

PRATİK JEODEZİDE ALIM YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Cevat İNAL
Ferruh.YILDIZ
Ali ERDİ

ÖZET

Bu çalışmada pratik jeodezideki alım yöntemlerinin hassasiyet yönünden karşılaştırılması amaçlanmış ve seçilen bir uygulama alanında 425 noktanın alımı elektronik takeometre ve klasik takeometre ile yapılmıştır. Uygulama sonucunda her bir yönteme göre bulunan konum ve yükseklik hataları, teorik değerlerle karşılaştırılmıştır.

ABSTRACT

In this study, it is aimed to compare the accuracies of the various surveying methods with each other. For this purpose 425 points in a chosen test field have been determined by using the electronic total station and classic tachometer, respectively. Finally, the calculated planimetric and height errors have been compared with those of the theoretical ones in accordance with propagation rules.

1.GİRİŞ

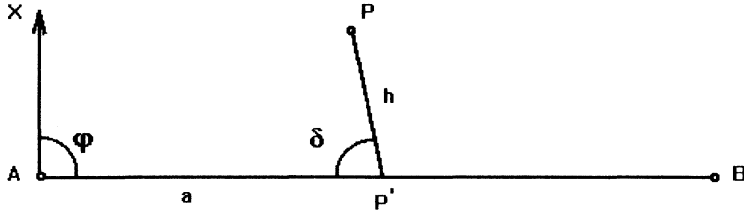
Pratik haritacılık çalışmaları temelde ölçme ve aplikasyon çalışmalarını kapsar. Bu çalışmalarda, istenen hassasiyete ve arazi yapısına bağlı olarak değişik ölçme yöntemleri kullanılır. Bu yöntemler;

- Bağlama yöntemi
- Dik koordinat yöntemi
- Kutupsal koordinat yöntemi

olarak üç gruba ayrılabilir. Bağlama yönteminde, uzunluk ölçmeye yarayan basit ölçme aletleri kullanılarak ilgili parsel üçgenlere ayrılarak oluşan üçgenlerin kenarları ölçülür. Dik koordinat yönteminde ise uzunluk ölçmeye yarayan basit ölçme aletlerinden başka prizmalarda kullanılır. Poligon ya da diğer işlem doğrularına ölçülmesi istenen objenin tüm kırık noktalarından dikler inilir ve bütün dik ayak ve dik boyları ölçülerek işlemler sürdürülür. Kutupsal koordinat

yönteminde klasik takeometreler veya elektronik takeometreler kullanılabilir. Bu çalışmada alım yöntemlerinden çok kullanılan dik koordinat yöntemiyle kutupsal koordinat yönteminin hassasiyetleri incelenecektir.

2. DİK KOORDİNAT YÖNTEMİNİN HASSASİYETİ



Şekil - 1: Dik koordinat yöntemi

Bu yöntemde a dik ayak uzunluğu ile h dik boyu ölçülür. Şekil-1' de görüldüğü gibi P noktasından inilen dik yardımıyla P' dik ayağı noktası bulunmaktadır. P noktasının Y koordinatı,

$$Y_p = Y_A + a \cdot \sin \varphi + h \cdot \sin (\varphi + \delta \pm \pi) \quad (1)$$

bağıntısı ile belirlenir. A ve B noktaları hatasız alınıp a , h ve δ değişkenlerine göre diferansiyeli alınır,

$$dy_p = \sin \varphi \cdot da + \sin (\varphi + \delta \pm \pi) dh + h \cdot \cos (\varphi + \delta \pm \pi) d\delta \quad (2)$$

elde edilir. Burada;

$$\sin (\varphi + \delta \pm \pi) = \cos \varphi \quad \text{ve} \quad \cos (\varphi + \delta \pm \pi) = \sin \varphi \quad (3)$$

denir ve karesel ortalama hataya geçilirse,

$$m_y^2 = \sin^2 \varphi m_a^2 + \cos^2 \varphi m_h^2 + h^2 \sin^2 \varphi \frac{m_\delta^2}{\rho^2} \quad (4)$$

bağıntısı bulunur. Aynı hesaplama X_p koordinatı için de yapıldığında,

$$m_x^2 = \cos^2 \varphi m_a^2 + \sin^2 \varphi m_h^2 + h^2 \cos^2 \varphi \frac{m_\delta^2}{\rho^2} \quad (5)$$

elde edilir.

Konum hatası m_p ;

$$m_p^2 = m_y^2 + m_x^2 \quad (6)$$

olduğundan, (4) ve (5) eşitlikleri (6) da yerine konulup düzenlenirse,

$$m_p^2 = m_a^2 + m_h^2 + h^2 \frac{m_\delta^2}{\rho^2} \quad (7)$$

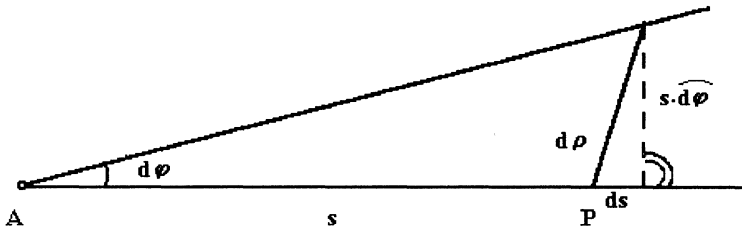
bağıntısı bulunur. Burada; m_a , m_h ve m_δ sırasıyla dik ayağının, dik boyunun ve dik açının karesel ortalama hatasıdır /2/.

3. KUTUPSAL KOORDİNAT YÖNTEMİNİN HASSASİYETİ

a. Klasik Takeometrik Alımda Hassasiyet.

Klasik Takeometrik alımda yatay açı, düşey açı ve stadya çizgilerinin mirayı kestiği üst, orta ve alt kıl okumaları yapılır. Ayrıca aletin yüksekliği ölçülür. Bu çalışmada teorik hassasiyet değerlerine ait bağıntıların çıkarılmasında, alet yüksekliği ve miradaki orta kıl okuma değerleri hatasız olarak kabul edilecektir.

(1) Klasik Takeometrik Alımda Konum Hassasiyeti



Şekil - 2: Kutupsal alım yöntemi

Ölçülen yatay açı ve hesaplanan uzunluk yardımıyla P noktasının Y_p koordinatı

$$Y_p = Y_a + s \cdot \sin \varphi \quad (8)$$

bağıntısı ile hesaplanır. A noktası hatasız kabul edilir, s ve φ değişkenlerine göre diferansiyeli alınırsa,

$$dy_p = \sin \varphi ds + s \cos \varphi d\varphi \quad (9)$$

elde edilir. Buradan karesel ortalama hataya geçilirse,

$$m_y^2 = \sin^2 \varphi m_s^2 + s^2 \cos^2 \varphi \frac{m_\varphi^2}{\rho^2} \quad (10)$$

bağıntısı bulunur. Benzer işlem X_p koordinatı için de yapılırsa,

$$m_x^2 = \cos^2 \varphi m_s^2 + s^2 \sin^2 \varphi \frac{m_\varphi^2}{\rho^2} \quad (11)$$

bağıntısı elde edilir. (10) ve (11) eşitlikleri (6) bağıntısında yerine konularak konum hatası,

$$m_p = \pm \sqrt{m_s^2 + s^2 \frac{m_\phi^2}{\rho^2}} \quad (12)$$

olarak elde edilir. Burada;

- s : Noktalar arasındaki uzaklık
- m_s : Uzunluğun karesel ortalama hatası
- m_ϕ : Yatay açının karesel ortalama hatası

nı göstermektedir.

Uzunluk ölçme hassasiyeti için $m_s = \pm \frac{s}{300}$ bağıntısı kullanılabilir /1/.

$m_\phi = \pm 1^c$ alınır,

$$m_p = \pm s \sqrt{\frac{1}{300^2} + \frac{1}{6366.2^2}} \quad (13)$$

bulunur. (13) eşitliğinde karekökün içindeki ikinci terim birinci terimin yanında çok küçük kaldığı için ihmal edilebilir. Bu durumda konum hassasiyeti;

$$m_p = \pm \frac{s}{300} \quad (14)$$

olur.

Klasik takeometrik alımdaki hata, stadya çizgilerinin sabit aralıklı olması nedeni ile oluşur. Bu hata nokta aletten uzaklaştıkça azalır. Ancak bu durumda da nokta uzaklaştığı için mira üzerindeki bölümlerin görüntüleri küçülür, stadya çizgileri mira bölümlerini kapatır. Bu nedenle hedefe net tatbik yapılamaz ve mira değerleri okunamaz. Sonuçta da mira okumalarının hatası büyür. Takeometre ile 20-150 m arasındaki noktaların ölçülmesinin nedeni budur. 20m den yakın noktalar çelik şerit metre ile ölçülmelidir. 20 ile 150 m arasında değişen mesafelerdeki nokta konum hassasiyeti (14) eşitliği yardımıyla hesaplanabilir.

Çizelge - 1 : Klasik takeometrik alımda nokta konum hassasiyeti

s (m)	20	40	60	80	100	120	140	150
m_p (cm)	6.7	13.3	20.0	26.7	33.3	40.0	46.7	50.0

Gerek (14) eşitliği gerekse çizelge-1 incelendiğinde, nokta konum hatasının uzunlukla doğru orantılı olarak arttığı görülür.

(2) Klasik Takeometrik Alımda Yükseklik Hassasiyeti

Klasik takeometrik alımda herhangi bir P noktasının yüksekliği

$$H_p = H_A + a + \frac{1}{2} k l \sin 2z - t \quad (15)$$

bağıntısı ile belirlenir. Burada alet kurulan noktanın yüksekliği H_A , alet yüksekliği a , $k=100$ ve miradaki orta kıl okuma değeri t , hatasız olarak kabul edilir l ve z (l mira okumaları farkı, z düşey açı) değişkenlerine göre diferansiyel alınırsa,

$$dH_p = k \frac{\sin 2z}{2} dl + \frac{k l}{2} 2 \cos 2z dz \quad (16)$$

$$dH_p = kl \frac{\sin 2z}{2} \frac{dl}{l} + kl \cos 2z \frac{dz}{\rho} \quad (17)$$

$u=k.l$ olarak kısaltılırsa,

$$dH_p = \Delta h \frac{dl}{l} + \frac{u}{\rho} \cos 2z dz \quad (18)$$

$$m_h = \pm \sqrt{\frac{\Delta h^2 m_l^2}{l^2} + \frac{u^2}{\rho^2} \cos^2 2z m_z^2} \quad \text{olur.} \quad (19)$$

$$m_l = \pm \frac{1}{300} \quad \text{ve} \quad m_z = \pm 1^c \quad \text{alınırsa,}$$

$$m_h = \pm \sqrt{\frac{\Delta h^2}{300^2} + \frac{u^2}{6366.2^2} \cos^2 2z} \quad (20)$$

elde edilir.

Farklı uzunluk ve farklı düşey açılardaki noktaların yükseklik hataları (20) eşitliği ile hesaplanabilir.

Çizelge - 2: Klasik takeometrik alımda nokta yükseklik hassasiyeti.

Mira Okumaları farkı (cm)	Düşey Açı z (grad)	Yükseklik farkı Δh (m)	Yükseklik hassasiyeti m_h (cm)
50	100	0	0.8
	90	7.73	2.7
	80	14.69	4.9
	70	20.23	6.8
100	100	0	1.6
	90	15.45	5.4
	80	29.39	9.9
	70	40.45	13.5
150	100	0	2.4
	90	23.18	8.0
	80	44.08	14.8
	70	60.68	20.3

Çizelge-2 incelendiğinde nokta yükseklik hassasiyetinin ölçülen düşey açıya ve noktalar arasındaki uzunluğa bağlı olduğu görülür. $z = 100^\circ$ olduğu zaman $\Delta h = 0$ olmakta ve m_h için küçük değerler elde edilmektedir. Mira okumaları farkının 150 cm ve düşey açının 100° olması durumunda hesaplanan 2.4 cm lik yükseklik hatası, takeometrik alımlar için büyük bir hata sayılmaz.

b. Elektronik Takeometrelerle Yapılan Alımda Hassasiyet

(1) Konum Hassasiyeti

(12) bağıntısında konum hatası,

$$m_p = \pm \sqrt{m_s^2 + \frac{s^2 m_\phi^2}{\rho^2}}$$

olarak belirtilmiştir.

Bunun için yatay uzunluğun hatası m_s bilinmelidir. Eğik uzunluk (s') ve düşey açı (z) yardımıyla yatay uzunluk,

$$s = s' \cdot \sin z \quad (21)$$

bağıntısıyla hesaplanır. Değişkenlere göre diferansiyel alınır,

$$ds = \sin z \cdot ds' + s' \cdot \cos z \cdot dz \quad (22)$$

olur. Ortalama hataya geçilirse,

$$m_s^2 = \sin^2 z \cdot m_s'^2 + s'^2 \cos^2 z \cdot \frac{m_z^2}{\rho^2} \quad (23)$$

elde edilir /3/. Uygulamada kullanılan elektronik takeometre SOKKISHA SET 2 olup bu alet için eğik uzunluğun karesel ortalama hatası $m_s = \pm (3 \text{ mm} + 2 \text{ ppm } s')$, yatay ve düşey açıları ölçme hassasiyeti ise $m_\varphi = m_z = \pm 10''$ dir. Hesaplamalarda kırılma ve diğer faktörlerinde etkisi dikkate alınarak $m_\varphi = m_z = \pm 20''$, eğik uzunluğun karesel ortalama hatasında $m_s = \pm (3 \text{ mm} + 2 \text{ ppm } s')$ olarak alınırsa çizelge-3'deki değerler elde edilir.

Çizelge-3: Elektronik takeometrelerde eğik uzunluğun ortalama hatası.

s' (m)	50	100	150	200	250	300	350	400
m_s' (mm)	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8

$m_\varphi = m_z = \pm 20''$ ve m_s değerleri çizelge-3' den alınarak (23) bağıntısına göre yatay uzunluğun ortalama hatası hesaplanırsa, çizelge-4' deki değerler elde edilir.

Çizelge-4: Eğik uzunluğa bağlı olarak hesaplanan m_s değerleri (mm).

s' (m)	50	100	150	200	250	300	350	400
z (grad)								
100	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8
90	3.1	3.2	3.3	3.5	3.7	3.8	4.0	4.2
80	3.0	3.2	3.4	3.8	4.1	4.5	4.9	5.3
70	2.8	3.2	3.6	4.2	4.7	5.3	6.0	6.6

Çizelge-4 ve (12) nolu bağıntıdan yararlanarak noktaların konum hataları hesaplanırsa çizelge-5 'deki değerler elde edilir.

Çizelge-5: Elektronik takeometrelerde nokta konum ortalama hataları (mm)

s'(m)	50	100	150	200	250	300	350	400
z (grad)								
100	3.5	4.5	5.8	7.1	8.6	10.1	11.6	13.1
90	3.5	4.4	5.7	7.1	8.6	10.0	11.6	13.1
80	3.4	4.4	5.6	7.1	8.5	10.0	11.5	13.1
70	3.1	4.2	5.5	7.0	8.4	9.9	11.5	13.0

Çizelge-5 incelendiğinde, nokta konum hatalarının düşey açıdan bağımsız olduğu görülür.

(2) Yükseklik Hassasiyeti

Elektronik Takeometrelerle yapılan alımda bir P noktasının yüksekliği

$$H_p = H_A + s' \cos z - t + a \quad (24)$$

bağıntısı ile belirlenir. Alet kurulan noktanın yüksekliği H_A , alet yüksekliği a ve yansıtıcı yüksekliği t olarak alınıp, s' ve z değişkenlerine göre diferansiyel alınır,

$$dH_p = \cos z ds' + s' (-\sin z) dz$$

olur. Buradan ortalama hataya geçilirse,

$$m_h = \pm \sqrt{\cos^2 z m_s^2 + s'^2 \sin^2 z \frac{m_z^2}{\rho^2}} \quad (25)$$

bağıntısı elde edilir. m_s için çizelge-3' de hesaplanan değerler kullanıldığında yüksekliğin ortalama hatasının, (mm) cinsinden değerleri çizelge-6' daki gibi elde edilir.

Çizelge-6: Elektronik takeometrelerde yükseklik hassasiyeti (mm).

s'(m) z (grad)	50	100	150	200	250	300	350	400
100	1.6	3.1	4.7	6.3	7.8	9.4	11.0	12.6
90	1.6	3.1	4.7	6.2	7.8	9.3	10.9	12.4
80	1.8	3.1	4.6	6.1	7.5	9.0	10.5	12.0
70	2.0	3.1	4.4	5.8	7.2	8.6	9.9	11.3

1' den 6' ya kadar olan çizelgeler incelendiğinde elektronik takeometrelerden beklenen uzunluk, konum ve yükseklik hassasiyetinin klasik takeometrelerden çok yüksek olduğu görülür. Bu nedenle ölçülerin değerlendirilmesinde elektronik takeometre ile bulunan koordinatlar ve yükseklikler hatasız kabul edilmiştir. x ve y yönündeki hatalar ile, yükseklik ve konum hataları aşağıdaki eşitliklerle hesaplanmıştır /4/.

$$\begin{aligned}
 m_x &= \pm \sqrt{\frac{[v_x v_x]}{n}} & m_y &= \pm \sqrt{\frac{[v_y v_y]}{n}} \\
 m_p &= \pm \sqrt{\frac{[v_x v_x + v_y v_y]}{n}} & m_h &= \pm \sqrt{\frac{V_h V_h}{n}}
 \end{aligned} \tag{26}$$

Burada

$$v_x = X_T - X_E$$

$$v_y = Y_T - Y_E$$

$$v_h = H_T - H_E$$

dir.

Bu eşitliklerdeki,

- X_E, Y_E : Elektronik takeometre ile yapılan alımda hesaplanan koordinatlar,
 X_T, Y_T : Klasik takeometre ile yapılan alımda hesaplanan koordinatlar,
 H_T : Klasik takeometre ile yapılan alımda hesaplanan yükseklikler,
 H_E : Elektronik takeometre ile yapılan alımda hesaplanan yükseklikler,
 m_X : X yönündeki karesel ortalama hata,
 m_Y : Y yönündeki karesel ortalama hata,
 m_h : Yüksekliğin karesel ortalama hatası,
 m_p : Konum ortalama hatası,
 n : Nokta sayısını,

göstermektedir.

4. ÖLÇÜLER VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Pratik jeodezideki ölçmelerde kullanılan alım yöntemlerinin hassasiyetlerini karşılaştırmak amacıyla yaklaşık 100 adet kadastral parselin alımı, klasik ve elektronik takeometre ile kutupsal olarak yapılmıştır. Toplam parsel köşe sayısı 425 dir. Parsel köşe noktaları arazide 5 x 5 x 25 cm. boyutlu ağaç kazıklarla belirlenmiştir. Tüm parsel ve detay noktalarını ölçebilmek için çalışma alanında mevcut 5 nirengi noktası ile 20 poligon noktasından yararlanılmıştır.

Alımda Büyük Ölçekli Haritaların Yapım Yönetmeliğindeki hükümlere uyulmuş, klasik takeometre ile yapılan alımda Wild T1A teodoliti kullanılmıştır. Parsel kırık noktalarının alet kurulan noktaya uzaklığı genellikle 150m ' nin altındadır. Elektronik Takeometre ile yapılan alımda, ölçü sırasında sıcaklık ve basınç ölçülerek ölçülere gerekli olan düzeltmeler getirilmiştir. 200m ' yi geçen kenarlar deniz yüzeyine ve Gauss-Krüger projeksiyon düzlemine indirgenmiştir.

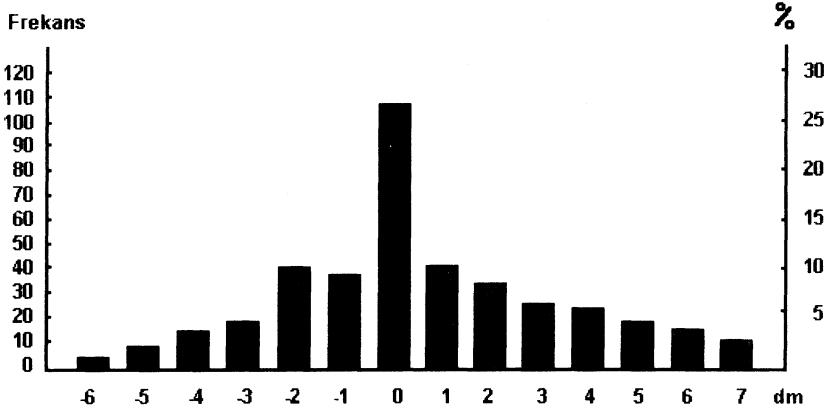
(26) bağıntıları yardımı ile hesaplanan konum ve yükseklik hataları çizelge-7 ' de verilmiştir.

Çizelgelerdeki E, Elektronik takeometre ile hesaplanan koordinatları, T, Klasik takeometre ile hesaplanan koodinatları göstermektedir.

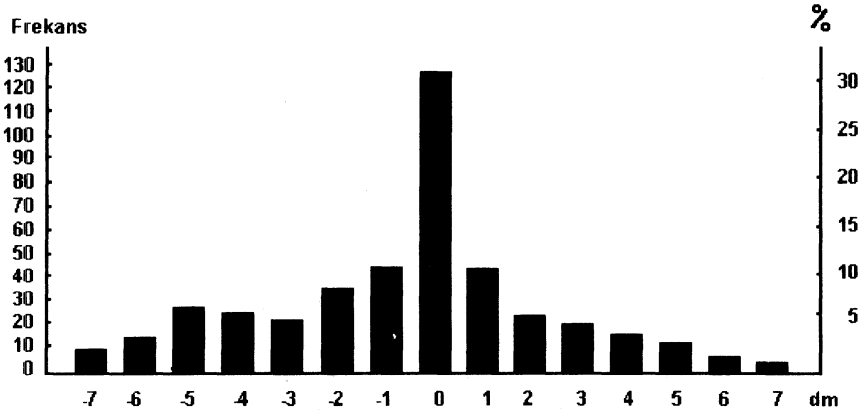
Çizelge-7: Elektronik ve klasik takeometre konum ve yükseklik ortalama hataları.

	m_x (cm)	m_y (cm)	m_p (cm)	m_h (cm)
E - T	35.4	34.0	49.1	13.0

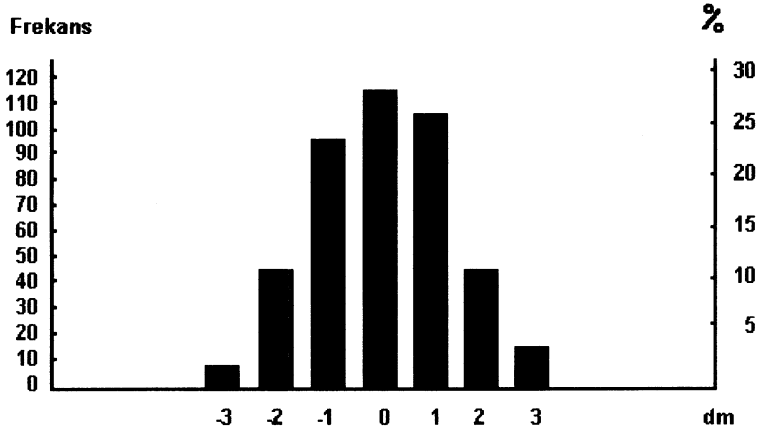
Ayrıca hesaplanan v_x, v_y farklarının frekansları da aşağıdaki gibi elde edilmiştir.



Şekil - 3: T-E Durumunda X koordinat farklarının frekans dağılımı.



Şekil - 4: T-E Durumunda Y koordinat farklarının frekans dağılımı.



Şekil - 5: T-E Durumunda H yükseklik farklarının frekans dağılımı.

5. SONUÇ

Klasik takeometrelerle yapılan alımda gerek konum hatası gerekse yükseklik hatası elektronik takeometrelere göre daha büyüktür. Hata daha çok mira okumalarından kaynaklanmaktadır. Elektronik takeometrelerde uzaklık, klasik takeometreler gibi 20-150 m olmayıp , Büyük Ölçekli Haritaların Yapım Yönetmeliğine göre doğrultu alınan poligon noktasına olan uzaklığın iki katıdır. Fakat her durum için bu mesafenin 400 m'yi geçemeyeceği belirtilmiştir. Düşey açı $z=70$ grad alınıp, eğik mesafe 1km'ye bile çıkarılsa konum hatası $m_p = 31.7$ mm olur.

Elektronik takeometrelerde alım elektronik kayıt ünitelerine kaydedildiğinde yazma ve okuma hataları ortadan kalkar. Alımı yapılan noktaların koordinat değerleri verilen başlangıç değerlerine bağlı olarak hesaplanabilir. Çizimde kayıt ünitesi ile bilgisayar arasında bağlantı sağlanarak çizim koordinatlar yardımı ile yapılabilir, dolayısı ile çizim hataları en aza indirilebilir. Oysa klasik takeometrelerle yapılan alımda çizim genel olarak bir açı ölçer ve cetvel yardımı ile yapılır. Açığı 10° , uzunluğu 0.2 mm incelikte paftaya yerleştireceğimizi varsayarak (12) bağıntısına göre 1:1000 ölçekli bir harita için 100 m'lik uzunlukta 25 cm.lik çizim hatası ortaya çıkar. Prizmatik alımdaki konum hatasında elektronik takeometrelere göre daha büyüktür. Prizmatik alımda dik boyu 30 m ile sınırlandırılmaktadır. Bu uzaklıktaki bir nokta için 1-2 cm lik konum hatası düşünülür. Oysa çizelge-5 incelendiğinde görülürki elektronik takeometrelerde çok uzaktaki noktaları bile daha incelikli olarak ölçmek mümkündür.

Uygulama sonuçları göstermiştir ki elektronik takeometre değerleri hatasız kabul edilerek yapılan bir karşılaştırmada, klasik takeometrelerin konum hassasiyeti $m_p = \pm 49.1$ cm. ve yükseklik hassasiyeti $m_h = \pm 13.0$ cm'dir. Bu hassasiyet değerlerinin teorik olarak bulunan değerlere yakın olduğu söylenebilir. Farkın çoğunlukla klasik takimetri alet ile detay noktaları arasındaki mesafenin 150 m' yi geçmesinden kaynaklandığı sanılmaktadır. Detay noktalarının % 25'inin alet kurulan noktalara olan uzaklığı 150-200 m arasındadır.

KAYNAKLAR

- /1/ Kıran, H. :Takeometrik Ölçümlerde Nokta Belirleme İnceliği, Lisansüstü Elektronik Takeometreler ve Otomatik Çizim Yaz Okulu, İstanbul 1985.
- /2/ Tüdeş, T. :Aplikasyon, K.T.Ü. Yer Bilimleri Fakültesi, yayın no: 25, Trabzon 1979.
- /3/ Uzel, T. :Jeodezik Amaçlı Elektromagnetik Ölçmeler, Yıldız Üniversitesi Yayınları, sayı 169, İstanbul 1984.
- /4/ Yıldız, F. :Grafik Kadastral Paftaların Sayısallaştırılmasında Hassasiyet İnal, C. Araştırması Selçuk Üniversitesi Uluslararası Bilgisayar Uygulamaları Sempozyumu. Erdi, A. 9 - 10 Haziran 1993, S. 223 - 234, Konya 1993.