



T.C.

TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEODEZİ ANABİLİM DALI

**FARKLI YÜZEYLERE SAHİP HEDEFLERİN KONUMLARININ
BELİRLENMESİNDE REFLEKTÖRSÜZ ÖLÇMELERİN
DOĞRULUK ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nurullah ŞEN

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Servet Yaprak

TOKAT- 2022

ÖZET

FARKLI YÜZEYLERE SAHİP HEDEFLERİN KONUMLARININ BELİRLENMESİNDE REFLEKTÖRSÜZ ÖLÇMELERİN DOĞRULUK ANALİZİ

Şen, Nurullah

Yüksek Lisans, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Servet Yaprak

Ağustos 2022, x + 61 sayfa

Bu çalışmada; farklı yüzeylere sahip materyallere total station aletleri ile reflektörsüz ölçüler yapılarak, doğruluk analizlerinin incelenmesi amacıyla bir çalışma gerçekleştirildi. Hedeflerin reflektörsüz ölçmelerinin yapılabilmesi için öncelikle bölgedeki etkin yapı stoku ve yaygın olarak kullanılan materyallerin cinsi ve renkleri değerlendirildi. Böylece ilgili bölgelerde (sivil yerleşim ve sanayi bölgeleri, tarihi ya da eski binaların ağırlıklı olduğu alanlar, vb.) saha çalışmaları yapılarak uygun materyaller belirlendi. Saha çalışmaları ile belirlenmiş olan bu veriler kapsamında 18 çeşit materyal (beyaz boyalı ahşap, gri boyalı ahşap, sarı boyalı ahşap, kırmızı boyalı ahşap, mavi boyalı ahşap, pürüzsüz ahşap, pürüzlü ahşap, kahverengi plastik, beyaz plastik, granit, beyaz mermer, gri, mermer, tuğla, beyaz beton, turuncu beton, sarı boyalı metal, gri boyalı metal, metal) kullanıldı. Reflektörsüz ölçü özelliğine sahip total stationlar (LEICA TS16, Spectra Focus 8) ile ilk olarak, belirlenen yaklaşık mesafelerde(50,100,200,400m) reflektör ile ölçüler yapılarak referans mesafeler belirlendi. Ardından aletler, daha önceden özel olarak tasarlanmış tutturma aparatı yardımıyla hedef yüzeylere yönlendirilerek reflektörsüz mesafe ölçüleri yapıldı. Reflektör kullanılarak gerçekleştirilen referans mesafe ölçüleri ile reflektör kullanmadan gerçekleştirilen mesafe ölçüleri arasındaki karesel ortalama hata değerleri hesaplanarak karşılaştırıldı. Çalışma kapsamında hedef yüzeylerin malzeme türü, rengi, yüzey dokusu, boyalı olup olmaması, hedef yüzeye lazer ışınının geliş açısı gibi etkenler ölçü değerlerini etkilediği gözlenmiş olup, bu etkilerin her biri için ölçü değerleri ve değerlendirmeleri yazılı ve görsel olarak hazırlandı. Ayrıca ölçüyü etkileyecek dış etkenler (sıcaklık, basınç, nem, güneş ışınının geliş açısı vs.) ölçü süreci boyunca incelendi ve veriler kayıt altına alındı. Son olarak istatistik programı olan STATA programında ele alınarak tüm ölçü değerlerinin birbirlerine göre lineer doğruluk analizleri gerçekleştirildi. Çalışma sonunda; farklı renk yüzeylerine sahip hedeflerin mesafe ölçüleri üzerinde önemli etkiye sahip olduğu ortaya çıktığı, hedef yüzeye gelen ışının geliş açısı değiştikçe karesel ortalama hatanın değiştiği, ölçü mesafesi arttığında (200m sonrası) hatanın arttığı, farklı yüzey dokusuna sahip hedeflerin hata oranlarında farklılıklar olduğu, hedef yüzeyin boyalı olup olmaması ölçü sonuçlarını etkilediği ve iki ölçü aletinin mesafe ölçüleri ile hesaplanan karesel ortalama hataları arasında farklılıkların olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Total Station, Reflektörsüz Mesafe Ölçüleri, Leica TS16, Spectra Focus 8, Doğruluk Testi

ABSTRACT

ACCURACY ANALYSIS OF REFLECTORLESS MEASUREMENTS IN DETERMINING THE POSITIONS OF TARGETS WITH DIFFERENT SURFACES

Sen, Nurullah

Master's degree, Institute of Science, Survey Engineering

Thesis Advisor: Assit.Prof.Dr.Servet Yaprak

May 2022, x + 61 pages

In this study, an experiment was conducted to study accuracy analysis by taking reflectorless measurements with total station tools to materials with different surfaces. To make reflectorless measurements of the targets, the active structure stock in the region and the type and colors of commonly used materials were first evaluated. In this way, in the relevant areas (civilian residential and industrial areas, historical or predominantly old buildings, etc.) field work has been carried out and appropriate materials have been identified. 18 types of materials (white painted wood, gray painted wood, yellow painted wood, red painted wood, blue painted wood, smooth wood, rough wood, brown plastic, white plastic, granite, white marble, gray, marble, brick, white concrete, orange concrete, yellow painted metal, gray painted metal, metal) used. With total stations (LEICA TS16, Spectra Focus 8) with reflectorless measurement, the reference distances were first determined by taking measurements with the reflector at approximately previously determined distances (50.100.200.400m). Then, the tools were directed to the target surfaces using a previously specially designed a special supporting base, taking measurements of the reflectorless distance. Compared with the calculation of the root mean square error values between reference distance measurements using the reflector and distance measurements taken without reflectors. In the scope of the study, factors such as material type, color, surface type, paint type, angle of laser beam to target surface were observed to affect measurement values and measurements and assessments were written and visually prepared for each of these effects. External factors(temperature, pressure, humidity, angle of solar heat coming, etc.) that will also affect the measurement reviewed and recorded data throughout the measurement process. The data that was recorded was last performed linear accuracy analysis of the measurement values in the statistical program (STATA) relative to each other. At the end of the experiment, targets with different color surfaces have a significant impact on distance measurements, where the mean square error changes as incidence angle coming to the target surface changes, when the measurement distance increases (more than 200m), there are differences in the error rates of targets with different surface type, whether the target surface is painted has an effect on the measurement results and differences between distance measurements and the calculated the root mean square error for both measuring instruments have been observed.

Keywords: Total Station, Reflectorless Distance Measures, Leica TS16, Spectra Focus 8, Accuracy Test

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET (TÜRKÇE).....	i
ABSTRACT (İNGİLİZCE)	ii
İÇİNDEKİLER	iii
TABLolar LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
KISALTMALAR.....	viii
1.GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETLERİ	3
2.1.Mesafe Ölçülerinin Tarihçesi	3
2.1.1.Time of Flight (TOF).....	5
2.1.2. Faz farkı (Phase shift).....	8
2.1.3.TOF ve Faz Farkı metotlarının karşılaştırılması	11
2.1.4. Sistem Analizi	12
2.2.Total stationlarda Mesafe Ölçü Prensipleri	14
2.2.1.Mesafe ölçülerinde reflektör kullanımı	15
2.2.2.Reflektörsüz mesafe ölçüleri	16
2.3.Reflektörsüz Mesafe Ölçülerindeki Hata Kaynakları.....	17
2.3.1.Geliş açısı	18
2.3.2.Mesafe	20
2.3.3.Ortam sıcaklığı	23
2.3.4.Güneşin geliş açısı	23
2.3.4.Batarya süresi	24
2.3.5.Materyal cinsi	26
2.3.6.Hedef yüzey dokusu	28

2.3.7.Renk.....	28
2.3.8.Hedef yüzeyin şeffaflığı	30
3.MATERYAL VE YÖNTEM.....	31
3.1. Çalışmada Kullanılan Uygun Alet ve Ekipmanların Seçimi.....	31
3.2.Kullanılan Cihazlar ve Özellikleri	32
3.3.Hedefleri Yerleştirme Düzeneği:	33
3.4.Ölçü Öncesi Yapılan Saha Çalışmalar	34
3.5.Ölçü Öncesi hazırlık çalışmaları	36
3.6. Ölçü Süreci.....	38
4.BULGULAR VE TARTIŞMA.....	45
4.1.Materyel Cinsi.....	45
4.2.Hedef Yüzeyin Şeffaflığı	47
4.3.Yüzey Dokusu.....	48
4.4.Hedef Yüzeyin Rengi.....	49
4.5.Geliş Açısı.....	51
4.6.Mesafe.....	52
4.7.STATA ile Lineer Regresyon Analizi.....	55
5.SONUÇ VE ÖNERİLER.....	57
Kaynakça	59

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2. 1:İki tekniğin doğruluk karşılaştırılması(Höglund,2005).....	12
Tablo 2. 2: Farklı mesafelerdeki karesel ortalama hataları(Kukhtar,2018).....	19
Tablo 2. 3: Direkt ve ters ışıktaki mesafelere göre karesel ortalama hataları(Israa,2020)	24
Tablo 4. 1: Farklı hedef yüzeylerine 50m’de elde edilen karesel ortalama hatalar	46
Tablo 4. 2: Farklı hedef yüzeylerine 100m’de elde edilen karesel ortalama hatalar	46
Tablo 4. 3: Farklı hedef yüzeylerine 200m’de elde edilen karesel ortalama hatalar	46
Tablo 4. 4: Farklı hedef yüzeylerine 400m’de elde edilen karesel ortalama hatalar	47
Tablo 4. 5: Beyaz ve gri mermer hedeflerin karesel ortalama değerleri.....	48
Tablo 4. 6: 50m ve 100m için karesel ortalama hatalar	48
Tablo 4. 7: 200m ve 400m için karesel ortalama hatalar	48
Tablo 4. 8: 50m de farklı renklerdeki ahşap hedeflerin karesel ortalama hataları.....	49
Tablo 4. 9: 100m de farklı renklerdeki ahşap hedeflerin karesel ortalama hataları.....	49
Tablo 4. 10: 200m de farklı renklerdeki ahşap hedeflerin karesel ortalama hataları.....	49
Tablo 4. 11: 400m de farklı renklerdeki ahşap hedeflerin karesel ortalama hataları.....	50
Tablo 4. 12: 50m ve 100m için karesel ortalama hataları.....	50
Tablo 4. 13: 200m ve 400m için karesel ortalama hataları.....	50
Tablo 4. 14: 50m ve 100m için karesel ortalama hataları.....	51
Tablo 4. 15: 200m ve 400m için karesel ortama hataları.....	51
Tablo 4. 16: STATA ile gerçekleştirilen lineer regrasyon analizi	55

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2. 1: Elektronik mesafe ölçü cihazı (Reda,2012).....	4
Şekil 2. 2: Görünür ve yakın kızılötesi dalga boyları için atmosferik geçirgenlik(%) (Deakin,2016)	4
Şekil 2. 3: TOF vuruşlarının ortalaması (Hosking,2009)	5
Şekil 2. 4: TOF metodunun çalışma prensibi (Hosking,2009)	6
Şekil 2. 5: TOF metodunda mesafe hesaplama prensibi (Schofield,2007).....	7
Şekil 2. 6: Bir TOF sensöründeki modüle edilmiş(üstte) ve darbeli(alta) ışın sinyalleri (Illade-Quinteiro,2015)	8
Şekil 2. 7: Yayılan ve alınan sinyalin arasındaki fark (Reda,2012)	8
Şekil 2. 8: İki tepe arasındaki mesafe dalga boyunu ifade eder(Anonim,2022)	9
Şekil 2. 9: Elektronik mesafe ölçü aletinin ölçü sistemi (Reda,2012)	10
Şekil 2. 10: EDM ‘den çıkan ölçü dalgaları (Reda,2012).....	10
Şekil 2. 11: Faz farkı metodunun çalışma prensibi (Bayoud,2019)	11
Şekil 2. 12: Üstteki TOF, alttaki Faz Farkı (Höglund,2005)	12
Şekil 2. 13: Leica TPS1200+ için EDM mekanizması (Bayoud,2019)	13
Şekil 2. 14: İki farklı reflektör örneği (Anonim,2022).....	16
Şekil 2. 15: Hedef yüzeye Geliş Açısı (Reda,2012)	18
Şekil 2. 16: Total Station’dan çıkan lazer ışınların yüzeydeki farklılıkları(Renda,2012) .	21
Şekil 2. 17: Uzun mesafelerde lazer ışının dağılışı ve yüzeyde oluşturduğu alan (Walter,2022)	21
Şekil 2. 18: Reflektörlü ve reflektörsüz gözlemlerin mesafeye göre doğrulukları (Fawzy,2015)	22
Şekil 2. 19: Reflektörlü ve reflektörsüz ölçülerin karşılaştırılması (Zeidan,2015)	23
Şekil 2. 20: Farklı sıcaklıklardaki standart sapmalar (Israa,2020)	23
Şekil 2. 21: Batarya kapasitesinin zamana göre azalmasına bağlı mesafe değerler zi (Beshr,2011)	25
Şekil 2. 22: Total station tarafından ölçülen mesafe değerleri (El-Din Fawzy,2015)	26
Şekil 2. 23: Farklı renkteki hedeflerin karesel ortalama hataları (Beshr,2011)	29
Şekil 2. 24: Materyal yüzeyinden lazer ışının dağılımı (Lenda,2020).....	30
Şekil 3. 1: Ölçü gerçekleştirilen hedef yüzeyler	32
Şekil 3. 2: Hedef koyma düzeneği	34
Şekil 3. 3: Lazer ışınının hedef yüzey üzerinde farklı geliş açıları.....	34

Şekil 3. 4: Ölçmelerin gerçekleşeceği arazinin yükseklik profili	35
Şekil 3. 5: 5/8 inç çapındaki vida.....	35
Şekil 3. 6: Total stationların yerleştirildiği vidalı platform	36
Şekil 3. 7: Kurulumu gerçekleştirilen total stationlar (Solda Focus8,Sağda Leica TS16)	36
Şekil 3. 8: Tripot ve üzerine yerleştirilen tribrah.....	37
Şekil 3. 9: Ölçmelerin yapıldığı mesafeler için tesis edilen ve işaretlenen çivi	38
Şekil 3. 10: Total station'da çıkan ışınların hedef yüzeye 90 derecelik geliş açısı	39
Şekil 3. 11: Hedef yerleşme aparatı üzerindeki açıölçer daire	40
Şekil 3. 12: Hedefler üzerine yönlendirin ölçü aletinden çıkan lazer ışınının gösterimi	40
Şekil 3. 13: Ahşap (solda) ve metal (sağda) hedef örnekleri	41
Şekil 3. 14: Mermer (solda) ve beton (sağda) hedef örnekleri	41
Şekil 3. 15: Beyaz (solda) ve kırmızı (sağda) renkli ahşap hedef örnekleri	42
Şekil 3. 16: Mavi (solda) sarı (sağda) renkli ahşap hedef örnekleri	42
Şekil 3. 17: Metal hedef ve yüzeyi boyalı metal hedef.....	43
Şekil 3. 18: Extech HD500 psikrometre	43
Şekil 3. 19: Samsung Galaxy Note8 akıllı telefonlardaki barometre menüsü	44
Şekil 3. 20: Spectra Focus 8 (solda) ve Leica TS16 (sağda) total stationları	44
Şekil 4. 1: Beyaz mermer hedefe gelen lazer ışının geçirgenliği.....	47
Şekil 4. 2: Leica TS16 için geliş açısı ve mesafeye göre karesel ortalama hataları	52
Şekil 4. 3: Spectra Focus 8 için geliş açısı ve mesafeye göre karesel ortalama hataları	52
Şekil 4. 4: Leica TS16 için tüm yüzeylerin mesafeye göre karesel ortalama değişimi ..	54
Şekil 4. 5: Spectra Focus8 aleti için mesafeye göre karesel ortalama değişimi	54

KISALTMALAR

EDM: Elektronik Mesafe Ölçer

KHO: Karesel Ortalama Hata

DR: Direkt Yansırna



1.GİRİŞ

Reflektörsüz EDM teknolojisinde reflektör ya da yansıtıcı özelliğe sahip olmayan nitelikteki hedefleri faz farkı veya darbeli lazer teknikleri kullanılarak mesafe ölçüleri yapan kişiler için zamandan ve işçilikten tasarruf sağlayarak hızlı ölçü olanağı sağlanır. Ancak bu tür ölçülerin doğruluğu, ölçüyü etkileyen çeşitli kısıtlamalar nedeniyle sorgulanmaktadır (Reda, 2012).

Elektronik ve bilgisayar teknolojilerinde meydana gelen teknolojik ilerlemelere paralel olarak detay ölçülerinde kullanılan total station aletleri de büyük değişikliğe uğramıştır. Ölçülebilen mesafelerin uzaması, bellek kapasitesinin artması, alet menülerinden kolayca ulaşılabilen yazılımların artması, alet ekranından ölçüyü yönetebilme ve izleyebilme özelliği ve lazer ışını kullanımı ile birlikte reflektörsüz ölçü yapabilme özelliği ilk akla gelen gelişmeler olarak sıralanabilir (Reda, 2012).

Reflektörsüz total stationlar ile ulaşılabilen noktaların ölçülebilmesi imkanı yersel ölçüler yapan biz ölçmecilerin işlerini büyük ölçüde kolaylaştırdı. Bu gelişmeye paralel olarak özellikle yapılaşmış alanlarda detay alımları çok daha kolay ve hızlı gerçekleştirilen ölçüler haline geldi ve çok yoğun kullanılmaya başlandı. Ancak burada yapılan ölçülerin ölçülen yüzey değişkeninin malzemesi, dokusu, rengi ve yüzeye gelen ve yansıyan ışının açısı gibi birçok değişkenin ölçü sonuçlarını ne denli etkileyeceği araştırılması gereken bir konu olarak önümüze çıktı.

Bu çalışmada yukarıda değinilen konu başlıkları ile ilgili bir çalışma yapılarak reflektörsüz total stationların kullanılabilirlik limitlerinin belirlenmesine katkı sunulmaya çalışılmıştır.

Total stationlar da açı ve mesafeleri otomatik olarak ölçmek için mühendislik ve yüzey ölçülerinde geniş çapta kullanılmaktadır (Xia & ark, 2006,s. 1-5) Birçok alanda olduğu gibi teknoloji, yüzey ölçülerinde de etkin hale geldi. Total stationlar; elektronik (EDM) mesafe ölçme, teodolit ve bilgisayarın birleşimi olarak tanımlanabilir. Elektronik takeometre yatay (X, Y) ve düşey(X,Z) olmak üzere 2 düzlemde ölçü yapar. EDM ile yönlendirilen bir prizmaya olan mesafeye (eğik mesafe) ölçü yapılır. Ölçülen bu X, Y, Z değerlerinin her biri arasındaki ilişki hesaplanıp saklanabilir (Coaker, 2009).

Hassas dijital yükseklik ve reflektörsüz total stationlar otomatik mesafe ölçülerinde hızlı ve yüksek doğrulukta olduğundan harita mühendisliğinde oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Alsalman & Elsadig,2008, s. 1-9).

Zaman ve işçilikten tasarruf etmek ve hızlı ölçüler yapmak amacıyla reflektörsüz total stationlar, birçok yüzey ölçülerinde kullanılır hale gelmiştir. Fakat bu ölçülerde doğruluk iyi anlaşılamadığı için ölçü sonuçlarını etkileyen parametrelerin incelenmesine ihtiyaç duyulmuştur. Bu çalışmada çeşitli mesafelerde (50m, 100m, 200m, 400m) reflektörsüz mesafe ölçülerinin güvenilirlikleri hakkında çıkan sorunların bazılarına cevap vermeye çalışılmıştır.

Çalışma 21 farklı hedef (farklı renk ve doku) ile yürütüldü. Ayrıca çalışma, total stationdan çıkan lazer ışınının hedef yüzeye farklı geliş açılarında (0°, 15°, 30°, 45°, 60°) istasyonlar oluşturularak ölçüler tamamlandı. Sonuçları doğru bir şekilde değerlendirmek için; her bir ölçüde kullanılan total stationlar (2 adet) insan kaynaklı hatalardan arındırmak amacıyla belirli bir yükseklikte bulunan daha önceden beton zemine tesis edilen kalıcı vidaya bağlandı ve hedeflerin tutturulduğu özel bir platform tasarlandı. Sonuçlar kayıt altına alındı. Çalışma sonunda ölçüleri etkileyen parametrelerden bazıları sabit tutularak mesafe ölçüleri değerlendirildi.

2. LİTERATÜR ÖZETLERİ

Hedef yüzeye gelen ışının açısı, hedef yüzeyin cinsi, hedef yüzeyin rengi, hedef yüzeyin yerleştirildiği düzeneğin total stationlara olan mesafesi, mesafe ölçülerinin yapıldığı ortamlardaki hava şartları (sıcaklık, basınç, nem) ve mesafe ölçümü için kullanılan aletin özellikleri ölçünün doğruluğunu etkilediği literatürde yer almaktadır.

2.1.Mesafe Ölçülerinin Tarihçesi

Yeryüzü üzerinde mesafe ölçüleri için en eski elektronik cihaz 1950'lerin başında İsveç'te geliştirildi. Bunların en tipik olanı "geodimetredir". Bu cihaz bir reflektöre gidip dönen modüle edilmiş ışık dalgalarının hassas bir şekilde elektronik faz farklarının karşılaştırılmasıyla mesafe ölçen bir alettir (Waller, 1956, s. 107-115).

Mesafe ölçülerinde, şeritler (kısa mesafeler için) ya da Elektronik Mesafe Ölçüleri (EDM) kullanılmaktadır. Şerit metre ile ölçülerde meydana gelen hatalar çevresel (sıcaklık, basınç) kaynaklı olabilir. EDM günümüzde mesafe ölçüleri için kullanılan en uygun araçtır. EDM'ler;

- Radyasyon kaynağına göre (optik ve mikrodalga),
- Ölçü prensibine göre (faz farkı veya darbeleri),
- Reflektör gereksinimi olup olmamasına,

göre sınıflandırılabilir.

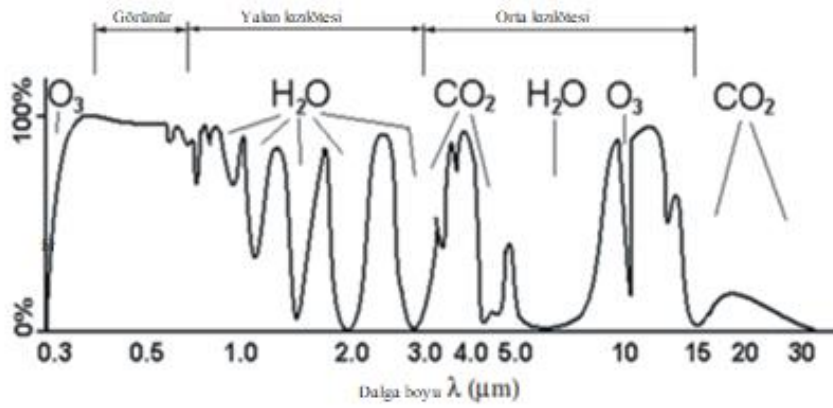
EDM'lerin çalışma prensibinde mesafe ölçüsü, total stationdan giden sinyallerin bir yansıtıcıya gereksinim duymadan geri gelmesiyle gerçekleşir (Walker, 2020).

Mesafe, uzunluğun doğrusal bir ölçüsüdür. Dikey, yatay veya eğimli olabilir. Doğrudan (ör. ölçü bandı, ölçü zinciri ve adımlama kullanarak) veya dolaylı (ör. total stationa takılan bir EDM cihazı kullanılarak) ölçülebilir. Dolaylı mesafe ölçüsü geometrik (ör. optik) veya elektronik (ör. dalga tabanlı) şeklini alabilir. EDM, şu anda en yaygın mesafe ölçü yöntemidir ve total stationlar, Şekil 2.1'de gösterildiği gibi el tipi mesafe ölçerler (Disto) ve lazer tarayıcılarda mevcuttur. Bunlar; radyasyon kaynaklı (görünür, yakın infrared (NIR), mikrodalga), mesafe ölçü prensibine (Time of Flight, Faz Farkı, System Analyzer) ve ölçü esasında reflektörlü ya da reflektörsüz olup olmamasına göre farklılıklar göstermektedir (Reda, 2012).



Şekil 2. 1: Elektronik mesafe ölçü cihazı (Reda,2012)

EDM'de atmosferin iletimi, cihazın menziline ve yansıyan sinyalin gücünü etkiler. Atmosferin geçirgenliği, gelen ışığa gücünün iletilen ışığa gücüne oranıdır ve dalga yayılımının zayıflamasına neden olabilir. EDM'lerin etkilendiği çeşitli değişkenler mevcuttur. Bunlar; dalga boyu, mesafe, hava sıcaklığı, barometrik basınç, atmosferik su buharı içeriği, atmosferin gaz içeriği, atmosferdeki toz ve diğer parçacıklar şeklinde sıralanabilir. Işınlardan geçirgenliği, atmosferdeki su buharı (H_2O), karbondioksit (CO_2) ve ozondan (O_3) etkilenir ve belirli dalga boylarında saçılmalar vardır. Şekil 2.2'de bu saçılmanın dalga boylarına ve geçirgenliğine göre oranları belirtilmiştir (Deakin, 2016).



Şekil 2. 2: Görünür ve yakın kızılötesi dalga boyları için atmosferik geçirgenlik(%) (Deakin,2016)

EDM ölçülerinde çeşitli mesafe ölçü prensipleri vardır. Bunlar;

- Uçuş süresi (TOF)
- Faz Farkı (Phase Shift)

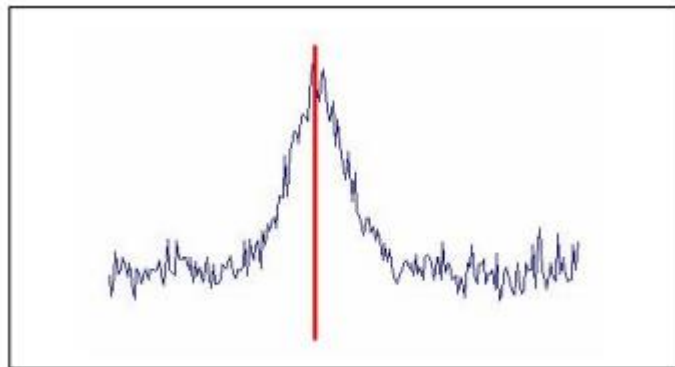
- Sistem Analizi

Ayrıca, tarihi yapıların değerlendirilmesi başta olmak üzere yapı ve binaların, çeşitli yersel arama cihazları kullanılarak uçuş süresi ve faz farkı prensiplerine dayalı mesafe ölçüleri ve bu iki prensibin farklarının incelendiği bir çalışma mevcuttur. Yine bu çalışmada çeşitli lazer tarama cihazları kullanılarak farklı yüzeylere ait hedeflerin çalışması değerlendirilmiştir (Suchock, 2020, s. 1-18).

2.1.1.Time of Flight (TOF)

Günümüzde iki boyutlu görüntüleyicilerin maliyeti önemli ölçüde düşmüş ve pazara sunulmuştur. Hem endüstriyel hem de tüketici ürünleri de dâhil olmak üzere çeşitli uygulamalar için uygun olan düşük maliyetli sistemler pazara sunulmuştur. Uçuş süresi (TOF) sensorlerinin kullanımı, yüksek hesaplama gücü veya mekanik parçalar kullanılmadan bir sahnenin 3B bilgilerinin gerçek zamanlı olarak toplanmasını sağlamaktadır (Li, 2014).Bu sensor türü, mesafe bilgilerini toplamak için bir ışık sinyalinin hedeften ileri geri gitmesi gereken süreyi ölçer (Shirakawa & Yasutomi, 2020,s. 1-18).

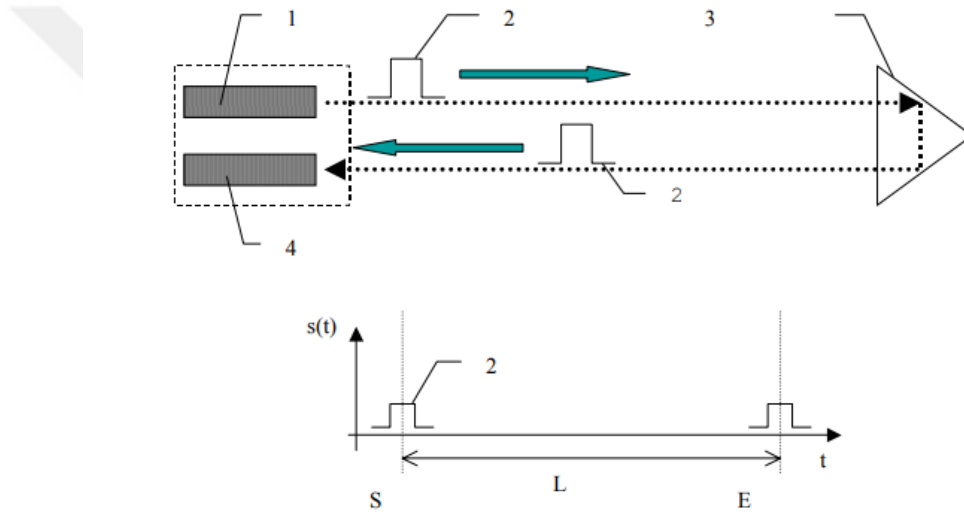
TOF metodu diğer reflektörüz mesafe ölçü tekniklerine kıyasla ışınları sürekliliği daha iyidir (Palojärvi & Määttä, 2002). Bu metod ile uzun mesafeli okumalarda, lazer vuruşları arasındaki boşluklar sayesinde, göz sağlığı için zararlı olan enerjinin toplanması engellenir. Her bir vuruş direkt olarak mesafe ölçer. Yani mesafe alınırken vuruşların binlercesi gönderilir böylece iyi bir ortalama değeri hızlıca elde edilmiş olur. Şekil 2.3’de Trimble DR300+ vuruşlu lazer çin ölçü dağılımı verilmiştir (Hosking, 2009).



Şekil 2. 3: TOF vuruşlarının ortalaması (Hosking, 2009)

2.1.1.1 TOF metodunun çalışma prensibi

Time of Flight (TOF), teleskopla bir hedefe iletilen birçok kısa kıvrılötesi veya lazer ışığı darbesi üreterek bir menzil ölçüsünü hesaplamak için zamanlama bilgilerini hassas bir şekilde ölçer. Her ışık darbesi için gidiş-dönüş elektronik olarak belirlenir, dolayısıyla uçuş zamanı bilinir. Ortamdaki ışığın hızı, seyahat süresi ile birlikte doğru bir şekilde tahmin edilebilir ve bu, alet ile hedef arasındaki mesafeyi hesaplama yeteneği sağlar. Işıkların gidiş ve dönüş yolları ile dalga boyları Şekil 2.4'deki gibidir (Hosking, 2009).

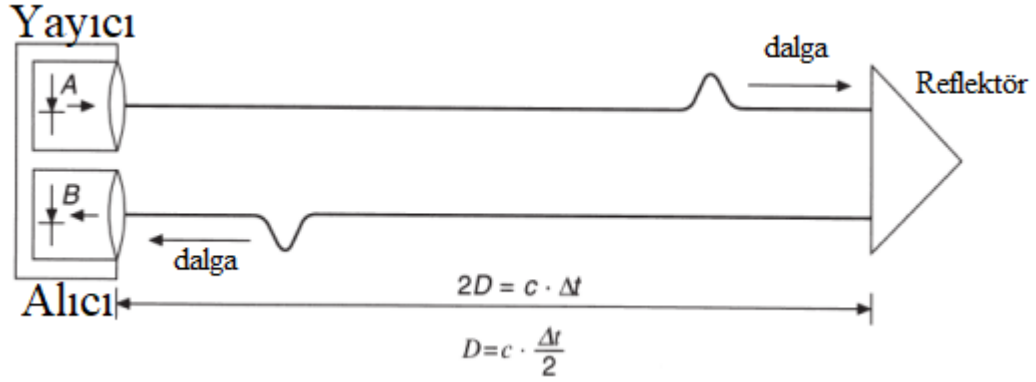


Şekil 2. 4: TOF metodunun çalışma prensibi (Hosking, 2009)

Şekil 2.4'e göre bir verici (1), hedef yüzeye lazer ışını yansıttıktan sonra, tespit edilen bir ışık darbesi (2) yayar. Alıcı (4) tarafından reflektörden (3) yansıtılan ışın karşılar. Ardından gidiş ve dönüş mesafesi için geçen süre kullanılarak mesafe(L) değeri hesaplanır.

2.1.1.2. TOF metodunda mesafe hesaplama prensibi

Şekil 2.5'e göre yayıcı(A) ve alıcı(B) kullanılarak dalgaların gidiş ve dönüş süresi hesaplanır. Hesaplanan bu mesafe ölçü aleti ile reflektör arasındaki mesafeyş elde etmemize yardımcı olur.



Şekil 2. 5: TOF metodunda mesafe hesaplama prensibi (Schofield,2007)

Şekil 2.5’te görüldüğü üzere darbenin A kapısından çıkış zamanı t_A ve B kapısına gelen zamanı t_B ise eşitlik 2.1’e göre,

$$D = c \cdot \frac{\Delta t}{2} \quad (2.1)$$

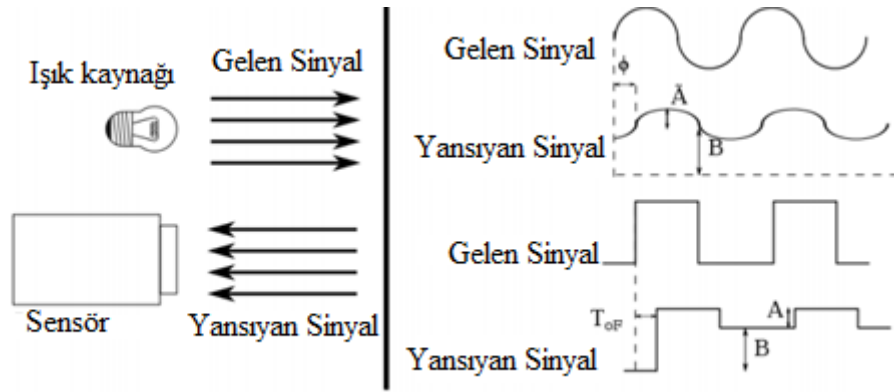
Bu denklemde:

- $(t_B - t_A) = \Delta t$
- c = ışığın geçtiği ortalama hız
- D = alet ile hedef arasındaki mesafe

olarak tanımlanmıştır (Schofield, 2007).

Elektromanyetik dalganın gidiş-dönüş seyahat zamanının ölçülmesiyle yapılan bu metod, dalganın ortamdaki hızının doğru olarak belirlenmesi, ölçü duyarlılığının artırılması için zorunludur. Bu amaçla; Kuru sıcaklık, Islak sıcaklık, Basınç, Nem bilgileri ihtiyaç duyulur (Aktuğ, 2022).

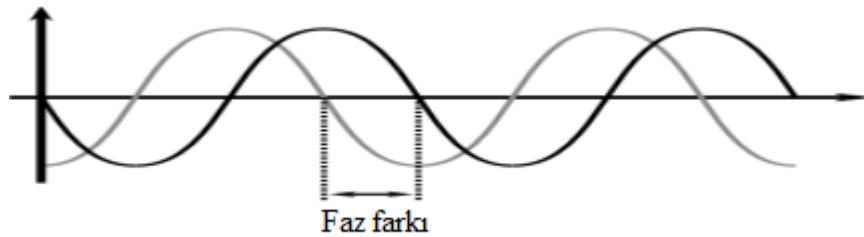
Şekil 2.6’da, TOF sensörleri için çalışma modlarını göstermektedir (Illade-Quinteiro & ark., 2015, s. 4624-4642). Görüldüğü gibi, faz veya zaman gecikmesinin yanı sıra, gelen sinyalde iki parametre daha bilinmemektedir, bunlar sahnenin arka plan ışığının gücü ve yoğunluğudur. Bu parametreler olası hataların sonuçlarıdır (Suchock, 2020, s. 1-18).



Şekil 2. 6: Bir TOF sensöründeki modüle edilmiş(üstte) ve darbeli(alтта) ışın sinyalleri (Illade-Quinteiro, 2015)

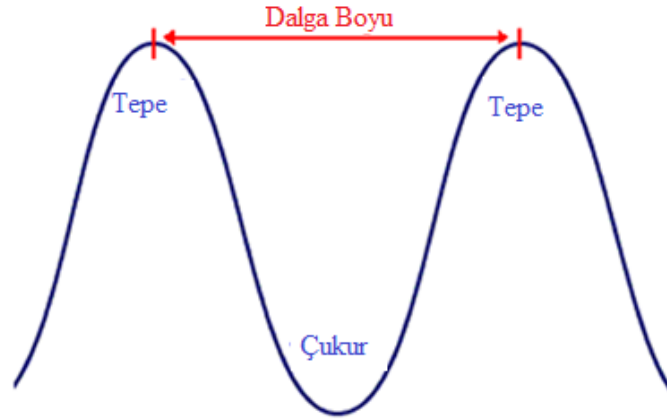
2.1.2. Faz farkı (Phase shift)

Elektronik uzunluk ölçmelerde Şekil 2.7 de görüldüğü üzere, göndericiden yollanan elektromanyetik dalga yansıtıcıdan yansıyan dalganın faz farklarının sayılmasıyla elde edilen uzunluktur. Bu uzunluk yayılan ve alınan sinyalin safhaları arasındaki farktır. İki dalga tam olarak aynı faz açısına ve aynı anda ulaştığında, bunlar fazda üst üste gelir. Ayrıca dalga boyu ifadesini Şekil 2.8 de olduğu gibi iki tepe arasını ifade ettiğini söyleyebiliriz. Fakat iki dalga aynı faz açısında farklı zamana ulaştığında, bu dalgalar arasında faz kayması ya da faz farkı meydana gelir. Faz farkını belirlemek için elektronik uzunluk ölçüsü iletilen sinyal ve geri dönen sinyaller karşılaştırılır (Reda, 2012).



Şekil 2. 7: Yayılan ve alınan sinyalin arasındaki fark (Reda, 2012)

Şekil 2.7’de görüldüğü gibi faz kayması tipik olarak tam bir dögünün 360 derece olduğunda ölçülür.



Şekil 2. 8: İki tepe arasındaki mesafe dalga boyunu ifade eder(Anonim,2022)

Yansıtma gerçekleşmediği durumlarda, birbirini izleyen darbeler tam olarak aynı mesafeyi almış olacak ve faz kayması olmayacaktır. Fakat ışının yansıtıcıya doğru veya yansıtıcıdan tersi yönde olması durumunda, birbirini izleyen darbeler yansıtıcıya farklı bir fazla geri dönecektir. Sonuçta ortaya çıkan faz kayması, bu nedenle yansıtıcının hareketinden kaynaklanır ve daha büyük hızlar daha büyük faz kaymalarına neden olur (Anonim, 2022). Dolayısıyla, geri dönen her darbenin fazını ölçerek, bu kayma miktarı hesaplanabilir.

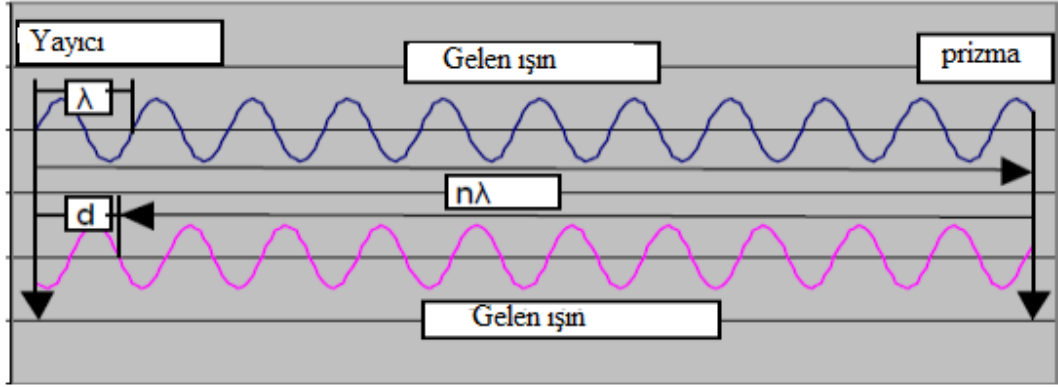
Şekil 2.8’de gidiş dönüş yolu içeren dalga hattında, toplam dalga boylarının ve çift (gidiş dönüş) yol mesafesi(d) olarak temsil edilen faz farklarının yarısı alınarak toplanan ifade, prizma ile alet arasındaki mesafeyi(D) temsil eder (Reda, 2012). Şekil 2.9 da değişkenleri içeren parametreler denklem 2.2 de açıklamıştır.

$$D = \frac{1}{2} (n\lambda + d) \quad (2.2)$$

Bu denklemde:

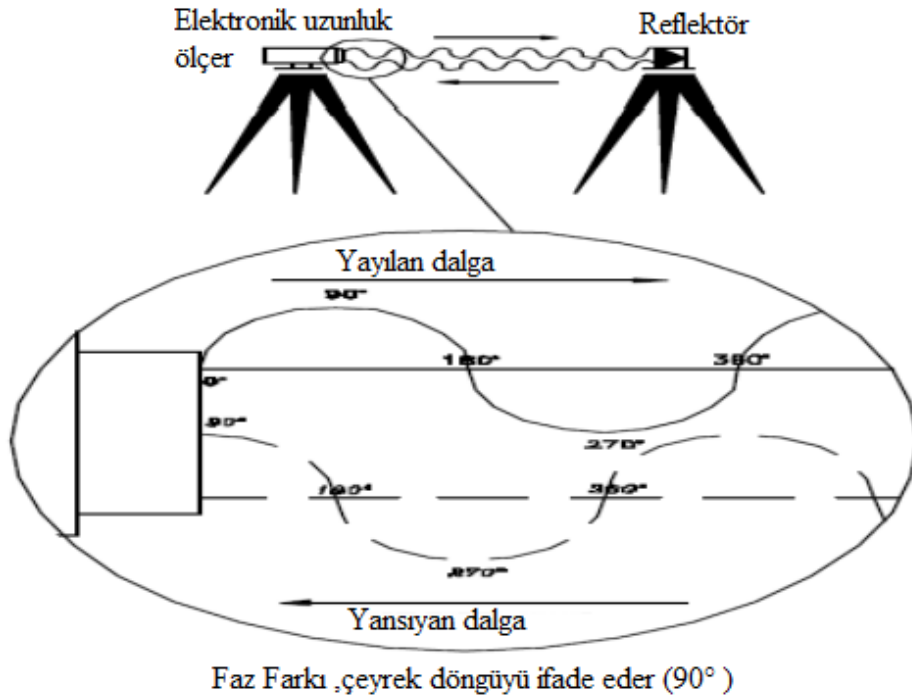
- D : Alet ile prizma arasındaki mesafe
- $-\lambda$: Modülasyonlu ışın demetinin dalga boyu
- n : Işığın çift yolundaki(gidiş dönüş) tam dalga sayısı
- d : Faz farkını temsil eden mesafe

Böylece mesafe ölçüsü, Şekil 2.9'daki gibi, sinyalin vericisinin ölçülecek hattın bir ucuna ve bir reflektörün diğer ucuna kurulmasıyla gerçekleştirilir.



Şekil 2. 9: Elektronik mesafe ölçü aletinin ölçü sistemi (Reda, 2012)

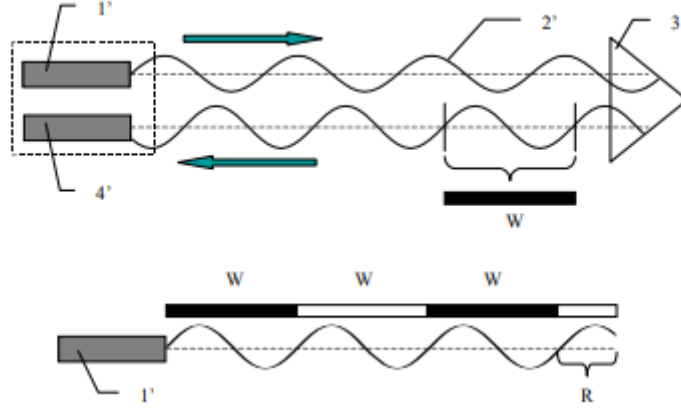
Elektronik mesafe ölçülerinde yayılan (sürekli çizgili olan) ve geri dönen (kesikli çizgili olan) sinyallerin bir kısmı Şekil 2.10'da görselleştirilmiştir (Reda, 2012).



Şekil 2. 10: EDM 'den çıkan ölçü dalgaları (Reda,2012)

Yansıyan ve gelen ışınları içeren ve mesafe ölçü için gerekli olan bir tam döngünün (360°) ¼ 'lük kısmını ifade eden döngü Şekil 2.10 da gösterilmiştir.

Şekil 2.11’de bir yansıtıcı cihaz ile bir hedef arasındaki mesafenin belirlendiği bir faz ölçü yönteminin ilkesini gösteren bir diyagramı göstermektedir (Bayoud, 2019).



Şekil 2. 11: Faz farkı metodunun çalışma prensibi (Bayoud, 2019)

Şekil 2.11 deki ifadeler;

Verici (1),Modüle edilmiş ışık sinyalinin ışık dalgası olarak gönderilen bir hedef (2),Geri yansıtıcı reflektör (3),Söz konusu ışık sinyali oradan alıcıya yansıtılır (4),olarak tanımlanmıştır.

2.1.3.TOF ve Faz Farkı metodlarının karşılaştırılması

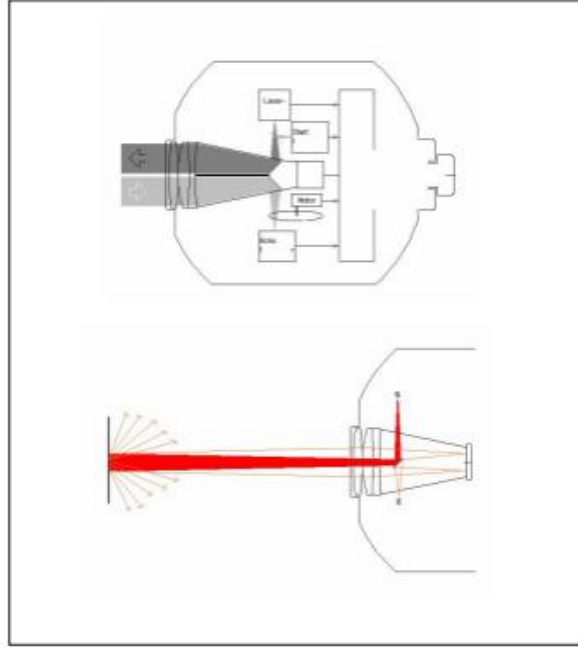
Yukarıda bahsedilen iki EDM prensibinin çeşitli farkları mevcuttur:

- TOF metodu direkt olarak mesafe ölçülerinde ışın darbesi kullanırken, Faz Farkı metodunda modüle ışın kullanılır.
- TOF metodu için kullanılan darbeler, Faz Farkı EDM’ler için kullanılan enerjiden daha güçlüdür. Böylece TOF metodu reflektör kullanılsın ya da kullanılsın, Faz Farkı tekniğine göre daha uzun mesafeleri ölçebilir.
- TOF metodu bilindiği üzere, Faz Farkı metodundan kısmen daha az doğrulukta olmasına rağmen, modern Trimble patentli sinyal işleme yöntemleriyle, bu doğruluk farkları dengelenmiş olmaktadır (Tablo 2.1).

Tablo 2. 1: İki tekniğin doğruluk karşılaştırılması (Höglund,2005)

	DR300+	DR Standart
Prizma mod	3 mm + 3 ppm	1 mm + 1 ppm
Direkt mod	3 mm + 3 ppm	3 mm + 2 ppm

- Faz Farkı dar açıya sahip olmasına rağmen, kısa mesafelerde etkilidir. TOF ise aksine doğruluğun azalmasına neden olan geniş sinyal aralığı ile daha uzun mesafelerde etkilidir (Sami and Lecturer, 2016).
- TOF teknolojisi, lazer sinyalinin prizmadan yansıyarak cihaza dönmesi için geçen süreyi ölçerek mesafeyi doğrudan ölçer. Faz kayması, mesafeyi hesaplamak için dalga boyları arasındaki farkı kullanır (Şekil 2.12) (Sami and Lecturer, 2016).



Şekil 2. 12: Üstteki TOF, alttaki Faz Farkı (Höglund, 2005)

Şekil 2.12'ye göre üst şekilde TOF gösterilmişken, alt şekilde faz farkına ait gösterim mevcuttur.

2.1.4. Sistem Analizi

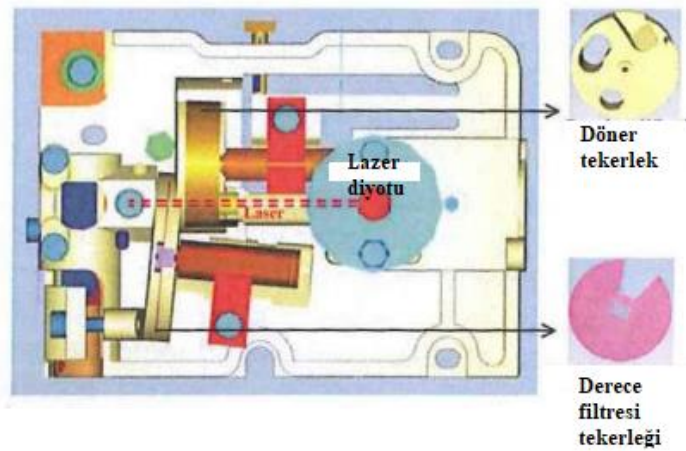
Ölçü sistem olarak adlandırılan MSA (Measurement System Analysis) yani “Sistem Analizi”, bir ölçü sürecinde var olan varyasyon miktarını belirlemek için deneysel ve matematiksel bir yöntem olarak tanımlanır. Ölçü sürecindeki çeşitlilik, genel süreç değişkenliğimize doğrudan katkıda bulunabilir. MSA, sistemin doğruluğunu,

hassasiyetini ve kararlılığını değerlendirerek sonuçlarını ortaya koyar (Anonim, 2022). Ayrıca, reflektörsüz ölçülerin doğruluğunu ve güvenilirliğini artırmak için öne sürülen "system analyzer" adlı yeni bir ölçü yöntemi vardır (Bayoud, 2019, s. 1-16).

Mevcut mesafe ölçü yöntemlerinin dezavantajları göz önünde bulundurarak çözüm üretmek "system analyzer" nün amacı olmuştur. Bu amaç doğrultusundan "system analyzer" metodu; birkaç saniye içinde (<12 saniye) büyük mesafelerdeki (> 500 m) nesnelere doğru (mm aralığında) reflektörsüz ölçülerine izin verir. Ayrıca toz, duman, sis, yağmur veya kar yağışı gibi genel atmosferik etkilerden bağımsız olarak mesafe ölçülerine imkân sağlar (Bayoud, 2019, s. 1-16).

Diğer metotlara kıyasla esnek ve hızlı bir şekilde değiştirilebilen doğrudan dijital frekans sentezleyici sayesinde, hedef nesnelerin sayısının ve mesafelerinin bir fonksiyonu olarak değerlendirilebilmesine imkân sağlar. Esasında "system analyzer" in temel bir unsuru, mesafeyi belirlemek için toplam sinyal bilgisinin değerlendirilmesidir. Değerlendirilen sadece faz farkı yönteminde olduğu gibi fazlar veya uçuş zamanı yönteminde olduğu gibi geçiş süreleri değildir. Toplam sinyal bilgisi, zaman veya frekans alanındaki tüm sinyal şeklini, bağlantı kuvvetlenme ve zayıflamaları, bozukluk vb. içerir; böylece hepsi ölçülür ve "system analyzer" tarafından değerlendirmeye dâhil edilir.

Şekil 2.13'te reflektörsüz ve reflektör ölçülerinin çakışmasını önleyen bir döner tekerlek ile elektronik mesafe ölçümünün ortak bir ekseninde sabit kalması sağlanan EDM mekanizmasının iç kısmı gösterilmektedir



Şekil 2. 13: Leica TPS1200+ için EDM mekanizması (Bayoud, 2019)

Leica TPS1200+ ölçü aletinin elektronik mesafe ölçüm mekanizması içerisinde döner tekerlek, derece fitresi ve lazer diyotunun konumları gösterilmektedir (Şekil 2.13)

2.2.Total stationlarda Mesafe Ölçü Prensibi

Total stationların tarihi açıların ve mesafelerin yüksek doğrulukla ölçmek için teodolit ve lazer mesafe ölçer ile birleştirdiği 1970'lere kadar uzanır. Yıllar içinde birden fazla sensörün entegrasyonu, sistemi akıllı ve güçlü bir ölçü cihazına dönüştürdü. Modern total stationlar, çeşitli farklı sensör ve yansıtıcı prizmalar için bir izleme sisteminden, yerleşik bir işlemciden ve kullanıcılara standart (açı, mesafe vs.) ölçü görevlerinde yardımcı olmak için bir uzaktan kumanda ünitesinden oluşur. Bu tür sistemler, hedefleri izleme, sabitleme ve ölçme prizmalarını kullanırken otomatik ölçü düzeltmeleri uygular (Hubert Klug, 2019).

Total stationlar esasında; uzunluk, açı ve yükseklik ölçmeye yarayan elektronik ölçü cihazlarıdır . Cihazdan gönderilen lazer ya da kızılötesi ışın, reflektörden yansıtılır, aletin içindeki bilgisayar ışığın gidip gelme hızından ve süresinden yararlanarak mesafe hesaplar. Reflektörün yüksekliği ve aletin kurulu olduğu sehpanın yüksekliği dikkate alınarak, genelde konum(x, y, z) değeri bilinen bir noktadan gözlem yapıldığı için gözlenen noktanın konumuna ulaşılabilir. Ayrıca yatay ve düşey açı ölçülerini sürekli ve otomatik olarak yapabilme, mm hassasiyetinde mesafe okuyabilme, hesaplanmış sonuçları anında ekranda gösterebilme ve hafızaya kayıt edebilme özelliğine sahiptir. Lazerli mesafe okuyan reflektörsüz total stationlar birçok inşaat uygulamalarında tercih edilmektedir. Tek kişilik kullanım olanağı sağlaması, ulaşılması zor hedeflere lazerli ölçü kolaylığı sağlaması reflektörsüz total station cihazlarının önemini arttırmıştır. Harita, mimarlık ve maden firmaları tarafından tercih edilmektedir (Anonim, 2022). Ayrıca 3 boyutlu bina modellerinin oluşturması için kullanılan Lazer tarama aletleri ile beraber 3 boyutlu modelin kullanıldığı alanlar mevcuttur. Binaların 3 boyutlu modellemesinin gerekli olduğu projelerin tamamlanması için yüksek doğrulukta ölçüler yapılması gerekmektedir. Bu kapsamda Total stationların mesafe ve koordinat ölçüleri lazer tarayıcılara göre daha hassas sonuçlar vermesi ile 3 boyutlu projelerin yapılmasında önemli desteği mevcuttur (Copley, 2019).

Total stationlar herhangi bir GNSS hattına ihtiyaç duymadan yüksek doğrulukta sonuçlar vermekte etkindir. Total stationların geleneksel olarak anlaşılması ve kullanılması zor olmuştur. Fakat giderek daha iyi yazılım ve daha geniş ekranlı modellerin gelmesiyle birlikte operatör ve cihaz kullanıcı dostu hale gelmiştir. Genel olarak kazı, arkeoloji, inşaat, vb. alanlarda kullanılmaktadır (Rick, 2018).

2.2.1.Mesafe ölçülerinde reflektör kullanımı

Hedef ölçü noktasında yansıtıcı prizma kullanan prizma yöntemi ve herhangi bir yansıtıcı veya reflektör kullanılmayan reflektörsüz ölçü yöntemi olarak iki ana ölçü yöntemi vardır.

Prizma modu ile yapılan mesafe ölçülerinde, total stationdan çıkan lazer ile ölçü noktasına yerleştirilen yansıtıcı (prizma) arasında geçen süre yardımıyla mesafe ölçüsü gerçekleştirilmiş olur (Beshr 2011, s. 399-455).

Total station'dan yayılan dalgalar görünür ve kızılötesi (ışık gibi davranır fakat görünmezler) olduğu için bir düzlem ayna sayesinde yansıtılır. Fakat yayılan dalga ya da ışın darbeleri dar bir alanda yayılım gösterdiğinden bu ayna düzleminin hatasız bir şekilde yansıtma özelliğine sahip olması gerekir. Bu problemle başa çıkmak için özel reflektörlü prizmalar, yansıtıcı olarak düşünülen aynalar yerine kullanılır. Bu prizma içeriğinde camdan yapılmış küp bloklar içermektedir. Bu sayede ışın darbeleri ya da dalgaları, hem gidiş hem de dönüş için paralel bir yol izlemiş olur (John, 2010). Özel reflektörler, kullanım amaçlarına göre çeşitlilik gösterebilir (Anonim, 2022).



Şekil 2. 14: İki farklı reflektör örneği (Anonim, 2022)

Şekil 2.14' de gösterilen iki farklı reflektör kullanım amaçlarına göre çeşitlilik gösterebilir. Sağda resimde 360 derece reflektör sayesinde tüm açılarda gelen lazer ışınını yansıtabilir (Anonim, 2022).

Çoğu geleneksel prizmanın aksine, orijinal prizmaların arka kısmındaki yansıtıcı bakır kaplama bir destek kaplamasından, metal bakır kaplamadan, koruyucu bir kaplamadan ve üstteki lake kaplamadan oluşur. Özel yapışkan lakesi alttaki katmanları aşınmadan korur. Bu bakır ve lake kaplama birlikte prizmanın ömrünü önemli derecede uzatır. Hassas ön yüzeydeki yansıma önleyici kaplama ise çizilmelere karşı dayanıklılık sağlar (Anonim, 2022).

2.2.2.Reflektörsüz mesafe ölçüleri

Reflektörsüz yöntemle, uzak bir konumdan yüzeylerin incelenmesi mümkündür. Tehlikeli afet bölgelerinde ulaşılması imkânsız alanlar bile bu yöntemle güvenli ve verimli bir şekilde etüt edilebilmekte olup, ek olarak daha az iş gücü ve zamandan kazanç sağlanabilir. İkinci bir ekibe ihtiyaç duymaksızın ölçü sadece total station'un yönlendirilmesiyle gerçekleştirilebilir. Her ne kadarda avantajları olsa da her koşul için reflektörsüz ölçü gerçekleştirmek mantıklı olmayabilir. Farklı ortam koşulları farklı önlemler gerektirebilir (Reda, 2012). Prizma veya reflektörsüz yöntemi kullanma kararı, araştırma sahasındaki koşullara göre verilir. Araştırma koşulları elverdiği ölçüde, rölöve çalışmalarında da kullanılan klasik ölçü yöntemleri yanında son yıllarda lazer total station gibi modern ölçü aletleri de kullanılmaya başlandı. Bu sayede ölçme sürecinde, çalışma hızı artmış ve işlemler daha ekonomik hale gelmiştir (Ersoy).

Son teknolojik gelişmeler ile prizmasız total stationlarda da etkili oldu. Reflektörsüz total station cihazları yansıtıcı prizma gerektirmediğinden, haritacılar için zamandan ve iş gücünden tasarruf açısından hızlı ölçü sağlar ve yansıtıcı prizma kullanmadan mesafeleri ölçer. Bu cihazları kullanırken, ölçü ekibinin reflektörü her bir gözlemin yapılacağı yerde tutması gerekmez. Ölçü yapan kişiler için, gözlemleri etkileyen çeşitli etkenler (yüzey türü, yüzey dokusu, yüzey rengi, ölçü aleti vb.) nedeniyle bu tür gözlemlerin doğruluğu risk altındadır. Bu risklerin araştırılması ve değerlendirilmesi adına çeşitli yüzeyler (bina

yüzeyleri, iç ve dış köşe noktaları vb.), prizma kullanılarak ve prizma kullanmaksızın mesafe ölçüleri gerçekleştirilerek oluşan farklar ve doğruluk değerleri incelenebilir. Total stationlar ile gerçekleştirilen ölçmeler; reflektörsüz, prizmasız ya da DR olarak adlandırılır (Sami and Lecturer, 2016). Ölçü endüstrisi devriminin en büyük teknolojisi direct reflex ile ölçü herhangi bir prizma yardımı olmadan elektro-optik mesafe ölçümüne imkân sağlamaktadır. DR kişisel güvenliğin gelişmesine ve verimliliğin artmasına yardımcı olmaktadır. Robotik teknolojiyle birleştiği zaman yeni gelen bu yenilikler daha da artacaktır. EDM (Elektronik mesafe ölçü) teknolojisi (TOF ve Farz farkı) metotlarının her ikisinde de uygulamaktadır (Höglund, 2005).

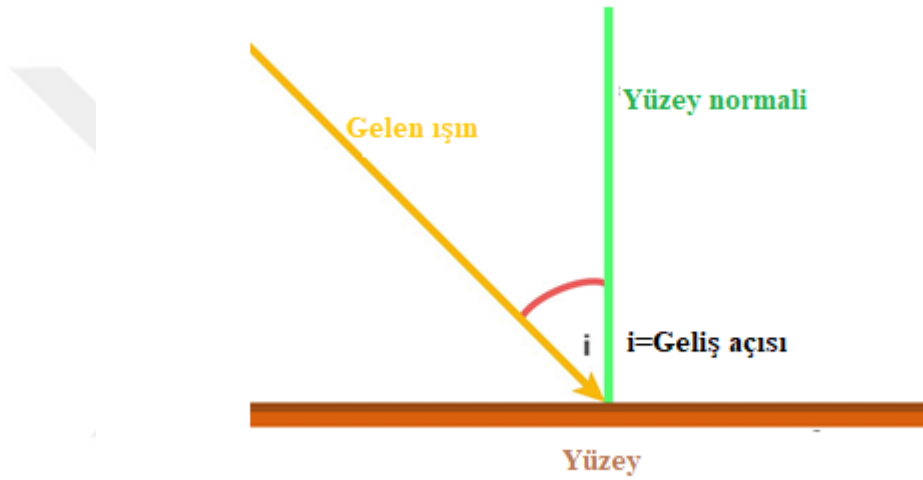
Ölçme topluluğu için reflektörsüz (RL tipi) EDM'yi sunan Leica, menzili ve doğruluğu daha da genişletmek için mesafe ölçü teknolojisini sistematik olarak geliştirmektedir (Bayoud, 2019, s. 1-16).

2.3.Reflektörsüz Mesafe Ölçülerindeki Hata Kaynakları

Reflektörsüz total station ölçülerinin kullanımında 2 ana hata unsuru vardır. Bunlar ya hedef yüzeyinin farklılığı ya da lazer ışının sapmasından kaynaklıdır. Bu ancak kullanılan cihazın özellikleri dâhilinde, ölçü esnasında sürekli kontroller (düzeç, hava şartları vb.) ve sağlıklı bir ölçü yapmakla bu iki ana sapma minimum seviyeye indirilmiş olur (Reda, 2012). Ayrıca reflektörsüz total station ile gerçekleştirilen ölçülerde hızlı veri toplama, yüksek doğrulukta ve otomatik veri işleme gibi yeteneklerinden dolayı yüzey ölçülerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Reflektörsüz total stationun yüzey ölçülerinde yoğun olarak kullanılmasıyla, ölçülen hedef yüzeyin çok çeşitli olduğu gözlenmiştir. Bu çeşitlilikten kaynaklı düşük doğrulukta sonuçlar çıkabilir. Ölçü çeşitliliğini; hedef yüzeyin geliş açısı, hedef yüzeyin rengi, hedef yüzeyin cinsi, hedef yüzeyin dokusu, hedef ile alet arasındaki mesafe, ölçü yapılacak ortamın sıcaklık değeri, ölçü yapılacak aletin batarya kapasitesi, ölçü esnasında güneşin geliş açısı gibi birçok parametre etkilemektedir (Haddad, 2007), (Coaker, 2009).

2.3.1. Geliş açısı

Reflektörsüz total stationların ana kaynaklarından biri de ölçü aletinden yansıyan ışının yüzeye çarpma açısının çeşitli olmasıdır. Bir elektromanyetik ışının ışın sapması, Elektromanyetik ışının çıktığı optik açıklığa veya anten açıklığına olan mesafe ile ışın çapı veya yarıçapı da ki artışın açısal ölçüsüdür (Reda, 2012). Şekil 2.15 'ta diğer bir ifade ile geliş açısı; gelen lazer ışını ile ışının yansıtıldığı yüzeyin normali ile arasındaki açı olarak tanımlanır.



Şekil 2. 15: Hedef yüzeye Geliş Açısı (Reda, 2012)

Total stationdan çıkan lazer ışının Şekil 2.15 de olduğu gibi gelerek yüzey üzerinde yüzey normali ile geliş açısı (i) oluşturarak yansır.

Geliş açısının arttığı durumlarda hedef yüzeyinde meydana gelen lazerin oluşturduğu boyut artacaktır. Bu durum lazer ışınının yoğunluğunun azalarak ölçü hassasiyetinin azalmasına neden olacaktır (Reda, 2012).

Reflektörsüz mesafe ölçümü birçok jeodezik aletler tarafından da desteklenmektedir. Bu ölçü modunda lazer ışını doğrudan ölçülen yüzeyden yansıtılır. Bu nedenle, ölçülen yüzeyin farklı olması ölçünün sonucunu etkileyeceği dikkate alınmalıdır. Önemli bir etki faktörü de lazer ışınının yüzey üzerindeki geliş açısıdır. Lazer ışının geliş açısındaki değişimler ölçü sonuçlarını sistematik olarak bozabilir (Zámeníková & Pegritz, 2014, s. 257-262).

Reflektörsüz total station aletleri bir kişinin ulaşamadığı noktaların ölçülmesine imkân sağlamaktadır (Kampouris, 2011, s. 221-227). Çalışmasında 1 km'ye kadar reflektörsüz mesafe ölçülerinin doğrulukları değerlendirildi. Bu kapsamda 6 farklı hedef türüne, 5 farklı geliş açısında (0°, 15°, 30°, 45°, 60°) mesafe ölçüleri gerçekleştirildi. Çalışma sonucunda; 30 dereceye kadar olan geliş açısının, mesafe ölçülerinin doğrulukları üzerinde herhangi bir etkisi görülmemektedir. Fakat 30 dereceden büyük değerlerde geliş açısı arttıkça ölçü doğruluklarının azaldığı gözlenmiştir (Kampouris, 2011, s. 221-227). Sokkia Cx 101 total station ile reflektörsüz mod ile yapılan benzer bir çalışmada hedef yüzeye geliş açısının 30 dereceden fazla olduğu durumlarda ölçü doğruluğunun azaldığına dair sonuçlar elde edilmiştir Geethalankara & Rupasinghe, 2016, s. 325-330).

TOPCON GPT-2006 total station ile reflektörsüz mod ile yapılan mesafe ölçülerinde geliş açısını ölçü doğruluğunu ne derece etkilediğini ortaya çıkarmak için yürütülmüş bir çalışmada; geliş açısını 45 dereceden fazla olduğunda doğrulukların hızla azaldığı gözlenmiştir (Sami and Lecturer, 2016).

Tablo 2. 2: Farklı mesafelerdeki karesel ortalama hataları (Kukhtar,2018)

Mesafe(m)	Geliş açısı(derece)								
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
10	0,60	0,90	0,90	1,30	1,60	2,00	2,00	2,60	3,20
15	0,90	1,10	1,20	1,30	1,70	1,40	2,20	2,60	3,50
20	0,80	1,10	1,00	1,00	1,60	1,90	2,40	3,10	4,30
25	1,00	1,00	1,00	1,10	1,80	2,40	2,90	4,50	5,20
30	0,80	1,70	1,60	1,60	1,80	2,40	3,40	4,80	-
35	0,70	1,60	1,90	2,10	2,40	2,80	3,80	4,70	-
40	0,90	1,50	2,90	2,80	3,00	3,20	4,00	4,80	-
45	0,70	1,10	1,50	2,50	2,60	3,20	3,50	-	-
50	0,90	1,20	1,40	2,00	2,60	3,30	5,10	-	-
55	1,30	2,00	2,10	2,40	3,20	3,50	5,70	-	-
60	1,30	2,10	2,60	3,30	4,00	4,10	-	-	-
65	1,40	1,80	2,80	3,10	4,30	4,80	-	-	-
70	1,60	2,00	2,70	4,20	4,20	-	-	-	-
75	1,40	1,40	3,30	4,90	-	-	-	-	-
80	1,10	2,30	3,30	4,80	-	-	-	-	-
85	1,40	2,30	3,60	5,20	-	-	-	-	-
90	1,70	3,10	4,10	5,30	-	-	-	-	-
100	1,80	3,20	5,20	5,60	-	-	-	-	-

Tablo 2.2' ye göre 5 m mesafe aralıklarında, hedef yüzeye gelen lazer ışınının çeşitli geliş açılarında karesel ortalama hataları tabloda mevcuttur. Hata değerinin 3 mm'den fazla

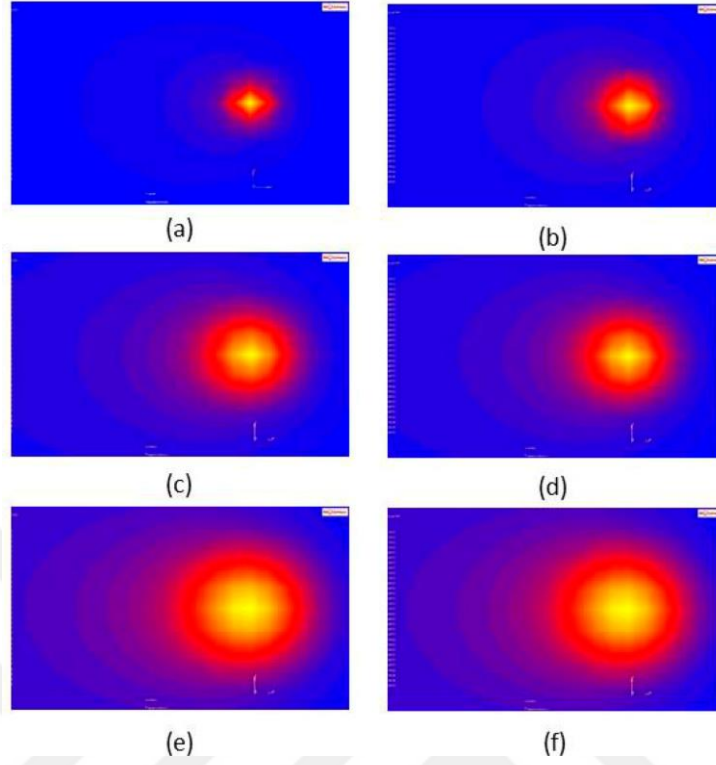
olduğu değerler kırmızı ile boyalı olarak gösterilmektedir. Hata değerinin 3 mm'nin altında olduğu değerler mavi ile boyalı olarak gösterilmektedir. Ayrıca bazı geliş açısı değerlerinde ölçüm değeri elde edilemediğinden hata değerleri hesaplanamamıştır.

Kukhtar & ark. (2018)'e göre reflektörsüz total stationların doğruluklarının incelenmesi adına, farklı mesafelerde ve farklı geliş açılarının reflektörsüz ölçü moduna sahip SOKKIA 530RK ile 300x300 mm boyutlarında bir boru hattına mesafe ölçüleri gerçekleştirildi. Ölçü sonunda geliş açısı değişikçe karesel ortalama hata değerleri karşılaştırıldı. Ayrıca Tablo 2.2'de belirli mesafelerde geliş açısının değiştiğinde karesel ortalama hatalarındaki değişimlerde gözlenmiş oldu (Kukhtar & ark., 2018,s. 197-216). Benzer bir çalışmada, reflektörsüz ölçü özelliğine sahip TOPCON ES-103 aleti ile gerçekleştirilen bir mesafe ölçü çalışmasında, hedefin yüzeyine gelen ışının geliş açısı değişikçe hatanın arttığı yönünde bulgular elde edilmiştir (Mohammed, 2021).

2.3.2.Mesafe

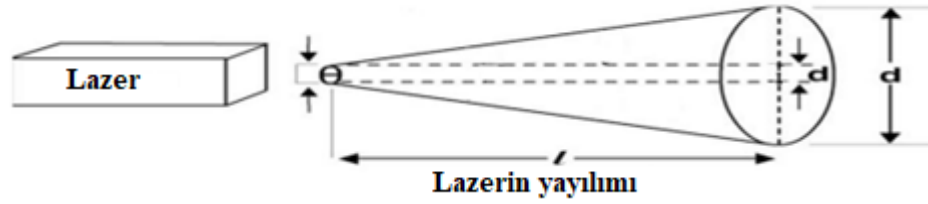
Reflektörsüz total station ölçülerinde alet ile hedef arasındaki mesafe arttıkça lazer noktasının hedef yüzeyinde oluşturduğu alan artar. Bununla beraber mesafe arttıkça ölçü doğruluğu daha az güvenilir hale gelir. Lazer ışının nokta boyutu, EDM sistemindeki mesafeye bağlıdır. Mesafe ne kadar yüksek olursa yüzeyde meydana gelen lazer alanı o kadar büyük olur. Yüzeye çarpan lazer noktası olarak tanımlanan alan, aslında hedef yüzeyde meydana gelen bir elipsi ifade etmektedir (Palojärvi & Määttä, 2002). Şekil 2.17 ve Şekil 2.18'da gösterildiği üzere farklı mesafelerde(a, b, c, d, e, f) farklı lazer boyutları oluşmaktadır (Walter, 2022).

Total stationlar da reflektörsüz ölçülerde lazer ışınının formu (reflektör yüzeyinde) spot büyüklüğü ile doğrudan alakalıdır. Şekli eliptik olmakla birlikte 50m'lik mesafe ölçümünde lazer spotu boyutu, yaklaşık 10x20mm ve 80m'lik mesafe ölçümünde yaklaşık 20x25mm civarındadır (Zhao & Wang, 2011).



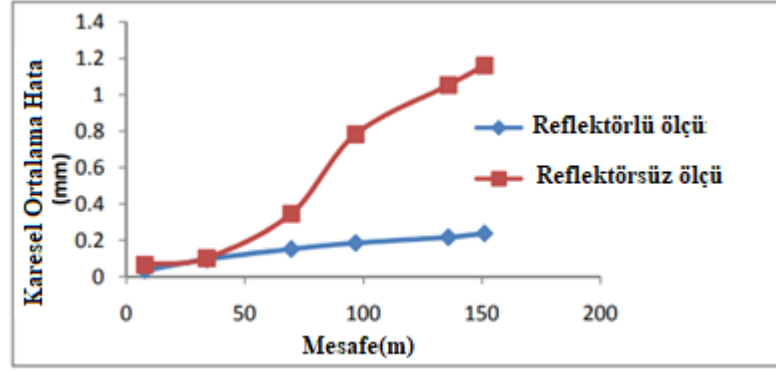
Şekil 2. 16: Total Sation'dan çıkan lazer ışınların yüzeydeki farklılıkları(Renda, 2012)

Şekil 2.16'ya göre total station ile hedef yüzey arasındaki mesafe arttıkça elipsin boyutunda da büyüme meydana gelmiştir.



Şekil 2. 17: Uzun mesafelerde lazer ışının dağılışı ve yüzeyde oluşturduğu alan (Walter, 2022)

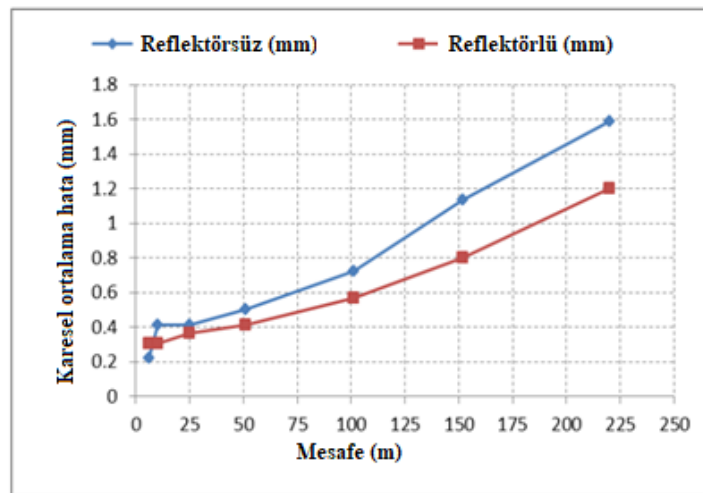
El-Din Fawzy (2015)'e göre SOKKIA SET330 RK total station ile reflektör kullanılarak ve reflektörsüz mod kullanılarak bir dizi mesafe ölçü çalışması gerçekleştirildi. Çalışmada, 5m ile 150m arasında belirli mesafelerde tekrarlı ölçüler elde edildi. Mesafe ölçülerinde hedef olarak beyaz ahşap, yaklaşık sıfır (0) geliş açısı ile reflektörsüz ölçü modunda alet yönlendirildi. Test süresince çevresel faktörler (gün ışını, sıcaklık vs) sabit tutulmaya çalışıldı.



Şekil 2. 18: Reflektörlü ve reflektörsüz gözlemlerin mesafeye göre doğrulukları (Fawzy, 2015)

Şekil 2.19’de ölçü sonucunda mesafenin arttıkça (özellikle yüksek mesafelerde) ölçü değerlerinin karesel ortalama hatalarının arttığı gözlenmiştir (El-Din Fawzy, 2015, s. 23-30).

Zeidan & Ashraf (2015)’e göre reflektörsüz total station ölçülerinde hedef ile alet arasındaki mesafe attıkça doğruluğun ne derece etkilendiğini göstermek amacıyla 10, 25, 50, 100, 150, 220 m’lerdeki mesafelerin her birine kurulan hedef düzeneğine yönlendirilen total station ile 25 tekrarlı ölçüler gerçekleştirildi. Şekil 2.20’de çalışma sonucunda mesafe ölçülerinin karesel ortalama hataları kıyaslanarak, hem reflektör kullanılarak gerçekleştirilen ölçülerde hem de reflektörsüz ölçülerde mesafenin arttıkça hatanın da arttığı gözlenmiştir (Zeidan & Ashraf, 2015).

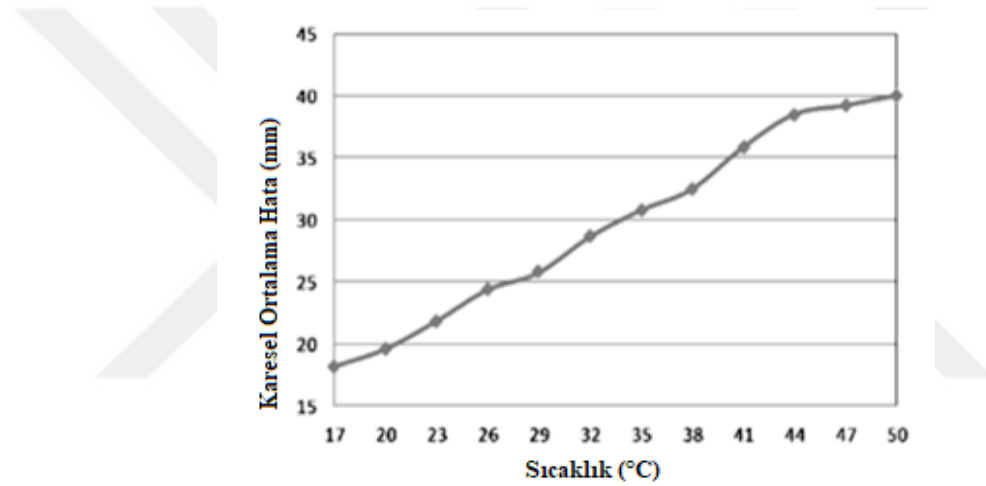


Şekil 2. 19: Reflektörlü ve reflektörsüz ölçülerin karşılaştırılması (Zeidan,2015)

Geethalankara & Rupasinghe (2016)'e göre Sokkia Cx 101 total station ile reflektörsüz olarak 5 m ile 65 m arasında gerçekleştirilen mesafe ölçü çalışmasında doğruluğun en iyi olduğu mesafe 35 m olarak gözlenmiştir Geethalankara & Rupasinghe, 2016, s. 325-330).

2.3.3.Ortam sıcaklığı

James (2016)'e göre SOKKIA CX-105 total station aleti ile gerçekleştirilen reflektörsüz mesafe ölçülerinin ortam sıcaklığının ölçü doğruluklarına etkisinin incelendiği bir çalışmada 17 C°-50 C° arasında farklı sıcaklıklarda ölçüler gerçekleştirildi. Şekil 2.21'de, çalışma sonunda sıcaklık arttıkça standart sapma değerleri karşılaştırıldı (James, 2016).



Şekil 2. 20: Farklı sıcaklıklardaki standart sapmalar (Israa, 2020)

Şekil 2.20 de ortam sıcaklığının arttığı durumlarda mesafe ölçüleri sonucunda hesaplanan karesel ortalama değerleri gösterilmektedir.

2.3.4.Güneşin geliş açısı

Erişilemeyen noktaların ölçülerinde, total stationların reflektörsüz modu yoğun olarak kullanılmaya başlandı. Böylece ölçü sonuçlarının etkileyeceği düşünülen güneşin geliş açısı ölçü sonuçlarını ne derece etkileyeceği sorusu ortaya çıktı. Bu soruya cevap olarak, gün batımına yakın gerçekleştirilen ölçüler ile lazer ışının hedef yüzeyde meydana getirdiği elipsin izlenebilmesine imkân sağlandı (Haddad, 2007). Böylece hedef yüzey üzerinde meydana gelen lazer alanının ölçü sonuçları üzerindeki etkisi de incelenmiş oldu [32]

Son zamanlarda nivo ve reflektörsüz total stationların otomatik ölçü işlemlerinde yüksek doğrulukta ve hızlı ölçülerin yapılabilmesi ile jeodezi alanında birçok uygulamada kullanılmaya başlandı. Fakat bazı gözlemlerde ölçülerin düşük doğrulukta olduğu ortaya çıktı. Buna neden olan hata kaynaklarından biri de dijital yükseklik ölçüleri süresince güneşin geliş açısının ölçüleri etkilediği yönünde bulgular elde edilmiştir (Beshr, 2011, s. 349-455).

Israa & Magda (2020)'e göre Reflektörsüz mesafe ölçülerinin gerçekleştirildiği çalışmada kullanılan SOKKIA CX-105 total station ile güneş ışınlarının direk ve ters ışık altında hedeflere yönlendirilerek mesafe ölçüleri gerçekleştirildi. Ölçü sonucunda Tablo 2.3'te mesafelere göre karesel ortalama hataları karşılaştırılmıştır (Israa & Magda, 2020, s. 45-62)

Gözlem şartları	Mesafe (D)'ye göre hata miktarı	Korelesyon katsayısı	Determinasyon katsayısı
Güneş ışını yönünde	Error = $(10.194 + 0.8341 D)$ mm	R = 0.99946	R ² = 0.9989
Güneş ışınına ters yönde	Error = $(4.8647 + 0.7249 D)$ mm	R = 0.999	R ² = 0.9982

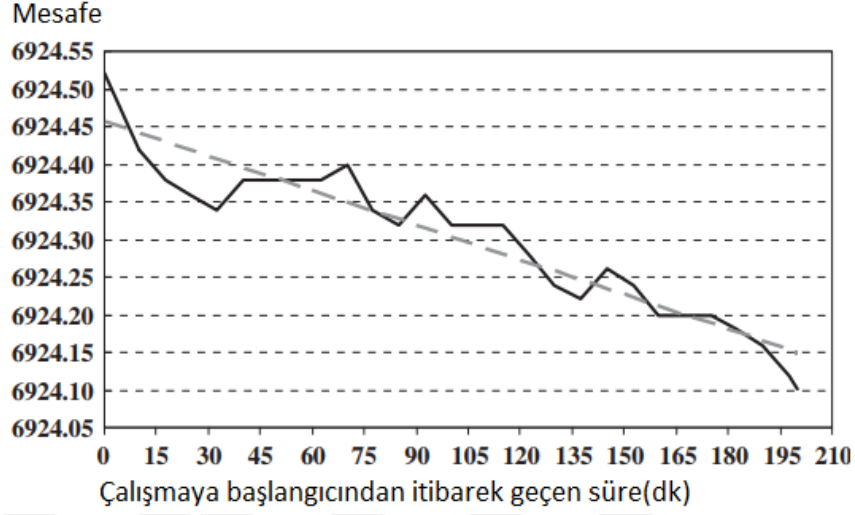
Tablo 2. 3: Güneş ışınına direkt ve ters konumda mesafelere göre karesel ortalama hataları(Israa, 2020)

Faried (2021)'e göre köprü inşaatlarında asmaların kurulmasında kullanılan boru eksenlerinin ölçülmesi için reflektörsüz total station kullanarak, hedef yüzeye lazer geliş açılarının ölçü sonuçlarının nasıl etkilediğinin incelendiği bir çalışma yapıldı. Çalışma kapsamında, silindirik borular 34 ve 58 derece arasında çeşitli geliş açıları ile ölçüler yapılarak mesafeler ve karşılaştırıldı. Sonuç olarak projenin doğruluk gereksinimini karşıladığı ortaya çıktı (Faried, 2021, s. 135-142).

2.3.4.Batarya süresi

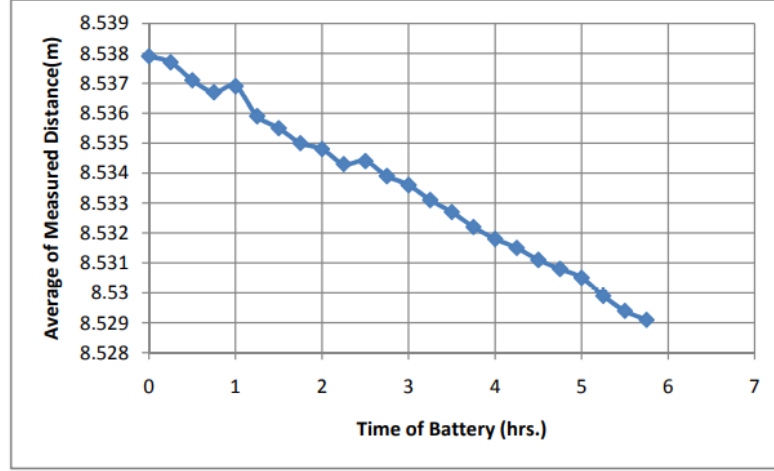
Beshr (2011)'e göre total station ve dijital yükseklik ölçülerinde uzun süreli arazi çalışmaları batarya kapasitesinin ölçülerin doğruluğu etkilediğine dair bulgular

mevcuttur. Bu kapsamda yürütülen çalışma sonucunda, Şekil 2.23'te pil kapasitesindeki azalmanın, ölçü hatasını arttırdığı gözlenmiştir (Beshr, 2011, s. 399-455).



Şekil 2. 21: Batarya kapasitesinin zamana göre azalmasına bağlı mesafe değerleri (Beshr, 2011)

El-Din Fawzy (2015)'e göre reflektörsüz total station tarafından ölçülen eğik mesafelerin doğrulukları üzerinde batarya kapasitesinin etkisinin incelendiği bir çalışma gerçekleştirildi. Bu çalışma için reflektörsüz mesafe ölçü doğruluğu $3\text{mm} \pm 2\text{mm/km}$ olan SOKKIA SET330RK elektronik total station kullanıldı. Yaklaşık 8.5m'ye yerleştirilen hedef düzeneği reflektörüz total station ile her 15 dk da bir gerçekleştirilen mesafe okumalarının ortalaması alınarak kayıt altında tutuldu. Toplamda 5 saat 45 dk boyunca ortalama mesafeler incelendi ve Şekil 2.24'teki sonuçlar elde edilmiştir. Sonuç olarak, total stationun batarya kapasitesi azaldıkça reflektörsüz mod ile gerçekleştirilen mesafe ölçü hatalarında artış gözlenmiştir (El-Din Fawzy, 2015).



Şekil 2. 22: Total station tarafından ölçülen mesafe değerleri (El-Din Fawzy, 2015)

2.3.5. Materyal cinsi

Alsalman & Elsadiğ (2008)'e göre total station cihazlarının performanslarının değerlendirilmesi için çeşitli tiplerde yansıtıcı yüzeyler kullanıldı. Leica TCR-1102 ile yapılan bir çalışmada, reflektörsüz mod ile yapılan 80 m-100 m mesafelerinde yapılan ölçülerde 10mm'ye kadar hata ortaya çıkmıştır. Bu farklılıklar materyal cinsine göre değişiklik göstermektedir. Genel olarak pürüzsüz yüzeylerde 9 mm (100 m mesafede) civarında hata ortaya çıkmıştır. Pürüzsüz yüzeylerde ise 10 mm hata olduğu gözlenmiştir. Diğer yüzeyler kendi (pürüzlü sert ahşap, beton, çinko, levha ve kahverengi toprak) aralarında kıyaslandığında, pürüzlü yüzeylerin pürüzsüz yüzeylere göre daha az doğrulukta olduğu ortaya çıkmıştır (Alsalman & Elsadiğ, 2008, s. 1-9).

Reflektörsüz total station ölçümlerinde günümüzde köprü, baraj, yol, açık ve kapalı maden ocakları ve yüksek katlı insan yapılarında etkin bir biçimde kullanmaya başladı. Bu denli geniş çapta kullanılmasıyla birlikte yapılan ölçülerde hedef yüzeylerinin farklı olması göz ardı edilemez. Bu bağlamda çeşitli hedefler alet kalibrasyonun da test edildi. Widjajantil & Bambang, (2008)'e göre bunlar arasında farklı renk ve dokulardaki (beton, tahta ve seramik) hedeflere reflektörsüz total station yönlendirilerek mesafe ölçüleri gerçekleştirildi. Çalışma sonucunda her bir hedefin farklı hata değerine sahip olduğu ve en yüksek hatanın seramikte olduğu gözlemlendi (Widjajantil & Bambang, 2008, s. 253-260).

SOKKIA SET330RK elektronik total station ile 10 m'de gerçekleştirilen mesafe ölçü çalışmasında, çeşitli türde hedefler kullanılarak gerçekleştirilen çalışmada tuğlanın diğer

türlere (demir, beton, tahta) göre karesel ortalama hatasının daha doğru sonuç verdiği gözlenmiştir (El-Din Fawzy, 2015, s. 23-30).

Mühendislik yapılarının incelenmesi ve düzenlenmesi süresince reflektörsüz total station ile yapılan ölçülerin doğruluklarının incelenmesi için başka çalışma gerçekleştirildi. Çalışma kapsamında hedef yüzeylerin renginin, cinsinin ve yüzeylerine gelen ışınların çeşitliliği reflektörsüz total station ölçülerini ne derece etkilediğini ortaya çıkartıldı. Bu amaçla hedef yüzeyin çeşitliliğinin ölçüleri ne derece etkilediğinin ortaya çıkartılması adına 8 farklı hedef (tuğla, beton, tahta, alçı, plastik, seramik, boyalı metal ve boyasız metal) kullanıldı. Hedef yüzeylere yönlendirilen reflektörsüz ölçü özelliğine sahip total station ile gerçekleştirilen mesafe ölçüleri sonucunda, boyalı olmayan metal hedef yüzeylerinin en az, tuğlanın en iyi doğrulukta olduğu gözlenmiştir (Zeidan & Ashraf, 2015). SOKIA CX 101 total station ile farklı türde hedefler kullanılarak (tuğla, beton, demir, tahta) gerçekleştirilen başka bir reflektörsüz mesafe ölçü çalışmasında da benzer olarak, tuğla hedefin diğer türdeki hedeflere daha iyi doğrulukta olduğu gözlenmiştir Geethalankara & Rupasinghe, 2016, s. 325-330).

SOKIA SET530R ve Trimble M3 total station reflektörsüz mesafe ölçülerinin doğruluklarını incelemek için başka bir çalışma gerçekleştirildi. Bu çalışmada hedef yüzeylerin çeşitlendiğinde doğruluğun ne derece etkilediğini incelemek için pürüzlü ve pürüzsüz olmak üzere toplam 10 çeşit (tahta, taş, kontrplak, granit, fayans, demir, alüminyum, beton, tuğla) 0,15x0,15 m çapında hedefler, özel olarak tasarlanmış platforma yerleştirilerek çeşitli mesafeler reflektörsüz olarak okundu. Ölçü sonucunda ANOVA (Analysis of Variance) istatistik testi kullanılarak çalışma sonuçları etkileyen farklı parametrelerin analizi gerçekleştirildi. Sonuçlara göre ANOVA ile SOKIA SET530R için yapılan analizde 8 materyal, $P < 0.05$ seviyesinde yani sonuçların anlamlı kabul edildiği seviyede çıkmıştır. Fakat 2 tane materyal (kontrplak, granit) değerleri kabul edilebilir seviyenin üzerinde ($P = 0.065$) çıkmıştır. Granit ve kontrplak materyallerinin doğrulukları diğer 8 materyale göre düşüktür yorumu çıkartılabilir (Dissanyaka, 2021).

2.3.6.Hedef yüzey dokusu

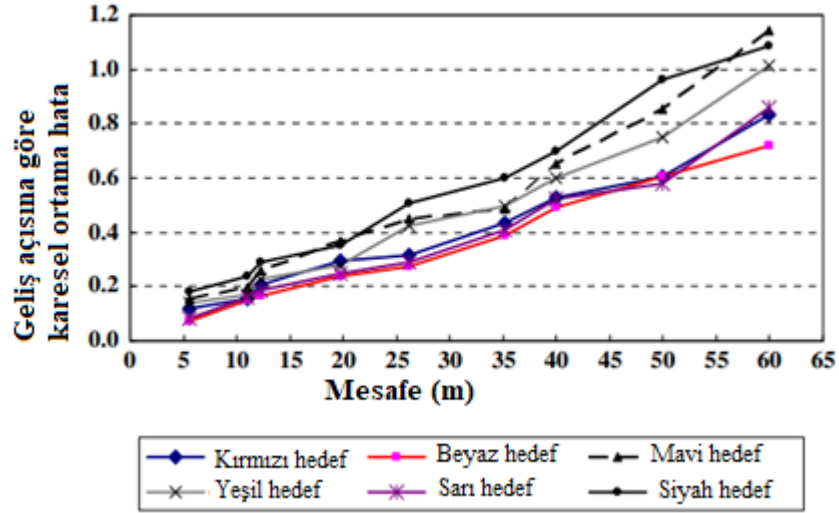
John (2010)'a göre Trimble 5605DR+ total station, materyal ve renklerin farklı olduğu 8 farklı hedefe yönlendirilerek bir dizi reflektörsüz mesafe ölçüsü gerçekleştirildi. Çalışma sonucunda hedef yüzeylerin pürüzlü olup olmaması sonuçlar değerlendirilmiştir. Özellikle 400 metrede pürüzlü yüzeylerde (kaya, taş, asfalt...) ölçü değerlerinde aşırı sapmalar meydana geldiği ve bazı hedef yüzeyler üzerinde hiç mesafe ölçüsü gerçekleştirilemediği gözlenmiştir (John, 2010). Yüzey dokusunun ölçü sonuçlarını ne derece etkileyeceğinin belirlenebileceği bir çalışmada da, reflektörsüz okuma özelliğine sahip Leica TS15 total station ile gerçekleştirilen mesafe ölçü okumalarında, hedef yüzeyi olarak mat ve parlak yüzeyli hedefler kullanılarak bunlar arasında kıyaslamalar yapılmıştır. Sonuç olarak yüksek parlaklığa sahip yüzeylerin mat yüzeylere göre daha doğru sonuçlar verdiği gözlenmiştir (James, 2016).

2.3.7.Renk

Mazalová & Valentová (2009)'e göre farklı renge sahip hedeflere yönlendirilen total station ile renklerin farklı olmasının mesafe ölçümleri üzerinde etkisinin incelendiği bir çalışma gerçekleştirildi. Hedef yüzeylerin doğrulukları arasında önemli sayılabilecek farklılıklar gözlemlendi. Bu farkı koyu renkli hedefler oluşturmaktadır. Diğer renkler (sarı, kırmızı, yeşil) için kendi aralarında anlamlı bir kıyaslama gerçekleştirilemedi (Mazalová & Valentová, 2009).

Reflektörsüz total station gözlem doğruluklarında yüzey yansımalarının türleri, geliş açısı ve hedefin renginin etkilerinin incelendiği başka bir çalışma gerçekleştirildi. Çalışmada renkli hedefler yaklaşık 10 m aralıklarla 60 m'ye kadar kuruldu. Hedef geliş açıları sabit tutularak (sıfır) reflektörsüz total station ile mesafe ölçümleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda beyaz yüzeyli hedeflerin ışınları daha iyi yansıttığı gözlenmiştir. Böylece beyaz renkli hedeflerin doğruluklarının gözlemdaki diğer renkteki (kırmızı, yeşil, sarı, mavi, siyah) hedeflere göre daha iyi doğrulukta olduğu ortaya çıkmıştır (Beshr, 2011, s. 399-455). SOKKIA SET330RK elektronik total station ile gerçekleştirilen mesafe ölçü çalışmasında, çeşitli renkteki hedefler kullanılarak doğrulukların incelendiği bir diğer

çalışmada ise beyaz renkli hedeflerin diğer renkli (sarı, yeşil, siyah) göre doğruluğunun daha yüksek olduğu Şekil 2.23 de gözlenmiştir (El-Din Fawzy, 2015, s. 23-30).

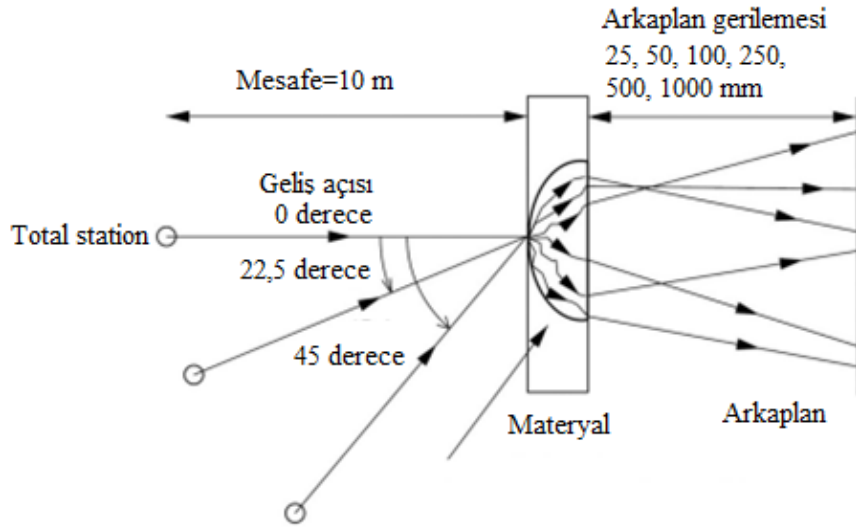


Şekil 2. 23: Farklı renkteki hedeflerin karesel ortalama hataları (Beshr, 2011)

Hedef yüzeylerin renk çeşitlendiği, reflektörsüz total station ölçülerini ne derece etkilediğini gösteren başka bir çalışmada beyaz, sarı, kırmızı, kahverengi, siyah, gri renkli hedeflere total station yönlendirilerek mesafe ölçüleri sonucunda ortaya çıkan karesel ortalama hatalar kıyaslanmıştır. Sonuç olarak beyaz renkli hedefin, gelen ışını yansıtma gücü fazla olduğu için en iyi olduğu ve siyah renkli hedefin, ışını emme gücü fazla olduğundan en kötü sonuç verdiği ortaya çıkmıştır. Ayrıca diğer renklerle kıyaslandığında anlamlı bir birliktelik bulunamamıştır (Zeidan & Ashraf, 2015). Benzer bir çalışmada, reflektörsüz total station ölçülerinde geliş açısı, hedef yüzeyin rengi ve hedef yüzeyin türü değişikçe doğrulukların nasıl etkilendiğini incelemek için TOPCON GPT-2006 total station ile reflektörsüz modda bir dizi mesafe ölçüleri yapılmıştır. Ölçülerin sonuçlarına göre hedef olarak kullanılan beyaz, gri, sarı, yeşil, mor, kırmızı, kahverengi, mavi ve siyah renkli materyallerin doğrulukları kıyaslanmış ve beyaz renkli hedefin daha iyi, siyah renkli hedefin ise en kötü doğrulukta olduğu tespit edilmiştir (Sami & Lecturer, 2016).

2.3.8.Hedef yüzeyin şeffaflığı

Lazer ışını hedeflere nüfuz edebilir ve sonrasında saçılma, kırılma, yansıma, vb. dâhil olmak üzere bir dizi fiziksel olaya maruz kalabilir. Bu durum, kimyasal bileşim, içyapı, yoğunluk, kalınlık, renk, sıcaklık, aynı zamanda mesafe ölçü ışınının dalga boyu, radyasyon gücü, ışının geliş açısı ve aletten hedefe olan mesafe gibi malzemenin kendisiyle ilgili olmayan faktörlere de bağlıdır. Lenda (2020)'e göre, çeşitli yarı geçirgen materyaller için ölçülen mesafelerin doğrulukları incelendi. Yarı geçirgen maddelere gelen ışının kırılma anları Şekil 2.26'de sergilenmektedir. Çalışma sonucunda, daha düşük şeffaflığa sahip malzemeler için, arka plan uzaklaştıkça hatalar sistematik olarak azaldığı gözlenmiştir. Daha yüksek şeffaflığa sahip malzemeler için hatalar önce arttığı daha sonra sistematik olarak azaldığı sonucuna ulaşılmıştır. Genel itibariyle yarı geçirgen malzeme hedeflerine yönelik reflektörsüz ölçülerinin sonuçları fazlasıyla yanıltıcı olabilir ve kaçınılmasının gerekliliği bu çalışma ile ortaya konulmuştur (Lenda, 2020, s. 462-472).



Şekil 2. 24: Materyal yüzeyinden lazer ışının dağılımı (Lenda, 2020)

3.MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada hedef yüzeylerin malzeme türü, rengi, yüzey dokusu, boyalı olup olmaması, hedef yüzeye ışının geliş açısı gibi etkenlerin ölçü sonuçlarına etkileri incelenmiştir. Bu etkilerin her biri için ölçü değerleri ve değerlendirmeleri yazılı ve görsel olarak hazırlanmıştır. Ayrıca ölçüyü etkileyecek dış etkenler (sıcaklık, basınç, nem güneş ışının geliş açısı vb.) ölçü süreci boyunca ölçülerek kayıt altına alınmış ve ölçülere atmosferik düzeltmeler getirildikten sonra hesap ve karşılaştırmalar yapılmıştır.

3.1. Çalışmada Kullanılan Uygun Alet ve Ekipmanların Seçimi

Saha çalışmaları ile çalışma bölgelerinde kullanılan yaygın hedef ve renkler üzerinde bir araştırma yapılarak yaygın olarak kullanılan materyal ve renkler belirlendikten sonra hedeflerin temini gerçekleştirildi. Hedeflerin reflektörsüz ölçmelerin yapılabilmesi için öncelikle bölgedeki etkin yapı stoku ve bunlarda kullanılan ağırlıklı materyallerin cinsi ve renkleri değerlendirildi. Bunun için ise ilgili bölgelerde (sivil yerleşim ve sanayi bölgeleri, tarihi ya da eski binaların ağırlıklı olduğu alanlar, vb.) saha çalışmaları yapılarak uygun materyaller belirlendi. Saha çalışmaları ile belirlenmiş olan bu veriler kapsamında kullanılan hedefler şu şekildedir (Şekil 3.1).

- Mavi boyalı ahşap yüzey (1)
- Beyaz boyalı ahşap yüzey (2)
- Kırmızı boyalı ahşap yüzey (3)
- Gri boyalı ahşap yüzey (4)
- Sarı boyalı ahşap yüzey (5)
- Pürüzsüz ahşap yüzey (6)
- Pürüzlü ahşap yüzey (7)
- Kahverengi plastik (8)
- Beyaz plastik (9)
- Turuncu boyalı beton yüzey (10)
- Beyaz boyalı beton yüzey (11)
- Tuğla yüzey (12)
- Gri mermer yüzey (13)
- Beyaz mermer yüzey (14)

- Granit yüzey (15)
- Metal yüzey (16)
- Sarı boyalı metal yüzey (17)
- Gri Boyalı metal yüzey (18)



Şekil 3. 1: Ölçü gerçekleştirilen hedef yüzeyler

Saha şartlarına uygun hedefin tür, renk ve boyut seçenekleri belirlendikten sonra hedef boyut seçenekleri ile ilgili literatür taramasında yaygın olarak 5x5 cm, 10x10 cm, 15x15 cm ve 20x20 cm boyutlarında hedeflerin kullanıldığı görülmüştür (Dissanyaka, 2021), (Khalil, 2015, s. 61-70) . Bizim çalışmamızda hedef boyutları 10x10 cm olarak belirlendi.

Farklı renkteki hedef yüzeylerin doğruluklarının incelenmesi adına yapılan mesafe ölçüm çalışmalarda renk faktörünün ölçü sonuçlarını etkilediği ortaya çıkmıştır (Anonim, 2022). Bu bağlamda renk seçimlerimiz çeşitlendirilmesi bu farkların görülebilmesine imkân sağlandı.

3.2.Kullanılan Cihazlar ve Özellikleri

Tez çalışmasında LEIA TS16 ve Spectra Focus 8 total stationları kullanılmıştır. Bu kapsamda çalışmamızı gerçekleştirmek için LEICA TS16 ve Spectra Focus 8 total stationların reflektörlü ve reflektörsüz mesafe ölçülerindeki teknik özellikleri aşağıda sıralanmıştır.

Leica TS16 total station

- Mesafe ölçü teknolojisi: System Analyser
- Lazer nokta büyüklüğü : 50 m’de 8 mm x 20 mm
- Prizmasız R1000: 0.9 m to > 1,000 m
- Doğruluk: 2 mm + 2 ppm
- Ölçü süresi: 2 sn.

- Ağırlık: 5.1-5.8 kg.
- Sıcaklık ölçü aralığı: -20°C to $+50^{\circ}\text{C}$

Spectra Focus 8 total station

- Ölçü teknolojisi: Phase Shift
- Reflektörsüz mesafe hassasiyeti: $\pm (3 + 2 \text{ ppm} \times D) \text{ mm}$ (D=Mesafe)
- Sıcaklık ölçü aralığı: -20°C to $+50^{\circ}\text{C}$
- Ölçü süresi: 2,1 sn
- 2" veya 5" Açı Hassasiyeti
- Reflektör ile 4.000 m ve reflektörsüz 500 m mesafe ölçümü

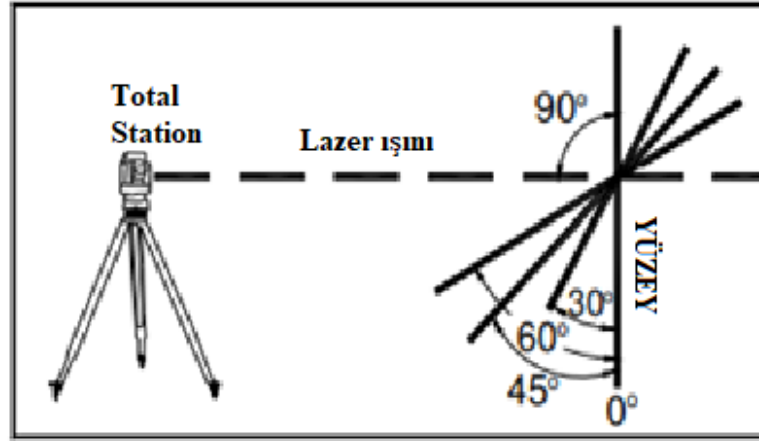
3.3.Hedefleri Yerleştirme Düzeneği:

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, hedefleri yerleştirmek için farklı aparatların üretildiği gözlenmiştir. Bu nedenle, özellikle yerleştirilen hedefin cihazdan gelen ışınların yansıtma açılarını tam olarak belirleyebilmek için benzer aparatların tasarımı ve üretimi sağlanmaya çalışılmıştır. Materyallerin düzgün ve doğru bir şekilde yerleştirilebilmesi için özel bir destek tabanı gereksiniminden dolayı bu amaçla (U) şeklinde bir kesit tasarlanmıştır ve tasarlanan bu kesit 2 cm genişliğinde, 3 cm derinliğinde 20 cm uzunluğunda ve arka düzlemde vida ile tutturulacak şekilde tasarlanmıştır. Hedef levhaların yerleştirileceği bu taşıyıcı ve tutucu altlık paslanmaz çelikten imal edilmiş olup, hedeflerin tutturulması için arka yüzeyin ortasına gelecek şekilde iki vida ile tamamlanmıştır. Yükseltilmiş tribrah üzerine tasarlanan bu düzenek Şekil 3.2’de görülmektedir.



Şekil 3. 2: Hedef koyma düzeneği

Hedef koyma düzeneğine Şekil 3.3'te gösterildiği gibi hedef yüzey üzerinde lazer ışınının gerekli geliş açısına döndürülmesini kolaylaştırmak için yatay bir daire de eklenerek hedef açısı istenilen açılarda değiştirilerek ölçü yapma olanağı da kazandırılmıştır.



Şekil 3. 3: Lazer ışınının hedef yüzey üzerinde farklı geliş açıları

3.4.Ölçü Öncesi Yapılan Saha Çalışmalar

Ölçmelerin yapılacağı uygun bir bölgenin belirlenmesi için saha araştırması yapılmıştır. Bu bölgenin belirlenmesinde eğimin az ve engelin olmadığı, elektromanyetik alandan uzak alanlar araştırılarak uygun bir çalışma alanı tespit edildi. Bu alandaki ve düşünülen güzergâhın boy kesiti çıkarılarak reflektörlerin yerleştirileceği sabit noktaların yerleri saptandı. Bu sayede total station ve reflektör yüksekliklerinin mümkün olduğunca yakın değerde olması sağlanmıştır .



Şekil 3. 4: Ölçmelerin gerçekleşeceği arazinin yükseklik profili

Ölçmeler için uygun bölge belirlendikten sonra cihazların, alet kurulumu esnasında insan kaynaklı hataların en aza indirilmesi adına total stationların doğru bir şekilde konumlandırılması gerekiyordu. Bu bağlamda, dış etkenlerden en az şekilde etkilenecek ve tüm ölçü noktalarına görüş alanı olabilecek beton bir zemin belirlenmiş. Ayrıca reflektör yüksekliği ile yaklaşık yatay konumda olması sağlayacak şekilde yerden belli bir yükseklikte olmasına dikkat edilmiştir. Belirlenen bu yere total stationların konumlandırılabilmesi için mevcut tribrahlar ile uyumlu Şekil 3.5'deki 5/8 inç çapında vida, Şekil 3.6'da olduğu gibi matkap yardımıyla zemine açılan deliğe kimyasal bir epoksi dolgusu ile kalıcı olarak monte edildi.



Şekil 3. 5: 5/8 inç çapındaki vida



Şekil 3. 6: Total stationların yerleştirildiği vidalı platform

3.5.Ölçü Öncesi hazırlık çalışmaları

Cihazların ve hedeflerin konumlandırılmaları hassas bir şekilde gerçekleştirildi. Bu aşamada hem aletin yerleştirildiği platform hem de hedefin ve reflektörün yerleştirildiği düzencek insan kaynaklı hatalardan arındırılmaya çalışıldı. Total station aletlerimizin yerleştirildiği platformda asal eksenin düşey eksene paralel ve muylu eksenine dikliğinin sağlanması için küresel düzeçlerin ayarı yapılarak Şekil 3.7’de olduğu gibi aletlerin ölçüye hazır hale getirilmesi sağlandı.



Şekil 3. 7: Kurulumu gerçekleştirilen total stationlar (Solda Focus8, Sağda Leica TS16)

Total station mesafe ölçüsü yapmak üzere kurulduktan sonra, reflektörün ya da özel olarak tasarlanan hedef tutuma aparatının yerleştireceği düzenek yatay dengede olması gerekmektedir. Bu denge alet sehpa (tripot) üzerine yerleştirilen Tribrah sayesinde küresel düzeç kullanılarak sağlanmış oldu. Yatay denge, tüm istasyonlar (50,100, 200, 400 m) için ayrı ayrı kontrol edilerek, Şekil 3.8 200 metre için yatay denge sağlanmıştır.



Şekil 3. 8: Tripot ve üzerine yerleştirilen tribrah

Ölçü süresince, mesafe ölçüleri için kurulacak (50, 100, 200 ve 400 m) istasyonlar, noktasal olarak kalıcı hâle getirilmiş, bu sayede çevresel koşulların etkileri minimuma indirilmeye çalışılmıştır. Ayrıca her bir ölçme mesafesi için asfalt üzerinde beton çivisi tesis edilmiştir (Şekil 3.9).



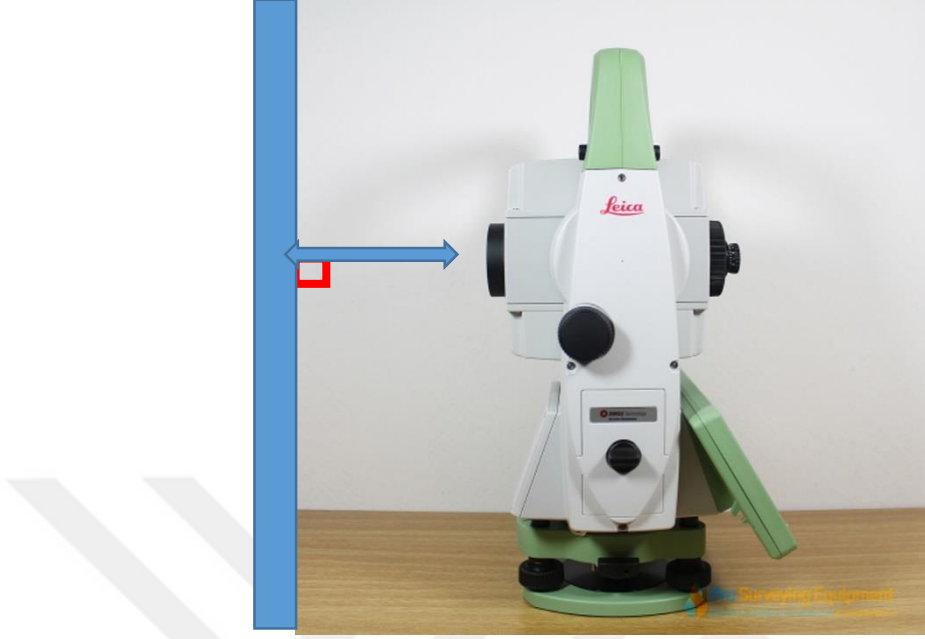
Şekil 3. 9: Ölçmelerin yapıldığı mesafeler için tesis edilen ve işaretlenen çivi

3.6. Ölçü Süreci

Reflektörsüz aletlerin doğruluğunun incelenmesi birkaç bölüme ayrılacaktır. İlk olarak hem prizma, hem de reflektörsüz ölçüler için aletlerin kendi içindeki doğruluğun teyit edilmesi gerekir. Reflektörsüz ölçüler reflektörlü ölçülerle karşılaştırılacağı için öncelikle referans ölçüler olan reflektörlü ölçülerin sağlıklı ve mümkün olduğunca hatalardan arındırılmış olarak yapılması gerekmektedir. Bunun için önce reflektörlü ölçüler her bir mesafe için yapılarak istasyon noktası ile hedef noktaları arasındaki mesafeler ölçüldü. Daha sonra 18 farklı yüzey için her bir mesafede ve ışın geliş açıları değiştirilmek sureti ile ölçüler tamamlanmıştır . Bu çalışma kapsamında 2 ayrı total station ile her bir noktada 180 ölçü ve 4 farklı mesafede toplam 720 ölçü yapılmış ve elde edilen ölçü değerleri düzeltmeler sonrası karşılaştırılmıştır.

İlk istasyonda ölçüye başlandığında düzeçlenmiş alet sehпасı reflektörlü ölçü tamamlandıktan sonra düzeneğin sürekliliğinin ve ölçü serisinin bozulmaması adına, sadece reflektör ile hedeflerin yerleştirildiği özel aparat yer değiştirilerek gerçekleştirilmiştir. Bu işlem her istasyon için aynı şekilde tek tek tekrarlanmıştır Hava şartlarından ve çevresel koşullardan düzecen etkilenebileceği göz önünde bulundurularak her hedef değişimde düzecen sürekli kontrolü sağlanmıştır.

Öncelikle reflektörsüz cihazın doğruluğunu kontrol etmek için total stationdan çıkan ışınların Şekil 3.10'daki hedef yüzeye dik gelmesi sağlandı.



Şekil 3. 10: Total station'da çıkan ışınların hedef yüzeye 90 derecelik geliş açısı

Teorik olarak hedefe dik gelen ışınları en doğru sonucu verdiği bilinen bir gerçektir. Ancak yüzey ölçüleri uygulamada farklı yüksekliklere ve farklı geliş açıları ile yapılmaktadır. Yapılan bu ölçülerin ölçü sonuçlarını ne kadar etkilediğini görmek ve meydana gelen hataları ortaya koyabilmek için aşağıdaki çalışma yapılmıştır.

Değişken 'Geliş Açısı' ile dik olmayan bir hedefe yapılan ölçülerin, ölçü sonuçlarını nasıl etkileyebileceğini incelemek için her mesafede farklı geliş açıları (0° , 15° , 30° , 45° , 60°) ile uzunluk ölçüleri yapılmıştır. Ayrıca bu geliş açılarını tespit etmek için Şekil 3.11'deki özel olarak tasarlanmış hedef yerleştirme aparatı üzerindeki açölçer daire kullanılmıştır.



Şekil 3. 11: Hedef yerleşme aparatı üzerindeki açölçer daire

Tüm ölçüler total stationdan gelen ışınların 10x10 cm boyutlarındaki hedef yüzeylerin yaklaşık merkezine yönlendirilmek sureti ile gerçekleştirildi (Şekil 3.12).



Şekil 3. 12: Hedefler üzerine yönlendirin ölçü aletinden çıkan lazer ışınının gösterimi

Reflektörsüz ölçülerin çeşitli malzemeler üzerinde ölçü sonuçlarını incelemek için farklı türdeki hedeflere yapılan (ahşap, metal, mermer, tuğla, beton, granit, plastik) ölçüler kayıt altına alınmıştır. Bu örneklerden bazıları Şekil 3.13 ve Şekil 3.14'te gösterilmiştir.



Şekil 3. 13: Ahşap (solda) ve metal (sağda) hedef örnekleri



Şekil 3. 14: Mermer (solda) ve beton (sağda) hedef örnekleri

Reflektörsüz ölçülerinde renk farklılıklarının ölçü değerleri üzerinde etkisinin incelenmesi adına çeşitli renkteki hedefler (beyaz, mavi, sarı, gri, kırmızı, turuncu) üzerinde mesafe ölçüleri yapılmıştır. Farklı renkteki hedefler Şekil 3.15 ve Şekil 3.16’da gösterilmiştir. Ayrıca hedefler üzerindeki rengin koyu ve açık olması ölçü sonuçlarını hangi yönde etkilediği de bu çalışma kapsamında değerlendirilmiştir.



Şekil 3. 15: Beyaz (solda) ve kırmızı (sağda) renkli ahşap hedef örnekleri



Şekil 3. 16: Mavi (solda) sarı (sağda) renkli ahşap hedef örnekleri

Belirlenen bazı hedefler (metal, beton) üzerinde boya etkisinin reflektörsüz mesafe ölçülerini nasıl etkileyeceğinin incelenmesi için boyalı (sağda) ve boyasız (solda) olan metal hedeflere her iki total station da ayrı ayrı yönlendirilmiş ve ölçmeler kaydedilmiştir (Şekil 3.17) .

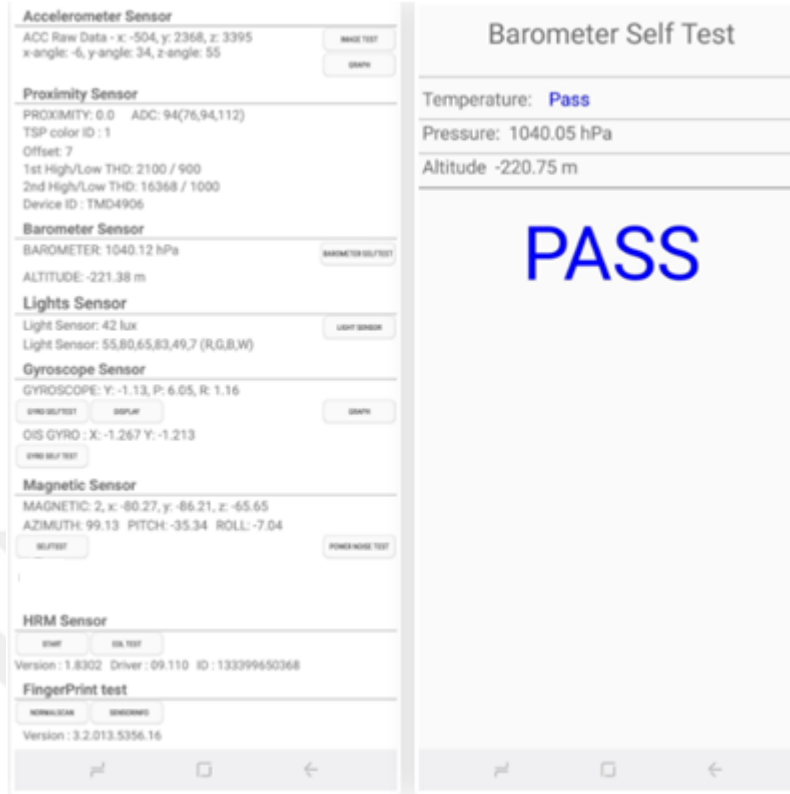


Şekil 3. 17: Metal hedef ve yüzeyi boyalı metal hedef

Reflektörsüz ölçülerde alet ile hedef arasındaki mesafe değiştikçe ölçü değerlerinin nasıl etkilendiğini ortaya koymak için belirli mesafelerde (50, 100, 200, 400 m) ölçüler yapılmıştır. Tüm ölçü noktalarında, her bir geliş açısı için yapılan ölçü serilerinde; Düşey Açı(g), Kuru Sıcaklık(°C), Islak Sıcaklık (°C), Nem (%), DP(°C), Basınç (Pa), PPM(mm) değerleri kayıt altına alınmıştır. Nem ve sıcaklık ölçülerinde de Extech-HD500- psikrometre cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.18). Ayrıca barometrik ölçmeler için, bu çipe sahip Samsun Galaxy Note8 akıllı telefonu kullanılmıştır . Ölçü ekranı Şekil 3.19’da görüldüğü üzeredir.



Şekil 3. 18: Extech HD500 psikrometre



Şekil 3. 19: Samsung Galaxy Note8 akıllı telefonlardaki barometre menüsü

Bahsedilen bütün bu ölçme işlemleri, çalışma kapsamında kullanılan her iki total station için tek tek tamamlanmıştır



Şekil 3. 20: Spectra Focus 8 (solda) ve Leica TS16 (sağda) total stationları

4.BULGULAR VE TARTIŞMA

Ölçü sürecinin bitiminde reflektörlü ve reflektörsüz olarak gerçekleştirilen tekrarlı ölçüler vasıtasıyla, ölçü sonuçlarının anlamlı bir şekilde değerlendirmesi için referans ölçü ile farklar ve karesel ortalama hatalar hesaplanmış. Bu sayede ölçü sonucunda yapılacak kıyaslamalar için gerekli bir parametre elde edilmiş oldu.

$$\mu_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x - \hat{x})^2}{n-1}} \quad (4.1)$$

Bu denklemdeki

μ_0 = Karesel Ortalama değeri(KHO)

x = Mesafe ölçülerin ana değeri

$\hat{x}$ = Mesafe ölçülerin değeri

n = Gözlem sayısı

değişkenleri ifade etmektedir.

Sonuçların değerlendirilmesinde temel olarak 4.1 ile hesaplanan KHO değerleri kullanılmıştır. Bu aşamada, hedef yüzeyinin cinsi, hedef yüzeye gelen geliş açısı, hedef yüzeyin şeffaflığı ve dokusu, hedef yüzeyin rengi ve hedef yüzeyin yerleştirildiği mesafe etkin rol oynamaktadır.

4.1.Materyel Cinsi

Kullanılan hedef yüzeylerin ilgili çalışma alanlarında (inşaat, endüstri, arkeoloji, ormancılık, tarım, mimari vb) yapılacak ölçüler ile yüzey cinslerinin ölçüleri ne doğrulukta etkilediği, daha doğru bir sonuç elde etmek için yüzey türlerinin önemli olduğu benzer çalışmalar da incelenmiş ve olası hataların tespit edilmesine de çalışılmıştır. Ayrıca sonuçlar göz önüne alınarak ölçü yapılan yüzeylerin cinsine göre mesafe ölçümlerinde farklılıklar olduğu literatürde mevcuttur (El-Din Fawzy, 2015, s. 23-30).

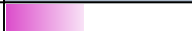
Reflektörsüz mesafe ölçü özelliğine sahip Leica TS16 ve Spectra FOCUS 8 total stationlar ile ölçüler sırasında geliş açıları sabit (sıfır) tutularak yapılan 50, 100, 200 ve 400 m de farklı türde hedefler (ahşap, plastik, beton, tuğla, mermer, granit, metal) kullanılarak

tamamlanan ölçü sonucunda hesaplanan karesel ortalama hataları Tablo 4.1, Tablo 4.2, Tablo 4.3 ve Tablo 4.4’te verilmiştir. Sonuç olarak, farklı mesafelerde farklı aletlerin performansları değerlendirildiğinde, en iyi hedef yüzeyinin hangisi olduğu konusunda değişkenlik mevcuttur. Fakat genel olarak beyaz boyalı beton hedefin tüm mesafeler için yüksek doğrulukta olduğu söylenebilir. Ayrıca Spectra Focus 8 aleti ile 400 m de herhangi bir ölçü değeri elde edilememiştir.

Tablo 4. 1: Farklı hedef yüzeylerine 50m’de elde edilen karesel ortalama hatalar

Materyal	LEİCA TS16	SPECTRA FOCUS 8
	<i>RMS(mm)</i>	<i>RMS(mm)</i>
Pürüzlü Ahşap(7)	 7,15	 6,43
Beyaz Plastik(9)	 6,72	 8,27
Beyaz Boyalı Beton(11)	 4,52	 3,98
Tuğla(12)	 5,88	 10,21
Gri Mermer(13)	 3,64	 8,42
Granit(15)	 4,82	 9,29
Metal(16)	 10,28	 8,62

Tablo 4. 2: Farklı hedef yüzeylerine 100m’de elde edilen karesel ortalama hatalar

Materyal	LEİCA TS16	SPECTRA FOCUS 8
	<i>RMS(mm)</i>	<i>RMS(mm)</i>
Pürüzlü Ahşap(7)	 6,23	 6,26
Beyaz Plastik(9)	 6,07	 6,95
Beyaz Boyalı Beton(11)	 5,08	 5,65
Tuğla(12)	 6,16	 6,56
Gri Mermer(13)	 9,43	 7,73
Granit(15)	 8,15	 9,68
Metal(16)	 8,32	 9,63

Tablo 4. 3: Farklı hedef yüzeylerine 200m’de elde edilen karesel ortalama hatalar

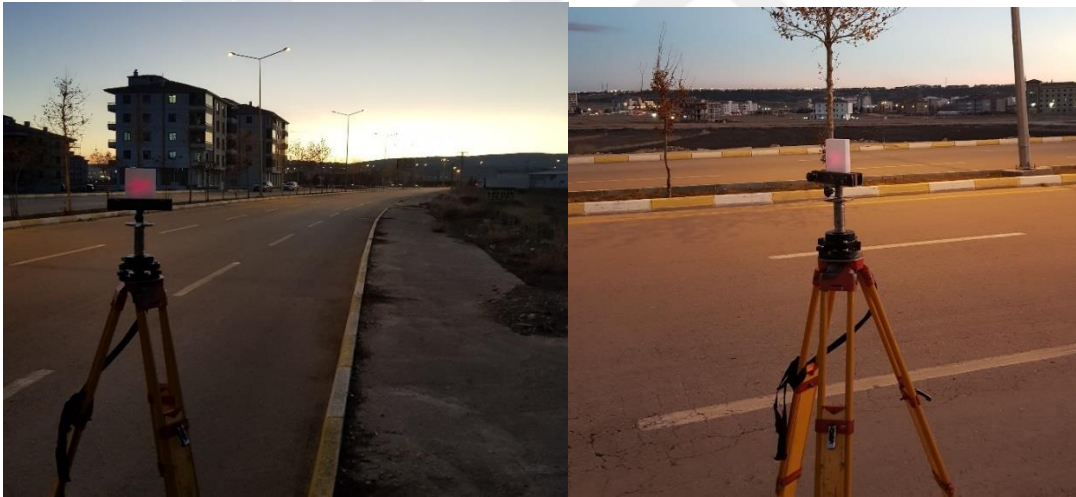
Materyal	LEİCA TS16	SPECTRA FOCUS 8
	<i>RMS(mm)</i>	<i>RMS(mm)</i>
Pürüzlü Ahşap(7)	 5,08	 4,95
Beyaz Plastik(9)	 6,37	 7,64
Beyaz Boyalı Beton(11)	 3,16	 6,76
Tuğla(12)	 5,01	 6,32
Gri Mermer(13)	 5,35	 9,41
Granit(15)	 6,43	 8,54
Metal(16)	 7,32	 9,41

Tablo 4. 4: Farklı hedef yüzeylerine 400m’de elde edilen karesel ortalama hatalar

Materyal	LEİCA TS16	SPECTRA FOCUS 8
	<i>RMS(mm)</i>	<i>RMS(mm)</i>
Pürüzlü Ahşap(7)	6,93	-
Beyaz Plastik(9)	6,87	-
Beyaz Boyalı Beton(11)	7,90	-
Tuğla(12)	13,22	-
Gri Mermer(13)	6,72	-
Granit(15)	10,99	-
Metal(16)	9,78	-

4.2.Hedef Yüzeyin Şeffaflığı

Lazer ışın geçirgenliği fazla olan yüzeylerde gerçekleştirilen reflektörsüz mesafe ölçülerinde, sonuçların diğer hedef yüzeylere göre çok daha farklı sonuçlar ortaya çıktığı da yapılan çalışmada gözlenmiştir. Çalışma kapsamında ölçü listesine alınan beyaz renkli mermerin ışın geçirgenliği ölçü sırasında da Şekil 4.5’te görüldüğü üzere gözle de tespit edilebilmektedir.



Şekil 4. 1: Beyaz mermer hedefe gelen lazer ışının geçirgenliği

Çalışma kapsamında gri ve beyaz mermerlerin reflektörsüz mesafe ölçü sonucunda hesaplanan karesel ortalama değerleri tablo 4.5’te verilmiştir. Ölçmeler sırasında beyaz mermerin ışın geçirgenliği tespit edilmiş olup, farklı mesafelerde ve farklı geliş açılarında mesafe ölçülerinde aşırı sapmalar olduğu da gözlenmiştir (Tablo 4.5) .

Tablo 4. 5: Beyaz ve gri mermer hedeflerin karesel ortalama değerleri

Materyal	Açılar(°)	Leica TS16				Spectra Focus 8			
		MESAFELERE GÖRE RMS DEĞERLERİ				MESAFELERE GÖRE RMS DEĞERLERİ			
		50m	100m	200m	400m	50m	100m	200m	400m
		RMS(mm)	RMS(mm)	RMS(mm)	RMS(mm)	RMS(mm)	RMS(mm)	RMS(mm)	RMS(mm)
Gri Mermer(13)	0	3,64	9,43	5,35	6,72	8,42	7,73	9,41	-
	15	1,43	0,85	7,78	-	4,93	3,65	3,02	-
	30	4,79	3,85	16,96	-	5,13	3,06	1,61	-
	45	7,66	6,13	29,89	-	6,35	-	3,38	-
	60	11,09	11,67	44,27	-	12,24	-	13,67	-
Beyaz Mermer(14)	0	27,80	0,79	8,83	2,08	8,20	13,00	4,73	-
	15	41,40	40,40	41,86	41,47	59,94	20,83	21,03	-
	30	43,39	44,52	49,89	53,45	16,50	22,58	21,25	-
	45	43,72	48,51	58,35	41,36	15,55	19,55	18,61	-
	60	44,60	51,49	64,38	-	8,85	17,46	11,02	-

4.3.Yüzey Dokusu

Yüzey dokusunun ölçü sonuçlarını ne derece etkileyeceğinin belirlenebileceği ölçülerde, reflektörsüz okuma özelliğine sahip total stationlar ile gerçekleştirilen mesafe okumalarında, pürüzlü ve pürüzsüz ahşap hedef yüzeyler kullanılarak hesaplanan karesel ortalama hatalar da karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak pürüzlü yüzeyin pürüzsüz yüzeye göre daha doğru sonuçlar verdiği gözlenmiştir (Tablo 4.6,4.7). Ayrıca Tablo 4.7’de pürüzlü ve pürüzsüz ahşap hedeflere yönlendirilerek reflektörsüz ölçü özelliğine sahip Spectra Focus 8 total station aleti ile 400 metrede herhangi bir ölçme yapılamamıştır.

Tablo 4. 6: 50m ve 100m için karesel ortalama hatalar

50m			100m		
Materyal	Leica TS16	Spectra Focus 8	Materyal	Leica TS16	Spectra Focus 8
Pürüzsüz Ahşap(6)	8,94	9,53	Pürüzsüz Ahşap(6)	8,63	10,35
Pürüzlü Ahşap(7)	7,15	6,43	Pürüzlü Ahşap(7)	6,23	6,26

Tablo 4. 7: 200m ve 400m için karesel ortalama hatalar

200m			400m		
Materyal	Leica TS16	Spectra Focus 8	Materyal	Leica TS16	Spectra Focus 8
Pürüzsüz Ahşap(6)	7,34	9,41	Pürüzsüz Ahşap(6)	16,17	-
Pürüzlü Ahşap(7)	5,08	4,95	Pürüzlü Ahşap(7)	6,93	-

4.4.Hedef Yüzeyin Rengi

Malzemeler aynı olsa bile yüzey renklerinin farklı olması onların yansıtma özelliklerinin de farklı olmasına neden olur. Beyaz, gri, mavi, kırmızı ve sarı gibi farklı renk yüzeylerinde reflektörsüz ölçü yapılarak, renk farklılıklarının etkisi de bu çalışmada kapsamında değerlendirilmiştir. Total stationlar ile farklı renge sahip yüzeylere, referans ölçülerini oluşturan prizma ile mesafe okumaları yapıldı. Daha sonra tekrar bu renkli hedef yüzeylerine reflektörsüz mesafe okumaları yapılarak oluşan farklar yardımıyla karesel ortalama değerleri Eşitlik 4.1'e göre hesaplandı ve tabloya yazıldı. Ayrıca bu tablolara grafik içeriği eklendi. Hedef yüzeylerinde hangi rengin daha doğru sonuç verdiğinin belirlenmesi için sabit bir geliş açısında (sıfır derece) ve sabit mesafede (50, 100, 200, 400m'lerin her birinde) her iki alet için karesel ortalama hataları hesaplanmıştır (Tablo 4.8, Tablo 4.9, Tablo 4.10 ve Tablo 4.11).

Tablo 4. 8: 50m de farklı renklerdeki ahşap hedeflerin karesel ortalama hataları

Materyal	Leica TS16	Spectra Focus 8
Mavi Boyalı Ahşap(1)	9,65	10,19
Beyaz Boyalı Ahşap(2)	9,32	8,27
Kırmızı Boyalı Ahşap(3)	9,05	9,97
Gri Boyalı Ahşap(4)	9,71	9,07
Sarı Boyalı Ahşap(5)	9,25	8,65

Tablo 4. 9: 100m de farklı renklerdeki ahşap hedeflerin karesel ortalama hataları

Materyal	Leica TS16	Spectra Focus 8
Mavi Boyalı Ahşap(1)	8,50	10,30
Beyaz Boyalı Ahşap(2)	8,11	9,86
Kırmızı Boyalı Ahşap(3)	8,40	9,65
Gri Boyalı Ahşap(4)	8,46	8,98
Sarı Boyalı Ahşap(5)	9,12	9,18

Tablo 4. 10: 200m de farklı renklerdeki ahşap hedeflerin karesel ortalama hataları

Materyal	Leica TS16	Spectra Focus 8
Mavi Boyalı Ahşap(1)	6,11	9,68
Beyaz Boyalı Ahşap(2)	6,29	8,13
Kırmızı Boyalı Ahşap(3)	7,67	8,96
Gri Boyalı Ahşap(4)	7,02	10,07
Sarı Boyalı Ahşap(5)	7,45	8,96

Tablo 4. 11: 400m de farklı renklerdeki ahşap hedeflerin karesel ortalama hataları

Materyal	Leica TS16	Spectra Focus 8
Mavi Boyalı Ahşap(1)	12,83	-
Beyaz Boyalı Ahşap(2)	7,78	-
Kırmızı Boyalı Ahşap(3)	7,10	-
Gri Boyalı Ahşap(4)	7,78	-
Sarı Boyalı Ahşap(5)	8,37	-

Leica TS16 ve Spectra Focus 8 aletlerine göre farklı renkteki ahşap hedef yüzeylerine yapılan mesafe ölçülerinde, elde edilen karesel ortalama hata değerlerinin birbirine yakın olduğu; 5 renk arasında herhangi bir kıyaslama yapılamayacağı gözlenmiştir. Bu hedeflerin yüzeylerinde yağlı boya kullanılması yüzeyleri parlaklaştırdığı için, 5 farklı renge boyanmış yüzeylerin, karesel ortalama hata değerlerinin birbirine yakın olduğu gözlenmiştir.

Çalışmada renk farklılığının karesel ortalama hata üzerindeki etkisinin incelendiği bir başka örnek veri seti, plastik içerikli hedef üzerinde yapılmıştır. Kahverengi ve beyaz renkli hedefler kullanılarak yapılmış olan mesafe ölçülerinin karesel ortalama hataları Tablo 4.12 ve Tablo 4.13'te olduğu gibi hesaplanmıştır. Sonuç olarak, tüm mesafeler ve iki farklı ölçü aleti verileri incelendiğinde beyaz renkli hedef yüzeyinin kahverengi hedef yüzeyine kıyasla daha doğru sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 4. 12: 50m ve 100m için karesel ortalama hataları

50m			100m		
Materyal	Leica TS16	Spectra Focus 8	Materyal	Leica TS16	Spectra Focus 8
Kahverengi Plastik(8)	9,30	10,19	Kahverengi Plastik(8)	9,69	9,43
Beyaz Plastik(9)	6,72	8,27	Beyaz Plastik(9)	6,07	6,95

Tablo 4. 13: 200m ve 400m için karesel ortalama hataları

200m			400m		
Materyal	Leica TS16	Spectra Focus 8	Materyal	Leica TS16	Spectra Focus 8
Kahverengi Plastik(8)	7,98	9,18	Kahverengi Plastik(8)	9,13	-
Beyaz Plastik(9)	6,37	7,64	Beyaz Plastik(9)	6,87	-

Hedef yüzeyin boyalı olmasının sonuç üzerindeki etkisinin incelendiği bir başka örnek, metal hedefler üzerinde yapılmıştır. Sprey boya ile boyanmış sarı ve gri renkli metal hedef

yüzeyleri boyasız metal yüzeyler karşılaştırıldı (Tablo 4.14, 4.15). Sonuç olarak yüzeyin boyalı olup olmaması, karesel ortama değerleri arasında bir fark oluşturmamıştır.

Tablo 4. 14: 50m ve 100m için karesel ortalama hataları

50m			100m		
Materyal	Leica TS16	Spectra Focus 8	Materyal	Leica TS16	Spectra Focus 8
Metal (16)	10,28	8,62	Metal (16)	8,32	9,63
Sarı Boyalı Metal (17)	10,70	9,29	Sarı Boyalı Metal (17)	9,18	7,39
Gri Boyalı Metal (18)	11,06	10,41	Gri Boyalı Metal (18)	10,97	9,84

Tablo 4. 15: 200m ve 400m için karesel ortama hataları

200m			400m		
Materyal	Leica TS16	Spectra Focus 8	Materyal	Leica TS16	Spectra Focus 8
Metal (16)	7,32	9,41	Metal (16)	9,78	-
Sarı Boyalı Metal (17)	7,91	8,75	Sarı Boyalı Metal (17)	16,28	-
Gri Boyalı Metal (18)	9,53	10,52	Gri Boyalı Metal (18)	9,71	-

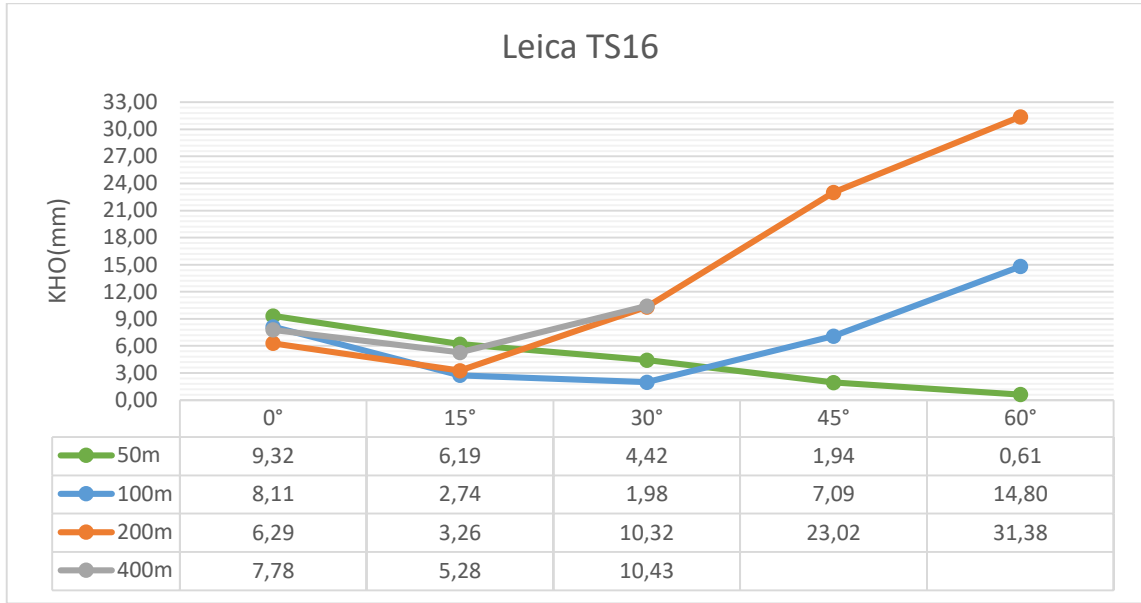
4.5.Geliş Açısı

Yapılan ölçmeler, ölçme ışınının geliş açısına göre değerlendirildiğinde, total stationlar ile 10x10 cm boyutlarındaki hedef yüzeylere geliş açısı değiştirilerek, mesafe ölçüleri gerçekleştirildi. Her iki ölçü aleti ile tamamlanan mesafe ölçülerinin geliş açısı değişiminin KOH üzerindeki etkisi değerlendirilmiş, ayrıca tüm ölçü değerleri için, geliş açısının değiştiğinde karesel ortalama hatalarındaki değişimler karşılaştırılmıştır. Şekil 4.17 ve Şekil 4.18'deki değerlendirmeler kapsamında;

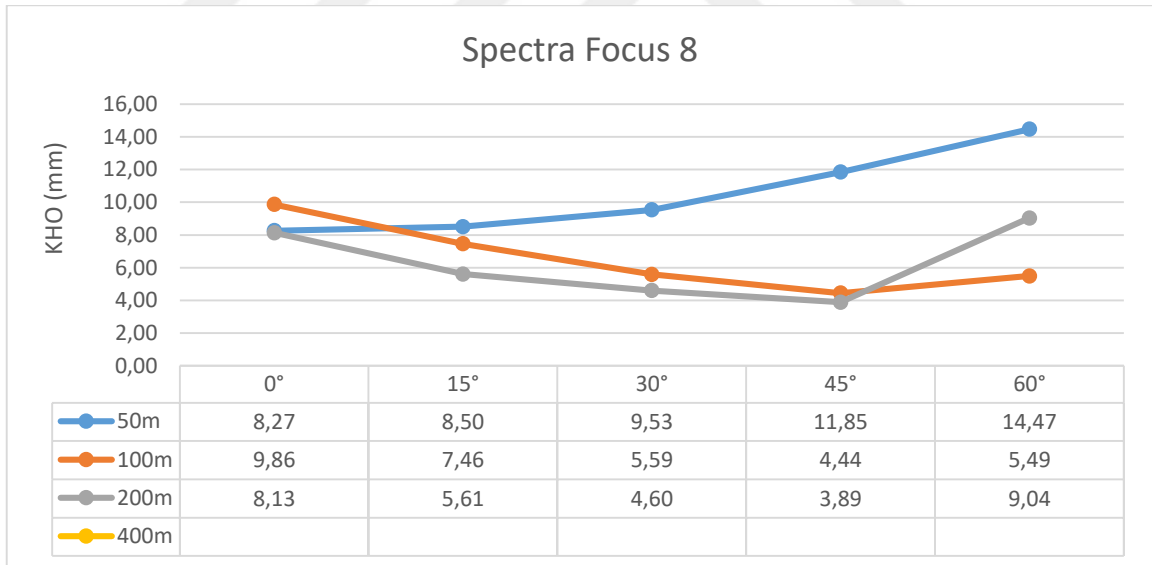
Leica TS16 total station ile gerçekleştirilen mesafe ölçülerinde, 50 m de geliş açısı değiştikçe, ölçüler arasında anlamlı bir kıyaslama yapılamadığı gözlenmiştir. Ayrıca 100 m de geliş açısının 30 derece ve sonrasında karesel ortama hatanın arttığı ve 400 m de geliş açısının 15 derece sonrası için karesel ortalama hata değerinde artış gözlemiştir. Son olarak, 400 m de 45 ve 60 dereceler için okuma yapılamadığı gözlenmiştir.

Spectra Fosus 8 total station ile 50, 100 ve 200 m de yapılan mesafe ölçülerinde, 45 derece ve sonrası için, geliş açısı değiştikçe hata oranında artış olduğu ve 400m de yapılan mesafe ölçülerinde herhangi bir ölçü değerine ulaşılamadığı gözlenmiştir.

Her iki total station için 100 m sonraki mesafelerde yapılan ölçülerde, geliş açısının 45 dereceden fazla olduğu durumlarda hatanın hızla arttığı gözlenmiştir.



Şekil 4. 2: Leica TS16 için geliş açısı ve mesafeye göre karesel ortalama hataları



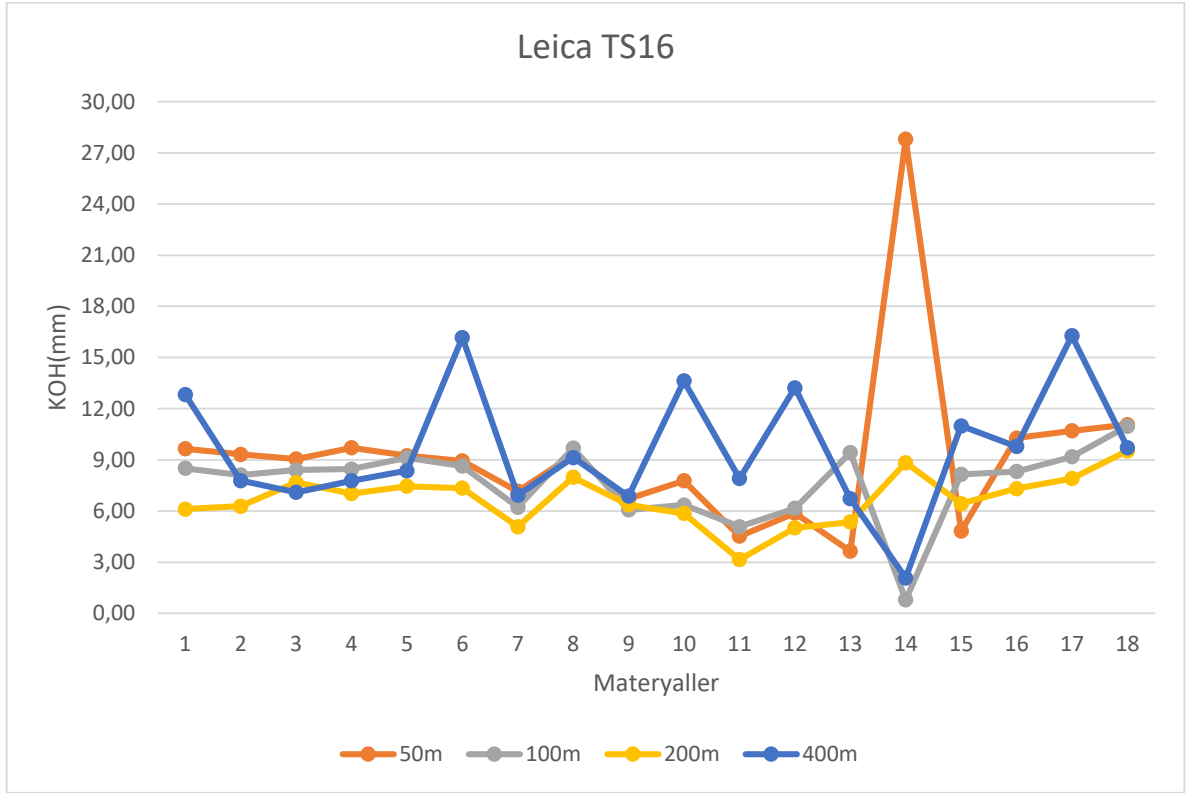
Şekil 4. 3: Spectra Focus 8 için geliş açısı ve mesafeye göre karesel ortalama hataları

4.6.Mesafe

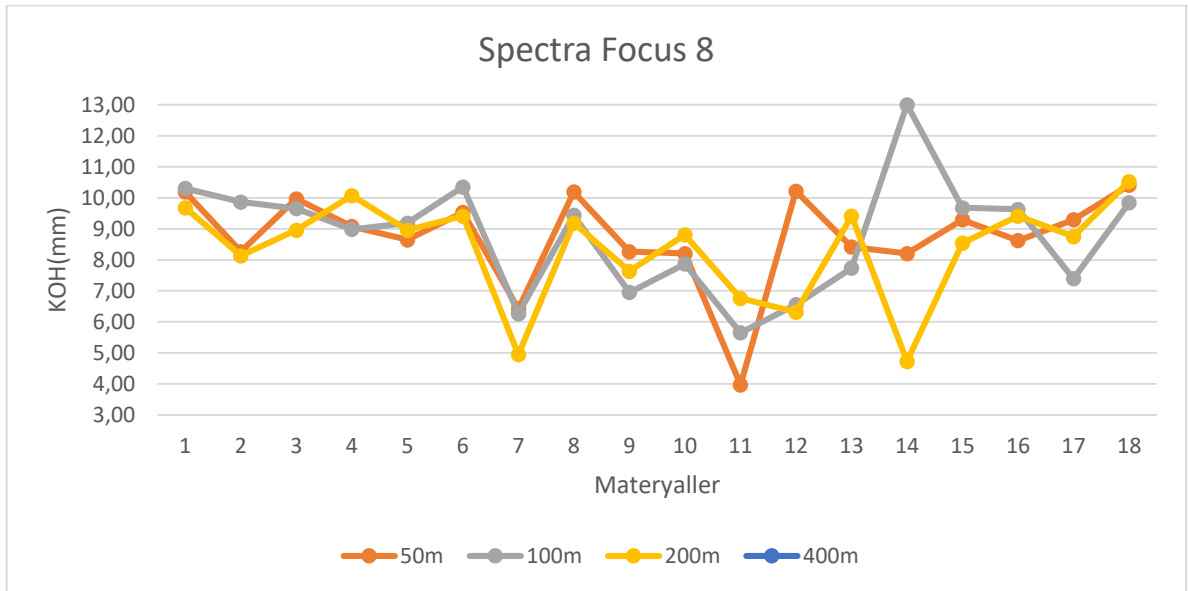
Leica TS16 ve Spectra Focus 8 total stationlar ile reflektör ve reflektörsüz mod kullanılarak yapılan ölçmelerde 50, 100, 200 ve 400m mesafelerde tekrarlı ölçüler yapılmış ve hedef olarak çeşitli farklı yüzeyler kullanılmıştır. Kullanılan bu hedef

yüzeylere total stationlar sırasıyla yönlendirildi. Ardından belirlenen istasyonlarda reflektörsüz mesafe okumaları gerçekleştirildi. Mesafe arttıkça sonuçların ne derece değiştiğinin gözlenmesi için, geliş açısından bağımsız kılınması adına, hedef yüzeye geliş açısı 0(sıfır) derece olarak belirlenerek kıyaslanmıştır. Ayrıca çevresel faktörlerin (sıcaklık, basınç vb) ölçü sonuçlarını etkilemeyecek seviyede olmasına da çalışılmıştır. Bütün ölçmeler her bir materyal için ayrı ayrı yapılmış ve kayıt altına alınmıştır. Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’de değerler sergilendi. Ölçü sonucunda:

- Mesafe arttıkça, her iki alet için KOH değerlerinde, 200 m’ye kadar anlamlı bir kıyaslama elde edilememiştir.
- Leica TS16 total station ile yapılan mesafe ölçülerinde, belirlenen tüm uzunluklar için mesafe ölçmeler tamamlanmış olup, KOH değerleri tüm hedef yüzeyler için hesaplanmıştır. Yapılan değerlendirme sonucunda, ölçü mesafeleri ile hata oranlarındaki değişim arasında anlamlı bir birliktelik bulunmamaktadır. Yani mesafenin arttığı tüm durumlarda KOH hatalarındaki değişimlerde kimi hedef yüzeyleri için azalma, kimi hedef yüzeyleri için artmalar gözlenmiştir. Fakat 400 metredeki mesafe ölçülerinde hata oranlarının 1, 6, 10, 11, 12, 15 ve 17 nolu hedef yüzeyleri için diğer mesafelere göre (50, 100, 200m) daha çok olduğu gözlenmiştir.
- Spectra Focus 8 ile yapılan ölçmelerde 200 m kadar olan uzunluklar için karesel ortalama hataları ile mesafelerin değişimi arasında anlamlı bir birliktelik bulunmamaktadır. 400 metre için ise herhangi bir ölçü yapılamamıştır. Bu durum Leica TS16 total station ile bu cihaz arasındaki ölçüler için en önemli farktır.
- Her iki total station için, 14 nolu (beyaz mermer) hedefe gerçekleştirilen mesafe ölçülerinin, materyalin şeffaf içeriğinden dolayı KOH değerlerinde aşırı sapmalar saptanmıştır (Lenda, 2020, s. 463-472).



Şekil 4. 4: Leica TS16 için tüm yüzeylerin mesafeye göre karesel ortalama değişimi



Şekil 4. 5: Spectra Focus8 aleti için mesafeye göre karesel ortalama değişimi

4.7.STATA ile Lineer Regresyon Analizi

Çalışma kapsamında tüm hedeflerin istasyon noktasına olan uzaklıkları ölçülerek referans ölçülerinden olan farkları ve hata değerleri hesaplanarak bir veri seti oluşturulmuş, oluşturulan bu veri setinde, gruplama yok varsayılarak materyal, alet cinsi ve açılar kategorik değişken; diğerleri ise sürekli değişken olarak atandı. Bağımlı değişken dışındakilerin tümü bağımsız değişken olarak belirlenmiş ve STATA'ya girişleri yapılmış buna bağlı olarak da sonuçları etkileyebilecek tüm değişkenlerin istenilen baz hedefine göre lineer regresyon analizi tamamlanmıştır . Elde edilen analiz kapsamında programın verdiği sonuçları Tablo 4.16'da gösterildiği gibidir.

Source	SS	df	MS	Number of obs = 541	
Model	.060476471	30	.002015882	F(30, 510) =	48.75
Residual	.021090509	510	.000041354	Prob > F =	0.0000
				R-squared =	0.7414
				Adj R-squared =	0.7262
Total	.08156698	540	.00015105	Root MSE =	.00643

HataDegerim	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
Beyaz boyalı ahşap yüzey(2)						
Gri boyalı ahşap yüzey(4)	.0003128	.0017684	0.18	0.860	-.0031615	.0037871
Sarı boyalı ahşap yüzey(5)	.0009058	.0017054	0.53	0.596	-.0024447	.0042563
Kırmızı boyalı ahşap yüzey(3)	.0006566	.0016689	0.39	0.694	-.0026222	.0039354
Mavi boyalı ahşap yüzey(1)	.0020448	.0018568	1.10	0.271	-.0016032	.0056928
Pürüzsüz ahşap yüzey(6)	.0006112	.0016907	0.36	0.718	-.0027104	.0039327
Pürüzlü ahşap yüzey(7)	-.0014679	.0017002	-0.86	0.388	-.0048081	.0018723
Kahverengi plastik(8)	.0010898	.0017982	0.61	0.545	-.002443	.0046226
Beyaz plastik(9)	-.0009391	.0016658	-0.56	0.573	-.0042118	.0023336
Granit yüzey(15)	-.0001756	.001729	-0.10	0.919	-.0035723	.0032212
Beyaz mermer yüzey(14)	-.0282963	.0016717	-16.93	0.000	-.0315805	-.025012
Gri mermer yüzey(13)	-.003101	.001727	-1.80	0.073	-.0064939	.0002919
Tuğla yüzey(12)	-.0021912	.0016972	-1.29	0.197	-.0055257	.0011432
Beyaz boyalı beton yüzey(11)	-.0046171	.0017323	-2.67	0.008	-.0080205	-.0012137
Turuncu boyalı beton yüzey(10)	-.0009709	.0016795	-0.58	0.563	-.0042704	.0023287
Sarı boyalı metal yüzey(17)	.0008667	.0017469	0.50	0.620	-.0025652	.0042986
Gri Boyalı metal yüzey(18)	.0003769	.001836	0.21	0.837	-.0032302	.003984
Metal yüzey (16)	-.0005388	.0018849	-0.29	0.775	-.004242	.0031643
313.AletCins	.0133907	.0016308	8.21	0.000	.0101869	.0165946
Mesafeler	.0000265	6.04e-06	4.39	0.000	.0000146	.0000384
DuseyAcig	.0272837	.0043854	6.22	0.000	.0186679	.0358995
KuruSicaklikC	.0033923	.0013646	2.49	0.013	.0007113	.0060733
IslakSicaklikC	-.0045852	.0021934	-2.09	0.037	-.0088944	-.0002761
Nem	.0002982	.0002217	1.35	0.179	-.0001373	.0007337
DPC	-.0011862	.0009473	-1.25	0.211	-.0030472	.0006748
BasincPa	-.0037298	.0004306	-8.66	0.000	-.0045758	-.0028837
PPMmm	-.0000352	.0001511	-0.23	0.816	-.0003321	.0002616
Acilar						
15	-.0054374	.000831	-6.54	0.000	-.0070699	-.0038048
30	-.0086109	.0008485	-10.15	0.000	-.0102779	-.0069439
45	-.0109139	.0008806	-12.39	0.000	-.0126439	-.0091839
60	-.0120367	.0009031	-13.33	0.000	-.0138109	-.0102626
OrtMesafem	0	(omitted)				
_cons	.7296532	.5821605	1.25	0.211	-.4140747	1.873381

Tablo 4. 16: STATA ile gerçekleştirilen lineer regrasyon analizi

Tablo incelendiğinde modelin doğruluğunun oldukça yüksek (R-kare yüksek, F değeri istatistiksel olarak anlamlı) olduğu gözlenmektedir. Bununla beraber kategorik değişkenin yorumuna göre; 313(Spectra Focus8) kodlu cihaz 312(Leica TS16) kodlu alete kıyasla istatistiksel olarak anlamlı miktarda daha fazla hata ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca sıfır açığa kıyasla diğer tüm açılar istatistiksel olarak anlamlı ölçüde daha az hata üretmektedir.

Sürekli değişkenin yorumuna göre; mesafe bir birim arttığında hata .0000265 birim daha fazla hata ürettiği ortaya çıkmıştır. Bu hata katsayı istatistiksel olarak anlamlı ($p<.001$). Düşey açı ise bir birim arttığında hata .0272837 birim artmaktadır. Bu katsayıda da düşey açı için istatistiksel olarak anlamlı olarak gözlenmektedir ($p<.001$).

5.SONUÇ VE ÖNERİLER

- Bu çalışmada, hedef yüzeylerinin çeşitlilik gösterdiği uzunluk ölçüleri incelenmiş, en iyi doğruluk değerine sahip materyalin hangisi olduğu konusunda değişkenlik mevcuttur. Fakat genel olarak beyaz beton hedefin tüm mesafeler için yüksek doğrulukta olduğu söylenebilir.
- Hedef yüzeyin şeffaflık derecesinin yüksek olması nedeniyle 14 numaralı (beyaz mermer) hedefin ölçüleri esnasında ışın geçirgenliği tespit edilmiş olup, farklı mesafelerde ve farklı geliş açılarında mesafe ölçülerinde aşırı sapmalar gözlenmiştir. Işın geçirgenliği olan malzemelerde ölçü sonuçlarında sapmalar olası olasıdır.
- Literatürün aksine bizim çalışmamızda, hedef yüzey dokusunun pürüzlü veya pürüzsüz olmasının mesafe ölçü değerleri arasında farklılık oluşturabileceği, pürüzlü yüzeyin pürüzsüz yüzeye göre daha doğru sonuçlar verdiği gözlenmiştir.
- Leica TS16 ve Spectra Focus 8 cihazlarına göre farklı renkteki ahşap hedef yüzeylerine yapılan mesafe ölçülerinde, elde edilen karesel ortalama hata değerlerinin birbirine yakın olup, 5 renk(beyaz, sarı, mavi, kırmızı, gri) arasında herhangi bir kıyaslama yapılamayacağı ortaya çıkmıştır. Ayrıca bu hedeflerin yüzeylerinde yağlı boya kullanılması yüzeyleri parlaklaştırdığı için, bu 5 farklı renge boyanmış yüzeylerin karesel ortalama hata değerlerinin birbirine yakın olduğu gözlenmiştir. Yüzey parlaklığın olmadığı, kahverengi ve beyaz plastik hedef yüzeyleri arasında yapılan KOH kıyaslamasında ise, beyaz renkli hedef yüzeyinin kahverengi hedef yüzeyine göre daha doğru sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Hedef yüzeyin parlak ve mat olmasının ölçü sonuçlarını etkilediği, parlak hedef yüzeylerin daha yüksek doğrulukta olduğu literatürde de mevcuttur (James, 2016).
- Boyanın, ölçü sonuçlarına olan etkisinin incelendiği 16, 17 ve 18 numaralı metal hedef yüzeylerinin ölçü sonuçları kıyaslandığında, ölçüler üzerinde etkisinin olmadığı ortaya çıkmıştır.
- Leica TS16 total station ile yapılan mesafe ölçülerinde, 50 m'deki geliş açısı ile ölçülerin KOH arasında anlamlı bir korelasyon bulunmadığı; 100 m de ise 30 derece ve sonrası için KOH hata değerinin arttığı gözlenmiştir.

- Spectra Focus 8 total station ile ölçü yapılabilen tüm mesafelerde (50m, 100m, 200m) geliş açısı 45 derece ve sonrası için KOH değerinde artış olduğu gözlenmiştir.
- Mesafenin arttıkça, her iki alet için KOH değerlerinde, 200 m'ye kadar herhangi bir şekilde anlamlı kıyaslama elde edilememiştir.
- Leica TS16 total station ile 400m'deki mesafe ölçülerinde hata oranlarının 1, 6, 10, 11, 12, 15 ve 17 nolu hedef yüzeyleri için diğer mesafelere göre (50, 100, 200 m) daha fazla olduğu gözlenmiştir.
- Spectra Focus 8 ile yapılan ölçülerde 400 m için hiçbir mesafe okuması yapılamamıştır. Bu durum Leica TS16 total station ile yapılan ölçüler ile arasındaki en önemli farktır. Böylece Leica TS16 total station'ı Spectra Focus 8'e göre yüksek mesafe (400m) okuma üstünlüğüne sahip olduğu söylenebilir.
- Lineer regresyon analizi için kullanılan STATA ile elde edilen sonuçlara göre, mesafe bir birim arttığında, hatanın .0000265 birim daha fazla olduğu gözlenmiştir.
- STATA ile yapılan analizlere göre; Spectra Focus8 cihazının , Leica TS16 'ya göre, istatistiksel olarak anlamlı miktarda daha fazla hata ürettiği ortaya saptanmıştır.

Kaynakça

- Aktuğ, B. (2022). *Uzunluk Ölçümleri*. https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/119281/mod_resource/content/0/7_Uzunluk_Olcmeleri.pdf adresinden alındı
- Alsaman, A., & Elsadig, A. a. (2008). Appraising Reflectorless Total Station Instruments. *J. King Saud Univ. Eng. Sci.*, 1-9.
- Anonim. (2022). Australian Govement/Bureau Home: http://www.bom.gov.au/australia/radar/about/phase_changes.shtml adresinden alındı
- Anonim. (2022). *Quality-One*. <https://quality-one.com/msa/> adresinden alındı
- Anonim. (2022). *Sistem A.Ş.* <https://www.sistemas.com.tr/haber?h=total-station> adresinden alındı
- Anonim. (2022). *Sistem A.Ş.* <https://www.sistemas.com.tr/urundetay?ktg=total-station&alt=aksesuar&k=2&ak=reflektorler&syf=1> adresinden alındı
- Bayoud, F. a. (2019). Leica's Pinpoint EDM Technology with Modified Signal Processing and Novel Optomechanical Features. <https://www.researchgate.net/publication/237647041>, 1-16.
- Beshr, A. a. (2011). Investigating The Accuracy of Digital Levels and Reflectorless Total Stations for Purposes of Geodetic Engineering. *Alexandria Engineering Journal*, 50(4), 399-405.
- Coaker, L. (2009, Ekim). Reflectorless Total Station Measurements and their Accuracy, Precision and Reliability. Leigh: University of Southern Queensland.
- Copley, M. (2019, Ekim 17). Comparison Between Robotic Total Station Reflectorless Measurement and Terrestrial Laser Scanning for Building Modelling. Leigh, United Kingdom: University of Southern Queensland.
- Deakin, R. (2016, Mayıs 17). EDM: Notes on Electronic Distance Measurement . Bonbeach VIC, Australia .
- Dissanyaka, P. a. (2021). Accuracy Analysis for Total Station Based on the Reflectorless Distance Measurement Using ANOVA. *14th International Research Conference*. Sri Lanka: General Sir John Kotelawala Defence University,.
- El-Din Fawzy, H. (2015). Evaluate The Accuracy Of Reflector-Less Total Station . *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 6, 23-30.
- Ersay, N. (tarih yok). aser Total Station Aletinin Rölöve Alımında Kullanımı. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Faried, Y. (2021). A New Approach for Surveying the Axis of Cylindrical Pipes Using a Reflectorless Total Station. *J.Appl.Geodesy*, 15(2), 135-142.
- Geethalankara, A., & Rupasinghe, A. a. (2016). Studying The Factors Affect For The Accuracy Of Reflectorless Total Station Observations. *Built Environment and Spatial Sciences*, 325–330.
- Haddad, N. a. (2007). 3D Laser Scanner and Reflectorless Total Station: A Comparative Study of the Slots of El-Khazneh at Petra in Jordan. *XXI International CIPA Symposium*. Athens.

- Hosking, A. (2009, Ekim). Investigation Into The Effectiveness Of Reflectorless Technologies On Structural Surveillance Monitoring. Leigh, United Kingdom: University of Southern Queensland.
- Höglund, R. a. (2005). *Direct Reflex Edm Technology For The Surveyor And Civil Engineer*. Dayton, Ohio: Trimble Engineering & Construction Group.
- Hubert Klug, C. (2019, Mart). Assistance for Measuring Human-Made Structures with Robotic Total Stations.(Doctoral Thesis). Graz, Austria: Graz University of Technology.
- Illade-Quinteiro, J., Víctor, M., López, P., & Cabello, D. a.-A. (2015). Distance Measurement Error In Time-Of-Flight Sensors Due To Shot Noise. *Open Access Sensors*, 15(3), 4624–4642.
- Israa, A. A.-Q., & Magda, H. E.-D. (2020). Surrounding Factors Influence on the Accuracy of. *Journal of Engg. Research*, 8(4), 45-62.
- James, J. (2016, Ekim). The Effect of Materials and Conditions on Reflectorless Electronic Distance Measurements from a Total Station. Leigh, United Kingdom: University of Southern Queensland.
- John, U. a. (2010). *Surveying for Engineers Third Editions*. London: Department of Civil Engineering University of Leeds.
- Kampouris, A. (2011). Study of The Reliability of Distances Measured with a Reflectorless Total Station Within Forest Land Survey, Using Different Types of Materials-Target. *Forestry Ideas*, 17(2), 221-227.
- Khalil, R. (2015). Accuracy Evaluation of Long-Range Reflectorless Distance Measurement. *Scientific Research Publishing Inc*, 6(3), 61–70.
- Kukhtar, D., Romaniuk, V., & Frankivsk, I. a. (2018). Modelling the Accuracy Equation of Sokkia 530RK Reflectorless Total Station due to Incident Angle on the Above-Ground Pipeline's Surface. 3, 197-216.
- Lenda, G. a. (2020). Influence of The Setback of Backgrounds Behind Semi-transparent Synthetic Targets on The Accuracy of Reflectorless Distance Measurements. *Survey Review*, 52(374), 463–472.
- Li, L. (2014 , Ocak). Time-of-Flight Camera – An Introduction. Dallas, Texas: Texas Instruments.
- Mazalová, J., & Valentová, K. a. (2009). Testing of The Accuracy of Leica TCRP 1201 Total Stations, Topcon GPT-7001 and Topcon GPT-8203M. *Acta Montanistica Slovaca*, 14(1), 69–74.
- Mohammed, S. I. (2021). Important Methods Measurements to Exam The Accuracy and Reliability of Reflector-Less Total Station Measurements. *Civil Engineering Science*.
- O.Walter, K. (2022). *Laser beam divergence and spot size*. Value: <https://vlab.amrita.edu/?sub=1&brch=189&sim=342&cnt=1> adresinden alındı
- Palojärvi, P., & Määttä, K. a. (2002). Pulsed Time-of-Flight Laser Radar Module with Millimeter Level Accuracy Using Full Custom Receiver and TDC Asics. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 51(5), 1102–1108.
- Reda, A. a. (2012). Accuracy Analysis And Calibration Of Total Station Based On The Reflectorless Distance Measurement School Of Architecture And The Built Environment (Master Of Science Thesis). School of Architecture and the Built Environment.

- Rick, J. W. (2018). Total Station. In *The Encyclopedia of Archaeological Sciences* (s. 1-3). içinde
- Sami and Ali Lecturer, H. (2016). An investigation into the Accuracy of Distance Measurements to an object with the Pulse (Non-Prism) Total Station. *Sulaimani Journal for Engineering Sciences*, 3, 51-3.
- Schofield, W. a. (2007). *Engineering Surveying*. Oxford, UK: Elsevier.
- Shirakawa, Y., & Yasutomi, K. a. (2020). An 8-Tap CMOS Lock-In Pixel Image Sensor for Short-Pulse Time-of-Flight Measurements. *Sensors*, 20(4), 1-16.
- Suchock, C. (2020). Comparison of Time-of-Flight and Phase-Shift TLS Intensity Data for the Diagnostics Measurements of Buildings. *Faculty of Civil Engineering Environmental and Geodetic Science*, 13(2), 1-18.
- Walker, J. a. (2020). *Surveying for Civil and Mine Engineers Acquire the Skills in Weeks Second Edition*. WA, Australia: Department of Spatial Sciences Curtin University Spatial Sciences Bentley.
- Waller, C. (1956). Field Use Of The Geodimeter. *The Journal of the Australian Institute of Cartographers*, 1(3), 107–115.
- Widjajantil, N., & Bambang, K. a. (2008). In Least-Squares Adjustment in Determining Zero Error (zo) of Reflectorless Total Station for Various Material Targets. I. Indarto içinde, *MEDIATEKNIK* (s. 253-260). Yogyakarta.
- Xia, Z., Yabo, L., & Yong, Z. a. (2006). Error Analysis Of A Reflector In Total Station Angle Measurement. *Third International Symposium on Precision Mechanical Measurements*, 1-5.
- Zámeníková, M., & Pegritz, H. (2014). Influence of the Incidence Angle on the Reflectorless Distance Measurement in Close Range. *6th International Conference on Engineering Surveying*, 257-262.
- Zeidan, Z. M., & Ashraf, A. a. (2015). Precision Comparison and Analysis of Reflector-less Total Station Observations. *Mansoura Engineering Journal*, 40(4).
- Zhao, L., & Wang, P. a. (2011). *Shape Measurement of Parabolic Antenna Using*. Fuxin, China: Liaoning Technical University.