

Atmosferdeki Partikül Madde (PM₁₀) Miktarındaki Değişimin GNSS ile Kestirilen Islak Zenit Gecikmesi Üzerindeki Etkisinin Araştırılması

Gökhan GÜRBÜZ^{1*}, Kurtuluş Serdar GÖRMÜŞ¹, Umut ALTAN¹

¹ Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Zonguldak.

Sorumlu yazar* e-posta: gokhan.gurbuz@beun.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5491-4623>

ksgormus@beun.edu.tr

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7910-2071>

umutaltan@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9323-3652>

Geliş Tarihi: 18.03.2020

Kabul Tarihi: 16.06.2020

Öz

Hava kirliliği, insan sağlığını ve yaşadığımız çevreyi tehdit etmesinin yanı sıra bulunduğu yerde görüş mesafesini de düşürmektedir. Bunun sebebi, atmosferin alt katmanı olarak bilinen troposferde kirliliğe sebep olan gazların ve partikül maddelerin, ışığı saçması ve emmesidir. Troposferdeki gazlar, su buharı miktarı ve diğer meteorolojik parametreler, 1214-1610 megahertz aralığındaki mikrodalga sinyaller kullanarak konum belirleyen Global Uydu Navigasyon Sistemi'nde (GNSS), troposferik zenit gecikmesi olarak adlandırılan bir gecikmeye sebep olmaktadır. Hava kirliliği seviyesini ölçmeye yarayan değişkenlerden biri olan ve 10 mikrometreden küçük, 2.5 mikrometreden büyük çapa sahip Partikül Madde (Particulate Matter – PM₁₀) miktarlarındaki ve yoğunluğundaki değişimlerin de GNSS sinyallerinde gecikmeye sebep olduğu düşünülmektedir. Bu çalışmanın temel amacı, hava kirliliği ölçme parametrelerinden PM₁₀ değerlerinin GNSS sinyallerindeki troposferik gecikmeye olan etkisinin araştırılmasıdır. Bu amaçla, Türkiye'nin partikül yoğunluğu olarak en yoğun şehirlerinden biri olan Zonguldak ili seçilmiştir. Zonguldak ili Merkez ilçesinde bulunan ve devamlı ölçüm yapan Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı (TUSAGA-Aktif) istasyonlarından "ZONG" GNSS istasyonundan elde edilen veriler, GIPSY-OASIS II yazılımı ile değerlendirilmiştir. Birbirini takip eden ve aynı meteorolojik koşullar altında benzer ve farklı PM₁₀ miktarına sahip günlere ait Islak Zenit Gecikmeleri (ZWD) incelenerek GNSS sinyallerine etkileri araştırılmıştır. Çalışma sonucunda, PM₁₀ değerinin görece yüksek olduğu günlerde ortaya çıkan ZWD farklarının, PM₁₀ değerinin görece düşük olduğu günlerde ortaya çıkan ZWD farklarından, fazla olduğu ortaya çıkarken, PM₁₀ değerinin görece yüksek olduğu günlerde ortaya çıkan ZWD farklarına ait lineer bir korelasyon bulunamamıştır.

Anahtar kelimeler

GNSS;
Islak Zenit Gecikmesi;
PM₁₀;
Zonguldak

Investigation into the Effect of Atmospheric Particulate Matter (PM₁₀) Concentrations on GNSS Estimated Zenith Wet Delay

Abstract

Air pollution not only threatens human health and the environment we live in, but it also reduces the visibility range. This is because the polluting gases and particulate matters emit and absorb the light. In the lower layer of the atmosphere, which is called the troposphere, gases, water vapor and other meteorological parameters in the air cause a delay in the Global Satellite Navigation System (GNSS) microwave signals, called the tropospheric zenith delay. Particulate Matter (PM₁₀), which has a diameter smaller than 10 micrometers and bigger than 2.5 micrometers, is one of the key parameters for measuring air pollution level. Changes in the amount and density of PM₁₀ also thought to cause a delay in GNSS signals. The main purpose of this study is to investigate the effect of PM₁₀ values on tropospheric delay in GNSS signals. GNSS data from Zonguldak station from Turkey National Permanent GNSS Network (CORS-TR) is used to estimate tropospheric delay by GIPSY-OASIS II software. The variations of wet zenith delays are inspected along with PM₁₀ variations for successive days, which have same PM₁₀ values or different PM₁₀ values under the same meteorological conditions. As a result of the study, the ZWD differences that appeared on the days when the PM₁₀ value was relatively high were higher than the ZWD differences that appeared on the days when the PM₁₀ value was relatively low and there was no linear correlation between the ZWD differences that appeared on the days when the PM₁₀ value was relatively high.

Keywords

GNSS;
Zenith Wet Delay;
PM₁₀;
Zonguldak

1. Giriş

Hava, gazlar (karbondioksit, azot, oksijen vs.), partikül maddeler (toz, polen, tüy vs.) ve su buharı ile atmosferi oluşturan bir gazdır. Atmosferdeki başlıca gazlar %78,08 azot, %20,95 oksijen, %0,93 argon, %0,03 karbondioksit şeklinde sıralanabilmektedir. Bu gazlar arasında dünya hayatı ve insan için en önemli gaz oksijendir. Kirlenici gazların başlı başına havada tamamen bulunması değil, oksijen miktarının azlığı ve diğer gazların oranındaki değişim de hava kirliliği olarak adlandırılmalıdır (Tekbaş 2010).

Hava kirliliği, doğal olaylar veya insan kaynaklı olabilir. Örneğin olarak yangınlar atmosferdeki azot miktarının artmasına sebep olur. İnsan kaynaklı olarak bakılırsa, herhangi bir sebeple yakılan ateşler, fabrika ve ev bacalarından atmosfere yayılan dumanlar ve araçların egzozları karbon monoksit, kükürt dioksit ve nitrik asit gibi zehirli gazların havaya karışmasına sebep olur. Sonuçta atmosfere salınan gazlar havadaki gaz yoğunluğunu değiştirerek hava kirliliğine neden olmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı standartlarına göre hava kirliliği, atmosferde bulunan ozon (O₃), karbon monoksit (CO), sülfür dioksit (SO₂), nitrojen oksit (NO), litikler ve partiküller gibi bileşenlerin miktarlarına göre belirlenir (Robert-Lambach 2010).

Ancak pratikte genellikle kirlilik, havadaki katı parçacıklar ve kükürt dioksit miktarına göre belirlenir. Bu küçük partiküller sigara dumanı, egzoz gazları, orman yangınları, rüzgâr ile taşınan toz, volkanik gazlar ve deniz buharlaşması gibi olaylar sonucu meydana gelen katı ve sıvı bileşenlerin atmosfere karışması ile oluşmaktadır. Çapları 10 µm'den küçük, 2.5 µm'den büyük partikül maddeler "kaba partiküller" olarak adlandırılır. Daha çok kırma, öğütme işlemleri ve yol tozlarından kaynaklanır. Partikül boyutları çok geniş bir aralığa sahiptir. Toz, duman, is gibi bazı partiküller gözle görülebilecek kadar büyük olmasına rağmen ancak mikroskopla görülebilen boyutlarda partiküller de bulunmaktadır. Çapları

2.5 µm'den daha küçük partiküller ise "ince partiküller" olarak adlandırılır (U.S. Environmental Protection Agency 1987, Seinfeld and Pandis 2016). Hava kirliliği, insan, bitki, hayvan yaşamına ve çevre kalitesine zarar veren bir veya daha fazla kirlenicinin belirli miktar ve sürelerde atmosferde bulunması olarak tarif edilebilir (Müezzinoğlu 1987). Çizelge 1'de Hava Kalite İndeksi, farklı kirlenici unsurların sınır değerleri ile birlikte özetlenmiştir.

Çizelge 1. Hava Kalitesi İndeksi.

Hava Kalitesi İndeksi	SO ₂	NO ₂	PM ₁₀
	[µg/m ³] 1 Saatlik Ortalama	[µg/m ³] 24 Saatlik Ortalama	[µg/m ³] 24 Saatlik Ortalama
Çok İyi	0-50	0-45	0-55
İyi	51-199	46-89	56-109
Yeterli	200-399	90-179	110-159
Orta	400-899	180-299	160-219
Kötü	900-1499	300-699	220-799
Çok Kötü	>1500	>700	>800

Partikül maddelerin yol açtığı hava kirliliğinin, başta insan sağlığı olmak üzere görüş mesafesi, materyaller, bitkiler ve hayvan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri vardır. Katı yakıtlar ve akaryakıt gibi karbonlu maddelerin tam yanmamasından meydana gelen katı ve sıvı parçacıkların bir gaz karışımı olan duman, hava kirliliğinin bir çeşitlidir ve görüş uzaklığını azaltıcı bir etkiye sahiptir. Ayrıca, sanatsal ve mimari yapılar üzerinde tahrip edici ve bozucu etkisi vardır. Bitkiler üzerinde ise öldürücü ve büyümelerini engelleyici olabilmektedir. Bu nedenle hava kirliliği hem canlıların sağlığı açısından, hem de ekonomik yönden zarar vericidir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2013). Tüm bu negatif etkilere ek olarak partikül maddelerin sinyallere de etkisinin olduğu düşünülmektedir. Partikül maddeler atmosfer katmanının yeryüzüne yakın olan troposfer katmanında bulunmaktadır.

Troposfer, kuru hava ve su buharı karışımından oluşmaktadır. Kuru hava, atmosferdeki gaz yoğunluğuna, gaz dağılımındaki değişimlere bağlı olup, GNSS sinyallerindeki toplam atmosferik gecikmenin (ZTD) yaklaşık %90'ını oluşturmaktadır. Kuru havada bulunan gaz karışımı ideal gaz davranışı sebebiyle sebep olduğu hidrostatik

gecikme miktarı (ZHD) yüksek doğrulukla belirlenebilmektedir (Saastamoinen 1972). Hidrostatik gecikme, ölçü noktasında ölçülen basınç, sıcaklık ve nem ile zenit doğrultusunda %2 hata ile modellenmektedir. Islak zenit gecikmesinin modellenmesi, su buharının yere ve zamana göre hızla değişim göstermesi nedeniyle hidrostatik gecikmeye kıyasla çok daha zordur.

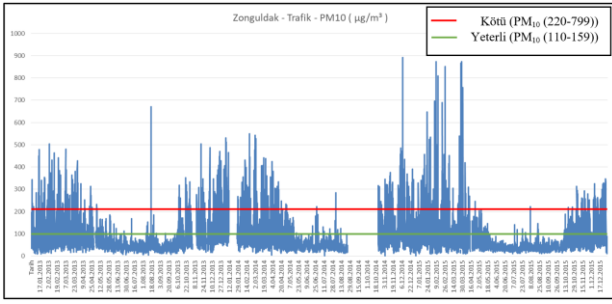
Uydu ile alıcı arasında iletilen sinyalin yükseklik (eğim) açısı 15°'nin altında olduğu durumlarda troposferik gecikme çok büyük boyutlara ulaşmakta ve modellenmesi daha da zorlaşmaktadır. Bunun sebebi ise yükseklik (eğim) açısı 15°'nin altında olduğu durumlarda sinyalin troposferde daha uzun yol kat etmesidir. Troposferik gecikmenin zenit açısındaki değeri (uydunun yükseklik açısındaki değerine eşlenmemiş durumu, kısaca sinyalin başucu doğrultusundaki gecikme değeri) 2,2 m civarındadır. Yükseklik açısının 0°'ye yakın olduğu durumlarda toplam zenit gecikmesi 25 m ile 85 m arasındadır (Özlüdemir 2004). Troposferik gecikmeyi kestirmek amacıyla pek çok standart troposfer model kullanılmaktadır (Hopfield 1971, Saastamoinen 1972). Troposferik gecikme miktarları farklı akademik yazılımlar ve bu yazılımlara entegre edilmiş troposferik modeller aracılığı ile kestirilebilmektedir. Bu modeller Dünya çapında uzun süreli meteorolojik gözlemler sonucu elde edilmiş ve doğrulukları birçok akademik çalışma ile kanıtlanmıştır. Ancak bu konudaki temel sorun troposferin ya da bütün olarak atmosferin doğasının tam olarak anlaşılammış olmasıdır. Bu sebeple uzun süreli meteorolojik gözlemlerden yararlanılarak, matematiksel bağıntılar olan yüzey modelleri geliştirilmiştir.

PM₁₀ miktarının GNSS ile yapılan uygulamalardaki etkisinin araştırılması hakkında çok sınırlı sayıda yayın bulunmaktadır. Kasım 2014 ve Aralık 2015'e ait veriler üzerinde yapılan bir çalışma da PM₁₀ ve PM_{2.5}'in GNSS sinyalleri üzerindeki etkisi araştırılmış ve etkilerin gürültü olarak sayılabilecek kadar küçük olduğu görülmüştür (Lau and He 2017).

2. Materyal ve Metot

Batı Karadeniz bölgesinde Zonguldak il sınırları içerisinde yer alan Merkez ilçesi çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Bölgenin arazi yapısı, Karadeniz Bölgesi genelinde olduğu gibi dik ve eğimlidir. Şehir merkezi, deniz seviyesinde olup ve tepelerle çevrelenmektedir. Bu bölgede endüstriyel ve insanların sebep olduğu gaz salınımı sebebiyle açığa çıkan gazlar, çökmeye uğrayarak gerek meteorolojik koşullar gerekse topografik olarak şehir merkezinin etrafını çevreleyen tepelerden dolayı, şehir merkezinde toplanmaktadır. Çalışma alanında insanların sebep olduğu gaz salınımının ana nedeni özellikle kış aylarında bölgede yakıt kaynağı olarak taşkömürünün kullanılmasıdır. 2015 yılından itibaren Merkez ilçenin çoğu mahallesinde doğalgaz kullanımına başlanılsa dahi, hala doğalgaz kullanımına geçmemiş yerleşim yerlerinden dolayı hava kirliliği miktarı kademeli olarak azalsa da tam olarak standart değerlere indirgenmemiştir. Temiz havada bile gazların ışığı saçma özelliğinden (Rayleigh saçılması) dolayı görüş mesafesi birkaç kilometre ile sınırlıdır. Havanın kirli olması durumunda, gazlar ve partiküllerin ışığı saçma ve emilimi nedeniyle görüş mesafesi azalmaktadır (Zeydan 2014).

Zonguldak il merkezinde 2013-2106 yılları arası ölçülen ortalama, minimum, maksimum PM₁₀ konsantrasyonları, Şekil 1'de gösterilmiştir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığına ait Zonguldak Hava Kalitesi İzleme İstasyonu'ndan elde edilen verilerle, ilgili yılların PM₁₀ ölçümlerine ait zaman serisi grafikleri, günlük ortalamalar kullanılarak oluşturulmuştur (Şekil 2). Çizelge 1'de verilen Hava Kalite İndeksi açısından kritik değerler de işlenmiştir. PM₁₀ verilerindeki dalgalanmanın oluşmasının sebebi özellikle kış aylarında ısınma amaçlı yoğun kömür tüketimidir. Yaz aylarında kömür tüketimi olmaması PM₁₀ değerlerindeki azalmayı göstermektedir.



Şekil 1. Zonguldak Merkez ilçesi PM₁₀ zaman serisi.

Bu çalışmada GNSS verisi olarak TUSAGA-Aktif ağına dahil ZONG istasyonuna ait veriler kullanılmıştır. ZONG istasyonu, hava kalitesi ölçüm istasyonu ve meteorolojik sensörlere çok yakın olduğundan dolayı özellikle seçilmiştir. Buna ek olarak ıslak zenit gecikmesi değerlerinin karşılaştırılması için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden sıcaklık, basınç, nem ve yağış miktarı verileri temin edilmiştir. Çalışmanın bu kısmında Jet Propulsion Laboratory (JPL) bilim insanları tarafından geliştirilen GIPSY-OASIS II (Webb 1995) yazılımı kullanılarak GNSS verilerinin değerlendirilmesi yapılmış ve ıslak troposferik gecikmeler hesaplanmıştır. GIPSY-OASIS II çiftli fark yöntemini kullanmayıp, bunun yerine saat parametreleri, jeodezik parametreler ile birlikte kestirilmektedir ve fark yöntemleri uygulanmadan taşıyıcı faz ve pseudorange verileri aynı anda işlenmektedir. (Blewitt 1998). Saat parametreleri, stokastik olarak kestirilirken ve yığınlar arasında öncül korelasyon olmamaktadır. Troposferik zenit gecikmesi, atmosferik türbülansın beklenen fiziği ile yakından ilişkili olan rasgele yürüyüş modeli tarafından stokastik olarak (yani, her epokta bir zamanla değişen bir parametre olarak) tahmin edilmektedir (Linkwitz and Hangleiter 2012). Çizelge 2'de GIPSY-OASIS II yazılımı değerlendirme stratejisi özetlenmiştir.

Çizelge 2. GIPSY-OASIS II ile yapılan değerlendirmeler de kullanılan parametreler.

Parametre	Tercih Edilen Değerler
Uygulama Yöntemi	Hassas Konumlama
Zenit Gecikmesi Kestirim Aralığı	1 Saat
Zenit Kısıtlaması	0,50
Yükseklik Eğim Açısı	10 Derece
Yörünge Bilgisi	JPL Hassas
İyonosfer Çözümü	İyonosferden Bağımsız
Kuru ve Islak İzdüşüm Fonksiyonu	VMF1

Çizelge 2'deki uygulama yöntemi, değerlendirmede kullanılacak çözüm stratejisi, zenit kısıtlaması değerlendirme sonucu elde edilecek zenit gecikmesi miktarlarına uygulanacak zorlama miktarını göstermektedir. Belirtilen zorlama miktarı metre cinsinden olup, zenit gecikmesi hesabında oluşabilecek kaba hataları gidermek için kullanılmaktadır. Ek olarak çalışmada iyonosferik gecikmenin giderilmesi için iyonosferden bağımsız çözüm uygulanmıştır.

3. Bulgular

Çalışmada ZONG istasyonuna ait iki yıllık gözlem verileri GIPSY-OASIS II yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Sonuç ürün olarak koordinat bilgileri ve zenit gecikmeleri elde edilmiştir. Meteorolojik parametreleri minimum değişkenliğe uğrayan fakat PM₁₀ miktarlarındaki değişimin büyük olduğu günlere Çizelge 4'te bazı örnekler verilmiştir. Bu günlere ait ıslak zenit gecikmeleri inceleyerek PM₁₀ miktarının etkisi araştırılmıştır. 2015 senesi sonrası, çalışma alanı olan Zonguldak'ta PM₁₀ miktarlarını etkileyen kömür kullanımı kademeli olarak azaldığı için çalışmada 2014 ve 2015 yıllarına ait veriler kullanılmıştır. Belirtilen tarihlerin Kasım, Aralık, Ocak ve Şubat aylarından oluşmasının sebebi ise kış aylarında kömür tüketiminin yoğun olmasıdır.

Çalışmada seçilen günlerin birbirine yakın olmasının sebebi ise yaklaşık olarak aynı meteorolojik parametrelere sahip fakat farklı PM₁₀ değerlerine sahip günlerdeki ZWD değerlerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Çizelge 3'te belirtilen günler birbirini takip eden ve aynı meteorolojik koşullara sahip olan günlere örnek teşkil ederken, kullanılan değerler gün içerisindeki ortalama değerlerdir. Sıcaklık, basınç ve nem gibi meteorolojik parametrelerin değişimleri, ZHD bileşeni hesabı ve modellenmesi için kullanılmaktadır.

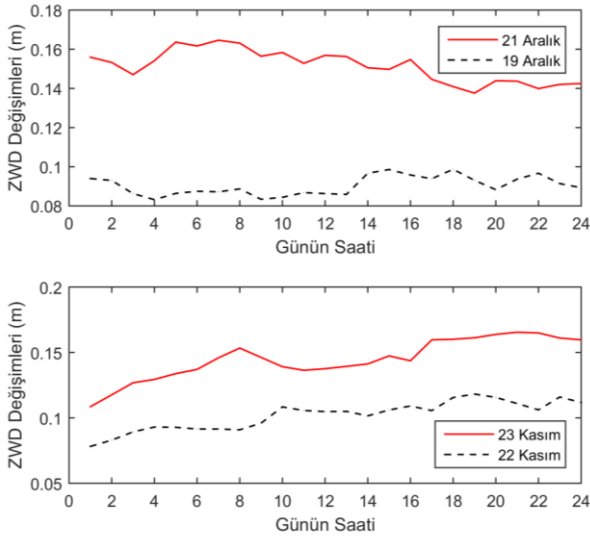
Çizelge 3. Belirlenen günlere ait ortalama meteorolojik parametreler.

Zaman	Sıcaklık (°C)	Basınç (hPa)	Nem (%)	Yağış (mm)	PM ₁₀ [µg/m ³]
15/01/2015	5.3	1002.26	88	0.0	182.5
16/01/2015	5.3	1009.24	81.2	0.0	124.2
06/02/2014	3.5	1004.30	85.8	0.0	133.6
07/02/2014	3.5	1004	84.4	0.0	160.9

05/12/2015	6.8	1017.32	66.0	0.0	94.0
07/12/2015	5.2	1020.05	66.8	0.4	146.7
19/12/2015	5.5	1015.67	85.5	0.0	117.9
21/12/2015	4.9	1010.88	73.0	0.0	147.4
22/11/2015	19.4	994.53	39.7	0.0	57.0
23/11/2015	20.0	1004.98	33.0	0.0	99.1
11/11/2015	15.0	1009.35	79.5	0.1	82.3
12/11/2015	13.8	1002.94	76.3	0.2	120.7
03/11/2014	9.7	1006.63	90.9	0.0	69.6
04/11/2014	9.2	1011.09	89.0	0.0	106.6
29/10/2014	14.7	999.03	80.7	0.0	51.4
30/10/2014	14.6	1003.15	79.7	0.0	80.2

19/12/2015	117.9	29.5	50
21/12/2015	147.4		
22/11/2015	57.0	42.1	40
23/11/2015	99.1		
11/11/2015	82.3	38.4	20
12/11/2015	120.7		
03/11/2014	69.6	37	10
04/11/2014	106.6		
29/10/2014	51.4	28.8	30
30/10/2014	80.2		

Belirtilen günler detaylıca incelendiğinde 05-07 Aralık 2015 tarihinde ortalama PM₁₀ miktarında 50 µg/m³ 'lük bir fark görülürken, ZONG istasyonunun GNSS verisinden hesaplanan ıslak zenit gecikmesi değerlerinde günlük ortalama 30 mm'lik bir fark belirlenmiştir. Şekil 3'te düşey eksen metre cinsinden ıslak zenit gecikmesini, yatay eksen günün saatini belirtmektedir.



Şekil 3. 19-21 Aralık 2015 ve 21-22 Kasım 2015 tarihlerine ait ıslak zenit gecikmesi değerleri.

Çizelge 3'te verilen diğer günlere ait ortalama PM₁₀ farkları ve sonuç olarak elde edilen ortalama ZWD farkları Çizelge 4'te verilmiştir. Bu örnekler ek olarak aynı meteorolojik koşullara ve PM₁₀ miktarlarına sahip günler de incelenmiştir. Farklı aylardan seçilen örnekler irdelendiğinde özellikle 1 ile 10 µg/m³'lük PM₁₀ farklılığına sahip olan günler seçilmiştir.

Çizelge 4. Belirlenen günlere ait PM₁₀ ve ZWD farkları.

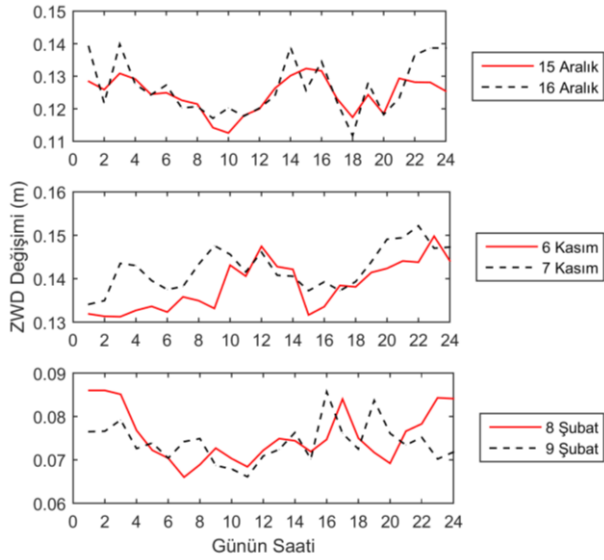
Zaman	PM ₁₀ Ort. [µg/m ³]	PM ₁₀ Farkları. [µg/m ³]	ZWD Farkları. [mm]
15/01/2015	182.5	58.3	20
16/01/2015	124.2		
06/02/2014	133.6	27.3	10
07/02/2014	160.9		
05/12/2015	94.0	52.7	30
07/12/2015	146.7		

Şekil 3'te aynı meteorolojik koşullarda farklı PM₁₀ değerlerine ait günlerin değerlendirildiği grafikler görülmektedir. PM₁₀ değeri değişimine bağlı olarak bulunan ZWD farklarının anlamlı olup olmadığının görülmesi için PM₁₀ değeri eşdeğer olarak kabul edilen (Değişim < 10 µg/m³) günlerde ZWD değişimleri incelenmiştir. Çizelge 5'te aynı meteorolojik koşullarda ve görece aynı PM₁₀ değerlerine sahip günlerin ZWD değerleri incelenmiştir.

Çizelge 5. Belirlenen günlere ait ortalama meteorolojik parametreler.

Zaman	Sıcaklık (°C)	Basınç (hPa)	Nem (%)	Yağış (mm)	PM ₁₀ Ort. [µg/m ³]
15/12/2015	7.5	1011.7	79	0.0	101.2
16/12/2015	5.3	1011.1	83.5	0.0	104.2
06/11/2015	11.8	1006	90.4	0.0	82
07/11/2015	12.1	1008.6	95.7	0.0	84
08/02/2015	3.9	991	81.6	0.0	61
09/02/2015	3	991.4	78	0.0	66

Çizelge 5'de belirtilen günler birbirini takip eden ve aynı meteorolojik koşullara sahip olan günlere örnek teşkil etmektedir. Belirtilen günler detaylıca incelendiğinde 15-16 Aralık 2015 tarihinde ortalama PM₁₀ miktarında 3 µg/m³'lük bir fark görülürken, ZONG istasyonunun GNSS verisinden hesaplanan ıslak zenit gecikmesi değerlerinde günlük ortalama 4 mm'lik bir fark belirlenmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. 15-16 Aralık 2015, 6-7 Kasım 2015 ve 8-9 Şubat 2015 tarihlerine ait ıslak zenit gecikmesi değerleri.

Çizelge 5’te verilen diğer günlere ait ortalama PM₁₀ farkları ve sonuç olarak elde edilen ortalama ZWD farkları Çizelge 6’te verilmiştir.

Çizelge 6. Belirlenen günlere ait PM₁₀ ve ZWD farkları.

Zaman	PM ₁₀ Ort. [µg/m ³]	PM ₁₀ Farkları. [µg/m ³]	ZWD Farkları. [mm]
15/12/2015	101.2	3	3
16/12/2015	104.2		
06/11/2015	82	2	4
07/11/2015	84		
08/02/2015	61	5	2
09/02/2015	66		

4. Tartışma ve Sonuç

Çalışma kapsamında Zonguldak ili Merkez ilçesinde bulunan ZONG GNSS istasyonu 2014-2015 yıllarına ait verilerinin değerlendirilmesi sonucu ıslak zenit gecikme değerleri elde edilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda şehir merkezinde bulunan hava kalitesi ölçüm istasyonu verilerinden elde edilen PM₁₀ değerleri, ZWD değerlerinin değişimleri ile birlikte irdelenmiştir. İncelemeler sonucu eş meteorolojik koşullara sahip birbirini takip eden günlerden PM₁₀ değerinin yüksek ve düşük olduğu günlere ait sonuçlar verilmiştir. Bu günlere ait saatlik ZWD değerleri, genel PM₁₀ değişimleri ile karşılaştırıldığında gün içerisinde özellikle öğlen saatleri (11:00-13:00) ve akşam (18:00-21:00) saatlerinde değişime uğradığı görülmektedir. Bu farkın sebebi ise Zonguldak kent

merkezinde kalorifer kazanlarının öğlen ve akşam saatlerinde günde iki kere kömür ile beslenmesi ve belirtilen saatlerde araç trafiği miktarının artışı gösterilebilir.

Eş meteorolojik koşullara ve farklı PM₁₀ değerlerine sahip günlerdeki genel ZWD farklılığı ise Çizelge 4’te de görüldüğü gibi gün içerisindeki PM₁₀ değişimine bağlı olarak 20-50 mm aralığında değişime uğramıştır. Birbirine çok yakın PM₁₀ değerlerine sahip günlerdeki genel ZWD farklılığı da Çizelge 6’da görüldüğü gibi gün içerisindeki değişime bağlı olarak 2-4 mm aralığında değişime uğramaktadır. Bu iki karşılaştırmadan elde edilen sonuç, PM₁₀ değerinin görece yüksek olduğu günlerde ortaya çıkan ıslak zenit gecikmesi farklarının, PM₁₀ değerinin görece düşük olduğu günlerde ortaya çıkan ıslak zenit gecikmesi farklarına kıyasla daha fazla olduğudur. Ancak, çalışma kapsamında yapılan analizlerde, aynı meteorolojik koşullara sahip ve birbirini takip eden günlere ait PM₁₀ miktarındaki değişim ile ZWD farkları arasında incelenen günler için lineer bir korelasyon bulunamamıştır. Bu durum geçmiş çalışmalarda da belirtildiği gibi PM₁₀’un GNSS uygulamaları üzerine tanımlanmış standart bir model olmamasının da sebebi olarak görülmektedir (Lau and He 2017). Ancak bu tip çalışmalar yapılarak gerek istasyon sayısının gerek ise değerlendirme için kullanılan verinin zaman aralığının arttırılması ile gelecekte bir model oluşturulması için adımlar atılması öngörülebilmektedir. Ek olarak yapılan bu çalışma, eş meteorolojik koşulların kullanılması ile PM₁₀ değerinin ZWD üzerindeki etkisinin araştırılması konusunda özgündür ve geliştirilmeye açıktır.

Çalışma alanındaki ıslak zenit gecikmesi ve dolayısı ile toplam zenit gecikmesi miktarlarında belirlenen bu farklılıklara ek olarak PM₁₀ miktarındaki yüksek değişimlerin konum bilgisine olan etkisinin araştırılması da konum doğruluğu çalışmalarına katkıda bulunacaktır. Ancak düşük seviyedeki PM₁₀ ortalamasına sahip çalışma alanlarında, PM₁₀ miktarının GNSS sinyallerine olan etkisi göz ardı edilebileceği bu çalışmanın önemli sayılabilecek bir sonucudur. Günümüz koşullarında, ısınma amacıyla

doğalgaz kullanımına kademeli olarak geçiliyor olsa da, özellikle enerji üretimi kaynaklı kömür tüketimi, PM₁₀ değerlerinin artmasına yol açmaktadır. PM₁₀ miktarındaki bu artışın, insan sağlığı ve görüş mesafesi üzerindeki etkilerine ek olarak hassas konumlama ve GNSS tabanlı diğer çalışmalara etkisi de yok sayılmamalıdır. Gelecekte jeodezik amaçlı yapılacak çalışmalarda, çalışma alanında ya da çalışma alanına yakın bölgelerdeki PM₁₀ değerlerinin elde edilmesi ve özellikle yüksek PM₁₀ miktarına sahip bölgelerde, PM₁₀ miktarının sebep olacağı sinyal gecikmelerinin göz ardı edilmemesi önerilmektedir. Gelecekte, çalışma kapsamında kullanılan GNSS istasyon sayısının ve değerlendirme için kullanılacak veri aralığının artırılması, aynı zamanda diğer hava kirliliği unsurlarının da göz önünde bulundurulması planlanmaktadır.

5. Kaynaklar

- Blewitt, G., 1989. Carrier phase ambiguity resolution for the Global Positioning System applied to geodetic baselines up to 2000 km. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **94(B8)**, 10187-10203.
- Gurbuz, G., Jin, S. G., Mekik, C., 2015. Sensing precipitable water vapour (PWV) using GPS in Turkey: validation and variations. *Satellite Positioning: Methods, Models and Applications*, InTech-Publisher, Rijeka, Croatia, 117-129.
- Hopfield, H. S., 1971. Tropospheric effect on electromagnetically measured range: Prediction from surface weather data. *Radio Science*, **6(3)**, 357-367.
- Lau, L., He, J., 2017. Investigation into the effect of atmospheric particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀) concentrations on GPS signals. *Sensors*, **17(3)**, 508.
- Linkwitz, K., Hangleiter, U., 2012. High precision navigation: integration of navigational and geodetic methods. Springer Science & Business Media, Germany, 647.
- Müezzinoğlu, A., 1987. Hava Kirliliğinin ve Kontrolünün Esasları, Dokuz Eylül Üniversitesi, Yayınları, İzmir, 165-167.
- Özlüdemir, M. T., 2004. The Stochastic Modelling of GPS Observations. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, **28**, 223 – 231.
- Saastamoinen, J., 1972. Atmospheric correction for the troposphere and stratosphere in radio ranging satellites. *The use of artificial satellites for geodesy*, **15**, 247-251.
- Seinfeld, J. H., Pandis, S. N., 2016. Atmospheric chemistry and physics, from air pollution to climate change. 2nd edition, John Wiley and Sons Inc., U.S.A, ISBN: 0-471-82857-2, 1120.
- Tekbaş, Ö. F., 2010. Çevre Sağlığı. Gülhane Askeri Tıp Akademisi Basım Evi. Ankara. **5**, 143, 156.
- U.S. Environmental Protection Agency, 1987. Indoor Air Quality Implementation Plan, Appendix A, USA.
- Webb, F., Zumberge J., 1995. An introduction to Gipsy/Oasis II, Rep. JPLM D-11088, Jet Propulsion Lab., Pasadena, California, U.S.A.
- Zeydan, Ö., 2014. Zonguldak Bölgesi PM₁₀ Konsantrasyon Dağılımının Modellenmesi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 184.