

# MODERN YÜKSEKLİK BELİRLEME TEKNİKLERİ: GEOMETRİK NİVELMAN TARİH Mİ OLUYOR?

A. Ceylan

Selçuk Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Bölümü, Ölçme Tekniği Anabilim Dalı, Konya, [aceylan@selcuk.edu.tr](mailto:aceylan@selcuk.edu.tr)

## ÖZET

*Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliğinin önemli uğraş alanlarından birisi de nokta yüksekliklerinin veya noktalar arası yükseklik farklarının belirlenmesidir.*

*Geometrik nivelman tekniği son 160 yıldır en güvenilir yükseklik belirleme tekniği olarak bilinmektedir. Ancak, son yıllarda gelişen teknolojilere paralel ortaya çıkan yüksek doğrulukta düşey açı ve uzunluk gözlemleri yapabilen elektronik tacheometreler, dijital ve lazer nivoların ve uydu bazı konum belirlemesistemleri geliştirilmiştir. Bu gelişmeler sonucunda, ahşap, fiberglas ya da alüminyum miralar ile yapılan geometrik nivelmanın yerini dönerli lazer nivolar, EDM-trigonometrik nivelman (total station ile), topografik harita alımları için RTK-GPS ölçmeleri, yükseklik ağlarının kurulması için ise GPS/Nivelman teknikleri almaya başlamıştır.*

*Bu çalışmada, söz konusu alternatif modern yükseklik belirleme tekniklerin avantaj ve dezavantajları ortaya konularak, yükseklik ölçmeleri konusunda bazı önerilerde bulunulmuştur.*

Anahtar Sözcükler: Geometrik Nivelman, Trigonometrik Nivelman, GPS Nivelman, Lazer Nivolar

## ABSTRACT

### MODERN HEIGHT DETERMINATION TECHNIQUES

*One of the most important aims of geodesy and photogrammetry engineering is to determine the heights of points or height differences between points. Geometric leveling has known as a trusted height determination technique for 160 years. As a result of modern high-tech instrument developments such as electronic tacheometers, laser levels, digital levels and GPS, conventional geometric leveling is replaced by laser leveling, EDM-trigonometric leveling and GPS/leveling for many engineering applications and establishment of leveling networks.*

*In this study, the advantages and disadvantages of this modern height determination techniques are outlined and some suggestions about this techniques are proposed.*

Keywords: Geometric Leveling, Trigonometric Leveling, GPS Leveling, Laser Levels

## 1. GİRİŞ

Günümüzde gerek bilimsel çalışmalarda gerekse mühendislik hizmetlerine yönelik çalışmalarda nokta yüksekliklerinin veya noktalar arasındaki yükseklik farklarının belirlenmesi problemi ile karşılaşılır. Bu çalışmalara örnek olarak;

- Nivelman ağların ölçülmesi,
- Köprü, baraj vb. büyük yapıların düşey aplikasyonu, bakım ve kontrol ölçmeleri,
- Yer kabuğu düşey hareketlerinin belirlenmesi,
- Otoyol, demiryolu, kanalizasyon ve boru hattı ölçmeleri,
- Düşey aplikasyon işleri
- Plankote alımları
- Topografik alım işleri
- Enkesit ve boykesitlerin çıkartılması.
- Zirai amaçlı arazi tesviye çalışmaları v.b.
- 

gösterilebilir. Söz konusu projelerde uygulanacak olan yükseklik belirleme yönteminin seçiminde, çalışmadan istenilen doğruluk, maliyet, zaman ve mevcut donanım dikkate alınarak seçilmektedir.

## 2. YÜKSEKLİK BELİRLEME (NİVELMAN) TEKNİKLERİ

Yakın zamana kadar yükseklik belirlemeleri için sadece geometrik nivelman tekniği kabul edilmekteydi. Ancak, özellikle son 30 yıl içinde gelişen teknolojilere paralel yeni teknikler geliştirilmiştir. Yükseklik belirleme tekniklerinin tarihsel gelişimi tablo 1'de verilmektedir. Yüksekliklerin belirlenmesinde uygulanan bir çok jeodezik

## Modern Yükseklik Belirleme Teknikleri: Geometrik Nivelman Tarih mi Oluyor?

yöntem vardır. Bu yöntemler kullanılan ölçme aletlerine veya uygulanan ölçme yöntemine göre genel olarak geometrik nivelman, prezisyonlu nivelman, lazer nivolarla nivelman, trigonometrik nivelman, EDM-trigonometrik nivelman ve GPS/Nivelman olarak isimlendirilmektedir.

Tablo 1: Yükseklik belirleme tekniklerinin tarihsel gelişimi (Niemeier, 1986)

Yıl	1850	1900	1950	60	70	80	90	2000
Trigonometrik Nivelman		(Sadece dağlık arazilerde)						Trigonometrik Nivelman
		Geometrik nivelman		Kompansatörlü		Motorize		Digital
								GPS Nivelman

### 2.1.Klasik Yükseklik Belirleme (Nivelman) Teknikleri

#### 2.1.1. Geometrik Nivelman

Geometrik nivelman, nivo ve düşey olarak tutulan miraları yardımıyla yükseklik farklarının belirlenmesidir. Geometrik nivelman ilk bakışta uygulaması çok basit ve en iyi sonuç veren bir yöntem gibi görünebilir. Ancak, pratik uygulamalar, bu yöntemin özellikle engebeli arazilerde uygulaması oldukça zor ve bir çok düzenli yada düzensiz model hatalarına karşı duyarlı olduğunu ortaya koymuştur. Geometrik nivelmanda aletsel ve dış ortamdaki kaynaklanan model hatalarının ortadan kaldırılması ya da en aza indirilebilmesi için etkin önlemlerin alınması gerekir. Bu ise ölçme hızını düşürmekte ve buna bağlı olarak da maliyeti artırmaktadır (Banger, 1981; Niemeier, 1986; Ceylan, 1988; Baykal, 1989).

Bu hataların etkileri, laboratuvar ortamında yapılan kalibrasyon ile ölçü anındaki basınç, sıcaklık,

Günümüzde, ölçme donanımı arazi taşıtı üzerine yerleştirilmek suretiyle, motorize geometrik nivelman uygulamaları da yapılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Motorize geometrik nivelmanın klasik geometrik nivelmana göre avantajları;

- Üretim hızında %40-60 bir iyileşme
- Zamana bağlı hatalarda azalma
- Daha yüksek gözleme ışını ve buna bağlı olarak asimmetrik refraksiyon hatasında azalma
- Daha yüksek doğruluk

şeklinde özetlenebilir. Tek dezavantajı ise alet ve taşıtların maliyetinin yüksek olması ve nivelman noktalarının yol kenarlarına alınması zorunluluğudur (Niemeier, 1986; Becker, 1986).

#### 2.1.2. Trigonometrik Nivelman

Trigonometrik nivelmanda, düşey açı ve uzunluk yardımıyla yükseklik farkları hesaplanır. Trigonometrik nivelman , yer zaman ve düşey açı gözlemlerinin yapılaş biçimine göre ;

- Tek taraflı trigonometrik nivelman
- Ortadan (atlamalı) trigonometrik nivelman
- Karşılıklı trigonometrik nivelman

olarak sınıflandırılabilir.

Yüksek doğrulukta düşey açı ve uzunluk gözlemleri yapabilen elektronik takeometrelerin (total station) gelişimi ile birlikte trigonometrik nivelman tekniği yeniden güncel hale gelmiş ve bu konuda bir çok araştırmalar da yapılmıştır ( Rueger and Brunner, 1981, 1982; Kuntz and Schimitt, 1986; Aksoy ve ark, 1993; Erkaya, 1993; Ceylan, 1993; 2006, 2008).

Karşılıklı trigonometrik nivelmanda düşey açılar ( $Z_{ij}$  ve  $Z_{ji}$ ) ve eğik uzunluk gözlemleri ( $S_{ij}$ ) karşılıklı ve eşzamanlı olarak yapılır (şekil 2) İstasyon noktaları arasındaki yükseklik farkı ( $\Delta H$ );

$$\Delta h_{ij} = \frac{1}{2} \left( S_{ij} \cdot (\cos Z_{ij} - \cos Z_{ji}) + \frac{S_{ij}^2}{2R_m} (\sin^2 Z_{ij} - \sin^2 Z_{ji}) \right) \quad (1)$$

Trigonometrik nivelman ölçme donanımı arazi taşıtı üzerine yerleştirilerek motorize trigonometrik nivelman uygulamaları yapılmıştır.

Motorize trigonometrik nivelmanda,

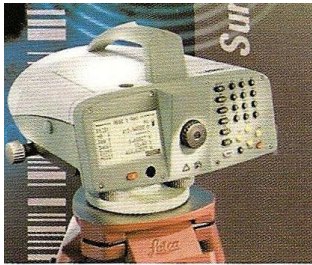
- Karşılıklı ve eşzamanlı düşey açı ölçmeleri
- Karşılıklı uzunluk ölçmeleri
- Kontrolü yapılmış aletlerin kullanımı
- Tecrübeli elemanlar tarafından uygulanması

durumunda motorize geometrik nivelmanla eşit doğrulukta ( $\leq \mu 2\text{mm} / \text{km}$ ) ve maliyette olması yanında %27 daha yüksek bir üretim hızına ulaşılmıştır. Buradan motorize trigonometrik nivelmanın geometrik nivelmana alternatif bir yöntem olabileceği sonucuna varılmıştır. (Whalen, 1985; Chrzanowski v.d., 1985; Chrzanowski, 1989; Becker, 1986; Uzel, 1991).

## 2.2.Modern Yükseklik Belirleme Teknikleri

### 2.2.1.Sayısal Nivelar ile Geometrik Nivelman

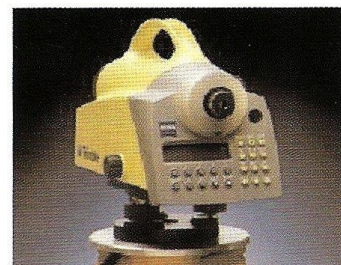
Günümüzde kullanılan sayısal nivelarla ilgili ciddi çalışmalar 1980'li yılların başlarında Wild (Leica) firması ve Dresden Teknik Üniversitesi ile Carl Zeiss Jena (Almanya) firmasının iş birliği başlamıştır. 1980'li yıllarda mikroişlemci teknolojisinde meydana gelen gelişmeler, CCD sensörlerinin gelişimini etkileyerek etkin görüntü işleme (image processing) tekniğinde yeni gelişmeler yaşanmasına neden olmuştur. Bu gelişme, sayısal nivo mira okumasının elektronik görüntü işleme tekniği ile yapılmasını sağlamıştır (Gürdal 2004). Bu konuda yapılan araştırmalar sonucunda dünyanın ilk sayısal nivosu 1990 yılında WILD (Leica) firması tarafından " WILD NA2000" adı ile üretilmiştir. Bu nivo ile mira okuması ve veri kaydı otomatik hale gelmiştir. Bu aletin talep görmesi ile de bu konudaki araştırmalar artmıştır. 1991'in sonlarında WILD NA3000 üretilmiştir. Daha sonra NA2002, DİNİ 10 ve DİNİ 20 niveları geliştirilmiştir. İleriki yıllarda, TOPCON, TRIMBLE, ve SOKKIA firmaları tarafından sayısal nivelar üretilerek kullanıcıların hizmetine sunulmuştur (Şekil 1).



Leica (Wild)



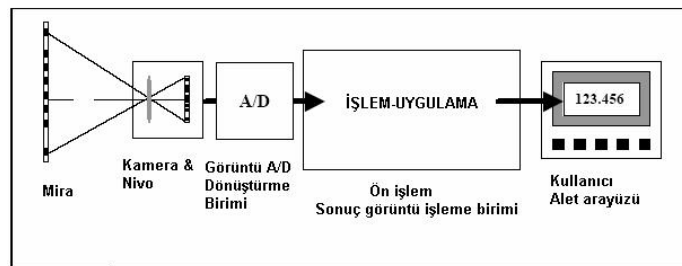
Topcon



Trimble(Zeiss)

Şekil 1: Sayısal nivelar.

Sayısal nivelar kompensatörlü nivelarla bir çok yönüyle benzerlik göstermesine rağmen mira okumaları yönüyle farklılıklar göstermektedir. Sayısal niveların normal otomatik nivelardan farkı göz yerini alan sıralı elektronik algılayıcıların bulunmasıdır. Elektronik algılayıcılar, barkod tekniği ile kodlanmış mira bölüm çizgilerini tanımakta ve bu görüntüden bir sinyal modeli oluşturarak korelasyon yöntemi ile değerlendirme yapan elektronik birime göndermektedir. Değerlendirme sonucunda gözleme ekseninin mirayı kestiği yerin okuması ve gözleme uzaklığı elde edilmektedir. Sayısal nivelarda görüntü alma ve görüntü işleme adımları şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2: Sayısal nivelarda görüntü alma ve işleme (Ingensand, 1999)

Sayısal nivelar nivelman verilerini işleyen ve depolayan programlar ve kontrol üniteleriyle desteklenmiştir. Sayısal nivo ile miraya duyarlı yöneltme, mira bölümlerinin okunması ve veri kaydı otomatikleşmiş olup, kullanım kolaylığı nedeniyle yüksek derecede üretim artışı sağlanmıştır. Sayısal nivelar ile ölçülen mira okumaları; dâhili ve/veya harici bir kayıt ortamına aktarılmakta, bu veriler nivo üzerindeki programlar vasıtasıyla ölçüyü müteakiben değerlendirilmekte veya ölçüler kişisel bilgisayarlara uygun aktarma programları ile aktararak bilgisayar programları ile değerlendirilmektedir.

## Modern Yükseklik Belirleme Teknikleri: Geometrik Nivelman Tarih mi Oluyor?

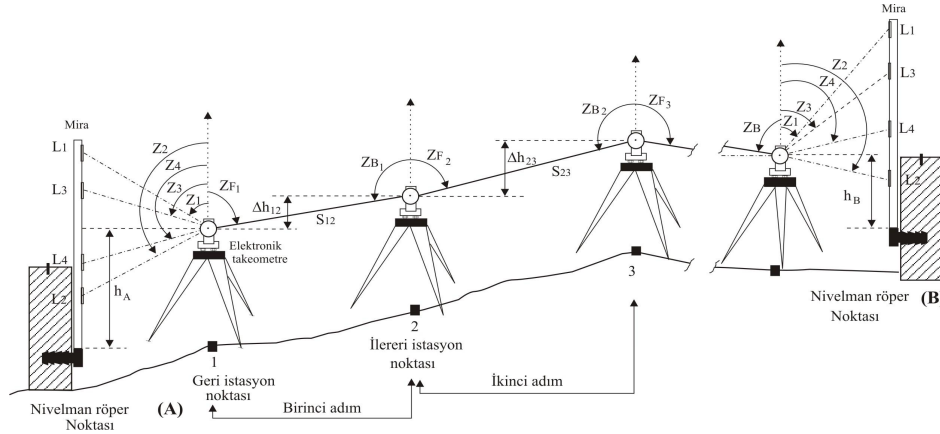
Sayısal nivolar normal olarak barkodlu nivolar ile kullanılmakta olup gerektiğinde klasik miralar ile de kullanılabilir. Dürbünün görüş alanındaki miranın görünen kısmının uzunluğu, nivonun miraya uzaklığının bir fonksiyonudur. Bu nedenle, bu görüntünün işleminin bir parçası olarak, sayısal nivoda mira ile nivo arasındaki uzaklık da hesaplanır. Sayısal nivolarla,  $\pm 0.5\text{mm}$  doğrulukla 100 metreye kadar yatay uzaklık okuması da yapılabilmektedir. Günümüzde, dijital nivolar, veri kaydı, kullanım kolaylığı ve yüksek derecede üretim hızı nedeniyle avantajları nedeniyle normal ve prezisyonlu geometrik nivelmana göre daha fazla tercih edilir duruma gelmiştir.

Sayısal nivolar, hâlen; ulusal düşey kontrol ağlarının kurulması, bakımı ve iyileştirilmesi ile deformasyon ölçmeleri, endüstriyel ölçmeler, topografik ölçmeler, kara ve demiryolu inşaatı ölçmeleri, tünel ve madencilik ölçmelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

### 2.2.2.EDM-Trigonometrik Nivelman

EDM-trigonometrik nivelman tekniğinin prensibi, istasyon noktalarına kurulan elektronik takeometreler (total station) ile karşılıklı ve eşzamanlı gözlenmiş düşey açı ve uzunluk gözlemleri yardımıyla hesaplanan yükseklik farklarının toplamı şeklinde tanımlanabilir. EDM-trigonometrik nivelmanın temel prensibi, Şekil 3'de gösterilmiştir (Ceylan, 1993, 2008). EDM-trigonometrik nivelman ile EDM-poligonu ölçmeleri birleştirilebilir. Bu işlem alet yüksekliğinin hassas olarak ölçülememesi nedeniyle çok yüksek doğruluk gerektiren işlerde önerilmez. Yüksekliği bilinen noktaya (nivelman röper noktası) yaklaşık 20m uzaklıkta bir noktaya kurulan elektronik takeometrenin yatay eksenine yükseklik transferi gerçekleştirilir. Bu teknikte, elektronik takeometre ile nivelman röper noktası arasındaki yükseklik bağlantısı, nivelman röper noktasına tutulan klasik invar mira üzerinde işaretli olan dört hedef noktasında düşey açı gözlemleri ile yapılır.

Karşılıklı ve eşzamanlı EDM-trigonometrik nivelmanda düşey açı gözlemlerinin karşılıklı ve eşzamanlı olarak yapılabilmesi için özel donanımlara ihtiyaç vardır. Bunun için elektronik takeometrelere bir reflektör ve bir de hedefin monte edilmesi gerekmektedir. Bu tür özel yapımlar ticari olarak elde edilememektedir. Ölçmeler zorunlu merkezleştirmeli olarak yapılmaktadır. Her bir alet noktasında, geri ve ileri reflektörlerde düşey açı ve eğik uzunluklar gözlemleri yapılmaktadır.



Şekil 3: EDM-trigonometrik nivelman (Ceylan, 2008)

Elektronik takeometrenin ile nivelman röper noktası arasındaki yükseklik farkı ( $h_A$ ), nivelman röper noktasına tutulan invar mira üzerinde yapılan düşey açı ( $Z_1, Z_2$ ) ve mira okumaları ( $l_1, l_2$ ) yardımıyla hesaplanır (Rueger and Brunner 1981, 1982).

$$h_A = \frac{l_2 \cdot \cot gZ_1 - l_1 \cdot \cot gZ_2}{\cot gZ_1 - \cot gZ_2} \quad (2)$$

İkinci bir yükseklik farkı ( $h_B$ ),  $Z_3, Z_4$  ve mira okumaları ( $l_3, l_4$ ) yardımıyla hesaplanır. Dört noktanın seçiminde alet yatayının 0.5m ve 1.0m altında ve üstünde alınması önerilmiştir. Elektronik takeometrelerin muylu eksenleri arasındaki yükseklik farkı  $\Delta h$ ;

$$\Delta h_{12} = \frac{S_{12}}{2} (\cos Z_{12} - \cos Z_{21}) + \frac{k_2 - k_1}{4R} (S_{12} \cdot \sin Z_{12})^2 \quad (3)$$

Buradaki;  $S_{12}$ : ölçülen eğik uzunluk,  $Z_{12}$ : 1 den 2 ye gözlenen düşey açı,  $Z_{21}$ : 2 den 1'e gözlenen düşey açı,  $k_1$  ve  $k_2$ : 1 ve 2 nolu istasyon noktalarındaki refraksiyon katsayısı,  $R$ : Yer eğrilik yarıçapıdır. Düşey açıları eşzamanlı olarak gözlemlendiğinde  $k_1 = k_2$  olduğu kabul edilebilir. Diğer durumda, refraksiyon katsayılarının hesaplanması gerekir.

EDM-trigonometrik nivelmanın birçok avantajı vardır. Birincisi, nivelman ölçmeleri sadece gidiş olarak tek yönlü olarak yapılmaktadır. İkincisi, gözleme eksenini yataydan ziyade yer yüzeyine paraleldir. Bu ise sistematik

refraksiyon hatasını önemli ölçüde azaltmaktadır. Üçüncüsü ise geometrik nivelmana göre daha uzun gözleme uzaklıkları (200-300m) çalışılması nedeniyle üretim hızı önemli ölçüde artmaktadır. Ayrıca, alet kurma sayısındaki azalmaya bağlı olarak bazı model hatalarında da önemli ölçüde azalma söz konusudur. EDM-trigonometrik nivelman ile ilgili yapılan birçok çalışmada yöntemin doğruluğu için  $\pm 1.3\text{mm}\sqrt{L}$  ile  $\pm 2.58\text{mm}\sqrt{L}$  olarak bulunmuştur (Ceylan 2008, 2008, Rüeger 1991, 1992, 1998).

### 2.2.3. GPS Nivelman

GPS/ Nivelman, yükseklik belirlemelerinde uygulanan en güncel yöntemdir. GPS ile jeosentrik kartezyen koordinat sisteminde 3 boyutlu koordinatlar veya koordinat farkları elde edilebilmektedir. Kartezyen koordinatlar seçilen referans elipsoidine (WGS84) göre dönüşüm yapılarak jeodezik enlem, boylam ve elipsoidal yüksekliklere dönüştürülebilir. GPS ile elde edilen elipsoidal yükseklikler pratik haritacılıkta doğrudan kullanılamazlar. Belirli bir bölgeyi kapsayan alana ait jeoid modelinden yararlanarak noktalara ait jeoid yükseklikleri (N) hesaplanabilir ise, GPS'den elde edilen elipsoidal yükseklikler (h) ortometrik yüksekliklere (H),

$$H = h - N \quad (4)$$

bağıntısı ile kolayca dönüştürülebilir.

Jeoid modelinin oluşturulması gerçekte bir global problemdir ve jeodezik sınır değer probleminin (Stokes ve Moledensky) çözümünü gerektirir. Teorik olarak elde edilen çözüm uygulamaya elverişli olmadığından, jeoit yükseklikleri küresel harmonik katsayılar, yerel gravite anomalileri ve topografik yükseklik verileri kullanılarak pratik formüller yardımıyla hesaplanır. Burada önemli olan husus, jeoid modeli oluşturulacak olan coğrafi sınırlar içerisindeki kaynak verilerinin (özellikle yersel gravite anomalilerinin) yeterli sıklıkta ve yeterli doğruluğa sahip olmasıdır. Bu yönüde dayalı olarak birçok ülke kendi jeoid modellerini oluşturmakta ve GPS kullanıcılarına sunmaktadır. Bu anlamda, ülkemizde TG91, TG99, TG03 ve TG07 bölgesel jeoid modelleri hesaplanmıştır. Söz konusu modeller ile jeoit yüksekliğinin ve dolayısıyla ortometrik yükseklik belirleme doğruluğunun  $\sim 10$  cm'nin altında kalması hedeflenmektedir. Ayrıca, yerel çalışmalarda, elipsoidal ve ortometrik yükseklikleri bilinen noktalardan (eşlenik noktalar) yüzey geçirilerek bir yerel jeoit modeli oluşturulabilir. Ara noktaların jeoit yükseklikleri, GPS ile koordinatlandırıldıktan sonra enterpolasyonla hesaplanır. Topografya dikkate alınarak seçilen eşlenik noktalar, yüzey modelinin doğruluğunda önemli paya sahiptir. Ülkemizde elipsoidal yüksekliklerin ortometrik yüksekliklere dönüşümünde Türkiye jeoidi (TG99A) veya yerel GPS nivelman jeoidi kullanılarak GPS nivelmanı uygulanmaktadır (B.Ö.H.B.Ü.Y, 2005).

Değişik ülkelerdeki uygulama sonuçları GPS nivelmanın II.derece ve daha düşük nivelmana tercih edilebileceğini ortaya koymaktadır (Üstün ve Demirel 2006).

### 2.2.4.Lazer Nivelolar ile Nivelman

Lazer nivelolar ve özellikle dönen lazer nivelolar inşaat ve ziraat işlerinde kullanılan önemli ölçme araçlarından birisi olmuştur. Günümüzde, dönerli lazerli nivelolar inşaat ve yapı işlerinde klasik niveloların yerini almıştır. Lazer nivelolar normal nivelolarla göre daha pahalı olmasına rağmen oldukça verimlidir. Lazer nivelolar sehpa üzerine monte edildikten sonra yatay düzlemi gösteren kızılötesi ışın düşey eksen etrafında 100-900/dakika (rpm) hızla dönmektedir. Kızılötesi ışık herhangi bir yüzeye vurduğunda kırmızı nokta olarak gözümüze yansımaktadır. Lazer nivelolar için lazer ışığını tutan özel detektör kullanılmak zorundadır.

Detektör, yatay lazer düzlemi ile merkezleninceye kadar taşıyıcı çubuk yada mira üzerinde aşağı yukarı doğru hareket eder. Çoğu detektörler kullanıcıya yardımcı olmak ve daha iyi doğrulukların elde edilebilmesi için kullanıcıyı sesli ve görsel olarak aşağı-yukarı doğru yönlendirir. Bazı detektörler farklı doğrulukta çalışma imkanı sunabilmektedirler. Genel olarak iyi düzeçlenmiş dönen lazer nivelolar için doğruluk 50 m'de  $\pm 2\text{mm}$ , 100 m'de  $\pm 4\text{mm}$  olarak verilmektedir (Rüeger, 1998).

Lazer niveloların menzili lazerlerin çıkış gücüne, atmosferik şartlara ve lazer detektörün algılama inceliğine bağlıdır. Lazer niveloların menzili 0-900m arası değişebilmektedir. Tüm sistemler akşamları daha uzun menzile sahiptir. Lazer nivelolarla özellikle uzun mesafeli çalışmalarda dikkat edilmesi gereken en önemli husus yer eğriliği ve özellikle refraksiyon etkisidir. Çünkü bu konu çoğu zaman dikkate alınmamaktadır.

Bina içi uygulamalarda, uzaklıklar 50m den daha kısa olması durumunda yer eğriliği ve refraksiyon etkisi ihmal edilebilir. Ancak, uzun gözleme uzaklıklarında önemli büyüklüklere ulaşabilmektedir. Örneğin, 400 m'lik uzaklıklarda yereğriliği düzeltmesi 12.6mm iken, refraksiyon düzeltmesi ise 37.7mm olmaktadır.

Refraksiyonun etkisinin minimuma indirilebilmesi için, lazer nivosu yerden mümkün olduğunca yüksek kurulmalı ve ölçüler refraksiyon katsayısının sıfır olduğu gökyüzünün tamamen bulutlu ve rüzgârlı günlerde ya da güneşin doğuş ve batış saatlerinde yapılmalıdır (Rüeger 1998).

Lazer nivelolar, bina inşaat işlerinde inşaat alanının tesviyesi, temel kazıları, beton dökümü, peyzaj işleri, havuz çit, avlu duvarı vb. bina içi ve bina dışı uygulamalarında kullanılabilir. Bina inşaat işleri dışında karayolu

## Modern Yükseklik Belirleme Teknikleri: Geometrik Nivelman Tarih mi Oluyor?

projelerinde, baraj inşaatlarında, tarım arazilerinin tesviyelenmesi çalışmalarında, lazer nivolar ekskavatör, grayder, scrapper gibi iş makinelerinin yönlendirilmesinde de kullanılmaktadır. Detektör kazı araçlarının bıçakları üzerine monte edilmekte ve sonuçlar araç kabininden görülebilmektedir. Bu araçların diğer bir kullanım alanı ise alt yapı, raylı sistem, sulama ve kurutma çalışmalarıdır. Kısacası optik seviyeme yapılan her türlü projelerde lazer nivolar kullanılmaktadır.

### 3.YÜKSEKLİK BELİRLEME TEKNİKLERİNİN UYGULAMA ALANLARI

Günümüzde gerek bilimsel çalışmalarda gerekse mühendislik hizmetlerine yönelik çalışmalarda nokta yüksekliklerinin ve noktalar arası yükseklik farklarının belirlenmesi amacıyla çeşitli yükseklik belirleme teknikleri uygulanmaktadır. Burada en yaygın kullanım alanlarından söz edilecektir.

#### 3.1.Nivelman Ağı Ölçmeleri

Bilindiği gibi, ülke nivelman ağlarının ölçülmesinde geometrik nivelman kullanılmaktadır. Ülke nivelman ağları, birinci derece, ikinci derece, üçüncü derece ve dördüncü ve beşinci derece ağlar olarak sınıflandırılmaktadır. Ülkemizde, gidiş ve dönüş ölçmelerinden hesaplanan gidiş-dönüş nivelmanından bulunan kapanma değeri için hata sınırı, birinci derece nivelman ağları  $\pm 4\text{mm} \sqrt{S_{\text{km}}}$ , ikinci derece nivelman ağları için  $\pm 8\text{mm} \sqrt{S_{\text{km}}}$ , üçüncü derece (ana) nivelman ağları için  $\pm 12\text{mm} \sqrt{S_{\text{km}}}$  dördüncü derece (ara) nivelman ağları için  $\pm 15\text{mm} \sqrt{S_{\text{km}}}$  beşinci derece (yardımcı) nivelman ağları için  $\pm 20\text{mm} \sqrt{S_{\text{km}}} + 0.0002 \cdot \Delta H$  olarak uygulanmaktadır. I. derece ülke nivelman ağı ölçmeleri mutlaka prezisyonlu nivelman tekniği uygulanmalıdır. II. derece ve daha düşük nivelman ağlarının ölçülmesinde ise normal geometrik nivelman, EDM-trigonometrik nivelman ve GPS nivelman tekniklerinden herhangi birinin tercih edilebilir.

#### 3.2.Topografik Harita Yapımı

Yukarıda açıklamalardan da anlaşılacağı gibi yükseklik belirleme teknikleri ile yükseklikler çok yüksek doğrulukta (genellikle mm incelikte) elde edilebilmektedir. Geometrik nivelman yöntemi, topografik harita yapımında klasik takeometrik alım ile sağlanan doğrulukların yeterli olmadığı durumlarda yüzey nivelmanı şeklinde uygulanır. Nivelman ile yüksekliği belirlenen noktanın yatay konumu ya önceden arazide işaretlenmiş olan karelaç yardımıyla ya da yatay açı bölüm dairesi bulunan nivolar kullanılarak stadya okumaları (uzunlukların elde edilmesi için) ve yatay açı okumaları ile belirlenir. Bu metodların üretim hızlarının düşük olması nedeniyle artık yaygın olarak kullanılmamaktadır.

Günümüzde, topografik harita yapımına ait ölçmelerde elektronik takeometreler kullanılmaktadır. Bu yöntemle elde edilen yükseklikler geometrik nivelmana göre bira daha düşük doğrulukta ve kısa mesafelerle yapılmasına rağmen elektronik data kayıt imkanını sağlamaktadır. Elektronik takeometreler yardımıyla yapılan topografik ölçmelerden elde edilen gözleme mesafelerine bağlı olarak yatay konum doğrulukları mm, yükseklikler için ise birkaç mm dir .

Nadir olarak da olsa arazi tesviye (yataylama) işlerinde yükseklikler yatay konum bilgilerinden daha yüksek doğrulukta olması istenildiği durumlarda elektronik olarak yatay açı ve yükseklik ölçebilen dijital nivolar kullanılabilir. Dijital nivolar uzunluk ölçme işlemi doğrudan yapılabilir. Burada kullanıcıların dikkat etmesi gereken en önemli husus miraların hassa merkezlemeye uygun yapılmamış olması ve uzunluk ölçmelerinin miranın ön yüzünde yapıyor olmasıdır.

#### 3.3.Kesit Ölçmeleri

Karayolu, demiryolu, boru hattı vb mühendislik projelerindeki hacim hesapları için boykesit ve enkesit ölçmeleri yapılmaktadır. Boykesit ölçmelerinde, projeye ait eksen boyunca geçirilen düşey düzlem ile doğal zeminin arakesitinin çıkartılır. Ölçme bilgisi kitaplarında anlatıldığı gibi, proje ekseninin aplikasyonu yapıldıktan sonra, eksen üzerinde arazinin eğiminin değiştiği, sabit eğimli arazilerde ise her 50m de bir ara noktalar işaretlenir. Bu noktalara piketaj işlemi sonunda kilometre verildikten sonra eksen noktaların yükseklikleri geometrik nivelman ile elde edilir. Enkesit ölçmelerinde ise, tüm eksen noktalarında, eksene dik doğrultuda geçirilen düşey düzlem ile doğal zeminin arakesiti çıkartılmaktadır. Enkesit ölçmeleri, eksenin sağ ve solunda 10-50m arası değişen genişlikte oluşturulan enkesit düzlemi üzerindeki eğiminin değiştiği noktaların (enkesit) yükseklikleri geometrik nivelmanla elde edilerek yapılmaktadır. Günümüzde, elektronik takeometreler veya fotogrametrik yöntemlerle elde edilen dijital arazi modelleri kullanılarak geometrik nivelmana ihtiyaç duyulmaksızın boykesit ve enkesitler çıkartılabilmektedir.

#### 3.4.Düşey Aplikasyon

Bina, köprü, karayolu, demiryolu, sulama-kurutma, boru hattı, arazi tesviyesi vb. birçok projelerin yükseklik aplikasyonunda geometrik nivelman kullanılmaktadır. Günümüzde, özellikle arazi tesviyesi çalışmalarında düşey



eksen etrafında dönen lazer nivolar kullanılmaktadır. Karayolu, sulama-kurutma vb. diğer çalışmalarda ise genellikle elektronik takeometreler kullanılmaktadır.

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Geleneksel ve alternatif yeni nivelman teknikleri tartışıldıktan sonra, yükseklik ölçmelerinin uygulama alanları konusunda kısa açıklamalar yapılmıştır. Bu açıklamalar ışığında, Yükseklik ölçmelerinden talep edilen doğruluklar dikkate alınarak yükseklik ölçmeleri için uygulanabilecek alternatif yöntemler tablo 3’de verilmiştir. Tablo 3 de önerilen alternatif yöntemler uygulama için önerilen kesin yöntemler olmayıp bunların yerine klasik yöntemlerden biriside uygulanabilir.

Uygulamalarda,  $\pm 1\sim 2\text{mm}$ ’den daha yüksek doğruluk gerektiren yükseklik ölçmeleri için silindirik düzeçli nivolar ve normal miralar kullanılarak gerçekleştirilen klasik geometrik nivelman yerini daha etkin ve daha verimli olan modern nivelman teknikleri almaya başlanmıştır. Bu konu ile ilgili daha geniş bilgi tablo 2’de verilmiştir.

Uygulamalarda,  $\pm 0.1\sim 1\text{mm}$  arası doğruluk gerektiren yükseklik ölçmelerinde ise prezisyonlu geometrik nivelman tekniği hala güncelliğini korumaktadır. Günümüzde, dijital nivolar ve barkodlu invar miralar kullanılarak prezisyonlu geometrik yükseklik ölçmeleri yapılmaktadır. Bunun yanında halen paralel camlı otomatik nivolar ve çift bölümlü invar miraların kullanılmaktadır. Ayrıca, özellikle geometrik yükseklik ölçmelerinin uygulanmasının güç olduğu ve çok büyük yükseklik farklarının olduğu durumlarda EDM-trigonometrik nivelman, prezisyonlu geometrik nivelman yerine de uygulanabilmektedir

Tablo 2: Geleneksel ölçme işleri ve onların yerini alan modern teknikler ve uygulama alanları

Uygulama alanları	Modern yükseklik teknikleri
Nivelman ağı ölçmelerinde	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lazerli nivolar ile prezisyonlu ve normal geometrik nivelman</li> <li>EDM-trigonometrik nivelman</li> <li>GPS nivelman</li> </ul>
Bina içi ve dışı inşaat işlerindeki yükseklik belirlemeleri ve aplikasyonunda	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dönerli lazerli nivolar</li> </ul>
Tarım amaçlı arazi tesviye işlerinde	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dönerli lazerli nivolar</li> <li>Lazerli nivolar ile geometrik nivelman</li> </ul>
Topografik alım işlerinde	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dönerli lazerli nivolar</li> <li>EDM-takeometrik alım</li> <li>Tek kişilik total station(robot)</li> <li>Real-time kinematik GPS</li> </ul>
Plankote nivelmanı (yatay açı bölüm dairesel nivolar ile)	<ul style="list-style-type: none"> <li>EDM-takeometreler (kayıt ünitesi)</li> <li>Tek kişilik total station(robot)</li> </ul>
Kesit nivelmanı	<ul style="list-style-type: none"> <li>EDM-takeometreler (kayıt ünitesi) Sayısal arazi modellerinden elde edilen kesitler</li> <li>Fotogrametrik</li> </ul>
Düşey aplikasyon	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lazerli nivolar ile prezisyonlu ve normal geometrik nivelman</li> <li>EDM-trigonometrik nivelman</li> </ul>
Deformasyon ölçmeleri	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lazerli nivolar ile prezisyonlu ve normal geometrik nivelman</li> <li>EDM-trigonometrik nivelman</li> <li>GPS nivelman</li> </ul>

Modern tekniklerin dezavantajı, donanım maliyetlerinin klasik tekniklere oranla daha yüksek olmasıdır. Bu nedenle, modern yöntemler bazen maliyet yönüyle her zaman uygun olmayabilir. Ayrıca, söz edilen doğrulukların elde edilebilmesi için uygulamada kullanılacak olan donanımların kalibrasyonunun yeterli doğrulukta ve ölçme modellerine uygun yapılması gerekmektedir.

Sonuç olarak, ümit ederiz ki alet üreticileri nivelman ölçmelerinde kullanılan nivo, mira ve elektronik takeometreleri geliştirmeyi sürdürecektir. Bu amaçla yapılacak olan çalışmalar sonucunda,

- GPS-total stationlar benzeri, total station-nivoların geliştirileceğini
- Çalışma ortamına ait refraksiyon katsayısının girilebilmesi imkânını sağlayan giriş birimi olan total-stationların geliştirileceğini
- Lazerli optik çeküle sahip total-station aletlerindeki lazer yardımıyla alet yüksekliğinin de ölçülmesine olanak sağlayan total stationların da geliştirileceğini

ümit etmekteyiz.

Bilim ve teknoloji alanındaki gelişmelere oldukça açık olan jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği, yükseklik ölçmeleri konusunda gelişen teknolojilere paralel olarak kendisini geliştirecek ve yenileyecektir. Bu açıklamaların ışığında, bu çalışmanın başlığında sorulan “Geometrik nivelman tarih mi oluyor?” sorusuna cevabı hiç şüphesiz “Evet” olacaktır.

## KAYNAKLAR

Aksoy, A., Franke, P., Yalın, D., Bertold, W., 1993. *Yükseklik Değişimlerinin Hassas Belirlenmesi için Trigonometrik Nivelmanın Geliştirilmiş Bir Yöntemi*, Prof.Dr.H.Wolf Jeodezi Sempozyumu, 3-5 Kasım 1993, İstanbul.

Banger, G., 1981. *Hassas Nivelmanda Hata Kaynakları*, İ.Ü. Orman Fak. Dergisi, C.31, S 2, Sf 194-207.

Baykal, O., 1989. *Presizyonlu Nivelman Tekniği*, İ.T.Ü. MMLS Ders Notları.

Becker, J. M., 1986. *The Experiences with New Levelling Techniques MI and MTL*, Symposium on Height Determination and Recent Vertical Crustal Movements in Western Europe, September 15-19, Hanover, Germany.

Ceylan, A., 1988. *Duyarlı Nivelmanda Önemli Sistematik Hata Kaynakları Üzerine Bir Çalışma*, Yük. Lisans. tezi, Selçuk Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya,

Ceylan, A., 1993. *Presizyonlu Nivelman Yerine Trigonometrik Nivelman Yöntemlerinin Kullanılabilirliği Üzerine Bir Çalışma*, Doktora. Tezi, Selçuk Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya,

Ceylan, A., 2006. *Precise Height Determination Using Leap-Frog Trigonometric Leveling*, Journal of Survey Engineering, Vol. 132, No.3, 118-123, Reston, USA.

Ceylan, A., 2008. *Precise Height Determination Using Simultaneous-Reciprocal Trigonometric Leveling*, Survey Review, Vol. 40, No.308, 195-205,UK.

Chrzanowski, A., Greening, T., Kornacki, W., Second, J., Vamosi, S. and Chen, Y.Q., 1985. *Applications and Limitations of Precise Trigonometric Height Traversing*, Proceedings of the third International Symposium on the North American Vertical Datum. Rockville, April, 21-26, pp. 81-93

Chrzanowski, A., 1989. *Implement of Trigonometric Height Traversing in Geodetic levelling of height precision*, Dept. of Surveying Engineering, Univ. of New Brunswick, Technical Report No:142, Canada.

Erkaya, H., 1993. *Total Station ile Poligon Noktalarının Yüksekliklerinin Belirlenmesi*, Prof.Dr.H.Wolf Jeodezi Sempozyumu, 3-5 Kasım 1993, 375-389, İstanbul.

Ingensand, H., 1999, *The Evolution Of Digital Levelling Techniques–Limitations And New Solutions*.  
<http://www.fig.net/commission5/reports/gavle/ingensand.pdf>

Kuntz, E., and Schmitt, G., 1986. *Precise Height Determination by Simultaneous Zenith Distances*, The Symposium on Height Determination and Recent Vertical Crustal Movements in Western Europe, Hanover, Germany, September 15-19

Niemeier, W., 1986. *Observation Techniques For Height Determination and Their Relation to Usual Height System*, The Symposium on Height Determination and Recent Vertical Crustal Movements in Western Europe, Hanover, Germany, September 15-19.

Rueger, J.M., and Brunner, F.K., 1981. *Practical Results of EDM Height Traversing*, The Australian Surveyor, 30 (6), 363-372.

Rueger, J.M., and Brunner, F.K.,1982. *EDM Height Traversing Versus Geodetic Levelling*, The Canadian Surveyor, 36 (1), 69-81.

Rueger, J.M., 1998. *Is levelling Out of Date?* Proceedings of the 1998 ACSM Conference, 27.2 -5.3.1998, Baltimore, MD, USA. Vol. 1: 216- 226.

Uzel, T., 1991. *Motorize Trigonometrik Nivelman*, Harita ve Kadastro Mühendisliği Dergisi, Sayı 68, 9-15, Ankara

Whalen, C.T.,1985. *Trigonometric Motorized Levelling at the National Geodetic Survey*, Proceedings of the third international symposium on the north American vertical datum. Rockville, April, 21-26, pp. 65-80.

URL1:<http://leica.com/products/levels/>, 16.03.2009

URL2:<http://www.topconpositioning.com/products/optical/levels/digital/>, 16.03.2009

URL3: <http://www.trimble.com/dini.shtml/>, 16.03.2009

URL4: HKMO İnternet sitesi, *Büyük Ölçekli Harita Ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği*  
<http://www.hkmo.org.tr/>, 16.03.2009