

فصل

سوم

# فاصله یابی



فاصله یابی لیزری (بدون منشور)

## هدف‌های رفتاری

پس از آموزش و مطالعه این فصل از فراگیرنده انتظار می‌رود بتواند:

- ۱- روش استادیتری برای تعیین فاصله افقی را توضیح دهد.
- ۲- رابطه تعیین فاصله از طریق استادیتری را به دست آورد.
- ۳- اندازه‌گیری فاصله از روش پارالاکتیک را توضیح دهد.
- ۴- نحوه کار دستگاه‌های فاصله‌یاب الکترونیکی را توضیح دهد.

## مطالب پیش نیاز

قبل از مطالعه این فصل از فراگیرنده انتظار می‌رود با مطالب زیر آشنا باشد:

- ۱- آشنایی با فصول ۲، ۳، ۴ و ۵ کتاب «مساحی»
- ۲- آشنایی با فصل اول کتاب «کارگاه محاسبه و ترسیم ۱»

## اندازه‌گیری فاصله



### مفاهیم کلیدی

فاصله‌یابی  
Distance Measurement  
فاصله افقی  
Horizontal Distance  
استادیمتری  
Stadimetry  
پارالاکتیک  
Parallactic  
منشور  
Prism

### مقدمه

ابداع دستگاه‌های الکترونیکی اندازه‌گیری فاصله و تکامل آنها انقلابی در تمام کارهای نقشه‌برداری به وجود آورد، به طوری که لازم گردید در روش‌ها و معیارهای نقشه‌برداری تجدید نظر شود. با ابداع این دستگاه‌ها نقشه‌برداران توانستند فاصله را نیز مانند زاویه، با دقت و سرعت زیادی اندازه‌گیری کنند. استفاده از دستگاه‌های طول‌یاب الکترونیکی امروزه چنان گسترش پیدا کرده است که حتی تصور نقشه‌برداری بدون آن امکان‌پذیر نیست.

در این فصل ابتدا به یادآوری کلیاتی از روش‌های مستقیم و کلاسیک در اندازه‌گیری فاصله خواهیم پرداخت. سپس اصول اندازه‌گیری فاصله به روش الکترونیکی را فرا گرفته و با انواع طول‌یاب‌های الکترونیکی و خطاهای آنها آشنا خواهیم شد.

### بیشتر بدانیم

در سال گذشته و در درس «مساحی» با روش‌های ساده اندازه‌گیری فاصله آشنا شدید.  
در مورد این روش‌ها تحقیقی انجام داده و در کلاس درس ارائه نمایید.

### ۳-۱- یادآوری

همانطور که در کتاب مساحی سال قبل خواندید، یکی از روش‌های اندازه‌گیری فاصله، روش مستقیم می‌باشد. این روش از آن جهت مستقیم نام دارد، که فاصله بین نقاط در روی زمین به طور مستقیم اندازه‌گیری می‌شود.

مترکشی: استفاده از نوار اندازه‌گیری (متر) متداول‌ترین روش مستقیم اندازه‌گیری فاصله



شکل ۳-۱- چند نفر در حال مترکشی در زمین شیب‌دار

است. به عمل اندازه‌گیری فاصله با متر اصطلاحاً مترکشی می‌گویند. اما برای رسیدن به صحت و دقت مطلوب در مترکشی، رعایت یک سری اصول عملی الزامی است، که در زیر شرح داده می‌شوند.

اصول مترکشی عبارت‌اند از:

- ۱- از سالم بودن و کامل بودن متر و تجهیزات جانبی اطمینان حاصل کنیم.
- ۲- متر باید به صورت افقی بین دو نقطه کشیده شود. در این حالت متر با ژالن‌های قائم مستقر شده در دو سر فاصله، زاویه  $90^\circ$  درجه می‌سازد.
- ۳- نقطه صفر متر در مترهای مختلف متفاوت می‌باشد. دقت شود که صفر متر اشتباه در نظر گرفته نشود.
- ۴- در بعضی از مترها بخصوص مترهای پارچه‌ای و پلاستیکی دو طرف متر درجه‌بندی شده است. به طوری که یک طرف بر حسب واحد متریک و طرف دیگر بر حسب فوت و اینچ می‌باشد. هنگام اندازه‌گیری دقت شود که به جای واحد متریک، اشتباهاً واحد فوت و اینچ قرائت نشود.
- ۵- در هنگام مترکشی متر باید کاملاً کشیده و بدون شینت (شکم دادن متر) و پیچ‌خوردگی باشد.
- ۶- در مترهای پارچه‌ای و پلاستیکی دقت شود که متر بیش از اندازه کشیده نشود تا مقدار واقعی آن، دقیق نمایش داده شود.
- ۷- به منظور حذف اشتباهات و تعدیل خطاهای اتفاقی، اندازه‌گیری‌ها با تکرار و به صورت رفت و برگشت انجام گیرد.
- ۸- دقت شود اعداد، اشتباه قرائت و یا نوشته نشود.

۹- بعضی از مترها تا میلی‌متر و بعضی تا سانتی‌متر درجه‌بندی شده‌اند. دقت شود اعداد متناسب با دقت متر موجود در نظر گرفته شود.

۱۰- هنگام قرائت متر عدد روی متر از بالا و به صورت کاملاً مستقیم دیده شود.

۱۱- فاصله‌های بلندتر از متر موجود باید ابتدا به دهنه‌های کوچک‌تر از متر تقسیم و امتدادگذاری شوند. سپس هر کدام از این دهنه‌ها اندازه‌گیری شده و در نهایت اندازه فاصله بلندتر از متر، از جمع کردن فاصله‌ها در دهنه‌های کوچک حاصل می‌شود.

### بیشتر بدانیم

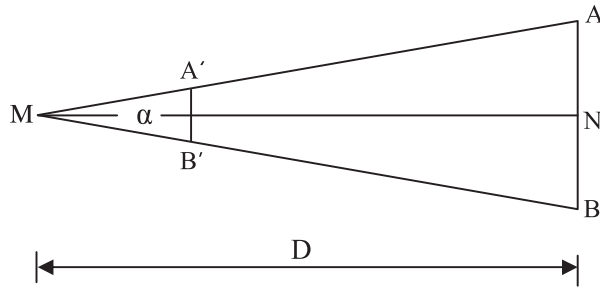
تاریخچه اندازه‌گیری طول: اندازه‌گیری طول در جامعه بشری قدمتی بس طولانی دارد و انسان در همه امور زندگی و کار، ناگزیر از اندازه‌گیری ابعاد، اشیاء و عوارض محیط اطرافش بوده است.

در گذشته‌های دور، وسایل و ابزار دقیقی برای اندازه‌گیری طول وجود نداشته و واحدهای اندازه‌گیری طول نیز به صورت بومی و محلی تعریف می‌شدند و مورد استفاده قرار می‌گرفتند.

مثلاً برای اندازه‌گیری طول‌های کوچک از «وجب» (اندازه یک پنجه باز دست انسان) یا «گز» (اندازه گام انسان) استفاده می‌شد و برای مسافت‌های بلند از واحد «شبانه‌روز» یا «منزل» (مسافتی که کاروان شتر در یک شبانه‌روز طی می‌کرد) استفاده می‌کردند.

### ۳-۲- روش‌های کلاسیک اندازه‌گیری فاصله

گرچه اندازه‌گیری فاصله با متر با رعایت اصول مترکشی از دقت کافی برخوردار است ولی به علت وقت‌گیر بودن و به این علت که برای تهیه نقشه‌های متوسط و کوچک مقیاس لزومی ندارد که همه طول‌ها با دقت خیلی زیاد اندازه‌گیری شوند، بنابراین روش‌های مختلفی ابداع شد که به کمک آنها می‌توان به طور غیر مستقیم فاصله بین دو نقطه را با دقتی کمتر از مترکشی ولی به مراتب سریع‌تر از آن اندازه‌گیری کرد. از جمله این روش‌ها که در گذشته کاربرد فراوان داشته‌اند می‌توان به روش‌های اُپتیکی اندازه‌گیری فاصله اشاره کرد. شکل (۳-۲) اصول روش‌های اُپتیکی را نشان می‌دهد. به زاویه  $\alpha$ ، زاویه پارالاکتیک می‌گویند.



شکل ۳-۲- اصول اندازه‌گیری طول به روش ایتیکی

در این حالت اندازه‌گیری طول  $D$  به دو روش امکان پذیر است :

(الف) روش استادیتری (ب) روش پارالاکتیک

(الف) روش استادیتری : در این روش زاویه پارالاکتیک  $\alpha$  ثابت

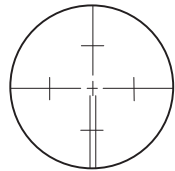
بوده و طول  $AB$  روی یک شاخص اندازه‌گیری می‌شود.

در روی صفحه رتیکول (صفحه تارهای مویی) دوربین‌های نقشه‌برداری

دو خط به موازات قطر افقی دایره رتیکول و به فاصله مساوی از آن به نام

خطوط استادیا و یا تارهای استادیا حک نموده‌اند (شکل ۳-۳). به کمک این

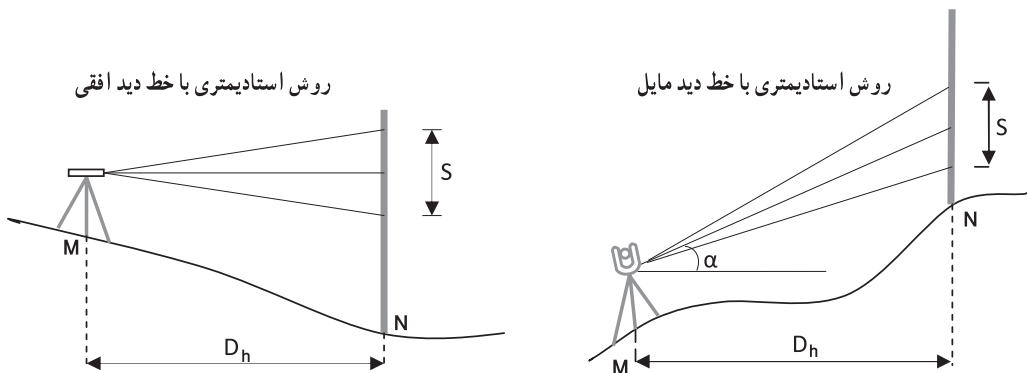
خطوط می‌توان فاصله افقی بین دو نقطه را تعیین کرد.



شکل ۳-۳- تارهای استادیا

در مناطق هموار خط دید افقی است، لذا می‌توان از تراز یاب استفاده کرد. ولی در مناطق

شیب‌دار و کوهستانی به اجبار از دوربین زاویه‌یاب استفاده می‌شود.



شکل ۳-۴- روش استادیتری

مطابق شکل (۳-۴) برای اندازه‌گیری طول  $D_h$  در این روش دوربین را در نقطه M مستقر کرده و با قرار دادن یک شاخص قائم در نقطه N، پس از نشانه‌روی به شاخص مورد نظر، اعداد منطبق بر تار بالا و پایین استادیا قرائت و یادداشت می‌شود سپس فاصله افقی  $D_h$  از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$D_h = 100 \cdot S \cdot \cos^2 \alpha$$

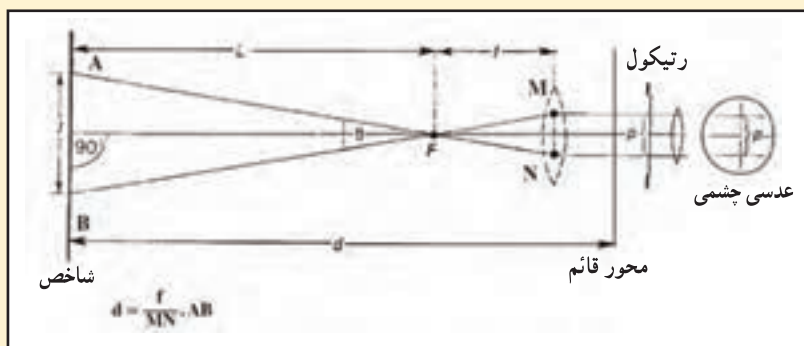
که در این رابطه S همان اختلاف اعداد تارهای بالا و پایین استادیا می‌باشد و عدد  $100$  ثابت استادیتری است. همچنین  $\alpha$  زاویه شیب خط قراولروی می‌باشد. دقت روش استادیتری زیاد نیست (حدود  $1:500$  تا  $1:1000$ ) ولی همانطور که گفته شد استفاده از آن سریع و آسان است.

### بیشتر بدانیم

آیا می‌توانید اساس کار اندازه‌گیری فاصله به روش استادیتری را توضیح

دهید؟

توضیحات خود را برای همکلاسی‌هایتان در کلاس مطرح کنید.



(ب) روش پارالاکتیک: که در آن طول AB ثابت بوده و زاویه پارالاکتیک  $\alpha$  اندازه‌گیری

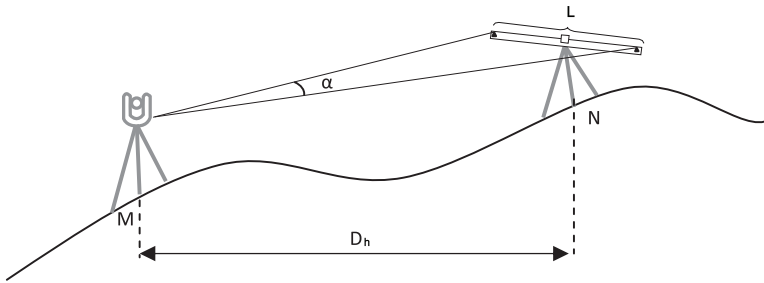
می‌شود.

در این روش طول شاخص (میر) که به صورت یک میله است و افقی نصب می‌شود، ثابت بوده و معمولاً برابر دو متر است و زاویه افقی پارالاکتیک که به وسیله یک زاویه‌یاب دقیق اندازه‌گیری

می‌شود بر حسب فاصله تغییر می‌کند. بنابراین مطابق شکل (۵-۳) فاصله افقی  $D_h$  از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$D_h = \frac{L}{\gamma} \cot\left(\frac{\alpha}{\gamma}\right)$$

که در این رابطه  $L$  طول شاخص پارالاکتیک است.



شکل ۵-۳- روش پارالاکتیک و شاخص آن

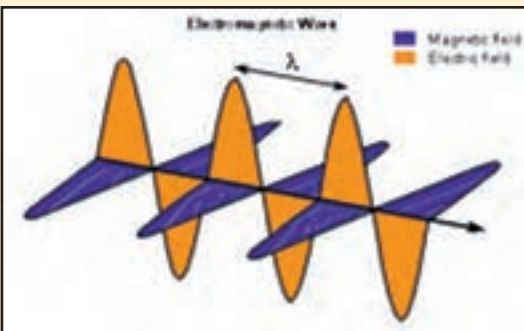
دقت این روش از روش استادیومتری بیشتر است و فاصله اندازه‌گیری شده در این حالت افقی است.

در هر دو روش، شاخص یا می‌تواند به طور افقی و یا قائم قرار گیرد. اما معمولاً در روش استادیومتری، شاخص قائم و در روش پارالاکتیک، شاخص افقی مستقر می‌شود.



مبانی فیزیکی اندازه‌گیری فاصله با طول‌یاب الکترونیکی (EDM):  
 اگرچه انواع مختلفی از فاصله‌یاب الکترونیکی ساخته شده است، اساس کار همه آنها مشابه هم می‌باشد. امواج الکترومغناطیسی به وسیله طول‌یاب به سوی یک رفلکتور (منعکس کننده) انتشار می‌یابد. رفلکتور با بازتاب  $180^\circ$  درجه بلافاصله آن را به طرف دستگاه ارسال می‌کند. طول‌یاب موج بازگشتی را دریافت نموده و آن را با موج ارسالی مقایسه می‌کند. از طریق این مقایسه، و با استفاده از مدارهای الکترونیکی، طول‌یاب فاصله مایل بین دو نقطه را محاسبه می‌کند. بطور کلی طول‌یاب‌ها به دو روش اندازه‌گیری مبتنی بر زمان و اندازه‌گیری مبتنی بر فاز، فاصله موردنظر را محاسبه می‌کنند. روش دوم دقیق‌تر از روش اول بوده اما نیاز به مدارات الکترونیکی پیچیده‌تر و گران‌تری دارد. در طول‌یاب‌های نقشه‌برداری زمینی برای کسب دقت‌های بالا معمولاً از روش دوم یعنی روش اندازه‌گیری مبتنی بر فاز استفاده می‌نمایند. در ادامه ابتدا کلیاتی از مفاهیم مطرح در امواج الکترومغناطیس تشریح شده و سپس اصول دو روش فاصله‌یابی مبتنی بر اندازه‌گیری زمان و فاز بیان می‌گردد.

امواج الکترومغناطیس: به هر نوع آشفتگی در محیط که در فضا در طول زمان منتشر می‌شود و اغلب حامل انرژی است موج می‌گویند. اگر این آشفتگی در میدان‌های الکترومغناطیسی باشد، آن را موج الکترومغناطیسی می‌نامند. در امواج الکترومغناطیسی میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی به طور عمود بر یکدیگر نوسان



شکل نمودار تابع سینوسی و امواج الکترومغناطیس

می‌کنند و امواج سینوسی شکل با سرعت نور انتشار پیدا می‌کنند. امواج مرئی و امواج رادیویی از این نوع هستند.

از آنجاکه انتشار امواج الکترومغناطیس در

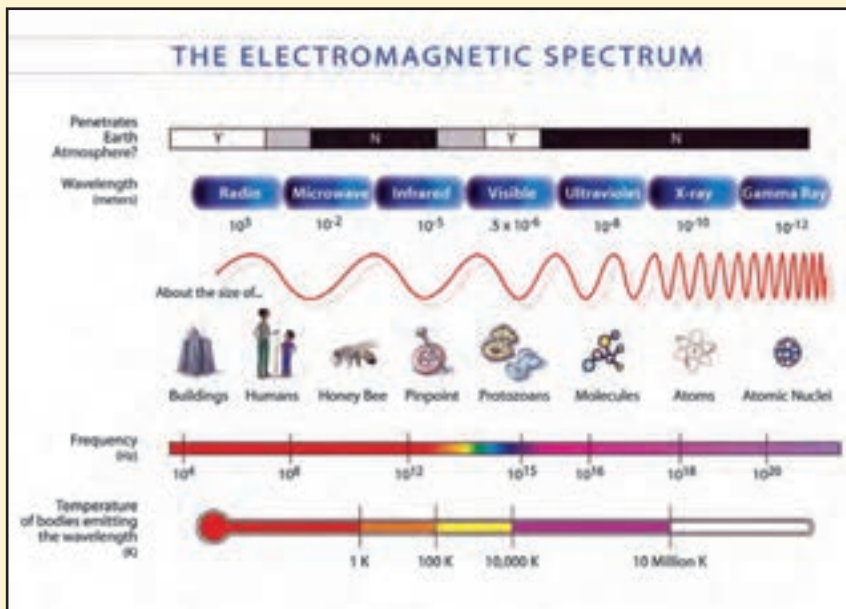
یک محیط را می‌توان به شکل یک تابع سینوسی بیان کرد، هندسه انتشار این امواج چهار مشخصه اصلی دارد:

**دامنه:** دامنه یا شدت موج با ارتفاع یا بلندی میدان الکتریکی یا مغناطیسی مشخص می‌شود و در موج سینوسی حداکثر ارتفاع موج را از مبدأ نشان می‌دهد و آن را با  $A$  نمایش می‌دهند.

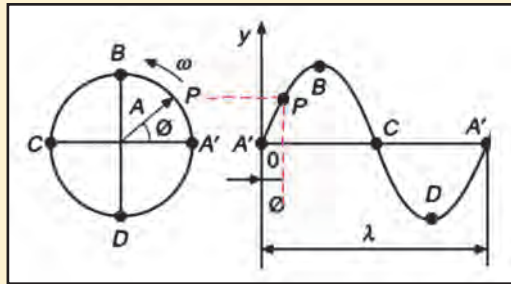
**طول موج:** فاصله دو نقطه یکسان از موج می‌باشد و با  $\lambda$  نمایش داده می‌شود.

**فرکانس:** تعداد موج‌های عبورکننده از یک نقطه در یک فاصله زمانی مشخص را فرکانس یا بسامد گویند و با  $f$  نمایش می‌دهند. به عبارت دیگر هر چه طول موج  $\lambda$  افزایش یابد فرکانس آن موج ( $f$ ) کاهش می‌یابد و بالعکس.

**سرعت:** سرعت موج تعیین‌کننده تندی عبور موج از یک محیط مشخص است. به عنوان مثال سرعت نور و امواج الکترومغناطیس در خلأ تقریباً سیصد هزار کیلومتر در ثانیه می‌باشد. اما این سرعت در محیط‌هایی مثل شیشه یا آب کاهش می‌یابد.

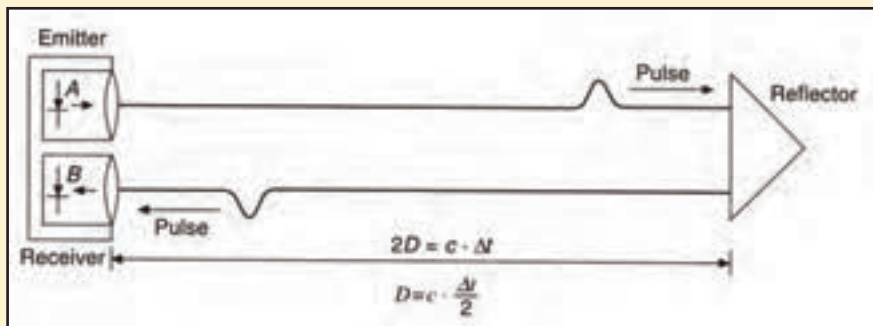


شکل هندسه امواج الکترومغناطیس و گستره آنها بر اساس طول موج



شکل حرکت موجی  $y = A \cdot \sin(\Phi)$  و مفهوم آن

روش مبتنی بر اندازه گیری زمان: همانطور که گفته شد طول یاب الکترونیکی موجی را ارسال می کند و پس از بازتاب آن را دریافت می کند. در روش مبتنی بر اندازه گیری زمان، طول یاب، زمان رفت و برگشت موج ارسالی و دریافتی که به آن تأخیر زمانی گویند را اندازه گیری می نماید. برای این منظور ابتدا از طریق ایجاد پالس روی موج بصورت الکترونیکی، موج ارسالی علامت گذاری یا کدگذاری شده و زمان ارسال ثبت می گردد. سپس بصورت الکترونیکی موج بازگشتی به طور پیوسته مورد بازیابی قرار گرفته تا پالس مربوطه شناسایی و آشکارسازی می گردد. در این لحظه زمان بازگشت پالس اندازه گیری شده و تأخیر زمانی محاسبه می گردد.

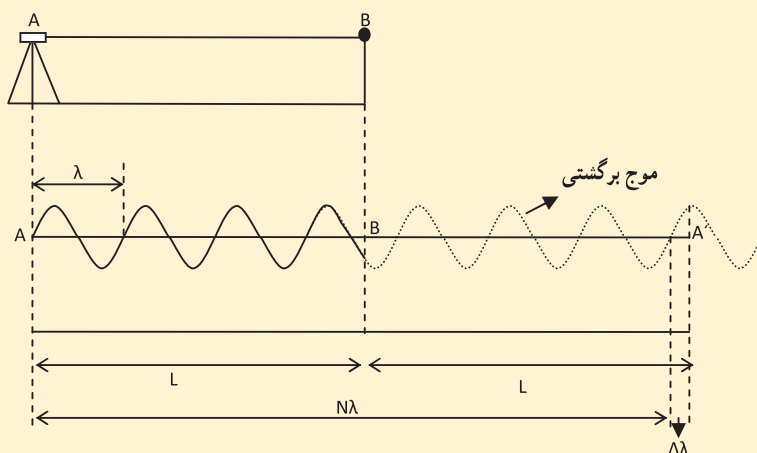


شکل اندازه گیری فاصله به روش مبتنی بر «تأخیر زمانی»

روش مبتنی بر اندازه گیری فاز: برای اندازه گیری دقیق فاصله بدون به کارگیری ساعت های اتمی، از روش مبتنی بر اندازه گیری فاز استفاده می شود. در

این روش، توسط یک فاز یاب الکترونیکی که در طول یاب قرار دارد فاز اولیه موج هنگام ارسال و همچنین فاز موج برگشتی به دستگاه به دقت اندازه گیری و با هم مقایسه می شود و  $\Delta\lambda$  بدست می آید. اگر  $N$  تعداد طول موج های کامل را که موج در طول مسیر رفت و برگشت طی می کند بدانیم آنگاه فاصله از رابطه زیر به دست می آید:

$$L = \frac{N\lambda + \Delta\lambda}{2}$$



### ۳-۳- فاصله یاب های الکترونیکی

فاصله یاب الکترونیکی که اختصاراً به آنها EDM می گویند، یک دستگاه تولید کننده موج الکترومغناطیسی با طول موج های مختلف می باشد. این دستگاه طوری طراحی شده است که قادر است یک موج با طول موج مشخص را به سمت نقطه مورد نظر فرستاده و پس از بازگشت موج از آن نقطه، آن را دریافت کرده و مدت زمان رفت و برگشت آن موج و طول را اندازه گیری کند.



شکل ۳-۶- فاصله یاب های الکترونیکی

دستگاه‌های فاصله‌یاب الکترونیکی بر اساس نوع موج مورد استفاده در آنها به دو قسمت کلی تقسیم می‌شوند:

۱- فاصله‌یاب‌های الکترواپتیکی

۲- فاصله‌یاب‌های مایکروویو

فاصله‌یاب‌های الکترواپتیکی: در ساختمان این نوع دستگاه‌ها از نور مادون قرمز یا نور مرئی (از جمله نور لیزر) استفاده می‌شود.

در فاصله‌یاب‌های مادون قرمز که بیشتر آنها را دیستومات می‌نامند امواج نوری که به وسیله قسمت قراول روی دستگاه فرستاده می‌شود توسط یک بازتابنده که مجموعه‌ای از یک یا چند منشور چند وجهی است دریافت و سپس به سمت واحد قراول روی برمی‌گردد. واحد کنترل دستگاه پس از دریافت موج برگشتی، به روش اختلاف فاز، فاصله بین دو نقطه را محاسبه می‌کند.

مزیت عمده سیستم‌های نوری سهولت حمل و نقل، کم اثر بودن عوامل جوی، امکان ترکیب و ادغام با دستگاه‌های زاویه‌یابی، امکان اندازه‌گیری همزمان فاصله و زاویه و ارتفاع، دقت بالا با انجام اندازه‌گیری‌های تکراری و میانگین‌گیری، و امکان به‌کارگیری نرم‌افزارهای محاسباتی در فاصله‌یاب‌های نقشه برداری است. چون در این سیستم، اندازه‌گیری فقط در یکی از دو انتهای خط صورت می‌گیرد هنگام استفاده فقط به یک دستگاه و یک عامل نیاز است.

بیشتر بدانیم



فاصله‌یاب‌هایی که بر روی تئودولیت مستقر می‌شوند.



شکل ۳-۷- فاصله یاب الکترواپتیکی

فاصله یاب های مایکروویو: این نوع دستگاه ها با استفاده از روش ارسال و دریافت امواج رادیویی (مایکروویو) و اندازه گیری اختلاف فاز بین موج رفت و برگشت، فاصله بین دو نقطه را تعیین می کنند. طول امواج ایجاد شده بین ۳ تا ۳۰ میلی متر است. هر سیستم اندازه گیری از دو دستگاه همانند تشکیل شده که یکی به عنوان دستگاه اصلی یا ماستر و دیگری به عنوان دستگاه فرعی یا ریموت عمل می کند. در این سیستم امواجی از دستگاه ماستر تولید و به سمت دستگاه ریموت فرستاده



شکل ۳-۸- فاصله یاب مایکروویو

می‌شود. دستگاه ریموت بلافاصله پس از دریافت این امواج، آنها را منعکس و به سمت دستگاه اول می‌فرستد. دستگاه اصلی پس از دریافت امواج برگشتی اختلاف فاز بین سیگنال‌های رفت و برگشت را تعیین و از روی آنها فاصله بین دو نقطه را تعیین می‌کند.

امتیاز ویژه فاصله‌یاب‌های مایکروویو در مقایسه با انواع الکترواپتیکی آنها در بُرد زیاد دستگاه، امکان اندازه‌گیری در شرایط مختلف جوی و امکان برقراری ارتباط صوتی (تلفن) بین دو ایستگاه است. معایب آن در سنگینی وزن، گرانی قیمت و نیاز به وجود دو دستگاه و دو عامل است. محل استفاده از این دستگاه‌ها نباید در مجاورت خطوط انتقال نیرو یا برج‌های مایکروویو باشد.

### بیشتر بدانیم

کارخانه‌های سازنده فاصله‌یاب‌های الکترونیکی، صحت اندازه‌گیری دستگاه‌های شان را به شکل رابطه زیر بیان می‌کنند:

$$e = \pm(a + b \times L)$$

در این رابطه،  $a$  بر حسب میلی‌متر و  $b$  بر حسب PPM (یک واحد در یک میلیون واحد) و فاصله  $L$  بر حسب کیلومتر می‌باشد.

$$\text{یک میلی‌متر در یک کیلومتر} = 10^{-6} \text{ PPM}$$

مثلاً اگر صحت یک فاصله‌یاب  $(\pm(2\text{mm} + 3\text{PPM}))$  باشد، بزرگی خطای آن در فاصله  $4/5$  کیلومتری برابر است با:

$$e = 2 + 3 \times 4/5 = 15/5 \text{ mm} = 1/55 \text{ cm}$$

### بیشتر بدانیم

سیر تکاملی فاصله‌یاب‌ها: اولین نسل دستگاه‌های الکترواپتیکی، که در اوایل دهه ۱۹۵۰ در سوئد ساخته شد به نام ژئودیمتر شهرت دارند. حداکثر طول قابل سنجش برای ژئودیمترهای نسل اول ۳ تا ۵ کیلومتر در روز و ۲۵ تا ۳۰ کیلومتر در شب (بر حسب شرایط جوی) می‌باشد. برای این طول‌یاب‌ها مسیر خط دید باید باز باشد به عبارتی از هر ایستگاهی ایستگاه دیگر قابل رؤیت باشد.

طول یاب‌های میکروویو در اواخر دهه ۱۹۵۰ ساخته شدند. یک نمونه معروف این مسافت یاب‌ها تیلرومتر نام دارد که از دو دستگاه شبیه هم ساخته شده است. دستگاه اصلی که به آن مستر می‌گویند، امواجی را به انتهای خط می‌فرستد. در انتهای خط دستگاه مشابه دیگری که به آن ریموت می‌گویند، امواج را گرفته و بر اساس فرکانس مدولاسیونی که از طریق بی‌سیم به وسیله اُپراتور دستگاه مستر به اپراتور دستگاه ریموت اطلاع داده شده، به دستگاه مستر باز می‌فرستد. در دستگاه مستر، زمان رفت و برگشت امواج اندازه‌گیری و فاصله مشخص می‌شود. بین دو نقطه نباید مانعی باشد، ولی عدم دید یک ایستگاه از ایستگاه دیگر به علت شرایط جوی نظیر مه، مشکلی ایجاد نمی‌کند. در شرایط مناسب طول‌های تا ۸۰ کیلومتر را می‌توان با این دستگاه‌ها اندازه‌گیری کرد.

اولین نسل طول یاب‌های الکترونیکی، گرچه برای فواصل بلند بسیار دقیق بودند، ولی اندازه آنها بزرگ، وزن آنها سنگین و قیمت آنها گران بود، لذا در کارهای روزمره نقشه‌برداری وارد نشدند. مهندسان نقشه‌بردار، به دستگاه‌های سبک کوچک ارزان و دقیق برای سنجش طول‌های کوتاه، از چند متر تا دو الی سه کیلومتر نیاز داشتند.

در دهه ۱۹۶۰ پیشرفت علم الکترونیک موجب ساخت نسل دوم طول یاب‌های الکترواپتیکی گردید. مزیت این دستگاه‌ها سبکی، کوچکی، مصرف کم برق و سادگی طرز کار می‌باشد.

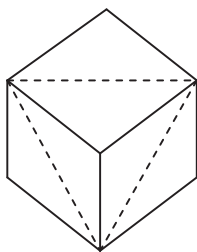
در نسل سوم دستگاه‌های الکترواپتیکی از نور لیزر استفاده شده است. مزیت این طول یاب‌ها عبارت است از برد زیاد (حداکثر برد ۱۵ تا ۶۰ کیلومتر)، دقت بالا، سبکی و قابلیت حمل و نقل آسان.

طول یاب‌های میکروویو نیز با پیشرفت تکنولوژی در زمینه الکترونیک، به تدریج کوچکتر، سبک‌تر و دقیق‌تر گردیده‌اند. طرز کار آنها نیز ساده‌تر شده است.

**منشور در فاصله یابی:** از آنجایی که امواج مادون قرمز به کار رفته در اکثر سیستم‌های EDM دارای طول موج نزدیک به نور مرئی هستند این امواج را می‌توان به عنوان پرتو نوری در نظر گرفت که به راحتی با استفاده از یک آینه مسطح منعکس می‌شوند. اما این کار نیاز به امتدادگذاری دقیق دارد زیرا پرتوهای فرستاده شده دارای دامنه محدود می‌باشند بنابراین جهت برطرف کردن این



مشکل از یک وسیله که اصطلاحاً منشور یا رفلکتور نامیده می‌شود، استفاده می‌شود که به صورت منشور مکعبی سه گوش می‌باشد.

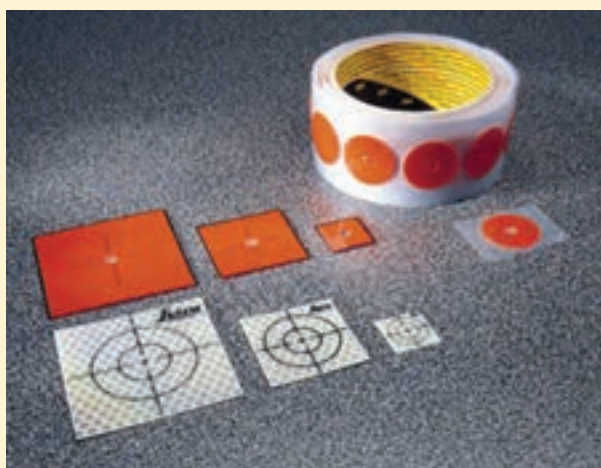


منشورهای مکعبی سه گوش از مکعب یا بلوک‌های مکعبی ساخته می‌شوند به عبارتی مثل این است که این منشورها را از گوشه یک مکعب شیشه‌ای بریده باشیم و این مکعب‌ها در حالت معمولی پرتو نور را به طور صحیح و موازی با مسیر تابش بر روی طیفی با زاویه تابش حدود ۲۰ درجه از جلوی منشور عبور می‌دهند.



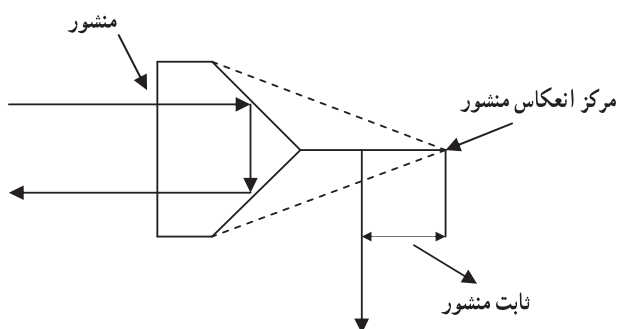
شکل ۳-۹- انواع رفلکتور یک و چند منشوره

### بیشتر بدانیم



منشورهای کاغذی  
(Sheet Reflector)

فاصله بین مرکز انعکاس امواج و امتداد شاقولی را ثابت منشور می‌گویند. همانطور که در شکل می‌بینید اغلب مرکز انعکاس منشور عقب تر از محور شاقولی آن می‌باشد. ثابت منشور اغلب با عبارت  $RC$  (reflector constant) بر روی منشور و یا در داخل دستگاه طول‌یاب نشان داده می‌شود. این مقدار در حقیقت یک خطای تدریجی است که با معرفی به دستگاه طول‌یاب حذف می‌شود.



شکل ۳-۱۰- ثابت منشور

## بیشتر بدانیم

**خطاهای فاصله‌یابی و تصحیحات مربوطه:** خطاهای اندازه‌گیری طول با

طول‌یاب‌های الکترونیکی را می‌توان به سه گروه اصلی می‌توان تقسیم نمود:

**۱- خطاهای صفر:** به خطاهایی گفته می‌شود که اندازه آنها مستقل از فاصله

مورد سنجش می‌باشد بنابراین از لحاظ نظری در فاصله صفر هم این خطاها وجود دارند.

**۲- خطاهای تناوبی:** خطاهایی هستند که به طور تناوبی بر حسب فاصله تغییر

می‌کنند.

**۳- خطاهای مقیاس:** خطاهایی هستند که متناسب با فاصله تغییر می‌کنند.

تمامی این خطاها را می‌توان به نوبه خود به خطاهای دستگاهی و غیر دستگاهی

تقسیم کرد. که در این میان می‌توان به خطاهای زیر اشاره کرد:

(الف) خطای برهم نهی امواج (فرکانس مدولاسیون)

(ب) خطای ضریب شکست

ج) خطای اندازه‌گیری زاویه فاز

د) ثابت افزودنی  $k$

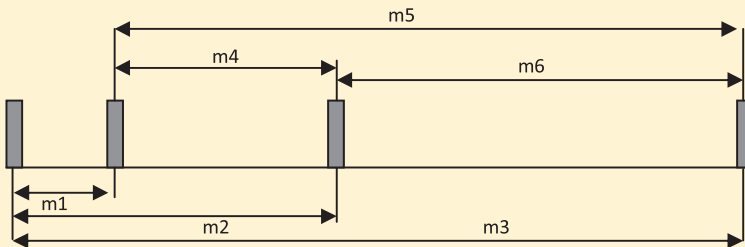
و) خطای سانتراژ

ه) خطای مربوط به اندازه‌گیری پارامترهایی که برای تعیین دقیق فاصله لازمند،

نظیر: دما، فشار جو و زاویه قائم

کالیبراسیون فاصله‌یاب و تصحیح فاصله: با توجه به وجود خطای ناشی

از عدم انطباق مراکز نوری و الکترونیکی دستگاه (خطای  $Z_0$ )، می‌توان با یک روش مناسب دستگاه طول‌یاب را در ایستگاه‌های baseline یا طول باز مطابق شکل زیر کالیبره کرد. در این روش چهار ایستگاه پیلار بتونی در فواصل  $150^\circ$ ،  $400^\circ$  تا  $430^\circ$  و  $1000^\circ$  تا  $1400^\circ$  متر آماده کرده و  $12$  مشاهده مستقیم و معکوس بین این ایستگاه‌ها انجام می‌شود. بهتر است این فواصل با مضرب  $10^\circ$  برابر طول موج مورد استفاده در طول‌یاب، نسبت داشته باشد. سپس از طریق روابط بین طول‌های اندازه‌گیری شده، می‌توان خطای  $Z_0$  طول‌یاب مورد آزمایش را به دست آورد تا آن را به مشاهدات آتی طول‌یاب اعمال نمود.



این روش همراه با دستگاه‌های مخصوص شرایط جوی و دستورالعمل‌های

استاندارد است که در هر کشوری از سوی سازمان نقشه‌برداری پیشنهاد می‌شود.

مثلاً زاویه قائم بین ایستگاه‌های طول باز برای روش کالیبراسیون نباید از  $5^\circ$  درجه

بیشتر باشد. چرا؟

## خلاصه فصل

- روش‌های اندازه‌گیری فاصله به طور کلی به دو دسته روش مستقیم و روش غیر مستقیم تقسیم می‌شوند که از روش‌های مستقیم می‌توان مترکشی را نام برد.
- استادیومتری و پارالاکتیک از جمله روش‌های غیرمستقیم اندازه‌گیری فاصله هستند که با استفاده از آنها، فاصله به طور غیرمستقیم اندازه‌گیری می‌شود.
- در استادیومتری از رابطه زیر برای محاسبه فاصله افقی استفاده می‌شود:

$$D_h = 100 \cdot S \cdot \cos^2 \alpha$$

که در آن،  $S$  همان اختلاف بین اعداد تار بالا و تار پایین می‌باشد و  $\alpha$  زاویه شیب امتداد خط نشانه روی دوربین است.

- در روش پارالاکتیک از رابطه زیر فاصله افقی را می‌توان محاسبه کرد:

$$D_h = \frac{L}{\gamma} \cot\left(\frac{\alpha}{\gamma}\right)$$

که در آن،  $L$  طول شاخص پارالاکتیک و  $\alpha$  زاویه افقی دو سر شاخص پارالاکتیک می‌باشد.

## خودآزمایی

### سوالات تشریحی

- ۱- روش استادیومتری برای تعیین فاصله افقی را توضیح دهید.
- ۲- اندازه‌گیری فاصله از روش پارالاکتیک را توضیح دهید.
- ۳- در روش پارالاکتیک با شاخص ۴ متری زاویه افقی بین دو طرف شاخص ۵ درجه و ۱۵ دقیقه قرائت شده. فاصله افقی دوربین تا شاخص چقدر است؟

### سوالات چهارگزینه‌ای

- ۴- برای محاسبه فاصله افقی بین ایستگاه استقرار و نقطه‌ای مشاهدات بدین ترتیب می‌باشد:  
تار بالا  $174^\circ$ ، تار وسط  $160^\circ$ ، ارتفاع دستگاه  $1/5$  متر، زاویه افقی  $127^\circ$  درجه و زاویه قائم  $90^\circ$

درجه. فاصله افقی کدام گزینه است؟

(۱) ۲۸ (۲) ۱۰ (۳) ۱/۴ (۴) اطلاعات مسأله کافی نیست

۵- در روش بارالاکتیک قرائت زاویه افقی به یک طرف شاخص ۲۵ درجه و ۱۲ دقیقه و ۱۰

ثانیه و طرف دیگر ۳۹ درجه و ۱۰ دقیقه و ۱۱ ثانیه می باشد، فاصله افقی چند متر است؟

(۱) ۷/۴۵ (۲) ۸/۴۵ (۳) ۷/۱۶ (۴) ۸/۱۶

### مسائل عددی

۶- در یک برداشت استادیومتری قرائت‌ها به شرح زیر است :

$2579 \text{ mm}$  → قرائت تار بالا

$2379 \text{ mm}$  → قرائت تار وسط

$2179 \text{ mm}$  → قرائت تار پایین

در صورتی که قرائت لمب قائم  $307/41$  گراد و ارتفاع دستگاه  $1/38$  متر باشد، شیب امتداد

AB را بر حسب درصد به دست آورید.

۷- در اندازه‌گیری یک فاصله به روش استادیومتری از ایستگاه S قرائت‌ها روی نقاط A و B به

شرح زیر است. هرگاه ارتفاع نقطه A برابر  $1547/00$  متر فرض شود، ارتفاع نقطه B چقدر است؟

زاویه شیب	تار بالا	تار وسط	تار پایین	ایستگاه شاخص	ایستگاه دوربین
$-4^{\circ} 10' 20''$	۳/۳۵۸	۲/۷۵۰	۲/۱۴۲	A	S
$+3^{\circ} 8' 15''$	۳/۴۳۵	۳/۱۱۵	۲/۷۹۵	B	

۸- یک دستگاه استادیومتری بین دو نقطه P و Q و در راستای خط واصل بین آنها مستقر شده

و مشاهدات زیر روی یک شاخص قائم انجام شده است.

قرائت تار وسط	فاصله استادیومتری	زاویه شیب خط قراولروی	ایستگاه شاخص
۲/۱۰۵	۲/۲۵۰	$9^{\circ} 30'$	P
۱/۸۷۵	۲/۰۵۵	$6^{\circ} 00'$	Q

طول PQ و ارتفاع نقطه Q را تعیین کنید. ارتفاع نقطه P  $35^\circ/50'$  متر است.

۹- فاصله افقی دوربین تا کثومتري برابر  $15^\circ$  متر و زاویه قائم امتداد شبانه‌روزی  $10^\circ$  گراد است. ارتفاع دوربین  $1500$  میلی‌متر و ارتفاع نقطه نشانه روی  $2/5$  متر است.

اختلاف ارتفاع محل مسیر نسبت به محل دوربین کدام است؟

۱۰- یک دستگاه تا کثومتري در ایستگاه A مستقر شده و با آن به شاخص قائمی که در نقطه B قرار دارد، نشانه‌روی شده است. اگر شیب خط AB برابر  $8\%$  و زاویه شیب فراولروی  $5^\circ+$ ، قرائت تار وسط  $1/91$  متر و ارتفاع دستگاه  $1/51$  متر باشد، فاصله افقی خط AB چقدر است؟

۱۱- در یک عملیات استادیومتری، از یک تئودولیت مستقر در ایستگاه A به شاخص مدرجی که در نقطه B به طور قائم نگه‌داشته شده است، نشانه‌روی شده است و قرائت‌های زیر انجام گرفته است. در صورتی که ارتفاع دوربین در نقطه A برابر  $1/52$  متر باشد اختلاف قرائت تارهای رتیکول بالا و پایین روی شاخص چقدر خواهد بود؟

اختلاف ارتفاع	زاویه قائم	تار پایین	تار وسط	تار بالا	نشانه‌روی
$-4/00$	$95^\circ 30'$	؟	$2120$	؟	B

۱۲- جهت محاسبه فاصله افقی MN به روش پارالاکتیک زاویه‌یاب را بر روی نقطه M مستقر کرده و شاخص مخصوص که طول آن ۲ متر است را به صورت افقی روی نقطه N قرار می‌دهیم. زاویه  $\alpha = 2^\circ 19' 20''$  قرائت شده است فاصله MN را بر حسب متر به دست آورید.

