

HEYELANLARIN JEODEZİK VE GEOTEKNİK YÖNTEMLERLE İZLENMESİ: AMBARLI LİMAN BÖLGESİNDE BİR UYGULAMA

Y. KALKAN¹, R. M. ALKAN¹, O. BAYKAL¹,
M. YANALAK¹, T. ERDEN¹, H. YILDIRIM²

ÖZET

Heyelanlar, dünyanın bir çok bölgesi için önemli bir afet problemidir. Heyelanların olumsuz etkilerini azaltmak veya ortadan kaldırmak için, bunların izlenmesi ve mekanizmalarının çözülmesi oldukça önemlidir. Bu çalışmada, ülkemizin önemli bir liman kompleksi olan İstanbul Ambarlı Liman Sahasının da içinde bulunduğu heyelan potansiyelli bölgede gerçekleştirilen heyelan izleme çalışmalarından ve en son elde edilen sonuçlarından bahsedilmiştir. Çalışmada, heyelanların izlenmesinde kullanılan klasik ve uydu bazlı jeodezik yöntemlerden elde edilen sonuçlarla birlikte, geoteknik çalışmalar ve bu kapsamda kullanılan inklinometre, piezometre ve oturma kolonları ölçmelerinden elde edilen çeşitli sonuçlar verilmiştir. Gerek jeodezik, gerekse geoteknik yöntemlerle yapılan ölçme sonuçlarından bazı noktalarda anlamlı hareketler belirlenmiş ve her iki yöntem sonuçlarının birbirleri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler : Deformasyon, Heyelan (İzleme), Ambarlı Liman Bölgesi, Geoteknik Donanımlar.

LANDSLIDE MONITORING WITH GEODETIC AND GEOTECHNICAL METHODS: A CASE STUDY IN AMBARLI HARBOR REGION

ABSTRACT

Landslide is still a disaster problem for many regions of the world. Monitoring of landslides and solving their mechanisms are important in order to reduce or eliminate negative

¹ İTÜ, İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Ölçme Tekniği Anabilim Dalı, Maslak 80626, İstanbul, Türkiye, kalkany@itu.edu.tr

² İTÜ, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Geoteknik Anabilim Dalı, Maslak 80626, İstanbul, Türkiye.

effects of landslides. In this paper, studies realized in a potential landslide region including İstanbul Ambarlı Harbor, are introduced with the latest results. In the study, obtained results of the classical and satellite based geodetic deformation monitoring techniques with the results of inclinometers, piezometers and settlement gauges measurements are given. Significant movements are determined by either geodetic or geotechnical methods on some deformation points.

Keywords: Deformation, Landslide (Monitoring), Ambarli Harbor Region, Geotechnical Instruments.

1. GİRİŞ

Üzerinde yaşadığımız doğal ortamda veya insan eliyle inşa edilen yapay objelerde ortaya çıkabilecek geometrik değişimlerin sonuçları, insan hayatının güvenliği ile doğrudan ilgilidir. Bundan dolayı, bu konuya olan duyarlılık artarak devam etmektedir. Cisimlerdeki geometrik değişimlerin izlenmesi, belirlenmesi ve tanımlanması uzun zamandan beri üzerinde uğraşılan konulardandır. Gerek yer kabuğu hareketlerini, gerekse mühendislik yapıları ve yakın çevresinde meydana gelebilecek geometrik değişimleri belirlemek amacıyla yapılan ölçmeler “deformasyon ölçmeleri” olarak isimlendirilir.

Deformasyon ölçmelerinde farklı tekniklerin bir arada kullanıldığı alanlardan birisi de heyelanların izlenmesidir. Heyelanlar, zaman zaman önemli ölçüde can ve mal kaybına yol açan tabii olaylar olup gerek bina, yol, baraj, köprü ve liman gibi çeşitli mühendislik yapılarında, gerekse çevresinde önemli derecede zararlara yol açabilmekte ve bazı durumlarda, topografyada derin izler bırakabilmektedir. Ülkemizde olduğu gibi dünyanın bir çok yerinde heyelanların izlenmesi ve muhtemel zararlarının önlenmesi veya azaltılması konusunda çok sayıda çalışma yapılmıştır (Ahmad and Mc Calpin 1999, Barberalla ve diğ. 1988, Çelik ve diğ. 1999, Kalkan et al. 2001, Vichas ve diğ. 2001).

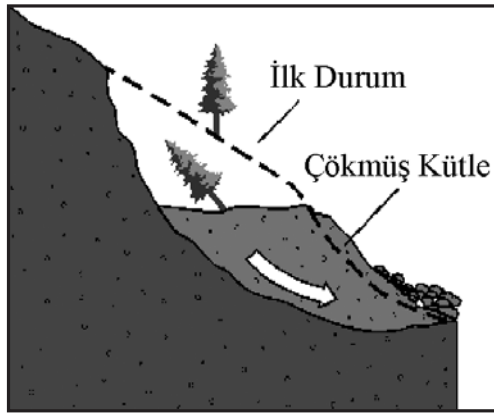
Son derece zahmetli ve yoğun çalışmalar gerektiren deformasyon izleme çalışmalarının gerçekleştirilebilmesi için çok değişik ölçme donanımının kullanıldığı farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bunlardan en yaygın olanı, klasik “Jeodezik Yöntemlerle” deformasyonların izlenmesidir. Yersel ve uzay tekniklerinin yer aldığı Jeodezik Yöntemler kullanılarak, yapılardaki ya da yeryüzü parçasındaki yatay ve düşey deformasyonlar belirlenebilmektedir. Bunun yanında geoteknik donanımların ve meteorolojik sensörlerin kullanıldığı ve genel olarak “Jeodezik Olmayan Yöntemler” olarak adlandırılan deformasyon izleme yöntemleri de son zamanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Hill and Sippel 2002, Kuang 1996). Günümüzde gerçekleştirilen büyük deformasyon (heyelan) izleme çalışmalarında, her iki sistemden de yararlanılarak hem yüzeyde hem de değişik derinliklerdeki yatay ve düşey deformasyonlar belirlenebilmektedir.

Jeodezik yöntemlerin kullanılabilmesi için noktalar arasında, nokta ile uydular arasında ya da kamera ile obje noktaları arasında görüşün olması gereklidir. Bunun sağlanamadığı durumlarda ya da deformasyona maruz kalan gövdenin içinde bir hareket olması durumunda jeodezik olmayan yöntemlerden yararlanır. Örneğin büyük mühendislik yapılarının üzerine kurulduğu kaya zeminlerde, farklı toprak ya da kaya formasyonlarının birbirine göre hareketlerini belirlemede, sadece yüzeydeki hareketi değil, yüzeyden belirli derinliklerdeki tabakaların hareketlerini belirlemede jeodezik olmayan yöntemlerden yararlanır (Kuang 1996). Jeodezik olmayan yöntemler geoteknik donanımları ve diğer özel izleme cihazlarını içerir. Bu donanımlar sayesinde değişik derinliklerdeki hareketlerle birlikte yapıda ve çevresinde deformasyonlara neden olan yükler, su basıncı, taban suyu seviyesi, gerilme, sıcaklık gibi değişik faktörlerin büyüklükleri ve değişimleri de ölçülmektedir.

Bu çalışmada, İstanbul İli, Büyükçekmece İlçesi, Yakuplu Beldesi'nde yer alan ve oldukça önemli bir liman kompleksini içinde bulunduran Ambarlı Liman ve Depolama Tesisleri sahasında Jeodezik ve Geoteknik yöntemlerle gerçekleştirilen heyelan izleme çalışmaları ve bunlardan elde edilen bazı sonuçlar verilmiştir.

2. HEYELAN VE HEYELANA NEDEN OLAN ETKENLER

Heyelan, toprak, taş veya bunların karışımlarından oluşan bir zeminin yada çeşitli kayaların, bir yüzey üzerinde aşağıya veya dışarıya doğru hissedilir bir şekilde hareket etmesidir (Şekil.1).



Şekil 1. Tipik bir heyelan örneği

Genel olarak heyelana neden olan etkenler, kuvvetli eğim, şiddetli ve sürekli yağmurlar ya da karların erimesiyle toprağa sızan sular, su ile doygunluk, kaya yapısı, tabakaların duruş biçimleri, tektonik yapı şeklinde sıralanabilir. Heyelanlar, sayılan nedenlerden birisi veya birkaçının etkisiyle oluşurlar ve bazen topografyada çok önemli değişikliklere neden olabilirler. Kayan kütlelerin koptuğu yerde genellikle hilale benzer bir kopma yarası oluşur. Kopan bu kütleler bazen bir akarsuyun yatağını tıkayarak bir 'Heyelan Setti Gölü' oluşmasına yol açabilir. Ayrıca heyelanlar sonucunda yamaçlarda taraçalara benzer basamaklar oluşabilir (E-cografya Web Sayfası 2003).

Genel olarak heyelan terimi ile açıklanan bu hızlı kütle hareketleri, asıl heyelanlar, göçmeler, kayma ve toprak kaymaları olarak sınıflandırılabilir (E-cografya Web Sayfası 2003).

1. Asıl Heyelanlar: Bunların oluşumunda su, hazırlayıcı bir rol oynar. Fakat asıl heyelan kütleleri, su ile hamurlaşmış halde değildir. Su ile tamamıyla doygunlaşmamış büyük bir kütle, kaymaya elverişli hale gelen bir taban üzerinde yer değiştirir. Bunlar yeryüzünde önemli değişikliklere yol açabilir, vadileri tıkayabilir, yolları kapayarak ulaşımı engelleyebilir, yerleşim yerlerinin harab olmasına yol açabilirler.

2. Göçmeler: Bu tip heyelanlar bir kaşığa benzeyen konkav kopma yüzeyleri boyunca dönerek yer değiştiren kısımlardan oluşur. Kayan kısımlardan her biri geriye doğru meyillenmiş basamaklar oluşturur. Bunun sonucunda, kayan kütlelerin başlangıç eğimleri değişir ve bunların yüzeyleri kopma yarasının bulunduğu tarafa doğru yeni bir eğim kazanır. Yamaçların alttan akarsular, dalgalar gibi etkenlerle oyulması, denge açısını aşan yol yarmaları ve yer altı maden ve benzeri işletmelerin yaptığı boşaltmalar, göçme tipindeki heyelanların başlıca nedenlerindedir.

3. Kayma: Bir tabakanın ya da tabakalar kümesinin altta su ile doygunlaşarak kayganlaşmış killi bir tabaka üzerinde çekim etkisiyle aşağı doğru yer değiştirmesidir.

4. Toprak Kaymaları: Bunlar bazı bakımdan çamur akıntılarına benzerlik gösteren bir heyelan türüdür. Fakat çok yavaş oluşmaları, belli bir yatağa bağlı olmamaları ve içerdikleri suyun çok daha az olması gibi özellikleriyle çamur akıntılarından ayrılırlar. Toprak kaymaları, su ile doygun hale gelen ve bu şekilde bütünü ile kayganlaşan yüzeyel gereçlerin, molozların, ya da toprağın kıvamlı bir hamur gibi yavaş yavaş yer değiştirmesi şeklinde oluşur. Bu açıklamalardan anlaşılacağı üzere, toprak kaymaları asıl heyelandan daha yüzeyseldir; aslında toprak tabakasını ve onun altındaki döküntü örtüsünü ilgilendirir. Bu kütle hareketinin en yaygın olduğu sahalar litoloji bakımından da uygun olmak koşulu ile nemli iklim bölgeleridir.

3. HEYELANLARIN GEOTEKNİK YÖNTEMLERLE İZLENMESİ

Jeodezik olmayan yöntemler, geoteknik donanımları ve diğer bazı özel izleme cihazlarını içerir ve yapılardaki ya da zemindeki hareketlerin izlenmesinde oldukça yaygın bir şekilde kullanılırlar. Bu amaçla kullanılan temel geoteknik sensörler ve diğer cihazlar, İnklinometre, Piezometre, Manyetik Oturma Kolonu (Settlement Gauges), Extensometre, Çatlak Ölçer (Crackmeters and Jointmeters), Basınç Ölçer (Pressure Cell), Strengçeç (Strain Gauges), Termometreler (Thermometers) vb'dir (Hill and Sippel 2002). Geoteknik ve jeofizik parametrelerin ölçülmesinde kullanılan donanımların bazıları Şekil 2'de verilmiştir (SisGeo Web Sayfası 2003). Bu cihazlar amacına uygun şekilde yapıya (bölgeye) tesis edilerek veriler toplanır. Veri toplama işlemi için dahili bir kayıt ünitesinden veya bir bilgisayardan yararlanır. Bilgisayara bağlı olarak veri toplanmasının bazı avantajları vardır. Bunlardan bazıları, bir iletişim hattının kurulması halinde uzaktaki bir merkezde de verinin toplanabilmesi, veri toplama aralığının değiştirilebilmesi, değişikliklerin anında izlenebilmesi, veri aktarmak için bölgeye gidilme zorunluluğunun olmaması vb'dir. Başarılı bir deformasyon izleme ve yorumlanmasında jeodezik verilere ek olarak geoteknik ve diğer ölçme donanımlarından elde edilecek bilgiler son derece önemlidir.



a-) İnklinometre



b-) Piezometre



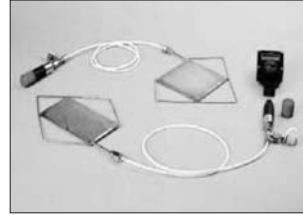
c-) Manyetik Oturma Kolonu



d-) Extensometre



e-) Strengçeç



f-) Basınç Ölçer

Şekil 2. Geoteknik ölçme donanımları

Bu çalışmada, seçilen uygun yerlerde değişik derinliklerde sondajlar yapılarak yer altında değişik derinliklerdeki yatay yer değiştirmeleri izlemek üzere inklinometreler; gözenek suyu basıncının dağılımını izlemek üzere piezometreler ve yeraltında değişik seviyelerdeki düşey yer değiştirmeleri izlemek için de manyetik oturma kolonları yerleştirilerek ölçmeler yapılmıştır. Bunlardan elde edilen veriler, deformasyonların belirlenmesinde ve yorumlanmasında jeodezik verilerle birlikte kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan bu üç cihaz hakkında bazı bilgiler aşağıda verilmektedir.

a-) İnklinometre

İnklinometreler zemin hareketlerinin ve yapısal deformasyonların ölçülmesinde, şev ve heyelan hareketlerinin incelenmesinde, yeraltındaki yatay deformasyonların ölçülmesinde, barajlarda, seddelerde, koruma yapılarında, heyelanlı bölgelerde vb. yapı ve sahaların yatay deformasyon ölçmelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ölçmeler, sahada uygun noktalarda açılan özel sondaj kuyularında, belirlenen derinliklerde ve uygun periyotlarda yapılacak inklinometre okumaları aracılığı ile gerçekleştirilir. Deformasyonun belirlenmesi işlemi, belirli yüksekliklerde düşeye göre eğim değişimlerinin ölçülmesi ve integrasyon metotları kullanılarak bu değişimlerin yatay deformasyon değerine dönüştürülmesi şeklinde yapılır. Zeminin kendi içindeki dönmesi de bu ölçmeler sonucunda elde edilebilir.

b-) Piezometre

Piezometre, suya doymun veya yarı doymun zeminlerde yer altı su seviyesi veya boşluk suyu basıncı ölçmelerinde kullanılır. Zeminlerdeki boşluk suyunun veya yer altı su seviyesi değişimlerinin önemli olduğu durumlarda piezometrelerle değişik derinliklerdeki basınçlar ölçülür ve özel bir yazılım desteği ile bu farklar grafik gösterime dönüştürülür.

c-) Manyetik Oturma Kolonları

Heyelan riski taşıyan bölgelerde belirlenen derinliklerde zemindeki oturmaların ölçülmesi, zeminin heyelanla ilişkisinin belirlenmesi açısından önemlidir. Zemin içerisindeki farklı derinliklerde düşey hareketlerin ölçülmesi, manyetik oturma kolonları (settlement gauges) ile yapılmaktadır. Oturma kolonları, sondaj kuyusu içerisine yerleştirilen bir boruya bağlı manyetik halkalardan oluşur. Bu borunun içine belirli zaman aralıklarında bir prob indirilerek her iki manyetik halkanın düşey hareketi ölçülür ve özel bir yazılımla değerlendirilen ölçüler sahanın oturma profilini verecek şekilde çizgisel sonuçlara dönüştürülür. Oturma kolonları heyelanlı bölgelerde, seddelerde, temel altlarında, yeraltı kazılarında, barajlarda vb. yerlerde kullanılır.

4. UYGULAMA

4.1. Çalışmanın Amacı

İstanbul ili Büyükçekmece ilçesi Yakuplu beldesi sınırları içinde yer alan Altaş Ambarlı liman sahasında, Afet İşleri Genel Müdürlüğü'nün talebi üzerine İTÜ Ar-Ge işletmesi ile Altaş Ambarlı Liman İşletmeleri Tic. A.Ş. arasında Eylül 1999'da yapılan bir protokol çerçevesinde 'jeodezik ve jeodezik olmayan yöntemlerle heyelan izleme' amaçlı bir çalışma başlatılmıştır.

Marmara Denizi kıyısında kurulmuş bulunan Ambarlı Liman sahası, büyük ölçüde eski ve kısmen de diri heyelanlardan etkilenmiş potansiyel heyelan riski taşıyan bir bölgede yer almaktadır. Saha, yer yer inşa edilmiş heyelan önleme yapıları desteğinde yapılaşmış çimento fabrikaları, akaryakıt depolama tesisleri, işletme binaları, hurda demir depolama sahası ve çok sayıda konteynır depolama sahaları yanında çok yoğun bir ağır araç trafiğine de sahiptir (Şekil 3).



Şekil 3. Ambarlı liman bölgesi

İstanbul'un en kapasiteli ve en işlek limanı durumunda olan bu kompleksin hizmetini kesintisiz ve verimli sürdürebilmesinde, heyelanların mekanizmalarının çözülmesi ve yol açabileceği zararların önceden alınacak tedbirlerle önlenmesi oldukça önemlidir.

4.2. Bölgenin Genel Jeolojik Yapısı

Genel olarak bölge kaya-zemin istifi iki ana birimden oluşmaktadır:

a-) Oligosen Gürpınar Formasyonu : Oligosen yaşlı olduğu sanılan bu birim baskın olarak kil, kum ve tüflerden oluşmuştur. Killeri fisurlu aşırı konsolide olup genelde sert ve kıltaşı kıvamındadır. Güneye doğru oldukça kalınlaşan bu birimin toplam kalınlığının 500'm ye ulaştığı bilinmektedir.

b-) Neojen Birimler : Üst Miyosen yaşlı olduğu bilinen istif İstanbul'da geniş alan kaplamaktadır. Tortullaşma ortamındaki koşullara bağlı olarak yanal ve düşey olarak birbirine geçişli ve birbirlerinin yerini alabilen üç kaya birimine ayrılabilen ve bunlarla tanınmaktadır:

i-) Çukurçeşme Kumı: Gürpınar Formasyonu üzerine açılmal bir uyumsuzlukla gelen bu birim yüksek enerjili bir akarsu ortamında birikmiştir. Bu nedenle kalınlığı değişkendir. Ancak ortalama 60 m dolayında bir kalınlığı vardır.

ii-) Güngören Kili : Genel olarak yeşil kil, silt ve marnlı kilden oluşan bu birim üste doğru Bakırköy Kireçtaşlarına doğru geçişlidir. Bu kil ince silt bantlı, fissürlü, konsolide, kireç konkresyonlu, siyah oksit lekeli alaca renklidir. Yer yer kum-ince çakıl ve kumtaşı bantları ihtiva etmektedir.

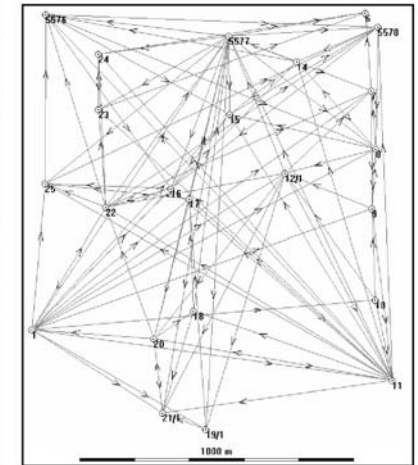
iii-) Bakırköy Kireçtaşı : İstifin tavanını oluşturan kirlili beyaz renkli, kaba ve düzensiz tabakalı, yumuşaktan-orta serte, yer yer kof ve tebeşirli, marnlı kireçtaşları ile bununla yanal ve düşey olarak yer değiştiren grimsi yeşil renkli kil tabakalarından kuruludur. Bol fosil kavkaları kapsar. İnceleme sahasında Bakırköy kireçtaşına rastlanmamıştır.

4.3. Jeodezik Ölçme Çalışmaları

Potansiyel heyelan riski taşıyan söz konusu liman sahasında meydana gelen heyelanların belirlenmesi işlemi için GPS yöntemi seçilmiştir. GPS yöntemi klasik ölçme yöntemlerine göre sahip olduğu çok sayıda avantajının yanı sıra, sağladığı doğruluk değerleri ile de çok yaygın olarak bir çok deformasyon projesinde kullanılmaktadır. Bu doğrultuda öncelikle jeolojik ve geoteknik etütlerle sağlam olduğu belirlenmiş zeminlerde ve deformasyon alanının dışında 5 nokta seçilmiş ve böylelikle çalışmanın referans ağı oluşturulmuştur (Şekil 4). Buna ilave olarak çalışma alanının hareket beklenen kısımlarında seçilmiş 23 obje (deformasyon) noktası (Şekil 5) ile birlikte toplam 28 noktalı bir deformasyon ağı oluşturulmuştur.



Şekil 4. Heyelan izlemesi yapılan bölge ve GPS referans ağı



Şekil 5. Obje noktalarından oluşan deformasyon ağı

Söz konusu ağı ölçmeleri GPS ölçme tekniği ile üç aylık periyotlarda yapılmıştır. Ayrıca, çoğunluğu deformasyon noktalarından oluşan 27 noktalı bir presizyonlu nivelman ağı da toplam üç kez ölçülmüştür.

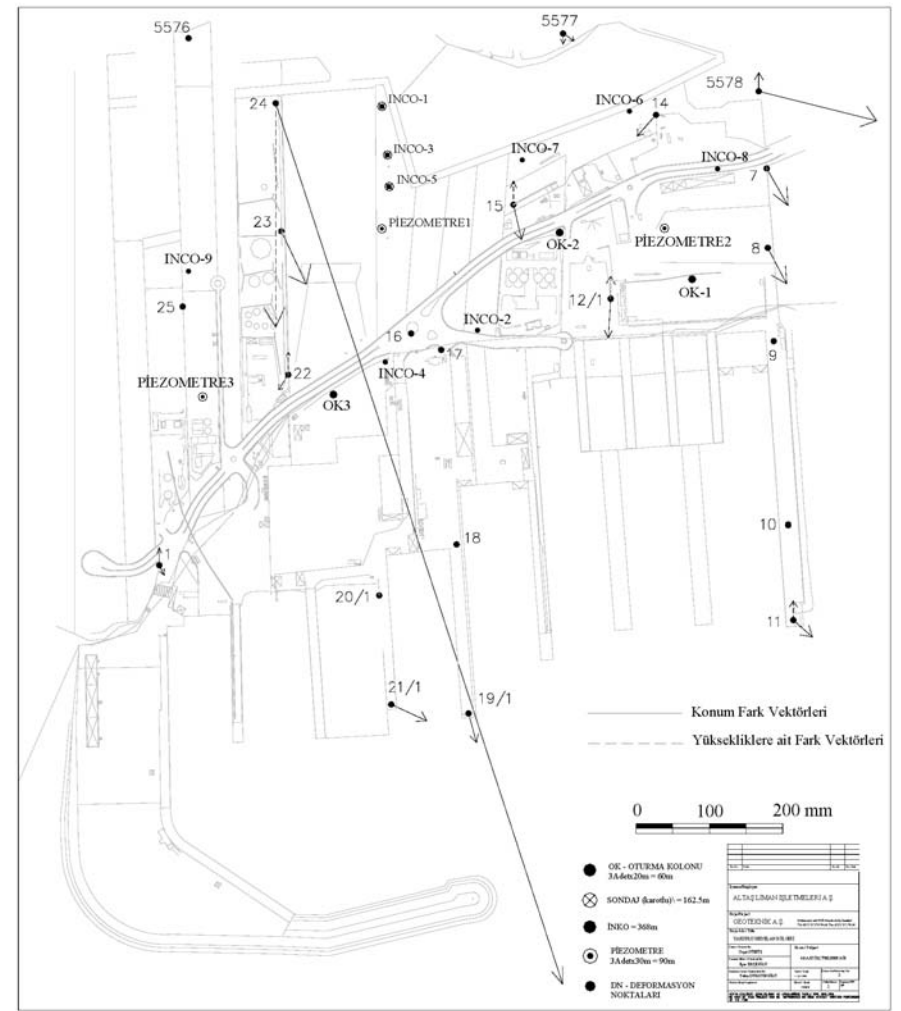
Eylül 2003 itibariyle GPS ağında toplam 12 periyot (0, 1, 2, ..., 11, 12) ölçme gerçekleştirilmiştir. Ekim 1999 da yapılan 0. periyot sonuçları ile Şubat 2000’de yapılan 1. periyot sonuçları 5 noktalı referans ağı için istatistiki olarak karşılaştırılmış ve noktalardan bazılarının hareket ettiği anlaşılmıştır. Sabit noktaların bazısında meydana gelen bu hareketin nedeninin, bu tarihlerde meydana gelmiş olan 7.2 şiddetindeki Düzce-Kaynaşlı depremi ile 5.8 şiddetindeki İstanbul depremleri olduğu sanılmaktadır. Bu sebeple karşılaştırmada 0. periyot yerine 1. Periyot esas alınmıştır. Bu çalışmada 1. periyot ile 12. Periyot sonuçları karşılaştırılarak fark vektörleri oluşturulmuş ve deformasyon noktalarında anlamlı hareket olup olmadığı araştırılmıştır. Bulunan sonuçlardan, anlamlı yatay/düşey hareket belirlenen noktalara ait fark vektörleri bölgenin mevcut bir halihazır haritası üzerine ölçekli olarak işlenmiştir (Şekil 6).

Ayrıca, Eylül 2003 döneminde yapılan 2. Periyot presizyonlu nivelman ölçmeleri sonucu ile Ekim 1999 döneminde yapılan 0. periyot ölçme sonuçları karşılaştırılmış ve Tablo 1’de özet olarak verilen farklar bulunmuştur (Kalkan ve diğ. 2003).

Tablo 1. Presizyonlu nivelmandan bulunan farklar

N. N.	Farklar (mm)	N. N.	Farklar (mm)	N. N.	Farklar (mm)
1	3.1	10	-1.7	18	-0.4
3	4.6	11	-2.4	22	-1.4
4	-1.5	14	-2.0	23	22.4
7	-12.3	15	0.4	24	-288.8
8	-10.7	16	-3.3	25	-14.9
9	-2.8	17	-7.8		

Bu çalışmalar hakkında daha geniş bilgi Kalkan ve diğ. (2003)’de verilmiştir.



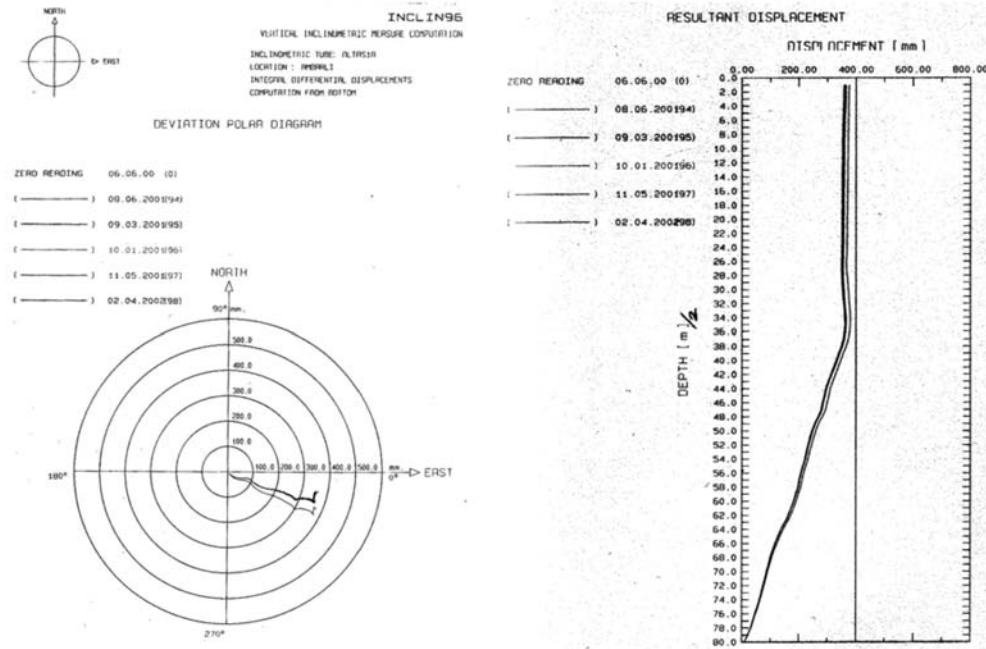
Şekil 6. Her Bir Objeye Noktasının Konum ve Yüksekliklerine Ait Fark Vektörleri

4.4. Geoteknik Ölçme Çalışmaları

Altaş Ambarlı Liman Tesisleri Sahasında heyelan izleme hareketleri 1999 yılından beri Geoteknik yöntemler ile de izlenmektedir. Çalışma bölgesindeki heyelan hareketlerini izleyerek heyelanın geometrisini belirlemek, zemin profilini görmek ve heyelan mekanizmasını çözebilmek amacıyla uygun yerlerde seçilen 15 noktada, 20 m ile 50 m arasında değişen derinliklerde toplam 520 metre sondaj kuyusu açılmıştır. Bu kuyulardan 9 tanesine İnklinometre, 3 tanesine Piezometre, 3 tanesine de Manyetik Oturma Kolonu donatımı yerleştirilerek aylık periyotlarda ölçmeler yapılmıştır. Tahrip olan bazı inklinometre noktaları yerine yenileri tesis edilmiştir.

a-) İnklinometre Ölçmeleri ve Sonuçları

Daha önceden belirlenen yerlerde tesis edilmiş olan dokuz adet inklinometre donatımında ayda bir ölçmeler yapılarak veri toplayıcılara yüklenmiştir. Ölçülmüş olan eğim değişimleri bilgisayar ortamında özel bir yazılım desteğinde yatay deformasyon değerlerine dönüştürülerek her bir inklinometre için polar diyagram ile hareketin yönü ve miktarı, Y ve X eksenleri doğrultusundaki hareketler, toplam bileşke hareketi ve kayma açısı belirlenerek özel diyagramlar şeklinde verilmektedir. Bir örnek çıktı olarak ALTAŞ 1A kuyusundaki inklinometre ölçmelerinin Şubat 2002 sonuçlarından elde edilen Polar diyagram ve toplam hareket diyagramı Şekil 7'de verilmiştir. Bu inklinometre yüzey heyelanlarındaki hızlanma neticesinde Mart 2000 tarihinde koparak kullanılamayacak duruma gelmiş, Mayıs 2000 tarihinde de yenilenerek tekrar aylık okumalara geçilmiştir. Şubat 2002'de kuyudaki toplam deformasyon 380 mm olarak belirlenmiştir.



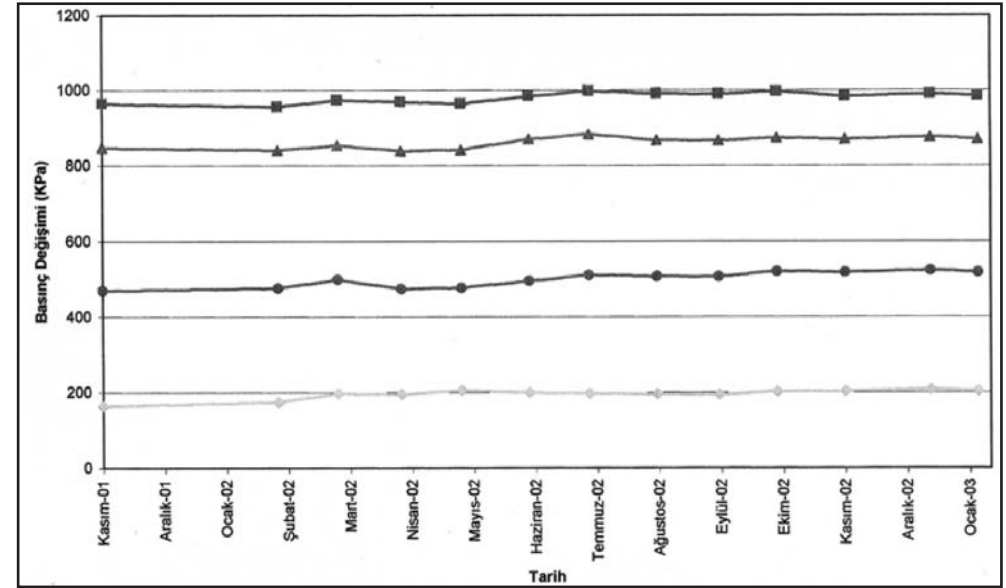
Şekil 7. İnklinometre polar diyagramı ve toplam hareket diyagramı

İnklinometre verilerinden sahada iki tür hareketin hakim olduğu gözlenmektedir; yüzey heyelanları Inco 1A, 2, 3A, 4, 5A ve 7A kuyularında 7.00 m ile 16.00 m'ler arasında, derin heyelanlar ise Inco 1A, 3A, 5A, 6, 8 ve 9 kuyularında 23.50 m ile 37.50 m'ler arasında görülmektedir (Yıldırım ve diğ. 2003).

b-) Piezometre Ölçmeleri ve Sonuçları

Boşluk suyu basıncındaki değişimi izlemek için yerleştirilmiş olan 3 adet piezometrenin her birisinde değişik derinliklere yerleştirilmiş dört adet sensörle boşluk suyu basıncındaki değişimler ölçülmüştür. Mevsimsel yağışlara ve zeminin drenajına bağlı olarak boşluk suyu basıncının değiştiği gözlenmektedir. Ana heyelanın ortasından geçen aksa yakın olarak yerleştirilmiş olan Piezometre-3'e ait bir sonuç grafiği Şekil 8'de verilmiştir.

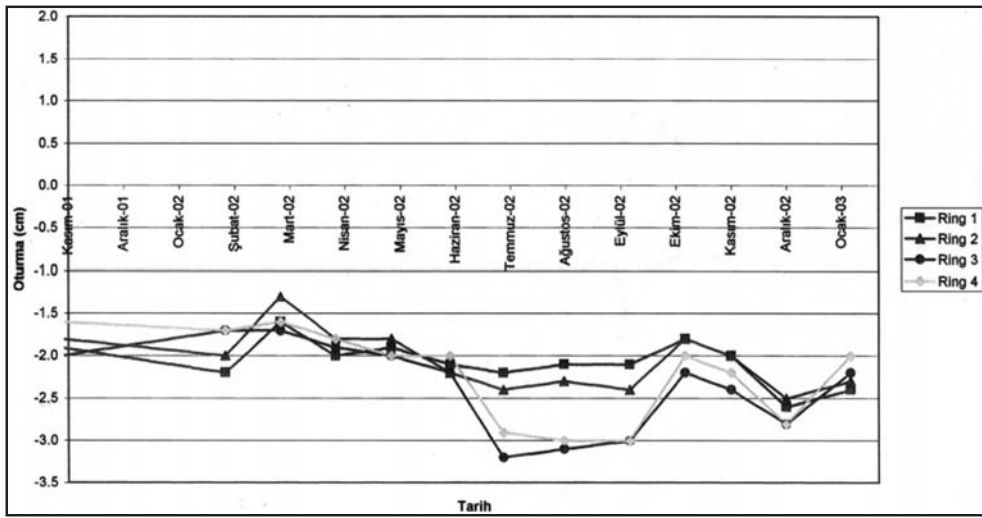
Bu piezometrede okunan yüksek boşluk suyu basınçları sahanın iyi drene olamadığını göstermektedir. Sahada sürekli bir boşluk suyu basıncı ölçülmüştür. Bu çok yüksek boşluk suyu basınç değerleri heyelanları negatif olarak etkilemektedir. Burada yüzeye yakın birimler yüksek boşluk suyu basıncına maruz kalmaktadır (Yıldırım ve diğ. 2003).



Şekil 8. Piezometre-3'teki ölçmelerden bulunan boşluk suyu basıncı değişimleri

c-) Manyetik Oturma Kolon Ölçmeleri ve Sonuçları

Zemin içerisindeki farklı derinliklerde düşey hareketlerin izlenmesi amacıyla yerleştirilen manyetik oturma kolonları aylık periyotlarda ölçülerek farklı derinliklerdeki zemin oturmaları izlenmiştir. Her bir kuyuda dört farklı derinlikte periyodik okumalar alınarak değerlendirilmiş ve oturma-zaman grafikleri çizilmiştir (Şekil 9).



Şekil 9. Manyetik Oturma Kolonu-1 (OK-1) için oturma-zaman grafiği

Şekil 9'dan da görülebileceği gibi, Oturma Kolonu-1'de oturma ve kabarmalar tespit edilmiştir. Oturmalar Mart 2002'ye kadar devam etmiş, Mart 2002'de 1.3 cm'e varan kabarmalar gözlenmiştir. Kabarma ve oturmalar Haziran 2002'ye kadar normal seyrinde devam etmiş, Temmuz 2002'de 3.2 cm'ye varan ani oturmalar gözlenmiştir. Derinde yer alan ringlerde yüzeydekilere göre daha fazla oturmalar tespit edilmiştir. Bunlar yaz sezonu nedeni ile beklenen oturmalar. Ağustos 2002'de yüzeydeki ringlerde az miktarlarda kabarmalar gözlenmiş, derindeki ringlerde ise oturmaların devam ettiği görülmüştür. Ekim 2002'de tüm ringlerde kabarma, Kasım 2002'de tüm ringlerde oturmalar gözlenmiştir. Aralık 2002'de oturmaların devam ettiği, Ocak 2003'e gelindiğinde ise tüm ringlerde kabarmalar gözlenmiştir.

Bu çalışmalar ve elde edilen sonuçlar hakkında daha geniş bilgi Yıldırım ve diğ. 2003'de verilmiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Heyelanların izlenmesi ve muhtemel zararlarının önlenmesi veya azaltılması, bir çok ülke için olduğu gibi, ülkemiz için de önemli bir problemdir. Özellikle, yapılaşma zorunluluğu olan heyelan riskli bölgelerde heyelan mekanizmasının çözülmesi büyük önem taşımaktadır. Aksi takdirde zemine uygun olmayan mühendislik projeleri ve yapıları söz konusu olabilecektir.

Bu çalışmada, potansiyel heyelan riski taşıyan Altaş Ambarlı Liman Bölgesinde 1999 yılından beri jeodezik ve jeodezik olmayan yöntemlerle yapılmakta olan heyelan izleme çalışmaları ve sonuçları verilmiştir. Bu sonuçlara göre, Şubat 2000- Eylül 2003 arasında GPS ölçmeleri ile belirlenen maksimum hareket (tek bir noktada) yatayda yaklaşık 130 cm, düşeyde 30 cm değerlerine ulaşmıştır (Şekil 6). Yakın bölgede yer alan inklinometre ölçmelerinden de aynı yönlü benzer sonuçlar elde edilmiştir. İnklinometre sonuçları, değişik derinliklerdeki yatay hareketleri ortaya koymuş ve kayma yüzeylerinin hangi derinliklerde yer aldığını belirleme doğrultusunda önemli bilgiler vermiştir.

Yüzey heyelanlarının dışında tespit edilen 30.00 m'ler civarından geçen ikinci kayma yüzeyinin hareketleri küçük olmasına rağmen sahada yapılacak yapılaşmaya bağlı olarak kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu yüzden sahadaki her projenin uygulama açısından bu derin heyelanla ilişkisi ortaya konulmalı ve gerektiğinde önlem alınmalıdır.

Manyetik oturma kolonları sonuçlarının incelenmesinden, bölgede değişik derinliklerde mevsime ve yer altı su seviyesindeki değişime bağlı olarak birkaç santimetreler mertebesinde yükseklik değişimleri meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca, Piezometre sonuçlarından belirlenen yer altı suyu basıncındaki değişimlerin kısmi yükseklik değişimlerine sebep olduğu ve heyelanı tetikleyici rol oynadığı anlaşılmaktadır.

Heyelan bölgesinde yer alan deformasyon noktalarından elde edilen sonuçlar, sadece bölgedeki heyelan mekanizmasının çözülmesine yardımcı olmakla kalmamış, aynı zamanda kazıklı istinatlar gibi bölgede yapılmış heyelan önleme yapılarının görevini tam olarak yerine getirip getirmediği hakkında da önemli bir bilgi kaynağı oluşturmuştur.

Sonuç olarak çok büyük yatırımlarla gerçekleştirilmiş olan büyük ve önemli mühendislik yapılarında ve çevrelerinde deformasyonlara neden olan heyelanların sürekli olarak izlenmesi, mekanizmalarının çözülmesi ve böylelikle muhtemel zararlarının önlenmesi ya da azaltılması önemli bir husustur. Bu amaçla yaygın olarak kullanılan jeodezik yöntemlerle birlikte, geoteknik yöntemlerin de kullanılması çok büyük yararlar sağlamaktadır. Hiç şüphesiz deformasyonların izlenmesi ve yorumlanmasında jeodezik verilere ilave olarak inklinometre, piezometre, oturma kolonu, strengçe, extensometre, magnetometre gibi geoteknik ve diğer ölçme donanımlarından elde edilecek bilgiler son derece önemli veriler olacaktır.

KAYNAKLAR

Ahmad, R. and McCalpin, J.P. (1999). Landslide Susceptibility Maps for Kingston Metropolitan Area, Jamaica, Publication No. 5, Unit for Disaster Studies, University of the West Indies, Mona, Kingston 7, Jamaica,

- Barbarella, M., Bitelli, G. and Folloni, G. (1988). Deformation Surveys of Landslides Using Terrestrial Measurements and Space Techniques. *Proc. of 5. International (FIG) Symposium on Deformation Measurement and 5. Canadian Symposium on Mining Surveying and Rock Deformation Measurements*. June 6-9, Fredericton, New Brunswick, Canada.
- Çelik, R.N., Ayan, T., Denli, H., Özlüdemir, T., Erol, S., Groten, E. and Leinen, S. (1999). Land Sliding Monitoring Using GPS and Conventional Techniques in Gurupınar, *Proc. of Third Turkish-German Joint Geodetic Days*, June 1-4, pp. 839-848, Istanbul, Turkey.
- Hill, C. D. and Sippel, K. D. (2002). Modern Deformation Monitoring: A Multi Sensor Approach, *Proc. of 12th FIG Int. Symp. Deformation Measurements*, Washington, DC, USA.
- Kalkan, Y., Alkan, R. M. and Yanalak, M. (2001). Landslide Monitoring Project by Using Different Techniques, *Proceedings Fourth International Symposium Turkish-German Joint Geodetic Days*, pp. 663-670, Berlin, Germany.
- Kalkan, Y., Alkan, R.M., Yanalak, M., Tari, E., ve Erden, T. (2003). Altaş Ambarlı Liman Tesisleri Sahasında Geoteknik ve Jeodezik Yöntemlerle Heyelan İzleme Çalışması, Teknik Rapor, İTÜ. Geliştirme Vakfı AR-GE İşletmesi.
- Kuang, S. (1996). Geodetic Network Analysis and Optimal Design: Concepts and Applications, Ann Arbor Press, Inc., Chelsea, Michigan.
- Vichas, C., Skourtis, C. and Stiros, S. (2001). Kinematics of Landslide Over the Polyphyton Reservoir (Greece), *Proc. of 10. FIG International Symposium on Deformation Measurements*, March 19-22, pp. 71-76, California, USA.
- Yıldırım, H., Kalkan, Y., Baykal, O., Durgunoğlu, A. T., Alkan, R.M., Yanalak M., Çoşkun, M. Z., İnce C., Erden, T. (2003). Altaş Ambarlı Liman Tesisleri Sahasında Geoteknik ve Jeodezik Yöntemlerle Heyelan İzleme Çalışması, 2003 Yılı Teknik Raporu, İTÜ Geliştirme Vakfı AR-GE İşletmesi.
- E-Coğrafya Web Sayfası, (2003),*Heyelan*. - <http://www.e-cografya.com>
- SISGEO-Geotechnical Instrumentation Manufacturing Company Web Site, (2003), *Sisgeo Products*. - <http://www.sisgeo.com>

RAYLI SİSTEMLERDE RAY HATLARININ YERLEŞTİRİLMESİ İÇİN YAPILAN ÖLÇME ÇALIŞMALARI

Har. Müh.Cengiz DEMİRAĞ¹
Dr. Ahmet ÜNLÜTEPE¹

ÖZET

Özellikle büyük kentlerimizde; kentiçi ulaşım sorunlarının çözümüne dönük önemli avantajları nedeniyle raylı sistemlerin kullanımına olan talep hızla artmaktadır. Raylı sistem inşaatlarında; ray montajları alışlagelmiş ölçme çalışmalarından farklı olarak kendisine özgü bazı ölçme yöntemleri ile bazı özel donanımlar gerektirmektedir.

Bu çalışmada Raylı Sistem inşaatlarında ray hatlarının tasarım parametrelerine bağlı olarak yerleştirilmesi ele alınmıştır. Ray hatlarının inşaatı için oluşturulan ölçüm ağlarının (Nirengi, Poligon, Nivelman) tesis edilmesi uygulama için hazır hale getirilmesi, ray hatlarının tasarımları için gerekli ölçme çalışmalarının yanısıra Balastlı ve Balastsız hatlardaki rayların yerleştirilmesi sırasında gerekli ölçme yöntemleri ve kullanılan alet ekipman ülkemizin çok sayıda raylı sistem projesindeki uygulamalardan edinilen tecrübelerin ışığında ele alınmıştır.

SURVEYING WORK CONDUCTED FOR TRACK LAYING IN RAIL TRANSPORT SYSTEMS

Demand for using rail transport systems is continuously increasing in our large cities because of the considerable benefits the systems provide in terms of resolving urban transportation problems. The installation of track in the rail system construction requires some special equipment different from the commonly used survey methods, to be used in survey methods characteristic to these systems.

In this study, installation of the track in the Rail Transport System construction works, in accordance with design parameters is discussed. Installing the measurement network established for the construction of rail track (Triangulation, traversing, leveling), preparing

it for application, survey work required for the rail track design as well as the measurement methods necessary in track laying in Ballasted and Ballastless tracks and the equipment used are discussed under the light of the experience gained from a considerable number of rail system projects implemented in our country.

1. GİRİŞ

Dünya'daki bütün büyük kentlerde; kitle ulaşımı büyük ölçüde raylı sistemlerle yapılmaktadır. Büyük şehirlerde hızla artan nüfusun, ulaşım ve hava kirliliği gibi sorunları da beraberinde getirmesi sonucu; enerjinin daha efektif kullanılması gereksinimi ortaya çıkmış, bununla birlikte raylı sistemlerin yolcu ve yük taşımacılığındaki önemi kaçınılmaz hale gelmiştir.

Bilindiği gibi ray uygulamaları; demiryolu, tramvay, hızlı tramvay, metro vb. toplu taşıma araçlarının seyahat edebilmesi için tesis edilen ulaşım ağları için gerekli üst yapılardır. Ray uygulama amaçları ve uygulama alanları farklı olsa bile dünya çapında belli standartlara göre inşa edilirler. Bunun nedeni ise farklı ulaşım ağlarının ülke içerisinde yada ülkeler arasında da bağlanmasının avantajları ve dünya çapındaki teknolojilerin birbiriyle uyumlu olmasının getireceği ekonomik ve teknolojik avantajlardır.

Raylı sistem inşaatları; uzun güzergahlar halinde inşa edildiği için ölçme ağlarının oluşturulması inşaatın tasarım verilerine uygun olarak tamamlanması açısından önem kazanmaktadır. Raylı sistem inşaatları için gerekli temel ölçmeler aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- a. Nirengi ağının oluşturulması
 - Klasik Metodlarla
 - GPS yardımıyla
- b. Poligon ağının oluşturulması
- c. Nivelman ağının oluşturulması
- d. Güzergah haritalarının hazırlanması
- e. Proje hazırlama ve uygulamaya geçiş

Raylı Sistem güzergahları genellikle şehrin trafik ve yerleşim açısından en yoğun bölgelerinden geçtiği için, klasik yöntemlerle zeminde nirengi noktalarını oluşturmak neredeyse imkansızdır. Bu tür bölgelerde poligon ağları ile de bağlantı kurulabilmesi için güzergah üzerindeki yüksek katlı binaların çatı teraslarında nokta tesis edilmesi tercih

¹ YAPI Merkezi İnş.San. A.Ş. K.Çamlıca 81180 / İSTANBUL

edilir. Fakat böylesi uygulamalar yönetimden izin alınması ve maliklerin rahatsız edilmeleri yönünden sorunlara neden olabildiğinden güzergahın kavşak gibi çevresinin mümkün olduğunca açık olduğu yerlere nokta tesis edilerek GPS yöntemiyle ölçümlemek sağlıklı sonuç alınması açısından önemli hale gelmiştir.

Poligon noktalarının sayısallaştırılması için GPS yöntemi tercih edilmek istense bile, poligon nokta tesislerinin cadde, sokak gibi etrafı genellikle yüksek binalardan oluşan dar bir koridor içerisinde kalmasından dolayı GPS algılayıcılarının belirli bir açı içerisinde yeterli sayıda uydu ile iletişimi sağlayamaması nedeni ile kullanışlı sonuçlar elde edilememektedir. Bu nedenle poligon tesislerinin sayısallaştırılması için klasik uygulamalara gereksinim duyulmaktadır.

Mevcut Rs noktalarının tesbit edilmesinden sonra yeni noktalar da tesis edilip hassas nivelman metoduyla ölçümlendikten sonra dengelenerek kotlandırılmaları gereklidir. Bağımsız bir kot sistemi ile de çalışmak mümkün olduğu halde altyapı kuruluşları ile (su, atıksu, yağmursuyu, elektrik, telekom, doğalgaz) koordinasyon sağlanarak gerçek kotların kullanılması tercih edilmektedir. Ray montajı sırasında kullanmak için yaklaşık 50m. ara ile kot röper noktaları işaretlenmesi ise kullanışlı bir yöntem olmaktadır.

İnşaat uygulamaları sonrasında daha önce oluşturulmuş bulunan nirengi, poligon ve nivelman noktalarının ray uygulamaları için yetersiz kalması durumunda bu noktalar mevcut noktalara bağlı olarak sıklaştırılarak ölçümlendikten sonra dengelenmiş koordinatları kullanılır. Bütün ölçme ağırları tüm inşaat sahasını kapsayacak şekilde ve yönetmeliklere uygun olarak tesis edilir.

Güzergah için yapılan fizibilite çalışmaları sonrası belirlenen raylı sistemin geçeceği güzergahın şeritvari haritaları hazırlanır. Altyapı kuruluşları ile irtibata geçilerek, alt yapı paftaları ve gerekli bilgiler elde edilerek, hali hazır paftalar ile karşılaştırılır. Bu doğrultuda sistemin projelendirilmesi yapılır. Proje hazırlandıktan sonra hat eksenini araziye aplike edilerek, karakteristik noktalar başta olmak üzere genellikle 20 metrede bir enkesitler ölçümlenir. Güzergah altında kalan veya engelleyen altyapılar belirlenerek, deplasman işleri tamamlanır. Güzergah üzerindeki karakteristik noktalar belirlenerek sondaj yapılır ve jeoteknik raporlar hazırlanır.

Güzergahın inşaat yapısıyla beraber güzergah geometrisi ve devamında da ray hatları geometrilerinin tasarımı gerçekleştirilir. Bunun için tüm yapı, kataner ve her türlü civar yapı engelinin araç gabarisi içerisinde kalmaması ve raylı sistem seyehat konforunun maksimum düzeyde tutulması için ray geometrisi normlarına uyulur. BursaRay Projesi için tasarımı hazırlanmış ray hattı geometrisine ilişkin matematizasyondan bir bölüm Tablo 1 de görülmektedir.

No	Tip	Nok.	Km	Yarıçap	Uzunluk	Açı	X	Y	Makas
1	R	A	4+904,711	-1000,000	96,496	104,169	409752,327	4453787,782	
2	A	HP	5+001,207	-1000,000	15,000	98,026	409848,771	4453786,119	
3	G	HP	5+016,207	0,000	134,723	97,548	409863,761	4453786,659	
4	W	BP	5+150,930	0,000	27,138	97,548	409998,384	4453791,846	49-1:9
5	W	EP	5+178,068	0,000	11,126	97,548	410025,502	4453792,891	49-1:9
6	R	HP	5+189,194	-1000,000	64,894	97,548	410036,620	4453793,320	
7	G	HP	5+254,088	0,000	61,979	93,417	410101,339	4453797,920	
8	W	EP	5+316,067	0,000	27,138	93,417	410162,987	4453804,317	49-1:9
9	W	BP	5+343,205	0,000	10,928	93,417	410189,980	4453807,119	49-1:9
10	R	HP	5+354,133	1500,000	29,371	93,417	410200,850	4453808,247	
11	G	HP	5+383,504	0,000	207,996	94,664	410230,092	4453810,992	
12	A	HP	5+591,500	0,000	15,000	94,664	410437,357	4453828,407	
13	R	HP	5+606,500	1000,000	39,001	95,141	410452,307	4453829,626	
14	A	HP	5+645,500	1000,000	15,000	97,624	410491,243	4453831,841	

Tablo 1: Ray Hattı Geometrisine İlişkin Matematizasyon Örneği

Rayların yerleştirilmesi bir raylı sistem inşaatının en önemli ve en son inşaat aşamasıdır. Yerleştirilmesi sırasında gösterilecek ölçme hassasiyeti araçların raylar üzerinde konforlu bir şekilde, gabari problemi yaşanmadan seyehat etmesini temin edecek en önemli faktördür. Böyle bir konforlu ray işletmeciliğini elde etmek için uyulması gerekli yatay ve düşey konumlandırma için yüksek ray ölçme toleranslarına örnek olarak BursaRay projesinde baz alınan değerler gösterilebilir.

- Gabari: Nominal değerden, müsaade edilebilen, maksimum sapma: +5mm/-0mm; 5mm maksimum tolerans genliği 25 metreden az uzunluğa sahip hat bölümlerinde meydana gelmeyecektir.

- Bir hattın iki rayı arasındaki yükseklik farkı: Nominal değerden, müsaade edilebilen, maksimum sapma ± 2 mm; 4mm maksimum tolerans genliği 25 metreden az uzunluğa sahip hat bölümlerinde meydana gelmeyecektir.
- Boylamsal yükseklik: Nominal değerden, müsaade edilebilen, maksimum sapma: 5 metre uzunluk için ± 2 mm, ancak 50 metre uzunluk için 10mm'den fazla değil.
- Hat aks pozisyonu: Nominal pozisyondan, müsaade edilebilen, maksimum sapma: ± 2 mm; 4mm maksimum tolerans genliği 25 metreden az uzunluğa sahip hat bölümlerinde meydana gelmeyecektir.
- Kaynaklı ray bağlantı yerleri (rayın zirvesinde ölçülen): Nominal değerden, müsaade edilebilen, maksimum sapma: +0.3mm/-0.2mm.
- Kaynaklı ray bağlantı yerleri (rayın yan tarafında ölçülen): Nominal değerden, müsaade edilebilen, maksimum sapma: +0.0mm/-0.3mm.

2. RAY HATTI ANA PARAMETRELERİ

Ray uygulamaları genelde balastlı ve balastsız hatlar olmak üzere iki ayrı yöntemle gerçekleştirilir. Bunun yanısıra lokal alanlar için uygulamaları sözkonusu olabilecek kanal hatları, kör hatlar, dökme hatlar gibi hat tipleri de mevcuttur. Bu çalışmada hat yapımları ve ölçmeleri bu iki tip uygulama için değerlendirilmektedir.

Raylara ilişkin genel bilgiler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

Ray hattı gabarisi: 1435 mm

Maksimum Sürekartman gabarisi: 1465 - 1430 mm

Maksimum Dever: 15 mm

Ray Ölçüleri: RÜK –14 mm den

Ray çekme Mukavemeti: 880 N/m²

Ray Uzunluğu: 18m

Genel Ray Tipleri: Balastlı hatlarda S49, balastsız hatlarda RI56, RI59, RI60

Raylı sistemlerde genel olarak dünya standardı olan 1435mm lik açıklık kullanılır. Vagonların kendi içerisinde dingil açıklıkları sabittir. Sistem üzerinde hareket eden çok sayıdaki katarın kurb bölgelerinde hat açıklığı içerisinde herhangi bir kasılmaya maruz

kalmadan rahat hareket edebilmesi için, hat açıklığı 1465-1430mm arasında uygulanır ki bu fark sürekartman olarak adlandırılır. Raylar üzerinde ölçüler ray mantarının 14 mm. aşağısından alınır.

Ray hatları genel olarak aliyman, kurb, klotoid ve düşey kurb gibi bilinen geometrik formların arka arkaya eklenmesiyle güzergah formunu alır.

Minimum aliyman uzunluğu $L=0.60V$ ile tanımlanır. Kurblar için minimum kurb yarıçapı ana hatlarda 230m. Zorunlu durumlarda ise 110m. olarak tasarlanmaktadır. Genel olarak düşey kurb yarıçapı $R=V^2/2$ formülüne göre hesaplanabilir.

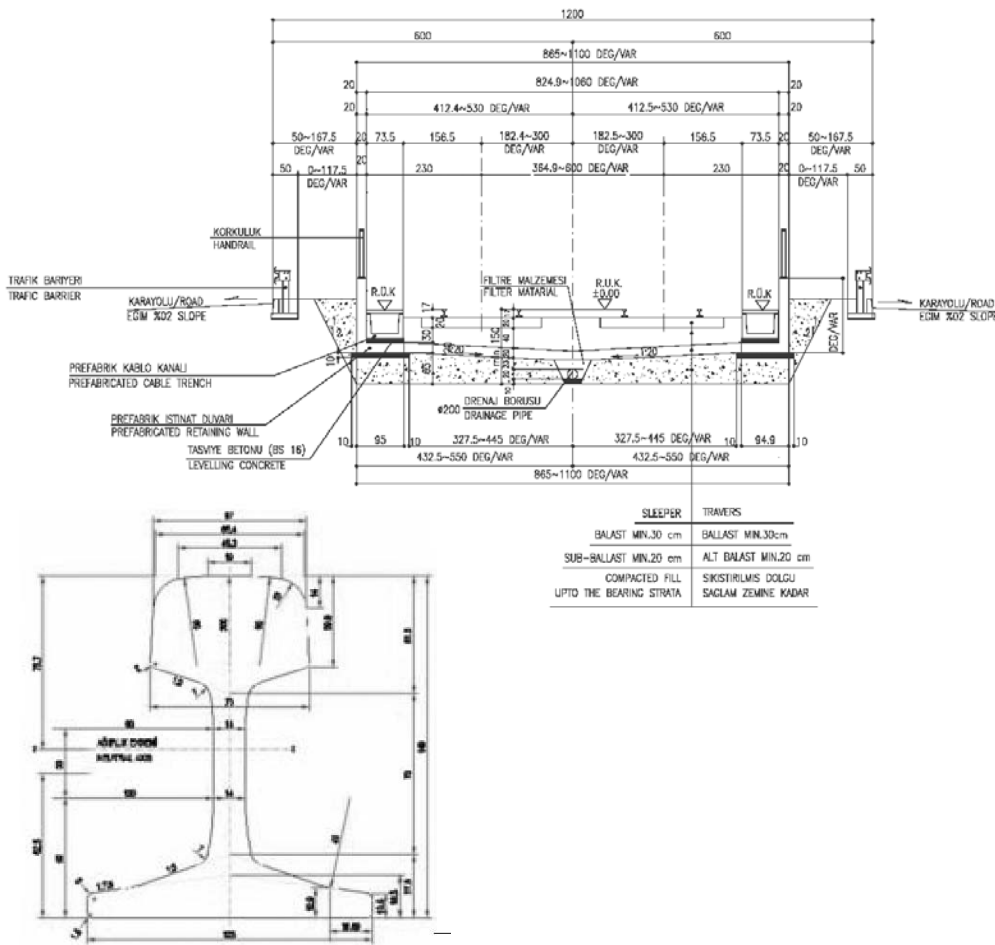
Raylı sistem araçlarının, hareketi esnasında kurb bölgelerinden geçişte, hızına bağlı olarak oluşan merkezkaç kuvvetini karşılamak için dış ray iç raydan fazla yükseltilir ki dever olarak adlandırdığımız bu miktar, $d= 8V^2/R$ mm dir. Deverin 150mm den fazla olması kabul edilmemektedir.

V: Proje hızı (km/h) R: Kurb yarıçapı (m)

Raylı sistemlerde hareket eden bir katarın bir yoldan diğer bir yola geçmesini sağlayan düzenek makas olarak adlandırılır. Sistemin özelliği makas ucunda bulunan dil kısmının mekanik veya kumanda merkezinden verilen hareket ile açılıp kapanarak yan yola geçilmesini sağlamaktır. Çok çeşitli makas tiplerinin varlığına karşın, makaslar genel olarak sağ, sol ve yarıçaplarına göre ayrılırlar. Ayrıca birbirini kesen hatlarda yolunu değiştirmeden geçişi sağlayan mekanizmaya ise kruozman adı verilir.

3. BALASTLI HATLARDA UYGULAMA

Raylı sistemlerin balastlı hat bölümlerinde Jeoteknik raporlar doğrultusunda belirlenen zemin cinsine göre gereken derinlikte hafriyat yapılır. Gerekliyse zemin iyileştirilmesi de yapılarak dolgu kademeli olarak tamamlanır. Bu arada çevre duvarı ve kablo kanalı ile ilgili imalatlar tamamlanır. (Şekil 1) Bu aşamada hat eksenini alinymanda 20m, kurb veya klotoid de ise 10m de bir aplike edilerek, dikleri sağ ve solda koruma duvarı veya kablo kanalları üzerine RÜK (Ray Üst Kotu) da veya bir miktar daha üst seviyede kaybolmıyacak şekilde tesbit edilir. Bu işlem için beton çivileri bir çivi tabancası yardımıyla aks ve kotunda; üzerine mira tutulabilecek durumda kolayca yerleştirilebilir. Altyapısı hazırlanmış olan dolgu zemin üzerine alt tabaka balast (ince kırma taş) serilir ve vibrasyonlu silindir ile sıkıştırılır. Son dolgu kotu travers alt kotundan 5 cm. düşük seviyede olacak şekilde +/- 3cm. tolerans dahilinde serilerek reglajı yapılır.



Şekil 1: Balastsız Hat ve Ray Tip Kesiti (BursRay Projesi)

Bu aşamadan itibaren balastlı hatlara ilişkin temel yapı bileşenleri balast, travers, ray ve ray-travers bağlantısını sağlayan elemanlar ile rayların yerleştirilmesini yönlendirecek olan ölçme çalışmalarıdır.

Yan duvarlarda km. leri işaretlenmiş röper noktaları veya çelik şerit metrelerden faydalanarak alınıyorsa ortalama 0.75m, R>300m kurlarda 0.65m ve R<300m kurlarda ise 0.60m aralıklar ile traverslerin dizilmesi ve 18m uzunluğundaki S49 vinyol rayların traversler üzerine yerleştirilmesi ve ray bağlantı elemanları kullanılarak ray-travers bağlantısının yapılması gerçekleştirilir. Eğer R<150m ise ray bükme makinası yardımı ile raylar bükülür ve montaj bölgesine nakledilir.

Traversler beton, ahşap veya plastikten oluşur. Genel olarak beton travers kullanılmasına

karşın, makas raylarının altında sesi absorbe etmesi ve titreşimi azaltması nedeniyle viyadük, köprü ve tünellerdeki istasyon bölgelerinde ahşap travers kullanımı tercih edilmektedir.

Kaynak için gerekli hazırlıklar yapıldıktan sonra, raylar arasındaki boşluklar yaklaşık 25 mm olacak şekilde bırakılarak kaynağın doğru dökümünü sağlayacak ray formu verilmiş olan kaynak tuğlaları yerleştirilir ve potanın içine koyulan kaynak şarjının ateşlenmesi sonucu aliminotermite kaynak işlemi gerçekleştirilir. Taşlama motoru yardımı ile kaynak artıklarının temizlenmesi tamamlanır.

Bu aşamadan sonra hattın teorik konumuna getirilmesi için aşağıda belirtilen değişik ölçme yöntemleri ve tekniklerden faydalanılır.

- Buraj makinası ile hattın düzenlenmesi
- Manuel buraj ile hattın düzenlenmesi
- Fleş metodu ile hattın düzenlenmesi

a) Buraj Makinasının İle Hattın Düzenlenmesi: Vagonlar yardımı ile ikinci tabaka balastın dökülmesi ve röper noktaları baz alınarak, buraj makinası (Şekil 2) ile rayların aks ve kotuna getirilmesi sağlanır. Lazer aparatı ile donatılan bu makineler ile saatte 2-3km yol düzleme olanağı vardır. Bu düzleme işleminde dresaj (yatay düzleme), rölevaj (düşey düzleme) işleri yapılmaktadır. İşleme; rayların düşeydeki ve yataydaki durumunun tesbiti ile başlanır.



Şekil 2: Buraj Makinası ile Ölçüm ve Ray Düzeltmeleri

Buraj makinası daha önceden yerleştirilmiş ancak kesin konumunu almamış raylar üzerinde seyahat eden ve rayın mevcut geometrisinin ve proje geometrisinin kaydedilerek gerekli düzeltme miktarlarını belirleyebilen, yardımcı ölçme donanımına sahip (ray nivosu) olan ve belirlenen düzeltmeleri de hidrolik kollarını balast içerisine saplayıp hattı (ray+travers) kaldırarak her iki boyuttaki değişiklikler ile gerçekleştirebilen bir makinedir. Buraj makinası sadece balastlı hat düzeltmeleri için kullanılmaktadır. Buraj makinası ile ray düzeltmeleri hattın geometrisine bağlı olarak aşağıda açıklandığı gibi değişik yöntemlerle gerçekleştirilebilir.

Sabit Eğimli Hatlarda Kot Ayarlanması: Buraj makinası ön yerleştirme işlemi tamamlanan raylar üzerinde ayarlama yapılacak km'ye gelir. Makinadan max. 100m.uzaklıkta, vizör (ray nivosu) raya yerleştirilir. İlk aşamada amaç R.Ü.K -2.5cm ye göre rayları konumlandırmaktır. Vizör, buraj makinasının skalasına bağlanarak, istenen eğimi sağlayacak

şekilde, vizörü kullanan kişi tarafından buraj makina yönlendirilir. Vizör operatörü makina skalası ile vizörün göstergesini üst üste getirir. Buraj makinası vizörün yanına gelene kadar düzenleme yapılır. Vizör operatörü uzaktan kumanda ile bir rayı kotuna getirtirken, makina operatöründe diğer rayı düzeltir.

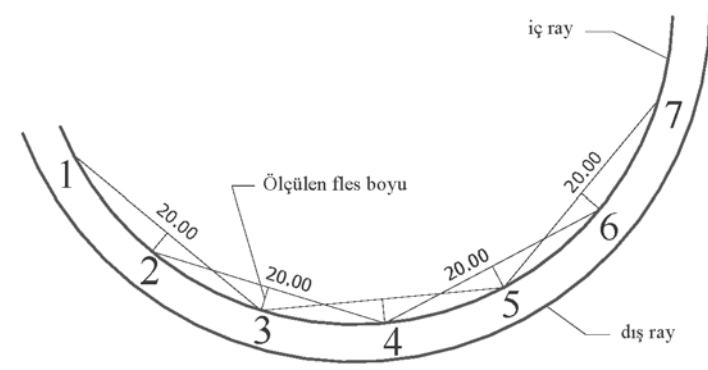
Düşey Kurlarda Hat Ayarlanması: Düşey kurlarda her 5 metrede rayın ne kadar kaldırılacağı ölçmelerle tesbit edilir ve bu değerler buraj makinasına kaydedilir. Buraj makinası düşey kurbun başlangıç noktasından 5 metre öne gelir, makina operatörü ray üzerinde belirlenmiş olan düzeltme değerlerini dikkate alarak hattı düzeltir. 2. ci aşamada ise ray eksene getirilmeye çalışılır.

Kurb ve Klotoide Yatay Eksen Ayarı: Buraj makinası, kurb veya klotoidin başlangıç noktasına gelir. İlk olarak rayın teorik eksene ilişkin konumunu irdelemek için, rayların durumunun ölçülmesine geçilir. Rayın olması gereken değerleri grafik üzerine işlenir. Makina tekrar başa döner. Operatör makina kullanırken, ikinci bir kişi makinaya grafiği takip ettirir. Böylece makina grafiğe göre rayları olması gereken eksen konumuna getirir. Hattın deveri de buraj işlemi sırasında gerçekleştirilir.

Aliyman Hatlarda Ray Ayarlanması: Ray düzeltmesi iki şekilde gerçekleştirilebilir. Birinci yöntem; buraj makinasının otomatik olarak kendi kapsamındaki rayların durumuna ilişkin göstergeleri kullanmasıyla gerçekleştirilir. Bu yöntem en son aşamada yolu kontrol ederken, bozuk kalan yerleri düzeltmek için kullanılır. İkinci yöntem; ise ray nivelosunun (vizör) kullanılması gerçekleştirilir. Buraj makinası alinyamanda durur ve rayın eksensel olarak ne tarafa gitmesi gerekiyorsa makinanın skalası o yöne doğru çekilir. Vizör buraj makinasının önüne kurulur, ölçüldüğü yerdeki kaymaları gösteren vizör yatay tablası hazırlanır. Vizör makinanın eksen skalasına bağlanır. Vizör göstergesi makinanın yatay ekseni ile karşılaştırılır ve makina operatörü de dışarıdan verilen komuta göre eksen göstergesinin takibi ile hattı eksen konumuna getirir.

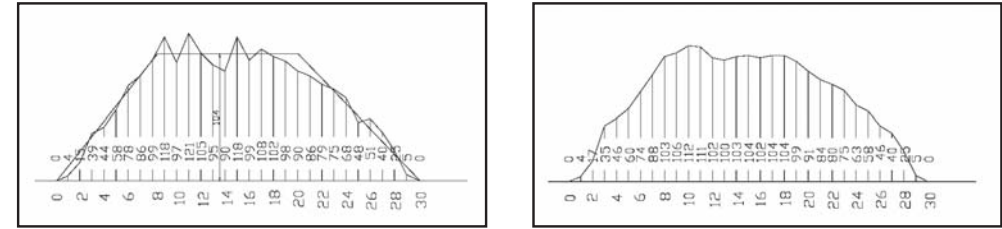
b) Manuel Buraj Yöntemi : Manuel buraja başlamak için ön yerleştirme işlemi tamamlanarak kaynak işlemi bitirilmiş hattın ikinci kademe balastı serilir ve tesviye edilir. Hattın mevcut durumu ölçülünerek kaydedilir ve düzeltmeler belirlenir. Belirli aralıklarla raylar krikolar aracılığıyla kaldırılarak askıya alınır ve proje kotunda sabit tutulur. Bu arada gerekli görülen yerlere de balast dolgusu takviye edilir. Ray altında bulunan boşluklara da balast sıkıştırılarak hattın pozisyonu korunmaya çalışılır. Aynı süreçte ölçmeler aracılığıyla hattın ripaj işlemi de gerçekleştirilir. Krikolar boşaltılır ve hattın durumu ölçmelerle yeniden kontrol edilerek gerekiyorsa ilave düzeltmeler yapılır.

c) Fleş Metodunun Kullanımı : Her ne kadar rayların kontrolünde ölçme aletleri, düzeltilmesinde ise buraj makinası kullanılsa bile; bazı durumlarda kontrol ve düzenleme amacı ile fleş metodundan yararlanılabilir. Bir dairede kirişin ortasından çıkılan dikin yayı kestiği nokta arasındaki mesafeye fleş denir. (Şekil 3)



Şekil 3: Fleş Metodu ile Ölçüm

Fleş denklemi $f=l^2/8r$ dir. Bozuk olan bir raylı sistem kurbunda, fleşler 20 metrelik bir ip kullanarak 10 metrede bir ölçülür ve şekildeki gibi bir diyagram oluşturulur. (Şekil 4)



Düzeltilme Öncesi

Düzeltilme Sonrası

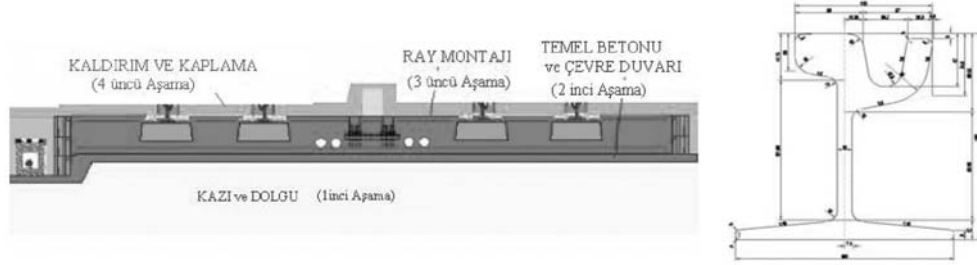
Şekil 4: Fleş Öncesi ve Sonrası Düzeltme Diyagramı

Kurb'a ait kısımdaki fleşlerin ortalaması belirlenir ve bu ortalama değerden geçen hat gösterimi yatay eksen çizgisine paralel olarak çizilir. Diyagramın sağ ve sol kenarlarında, ortalama fleş değerini tanımlayan eğimli bir çizgiyle gösterilerek üstteki paralel çizgi ile birleştirilir. Böylece, kurbun olması istenen, doğru fleşlerini gösterir düzgün ikiz kenar yamuk elde edilir. Yamuğun, teşkil ettiği fleşler diyagramı, ile hareket dinamiği ve yolun trafik emniyeti açısından, araçların seyrine uygun, düzenli bir kurb tasarımı oluşturulur. Fleş diyagramı üzerinde belirlenen sapmalar raylar üzerinde düzeltilir. Kurb üzerinde fleşin ölçüldüğü bir noktada "a" kadar kurb merkezine veya dış tarafa ripaj yapılır ise, bu noktadaki fleş o kadar büyür veya küçülür. Fakat, aynı anda komşu noktadaki fleşler aksi istikamette a/2 kadar büyür veya küçülür.

Balastlı hatların yeniden belirtilen metodlar yardımıyla düzeltilmesine zaman içerisinde ihtiyaç bulunmaktadır. Düzeltmeler için gerekli süreç hattın kullanımına, kullanılan malzemeye, inşaat ve zemin parametrelerine bağlı olarak değişmektedir.

4. BALASTSIZ HATLARDA UYGULAMA

1966 yılından beri uygulanmakta olan balastsız raylı toplu taşıma sistemleri değişik tipteki uygulamaları ile günümüze değin modernize olarak gelişim göstermişlerdir. Raylı sistem inşaatı için kullanılacak ölçüm ağırları oluşturulduktan sonra güzergahın dış kontürleri araziye applike edilir ve asfalt kesilerek kaldırılır. Zemin raporları doğrultusunda gerekli derinliklerde kazısı ve dolgusu yapıldıktan sonra ray yerleştirme ve betonlama işleminin beraber yapılması için son eksiklikler tamamlanır. Öncelikle demir donatının toprak ile ilişkisini kesmek için yaklaşık olarak 10cm grobeton dökülür. Kesitteki ölçüler çerçevesinde kenar duvarlar tamamlanır.. (Şekil 5)



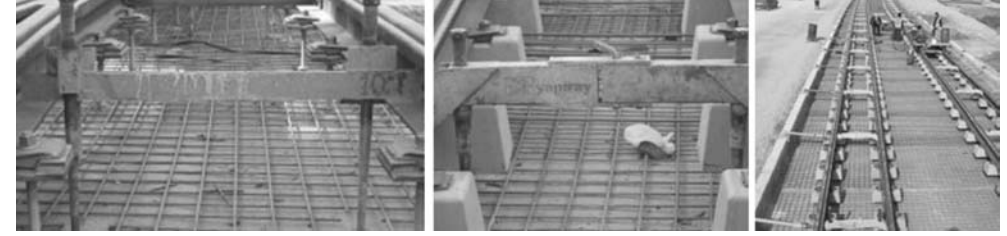
Şekil 5 :Balastsız Hat ve Ray Tip Kesiti (Estram Projesi)

Grobeton üzerine yatay hat geometrisinin karakteristik noktaları sağ ve sol hat için ayrı ayrı işaretlenir. Karakteristik noktaların işaretlenmesi rayların döşenmesi, dresaj ve rölevajın yönlendirilmesi açısından önemlidir. Balastsız hatlarda buraj işlemi (raylarda yeniden konumlandırma işlemi) yapılamadığından hatasız çalışması gerekmektedir. Grobeton üzerine yatay geometri karakteristik noktaları işaretlendikten sonra çelik hasır serilmesi ve ray altı bloklarının yerleştirilmesi işlemleri tamamlanır. Estram projesinde inşaat zaman kazanmak için ray altı mesnet blokları raylara monte edilmiş halde yerine konmuştur. Balastsız hatlarda genel olarak, RI 60 tipi raylar kullanılmaktadır.

Eğer kullanılacak sistemin özel bir durumu varsa veya sistem çoğunlukla $R < 20-25m$ kurlardan oluşuyor ise oluk açıklığı daha fazla olan RI 56 tipi raylar kullanılır. $R < 300m$ için raylar ray bükme makinasında bükülerek hazırlanmalıdır. Sağ ve sol raylar, ray altına takozlar konarak kabaca 1-2 cm hassasiyetinde yerine getirilir ve ray kaynakları (alimüno termit) yapılır.

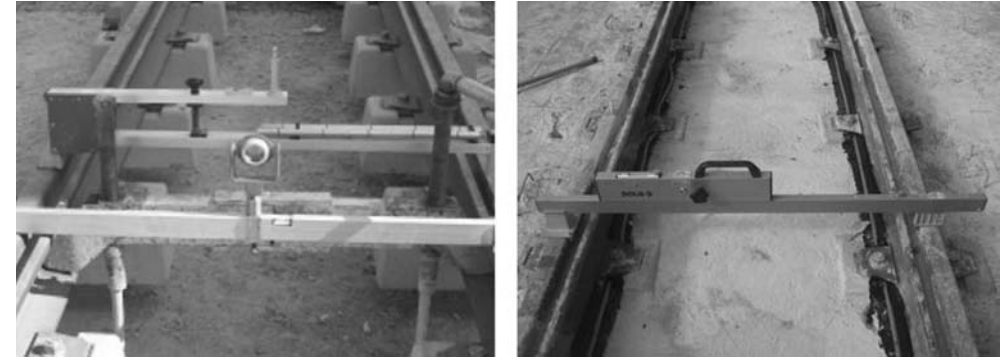
Artık sıra hattın dresaj ve rölevaj işlemine gelmiştir. Bu işlem yukarıda da sözedildiği gibi düzeltilmesi mümkün olmadığı için kesinlikle hatasız konumlandırmayı gerektirir ve yapılan yanlışlık betonarmenin kırılarak düzeltilmesine sebep olmaktadır. İlk önce dresajın yapılabilmesi için prop olarak adlandırdığımız rayları sağa ve sola hareket ettirecek düzeneğin raylara montajı gerçekleştirilir. Her bir kaç metrede bir yerleştirilen bu mekanizmanın hizasına rölevaj işlemi için yararlanılmak üzere fikstürler yerleştirilir

ve ray ile olan bağlantıları tamamlanır. Fikstür; hattın düşeyde konumunun belirtilmesi için kullanılan ve mekanik bir düzenekle aşağı-yukarı hareket edebilen bir sistemdir. (Şekil 6)



Şekil 6: Hattın Düşey Konumunun Belirlenmesi

1-2 cm hassasiyetle yerleştirilen raylar için 1.etap ölçme çalışması başlar. Önceden güzergahta, grobeton üzerinde de işaretlenmiş olan yatay profilin karakteristik noktalarına bağlı olarak çalışmak sistemin kendi içerisinde hatasız olmasını sağlar. Alinyamanda alet sağ ve sol eksen için ayrı ayrı kurulur, ve diğer bir alinyaman noktasına bağlanır. Özel olarak dizayn edilmiş reflektör aparatı kullanılarak hat doğrultuya getirilir; bununla beraber ray hattı klotoit başlangıcı veya sonunda alet kurulması ray hattının bütün eğri içinde düzenlenmesi açısından yararlıdır. Kurb ve klotoit bölgelerindeki rayların düzeltilmesinde ise pratik olarak şu yol izlenir. (Şekil 7)



Şekil 7 : Ray Ekseninin Prizma ile Ray Açıklığının Gabari Aleti ile Ölçülmesi

- Güzergahın yatay geometrisi ana eksen bazında yol programı yüklenmiş olan cep bilgisayarına aktarılır.
- Kurb veya klotoit noktalarından birine kurulan alet diğer noktaya bağlanır ve raylar arasına yerleştirilen reflektör aparatına yöneltilir.

- Okunan değerler gereken ofset mesafesi de dikkate alınarak cep bilgisayarına girilir ve alınan sağ-sol kayma miktarları kadar raylara düzeltme getirilir.
- Ray dizisinin bir tarafına nivo ile kot verilir, arkadan gelen ekip, diğer rayı belirtilen kota getirir.
- Birinci etap işler, çok fazla özenilmeden birkaç milimetre hassasiyetle tamamlanarak, demir donatı ve gömülü elemanların montajına geçilir. Beton dökümünden önce yukarıda sözedilen ölçme işleri hassas şekilde tekrarlanarak gerçekleştirilir ve beton ray altı mesnet bloklarının altına kadar dökülür. Beton prizini almadan önce son ölçme kontrolü yapılır. Söz konusu işlemler Estram projesi uygulamalarında 25m lik anolar halinde gerçekleştirilmektedir.
- Ray ölçümü için yapılan son kontrol işleminde, ekartman ve iki ray arasındaki kot farkını hassas olarak gösteren (Sekil 7) gabari ölçüm aleti kullanılır. Bu mekanizma aynı zamanda dever ayarlaması içinde oldukça kolaylık sağlamaktadır.
- Dolgu betonu döküldükten sonra bordür ve parke döşeme işlemleri tamamlanır, ray ile parke arasındaki boşluk mastik asfalt ile doldurulur.

BursaRay'daki balastlı ve Estram'daki balastsız ray uygulamalarından örnekler Şekil 8'de görülmektedir.



Şekil 8: Balastlı Hat (BursaRay) ve Balastsız Hat (Estram)

5. SONUÇ

Raylı sistem inşaatlarındaki ray yerleştirme uygulamaları yoğun ve hassas ölçme çalışmaları gerektirmektedir. Bu ölçme çalışmaları; diğer bilinen ölçme yöntemlerinden farklı olan bazı uygulamalar ve alet donanımlarının kullanımını gerektirmektedir. Ray montajları için uygulanan ölçmeler doğrudan raylı sistem araçlarının konforunu ve seyahat güvenliğini belirleyecek önemdedir. Bu uygulamalar tabii ki diğer uygulama ve tasarım disiplinleriyle de sıkı koordinasyon içinde bulunmayı gerektirmektedir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar; bu çalışmanın hazırlanmasında gördükleri yakın ilgi ve desteklerinden dolayı Yapı Merkezi Holding A.Ş. Yönetim Kurulu Başkanı Sn. Emre Aykar'a, Yapı Merkezi Yönetim Kurulu Murahhas Üyesi Sn. Başar Arıoğlu'na ve diğer tüm emeği geçenlere teşekkür etmeyi borç bilirler.

REFERANSLAR

1. Berksoy, B., Raylı Toplu Taşıma Sistemlerinde Demiryolu Üstyapı İnşaatı, 1994, İstanbul
2. Bursa BBŞB, Bursaray Teknik Şartnamesi, 1997, Bursa
3. TC. Ulaştırma Bakanlığı, DLH Genel Müdürlüğü, Hafif Raylı Sistem Kriterleri, 1995
4. Yapı Merkezi İnşaat San. AŞ., Hat İşleri Yapım Metodu, 2001