

دانشکده مهندسی نقشه برداری

(ژئودزی و ژئوماتیک)

ترازیاب های رقومی

دانشجو: عبدالحسین حاجی زاده

شماره دانشجویی: 811224008

استاد: آقای مهندس جزیرئیان

فهرست

بررسی و مقایسه دقت و عملکرد ترازیابهای رقومی دقیق

LEICA, TOPCON, ZEISS

۱- سیستم های اندازه گیری ترازیاب های رقومی

۱-۱- الگوریتم های مربوط به استخراج اطلاعات بارکد در
ترازیاب های رقومی

۱-۱-۱ ترازیاب رقومی LEICA

۱-۱-۲ ترازیاب های رقومی TOPCON

۱-۱-۳ ترازیاب های رقومی ZEISS مدل DINI

۲- بررسی دقت ترازیاب های رقومی با استفاده از دستگاه های

قایم لیزر اینترفرومتری

۳ کالیبراسیون ترازیاب های رقومی Dini10

۳-۱ ترازیابهای رقومی NA3000, NA3003 کارخانه leica

۳-۲ خلاصه نتایج بررسی دقت ترازیاب رقومی با دستگاههای لیزر اینتر فرومتری

۴- عملیات آزمایشی بررسی دقت ترازیاب های Dini12 و N3

۴-۱ مقایسه ترازیاب 12 Dini با N3 در عملیات آزمایشی فنلاند

۴-۲ کنترل ترازیاب 12 Dini در عملیات آزمایشی کمیته ترازیابی دقیق

نتیجه گیری

۲ بررسی و مقایسه دقت و عملکرد ترازیابهای رقومی دقیق

LEICA, TOPCONM,ZEISS

۱- سیستم های اندازه گیری ترازیاب های رقومی

سیستم های اندازه گیری ترازیاب های رقومی ، شامل سه المان اصلی است . اولین بخش شاخص بار کد می باشد که به صورت کدهای سیاه و سفید است . اطلاعات بار کد ، بخش دوم سیستم اندازه گیری ترازیاب های رقومی را تشکیل می دهد، این اطلاعات ضمن عبور از هوای محیط ، تحت تاثیر انکسار ، تشعشع خورشید و... قرار دارد ، سومین قسمت تصاویر حاصل از بار کد است که در ترازیاب های رقومی ثبت و آنالیز می گردد(شکل ۱).

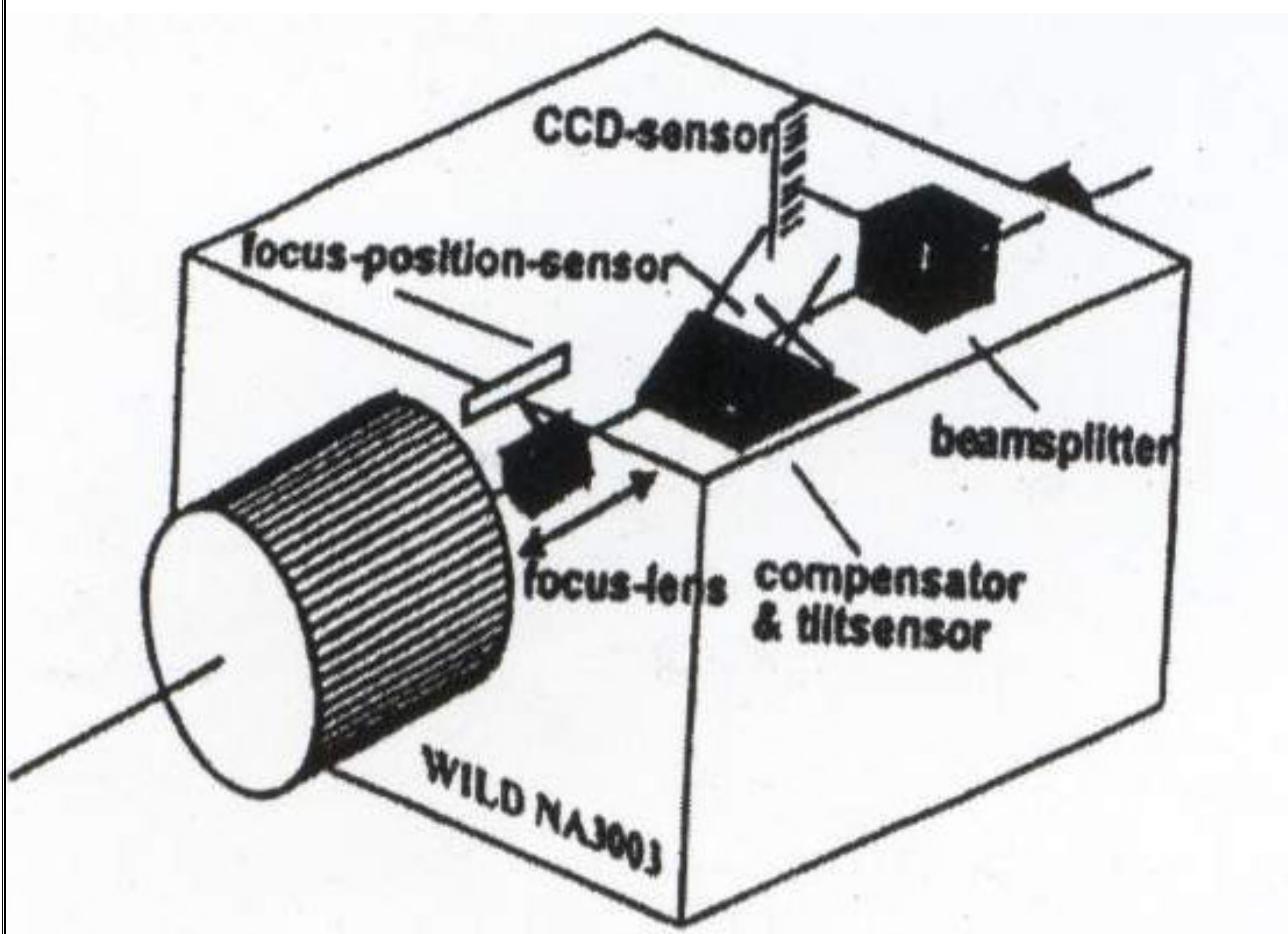


ترازیاب رقومی مجموعه‌ای است متشکل از دوربین رقومی و ترازیاب اتوماتیک و شامل تلسکوپ با تصویر قائم یک کمپانساتور (تعدیل کننده) جهت استقرار خط دیده گانی است. سنجنده تیلت نیز موقعیت کمپانساتور را کنترل می‌کند

و جدا کننده های پرتوها ، تصاویر شاخص را به آرایه های خطی CCD هدایت می کند. نرم افزار های پیشرفته ای نیز جهت تبدیل سیگنال سنجنده به دو گونه اطلاعات (ارتفاع و فاصله) مورد استفاده قرار می گیرد.

در مطالب فوق به اصول کلی حاکم بر ساختار ترازیاب های رقومی اشاره گردید.اما ترازیاب های رقومی با یکدیگر تفاوت های آشکاری دارند. عمدۀ اختلافات آنها به میدان کد ، دامنه اندازه گیری و دقت کمپانساتور مربوط می شود . به عنوان مثال ، یکی از مهمترین تفات های سیستم ترازیابی ZEISS(DINI) و

آن است که میدان کدی که در دوربینهای DINI استفاده می شود، همان تصویر 30cm بار کد است و اندازه این میدان مستقل از فاصله شاخص تا ترازیاب می باشد.در حالیکه ترازیاب های رقومی (NA3000) ، از زاویه ثابت دو درجه ای استفاده می کنند. از سوی دیگر ، الگوریتم های مربوط به استخراج اطلاعات بار کد در ترازیاب های رقومی نیز متفاوت است ،در ادامه ، مهمترین روش های استخراج اطلاعات تصویری در دوربین های رقومی بررسی می گردند.



شکل ۲- بخش‌های مختلف ترازیاب رقومی

۱-۱-الگوریتم های مربوط به استخراج اطلاعات بارکد در ترازیاب های رقومی

کد های موجود روی شاخص بارکد و نیز الگوریتم های مربوط به پردازش این کدها واستخراج اطلاعات لازم در ترازیاب های رقومی متفاوت است . به طور کلی، سه روش در استخراج اطلاعات لازم در ترازیاب های رقومی وجود دارد:
الف- روش همبستگی که در سری ترازیاب های لایکا به کار رفته گرفته شده است

ب- روش اندازه گیری موقعیت هندسی که در ترازیاب های زایس (سری DINI) استفاده می شود.

ج- روش اندازه گیری فاز که در ترازیاب های TOPCON مدل DL101/102 به کار گرفته شده است.

در ادامه به تشریح هر یک از این روشها در ترازیاب های مختلف می پردازیم.

۱-۱-۱ ترازیاب رقومی LEICA

در ترازیاب های لایکا ، از روش تعیین همبستگی دو بعدی کدهای شاخص استفاده و رقم مربوط استراج می شود . به بیان دیگر ، کدی که برای دستگاه تعریف شده است با سیگنال موجود در آرایه CCD وابستگی دارد و با استفاده از این همبستگی ، می توان ارتفاع و مقیاس را تشخیص داد.

وقتی تصویر شاخص بارکد وارد دوربین می شود ، هم از نظر ارتفاع و هم از نظر مقیاس تغییر می کند . تفاوت در ارتفاع بین ترازیاب و شاخص ، باعث تغییر کان

فایم کد می شود و حال آنکه مقیاس تصییر به صورت تابعی از فاصله تا شاخص ، تغییر می کند . بنابراین می توان تغییر در تصویر شاخص بارکد ناشی از ارتفاع و مقیاس را از هم تمیز داد . بطور متوسط ، برای اختلاف ارتفاع ۰ تا ۲.۵ متر بین شاخص و دوربین و فاصله ۱.۸ تا ۱۰۰ ، حدوداً " ۵۰۰۰۰ ضریب وابستگی وجود دارد که باید محاسبه و مقدار دهی گردد . باید افزود با به کارگیری تقریب های اولیه ، سرعت پردازش مزبور افزایش می یابد . همچنین در تراز یاب های لایکا مانند NA3003 ، تصویر برداری از شاخص با زاویه ثابت ۲ درجه انجام می گیرد . بنابراین هر چه فاصله بیشتر شود ، این بخش بزرگتر می گردد (شکل ۳)

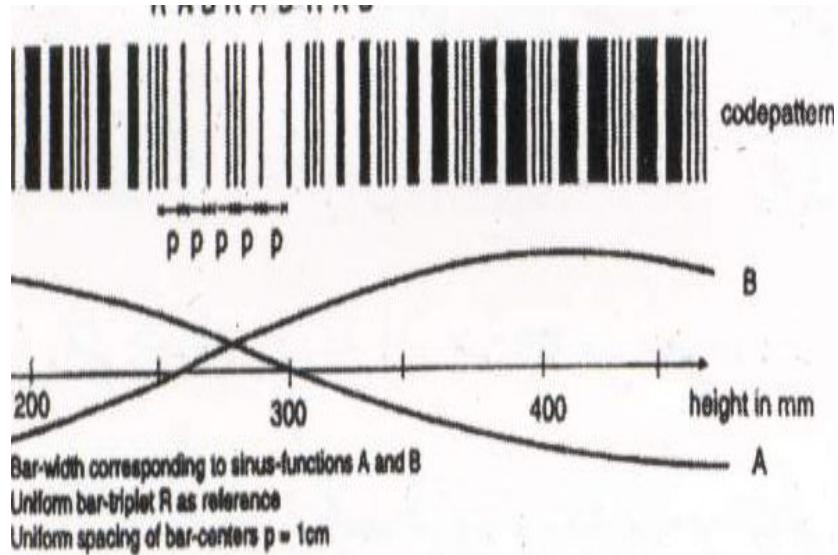


شکل ۳- بارکد تراز یابهای لایکا

2-1-1 تراز یاب های رقومی TOPCON

تراز یاب های TOPCON، از کدی با سه الگوی ساده پوششی استفاده می کند. الگوی مبنای R که نوار های سه گانه با فواصل 3cm هستند و بر روی شاخص قابل تشخیص است. الگوهای A, B نیز روی خطوط همسایه کدگذاری شده اند. این کدها به گونه ای شده اند که سیگنال سینوسی با طول موج مشخصی را شامل می شوند و در قسمت های مختلف شاخص با یکدیگر اختلاف فاز دارند. با ترکیب فرکانس و فاز این سه الگو، می توان ارتفاع و فاصله را تعیین نمود. باید توجه داشت که فرکانس و فاز این سیگنال با روش FFT استخراج می شوند. (شکل ۴)

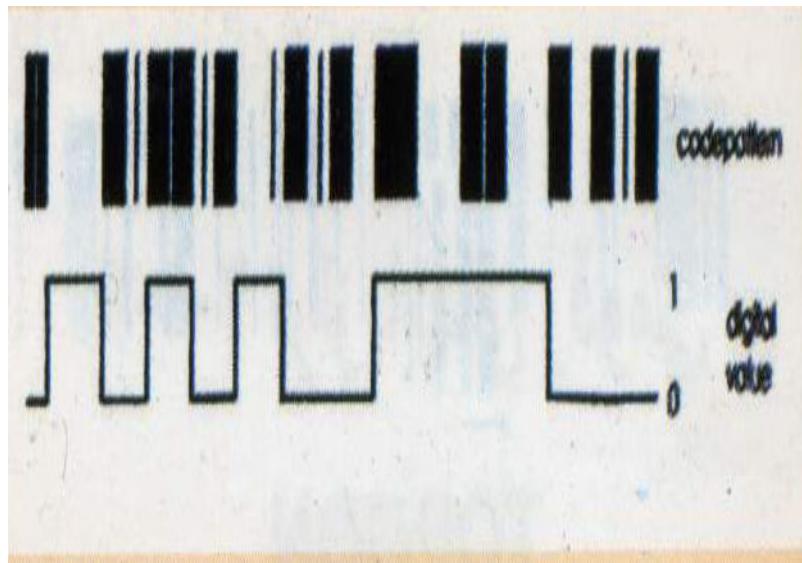
(Fast Fourier Transformation)



شکل ۴-بارکد ترازیاب های TOPCON

3-1-1- ترازیاب های رقومی DINI مدل ZEISS

سیستم ترازیاب های رقومی Dini ساخت کارخانه Zeiss، مبتنی بر اندازه تصویر 30cm از شاخص بارکد می باشد. کدهای روی شاخص بصورت الگوهای 2cm ساخته و به حالتی تنظیم شده اند که موقعیت نامعلوم تصویر با حداقل بخش 30cm بارکد معین می گردد(شکل ۵).



شکل ۵- بارکد ترازیاب های Zeiss

2- بررسی دقیق ترازیاب های رقومی با استفاده از دستگاه های قائم لیزر اینترفرومتری

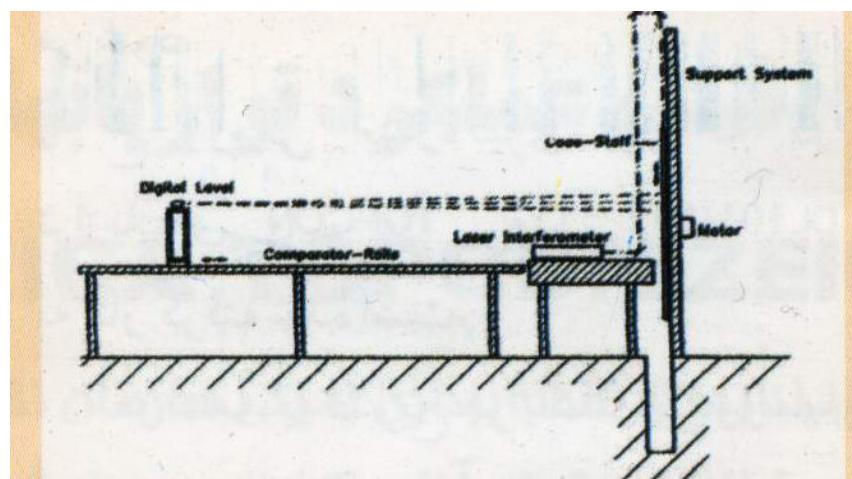
پیش از بررسی ادعای کارخانه های سازنده ترازیاب های رقومی ، لازم است بخش های مختلف دستگاه های کالیبراسیون لیزر اینتر فرومتری که به همین منظور طراحی شده اند معرفی گردد.

دستگاه های قایم لیزر اینتر فرومتری ، جهت کالیبراسیون شاخص دوربین از دو قسمت اصلی تشکیل یافته اند :

۱- کمپاراتور قایم به طول سه متر ، به طوری که شاخص به صورت قایم روی ریل موجود در بدنه آن جابجا شود.

۲- منبع لیزر اینتر فرومتر که به در نزدیکی شاخص قرار داده می شود و شاخص را با دقت ۲ میکرون کالیبره می کند(شکل ۶) دمای آزمایشگاه کالیبراسیون برابر $20^{\circ}\text{C} \pm 0.5$ ثابت می باشد.

در آزمایشگاه اندازه گیری TUG(دانشگاه فنی گراز اتریش)، دو نوع مختلف از تراز یاب های رقومی مورد آزمایش قرار گرفته اند : ترازیاب های رقومی Dini10 کارخانه زایس و تراز یاب های رقومی NA3000 و NA3003 کارخانه لايكا.



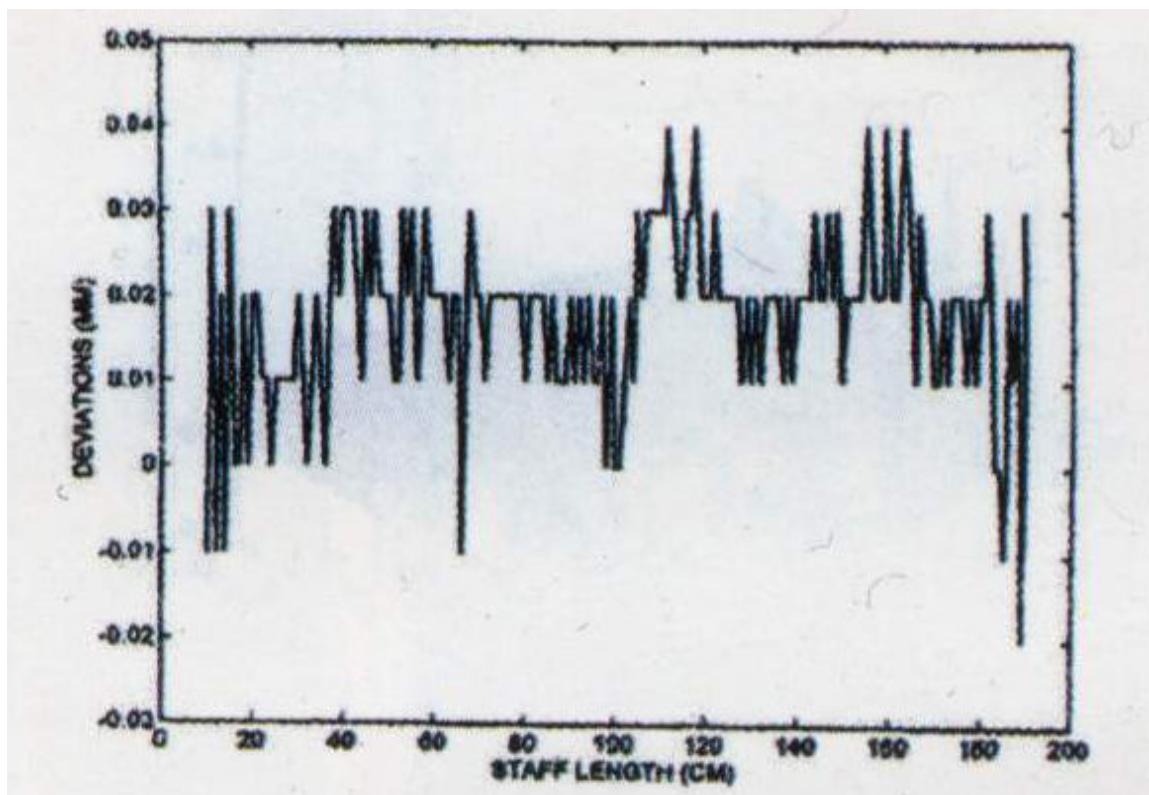
شكل ٦ سیستم کالیبراسیون لیزر اینترفرومتری

پیش از بررسی نتایج کالیبراسیون دوسیستم فوق ، مشخصات فنی برخی از ترازیاب های رقومی در جدول زیر، ارایه می گردد.

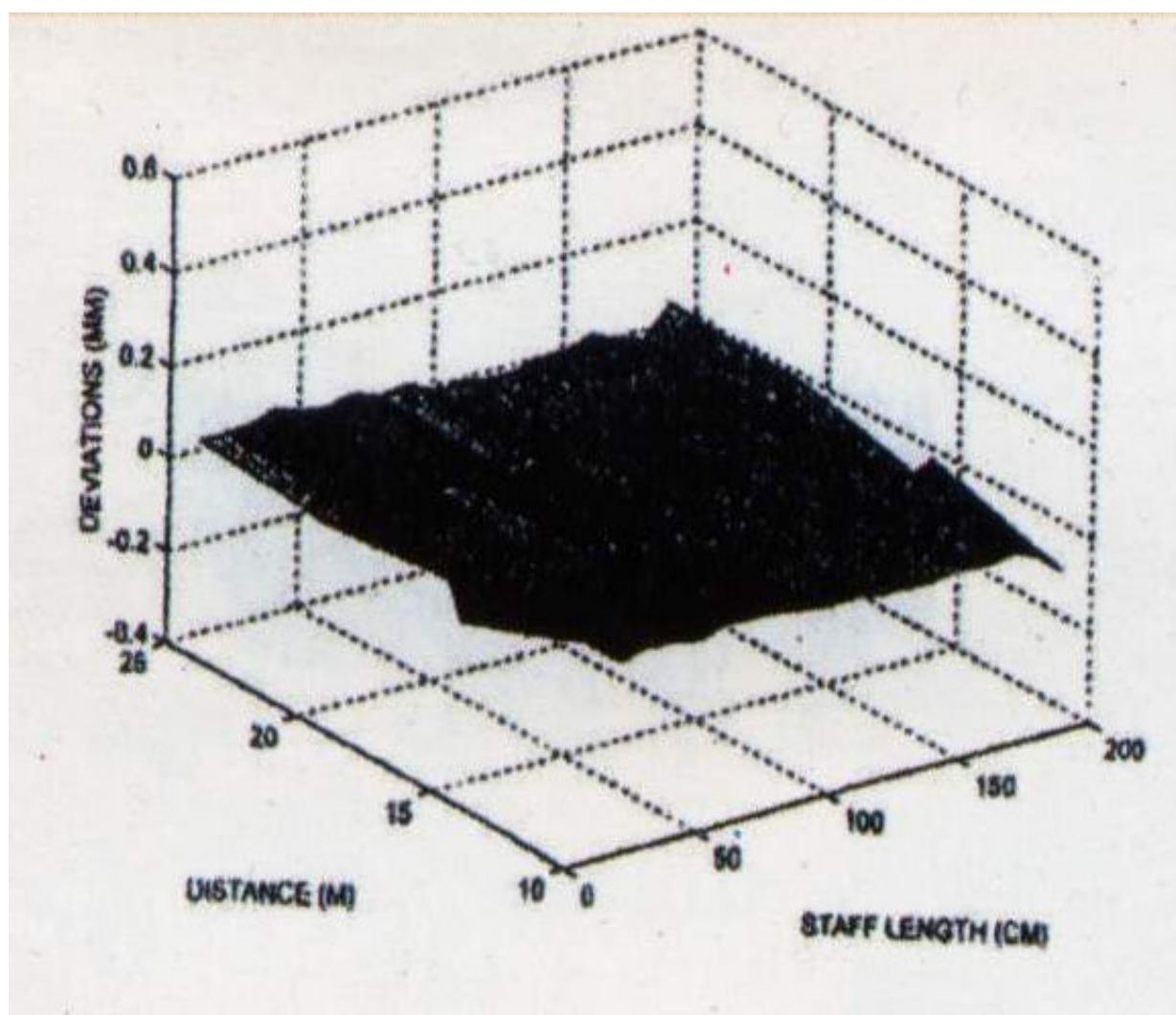
نوع دستگاه	Topcon DL102	Wild NA3003	Zeiss Dini10
دقت ترازیابی	0.4mm	0.4mm	0.3mm
حد تشخیص فاصله	1cm	1cm	1cm
کمپانساتور و نوع	پاندولی	پاندولی	پاندولی
دقت عمل	0.3" -15,+15	0.3" -15,+15	0.2" -15,+15
زمان اندازه گیری	ثانیه 4.5	ثانیه 4.5	ثانیه 4.5
صفحه نمایش	دارد	دارد	دارد
وزن+باطری	2.8 kg	2.5 kg	3.0 kg cm ٣٠ حداقل
میدان دید	—	2 درجه	بارکد
ظرفیت ذخیره داده	2400	500	2000

1-3 کالیبراسیون ترازیاب های رقومی Dini10

در آزمایشگاه تنظیم دستگاه های TUG، ترازیاب Dini10 با شاخص های ۲ متری و فواصل ۱۰ تا ۲۵ متری کنترل و آنالیز گردید، همانطور که از شکل ۷ و ۸ ملاحظه می گردد



شکل 7 نتایج انحرافات Dini10 در فاصله ۲۰ و فاصله نمونه گیری ۱۰ میلیمتری



شکل ۸ اندازه انحرافات ترازیاب Dini10

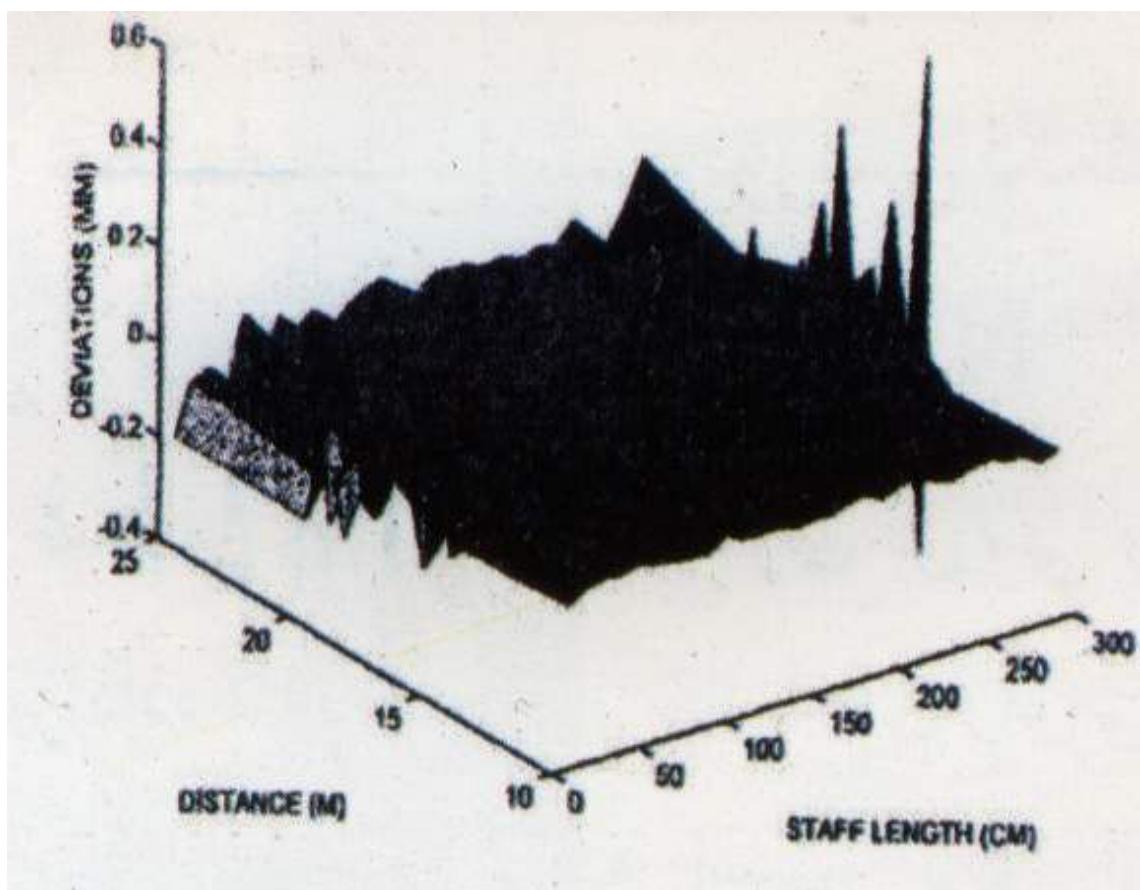
اندازه انحرافات (که اختلاف بین سیستم قرایت قایم کپاراتور و آنچه با ترازیاب Dini اندازه گیری شده است)، در کلیه فواصل کوچکتر از 0.1mm است و خطای RMS محاسبه شده در سرتاسر شاخص حدود 0.02mm است. همچنین این مشاهدات با پوشش های 0.5mm و 10mm نیز تکرار گردید.

نتایج این اندازه گیری ها بیانگر آن است که خطاهای واقعی اندازه گیری در تمامی حالات کمتر از 0.06mm می باشد. نتیجهنهایی این تست کالیبراسیون، تایید ادعای کارخانه سازنده در مورد دقت ترازیاب های Dini است.

2-3 ترازیابهای رقومی leica NA3000,NA3003 کارخانه

جهت تست ترازیاب های رقومی لایکا در آزمایشگاه TUG، دو نمونه ترازیاب NA3000,NA3003 با شاخص های سه متری کنترل و تنظیم گردید و دامنه فواصل اندازه گیری دور بین تا شاخص ، به طور متغیر 10 الى 25 در نظر گرفته شد.

انحراف مشاهدات انجام گرفته با دور بین ، با مقادیر واقعی حاصل از روش اینترفرومتری در شکل (9) آورده شده است.

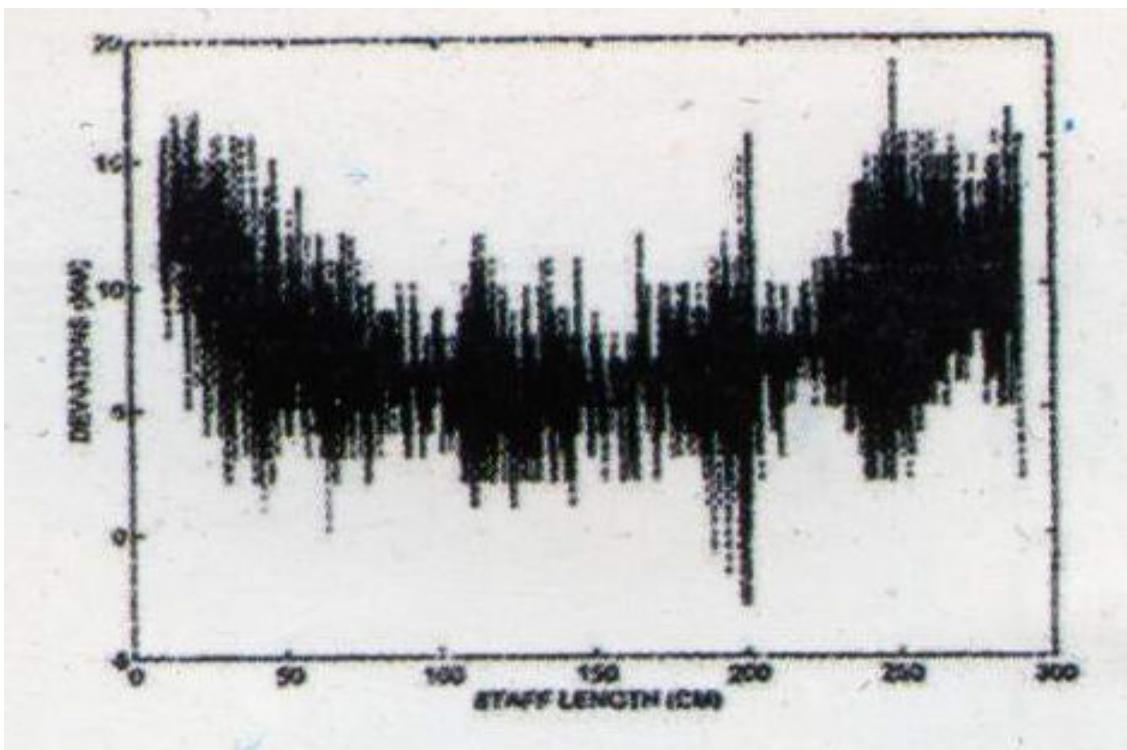


شکل ۹ اندازه انحرافات ترازیاب NA3003

با توجه به این شکل ، بیشترین انحراف در فاصله حدود 14.9 متری مشاهده می شود . علت این اختلاف آن است که اصولاً " در فاصله 15 ، تصویر طول Chip که به اندازه 2.025 می باشد، پس از عبور از عدسی دوربین به طول پیکسل در CCD (یعنی 25μ) نزدیک است و این مساله باعث انحراف تصویر در این فاصله می گردد.

به دلیل بارز بودن این اثر ، چندین تست و آزمایش دیگر در فواصل 9/14/15 متری شاخص انحرافات گرفت . آنچه از این تست ها مشخص گردید ، بیانگر آن است که اثر مذبور در فاصله اندازه گیری 97/14 متری شاخص روی می دهد . گفتنی است که یک سری انحرافات بزرگتر در ارتفاع 2 متری شاخص روی می دهد که منبع این خطا تاکنون مشخص نگردیده است .

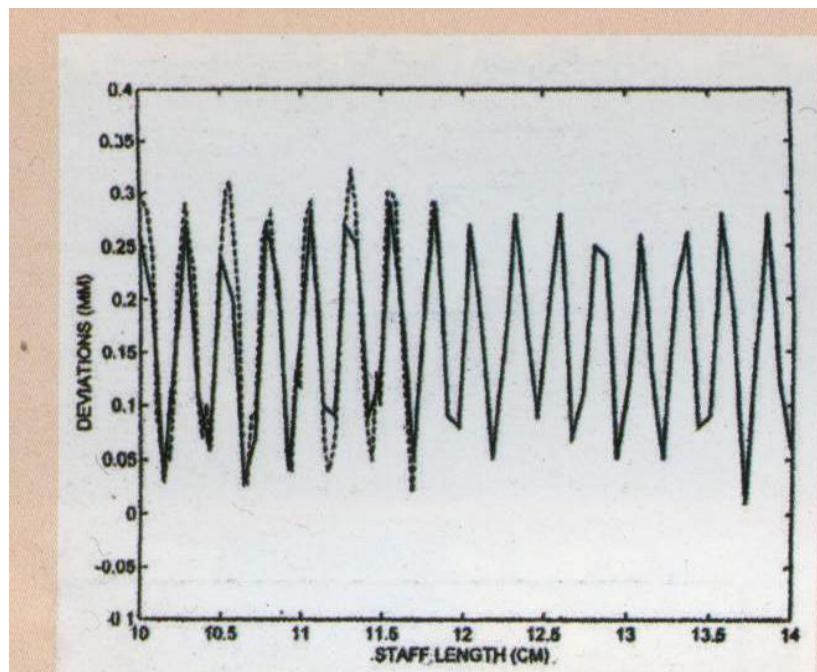
شکل 10 ، نتایج نمونه برداری 2 میلیمتری در فاصله 19 متری ترازیاب تا شاخص را نشان می دهد . با توجه به این شکل ، می توان یک سری نوسانات پریودی را تشخیص داد .



شکل ۱۰ نتایج انحرافات NA3003 در فاصله ۱۹ متری و فاصله نمونه گیری ۲ میلیمتری

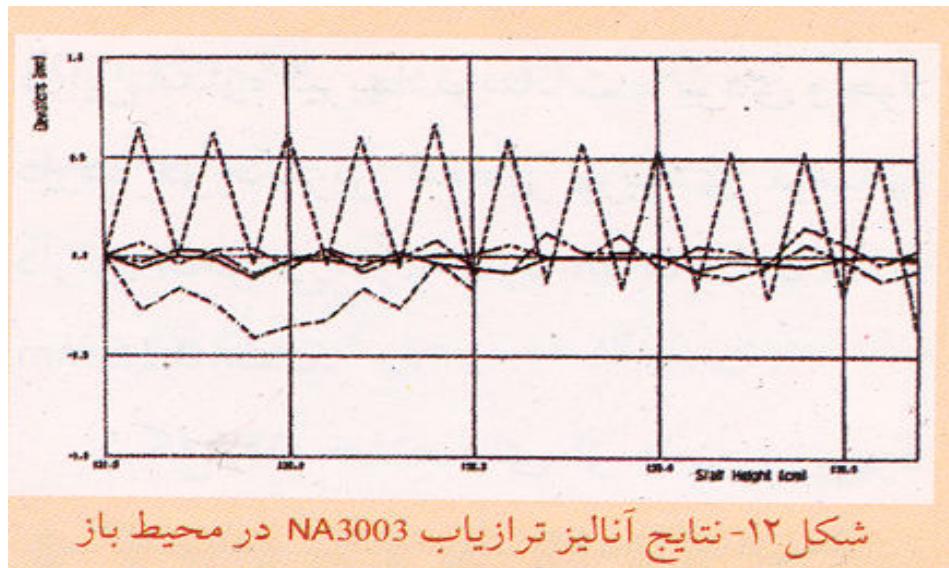
باید توجه داشت که در اینجا نیز نمونه های 2 میلیمتری نمی توانند مقادیر واقعی را بیان نمایند ولذا نمونه برداری در فواصل 0.7mm, 0.25 mm, 0.15mm نیز انجام گرفت.

شکل 11 نتایج این دو اندازه گیری را نشان می دهد. همانطور که ملاحظه می شود در این اندازه گیری ها، نوسانات پریودی وجود دارد. کوچکترین مقادیر پریودی نوسان ها دارای انحرافی در حدود 2.5 mm با دامنه 0.15mm است.



شکل ۱۱- نتایج انحرافات NA3003 در فاصله ۱۹ متری و
فاصله نمونه گیری ۰/۲۵ و ۰/۱۵ میلیمتر

شکل 12 ، خلاصه ای از دامنه و پریود نوسانات طیف حاصل در فاصله های مختلف را نشان می دهد. پریود 1-2mm قابل تشخیص است و دامنه این نوسانات پریودی در همه فاصله بجز فاصله 15m زیر 0.2mm میباشد.



شکل ۱۲- نتایج آنالیز ترازیاب NA3003 در محیط باز

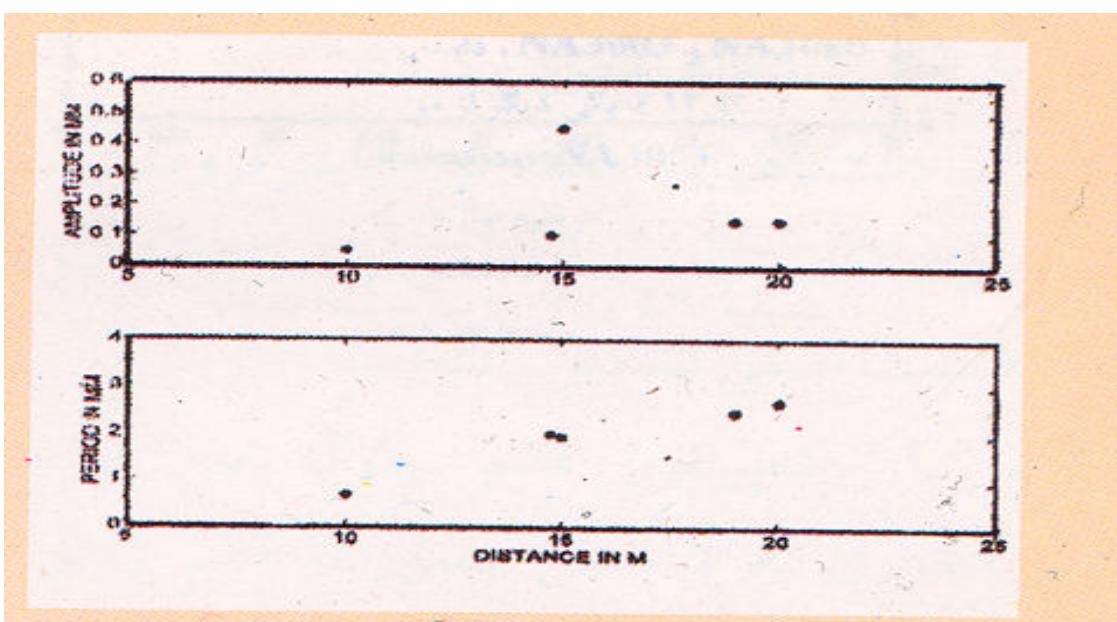
شکل های 13,14 نتایج آنالیز طیفی مشاهدات انجام شده را نشان می دهد. طیف حاصل بیانگر یک تیزی 6 آشکار برای اندازه گیری های انجام گرفته است. این دستگاه ها در وضعیت بیرون آزمایشگاه نیز تست و آزمایش شدند. انتظار می رفت که به دلیل اختشاشات جوی، این اثر سیستماتیک به صورت تصادفی ظاهر گردد. اما نتایج این آزمایش، الگوی پریودی مشاهدات را تایید می کند.

3-3 خلاصه نتایج بررسی دقیق ترازیاب رقومی با دستگاههای لیزر

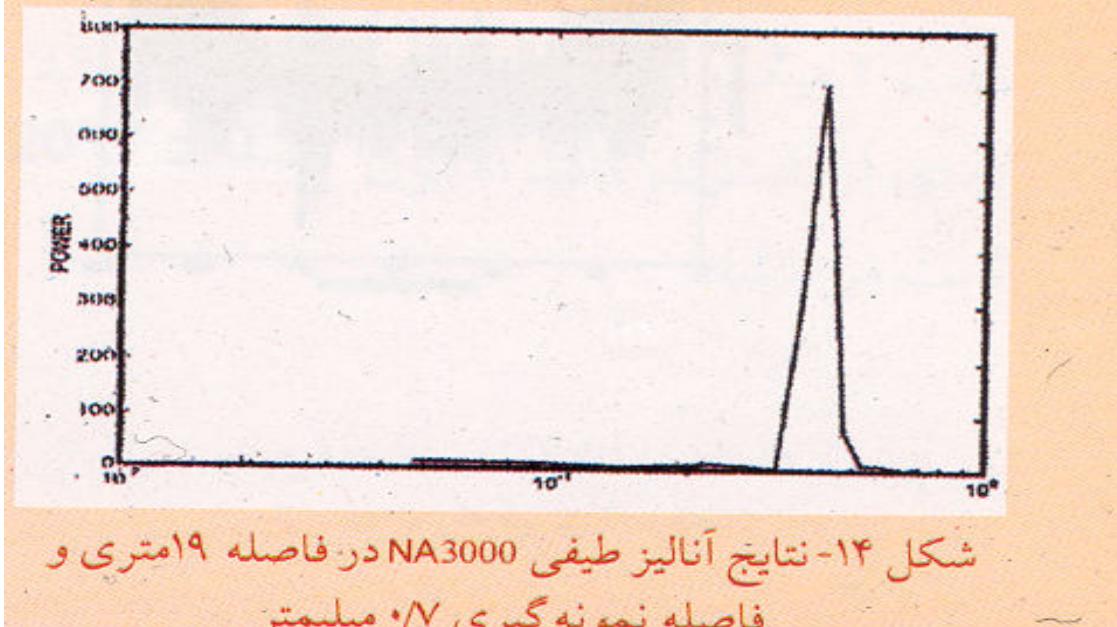
اینتر فرومتری

نتایج کالیبراسیون تحت وضعیت آزمایشگاهی و در فاصله دیدگانی 20 متری نشان می دهد که دقیق قرایت ترازیاب رقومی Dini10، 0,017 و ترازیاب NA3000 برابر 0,032 mm می باشد.

در سیستم ترازیابی NA3000 و NA3003 دامنه و پریود اثرات پریودی دستگاهی وابسته به فاصله می باشد(شکل 13) . یکی دیگر از مواردی که مورد بررسی قرار گرفت دقت ترازیاب های NA3000 و NA3003 بود که 0.27 میلیمتر برای یک کیلومتر ترازیابی رفت و برگشت بدست آمد و با ادعای کارخانه سازنده سازگاری داشت ، ولی مشخصه مربوط به قرایت انفرادی شاخص (تک قرایت) در آزمایشگاه تایید نشد. از سوی دیگر ، کلیه مشخصات فنی ای که کارخانه در مورد ترازیاب Dini 10 ارایه کرده ، در آزمایشگاه تایید نشد.



شکل ۱۳- خلاصه‌ای از نتایج آنالیز طیفی NA3003



شکل ۱۴- نتایج آنالیز طیفی NA3000 در فاصله ۱۹ متری و
فاصله نمونه گیری ۰/۷ میلیمتر

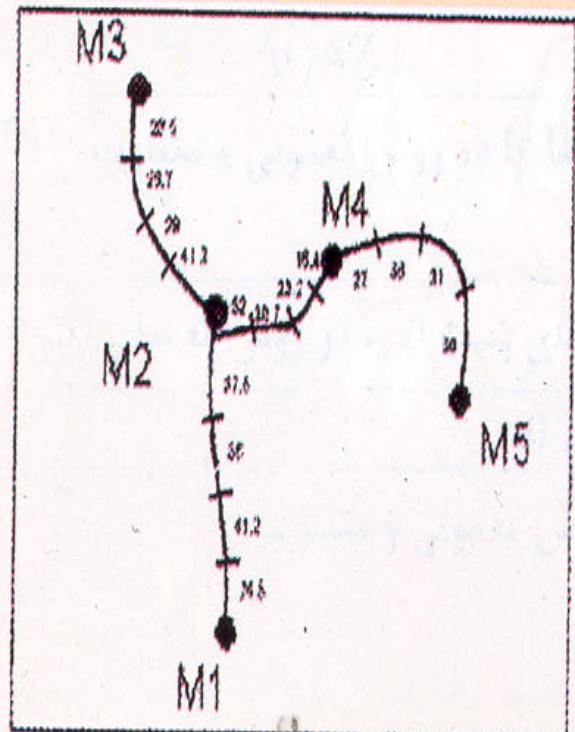
4-عملیات آزمایشی بررسی دقت ترازیاب های N3 و Dini12

تست های زمینی مختلفی برای بررسی و آنالیز داده های حاصل از ترازیاب های رقومی و اپتیکی انجام گرفته است . یکی از موسساتی که دقت ترازیاب های رقومی 12 Dini و ترازیاب های اپتیکی N3 را مقایسه نموده ، موسسه ژیودتیک فلاند FGI:Finland Geodetic Institute می باشد.

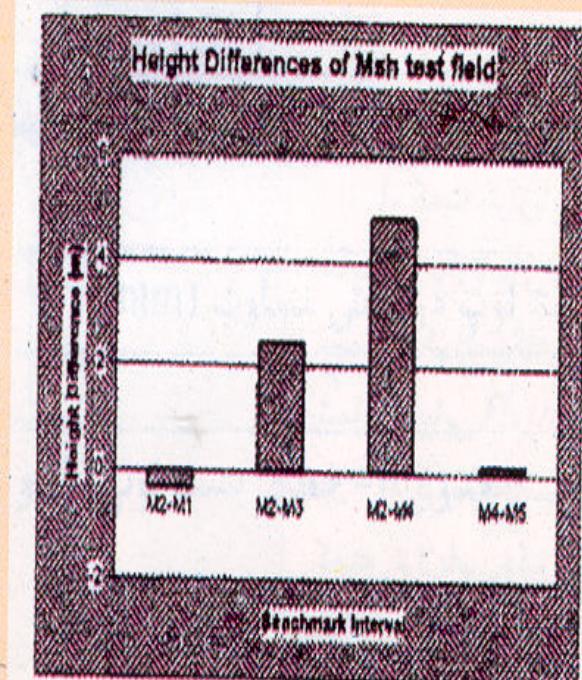
که نتایج قابل توجهی به دست آورده است . در همین راستا، کمیته ترازیابی دقیق سازمان نقشه برداری کشور نیز ، مطالعات تیوری و عملی در مورد دقت این دستگاهها و مقایسه آنها انجام داده است در زیر خلاصه ای از مراحل اجرایی موسسه ژیودتیک فلاند و گروه ترازیابی دقیق سازمان نقشه برداری کشور ، ارایه می گردد.

1-4 مقایسه ترازیاب N3 با Dini 12 در عملیات آزمایشی فلاند

برای مقایسه و همچنین تعیین دقت دستگاه Dini12 عملیات تست زمینی برای هر دو ترازیاب به طور همزمان انجام گرفت . محدوده عملیاتی ، یک منطقه جنگلی در قسمت جنوبی فلاند ، انتخاب گردید . در این منطقه پنج ایستگاه ژیودتیکی وجود دارد . مسیر ترازیابی قسمتی شنی و قسمتی سنگی و طول مسیر ترازیابی 0.098 بود (شکل های 15, 16) در محل قرار گیری شاخص ها ، پایه های مخصوصی قرار گرفته بود که میر ها در آن پایه ها به طور عمودی مستقر می گردید . بدین ترتیب علاوه بر آنکه اندازه گیری بین ایستگاهها به طور همزمان انجام گرفت ، دهانه ها نیز به طور همزمان قرایت می گردید . نتایج مربوط به این قطعات ، در جدول زیر آمده است .



شکل ۱۶- منطقه تست فیلد Metsahovi فنلاند



شکل ۱۵- اختلافات ارتفاع هر خط ترازیابی در تست فیلد
Metsahovi

Interval	Zeiss Dini12			Wild N3		مقایسه	
	L (m)	HD (mm)	STDEV (mm)	HD (mm)	STDEV (mm)	DIFF (mm)	STDEV (mm)
1=M ₂ -M ₁	278	- 323.348	± 0.15	- 323.265	± 0.244	-0.083	0.289 ±
2=M ₂ -M ₃	246	2416.30 7	± 0.125	2416.29 0	± 0.230	0.017	0.247 ±
3=M ₂ -M ₄	208	4857.29 0	± 0.119	4857.25 0	± 0.120	0.040	0.169 ±
4=M ₂ -M ₅	252	135.816	0.112 ±	135.802	± 0.169	0.014	0.203 ±
مجموع	982						
متوسط	246		0.129 ±		± 0.192	0.0385	0.231 ±

جدول ۲- مشخصات پارامترهای اندازه گیری در عملیات آزمایشی فنلاند

در جدول فوق L طول مسیر و HD متوسط اختلاف ارتفاع ، STDEV انحراف معیار و DIFF اختلاف بین اختلاف ارتفاعات حاصل از Dini12 و WildN3 است.

انحراف معیار بدست آمده برای هر یک از دستگاهها به صورت زیر محاسبه شد:

$$S_{Zeiss\ Dini\ 12} = \pm 0.26^{\text{mm}} / \sqrt{Km}$$
$$S_{Swan\ 3} = \pm 0.39^{\text{mm}} / \sqrt{Km}$$

4-2 کنترل ترازیاب Dini12 در عملیات آزمایشی کمیته ترازیابی

دقیق

به منظور کنترل ترازیاب های رقومی Dini از نظر وجود خطاهای سیستماتیک دستگاهی ، ترازیابی آزمایشی با دو ترازیاب Dini12 و با دو روش مختلف صورت گرفت. مشاهدات بر روی مسیر های AQ24,AQAZ,AQ34 در حاشیه سد لتيان و لواسانات انجام گرفت که یک لوپ را تشکیل می دهند(شکل ۱۷).منطقه عملیات ،کوهستانی با هوای نسبتاً "سرد بود،به طوری که دمای محیط در اوایل کار 10-20 درجه سانتیگراد و اواخر کار 0-10 درجه سانتیگراد نوسان می کرد.ترازیاب های بین دو میر (عقب و جلو)همزمان مستقر شدند و همزمان نیز مشاهدات صورت گرفت.خطای مجاز بین رفت و برگشت بیش از $3\text{mm}/\sqrt{k}$ در نظر گرفته شد(k طول مسیر ترازیابی به کیلومتر است).

نتایج مشاهدات لوپ و مسیر ها در جداول زیر آمده است.

نام مسیر	خطای بست لوپ در روش معمولی (mm)	خطای بست لوپ در روش متناوب (mm)
AQ34	-5.32	-6.79
AQ24	-1.46	-1.69
AQAZ	-11.31	-2.09

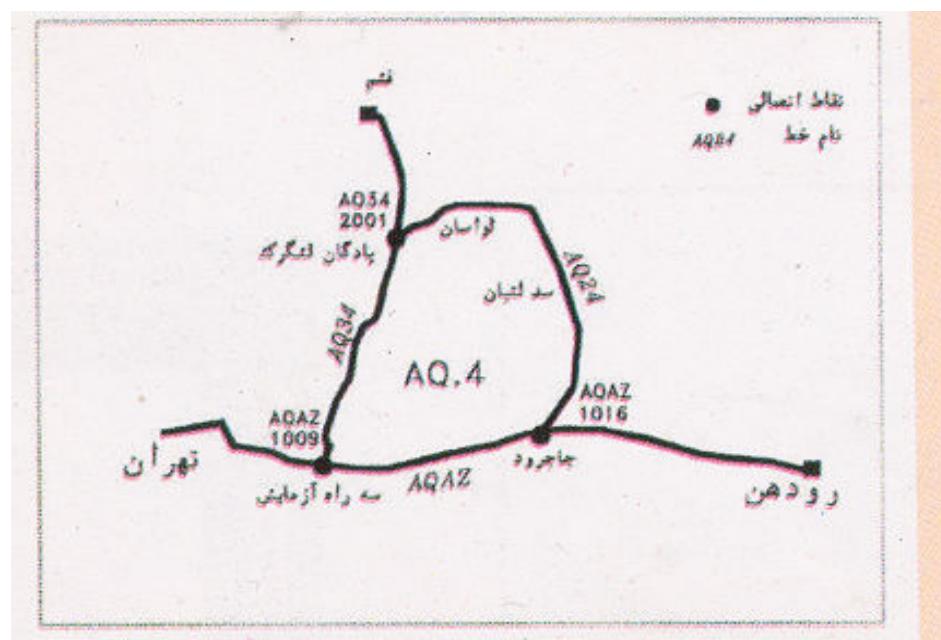
خطای رفت و برگشت ترازیابی مسیرها، با دو روش معمولی و متناوب

خطای رفت و برگشت ترازیابی مسیرها با دو روش معمولی و متناوب

خطای بست لوپ در روش معمولی (mm)	خطای بست لوپ در روش متناوب (mm)
-0.28	-1.67

جدول ۴- خطای بست لوپ با دو روش معمولی و متناوب

مشاهدات حاصل، تحت تست های آماری و تجزیه و تحلیل های مختلف قرار گرفت. نتایج به دست آمده گواه آن است که نوعی خطای سیستماتیک دستگاهی وجود دارد که با تغییر روش قرایت به صورت متناوب تا حدودی مرتفع می گردد.



شکل ۱۷- منطقه عملیات ترازیابی آزمایشی با Din112

نتیجه گیری :

با استناد به گزارش های مراکز تحقیقاتی ،می توان اظهار داشت که دقت قرایت ترازیاب رقومی Dini10 برابر 0.017mm است، و ترازیاب NA3003 برابر 0.032mm می باشد. همچنین حاصل تست های مربوط به بررسی دقت ترازیاب های NA3003,NA3000 با دستگاه های لیزر اینترفرومتری ادعای کارخانه سازنده را تایید نمود و دقت 0.032mm برای یک کیلومتر ترازیابی رفت و برگشت بدست آمد .اما مشخصه مربوط به قرایت انفرادی شاخص (تک قرایت) در آزمایشگاه تایید نشد. همچنین در فاصله دیدگانی 14.9 متری نوعی خطای سیستماتیک در ترازیاب های NA3003,NA3000 وجود دارد از سوی دیگر مطابق همان آزمایشگاه ، کلیه مشخصات فنی ارایه شده کارخانه زایس در مورد ترازیاب Dini10 مورد تایید قرار گرفت.