

ÇİFTE İSTASYON METODUNDA BAROMETRİK BASAMAKLARDAN İSTİFADE İMKÂNLARI (1)

Yazan

Doç. Dr. Kemal ERKİN

Orman Fakültesi dergisinin 1958 yılı A serisinin 2. sayısında çifte İstasyon metodunun prensibi izah edilmiş ve bu metodun tatbikatta vermiş olduğu neticeler, yapılan barometrik nivelmanlar üzerinde incelenmişti. Şimdi ise bu metodun tatbikinde barometrik basamaklardan ne şekilde istifade edilebileceği izah edilecektir. Ancak bu izahı yapmadan önce, Çifte İstasyon metodunun prensibinin ana hatları itibariyle bir kere daha belirtilmesi faydalı, hattâ lüzumlu görülmüştür.

Çifte İstasyon metodunun prensibi : Çiftçe İstasyon metodunda şu şekilde hareket edilmektedir: Nivelmanı yapılacak noktaların başında ve sonunda bulunan ve kotları (veya kot farkları) malûm olan A ve B gibi iki noktaya birer istasyon kurulur (Şekil 1). Bu istasyonlarda bir barometre bir de psikrometre bulundurulur ve her onbeş dakikada bir :

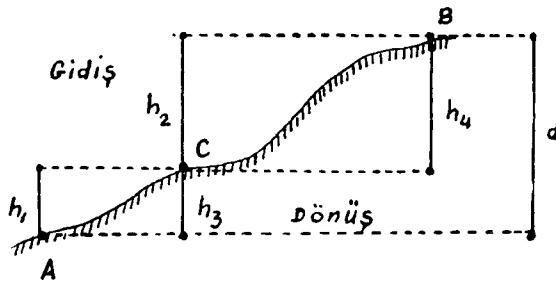
- 1 — Basıncı tesbit etmek için barometre üzerinde gerekli unsurlar,
- 2 — Psikrometrede kuru ve ıslak termometrelerin gösterdikleri sıcaklık dereceleri,
- 3 — Okuma saatleri

tesbit edilir. Üçüncü bir barometre ile A ve B arasında nivelmanı yapılacak C gibi noktalara gidilir. Aynı unsurlar bu noktalarda da ölçülür.

A ve B noktalarında ölçülen unsurlardan saatler bir absis, tashih edil-

(1) «Barometrik nivelman Çifte İstasyon metodu üzerine araştırmalar» adlı doçentlik tezinden kısmî hülâsa.

miş basınçlar, havanın sıcaklık dereceleri ve nemler bir ordinat eksenine üzerine taşınarak A ve B noktalarında bu unsurların zamanla değişimini gösteren grafikler çizilir (basınç, sıcaklık ve nem grafikleri). Sonra bu grafikler üzerinde C gibi ara noktalarına tekabül eden ölçme saatlerinde



Şekil: 1

A ve B noktalarında hüküm sürmekte olan hava basınçları, sıcaklık dereceleri ve nemleri tesbit edilir. Bu suretle C gibi noktaların hem A ya hem de B ye nazaran kotunu hesaplamak için gerekli mütekabil ölçmeler elde edilmiş olur.

A, B, C noktalarındaki mütekabil ölçmeler :

Basınçlar	p_a	p_b	p_c
Sıcaklık dereceleri	t_a	t_b	t_c
Nemler.	e_a	e_b	e_c

ise, C nin A ya ve B nin de C ye nazaran kotları h_1 h_2 ile gösterilirse :

$$1) h_1 = K \left(1 + \frac{t_a + t_c}{2} \right) (1 + \beta \cos 2\varphi_1) \left(1 + 0,377 \frac{e_a + e_c}{p_a + p_c} \right) \left(1 + \frac{2H_1}{R} \right) \log \frac{p_a}{p_c}$$

$$2) h_2 = K \left(1 + \frac{t_c + t_b}{2} \right) (1 + \beta \cos 2\varphi_2) \left(1 + 0,377 \frac{e_c + e_b}{p_c + p_b} \right) \left(1 + \frac{2H_2}{R} \right) \log \frac{p_c}{p_b}$$

olur. (Formüller içindeki φ_1, φ_2 unsurları bir harita üzerinden ölçülür. H_1, H_2 ise p_a, p_b, p_c den istidlâl edilir).

Nihayet A ve B arasındaki malûm farzedilen kot farkı d ise, C ile A arasındaki kot farkı olarak :

$$3) h = \frac{h_1 + d - h_2}{2}$$

alınır (').

(') d nin ne şekilde malûm olabileceği «Barometrik nivelmanda Çifte İstasyon metodu» adlı makalemizde incelenmiştir. (Orman Fakültesi dergisi, seri A, cilt 8, sayı, 2, 1958).

Çifte İstasyon metodunun tatbikinde karşılaşılan en mühim güçlük : Bu hatlarını kısaca belirttiğimiz çifte İstasyon metoduna ait diğer tebliğat ve tatbikat Orman Fakültesi dergisi Seri A, Cilt 8, sayı 2, 1958 de çıkan «Barometrik nivelmanda Çifte İstasyon metodu» başlıklı makalede açıklanmış bulunmaktadır. Ancak bu metodun yukarıda izah edildiği şekilde tatbiki oldukça külfetlidir. Hemen söyleyelim ki bu külfet daha ziyade büro işlerinde, başka bir söyleyişle kot farkı hesaplarındadır. Gerçekten barometrik nivelmanda esasen külfetli olan büro hesapları, Çifte İstasyon metodunda daha külfetli bir şekil almaktadır. Bunun hakkında bir fikir edinebilmek için biraz yukarıda müteaddid defalar sözü geçmiş olan makalenin 9 sayılı tablosunu incelemek kâfidir. (Bu tablo bu makalede A rümuzlu tablodur). Bu tablo 10 noktaya ait gidiş ve dönüş nivelman hesaplarını ihtiva etmektedir. Bu tablo üzerinde çifte İstasyon metodunun ne kadar uzun hesaplara ihtiyaç gösterdiği görülmektedir. Fakat bu tablo nivelman hesaplarının ancak bir kısmını teşkil etmektedir. Bunlara tekaddüm eden :

- 1 — Arazi üzerinde okunan basınçların tashihi,
- 2 — Hava nemlerinin hesaplanması,
- 3 — Basınç, hava sıcaklığı ve hava nemi grafiklerinin çizilmesi,
- 4 — Mütekabil basınç, sıcaklık ve nemlerin bu grafikler üzerinde tesbiti

gibi işlemler bu tabloda yer almadığı gibi 6 ve 23 üncü sütunlardaki kot farkları, uzun hesapların sadece neticelerini göstermektedir. Bu kot farkları barometrik nivelman genel formülü :

$$4) h = K (1 + \alpha t) (1 + \beta \cos 2\varphi) \left(1 + 0,377 \frac{e}{p} \right) \left(1 + \frac{2H}{R} \right) \log \frac{p_1}{p_2}$$

ile hesaplanmış bulunmaktadır. Bu formülün tatbiki ise hesapların en uzun süren en külfetli işidir. Her ne kadar bu hesabı kolaylaştırmak için formül içindeki $(1 + \alpha t)$, $(1 + \beta \cos 2\varphi)$, $(1 + 0,377 \frac{e}{p})$, $(1 + \frac{2H}{R})$ faktörlerinin (bu faktörler içindeki muhtelif unsurların değerlerine göre) logaritmelerini veren tablolar tanzim edilmiş ise de bu tabloların yardımı ile dahi hesaplar yeter derecede kolaylaşmamaktadır.

Bilindiği üzere barometrik nivelmanda hesapların sadeleştirilmesi ve süratlendirilmesi için bazı hesap şekilleri mevcuttur. Bunlardan birisi de Babinet nin barometrik basamaklar metodudur. Bu yazımızda Çifte İstasyon metodu ile yapılan nivelmanların hesaplarında barometrik basa-

maklardan nasıl istifade edilebileceği araştırılmış bulunmaktadır. Gerçekten Çifte İstasyon metodunda barometrik basamaklar, bu metodun bünyesine has özellikler arzetymekte ve bunun neticesinde hesapların daha süratli yapılmasını mümkün kılmaktadır.

Bu özelliklerin teferruatına girmeden önce genel olarak Babinet'in barometrik basamaklar metodunun açıklanması faydalı görülmüştür.

Babinet'in barometrik basamaklar metodu

Barometrik nivelman genel formülü :

$$5) \quad h = K(1 + \alpha t)(1 + \beta \cos 2\varphi) \left(1 + 0,377 \frac{e}{p}\right) \left(1 + \frac{2H}{R}\right) \log \frac{p_1}{p_2}$$

çinde $(1 + \beta \cos 2\varphi)$, $(1 + \frac{2H}{R})$, $(1 + 0,377 \frac{e}{p})$ faktörlerinin netice üzerine tesiri azdır. Bu formül mahdut muntakalar içinde tatbik edildiği takdirde φ , H , e , p yi sabit ve bu muntakalarda tesbit edilecek ortalama değerlere eşit farzetmek ve sözü geçen üç faktörün çarpımını K ile birleştirerek :

$$6) \quad k = K(1 + \beta \cos 2\varphi) \left(1 + \frac{2H}{R}\right) \left(1 + 0,377 \frac{e}{p}\right)$$

vazetmek ve k yi sabit bir değer olarak kabul etmek mümkündür. Bu takdirde barometrik nivelman formülü :

$$7) \quad h = k(1 + \alpha t) \log \frac{p_1}{p_2}$$

şekline girer. Bu formüle kısaltılmış barometrik nivelman formülü derler. Her hangi bir muntakada bu formülün tatbik edilebilmesi için o muntakaya ait ortalama φ , H , e , p değerlerinin tesbit edilmesi ve bu değerlere dayanılarak k katsayısının hesaplanması lâzım gelir. Orta Avrupanın ortalama enlem, kot farkı ve hava nemi şartlarına göre $k = 18464$ olarak tesbit edilmiştir. Memleketimiz için henüz böyle bir tesbit yapılmış değildir. Çok değişik kot ve hava nemi şartları gösteren memleketimizde muhtelif muntakalar ayırmak ve her muntaka için bir k katsayısı tesbit etmek düşünülebilir.

7 sayılı formül her ne kadar kısaltılmış bir şekil ise de, bu formül ile yapılacak hesaplar (bilhassa $\log \frac{p_1}{p_2}$ faktörü yüzünden) yine de uzun ve

külfetlidir. Babinet bu formüle istinaden yapılacak hesapları basit bir çarpma işlemine irca etmektedir. Şöyle ki : 7 sayılı formül içinde :

$$8) \quad \frac{p_1}{p_2} = \frac{1+x}{1-x}$$

vazedelim. Bu takdirde :

$$9) \quad x = \frac{p_1 - p_2}{p_1 + p_2}$$

olur. 9 ifadesine göre x in değeri $-$ ile $+ 1$ arasındadır. Bu böyle olunca :

$$10) \quad \log(1+x) = M \left(x - \frac{1}{2}x^2 + \frac{1}{3}x^3 - \frac{1}{4}x^4 + \dots \right)$$

$$11) \quad \log(1-x) = -M \left(x + \frac{1}{2}x^2 + \frac{1}{3}x^3 + \frac{1}{4}x^4 + \dots \right)$$

$$12) \quad \log \frac{1+x}{1-x} = M \left(2x + \frac{2}{3}x^3 + \dots \right) = \log \frac{p_1}{p_2}$$

olur. $\log \frac{p_1}{p_2}$ nin değeri 7 içinde yerine konunca formül şu şekle girer :

$$13) \quad h = kM(1 + \alpha t) \left(2x + \frac{2}{3}x^3 + \dots \right)$$

$$14) \quad h = 2kM(1 + \alpha t)x + \frac{2}{3}kM(1 + \alpha t)x^3 + \dots$$

P_1 , P_2 nin alabileceği değerler gözönünde tutulursa 9 ile tesbit edilmiş olan x değerinin 1 den oldukça küçük olduğu anlaşılır. Bu böyle olunca x^3 ün değeri çok küçük olacağından 14 ün ikinci terimini ihmal etmek mümkün olur. O zaman formül :

$$15) \quad h = 2kM(1 + \alpha t)x$$

veyahut x in 9 daki değeri yerine konunca :

$$16) \quad h = 2kM(1 + \alpha t) \frac{p_1 - p_2}{p_1 + p_2}$$

veyahut :

$$17) \quad h = kM \frac{1 + \alpha t}{\frac{p_1 + p_2}{2}} (p_1 - p_2)$$

şekline girer.

$$18) \quad C = kM \frac{1 + \alpha t}{\frac{p_1 + p_2}{2}}$$

vazedilirse :

$$19) \quad h = C (p_1 - p_2)$$

olur. C katsayısı her hangi bir şekilde kolaylıkla bulunabildiği takdirde, kot farkı h basit bir çarpma işlemi ile elde edilmiş olur.

C nin 18 deki ifadesi içinde (k ve M sabit olduğuna göre) iki değişken vardır: ortalama basınç p ve ortalama hava sıcaklığı t. O halde p nin ve t nin muhtelif değerlerine göre C yi veren çift girişli tablolar hazırlamak mümkündür. Her seferinde p ve t nin değerlerine göre C nin değeri bu tablolardan alınabilir ve o zaman, yukarıda söylendiği gibi, kot farkı basit bir çarpma işlemi ile hesaplanabilir.

C nin mânası : 19 eşitliğinde $p_1 - p_2 = 1$ yapalım. O zaman :

$$h = C$$

olur. O halde C, bir milimetrelik basınç farkına tekabül eden kot farkını göstermektedir. Bu kot farkına «Barometrik basamak» denmektedir.

Çifte İstasyon metodunda barometrik basamakları özelliği

Gelişi güzel her hangi bir mıntakada barometrik basamaklardan istifade edebilmek için, 18 eşitliğinden istifade edilerek o mıntakanın şartlarına uygun bir barometrik basamak tablosunun tanzim edilmiş olması gerekir. Fakat çifte İstasyon metodu böyle bir tabloya ihtiyaç göstermemekte ve barometrik basamakların başka bir yoldan tesbitini mümkün kılmaktadır. Bu tesbitin dayandığı esas şudur : Farzedelim ki A ve B gibi iki nokta arasındaki kot farkı Δh , bu noktalarda ölçülen basınçlar arasındaki fark Δp dir. 19 za göre .

$$20) \quad h = C \cdot \Delta p$$

$$21) \quad C = \frac{\Delta h}{\Delta p}$$

Bu suretle hesaplanan C nin, sözü geçen iki nokta arasında ölçüleceği yapıldığı andaki şartlara en uygun barometrik basamak olacağını göstermek gayet lojiktir. Gerçekten C nin tam bir ifadesini göz önüne alalım :

$$22) \quad C = kM \frac{1 + \alpha t}{p}$$

veya k yi temsil eden faktörler de açıklanınca :

$$23) \quad C = KM (1 + \beta \cos 2\varphi) \left(1 + \frac{2H}{R}\right) \left(1 + 0,377 \frac{e}{p}\right) \frac{1 + \alpha t}{p}$$

Barometrik basamaklar için tanzim edilmiş tablolarda C ler φ , H, e unsurlarının ortalama değerlerine göre hesaplanmış bulunur. A ve B gibi iki noktada ölçülen t ve p değerlerine göre (eğer o mıntaka için hazırlanmış bir tablo mevcut ise) barometrik basamaklar tablosundan alınacak C değeri ile, bu noktalarda ölçülen hakiki φ , H ve e değerlerine göre 23 formülü ile hesaplanacak C değeri arasında fark olacaktır. C nin doğrudan doğruya 21 re göre hesaplanması ile sözü geçen (A, B noktalarına tekabül eden) φ , H, e unsurları otomatik bir şekilde nazarı itibare alınmış bulunur. Hattâ bu suretle hesaplanacak barometrik basamak 14 ten 15 şeye geçerken ikinci terimin ihmâl edilmesinden doğacak hatayı da ifna edecek mahiyettedir.

İşte Çifte İstasyon metodu, barometrik basamakların 21 eşitliği ile hesaplanmasını mümkün kılmaktadır.

Gerçekten bu metotta, evvelce yapılan izahlardan anlaşılacağına göre, İstasyon olarak seçilen A ve B noktaları arasındaki kot farkı da malûm bulunmaktadır. Diğer taraftan bu İstasyonlarda devamlı olarak 15 dakikada bir (diğer unsurlar arasında) basınç unsuru da ölçülmektedir. Saatler bir apsis, basınçlar bir ordinat eksenine taşınmak suretiyle her İstasyon için bir basınç grafiği çizmek kabildir. Bu grafikler üzerinden her hangi bir s saatinde A ve B İstasyonlarında hüküm süren basınçlar, başka bir söyleyişle saat s deki mütekebil basınçlar alınabilir. Bu basınçlar arasındaki fark Δp ise, A ve B noktaları arasında saat s deki barometrik basamak :

$$24) \quad C_s = \frac{d}{\Delta p}$$

olur. Eğer A ve B İstasyonları birbirinden çok uzak, d de çok büyük değilse, A B arasındaki bütün noktalar için C_s yi saat s deki barometrik basamak olarak kabul etmek mümkündür.

Yukarıda sözü geçen basınç grafikleri üzerinden muhtelif saatlerdeki müteakbil basınçlar alınır ve 24 de göre barometrik basamaklar hesaplanırsa, AB noktaları arasında muhtelif saatlerde (meselâ onbeş dakika aralıkla) hüküm süren barometrik basamaklar bulunmuş olur. Saatler bir apsis, bu suretle hesaplanan barometrik basamaklar bir ordinat eksenini üzerine taşıdığı takdirde bir «Barometrik basamak grafiği» elde edilir. Bu grafik üzerinden her hangi bir saate tekabül eden barometrik basamağı almak mümkündür.

A ve B arasında bulunan bir C noktasında saat s de p_c basıncı ölçülmüş olsun. Yukarıda sözü geçen basınç grafikleri üzerinde tesbit edilen, A ve B noktalarında saat s deki basınçlar p_a , p_b olsun. Barometrik basamak grafiği üzerinde saat s ye tekabül eden barometrik basamak C, ile gösterilirse, C nin A ve B noktalarına nazaran kotları :

$$25) \quad h_1 = C_s(p_a - p_c)$$

$$26) \quad h_2 = C_s(p_c - p_b)$$

olur (Şekil 1).

Buraya kadar verilmiş bulunan izahattan, Çifte İstasyon metodunda barometrik basamaklardan ne suretle istifade edilebileceği anlaşılmaktadır. Görülüyor ki Çifte İstasyon metodunda barometrik basamaklar, Babinet'nin 18 sayılı formüldeki şekilden ayrılmakta ve tamamıyla başka bir esasa istinad etmektedir. Burada barometrik basamakların gerek tesbit edilişi, gerekse tatbiki, Çiftçe İstasyon metoduna mahzus bir özellik göstermektedir.

Hesapları büyük ölçüde kısaltması ve süratlendirmesinden başka barometrik basamakların kullanılması, arazi üzerindeki ölçmeleri de kolaylaştırmakta ve süratlendirmektedir. Gerçekten hesaplar barometrik basamaklara istinaden yapıldığı takdirde, C gibi ara noktalarında hava sıcaklığı ve hava nemi unsurlarının ölçülmesine lüzum kalmamaktadır. 25, 26 eşitlikleri bu gibi noktalarda yalnız basınçların ölçülmesinin kâfi geldiğini göstermektedir. Bir Assman psikrometresiyle bir noktada nem ölçmenin en az 7-8 dakika süreceği düşünülürse (psikrometreyi, ona lüzum olan şu şişesini taşımak ve kullanmak külfetinden kurtulduğu bir tarafa bırakılsa bile) zamandan elde edilen kazancın küçümsenmeyecek kadar ehemmiyetli olduğu anlaşılır.

İstasyon noktalarına gelince : Şayet A ve B noktaları arasındaki kot farkı d evvelden bilinmiyorsa, bu kot farkının barometrik nivelman yolu ile mümkün olduğu kadar sıhhatle hesaplanabilmesi için, bu noktalarda hava sıcaklığı ve nem unsurlarının ölçülmesi zaruridir. Fakat d başka bir nivelman ameliyesi ile daha evvelden tesbit edilmiş bulunuyorsa, istasyon noktalarında da sıcaklık ve nem unsurlarının ölçülmesine

lüzum kalmaz. O zaman bu noktalarda da sadece basınç unsurunun ölçülmesi kâfi gelir.

Çifte İstasyon metodunda barometrik basamakların tatbiki neticeleri

Buna ait tatbikat Bolunun Seben silsilesinin kuzey yamacında yapılmıştır (1). Sabit istasyonlardan birisi Karacasu mevkinde, diğeri Taşoluk Yaylâsında, bir üçüncüsü de Sebenin kuzey yamacında Çakılbağı denilen mevkide kurulmuştur. 1 sayılı harita üzerinde bu istasyon noktaları çift dairelerle gösterilmiştir. Bu noktalar arasında 18 nokta alınmıştır. Bütün bu noktalar, yapılan yatay ölçme neticesinde sözü geçen harita üzerine işlenmiş bulunmaktadır.

Noktaların geometrik nivelmanı : Barometrik basamaklar yolu ile yapılacak hesapların neticeleri hakkında bir hüküm verebilmek için bu noktalar arasındaki kot farklarının sıhhatli bir şekilde tesbitine lüzum görülmüş ve bir N3 Wild nivosu ile bu noktaların (gidiş ve dönüş olmak üzere) geometrik nivelmanı yapılmıştır. Bu nivelman neticeleri, 1 sayılı tabloda hülâsa edilmiştir. Bu neticeler aynı zamanda 5, 6, 7 sayılı tabloların birinci sütununda yer almış bulunmaktadır.

Geometrik nivelman neticeleri

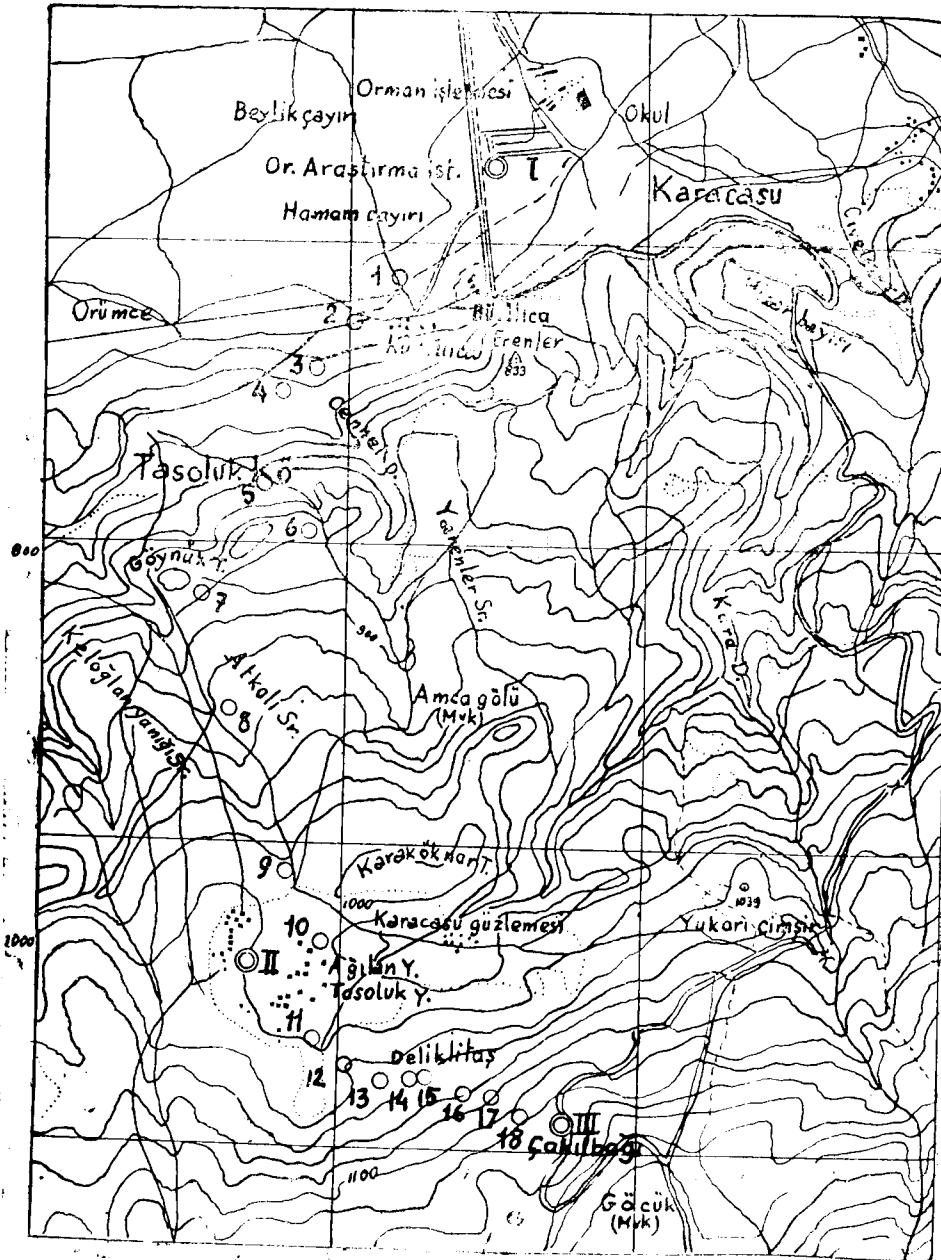
Tablo No. 1

Nokte	Kotlar	
	I re nazaran	II ye nazaran
I	0,00	273,98
1	1,07	272,91
2	0,19	273,79
3	13,98	260,00
4	35,04	238,94
5	105,62	168,36
6	159,31	114,67
7	172,18	101,80
8	210,80	63,18
9	259,93	14,05
10	265,67	8,31
II	273,98	0,00

(1) Barometrik nivelmanda çifte istasyon metodu. Orman Fakültesi dergisi, seri A, cilt 8, sayı 2, 1958.

Nivelman noktalarının durumunu gösterir harita

Harita No. 1



Barometrik nivelmanlar : İki seri halinde yapılmıştır. Birinci seri, Karacasu istasyonu ile Taşoluk yaylası istasyonu arasında yapılmıştır ve I sayılı haritada görüldüğü gibi 1 den 10 na kadar numaralanmış noktaları ihtiva etmektedir. İkinci seri, Karacasu-Çakılbağı istasyonları arasındaki nivelmandır. Bu seri 18 tane ara noktası ihtiva etmektedir. Her seride iki defa gidiş dönüş ölçme yapılmıştır. Yazımızı fazla tablolarla doldurmamak için burada yalnız birinci seri nivelmanların neticeleri verilmiştir.

I. Serinin I. nivelmanı ve neticeleri

Barometrik basamak grafiğini çizebilmek için istasyon noktalarına ait olmak üzere yeter miktarda müteakbil basınç tesbit etmek lâzım gelir. Müteakbil basınçları elde etmek için evvelâ istasyon noktalarında yapılan rasatlardan istifade edilerek, saatler bir apsis ve basınçlar bir ordinat akseni üzerine taşınmak suretiyle I ve II sayılı grafikler çizilmiştir. Bu grafikler, istasyon noktalarında basıncın zamanla değişimini göstermektedir. Barometrik basamak grafiğine esas olan basamak hesapları 2 sayılı tabloda görülmektedir. Bu tablonun 2 ve 3 üncü sütunundaki müteakbil basınçlar, birinci sütundaki saatlere göre I ve II sayılı basınç grafikleri üzerinden alınmıştır. Nasıl hesaplandığı tabloda açıkça görülen barometrik basamaklar, birinci sütunda yer almış bulunmaktadır. Sonra birinci sütundaki saatler bir apsis, beşinci sütundaki barometrik basamaklar bir ordinat akseni üzerine taşınmak suretiyle III sayılı barometrik basamak grafiği elde edilmiştir.

3 ve 4 sayılı tablolar, nivelman hesaplarının barometrik basamaklara istinaden yapılışını göstermektedir. Bu tabloların 6 ve 8 ci sütunlarındaki saatler ve basınçlar, gezici barometre ile ara noktalarında ölçülen unsurlardır (1). 7 ve 9 uncu sütunlardaki p_1 , p_2 basınçları ise I ve II istasyonlarında 6 ncı sütunlardaki saatlerde hüküm süren basınçlardır. Bu basınçlar I ve II sayılı basınç grafikleri üzerinden alınmıştır. 5 ve 11 inci sütunlardaki Δp_1 , Δp_2 miktarları :

$$\Delta p_1 = p_1 - P$$

$$\Delta p_2 = P - p_2$$

eşitliklerine dayanılarak hesaplanmıştır. 10. sütundaki C ler (yani barometrik basamaklar), 6. sütundaki saatlere göre III sayılı barometrik ba-

(1) A rümlü tablonun 10 ve 18. sütunları.

samak grafiğinden alınmıştır. 3 ve 4 sayılı tabloların diğer sütunlarındaki hesaplar açıklamaya lüzum göstermektedir. 2 ve 12. sütunlardaki kotlar, üzerinde âlet yüksekliği tashihi yapıldıktan sonra elde edilen kotlardır.

$$h_1 = C. \Delta p_1 - a$$

$$h_2 = C. \Delta p_2 + a$$

dır (a = âlet yüksekliği).

3 ve 4 sayılı tablolar, barometrik basamaklara istinaden yapılan giriş ve dönüş nivelman hesaplarının (ortalama alma ameliesi hariç) tamamını ihtiva etmektedir. Barometrik nivelman genel formülüne istinaden yapılan hesaplarla mukayese etmek icap ederse bu tablo, Orman Fakültesi dergisi, seri A, sayı 2 (1958) de çıkan «Barometrik nivelmanda Çifte İstasyon metodu» başlıklı yazımızdaki 4 sayılı tabloya tekabül etmektedir. Mukayeseyi kolaylıkla yapabilmemiz için bu tablo, bu yazıya alınmıştır (Tablo A). Bu tablolar karşılaştırdığı takdirde 3 ve 4 sayılı tablolardaki hesapların Tablo A daki hesaplara nazaran ne kadar basit, kolay ve kısa olduğu kolaylıkla görülür. Bu hususta bir fikir verebilmek için şu kadarını hatırlatalım ki A tablosunun 6 ve 23. sütunlarındaki kot farkları, barometrik nivelman genel formülü :

$$h = K (1 + \alpha t) (1 + \beta \cos 2\varphi) \left(1 + 0,377 \frac{e}{p}\right) \left(1 + \frac{2H}{R}\right) \log \frac{p_1}{p_2}$$

ile hesaplanmış bulunmaktadır. Yalnız bu sütunlardaki rakamların bulunması için yapılan hesaplar, 3 ve 4 sayılı tablolardaki hesapların tamamına nazaran bir kaç misli daha külfetlidir. Barometrik basamakların Çifte İstasyon metodunda nivelman hesaplarını ne derece kısalttığı ve kolaylaştırdığı bu suretle açıklanmış bulunmaktadır.

Neticelere gelince : Gidiş ve dönüş nivelmanlarda ayrı ayrı olmak üzere ikili ortalamalara ait hesaplar 5 ve 6 sayılı tablolarda yapılmış bulunmaktadır. Bu tablolarda $h_1, h_3, I.$ istasyona nazaran; $h_2, h_4, II.$ istasyona nazaran kotları göstermektedir. v_1, v_2, v_3, v_4 ise bu kotlara ait hakikî hatalardır. Noktaların hakikî kotları (sütun 1) bilindiğine göre, v_1, v_2, v_3, v_4 hakikî hata olarak hesaplanmıştır.

$$v_1 = H_1 - h_1$$

$$v_2 = H_2 - h_2$$

$$v_3 = H_1 - h_3$$

$$v_4 = H_2 - h_4$$

Karacasu ve Taşoluk Yaylâsı arasındaki noktaların kot farklarının hesabı

I. Nivelman

Formül : $h' = K(1 + \alpha t)(1 + \beta \cos 2\varphi) \left(1 + 0,377 \frac{e}{p}\right) \left(1 + \frac{2H}{R}\right) \log \frac{p_1}{P}$ veya $\left(\log \frac{P}{p_2}\right)$

Tablo : A

	v ₁	h ₁	No.	Alet Y	h ₁ '	p	e	t	Saat	t ₁	T	t ₂	e ₁	E	e ₂	p ₁	P	p ₂	t'	e'	p'	h ₂ '	No.	h ₂	v ₂
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
	m	m		sm	m	mm	mm	C°	s d	C°	C°	C°	mm	mm	mm	mm	mm	mm	C°	mm	mm	m		m	m
G	+1,22	-0,15	1	83	0,68	702,55	8,08	15,0	10 27	15,0	15,0	12,4	8,64	7,51	8,13	702,58	702,52	680,23	13,7	7,82	691,88	271,93	1	272,76	+0,
i	+0,96	-0,77	2	77	0,00	702,58	8,33	15,4	10 40	15,4	15,3	12,8	8,74	7,91	8,13	702,58	702,58	680,19	14,1	8,02	691,39	273,56	2	274,33	-0,
d	+0,62	13,36	3	67	14,03	802,05	8,61	15,6	10 53	15,6	15,5	13,2	8,92	8,30	8,11	702,59	701,43	680,14	14,4	8,21	690,79	260,64	3	261,31	-1,
i	+0,44	34,61	4	65	35,26	701,14	8,47	15,6	11 05	15,7	15,5	13,2	9,02	7,92	8,11	702,59	699,68	680,16	14,4	8,02	689,92	239,24	4	239,89	-0,
s	+1,44	104,18	5	83	105,01	698,13	8,26	14,8	11 28	15,4	14,1	13,1	8,99	7,52	8,42	702,56	693,90	680,16	13,6	7,97	687,03	168,44	5	169,27	-0,
	-1,15	160,46	6	76	161,22	695,93	8,21	14,8	11 40	15,4	14,1	13,1	8,99	7,43	8,38	702,55	689,30	680,14	13,6	7,91	684,72	112,80	6	113,56	+1,
	+0,33	171,85	7	71	172,56	695,45	8,83	16,0	11 58	15,8	16,2	13,3	9,02	8,64	8,17	702,50	688,39	680,10	14,8	8,41	684,25	102,62	7	103,39	-1,
	-0,79	211,59	8	77	212,36	693,77	8,63	15,4	12 16	16,0	14,8	13,7	9,13	8,13	8,21	702,45	685,09	680,02	14,3	8,17	682,56	62,79	8	63,56	-0,
	+1,42	258,51	9	75	259,26	691,88	8,75	15,3	12 36	16,0	14,6	13,8	9,36	8,14	8,37	702,45	681,31	680,03	14,2	8,26	680,67	15,90	9	16,65	-2,
	+0,22	265,89	10	70	266,59	691,58	8,93	15,1	12 49	16,0	14,1	13,6	9,42	8,43	8,31	702,45	680,71	679,99	13,9	8,37	680,35	8,92	10	9,62	-1,
	v ₃	h ₃			h ₃ '																	h ₄ '		h ₄	v ₄
D	0,00	265,67	10	71	266,38	691,64	8,43	14,7	13 55	15,4	14,0	13,2	9,30	7,56	8,10	702,52	680,76	680,09	13,6	7,83	680,43	8,31	10	9,02	-0,
e	+0,9	259,74	9	76	260,50	691,92	8,80	14,1	14 10	15,1	13,1	12,8	9,29	8,30	8,15	702,58	681,25	680,20	13,0	8,23	680,75	12,98	9	13,74	+0,
	+1,87	208,93	8	74	209,67	693,97	8,75	13,6	14 28	14,9	14,1	12,2	9,17	8,33	8,07	702,60	685,35	680,30	12,3	8,20	682,82	62,08	8	62,82	+0,
	+1,37	170,81	7	71	171,52	695,55	8,58	13,9	14 42	14,8	13,0	12,3	9,07	8,09	8,30	702,62	688,49	680,23	12,7	8,20	681,36	101,47	7	102,18	-0,
	+0,98	158,33	6	74	159,07	696,07	8,51	13,8	14 57	14,6	13,0	12,4	9,01	8,00	8,38	702,63	689,51	680,19	12,7	8,19	684,85	114,41	6	115,15	-0,
	+0,78	104,84	5	83	105,67	698,30	8,93	13,9	15 11	14,4	13,4	12,3	9,09	8,77	8,25	702,67	693,93	680,20	12,9	8,51	687,06	168,14	5	168,97	-0,
	+1,27	33,77	4	67	34,44	701,31	8,92	13,9	15 29	14,0	13,8	11,9	9,27	8,57	8,60	702,74	699,88	680,24	12,9	8,59	690,06	239,49	4	240,16	-1,
	+1,22	12,76	3	68	13,44	702,22	9,13	13,6	15 40	13,8	13,3	11,6	9,40	8,86	8,67	702,78	701,66	680,30	12,5	8,77	690,98	259,78	3	260,46	-0,
	+0,86	-0,67	2	79	+0,12	702,84	9,27	13,6	15 51	13,5	13,6	11,2	9,58	8,95	8,71	702,84	702,83	680,38	14,4	8,83	691,60	272,68	2	273,47	+0,
	+0,49	+0,58	1	83	+1,41	702,83	9,44	13,2	16 02	13,2	13,1	11,1	9,72	9,15	8,80	702,89	702,77	680,42	12,1	8,98	691,60	271,21	1	272,04	+0,

t₁ , t₂ Alt ve üst istasyondaki sıcaklıklar

e₁ , e₂ » » nemler

p₁ , p₂ » » basınçlar

T , E , P Ara noktadaki sıcaklıklar, nem

ve basınç

$p = \frac{1}{2} (p_1 + P)$

$e = \frac{1}{2} (e_1 + E)$

$t = \frac{1}{2} (t_1 + T)$

$p' = \frac{1}{2} (p_2 + P)$

$e' = \frac{1}{2} (e_2 + E)$

$t' = \frac{1}{2} (t_2 + T)$

h' formülün verdiği kot farkı

h alet yüksekliği tashihinden sonra

elde edilen kot farkı

v hakikî hatalar

Bu eşitliklerde H_1 , H_2 miktarları, I ve II istasyonlarına nazaran hakikî kotları ifade etmektedir.

h'_1 , h'_2 kotları, h_3 , h_4 lerin I. istasyona irca edilmiş değerlerini göstermektedir. μ_1 , μ_2 sütun 8 de bulunan ikili ortalamalar üzerindeki orta hatalardır. μ lerin hesabında kullanılan hatalar hakikî hatalar olduğundan μ değerleri :

$$\mu = \frac{\sqrt{[vv]}}{2}$$

formülü ile hesaplanmıştır. Nihayet 11. sütundaki W ler, ikili ortalamalar üzerindeki hakikî hatalardır.

7 sayılı tablo, gidiş - dönüş nivelmanların dörtlü ortalamalarına ait hesapları ihtiva etmektedir. 7, 9, 10. sütunlarda sırasıyle dörtlü ortalamalar, bu ortalamaların orta hataları ve nihayet hakikî hataları yer almış bulunmaktadır. 8 sayılı tablo ise bütün bu nivelman şekillerinin mukayesesini mümkün kılmaktadır.

Bütün bu tablolar incelenir ve müteaddit defalar sözü geçen «Barometrik nivelmanda Çifte İstasyon metodu» başlıklı yazımızda barometrik nivelman genel formülüne dayanılarak yapılan hesapları ihtiva eden 4, 5, 6, 7, 8 sayılı tablolarla karşılaştırılırsa, barometrik basamaklarla elde edilen sonuçların, normal yoldan yürüyerek elde edilen sonuçlara eşdeğer olduğu görülür.

I. seri II. nivelman

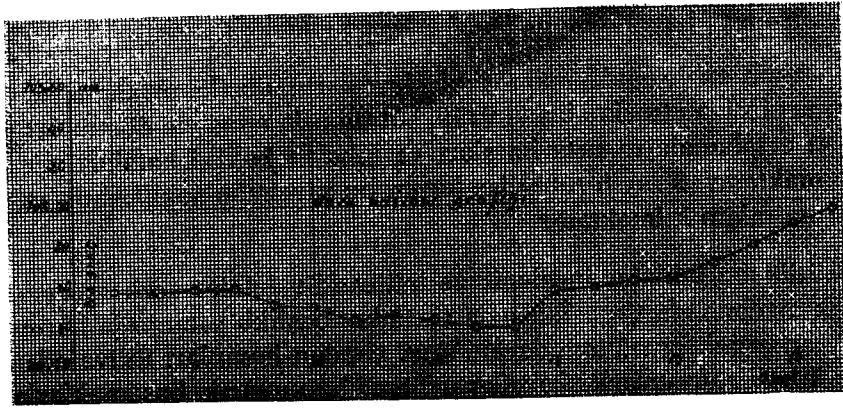
Bu nivelmana ait hesaplar yazımızın fransızca kısmında yer almış bulunmaktadır. I ve II sayılı grafikler, bu kısımdaki aynı sayıyı taşıyan grafiklere paralel olarak, I ve II istasyonlarında basıncın zamanla değişimini göstermektedir. Bu grafiklerin nasıl çizildiği evvelce izah edilmişti. Barometrik basamakların hesaplarında bu grafiklerden istifade edilmiştir. Bu hesaplar 2 sayılı tabloda gösterilmiştir. Bu tablonun ikinci ve üçüncü sütunlarındaki müteakib basıncılar, birinci sütundaki saatlere göre I ve II sayılı basınç grafikleri üzerinden alınmıştır. Nasıl hesaplandığı açıkça görülen barometrik basamaklar 5. sütunda yer almış bulunmaktadır. Sonra birinci sütundaki saatler bir apsis, 5. sütundaki barometrik basamaklar bir ordinat eksenine üzerine taşınmak suretiyle III sayılı barometrik basamak grafiği elde edilmiştir.

3, 4, 5, 6, 7, 8 sayılı tablolar, bu ikinci nivelman için, türkçe kısmındaki aynı sayıları taşıyan tablolara paralel hesapları ihtiva etmektedir.

Birinci nivelman için, bu tabloların ihtiva ettiği hesaplar üzerine yeter derecede izahat verilmiş olduğundan, burada bu izahatın tekrarından sarfınazar edilmiştir. Bu tabloların verdiği neticeler, sözü geçen yazımın fransızca kısmındaki 5, 6, 7, 8 sayılı tabloların sonuçları ile karşılaştırılırsa, birinci nivelman üzerinde söylenenlerin ikinci nivelmana da teşmil edilebileceği görülür.

I. Seri I. Nivelman.

Karacasu İstasyonunda hava basıncı değişimini gösterir grafik
Grafik No. I



I. Seri I. Nivelman

Taşoluk Yaylâsı istasyonunda hava basıncı değişimini gösterir grafik
Grafik No. II



I. Seri I. Nivelman

III sayılı grafiğe esas olan Barometrik basamakların hesabı

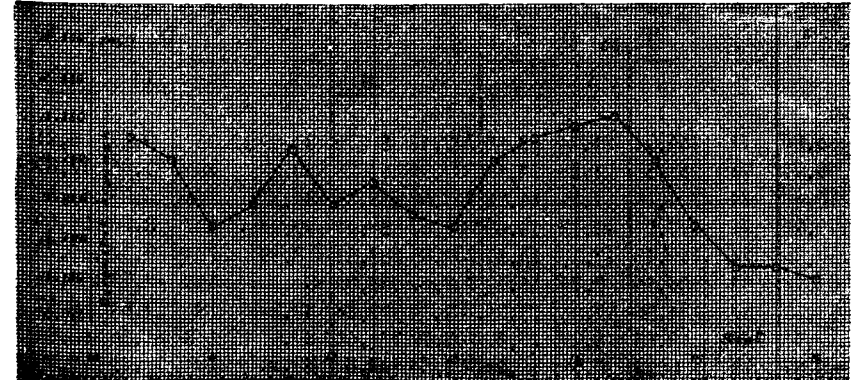
Tablo No. 2

Saat	p ₁	p ₂	$\Delta p = p_1 - p_2$	$C = \frac{d}{p}$
1	2	3	4	5
10 20	702,59	680,23	22,36	12,253
10 40	702,58	680,20	22,38	12,242
11 00	702,59	680,15	22,44	12,209
11 20	702,59	680,17	22,42	12,220
11 40	702,51	680,14	22,37	12,248
12 00	702,50	650,08	22,42	12,220
12 20	702,43	680,03	22,40	12,231
12 40	702,45	680,02	22,43	12,215
13 00	702,43	679,99	22,44	12,209
13 20	702,39	680,01	22,38	12,242
13 40	702,39	680,03	22,36	12,253
14 00	702,57	680,22	22,35	12,259
14 20	702,59	680,25	22,34	12,264
14 40	702,62	680,24	22,38	12,242
15 00	702,63	680,19	22,44	12,209
15 20	702,70	680,22	22,48	12,188
15 40	702,78	680,30	22,48	12,188
16 00	702,89	680,40	22,49	12,182
16 20	702,96	680,46	22,50	12,177

I. Seri I. Nivelman

Karacasu ve Taşoluk Yaylâsı istasyonları arasında barometrik basamakların zamanla değişimini gösterir grafik

Grafik No. III



I. Seri I. Nivelman
Barometrik basamaklara dayanan nivelman hesapları
Gidiş nivelman

Tablo No. 3

No.	I re nazaran kot hesapları				Mütekabil basınçlar				Barometrik basamak	II ye nazaran kot hesapları		
	h_1	Alet Y. a	C. Δp_1	$\Delta p_1 = p_1 - P$	Saat	p_1	P	p_2		C	$\Delta p_2 = P - p_2$	C. Δp_2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	-0,09	83	0,74	0,06	10,27	702,58	702,52	680,23	12,249	22,29	273,03	273,86
2	-0,77	77	0,00	0,00	10,40	702,58	702,58	680,19	242	22,39	274,10	274,87
3	13,51	67	14,18	1,16	10,53	702,59	701,43	680,14	220	21,29	260,16	260,83
4	34,89	65	35,54	2,91	11,05	702,59	699,68	680,16	212	19,52	238,38	239,03
5	105,10	83	105,93	8,66	11,28	702,56	693,90	680,16	232	13,74	168,07	168,90
6	161,53	76	162,29	13,25	11,40	702,55	689,30	680,14	248	9,16	112,19	112,35
7	171,74	71	172,45	14,11	11,58	702,50	688,39	680,10	222	8,29	101,32	102,03
8	211,53	77	212,30	17,36	12,16	702,45	685,09	680,02	229	5,07	62,00	62,77
9	257,54	75	258,29	21,14	12,36	702,45	681,31	680,03	218	1,28	15,64	16,39
10	264,79	70	265,49	21,74	12,49	702,45	680,71	679,99	212	0,72	8,79	9,49

I. Seri I. Nivelman
Barometrik basamaklara dayanan nivelman hesapları
Dönüş nivelman

Tablo No. 4

No	I re nazaran kot hesapları				Mütekabil basınçlar				Barometrik basamak	II ye nazaran kot hesapları		
	h_3	Alet Y. a	C. Δp_1	$\Delta p_3 = p_3 - P$	Saat	p_3	P	p_4		C	$\Delta p_4 = P - p_4$	C. Δp_4
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
10	266,00	71	266,71	21,76	13,55	702,52	680,76	680,09	12,257	0,67	8,21	8,92
9	260,77	76	261,53	21,33	14,10	702,58	681,25	680,20	261	1,05	12,87	13,63
8	210,66	74	211,40	17,25	14,28	702,60	685,35	680,30	255	5,05	61,89	62,63
7	172,20	71	172,91	14,13	14,42	702,62	688,49	680,23	237	8,26	101,09	101,80
6	159,36	74	160,10	13,12	14,57	702,63	689,51	680,19	203	9,32	113,73	114,47
5	105,76	83	106,59	8,74	15,11	702,67	693,93	680,20	196	13,73	167,45	168,28
4	34,19	67	34,86	2,86	15,29	702,74	699,88	680,24	188	19,64	239,37	240,04
3	12,97	68	13,65	1,12	15,40	702,78	701,66	680,30	188	21,36	260,34	261,02
2	-0,67	73	0,12	0,01	15,51	702,84	702,83	680,38	184	22,45	273,53	274,32
1	0,63	83	1,46	0,12	16,02	707,89	702,77	680,42	181	22,35	272,25	273,08

I. Seri I. Nivelman
İkili Ortalamaya ait hesaplar
Gidiş nivelman

Tablo No. 5

Hakiki kotlar	I re nazaran			II ye nazaran		I re irca	Ortalama	Ortalamada		
	No.	h_1	v_1	h_2	v_2	$h'_2 = d - h_2$	$h^0_1 = \frac{1}{2}(h_1 + h'_2)$	$[vv]_1^2$	$\frac{\mu_1 = \sqrt{[vv]}}{2}$	W_1
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,00	I									
1,07	1	-0,09	+1,16	273,86	-0,95	0,12	0,02	2,25	0,75	+1,05
0,19	2	-0,77	+0,96	274,87	-1,08	-0,89	-0,83	2,09	0,62	-0,64
13,98	3	13,51	+0,47	260,83	-0,83	13,15	13,33	0,91	0,48	+0,65
35,04	4	34,89	+0,15	239,03	-0,09	34,94	34,92	0,03	0,08	+0,12
105,62	5	105,10	+0,52	168,90	-0,54	105,08	105,09	0,56	0,38	+0,53
159,31	6	161,53	-2,22	112,35	+1,72	161,03	161,28	7,89	1,40	-1,97
172,18	7	171,74	+0,44	102,03	-0,23	171,95	171,84	0,25	0,25	+0,34
210,80	8	211,53	-0,73	62,77	+0,41	211,21	211,37	0,70	0,42	-0,57
259,93	9	257,54	+2,39	16,39	-2,34	257,59	257,56	11,19	1,68	+2,37
265,67	10	264,79	+0,88	9,49	-1,18	264,49	264,64	2,17	0,74	+1,03
273,98	II									

Dönüş nivelman

Tablo No. 6

Hakiki kotlar	I re nazaran			II ye nazaran		I re irca	Ortalama	Ortalamada		
	No.	h_3	v_3	h_4	v_4	$h'_4 = d - h_4$	$h^0_2 = \frac{1}{2}(h_3 + h_4)$	$[vv]_3^4$	$\frac{\mu_2 = \sqrt{[vv]}}{2}$	W_2
1	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11
265,67	10	266,00	-0,33	8,92	-0,61	265,06	265,53	0,48	0,35	+0,14
259,93	9	260,77	-0,84	13,63	+0,42	260,35	260,56	0,88	0,47	-0,63
210,80	8	210,66	+0,14	62,63	+0,55	211,35	211,01	0,32	0,28	-0,21
172,18	7	172,20	-0,02	101,80	0,00	172,18	172,19	0,00	0,00	-0,01
159,31	6	159,36	-0,05	114,47	+0,20	159,51	159,43	0,04	0,10	-0,12
105,62	5	105,76	-0,14	168,28	+0,08	105,70	105,73	0,02	0,07	-0,11
35,04	4	34,19	+0,85	240,04	-1,10	33,94	34,06	1,93	0,70	+0,98
13,98	3	12,97	+1,01	261,02	-1,02	12,96	12,97	2,06	0,72	+1,01
0,19	2	-0,67	+0,86	274,32	-0,53	-0,34	-0,50	1,02	0,50	-0,69
1,07	1	0,63	+0,44	273,08	-0,17	0,90	0,76	0,22	0,23	+0,31

I. Seri I. Nivelman

Dörtlü Ortalamaya ait hesaplar

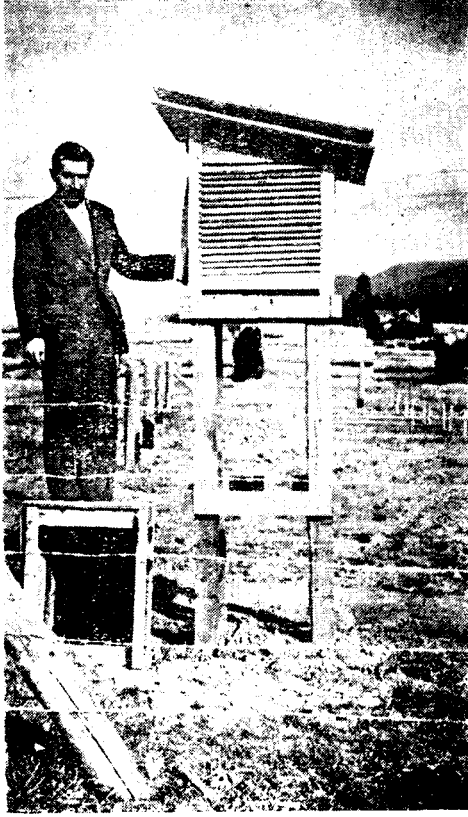
Tablo No. 7

1 re göre hakiki kotlar	Noktalar	Gidiş niv. neticeleri		Dönüş niv. neticeleri		4 niv. ortalaması			
		$\frac{1}{2} [h]_1^2$	$[vv]_1^2$	$\frac{1}{2} [h]_3^4$	$[vv]_3^4$	$\frac{1}{4} [h]_1^4$	$[vv]_1^4$	$\mu = \sqrt{\frac{[vv]}{4}}$	W
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,07	1	0,02	2,25	0,76	0,22	0,39	2,47	0,39	+0,68
0,19	2	-0,83	2,09	-0,50	1,02	-0,67	3,11	0,44	+0,86
13,98	3	13,33	0,91	12,97	2,06	13,15	2,97	0,43	+0,83
35,04	4	34,92	0,03	34,06	1,93	34,49	1,96	0,35	+0,55
105,62	5	105,09	0,56	105,73	0,02	105,41	0,59	0,19	+0,21
159,31	6	161,28	7,89	159,43	0,04	160,36	7,93	0,71	-1,05
172,18	7	171,84	0,25	172,19	0,00	172,02	0,25	0,13	+0,16
210,80	8	211,37	0,70	211,01	0,32	211,19	1,02	0,25	-0,39
259,93	9	257,56	11,19	260,56	0,88	259,06	12,07	0,89	+0,87
265,67	10	264,64	2,17	265,53	0,48	265,09	2,65	1,63	+0,58

Mukayese tablosu

Tablo No. 8

Noktalar	Gidiş nivelman				Dönüş nivelman				Gidiş ve dönüş ortalaması	
	v_1	v_2	μ_1	W_1	v_3	v_4	μ_2	W_2	μ	W
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	+1,16	+0,95	0,75	+1,05	+0,44	-0,17	0,23	+0,31	0,39	+0,68
2	+0,96	+1,08	0,62	-0,64	+0,86	-0,53	0,50	-0,69	0,44	+0,86
3	+0,47	+0,83	0,48	+0,65	+1,01	-1,02	0,72	+1,01	0,43	+0,83
4	+0,15	+0,09	0,08	+0,12	+0,85	-1,10	0,70	+0,98	0,35	+0,55
5	+0,52	+0,54	0,38	+0,53	-0,14	+0,08	0,07	-0,11	0,19	+0,21
6	-2,22	-1,72	1,40	-1,97	-0,05	+0,20	0,10	-0,12	0,71	-1,05
7	+0,44	+0,23	0,25	+0,34	-0,02	+0,00	0,00	-0,01	0,13	+0,16
8	-0,73	-0,41	0,42	-0,57	+0,14	+0,55	0,28	-0,21	0,25	-0,39
9	+2,39	+2,34	1,68	+2,37	-0,84	+0,42	0,47	-0,63	0,89	-0,87
10	+0,88	+1,18	0,74	+1,03	-0,33	-0,61	0,35	+0,14	0,45	+0,58



Karacasu istasyonu : ML2 barometresi Orman araştırma binasının içine kurulmuştur. Resimde bu binanın bahçesine yerleştirilmiş psikrometre siperi ve yanında bu istasyondaki rasatları yapmak üzere vazifelendirilmiş Y. Orman Mühendisi Ali Küçükbaş görünmektedir.

Station de Karacasu : Le baromètre fortin ML2 est installé à l'intérieur du bâtiment de la Station de Recherches forestières. Sur la photographie on voit l'abri pour le psychromètre installé dans le jardin de ce bâtiment et à côté, l'ingénieur forestier Ali Küçükbaş chargé de faire les observations.



Çakılbağı istasyonu : ML2 barometresi hususi surette yaptırılan bir çardağın altına yerleştirilmiştir. İçinde psikrometre bulunan siper, çardağın üstünde görünmektedir. Resimde ön plânda duran şahıs, bu istasyondaki rasatları yapmakla vazifelendirilmiş olan mühendis muavini Mehmet Yücel'dir.

Station de Çakılbağı : Le baromètre fortin ML2 est installé sous un pavillon construit à cet effet. Labri pour le psychromètre est placé sur ce pavillon. Au premier plan on voit l'ingénieur adjoint forestier Mehmet Yücel chargé de faire les observations.



Taşoluk Yaylası istasyonu : ML2 fortin barometresi bir yayla evinin gölgelik kenarına düşey olarak dikilen bir kalas üzerine tesbit edilmiş bulunmaktadır. Yanında bu istasyondaki rasatları yapmak üzere vazifelendirilmiş olan mühendis muavini Mehmet Yücel görünmektedir.

Station du «Pâturage de Taşoluk»: Le baromètre fortin ML2 est fixé à une planche installée verticalement à l'abri d'un chalet. A côté on voit l'ingénieur adjoint Mehmet Yücel chargé de faire les observations.



Taşoluk yaylası istasyonu : İçinde bir psikrometrenin bulunduğu siper, dalları kesilen münferit bir ağacın üzerine yerleştirilmiştir. Yanında bu rasatları yapmak üzere vazifelendirilmiş olan mühendis muavini Mehmet Yücel görünmektedir.

Station du «Pâturage de Taşoluk»: L'abri pour le psychromètre est installé au sommet d'un arbre isolé dont les quelques branches existantes ont été élaguées. A côté on voit l'ingénieur adjoint forestier Mehmet Yücel chargé de faire les observations.

POSSIBILITE D'EMPLOI DES ECHELONS BAROMETRIQUES DANS LA METHODE DE DOUBLE STATION (1)

par

Doç. Dr. Kemal ERKİN

Le principe de la Méthode de Double Station a été exposé par l'auteur dans un article intitulé «La Méthode de Double Station dans le nivellement barométrique (2)» et les résultats pratiques de cette méthode, étudiés sur des nivellements barométriques exécutés à cet effet dans la région de Bolu. Dans cet article nous étudierons la possibilité d'emploi des échelons barométriques dans les calculs des différences d'altitude, calculs qui sont si longs et si fastidieux si l'on utilise la formule générale du nivellement barométrique, comme il a été fait pour les calculs contenus dans l'article déjà cité. Mais avant d'aborder cette question il ne sera pas sans utilité de rappeler succinctement le méthode de double station.

Pricipe de la méthode de double station : Dans cette méthode on établit deux stations barométriques aux point A et B dont la différence de niveau d est supposée connue et entre lesquels des points (tel que C) sont à niveler (fig. 1).

A chaque station (qui contient un baromètre et un psychromètre comme instrument) on note chaque quart d'heure :

1 — Les éléments (sur le baromètre) servant à la détermination de la pression atmosphérique,

(1) Résumé partiel de la dissertation intitulée «La méthode de double station dans le nivellement barométrique».

(2) Revue de la Faculté des Sciences Forestières, Série A tome 8, fascicule 2, 1958.

2 — Les températures indiquées par les thermomètres sec et humide du psychromètre,

3 — Les heures des observations faites.

Un opérateur portant un troisième baromètre (et si nécessaire un psychromètre) s'en va aux points intermédiaires (tel que C) et y mesure les mêmes éléments cités ci-dessus. Puis au bureau, des éléments déterminés aux points A et B on porte (sur un papier millimétrique) les heures en abscisse, les pressions atmosphériques corrigées p , les températures de l'air t , et les humidités absolues e en ordonnée. On obtient ainsi des graphiques représentant les variations de p , t , e avec le temps aux points A et B.

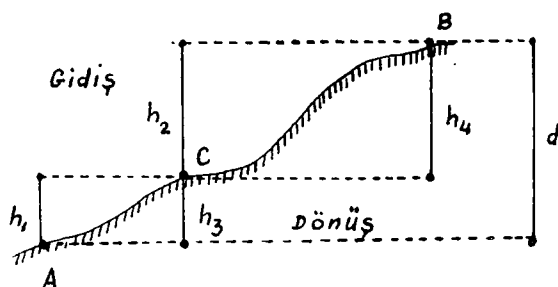


Fig 1

Puis sur ces graphiques, on détermine les pressions atmosphériques, les températures de l'air et les humidités absolues régnant aux points A et B aux moments où l'on a fait des mesures en des points intermédiaires (tel que C). On obtient ainsi des éléments simultanés (éléments mesurés aux mêmes moments) permettant de calculer les différences de niveau d'une part entre C et A, et d'autre part entre B et C. Soient :

p_a p_b p_c les pressions atmosphériques corrigées
 t_a t_b t_c les températures de l'air
 e_a e_b e_c les humidités absolues

simultanées correspondant aux points A, B, C. Si l'on désigne par h_1 et h_2 les différences de niveau (CA) et (BC), on a :

$$1) h_1 = K \left(1 + \frac{t_a + t_c}{2} \right) (1 + \beta \cos 2\varphi_1) \left(1 + 0,377 \frac{e_a + e_c}{p_a + p_c} \right) \left(1 + \frac{2H_1}{R} \right) \log \frac{p_a}{p_c}$$

$$2) h_2 = K \left(1 + \frac{t_c + t_b}{2} \right) (1 + \beta \cos 2\varphi_2) \left(1 + 0,377 \frac{e_c + e_b}{p_c + p_b} \right) \left(1 + \frac{2H_2}{R} \right) \log \frac{p_c}{p_b}$$

(φ_1, φ_2 sont déterminées sur une carte; quant à H_1 et H_2 elles sont déduites des pressions p_a, p_b, p_c).

Comme on le voit, une fois les stations A et B établies, par une seule mesure faite en C, il devient possible de déterminer deux fois les cotes relatives de ce point. Et si (comme c'est le plus souvent le cas) le nivellement se fait aller-retour, il devient également possible de calculer les différences de niveau h_3, h_4 (fig. 1), et alors les cotes relatives de C se trouvent déterminées quatre fois.

Un seul nivellement équivaut ainsi à deux, deux nivellements à quatre. Mais pour qu'il en soit ainsi il faut que la différence d'altitude d des stations soit connue (¹). La différence de cote moyenne s'obtient alors de la façon suivante :

$$3) h_1^0 = \frac{h_1 + d - h_2}{2}$$

Pour la nivellement aller

$$4) h_2^0 = \frac{h_3 + d - h_4}{2}$$

Pour le nivellement retour

$$5) h^0 = \frac{h_1 + d - h_2 + h_3 + d - h_4}{4}$$

Pour le nivellement aller-retour

Difficulté la plus importante dans la méthode de double station :
 Les détails théoriques et les résultats d'application de la méthode de double station dont nous venons d'esquisser les traits essentiels, sont exposés dans notre article déjà cité et paru dans le numéro 8, tome 2, 1958 de cette revue. Mais l'application de cette méthode telle qu'elle a été exposée dans cet article est très difficile. Cette difficulté réside surtout dans les travaux de cabinet (ou, ce qui revient au même, dans les calculs des différences d'altitude) qui sont très longs et pénibles.

En effet ces travaux de cabinet, qui sont déjà longs et fastidieux dans le nivellement barométrique en général, le devient d'avantage dans l'application de la méthode de double station. Pour s'en faire une idée il suffit de jeter un coup d'oeil sur la table A (texte turc) qui contient les

(¹) La façon dont d pourrait être connue a été expliquée dans l'article déjà cité.

calculs des différences d'altitude relatifs au nivellement barométrique aller-retour exécuté sur 10 points. Cette table montre clairement combien ces calculs sont longs et fastidieux dans la méthode de double station. Mais ajoutons tout de suite que les calculs contenus dans cette table ne constituent qu'une partie des travaux de cabinet. Ces calculs sont en réalité précédés par d'autres travaux tels que :

- 1 — Correction des pressions lues sur le baromètre,
- 2 — Calculs des humidités absolues, en partant des données du psychromètre,
- 3 — Tracé des graphiques relatifs aux pressions atmosphériques, aux températures et aux humidités de l'air aux deux stations,
- 4 — Détermination des pressions, des températures et des humidités simultanées sur ces graphiques.

Faisons enfin remarquer que les différences d'altitude contenues dans les colonnes 6 et 23 de la table A représentent seulement le résultat final de longs calculs. Ces différences d'altitude sont en effet calculées par la formule générale du nivellement barométrique :

$$6) \quad h = K(1 + \alpha t)(1 + \beta \cos 2\varphi) \left(1 + 0,377 \frac{e}{p}\right) \left(1 + \frac{2H}{R}\right) \log \frac{p_1}{p_2}$$

Ces calculs constituent en fait la partie la plus longue et la plus fatigante des travaux de cabinet. Pour faciliter ces calculs dans une certaine mesure, des tables on été établies donnant les logarithmes des facteurs $(1 + \alpha t)$, $(1 + \beta \cos 2\varphi)$, $(1 + 0,377 \frac{e}{p})$, $(1 + \frac{2H}{R})$ contenus dans la formule 6. Mais l'aide apportée à ces calculs par ces tables est loin d'être satisfaisante. On arrive cependant à les simplifier par des transformations que l'on fait subir à la formule 6. Telles sont les transformations de Radau, de Neumeyer et de Babinet. On sait que ce dernier utilise ce qu'on appelle des échelons barométriques dans les calculs des différences d'altitude. Dans cet article est précisément étudiée la possibilité d'utilisation des échelons barométriques dans la méthode de double station.

En effet comme il sera expliqué plus tard, il est possible dans la méthode de double station de se servir des échelons barométriques dans les calculs des différences d'altitude. Mais dans la méthode de double station l'utilisation des échelons barométriques présente une forme particulièrement intéressante qui n'a rien de commun avec la forme classi-

que de calcul de Babinet et grâce à laquelle les calculs acquièrent une rapidité assez satisfaisante. Mais avant qu'il soit question de cette forme particulière, il n'est pas sans utilité de rappeler la transformation de Babinet dans ses traits généraux.

La transformation et échelons barométriques de Babinet

Dans la formule générale du nivellement barométrique :

$$7) \quad h = K(1 + \alpha t)(1 + \beta \cos 2\varphi) \left(1 + 0,377 \frac{e}{p}\right) \left(1 + \frac{2H}{R}\right) \log \frac{p_1}{p_2}$$

les facteurs $(1 + \beta \cos 2\varphi)$, $(1 + \frac{2H}{R})$, $(1 + 0,377 \frac{e}{p})$ ont très peu d'influence sur la valeur de h . Si la formule est appliquée dans une région limitée on peut, dans cette région, considérer les quantités φ , H , e , p comme constantes et égales aux valeurs moyennes de ces quantités (que l'on détermine une fois pour toute) dans cette région. Si l'on pose :

$$8) \quad k = K(1 + \beta \cos 2\varphi) \left(1 + 0,377 \frac{e}{p}\right) \left(1 + \frac{2H}{R}\right)$$

on pourra considérer k comme constante et la formule générale du nivellement barométrique pourra s'écrire :

$$9) \quad h = k(1 + \alpha t) \log \frac{p_1}{p_2}$$

Cette formule porte le nom de formule raccourcie (ou simplifiée) du nivellement barométrique. Pour pouvoir l'appliquer dans les nivellements exécutés dans une région, il faudra déterminer les valeurs moyennes de φ , H , e , p pour cette région et calculer la valeur de k en utilisant l'égalité 8. Par exemple en s'appuyant sur la latitude, l'altitude, l'humidité absolue moyennes de l'Europe centrale on a déterminé pour cette région

$$k = 18\,464$$

Une telle détermination n'a pas encore été faite dans notre pays qui, d'ailleurs, présente des conditions très variées de latitude, d'altitude et d'humidité. On pourrait penser par exemple à y distinguer plusieurs régions dont chacune présenterait des conditions de latitude, d'altitude et d'humidité peu variées et déterminer un coefficient barométrique k pour chacune de ces régions.

Bien que la formule raccourcie 9 soit beaucoup plus simple que la formule générale 6, les calculs de h d'après cette formule sont encore très longs (surtout à cause du facteur $\log \frac{p_1}{p_2}$). Par une transformation qu'il a fait subir à la formule 9, Babinet a précisément réduit le calcul fastidieux de la différence de niveau à une opération simple de multiplication.

Dans la formule 9 posons :

$$10) \quad \frac{p_1}{p_2} = \frac{1+x}{1-x}$$

$$11) \quad x = \frac{p_1 - p_2}{p_1 + p_2}$$

D'après 11 la valeur de x est comprise entre -1 et $+1$. Dans ces conditions :

$$12) \quad \log(1+x) = M \left(x - \frac{1}{2} x^2 + \frac{1}{3} x^3 - \frac{1}{4} x^4 + \dots \right)$$

$$13) \quad \log(1-x) = -M \left(x + \frac{1}{2} x^2 + \frac{1}{3} x^3 + \frac{1}{4} x^4 + \dots \right)$$

En tenant compte de 10, 12, 13 il vient :

$$14) \quad \log \frac{1+x}{1-x} = M \left(2x + \frac{2}{3} x^3 + \dots \right) = \log \frac{p_1}{p_2}$$

En remplaçant $\log \frac{p_1}{p_2}$ par sa valeur 14 dans l'équation 9 on a :

$$15) \quad h = k M(1+\alpha t) \left(2x + \frac{2}{3} x^3 + \dots \right)$$

$$16) \quad h = 2k M(1+\alpha t) x + \frac{2}{3} k M(1+\alpha t) x^3 + \dots$$

La valeur de x étant plus petite que 1, celle de x^3 sera très petite; le second terme de 16 pourra alors être négligé. On aura alors :

$$17) \quad h = 2k M(1+\alpha t) x$$

En remplaçant x par sa valeur 11 :

$$18) \quad h = kM \frac{1 + \alpha t}{\frac{p_1 + p_2}{2}} (p_1 - p_2)$$

Enfin en posant :

$$19) \quad C = kM \frac{1 + \alpha t}{\frac{p_1 + p_2}{2}}$$

il vient :

$$20) \quad h = C (p_1 - p_2)$$

Si d'une façon ou d'une autre on peut déterminer C, on obtiendra h par une simple multiplication.

Dans l'égalité 19 qui donne C il n'y a que deux variables qui sont t et p (température moyenne de l'air, pression atmosphérique moyenne) les quantités k, M, α étant constantes. Il est donc possible d'établir des tables à double entrée qui donne C en fonction de p et de t.

Alors chaque fois, d'après les valeurs de p et t (mesurées), il sera possible de prendre C dans ces tables et la différence de cote h pourra alors être calculée par une simple multiplication.

Le sens de C : Si dans l'égalité 20 on pose $p_1 - p_2 = 1$ on a :

$$21) \quad h = C$$

C représente donc la différence de cote correspondant à une différence de pression égale à 1 mm. Cette différence de cote est appelée «échelon barométrique» ou «échelon d'altitude».

Particularité des échelons barométriques dans la méthode de double station

Dans la méthode de Babinet pour pouvoir utiliser les échelons barométriques dans les calculs d'un nivellement exécuté dans une région quelconque, il faudra qu'une table d'échelons barométriques répondant aux conditions particulières de cette région soit établie préalablement.

Mais dans la méthode de double station la présence d'une telle table n'est pas du tout nécessaire, étant donné que dans cette méthode les

échelons barométriques peuvent être déterminés d'une façon toute différente.

Considérons en effet deux points A et B dont la différence d'altitude Δh est connue. Si Δp représente la différence des pressions régnant en ces points à l'heure s , on aura d'après 20 :

$$22) \quad h = C \cdot \Delta p$$

$$23) \quad C = \frac{\Delta h}{\Delta p} \quad \text{d'où :}$$

Il est alors logique de penser que le facteur C ainsi calculé représente l'échelon barométrique correspondant le mieux aux conditions atmosphériques, topographiques et géographiques locales à l'heure s entre A et B. En effet reprenons l'expression qui donne C :

$$24) \quad C = kM \frac{1 + \alpha t}{p}$$

Ou en remplaçant k par sa valeur 8 :

$$25) \quad C = KM (1 + \beta \cos 2\varphi) \left(1 + 0,377 \frac{e}{p} \right) \left(1 + \frac{2H}{R} \right) \frac{1 + \alpha t}{p}$$

Dans une table d'échelons barométriques le C se trouvent calculés d'après les valeurs moyennes de φ , H , e de la région pour laquelle cette table est établie. Il s'en suit que si C est l'échelon barométrique pris dans cette table d'après les valeurs t et p mesurées aux points A et B situés dans cette région, cet échelon différerait de celui qui serait calculé par la formule 25 d'après les valeurs réelles de φ , H , e mesurées aux points A et B et qui représenterait l'échelon barométrique réel correspondant à ces points.

Par contre si C est déterminé directement par la formule 23 les valeurs réelles de φ , H , e se trouvent automatiquement prises en considération. On peut même admettre que l'erreur commise en négligeant le second terme de 16 se trouve également compensée.

La méthode de double station permet précisément le calcul des échelons barométriques à l'aide de la formule 23.

En effet comme il a été expliqué plus haut, dans la méthode de double station, la différence d'altitude d entre les stations A et B est connue.

D'autre part à chacune de ces stations les pressions atmosphériques sont mesurées chaque quinze minutes. En portant les heures en abscisse et les pressions en ordonnée, il est possible de tracer les graphiques montrant la variation de la pression atmosphérique dans le temps à chacune de ces stations. Il est alors possible de prendre sur ces graphiques les pressions, dites simultanées, régnant à une heure quelconque aux stations A et B. Si Δp est la différence entre ces pressions, l'échelon barométrique entre A et B à l'heure s sera :

$$26) \quad C_s = \frac{d}{\Delta p}$$

Si A et B ne sont pas trop éloignées l'un de l'autre et si d n'est pas trop grande, on pourra admettre que l'échelon barométrique C_s ainsi calculé est celui de tous les points situés entre A et B à l'heure s .

Si maintenant on mesure sur les graphiques de pression déjà cités les pressions simultanées correspondant aux différentes heures de la journée (avec un intervalle d'un quart d'heure par exemple) et si pour chaque couple de pression on applique la formule 26, on obtient les échelons barométriques correspondant à ces différentes heures.

Enfin en portant les heures en abscisse et les échelons barométriques ainsi calculés en ordonnée on obtient le graphique des échelons barométriques montrant la variation de ceux-ci avec les heures de la journée. Sur ce graphique il est possible de déterminer l'échelon barométrique correspondant à une heure quelconque de la journée.

Soient maintenant p_c la pression atmosphérique mesurée au point C entre A et B à l'heure s et p_a , p_b les pressions atmosphériques régnant aux points A et B à la même heure et déterminées sur le graphique de pression fig (1). Si C_s est l'échelon barométrique à l'heure s mesuré sur le graphique des échelons barométriques, on obtient les cotes relatives de C par rapport aux points A et B par les égalités :

$$27) \quad h_1 = C_s (p_a - p_c)$$

$$28) \quad h_2 = C_s (p_c - p_b)$$

Les explications données ci-dessus suffisent à montrer la façon dont on utilise les échelons barométriques dans la méthode de double station. On voit clairement que dans cette méthode l'utilisation des échelons barométriques présente une forme essentiellement différente de la forme classique de Babinet. Ici la détermination et l'emploi des échelons baro-

échelons barométriques peuvent être déterminés d'une façon toute différente.

Considérons en effet deux points A et B dont la différence d'altitude Δh est connue. Si Δp représente la différence des pressions régnant en ces points à l'heure s , on aura d'après 20 :

$$22) \quad h = C \cdot \Delta p$$

$$23) \quad C = \frac{\Delta h}{\Delta p} \quad \text{d'où :}$$

Il est alors logique de penser que le facteur C ainsi calculé représente l'échelon barométrique correspondant le mieux aux conditions atmosphériques, topographiques et géographiques locales à l'heure s entre A et B. En effet reprenons l'expression qui donne C :

$$24) \quad C = kM \frac{1 + \alpha t}{p}$$

Ou en remplaçant k par sa valeur 8 :

$$25) \quad C = KM (1 + \beta \cos 2\varphi) \left(1 + 0,377 \frac{e}{p} \right) \left(1 + \frac{2H}{R} \right) \frac{1 + \alpha t}{p}$$

Dans une table d'échelons barométriques le C se trouvent calculés d'après les valeurs moyennes de φ , H, e de la région pour laquelle cette table est établie. Il s'en suit que si C est l'échelon barométrique pris dans cette table d'après les valeurs t et p mesurées aux points A et B situés dans cette région, cet échelon différerait de celui qui serait calculé par la formule 25 d'après les valeurs réelles de φ , H, e mesurées aux points A et B et qui représenterait l'échelon barométrique réel correspondant à ces points.

Par contre si C est déterminé directement par la formule 23 les valeurs réelles de φ , H, e se trouvent automatiquement prises en considération. On peut même admettre que l'erreur commise en négligeant le second terme de 16 se trouve également compensée.

La méthode de double station permet précisément le calcul des échelons barométriques à l'aide de la formule 23.

En effet comme il a été expliqué plus haut, dans la méthode de double station, la différence d'altitude d entre les stations A et B est connue.

D'autre part à chacune de ces stations les pressions atmosphériques sont mesurées chaque quinze minutes. En portant les heures en abscisse et les pressions en ordonnée, il est possible de tracer les graphiques montrant la variation de la pression atmosphérique dans le temps à chacune de ces stations. Il est alors possible de prendre sur ces graphiques les pressions, dites simultanées, régnant à une heure quelconque aux stations A et B. Si Δp est la différence entre ces pressions, l'échelon barométrique entre A et B à l'heure s sera :

$$26) \quad C_s = \frac{d}{\Delta p}$$

Si A et B ne sont pas trop éloignées l'un de l'autre et si d n'est pas trop grande, on pourra admettre que l'échelon barométrique C_s ainsi calculé est celui de tous les points situés entre A et B à l'heure s .

Si maintenant on mesure sur les graphiques de pression déjà cités les pressions simultanées correspondant aux différentes heures de la journée (avec un intervalle d'un quart d'heure par exemple) et si pour chaque couple de pression on applique la formule 26, on obtient les échelons barométriques correspondant à ces différentes heures.

Enfin en portant les heures en abscisse et les échelons barométriques ainsi calculés en ordonnée on obtient le graphique des échelons barométriques montrant la variation de ceux-ci avec les heures de la journée. Sur ce graphique il est possible de déterminer l'échelon barométrique correspondant à une heure quelconque de la journée.

Soient maintenant p_c la pression atmosphérique mesurée au point C entre A et B à l'heure s et p_a , p_b les pressions atmosphériques régnant aux points A et B à la même heure et déterminées sur le graphique de pression fig (1). Si C_s est l'échelon barométrique à l'heure s mesuré sur le graphique des échelons barométriques, on obtient les cotes relatives de C par rapport aux points A et B par les égalités :

$$27) \quad h_1 = C_s (p_a - p_c)$$

$$28) \quad h_2 = C_s (p_c - p_b)$$

Les explications données ci-dessus suffisent à montrer la façon dont on utilise les échelons barométriques dans la méthode de double station. On voit clairement que dans cette méthode l'utilisation des échelons barométriques présente une forme essentiellement différente de la forme classique de Babinet. Ici la détermination et l'emploi des échelons baro-

métriques présentent des particularités propres à la méthode de double station.

Outre qu'elle raccourcit et par suite accélère dans une large mesure les travaux de cabinet (les calculs), l'utilisation des échelons barométriques simplifie et accélère également les opérations sur le terrain. En effet quand les calculs se font à l'aide des échelons barométriques, il n'est pas du tout nécessaire de mesurer la température et l'humidité de l'air en des points intermédiaires tel que C. Les égalités 27 et 28 montrent qu'il suffit de mesurer seulement les pressions atmosphériques en de tels points. Si l'on pense que la mesure de l'humidité avec un psychromètre Assman exige au moins 7-8 minutes, on conçoit facilement l'importance du gain de temps obtenu par l'utilisation des échelons barométriques (sans compter l'avantage d'être débarrassé du psychromètre et de la bouteille d'eau qui sont assez encombrants).

En ce qui concerne les stations: Si leur différence d'altitude d n'est pas connue préalablement, il est nécessaire d'y mesurer les températures et les humidités de l'air pour pouvoir calculer d par voie de nivellement barométrique d'une façon assez satisfaisante. Mais si d est connue d'avance (à la suite d'une opération préalable de nivellement géométrique ou trigonométrique), il devient superflu de mesurer à ces stations les températures et les humidités de l'air. Il suffit alors d'y mesurer les pressions seules.

Exemple d'utilisation des échelons barométriques dans la méthode de double station

Comme nous l'avons mentionné dans l'article intitulé «La méthode de double station dans le nivellement barométrique» (1), une application de cette méthode a été entreprise par nous à Bolu sur le versant nord de la chaîne de Seben. L'une des stations a été installée à «Karacasu», l'autre au «Pâturage de Taşoluk» et enfin un troisième plus haut sur le versant nord de Seben à l'endroit nommé «Çakılbağı». Ces points de station sont montrés sur la carte I par deux petits cercles concentriques (voir le texte turc). Entre ces stations on a marqué 18 points intermédiaires qui furent tous levés à la boussole et dessinés sur la carte déjà citée.

Nivellement géométrique des points : Pour avoir une idée exacte sur les résultats obtenus par la méthode de double station, nous avons

(1) Revue de la Faculté des Sciences Forestières, série A, tome 2 (1958).

d'abord déterminé les altitudes relatives de ces points par nivellement géométrique exécuté aller-retour avec un niveau Wild N3 dont les résultats sont résumés dans la table 1. Ces résultats se trouvent également dans les colonnes 1 des tables 5, 6, 7.

Nivellements barométriques : Ceux-ci comprennent deux séries de nivellement. La première exécutée entre «Karacasu» et le «Pâturage de Taxoluk» comprend, outre les points de station, 10 points intermédiaires numérotés de 1 à 10. La seconde est celle exécutée entre «Karacasu» et «Çakılbağı» et comprend 18 points intermédiaires. Dans chaque série le nivellement fut exécuté deux fois et chaque fois aller-retour (ce qui équivaut pratiquement à quatre nivellements). Mais pour ne pas encombrer notre article de tables nous nous sommes contenté de donner ici seulement les résultats de la première série de nivellement.

Résultats du nivellement géométrique

Table No. 1

Points	Ctes	
	Par rapport à I	Par rapport à II
I	0,00	273,98
1	1,07	272,91
2	0,19	273,79
3	13,98	260,00
4	35,04	238,94
5	105,62	168,36
6	159,31	114,67
7	172,18	101,80
8	210,80	63,18
9	259,93	14,05
10	265,67	8,31
II	273,98	0,00

I. Série I. Nivellement

Pour pouvoir tracer le graphique des échelons barométriques il est nécessaire de disposer d'un nombre suffisant de pressions simultanées relatives aux stations I. et II. Pour les obtenir, nous avons d'abord tracé les graphiques de pression I et II (texte turc), en portant en abscisse les heures et en ordonnée les pressions déterminées aux stations I et II. Ces

graphiques montrent la variation de la pression avec le temps aux stations I et II. La table 2 contient le calcul des échelons barométriques nécessaires au tracé du graphique des échelons barométriques. Les pressions simultanées contenues dans les colonnes 2 et 3 de cette table sont prises sur les graphiques I et II d'après les heures de la colonne 1. Les échelons barométriques occupent la colonne 5. Dans la table on voit clairement comment ils sont calculés. Puis en portant les heures en abscisse et les échelons barométriques de la colonne 5 en ordonnée nous avons tracé le graphique III des échelons barométriques.

Les tables 3 et 4 montrent les calculs des différences d'altitude basés sur les échelons barométriques. Les heures et les pressions contenues dans les colonnes 6 et 8 de ces tables sont les éléments mesurés aux points intermédiaires ⁽¹⁾. Les pressions des colonnes 7 et 9 sont celles régnant aux stations I et II aux heures respectives de la colonne 6. Ces pressions sont prises sur les graphiques I et II.

Les différences de pression Δp_1 , Δp_2 contenues dans les colonnes 5 et 11 sont calculées d'après les égalités :

$$29) \quad \Delta p_1 = p_1 - P$$

$$30) \quad \Delta p_2 = P - p_2$$

Les échelons barométriques (les C) de la colonne 10 sont pris sur le graphique III des échelons barométriques d'après les heures de la colonne 6. Les calculs contenus dans les autres colonnes de ces tables sont évidents et ne demandent aucune explication. Nous nous contentons de signaler seulement que les cotes des colonnes 2 et 13 sont les cotes corrigées de la hauteur instrumentale :

$$31) \quad h_1 = C. \Delta p_1 - a$$

$$32) \quad h_2 = C. \Delta p_2 + a$$

(a) représentant la hauteur du baromètre mobile, c'est-à-dire la hauteur de sa pointe d'ivoire au dessus du point correspondant du sol.)

Les tables 3 et 4 contiennent (à l'exception de la prise des moyennes) la totalité des calculs des différences de niveau (basés sur l'emploi des échelons barométriques) dans les nivellements aller et retour. Pour permettre une comparaison entre les deux modes de calcul, nous avons

⁽¹⁾ Ces colonnes correspondent aux colonnes 10 et 18 de la table A texte turc)

reproduit ici la table No. 4 de notre article déjà cité, qui contient les mêmes calculs mais basés sur l'emploi de la formule générale du nivellement barométrique. Cette table porte ici le nom de «Table A». Si l'on compare ces deux tables, on voit clairement combien sont simples, faciles, courts et par conséquent rapides les calculs des tables 3 et 4 par rapport à ceux de la table A. Pour en avoir une idée plus nette, il suffit de remarquer que les différences de cote contenues dans les colonnes 6 et 23 de la table A sont calculées à l'aide de la formule générale du nivellement barométrique :

$$33) \quad h = K(1 + \alpha t)(1 + \beta \cos 2\varphi) \left(1 + 0,377 \frac{e}{p}\right) \left(1 + \frac{2H}{R}\right) \log \frac{p_1}{p_2}$$

Ces calculs à eux seuls sont plusieurs fois plus longs et pénibles que tous les calculs des tables 3 et 4.

La comparaison qu'on vient de faire suffit à montrer clairement l'influence de l'utilisation des échelons barométriques sur la facilité et la rapidité des travaux de cabinet dans la méthode de double station.

Quant aux résultats obtenus : Les calculs des moyennes arithmétiques ⁽¹⁾ sont contenus dans la table 5 pour le nivellement aller et la table 6 pour le nivellement retour. Dans ces tables h_1 et h_3 représentent les cotes des différents points par rapport à la station I, h_2 et h_4 celles par rapport à la station II. Les v_1, v_2, v_3, v_4 représentent les erreurs vraies de ces cotes. Elles sont calculées par les égalités :

$$34) \quad v_1 = H_1 - h_1 \quad v_3 = H_1 - h_3$$

$$35) \quad v_2 = H_2 - h_2 \quad v_4 = H_2 - h_4$$

dans lesquelles H_1 et H_2 représentent les cotes vraies par rapport aux stations I et II. h', h_1' représentent les valeurs de h_2, h_1 réduites à la station I, les μ , les erreurs moyennes des moyennes arithmétiques contenues dans les colonnes 8. Comme les v sont des erreurs vraies, les erreurs moyennes sont calculées par la formule :

$$36) \quad \mu = \frac{\sqrt{[vv]}}{n}$$

⁽¹⁾ Il s'agit ici des moyennes arithmétiques simples. Nous avons en effet montré dans l'article déjà cité que dans le nivellement barométrique on pourrait se passer de tenir compte des poids des mesures et se contenter des moyennes arithmétiques simples.

Ou dans le cas particulier en question :

$$37) \quad \mu = \frac{V[vv]}{2}$$

Enfin les W de la colonne 11 représentent les erreurs vraies des moyennes arithmétiques.

La table 7 contient les calculs relatifs aux moyennes des quatre valeurs (obtenues dans le nivellement aller-retour). Les colonnes 7, 9, 10 contiennent respectivement les moyennes des quatre valeurs, les erreurs moyennes et les erreurs vraies de ces moyennes.

Enfin la table 8 permet de faire la comparaison entre les différents résultats.

Quand on étudie de près ces tables et qu'on les compare avec les tables 4, 5, 6, 7, 8 qui contiennent les mêmes calculs basés sur l'emploi de la formule générale du nivellement barométrique, on arrive à cette conclusion que les résultats obtenus par l'utilisation des échelons barométriques sont au moins équivalents à ceux obtenus par l'utilisation de la formule générale.

I. Série II. Nivellement

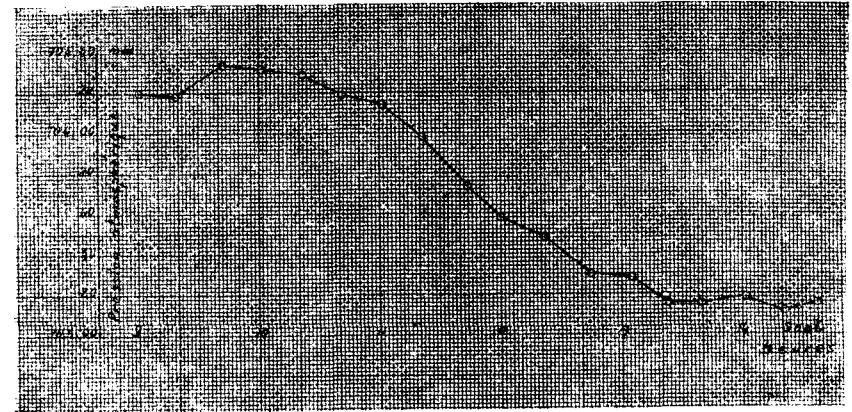
Les calculs relatifs à ce nivellement se trouvent à la fin du texte français. Les graphiques I et II, parallèles à ceux du texte turc qui portent les mêmes numéros, montrent la variation de la pression atmosphérique aux stations I et II. C'est de ces graphiques qu'on s'est servi pour le calcul des échelons barométriques. Ceux-ci sont contenus dans la table 2. Les pressions simultanées occupant les colonnes 2 et 3 de cette table sont mesurées sur les graphiques I et II. On voit clairement comment sont calculés les échelons barométriques contenus dans la colonne 5. Enfin le graphique III est obtenu en portant en abscisse les heures de la première, en ordonnée les échelons barométriques de la cinquième colonne. Les tables 3, 4, 5, 6, 7, 8 contiennent les mêmes calculs que ceux du texte turc portant les mêmes numéros. Aussi nous dispensons-nous de répéter ici les explications données au sujet des calculs contenus dans ces tables.

Si l'on compare les résultats de ces tables avec ceux des tables 4, 5, 6, 7, 8 qui contiennent les mêmes calculs mais basés sur l'emploi de la formule générale du nivellement barométrique, on voit que la conclusion tirée des résultats du premier nivellement est également valable pour le deuxième.

I. Série II. Nivellement

Courbe représentant la variation de la pression atmosphérique à la station de Karacasu

Graphique No. 1



I. Série II. Nivellement

Courbe représentant la variation de la pression atmosphérique à la station de Taşoluk

Graphique No. II

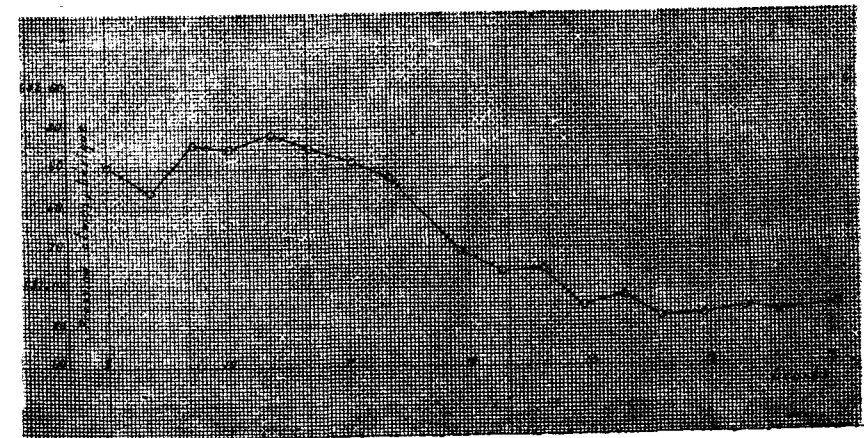
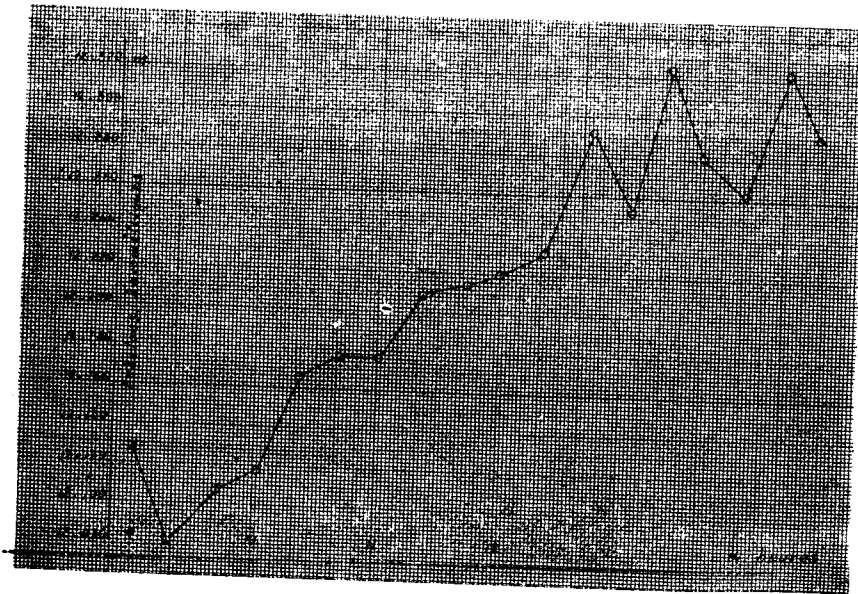


Table No. 2

Heures	p ₁	p ₂	Δp=p ₁ -p ₂	C = $\frac{d}{\Delta p}$
1	2	3	4	5
9 00	704,20	681,61	22,59	12,128
9 19	704,19	681,51	22,68	12,080
9 42	704,34	681,71	22,63	12,107
10 02	704,32	681,71	22,61	12,118
10 22	704,29	681,77	22,52	12,166
10 42	704,19	681,69	22,50	12,177
11 01	704,14	681,64	22,50	12,177
11 22	703,98	681,54	22,44	12,209
11 44	703,73	681,30	22,43	12,215
12 00	703,58	681,16	22,42	12,220
12 22	703,48	681,08	22,40	12,231
12 45	703,30	681,01	22,29	12,292
13 05	703,28	680,92	22,36	12,253
13 23	703,15	680,92	22,23	12,325
13 40	703,15	680,84	22,31	12,281
14 02	703,18	680,84	22,34	12,264
14 22	703,11	680,88	22,23	12,225
14 38	703,15	680,86	22,29	12,292

I. Série II. Nivellement
Courbe représentant la variation des échelons barométriques entre les stations de Karacasu et de Taşoluk

Graphique No. III



I. Série II. Nivellement
Calculs des différences d'altitude au moyen des échelons barométriques
Nivellement aller

Table No. 3

No.	Calcul des cotes par rapport à I				Pressions simultanées				Echelons barométriques	Calcul des cotes par rapport à II		
	h ₁	Haut-instr. a	C. Δp ₁	Δp ₁ =p ₁ -P	heure	p ₁	P	p ₂		C	Δp ₂ =P-p ₂	C. Δp ₂
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
s. d.												
1	0,02	83	0,85	0,07	9 10	704,19	704,12	681,55	12,100	22,57	273,10	273,93
2	1,49	81	2,30	0,19	9 27	704,24	704,05	681,54	089	22,51	272,12	272,93
3	13,24	68	13,92	1,15	9 39	704,32	703,17	681,68	103	21,49	260,09	260,77
4	33,95	69	34,64	2,86	9 53	704,32	701,46	681,71	113	19,75	239,23	239,92
5	104,76	85	105,61	8,70	10 11	704,30	695,60	681,73	139	13,87	168,37	169,22
6	161,54	78	162,32	13,34	10 26	704,27	690,93	681,76	168	9,17	111,58	112,36
7	173,40	73	174,13	14,30	10 42	704,19	689,89	681,70	177	8,19	99,73	100,46
8	209,04	77	209,81	17,23	11 00	704,14	686,91	681,64	177	5,27	64,17	64,94
9	259,04	76	259,80	21,29	11 18	704,01	682,72	681,56	203	1,16	14,46	14,92
10	265,71	73	266,44	21,82	11 32	703,86	682,04	681,43	211	0,61	7,45	8,18

I. Série II. Nivellement
Calculs des différences d'altitude au moyen des échelons barométriques
Nivellement retour

Table No. 4

No.	Calcul des cotes par rapport à I				Pressions simultanées				Echelons barométriques	Calcul des cotes par rapport à II		
	h ₃	Haut-instr. a	C. Δp ₁	Δp ₃ =p ₃ -P	heure	p ₃	P	p ₄		C	Δp ₄ =P-p ₄	C. Δp ₄
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
s. d.												
10	266,50	73	267,23	21,87	11 58	703,60	681,73	681,16	12,219	0,57	6,96	7,69
9	257,97	77	258,74	21,16	12 15	703,51	682,35	681,09	228	1,26	15,41	16,18
8	210,05	79	210,84	17,20	12 33	703,40	686,20	681,08	258	5,12	62,76	63,55
7	173,36	72	174,08	14,17	12 48	703,30	689,13	680,98	285	8,15	00,12	00,84
6	158,76	77	159,53	13,02	13 05	703,28	690,26	680,92	253	9,34	114,44	115,21
5	105,0	83	105,93	8,60	13 21	703,16	694,56	680,92	317	13,64	168,00	168,83
4	33,70	69	34,39	2,86	13 39	703,15	690,35	680,84	283	19,51	239,64	240,33
3	1,71	69	12,40	1,01	13 50	703,16	702,15	680,85	273	21,30	261,41	262,10
2	-1,90	80	-1,10	-0,09	14 02	703,18	703,27	680,86	264	22,41	274,83	275,63
1	0,12	86	0,98	0,08	14 16	703,13	703,05	680,88	305	22,17	271,89	272,75

I. Série II. Nivellement
Calculs relatifs aux moyennes arithmétiques
Niv. aller

Table No. 5

p. rapport à I				p. rapport à II		Réduction à I	Moyenne	Dans la moyenne		
Cotes vraies	No.	h_1	v_1	h_2	v_2	$h'_2 = d - h_2$	$h^0_1 = \frac{1}{2}(h_1 + h'_2)$	$[vv]_1^2$	$\mu_1 = \frac{\sqrt{[vv]}}{2}$	W_1
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1,07	1	0,02	+1,05	273,93	-1,03	0,05	0,03	2,16	0,73	+1,04
0,19	2	1,49	-1,30	272,93	+0,86	1,05	1,27	2,43	0,78	-1,08
13,98	3	13,24	+0,74	260,77	-0,77	13,21	13,22	1,14	0,53	+0,76
35,04	4	33,95	+1,09	239,92	-0,98	34,06	34,00	2,15	0,73	+1,04
105,62	5	104,76	+0,86	169,22	-0,86	104,76	104,76	1,48	0,61	+0,86
159,31	6	161,54	-2,23	112,36	+2,31	161,62	161,58	10,31	1,60	-2,27
172,18	7	173,40	-1,22	100,46	+1,34	173,52	173,66	3,28	0,90	-1,28
210,80	8	209,04	+1,76	64,94	-1,76	209,04	209,04	6,20	1,24	+1,76
259,93	9	259,04	+0,89	14,92	-0,87	259,06	259,05	1,55	0,62	+0,88
265,67	10	265,71	-0,04	8,18	+0,13	265,80	265,75	0,02	0,07	-0,08

Niv. retour

Table No. 6

p. rapport à I				p. rapport à II		Réduction à I	Moyenne	Dans la moyenne		
Cotes vraies	No.	h_3	v_3	h_4	v_4	$h'_4 = d - h_4$	$h^0_2 = \frac{1}{2}(h_3 + h_4)$	$[vv]_3^4$	$\mu_2 = \frac{\sqrt{[vv]}}{2}$	W_2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
265,67	10	266,50	-0,83	7,69	+0,62	266,29	266,40	4,07	0,52	-0,73
259,93	9	257,97	+1,96	16,18	-2,14	257,80	257,88	8,42	1,45	+2,05
210,80	8	210,05	+0,75	63,55	-0,37	210,43	210,24	0,70	0,42	+0,56
172,18	7	173,36	-1,18	100,84	+0,96	173,14	173,25	2,31	0,76	-1,07
159,31	6	158,76	+0,55	115,21	-0,54	158,77	158,76	0,59	0,38	+0,55
105,62	5	105,10	+0,52	168,83	-0,47	105,15	105,12	0,49	0,35	+0,50
35,04	4	33,70	+1,34	240,33	-1,39	33,65	33,67	3,73	0,96	+1,37
13,98	3	11,71	+2,27	262,10	-2,10	11,88	11,80	9,56	1,54	+2,18
0,19	2	-1,90	+2,09	275,63	-1,84	-1,65	-1,77	7,75	1,39	+1,96
1,07	1	0,12	+0,95	272,75	+0,16	1,23	0,67	0,93	0,48	+0,40

I. Série II. Nivellement
Calculs relatifs aux moyennes arithmétiques des 4 valeurs obtenues par
Niv. aller - retour

Table No. 7

Cotes vraies p. rapport à I	Points	niv. aller		niv. retour		Moyennes des 4 valeurs			
		$\frac{1}{2} [h]_1^2$	$[vv]_1^2$	$\frac{1}{2} [h]_3^4$	$[vv]_3^4$	$\frac{1}{4} [h]_i^4$	$[vv]_i^4$	$\mu = \frac{\sqrt{[vv]}}{4}$	W
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,07	1	0,03	2,16	0,67	0,93	0,36	3,09	0,44	+0,71
0,19	2	1,27	2,43	-1,77	7,75	-0,25	10,18	0,80	+0,44
13,98	3	13,22	1,14	11,80	9,56	12,51	10,70	0,82	+1,47
35,04	4	34,00	2,15	33,67	3,73	33,84	5,88	0,60	+1,20
105,62	5	104,76	1,48	105,12	0,49	104,94	1,97	0,35	+0,68
159,31	6	161,58	10,31	158,76	0,59	160,17	10,90	0,83	-0,86
172,18	7	173,46	3,28	173,25	2,31	173,36	5,59	0,59	-1,18
210,80	8	209,04	6,20	210,24	0,70	209,64	6,90	0,66	+1,16
259,93	9	259,05	1,55	257,88	8,42	258,47	9,97	0,79	+1,46
265,67	10	265,75	0,02	266,40	1,07	266,07	1,09	0,26	-0,40

Tableau de Comparaison

Table No. 8

Points	nivellement aller				nivellement retour				Moyenne aller retour	
	v_1	v_2	μ_1	W_1	v_3	v_4	μ_2	W_2	μ	W
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	+1,05	+1,03	0,73	+1,04	+0,95	-0,16	0,48	+0,40	0,44	+0,71
2	-1,30	+0,86	0,78	-1,08	+2,09	+1,84	1,39	+1,96	0,80	+0,44
3	+0,74	+0,77	0,53	+0,76	+2,27	+2,10	1,54	+2,18	0,82	+1,47
4	+1,09	+0,98	0,73	+1,04	+1,34	+1,39	0,96	+1,37	0,60	+1,20
5	+0,86	+0,86	0,61	+0,86	+0,52	+0,47	0,35	+0,50	0,35	+0,68
6	-2,23	-2,31	1,60	-2,27	+0,55	+0,54	0,38	+0,55	0,83	-0,86
7	-1,22	-1,34	0,90	-1,28	-1,18	-0,96	0,76	-1,07	0,59	-1,18
8	+1,76	+1,76	1,24	+1,76	+0,75	+0,37	0,42	+0,56	0,66	+1,16
9	+0,89	+0,87	0,62	+0,88	+1,96	+2,14	1,45	+2,05	0,79	+1,46
10	-0,04	-0,13	0,07	-0,08	+0,83	-0,62	0,52	-0,73	0,26	-0,40