



Kronometrik Nivelman Yöntemi ile Eşpotansiyel Yüzeylerin Belirlenmesi

Determination of Equipotential Surfaces by Chronometric Leveling Method

Hasan Onur Işık^{1,2✉}, Mustafa Tevfik Özlüdemir², Kerem Halıcıoğlu³

¹*İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İmar ve Şehircilik Dairesi Başkanlığı, Harita Şube Müdürlüğü, 34134, İstanbul.*

²*İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 34469, İstanbul.*

³*Freie Universität Berlin, Department of Mathematics and Computer Science, 14195, Berlin.*

✉ isikh@itu.edu.tr

Özet

Eşpotansiyel yüzeylerin belirlenmesine ilişkin geleneksel yöntemler gravite ve yükseklik ölçmelerine dayanmaktadır. Bu yaklaşımlar yola bağımlı olarak biriken hatalar barındırırken, yüzey bilgisinin farklı veri kombinasyonları ile dolaylı olarak elde edilmesi de hata birikimini artırmaktadır. Konvansiyonel yöntemlerin önemli sorunları arasında arazi koşulları nedeniyle ölçmelerin artmasına bağlı olarak artan işgücü ve hata miktarı yer almaktadır. Farklı yükseklik sistemlerinin birleştirilmesi ise yükseklik belirleme çalışmalarının bir diğer güncel sorunudur. Ulusal yükseklik sistemleri arasındaki datum farklılıkları desimetreler mertebesine ulaşabilmektedir. Bu bağlamda yüksek doğruluğa sahip bir küresel yükseklik referans sisteminin belirlenmesi önemli bir ihtiyaçtır. Jeodezi'nin güncel konuları arasında yer alan bu problemler için farklı çözüm yöntemleri önerilmektedir. Günümüzde güncel çalışmaların yoğunlaştığı yöntemlerden birisi de kronometrik nivelman yöntemidir.

Kronometrik nivelman yöntemi Einstein'in Genel Görelilik Teorisi'nin bir sonucu olarak 1986 yılında Bjerhammar tarafından önerilmiştir. Teoriye göre uzay-zaman geometrisi kütle tarafından belirlenmektedir. Aynı kütleçekimsel potansiyele sahip yüzeyler, aynı uygun zamanı (proper time) ölçerler. Böylece yüksek hassasiyette zaman ölçmeleri, eşpotansiyel yüzeyler arasındaki potansiyel farkın belirlenmesini mümkün hale getirir.

Görelilik etkilerinin gözlemlenmesini mümkün kılacak araçların gelişimi son yıllarda artmaktadır. Optik spektrumda yüksek frekans gözlemleri yapmayı mümkün kılan gelişmeler neticesinde optik atom saatleri, yüksek doğruluklu ve kararlı olacak şekilde geliştirilmektedir. Optik atomik saatleri kullanarak optik fiber iletim teknolojisi aracılığıyla 10^{-18} mertebesinde frekans karşılaştırma presizyonunun elde edilmesi yapılan birçok çalışma ile görülmüştür. Günümüzde frekans farkı belirleme presizyonu $\Delta v/v \approx 10^{-18}$ olan bir optik atomik saat ile, yerçekimi ivmesi $g \approx 10 \text{ m/s}^2$ ve $c \approx 300\,000\,000 \text{ m/s}$ olmak üzere; yaklaşık 1 santimetrelik yükseklik değişimlerini belirlemek mümkün hale gelmiştir. Geleneksel yöntemlere ilişkin zorlukların aşılmasına dönük motivasyon ile birlikte bu gelişmeler kronometrik nivelman yöntemini yeniden, uygulamalı olarak gündeme getirmiştir.

Bu kapsamda Küresel Birleşik Yükseklik Sistemi ve cm geodi belirleme problemleri konusunda kronometrik nivelman, çözüm üretebilecek yöntemlerden birisi olarak IAG'nin gündemine aldığı bir konu olmuştur. Ayrıca frekans transfer teknikleri ve atom saati ağları üzerine çalışmalar yürütülmeye devam etmektedir. Optik fiber frekans karşılaştırma ağlarının yanı sıra taşınabilir atom saati uygulamaları ve GNSS frekans transfer teknikleri üzerine çalışmalar da sürdürülmektedir.

Bu çalışma kapsamında kronometrik nivelman yöntemi hakkında literatür verisi ile birlikte Avrupa Kıtası ölçeğindeki yoğunluklu olmak üzere yapılan çalışmalar incelenmiş ve yöntemin ulusal yükseklik sistemine sağlayabileceği olası katkılar ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Relativistik Jeodezi, Kronometrik Nivelman, Geoit Belirleme, Eşpotansiyel Yüzey, Atomik Saat*

Abstract

Traditional methods for determining equipotential surfaces are based on gravity and height measurements. While these approaches contain errors that accumulate depending on the path, obtaining surface information indirectly with different data combinations also increases the error accumulation. Among the important problems of conventional methods are the increased workforces and error amount



due to the increase in measurements as a result of field conditions. Unification of different height systems is another current problem of height determination studies. The datum differences between national height systems can reach the order of decimetres. In this context, it is an important requirement to determine a high-accuracy global height reference system. Different solution methods are suggested for these problems, which are among the current topics of geodesy. One of the methods that current studies concentrate on is the chronometric leveling method.

The chronometric leveling method was proposed by Bjerhammar in 1986 as a result of Einstein's General Theory of Relativity. According to the theory, the geometry of space-time is determined by mass. Surfaces with the same gravitational potential measure the same proper time. Thus, high-precision time measurements make it possible to determine the potential difference between equipotential surfaces.

The development of tools that make it possible to observe the effects of relativity has been increasing in recent years. As a result of the developments enabling make high frequency observations in the optical spectrum, optical atomic clocks are developed to be highly accurate and stable. Obtaining frequency comparison precision of the order of 10^{-18} by means of optical fiber transmission technology using optical atomic clocks has been seen in many studies. Today, with an optical atomic clock with frequency difference determination $\Delta\nu/\nu \approx 10^{-18}$, gravitational acceleration $g \approx 10 \text{ m/s}^2$ and $c \approx 300\,000\,000 \text{ m/s}$; It has become possible to detect height changes of about 1 centimeter. Together with the motivation to overcome the difficulties related to traditional methods, these developments revive practically the chronometric leveling method again.

In this context, chronometric leveling method for the Unification of Unified Global Height Reference System and cm geoid determination problems has been a topic that IAG has taken to its agenda as one of the methods that can solve these. In addition, studies on frequency transfer techniques and atomic clock networks continue to be carried out. In addition to optical fiber frequency comparison networks, studies on portable atomic clock applications and GNSS frequency transfer techniques also carry on.

Within the scope of this study, the literature data about the chronometric leveling method, as well as the studies on the European Continent scale, were examined and the possible contributions of the method to the Turkey National Height System were discussed.

Keywords: *Relativistic Geodesy, Chronometric Leveling, Geoid Determination, Equipotential Surface, Atomic Clock*