

# ورود امواج

دکتر حسن شمسی

## الکترومغناطیسی

# والکتر و نیک در نقشه برداری ژئودزی

۴

وقتی اندازه گیریها روی فاصله های نسبتاً بزرگ اجراء می شوند ، فاصله های اندازه گرفته شده نیز احتیاج به تصحیح دارند ، زیرا فاصله ای که در فضا اندازه گرفته می شود مورد نظر ما نیست ، بلکه تصویر این فاصله بر سطحی که برای محاسبه بکار برده می شود مورد توجه است . این سطح ممکن است یک بیضوی (مانند سطح زمین ، یا هر سطح دیگری که امکان مینا شدن آن برای سیستم تصویر به کار برده شده میسر می گردد) .

**پ) روش مقایسه فاز برای اندازه گیری فاصله**  
 حداقل اجزاء تشکیل دهنده یک فاصله باب (که با این طریق کار می کند عبارت اند از: یک فرستنده ، یک گیرنده ، و یک لایسنج که در نگاره ۲) به طور ساده نشان داده شده اند . همانطور که در نگاره ۱) دیدیم ، دستگاه (فرستنده-گیرنده) فاصله باب روی یک سه پایه ، و همچنین رفلکتور ، منشوری نیز روی یک سه پایه (بعضی اوقات روی یک میله با ساقه حامل) نصب می شوند .

در این فاصله باب (EDM) ، یک لیزر (هلیوم-نون) با یک دیود صادر کننده نور (دیود لومینسان) به توسط یک نوسان ساز کریستالی دقیق مدولاسیون دامنه می شود و در نتیجه یک بازوی نور (مادون قرمز) مدوله شده دامنه به وجود می آید . فرستنده دستگاه فاصله باب ، این بازوی نور (مادون قرمز) مدوله شده را به طرف رفلکتور روانه

که به عنوان هدف در انتهای دیگر فاصله مستقر شده است فرستاده می شود . این بازو پس از برخورد به هدف (یعنی رفلکتور) به صورت یک بازوی منعکس شده به گیرنده دستگاه فاصله باب برمی گردد . آنگاه می توان با تعیین اختلاف فاز سیگنال ورودی نسبت به سیگنال فرستاده شده ، یا با تعیین زمان رفت و برگشت موج ، طول فاصله مطلوب را حساب کرد . منظور از سیگنال همان تغییری است که در عمل مدولاسیون به دامنه فرکانس ، و یا فاز موج حاصل (نور یا هر موج الکترومغناطیسی دیگر) وارد می شود . یعنی در واقع این سیگنال بر موج حاصل سوارا به آن ملحق می شود .

سرعت انتشار امواج نور در جو (یا آتمسفر) بستگی به ضریب شکست (یا ضریب انکسار) محیط جو دارد . این ضریب ثابت نیست بلکه به حالت جو و همچنین به طول موج نور بخصوصی که در نظر گرفته ایم بستگی خواهد داشت . فاصله ای که یک فاصله باب (EDM) به دست می دهد بر مبنای یک جو (یا آتمسفر) فرضی است ، یعنی برای محاسبه فاصله ، فرضهایی در مورد جو که تا حد امکان با واقعیت مطابق باشد در نظر می گیرند . به هرگونه انحراف از جو استاندارد فرضی را با اجراء یک تصحیح در فاصله به دست آمده جبران می کنند . همچنین باید تصحیحاتی مربوط به عوامل اسیبی را در حساب منظور کرد .

الف) در سنجش (اوپتو - الکترونیک) برای اندازه گیری فاصله با فاصله بابها (یا های جدید از روشهای زیر استفاده می کنند .

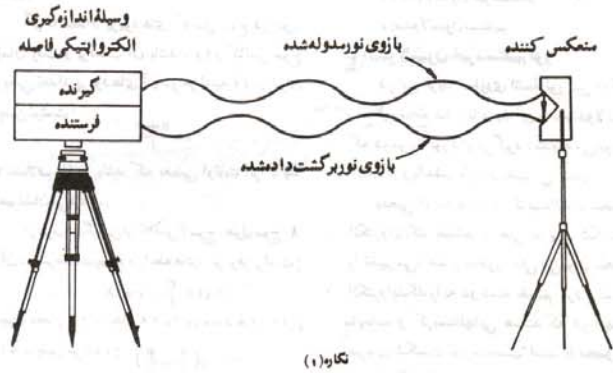
- ۱) روش مقایسه فاز؛
- ۲) روش پالس (با تعیین زمان رفت و برگشت یک پالس)؛
- ۳) روش اینترفرومتری

این روشها همه متکی بر این حقیقت اند که سرعت انتشار امواج الکترومغناطیسی در در فضا محدود می باشد و لازم است این سرعت به طور دقیق معلوم باشد . در فاصله بابهای الکترونی دو روش اول بیشتر به کار برده می شوند . روش سوم برای اندازه گیری فاصله های خیلی کوچک استفاده می شود مثلاً یکی از دقیقترین روشهای اندازه گیری متر ، یعنی واحد بین المللی طول ، روش اینترفرومتری است چنانکه می دانیم ، متر ، بنا بر تعریف ، مساویست با  $1950.7673$  برابر طول موج نور حاصل از ایزوتوپ کریتون ۸۶ .

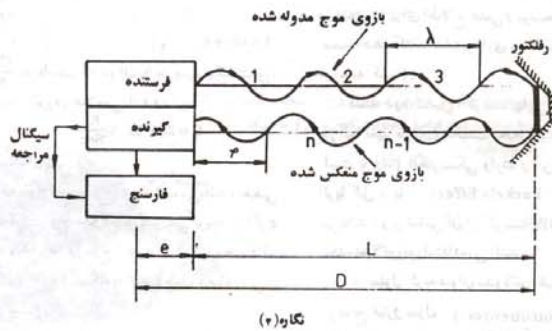
### ب) اصول اندازه گیری فاصله در فاصله بابهای الکترواپتیکی

در نگاره ۱) نشان داده شده است . یک بازوی نور (یا موج الکترومغناطیسی) مدوله شده (یعنی سیگنال دار شده) از فرستنده دستگاه فاصله باب (یا EDM) به طرف یک رفلکتور (با منعکس سازنده)

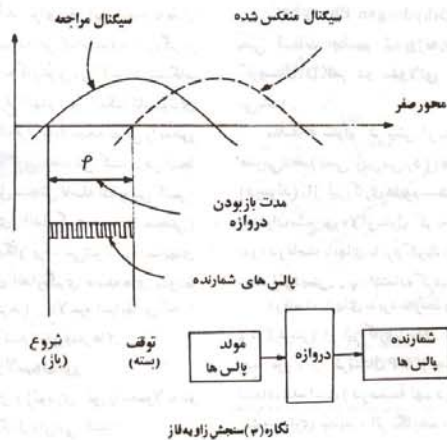
می‌سازد، در همین لحظه بخش کوچکی از این بازوی نور مدوله شده را مستقیماً به گیرنده می‌دهد. می‌دانیم که در اثر مدولاسیون، دامنه موج حاصل (در اینجا اشعه مادون قرمز) متغیر می‌شود و همین تغییر، معرف وجود یک سیگنال همراه با موج است. پس موج حاصل در اثر مدولاسیون، سیگنال دار می‌شود و این سیگنال به صورت تغییر شدت نور جلوه می‌کند. بازوی موج منعکس شده وارد گیرنده فاصله باب می‌شود و در آنجا به وسیله عضوی به نام آشکارساز یا **دکتکتور نوری (Optical Detector)** که معمولاً یک ترموسل (با سلول فتوالکتریک) می‌باشد. تغییرات بازوی نور تبدیل به تغییرات یک جریان الکتریکی می‌شود که معرف سیگنال در شکل الکتریکی آن است. بدین ترتیب، سیگنال از موجی که از رفلکتور وارد گیرنده شده است جدا می‌شود، و آن را سیگنال منعکس شده یا سیگنال اندازه‌گیری می‌گویند.



همچنین درگیرنده، سیگنال همراه با موجی که مستقیماً از فرستنده آمده است از بازوی موج حاصل جدا می‌شود، و آن را سیگنال مراجعه (یا سیگنال مبنا) می‌گویند. پس سرانجام دو سیگنال به صورت الکتریکی خواهیم داشت: یکی سیگنال اندازه‌گیری و دیگری سیگنال مراجعه که مستقیماً از فرستنده می‌آید. این هر دو سیگنال را در تکاره (۳) می‌بینیم و آنها هر دو به فیلتر می‌روند. اختلاف فاز بین آنها با  $\varphi$  (و بعضی اوقات  $\Delta\varphi$ ) نشان داده می‌شود.



دستگاه فیلتر تشکیل شده است از مولدها، **دروازه (Gate)**، و شمارنده که اینها در تکاره (۳) نشان داده شده‌اند. دروازه مابین مولدها و شمارنده این پالسها قرار دارد. وقتی سیگنال مراجعه محور صفر دکتکتور را قطع می‌کند **دروازه الکتریکی** باز می‌شود و موقعی که سیگنال منعکس شده همان محور صفر را قطع می‌کند دروازه بسته می‌شود. در طول زمانی که دروازه باز است (فاصله  $\varphi$ ) یکمده پالس بنام **پالسهای شمارنده** که توسط یک نوسانساز دقیق در مولدها تولید شده‌اند، از راه دروازه باز شده به عضو شمارنده این پالسها می‌روند.



فرکانس شمارنده طوری انتخاب شده است که طول فاصله مطلوب، یک نتیجه مستقیم از این شمارش می‌باشد. باید دانست که فرکانس شمارنده و فرکانس مدوله کننده بازوی نور فرستاده شده هر دو به توسط یک نوسانساز دقیق تولید می‌شوند تا از بروز اتفاقی مسائل کالیبراسیون (که ناشی از عدم مطابقت فرکانسهاست) جلوگیری شود. به طور کلی باید دانست که اندازه‌گیری رابطه فازی بین سیگنال مراجعه و سیگنال اندازه‌گیری،



در یک مدار کامپیوتر از نوع دیجیتال انجام داده می شود. این هر دو سیگنال دارای یک فرکانس بالایی باشند. بعد با کمک یک وسیله مخلوط کننده (میان Mixer) که آن را در دیاگرام اجمالی نگاره (ع) نشان داده ایم، هر دو سیگنال را بدون آنکه اختلاف فاز بین آنها تغییر کند، مبدل به سیگنالهایی با فرکانس پست تری کنند.

این سیگنالها بعد از تقویت سازی مناسب و حتی که بصورت نگاره (ح) درآمدند آنگاه اقدام به تعیین رابطه فاز و سنجش فاصله به طوری که اشاره شد می کنند.

برای آنکه فاصله بدون ابهام بدست آید، چندین فرکانس به کار برده می شود، و در هر فرکانس اندازه گیریهای متعددی از اختلاف فاز را انجام می دهند و بعد مقدار متوسط (یا میانگین) آنها را اختیار می کنند. تعیین این میانگین به توسط

کامپیوتر مقدار متوسط Mean Value Computer داخلی دستگاه اجرا می شود و نتیجه حاصل شده از شارنده الکترونی روی یک عضو فرانت عددی فاصله، نمایان می شود (به نگاره (ع) توجه کنید). در این دیاگرام بازوی نوری که از فرستنده صادر می شود، به توسط منشعب کننده نور (Beam

Splitter) به دو بخش تقسیم می شود. یک بخش از راه عدس ایزکتیو به طرف رفلکتوری رود و بخش دیگر به طرف آشکارساز نوری (Optical Detector) که یک فتوسل می باشد می رود و از آنجا به یک عضو مخلوط کننده به نام Mixer وارد می شود.

یک بخش از موج با فرکانس زیاد نیز مستقیماً از فرستنده به مخلوط کننده دوم می آید. یک نوسان ساز محلی دو نوسان خود را به هر دو مخلوط کننده می فرستد. از مخلوط کننده ها جریانهایی با فرکانس پست تر (به نام فرکانس میانی) بیرون می آید که هر دو به فازسنج دیجیتال می روند، یکی از آنها سیگنال مرجعه و دیگری که از طریق دکتور نوری می آید، سیگنال اندازه گیری است. از فازسنج به

مقدار متوسط می رود و از آنجا به شمارنده وارد می شود. کنترل برنامه، حضور فرانت فاصله و عضو Decode روی دیاگرام نشان داده شده اند.

ت فرمول تعیین فاصله در روش مقایسه فاز

ب- نگارنده (ح) در بند (ج) توجه کنید؛ فرض می کنیم زمان رفت و برگشت موج مبدله شده بین دستگاه فرستنده و رفلکتور باشد، و طول فاصله بین فرستنده (مبداء صدور موج) تا هدف (یعنی رفلکتور) باشد. می توان چنین نوشت:

$$2l = ct \quad (1)$$

که در آن c سرعت سیر نور، در محیط انتشار موج

است.

اگر n تعداد پرونده های کامل موج در طول زمان رفت و برگشت آن باشد، و f فرکانس موج (یعنی تعداد پرونده های آن در هر ثانیه)، می توان چنین نوشت:

$$l = \frac{n\lambda}{2}$$

اختلاف فاز می باشد که بعضی اوقات آنرا با  $\phi$  هم نشان می دهند.

از طرف دیگری فرکانس f موج، طول موج  $\lambda$  آن، و سرعت c موج، رابطه های زیر برقرار است:

$$\lambda = ct = \frac{c}{f}, \quad c = f\lambda$$

چون مقدار  $\phi$  را از معادله (ب) در معادله (1) قرار دهیم چنین می شود:

$$2l = c\left(\frac{n}{f} + \frac{\phi}{f}\right)$$

و با

$$2l = n\lambda + \lambda\phi$$

که از آنجا

$$1 = n\frac{\lambda}{2} + \frac{\phi}{2} \quad (2)$$

اگر  $\frac{\lambda}{2}$  را با u و  $\frac{\phi}{2}$  را با k نشان بدهیم، چنین می شود.

$$1 = nu + k \quad (3)$$

اما  $c = \frac{c_0}{n}$  است که در آن n فریب شکست نور، c سرعت نور در خلا می باشد و داریم:

$$C = 299702.5 \frac{K_0}{\text{Sec}}$$

پس  $\lambda = \frac{c_0}{n \cdot f}$

را که طول موج، موج مبدله شده می باشد، بعضی اوقات طول موج مدولاسیون نیز می گویند. اگر فاصله مبداء صدور موج (در فرستنده) تا محور قائم دستگاه (نقطه ایستگاه) باشد، طول فاصله کلی D چنین است:

$$D = L + c(\phi)$$

چون عدد n یعنی تعداد پرونده های کامل، تا معلوم می باشد، بنابراین برای طول فاصله L خوب معنی بدست نمی آید. برای رفع این ابهام با طول

موجهای مختلف که هر کدام ده دفعه بزرگتر از قبلی باشد به طور گام به گام عمل می کند. در دستگاه های جدید، برای رفع ابهام، به کمک کامپیوتری

که در داخل دستگاه قرار دارد نتیجه نهایی را به طور خود کار روی دستگاه مشاهده می کنند. در اینجا به سه دسته از وسائل سنجش فاصله اشاره می کنیم:

اسباهایی که برای اندازه گیری (با سنجش) فاصله های کوتاه بکار برده می شوند. اسباهای الکترواپتیکی برای اندازه گیری فاصله های متوسط و بزرگ (ژئودیترها). بالاخره اسباهایی که با

مایکروویو کاری کنند (تلورومترها).

ج روشهای مدولاسیون نور

در نقشه برداری و ژئودزی، نور را معمولاً به دو طریق مبدله (یا سیگنال دار) می کنند.

(1) مدولاسیون غیر مستقیم

(2) مدولاسیون مستقیم

ج مدولاسیون غیر مستقیم نور

در این طریق، با بازی اشعه نور پس از آنکه از منبع نور ساطع شد، با وسیله ای به نام مدولاتور نور، که در سر راه نور قرار می گیرد، مبدله می شود یعنی شدت (و یا غلبت فاز) آن تغییر می کند.

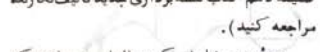
بعضی از مایعات و کریستالها، محیطهای الکترواپتیکی هستند، یعنی ضریب شکست نور را تغییر می دهند. به طور کلی می توان محیطهای الکترواپتیکی را به دو دسته تقسیم کرد: دسته اول

مایعات و کریستالهایی هستند که در آنها تغییر ضریب شکست نور متناسب است با مجذور دامنه میدان الکتریکی وارده؛ این خاصیت به اثر کِر (یا

Kerr Effect) معروف می باشد و در سال 1875 توسط John Kerr کشف گردید، که بربنای آن سلول کر که بکنندولاتور نوری می باشد ساخته شد (برای اطلاع علمی و توضیحات بیشتر به ضمیمه دهم کتاب نقشه برداری جدید تألیف نگارنده مراجعه کنید).

دسته دوم شامل کریستالهایی می باشد که در آنها تغییر ضریب شکست محیط مستقیماً متناسب است با ولتاژ الکتریکی وارده و این خاصیت به اثر پاکل (یا Packels Effect) معروف می باشد، و بر اساس آن از کریستال KDP به عنوان یک مدولاتور نور استفاده می کنند.

در سلول کر به عنوان مدولاتور غیر مستقیم نور از مایع نیترو بنزل (Nitrobenzol) و در اثر پاکل بیشتر از کریستال KDP به عنوان مدولاتور غیر مستقیم نور استفاده می شود. KDP علامت اختصاری جمله زیری می باشد:

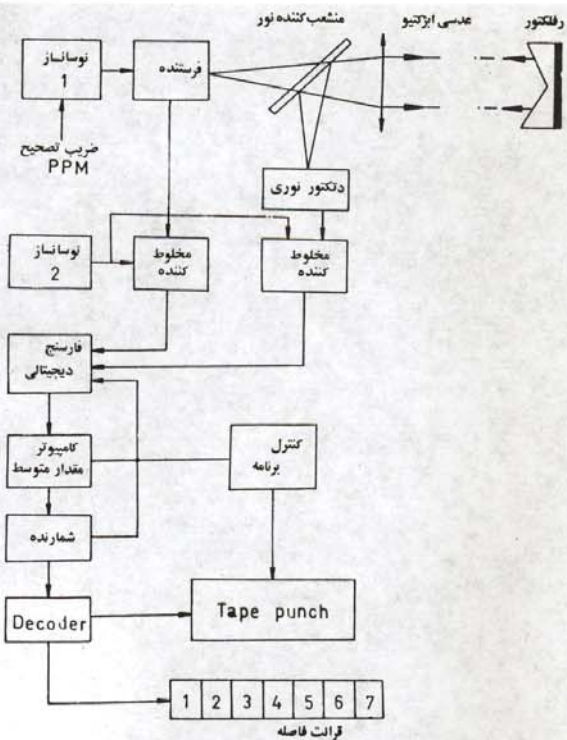


یعنی فسفات پتاسیم نیترو بنزل. پس سلول کر و کریستال KDP هر دو مدولاتور غیر مستقیم نور می باشند.

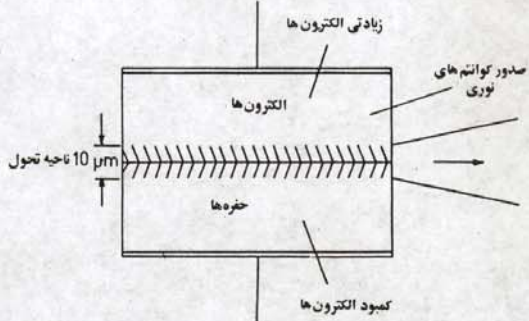
متأسفانه سلول کر بیش از پنجاه درصد نور را هدر می دهد (یعنی از بین می برد)؛ فقط کمیانی AGA (در سوئد) از لیزر گازی هلیوم-نئون (He-Ne) به عنوان منبع نور، و از سلول کر به عنوان مدولاتور نور، در فاصله با بهای با برد کوتاه (تا 300 متر)، مانند ژئودیترها، استفاده کرده است.

در فاصله با بهای با برد متوسط و بلند (تا 2 یا 3 کیلومتر) از لیزر گازی (He-Ne) به عنوان منبع نور، و کریستال KDP به عنوان مدولاتور استفاده شده است (در ضمیمه نهم در جلد دوم کتاب نقشه برداری جدید، اثر نگارنده، از لیزرها بحث

و پذیرا ) ، در یک نیمه این دیود زیادتی الکترون و در نیمه دیگر کمبود الکترون حاصل می شود . با این وضع ، یک ناحیه نوع n که الکترونها اکثریت دارند و یک ناحیه نوع p که حفرهها اکثریت دارند به وجود می آید . مابین این دو ناحیه تقریباً به فاصله ۱۰ میکرومتر (  $\mu m$  ) الکترونهای آزاد و حفرهها با هم ترکیب شده ، هر دو ازین می روند و یک ناحیه تهی به نام سد به وجود می آید که از عبور بیشتر الکترونها و حفرهها از عرض بیونند ، گاه جلوگیری به عمل می آورد لطفاً به بند ۹ و ۱ از جلد دوم کتاب نقشه برداری جدید رجوع کنید ) ؛ این ناحیه را ناحیه تحول ، یا ناحیه تهی (از الکترونها و حفرهها) ، و یا ناحیه سد می گویند . حال اگر یک ولتاژ الکتریکی بین دو الکترود ( یعنی بین نوامی نوع n نوع p ) برقرار کنیم به قسمی که سر مثبت ولتاژ به ناحیه P و سر منفی آن به ناحیه n وارد شده باشد ( ولتاژ با پس جلو ) ، الکترونها و حفرهها ، از این منبع ولتاژ انرژی دریافت کرده به داخل ناحیه تحول ( به پهنای ۱۰ میکرومتر ) هجوم می آورند ( یعنی تزیق انرژی به داخل این ناحیه رخ می دهد ) ؛ الکترونها و حفرهها در ناحیه تحول بهم به برخورد کرده انرژیهای را که از ولتاژ وارده دریافت کرده بودند به صورت حرارت شدید پس می دهند و سرانجام به صورت اشعه مادون قرمز که طول موج آن در حدود ۰.۹ نانومتر می باشد ظاهر می شود . کوانتهای این نور به گونه ای که در نگاره ( ه ) مشاهده می کنیم به صورت یک بازوی اشعه به خارج صادر می شود ، اگر قطبهای ولتاژ وارده عوض شوند بازوی اشعه قطع می شود . اگر ولتاژ وارده متناوب باشد ، شدت نور بازوی اشعه به آهنگ تغییرات این ولتاژ تغییر می کند ، یعنی نور مدوله می شود . درجه اثر این منبع نور یک درصد است که خیلی کم می باشد ، همچنین قدرت ماکزیم آن نیز کم و در حدود ۱ میلی وات است . این اشعه برای فاصله های تا دو کیلو متر به نحوی خوب قابل استفاده است . متأسفانه این رادیاسیون قابل رویت نیست و روانه کردن فاصله باها به طرف رفلکتورها بعضی اوقات با مشکل مواجه می باشد . با وجود این ، اکثر سازندگان فاصله باها ترجیح می دهند برای مدوله کردن نور در منبع ایجاد نور ، از همین دیودهای لومی نسان استفاده کنند .



نگاره (ع) دیاگرام اجامی یک نمونه از EDM



نگاره (ه) طرح ساده دیود لومی نسان

شده است) (ح) مدولاسیون مستقیم نور در این طریق ، بازی نوری که از منبع نور می آید در خود منبع مدوله می شود ( یعنی شدت آن آهنگ تغییرات ولتاژ وارده تغییر می کند ) . برای مدولاسیون مستقیم نور از یک دیود نیمه هادی بخصوص موسوم به دیود گالیوم - آرسناید ( یا Ga - As ) استفاده می شود . آن را به سلاحه نوری که به خارج می فرستند دیود لومی نسان هم می گویند . در دیود لومی نسان ( نگاره ه ) دو الکترود نیمه هادی ( گالیوم - آرسناید ) ترتیب داده شده اند . با دخول اتمهای خارجی ( به نام ناخالصیهای دهنده

شده است) (ح) مدولاسیون مستقیم نور در این طریق ، بازی نوری که از منبع نور می آید در خود منبع مدوله می شود ( یعنی شدت آن آهنگ تغییرات ولتاژ وارده تغییر می کند ) . برای مدولاسیون مستقیم نور از یک دیود نیمه هادی

