

## Atmosferik Belirsizliklerin Jeodezik Uzunluk Ölçülerine Etkisi Üzerine Bir İnceleme

Turgut Uzel\*

### Abstract

Atmospheric conditions affect velocity of an electromagnetic wave which travels through the atmosphere in a fine geodetic distance measurement. In this manner, accuracy of the distance measurement is up to atmospheric irregularities during the survey. In an electrooptic distance measurement, an atmospheric refraction index doesn't depend on a wavelength of light used. But  $-1$  °C of deviation in atmospheric temperature or 2.4 mbar of deviation in atmospheric pressure results of 1 ppm of an error in the distance measured. A partial pressure of water vapour pressure in the atmosphere may be negligible.

### Özet

Elektromagnetik dalgalar yardımıyla yapılan incelikli jeodezik uzunluk ölçümlerinde atmosferik koşullar, elektromagnetik dalgaların hızlarında değişiklik yaratır. Atmosferik koşulların yeterli duyarlılıkta belirlenememesi, ölçü inceliğini etkiler. Işık kullanılarak yapılan uzunluk ölçümlerinde, atmosferik kırılma indisi, kullanılan ışığın dalga boyundan bağımsızdır. Atmosferik sıcaklıktaki  $-1$  °C ve atmosferik basınçtaki 2,4 mbar'lık bir sapma, uzunlukta 1 ppm'lik bir hataya neden olur. Ancak atmosferdeki su buharının kısmi basıncı ölçüm inceliğini pek fazla etkilemez.

**Anahtar Sözcükler:** *Jeodezi, kırılma, incelik, duyarlılık*

### 1. Giriş

Işık ışınlarıyla yapılan jeodezik ölçümlerde uzunluk,

$$D = \frac{1}{2} v \cdot \Delta t \quad (1)$$

formülüyle hesaplanır. Bu formülde  $D$ , ışık ışınlarının ölçülen uzunluğun bir ucundan diğerine gidiş-dönüş süresini belirtir. Işık ışınlarının atmosferdeki yayılma hızını gösteren  $v$

$$\text{ise } v = \frac{c}{n} \quad (2)$$

formülüyle tanımlanır. Burada  $c$ , ışığın boşluktaki yayılma hızı;  $n$  ise atmosferik kırılma indisidir. Buna göre uzunluk,

$$D = \frac{1}{2} \frac{c}{n} \Delta t \quad (3)$$

formülüyle ifade edilebilir. Değişkenlerin fonksiyona etkisi Gauss'un hata yayılma ilkesine göre:

\* İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul Kültür Üniversitesi, 34 191 Şirinevler / İstanbul

$$\begin{aligned}
\partial D &= -\frac{1}{2} \frac{c}{n^2} \Delta t \cdot \partial n + \frac{1}{2} \frac{c}{n} \partial \Delta t \\
&= -\frac{1}{n} \frac{c}{n} \Delta t \cdot \partial n + \frac{1}{\Delta t} \frac{1}{2} \frac{c}{n} \Delta t \cdot \partial \Delta t \\
&= -\frac{1}{n} D \cdot \partial n + \frac{1}{\Delta t} D \cdot \partial \Delta t
\end{aligned} \tag{4}$$

olarak bulunur. Bu formül, kırılma indisinin belirlenmesinde yapılan 1 ppm'lik bir hatanın ölçülen uzunluğu aynı oranda etkileyeceğini gösterir.

## 2. Kırılma

Kırılma indisi  $n$  olan bir ortamda, ölçülecek uzunluğu belirleyen A noktasından B noktasına giden bir ışık ışınının  $dt$  zamanında aldığı yol,

$$dD = v \cdot dt \tag{5}$$

diferansiyel denklemi ile tanımlanabilir. Işık ışınının bu iki nokta arasında gidiş dönüş süresi,

$$\begin{aligned}
\Delta t &= \int_A^B \frac{df}{v} + \int_B^A \frac{df}{v} = 2 \int \frac{df}{v} \\
&= 2 \frac{1}{c} \int_A^B n \cdot dD
\end{aligned} \tag{6}$$

entegrali ile belirlenir.

Homojen olmayan ortamlarda elektromagnetik dalgaların yayılması, Ferma ilkesine uygun olarak gerçekleşir. Uzunluk ölçümünde kullanılan bu dalgalar, AB arasındaki en kısa yolu izlerler. Bu,

$$2 \int_A^B n \cdot dD = v \cdot \Delta t = \min \tag{7}$$

şeklinde tanımlanabilir.

## 2.1. Kırılma İndisi

Işık ışınlarının atmosferik kırılma indisi için çeşitli bilim adamları tarafından verilen değişik formüller vardır. Ancak, jeodezik ölçümlerde Kohl-Rausch'un modifiye ettiği Barrel-Sears /1-7/'in formülleri kullanılır. Jeodezik uzunluk ölçümünde genellikle la-serden yararlanıldığı için hız yerine grup hızı ve kırılma indisi yerine grup kırılma indisi geçerlidir. Buna göre, 0 °C sıcaklık, 760 mm civa basıncı ve %0,03 CO<sub>2</sub> içerikli kuru havadaki grup kırılma indisi,

$$(n_{go} - 1) \cdot 10^6 = 287,604 + \frac{4,8864}{\lambda^2} + \frac{0,068}{\lambda^4} \quad (8)$$

ve diğer atmosferik koşullarda grup kırılma indisi,

$$(n_g - 1) \cdot 10^6 = 0,2696 (n_{go} - 1) \frac{P - 0,14e}{T_d} \quad (9)$$

formülleriyle tanımlanır. Bu formüllerde,

$\lambda$  : kullanılan ışığın mikrometre cinsinden dalga boyu,

$P$  : mbar cinsinden atmosferik basınç,

$T_d$  : °K cinsinden atmosferik sıcaklık

$e$  : mbar cinsinden atmosferdeki su buharının kısmi basıncı'dır.

Şimdi, kullanılan ışığın dalga boyu, atmosferik sıcaklık, atmosferik basınç ve su buharı kısmi basıncındaki değişimlerin kırılma indisine etkilerini inceleyelim.

### 2.1.1. Dalga Boyunun Etkisi

Kullanılan ışığın dalga boyundaki değişimlerin kırılma indisine etkisi, /8/ formülünden:

$$\partial n_{go} = - \left( \frac{9,7728}{\lambda^3} + \frac{0,252}{\lambda^5} \right) \cdot 10^{-6} \partial \lambda \quad (10)$$

olarak hesaplanır. ngo'daki 1 ppm'lik bir değişim için l=0,6 mm varsayılarak yapılan hesapla:

$$\partial \lambda = 20833 \mu\text{m}$$

bulunur ki, bu, ışıkta kırılma indisinin dalga boyundan bağımsız olduğunu gösterir.

### 2.1.2. Sıcaklığın Etkisi

(9) no.lu formülden sıcaklık değişiminin fonksiyona etkisi,

$$\partial n_{go} = 0,269(n_0 - 1) \frac{P - 0,14e}{T_d^2} \cdot 10^{-6} \partial T_d \quad (11)$$

olarak bulunur.

18 °C sıcaklık,  $P = 960$  mbar,  $e = 10$  mbar ve  $n_o = 1,000329$  alınarak yapılan bir hesapla, sıcaklıkta -1 °C'lık bir değişimin, kırılma indisinde 1 ppm'lik bir değişime neden olacağı anlaşılır.

### 2.1.3. Basıncın Etkisi

Aynı yolu izleyerek:

$$\partial n_{go} = 0,269(n_0 - 1) \frac{0,14e}{T_d} \cdot 10^{-6} \partial P \quad (12)$$

bulunur. Örneğin,  $T_d = 18$  °C,  $e = 10$  mbar ve  $n_o = 1,000329$  olarak alınırsa, basınçtaki 2,4 mbar'lık bir değişimin, kırılma indisinde 1 ppm'lik bir değişime neden olacağı görülür.

### 2.1.4. Su Buharı Basıncının Etkisi

Benzer şekilde yapılan bir hesapla,

$$\partial n_{go} = - \frac{0,269 (n_0 - 1) \cdot 0,14}{T_d} 10^{-6} \partial e \quad (13)$$

olarak bulunur.

Sıcaklık 18 °C ve  $n_o = 1,000329$  alınarak -23,5 mbar'lık bir değişimin kırılma indisinde 1 ppm'lik bir değişime neden olacağı anlaşılır. Bu nedenle ışıkta kırılma indisinin hesaplanmasında, atmosferdeki su buharı kısmi basıncı ihmal edilebilir.

### 3. Sonuç

Jeodezik uzunluk ölçümlerinde kırılma indisinin, yol boyunca belirlenip bunun ortalamasının alınması gerekir. Yol boyunca kırılma indisinin bulunması için ise yol boyunca sıcaklık ve yol boyunca basıncın ölçülmesi icap eder ki, bu, hemen hemen olanaksızdır. Akla yakın ve uygulaması olanaklı en iyi yol, bu ölçümleri, uzunluğun iki ucunda yapıp ortalamasını almaktır. Bu durumda yol boyunca sıcaklık ile ortalama sıcaklık ve yol boyunca basınç ile ortalama basınç arasında mutlaka farklar olacaktır. Elbette bu farklar da kırılma indisine yansiyacaktır.

#### 3.1 Sıcaklık

Ölçü aletini ve yansıtıcıyı yerden yaklaşık 1,50-1,60 m yüksekliğe kurarak ölçüm yaparız. Sıcaklık ölçümlerini de 0,5 veya 1 °C okuyan civalı veya elektronik termometrelerle yaparız. Bu nedenlerle her iki uçta yapılan bu iki okumanın ortalaması, yukarıda da değinildiği gibi hiçbir zaman yol boyunca sıcaklık ortalaması olamaz. Bomford /6/, bu iki değer arasındaki sapmanın en az birkaç °C olabileceğini belirtmektedir.

Bundan başka karanın çabuk ısınıp çabuk soğuması, havanın ise buna göre daha geç ısınıp daha geç soğuması, yer ile yerden 2 m yükseklikteki ısı iletiminde, özellikle sıcak günlerde gün boyunca değişen ve "anaför ısı iletimi" olarak tanımlanan oldukça etkili bir belirsizlik yaratır. Geceleri ise yere yakın havanın soğuması dengeli olmadığı için belirsizlik daha da fazlalaşır.

Birkaç dakika süren ani bir rüzgar da bu katmanda sıcaklığın birkaç derece düşmesine neden olabilir.

Arazinin topoğrafyası ve diğer özellikleri de düşünüldüğünde, iki uçta ölçülerek yapılan yol boyunca sıcaklık tahmininde çoğunlukla 3-5 °C'lık sapmaların daima mümkün olabileceğini varsaymak gerekir ki, bu, sonuçta ölçüm duyarlılığının 3-5 ppm etkilenmesi demektir.

Çözüm olarak büyük incelik istenen ölçümlerde, aletin ve yansıtıcının elden geldiğince yüksek kurulması, en azından uzunluğun ortasında da sıcaklık ölçülerek ortalamaya dahil edilmesi, ölçümlerin saat 10-14 arasında yapılması, birden fazla renk ışık kullanılarak ölçüm yapılması önerilebilir.

#### 3.2. Basınç

Basınç için iki uçta anaroid barometrelerle ölçülerek ortalama alınması yeterlidir. 100 km den daha kısa uzunluklarda basınç değişmesi, normal atmosferik koşullarda genellikle 3 mbar'dan daha küçük olmaktadır ki bu sapma, yaklaşık olarak ölçülen uzunluk değerini 1 ppm kadar etkiler.

#### Kaynaklar

- [1] Deumlich, (1983), "Surveying Instruments", Berlin.
- [2] Clendinning, Olliver, (1972), "Principles and Use of Surveying Instruments", London.
- [3] Torge, (1980), "Geodesy", New York.
- [4] "American Institute of Physics Handbook", (1998), Mc Graw-Hill Company, New York.
- [5] Lévallois.(1969), "Géodésy Générale I", Paris.
- [6] Bomford, (1971), "Geodesy", Oxford.
- [7] aKahmen H., (1988), "Surveying", Berlin.