

SAYISAL NİVOLARIN TEKNOLOJİSİ VE TARİHSEL GELİŞİMİ

(TECHNOLOGY AND HISTORICAL EVOLUTION OF DIGITAL LEVELS)

Mehmet Ali GÜRDAL

ÖZET

Geometrik nivelman; yüksek doğruluklu yükseklik belirleme çalışmalarında en çok tercih edilen yöntem olup, bu kapsamda kullanılan nivoların aletsel gelişimleri günümüz teknolojisine paralel olarak devam etmektedir.

Tarihsel gelişim içerisinde, nivelman ölçümünü kolaylaştıran önemli ilk teknolojik gelişim nivo optik ekseninin otomatik olarak silindir düzeç eksenine paralel hale getirilmesini sağlayan kompansatörlerin ortaya çıkışıdır. Bunu sayısal nivoların ortaya çıkışı izlemektedir. Kompansatörlü sayısal nivolar ile gerçekleştirilen geometrik nivelman ölçüsünde, personelden kaynaklanan hatalar önemli ölçüde giderilmiş durumdadır.

Bu yazıda, teknolojik gelişimi günümüzde son aşamasına gelmiş bulunan sayısal nivoların tarihsel gelişimi ve temel özellikleri tanıtılmaktadır.

ABSTRACT

Geometric leveling method is the most preferred method in the height surveying when high precision results needed; and in the present, instrumental development of the levels used in this method has been continuing parallel to the current technology.

First important technological invention is the advent of pendulum level in which pendulum makes the optical axis been parallel to bubble axis. The invention of digital level follows the invention of pendulum level. Making use of the pendulum digital level, almost all errors in the leveling resulting from the personnel are removed.

The historical evolution and the fundamentals of digital levels, whose technological development was almost completed, have been introduced in this paper.

1. GİRİŞ:

a. Genel:

Günümüz otomatik nivolarının en yenisi “elektronik sayısal nivoları”dır. Kompansatörlü olması nedeniyle bu nivolar otomatik sınıf içinde de gösterilebilir. Sayısal nivoların dürbün ve kılağı kullanılarak, herhangi bir kompansatörlü nivo ile yapıldığı gibi mira okuması da yapılabilir. Ancak; sayısal nivolar elektronik görüntü işleme tekniği kullanarak çalışmaktadır. Sayısal nivo teknolojisinde mira okuması için; gözlemci yerine, detektör diyot dizisi işlem yapmaktadır. Dedektör diyot dizisi, bar kodlu miradan bir sinyal kalıbı üretmektedir. Alette bir korelasyon işlemi ile, mira görüntüsü düşey mira okumasına ve alet-mira uzaklığına dönüştürülmekte ve gözlemci tarafından yapılabilecek okuma hataları giderilebilmektedir.

Sayısal nivoların kullanımı ile; bir hassas nivelman ölçümünde ihtiyaç duyulan kayıtçı (yazıcı) personel ihtiyacı ortadan kalkmış, ayrıca sayısal nivonun kompansatörlü olması

nedeniyle de şemsiyeci personel ihtiyacı da kalmamıştır. Böylece yazıcı ve şemsiyeci personelden tasarruf edilerek ölçmeler daha ekonomik olarak gerçekleştirilmektedir. Arazideki ölçüler nivodaki kayıt ünitesine otomatik olarak kaydedilerek oluşacak kayıt hataları da giderilmektedir. Sayısal nivo ile; miraya duyarlı yöneltme, mira bölümlerinin okunması ve veri kaydı otomatikleşmiş olup, kullanım kolaylığı nedeniyle yüksek derecede üretim artışı sağlanmıştır. Sayısal nivolar ile ölçülen mira okumaları; dahili ve/veya harici bir kayıt ortamına aktarılmakta, bu veriler nivo üzerindeki programlar vasıtasıyla ölçüyü müteakiben değerlendirilmekte veya ölçüler kişisel bilgisayarlara uygun aktarma programları ile aktarılarak bilgisayar programları ile değerlendirilmektedir.

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, ± 0.5 mm doğrulukla 100 metreye kadar yatay uzaklık okuması da yapılabilmektedir.

Sayısal nivolar, günümüzde deformasyon ölçmeleri, mühendislik nivelmanı ve büyük inşaatların yapısal izlenmesinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

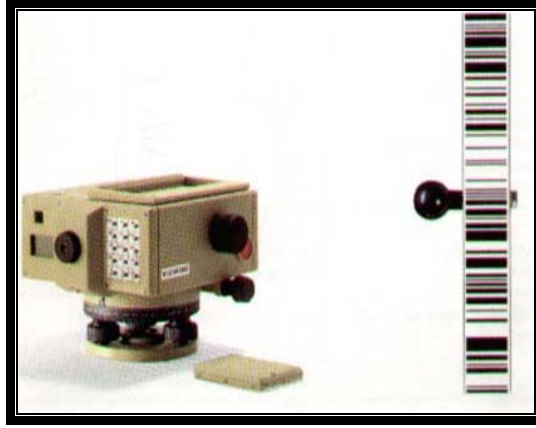
Sayısal nivolar, hâlen; ulusal düzey kontrol ağlarının kurulması, bakımı ve iyileştirilmesi ile deformasyon ölçmeleri, endüstriyel ölçmeler, topoğrafik ölçmeler, kara ve demiryolu inşaatı ölçmeleri, tünel ve madencilik ölçmelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

b. Tarihçe:

Prof. Zetsche tarafından 1966 yılında Bonn'da yapılan araştırmalar, günümüz sayısal nivolarının tasarımının başlangıcı sayılmaktadır /1/. Sayısal nivoların gelişiminde, Wild (Leica) firmasının çabaları yanında Dresden Teknik Üniversitesi ile Carl Zeiss Jena (Almanya) firmasının iş birliği ile yapılan araştırma çalışmaları da etkili olmuştur. Bu kapsamda, Zeiss Ni002 nivosu için çalışmalar 1982 yılında başlamış ve 1024 elemanlı (piksel) doğrusal CCD dizisi kullanılarak aletsel gelişim amaçlanmıştır. Bu konudaki çalışmalar, firmanın diğer projeleri nedeniyle 1988 yılında sona ermiştir. Bu denemeler Zeiss sayısal nivoların gelişiminin temelini teşkil etmektedir.

Sayısal nivolarda, bakılan miranın görüntüsü, sayısal nivo optik sisteminin odak düzlemindeki ölçekli bir mira deseni (kalıp) ile karşılaştırılarak mira okuma değeri elde edilmektedir. CCD (charge-coupled device) sensörlerinin ortaya çıktığı 1980'li yılların başına kadar uygun elektronik sistemlerin geliştirilememesi nedeniyle, sayısal nivolarla ilgili ciddi bir teknolojik gelişme olmamıştır. Ancak 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.

Geometrik nivelman ölçümü son derece basit bir ilkeye dayandığından, bu konudaki araştırma ve teknolojik gelişim daha çok uzaklık ve açı ölçümü konularında gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte, son olarak, Wild firması tarafından dünyanın ilk sayısal nivosu 1990 yılında İsviçre'de "NA 2000" adı ile üretilmiştir (Şekil-1).



Şekil -1: Dünyanın ilk sayısal nivo ve mirası: Wild (Leica) NA 2000 /1/

Wild firması tarafından, daha sonra NA 3000, NA2002, DINI 10 ve DINI 20 nivoları geliştirilmiştir. Daha sonraki yıllarda, Topcon, Trimble (Zeiss) ve Sokkia firmaları tarafından sayısal nivolar üretilerek kullanıcıların hizmetine sunulmuştur (Şekil-2).



Leica sayısal nivosu



Topcon sayısal nivosu



Trimble (Zeiss) sayısal nivosu

Şekil-2 :Günümüzde çeşitli firmalar tarafından üretilen sayısal nivolar /2,3,4/

c. Sayısal Mira ve Nivoların Yapıları :

(1) Sayısal Miralar ve Yapıları:

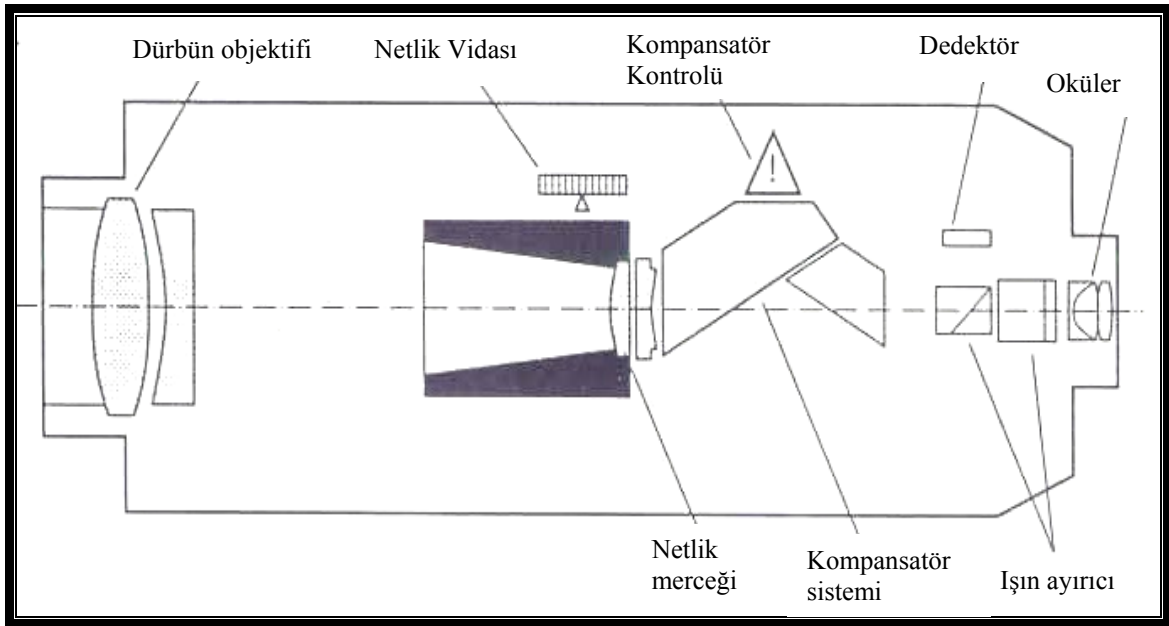
Sayısal miralar genel olarak genişleme katsayısı oldukça düşük (10 ppm'den az) alaşımlardan üretilmektedir. Miralar, bir yüzünde elektronik okuma yapmaya olanak verecek şekilde ikili (binary) bar kod ile bölümlendirilmiştir. Günümüzde, sayısal nivolarla birlikte kullanılacak miralar, çeşitli amaçlarla, bir yüzü bar kodlu diğer yüzü metrik olarak bölümlenmiş olarak veya sadece bar kodlu olarak ya da bir yüzünde bir kenar bar kodlu diğer kenar metrik olarak bölümlenmiş olarak (a) Alüminyum (sürgülü) mira : 5 m , (b) Fiberglas mira : 1 cm bölümlü, (c) İnvâr mira: 3 m olarak üretilmektedir.

Miradaki siyah ve beyaz ikili kodlar yaklaşık 2000 adet 2 mm'lik elemandan oluşmaktadır. Görüntü işlemede genel olarak korelasyon tekniği kullanıldığından, elemanlar pseudo-istatistiksel kod biçiminde sıralanmıştır. Bu kodlama; korelasyon işlemi 1.8 m ile 100 m uzaklıkta yapılabilecek şekildedir. Tek bir mira okuması standart sapmasının 50 m de 0.3

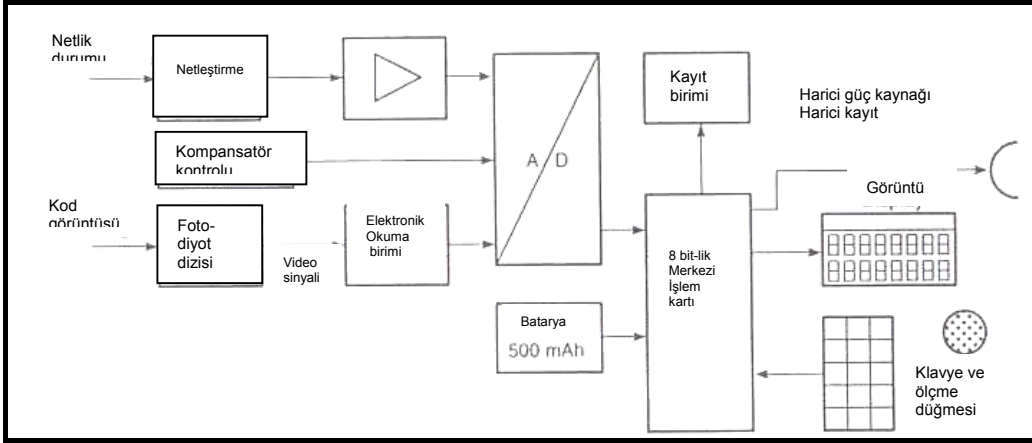
mm; 100 m de ise 0.5 mm olması istenir. Sayısal nivelman tekniğinde kullanılmak üzere firmalar tarafından farklı amaçlarla özel miralar geliştirilmiştir /5/.

(2) Sayısal Nivelar ve Yapıları:

Sayısal nivelar; normal otomatik nivonun sahip olduğu optik ve mekanik aksamlara sahip olup, tek farklılığı elektronik mira okuması yapılmak üzere nivoya; bar kod görüntüsünü detektör diyot dizisine dönüştüren bir ışın ayırıştırıcısı eklenmiş olmasıdır. Barkoddan yansıyan yalnızca beyaz elemanlara ait ışık, ışın ayırıştırıcısı yardımıyla kızıl ötesi ve görünen ışınlar ayırıştırılır. Buradan kızılötesi ışık diyot dizisine, görünen ışık gözlemci tarafına geçer. Alınan barkod görüntüsü, daha sonra alette kayıtlı bulunan referans kodu ile karşılaştırılacak olan analog video sinyaline dönüştürülür. Korelasyon işlemi, daha sonra kodların yer değiştirilmesiyle yüksek bir ilişki elde eder. Bu arada, nivo-mira uzaklığı alınan kodun görüntü ölçeğine bağlıdır. Ölçme değerlendirme işlemi tek çipli küçük bir mikroişlemci ile yapılır. Değerlendirilen veri daha sonra ekranda görüntülenir. Ölçme işlemi nivodaki görüntü netleştirme vidasının hemen yanındaki bir düğmeye basılarak yapılır ve veriler veri kayıt modülünde kaydedilir. Örnek olarak Wild NA 2000 Sayısal Nivosunun optik-mekanik yapısı Şekil-3’de, elektronik yapısı Şekil-4’ de gösterilmektedir /5,6/.



Şekil - 3 : Wild NA 2000 Sayısal Nivosunun optik-mekanik yapısı /5,6/



Şekil – 4: Wild NA 2000 Sayısal Nivosunun Elektronik Yapısı /5,6/

(3) Sayısal Nivo ile Ölçme İşlemi :

Sayısal nivo, küresel düzenci yardımıyla kabaca düzeçlendikten sonra, dürbün barkodlu miraya yöneltilmekte ve görüntü netleştirilmektedir. Ölçme düğmesine basıldığında, dürbünün görüş alanına giren mira kodu alınmakta ve görüntü işlemeye tabi tutulmaktadır. Görüntü işleme; alınan mira görüntüsünün, nivodaki bir merkezi işlem birimi (bilgisayarın) tarafından, bilgisayar hafızasında yüklü olan miranın tümüne ait bir görüntü kalıbı ile karşılaştırılmasından ibarettir. Alınan mira görüntüsü ile miranın tümüne ait görüntü arasında bir eşleşme bulunduğu (yaklaşık 4 saniye süren bir işlem), mira okuması sayısal olarak görüntülenir ve bu değer otomatik olarak aletin hafızasına kaydedilir /7/.

Ölçme işlemi (a) Miraya tatbik ve mira görüntüsünün netleştirilmesi, (b) Sayısal ölçmenin başlatılması olmak üzere iki harici işlem ile gerçekleştirilmektedir. Ölçme işleminin yaklaşık 4 saniye süren dahili işlemleri; (a) Kaba korelasyon, (b) İnce korelasyondur. Nivodaki ölçme düğmesine basılınca, netlik durumu tespit edilir ve kompensatörün izlenmesine başlanır. Yaklaşık 1 saniye süren “kaba korelasyon” ile alet yüksekliği ve görüntü ölçeği yaklaşık olarak belirlenir. İkinci saniyede, kalibrasyon sabitleri yardımıyla ince korelasyon ile sonuç mira yükseklik ve uzaklık değeri hesaplanır. Ölçme işlemi etkileyen hususlar; (1) Tatbik ve netleştirme, (2) Titreşimler ve sıcaklık titreşimleri, (3) Aydınlatma, (4) Miranın görülebilmesidir (Mirada en az 30 elemanın görülmesi gerekli; 70 mm’lik mira bölümü) /5/.

(4) Sayısal Nivonun Diğer Nivolara Göre Üstünlüğü:

- Ölçücünün gözle mira okuması yapmaması nedeniyle yorulmaması,
- Kolay ve doğru sonuç alınması,
- Tutarlı ve güvenilir olması,
- Otomatik veri depolaması (kayıt ve buna ilişkin kişi hatalarının giderilmesi),
- Hesaplama hatalarının giderilmesi,
- Kolay ve anlaşılır bir mönüye sahip olması,
- Hızlı ve ekonomik ölçme sağlaması,
- Diğer nivolara göre uzak mesafeden ölçme yapılabilmesi (100 m uzaklık ölçümü),
- Bilgisayara doğrudan bağlantı ile kısa zamanda hesaplama ve çizim kolaylığı sağlaması,
- Klasik nivonun kullanılabildiği bütün koşullarda kullanılması,

- Bazı modellerde klasik nivo gibi kullanılması.

(5) Sayısal Nivelmanın İşletim Fonksiyonları/Yazılımları /2,3,4/:

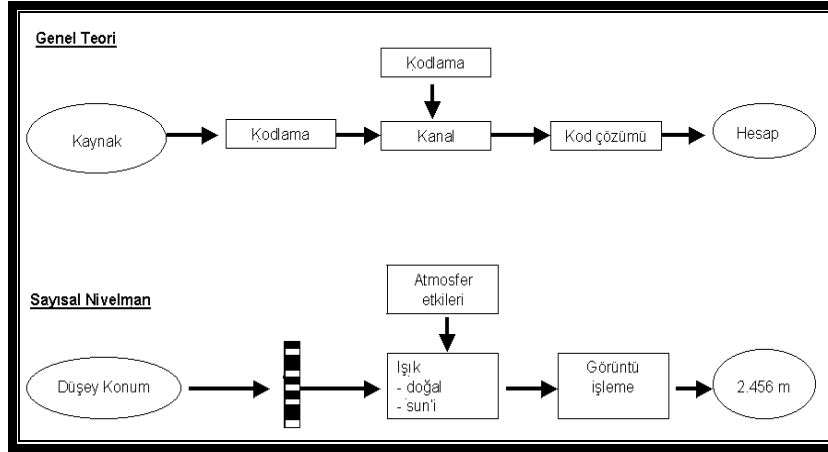
- Ortalama değer ve standart sapma elde etmek için istenen sayıda mira okuması,
- Nivo ve mira arasında yatay uzaklık ölçümü,
- Ara noktalarının yüksekliklerinin belirlenmesi,
- Yükseklik farklarının hesaplanması (bir nivelman portesinde ileri ve geri mira okumalarından),
- Yükseklik uygulaması,
- Hatalı mira okumasının düzeltilmesi için ölçünün tekrarlanması,
- Mira konulan noktalara numara verme özelliği (İleri mira okuması yapmadan önce),
- Mira okuma inceliğinin seçilebilmesi (0.1 mm, 0.01 mm gibi),
- Elle veri girişi olanağı,
- Harf/Rakam giriş fonksiyonu,
- Rüzgarlı havalarda veya yoğun trafik koşulları altında doğru ve kararlı mira okuması yapma amacıyla; yer titreşimi etkilerinin giderilmesi için salınım düzeltmesi fonksiyonu,
- Nivodan ileri ve geri miraya olan uzaklıklar arasındaki farkların sınır değerlerini aşması durumunda alarm fonksiyonu,
- Genel geri okuma – ileri okuma işlem sırasına ek olarak, I ve II nci derece hassas nivelman ölçmelerindeki ölçme işleminin yapılabilmesi,
- I nci derece hassas nivelman ölçüsü mira okuma sırası: Geri mira sol bölüm okuması -> İleri mira sol bölüm okuması -> İleri mira sağ bölüm okuması -> Geri mira sağ bölüm okuması,
- II nci derece hassas nivelman ölçüsü mira okuma sırası: Geri mira sol bölüm okuması -> Geri mira sağ bölüm okuması -> İleri mira sol bölüm okuması -> İleri mira sağ bölüm okuması,
- Yüksekteki bir noktanın (Bina çatı altı, tünel tavanı, tavan vs.) yüksekliğini ölçmek gerektiğinde, ters mira tekniği kullanabilme.

2. SAYISAL NİVELMAN VE SAYISAL NİVOLARIN TEMELLERİ:

a. Sayısal Nivelman Tekniğinin Temelleri ve Görüntü Teknolojisi:

Elektronik uzaklık ve konum belirleme gibi jeodezik ölçmelerin (EDM, GPS, GLONASS) bir çoğu, iki konum arasındaki bilginin transferi olarak karakterize edilebilir. Nivelmandaki bilgi transferi ise; barkodlu bir mira yardımıyla düşey ölçek ile temsil edilen bir konumun belirlenmesi işlemi olarak tanımlanabilir (Şekil-5).

Sayısal nivelalarda, mira görüntüsü, sayısal görüntü sağlanarak değerlendirilmektedir. Bu aletlerde, gözlemci gözü yerini alan elektronik algılayıcılar, barkod tekniği ile kodlanmış mira bölümlerini tanımakta ve bu görüntüden bir sinyal modelini oluşturarak korelasyon modeli ile değerlendirme yapan elektronik birime göndermektedir. Değerlendirme sonunda, gözlem ekseninin mirada rastladığı yer okunmakta ve alet - mira mesafesi elde edilmektedir. Kodlama ve kod çözümü ile ilgili ilkelere, sayısal nivelalarda olduğu gibi, EDM ve GPS teknolojileri gibi diğer jeodezik ölçme tekniklerinde de rastlanılmaktadır.



Şekil- 5: Sayısal nivelmanda bilgi transferi /1/

Normal olarak tüm sayısal nivoların, güneş ışığını (doğal ışığı) kullanmaları nedeniyle, değişik etkenler aktarma (transfer)-bilgisi terminolojisinde olduğu gibi gürültü (noise) olarak isimlendirilmekte olup sayısal nivelman işleminde de aynı terminoloji kullanılmaktadır. Bu kapsamda sayısal nivelman terminolojisinde hata kaynakları Tablo-1' de gösterilmektedir.

Tablo- 1: Sayısal nivelman işleminde hata kaynakları /1/

Aydınlatma	Atmosferik Etkiler	Mekanik Etkiler	Aletsel Davranış
Doğal ışığın (SNR: Sinyal to Noise Ratio) farklı ışık şiddeti	Türbülanslar (daha yüksek SNR, bulanık görüntü)	Titreşimler (ışın hattının sapması)	Termal etkiler (ışın hattının sapması)
Gölge nedeniyle mirada homojen olmayan ışık şiddeti	Refraksiyon (ışın hattının kırılması)	Alet ve miraların kurulması	Kod eleman boyutunun ve piksellerin enterferansı (belirli uzaklıklarda yanlış sonuçlar)
Işık kaynağının spektrumu	-	Mira diklik hatası	Kompansatör fonksiyonu (eigen-frekansı: öz frekans)

b. Sayısal Nivelmanda Kullanılan Kodlamalar :

Bilgi aktarmanın etkinliği ve güvenilirliği, esas olarak, bilginin uygun biçimde kodlanmasının temel sorununu teşkil etmektedir. Bilgi transferinin temel koşullarına ek olarak, sayısal nivelman işleminde; rastlantısal (pseudo-random) karakterli yanıltıcı bir kodun bazı geometrik koşulları taşıması zorunluluğu yanında, kenarlardaki kontrastın iyi olması, uzaklıkların en çok 100 m olması ve miranın boyundaki belirsizlik gibi sorunlarla da karşılaşmaktadır. Genel olarak üretici firmalar kendi kodunu ve görüntü işleme yöntemini geliştirmiştir. Yapılan araştırmalar, sayısal nivodaki ölçeğin optik bir büyütme sistemi ile normal bir ayarlamının gerekli olduğunu göstermesi nedeniyle, üreticiler sayısal nivolar için, çok gelişmiş optik sistemler olmaksızın temiz bir izdüşüm gerçekleştiren özel kodlar geliştirmişlerdir. Üreticilere ait bu kodlar, doğrusal bir CCD dizisi yardımıyla, miradaki barkod görüntüsünün sayısal yoğunluk ve konum bilgisine dönüştürülmesi işine yaramaktadır. Bu nedenle, tüm kodlar, kod çubuklarının kenarında siyah-beyaz bir geçiş kullanılmaktadır /1/.

CCD' ler genel olarak ışığa duyarlı bütünleşik devreler olup bir görüntüye ait veriyi, bir görüntüdeki her bir pikselin elektrik yüküne dönüştürülmesi suretiyle depolayan ve görüntüleyen aletlerdir. Elektrik yükünün şiddeti ise renk spektrumunda yer alan renk ile ilişkilidir. 65535 rengi destekleyen bir sistem için depolanabilen ve düzenlenebilen her bir renge ayrı bir şiddet değeri atanmaktadır. CCD' ler günümüzde yaygın olarak sayısal filtreler ile video kameralarda kullanılmaktadır /8/.

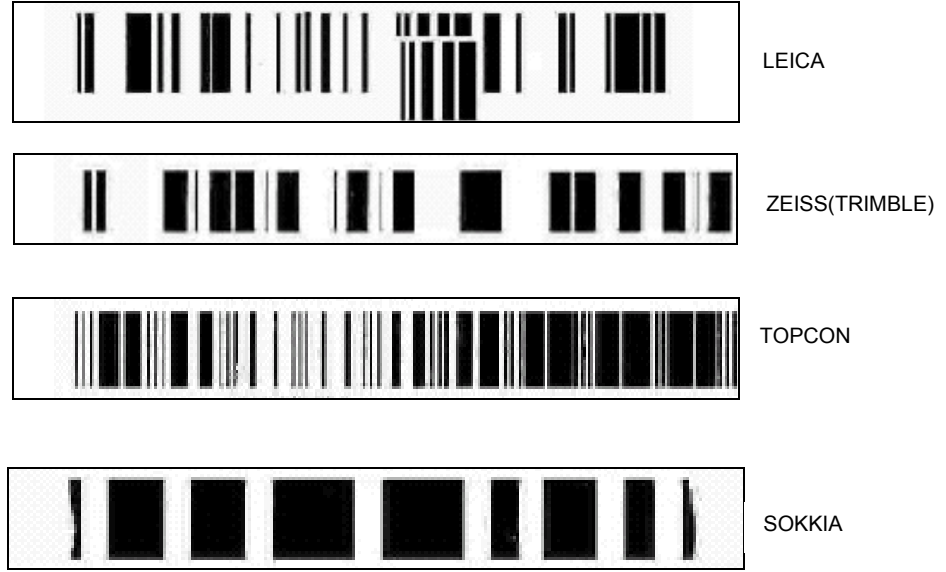
Barkod; harf ve sayılan bilinen alfabeden farklı olup siyah ve beyaz çizgilerle ifade edilir. Günümüzde yaygın olarak verilerin bilgisayar ortamına girilmesinde kullanılmaktadır. Barkodlar, özel optik sistemli okuyuculardan yararlar üzerlerine düşürülen güçlü ışık demetiyle taranırlar. Tarama sırasında çizgilerden beyaz olanlar ışığı yansıtırlarken koyu renkte olanlar ışığı emerler. Bu yansımalar mantıksal olarak kodlanarak 0 (sıfır) ve 1 (bir) değerlerinden oluşan ikili sayı sistemine çevrilirler. Bu değerler kodlananın dayandığı sisteme göre karakterlere dönüştürülür. Böylece barkodun, bilinen sisteme dönüşümü sağlanmış olur.

Leica firması tarafından geliştirilen kod, aperiodyk pseudo-stokastik binary (ikili) adı verilen bir kod ile temsil edilmektedir. Barkodlu miranın tam 4.050 metrelik boyu üzerindeki tüm bar kodların sayısı 2000 dir. Yani her bir kod elemanının boyutu 2.025 mm' dir. Zeiss (Trimble) firması tarafından kullanılan kodun modülasyonu 2 cm genişlikli her bir bitteki parlaklığın değişimi (renklerin birbirini takip etmesi) ile sağlanmaktadır. Kodlamadaki kalıp (pattern), 30 cm lik görüş alanında en az 15 adet siyah-beyaz geçişin tespit edilebilecek şekilde, tüm görüntü alanındaki optimum bir dağılıma sahiptir. Sadece, 6 metreden daha küçük uzaklıkta, 2 mm lik ek siyah veya beyaz bir genişlik gerekmektedir. Topcon barkodlu miralar, birbiri üstüne binen üç adet tekli desen koduna sahiptir. Bunlar referans desen olan bir sabit R üçlü bar, diğer iki bar ise yardımcı barlardaki A ve B kodlarıdır. A ve B desenlerinin bar genişliği 2 mm den 10 mm ye kadar değişen sinüs fonksiyonuna bağlı olarak değişir ve bunların dalga boyları sırasıyla 600 mm ve 570 mm dir. Bar merkezleri arasındaki p uzaklığı sabit olup 10 mm dir. İki sinüs sinyalinin; 4 metrelik bir yükseklikte A ve B sinyalleri arasında her zaman kesin bir faz farkı olacak şekilde, miranın tabanından başlamak üzere $\pm \pi/2$ lik bir faz kayıklığı vardır. Sokkia firması tarafından kullanılan "Rastlantısal çift yönlü kodun (Random Bi-directional Code (RAB))", herbiri 16 mm lik temel kod elemanı boyutu ile ilişkili olarak tanımlanan 6 kodluk genişlik değişimini kaplar /1/. Çeşitli firmalar tarafından kullanılmakta olan kod özellikleri Tablo-2' de, sayısal nivoların kullandığı kodlar Şekil- 6' da grafik olarak gösterilmektedir.

Tablo-2 : Firmalara göre kod özellikleri

Üretici firma	Özellikler	Yakın-Uzak alan kodu	İstenen Uzaklık/ölçek	Kod elemanı boyutu
LEICA	Pseudo stokastik	Var	Var	2.025 mm
SOKKIA	Rastlantısal çift yönlü kod	Var	Yok	16 mm
TOPCON	Analog genişlik değişimi	Yok	Yok	10 mm
ZEISS	İki fazlı	Var	Yok	20 mm

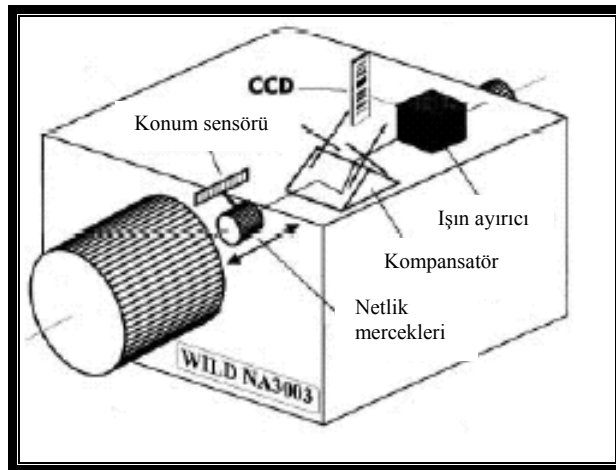
Nivo ile mira arasındaki uzaklık ile mira orta kıl okuması değeri, ilişkili olan üç kod görüntüsünün frekans ve faz konumundan FFT (Fast Fourier Transform) yöntemiyle belirlenmektedir.



Şekil- 6: Günümüz sayısal nivolarında kullanılan kodlar /1/

c. Alıcı Birimlerinin Genel Özellikleri :

Sayısal nivolar, bir sayısal fotoğraf makinesi ile otomatik nivonun birleşimi olarak düşünülebilir. Wild (Leica) sayısal nivusunun, optik eksenini yataylamaya yarayan bir kompensatörü ile doğru görüntü veren bir teleskopu vardır. Ayrıca, netleştirme mercekleri ile donatılan bir konum sensörü ile alet-mira uzaklığı kabaca belirlenir. Diğer firmalar tarafından üretilen sayısal nivolar odak konumu bilgisi olmaksızın işlev görmektedir. Bir eğim (tilt) sensörü kompensatörün konumunu belirler ve ışın-ayırıcı ışın paçasını CCD sensörüne doğru yönlendirir. Wild (Leica) tarafından üretilen NA 3003 serisi sayısal nivonun optik ilkesi Şekil- 7’ de grafik olarak gösterilmektedir.

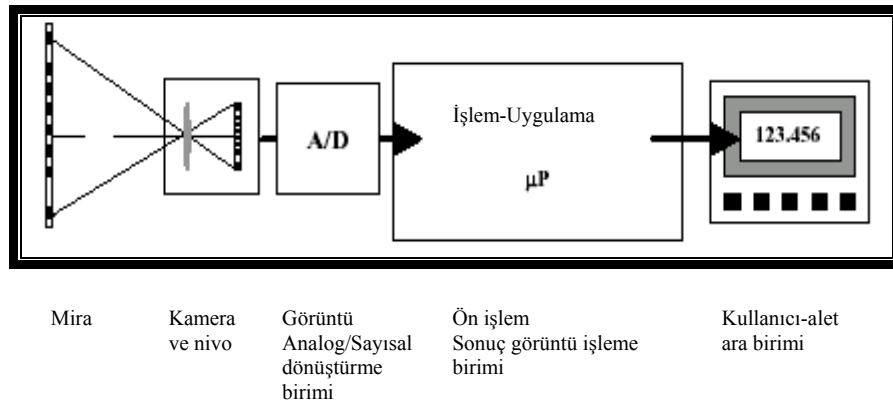


Şekil -7: Leica NA3003 sayısal nivusunun optik ilkesi /1/

Sayısal nivoda bir mikro işlemci kullanılmaktadır. Referans fonksiyonlar ile korelasyon işlemi için ihtiyaç duyulan karmaşık işlemleri gerçekleştirmek üzere Leica sayısal nivolarında bir giriş serisi (dizisi) mevcuttur. Detektör diyot dizisi mirada gözlenen barkod görüntüsünü 256 renkli sisteme sahip analog bir video sinyaline dönüştürür.

ç. Sayısal Nivolarda Sinyal Analizi ve Görüntü İşleme:

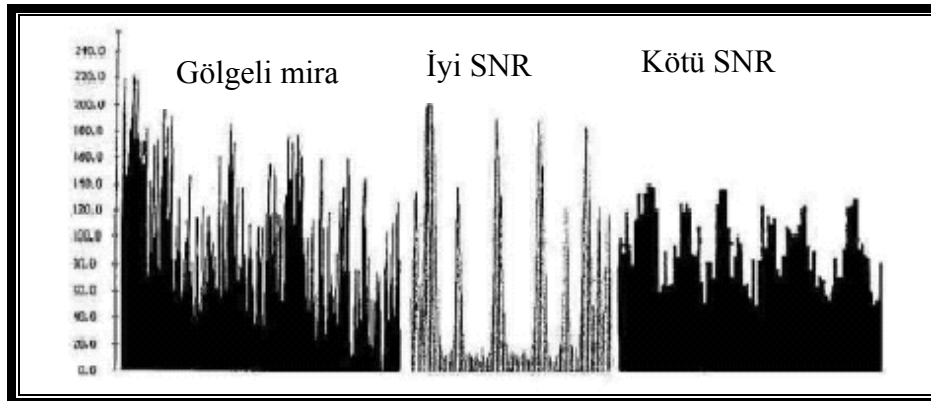
Görüntü işlemi yoluyla konum belirleme, radyometrik işlem ve kenarların tanımlanması yani kod elamanlarının siyah-beyaz geçişinin tanımlanması işleminin bir bileşimidir. Sayısal nivolarda görüntü alımı (capture) ve görüntü işleme işlemleri şematik olarak Şekil- 8'de gösterilmektedir.



Şekil- 8: Sayısal nivolarda görüntü alma ve görüntü işleme /7/

d. Görüntü Alımının Radyometrik Esasları:

Radyometrik işlemde mutlaka, her bir CCD pikselinin Gauss duyarlığı sergilediği dikkate alınmalıdır. Bu husus, sinyal işleme terminolojisinde trapezoid detektör-duyarlık fonksiyonu (trapezoidal detector sensitivity function) olarak bilinen bir fonksiyon yardımıyla görüntüye ilişkin sayı dizisinin iç çarpımı (konvolüsyon) ile sağlanmaktadır. Dedektör duyarlığına ek olarak, kısmen gölgeli bir miranın homojen olmayan bir yoğunluk değişimi (Şekil-9) görüntü analizi ve dengelenmesi işlemi ile çözümlenmektedir.



Şekil-9: Mira görüntülerine ait radyometre örneği (SNR : Sinyal to Noise Ratio) /1/

Wild (Leica) sistemleri hariç diğer tüm sayısal nivoların; ortalama 250 mm lik odak uzaklığı ve 10 μ luk piksel boyutu ve 1-2 cm' lik kod elemanı yardımıyla 100 m uzaklıkta en az 4 piksellik bir fazla örnekleme yapılmaktadır. 250 mm'lik odak uzaklığı ile 25 metrelik alet-mira uzaklığında Leica sayısal nivoları kullanıldığında, 2.025 mm lik kod elemanı boyutu ile piksel boyutu arasında bir enterferans meydana gelmekte, ancak bu etki yeni görüntü işleme yazılımları ile giderilebilmektedir /1/.

e. Görüntü İşleme ve Uzaklık Belirleme:

Wild (Leica) sayısal nivolarında, GPS pseudo-range ölçülerine benzer şekilde, görüntü işleme amacıyla iki adımda iki boyutlu korelasyon yöntemi uygulanmaktadır. Kod CCD dizisine iz düşürülen miranın görüntüsüyle ilişkilendirilir. Görüntü yalnızca yükseklikle değil aynı zamanda ölçek ile değiştiğinden, her iki parametrenin miranın uzaklığına bağlı olarak optimum hale getirilmesi gereklidir. Bu durum, 0-4.05 metrelik yükseklik ile 1.8-100 metrelik uzaklıklarda, 50000 kadar katsayının 8 bit doğruluğunda hesaplanmasını gerektirir. Değerlendirme işleminin hızlandırılması için işlem üç adıma ayrılır. İlk adımda kaba uzaklık değeri ilk önce netleştirme merceklelerinin konumu yardımıyla hesaplanır. İkinci adım kaba ilişkilendirme adımıdır. Sinyalin ortalama şiddeti dikkate alınarak bir başlangıç değeri kullanılarak, 8 bitlik dinamik 1 bite indirgenir. Bu indirgeme, sinyal işlemede yaygın olarak kullanılan EXNOR mantıksal fonksiyonunun kullanımını gerektirmektedir. Son adımda 8 bitlik hassas ilişkilendirme çalışması yapılır. Bu işlem yaklaşık 2 saniye kadar bir süre almaktadır. Zeiss sayısal nivolarında bu işlem geometrik konumlamaya benzetilmektedir. 100 metreye kadar olan uzaklıklarda yalnızca 30 mm' lik en küçük görüş alanı yükseklik ve uzaklığın belirlenmesine yeterli olmaktadır. Zeiss sayısal nivoları, yalnızca kaba konumlama için bir kod kullanmakta ve kod elemanlarının bazı karanlık-aydınlık geçişlerini ortalayarak ve belirleyerek hassas yükseklik ve uzaklık belirlemesi yapmaktadır. Topcon sayısal nivoları, yükseklik ve uzaklık belirlemesi amacıyla, elektronik uzaklık ölçerlerde kullanılan yöntemle benzer şekilde bir faz ölçü yöntemi kullanmaktadır. Üç sinyalin frekans ve faz konumları FFT yöntemiyle elde edilmektedir. Ayrıca doğruluğun artırılması için A, B ve R kodlarının doğrusal kombinasyonları görüntülenebilmektedir. Sokkia görüntü işleme yöntemi biraz Zeiss yöntemine benzetilebilir. Bu yöntem en az 8 cm' lik bir kod kullanılarak uygulanabilmektedir /1/.

3. SAYISAL NİVOLARDAN GELECEKTEKİ BEKLENTİLER:

Günümüzde en çok istenen özellik otomatik netleştirme olmasına rağmen, sayısal nivolar bu özellik bugüne kadar kazandırılmamıştır. Modern sayısal nivolar ile yükseklik ölçmelerinde 1/100 mm düzeyinde bir doğruluk sağlanabilmektedir. Sıkça uygulanan 30 metrelik bir alet-mira uzaklığındaki nivelman ölçümünde, atmosferin refraksiyon etkisi nedeniyle diğer nivolarda da olduğu gibi sayısal nivolarda da 1/100 mm okuma doğruluğu elde edilememektedir. Mira orta kıl okuma doğruluğunu artırmak için atmosferin sistematik etkilerini gidermek gerekmektedir. Refraksiyon etkilerinin aletsel olarak giderilmesi (görüntü bozulmasına dayalı) amacıyla firmalar tarafından ciddi çalışmalar sürdürülmektedir. Sayısal nivoların gelişimindeki diğer bir adım, eğim sensörlerini geliştirmek suretiyle trigonometrik açı ölçülerinin kullanılabilmesidir.

Diğer taraftan, inşaatı devam eden yapıların izlenmesi ve/veya bazı hedeflerin sürekli ve otomatik izlenmesi amacıyla; otomatik netleştirmeli ve azimuta göre hedefe yönlendirilebilen motorlu sayısal nivoların kullanımı düşüncesinin doğmasına yol açmıştır.

Günümüz sayısal nivoları motorize nivelman da dahil olmak üzere tüm nivelman çalışmalarında kullanılmaktadır. Yatay açı dairesi ile donatılan Zeiss DINI ve Topcon DL 101C sayısal nivoları ile takeometrik ölçü yapmak olanaklıdır. CCD alanındaki yenilikler, inşaat makinalarının yatay düzlemdeki (x-y) konumları ile yüksekliklerinin belirlenmesine yardımcı olabilecek ve motorize nivelmanın gelecekteki etkinliğini geliştirecektir. Ayrıca, yüksek ayırma güçlü CCD' ler ve görüntü işleme yöntemlerinin güçlenmesi ile türbülans etkileri ve görüntü bozulmasından yararlanarak aletsel olarak refraksiyon hatasının düzeltilmesi yönünde çalışmalara başlanmıştır. Günümüzde bazı firmalar tarafından üretilen sayısal nivoların performans değerleri Tablo-3' de gösterilmektedir.

Tablo-3 : Günümüzde çeşitli firmalar tarafından üretilen sayısal nivolarının performans değerleri /2,3,4,9/

ALETSEL ÖZELLİKLER	TOPCON		WILD	SOKKIA	ZEISS
	DL 101	DL 102	NA3003	SDL30	DiNi10
1 km gidiş-dönüş nivelman doğruluğu	invar mira ile 0.4 mm	invar mira ile 0.4 mm	invar mira ile 0.4 mm	Fiberglas mira ile 1.0 mm	invar mira ile 0.3 mm
Uzaklık doğruluğu	1 cm	1 cm	1 cm	Mesafenin binde biri	1 cm
Kompansatör					
- Tipi		Sarkaçlı	Sarkaçlı	Sarkaçlı	Sarkaçlı
- Doğruluk		0.3 "	0.3 "	0.3 "	0.2 "
- Çalışma aralığı		$\pm 15'$	$\pm 15'$	$> \pm 15'$	$\pm 15'$
Ölçme süresi		4 saniye	4 saniye	>3 saniye	4 saniye
Uzaklık ölçümü	invar mira ile 2-100 m	invar mira ile 2 - 60 m	invar mira ile 1.5 - 60 m	Standart mira ile 1.6 - 100 m	invar mira ile 1.6 - 100 m
Kullanıcı-Alet arabirimi	Menü	Menü	Fonksiyon tuşlu menü	Menü	Fonksiyon tuşlu menü
Ekran	2 satır	2 satır	2 satır	2 satır	4 satır
Çalışma süresi/batarya	10 saat	10 saat	8 saat	> 7 saat	1 gün
Batarya dahil ağırlık	2.8 kg	2.8 kg	2.5 kg	2.4 kg	3.0 kg
Görüntü alanı	$1^{\circ}20'$	Bilinmiyor	2°	$1^{\circ}20'$	En az 30 cm
Depolama kapasitesi	Dahili Hafıza yaklaşık 8,000 (PC kart PCMCIA (SRAM: 128KB~2 M byte)	2400	500	-	2000

4. SAYISAL NİVOLARDA HATALAR:

Hassas nivelman ölçülerindeki hatalar ve hataları giderme işlemleri ile bu hataların ulaştığı büyüklükler /10/'da genel olarak verilmektedir. Klasik nivolar için belirtilen alet, ortam ve kısmen kişi hataları sayısal nivolarla yapılan nivelman ölçülerinde de söz konusu olmaktadır.

Sayısal nivelman ölçmelerini, daha çok ortam hataları (refraksiyon ve küresellik hataları) ile alet hataları etkilemekte olup; klasik nivolardan farklı olarak, ölçücü, yazıcı ve miracıya bağlı kişisel hatalar (mira okuması, ölçü kayıt hatası ve mirayı dik tutma hatası) sayısal nivolarla ortadan kalkmaktadır. Ancak, klasik nivolardan farklı olarak sayısal nivolarla, enterferometrik ölçü ile referans sinyallerinin küçük miktarlarda birbirine karışması sonucu, sayısal nivolarla "döngüsel hata" meydana gelmektedir /11/. Söz konusu karışım, hem optik hem de elektronik karakterli parazitlenme sonucu meydana gelmektedir /12/.

Mira tabanı eğiklik hatası ve mira sıfır hatası gibi klasik mira hataları, barkodlu miralar için de geçerli olduğundan, barkodlu nivo ile yapılan nivelman ölçmelerinde de, klasik nivolarla yapılan nivelman ölçmelerinde miralara yönelik alınan önlemler alınmalıdır.

5. SAYISAL NİVELMANDA KULLANILAN STANDART VE YARDIMCI PARÇALAR:

Sayısal bir nivo için standart ve seçimli olarak verilen parçalar genel olarak aynı olup, Tablo-4'de Topcon DL101 C için standart ve seçimli olarak verilen parçalar gösterilmektedir.

Tablo-4: Topcon DL101 C sayısal nivosunun standart ve isteğe bağlı parçaları /4/



Standart parçalar:

1. Taşıma çantası
2. Objektif kapağı
3. Plastik yağmur örtüsü
4. Silikon temizleme kumaşı
5. Şakul
6. Alyan anahtarı
7. Kullanma klavuzu
8. Batarya kutusu
9. Batarya

İsteğe bağlı parçalar:

1. Şarj edilebilir ilave bataryalar
2. Batarya şarj cihazı

6. SONUÇ:

Son yıllarda sayısal nivoların üretimine başlanması ile geometrik nivelman tekniğinde yeni bir dönem başlamıştır. Sayısal nivo ile,

- Sayısal görüntü ve okuma kolaylığı,
- Yüksek doğrulukla hızlı ve ekonomik ölçü yapma imkanı,
- Miraya duyarlı yöneltme,
- Mira bölümlerinin okunması ve otomatik veri kaydı,
- Veri indirgemede ve hesap işlerinde otomasyon,
- Gerektiğinde sayısal nivo'nun klasik nivo aleti gibi kullanımı,
- Kişi hatalarının önemli ölçüde giderilmesi

yetenekleri elde edilmiştir. Sayısal nivelman ölçü aletleri günümüzde yavaş yavaş klasik nivelman ölçü aletlerinin yerini almaya başlamıştır.

KAYNAKLAR

- /1/ Ingensand, H. : The Evolution Of Digital Leveling Techniques-Limitations And New Solutions. Nisan 2003.
(www.gik.uni-karlsruhe.de/~mehi/literatur/digitalniv.htm)
- /2/ www.leica.com : Leica Firması Web adresi, 2003.
- /3/ www.topcon.com : Topcon Firması Web adresi, 2003.
- /4/ www.trimble.com : Trimble Firması Web adresi, 2003.
- /5/ Schofield, M. : Engineering Surveying, Theory and Examination Problems for Students, Fourt Edition.London. 1986.
- /6/ Yanar, R. : Sayısal Nivolar. Harita Dergisi No.117. 1997.
- /7/ Wolf P.R., Ghilani : Elementary surveying. An Introduction to Geomatics.Tenth edition. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey. 2000.
- /8/ (www.whatis.com).
- /9/ www.sokkia.com : Sokkia Firması Web adresi, 2003.
- /10/ Gürdal, M.A. : Presizyonlu nivelman ölçülerinde refraksiyon hatasının modellendirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği. 85 sayfa, İstanbul. 1995.
- /11/ Lok, H.C. : Evaluation of the Cyclic Error in Topcon DL-101C Precision Digital Levels. Master Thesis. School of Geomatic Engineering University of New South Wales, 1999.
http://www.gmat.unsw.edu.au/final_year_thesis/lok1999!/LOK_99.HTM
- /12/ Halverson, P.G., Spero, R.E. : Signal processing and testing of displacement metrology gauges with picometre-scale cyclic nonlinearity. Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena, CA 91109,USAJ. *Opt. A: Pure Appl. Opt.* 4 S304-S310.2002.
<http://www.iop.org/EJ/S/UNREG/A,B0oEa8UwnRXtUI188z.A/abstract/1464-4258/4/6/373>