlı

olarak yayılım göstermektedir. Hava kirliliği nedeniyle yerel, bölgesel ve küresel düzeyde sorunlar görülmektedir [2]. Yerel hava kirliliği topografya, nüfus, meteoroloji, sanayileşme seviyesi ve hızı ile sosyo-ekonomik gelişme gibi faktörler sebebiyle farklılık göstermektedir [3].

Isınma ve enerji elde etme amacı ile fosil kökenli yakıtlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Fosil kökenli yakıtlar kömür, linyit ve petrol ürünleri olarak sayılabilir. Düşük kaliteli yakıtların kullanılması sonucu oluşan gaz ve partikül madde şeklindeki hava kirletici maddeler kontrolsüz bir şekilde atmosfere deşarj edildiklerinde hava kalitesi bozulmaktadır [4].

Hava kirletici bir madde olan  $SO_2$  endüstriyel prosesler, termik santraller ve evsel ısınma amacıyla fosil kökenli yakıtların kullanılması gibi antropojenik faaliyetler sonucu açığa çıkmaktadır. Kükürt dioksit konsantrasyonları genellikle evsel ısınma amacıyla kömür kullanımının yaygın olduğu şehirlerde çok yüksektir. Kükürt dioksitin dış ortam konsantrasyonları genellikle şehir merkezinde ve endüstriyel alanların çevresinde fazladır. Yüksek  $SO_2$  konsantrasyonları öksürük ve bunun sonucunda akciğer fonksiyonlarında azalmaya neden

olarak solunum sisteminin zarar görmesine yol açmaktadır [5]. Kükürt dioksit atmosferde kalış süresi iki ile dört gün arasında değiştiğinden çok uzun mesafelere taşınabilmektedir. Dolayısıyla SO<sub>2</sub> sadece bulunduğu bölgelerde değil taşındığı yerlerde de önemli olumsuz etkilere sebep olmaktadır [6],[7].

Kükürt dioksit atmosferdeki su buharı ile birleşerek bir dizi reaksiyon sonucunda asit yağışı şeklinde canlılara ve materyallere zarar vermektedir [4]. Asit yağışı toprağın kimyasal ve biyolojik özelliklerini etkileyerek yerüstü ve yeraltı sularını kirletmekte, birçok canlı türünü yok etmekte, tarım alanlarını ve doğal örtüyü yıpratmaktadır [8].

Atmosferik ortamda SO<sub>2</sub>'nin ölçümü için West-Gaeke (TCM) yöntemi, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yöntemi, UV floresans yöntemi, alev iyonizasyon yöntemi, elektriksel iletkenlik yöntemi, sürekli ölçüm cihazları gibi yöntemler kullanılmaktadır. Uygulanan yöntemlerden bazıları SO<sub>2</sub> için spesifik olmakla beraber, bazıları havadaki kükürdü içeren diğer gazları da kapsadıklarından spesifik değildir. Bu yöntemler arasında West-Gaeke ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yöntemleri ile SO<sub>2</sub> çok düşük konsantrasyonlardan çok yüksek konsantrasyonlara kadar test edilebilmektedir. Söz konusu yöntemler çok hassas ve güvenilir olması ve mevcut girişimlerin kolaylıkla yok edilmesi gibi özellikleri nedeniyle standart yöntemler olarak kabul edilmektedir [9].

Çalışma kapsamında West-Gaeke ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yöntemleri ile eş zamanlı örnekleme gerçekleştirilerek Pamukkale Üniversitesi Kınıklı Yerleşkesi'nde dış ortam SO<sub>2</sub> konsantrasyonları belirlenmiştir. Her iki yöntemle elde edilen SO<sub>2</sub> verisi ve örnekleme bölgesine en yakın Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Denizli 1 hava kalitesi ölçüm istasyonu SO<sub>2</sub> verisi karşılaştırılarak örnekleme ve analiz yöntemlerinin verimi değerlendirilmiştir.

## 2 Materyal ve yöntem

### 2.1 Örnekleme bölgesi

Çalışma kapsamında eş zamanlı SO<sub>2</sub> örneklemeleri Pamukkale Üniversitesi Kınıklı Yerleşkesi Mühendislik Fakültesi A Blok binasının bulunduğu alanda gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Çalışma alanının bir bölümü yerleşim alanları diğer bölümü ise dağlarla çevrilidir. Alanda kentsel ölçekte ısınma ve ulaşım kaynaklı hava kirletici maddeler bulunmakla birlikte herhangi bir endüstriyel kaynak bulunmamaktadır. Örnekleme noktası baca çıkışı, cadde üzeri gibi doğrudan bir kirletici kaynağa maruz kalmayacak şekilde seçilmiştir.



Şekil 1: Pamukkale Üniversitesi Kınıklı Yerleşkesi SO<sub>2</sub> örnekleme bölgesi.

### 2.2 Örnekleme dönemi

Çalışma kapsamında 2015 yılı Mayıs ayında West-Gaeke ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yöntemleri kullanılarak eş zamanlı 10 örnekleme gerçekleştirilmiştir.

Örnekleme süresi 8 sa./gün olarak belirlenmiş, 09:00-17:00 saatleri arasında örnekleme yapılmıştır. Örnekleme sırasında sıcaklık ve nem değerleri ile örnekleme süresine ilişkin Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Denizli 1 hava kalitesi ölçüm istasyonu SO<sub>2</sub> verisi kaydedilmiştir.

### 2.3 Örnekleme

Kükürt dioksit örneklemeleri West-Gaeke ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> standart yöntemlerine uygun olarak yapılmıştır [10].

Kullanılan tüm kimyasallar analitik saflıktadır. Örnekleme, örnek hazırlama ve analiz aşamalarında herhangi bir kirlenme olup olmadığını belirlemek üzere şahit örnekleme yapılarak kalite kontrol analizleri gerçekleştirilmiştir.

Örneklemeden önce tüm cam ve polietilen malzemeler 1:1'lik yıkama çözeltisi ile yıkanmış, şebeke suyu ve distile su ile durulanmış ve kurutulmuştur. Akım yönündeki akış ölçerler deneysel olarak atmosfer koşullarına göre ayarlanmıştır.

#### 2.3.1 West-Gaeke yöntemi ile örnekleme

West-Gaeke yöntemi dış ortamdaki konsantrasyon aralığı 0.005 ile 5.0 ppm olan SO<sub>2</sub>'nin belirlenmesi için kullanılır. Bu yöntemde SO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub> ve CaO gibi diğer asidik ya da bazik gazlar ya da katılar girişime sebep olmamaktadır.

Akış hızı 2.5 L/dk. olarak ayarlanmıştır. Absorplama reaktifi olarak 0.1 M sodyum tetrakloromercurat kullanılmıştır. 10 mL absorplama çözeltisi gaz yıkama şişesine alınmıştır. Hava örneğindeki SO<sub>2</sub> sodyum tetrakloromercurat çözeltisinde absorplanmakta ve bu aşamada uçucu olmayan diklorosülfidomercurat iyonu oluşmaktadır [10].

#### 2.3.2 Hidrojen peroksit yöntemi ile örnekleme

Hidrojen peroksit yöntemi dış ortamdaki konsantrasyon aralığı 0.01 ile 10.0 ppm olan SO<sub>2</sub>'nin belirlenmesi için uygundur. Alkali gazlar, NH<sub>3</sub> ve CaO gibi reaktif katılar ve SO<sub>3</sub> bu yöntemde girişim meydana getirebilmektedir.

Akış hızı 1.5 L/dak olarak ayarlanmıştır. Absorplama çözeltisi olarak 75 mL 0.03 N H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> gaz yıkama şişesine alınmıştır. Hidrojen peroksit yönteminin esası havadaki SO<sub>2</sub>'nin absorplanarak kararlı ve uçucu olmayan sülfirik aside yükseltgenmesine dayanır. Kükürt dioksit sülfirik aside yükseltgenmesi sonucu çözeltinin asitliği artmakta ve dolayısıyla pH'ı düşmektedir [10].

### 2.4 Analiz

Analizler West-Gaeke ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> standart yöntemlerine uygun olarak yapılmıştır [10]. Çalışma kapsamında analizler Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü Araştırma Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

West-Gaeke yöntemi ile örnekleme yapıldıktan sonra laboratuvara getirilen örnek buharlaşma kaybı meydana gelmesi durumunda distile suyla 10 mL'ye tamamlanmıştır. Karışıma 1 mL pararosanilin ve 1 mL formaldehit çözeltisi eklenip karıştırılmıştır. Bu aşamada kırmızı-mor renkli pararosanilin metilsülfonik asit oluşmaktadır. Maksimum renk oluşumu için 20 dk. beklenmiş ve 560 nm'de Shimadzu UV-1800 spektrofotometre ile ölçüm gerçekleştirilmiştir.

Kalibrasyon eğrisinin hazırlanması için 2.0 mL standart sülfid çözeltisi sodyum tetrakloromercurat reaktifıyla 100 mL'ye seyreltilmiştir. Oluşan çözeltinin her mililitresi 3.0 µL SO<sub>2</sub> içermektedir. Bu çözelti farklı oranlarda seyreltilerek kalibrasyon çözeltileri hazırlanmıştır. 10 mL'lik kalibrasyon çözeltilerine karşılık gelen µL SO<sub>2</sub> miktarlarına göre kalibrasyon eğrisi çizilerek kalibrasyon denklemi elde edilmiştir.

Hidrojen peroksit yöntemi ile gerçekleştirilen örnekleme sonunda örneğin pH değeri ölçülmüş ve 0.002 N'lik HNO<sub>3</sub> çözeltisi ile pH 5 olacak şekilde ayarlanmıştır. Üzerine 3 damla karışık indikatör çözeltisi (brom krezol yeşili ve metil kırmızısı) eklenmiştir. Karışım standart 0.002 N NaOH ile rengi kırmızıdan yeşile dönene kadar titre edilmiştir.

West-Gaeke ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yöntemleri kullanılarak alınan örnekler ile birlikte şahit örnekler için de aynı işlemler gerçekleştirilmiştir.

### 2.5 Hesaplamalar

West-Gaeke ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yöntemleri ile örneklenen hava hacmi Denklem 1 kullanılarak standart koşullardaki (25 °C, 760 mm Hg) hava hacmine (V<sub>s</sub>) dönüştürülmüştür.

$$V_s = V \times \frac{(P - P_m)}{29.97} \times \frac{298.2}{(T + 273.2)} \quad (1)$$

V<sub>s</sub> = Standart koşullarda havanın hacmi (L),

V = Ölçülen havanın hacmi (L),

P = Barometredeki civa basıncı (inç Hg),

P<sub>m</sub> = Akış ölçerdeki civa basıncı (inç Hg),

T = Hava sıcaklığı (°C).

West-Gaeke yönteminde kalibrasyon denklemi aracılığıyla örnekteki SO<sub>2</sub>'nin kaç µL'ye karşılık geldiği belirlenmiştir. Hidrojen peroksit yönteminde örnek titrasyonunda kullanılan 0.002 N NaOH'in her 1 mL'si 24.47 µL SO<sub>2</sub>'ye karşılık gelecek şekilde µL SO<sub>2</sub> miktarı hesaplanmıştır.

West-Gaeke ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yöntemlerinde SO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının hesaplanması için Denklem 2 kullanılmıştır [10].

$$SO_2 \text{ (ppm)} = \frac{(\mu\text{L } SO_2)}{V_s} \quad (2)$$

ppm biriminde hesaplanan SO<sub>2</sub> konsantrasyonları Denizli 1 istasyonu SO<sub>2</sub> verisi ile karşılaştırmak üzere µg/m<sup>3</sup> birimine dönüştürülmüştür.

### 2.6 Denizli 1 hava kalitesi ölçüm istasyonu SO<sub>2</sub> verisi

Denizli'de Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na ait iki adet hava kalitesi ölçüm istasyonu bulunmaktadır. Çalışma kapsamında örnekleme alanına en yakın olan, kentsel yerleşim alanında bulunan ve kirletici kaynaklar yönünden çalışma alanı ile benzerlik gösteren Denizli 1 hava kalitesi istasyonunun verisi ele alınmıştır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Denizli 1 hava kalitesi ölçüm istasyonunun örnekleme gün ve saatlerindeki SO<sub>2</sub> değerleri kaydedilmiştir. Saatlik SO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının ortalaması alınarak 8 saatlik ortalama SO<sub>2</sub> konsantrasyonu hesaplanmıştır.

### 2.7 Meteorolojik parametreler

Örnekleme süresince sıcaklık ve nem değerleri ölçülerek 8 saatlik ortalama değerler hesaplanmıştır. Sıcaklık ölçümü için ± 1 °C doğrulukta bir termometre kullanılmıştır.

## 2.8 İstatistiksel değerlendirme

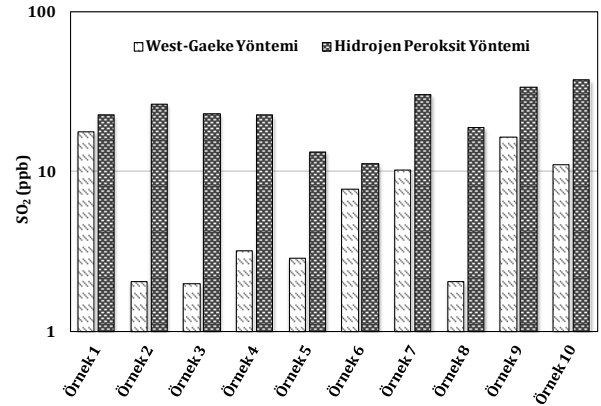
Kükürt dioksit verisinin istatistiksel analizi SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) 16.0 versiyonu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İstatistiksel ilişkiler p<0.05 düzeyinde belirlenmiştir.

## 3 Sonuçlar

### 3.1 West-Gaeke ve hidrojen peroksit yöntemleri ile belirlenen SO<sub>2</sub> konsantrasyonları

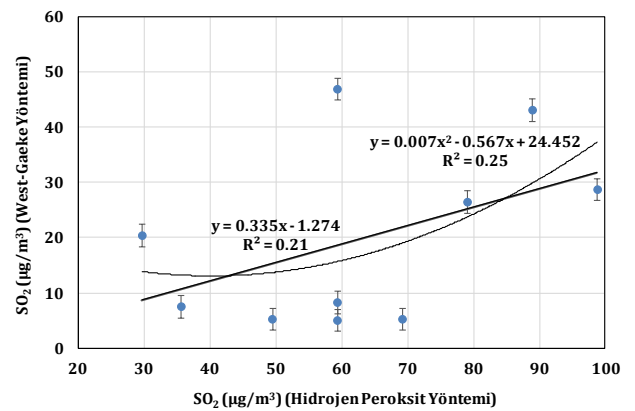
Ortalama SO<sub>2</sub> konsantrasyonu West-Gaeke yöntemi ile 7.6±5.8 ppb, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yöntemi ile 24.1±8.0 ppb olarak belirlenmiştir. Kükürt dioksit konsantrasyonları West-Gaeke yöntemi için 1.98-17.9 ppb, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yöntemi için 11.4-37.8 ppb aralığında değişmektedir.

Örneklere ilişkin SO<sub>2</sub> konsantrasyonları değerlendirildiğinde West-Gaeke yöntemi ile elde edilen SO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yöntemi ile belirlenen değerlerden daha düşük olduğu görülmüştür. Hidrojen peroksit yöntemi ile belirlenen SO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının ortalaması, West-Gaeke yöntemi ile elde edilen değerlerin ortalamasından 3 kat fazladır (Şekil 2).



Şekil 2: West-Gaeke ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yöntemleri ile belirlenen SO<sub>2</sub> konsantrasyonları.

Çalışma kapsamında iki farklı yöntemle elde edilen SO<sub>2</sub> veri setinin istatistiksel ilişkisi incelendiğinde regresyon katsayılarının doğrusal eğilim için 0.21, polinom eğilim için 0.25 düzeyinde olduğu görülmüştür (Şekil 3).



Şekil 3: West-Gaeke ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yöntemleri ile belirlenen SO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının istatistiksel ilişkisi.

Hidrojen peroksit yönteminin kolay ve ucuz olup yaygın olarak kullanıldığı bilinmekle birlikte, West-Gaeke yönteminin



SO<sub>2</sub> için spesifik olduğu ve örnek alındıktan sonra kararlı halde saklanabildiği için referans yöntem olarak geniş bir kullanım alanı bulunduğu belirtilmektedir [5]. Ayrıca alkali gazlar, NH<sub>3</sub> ve CaO gibi reaktif katılar, SO<sub>3</sub> gibi bileşenlerin H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yönteminde girişim yapma olasılığı da farklılık sebeplerinden biri olarak değerlendirilebilir.

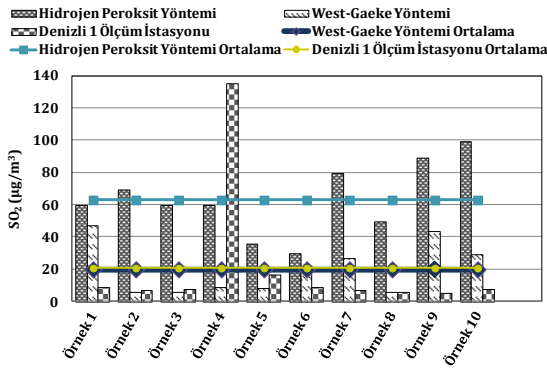
Çalışmada belirlenen SO<sub>2</sub> konsantrasyonları Türkiye için öngörülen sınır değerlerin altındadır. Bunun en önemli nedeni örneklemelerin bahar mevsiminde gerçekleştirilmiş olması ve bu dönemde SO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının kış mevsimine göre düşük olmasıdır.

Literatürde SO<sub>2</sub> konsantrasyonunu belirlemek üzere West-Gaeke yöntemi ile gerçekleştirilmiş olan çalışmalar bulunmaktadır. Dhanbad, Hindistan'da 2013-2014 döneminde atmosferik SO<sub>2</sub> konsantrasyonu 3.4-4.6 ppb aralığında belirlenmiştir [11]. Balashanmugam vd. [12] tarafından Chidambaram, Güney Hindistan'da 8 farklı noktada 2007 yılı Mart ayında gerçekleştirilen bir çalışmada SO<sub>2</sub> konsantrasyon aralığı 39.5 ile 56.9 µg/m<sup>3</sup> arasında bulunmuştur. 2006 yılı Mart ayından 2007 yılı Şubat ayına dek yapılan ölçümler sonucunda Helwan, Mısır'da SO<sub>2</sub> konsantrasyonu ortalaması 67.0±12.9 µg/m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir [13].

### 3.2 West-Gaeke ve hidrojen peroksit yöntemleri ile belirlenen SO<sub>2</sub> konsantrasyonları ve Denizli 1 istasyonu SO<sub>2</sub> verisi

West-Gaeke ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yöntemleri ile belirlenen SO<sub>2</sub> konsantrasyonları, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Denizli 1 hava kalitesi ölçüm istasyonu SO<sub>2</sub> konsantrasyonları ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4).

Ortalama SO<sub>2</sub> konsantrasyonları West-Gaeke ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yöntemleri ile Denizli 1 hava kalitesi ölçüm istasyonu için sırasıyla 19.7±16.1, 62.8±22.0 ve 20.6±40.3 µg/m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir.



Şekil 4: West-Gaeke ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yöntemleri ile belirlenen SO<sub>2</sub> konsantrasyonları ve istasyon SO<sub>2</sub> verisi.

Hidrojen peroksit yöntemi ile elde edilen tüm örneklerin (Örnek 4 hariç) SO<sub>2</sub> konsantrasyonları, Denizli 1 hava kalitesi ölçüm istasyonu SO<sub>2</sub> konsantrasyonlarından daha yüksek bulunmuştur.

West-Gaeke yöntemi ile belirlenen SO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının Denizli 1 hava kalitesi ölçüm istasyonu konsantrasyonlarından bazı örneklem günlerinde daha yüksek, bazı günlerde ise daha düşük olduğu görülmüştür.

Üç ayrı veri seti incelendiğinde minimum ve maksimum SO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının gözlemlendiği günlerin farklı olduğu görülmüştür. Örneklem ve analiz yöntemlerinin farklılığı,

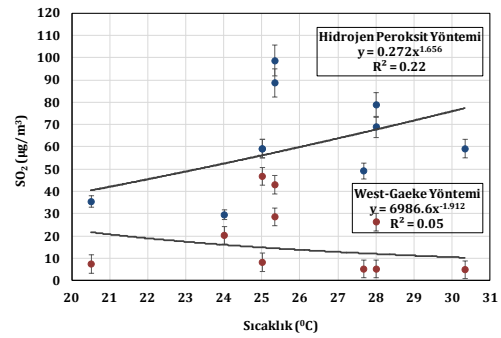
ölçüm istasyonundaki cihazların bakımı ve kalibrasyonu gibi etkenler bu farklılığın temel nedenleri olarak belirtilebilir.

Denizli 1 hava kalitesi ölçüm istasyonu verisi incelendiğinde 4 No.lu örnekleme gününe ilişkin SO<sub>2</sub> konsantrasyonunun maksimum değere (134.7 µg/m<sup>3</sup>) sahip olduğu görülmüştür. Ancak, mevsimsel özellikler ve diğer günlere göre 8-27 kat fazla olan bir oran dikkate alındığında, maksimum istasyon değerinin bir arıza, hata vb. nedenle ortaya çıkmış olma olasılığı yüksek görülmektedir. Bununla birlikte veri orijinal hali ile değerlendirmeye alınmıştır.

### 3.3 West-Gaeke ve hidrojen peroksit yöntemleri ile belirlenen SO<sub>2</sub> konsantrasyonları, sıcaklık ve nem değerleri

Çalışma kapsamında örnekleme gün ve saatlerindeki sıcaklık değerleri kaydedilerek ortalama değerler belirlenmiştir. Çalışma dönemindeki ortalama sıcaklık 25.9±2.7 °C olarak hesaplanırken minimum sıcaklık 20.5 °C, maksimum sıcaklık ise 30.3 °C olarak gözlemlenmiştir.

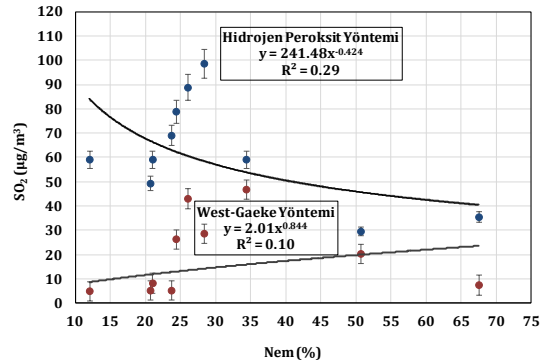
West-Gaeke ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yöntemleri ile belirlenen SO<sub>2</sub> konsantrasyonları ile örnekleme günlerine ilişkin sıcaklık değerleri incelendiğinde istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmadığı görülmüştür (Şekil 5).



Şekil 5: West-Gaeke ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yöntemleri ile belirlenen SO<sub>2</sub> konsantrasyonları ve sıcaklık değerleri.

Çalışma periyodunda minimum nem değeri %12.0, maksimum nem değeri ise %67.5 olarak gözlemlenmiştir. Ortalama nem %30.9±16.4 olarak hesaplanmıştır.

Örnekleme günlerine ilişkin nem değerleri ile West-Gaeke yöntemiyle elde edilen SO<sub>2</sub> konsantrasyonları arasında istatistiksel yönden önemli bir ilişki bulunmamıştır. Nem değerleri ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yöntemi ile belirlenen SO<sub>2</sub> konsantrasyonları arasında R<sup>2</sup>=0.29 düzeyinde bir istatistiksel ilişki bulunduğu belirlenmiştir (Şekil 6).



Şekil 6: West-Gaeke ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yöntemleri ile belirlenen SO<sub>2</sub> konsantrasyonları ve nem değerleri.

#### 4 Tartışma

Çalışma kapsamında Pamukkale Üniversitesi Kınıklı Yerleşkesi'nde dış ortam SO<sub>2</sub> konsantrasyonları West-Gaeke ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yöntemleri kullanılarak belirlenmiştir. West-Gaeke yöntemi ile elde edilen SO<sub>2</sub> konsantrasyonları H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yöntemi ile belirlenen konsantrasyonlardan daha düşüktür.

West-Gaeke ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yöntemleri kullanılarak belirlenen SO<sub>2</sub> konsantrasyonları, hava kalitesi ölçüm istasyonu SO<sub>2</sub> konsantrasyonları ile karşılaştırılmıştır. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yöntemi ile elde edilen SO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının hava kalitesi ölçüm istasyonu SO<sub>2</sub> konsantrasyonlarından daha yüksek olduğu, West-Gaeke yöntemi ile belirlenen SO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının hava kalitesi ölçüm istasyonu SO<sub>2</sub> konsantrasyonları ile belirgin bir değişim göstermediği görülmüştür.

Çalışmanın gerçekleştirildiği dönemde hava sıcaklığının yüksek olması, evsel ısınma amacıyla yakıt tüketimi olmaması gibi nedenlerle SO<sub>2</sub> konsantrasyonunun düşük olması, West-Gaeke ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yöntemlerinin uygulanmasında çok daha hassas davranılmasını gerektirmiştir.

Çalışma konusunda gelecekte uzun dönemli bir çalışma gerçekleştirilmesi değerlendirmelerin daha sağlıklı yapılabilmesini ve mevsimsel değişimleri izleme olanağını sağlayacaktır. İstatistiksel değerlendirmeler, mevsimsel farklılıkların da dikkate alınabileceği yıllık periyotlarda belirlenen SO<sub>2</sub>, sıcaklık ve nem parametreleri için yapılması durumunda daha anlamlı hale gelecektir.

#### 5 Teşekkür

Bu çalışma 1919B011402830 No.lu proje ile TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir. Proje çalışmalarındaki katkılarından dolayı, Dr. Tufan TOPAL, Damla SALTİK ve Sinem SAVAS'a teşekkür ederiz.

#### 6 Kaynaklar

- [1] Müezzinoğlu A. *Hava Kirliliği ve Kontrolünün Esasları*. İkinci baskı. İzmir, Türkiye, Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları, 2000.
- [2] Erbaşlar T, Taşdemir Y. "Kentsel bir atmosferdeki bazı hava kirleticilerin meteorolojik parametrelerle ilişkilendirilmesi". *Uludağ Üniversitesi, Müh.-Mim. Fakültesi Dergisi*, 12(2), 1-8, 2007.
- [3] TÜBİTAK. "Vizyon 2023: Çevre ve Sürdürülebilir Kalkınma Tematik Paneli Raporu". Ankara, Türkiye, 2003.

- [4] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. "Türkiye Çevre Durum Raporu". <http://www.csb.gov.tr/turkce/dosya/ced/TCDR2011.pdf> (15.10.2014).
- [5] Yeşilyurt C, Akcan N. "Hava Kalitesi İzleme Metodolojileri ve Örneklem Kriterleri". T.C. Sağlık Bakanlığı Refik Saydam Hıfzıssıhha Merkezi Başkanlığı Çevre Sağlığı Araştırma Müdürlüğü, Ankara, Türkiye, 2001.
- [6] Janick J. *Horticultural Science*. 4<sup>th</sup> ed. New York, USA, WH Freeman and Co Ltd., 1986.
- [7] T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü. "Asit Yağmurları ve Hava Kirliliği Değerlendirme Raporu". Ankara, Türkiye, 2006.
- [8] Kant C, Kızıloğlu T. "Asit yağmurlarının canlılar üzerine etkileri". *Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi*, 34(2), 217-221, 2003.
- [9] İlim M. Havadaki Kükürt Dioksit Tayin Metotlarının Uygulanabilirlik ve Hassasiyetlerinin Karşılaştırılması İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 1987.
- [10] Hochheiser S. *Methods of Measuring and Monitoring Atmospheric Sulfur Dioxide*. 1<sup>st</sup> ed. Ohio, USA, U.S. Department of Health Public Health Service, 1964.
- [11] Singh S, Elumalai SP, Pal AK. "Rain pH estimation based on the particulate matter pollutants and wet deposition study". *Science of the Total Environment*, 563-564, 293-301, 2016.
- [12] Balashanmugam P, Ramanathan AR, Kumar VN. "Assessment of ambient air quality in Chidambaram a South Indian town". *Journal of Engineering Science and Technology*, 7(3), 292-302, 2012.
- [13] Hameed AAA, Khoder MI, Ibrahim YH, Saeed Y, Osman ME, Ghanem S. "Study on some factors affecting survivability of airborne fungi". *Science of the Total Environment*, 414, 696-700, 2012.
- [14] Balashanmugam P, Ramanathan AR, Kumar VN. "Assessment of ambient air quality in Chidambaram a South Indian town". *Journal of Engineering Science and Technology*, 7(3), 292-302, 2012.
- [15] Hameed AAA, Khoder MI, Ibrahim YH, Saeed Y, Osman ME, Ghanem S. "Study on some factors affecting survivability of airborne fungi". *Science of the Total Environment*, 414, 696-700, 2012.