

5436

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

JEODEZİ-DOKTORA PROGRAMI

KOMPANSATÖRLÜ NİVOLARA
SICAKLIK DEĞİŞİMİNİN ETKİSİ ÜZERİNE BİR ARASTIRMA

Y. Müh. Kemal ŞEN

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

" DOKTOR "

Ünvanının Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 16 Mart 1988

Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 12 Mayıs 1988

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Türkay TÜDEŞ

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Gürol BANGER

Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Aslan DİLAVER

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Doğan TURHAN

Türkay Tüdeş
Gürol Banger
Aslan Dilaver
Doğan Turhan

T. C.

Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi

Mayıs 1988

TRABZON

TEŞEKKÜR

Bu araştırma konusunu veren ve çalışma bitmeden ebediyete intikal eden, büyük insan rahmetli hocam Prof. Dr. Erdoğan Dündar ÖZBENLİ'yi saygıyla anarım.

Yöneticiliği üstlenerek çalışmanın son şeklini almasında değerli fikirleriyle teşvik ve yardımlarını esirgemeyen sayın hocam Prof.Dr. Türkay TÜDEŞ'e, yapıcı eleştirileriyle çalışmaya büyük katkılarda bulunan sayın jüri üyeleri Doç. Dr. Gürol BANGER'e ve Yrd. Doç. Dr. Aslan DİLAVER'e sonsuz teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Çalışma süresince çeşitli şekilde yardımlarını gördüğüm öğretim üye ve yardımcısı arkadaşlarıma, aletlerin temininde kolaylık sağlayan bölümümüz ölçme laboratuvarı görevlilerine ve ayrıca idari görevlilere teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	V
SUMMARY	VII
0. GİRİŞ	1
1. NİVOLAR	3
1.1 Düzegli Nivolar	4
1.2 Kompansatörlü Nivolar	5
1.2.1 Kompansatörlerin Çalışma Prensipleri	5
1.2.2 Kompansatör ve Kompansatörlü Nivo Tipleri	8
1.2.2.1 Işın Yolunu Değiştiren Kompansatörler ve Nivolar	8
1.2.2.2 Kollar Şebekesi Plakasını Hareket Ettiren Kompansatörler ve Nivolar	14
2. KOMPANSATÖRLERİN YAPISI	16
2.1 Sıvı Kapları ve Düzegler	16
2.2 Magnetik Taşıyıcı Sistemler	20
2.3 Telli ve Yaylı Taşıyıcı Sistemler	20
2.3.1 Telli ve Yaylı Kompansatörlerin Teorik Prensipleri	22
2.4 Telli ve Yaylı Kompansatörlerin Çalışma Prensipleri	22
2.4.1 Tellerle Taşınan Sistemler	23
2.4.1.1 Tellerin Normal Düzeni, Dönme	23
2.4.1.2 Çapraz Teller, Ters Dönme	25
2.4.1.3 Tellerin Normal Düzeni, Paralel Kayma	26
2.4.2 Yaylarla Taşınan Sistemler	27
2.4.2.1 Dikili Yaylı Sistemler, Dönme	29
2.4.2.2 Asılı Yaylı Sistemler, Dönme	31
2.4.2.3 Dikili Çapraz Eklem Yaylar, Dönme	33
2.4.2.4 Asılı Çapraz Eklem Yaylar, Dönme	34
2.4.3 Yaylı ve Telli Burulmalı Sistemler	35
3. KOMPANSATÖRLÜ NİVOLARDA HATA KAYNAKLARI	37
3.1 İmalat ve Montaj Hataları	38
3.2 Kullanma Hataları ve Diğer Yan Etkiler	38
3.3 Yerçekimi Kuvvetinin Değişimine Bağlı Hatalar	40

3.4	Sıcaklık Değişiminin Etkisiyle Meydana Çıkan Hatalar	42
3.4.1	Eklemdörtgen Kompansatörlere Sıcaklık Değişiminin Etkisi	43
3.4.2	Tellerin Normal Düzeni, Paralel Kayma Gurubundaki Kompansatörlere Sıcaklık Değişiminin Etkisi	46
3.4.3	Yaylarla Taşınan Kompansatörlere Sıcaklık Değişiminin Etkisi	47
3.4.3.1	Sıcaklık Etkisini Azaltacak Malzeme Özelliklerinin araştırılması	47
3.4.3.2	Asılı Yaylı Kompansatörlere Sıcaklık Değişiminin Etkisi	49
3.5	Kompansatörlü Nivolarla Diğer Hata Kaynakları	51
3.5.1	Paralelyüzlü Camın Yöneltilme Ekseninin Durumuna Etkisi	51
3.5.2	Netleştirme Merceğinin Yöneltilme Ekseninin Durumuna Etkisi	52
3.5.3	Kıllar Şebekesi Plakasının Eksentrisitesinin Yöneltilme Ekseninin Durumuna Etkisi	54
4.	KOMPANSATÖRLÜ NİVOLARA SICAKLIK ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI	55
4.1	Araştırmada Kullanılan Nivolar ve Teknik Özellikleri	55
4.2	Araştırma Ölçme Düzeni	56
4.2.1	Kapalı Kabin Ölçme Düzeni	56
4.2.2	Açık Hava Ölçme Düzeni	58
4.3	Ölçmelerin Yapılışı	60
4.3.1	Isıtılan Nivoların Yöneltilme Eksenlerinin Eğim değişimlerinin Ölçülmesi	61
4.3.2	Alet Sıcaklıklarının Ölçülmesi	62
5.	ÖLÇÜLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ	65
5.1	Ölçülerin Hassasiyet Yönünden İncelenmesi	65
5.2	Sıcaklık Etkisiyle Nivoların Yöneltilme Eksenlerinin Eğim Değişimlerinin Polinomlarla İfade Edilmesi	66
5.3	Polinomların Katsayılarının T-testi ile " Büyüklüklerinin Anlamlılığının " Kontrolü	67
5.4	Ni 1 (71034)'e Sıcaklık Değişiminin Etkisi	68
5.4.1	Ni 1 (71034)'e Laboratuvarda Sıcaklık Artışının Etkisi	68
5.4.2	Ni 1 (71034)'e Laboratuvarda Sıcaklık Azalmasının Etkisi	70
5.4.3	Ni 1 (71034)'e Açık Havada Sıcaklık Artışının Etkisi	70
5.5	Ni 2 Nivolarına Sıcaklık Değişiminin Etkisi	76
5.5.1	Ni 2 (101953)'e Sıcaklık Değişiminin Etkisi	76
5.5.1.1	Ni 2 (101953)'e Sıcaklık Artışının Etkisi	76
5.5.1.2	Ni 2 (101953)'e Sıcaklık Azalmasının Etkisi	76
5.5.2	Ni 2 (47848)'e Sıcaklık Değişiminin Etkisi	79

5.5.2.1	Ni 2 (47848)'e Laboratuvarda Sıcaklık Artışının Etkisi	79
5.5.2.2	Ni 2 (47848)'e Arazide Sıcaklık Artışının Etkisi	79
5.6	Ni 22 (65595)'e Sıcaklık Değişiminin Etkisi	82
5.7	Ni 42 (96255)'e Sıcaklık Değişiminin Etkisi	84
5.8	Ni 025 (180259)'a Sıcaklık Değişiminin Etkisi	86
5.9	Ni 007 (150262)'ye Sıcaklık Değişiminin Etkisi	88
5.10	NAK-2(113714)'e Sıcaklık Değişiminin Etkisi	90
5.11	GK1-A(95443)'e Sıcaklık Değişiminin Etkisi	92
5.12	GKO-A(180593)'e Sıcaklık Değişiminin Etkisi	94
6.	HESAP SONUÇLARININ YORUMLANMASI	96
7.	SONUÇ	98



ÖZET

Bu çalışmada yükseklik kavramı tanımlanarak, yükseklik ölçme metodları ve ölçü aletleri tanıtılmış, bunların tarihi gelişmeleri hakkında özet bilgiler verilmiştir. Günümüzde kullanılmakta olan yükseklik ölçme araçlarından nivolar, yapılarına göre guruplandırılarak incelenmişlerdir. Bunlardan, bu çalışmaya konu olan kompensatörlü nivolar, kompensatörleri açısından guruplara ayrılarak ve herbir guruba örnek verilmek suretiyle tanıtılmışlardır. Daha sonra, uygulamada kullanılan kompensatörler, kompensatörün etkili elemanını taşıyan sistemlerin şekilleri ve yapı malzemelerinin cinsine göre ele alınmışlar ve ayrıntılı biçimde tanıtılmışlardır.

Kompensatörlü nivolarla, doğru ölçme sonuçları elde edebilmek için bu nivolarda bulunması gerekli olan özellikler hakkında genel mahiyette bilgiler verilmiştir. Kompensatörlü nivoların yöneltme eksenlerinin eğim değişimine(kompansasyon hatası) uğramasına yol açabilecek etkenler araştırılmıştır. Bunlardan bazılarının, yöneltme ekseninin durumuna olan etkilerinin azaltılması için alınması gerekli önlemler açıklanmıştır. Yine, yöneltme ekseninin eğimini değiştiren etkenlerin ortaya çıkarabilecekleri kompensasyon hatasının büyüklüğü hakkında bir fikir verebilmek için, ilgili bölüm ve paragraflarda yaklaşık değerler ve ön kabullerle sayısal örnekler verilmiştir.

Araştırmanın üçüncü bölümünde incelenen bu hata kaynaklarından, imalat ve montaj hatalarının, bu çalışmada denenen aletlerde bulunmadığı kabul edilmiştir. Kullanma hataları ve diğer yan etkiler de bu araştırmanın konusu dışında bırakılmıştır. Yerçekimi kuvvetinin değişmesine bağlı hatanın ise, araştırma belli bir yerde(sabit enlemde) yapıldığından sabit bir miktarda kalacağı tabiidir. Ayrıca, ölçme sonuçları aletin yöneltme ekseninin ilk konumuna göre sifıra indirgenerek hesaplamalar yapıldığından, bu etkinin de varılan sonuçları bozmadığı anlaşılmıştır. Ölçme dizileri süresince dürbünün eğimi değişmediğinden, paralelyüzlü camın yöneltme ekseninin durumunda bir değişiklik yapmadığı kabul edilmiştir. Yine ölçme dizileri boyunca aletin netlik ayarı değiştirilmediğinden, netleştirme merceğinin etkisi de burada ayrıca dikkate alınmamıştır. Ve nihayet, kıllar şebekesi plakasının sıcaklıkla değişmesi ayrı bir araştırmanın konusudur.

Aslında, yukarıda sayılan hata kaynaklarını ve bunların nivoların yöneltme eksenlerinin durumuna olan etkilerini bir alet için ayrı ayrı ortaya koymak oldukça zor ve hatta imkansızdır. Bu çalışmada, denenen aletler için hesaplanan $\Delta\alpha = f(t)$, sıcaklık değişimine bağlı yöneltme eksen eğim değişimi fonksiyonları, amprik eşitliklerdir. Tesbit edilen yöneltme eksen eğim değişimi miktarları içinde, netleştirme merceğinin sıcaklık etkisiyle konum değiştirmesinin ve kıllar şebekesi plakasının aynı şekilde, sıcaklık tesiriyle bir miktar yer değiştirmesinin de payı vardır.

Sıcaklık değişiminin etkisiyle, kompensatörlü nivolarda ortaya çıkabilecek olan toplam yöneltme eksen eğim değişimlerini tesbit edebilmek için, dördüncü bölümde anlatılan ölçme düzenleri ile deneysel ölçmeler yapılmıştır. Bu bölümde anlatıldığı gibi, ölçmeler hem laboratuvarında kapalı kabinde ve hem de açık havada yapılmıştır. Yöneltme eksen eğim değişimleri Zeiss eğme kaması ve hesap yoluyla, alet yüzey sıcaklıkları bir termistör ve bir elektronik direnç ölçer yardımıyla elde edilmişlerdir.

Ölçü sonuçları, bir (YOX) dik eksen sisteminde, eğim değişimleri ($\Delta\alpha''$) X ekseninde ve sıcaklıklar ($t^{\circ}\text{C}$) Y ekseninde alınarak grafik olarak gösterilmişlerdir. Grafiklerin tetkikinden, $\Delta\alpha = f(t)$ bağıntılarının 1. ve 2. dereceden,

$$\Delta\alpha'' = a + b t$$

$$\Delta\alpha'' = a + b t + c t^2$$

şeklinde polinomlar olacağı görülmüş ve bu tip fonksiyonlarla hesaplamalar yapılmıştır. Her alete ait bütün ölçüler toptan dengelenerek, bu aletlere ait amprik sıcaklık tesiriyle yöneltme eksen eğim değişimi bağıntıları elde edilmiştir. Bu bağıntılarla ilgili tamamlayıcı bilgiler metin içinde verilmiştir.

Bütün aletlere ait grafikler ve hesaplanan bağıntılar ayrı ayrı irdelenmiş ve varılan sonuçlar bu çalışmanın sonunda maddeler halinde açıklanmıştır. Buna göre denenen bütün aletlerin, sıcaklık değişmelerinden az veya çok miktarlarda etkilendikleri ortaya konulmuştur. Ayrıca, sıcaklık değişimi etkisiyle ortaya çıkan yöneltme eksen eğim değişimlerinin, ölçme sonuçlarını en az etkilemesi için alet kullanıcılarına, bir takım tedbirlerin alınması tavsiye edilmiştir.

SUMMARY

In this study, the concept of altitude is defined and the methods of measuring altitude and the instruments are introduced. Then the historical development for these instruments is summarized. Leveling instruments currently used for the measurement of altitude are classified according to their structural details. Automatic levels which are the subject of the present work, are grouped according to their compensators and discussed with examples. Finally automatic levels used in practice are discussed in detail by means of their diagrams and type of constructional elements.

Some general information about leveling instruments are given in order to obtain correct results by using automatic levels. The causes for the variation of the inclination of line of sight of automatic levels are investigated. The measures necessary for the elimination of some kind of compensating errors are described. Some numerical examples using approximate values are given for the determination of the magnitude of the compensating errors due to the variation of the line of sight of the automatic levels.

The measuring instruments used in this work are assumed to be free of constructional and assembling errors. Errors of misusing and the other side effects are also excluded. Since the investigation is carried out at a certain place (fixed latitude), the error due to the change of gravitational force is constant. Besides, the results of the measurements are not affected, since the calculation are based on the initial position of the line of sight of the instrument. Since the inclination of telescope does not change during the measuring time, it is assumed that there is no change on the position of the orientation axis of the optical micrometer. The effect of focusing lens is not taken into account because the focusing of the telescope during the measuring time does not change. Finally, it should be mentioned that the change of the plate of reticule due to temperature is the subject a separate work.

In fact, it is a very difficult or may be an impossible task to observe the above mentioned sources of errors and the effect of these errors on the position of the orientation axis of levels separately. In this study the calculated function of $\Delta\alpha = f(t)$, the change of inclination of the orientation axis with temperature, are the empirical equations. The changes of positions of the focusing lens and the plate of reticule with temperature have also contributed to the total change of inclination of the orientation axis.

In order to find out the **total change** of inclination of the orientation axis due to temperature changes in the automatic levels, some experimental measurements have been made by the systems discussed in the fourth chapter. The measurements have been made both in a cabinet in the laboratory and in the open air (in the field). The changes of the inclinations of the line of sight and the surface temperature of the instrument have been obtained by Zeiss 'rotary wedge attachment' and thermistor respectively.

The results of measurement have been plotted on a (YOX) rectangular coordinate system; the change of inclination($\Delta\alpha''$) on the X-axis and the temperatures($^{\circ}\text{C}$) on the Y-axis. The existence of the following first and second order polynomials have been found from the examination of the plots:

$$\Delta\alpha'' = a + bt$$

$$\Delta\alpha'' = a + bt + ct^2$$

Functions of this type have been used in the calculations. The relations for the change of inclination have been derived by considering all the measurements for each instrument. Complementary information concerning these relations has been given in the text

Graphs and equations for the instrument have been discussed and the results obtained have been listed at the end of the work. Thus it has been shown that all of the devices tried were more or less affected by temperature changes. The users of this type of instruments are recommended that some precautions must be taken in order to reduce the effect of temperature on the changes of inclination of the orientation axis.

0. GİRİŞ

Yeryüzünde bir noktanın konumu, uzay dik koordinat sisteminde üç koordinatla belirlenir. Bu koordinatlardan ikisi(y, x) yatay XOY düzleminde bulunurlar ve bilinen nokta tayini metodlarıyla(poligon, kestirme, triangülasyon, trilaterasyon ve fotogrametrik) elde edilirler. Üçüncü koordinatta pratik jeodezide noktanın yüksekliği denilir. Yükseklik, noktanın XOY düzleminde veya belli bir kıyas yüzeyinden itibaren ölçülen düşey uzaklıktır. Bu uzaklığın değeri geometrik, trigonometrik ve barometrik yükseklik ölçme metodlarından biri ile ölçülebilir.

Geometrik yükseklik ölçüsüne NİVELMAN denilmektedir. Nivelmanın esası, ölçü yapılacak olan yerde meydana getirilecek bir yatay düzleme göre noktaların düşey uzaklıklarının ölçülmesidir. Buradaki yatay düzlem çekül doğrultusuna dik ve belli sınırlar içinde durgun su yüzeyine paralel kabul edilir. Bu düzleme nivelman düzlemi, bunu belirlemeye yarayan alete de nivelman aleti veya kısaca NİVO denilir.

Nivolar, çekül doğrultusundan ve buna bağlı olarak durgun su yüzeyinin belirlediği düzlemin yatay olmasından faydalanılarak yapılmışlardır. Önceleri bir saydam kap içindeki sıvı yüzeyi nivelman düzlemi olarak kullanılmıştır. Bu uygulamanın örnekleri, su terazisi ve hortumlu su terazisidir. Silindirik düzecen 1661 yılında THEVENOT tarafından bulunması yatay doğrultunun ve düzlemin, dolayısıyla bunlara dik olan düşey doğrultunun kolaylıkla ve doğru bir şekilde teşkilini sağlamıştır(HOFMANN, 1958/1, 65).

Silindirik düzecen zamanla geliştirilmesi sonunda, nivolardaki yöneltme ekseninin yataylanması daha doğru bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

Çağımızın teknik çalışmaları, doğru sonuçlar elde etmenin yanında bu sonuçlara en az zaman harcamakla ulaşmayı gerekli hale getirmiştir. Jeodezik ölçmelerde de işlemlerin kolay ve süratli olması, aynı zamanda neticelerin de doğru olarak elde edilmesi istenir. Bu sebeple jeodezik ölçme aletlerinin doğru ve çabuk ölçmeyi sağlayacak tarzda imal edilmeleri yoluna gidilmiştir. Düzegli nivolarla yapılan nivelman işleminde, düzecen ayarlanmasıyla yöneltme ekseninin yataylanması fazlaca zaman almaktadır. Zaman

alıcı bu işlemi ortadan kaldırıp, belirli sınırlar içinde eğik dürbünün hedef ışınını(yönelme eksenini) yataylayan sistemlerin yapılmasına çalışılmıştır. Bu çalışmaların bir sonucu olarak, 1951 yılında DRODOFSKY'nin fikirlerinden hareketle Carl-Zeiss Firması tarafından " Ni 2" isimli nivo yapılmıştır(KNEİSSL,1956,72). Bu nivonun başarılı sonuçlar vermesinden sonra, diğer alet yapımcıları da nivolarını kompensatör denilen sistemlerle donatmaya başlamışlardır.

Nivolarda kullanılan ve KOMPANSATÖR adı verilen sistemler, yerçekimi kuvvetinin etkisi ile çalışan mekanik veya hidromekanik sarkaçlar şeklinde yapılmışlardır. Bu sarkaçların yapı malzemeleri sıcaklık değişmelerinden etkilenirler. Bu etkilenme sonucunda da sarkaç fonksiyonunda bozulmalar olur ve ölçme sonuçlarının yanlış olmasına sebep olan "kompansasyon hatası" ortaya çıkar.

Sıcaklık etkisiyle ortaya çıkan kompansasyon hataları bir kısım nivolar için bazı araştırmacılar tarafından incelenmiştir(ELLENBERGER, 1955; OCHSENHIRT, 1956; HOFMANN, 1958; HARDY, 1963; KRÖTZL, 1963; KAKKURİ, 1969; BROSİN, 1971). Bu araştırmacılardan bir kısmı birbirine yakın sonuçlar bulurken, diğerlerinin bulduğu sonuçlar bunlara uymamıştır. Bu, araştırma düzenlerinin farklılığından ve araştırılan aletlerin aynı aletler olmamasından ileri gelen bir durumdur. Yine bu araştırmacılardan bir bölümü alet sıcaklığına, diğer bölümü ise ortam sıcaklığına göre işlem yapmıştır.

Bu çalışmada farklı aletler aynı ortamda ve aynı ölçme düzeninin şartlarında deneye tabi tutulmuşlardır. Alet dış yüzey sıcaklıkları termistörle, yönelme ekseninin eğim değişimleri Zeiss Eğme Kaması ile ölçülmüştür. Ayrıca Karadeniz Bölgesi iklim şartlarında, seçilen iki aletin(Ni 1, Ni 2) açık havada sıcaklık etkisiyle yönelme eksenlerinin eğim değişimleri gözlenmiştir.

1. NİVOLAR

Jeodezik ölçmelerin konularından biri olan yeryüzü üzerindeki noktaların belli bir kıyas düzleminden itibaren düşey uzaklıklarının tayin edilmesinde en çok nivolar kullanılmaktadır. Nivolar; su terazisi, hortumlu su terazisi, düzeçli lata, diyopterli nivo(bir düzeç ve bu düzeğin eksenine paralel bir gözleme doğrusu sağlayan bir diyopter düzenine sahip nivo), el nivosu v.b. gibi yükseklik ölçme aletlerine nazaran doğruluk derecesi yüksek ölçme yapmaya imkân verirler.

Nivolarda yatay düzlem veya yatay doğrultu silindirik düzeçler yardımıyla tayin edilmektedir. Basit nivelman aletlerinden farklı olarak, nivolarda hedefin gözlenmesi geliştirilmiş ölçü dürbünleriyle yapılır.

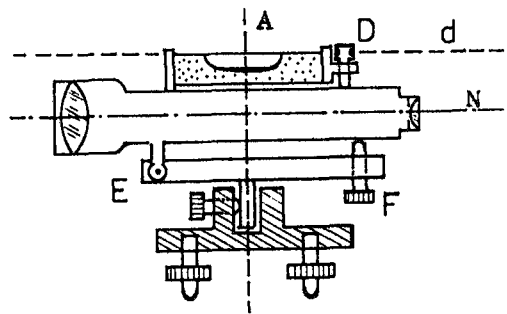
Bir nivo yapısı bakımından iki kısma ayrılabilir:

- Alt yapı; üçayak düzeni, küresel düzeç ve asal eksen yatağından ibarettir.
- Üst yapı; silindirik düzeç, dürbün ve dürbünü taşıyan bir milden meydana gelir.

Üst yapı adı geçen milin, alt yapıdaki yatağa yerleştirilmesiyle yatay hareket edebilir. Mil ile yatağın ortak eksenini, aletin etrafında döndüğü asal eksenidir. Dürbünü hedefe yöneltmek için tesbit ve yatay az hareket vidalarından yararlanılır. Nivolarda başlıca üç eksen vardır(Şekil 1);

- Silindirik düzeç eksenini(d)
- Yöneltme eksenini(N)
- Asal eksenini(A)

- D. Düzeç ayar vidası
- F. Fenklaj vidası
- E. Dürbün eklemi



Şekil 1. Nivonun yapısı

Nivonun yöneltme eksenini, silindirik düzeğin kabarcığınının F eğim(fenklaj) vidası yardımıyla düzeğ bölümlerinin ortasına getirilmesi sonucu yataylanır. Yöneltme eksenini ile düzeğ ekseninin paralelliği D ayar vidası ile temin edilir. Birçok yeni nivoda düzeğin yerini kompensatörler almıştır. Nivolar yataylamayı sağlayan esas parçaları bakımından iki ana guruba ayrılabilirler;

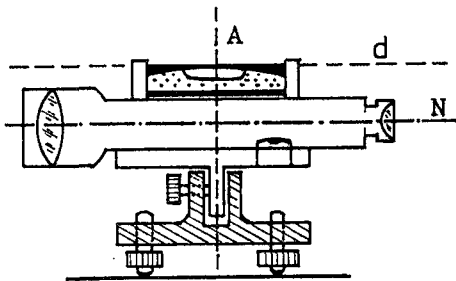
- 1) Düzeçli Nivolar
- 2) Kompansatörlü Nivolar

1.1. Düzeçli Nivolar

Düzeçli nivolar, aletin yapısı ve yöneltme ekseninin yataylanmasına (düzeğ kabarcığınının ayar çizgileri arasına getirilmesine) göre üç guruba ayrılabilirler:

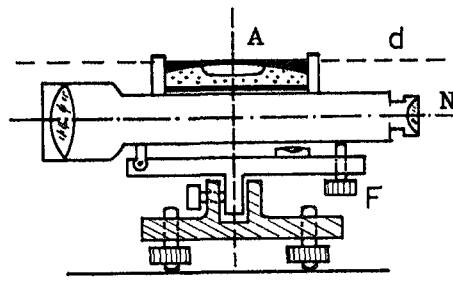
a. Sabit Dürbünlü Nivolar

Bu nivolarda, dürbün, dürbün taşıyıcısı ve silindirik düzeğ birbirlerine sabit olarak bağlanmıştır. Sabit dürbünlü nivo ile ölçme yapılırken, düzeğin her okumadan önce üç ayakla ayarlanması gerekir. Bu ise bir önceki nivelman düzlemi dışına çıkılmasına sebep olabilir. Yüksek doğruluk istenen işlerde bu tip aletlerin kullanılması uygun değildir(Şekil 2).



Şekil 2

Sabit dürbünlü nivo



Şekil 3

Fenkelajlı Nivo

b. Fenkelajlı Nivolar

Bu tip nivolarada, dürbün, dürbün taşıyıcısına fenkelaj denilen bir eğme sistemi ile bağlanmıştır. Bu sistemde dürbün objektif tarafında bir eklem ve oküler tarafında bir eğme vidası ile alt yapıya bağlanmıştır. Alet üç-ayak düzeni ile kabaca ayarlanır ve ölçü yapılan her yönde F eğim vidasının(Şekil 3) döndürülmesiyle yöneltme ekseni yatay hale getirilir.

c. Tersinir Nivolar

Tersinir nivonun diğer bütün nivolardan olan en önemli farkı, dürbününün kendi yöneltme ekseni etrafında 200⁸ dönebilmesidir. Dürbünün iki durumunda da okuma yapılacağından düzecinin simetrik iki yüzünde ayar çizgileri vardır. Bu düzen yardımıyla yöneltme ekseninin hatasının ölçme sonuçlarına etkisi en az olmaktadır.

1.2. Kompansatörlü Nivolar

Nivolarla belli bir doğruluk derecesinde yükseklik değerleri elde edebilmek için, dürbünün yöneltme ekseninin bir istasyonda bir kere ayarlandıktan sonra bakılan her yönde aynı nivelman düzleminde bulunması gerekir. Bu da teorik olarak asal eksenin tam düşey ve yöneltme ekseninin de buna dik olmasıyla gerçekleşebilir. Fakat uygulamada asal eksenin düşeyliği ve yöneltme eksenine dikliği istenilen doğrulukta sağlanamaz. Bu sebepten bakılan her doğrultuda yöneltme ekseninin yataylanması fenkelajlı nivolarada eğim vidası ile gerçekleştirilir. Aletin her doğrultuda yeniden ayarlanması sürekli olarak zaman ve emek kaybına yol açar(ÖZBENLİ-TÜDEŞ, 1972, 370).

Ölçmeciyi bu külfetlerden kurtarmak için alet yapımcıları belirli sınırlar içinde kalmak şartıyla dürbünün eğik olması halinde de yöneltme ekseninin yataylığını sağlayan nivolar yapmışlardır. Bu aletlerde yöneltme ekseninin küçük eğiklikleri, optik eksen üzerine yerleştirilen ve kompansatör denilen sistemler yardımıyla otomatik olarak belli oranlarda etkisiz duruma getirilir(%99- DEUMLICH, 1961,213; %99.9- SHELENS, 1962/7, 238).

1.2.1. Kompansatörlerin Çalışma Prensibi

Kompansatörün kelime manası; telâfi eden, tazmin eden, eksiği ve hatayı gideren demektir. Kompansatör denilen düzen, nivoların mekanik veya

hidromekanik bir parçasıdır. Bu parça genellikle nivo dürbününün objektifi ile kıllar şebekesi plakası arasına ve optik eksen üzerine yerleştirilmiştir. Kompansatör, nivo nun yöneltme eksenini bir miktar ($\pm 15'$ - firma verisi) eğik olsa da dürbüne giren yatay gözleme ışınının her zaman kıllar şebekesinin aynı noktasından geçmesini sağlar.

Bir dürbünün YÖNELTME EKSENİ, bu dürbünün objektifinin O optik merkezi ile kıllar şebekesinin S kesişme noktasını birleştiren doğru olarak tarif edilir (Şekil 4). Nivo ayarlı (düzgeç eksenini yöneltme eksenine paralel) bir silindirik düzgeçle düzgeçlenirse, yöneltme eksenini yatay konuma gelir. Böylece yöneltme eksenini, objektifin O optik merkezinden geçen yatay ana ışınla çakışmış olur. Sonuç olarak da yatay ana ışın kıllar şebekesinin S ile gösterilen yatay çizgisinden geçer (Şekil 4). Eğer dürbün yatay doğrultu ile α açısı yapacak kadar eğilirse yatay ana ışın, kıllar şebekesinin



Şekil 4. Yöneltme Eksenini Yatay



Şekil 5. Yöneltme Eksenini Eğik

S yatay çizgisinden ayrılır ve kıllar şebekesi düzlemini S_{α} ile gösterilen yerde delerek dürbünün yöneltme ekseninden ayrılmış olur (Şekil 5).

Nivelman işleminde zamandan tasarruf etmek için, dürbünün yukarıdaki verilen α açısı kadar eğik olması halinde de doğru ölçme yapmak istenir. Bunun gerçekleştirilebilmesi, yatay ana ışının kıllar şebekesinin S yatay çizgisi ile çakıştırılmasına bağlıdır. Bu işlem kompansatörlü nivolarda genel uygulama olarak iki şekilde gerçekleştirilir:

a. Kıllar şebekesi plakasını taşıyan düzleme kumanda edilerek yatay S çizgisinin S_{α} ile gösterilen yere (yatay ana ışın üzerine) gelmesi sağlanır (Şekil 6).

b. Yatay ana ışının, uygun bir düzenekle yansıtılıp veya kırılarak yatay S çizgisinden geçmesi temin edilir (Şekil 7).

Her iki halde de yatay ışının veya kıllar şebekesi plakasının, kıllar şebekesi düzlemindeki kayma miktarı a , α ve β küçük açılar olmak üzere f ve s 'ye bağlı olarak bulunabilir. Yatay ışının kayma miktarı, objektifin f odak uzaklığı ve eğim açısı α 'ya bağlı olarak,

$$a = f \cdot \alpha \quad (1.1)$$

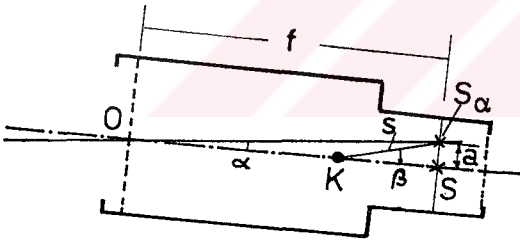
şeklinde elde edilir(Şekil 6; Şekil 7). Kompansatörün yatay ışını kaydırma miktarı a , diğer taraftan s ve β 'nin bir fonksiyonudur ve,

$$a = s \cdot \beta \quad (1.2)$$

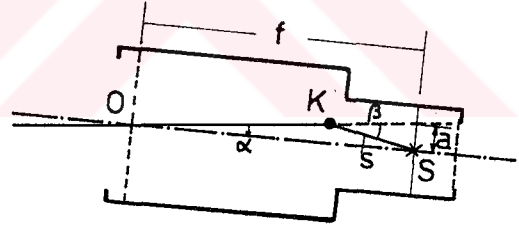
olarak ifade edilir. (1.1) ve (1.2) formüllerinin ikinci taraflarının eşitlenmesinden,

$$f \cdot \alpha = s \cdot \beta \quad (1.3)$$

bağıntısı elde edilir. (1.3) eşitliğinin orantı özelliğine göre yeniden



Şekil 6



Şekil 7

düzenlenmesiyle,

$$\frac{f}{s} = \frac{\beta}{\alpha} = n \quad (1.4)$$

bulunur. Bu orana kompansatörün " BÜYÜTME FAKTÖRÜ " denilmektedir(HOFMANN, 1958/I,71; HARDY, 1963,7).

(1.4) eşitliğinde f ve s her alet dürbünü için sabit olduğundan n de

sabittir. Kompansatörlerin yapıları ve alet içindeki yerlerine göre n değeri aletten alete farklılık gösterir. Netleştirme merceğinin kullanılışlı kılınması, kompansatörün küçük boyutlarda ve hafif olması için K ışın kırılma noktası(kompansatör) genellikle kıllar şebekesi düzlemine yakın tutulur; bu sebepten $n > 2$ olur(DEUMLICH, 1961,209).

1.2.2. Kompansatör ve Kompansatörlü Nivo Tipleri

Bir önceki paragrafta anlatılan prensiplere uygun olarak kompansatörler etki türlerine göre iki guruba ayrılabilirler;

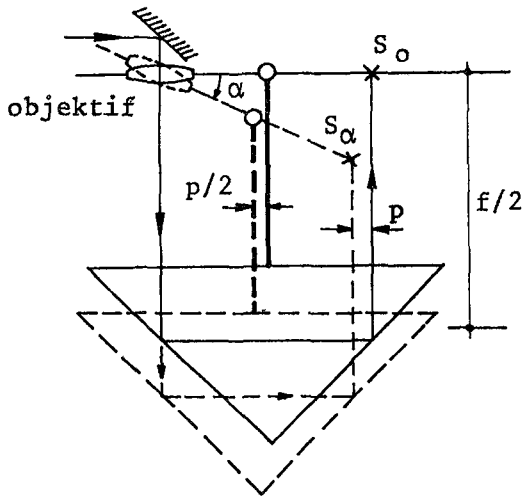
- 1) Işın yolunu değiştiren kompansatörler
- 2) Kıllar şebekesi plakasını hareket ettiren kompansatörler

1.2.2.1. Işın Yolunu Değiştiren Kompansatörler ve Nivolar

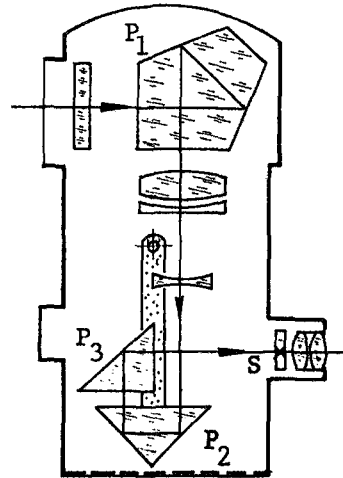
Bu tip kompansatörler, aletin optik ekseni üzerine, aletten alete değişiklik arzeden şekillerde yerleştirilmişlerdir.

a. Paralel Öteleme Yapan Sarkaç Prizma ve Jena Koni 007

Bu düzenekte kompansatör olarak, ışın yoluna dik yönde serbestçe salınan ve objektifin f odak uzaklığının yarı uzunluğundaki bir askı elemanı(tel veya bant) ile sarkaç şeklinde asılan dik açılı prizma kullanılır(Şekil 8).



Şekil 8. Sarkaç prizma



Şekil 9. Jena Koni 007

Aletin α açısı kadar eğilmesi halinde, yatay ana ışın görüntü düzleminde, objektifin f odak uzaklığı ve α 'ya bağlı olarak yatay kıldan,

$$f \alpha = p \quad (1.5)$$

kadar ayrılır. $f/2$ uzunluğundaki sarkaca bağlı olan dik açılı prizma da α eğikliğine karşılık kendi hipotenüsü doğrultusunda,

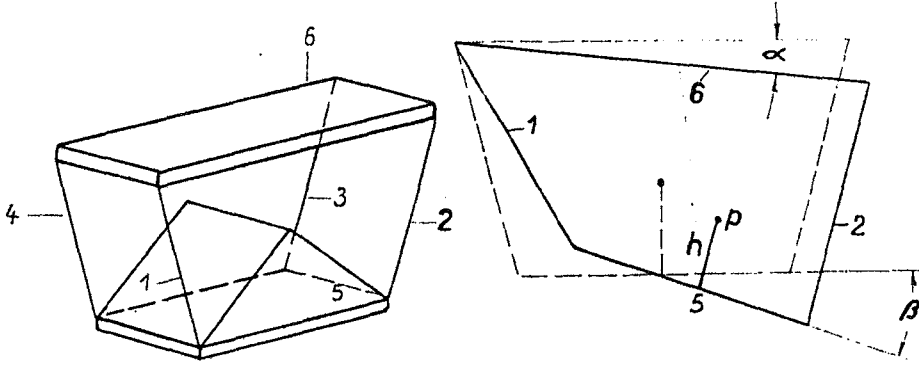
$$\frac{f}{2} \alpha = \frac{p}{2} \quad (1.6)$$

kadar yer değiştirir. Bu prizmadan iki kere yansiyarak çıkan ışın(Şekil 8), geliş doğrultusuna paralel olarak p kadar kayar ve yatay kıl (S_α) üzerine düşer. Sarkaç prizma kompensatörlü nivoları örnek olarak, Jeiss-Jena Firmasının Koni 007 isimli nivosu gösterilebilir(Şekil 9). Bu nivonun optik eksenini kırıktır. Aletin tavanındaki beşgen prizmaya gelen yatay ana ışın, prizmadan çıktıktan sonra düşey olarak yoluna devam eder. Bu ışının yolu üzerinde P_2 ile gösterilen ve $f/2$ uzunluğunda bir sarkaca bağlı olan dik üçgen prizma bulunur. Aletin tam tesviye edilmiş halinde, bu prizmadan çıkan yatay ana ışın P_3 prizmasına ve oradan da kıllar şebekesinin S yatay çizgisine gelir. Aletin biraz eğik olması halinde, P_2 prizması (1.6) eşitliğine uygun olarak yatay ana ışının kıllar şebekesinin S yatay çizgisinden geçmesini sağlar. Bu nivoda P_1 beşgen prizması aynı zamanda bir mikrometre düzenine bağlıdır ve bu mikrometrenin okuma inceliği $1/200$ mm.dir.

b. Eklemlili Dörtgende Asılı Prizma ve Zeiss Ni 2

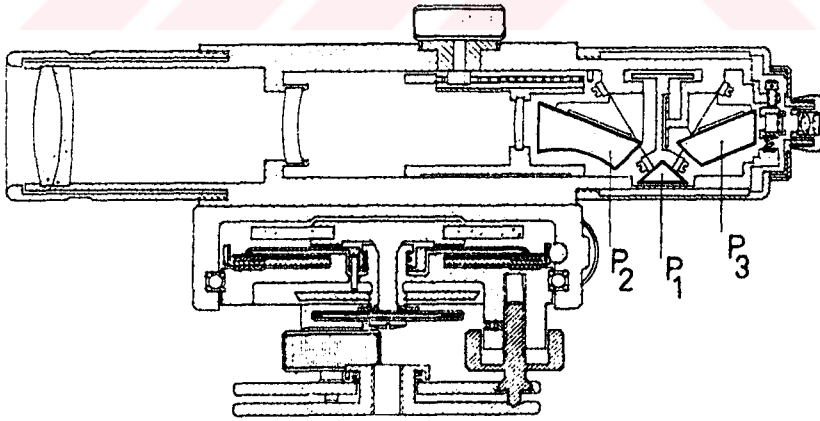
Bu sistemde 5 nolu dik açılı prizma, dik açı karşısındaki yüzeyi yatay olarak, objektife giren yatay ana ışını kıllar şebekesinin yatay çizgisinden geçirecek şekilde dört köşesinden 1, 2, 3, 4 nolu tellerle, 6 nolu dürbün tavanına sarkaç gibi asılmıştır(Şekil 10). Teller antimagnetiktir, paslanmayan metalden yapılmış olup, her biri iki kilogram yüke mukavimdir, buna karşılık sarkaç ağırlığı 20 gramdır(SCHELLENS, 1972,156). Kompensatör görevi yapan prizmanın asılma yüzeyi α açısı kadar eğilirse, prizmanın yatay yüzü $\beta = n \alpha$ açısı kadar eğilir. Buradaki n değeri daha önce büyütme faktörü olarak tanımlanmıştır. Dürbünün eğikliğinin kompensasyonu için gereken " n " değeri, eklemli dörtgenin geometrik boyutları ve p sarkaç

ağırlık merkezinin sarkaç prizmanın yatay yüzüne olan h uzaklığına bağlı olarak tayin edilebilir.



Şekil 10. Eklemlı Dörtgende Asılı Prizma

Eklemdörtgen kompensatörün ilk olarak uygulandığı alet Zeiss Ni 2 nivodur. Bu nivoda Şekil 11'de görüldüğü gibi P_1 kompensatör sarkaç prizmasıdır. Bunun üstünde, objektif ve oküler tarafında P_2 ve P_3 prizmaları dürbün tavanına sabit olarak takılmışlardır. P_1 prizması dört adet ince tel ile asılmış olup, yerçekimi kuvvetinin etkisiyle sürtünmesiz salınır.



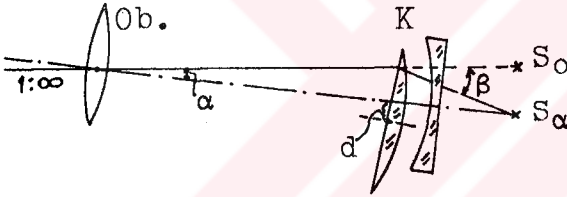
Şekil 11. Zeiss Ni 2 nivosunun kesiti

Sarkaç salınımı hava freni ile durdurulur. Alet objektifinden giren yatay ışınlar önce P_2 prizmasından yansyarak P_1 sarkaç prizmasına, bundan da P_3 prizmasına yansır. P_3 prizmasından yansyan ışın da kıllar şebekesinin yatay çizgisinden geçer. Dürbünün yataya göre biraz eğik olması halinde

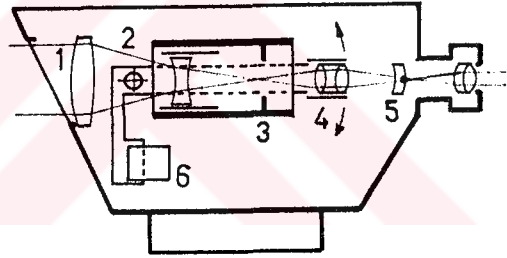
P_1 sarkaç prizması (1.4) bağıntısına uygun olarak eğilir ve yatay ana ışınların daima kıllar şebekesinin yatay çizgisinden geçmesini sağlar. Bu nivoonun objektifinin önüne paralelyüzlü cam mikrometre takılarak hassas nivelman işlemi yapılabilir, Ayrıca bu aletler, aynı firmanın geliştirdiği eğme kamaları ile donatılarak vadi geçiş nivelmanında kullanılmaktadırlar.

c. Sarkaç Mercek Kompansatör ve Kern GK0 - A

Kompansasyon için diğer bir çözüm de, Abatsch kamaları prensibine göre tertip edilen sarkaç mercek kompansatör sistemidir. Kompansasyonu sağlayan mercek, dürbünün optik eksenine dik olarak ve dürbünün eğimiyle salınım yapan bir sarkacın ucuna takılmıştır(Şekil 12). Şekilde K ile gösterilen mercek sarkaç boyuna ve dürbünün eğimi α ya bağlı olarak optik eksen üzerinden d kadar ayrılır. Böylece yatay ana ışın β açısı kadar kırılır ve aletin eğik durumunda, kıllar şebekesinin S_α ile gösterilen yatay çizgisinden geçirilir. Sarkacın tertibi ve mercek hareketinin gerçekleştirilmesi



Şekil 12. Sarkaç Mercek



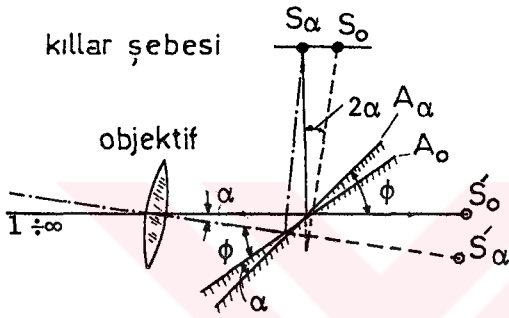
Şekil 13. Kern GK0 - A

çeşitli şekillerde olabilir(DEUMLICH,1961,210).

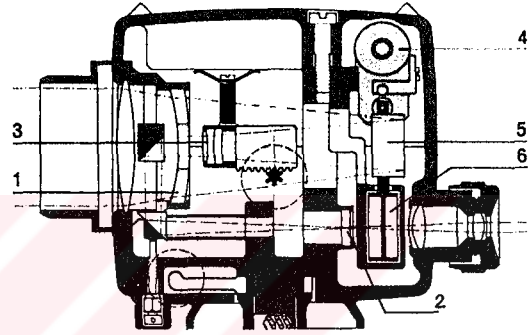
Sarkaç mercek kompansatör Kern GK0-A nivosunda kullanılmıştır. Kompansasyonu sağlayan 4 nolu mercek, 2 nolu eksen etrafında düşey düzlemde hareket edebilen bir sarkaç sistemi ile optik eksen üzerine yerleştirilmiştir(Şekil 13). Aletin eğimi ile oratılı olarak 4 nolu kompansasyon merceği dürbünün optik eksenine dik yönde hareket ederek yatay ana ışının her zaman kıllar şebekesinin 5 nolu yatay çizgisinden geçmesini sağlar. Objektifin meydana getirdiği görüntülerin ilk yeri olan 3 nolu kısımda, kompansatörün çalışma sınırı dışına çıktığını belirten kırmızı bir ikaz diyaframı vardır. Sarkacın salınımı magnetik olarak 6 nolu düzenekle söndürülür,

d. Sarkaç Ayna Kompansatörler ve Kern GK1-A

Ayna kompansatörler geometrik optiğin yansıma kurallarından yararlanılarak yapılmışlardır. Bilindiği gibi, bir ayna ilk durumuna göre α açısı kadar dönerse, bu aynadan yansıyan ışın da ilk doğrultusundan 2α kadar ayrılır. Şekil 14'de A aynasına yatay doğrultu ile daima aynı ϕ açısını oluşturacak şekilde bir sarkaç düzeniyle kumanda edilerek, yatay ana ışınların her zaman yatay S_α çizgisinden geçmeleri sağlanır (DEUMLICH, 1961, 209). Ayna kompansatörler için büyütme faktörü $n=2$ olarak alınır. Bunun için de ayna



Şekil 14. Sarkaç ayna



Şekil 15. Kern GK1-A

objektif odak uzaklığının orta yerine asılmalıdır. Şekil 14'de A_0 dürbün yatay iken, A_α ise dürbün α açısı kadar eğik iken ayna durumlarını göstermektedir. Ayna, kompansatör olarak optik eksen üzerine, yatay doğrultu ile 45° veya 90° -lik açı yapacak şekilde tel ya da yaylarla sarkaç şeklinde asılır (SCHELLENS, 1972, 151; PREYSS, 1959, 184).

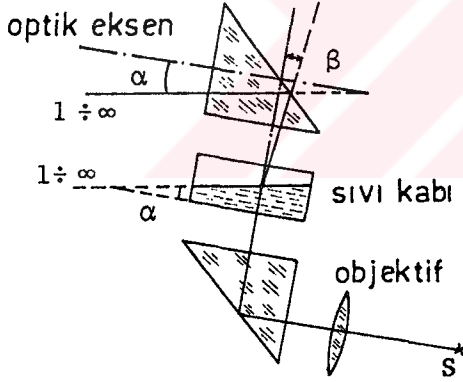
Sarkaç ayna kompansatörlü niyelara bir örnek olarak Kern GK1-A nivosu gösterilebilir. Bu nivoda görüntülerin düz olması için, düz ayna yerine çatı (Dachkant) prizma kullanılmıştır (Şekil 15). Şekilde 5 nolu çatı prizmanın çatısı, 4 nolu magnetik askı düzeni ile daima düşey konumda kalacak şekilde objektifin odak uzaklığının yarı mesafesine asılmıştır. Sarkacın sallanımı 6 nolu havalı amortisör düzeni ile frenlenir. Dürbünün optik eksenini kırık doğrulardan oluştuğundan, alet boyu benzerlerinden daha kısadır.

e. Sıvı Kama, Küresel Düzeç ve Zeiss Ni 4

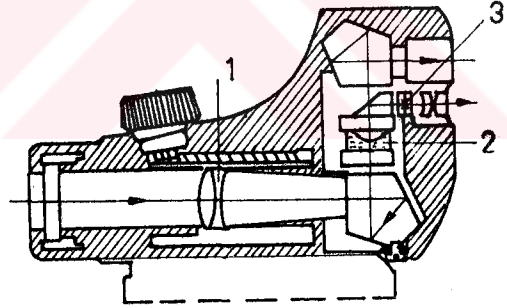
Bu sistemlerde, alt ve üst yüzü birbirine paralel bir cam kap içine bir miktar saydam akışkan konulmuştur(Şekil 16). Cam kap α açısı kadar eğilirse, içerisindeki sıvı, tepe açısı eğim açısına eşit olan bir prizma halini alır. Burada küçük eğimler söz konusu olduğundan, bu prizma bir optik kama olarak kabul edilir. Sıvının kırma indisi k_s ve kamanın tepe açısı α ise, bu kamanın üzerine gelen ışınları kırma(saptırma) miktarı;

$$\beta = \alpha (k_s - 1) \quad (1.7)$$

eşitliğiyle hesaplanır(KNEİSSL,1963,191). $\beta / \alpha = k_s - 1 = n$ ile gösterilen saptırma faktörü, k_s 'ye bağlı olarak istenilen kompensasyonu sağlayacak değere göre ayarlanır. Bu tip kompensatörler nivonun objektifinin önüne de takılabilirler. Sıvı kapları uygulamada daha çok düşey açı okuma düzenlerinde kullanılmaktadırlar.



Şekil 16. Sıvı Kama



Şekil 17. Zeiss Ni 4

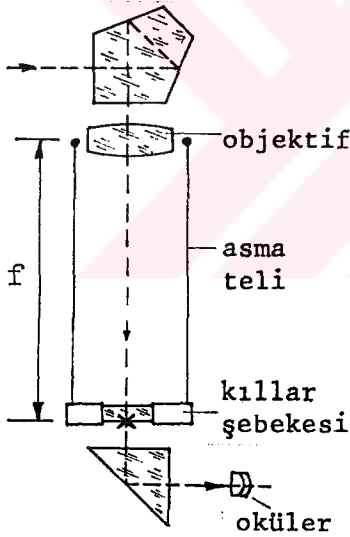
Sıvıli kompensatörlerin nivolarda uygulanmasına en yaygın örnek Zeiss Ni 4 nivosudur(Şekil 17). Bu nivoda, 2 nolu küresel düzeç ışın yoluna, düzeç eksenini ile dürbünün yöneltme eksenini çakışacak tarzda yerleştirilmiştir. Düzeç hem aletin kabaca yataylanmasına yarar, hem de aletin az eğik olması halinde, kabarcığının yana kaymasıyla(sarkaç mercek kompensatör gibi) yatay ana ışınların kıllar şebekesinin 3 nolu yatay çizgisinden geçmelerini sağlar. Aletin hedefe netleştirilmesi 1 nolu objektifin hareketiyle temin edilir.

1.2.2.2. Kıllar Şebekesi Plakasını Hareket Ettiren Kompansatörler ve Nivelar

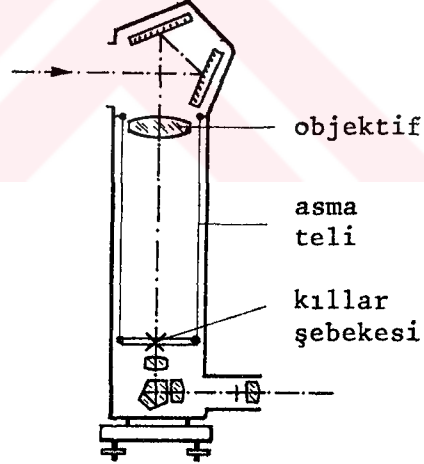
Butipteki kompansatörlerde kıllar şebekesi plakası sarkaç gibi, tel veya yaylarla asılı ya da dikilidir. Burada iki örnek kompansatör ve bunların uygulanmış olduğu aletler kısaca tanıtılacaktır.

a. Normal Sarkaç Kıllar Şebekesi Plakası ve Filotecnica Salmoiraghi 5190 Nivosu

Bu kompansatör sisteminde, kıllar şebekesi plakası objektifin optik merkezinden itibaren ve optik eksen üzerine gelecek şekilde, objektifin odak uzaklığına eşit boyda tellerle asılıdır(Şekil 18). Alet α açısı kadar yataya göre eğilirse, kıllar şebekesi plakası optik ekseninden $f \cdot \alpha = a$ kadar yana kayarak yatay ana ışın üzerine gelir. Böylece aletin eğikliği belli ölçüde kompanse edilmiş olur(PREYSS,1959,182; HARDY,1963,12).



Şekil 18. Sarkaç kıllar şebekesi

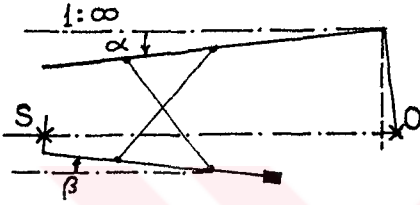


Şekil 19. F, Salmoiraghi 5190

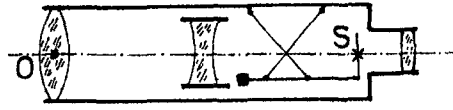
Kıllar şebekesi sarkaç şeklinde olan ilk nivo, Filotecnica Salmoiraghi Firmasının 5190 model aletidir. Nivonun tepesinde birbirleriyle 45° lik açı yapan iki düzlem ayna vardır. Alet, sarkaç kıllar şebekesinin çalışmasına uygun olarak kırık şekilde ve esas gövdesi ölçme sırasında düşey konumda duracak tarzda dizayn edilmiştir(Şekil 19),

b. Çapraz Eklemde Asılı Kıllar Şebekesi Plakası ve Fennel Nivosu

Kıllar şebekesi plakası dört adet ince tel ile çapraz eklem şeklinde asılmıştır(Şekil 20). Hareketli kıllar şebekesi S, bir kaldıraç ucundadır. Dürbün α açısı kadar eğildiğinde, kıllar şebekesini taşıyan kaldıraç ters yönde β eğimini kazanır. Böylece kıllar şebekesi S, alete tesbit edilmiş olan O işareti ile daima bir yatay doğrultu teşkil eder. Buradaki O işareti objektifin optik merkezine karşılıktır. Kompansasyonun sağlanması, çapraz eklem geometrik boyutları ve kıllar şebekesini taşıyan kaldıraç boyunun uygun seçilmesiyle olur(ELLENBERGER,1955,328).



Şekil 20. Çapraz Eklem



Şekil 21. Fennel Nivosu

Kıllar şebekesi plakası bu sistemde olan nivoların en bilinen örneği, Fennel Firması'nın 1954 yılında yaptığı araştırma aletidir(HARDY.1963,10). Bu alette telden çapraz eklem dörtgene asılan S kıllar şebekesi plakası, objektifin O optik merkezinden geçen yatay ışınlar üzerinde bulunacak tarzda tertiplenmiştir(Şekil 21).

2. KOMPANSATÖRLERİN YAPISI

Kompansatörler hangi çeşitten olursa olsunlar, hepsi de yerçekimi kuvvetinin etkisine bağlı olarak çalışırlar, Bu sebeple bir kompansatör, mekanik veya hidromekanik bir sarkaç tarzında teşkil edilebilir. Kompansasyonu sağlamak için gerekli olan n büyütme faktörünü elde edebilmek amacıyla, kompansatörler esas kısımları yanında ayrıca mekanik ya da optik-mekanik donanımlarla takviye edilirler. Bu donanımlar genellikle kompansatörlerin taşıyıcı ve koruyucu sistemleridir. Bu sistemlere göre kompansatörler aşağıdaki gibi guruplandırılabilirler;

1. Sıvı kapları ve düzeçler
2. Magnetik taşıyıcı sistemler
3. Telli ve yaylı taşıyıcı sistemler

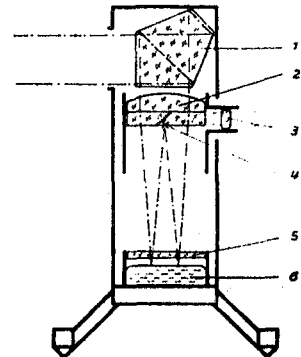
2.1. Sıvı Kapları ve Düzeçler

Bu grupta içinde hava boşluğu olan ve akışkan taşıyan bir cam kap sıvı kama olarak, bir küresel düzecin kabarcığı mercek yerine ve yine saydam bir kap içindeki civa yüzeyi ayna yerine kompansatör görevi yapmaktadır. Bu tipteki eski ve yeni kompansatörler aşağıdaki gibi sıralanabilirler:

a. Civa Yüzeyinin Ayna Olarak Kullanılması

H. Wild'in teklifi üzerine 1908 yılında, Carl Zeiss-Jena Firması'nın bir nivelosunda içinde serbest yüzeyli civa bulunan bir kap kompansatör olarak kullanıldı(Şekil 22). Civa dolu kap, objektifle kıllar şebekesine aynı uzaklıktadır. Kompansatör, ayna kompansatörler gibi çalışır. Civanın oksitlenmesi ve titreşiminin fazla olması sebebiyle bu sistemden vazgeçilmiştir.

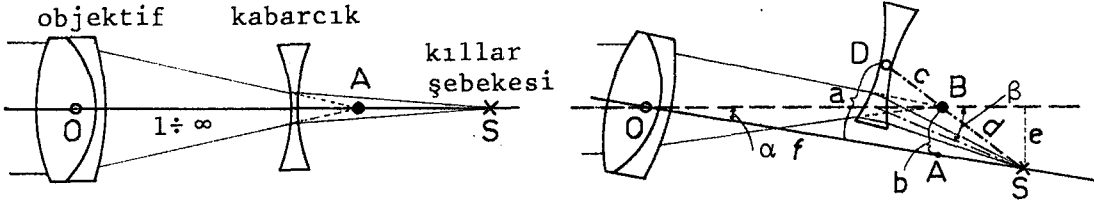
- 1- Prizma, 2- Objektif,
- 3- Oküler, 4- Kılağı
- 5 ve 6- Civa ve kabı



Şekil 22. Civalı Nivo

b. Küresel Düzec Kabarcığının Mercek Olarak Kullanılması

1940 yılında DRODOFSKY, küresel düzecin kabarcığını nivonun optik sistemi içinde mercek gibi kullanarak kendiliğinden yataylamayı sağlayan düzeni yapmıştır(HOFMANN,1958/I,66). Kompansatörün çalışma tarzı Şekil 23'e göre aşağıdaki gibi açıklanabilir(DRODOFSKY,1963,153).



a - yatay dürbün durumu

b - eğik dürbün durumu

Şekil 23. Kabarcık kompansatörün çalışma prensibi

Dürbünün yatay durumunda, sonsuzdaki bir cismin görüntüsü objektif tarafından optik eksen üzerinde A noktasında meydana getirilir(Şekil 23.a). Bu görüntü düzec kabarcığı tarafından büyütülerek kıllar şebekesi plakası S üzerine düşürülür. Dürbün α açısı kadar eğilirse, düzec kabarcığının D orta noktası dürbün ekseninden(optik eksen),

$$a = r \cdot \alpha \quad (2.1)$$

kadar ayrılır. Burada r , düzec içyüzeyinin eğrilik yarıçapıdır. Bu arada hedef noktasının görüntüsü de A'dan B'ye kayar. Görüntünün kayma miktarı, objektifin odak uzaklığı f olmak üzere,

$$b = f \cdot \alpha \quad (2.2)$$

dır. Eğik dürbün durumunda, hedefin görüntüsünün S çizgisi üzerine gelebilmesi için, Şekil 23.b'den kolayca yazılabilen,

$$\frac{a}{b} = \frac{c + d}{d} \quad (2.3)$$

eşitliğinin sağlanması gerekir.

Küresel düzecen kabarcığı tarafından meydana getirilen resim büyütme miktarı,

$$G = \frac{c + d}{c} \quad (2.4)$$

ile ifade edilir. (2.3) eşitliği, (2.1) ve (2.2) eşitliklerinin dikkate alınmasıyla,

$$\frac{r}{f} = \frac{c + d}{d} \quad (2.5)$$

haline gelir. Bu son eşitliğin ikinci tarafının pay ve paydası c ile bölünür ve (2.4) eşitliği göz önüne alınırsa,

$$\frac{r}{f} = \frac{G}{G - 1} \quad (2.6)$$

eşitliği elde edilir. Objektifin odak uzaklığı f ve düzecen eğrilik yarıçapı r pratik olarak sabit kabul edilebilir. Bu halde (2.6) eşitliğinde ikinci tarafta, $G / G - 1$ 'in ve dolayısıyla G 'nin de sabit olması gerekir. G büyütmesi, eğrilik yarıçapına, kabarcığın kalınlığına ve düzeç sıvısının kırma indisine bağlıdır. Bu elemanlar sıcaklık değişmelerinden etkilenmektedirler. Ancak, düzecen yapımında bu elemanlar birbirlerine göre öyle seçilirler ki, sıcaklıkla bunlarda ortaya çıkan değişimin G 'ye etkisi pratik olarak sıfır alınır.

Kompansasyon işleminin bakılan her hedef uzaklığında geçerli olabilmesi için, (2.2) ve (2.6)' dan elde edilen

$$b = \alpha r \frac{G - 1}{G}$$

eşitliğinin sağlanması gerekir. Görüntünün kayma miktarı olan b değerinin, dürbünün yakın veya uzak bir hedefe netleştirilmesi halinde sabit kalması lazımdır. Bu durumda killar şebekesi optik eksene paralel bir doğru üzerinde hareket eder. Büyütme faktörü n için Şekil 23.b'den,

$$n = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{f + d}{c + d} \quad (2.7)$$

bağıntısı yazılabilir.

c. Sıvı Kamanın Kompansatör Olarak Kullanılması

Bugünün bazı modern ölçme aletlerinde kullanılan " sıvı kamalı " kompansatörlerden birinin optik sistem içindeki yeri, şematik olarak Şekil 24'te gösterilmiştir. Buradaki sıvı kamanın tepe açısı, daha önce değinildiği gibi, aletin yöneltme ekseninin veya asal ekseninin eğimine eşit olmaktadır. Bu sıvı kamalı kompansatörün n büyütme faktörü için literatürde,

$$\frac{\beta}{\alpha} = n = \frac{k_s}{k_h} - 1$$

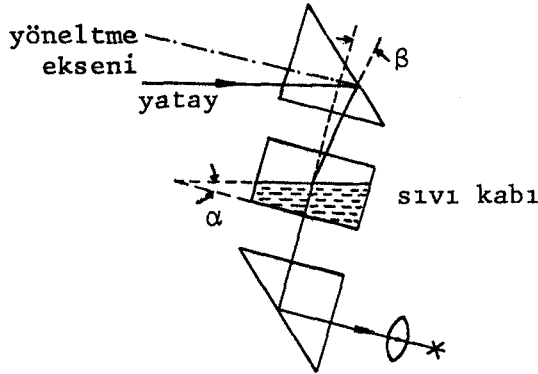
bağıntısı verilmektedir. Havanın kırma indisi $k_h = 1$ olarak alınırsa, büyütme faktörünün ifadesi,

$$\frac{\beta}{\alpha} = n = k_s - 1$$

halinde yazılabilir. Bu eşitlik, tepe açısı α ve kırma indisi k_s olan bir optik kamanın, üzerine gelen ışınları kırma(saptırma) miktarını veren,

$$\beta = \alpha (k_s - 1)$$

formülünün aynısıdır(BAYKAL,1972,52).

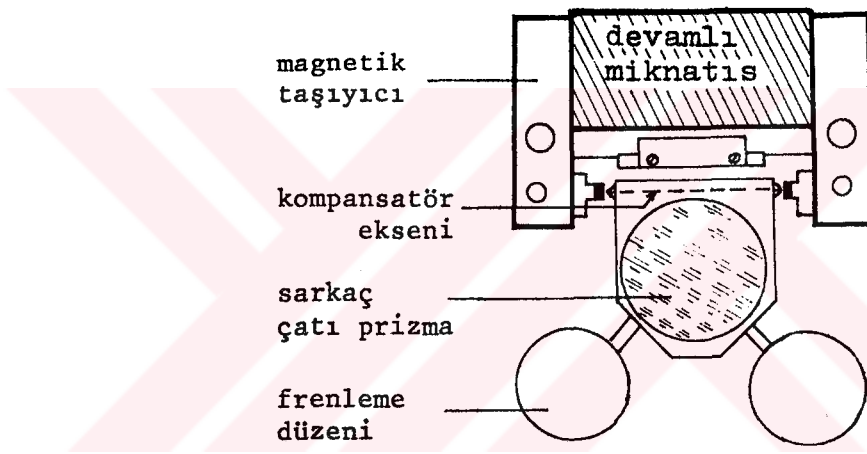


Şekil 24. Sıvı kama

Sıvı kamalı kompansatörler, teodolitlerde düşey açı okuma düzenlerinde kullanılmaktadırlar.

2.2. Magnetik Taşıyıcı Sistemler

Bu gruptaki kompensatörlerin dönme eksenleri kuvvetli bir magnetik alanın kutupları arasında bulunurlar. Kompensatör esas olarak bir sarkaç prizmadan ibarettir. Bu prizma magnetik bir alanda sürtünmesiz kabul edilebilecek bir tarzda asılıdır. Taşıyıcı magnetik alan, magnetik geçirgenliği çok fazla olan ve yumuşak demirden imal edilen kompensatör eksenini tarafından kapatılır. Eksenin uçları koniktir ve çarpmalara karşı safir birer başlıkla korunmuşlardır. Kern Firması'nın GK1-A nivosunda, magnetik taşıyıcılı prizma, objektifin odak uzaklığının yarı yoluna sarkaç şeklinde asılmıştır (Şekil 25).



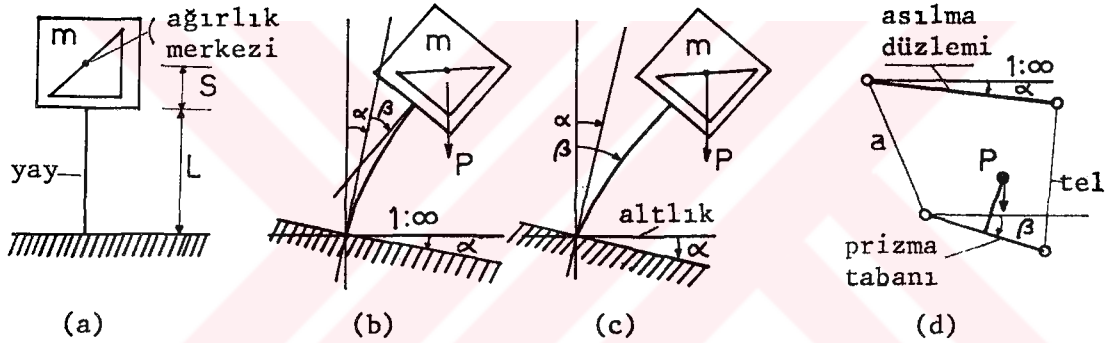
Şekil 25, Magnetik taşıyıcılı kompensatör

Kompensatör prizması çatı (Dachkant) prizması şeklindedir. Bu görüntünün düz olmasını sağlar. Alet yataya göre α açısı kadar eğilirse, sarkaç prizma da alet eğimiyle aynı yönde ve alet eğimi kadar salınım yapar. Kompansasyonun sağlanması ayna kompensatörlerin çalışma prensibine göre olur.

2.3. Telli ve Yaylı Taşıyıcı Sistemler

Bu grupta kompensatör esas parçası olarak, bir optik eleman (prizma, ayna, mercek, v.b.), tel, şerit veya yay ile asılı ya da dikili konumda aletin optik sistemi üzerine yerleştirilmiştir. Optik elemanı taşıyan altlığın eğimine bağlı olarak, optik eleman (sarkaç) yerçekimi etkisiyle bir miktar döner ve altlığın eğimi değişmediği sürece bu yeni durumunu korur.

Telli ve yaylı taşıyıcı sistemler Şekil 26`da şematik olarak gösterilmişlerdir. Altlık veya asılma düzlemi α açısı kadar eğilirse; L uzunluğundaki yay ucundaki m kütlesinin P ağırlığı altında β kadar eğilir, a uzunluğundaki tellerle asılı prizmanın tabanı ise yine β açısı kadar döner ve her iki sistem yeni birer denge konumu kazanırlar(Şekil 26; b, c, d). Sarkacın dengede kalabilmesi için, $P = mg$ ağırlığı ile yayın buna karşı olan geri çekici kuvvetinin, sarkacın dönme noktasına göre momentlerinin birbirine eşit olması gerekir. Telli sistemin dengede kalabilmesi için de, P ağırlık merkezinden geçen düşey doğrultunun, tellerin uzantılarının kesişme noktasından geçmesi lazımdır. Yeni denge konumunda α ve β açıları için literatürde iki ayrı kıyas sistemi alınmıştır. Bunlardan biri iki eksenli sistem, diğeri ise düşey doğrultu sistemidir(tek eksenli sistem).



Şekil 26. Telli ve yaylı sarkaç sistemler

İki eksenli kıyas sistemini Hofmann kullanmıştır. Hofmann α 'yı yatay doğrultuya, β 'yı da altlığın veya prizma tabanının yeni konumuna göre ölçmüştür(HOFMANN,1958/I,73). İki eksenli sistem Şekil 26.b`de gösterilmiştir. Daha sonra Hardy, çalışmalarında iki eksenli sistemin kullanılmasının hesapları zorlaştırdığını görerek tek eksenli düşey doğrultu sistemini kabul etmiştir(Şekil 26.c). Bu sistemde α ve β açıları düşey doğrultudan itibaren ölçülmektedir.

Yukarıda çalışma esasları kısaca açıklanan bu tipteki kompensatörler için, $\beta / \alpha = n$ (sabit değer) oranına, daha önce de tariflenmiş olduğu gibi " BÜYÜTME FAKTÖRÜ " denilir. Bu oran aynı zamanda ilgili olduğu kompensatörün " LİNEER ÇALIŞMA ALANININ " bir ölçüsüdür(BAYKAL,1972,34).

2.3.1. Telli ve Yaylı Kompansatörlerin Teorik Prensipleri

Tel veya yaylarla taşınan kompansatörlerin teorik analizi için literatürde Ellenberger iki genel yapı prensibi vermiştir(HARDY,1963, 4);

- a - Geometrik prensip
- b - Fiziksel prensip

a. Geometrik prensipte, optik elemanı taşıyan tel veya şeritlerin eğilme dirençlerinin çok küçük olması gereklidir. Bu tür taşıyıcı sistemler eğilmelere karşı herhangi bir direnç göstermezler. Bu sebeple kompansatörün çalışmasının, dinamik ve statik analizi basit olarak yapılabilir. Geometrik prensibe göre yapılan statik analiz sonunda, sarkacın yalnız geometrik boyutlarına bağlı olan bir " n " büyütme faktörü bulunur. Bu prensipte sarkacın yapıldığı malzemenin fiziksel özellikleri göz önüne alınmaz, ancak taşıyıcı parçaların dayanıklı ve çarpmalara karşı dirençli olmaları, deforme olmamaları gerekir.

b. Fiziksel prensipte, kompansatörlerin taşıyıcı sistemlerinin elâstik yaylardan yapılması tercih edilmiştir. Taşıyıcı yayların eğilme dirençleri oldukça büyük olmalıdır. Bu sebepten statik analizden başka bir de dinamik analiz yapılarak " n " büyütme faktörü tesbit edilir. Böylece bulunan n değeri, sarkaç yayının boyuna, sarkacın toplam ağırlığına, taşıyıcı yayın atalet momentine ve yayın elâstisite modülüne bağlı olur.

Ellenbergerin ortaya koyduğu bu iki temel analiz prensibinden hareketle, birbirinden tamamen farklı iki tip kompansatör taşıyıcı sistemi geliştirilmiştir;

- Teller veya ince şeritlerden yapılan taşıyıcı sistemler,
- Elâstik yaylardan yapılan taşıyıcı sistemler.

2.4. Telli ve Yaylı Kompansatörlerin Çalışma Prensipleri

Bu tipteki kompansatörler, taşıyıcı sistemleri ve kompansasyonu sağlayan optik elemanın alet eğimine karşı yaptığı hareketin yönü de göz önüne alınarak iki grupta incelenebilirler;

- 1) Tellerle taşınan sistemler
- 2) Yaylarla taşınan sistemler

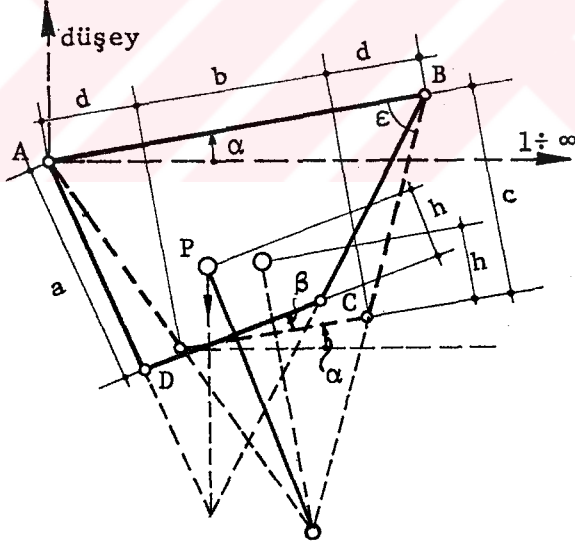
2.4.1. Tellerle Taşınan Sistemler

Bu sistemlerde, kompensasyonu sağlayan optik eleman aletin dürbününün ışın yolu üzerine, tellerle genel olarak üç değişik tarzda asılmıştır;

- 1) Tellerin normal düzeni, dönme
- 2) Çapraz Teller, Ters Dönme
- 3) Tellerin Normal Düzeni, Paralel Kayma

2.4.1.1. Tellerin Normal Düzeni, Dönme

Tellerin normal düzenine en iyi örnek, Carl-Zeiss Firması'nın Ni 2 nivosunda kullanılan kompensatörün asılma düzenidir. Bu alette kompensasyonu sağlayan dik üçgen prizma, dört adet ince tel ile dürbün tavanına asılmıştır. Teller bu asılma durumunda, dürbün gövdesi ve prizmanın taban düzlemi ile iki adet " EKLEMLİ DÖRTGEN - EKLEMDÖRTGEN " meydana getirirler. Eklemlili dörtgen, Şekil 27'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 27. Eklemlili dörtgende denge konumu

Şekil 27'de;

$a = \overline{AD}$, askı tellerinin boyunu, $b = \overline{DC}$, prizma tabanının boyunu,

c : Prizma tabanı ile asılma düzlemi arasındaki mesafeyi ($c = a \cdot \sin \epsilon$),

h : Sarkacın ağırlık merkezi ile prizmanın tabanı arasındaki uzaklığı

temsil etmektedirler. A, B, C, D eklemleri, P, ağırlık merkezini gösterir.

Eklemörtgenin yapımı için, dörtgenin boyutlarına bağlı olarak büyütme faktörü n 'in hesaplanması gerekir. Eklemörtgenin büyütme faktörü için şekil 27'ye göre, iki eksenli kıyas sistemi ve geometrik analiz prensibi kullanılarak aşağıdaki bağıntı verilmiştir (HOFMANN, 1958/I,104);

$$n = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{\frac{b c}{2 d} + h}{\frac{b d}{2 c} + \frac{b^2}{4 c} + \frac{b^2 c}{4 d^2} - h} \quad (2.8)$$

(2.8) numaralı denkleme göre aşağıdaki yorumlar yapılabilir:

a. Kompansatörün asılı bulunduğu alet düzleminin α eğimi ile, kompansatör prizmasının tabanının β eğimi aynı yönlü açılar olduğundan (bakınız, Şekil 27) n her zaman pozitif işaretlidir. Buna göre sistemin kararlı dengede kalabilmesi için paydanın pozitif işaretli olması lazımdır. Bunun için de,

$$\frac{b d}{2 c} + \frac{b^2}{4 c} + \frac{b^2 c}{4 d^2} > h \quad (2.9)$$

şartı gerçekleşmelidir.

b. Kompansatör fonksiyonunda bir kararsızlık, yani stabil olmayan bir denge durumunun meydana gelmemesi için,

$$\frac{b d}{2 c} + \frac{b^2}{4 c} + \frac{b^2 c}{4 d^2} \neq h \quad (2.10)$$

olmalıdır. Eşitlik halinde $n \rightarrow \infty$ olur ve bir kararsızlık ortaya çıkar. Bunlardan başka, iki eksenli kıyas sisteminde payda için,

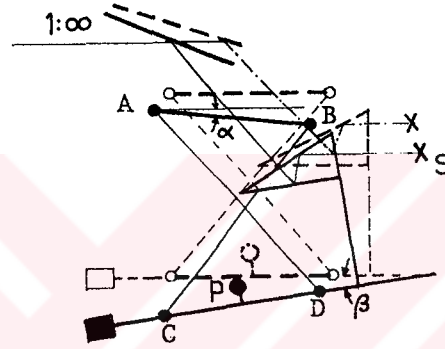
$$\frac{b c}{2 d} = - h \quad (2.11)$$

eşitliği halinde, $n = 0$ olur, bu da optik elemanın dönme açısının, asılma düzleminin eğim açısına eşit olduğunu gösterir.

Eklemörtgenin salınım hassasiyeti, sarkacın atalet momentine ve P ağırlık merkezinin durumuna bağlıdır. b , c , d büyüklükleri alet hacmi içinde sınırlıdır. Bu sebeple kompansasyonu sağlayacak olan n değerini elde etmek için sarkacın ağırlık merkezinin yeri, yani (h) değiştirilir.

2.4.1.2. Çapraz Teller, Ters Dönme

Bu taşıyıcı sistemde, kompensatörün optik elemanını taşıyan askı telleri birbirleriyle herhangi bir açı yaparak kesişirler, Teller üstten aletin dürbününün tavanına bağlıdırlar, alt uçlarına ise optik elemanı taşıyan altlık asılmıştır(Şekil 28). Optik eleman dürbün eğimine bağlı olarak sürtünmesiz salınım yapar. Asılma yüzeyi(dürbün) yatay doğrultudan itibaren α açısı kadar eğilirse, optik elemanı taşıyan altlık ve optik elemanın(prizma) yansıtıcı yüzeyi α 'nın ters yönünde β açısı kadar eğilir.



Şekil 28. Çapraz eklemli dörtgenin denge konumu

Çapraz şerit eklemi Hofmann askı telleri çapraz duruma getirilmiş bir " Eklemlidörtgen " olarak tanımlanmaktadır. Bu kompensatörün n büyütme faktörünün bulunması için, (2.8) numaralı eşitlikteki (b) değeri yerine (-b) konulmalıdır. Buna göre çapraz teller için n eşitliği,

$$n = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{h - \frac{bc}{2d}}{\frac{b^2}{4c} + \frac{b^2c}{4d^2} - \frac{bd}{2c} - h} \quad (2.12)$$

olarak yazılır.

Kompensatör prizmasının salınım düzleminde, α ve β açıları ters yönlü açılar olduğundan $n < 0$ 'dır. Bu şartın sağlanması için pay veya paydanın negatif değer alması gerekir. (2.12) eşitliğinin pay ve paydası ayrı

ayrı ele alınarak söz konusu şart için,

$$\frac{b c}{2 d} > h \quad (2.13)$$

veya,

$$\frac{b^2}{4 c} + \frac{b^2 c}{4 d^2} < \frac{b d}{2 c} + h \quad (2.14)$$

olması gerektiği görülür.

Diğer taraftan sarkaç sisteminin denge durumunun kararlı olması için (2.12) eşitliğinin paydasının sıfırdan farklı olması şarttır. Bu şart,

$$\frac{b^2}{4 c} + \frac{b^2 c}{4 d^2} \neq \frac{b d}{2 c} + h \quad (2.15)$$

eşitsizliğinin sağlanması ile gerçekleştirilir.

Çapraz teller " X-Kompansatörü " adı ile Carl-Zeiss Firması'nın Th 2 teodolitinde ve aynı firmanın Ni 1 nivusunda kullanılmıştır.

2.4.1.3. Tellerin Normal Düzeni, Paralel Kayma

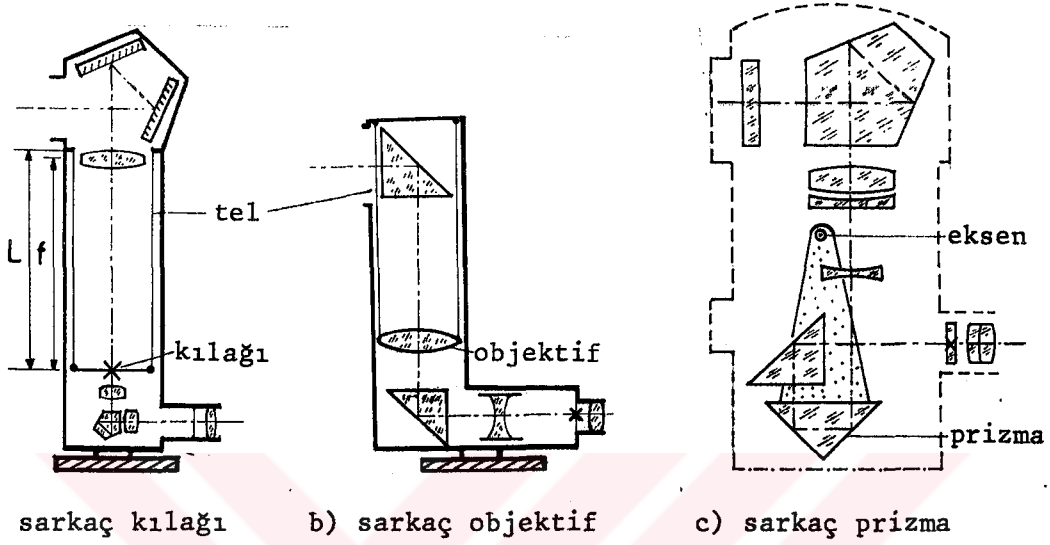
Bu tipteki kompansatörler, İtalyan, Filotecnica Salmoiraghi Firması tarafından yapılmışlardır. Bu kompansatörlerde, ince tellerle bir prizma, kıllar şebekesi plakası veya bir objektif merceği sarkaç şeklinde asılıdır (Şekil 29). Buradaki iki tip nivodan birinde kıllar şebekesi plakası, diğerinde ise objektif, objektiflerin odak uzaklıklarına eşit uzunluktaki tellerle asılmıştır (HOFMANN, 1958/I, 66; HARDY, 1963, 13).

Bu sistemdeki kompansatörlerin n büyütme faktörleri için, (1.4) bağıntısına benzer olarak,

$$n = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{f}{L} \quad (2.16)$$

eşitliği yazılabilir. Burada, $f = L$ olduğundan ($n = 1$) olarak bulunur. Jena Firması'nın Ni 007 nivusunda kullanılan askı düzeni bu sisteme göre

askı elemanı ve bu elemanın boyu bakımından farklılık gösterir. Bu nivoda dik üçgen prizma, hipotenüsü üstte ve yatay olacak şekilde $f/2$ uzunluğunda eğilmez bir metal parça ile bir eksende asılıdır(Şekil 29.c). Eksendeki sa-



Şekil 29. Tellerin normal düzeni

lınım sürtünmesizdir. Bu kompensatör için n büyütme faktörü, $f = 2L$ olduğundan ($n = 2$) olarak alınmaktadır.

Bu sistemlerde askı tellerinin ve sarkaç asılma ekseninin, optik elemanı taşıyan sarkaç ağırlığına karşı herhangi bir direnç göstermemeleri gereklidir. Aksi halde yukarıda verilen n değerleri geçersiz olur.

2.4.2. Yaylarla Taşınan Sistemler

Bu sistemlerde kompensatörün esas parçası olan optik eleman, dikey duran bir yayın serbest ucuna asılı veya dikili vaziyette tesbit edilmiştir. Optik elemanı taşıyan yaya, yay eksenini yönünde ve enine(yatay) yöndeki iki kuvvetin bileşkesi etki eder. Bu kuvvetler, düşey yerçekimi kuvvetinin bileşenleri olarak kabul edilebilirler. Bunların hesabı için aletin asal eksenini esas doğrultu olarak alınır. Ancak aletin asal ekseninin düşeyden bir miktar farklı olabileceği bilindiğinden, problemin iki bölümlü olduğu göz önüne alınır ve aşağıda verilen birbiriyle ilişkili hipotezlerden biri kabul edilebilir(HARDY, 1963,46);

a) Sistemin eğilmeye karşı tepkisi iki boyutludur, yani kompensatörün eğilebilen parçası yalnız bir düzlemde salınım yapar. Bu düzlem aletin asal eksenini ve dürbünün tam ayarlı yöneltme eksenine paralel bir doğru tarafından teşkil edilir.

b) Sistemin çalışma tarzı üç boyutludur. Bu sebeple, yayın salınımı, asal eksen boyunca kesişen iki düzlemde bulunan, iki bileşene ayrılır. Bu düzlemlerden biri dürbünün ayarlı hedef eksenini içine alır, diğer düzlem ise bu düzleme dik konumda bulunur.

Yerçekimi kuvvetinin, sarkacın salınım düzlemine dik olan bileşeni, bu düzlemdeki diğer bileşenleri önemli ölçüde azaltmayacak kadar küçük ise, (a) şakkındaki iki boyutlu çözüm pratikte yeterli olarak kabul edilir.

Aynı kabullerle, ikinci durumda da hedef ekseninin boyuna düzlemi için iki boyutlu çözüm yapılabilir. Bu halde ölçme, kılların keşişme noktasını kullanarak okuma yaparsa, aletin enine yani çaprazlama doğrultudaki ayar hatasının nivelmana olan etkisi ortadan kaldırılmış olur.

Yaylarla taşınan sistemlerin n büyütme faktörlerinin hesaplanması için aşağıdaki kabuller yapılır(HARDY,1963,47);

- Asılı ve dikili yay sistemine bağlı olan optik eleman enine ve boyuna doğrultularda tam olarak yönlendirilmiştir,
- Bu sistemlerde, verilen α açısına karşılık β 'nin değişiminin lineer olması için, α açısının küçük olması yani,

$$\sin \alpha \approx \alpha \quad \text{ve} \quad \cos \alpha \approx 1 \quad (2.17)$$

yaklaşıklıkları geçerli olmalı,

- Yayın bağlı iki ucundaki tegetlerinin arasındaki θ açısı $15'$ 'dan küçük olmak üzere n değerlerinin hesaplanmasında,

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = M \quad (2.18)$$

yaklaşık elâstik eğri diferansiyel denklemi kullanılabilir.

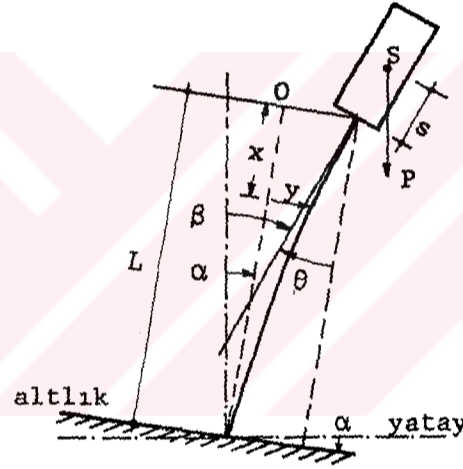
Bu eşitlikte; E, yay malzemesinin elâstisite modülünü, I, yay enkesitinin atalet momentini, M ise, yay üzerinde (x, y) koordinatlı noktadaki dış momenti göstermektedir(Şekil 30).

2.4.2.1. Dikili Yaylı Sistemler, Dönme

Burada ayna veya prizma gibi bir optik eleman, dikey duran bir yayın serbest ucuna takılmış vaziyettedir(Şekil 30). Yerçekimi kuvvetinin sarkaç kütesine yaptığı etki ile aletin asal ekseninin eğimine bağlı olarak çalışılan bu sistemler için Hardy,

$$n = \frac{1}{\cos KL - s K \sin KL} \quad (2.19)$$

olarak büyütme faktörü bağıntısını vermiştir(HARDY,1963,51).Bu bağıntıda kullanılan sembollerin anlamları aşağıda verilmiştir;



Şekil 30. Dikili yaylı sistemde denge konumu

$$K = \sqrt{P/EI} ,$$

P : Yayın ucundaki kütle nin ağırlığı,

L : Taşıyıcı yayın serbest uzunluğu,

s : S ağırlık merkezinin yayın serbest ucuna olan uzaklığıdır.

Böylece, n büyütme faktörünün, kompensatörün boyutlarına,yapı elemanlarının fiziksel özelliklerine bağlı olduğu görülür.

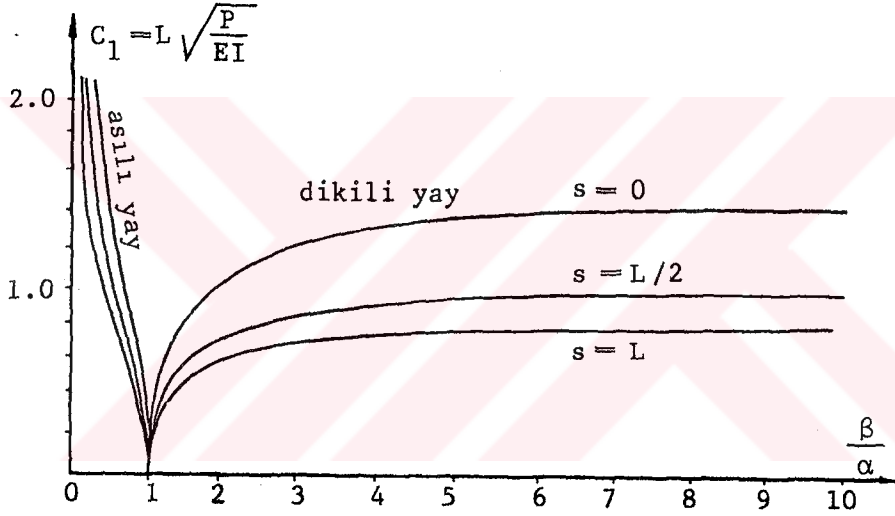
Sarkacın S ağırlık noktası yayın tam serbest ucunda veya bu uca çok yakın bulunur ise, (2.19) bağıntısında $s = 0$ konularak bu özel hal için,

$$n = \sec\left(L\sqrt{\frac{P}{EI}}\right) \quad (2.20)$$

eşitliği elde edilir. Bu son eşitlikteki parantez içi,

$$C_1 = L\sqrt{\frac{P}{EI}}$$

ile gösterilerek, n , C_1 ve s arasındaki nümerik ilişkiler Şekil 31'de grafik olarak gösterilmiştir(HARDY, 1963,56).



Şekil 31. Dikili yaylarda, β/α , C_1 ve s arasındaki ilişki

Dikili Yaylı Eklemin Stabilitesi

(2.19) eşitliğinde, $K = \sqrt{P/EI}$ konularak,

$$n = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{1}{\cos\left(L\sqrt{\frac{P}{EI}}\right) - s\sqrt{\frac{P}{EI}} \sin\left(L\sqrt{\frac{P}{EI}}\right)} \quad (2.21)$$

elde edilir. Bu eşitliğe göre stabilite şartları iki halde incelenebilir (HARDY,1963,57);

1) $s=0$ ve $L\sqrt{P/EI} = \pi/2$ olması halinde $n = \frac{\beta}{\alpha} \rightarrow \infty$ olur ve sarkacın denge konumunda stabil olmama durumu ortaya çıkar.

2) $s \neq 0$ için eşitliğin paydası sıfıra eşit ise yine sarkaç stabil olmaz. Eşitliğin paydası sıfıra eşitlenir ve $\cos(L\sqrt{P/EI})$ 'ye bölünürse,

$$s\sqrt{\frac{P}{EI}} \tan\left(L\sqrt{\frac{P}{EI}}\right) = 1$$

bağıntısı elde edilir. Bu son eşitlikten yazılan,

$$s\sqrt{\frac{P}{EI}} = \cot\left(L\sqrt{\frac{P}{EI}}\right) \quad (2.22)$$

bağıntısı için, $n = \frac{\beta}{\alpha} \rightarrow \infty$ olur.

(2.19) eşitliği, fiziksel prensibe göre ve tek eksenli(düşey doğrultu) kıyas sistemi esas alınarak verilmiştir. Bu sistem Ertel Firması'nın nivo- larında kullanılmaktadır.

2.4.2.2. Asılı Yaylı Sistemler, Dönme

Bu tipteki sistemlerde bir optik eleman, kompensatör olarak alet için- de, bir yayın serbest ucuna sarkaç şeklinde asılıdır(Şekil 32). Bu sistem- ler için, (2.4.2)'deki açıklamalar göz önüne alınarak, fiziksel prensibe ve tek eksenli kıyas. sistemine göre n büyütme faktörü eşitliği,

$$n = \frac{1}{\cosh KL + sK \cdot \sinh KL} \quad (2.23)$$

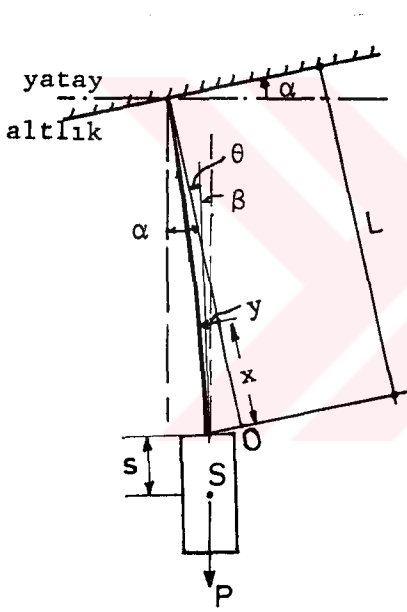
olarak verilmiştir(HARDY,1963,51). Bu eşitlikteki terimlerin tanımları, di- kili yaylı sistemler için yapılan tanımların aynısıdır. Bu bağıntı, küçük asal eksen eğimi şartına ilâve olarak, $0 \leq n \leq 1$ şartının da sağlanması halinde geçerli olur.

Sarkaç ağırlık merkezi S 'in yayın serbest ucunda olması halinde (2.23) eşitliğinde, $s = 0$ konularak n büyütme faktörü,

$$n = \operatorname{sech} \left(L \sqrt{\frac{P}{EI}} \right) \quad (2.24)$$

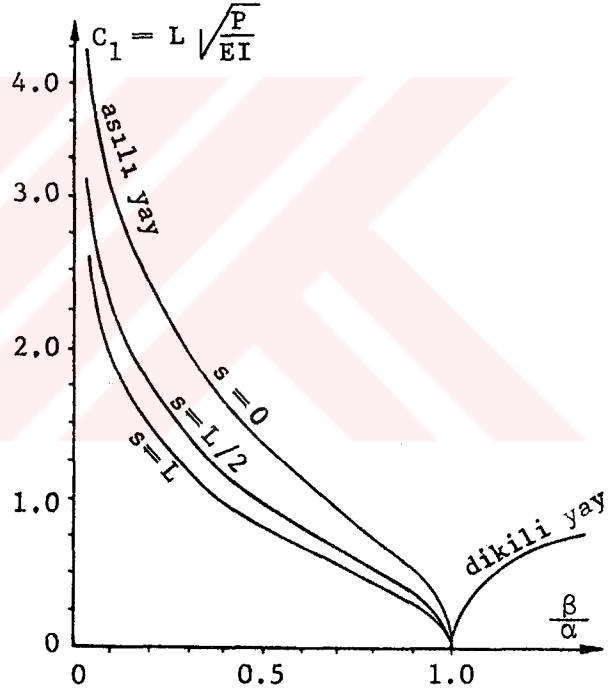
şeklinde kısalmış olur.

Asılı yaylı sistemlerde de, verilen n büyütme faktörü, şarkaç kütlelesinin S ağırlık merkezinin yayın serbest ucundan olan s mesafesi ile $C_1 = L \sqrt{P/EI}$ argümanına bağlıdır. C_1 , s ve n 'in çeşitli değerlerine göre aralarındaki ilişki grafik olarak Şekil 33'te gösterilmiştir (HARDY, 1963, 55). Asılı yaylı sistem, Zeiss-Jena Firması'nın Theo 020 teodolitinde kullanılmıştır.



Şekil 32

Asılı yaylı sistemde denge konumu



Şekil 33

Asılı yaylarda, β/α , C_1 , ve s arasındaki ilişkiler.

2.4.2.3. Dikili Çapraz Eklemeyalar, Dönme

Bu sistemlerde kompensasyon elemanı, çapraz eklem şeklinde düzenlenmiş yaylarla taşınır(Şekil 34). Dikili çapraz eklemeyaların n büyütme faktörü bağıntılarının hesaplanması için, dikili yaylı sistemlerdeki kabullere ilave olarak aşağıdaki ikamelerin yapılması gereklidir(HARDY, 1963,74);

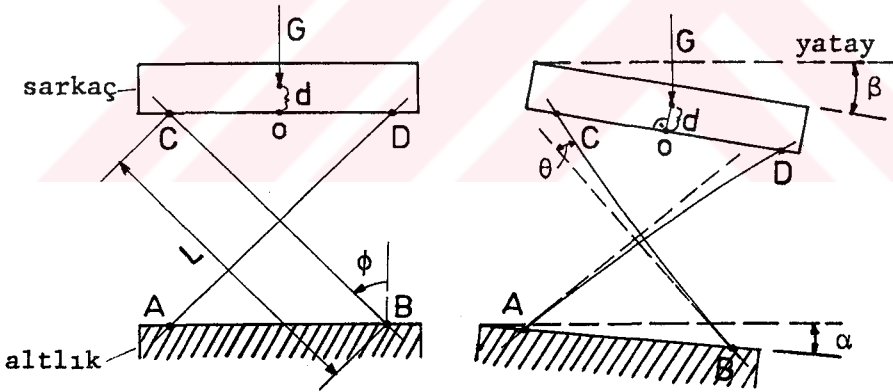
1) $K = \sqrt{\frac{P}{EI}}$ de, $P = \frac{\text{eklemin toplam yükü}}{\cos \phi} = \frac{G}{\cos \phi}$,

2) L : Eklemin eğik yayının uzunluğu,

3) $s = - (\overline{OC} \sin \phi - d \cos \phi)$.

Bu işlemlerden sonra, dikili yaylı sistemler için verilen büyütme faktörü eşitliği, bu sistemler için de aynen verilmiştir,

$$n = \frac{1}{\cos KL - s K \sin KL} \quad (2.25)$$



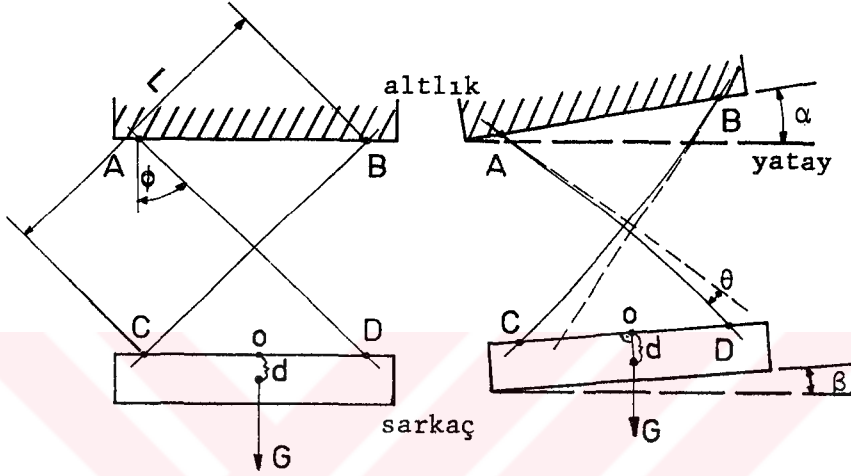
Şekil 34. Dikili çapraz eklemeyada denge konumu

Dikili Çapraz Eklemeyanın Stabilitesi

Dikili çapraz eklemeyaların stabilite şartları için, (2.4.2.1) bölümünde, dikili yaylı sistemler için verilmiş olan stabilite şartları aynen geçerlidir.

2.4.2.4. Asılı Çapraz Eklemyaylar, Dönme

Bu tip taşıyıcı sistemlerde, optik eleman çapraz tarzda tertiplenmiş yaylarla taşınan bir sarkaca tesbit edilmiştir. Taşıyıcı altlık yataya göre α açısı kadar eğilirse, optik eleman β açısı kadar döner(Şekil 35).



Şekil 35. Asılı çapraz eklemyayda denge konumu

Asılı çapraz eklemyayın büyütme faktörü, asılı yaylı sistemler için verilen büyütme faktörü eşitliğinin aynısıdır;

$$n = \frac{l}{\cosh KL + s K \sinh KL} \quad (2.26)$$

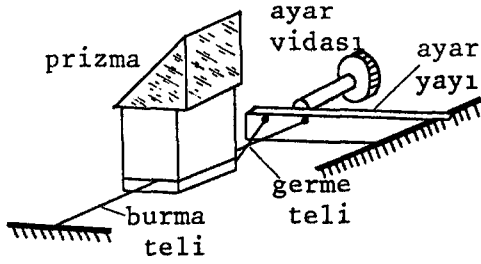
Bu eşitliğin hesaplanmasında da, bir önceki bölümde kabul edilen ikameler göz önüne alınmıştır.

Asılı çapraz eklemyaylar, Wild NAK-2, Zeiss-Jena ve Fennel nivolarında kullanılmaktadırlar.*)

* Adı geçen firmaların alet tanıtım yayınlarından alınmıştır.

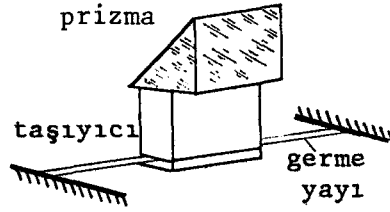
2.4.3. Yaylı ve Telli Burulmalı Sistemler

Yaylı ve telli burulmalı sistemler ilk defa 1955 yılında, iki farklı tipte olmak üzere, Ellenberger tarafından geliştirilerek Ertel ve Wild ni-volarında kullanılmıştır(HARDY,1963,22). Aşağıda, Şekil 36 ve Şekil 37`de adı geçen bu iki tip taşıyıcı sistemin genel yapıları görülmektedir.



Şekil 36

Telli burulmalı sistem

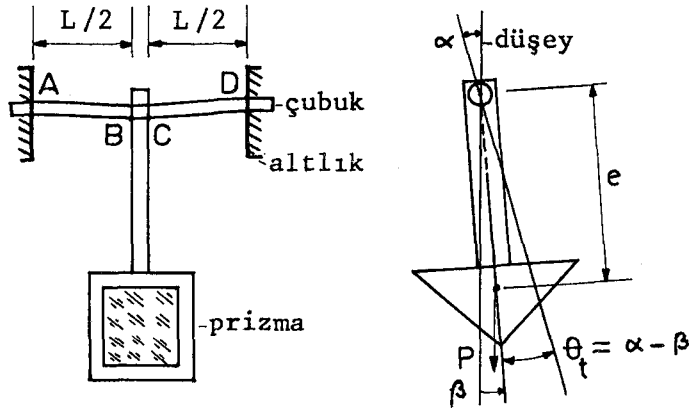


Şekil 37

Yaylı burulmalı sistem

Telli Burulmalı Sistemlerin Büyütme Faktörü Bağlantıları

Telli burulmalı sistemler Hardy tarafından fiziksel prensibe göre ana-liz edilmiştir. Sistemin burulma(torsiyon) çubukları silindirik kesitli-dir. Çoğunlukla bir prizma bu çubuklara eğilmeyecek kadar kalın bir taşı-yıcı ile tesbit edilmiş durumdadır(Şekil 30).



Şekil 38. Silindirik çubuklu burulmalı sarkaç

Sistemde kullanılan burulma çubuğunun enine kesit düzlemi, burulmadan önce ve sonra pratik olarak düzlem olmalı ve enine kesit yarıçapı burulma (torsiyon) etkisiyle değişmemelidir.

Dikili burulmalı sarkacın n büyütme faktörü için Hardy,

$$n = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{1}{1 - \frac{PeL}{E_t J_p}} \quad (2.27)$$

bağıntısını vermiştir (HARDY, 1963, 78). Bu bağıntıda;

$L = \overline{AB} + \overline{CD}$ olmak üzere, burulma çubuğunun uzunluğunu,

e : Prizmayı taşıyan elemanın boyunu,

E_t : Burulma modülünü,

J_p : Kutupsal taşıma momentini göstermektedirler.

Asılı burulmalı sarkaçlar için de aynı şartlarda,

$$n = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{1}{1 + \frac{PeL}{E_t J_p}} \quad (2.28)$$

büyütme faktörü eşitliği verilmektedir.

Burulmalı Sarkacın Stabilite Şartları

1) Dikili burulmalı sarkacın büyütme faktörü, $n > 1$ olmalı ve sarkacın stabil olması için de,

$$\frac{PeL}{E_t J_p} \leq 1$$

şartının sağlanması gereklidir (HARDY, 1963, 78).

2) Asılı burulmalı sarkaç (2.28) eşitliğinde geçen belirli fiziksel özellikler için stabildir. Bu tip kompensatörlerin n büyütme faktörleri, $0 < n < + 1$ şartı ile sınırlıdır.

Asılı burulmalı sarkaç Breithaupt-Kassel Firması'nın AUTOM isimli nivosunda kullanılmıştır (GIGAS, 1966, 93).

3. KOMPANSATÖRLÜ NİVOLARDA HATA KAYNAKLARI

Kompansatörlü nivolarda, kompansasyonu sağlayan optik eleman aynı zamanda dürbün optiğinin de bir parçasıdır. Bu sebeple hareketli olan bu parça, bakılan nesnenin görüntüsünün meydana gelmesine ve görüntünün konumuna etki eder.

İyi bir kompansatörlü nivonun aşağıdaki özellikleri taşıması gerekir:

a) Sabit bir asal eksen eğimi halinde, kompansatörün çalışma sahasında, farklı uzaklıklardaki hedeflere bakıldığında dürbün optiği tarafından oluşturulan kıllar şebekesi görüntüleri aynı bir yatay düzlemde bulunmalıdırlar,

b) Sabit bir asal eksen eğimi altında, değişik azimutlu doğrultulardaki noktalara bakıldığında, kompansatörün çalışma sahası içinde dürbünün meydana getirdiği kıllar şebekesi görüntüleri aynı bir yatay düzlemde kalmalıdırlar,

c) Kompansatörle birlikte dürbün optiğinin teşkil ettiği hedef hattı stabil (kararlı) olmalıdır. Bu kararlılık, herhangi bir asal eksen eğiminde kompansatörün (n) büyütme faktörünün, ilgili formüllere göre ayarlanması ile sağlanır,

d) Cisim tarafından gelen hedef ışını, sarkaç kompansatörlerde, sarkacın dönme eksenini içine alan düşey düzleme dik olmalıdır. Bu şart sağlanamaz ise, " Kompansatör çaprazlığı hatası " denilen hata meydana gelir (HOFMANN, 1958/I, 175),

e) Analaktik nokta-ışın kırılma noktası, fenklajlı nivolarda dürbün eğilme noktasına karşılıktır (ÖZBENLİ-TÜDEŞ, 1972, 464), mümkün olduğu kadar asal eksene yakın veya asal eksen üzerinde bulunmalıdır (KRÜTZL, 1963, 31). Bu sağlanamaz ise, nivelman işlemi sırasında ileri ve geri bakış durumlarında (asal eksen bir miktar eğik olduğu için) yöneltme eksenini yükseklikleri birbirinden farklı olur. Bu sebepten yöneltme eksenini yüksekliği hatası ortaya çıkar. Bu hatayı en aza indirmek için aletin yataylanması çok iyi yapılmalıdır.

Yukarıdaki özelliklerden birinin veya birkaçının, aletin kullanılmasında çeşitli etkenlerle bozulması kompansasyon hatasına yol açar.

3.1. İmalat ve Montaj Hataları

Kompansatör hangi tipten olursa olsun, istenilen kompensasyonu sağlayabilmesi için, yapı malzemelerinin önceden tesbit edilen fiziksel özellikleri taşıması ve elemanlarının geometrik boyutlarının, teorik formüllerden hesaplanan sonuç değerlere uygun olması gerekir. Ayrıca optik elemanların (ayna, prizma ve mercek) yüzeylerinin pürüzsüz, ayna ve prizmaların yansıtıcı yüzeylerinin tam düzlem olması lazımdır. Yansıtıcı yüzeylerin pürüzlü olması, yansımanın dağılma şekline dönüşmesine sebep olur. Bundan dolayı, kompensasyon hatalı olur, görüntünün netliği ve aydınlığı azalır. Yine ayna yüzeylerinin eğri olması halinde, ışınlar aynaya farklı yüksekliklerde geldiğinde, yansımadan sonra birbirlerine göre paralellikleri bozulur, dolayısıyla kompensasyon hatası ortaya çıkar(FİTZEN,1978,73).

Kompansasyonun yeterli doğrulukta gerçekleştirilmesi, kompansatörün alet içindeki konumuna sıkıca bağlıdır(bakınız, bölüm 1.2.1). Kompansatörün konumunu, dürbünün objektifinden ve kıllar şebekesi düzleminden olan mesafeleri ve dürbünün optik eksenine göre düşey yöndeki uzaklığı belirler. Kompansatör alete yerleştirilirken, bu uzaklıkların teorik formüllerden bulunan sayısal değerlerine uygunluk çok iyi sağlanmalıdır. Bunun sağlanamaması halinde " sıfır durumu hatası " denilen hata meydana gelir.

Kompansatör sarkacının salınım düzlemi, hedeften ve düzeçlenmiş aletin asal ekseninden geçen düşey hedef düzlemine paralel olmalıdır. Montaj sırasında bu sağlanamaz ise, düzeçli nivolardaki " düzeç çaprazlığı hatası " na benzer olarak " kompansatör çaprazlığı hatası " ortaya çıkar. Bu kusur sebebiyle de, kompansatörlü nivoların karakteristik bir özelliği olan ve literatürde, " EĞİK UFUK " tabir edilen durum meydana gelir. Bu sebepten, nivonun yöneltme ekseninin eğimi tamamen kompanse edilmemiş olur(DEUMLICH,1961,215). Bu hatanın ölçülere etkisi, ölçü sırasında aletin bir istasyonda geri, diğer istasyonda ileri yönde ayarlanıp okumaların da bu sırayla yapılması suretiyle en az miktara indirilir.

3.2. Kullanma Hataları ve Diğer Yan Etkiler

Bilindiği gibi kompansatörler, mekanik veya optik-mekanik sarkaçlar şeklinde ve birden çok parçadan oluşan sistemlerdir. Şiddetli çarpmalar ve

aletin düşmesi halinde, optik elemanlar ve diğer parçalar yerlerinden oynayabilirler. Bunun sonucunda ya "sıfır durumu hatası" ortaya çıkar ya da kompensatör sistemi tamamen fonksiyonunu yapamaz olur. Yine kuvvetli çarpmalar sonucu sarkaç yayları aşırı derecede zorlanarak esneklik dereceleri bozulabilir(KRÖTZL,1963,86).

Kompensatörlerin çalışma sahaları küçük eğim değerleriyle($\alpha = \pm 15'$) sınırlıdır. Nivoların ön yataylanmaları bu sınırlar içine girecek incelikte yapılmalıdır. Buna dikkat edilmez ise, yine eğik ufuk hatası ortaya çıkar ve ölçülere etkisi kabul edilebilen hata sınırını aşar(DEUMLICH,1961).

Dış ortama karşı iyi korunmamış durumdaki kompensatörler, düşük sıcaklıktaki yerlerden, daha sıcak ve rutubetli yerlere alınırsa sarkaç yayı ıslanabilir. Islanan sarkaç yayı, aletin daha soğuk bir ortamda kullanılması halinde, donarak esnekliğini az bir miktar kaybedebilir. Sarkaç yayı ve optik eleman üzerinde biriken su damlacıkları sarkacın ağırlığını değiştirerek denge durumunu bozar ve kompensasyon hatasına sebep olurlar. Sarkaç salınıminin havalı fren sistemi ile durdurulduğu kompensatörlerde, oksitlenme ve tozlanma sonucu fren sistemindeki hareket imkânı azalır. Bu sebepten kompensatör salınıminde istenmeyen tutulmalar olur, giderek fren tertibatı salınımi tamamen durdurur, Kompensatör odacığı ile dış ortam basıncının farklı olması sarkaç salınıminin olumsuz şekilde etkiler. Kuvvetli sesler, gürültü ve yer sarsıntıları kompensatör odacığında hava sirkülasyonu meydana getirir. Bu çeşit olaylar, hava frenlemeli sarkaçlara, magnetik fren sistemli sarkaçlardan daha çok etkili olurlar.

Magnetik alanların da kompensatörlü nivoları etki edebileceğı göz önüne alınmalıdır. Zeiss Ni 2 nivosu üzerinde yapılan bir araştırmada, magnetik alanın bu aletin kompensatörüne herhangi bir etkisinin olmadığı görülmüştür(KNEİSSL,1964,364). Diğer bir çalışmada ise, asılı ve dikili yaylı sarkaç kompensatörlerin magnetik alan etkisinde kalarak fonksiyonlarının bir miktar bozulduğu tesbit edilmiştir(KRÖTZL,1963,88). Magnetik alan sarkaç kompensatörlerin fren sistemlerini de etkileyerek, sarkacın denge durumunun bozulmasına ve böylece "sıfır durumu hatası" denilen sistematik hataya sebep olur. Magnetik alanın etkisini azaltmak için, kompensatörlerin sarkaç salınıminin frenleyen sistemlerde, magnetik alandan etkilenmeyen saf alüminyum kullanılmalıdır.

3.3. Yerçekimi Kuvvetinin Değişimine Bağlı Hatalar

Bilindiği gibi, yerçekimi kuvvetinin etkisi yeryüzeyinde; coğrafik enlem, geoidden olan yükseklik, mevzii şekil düzensizlikleri ve yer kabuğunun tabakalarının kalınlığına ve bu tabakaları oluşturan maddelere bağlı olarak yerden yere değişir. Yerçekimi kuvvetinin coğrafik enlem ve geoidden olan yüksekliğe bağlı olarak teorik değeri, $g = 980.629 \text{ gal} (\phi = 45^\circ \text{ enleminde ve deniz seviyesinde } H = 0 \text{ m.})$ olmak şartıyla,

$$g = 980.629 (1 - 0.0026372 \cos 2\phi - 0.000000314 H) \text{ gal} \quad (3.1)$$

eşitliğiyle verilir (HOFMANN, 1958, 74), Yerçekimi kuvveti ekvator dan kutup noktasına kadar 5 gal`dan daha çok artar. Diğer taraftan +1000 m`lik bir yükseklik değişimi yerçekimi kuvvetini 1/3 gal azaltır. Bu durum kompan-satörlü nivoları, ayarlandıkları yerden farklı bir enlem ve yükseklikte kullanılmaları halinde bir miktar etki eder (FREUND, 1960, 34; HARDY, 1963, 97).

Yaylarla Taşınan Kompansatörlere Yerçekimi Kuvvetinin Değişiminin Etkisi

Bütün yaylı ve telli kompansatörlerde, sarkaç şeklinde askıda taşınan bir kütle vardır. Bu kütleyi taşıyan yay veya teller belli miktarlarda uzar ya da eğilirler. Sarkaç kütle sinin etkili ağırlığı ($P = mg$) yerçekimi kuvvetinin değişimiyle değiştiğinden, bunun kompansatörün çalışması üzeri-ne olan etkisi dikkate alınmalıdır.

Burada bazı kompansatörlü nivoları yerçekimi kuvvetinin etkisini ifade edebilmek için, bunların bilinen n büyütme faktörü bağıntılarından a-şağıdaki gibi yararlanılır;

- 1) n bağıntılarının, $P = mg$ konularak, g `ye göre diferansiyeli alınır ve (dn) elde edilir,
- 2) $n = \frac{\beta}{\alpha}$ `dan, $d\alpha = -\frac{\alpha}{n} dn$ türetilir,
- 3) Verilen n, α ve dg/g değerleri için kompansasyon hatası (yatay hedef ekseninin eğilme miktarı) $d\alpha$ ilgili formülden hesaplanır.

Bu yolla, asılı ve dikili yaylı sistemler ile asılı ve dikili yaylı burulmalı sistemler için aşağıdaki bağıntılar elde edilir(HARDY,1963,98);

$$d\alpha = +\alpha n \frac{dg}{g} \left[\frac{L}{2} \sqrt{\frac{P}{EI}} \sinh \left(L \sqrt{\frac{P}{EI}} \right) + \frac{Ls}{2} \left(\frac{P}{EI} \right) \cosh \left(L \sqrt{\frac{P}{EI}} \right) \right] \quad (3.2)$$

$$d\alpha = -\alpha n \frac{dg}{g} \left[\frac{L}{2} \sqrt{\frac{P}{EI}} \sin \left(L \sqrt{\frac{P}{EI}} \right) + \frac{Ls}{2} \left(\frac{P}{EI} \right) \cos \left(L \sqrt{\frac{P}{EI}} \right) \right] \quad (3.3)$$

$$d\alpha = -\alpha(n-1) \frac{dg}{g} \quad (3.4)$$

(3.2) bağıntısı asılı yaylı kompensatörler, (3.3) bağıntısı dikili yaylı kompensatörler ve (3.4) eşitliği de dikili ve asılı yaylı burulmalı kompensatörler için verilmiştir. Bu eşitliklerdeki, P, E, I, L, ve s harflerinin anlamları (2.4.2) bölümünde açıklanmıştır.

Orta Avrupa'da ($\phi = 50^\circ$, $H \approx 0$ m.) ayarlandığı kabul edilebilen ve yukarıda sözü edilen kompensatörlerle donatılan nivoların, Türkiye'de ($\phi = 39^\circ$, $H \approx 0$ m) kullanılmaları halinde ne kadarlık bir hata ile yüklü olabilecekleri hesaplanabilir:

- Türkiye'de ortalama $\phi = 39^\circ$ için $g_T = 980.091$ gal olarak hesaplanır.
- Orta avrupada ise $\phi = 50^\circ$ için $g_{OA} = 981.078$ gal'dir.
- Bu iki değer farkından $dg \approx 1$ gal olarak bulunur.
- Nivoların asal eksen eğimi $\alpha = 10'$ kadar alınır.

Bu değerler ve çeşitli n ve s/L değerlerine göre, (3.2), (3.3) ve (3.4) bağıntılarından hesaplanan dα miktarları Tablo 1'de verilmiştir.

n	Asılı burulmalı sarkaç	Dikili burulmalı sarkaç	Asılı yaylı kompensatör	Dikili yaylı kompensatör	Asılı yaylı kompensatör	Dikili yaylı kompensatör
			s/L=0	s/L=0	s/L=1/2	s/L=1/2
0.5	0.31"	----	0.35"	----	0.25"	---
1.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.5	----	0.31"	----	0.29"	----	0.22"
2.0	----	0.61"	----	0.53"	----	0.41"
3.0	----	1.22"	----	1.07"	----	0.81
5.0	----	2.45"	----	2.05"	----	1.58

Tablo 1. Çeşitli kompensatörlere yerçekimi kuvvetinin değişiminin etkisi

3.4. Sıcaklık Değişiminin Etkisiyle Meydana Çıkan Hatalar

Daha önce de belirtildiği gibi kompensatörler, optik ve optik-mekanik sistemler halinde tertip edilmişlerdir. Bu tarzın dışında, sıvı kapları ve düzeçlerin de kompensatör olarak kullanıldığı söz konusu edilmiştir.

Optik-mekanik sistemdeki kompensatörler, teller veya eğilme direnci büyük olan yaylarla taşınmaktadır. Bunlardan, özellikle yaylar üzerlerine tatbik edilen dönme momentlerine karşı direnç gösterdiklerinden, sıcaklık değişmelerinden daha çok etkilenirler.

Bir sıcaklık değişimi halinde, kompensasyon hatasının ortaya çıkması için, dürbün gövdesine bağlı olan kompensatörün ve bunun sabit elemanlarının, dürbünün optik eksenine göre ayar konumlarının bozulmaması gerekir. Sıcaklık etkisiyle ortaya çıkan ayar bozukluğu (eğilme, dönme v.b.), kompensatörün yapısı içinde giderilemiyorsa, hedef ışınının durumu büyük ölçüde bozulur. Kompensatörün sabit elemanlarının dönme miktarı, sıcaklıkla doğrudan orantılı olsaydı, n değerlerinin uygun şekilde büyütülüp küçültülmesiyle bir düzeltme yapılabilirdi. Bunun yapılması zor olduğundan başlangıçta, aletin sıcaklık değişimlerinden en az etkilenecek tarzda yapılması yolu tercih edilmektedir.

Sıcaklık değişimine bağlı hataları en az seviyede tutabilmek için, kompensatörlerin yapı malzemelerinin sıcaklık karşısındaki tepkileri araştırılır ve söz konusu hataları azaltacak malzeme özellikleri tesbit edilir. Yapılan araştırmalar neticesinde yay malzemesinin; yeteri kadar sert ve dayanıklı, sıcaklık değişmelerine karşı düzgün tepki gösteren, uzama ve kısalma durumlarında şekli önemli derecede bozulmayan özelliklerde olması gerektiği tesbit edilmiştir.

Bütün bu çabalara rağmen, yapı malzemelerinin fiziksel özellikleri ve geometrik boyutları sıcaklık değişmelerinden mutlak surette etkilenirler. Bu sebepten, kompensatörlü nivoların hedef eksenleri sıcaklık değişimine bağlı olarak eğim değişikliği gösterirler. Sıvı kapları ve düzeçlerden oluşan kompensatör sistemleri de, sıcaklık tesiriyle sıvının kırma indisinin değişmesi ve düzeç kabarcığının büyümesi sebebiyle aletin asal eksen eğimini istenilen ölçüde kompanse edemezler.

3.4.1. Eklemdörtgen Kompansatöre Sıcaklık Değişiminin Etkisi

Bu kompansatörde, eklemdörtgeni oluşturan tellerin ve bunların bağlı bulunduğu noktalar arasındaki uzaklıkların, sıcaklık tesiriyle uzama veya kısalmaları, bu büyüklüklere bağlı olan n büyütme faktörünü değiştirir. Büyütme faktörünün değişmesi sonunda ortaya çıkabilecek kompansasyon hatası $\Delta\alpha$ aşağıdaki yolla hesaplanır;

- 1) n eşitliğinin, a , b , d ve h 'a göre diferansiyeli alınarak Δn elde edilir,
- 2) $n = \beta/\alpha$ dan $\Delta\alpha = -\alpha \Delta n/n$ eşitliği türetilir,
- 3) Kabul edilen α , sıcaklık farkı ve verilen n değerleri için, kompansasyon hatası (yöneltme eksen eğim değişimi) $\Delta\alpha$ hesaplanır.

Eklemdörtgenin n büyütme faktörü (2.8) bağıntısıyla,

$$n = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{\frac{bc}{2d} + h}{\frac{bd}{2c} + \frac{b^2}{4c} + \frac{b^2c}{4d^2} - h}$$

olarak verilmişti. Bu eşitlikte, Şekil 27'ye göre yazılan, $c = \sqrt{a^2 - d^2}$ değeri yerine konularak, büyütme faktörü eşitliği,

$$n = \frac{\frac{b\sqrt{a^2 - d^2}}{2d} + h}{\frac{bd}{2\sqrt{a^2 - d^2}} + \frac{b^2}{4\sqrt{a^2 - d^2}} + \frac{b^2\sqrt{a^2 - d^2}}{4d^2} - h} = \frac{Z}{N} \quad (3.5)$$

haline dönüştürülür. (2.8) ve (3.5) eşitliklerinin, a , b , d ve h 'a göre kısmî türevleri alınarak büyütme faktörünün Δn değişimi için,

$$\Delta n = \frac{1}{N} \left[\left\{ \frac{c}{2d} - n \left(\frac{b+d}{2c} + \frac{bc}{2d^2} \right) \right\} \Delta b + (1+n) \Delta h + \right. \\ \left. + \left\{ \frac{abd}{2cd} + n \left(\frac{abd}{2c^3} + \frac{ab^2}{4c^3} - \frac{ab^2}{4cd^2} \right) \right\} \Delta a - \right. \\ \left. - \left\{ \frac{bc}{2d^2} + \frac{b}{2c} + n \left(\frac{b}{2c} + \frac{bd^2}{2c^3} + \frac{b^2d}{4c^3} - \frac{b^2}{4cd} - \frac{b^2c}{2d^3} \right) \right\} \Delta d \right] \quad (3.6)$$

formülü elde edilir. Bu eşitlikten bulunacak olan Δn değişimi ile,

bu kısmın başlangıcında, 2 nolu şıkta verilen,

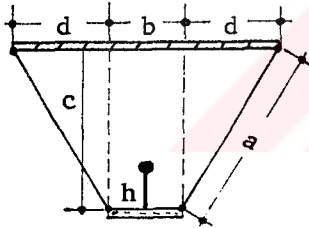
$$\Delta \alpha = - \alpha \frac{\Delta n}{n} \quad (3.7)$$

bağıntısından kompensasyon hatası (α 'nın kompensasyon hatası) hesaplanır.

(3.7) bağıntısının tetkikinden, kompensasyon hatasının dürbün eğimi (aletin asal eksen eğiminin, dürbünün yöneltme eksenini içine alan düşey düzlemdeki işdüşümünün değeri = etkili asal eksen eğimi) ile doğru, büyütme faktörü ile ters orantılı olduğu anlaşılır. Bu sebeple, aletin düzeçlenmesi iyi yapılırsa sıcaklık tesiriyle ortaya çıkacak olan yataylama hatası azaltılmış olur.

—Kompansatörü eklemörtgen olan, Carl-Zeiss Ni 2 nivusunda sıcaklık değişiminin etkisiyle ortaya çıkabilecek kompensasyon hatasının hesaplanmasına ait bir örnek aşağıda verilmiştir;

Ni 2'ye ait eklemörtgenin boyutları^{x)}



$$a = 24.2 \pm 0.2 \text{ mm.}, \quad \lambda_a = 12 \times 10^{-6} (1/^\circ\text{C})$$

$$b = 10.5 \pm 0.2 \text{ mm.}, \quad \lambda_b = 24 \times 10^{-6} (1/^\circ\text{C})$$

$$d = 12.1 \pm 0.2 \text{ mm.}, \quad \lambda_d = 24 \times 10^{-6} (1/^\circ\text{C})$$

$$c = 21.0 \pm 0.3 \text{ mm.}, \quad (c = \sqrt{a^2 - d^2})$$

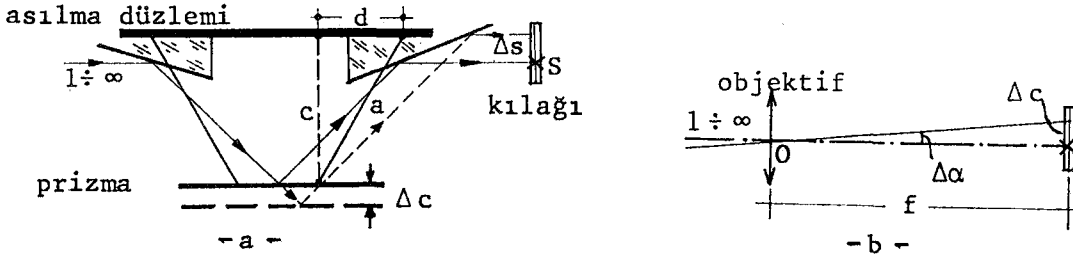
$$n = 2 \text{ için } h = 2.5 \text{ mm. hesaplanır.}$$

Askı telleri demir-nikel (nivarox), dürbün gövdesi ve prizmayı taşıyan sarkaç düzeneği Al-Mg alaşımından yapılmışlardır. Dürbün eğimi $\alpha = 10'$, aletin ayar sıcaklığına göre sıcaklık değişim miktarı 35°C alınarak, yukarıda verilen değerlerden, Δa , Δb , Δd ve Δh hesaplanır. Hesaplanan bu değerlerle, (3.6) ve (3.7) bağıntılarından, $\Delta \alpha = 0''.3$ olarak bulunur.

Hesaplanan bu miktar teorik bir değerdir. Ayrıca bu hesaplama eklemörtgen yalın halde kabul edilerek yapılmıştır. Kompansatör düzeninin yansıtma etkisiyle bu hata iki katına çıkar. Yine pratikte, kompensatör düzeninin sıcaklık etkisiyle alet içindeki konumunun bozulması, killar şebekesinin sıcaklıkla yer değiştirmesi sebebiyle yukarıda hesaplanan hata miktarından farklı değerler gözlenebilir.

^{x)} Boyutların değerleri ve fiziksel özellikleri firmasından alınmıştır.

-Yukarıda sayılan hata sebeplerine ilave olarak, sarkaç prizmanın yanıtıcı tabanı ile asılma düzlemi arasındaki c mesafesinin, a ve d 'nin sıcaklıkla değişmeleri sonunda uzayıp kısalmasının ortaya çıkaracağı yöneltme eksenini eğimi de sayılmalıdır(KRÖTZL,1963,84). Bu sebepten ortaya çıkan hatanın meydana gelişi Şekil 39'da görülmektedir.



Şekil 39. Sarkaç prizma tabanının konum değiştirmesinin etkisi

Şekil 39'dan, daha önce de verildiği gibi, c ,

$$c^2 = a^2 - d^2 \quad (3.8)$$

eşitliğiyle ifade edilir. Bu eşitlikte, c 'nin a ve d 'ye göre diferansiyeli alınarak, a ve d 'nin sıcaklıkla uzaması halinde c 'nin değişimi,

$$\Delta c = \frac{a}{c} \Delta a - \frac{d}{c} \Delta d \quad (3.9)$$

bağıntısından hesaplanır. Prizma tabanının Δc kadar düşey yer değiştirmesi, hedef ışınının, şekil 39.a'dan görüldüğü gibi, kıllar şebekesi düzleminde S orta çizgiden Δs kadar ayrılmasına sebep olur. Büyük bir yaklaşıklıkla $\Delta s = \Delta c$ alınabilir ve bunun ortaya çıkaracağı yöneltme eksenini eğim değişikliği, Şekil 39.b'den,

$$\Delta \alpha'' = \frac{\Delta c}{f} \rho \quad (3.10)$$

förmülü ile elde edilir. Bir önceki örnekte kullanılan değerler ve Ni 2 için objektif odak uzaklığı $f=240$ mm. alınarak (3.9) ve (3.10) eşitlikleri yardımıyla,

$$\Delta \alpha = \frac{0.006}{240} \times 206265 = 5''$$

hesaplanır. Bu miktarın da, önceki hata miktarına eklenmesi gerekir.

3.4.2. Tellerin Normal Düzeni, Paralel Kayma Gurubundaki Kompansatörlere Sıcaklık Değişiminin Etkisi

Bu guruptaki kompansatörler için, (2.16) eşitliği ile büyütme faktörü,

$$n = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{f}{L}$$

olarak verilmiştir. Bu eşitlikte, L kompansatörün askı elemanının boyunu, f ise dürbünün objektifinin odak uzaklığını göstermektedir. L boyunun sıcaklığın değişmesiyle bir miktar değişmesi, bir önceki bölümde anlatılana benzer şekilde kompansasyon hatasına sebep olur. Bu hata, (2.16) eşitliği yardımıyla hesaplanabilir. Bu eşitliğin L'ye göre diferansiyeli alınarak,

$$\Delta n = -n \frac{\Delta L}{L} \quad (3.11)$$

elde edilir. Yine aynı eşitlikten α çekilip n'ye göre diferansiyeli alınarak,

$$\Delta \alpha = -\alpha \frac{\Delta n}{n} \quad (3.12)$$

olur. Son eşitlikte, Δn 'nin (3.11)'deki karşılığı yerine yazılırsa,

$$\Delta \alpha = -\alpha \frac{\Delta L}{L} \quad (3.13)$$

kompansasyon hatası bağıntısı elde edilir.

Bu tip kompansatörlerde, (3.13) bağıntısından görüldüğü gibi, kompansasyon hatası dürbünün eğimi ile doğru, askı elemanının^{x)} boyu ile ters orantılıdır. Telin boyu aletin dürbününün objektifinin f odak uzaklığının değeri ile sınırlıdır. Bu sebepten, kompansasyon hatasının azaltılması için, askı elemanının sıcaklıktan az etkilenen malzemeden yapılması ve aletin ölçme sırasında iyi bir şekilde düzeçlenmesi gereklidir.

x)

Bu eleman genellikle teldir, Ni 007'de cetvel kesitli metaldir.

Bu tipteki kompensatörlerde askı elemanının boyunun sıcaklıkla değişmesinin ortaya çıkaracağı kompensasyon hatasının hesaplanmasına bir örnek, Jena Koni Ni 007 nivusunun teknik verilerine göre aşağıda verilmiştir;

- Dürbün objektifinin odak uzaklığı değeri, kompensatör ayarlanırken dürbünün sonsuz uzaklığa ayarlı olduğu zamanki odak uzaklığı değeri olarak alınır(FİTZEN,1978,53).

- Bu alette askı elemanı (Al-Mg) alaşımından yapılmış olup şekli cetvel gibidir ve boyu odak uzaklığının yarı uzunluğuna eşittir(bölüm,(2.4.1.3)).

- $\Delta t = 35$ °C , sıcaklık değişim miktarı,
- $\alpha = 10'$, aletin asal eksen eğimi,
- $f_{\infty} = 283$ mm. , sonsuza ayarlı dürbün objektifinin odak uzaklığı,
- $\lambda_L = 24 \times 10^{-6}$, Al-Mg alaşımının termik uzama katsayısıdır.

Verilen bu değerlerle,

$$\Delta L = \frac{283}{2} \times 24 \times 10^{-6} \times 35 = 0.119 \text{ mm.},$$

hesaplanır. Bu değer ve verilen diğer büyüklüklerden, (3.13) eşitliği ile,

$$\Delta \alpha = - 600 \times \frac{0.119}{141.5} = 0",5$$

kompensasyon hatası hesaplanmış olur. Bu kompensasyon hatası, 40 m. uzaklıktaki bir mira okumasını ± 0.1 mm. kadar etkiler.

3.4.3. Yaylarla Taşınan Kompensatörlere Sıcaklık Değişiminin Etkisi

Bu kısımda öncelikle, sıcaklığın kompensatörlere etkisinin az olması için kullanılan malzemelerin(yayların) hangi fiziksel özellikleri taşıması gerektiği hakkında bilgi verilecek, daha sonra sıcaklık değişmesinin etkisiyle ortaya çıkabilecek kompensasyon hatası üzerinde durulacaktır.

3.4.3.1. Sıcaklık Etkisini Azaltacak Malzeme Özelliklerinin Araştırılması

Bu gruptaki kompensatörlerin(burulmalı sistem hariç) büyütme faktörleri n 'in (2.4.2) bölümünde,

$$C_1 = L \sqrt{\frac{P}{EI}} \quad \text{veya} \quad C_1 = \frac{L}{\sqrt{\frac{EI}{P}}}$$

argümanına bağlı olduğu ifade edilmişti. Bu argümanda geçen, E, I ve L büyüklükleri sıcaklıktan etkilenirler. Bunlardan L doğrudan, I atalet momenti ise dolaylı olarak etkilenir. E elâstisite modülünün sıcaklık etkisiyle değişimi ise bunun termoelâstik katsayısına bağlıdır(HARDY,1963,92).

Taşıyıcı yayların yapıldığı ekseri metallerin uzama katsayıları pozitif olduğundan, sıcaklık artışı halinde I ve L büyür. Buna karşılık ekseri metallerin termoelâstik katsayısı negatiftir, dolayısıyla sıcaklık arttıkça E küçülür. Herhangibir sıcaklık değişmesi halinde EI(eğilme direnci) sabit kalmalıdır. Bunun için, E ile I'nın sıcaklık katsayıları arasında uygun bir ilişkinin hesaplanması ve yay malzemesinin buna göre imal edilmesi gerekir. Böyle bir şart sağlansa bile, yay boyu L'nin herhalde sıcaklıktan etkilenmesi sonucu n büyütme faktörünün sabit kalması mümkün olmaz.

Bir sıcaklık değişmesi halinde, C_1 argümanına bağlı olan n büyütme faktörünün sabit kalması için C_1 de ilk değerini korumalı, yani,

$$\frac{L}{\sqrt{\frac{EI}{P}}} = \frac{L + \Delta L}{\sqrt{\frac{EI + \Delta EI}{P}}} \quad (3.14)$$

şartı sağlanmalıdır. Bu şarttan hareketle;

C_e : Yay malzemesinin termik uzama katsayısı, ($\Delta L = L C_e$) ve

C_t : E'nin termoelâstik katsayısı, $\{\Delta EI \approx EI(4C_e + C_t)\}$ olmak üzere

bu iki katsayı arasında,

$$2 C_e = - C_t \quad (3.15)$$

ilişkisi verilmiştir(HARDY,1963,95). (3.15) ilişkisi; kullanılan yay malzemesinin negatif termoelâstik katsayısı C_t 'nin, pozitif uzama katsayısı C_e 'nin iki katına eşit olması halinde kompensatörlere sıcaklık değişiminin etkisinin en az olacağını göstermektedir.

3.4.3.2. Asılı Yaylı Kompansatörlere Sıcaklık Değişiminin Etkisi

Asılı yaylı ve asılı çapraz eklemeyaylı kompansatörlerin büyütme faktörleri birbirinin aynısı olarak, (2.23) ve (2.26) eşitlikleriyle,

$$n = \frac{1}{\cosh L \sqrt{\frac{P}{EI}} + s \sqrt{\frac{P}{EI}} \sinh L \sqrt{\frac{P}{EI}}}$$

olarak verilmiştir. Kompansasyon hatasının hesaplanması için, önce Δn , L , s ve EI 'nin değişimlerinin bir fonksiyonu olarak hesaplanır. Sonra hesaplanan Δn ve kabul edilen alet eğimi α ve sıcaklık farkına göre $\Delta \alpha$ hatası elde edilir. Yukarıda verilen eşitliğin, L , s ve EI 'ya göre kısmî türevleri aşağıdaki gibi elde edilirler,

$$\frac{\partial n}{\partial L} = - n^2 \left(\sqrt{\frac{P}{EI}} \sinh L \sqrt{\frac{P}{EI}} + s \frac{P}{EI} \cosh L \sqrt{\frac{P}{EI}} \right)$$

$$\frac{\partial n}{\partial s} = - n^2 \left(\sqrt{\frac{P}{EI}} \sinh L \sqrt{\frac{P}{EI}} \right) \quad (3.16)$$

$$\frac{\partial n}{\partial EI} = + n^2 \frac{1}{2EI} L \sqrt{\frac{P}{EI}} \left[\left(1 + \frac{s}{L} \right) \sinh L \sqrt{\frac{P}{EI}} + s \cosh L \sqrt{\frac{P}{EI}} \right]$$

Büyütme faktörü n 'in toplam değişimi de,

$$\Delta n = \frac{\partial n}{\partial L} \Delta L + \frac{\partial n}{\partial s} \Delta s + \frac{\partial n}{\partial EI} \Delta EI \quad (3.17)$$

bağıntısı ile ifade edilir. Bu bağıntıda geçen ΔL ve ΔEI miktarlarının nasıl bulunacağı bu bölümün başında açıklanmıştır. Sarkaç ağırlık merkezinin yayın serbest ucundan olan uzaklığı s 'nin Δs değişimi de, optik elemanı tutan malzemenin (Al-Mg) genleşme katsayısı (C_a)'ya bağlı olarak,

$$\Delta s = s C_a$$

eşitliğinden hesaplanır. Hesaplanan bütün bu değerler yardımıyla kompansasyon hatası,

$$\Delta \alpha = - \alpha \frac{\Delta n}{n} \quad (3.18)$$

ile hesaplanır.

- Sarkaç ağırlık merkezinin yayın serbest ucunda olması halinde ($s = 0$ özel hali), (3.17) eşitliği, $\Delta L = L C_e$ ve $\Delta EI \approx EI(4C_e + C_t)$ ile kısmî türev değerlerinin yerine yazılmasıyla,

$$\Delta n = n^2 L \sqrt{\frac{P}{EI}} \sinh L \sqrt{\frac{P}{EI}} \left(C_e + \frac{1}{2} C_t \right) \quad (3.19)$$

şeklinde kısalmış olur. Bu bağıntının sağ tarafında parantez içindeki toplam, yay malzemesi için (3.15) eşitliği ile verilen $2C_e = -C_t$ şartının yerine getirilmiş olması halinde sıfır olur. Dolayısıyla Δn de sıfır olur ve daha önce de belirtildiği gibi ($s=0$ hali için) bu özellikteki yaylardan yapılan kompensatörler sıcaklık değişimlerinden en az etkilenirler.

-(3.19)'daki Δn 'nin eşiti (3.18) eşitliğinde yerine konulursa,

$$\Delta \alpha = -\alpha n L \sqrt{\frac{P}{EI}} \sinh L \sqrt{\frac{P}{EI}} \left(C_e + \frac{1}{2} C_t \right) \quad (3.20)$$

kompansasyon hatası bağıntısı elde edilir,

Aşağıda asıllı yaylı kompensatörler için kabul edilen yaklaşık değerlerle kompensasyon hatasının büyüklüğüne ait bir örnek verilmiştir;

- $C_e = 12 \times 10^{-6}$, yayın uzama katsayısı,
- $C_t = 1.3 \times 10^{-4}$, yayın termoelâstik katsayısı,
- $L \sqrt{\frac{P}{EI}} = 1.317$, ($n = 1/2$ ve $s = 0$ için Şekil 33'ten alındı)
- $\alpha = 10' = 600''$
- $\Delta t = 35 \text{ } ^\circ\text{C}$, aletin ayar sıcaklığı ile ölçme sıcaklığı farkı alınarak (3.20) eşitliği ile, $\Delta \alpha = 2''$ olarak hesaplanır,

Yukarıda verilen hata miktarı, ön kabullere bağlı bir teorik değerdir. Ayrıca kabul edilen yaklaşık değerler belirli bir alete ait değildir. Kompensatörü bu tipte olan aletlerin hepsinin sıcaklık değişiminden yaklaşık ne kadar etkilenebilecekleri hakkında bir fikir edinebilmek için yukarıdaki hesaplama yapılmıştır. Pratikte, sıcaklığın etkisinden başka faktörler sebebiyle de kompensasyon hatasının ortaya çıkması beklenebilir.

3.5. Kompansatörlü Nivolarda Diğer Hata Kaynakları

Bu kısımda kompansatörün haricinde, dürbünün yapısını oluşturan, görüntünün meydana gelmesine ve konumuna etki eden optik ve optik-mekanik elemanların yöneltme ekseninin eğimine etkilerinden kısaca söz edilecektir. Bilindiği gibi, bir ölçü dürbününün yapısında, objektiften başka, netleştirme merceği ve yöneltme eksenini hem teşkil eden, hem de yöneltme eksenini hatasının düzeltilmesini sağlayan kıllar şebekesi plakası vardır. Bunlar belirli miktarlarda hareket edebilecek tarzda yapılmışlardır. Ayrıca bazı nivoların objektifi önüne, mira okuma inceliğini arttırmak için paralelyüzlü camlı mikrometre düzenekleri takılır. Bu parçaların yöneltme ekseninin eğimine olan etkileri birbirinden farklı şekilde ortaya çıkar.

3.5.1. Paralelyüzlü Camın Yöneltme Ekseninin Durumuna Etkisi

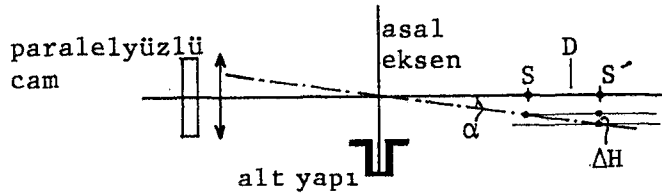
Burada paralelyüzlü camın yüzey normalinin, dürbünün optik eksenini ile çakışması durumunda ortaya çıkan hata üzerinde durulacaktır. Kalınlığı d olan bir paralelyüzlü cam dürbün optiğinde, kıllar şebekesinin görüntüsünün yerini yöneltme eksenini üzerinde, k camın kırma indisi olmak üzere,

$$D = \frac{k - 1}{k} d \quad (3.21)$$

miktarı kadar kaydırır (FİTZEN, 1978, 33). Yöneltme ekseninin α açısı kadar eğik olması durumunda, yöneltme ekseninin yüksekliğinin değişme miktarı Şekil 40'tan yaklaşık olarak,

$$\Delta H = D \sin \alpha \quad (3.22)$$

olarak yazılır.



Şekil 40

Yöneltme eksenini eğimi $\alpha = 10'$ ve paralellik camının kalınlığı $d = 24$ milimetre, camın kırma indisi $k = 1,5$ alınır, (3,21) ve (3,22) eşitlikleri ile,

$$D = \frac{1,5 - 1}{1,5} 24 = 8 \text{ mm. ve } \Delta H = 8 \times 2,9 \times 10^{-3} = 0,023 \text{ mm.}$$

yöneltme eksenini yükseklik hatası hesaplanır. Dürbünün asal eksen etrafında döndürülerek ileri ve geri bakılması durumunda $- 23 \mu\text{m}$ ile $+ 23 \mu\text{m}$ arasında değişen yöneltme eksenini yükseklik hataları ortaya çıkar.

3.5.2. Netleştirme Merceğinin Yöneltme Ekseninin Durumuna Etkisi

Kompansatörlü bir nivoonun dürbününün optik eksenini üzerinde objektif, netleştirme merceği, kompansatörün optik elemanları ve nihayet kıllar şebekesi plakası ile oküler mercek takımı yer alır. Objektif, netleştirme merceği ve oküler mercek takımının optik merkezlerinin aynı bir eksen (dürbün eksenini) üzerinde bulunmaları ve merceklerin ana düzlemlerinin optik eksene dik olmaları lazımdır.

Söz konusu edilen bu elemanların, optik eksene göre eğilmeleri ve düşey yer değiştirmeleri ile optik eksen üzerinde boyuna hareket etmeleri, yöneltme ekseninin çeşitli yönlerde bükülmesine sebep olurlar. Nivelmanda yalnız düşey konum değişimleri ile ilgilenildiğinden, hedef doğrusunun sözü edilen bükülmelerinin, hedef ve aletten geçen düşey düzlemdeki izdüşümlerinin hedef hattının durumuna olan etkileri ele alınır (FITZEN, 1978, 5).

Dürbünün bakılan hedefe netleştirilmesi sırasında, netleştirme merceği kaçınılmaz olarak boyuna yer değiştirir, mercek ana düzlemi optik eksene göre eğilebilir ve merceğin optik merkezi dürbünün optik merkezinden ayrılabilir.

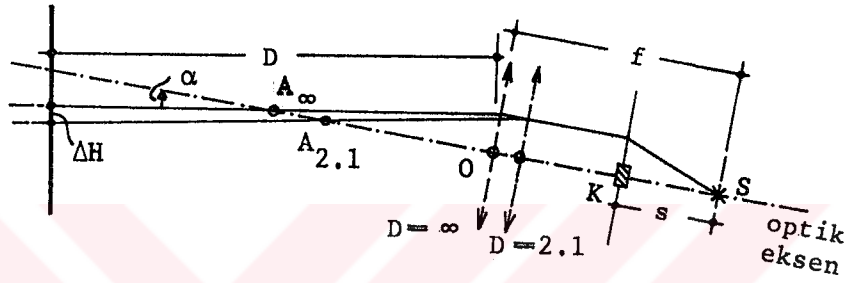
a. Netleştirme Merceğinin Boyuna Hareketinin Etkisi

Kompansatörlerin çalışma prensipleri açıklanırken, büyütme faktörü için (1.2.1) bölümünde (1,4) eşitliği,

$$\frac{f}{s} = \frac{\beta}{\alpha} = n$$

olarak verilmişti. Bu eşitlikte n 'in sabit kalması için f 'in ve s 'in sabit

kalması gereklidir. Ölçü dürbünlerinde objektif mercek sistemine netleştirme merceği de dahil edilerek elde edilen mercek sistemi EŞDEĞER OBJEKTİF olarak tariflenir ve sade bir mercek gibi gösterilebilir (KRÖTZL, 1963. 31), Netleştirme işlemi sonunda eşdeğer objektifin odak uzaklığı f ve dolayısıyla A analaktik noktanın (ışın eğilme noktası) yeri değişir. Bu sırada s sabit kaldığından, yöneltme ekseninin durumunda bir faktör ve bir de sıfır durumu hatası ortaya çıkar. Bu iki hatanın ortaya çıkışları ve etkileri Şekil 41'de gösterilmiştir.



Şekil 41

Sonsuz uzaklığa ayarlanmış böyle bir dürbünle, en yakın görüş uzaklığına netleştirme yapıldığında (şekilde 2,1 m.) f odak uzaklığı ve A analaktik noktasının yeri değişir. Bunun sonunda ortaya çıkan yöneltme eksen yükseklik hatası, $\Delta H = F(\alpha, D)$ ile ifade edilir. Bu hatanın az olması için A noktasının asal eksene çok yakın olması ve aletin iyi düzeçlenmesi gerekir.

Zeiss Ni 2 nivelunda analaktik nokta A , sonuza bakıldığında asal eksenin 20 mm. arkasında, 10 m'ye bakıldığında asal eksenin 20 mm. önünde bulunur^{x)}. ΔH yükseklik hatası, aletin yöneltme eksen eğimi α ve analaktik noktanın yer değiştirmesine bağlı olarak Şekil 41'den,

$$\Delta H = \frac{\alpha}{\rho} (A_{\infty} - A_D) \quad (3.23)$$

olarak yazılabilir. Bu formülden, Ni 2 için yukarıda verilen değerler ve $\alpha = 10'$ kabulüyle, $\Delta H = \pm 0.1$ mm.lik yöneltme eksen yükseklik hatası hesaplanır. Bu hata miktarı yapılan işin inceliğine göre değerlendirilebilir.

^{x)} Diapositive Geodätische Instrumente, 70-010/011 d, C. Zeiss-Oberkochen

b. Netleştirme Merceğinin Eksentrisitesinin ve Eğilmesinin Yöneltilme Ekseninin Durumuna Etkisi

Yöneltilme ekseninin eğimini değiştiren en önemli etkenlerden biri de, netleştirme işlemi sırasında veya başka bir sebeple ortaya çıkan netleştirme merceği eksentrisitesidir. Netleştirme merceğinin, nivonun yöneltilme eksenini içine alan düşey düzlemdeki eksentrisitesi Δe ile gösterilerek buna bağlı yöneltilme eksenini eğim hatası iki nivo için aşağıdaki bağıntılarla verilmiştir(FITZEN,1978,22-61);

$$\text{Jena Ni 007: } f_{\infty}=283 \text{ mm.}, \Delta e=0.3 \mu\text{m}, \Delta\alpha=-\frac{0.49}{f} \Delta e = 0''.1 ,$$

$$\text{Wild NA 2 : } f_{\infty}=282 \text{ mm.}, \Delta e=0.2 \mu\text{m}, \Delta\alpha=-\frac{0.68}{f_{\infty}} \Delta e = 0''.1 .$$

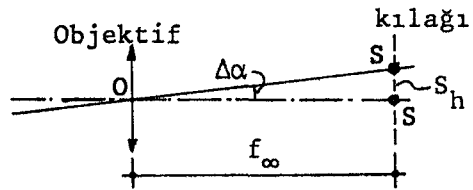
Hesaplanan bu eğim değişimleri, 40 m. uzaklıktaki bir mirada yapılacak mira okumasını ancak $\pm 0.02 \text{ mm}$. kadar etkiler.

Netleştirme merceğinin optik eksene göre $10'$ kadar eğilmesi, yöneltilme eksenini yüksekliğini $1 \mu\text{m}$ kadar değiştirir(FITZEN,1978,20).

3.5.3. Kıllar Şebekesi Plakasının Eksentrisitesinin Yöneltilme Ekseninin Durumuna Etkisi

Kıllar şebekesi plakasının herhangi bir sebeple, optik eksenden geçen düşey düzlemde optik eksen üzerinden S_h kadar ayrılması, yöneltilme ekseninin eğimini $\Delta\alpha$ kadar değiştirir(Şekil 42),

$$\Delta\alpha = \frac{S_h}{f_{\infty}} \rho$$



Şekil 42

Jena Ni 007 ve Wild NA 2 niyolarında, $S_h = 7 \mu\text{m}$ için yöneltilme ekseninin eğiminin $\Delta\alpha=5''$ kadar değişeceği hesaplanmıştır(FITZEN,1978,24)

4. KOMPANSATÖRLÜ NİVOLARA SICAKLIK ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Bu çalışmada K.T.Ü.- Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü'nün laboratuvarında bulunan bir kısım kompensatörlü nivolar üzerinde deneysel ölçmeler yapılmıştır. Bu bölümde denenen aletler teknik özellikleri verilerek tanıtılacak, deneme ölçmelerinin yapıldığı ortamlar ve kullanılmış olan araçlar hakkında bilgi verilerek ölçmelerin yapılışı anlatılacaktır.

4.1. Araştırmada Kullanılan Nivolar ve Teknik Özellikleri

Kompensatörlü nivolarla sıcaklık etkisinin deneysel olarak araştırılması için dokuz ayrı nivo kullanılmıştır. Bu nivolardan dördü Carl-Zeiss Oberkochen, ikisi Carl-Zeiss Jena, biri Wild Heerbrug AG ve diğer ikisi de Kern & Co. AG firmalarının imalatıdır. Kullanılan nivolar ve teknik özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Alet Adı Numarası	İmalatçı Firma	Dürbün		Küresel düzeç verisi	Kompansatör Çalışma Ala. Yataylama doğruluğu	Mikrometre	Aletin hassasiyeti
		Objektif Çapı Büyütmesi Odak Uzaklığı	En Kısa hedef Uzaklığı				
Ni 1 71034	CARL ZEISS Oberkoch.	50 mm. 40 X -	1.4 m	5'	$\pm 8'$ (+10'..-10') ± 0.2	Paralelyüz- lü cam (5 - 10 mm)	± 0.2 mm/km
Ni 2 101953, 47848	CARL ZEISS Oberkoch.	40 mm. 32 X -	3.3 m	10'	$\pm 15'$ (+15'..-15') ± 0.2	Paralelyüz- lü cam (5 - 10 mm)	± 0.3 mm/km
Ni 22 65595	CARL ZEISS Oberkoch.	40 mm. 32 X -	3.3 m	10'	$\pm 15'$ -	Paralelyüz- lü cam (5 - 10 mm)	± 1.0 mm/km
Ni 42 96255	CARL ZEISS Oberkoch.	30 mm. 22 X -	1.2 m	-	$\pm 60'$ =	-	-
Ni 025 180259	CARL ZEISS Jena	30 mm. 25 X -	1.5 m	8'	$\pm 10'$ - ± 0.5	-	-
Ni 007 150262	JENOPTİK Jena GmbH.	40 mm. 31.5 X 283 mm.	2.2 m	8'	$\pm 10'$ (+14'..-12') ± 0.15	Beşgen prizma (5 mm)	± 0.5 mm/km
NAK-2 113714	WILD Heerbrug AG	45 mm. 32 X 282 mm	1.6 m	8'	$\pm 15'$ (+15'..-15') ± 0.3	Paralelyüz- lü cam (10 mm)	$\pm 0.7..0.3$ mm/km
GK1-A 95443	KERN & Co. Aarau	45 mm. 25 X -	2.3 m	12'-15'	$\pm 10'$ - $\pm 0.5, .. 1.5$	-	± 2.5 mm/km
GK0-A 180593	KERN & Co. Aarau	30 mm. 21 X -	0.75 m	20'	$\pm 30'$ - $\pm 3''$	-	± 5.0 mm/km

Tablo 2. Araştırmada kullanılan nivolar ve teknik özellikleri

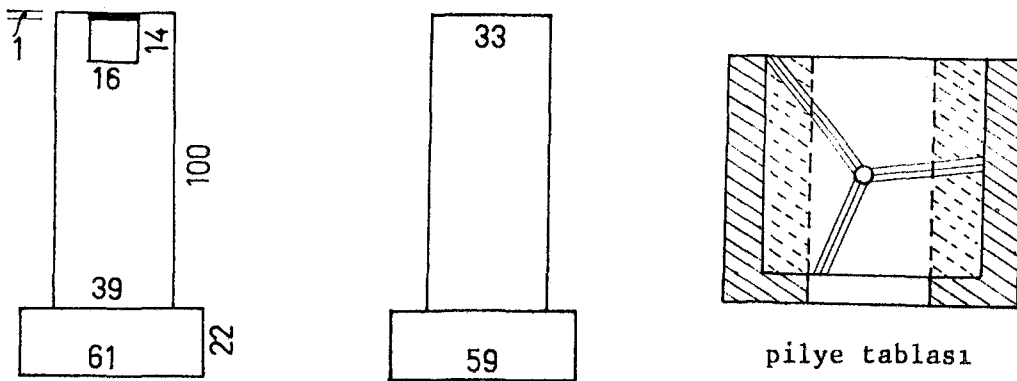
Teknik özellikleri Tablo 1'de verilen bu nivolarda kullanılan kompensatörlerin yapıları, bazı aletlerde aynı, bazılarında ise farklıdır. Bunlardan Ni 1'in kompensatörü çapraz eklemörtgen, iki Ni 2 ve bir Ni 22'nin kompensatörleri eklemörtgende asılı sarkaç prizma sisteminden oluşmuştur. Ni 025 ve NAK 2 nivolarında asılı çapraz eklemayla taşınan sarkaç prizma kompensatör sistemi kullanılmıştır, Ni 007'nin kompensatörü ise bükülmez bir metalle taşınan sarkaç prizmadan ibarettir, GK1-A'nın kompensatörü magnetik taşıyıcıda asılı sarkaç prizmadan, GKO-A'nın kompensatörü de sarkaç mercekle sisteminden meydana gelmiştir. Ni 42'nin kompensatörü ise bükülmez bir metalle sarkaç şeklinde asılı yatay konumlu düz aynadan oluşmuştur.

4.2. Araştırma Ölçme Düzeni

Kompensatörlü nivolara sıcaklık değişiminin etkisinin deneysel yoldan ortaya konabilmesi için, ölçmeler farklı iki ortamda yapılmıştır. Bu ortamlardan birisi laboratuvarında kapalı kabin, diğeri ise arazide açık havadır.

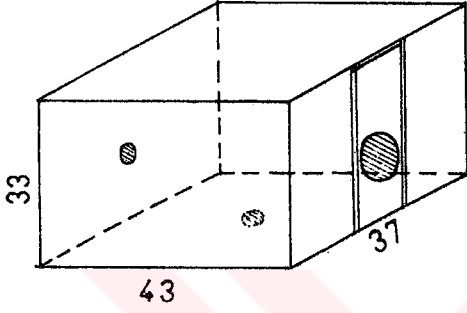
4.2.1. Kapalı Kabin Ölçme Düzeni

Bu düzen için ölçme ortamı olarak, K.T.Ü, Müh.-Mim. Fakültesi/Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü binasının ölçme bodrumu seçilmiştir. Boyutları, 47.60 x 5,65 x 2.70 m. olan bu hacim dış etkilerden (gürültü, ısı, titreşim v.b.) oldukça iyi bir şekilde korunmuştur. Deneye tabi tutulan nivolar bu bodrumun zeminine oynamaz bir şekilde yerleştirilen beton pilye nin üstündeki demir tablaya tesbit edilmişlerdir (Şekil 43).

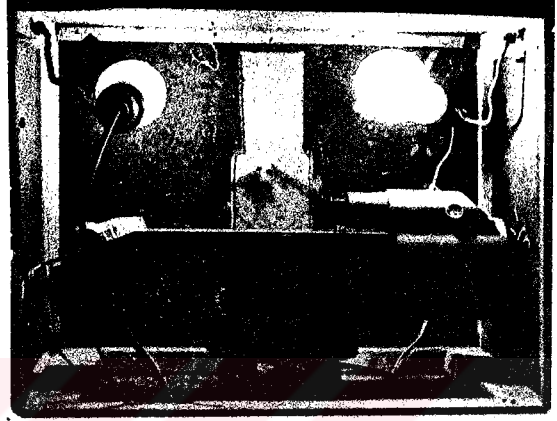


Şekil 43. Beton pilye (sayılar, cm, cinsinden boyutlardır)

Denenen nivoların her yanının homojen bir şekilde ısınmasını sağlamak için, bunların bir kapalı kutu içine yerleştirilmeleri yolu tercih edilmiştir. Bu maksatla pilyenin üst tablasının boyutlarına uygun büyüklükte, nivoların rahatça yerleştirilebileceği ebatlarda ve duralit levhadan izolasyonlu bir kutu (kabin) yapılmıştır (Şekil 44).



Şekil 44. Kabin



Resim 1. Kabinde Ni 1 (71034)

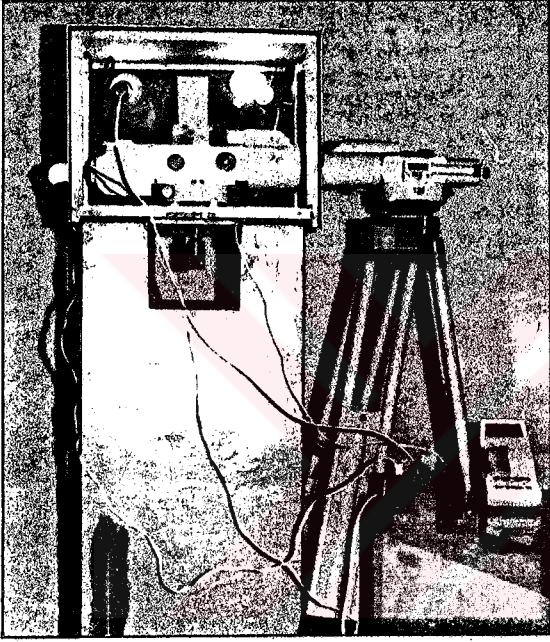
Kabinin karşılıklı iki dikey yüzünde, biri nivo objektifi, diğeri de nivo oküleri yüksekliğine ayarlanabilen iki adet daire şeklinde pencere açılmıştır. Objektif tarafındaki pencere, kabin içinde oluşabilecek aşırı hava akımını önlemek için özel bir camla (ince ve düzgün yüzeyli) kapatılmıştır. Oküler tarafındaki pencere ise, kıllar şebekesinin (kılağının) aydınlatılmasında kullanılan lâmbanın gözü rahatsız eden etkisini azaltmak ve dolayısıyla hedef işaretine iyi bir tatbik yapılmasını sağlamak gayesiyle sarı renkli cam filtre ile kapatılmıştır.

Nivoların ısıtılmasında toplam 135 Watt'lık iki akkor telli aydınlatma ampulü kullanılmıştır. Ampuller kabin içine, nivoların objektif ve okülerleri tarafına gelecek şekilde takılmışlardır (Resim 1).

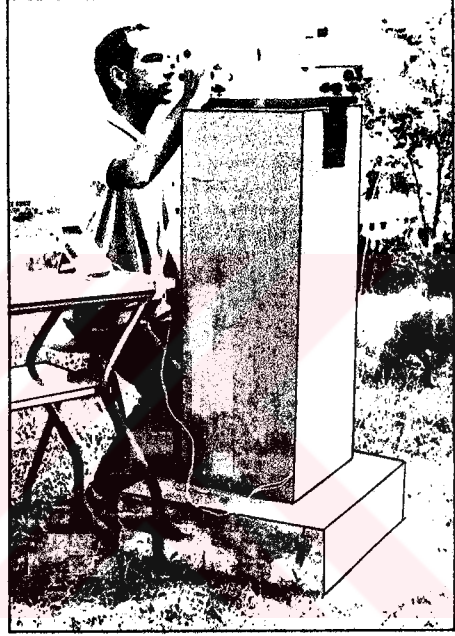
Alet sıcaklıklarının ölçülmesi için, alet üzerine ve kompensatörün bulunduğu kısma bir adet termistör yerleştirilmiştir.

Isıtılarak deneye tabi tutulacak olan nivo, kabin içerisine konularak pilye üzerindeki demir tablaya bağlama vidası tesbit edilir. İkinci nivo

kabin dışına, içerideki nivonun objektifi karşısına ve aynı yükseklikte olacak tarzda sağlam bir sehpa üzerine kurulmuştur. Bu sehpanın çarıkları zeminde açılan yuvalara yerleştirilmiş ve oynamamaları için etrafları çimento harcı ile kaynatılmıştır(Resim 2). Bu ikinci nivonun kıllar şebekesi, sonsuz uzaklıktaki bir hedef gibi kullanılarak, ısıtılan nivonun yöneltme ekseninin eğim değişimleri bu aletin objektifi önüne takılı olan Zeiss eğme kaması ile ölçülmüştür.



Resim 2. Kapalı kabin



Resim 3. Arazide pilye

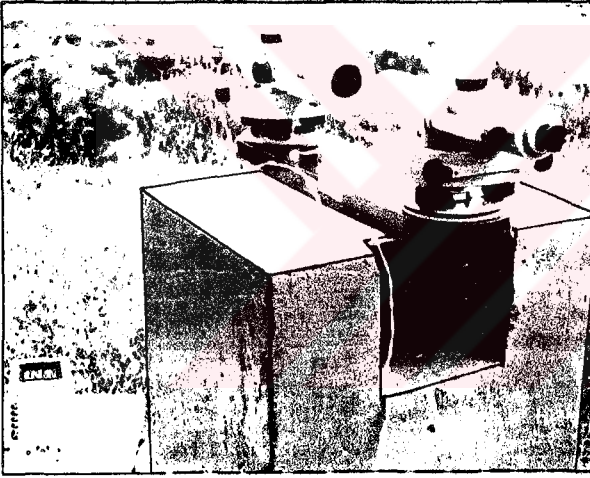
4.2.2. Açık Hava Ölçme Düzeni

Laboratuvarda kapalı kabin ölçmelerinden sonra, kompansatörlü nivoların yöneltme eksenlerinin, sıcaklık değişimleri karşısında açık havadaki davranışlarının tesbiti için açık hava ölçmeleri yapılmıştır.

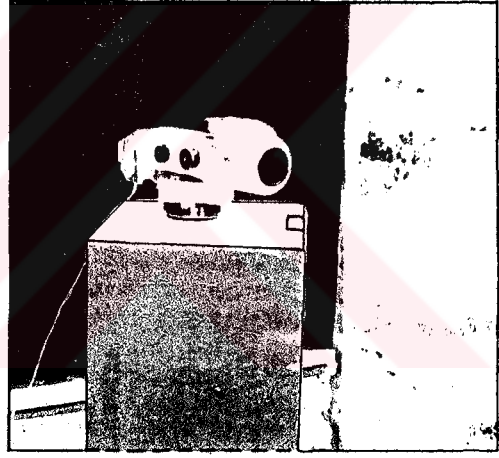
Bu maksatla jeodezi bölümünün kuzeyindeki arazi ölçme ortamı olarak seçilmiştir. Laboratuvarda kullanılan pilyenin benzeri, bu alanda seçilen bir noktada tesis edilmiştir(Resim 3). Açık havada deneye tabi tutulan nivolar pilyenin demir tablasına bağlama vidasıyla tesbit edilmişlerdir.

Açık havada yapılan deneysel ölçmelerde de, alet sıcaklıkları kapalı kabinde olduğu gibi termistör aracılığıyla ölçülmüştür, Buradaki düzende, bir adet Ni 1 (71034) ve iki adet Ni 2 deneye tabi tutulmuştur.

Zeiss Ni 2 (47848) nivosu pilye üzerine, vadi geçiş nivelmanında kullanılan özel tabla ile yerleştirilmiştir. Bu aletin karşısına ve aynı tabla üzerine, yine vadi geçiş nivelmanında kullanılan eğme kaması taşıyan diğer Ni 2 (101953) nivosu tesbit edilmiştir (Resim 4). Bu sistemde aletler karşılıklı kolimasyona getirilir ve bu yolla, sıcaklık değişimleri halinde nivoların yöneltme ekseni eğim değişimleri ölçülür. Eğme kaması yardımıyla bulunan eğim değerleri ikiye bölünerek bir alete ait yöneltme ekseni eğim değişimleri elde edilir (KAKKURI, 1969, 100).



Resim 4. Pilyede iki Ni 2

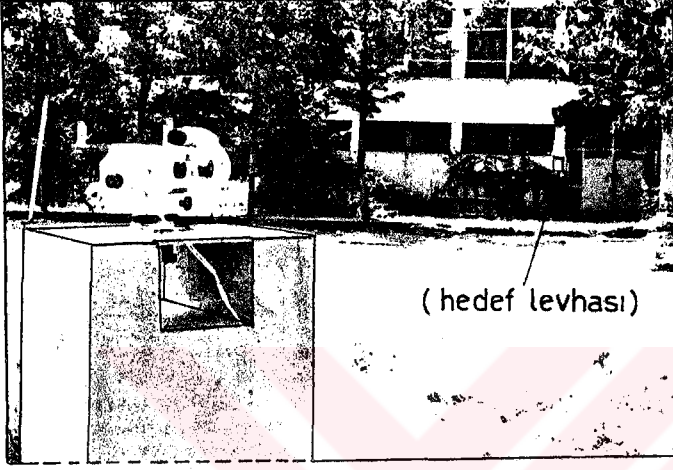


Resim 5. Pilyede Ni 1

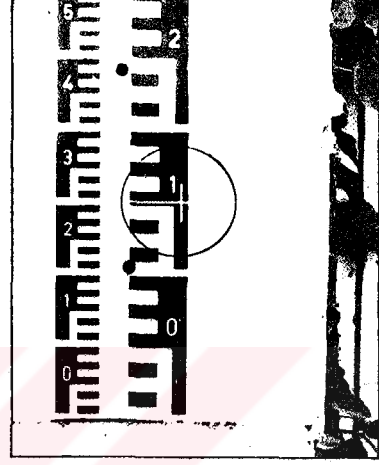
Açık havada deneye tabi tutulan Ni 1 nivosu da aynı beton pilye üzerine tek olarak konulmuştur (Resim 5). Bu alette sıcaklık değişmesi sebebiyle ortaya çıkan yöneltme ekseni eğim değişimlerinin ölçülmesi için, jeodezi bölümü binasının duvarına, pilye üzerindeki nivonun yüksekliğine eşit yükseklikteki bir yere özel bir işaret levhası çakılmıştır. Pilye ile hedef levhası arası, şerit metre ile (28.85 m.) olarak ölçülmüştür.

Yöneltme ekseni eğim değişimlerinin ölçülmesine başlanırken, nivonun kilağındaki yatay çizgi, nivonun objektifi önüne takılı olan paralelyüzlü cam mikrometre düzeni yardımıyla hedef levhasındaki özel işaretin ortasına

tatbik edilir(Resim 6, Resim 7). Sıcaklık değişiminin etkisiyle, nivonun yatay çizgisinin levhadaki işarettten sapma miktarı paralelyüzlü cam mikrometre ile 0.01 mm. incelikte elde edilir, Okunan bu değer ve pilye ile hedef levhası arasındaki uzaklıktan yararlanılarak, nivonun yöneltme ekseninin eğim değişimleri hesaplanır.



Resim 6. Ni 1 ve duvarda hedef



Resim 7. Hedef işareti

4.3. Ölçmelerin Yapılışı

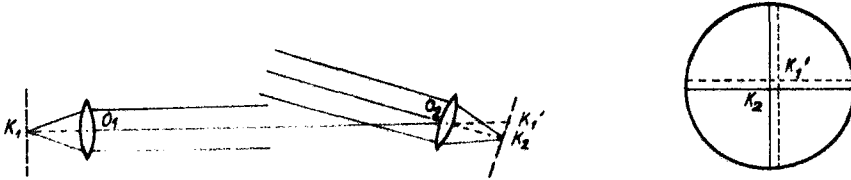
Araştırma düzenlerinde, bir önceki bölümde anlatıldığı gibi, yöneltme eksenini eğim değişimleri Zeiss eğme kaması ve paralelyüzlü cam mikrometre yardımıyla ölçülmüştür. Alet sıcaklıklarını hesaplamaya yarayacak olan termistör dirençleri ise, bir termistör ve bir elektronik direnç ölçme aleti(Fluke 8020 A-digital multimeter) ile tesbit edilmiştir. Ölçü anları bir kol saati ile belirlenmiştir. Önce karşılıklı kolimasyon veya hedef işaretine tatbik yapılmış ve hemen ardından termistör direnci ve ölçme zamanı okunmuştur. Kolimasyon değeri veya mikrometre sayısı okunarak diğer okumaların yazıldığı çizelgeye kaydedilmiştir.

4.3.1. Isıtılan Nivoların Yöneltilme Eksenlerinin Eğim Değişimlerinin Ölçülmesi

Bir önceki kısımda anlatıldığı gibi, nivoların yöneltilme eksenlerinin eğim değişimleri, karşılıklı kolimasyon durumunda Zeiss eğme kaması aracı ile ve paralelyüzlü cam mikrometre düzeninden yararlanılarak ölçülmüşlerdir.

a. Karşılıklı Kolimasyon Durumu ve Eğme Kaması İle Eğim Ölçümü

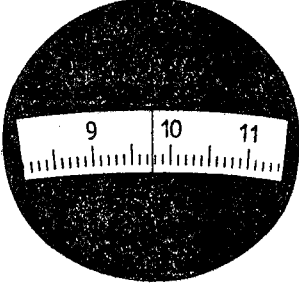
Isıtılan nivo ile, kabin dışında objektifinin önüne Zeiss eğme kaması takılı olan nivolar birbirlerine yöneltilir. Kabindeki nivonun görüntü netleştirme vidası, dürbün sonsuza ayarlanacak yönde sonuna kadar döndürülür. Kabinin dışında ve oküler tarafında bulunan lamba ile ısıtılan nivonun kıllar şebekesi aydınlatılır. Kabin dışındaki ikinci nivonun netleştirme vidası, kabin içindeki nivonun aydınlatılmış olan kıllar şebekesi görülünceye kadar yavaşça çevrilir. Böylece her iki nivonun kıllar şebekesi çizgileri yanyana görülür. Bu işlem karşılıklı kolimasyon için bir ön hazırlık olarak yapılır(Şekil 45). Bundan sonra eğme kamasının vidası döndürülerek K_1 ve K_2 çizgileri üst üste çakıştırılarak iki nivonun yöneltilme eksenleri paralel hale getirilmiş olur. Bu hale nivoların karşılıklı kolimasyon durumu denilir.



Şekil 45, Karşılıklı kolimasyon durumu

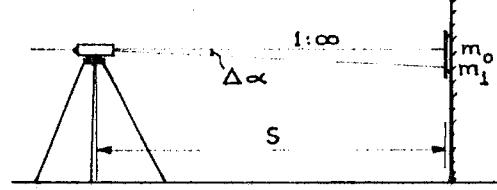
Karşılıklı kolimasyon durumu sağlandıktan sonra, Zeiss eğme kamasının skalasından kolimasyon değeri okunur. Bu değer, ısıtılan nivonun yöneltilme ekseninin eğim değişimlerinin hesaplanmasında başlangıç değeri olarak alınır(Şekil 46). Isıtmada kullanılan lambalar yakılınca kabin içindeki nivo ısınır ve kolimasyon durumu bozulur. Eğme kamasının vidası döndürülerek kolimasyon yeniden sağlanır ve skala üzerinden kolimasyon değeri okunur. İlk kolimasyon değeri ile bu değerlerin farkı (2") ile çarpılarak, ısınan nivonun yöneltilme ekseninin eğiminin değişme miktarı bulunur.

Zeiss eğme kamasının eğim açısı ölçme kapasitesi, aletin katalogunda, düşey doğrultuda $\pm 200''$ olarak verilmiştir. Eğme kamasının skalasında bir bölüm $2''$ lik bir eğim açısına karşılıktır. Bir bölümün de $0.1''$ i tahmin edilerek $0.2''$ inceliğinde eğim açısı elde edilmiş olur(Şekil 46).



Okuma:
97.7

Şekil 46, Zeiss eğme kamasının skalası



Şekil 47, Paralelyüzlü cam mikrometre ile eğim ölçümü

b. Paralelyüzlü Cam Mikrometre Düzeni İle Eğim Ölçümü

Bunun için nivonun kilağının yatay çizgisi hedef işaretine tatbik edilir ve mikrometre değeri okunur. Nivonun ısınması sonucu, kilağının yatay kılı işaretten ayrılır. Mikrometre vidası döndürülerek tatbik yeniden yapılır ve yine mikrometre değeri okunur. Okunan bu iki değer m_0 ve m_1 ile, nivonun asal ekseninden dedef levhasına olan uzaklık s ile gösterilirse, yöneltme ekseninin eğim değişikliği,

$$\Delta\alpha = \frac{m_1 - m_0}{s} \rho \quad (4.1)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Ni 1'in paralelyüzlü cam mikrometresinin okuma inceliği daha önce de açıklandığı gibi 0.01 mm. mertebesindedir.

4.3.2. Alet Sıcaklıklarının Ölçülmesi

Bu araştırmada ortam sıcaklığı yerine alet sıcaklıklarının ölçülmesinin tercih edildiği açıklanmıştır. Sıcaklıkların ölçülmesinde, sıcaklık ile dirençleri hassas olarak değişen elemanlar olan(negative temperature coefficient) termistör kullanılmıştır. Termistörün ölçme anlarındaki sıcaklıklara karşılık gelen direnç değerleri, termistörün uçlarına bağlanan

elektronik dijital multimetre(Fluke, 8020 A) ile Ohm cinsinden ölçülmüştür. Bu alet ile dirençler ± 0.2 ile ± 0.3 Ohm inceliğinde ölçülebilmekte ve okumalar aletin ekranından dijital olarak yapılmaktadır(Resim 8).



Resim 8
Dijital multimetre

- Direnç Değerlerinden Sıcaklıkların ($^{\circ}\text{C}$) Cinsinden Hesaplanması:

Sıcaklıkların ölçülmesinde kullanılan termistör, Fenwal Electronic Ltd. firmasının "UNI-CURVE UUD 21J1" isimli termistörüdür. Bu termistör için ± 0.5 $^{\circ}\text{C}$ inceliğindeki sıcaklıklara karşılık gelen direnç değerleri imalatçı firma tarafından tablo halinde verilmiştir, Tablonun hesaplanmasında,

$$R_o(T_1) / R_o(T_2) = e^{\beta(1/T_1 - 1/T_2)} \quad (4.2)$$

bağıntısı kullanılmıştır. Bu bağıntıda; $R_o(T_1)$, $T_1(^{\circ}\text{K})$ sıcaklığındaki direnci, $R_o(T_2)$, $T_2(^{\circ}\text{K})$ sıcaklığındaki direnci, β termistörün yapıldığı malzemeye ait katsayıyı ve e de tabii logaritma tabanını temsil etmektedirler(BANGER,1978,64). Tablonun verdiği incelik ölçmeler için yeterli bulunmamıştır. Ayrıca termistörün tabloda verilen değerlere uyup uymadığının da kontrol edilmesi gereklidir. Bunun için de sıcaklığı ± 0.01 $^{\circ}\text{C}$ inceliğinde tesbit edilebilen en az iki baz sıcaklığı gerekmektedir. Bu baz sıcaklıkların elde edilmesi zor olduğundan, termistör dirençlerine karşılık gelen sıcaklıkların hesaplanması için, deneysel yoldan (4.2) ye benzer bir bağıntının bulunması yoluna gidilmiştir.

Bu maksatla bir termostat düzeneği yapılarak, 0 $^{\circ}\text{C}$ tan başlayan ve 0.1 $^{\circ}\text{C}$ incelikte tesbit edilen sıcaklıklara(bu sıcaklıklar 1 $^{\circ}\text{C}$ bölümlü ci-valı termometre ile ölçüldü) karşılık gelen termistör direnç değerleri dijital multimetre ile okunmuştur. Bu işlem kullanılan termistör için, 0 $^{\circ}\text{C}$

ile 50 °C arasında 20 kere tekrarlanmıştır. Ölçü değerlerinin üstel fonksiyonlar ile yapılan dengelenmesi sonunda, ölçü çiftlerini en iyi dengeleyen fonksiyonun (4.2) ye benzer,

$$T = - 273.16 + \frac{B}{\ln R - \ln A} \quad (4.3)$$

fonksiyonu olduğu görülmüştür. Bu bağıntıda;

- T : °C cinsinden sıcaklığı,
R : Ohm (Ω) cinsinden termistör direncini,
A, B : Termistöre ait katsayıları gösterirler.

Kullanılan termistöre ait katsayılar,

$$B = 3142.3752$$

$$- \ln A = 5.6625$$

$m = \pm 0.05$ °C (bir ölçünün karesel ortalama hatası) olarak elde edilmişlerdir.

Ölçmelerde elde edilen direnç değerlerine karşılık gelen alet sıcaklıkları (4.3) bağıntısından, yukarıda bulunan katsayılar kullanılarak °C cinsinden hesaplanmışlardır,

5. ÖLÇÜLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmada dört ayrı firmaya ait 10 adet nivo deneye tabi tutulmuştur(bakınız bölüm 4.1). Bu aletlerden bir kısmı hem ısınma ve hem de soğuma durumlarında denenmiş ve gerekli ölçmeler yapılmıştır. Bu aletlerden üçü ayrıca açık havada güneş altında, ısınma halinde denenmiş ve yöneltme eksenlerinin eğim değişimleri ölçülmüştür.

Her alet için aynı sıcaklıkta başlayan ve 10 diziden oluşan ölçmeler yapılmıştır. Her ölçme dizisi yaklaşık sayıda ölçmeden(gözlemeden) meydana gelmiş ve gözleme süreleri laboratuvarında ortalama 1 saat 50 dakika, açık havada ise yine ortalama olarak 1 saat 40 dakika kadar olmuştur.

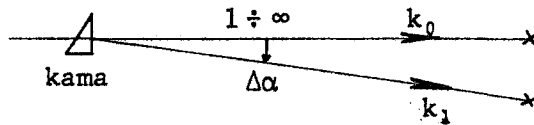
Ölçü dizilerinin başlangıç sıcaklık değerleri aletten alete farklıdır. Bunun sebebi, ölçülerin farklı tarihlerde yapılmış olmasıdır. Yalnız açık hava ölçmeleri, denenmiş üç alet için yaklaşık aynı başlangıç sıcaklığına sahiptirler.

5.1. Ölçülerin Hassasiyet Yönünden İncelenmesi

Nivoların yöneltme eksenlerinin eğim değişimlerinin ölçülmesi (4.3.1) de anlatılmıştır. Herhangibir sıcaklık değerine karşılık olan eğim açısı, k_0 ve k_1 gibi iki mikrometre okumasının farkı olarak Şekil 47'den,

$$\Delta\alpha = k_0 - k_1 \quad (5.1)$$

eşitliğiyle elde edilir,



Şekil 47, Eğme kaması ile eğim açısı ölçme

Zeiss eğme kamasının mikrometresinin okuma inceliği (4.3.1)'de 0.2" olarak verilmişti. Ancak bir mikrometre okuması, skalada yapılan tahmin ve hedefe yapılan çakıştırma sonucunda tesbit edilir. Dolayısıyla mikrometre okuması bu iki işlemde yapılan hatalarla yüklü olur. Bir mikrometre okumasının ortalama hatasının tesbiti için, eğme kaması ile sabit sıcaklıkta ve karşılıklı kolimasyon durumunda her defasında yeniden çakıştırma yapmak suretiyle 10 okuma yapılmıştır (ölçme dizisi sayısı kadar). Bu ölçülerden bir mikrometre okuması k 'nin ortalama hatası $m_k'' = \pm 0.23''$ olarak bulunmuştur.

Eğim açısı iki mikrometre okumasının (iki ölçünün) farkı olduğuna göre, (5.1) eşitliğinden eğim açısının ortalama hatası,

$$m_{\Delta\alpha}'' = m_k \sqrt{2} \rightarrow m_{\Delta\alpha}'' = \pm 0''.3$$

bulunur. Paralelyüzlü camlı mikrometre ile eğim açısı ölçmenin ortalama hatası da yukarıda verilen değere yakın hesaplanmıştır.

Sıcaklıkların ölçülmesinde bir ölçünün ortalama hatası (4.3.2)'de, $m_t = \pm 0.05$ °C olarak bulunmuştu. Bu değer pratik olarak sıfır alınabileceğinden, sıcaklık okumaları (sıcaklıklar) hatasız olarak işleme sokulmuştur.

5.2. Sıcaklık Etkisiyle Nivoların Yöneltilme Eksenlerinin Eğim Değişimlerinin Polinomlarla İfade Edilmesi

Ölçü sonuçlarının bir ön değerlendirilmesi ve grafik olarak çizimleri yapılarak, yöneltilme eksenini eğiminin sıcaklıkla değişiminin aletten alete farklı olduğu görüldü. Sıcaklık-eğim değişimi ilişkisinin 1.ci ve 2.ci dereceden polinomlarla ifade edilmelerinin yeterli olacağına karar verildi. Bazı aletlerin yöneltilme eksenini eğim değişimleri içinde kısmen ve bazılarında ise tamamen eksi(-) değerler olduğundan, ölçme sonuçlarının dengelenmesinde logaritmik olmayan polinomlar kullanılmıştır.

Denenen her aletin ısıtılmaya başlandığı sıcaklığa karşılık gelen yöneltilme eksenini yatay kabul edilmiş ve eğim değeri de sıfır(0) olarak alınmıştır. Aletlerin deneye tabi tutuldukları sıcaklık sınırları içindeki yöneltilme eksenini eğim değişimlerini, sıcaklığa bağlı olarak ifade eden ve

$\Delta d' = f(t)$ ile gösterilen fonksiyonlar, en küçük kareler metoduna göre;

$$\begin{aligned}\Delta\alpha_1 &= a + bt \\ \Delta\alpha_2 &= a + bt + ct^2\end{aligned}\quad (5.2)$$

polinomları şeklinde KTÜ, IBM-4341'de hesaplanmışlardır. Hesaplama sonunda katsayılar, katsayıların ortalama hataları, bir ölçünün ortalama hatası ve korelasyon katsayısı elde edilmiştir. Ayrıca katsayıların (a, b, c) istatistik açıdan t-testi ile irdelenmesinde kullanmak üzere, katsayıların T-test değerleri ve T-tablo değeri de hesaplanmıştır. Katsayıların T-testi sonucuna ve bir ölçünün ortalama hatasına göre en uygun dengeleyici polinomun seçimi yapılmıştır. Hesaplamalarda istatistik güven alanı S = %95 alınmıştır.

5.3. Polinomların Katsayılarının T-testi İle " Büyüklüklerinin Anlamlılığının " Kontrolü

Dengeleme sonunda katsayılar için B kesin değerleri ile m_B karesel ortalama hataları hesaplanır. Bir katsayının B kesin değerinin olması gereken \bar{B} ümit değeri bilinirse,

$$T = \frac{B - \bar{B}}{m_B}$$

den hesaplanan T-test değeri (kontrol büyüklüğü) yardımı ile B'nin \bar{B} ' den olan sapması bulunabilir. Kontrol büyüklükleri t dağılımına sahip olduğundan, gerekli olan t_s kritik değerleri, seçilen S istatistik güven sınırları ve f-serbestlik derecesi sayılarına göre bir t-tablosundan alınır.

$\bar{B} = 0$ alınarak, katsayılar ve bunların ortalama hataları m_B ile,

$$T = \frac{B}{m_B}$$

den, katsayıların T-test değerleri hesaplanır. Bu değerler T-tablo değeri (t_s) ile karşılaştırılır ve,

$$- t_s < T < t_s$$

olması halinde sıfır hipotezi kabul edilir. Yani, hesaplanan bu katsayının

istatistik açısından önemli büyüklükte olmadığı ve hesaba katılmayabileceğine karar verilir. Bu hal, ileride dengeleyen fonksiyonların katsayılarının verildiği tablolarda "hipotez kabul" yazısıyla belirtilecektir. Hipotezin reddedilmesi halinde ise, katsayının istatistik yönden anlamlı büyüklükte olduğu yani sıfır olarak alınamayacağına hükmedilir. Bu durum da, ileride verilecek olan katsayılar tablolarında "hipotez red" yazısı ile açıklanacaktır.

Bu test aynı zamanda bir ölçünün ortalama hatası m_0 'ın da dikkate alınmasıyla, ölçüleri en iyi dengeleyen polinomun derecesinin belirlenmesinde kullanılacaktır.

Bundan sonraki alt bölümlerde, deneye tabi tutulan aletlere ait ölçme sonuçları, aletlere göre ayrı ayrı değerlendirilecek ve hesaplanan polinomlara ait bilgiler tablolar halinde verilecektir.

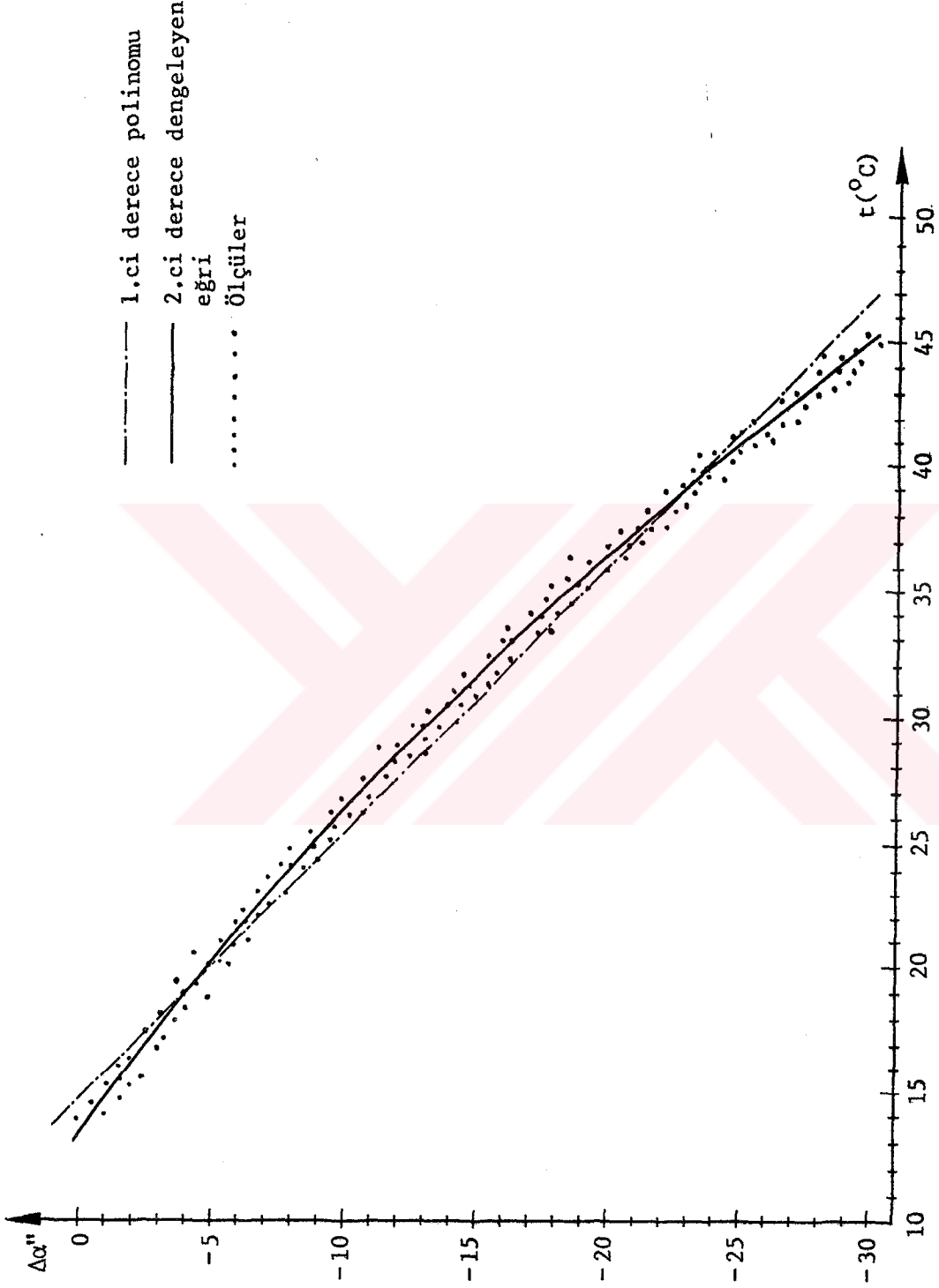
5.4. Ni 1 (71034)'e Sıcaklık Değişiminin Etkisi

Bu nivo laboratuvarında ısınma ve soğuma, arazide ise yalnız ısınma durumlarında denenmiştir. Bu yolla farklı ortamlarda yöneltme ekseninin sıcaklık değişimleri karşısındaki tepkisi gözlenmiş, elde edilen ölçme sonuçlarına ortamların etkisinin olup olmadığının tesbitine çalışılmıştır.

5.4.1. Ni 1 (71034)'e Laboratuvarında Sıcaklık Artışının Etkisi

Alet laboratuvarında 14°C 'tan başlayıp 45°C 'a kadar ısıtılmıştır. Bu işlem 10 dizi halinde yapılmış ve elde edilen ölçüler dengelenerek hesaplanan polinomların katsayıları, katsayıların ortalama hataları, bir ölçünün ortalama hatası ve korelasyon katsayısı(% olarak) Tablo 3'te verilmiştir.

(5.3)'e uygun olarak yapılan t-testine göre bütün katsayılar için hipotez reddedilmiştir. Yani, 1.ci ve 2.ci dereceden polinomların bütün katsayılarının anlamlı olduğu, başka bir deyişle, sıfır alınamayacakları sonucuna varılmıştır. Dengeleyen eğri olarak, en küçük ortalama hataya(m_0) sahip olan 2.ci derece polinomu alınmıştır. Bir kısım ölçü değerleri ve hesaplanan 1.ci ve 2.ci derece polinomların grafikleri Şekil 48' de gösterilmiştir.



Şekil 48. Ni 1 (71034), laboratuvarında ısınma halinde ölçülerden bir kısmı ve dengeleyen polinomlar.

Bu nivoda, 14 °C ile 25 °C arasında yöneltme eksenini eğim değişimi oranını 0".67/1 °C mertebesinde olmaktadır. 25 °C ile 45 °C arasında ise eğim değişimi 1"/1 °C oranındadır. 2.ci derece eğrisinin dönüm noktası olarak alınabilecek olan $t = 25$ °C daki teğetin eğimi (- 0.8734) kadar hesaplanır. Birinci derece dengeleyen doğrunun eğimi ise Tablo 3'te (- 0.9357) olarak verilmiştir.

5.4.2. Ni 1 (71034)'e Laboratuvar Sıcaklık Azalmasının Etkisi

Nivo laboratuvarında kabin içinde ısınmaya terk edilmiş ve yüzey sıcaklığı $t = 48$ °C civarına yükselince ısı kaynağı kapatılarak soğuma halinde ölçmeler yapılmıştır. Ölçüler en düşük laboratuvar sıcaklığı olan 18 °C'a göre düzenlenerek dengelenmişlerdir. Dengeleme sonunda hesaplanan polinomların katsayıları, katsayıların ortalama hataları, bir ölçünün ortalama hatası ve korelasyon katsayısı (% olarak) Tablo 3'te verilmiştir.

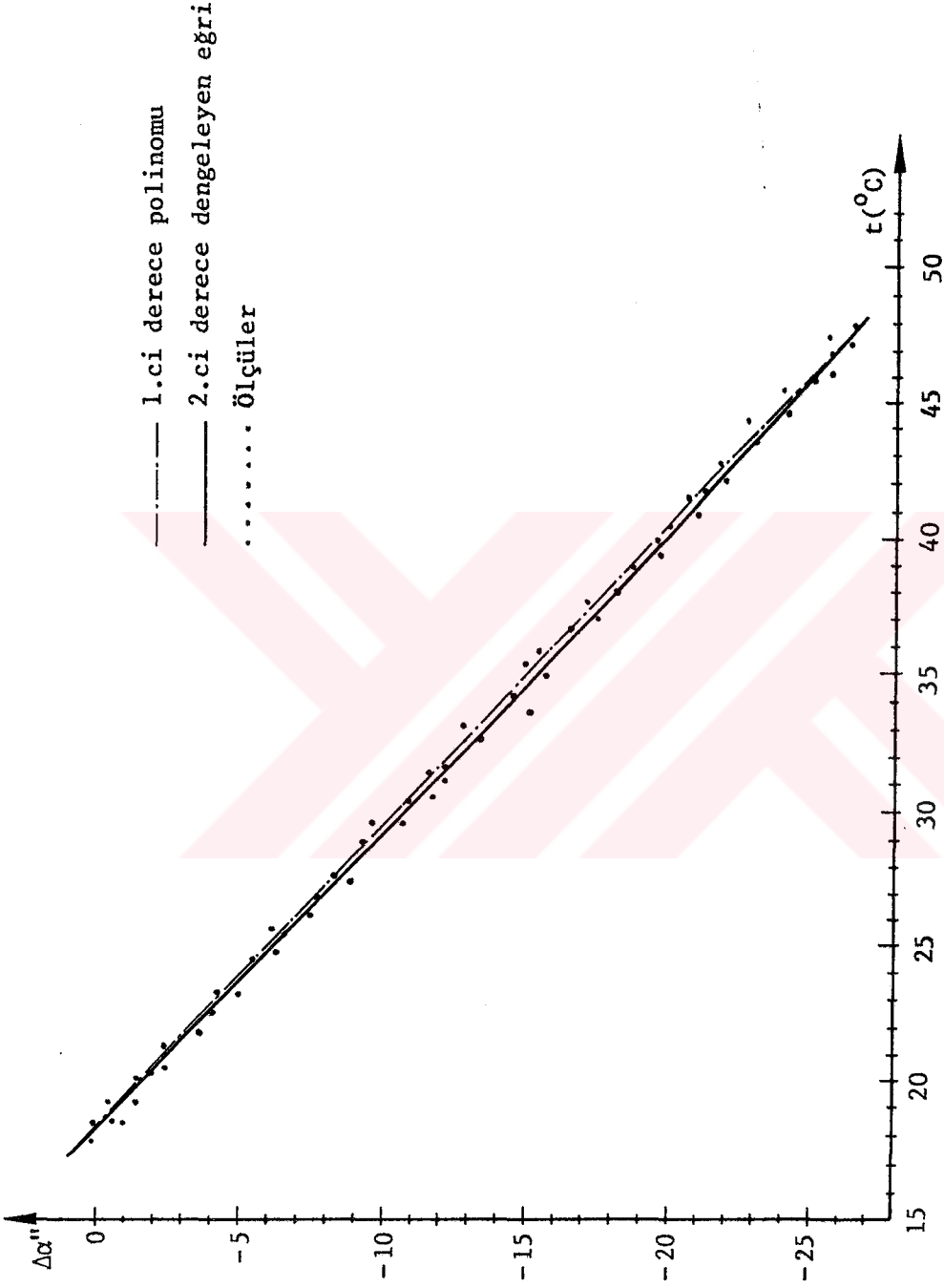
Burada da (5,3)'e uygun olarak t-testi yapılmış ve bütün katsayılar için hipotez reddedilmiştir. Buna göre 1.ci ve 2.ci derece polinomların bütün katsayıları anlamlı büyüklükte dirler, sıfır olarak alınamazlar.

Her iki derece polinom için bir ölçünün ortalama hatası (m_0) yaklaşık olarak aynı büyüklükte dir. Maksada göre iki polinomdan biri dengeleyen eğri olarak alınabilir. Ölçü değerlerinden bir kısmı ve hesaplanan polinomlar Şekil 49'da grafik olarak gösterilmiştir.

Aletin 47 °C'tan 18 °C'a kadar soğuması halinde; lineer eğim değişimi 0".91/1 °C oranında olmaktadır. Birinci derece doğrunun eğimi (- 0.8931) dir. 2.ci derece dengeleyen eğrinin $t = 30$ °C (soğuma halinde sıcaklık sınırlarının orta değeri) için teğetin eğimi (- 0.8996) olarak hesaplanır. Bu miktarlar yukarıda ısınma hali için verilen dengeleyen polinomların eğimlerine yakın değerlerdir.

5.4.3. Ni 1 (71034)'e Açık Havada Sıcaklık Artışının Etkisi

Açık hava ölçmeleri, Temmuz Ayı'nda 25 °C'tan başlayıp günün en yüksek sıcaklık derecesi olan 36 °C'a çıkana kadar yaklaşık 100 dakika süren bir ölçme zamanında yapılmıştır.

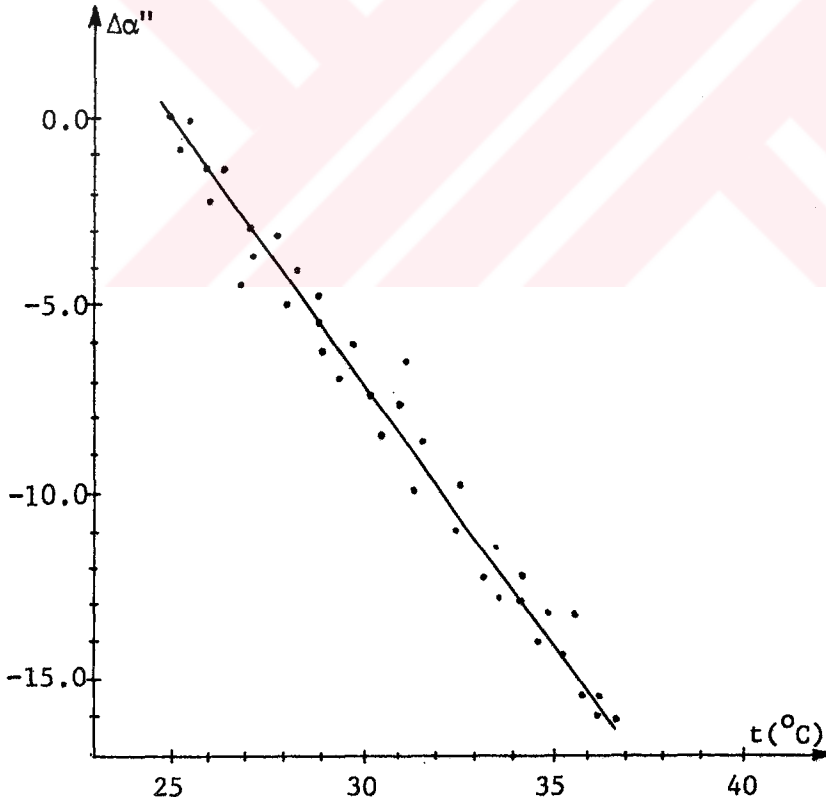


Şekil 49. Ni I (71034), laboratuvarda soguma halinde ölçülerden bir kısmı ve dengeleyen polinomlar

Ölçüler $t = 25.5$ °C'a göre düzenlenmiş ve dengelenerek 1.ci ve 2. ci derece polinomlar hesaplanmıştır. Polinomların katsayıları, katsayıların ortalama hataları, bir ölçünün ortalama hatası ve (% olarak) r korelasyon katsayısı yine Tablo 3'te verilmiştir.

(5.3)'e göre yapılan t-testi sonunda, 2.ci derece denklemin c katsayısı için hipotez kabul, diğer katsayılar için hipotez reddedilmiştir. Her iki derece için bir ölçünün ortalama hatası (m_0) da çok yaklaşıklıkla eşit olduğundan, 1.ci derece polinom dengeleyici doğru olarak alınmıştır.

Açık hava ölçmelerinde 25.5 °C ile 36 °C arasında yöneltme ekseni eğim değişimi, $1''.45/1$ °C oranında tesbit edilmiştir. Dengeleyici doğrunun eğimi Tablo 3'te (-1.3809) olarak verilmiştir. Bir kısım ölçü değerleri ve dengeleyen doğru Şekil 50'de grafik halinde gösterilmiştir.

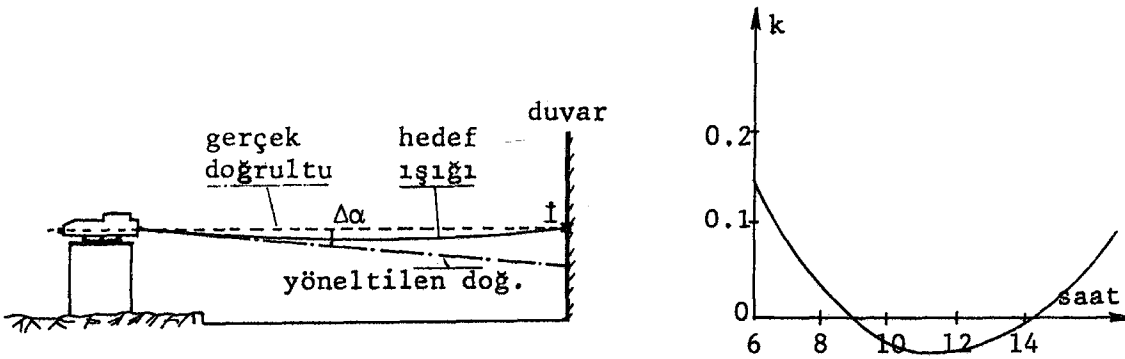


Şekil 50. Ni 1 (71034), Açık hava ölçüleri ve dengeleyen doğru

Şekil 48 incelendiğinde, yöneltme ekseninin eğiminin sıcaklıkla değişiminin, aletin ayar sıcaklığına yakın olan $t=25^{\circ}\text{C}$ 'tan sonra hızla arttığı görülür. Eğim değişiminin $14-25^{\circ}\text{C}$ aralığında $0''.67/1^{\circ}\text{C}$ oranında olmasına karşılık, $25-45^{\circ}\text{C}$ aralığında $1''/1^{\circ}\text{C}$ oranına yükselmesi aşağıdaki gibi izah edilebilir;

Bu aralıkta alet yüzey sıcaklığı (bu çalışmada yüzey sıcaklığı ölçülebilmiştir) alet içinin sıcaklığından fazladır, dolayısıyla eğrinin eğilmesi bu aralıkta azdır, 25°C 'tan sonra ise alet iç sıcaklığı yüzey sıcaklığına yaklaşır ve eğrinin eğimi bir miktar artar. Diğer taraftan, aletin soğuma ölçülerine ait olan Şekil 49'un tetkiki de bu izahı doğrular. Verilen Tablo 3 ve Şekil 49'un tetkikinden ayrıca, soğuma halinde yöneltme ekseninin eğim değişiminin lineer olduğu görülür.

Açık hava ölçüleri sonunda yöneltme ekseninin eğim değişimi $1''.4/1^{\circ}\text{C}$ oranında tesbit edilmiştir. Bunun sebebi, güney-batı yönüne yöneltilen aletin tek taraflı ısınmadan ileri gelen bir fazladan eğilmesi ve atmosferik refraksiyon olabilir. Bu ölçüde alet ile hedef levhası arası 28.85 m .dir ve hedef ışını beton bir zemin üzerinden yaklaşık 1.40 m . yüksekten geçerek alete girmektedir (Resim 6), ölçüler 8-12 saatleri arasında yapılmıştır. Bu saatlerde ise, ışık yolu eğriliği yer eğriliğinin ters yönünde olmaktadır (BANGER, 1978, 108). Ve yine bu saatlerde, k refraksiyon katsayısının değişimi lineer alınabilir. Şekil 51'de bu iki hal gösterilmiştir (BANGER, 1978, 109).



Şekil 51. Işık yolu eğriliği ve k refraksiyon katsayısı değişimi

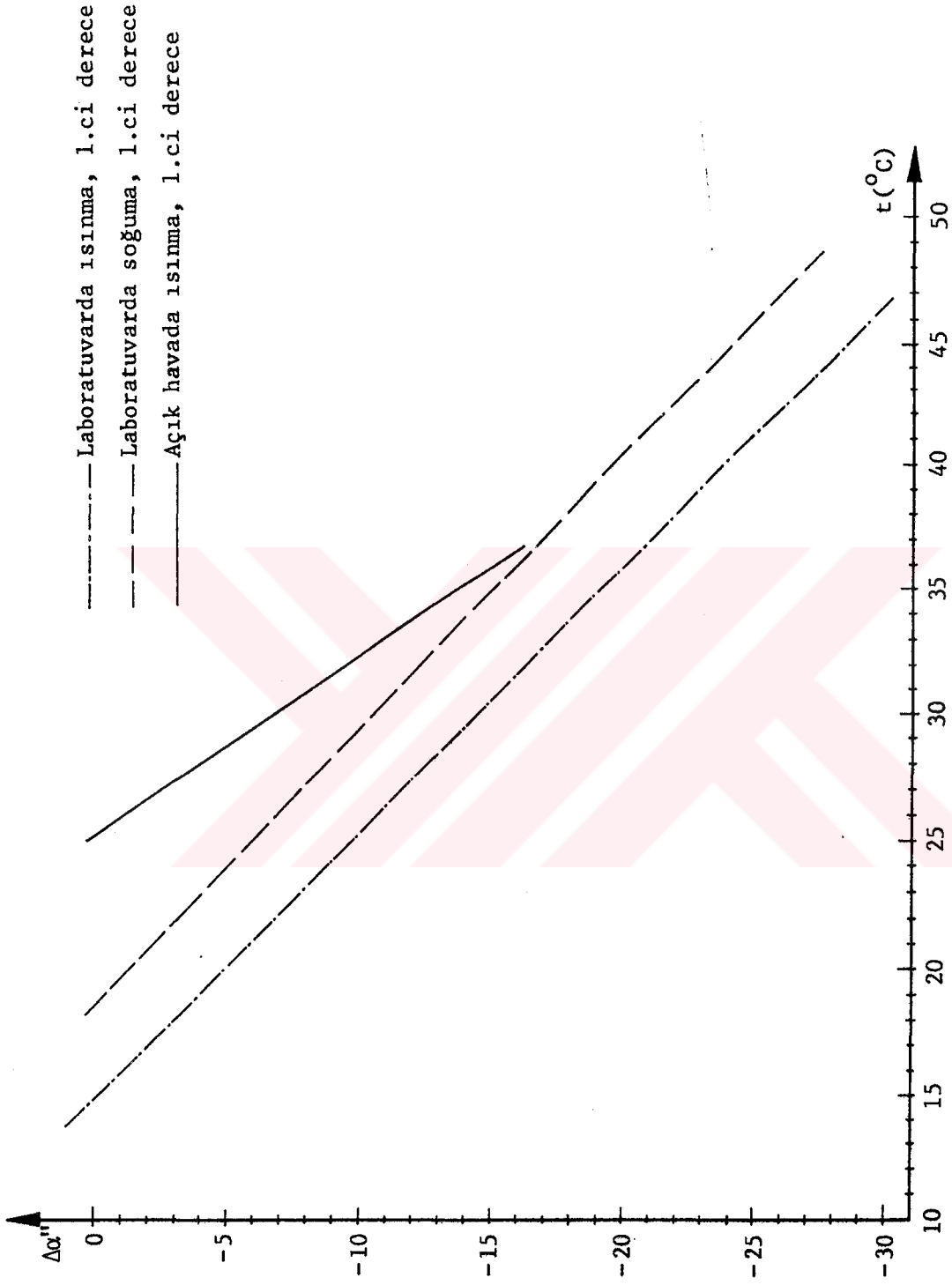
(i , duvardaki hedef işaretidir)

Şekil 51'in incelenmesi sonunda, aletin yöneltme ekseninin, eğri hedef ışığının aletin objektifine girdiği yerdeki teğeti yönünde olduğu görülür. Bu durumda aletin yöneltme eksenini gerçek doğrultudan $\Delta\alpha$ açısı kadar fazla eğilmiş olur. Bu sebepten Ni 1 ile yapılan açık hava ölçmelerinde, yöneltme ekseninin eğim değişimi, laboratuvar ölçmelerine göre fazla olmuştur. Laboratuvar ölçmelerinde denenen alet ile hedef alet karşılıklı kolimasyon durumundadır ve iki aletin objektifleri arasında ancak 5 cm.lik kararsız olmayan bir hava tabakası vardır.

Ni 1 (71034) ile yapılan üç ayrı durumdaki ölçmeleri dengeleyen polinomlar Şekil 52'de gösterilmiştir.

Deneme hali	$f(t) = \Delta\alpha = a + bt$			$f(t) = \Delta\alpha = a + bt + ct^2$			
	m_0^r t-tablo	a m_a	b m_b	m_0^r t-tablo	a m_a	b m_b	c m_c
Laboratuvar Isınma	± 0.70	13.7722 ± 0.0980	-0.9357 ± 0.0032	± 0.33	7.3667 ± 0.1552	-0.4334 ± 0.0117	-0.0088 ± 0.0002
	%99.37 1.96	Hipotez red	Hipotez red	1.96	Hipotez red	Hipotez red	Hipotez red
Laboratuvar Soğuma	± 0.37	16.0909 ± 0.0859	-0.8931 ± 0.0025	± 0.33	16.9570 ± 0.2968	-0.9536 ± 0.0193	0.0009 ± 0.0003
	%99.84 1.97	Hipotez red	Hipotez red	1.97	Hipotez red	Hipotez red	Hipotez red
Açık Havada Isınma	± 0.32	34.4131 ± 0.2704	-1.3809 ± 0.0087	± 0.33	37.1619 ± 2.6828	-1.5635 ± 0.1776	0.0030 ± 0.0029
	%99.58 1.98	Hipotez red	Hipotez red	1.98	Hipotez red	Hipotez red	Hipotez kabul

Tablo 3. Ni 1 (71034) ile yapılan üç ayrı deneye ait ölçüleri dengeleyen fonksiyonların katsayıları(a, b, c), katsayıların ortalama hataları(m_a, m_b, m_c), bir ölçünün ortalama hatası(m_0), korelasyon katsayısı(r) ve katsayıların t-test sonuçları.



Şekil 52. Ni 1 (71034) ile yapılan üç ayrı haldeki deney ölçülerini dengeleyen polinomların grafikleri (kıyaslama için 1.ci derece polinomlar çizilmiştir).

5.5. Ni 2 Nivolarına Sıcaklık Değişiminin Etkisi

Araştırmanın bu kısmında, pratikte uzun zamandanberi kullanılan iki adet Ni 2 nivosu denenmiştir. Bunlardan biri Zeiss vadi geçiş nivelmanı ekipmanına ait Ni 2 (101953), diğeri de bununla aynı tip kompensatöre sahip Ni 2 (47848)'dir.

5.5.1. Ni 2 (101953)'e Sıcaklık Değişiminin Etkisi

Bu nivo laboratuvarında kabin içinde, 17 °C'tan 45 °C'a kadar sıcaklık artışı altında ısınma durumunda ve yine yaklaşık 45 °C'tan 15 °C'a kadar da sıcaklığın azalması halinde deneye tabi tutulmuştur.

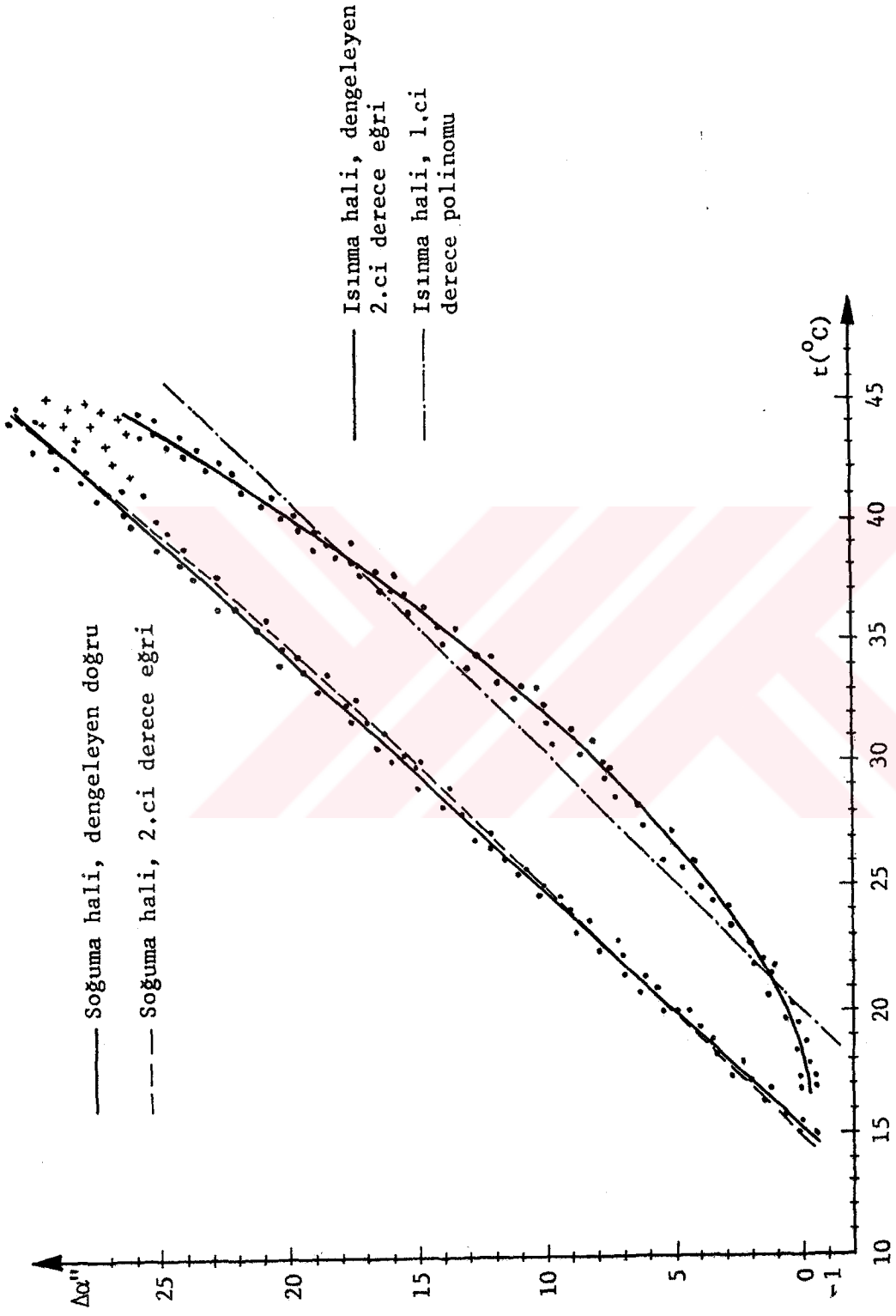
5.5.1.1. Ni 2 (101953)'e Sıcaklık Artışının Etkisi

Isınma halinde ölçmeler, 17 °C'tan başlamak üzere 10 kere tekrarlanmış ve yöneltme eksenini eğim değişimleri, başlangıç sıcaklığına karşılık olan yöneltme eksenini eğimi sıfır kabul edilerek düzenlenmişlerdir. Ölçü değerleri dengelenmiş ve hesaplanan polinomların katsayıları, katsayıların ortalama hataları, bir ölçünün ortalama hatası ve korelasyon katsayısı (r) Tablo 4'de verilmişlerdir.

Katsayıların büyüklüklerinin anlamlılığı (5.3) uyarınca t-testine göre irdelenmiştir. En küçük ortalama hataya sahip 2.ci derece dengeleyen eğrinin a katsayısı için, $t = 1.913 < t_g = 1.965$ olduğundan hipotezin kabul şartı ortaya çıkmıştır. Yalnız bu iki değer arasında büyük farklılık olmadığından eğrinin şekli korunmuştur. Çünkü test sonucuna göre, $a = 0.27 \approx 0$ alınırsa, dengeleyen eğri yaklaşık $\Delta\alpha = 0''.3$ kadar kaymış olur. Bir kısım ölçüler ve dengeleyen polinomlar Şekil 53'de grafik olarak görülmektedir.

5.5.1.2. Ni 2 (101953)'e Sıcaklık Azalmasının Etkisi

Aletin sıcaklık artışı halindeki gözlemelerin bitişinden hemen sonra ve ayrıca soğuma halinde ölçmeler yapılmıştır. $t = 15$ °C'daki yöneltme eksenini eğimi sıfır alınarak ölçme sonuçları değerlendirilmiştir. Hesaplanan dengeleyici 1.ci ve 2.ci derece denklemlerin katsayıları, katsayıların ortalama hataları, bir ölçünün ortalama hatası ve korelasyon katsayısı (%r)



Şekil 53. Ni 2 (101953), laboratuvarında ısınma ve soğuma hali ölçülerinden bir bölümü ve dengeleyen polinomların grafikleri.

Tablo 4'de verilmiştir. Polinomların katsayıları yine (5,3)'e göre test edilmiş ve bütün katsayılar için hipotez reddedilmiştir. Dengeleyici eğri olarak 1.ci derece denklemi alınmıştır. Bir kısım ölçü değeri ve dengeleyen eğriler Şekil 53'de grafik şeklinde gösterilmişlerdir.

Deneme hali	$f(t) = \Delta\alpha = a + bt$			$f(t) = \Delta\alpha = a + bt + ct^2$			
	m_0 r t-tablo	a m_a	b m_b	m_0 r t-tablo	a m_a	b m_b	c m_c
Laboratuvar Isınma	± 1.37	- 18.3921	0.9325	± 0.23	0.2721	-0.4250	0.0226
	% 97.36	± 0.2130	± 0.0066	% 99.92	± 0.1422	± 0.0101	± 0.0002
	1.96	Hipotez red	Hipotez red	1.96	Hipotez red	Hipotez red	Hipotez kabul
Laboratuvar Soğuma	± 0.26	- 15.4179	1.0174	± 0.27	-14.9243	0.9791	0.0007
	% 99.91	± 0.0613	± 0.0021	% 99.91	± 0.2251	± 0.0166	± 0.0003
	1.97	Hipotez red	Hipotez red	1.97	Hipotez red	Hipotez red	Hipotez red

Tablo 4. Ni 2 (101953) ile yapılan iki ayrı deneye ait ölçüleri dengeleyen polinomların katsayıları(a, b, c), katsayıların ortalama hataları(m_a , m_b , m_c), bir ölçünün ortalama hatası(m_0), korelasyon katsayısı(r) ve katsayıların t-test sonuçları

Ni 2 (101953)'e ait ısınma ve soğuma ölçülerinin bir kısmı ile 1.ci ve 2.ci derece polinomları bir arada, Şekil 53'de grafik olarak gösterilmiştir. Şekil 53'ün incelenmesinden şu yorumlar çıkarılabilir;

a) Isınma durumunda, aletin kalibrasyon sıcaklığı olan 20 °C civarında eğim değişimi yavaş olmaktadır. 17 °C ile 23 °C arasında ise eğim değişimi 0".3/1 °C oranındadır. Bunun bir diğer sebebi de, aletin iç sıcaklığının(kompansatör elemanlarının sıcaklığının) ölçülen yüzey sıcaklığından düşük olmasıdır. Isınma süresince, ki bu süre 1.5-2 saat kadardır, aletin iç sıcaklığı yüzey sıcaklığına yaklaşır ve grafikten de görüldüğü gibi(eğim değişimi/sıcaklık farkı) oranı artar. Bu oran 23 °C ile 45 °C aralığında ortalama 1",14/1 °C kadar olmaktadır.

b) Isınma durumundan soğuma durumuna geçerken, ısı kaynağının kapatılmasına ve bu yüzden yüzey sıcaklığının düşmesine karşılık, eğim değişiminde kısa süreli bir artış gözlenir(bu artışlar grafikte +,+,+ ile işaretlidir). Bu durum, alet yüzeyindeki birikmiş sıcaklığın alet içine bir miktar

daha geçmesinden ileri gelmektedir. Bu kararsız durumda yapılan gözlemlere ait sonuçlar, her iki halde de değerlendirilmeye sokulmamıştır.

c) Soğuma halinde sıcaklık azalması-egim değişimi ilişkisi lineer olmaktadır. Tablo 4'den de görüleceği gibi, dengeleyen polinom 1.ci derecedir ve $\Delta\alpha/\Delta t$ °C = 1".02/1 °C kadardır. Soğuma halinde grafiğin sonunun (t=15 °C), ısınma halindeki grafiğin başlangıcı (t=17 °C) ile çakışmaması ölçülerin söz konusu yerdeki sıcaklıklarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Bu alet için sonuç olarak, $\Delta\alpha = f(t)$ ilişkisi genel olarak lineer kabul edilebilir.

5.5.2. Ni 2 (47848)'e Sıcaklık Değişiminin Etkisi

Bu nivo laboratuvarında kabinde ısınma ve açık arazide açıkta, güneşte yine ısınma durumunda teste tabi tutulmuştur. Ölçülerin yapılışı (4.2.2) bölümünde açıklanmıştır, aletlerin konumu Resim 4'de görülmektedir. Bu iki alet için laboratuvarında ısınma halindeki egim değişimleri birbirine çok yakındır.

5.5.2.1. Ni 2 (47848)'e Laboratuvarında Sıcaklık Artışının Etkisi

Alet laboratuvarında t=17 °C'tan başlayarak t=45 °C'a kadar ısıtılmıştır. İlk yöneltme eksenini yatay alınarak ölçüler düzenlenmiş ve dengelenmişlerdir. Yine dengeleme sonunda polinom katsayıları, katsayıların ortalama hataları, bir ölçünün ortalama hatası ve korelasyon katsayısı Tablo 5'de verilmiştir.

Polinomların katsayılarının hepsi için t-testi yapılmış ve sıfır hipotezi reddedilmiştir. Bir kısım ölçüler ile 1.ci ve 2.ci derece polinomlar grafik olarak Şekil 54'de gösterilmiştir. Sıcaklık artışı-egim değişimi ilişkisi, Ni 2 (101953)'ün sıcaklık artışı-egim değişimi ilişkisine benzerdir (bakınız Şekil 53).

5.5.2.2. Ni 2 (47848)'e Arazide Sıcaklık Artışının Etkisi

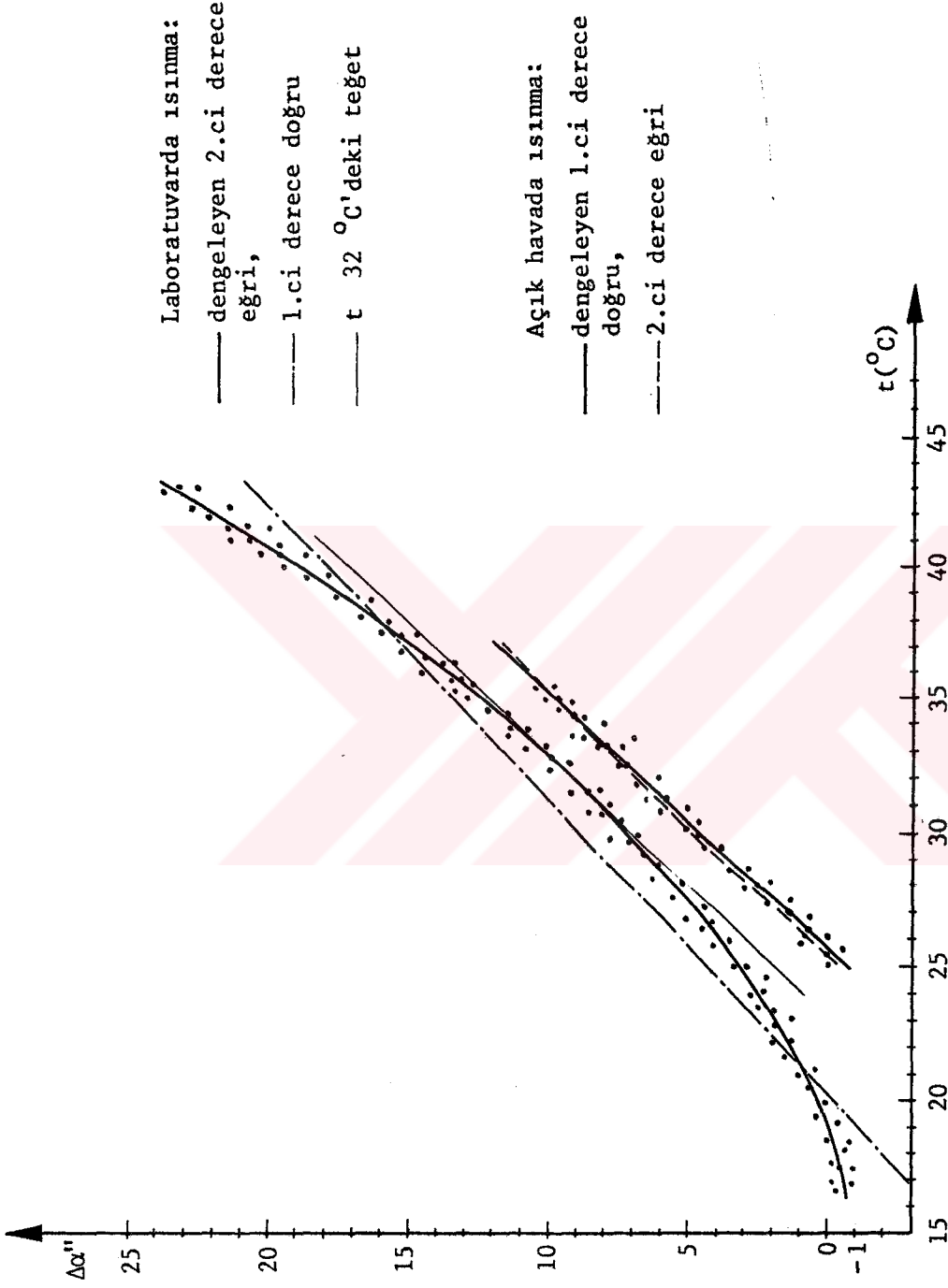
Aletin yöneltme ekseninin, açık havada sıcaklık artışı karşısındaki davranışını gözlemek için bu işlemin yapılması gerekli görülmüştür. Ölçülere t=25.5 °C'den başlanıp, t=36 °C'a çıkana kadar 100 dakika süresince

devam edilmiştir. Burada iki alet de ısındığından, (4,2,2) bölümünde açıklandığı gibi ölçülen eğim değişimleri ikiye bölünerek, bir alete ait yöneltme eksenini eğim değişim değerleri elde edilmiştir. İlk sıcaklığa karşılık gelen yöneltme eksenini eğimi sıfır alınarak ölçüler düzenlenmiş ve dengelenmişlerdir. Bu dengeleme sonunda da 1.ci ve 2.ci derece polinomların katsayıları, katsayıların ortalama hataları, bir ölçünün ortalama hatası ve korelasyon katsayısı hesaplanarak tablo halinde verilmiştir (Tablo 5). Bir kısım ölçü değerleri ve polinomlar Şekil 54'de grafik olarak gösterilmişlerdir.

Deneme hali	$f(t) = \Delta\alpha = a + bt$			$f(t) = \Delta\alpha = a + bt + ct^2$			
	m_0 r t-tablo	a m_a	b m_b	m_0 r t-tablo	a m_a	b m_b	c m_c
Laboratuvar Isınma	± 1.26	-18.4353	0.9085	± 0.43	0,7877	-0,4807	0,0233
	% 97.01	± 0.2544	± 0.0080	% 99.64	± 0.3596	± 0.0254	± 0.0004
	1.97	Hipotez red	Hipotez red	1.97	Hipotez red	Hipotez red	Hipotez red
Açık havada Isınma	± 0.28	-25.7761	1.0110	$\pm 0,29$	-32.4259	1.4539	0.0073
	% 99.11	± 0.2803	± 0.0091	% 99,11	± 3.3068	± 0.2191	± 0.0036
	1.98	Hipotez red	Hipotez red	1.98	Hipotez red	Hipotez red	Hipotez red

Tablo 5. Ni 2 (47848) ile yapılan iki ayrı deneye ait ölçüleri dengeleyen fonksiyonların katsayıları (a, b, c), katsayıların ortalama hataları (m_a, m_b, m_c), bir ölçünün ortalama hatası (m_0) korelasyon katsayısı (r) ve katsayıların t-test sonuçları.

Tablo 5'den de görüleceği gibi, laboratuvarında ısınma durumundaki deney ölçülerini dengeleyen polinom 2.ci dereceden, açık hava ölçülerini dengeleyen polinom ise 1.ci derecedendir. Açık havada ısınma durumundaki ölçülerden $\Delta\alpha / \Delta t$, eğim değişimi/sıcaklık farkı oranı, Tablo 5'de 1".01/1 °C olarak verilmiştir (b katsayısı). Laboratuvar ölçülerini dengeleyen 2.ci derece eğrinin $t=32$ °C'deki (her iki deneme halinin, sıcaklık sınırlarının orta değeri) teğetinin eğimi de 1.01 olarak hesaplanır. Bu değer, laboratuvarında ısınma halinde ortalama $\Delta\alpha / \Delta t$ oranı olarak alınabilir. Yani laboratuvarında da eğim değişimi/sıcaklık farkı oranı, 1".01/1 °C olmaktadır.



Şekil 54. Ni 2 (47848), laboratuvarda kabinde ve açık havada ısıtma hali ölçülerinin bir kısmı ile dengeleyici polinomların grafikleri.

Ni 2 (47848) niyosunda da, Ni 2 (101953)'de olduğu gibi laboratuvar ölçmelerinde ayar sıcaklığı civarında yöneltme eksenini eğim değişimi az olmaktadır. Aletin iç sıcaklığının, başlangıçta yüzey sıcaklığından az olması, değişim grafiğinin ilk sıcaklık değerleri civarında lineer karakterde olmasını engellemektedir.

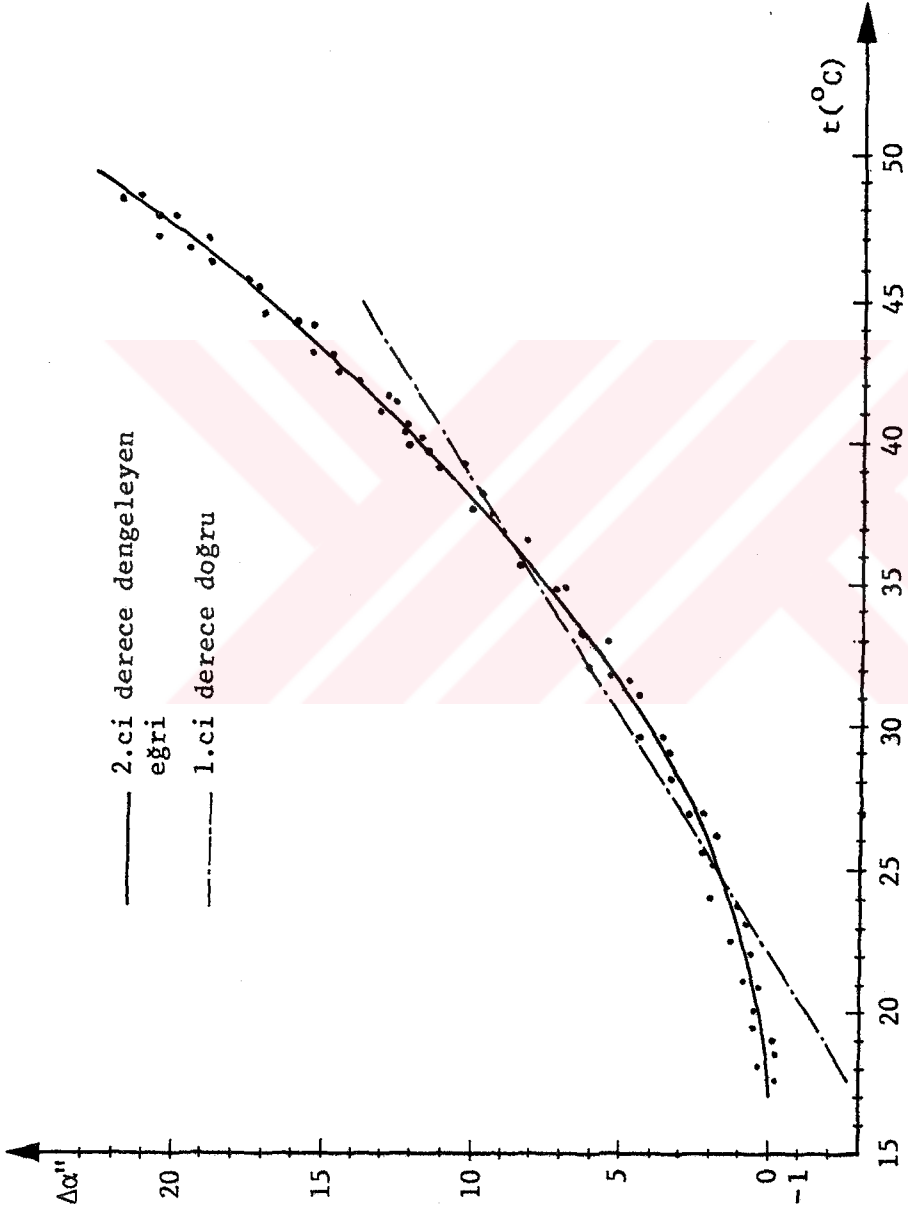
Açık hava ölçülerini dengeleyen doğrunun eğiminin, laboratuvar ölçülerini dengeleyen 2.ci derece polinomun $t = 32$ °C'deki teğetinin eğimine yaklaşık eşit olması, açık hava ölçmelerinin atmosferik refraksiyondan etkilenmedikleri anlamına gelir. Bu denemede, daha önce de açıklandığı gibi iki alet karşılıklı kolimasyon durumuna getirilerek eğim değişimleri elde edilmiştir, alet objektifleri arasında az bir hava tabakası vardır. Buradan ayrıca, laboratuvar ölçme düzeninin, açık hava ölçme düzeni ile uyduğu sonucu da çıkarılır.

5.6. Ni 22 (65595)'e Sıcaklık Değişiminin Etkisi

Bu nivonun presizyonu burada denenen Ni2'lerden daha düşüktür (bakınız Tablo 2). Bu alet normal mühendislik hizmetlerinde kullanılmaktadır. Nivo laboratuvarda $t = 17$ °C'den 48 °C'e kadar ısıtılarak denenmiştir. Ölçme sonuçları dengelenerek hesaplanan 1.ci ve 2.ci derece polinomların katsayıları, bunların ortalama hataları, bir ölçünün ortalama hatası ve korelasyon katsayıları Tablo 6'da verilmiştir. Katsayılar için (5.3)'e göre test yapılmış ve bütün katsayıların anlamlı büyüklükte olduğu sonucuna varılmıştır,

Deneme hali	$f(t) = \Delta\alpha = a + bt$			$f(t) = \Delta\alpha = a + bt + ct^2$			
	$\frac{m_0}{r}$ t-tablo	a m_a	b m_b	$\frac{m_0}{r}$ t-tablo	a m_a	b m_b	c m_c
Laboratuvar Isınma	± 1.16	-11.5193	0.5613	± 0.34	4.7848	-0.6188	0.0198
	% 94.18	± 0.3784	± 0.0121	% 99.67	± 0.3637	± 0.0244	± 0.0004
	1.98	Hipotez red	Hipotez red	1.98	Hipotez red	Hipotez red	Hipotez red

Tablo 6. Ni 22 (65595) ile yapılan deney ölçülerini dengeleyen polinomların katsayıları (a, b, c), katsayıların ortalama hataları (m_a, m_b, m_c), bir ölçünün ortalama hatası (m_0), korelasyon katsayısı (r) ve katsayıların t-test sonuçları.



Şekil 55. Ni 22 (65595), laboratuvarında kabinde ısınma halinde deney ölçülerinden bir kısmı ve dengeleyici polinomların grafikleri. (1.ci derece denklemin hesaplanmasında, $t=45$ °C'den sonraki ölçüler kaba hata testi sonucu atılmıştır.)

Deney ölçülerinden bir kısmı ve bunlardan hesaplanan polinomlar grafik olarak Şekil 55'te gösterilmiştir. Şekil 55'in tetkikinden, aletin yöneltme ekseninin, ölçü başlangıcından hemen sonra, küçük miktarlarda ve yataya göre (-) yönde eğim değişimine uğradığı görülür. Bu durum, diğer aletlerde izah edildiği gibi, alet yüzey sıcaklığının başlangıçta iç sıcaklıktan fazla olmasından ileri gelmektedir. Bu olaya ısı şoku da denilmektedir. Birkaç dakika sonra eğim değişimi pozitif yönde büyüme ve aletin sıcaklığı, ayar sıcaklığını geçince eğim değişimi-sıcaklık ilişkisi $\Delta\alpha / \Delta t$ artmaktadır. Eğim değişiminin karakteri, $t=30$ °C'den sonra pratik maksatlar için lineer kabul edilebilir.

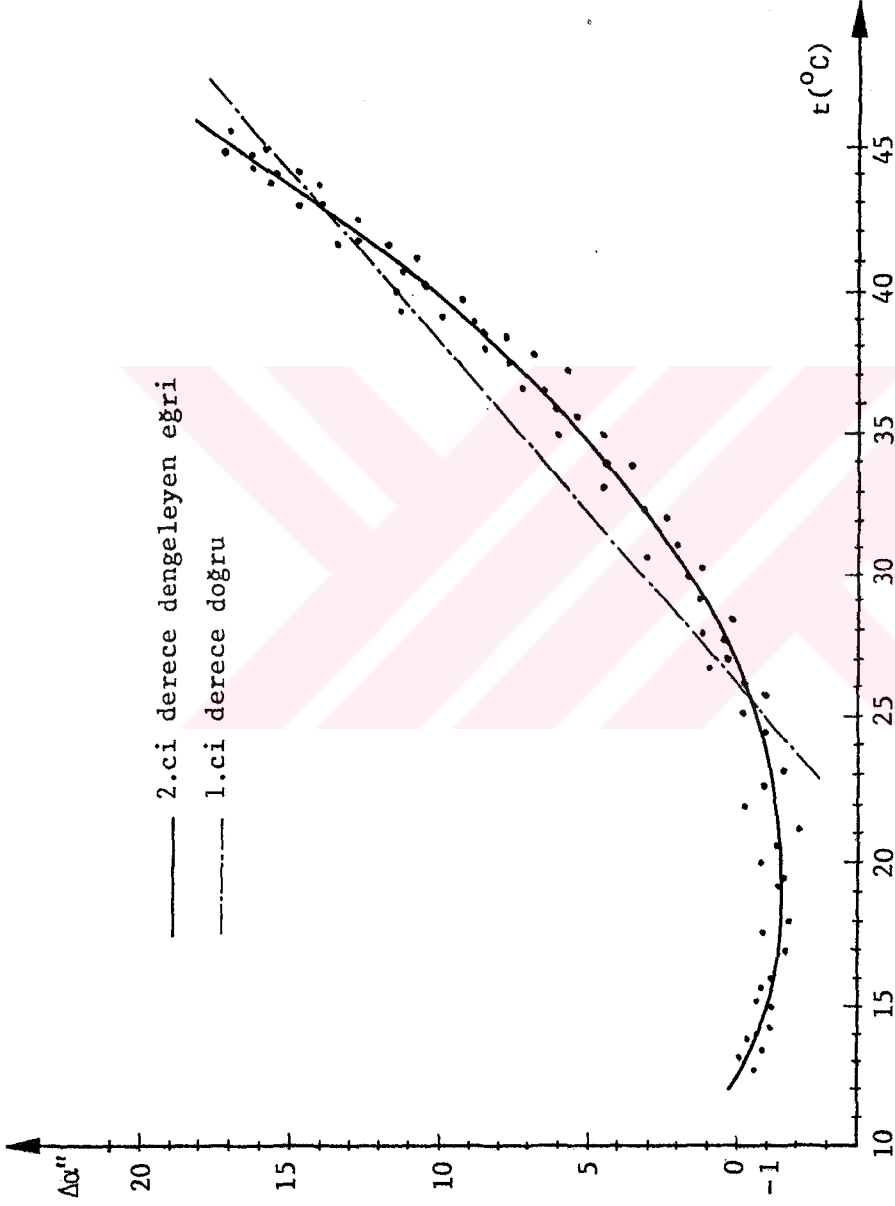
5.7. Ni 42 (96255)'e Sıcaklık Değişiminin Etkisi

Pratikte fazla incelik gerektirmeyen mühendislik hizmetlerinde kullanılan bu nivo, laboratuvarında $t=12$ °C'den 45 °C'e kadar ısınma halinde olmak üzere teste tabi tutuldu. Deney ölçüleri dengelenerek 1.ci ve 2.ci derece polinomların katsayıları, ortalama hataları, bir ölçünün ortalama hatası ve korelasyon katsayısı elde edilmiştir (Tablo 7).

Katsayılar, büyüklüklerinin anlamlılığı bakımından (5.3)'e göre teste tabi tutulmuş ve bütün katsayıların sıfır hipotezini reddettiği görülmüştür.

Deneme hali	$f(t) = \Delta\alpha = a + bt$			$f(t) = \Delta\alpha = a + bt + ct^2$			
	m_0'' r t-tablo	a m_a	b m_b	m_0'' r t-tablo	a m_a	b m_b	c m_c
Labora- tuvar Isınma	± 0.72	-21.8116	0.8343	± 0.37	8.6758	-1.0620	0.0274
	% 98.75	± 0.7273	± 0.0196	% 99.71	± 0.5368	± 0.0421	± 0.0007
	2.07	Hipotez red	Hipotez red	2.06	Hipotez red	Hipotez red	Hipotez red

Tablo 7. Ni 42 (96255)'e ait deney sonuçlarını dengeleyen polinomların katsayıları (a, b, c), katsayıların ortalama hataları (m_a , m_b , m_c), bir ölçünün ortalama hatası (m_0), korelasyon katsayısı (r) ve katsayıların t-test sonuçları.



Şekil 56. Ni 42 (96255), laboratuvarda kabinde ısınma halinde deney ölçülerinden bir bölümü ve polinomların grafikleri.

Ölçü değerlerinden bir kısmı ile 1.ci ve 2.ci derece dengeleyici polinomlar Şekil 56'da grafik olarak verilmişlerdir. Şeklin incelenmesinden de görüleceği gibi, yöneltme ekseninin eğim değişimini dengeleyen 2.ci derece eğrisi, aletin kalibrasyon sıcaklığı olan $t = 20^{\circ}\text{C}$ civarında bir minimumdan geçmektedir. 12°C ile 28°C arasında eğim değişimi az olmaktadır. Alet sıcaklığı kalibrasyon sıcaklığından uzaklaştıkça eğim değişimi/sıcaklık farkı oranı, $\Delta\alpha/\Delta t$ artmaktadır. Bu oran 28°C ile 45°C arasında yaklaşık $0''.91/1^{\circ}\text{C}$ mertebesinde olmaktadır. $t = 28^{\circ}\text{C}$ 'den sonra eğim değişim eğrisi yerine, pratik maksatlar için uygun bir doğru denklemi bulunabilir.

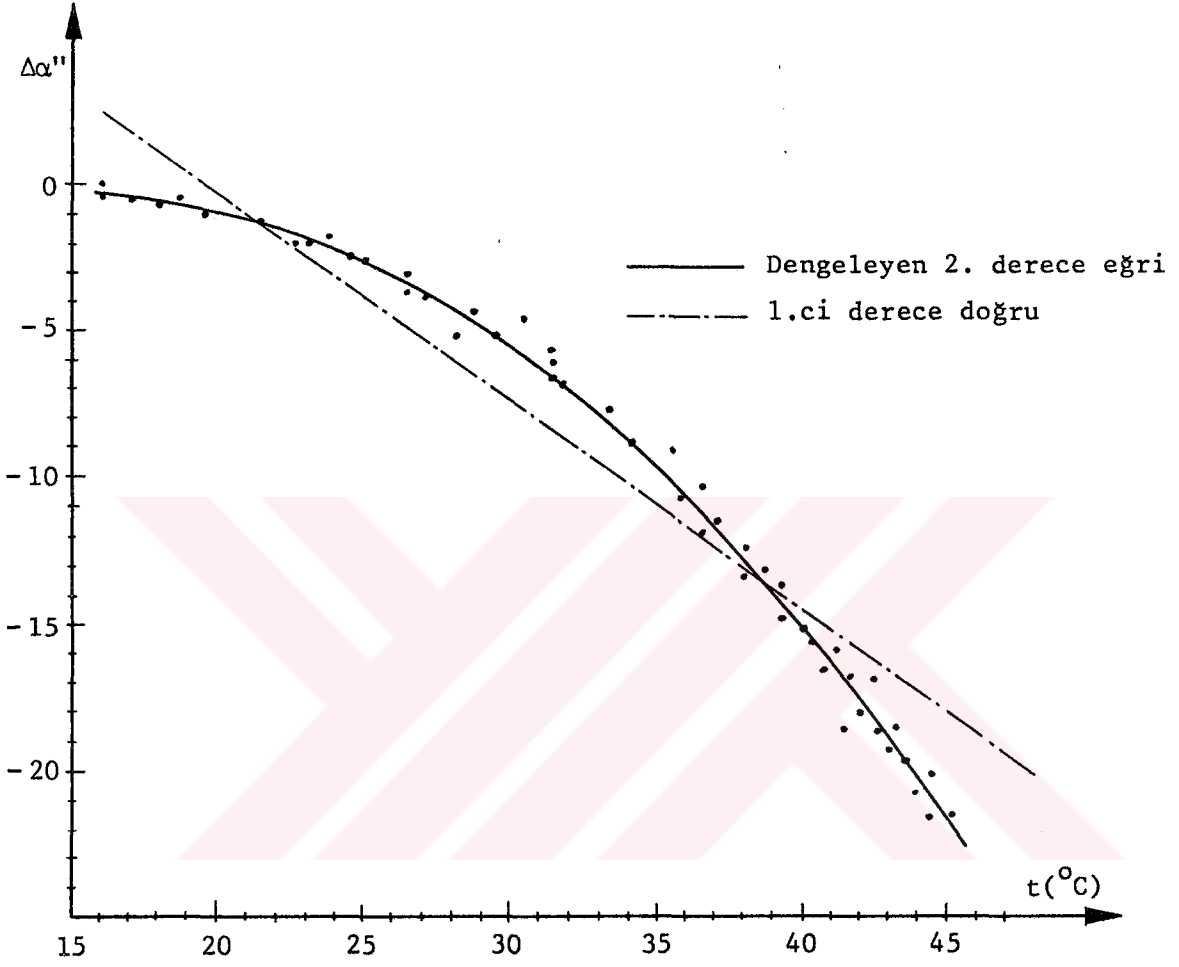
5.8. Ni 025 (180259)'a Sıcaklık Değişiminin Etkisi

Bu nivo laboratuvarında kabinde sıcaklık artışı halinde deneye tabi tutulmuştur. Ölçmelere, $t = 16^{\circ}\text{C}$ 'den başlanıp alet yüzey sıcaklığı 43°C 'e çıkana kadar deney ölçmeleri yapılmıştır. Yöneltme ekseninin eğim değişimi ölçme başlangıcından itibaren, yataya göre negatif yönde olmuştur. Ölçme dizileri dengelenerek hesaplanan polinomların katsayıları, katsayıların ortalama hataları, bir ölçünün ortalama hatası ve korelasyon katsayısı tablo halinde verilmiştir (Tablo 8).

Katsayıların (5.3)'e göre yapılan irdelenmeleri sonunda, her iki dereceden polinomun katsayıları için hipotez reddedilmiştir. Yani katsayılar istatistik açıdan anlamlı büyüklükte değildir.

Deneme hali	$f(t) = \Delta\alpha = a + bt$			$f(t) = \Delta\alpha = a + bt + ct^2$			
	m_0'' r t-tablo	a m_a	b m_b	m_0'' r t-tablo	a m_a	b m_b	c m_c
Laboratuvarında Isınma	± 1.74	13.7561	-0.7047	± 0.35	-6.1772	0.7489	-0.0242
	% 92.55	± 0.5307	± 0.0163	% 99.70	± 0.3853	± 0.0275	± 0.0005
	1.98	Hipotez red	Hipotez red	1.98	Hipotez red	Hipotez red	Hipotez red

Tablo 8. Ni 025 (180259)'a sıcaklık etkisi deney ölçülerini dengeleyen polinomların katsayıları (a, b, c), bunların ortalama hataları (m_a , m_b , m_c), bir ölçünün ortalama hatası (m_0) ve korelasyon katsayısı (r) ile t-test sonuçları.



Şekil 57. Ni 025 (180259), laboratuvarında ısınma halinde deney ölçülerinden bir bölümü ve polinomların grafikleri.

Ölçülerden bir kısmı ve hesaplanan polinomlar Şekil 57'de grafik olarak gösterilmişlerdir. Şekil 57'nin incelenmesinden, yöneltme eksenini eğim değişiminin kalibrasyon sıcaklığı olan $t=20^{\circ}\text{C}$ civarında, $-0''.3/1^{\circ}\text{C}$ oranında olduğu görülür. Yine şekilden görülebileceği gibi, $t=25^{\circ}\text{C}$ 'den sonra $\Delta\alpha/\Delta t$ oranı büyümektedir. Bu değer ölçülerden ve ayrıca grafikten ortalama olarak $-0''.95/1^{\circ}\text{C}$ mertebesinde hesaplanmıştır.

5.9. Ni 007 (150262)'ye Sıcaklık Değişiminin Etkisi

Uygulamada daha çok hassas nivelman ölçüsünde kullanılan bu nivo, laboratuvarında $t=15^{\circ}\text{C}$ 'den başlamak üzere 48°C 'e kadar ısıtılarak deneysel ölçmeler yapılmıştır. Ölçü dizileri sonunda elde edilen ölçü değerleri dengelenerek 1.ci ve 2.ci derece polinomlar hesaplanmıştır. Hesaplanan polinom katsayıları, katsayıların ortalama hataları, bir ölçünün ortalama hatası ve korelasyon katsayısı Tablo 9'da verilmiştir.

Katsayıların hepsi, t-testi sonunda büyüklükleri bakımından anlamlı kabul edilmişlerdir. Hesaplanan polinomların şekli korunmuştur.

Deneme hali	$f(t) = \Delta\alpha = a + bt$			$f(t) = \Delta\alpha = a + bt + ct^2$			
	m_0'' r t-tablo	a m_a	b m_b	m_0'' r t-tablo	a m_a	b m_b	c m_c
Laboratuvarında Isınma	± 0.31	-1.0481	-0.0202	± 0.23	4.0333	-0.3333	0.0045
	% 28.38	± 0.2198	± 0.0066	% 88.28	± 0.4149	± 0.0270	± 0.0004
	2.06	Hipotez red	Hipotez red	2.05	Hipotez red	Hipotez red	Hipotez red

Tablo 9. Ni 007 (150262)'ye ait deney sonuçlarını dengeleyen polinomların katsayıları (a, b, c), katsayıların ortalama hataları (m_a, m_b, m_c), bir ölçünün ortalama hatası (m_0), korelasyon katsayısı (r) ve katsayıların t-testi sonuçları.

Ni 007'ye ait bir kısım deney ölçü değerleri ve hesaplanan polinomlar grafik olarak Şekil 58'de gösterilmişlerdir. Şeklin tetkikinden, sıcaklıkla eğim değişimi arasında lineer bir ilişkinin olmadığı görülür. Esasen de, 1.ci derece denklemi için Tablo 9'da korelasyon katsayısı $r = \% 28.38$ olarak verilmiştir. Sıcaklık artışına bağlı yöneltme eksenini eğim değişimlerini



Şekil 58. Ni 007 (150262), laboratuvarında kabinde ısınma halinde deney ölçülerinden bir bölümü ve dengeleyen polinomların grafikleri

en iyi dengeleyen polinom 2.ci derecedendir. Ölçü başlangıcına göre 15 °C'lık bir sıcaklık artışı halinde yöneltme eksenini en çok 2".5-3" kadar bir eğim değişikliğine uğramıştır. Bu değişimin ana sebebi olarak, killar şebekesi plakasının düşey yer değiştirmesi ileri sürülmüştür(BROSİN,1971,386). Bu değişimin diğer bir sebebi de, mikrometre görevi yapan beşgen prizmanın sıcaklık etkisiyle bir miktar dönmesi olabilir. Pratik olarak denenen sıcaklık sınırları içinde, aletin sıcaklıktan etkilenmediği söylenebilir.

5.10. NAK - 2(113714)'e Sıcaklık Değişiminin Etkisi

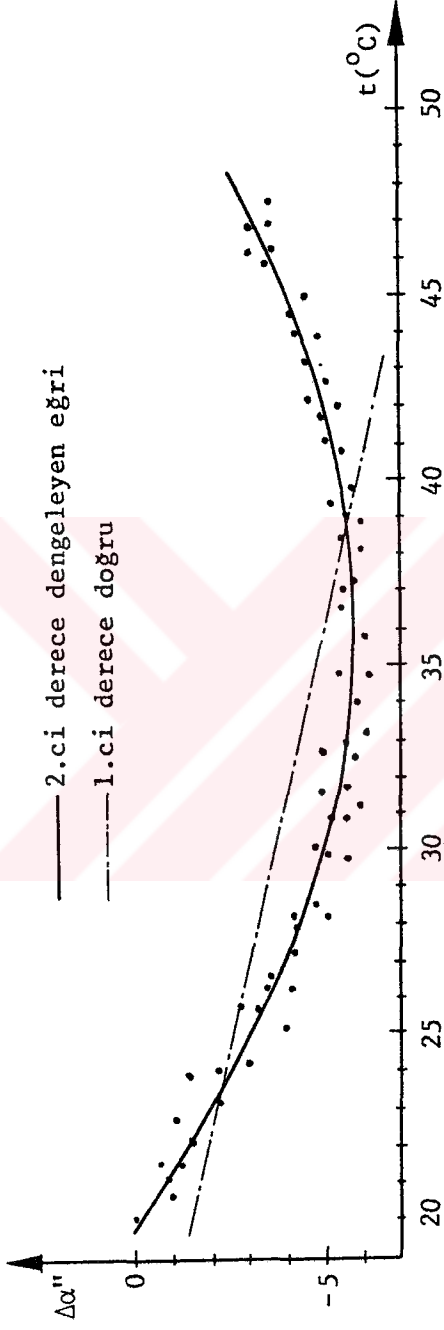
Bu aletle ölçmelere $t = 20$ °C'de başlanmış ve aletin yüzey sıcaklığı 45 °C'e çıkana kadar deneye devam edilmiştir. Elde edilen ölçme sonuçları, 20 °C'deki yöneltme eksenini eğimi sıfır alınarak düzenlenmiş ve dengelenmişlerdir. Dengeleme sonunda hesaplanan polinomların katsayıları, bunların ortalama hataları, bir ölçünün ortalama hatası ve korelasyon katsayıları aşağıda Tablo 10'da verilmiştir. Katsayılar (5.3) uyarınca test edilmiş ve bütün katsayıların anlamlı büyüklükte oldukları sonucuna varılmıştır.

Deneme hali	$f(t) = \Delta\alpha = a + bt$			$f(t) = \Delta\alpha = a + bt + ct^2$			
	m_0'' r t-tablo	a m_a	b m_b	m_0'' r t-tablo	a m_a	b m_b	c m_c
Laboratuvar Isınma	± 1.09	2.8614	-0.2211	± 0.29	23.2972	-1.6081	0.0222
	% 69.83	± 0.5106	± 0.0160	% 97.68	± 0.6078	± 0.0394	± 0.0006
	1.99	Hipotez red	Hipotez red	1.99	Hipotez red	Hipotez red	Hipotez red

Tablo 10. NAK - 2(113714)'e ait deney ölçülerini dengeleyen fonksiyonların katsayıları(a, b, c), katsayıların ortalama hataları (m_a, m_b, m_c), bir ölçünün ortalama hatası(m_0), korelasyon katsayıları(r) ve t-test sonuçları.

Sıcaklığa bağlı yöneltme eksenini eğim değişimi değerlerini en iyi dengeleyen eğri, en küçük ortalama hataya sahip 2.ci derece denklemdir. Ölçülerden bir bölümü ve polinomların grafiği Şekil 59'da gösterilmiştir.

Şekil 59'un incelenmesinden, yöneltme eksenini eğim değişiminin, ölçmelerin başlangıcından itibaren, yataya göre negatif(-) yönde olmak üzere



Şekil 59. NAK-2(113714), laboratuvarda kabinde ısınma halinde deney ölçülerinden bir kısmı ve polinomların grafikleri.

sıcaklığın artışına paralel olarak arttığı, 30 °C ile 40 °C arasında değişimin duraksadığı ve t= 40 °C'den sonra pozitif yönde başlangıçtaki değerine yaklaştığı görülür. Bu alette de Ni 007' de olduğu gibi, sıcaklığa bağlı yöneltme eksen eğim değişimi oldukça azdır. Grafikten de görülebileceği gibi, t=20 °C ile t= 35 °C aralığında, $\Delta\alpha/\Delta t = -0''.4/1\text{ }^\circ\text{C}$ mertebesinde olmaktadır.

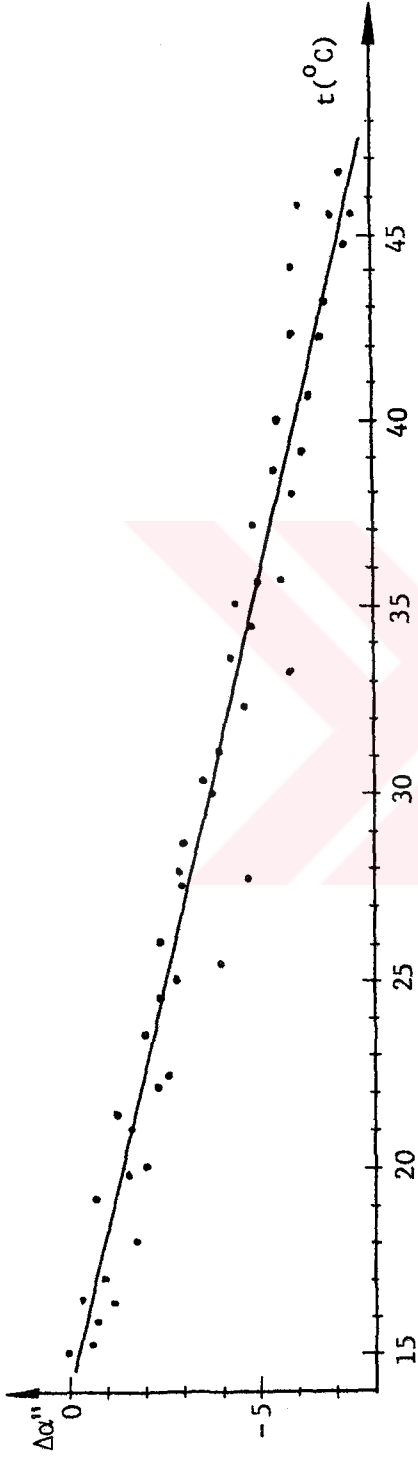
5.11. GK1-A(95443)'e Sıcaklık Değişiminin Etkisi

Bu nivo laboratuvarında kabinde, t=15 °C'den itibaren t=47 °C'e kadar ısıtılmak suretiyle denendi. Her ölçü dizisinin 15 °C'deki yöneltme eksen eğim değeri sıfır alınarak ölçü değerleri düzenlenip dengelendiler. Dengeleme sonunda, polinomların katsayıları, katsayıların ortalama hataları, bir ölçünün ortalama hatası ve korelasyon katsayıları hesaplandı. Katsayılar, büyüklüklerinin anlamlılığı bakımından (5.3) uyarınca irdelenerek hepsinin anlamlı olduğu sonucuna varıldı. Dengeleyen polinomlara ait katsayılar ve diğer tamamlayıcı bilgiler Tablo 11'de açık olarak verilmişlerdir.

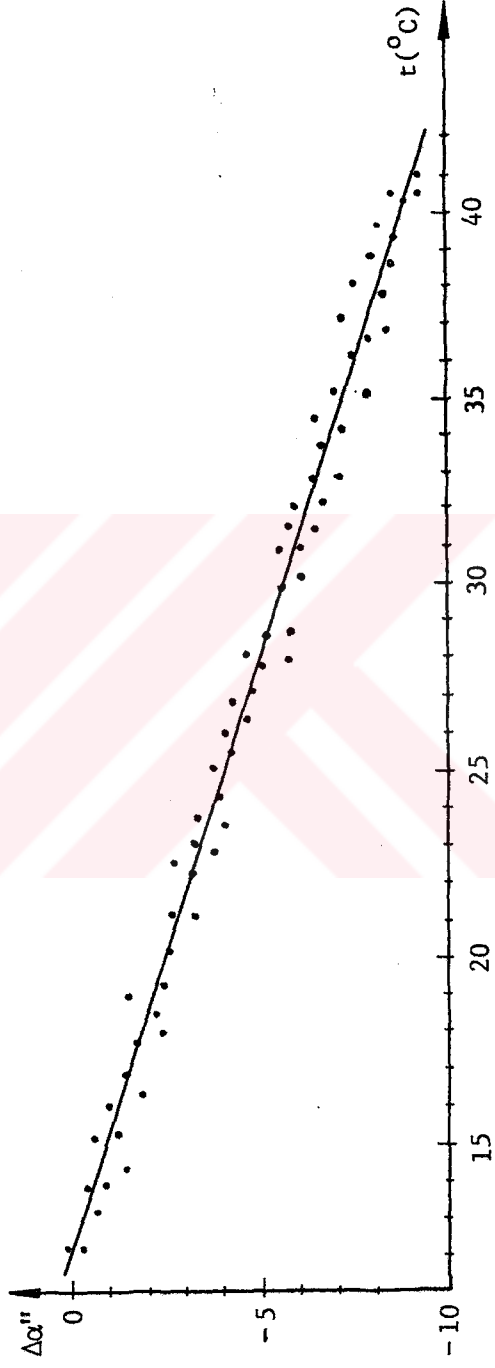
Deneme hali	f(t)= $\Delta\alpha = a + bt$			f(t)= $\Delta\alpha = a + bt + ct^2$			
	$\frac{m_0''}{r}$ t-tablo	a m_a	b m_b	$\frac{m_0''}{r}$ t-tablo	a m_a	b m_b	c m_c
Laboratuvarında Isınma	± 0.38	3.0812	-0.2264	± 0.35	4.4392	-0.3254	0.0016
	% 97.41	± 0.1428	± 0.0044	% 97.83	± 0.4336	± 0.0304	± 0.0005
	2.00	Hipotez red	Hipotez red	2.00	Hipotez red	Hipotez red	Hipotez red

Tablo 11. GK1-A(95443)'e ait deney ölçülerini dengeleyen polinomların katsayıları(a, b, c), katsayıların ortalama hataları (m_a, m_b, m_c), korelasyon katsayıları(r), bir ölçünün ortalama hatası(m_0) ve katsayıların t-testi sonuçları

Ölçü sonuçlarını en iyi dengeleyen polinom, en küçük ortalama hataya sahip olan 2.ci derece denklemdir. Ancak Tablo 11'de de verildiği gibi, her iki dereceden polinomun ortalama hataları(m_0) birbirine yaklaşık eşit olduğundan, pratik olarak 1.ci derece doğru denklemi dengeleyen polinom olarak alınabilir. Bir kısım ölçüler ve polinomların grafikleri Şekil 60'ta gösterilmişlerdir.



Şekil 60. GK1-A (95443), laboratuvarda kabinde ısınma hali, ölçüler ve dengeleyen doğru.



Şekil 61. GK0-A (180593), laboratuvarda kabinde ısınma hali, ölçüler ve dengeleyen doğru.

Şekil 60'dan, yöneltme ekseninin sıcaklığa bağlı olan eğim değişiminin lineer alınabileceği bir kere daha görülür. Yine grafikten ve ayrıca ölçü değerlerinden, $\Delta\alpha/\Delta t = -0''.25/1^\circ\text{C}$ olarak elde edilir. Bu aletin yataylama doğruluğu (4.1) de $(\pm 0''.5-1''.5)$ olarak verilmişti(bakınız Tablo 1), Bu sebepten, yani eğim değişimi yataylama doğruluğundan küçük olduğundan, bu alet için sıcaklık tesirinin dikkate alınmasına gerek yoktur.

5.12. GK0-A(180593)'e Sıcaklık Değişiminin Etkisi

Bu nivo da laboratuvarda $t = 12^\circ\text{C}$ 'den 40°C 'e kadar ısıtılarak, değişen sıcaklık etkisi altında yöneltme ekseninin eğim değişimleri ölçülmek suretiyle denenmiştir. Ölçme dizileri sonunda elde edilen ölçü değerleri, $t = 12^\circ\text{C}$ 'a göre düzenlenerek dengelendiler. Dengeleme sonunda hesaplanan polinomların katsayıları ve polinomlarla ilgili tamamlayıcı bilgiler açık bir şekilde Tablo 12'de verilmişlerdir.

Katsayıların büyüklüklerinin anlamlılığı (5.3) e göre test edilmiş ve bütün katsayıların anlamlı büyüklükte oldukları kabul edilmiştir.

Deneme hali	$f(t) = \Delta\alpha = a + bt$			$f(t) = \Delta\alpha = a + bt + ct^2$			
	$\frac{m_0''}{r}$ t-tablo	a m_a	b m_b	$\frac{m_0''}{r}$ t-tablo	a m_a	b m_b	c m_c
Laboratuvarda Isınma	± 0.41	3.3861	-0.3039	± 0.39	3.8716	-0.3479	0.0009
	%97.74	± 0.1443	± 0.0051	%97.92	± 0.4018	± 0.0324	± 0.0006
	1.99	Hipotez red	Hipotez red	1.99	Hipotez red	Hipotez red	Hipotez red

Tablo 12. GK0-A(180593)'e ait deney ölçülerini dengeleyen polinomların katsayıları(a, b, c), katsayıların ortalama hataları (m_a, m_b, m_c), bir ölçünün ortalama hatası(m_0), korelasyon katsayısı(r) ve katsayıların t-testi sonuçları.

Ölçülerin bir bölümü ve hesaplanan polinomların grafik gösterimleri Şekil 61'de verilmişlerdir.

Tablo 12'de de verildiği gibi, 1.ci ve 2.ci derece polinomlar için verilen (m_0) ortalama hataları birbirine yaklaşık eşit alınabilir. Aslında

her iki derece polinomun hesaplanan korelasyon katsayıları da birbirine çok yakındır. Bu veriler ve grafiğin tetkikinden, yöneltme ekseninin eğim değişiminin sıcaklığa bağlılığının lineer olduğuna karar verilir. Sonuç olarak 1.ci derece polinomu dengeleyici doğru olarak alınır.

Aletin denendiği sıcaklık sınırları arasında, $\Delta\alpha/\Delta t = -0''.32/1\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak hesaplanmıştır. Bu nivo için de (4.1) bölümünde, Tablo 2'de yataylama doğruluğu $\pm 3''$ olarak verilmişti. Burada hesaplanan eğim değişim oranı, aletin yataylama doğruluğunun yaklaşık 1/10'i kadardır. Bu sebepten, bu nivo için de sıcaklık etkisinden söz etmek anlamsız olur.

6. HESAP SONUÇLARININ YORUMLANMASI

Sıcaklık değişiminin tesiriyle, nivoların yöneltme eksenlerinin eğim değişimleri aletler itibariyle ayrı ayrı incelenmiş ve her alet için ölçülere dayanan ampirik, sıcaklıkla eğim değişimi, $\Delta\alpha = f(t)$ fonksiyonları elde edilmiştir. Yöneltme ekseni eğim değişim miktarları değişik aletlerde farklı özelliktedir. Eğim değişimi bazı aletlerde yataya göre pozitif yönde, bazılarında ise negatif yönde olmuştur. Pozitif yönde eğim değişimi gösteren aletlerin, ölçü başlangıçlarında, yöneltme eksenlerinin küçük miktarlarda negatif yönde eğim değişimine uğradıkları gözlenmiştir.

Kompansatörlerinin yataylama doğruluğu yüksek olan aletler(Ni 007 hariç) sıcaklık değişiminin etkisiyle en fazla yöneltme ekseni eğim değişimi göstermişlerdir. Orta duyarlıktaki nivolarda(Ni 025, $\pm 0''.5$ ve NAK-2, $\pm 0''.3$) yöneltme ekseni eğim değişimi kısmen az olmuştur. Yataylama doğruluğu çok düşük olan nivolar ise yataylama doğruluklarının çok altında yöneltme ekseni eğim değişimine uğramışlardır(GK1-A, $\pm 1''.5$ ve GK0-A, $\pm 3''$).

Ni 1(71034) nivosunun yöneltme ekseni sıcaklık etkisiyle, yatay doğrultuya göre hep (-) negatif yönde eğim değişimine uğramıştır. Bu aletle açık havada(arazide) yapılan deney sonunda elde edilen neticelere göre uygulama için şu teklifte bulunulabilir;

100 dakikalık bir deney süresinde, alet sıcaklığı $t = 25^{\circ}\text{C}$ 'den itibaren 36°C 'e kadar 11°C değişmiş ve bunun etkisiyle yöneltme ekseni eğimi ölçü başlangıcına göre $\Delta\alpha = -14''.5$ değişmiştir. Buradan, yöneltme ekseninin eğim değişim hızı zamana göre $-0''.15/1$ dakika olarak hesaplanır. Bu nivo ile bu şartlarda yapılacak olan bir nivelmanda, geri-ileri mira okuma zaman farkı 2 dakika olursa, ileri okuma geri okumaya nazaran ($-0''.3$) daha eğik bir yöneltme eksenine okunmuş olur. Ni 1 ile mira okuma inceliği $1/100$ mm.dir. Hassas nivelmanda hedef uzaklığı en az 20 m. alınsa dahi, verilen eğim hatası bu miradaki okumayı ($-3/100$ mm.) kadar etkiler. Bu verilere göre Ni 1 için sıcaklığın etkisini hesaba katmak gereklidir.

Pratik uygulama açısından Ni 1 için söylenenler, Ni 2 için de söylenebilir. Bu alet için açık havada eğim değişimi 5.2.2.2'de $+1''.01/1^{\circ}\text{C}$

oranında verilmişti. Yönelme eksenini eğim değişim hızı, $0''.1/1$ dakikadır. Bu aletle yapılan bir nivelman işleminde geri-ileri mira okuması arasında yine 2 dakikalık bir zaman farkı olursa, yönelme eksenini eğimi $0''.2$ kadar değişmiş olur. Bu eğim değişikliği, 20 m. uzaklıktaki bir mira okumasının 0.02 mm. kadar hatalı yapılmasına sebep olur. Paralelyüzlü camlı mikrometre takılı Ni 2' lerle mira taksimatının 0.01'i okunabildiğine göre, bu durumda da sıcaklık tesirinin dikkate alınması gereği ortaya çıkmaktadır.

Ni 007 için etkili bir yönelme eksenini eğim değişiminden söz edilemez. Alet sıcaklığı ayar sıcaklığına uyana kadar düşük seviyede ($0''.3/1$ °C) gerçekleşen $\Delta\alpha/\Delta t$ oranı, giderek sıfıra yaklaşır, yani eğim değişimi olmaz. Aletin pratik olarak sıcaklıktan etkilenmediği söylenebilir. Bu durum kompensatörünün yapısından kaynaklanmaktadır.

NAK-2 nivosunda da, Ni 007 'de olduğu gibi eğim değişimi çok az olmaktadır. Dolayısıyla ölçü sonuçları üzerine, tesbit edilen bu değişimin etkisinin olmayacağı pratik olarak kabul edilir.

Ni 22 nivosu da, Ni 2' lerde kullanılan kompensatöre sahip olduğundan, Ni 2' lere benzer şekilde yönelme eksenini eğim değişimi göstermiştir.

Ni 42 'de pozitif yönde ve $0''.91/1$ °C oranında, Ni 025' de ise negatif yönde ve $-0''.95/1$ °C oranında olmak üzere yaklaşık aynı miktarlarda eğim değişimi gözlenmiştir.

GK1-A ve GK0-A nivolarında gözlenen yönelme eksenini eğim değişim oranları birbirine yakın ve yaklaşık olarak $-0''.3/1$ °C mertebesinde (bakınız, 5.11 ve 5.12). Bu nivoların kompensatörlerinin yataylama doğrulukları (GK1-A, $\pm 1''.5$ ve GK0-A, $\pm 3''$) tesbit edilen yönelme eksenini eğim değişimi oranlarından çok büyük olduğundan, bu aletlerin sıcaklıktan etkilenmelerinin ölçme işleminde dikkate alınması gerekmez.

7. SONUÇ

Bu araştırmada nivelman aletleri hakkında kısa bilgi verilmiş ve bunlardan kompansatörlü nivoların çalışma prensipleri açıklanmıştır. Daha sonra kompansatör ve kompansatörlü nivo tipleri 1.2.2 paragrafında anlatılmıştır. 2. bölümde uygulamada yaygın olarak kullanılan çeşitli kompansatörler tiplerine göre ele alınmış ve yapıları hakkında teorik bilgiler verilmiştir.

Bölüm 3'de kompansatörlü nivolarda olması gereken özellikler belirtilerek, muhtemel hata kaynakları açıklanmaya çalışılmıştır. Bu çalışmada; imalat ve montaj hatalarının denenen aletlerde olmadığı, kullanma hatası yapılmadığı ve diğer yan etkilerin de önleendiği kabul edilmiştir. Araştırma sabit bir istasyonda yapıldığından yerçekimi kuvvetinin değişimine bağlı yöneltme eksenini eğim değişiminin de sabit kaldığı açıktır. Aletlerin kompansatörlerinin çalışma sınırları küçük olduğundan(Ni 42 hariç, $\pm 60'$), yataylamadan ortaya çıkacak olan kompansasyon hatasını en aza indirmek için bütün nivoların küresel düzeçleri kontrol edilmiş ve hatalı olanlar düzeltilerek deneysel ölçmeler yapılmıştır.

3.4 paragrafında araştırmanın konusunu teşkil eden sıcaklık tesiri, kompansatörlerin yapıları ve büyütme faktörleri göz önünde bulundurularak teorik olarak incelenmiş ve sıcaklık-eğim değişimini bağıntıları çıkarılmıştır. Aletlerin kompansatörlerine ait yaklaşık değer ve ön kabullerle sıcaklık değişiminin etkisiyle ortaya çıkabilecek kompansasyon hatalarına ait örnek hesaplar verilmiştir.

Paragraf 3.5'de aletlerin objektifleri önüne takılan paralelyüzlü camın, dürbünün netleştirme merceğinin konum değiştirmesinin ve özellikle de kollar şebekesi plakasının sıcaklık veya başka bir sebeple ortaya çıkan eksentrisitesinin yöneltme ekseninin eğim değişimindeki rolü incelenmiştir.

Kompansatörlü nivoların yöneltme eksenlerinin eğiminin sıcaklık değişiminin etkisiyle değişip değişmediğinin pratik olarak tesbit edilmesi için 4.cü bölümde anlatılan ölçme düzeni kurulmuş ve KTÜ/Müh.-Mim. Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü ölçme laboratuvarında bulunan nivolardan 10 tanesi ile gerekli deney ölçmeleri yapılmıştır.

Ölçme sonuçları KTÜ-BİM'de değerlendirilmiş ve her alet için ayrı bir $f(t) = \Delta\alpha''$, sıcaklık etkisiyle eğim değişimi ampirik denklemi hesaplanmış ve bu denklemler metin içinde tablolar halinde verilmişlerdir.

Takdir edileceği üzere, verilen söz konusu bağıntılar ölçmelerin yapıldığı sıcaklık sınırları için geçerlidirler. Aynı kompensatöre sahip iki Ni 2 ve bir de Ni 22 için elde edilen sonuçlar birbirlerine özdeş olduğundan, bu aletler için bulunan bağıntılar kendi serileri için genelleştirilebilir.

Yapılan deney ölçüleri, bunların değerlendirilmesi ve yorumlamalardan sonra aşağıdaki sonuçlar yazılabilir:

a. Araştırılan aletlerin hepsinde sıcaklığa bağlı olarak yöneltme eksenini eğim değişimi gözlenmiştir.

b. Bütün aletler ayar sıcaklıkları civarındaki sıcaklıklarda en az yöneltme eksenini eğim değişimi gösterirler. Ayar sıcaklığından uzaklaştıkça eğim değişimi artmaktadır.

c. Yöneltme eksenini eğim değişimlerinin her alette farklı olması, kompensatörün yapısına ve yöneltme eksenini belirleyen diğer elemanların dizayn ve konumuna bağlıdır. Burada aynı tip kompensatörle donatılmış olan, Ni 2 (101953), Ni 2 (47848) ve Ni 22 (65595) nivolarının benzer karakterde ve yaklaşık eşit miktarda ve (+) yönde eğim değişimi gösterdikleri tesbit edilmiştir. Bu aletlerin kompensatörleri eklemli dörtgende asılı sarkaç prizmadan oluşur. Kompensatörü çapraz eklemli dörtgende asılı prizma olan tek Ni 1 (71034)'de ise (-) yönde yöneltme eksenini eğim değişimi görülmüştür.

d. Aletlerin sıcaklığının, ölçü yapılacak olan ortamın sıcaklığına uyması için en azından 1-1.5 saat beklemek gereklidir.

e. Alet sıcaklığı ile ortam sıcaklığı arasında el ile hissedilebilecek kadar bir fark varsa, ölçme yapmamalı ve aletin sıcaklığının ortam sıcaklığına uyması beklenmelidir.

f. Ölçü sırasında ani sıcaklık artışı veya azalması halinde (güneşin çıkması-bulutlanma gibi), işin hassasiyetine göre ölçmeye biraz ara verilmelidir.

g. Sıcaklık artışının hızına göre nivelmanda geri-ileri mira okuma

zaman farkının en aza indirilmesine çalışılmalıdır.

h. Aletler ısınma halinde ortamın sıcaklığını, soğumadaki ısı kaybindan daha hızlı alırlar. Bu durum, ısınma ile soğuma halinde aynı alete ait grafiklerin değişik karakterde olmasına sebep olur. Soğuma halinde yöneltme ekseninin eğiminin değişimi lineerdir.



KAYNAKLAR

Kısaltmalar;

AVN: Allgemeine Vermessungs-Nachrichten
DGK: Deutsche Geodätische Kommission
İTÜ: İstanbul Teknik Üniversitesi
KTÜ: Karadeniz Teknik Üniversitesi
ZfV: Zeitschrift für Vermessungswesen
VR: Vermessungstechnische Rundschau

- AKSOY, A. (1977). Jeodezik Ölçülerin Matematik İstatistik Metodlarla İrdelenmesi, İTÜ yayını, İstanbul.
- BANGER, G. (1978). Yer Yakını Atmosfer Tabakasının Düşey Açılı Ölçülerine Olan Etkisi Üzerine Bir Araştırma, Doktora Tezi, s.64, KTÜ yayını, Trabzon
- BAYKAL, O. (1972). Teodolitlerde Düşey Daire Göstergelerine Temperaturün Etkisi, Doktora Tezi, İTÜ, İstanbul.
- BROSIN, K. (1971). Temperatureinfluss auf Kompensator-Nivellierinstrumente und seine Auswirkungen im Nivellement, Vermessungstechnik, sayı,10.
- DEUMLICH, F. (1961). Zum Stand der Entwicklung selbsthorizontierender Nivellier, Vermessungstechnik, sayı.7, s.208.
- DRODOFSKY, M. (1963). Ein automatische Libellen-Nivelliers, ZfV, sayı.4, s.153-155.
- ELLENBERGER, H. (1955). Das automatische Nivellier, überblick über den Stand der Entwicklung, AVN, s.325..
- EBERWEIN, R. (1964). Erfahrungen mit dem Ertel-Regler zur Automatscher Zielliniensteuerung, DGK, B, no. 95/III, s.91
- FITZEN, H.-P. (1978). Untersuchung zur Invarianz der Ziellinie bei Kompensatornivellieren hoher und höchster Genauigkeit, Geodätischen Instituts yayını, Aachen, no.25.
- FREUND, W. (1960). Der Tachymeter-Theodolit Theo 020 mit stabilisiertem Höhenindex, Vermessungstechnik, sayı.2, s.34.
- GESSLER, J. (1984). Some Results of the Determination of the Geomagnetic Influence on Automatic Level Instruments, Precise Leveling, Dümmler, Bonn, s.109-118.
- GIGAS, E. (1960). Physikalisch-Geodätische Messverfahren, VR, s.393-416.
- HARDY, R. L. (1963). Beiträge zur Entwicklung automatischer Nivellierinstrumente, DGK, C, no. 61,
- HASSELMEIER, H. (1951). Das Kreuzfedergelenk als lose-und reibungsfreies Lagerelement und die Abwanderung seines Momentandrehzentrums. Jenaer Jahrbuch. s.240-253.

- HILBIG, P.-GEITNER, J. (1964). Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen Zielweite und Kompensierung bei Nivellieren mit automatischer Koppelung der Ziellinie an die Vertikale, Zeitschrift für Instrumentenkunde sayı.72, s.363-367.
- HOFMANN, O. (1958). Ein neues astasiertes Pendel für genaue Neigungssungen und automatische Stabilisierung von Ziellinien, Jenaer Jahrbuch, I, s.63-183.
- KAKKURI, J. (1969). Über den Einfluss von Temperaturveränderungen auf das bei Stromübergängen benutzte automatische Doppelinstrument Zeiss Ni 2, ZfV, sayı.3, s.99-105.
- KNEISSL, M. (1956). Handbuch der Vermessungskunde, sayı.III, s. 72.
- KNEISSL, M. (1963). Handbuch der Vermessungskunde, sayı.II, s.191.
- KNEISSL, M. (1964). Die Einspielgenauigkeit des Kompensators im Zeiss-Nivellier Ni 2, ZfV, sayı.11, s.360.
- KÖNIG, A.-KÖHLER, H. (1959²). Die Fernrohre und Entfernungsmesser, Springer Verlag, Berlin.
- KRÖTZL, J. (1963). Problem der Ziellinienstabilisierung durch ein astasiertes Pendel, Schweizer, ZfV. Kulturtechnik und Photogrammetrie, sayı: 2, 3, 4.
- NEUBERT, K. (1961). Über den Einsatz von Selbsthorizontierenden Nivellierinstrumenten, Vermessungstechnik, sayı.12, s.359.
- NEUBERT, K.-WERMANN, W.(1962). Erprobung der Funktionstüchtigkeit des Koni 007 durch Untersuchung im Markscheide-Institut und im praktischen Einsatz. Vermessungstechnik, sayı.3, s.69.
- OCHSENHIRT, H. (1956). Untersuchung des Zeiss-Nivelliers Ni 2 mit automatischer Horizontierung der Zielachse. ZfV, s.348-378.
- ÖZBENLİ, E.-TÜDEŞ, T. (1972). Ölçme Bilgisi, s. 370-376. İstanbul.
- PELZER, H. (1984). Systematic Instrumental Errors in Precise Levelling, Precise Levelling. Bonn, s.3-17.
- PREYSS, C. (1959). Vorrichtungen zur Ziellinien-Stabilisierung, VR,s.182.
- SCHLEMMER, H. (1984). Niveliere und Nivellierlatten-der Stand der Technik bei Justierung und Kalibrierung, Ingenieurvermessung 84, Bonn.
- SCHELLENS, D. (1972). Design and Application of Automatic Levels, The Canadian Surveyor, s.147.
- SCHELLENS, D. (Ausschaltung der Horizontschräge bei automatischen Nivellieren, AVN, s.238-241.
- SCHULZ, W. (1968). Das Präzisionsnivellier Ni 1 der Firma Carl Zeiss, ZfV, sayı.9, s. 371.
- EHRNSPERGER, W.-WEBER, D. (1987). Präzisionsnivellement und Höhennetze, DKG, no.284, s.49.

ÖZGEÇMİŞ

1949 yılında Trabzon'un merkez Yeşilköy Köyü'nde doğdum. İlk tahsilimi Pelitli Köyü İlkokulu'nda, orta ve lise tahsilimi Trabzon Lisesi'nde tamamladım. 1968 yılında KTÜ-Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü'ne girdim. 1973 yılında bu bölümden Harita Yüksek Mühendisi olarak mezun oldum. Kısa bir süre İmar ve İskân Bakanlığında kontrol mühendisi olarak çalıştım. 1974 yılında KTÜ-Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümüne asistanlık imtihanını kazanarak girdim. Halen bu bölümde araştırma görevlisi olarak çalışmaktayım. Evliyim, iki çocuğum var.

T. C.
Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi