

# Ray Hattı Geometrisinin Belirlenmesine Yönelik Ölçme Sistemi Tasarımı ve Geliştirilmesi

Burak AKPINAR<sup>1</sup>, Engin GÜLAL<sup>2</sup>

## Özet

Günümüzde şehir içi raylı sistemler hızlı, ekonomik, çevre dostu, güvenli ve çağdaş sistemler olmaları dolayısıyla özellikle büyükşehirlerde gittikçe önem kazanmaktadır. Raylı sistemlerin en önemli özelliklerinden biri güvenilir ulaşım aracı olmalarıdır. Bu özelliğin devam ettirilebilmesi, bu sistemlere yapılan düzenli bakımlarla sağlanabilir. Bu bakımlar içinde de deformasyon ölçmeleri önemli yer tutmaktadır.

Raylı sistemlerdeki üstyapı elemanlarında meydana gelen deformasyonların belirlenmesi amacıyla klasik jeodezik ölçme yöntemleri kullanılmaktadır. Mevcut ölçme yöntem ve sistemleri ile yapılan ölçme işlemi çoğu zaman uzun süreler almaktadır.

Bu çalışmada, raylı sistemlerdeki jeodezik ölçmelerde hız ve güvenilirliğin sağlanabilmesi için tasarlanan ölçme sistemi tanıtılmakta ve ilk test sonuçları verilmektedir.

## Anahtar Sözcükler

Ray hattı geometrisi, mühendislik ölçmeleri, GPS, Kalman Filtreleme Tekniği.

## Abstract

### Geodetic Measurement System Design and Application for Determining the Railway Geometry

Nowadays, urban railway systems are being developed especially in metropolises because they are faster, economic, environment friendly, safe and modern transportation systems. One of the most important characteristics of Railway Systems is safety. This characteristic can be continued by only periodical maintenance. Deformation measurements are important phase of this maintenance.

Conventional geodetic methods are used for determining the railway deformations. Measurement processes with these methods are usually taken long time.

In this study, a new measurement system is described to provide the fast and reliable measurements.

## Key Words

Railway geometry, engineering measurements, GPS, Kalman Filtering.

## 1. Giriş

Raylı sistemlerde yaşanan gelişmeler, bu sistemlerin güvenilirliği ve seyahat konforunun sürdürülebilmesi için düzenli bakım ve kontrol yapılması gereğini beraberinde getirmek-

tedir. Raylı sistemlerde yapılan bakım ve kontrol işlemleri içinde üstyapı kontrolü önemli bir yer tutmaktadır. Üstyapı üzerinde çeşitli etkilerden dolayı zamanla deformasyonlar meydana gelmektedir. Bu deformasyonların zamanında tespit edilmesi ve düzeltilmesi raylı sistemlerin güvenilirliği açısından büyük önem taşımaktadır. Deformasyonların tespit edilmesi aşamasında jeodezik ölçmeler birinci derecede önemlidir.

Raylı sistemlerde, özellikle üstyapı bakımında klasik jeodezik ölçmeler yoğun olarak kullanılmaktadır (ÜNLÜTEPE, 2005; TARHAN ve AKPINAR, 2005; YILMAZ vd, 2007). Ancak raylı sistemlerdeki deformasyonların belirlenmesinde kullanılan klasik ölçme yöntemleri, raylı sistemlerde yaşanan gelişmelerle birlikte yetersiz kalmaya başlamıştır. Çünkü bu yöntemler ile kısa bir hattın ölçümü bile uzun süreler almaktadır.

Günümüz itibarıyla raylı sistemlerde, ray hattı geometrisinin belirlenmesinde uygulanan klasik jeodezik ölçme yöntemlerine alternatif pek çok ölçme donanımı ve yöntemi geliştirilmiştir. Bu çalışmada ray üzerinde hareket eden bir araç ve araç üzerindeki ölçme donanımları ile ray hattı geometrisi ile ilgili parametreler hesaplanmaktadır. Bahntechnik firması tarafından geliştirilen Rhombert sistemi (DUNISCH vd, 2000), Geo++ firması tarafından geliştirilen GnBahn sistemi (MILEV ve GRUENDIG, 2004), Amberg firması tarafından geliştirilen GRP sistemi (AMBERG TECHNOLOGIES, 2007) bunlar için örnek olarak verilebilir.

Bu çalışma kapsamında tasarlanan ölçme sistemi ile raylı sistemlerde üstyapı kontrolünde uygulanan klasik jeodezik ölçme sistem ve yöntemlerine alternatif geliştirilmiştir. Tasarlanan yeni sistem ile üstyapı kontrolünde uygulanan ölçme yöntemlerine hız ve güvenilirlik kazandırılması amaçlanmıştır. Hız ve güvenilirliğin yanında yeni ölçme sistemi ile yapılan ölçmeler sonucunda ray hattındaki deformasyon miktarlarının belirlenerek, ray hattına ait düzeltme miktarlarının buraj makinalarında girdi olarak kullanılabilmesi amaçlanmıştır. Bu sayede raylı sistemlerde üstyapı bakım ve kontrolünde otomasyon sağlanması mümkün olacaktır.

## 2. Ölçme Sistemi

Geliştirilen ölçme sistemi ana gövdesinde alüminyum malzeme kullanılmıştır. Malzemenin seçiminde hafif, mukavemeti yüksek ve korozyona dayanıklı olma özellikleri esas alınmıştır. Şekil 1 de ölçme sisteminin genel görünümü verilmiştir.

<sup>1</sup> Arş. Gör. Dr., <sup>2</sup> Doç. Dr., Yıldız Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Esenler, İstanbul



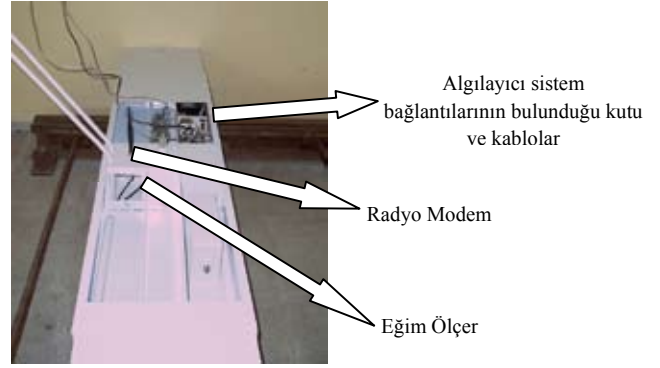
Şekil 1: Ölçme sistemi genel görünümü.

Alüminyum ana gövde, iki adet demir profil üzerinde taşınmaktadır. Sistem bu demir profillere bağlanan dört adet flanşlı tekerlek ile ray üzerinde hareket etmektedir. Tekerlekler alüminyum üzerine poliüretan malzeme kaplanması ile özel olarak üretilmiştir. Bu sayede tekerleklerin hafif olmasının yanında dayanıklılığının artırılması sağlanmıştır. Sistem bu tekerlekler sayesinde mantar raylı hatların yanında genellikle tramvay hatlarında bulunan oluklu raya sahip hatlarda da çalışabilmektedir.

Araç üzerine, ray hattında çalışma yapıldığı zaman ray hattı orta eksenine ile çakışık olacak şekilde, 1 m uzunluğunda bir jalon yerleştirilmiştir. Bu jalon ölçmeler sırasında, total station ölçümleri için kullanılan yansıtıcıyı ve özel olarak üretilen bir aparat ile de GPS alıcı antenini taşımaktadır (Şekil 1).

Ölçme sistemi üzerinde ayrıca aracın itilerek sürülmesi amacıyla bir dümen tasarlanmıştır. Bu dümen üzerine sistemi kontrol eden yazılımın yüklü bulunduğu bir dizüstü bilgisayar bulunmaktadır.

Aracın ana gövdesi kapaklı üç bölümden oluşmaktadır (Şekil 2). İlk bölümde, algılayıcı sistem bağlantılarının bulunduğu kutu, total station tarafından radyo modem ile gönderilen verilerin bilgisayar ortamına aktarılması sağlayacak bir radyo modem ve eğim ölçer ile Lineer Yerdeğişimi Algılayıcısı (LVDT) bağlantılarını sağlayan kablolar bulunmaktadır. Ana gövde içindeki ikinci bölümde eğim ölçer bulunmaktadır. İki eksenli eğim ölçer, dever değerlerinin belirlenebilmesi için, Y eksenine ray hattı gidiş doğrultusunda, X eksenine gidiş doğrultusuna dik konumda, olacak şekilde yerleştirilmiştir. Ana gövdenin alt kısmında ise, ray açıklığının belirlenebilmesi için LVDT bulunmaktadır. Ana gövde içindeki üçüncü bölüm ise, ray hattında yapılan ölçmeler sırasında boş bulunmaktadır. Ölçme işlemi bittikten sonra, GPS alıcı anteni ve yansıtıcıyı taşıyan jalon ve aparatı bu bölüme yerleştirilmektedir.



Şekil 2: Ölçme sistemi içindeki bölümler.

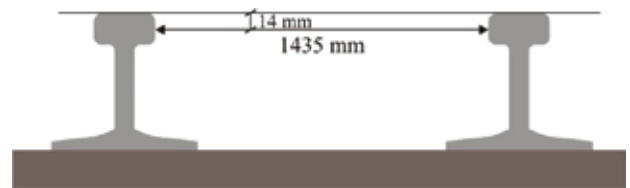
## 2.1. Sistem Bileşenleri

### 2.1.1. Algılayıcı Sistemler

Bu çalışmadan kullanılan algılayıcı sistemler Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü 26-05-03-02 YTÜ BAPK numaralı “Raylı Sistemlerde Deformasyonların Belirlenmesine Yönelik Ölçme Sistemi Tasarımı” konulu araştırma projesi kapsamında temin edilmiştir.

#### Lineer Yer Değişimi Algılayıcısı

Rayların iç kenarları arasındaki yuvarlanma yüzeyinden 14 mm aşağıda ölçülen açıklık ekartman olarak adlandırılmaktadır (Şekil 3). Ray hatlarındaki ekartman değerlerinin Uluslararası Demiryolu Birliği standartlarına uygun olarak belirlenebilmesi için, yüksek doğruluklu uzunluk ölçme sistemine gereksinim duyulmaktadır. Bunu karşılayabilmek için, yer değişimi ölçümünde tekrarlanabilirliği 0.0006 mm olan, LVDT tercih edilmiştir. Şekil 4 de ölçme sisteminde ekartman değerlerini belirlemek amacıyla kullanılan LVDT görülmektedir.



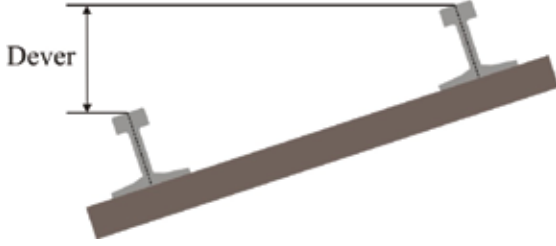
Şekil 3: Ekartman



Şekil 4: Ekartman belirleme amacıyla kullanılan LVDT.

### Eğim Ölçer

Kurplarda merkezkaç kuvvetinin savurma etkisini elimine etmek amacıyla iki ray arasında oluşturulan yükseklik farkı dever olarak adlandırılır (Şekil 5). Dever ve boyuna eğim miktarlarının UIC standartlarına uygun olarak belirlenebilmesi için HLPlanar Teknik firması tarafından üretilen NS-15/V2 modeli çift eksenli eğim ölçer tercih edilmiştir. Şekil 6 da ölçme sisteminde kullanılan çift eksenli eğim ölçer verilmiştir.



Şekil 5: Dever (TSE, 2004)



Şekil 6: Ölçme sisteminde kullanılan eğim ölçer

### 2.1.2. Konum Belirleme Sistemleri

Tasarlanan ölçme sisteminde konum belirleme amaçlı RTK GPS alıcıları ve total station kullanılmaktadır. Konum belirleme sistemleri, özellikle ray hattının yatay ve düşey mutlak konum bileşenlerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır.

### RTK GPS Alıcıları

Ölçme sisteminde ray geometrisinin belirlenmesi amacıyla çift frekanslı RTK GPS alıcıları kullanılmaktadır. RTK yönteminde referans alıcıda, hesaplanan taşıyıcı dalga faz ölçü düzeltmelerini yayımlayan bir radyo vericisi, gezici alıcıda da referans alıcı tarafından yayımlanan düzeltmeleri alan bir radyo alıcısı kullanılır (LEMMON, 1999; HOFMANN-WELLENHOF vd., 2001; GÜLAL ve AKPINAR, 2003).

RTK yönteminde istenilen sıklıkla koordinat bilgisi elde etmek mümkündür. Günümüzdeki GPS alıcıları 10 Hz – 20 Hz'e kadar veri toplayabilmektedir. Bu da 0.1 saniyede hatta 0.05 saniyede bir koordinat bilgisi elde edilmesi anlamına gelmektedir. RTK yöntemi ile toplanan koordinat verilerinin

bilgisayar ortamına aktarılabilmesi için alıcıdan bağımsız bir veri formatına ihtiyaç vardır. Günümüzde her marka ve model GPS alıcısı NMEA formatında veri çıkışına olanak sağlamaktadır. Ölçme sistemi ile yazılımı, NMEA veri formatına dayalı işlem yapmaktadır. Bu sayede ölçme sistemi, kullanılacak GPS cihazlarının marka ve modelinden bağımsızdır.

### Total Station

Ölçme sisteminde GPS in kullanımının mümkün olmadığı bölgelerde sistem total station ile desteklenmektedir. Günümüzde ulaşılan teknoloji total station ile hareketli objelerin izlenmesine olanak vermektedir. Bu amaç için ATR sistemli Leica TCRA1201 tercih edilmiştir. TCRA1201 total station seçilmesinde, reflektörü otomatik takip etme (ATR) özelliğinin olması ve açı ölçme doğruluğunun 0.3 mgon olması büyük etken olmuştur (LEICA GEOSYSTEMS AG, 2005).

Anlık olarak ray geometrisinin belirlenebilmesi için, total station ile toplanan verilerin ölçme sistemine kablosuz bir iletişimle aktarılması gerekmektedir. Bu amaçla, biri total stationa, diğeri ise ölçme sistemi üzerindeki bilgisayara bağlanmak üzere 2 adet radyo modem kullanılmıştır.

### 2.1.3. Ölçme Sistemi Yazılımı

Ölçme sistemi bileşenlerinden alınan verilerin bilgisayar ortamına aktarılması ve ölçülen ray hattına ait geometrik parametrelerin belirlenerek, deformasyon miktarlarının hesaplanabilmesi için, ölçme sistemi ile entegre çalışacak bir yazılım geliştirilmiştir.

Ölçme sistemi yazılımı için Microsoft Visual Studio. NET ailesinden C# programlama dili seçilmiştir.

Ölçme sistemi yazılımı, proje verilerinin mevcut olduğu hatlarda kontrol amaçlı, proje verilerinin mevcut olmadığı hatlarda rölöve amaçlı ölçme yapabilecek kapasitede tasarlanmıştır. Ölçme işlemi sırasında ray hattı geometrik parametrelerinden, ray hattı orta eksen yatay konumu, sağ ve sol ray yükseklikleri, ekartman, dever ve boyuna eğim miktarları hesaplanmaktadır. Hesaplanan bu büyükler, raylı sistem güzergahları ile ilgili uluslararası standartlara göre karşılaştırılmaktadır. Kullanıcıya istenildiği takdirde kendi standartlarını tanıma imkanı da sağlanmıştır. Ray hattı orta eksen yatay ve düşey konumu, ekartman, dever ve boyuna eğim miktarları ile ilgili tolerans değerler yazılıma girilebilmektedir.

Yazılım, sistem bileşenlerinden aktarılan verileri istenilen kayıt aralıklarında aldıktan sonra, UTC zamanı ile birlikte bir dosyaya kaydetmektedir. Ray hattına ait proje bilgilerinin yazılıma yüklenmesi ile anlık olarak ölçülen hattın proje verilerinden olan sapma miktarları ya da kullanıcı tarafından tanımlanan özel tolerans değerlerinden olan sapma miktarları hesaplanıp, kullanıcıya gösterilmektedir. Şekil 7 de ölçme ekranı ile ilgili örnek verilmiştir. Bu ekrandaki yeşil renk, anlık olarak ölçülen noktaya ait söz konusu büyüklüğün standartları sağladığını, sarı renk sınır değerler içinde olduğunu, kırmızı renk ise standartların dışına çıktığını ve ray hattının ölçülen bölümünün deformasyona uğradığını ifade etmektedir.



Şekil 7: Ölçme ekranı.

Ölçme işlemi sırasında yapılan anlık değerlendirme işleminin yanı sıra, yazılıma ölçü sonrası değerlendirme ve analiz modülü de eklenmiştir. Bu modülde, verilerin ayrıntılı analizi yapılmakta, kullanıcıya söz konusu ray hattının durumu ile ilgili ayrıntılı rapor hazırlanmaktadır.

### 3. Verilerin Değerlendirilmesi

Değerlendirme işleminin ilk aşamasında ölçme sistemi bileşenlerinden alınan verilerde kaba hata araştırması yer almaktadır. Bu aşamada MAD Filtreleme Tekniği kullanılmıştır

(MENOLD vd. 1999). LVDT, eğim ölçer ve konum belirleme sistemlerinden alınan verilerdeki olası kaba hatalar giderildikten sonra ikinci aşamada ray hattındaki dever, enine ve boyuna eğim, ekartman ve yol orta eksen koordinatları hesaplanmaktadır. Hesaplanan bu büyüklükler veri tabanına güzergah uzunluğu ve UTC zamanı bilgileri ile birlikte kaydedilmekte, bu sayede tüm verilerin senkronizasyonu mümkün olmaktadır. Zaman senkronizasyonu yapılmış veriler, ray hattına ait mevcut proje verileri ile karşılaştırılarak geometrik değişim miktarları kalman filtreleme tekniği kullanılması ile hesaplanmaktadır. Sistemde kullanılan kalman filtreleme modeli ile ilgili bilgiler AKPINAR 2009’ da ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Şekil 8 de değerlendirme işlemi için akış diyagramı verilmiştir.

Ölçme sisteminin doğruluğunun test edilmesi amacıyla Ulaşım A.Ş. işletme sahasının içinde bulunan bir bölgede test ölçüleri yapılmıştır. Test ölçümleri yapılan bölgedeki bulunan ray hattının gerçek geometrik parametrelerinin belirlenebilmesi amacıyla 420 m uzunluğundaki, kurp ve alıymandan oluşan ray hattı hassas jeodezik yöntemlerin kullanılması ile belirlenmiştir (AKPINAR, 2009). Ölçme sistemi ile yapılan ölçümler sonucu elde edilen geometrik parametreler ile gerçek geometrik parametreler arasındaki farklar, ölçme sisteminde GPS ve total station kullanılması durumlarına göre Tablo 1 ve de verilmiştir.



Şekil 8: Verilerin değerlendirilmesi için akış diyagramı.

Tablo 1. Ölçme sistemi ile belirlenen değerlerle gerçek değerler arasındaki farklara ilişkin bilgiler.

| Parametre                   | Maksimum (mm) | Minimum (mm)   | Ortalama (mm) | Standart Sapma (mm) |
|-----------------------------|---------------|----------------|---------------|---------------------|
| Yatay Konum (GPS)           | 15.1          | 0.5            | 6.8           | 3.1                 |
| Yükseklik (GPS)             | 21.5          | -17.3          | 2.2           | 8.5                 |
| Yatay Konum (Total Station) | 5.5           | 0.4            | 2.4           | 1.9                 |
| Yükseklik (Total Station)   | 3.3           | -4.7           | -0.3          | 2.9                 |
| Ekartman                    | 1.2           | -0.9           | 0.4           | 0.6                 |
| Dever                       | 4.1           | -1.6           | 1.0           | 1.4                 |
| Eğim                        | 0.36 (derece) | -0.23 (derece) | 0.12 (derece) | 0.04 (derece)       |

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Tasarlanan ölçme sistemi ile ilgili test çalışması ölçümleri, İstanbul Ulaşım A.Ş. işletme sahası içinde bulunan test hatında gidiş ve dönüş olmak üzere gerçekleştirilmiştir.

Raylı sistem güzergahı ile ilgili uluslararası standartlara göre balastlı hatlarda yatay hat geometrisi için toleranslar  $\pm 25$  mm, balastsız (beton) hatlarda ise  $\pm 15$  mm dir. Hattın düşey geometrisi için belirlenen tolerans miktarları ise her iki hat tipi için  $\pm 10-15$  mm dir (RONDA, 2003). Tablo 1 de verilen, konum belirleme sistemi olarak GPS in kullanılması durumunda elde edilen sonuçlar incelendiğinde, RTK GPS yönteminin yatay ve düşey hat geometrisinin belirlenmesinde kullanılabileceği görülmektedir. Konum belirleme sistemi olarak ATR sistemli total station kullanılması durumunda ise, özellikle yatay ve düşey konum bileşenlerinde önemli derecede iyileşmeler olmuştur. Her iki sistemin birlikte kullanılması ile de özellikle GPS ile ölçüm yapılamayan tünel gibi bölgelerde sistemin total station ile desteklenmesi mümkün olmaktadır.

Raylı sistemler için belirlenen uluslararası standartlara göre dever ve ekartman için ölçme belirsizliği değerleri sırasıyla  $\pm 5$  mm ve  $\pm 1$  mm yi aşmamalıdır (TSE, 2004). Tablo 1 de verilen ekartman ve dever değerleri ile ilgili maksimum, minimum, ortalama ve standart sapma değerleri incelendiğinde ölçme sisteminin raylı sistem hatlarında ekartman ve dever değerlerinin belirlenmesinde kullanılmasının uygun olduğu söylenebilir.

Tasarlanan sistemin ek algılayıcı sistemler ile daha da geliştirilebileceği düşünülmektedir. Örneğin ray açıklığı belirlemek için kullanılan LVDT nin sayısının ikiye çıkarılması, aracın salınım ve titreşimlerinden etkilenmeden, çok daha hassas sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır. Sistemde kullanılan eğim ölçer yerine, INS (Inertial Navigation System) sistemlerinin kullanılması ile sistemin üç ekseninde dönüklüğünün belirlenebilmesi mümkün olacak ve sistem için kurulan kinematik modelin daha da geliştirilmesi sağlanabilecektir. Ayrıca sisteme entegre odometrelerin kullanımı ile, ray hattındaki güzergah uzunluğu değerleri GPS ve total station ölçümlerinden bağımsız olarak belirlenebilecektir. Bunların dışında, sisteme lazer tarayıcı, yer altı radarı (GPR) eklenmesi ile raylı sistem hattı çevresinin ve altyapısının belirlenebilmesi mümkün olacaktır.

#### Kaynaklar

- AKPINAR, B.,: **Ray Hattı Geometrik Değişimlerinin Belirlenmesine Yönelik Ölçme Sistemi Geliştirilmesi**, Doktora Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009.
- AMBERG TECHNOLOGIES AG: **GRP1000 Brochure**, Regensdorf, Switzerland, 2007.
- DUNISCH, M., KUHLMANN, H., MOHLENBRINK, W.,: **Baubegleitendes Festpunktfeld bei der Einrichtung und Kontrolle der Festen Fahrbahn**, AVN 10/200, Wichmann, Heidelberg, 2000.
- GÜLAL, E., AKPINAR, B.,: **Applications of GPS Based Machine Guidance Systems in Open Pit Mining Operations**, International Conference of Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection, 9-13 June 2003, Bulgaria.
- HOFMANN-WELLENHOF, B., LICHTENEGGER, H., COLLINS, J.: **GPS-Theory and Practice**, 5th Edition, Springer, Wien, 2001.
- LEICA GEOSYSTEMS AG: **Leica TPS1200 Series Technical Data**, Leica Geosystems AG, Switzerland, 2005.
- LEMMON, R.T.: **The Influence of the Number of Satellites on the Accuracy of RTK GPS Positions**, The Australian Surveyor, Volume 44, Number, 1, pp.64-70, 1999.
- MILEV, I., GRUENDIG, L.: **Rail Track Data Base of German Rail-the Future Automated Maintenance**, INGEO 2004 and FIG Regional Central and Eastern European Conference on Engineering Surveying, 11-13 November 2004, Bratislava, Slovakia.
- RONDA, J.: **Requirements for Defining and Maintaining Clearances**, Railway Group Standards, GC/RT5212, Railway Safety, February 2003, London.
- TARHAN, R., AKPINAR, B.: **Şehirçi Raylı Sistemlerde Deformasyon Ölçmeleri**, 2. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 23-25 Kasım 2005, İ.T.Ü., İstanbul.
- TSE,: **Demiryolu Uygulamaları – Hat - Hat Geometrisinin Kalitesi-Bölüm 1: Hat Geometrisinin Karakterize Edilmesi**, TS EN 13848-1, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2004.
- ÜNLÜTEPE, A.: **Marmaray BC1 Projesi ve Ölçme Çalışmaları**, 2. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 23-25 Kasım 2005, İ.T.Ü., İstanbul.
- YILMAZ, S., CEYLAN, A., ÖZTÜRK, C.: **Konya-Ankara Hızlı Tren Projesi ve Jeodezik Çalışmalar**, 3. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 24-26 Ekim 2007, Selçuk Üniversitesi, Konya.