

نکته‌ای در تعیین آزیموت نجومی دقیق

ترجمه و تنظیم از مهندس علیرضا آزموده اردلان

«چکیده مطلب»

همچنان که دقت طولها و زوایای مشاهده شده از عوامل اصلی دقت نهایی یک کاتر نقش برداری میباشد، توجه شبکه نیز نقش عمده‌ای را در این میان ایفا می‌کند. توجه شبکه نسبت به شمال واقعی، کار ساده‌ای بوده دارای مزایای بسیار است. اگر این عمل (توجه شبکه) با مشاهدات نجومی صورت گیرد، می‌بایست نقشه برداری تمام منابع خطای موجود در توجه شبکه آگاهی داشته و این مطلب را درک کند که هر قدر هم طولها و زوایا با دقت اندازه‌گیری شوند، وجود خطا در توجه شبکه می‌تواند موجب کاهش دقت نهایی گردد. در این مقاله منبع خطایی مورد بحث فراموشی کرد که تا کنون بدان توجه کافی نشده، و همچنین یک روش صحیحی برای حذف این خطا پیشنهاد گردیده است.

مقدمه

نیاز به آزیموت یا ژیزمان در نقشه برداری زمینی کاملاً روشن است. در اکثر ایالات آمریکا، قانون خطای نسبی بست نقشه برداری کاداستر را کمتر از $1/50000$ تعیین کرده است. برای رسیدن به این دقت، می‌بایست به پیمایشهای اصلی با دقت‌های بالا صورت گیرد، بنابر مصوبه کمیته نقشه برداری فدرال آمریکا، شبکه درجه سه رده یک می‌بایست دارای دقت $1/50000$ بوده، و شبکه درجه سه رده دو و کاداستر دارای دقت $1/50000$ در تعیین موقعیت نقاط باشد. در این مقاله دقت مورد نظر $1/100000$ است. همچنین برای آزیموت نجومی در این رده دقت (3) را معرفی می‌کند. با کتر Buckner در مقاله (1975) خود نشان داده است که با یک کویل یک مشاهده دایره به چپ و یک مشاهده دایره به راست (مشاهده ستاره قطبی می‌توان آزیموت نجومی را با دقت $5''$ ، و با یک کویل مشاهده خورشید به دقت $7''$ رسید. با تعداد کویل‌های مناسب (در صورت عدم وجود خطای سیستماتیک) می‌توان آزیموت نجومی را با دقت مورد نیاز شبکه‌های درجه سه رده یک تعیین کرد. در صورت وجود خطاهای سیستماتیک، حتی نمی‌توان به آزیموت نجومی قابل قبولی در شبکه‌های درجه سه رده دو رسید. هدف ما در این مقاله بحث در مورد خطایی است که تا کنون مورد تأکید کافی قرار نگرفته است. این خطا انحراف محور قائم ثنودولیت، ناشی از عدم تنظیم تراز افقی، یا خوب‌تر از نگردن دستگاه است. این انحراف باعث شیب محور افقی، و اثر آن در امتداد‌های افقی مشاهده شده می‌گردد. این خطا دارای طبیعت سیستماتیک بوده و ممکن است دقت آزیموت نجومی مشاهده شده را از حد دقت شبکه پایین‌تر آورد. جدول مقدار این خطا را بر امتداد افقی، هنگامی که حساب تراز افقی به اندازه یک چهارم تقسیمات تراز منحرف باشد، نشان می‌دهد.

بعداً نشان خواهیم داد، که خطای ناشی از این انحراف، بر روی امتداد‌های افقی، مستقیماً متناسب با ارتفاع شیئی مشاهده شده است. بنابراین روشن است که قراول روی به سمت ستاره به شدت تحت تأثیر این خطا قرار خواهد گرفت. از آنجائی که این خطا مستقیماً به آزیموت امتداد مشاهده شده منتقل می‌گردد، کلیه تلاشها جهت بالا بردن دقت آزیموت، تا قبل از حذف آن بی‌ثمر خواهد بود. برخلاف تصور بعضی، این خطا با قرائت کویل حذف نشده و کاهش نمی‌یابد.

اگر محور افقی ثنودولیت با افقی واقعی زاویه α بسازد، در این صورت خطای امتداد با آزیموت قراول روی شده از رابطه زیر بدست می‌آید:

در این رابطه h ارتفاع تارگت نسبت به محور افقی است. واضح است که اگر محور افقی دوربین و تارگت در یک امتداد باشند، خطای انحراف محور قائم، هر قدر

هم که بزرگ باشد، بر زوایای افقی، صفر خواهد بود.

انحراف محور افقی می‌تواند ناشی از دو عامل باشد:

(1) عمود نبودن محور افقی بر محور قائم دوربین؛

(2) شاقولی نبودن محور قائم به خاطر عدم دقت تراز یا خوب‌تر از نگردن دوربین.

فرض کنید α انحراف محور افقی و β تصویر انحراف محور قائم بر صفحه محور افقی باشد. همچنین سمت راست محور افقی را بلندتر از وضعیت طبیعی فرض کنید. این حالت را می‌توانید درنگاره (1) ببینید. با آنچه گفته شد کل انحراف محور افقی برابر است با:

$$\alpha_0 = \beta + \alpha$$

بنابراین خطا در امتداد افقی $\beta + \alpha \tan h$ خواهد بود. همین وضعیت برای حالت معکوس (دایره به راست) درنگاره (2) نشان داده شده، در این حالت انحراف کل عبارت است از:

$$\beta - \alpha$$

و خطای در امتداد افقی برابر $(\beta - \alpha) \tan h$ خواهد شد. بنابراین با میانگین‌گیری از قرائتهای مستقیم و معکوس خطای ناشی از α حذف و تنها اثر β باقی می‌ماند. لذا ملاحظه می‌گردد که خطای باقی مانده در متوسط قرائت‌های مستقیم و معکوس تنها بعثت انحراف محور قائم است.

نوع یا مدل ثنودولیت	حساسیت حساب تراز در میلیمتر انحراف	خطا در امتداد افقی بر حسب ثانیه کمانی		
		$h=15^\circ$	$h=30^\circ$	$h=45^\circ$
Kern/DKM2 - A	20"	1.3	2.9	5.0
Lietz/TM - 1A	20"	1.3	2.9	5.0
Nikon/NT - 5A	20"	1.3	2.9	5.0
Topcon/6DE	30"	2.0	4.3	7.5
Wild/T1	30"	2.0	4.3	7.5
Wild/T2	20"	1.3	2.9	5.0
Zeiss/Th - 2	20"	1.3	2.9	5.0

$$\beta^* = \frac{1}{4} [(L + L') - (R + R')] d$$

اگر بیشتر از یک زوج قرائت داشته باشیم، آنگاه:

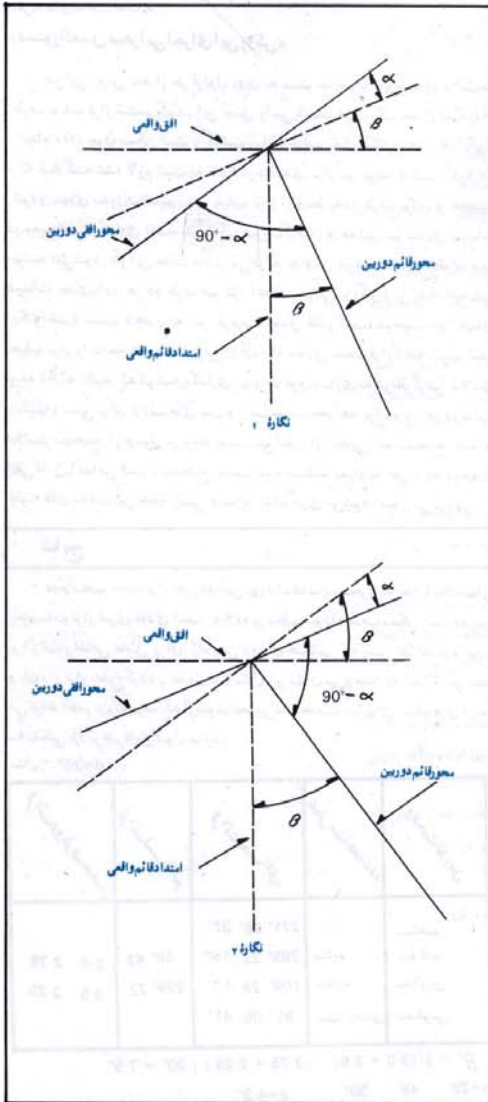
$$\beta^* = (1/2n) (\sum L - \sum R) d$$

در این رابطه $\sum R$ و $\sum L$ بترتیب مجموع قرائتهای سمت چپ و راست، n تعداد قراول روی هاست.

اگر درجه بندی تراز از یک انتهای آن صورت گرفته باشد، انحراف محور قائم

$$\beta^* = \frac{1}{4} [(L - R) + (L' - R')] d$$

از فرمول زیر بدست خواهد آمد:



برای یافتن میزان انحراف محوری می توان از تراز حساس استفاده کرد. به کاربردن این روش در محرابه نه تنها غیر اصولی و وقت گیر بوده بلکه هزینه اضافی نیز به همراه خواهد داشت. آقای اسمیت (Smith, 1978) روش زیر را پیشنهاد کرده است، در این روش بعد از هر قراول روی به ستاره (یاخورشید)، تودولیت ۹۰ درجه به راست چرخانده شده، با چرخاندن لوله تلسکوپ لمب قائم روی زاویه زینتی، ۹۰ درجه تنظیم می شود، و نهایتاً تودولیت را ۹۰ درجه به طرف چپ ستاره چرخانده بدون حرکت دادن لوله تلسکوپ در جهت قائم، لمب قائم قرائت می گردد. به این ترتیب اختلاف این قرائت از ۹۰، دو برابر خطای محوری افقی در امتداد ستاره خواهد بود. این روش متکی بر دقت سیستم قرائت دوربین بوده و نیازمند دقت و تلاش اضافی است.

روشی که در این مقاله بدان توصیه می گردد، روشی است که طی آن تصویر انحراف محور قائم در صفحه گذرنده بر محور افقی تعیین می شود. همانگونه که قبلاً نشان داده شده این تصویر تنها مؤلفه مؤثر بر امتدادهای افقی مشاهده شده است. این انحراف را می توان با قرائت حساب افقی، در هر بار نشانه روی بدست آورد. فرمولی برای این منظور بکار می رود، بستگی بر این اصل است که اگر محور قائم دارای انحرافی باشد، در تغییر وضعیت دوربین، حساب تراز افقی تغییر مکان می دهد. فاصله موقعیت میانگین مرکز حساب تراز از مرکز هندسی طرف آن (برحسب واحد زاویه) برابر انحراف محور قائم است. در اکثر تودولیت های مدرن مورد استفاده در نقشه برداری، تراز دوربین دقت کافی برای تعیین این انحراف را دارا می باشد.

انحراف محور قائم از قرائت درجات دو انتهای حساب تراز محاسبه می شود. فرمولی که برای محاسبه این انحراف بکار می رود بستگی به نوع درجه بندی تراز افقی دارد. صفر اکثر این درجه بندی ها در مرکز تراز است، اما در بعضی نیز ممکن است در یکی از دو انتهای تراز قرار داشته باشد. اگر تراز به خوبی تنظیم باشد، وقتی که حساب در مرکز است، محور قائم واقعاً عمودی خواهد بود و کوچکترین اعمال در تراز نمودن دوربین، منجر به انحراف محور قائم می گردد. در صورت تنظیم نبودن حساب تراز، محور قائم حتی در صورت قرار داشتن حساب در مرکز، منحرف خواهد بود. محل مرکز حساب را می توان با قرائت درجات دو طرف آن دقیقاً تعیین کرد. فرض کنید L قرائت طرف چپ و R قرائت طرف راست حساب به هنگام قراول روی باشد، در این صورت موقعیت مرکز حساب (برای جایی که از مرکز به طرفین درجه بندی شده) عبارت است از:

$$\frac{1}{2} (L - R)$$

علامت این عبارت هنگامی که حساب به سمت چپ محور هندسی تراز متمایل است، مثبت می باشد، در این وضعیت طرف چپ حساب تراز بالاتر است.

از این عبارت به نتایجی نمی توان برای تعیین انحراف محور قائم استفاده کرد، چرا که انحراف حساب می تواند ناشی از عدم تنظیم آن باشد. علاوه، عاملی که از عدم تنظیم تراز مطلع نیست، همیشه حساب را تا حد امکان تراز کرده، و در نتیجه حاصل عبارت فوق صفر خواهد گردید. اما در صورت وجود چنین اشکالی، هنگامی که دوربین در وضعیت معکوس قرار داده می شود، حساب تراز حرکت خواهد کرد. اگر قرائتهای جدید دو انتهای حساب تراز را R_2 فرض کنیم، موقعیت مرکز حساب عبارت است از:

$$\frac{1}{4} (L' - R')$$

و برای موقعیت میانگین مرکز حساب می توان نوشت:

$$\frac{1}{4} [\frac{1}{2} (L - R) + \frac{1}{2} (L' - R')]$$

در نتیجه، انحراف محور قائم، برحسب ثانیه کمانی، بصورت زیر بیان خواهد شد:



و نهایتاً تصحیحی که می‌بایست به میانگین امتداد اعمال شود، برحسب ثانیه کمانی عبارتست از:

$$c'' = \beta \tan h$$

علامت تصحیح بستگی به علامت β و h دارد. در مشاهدات نجومی h همیشه مثبت بوده و در نتیجه $\tan h$ نیز مثبت خواهد بود. اگر طرف چپ تراز بالاتر باشد، β مثبت و در نتیجه تصحیح مثبت می‌گردد. چون واضح است که اگر چپ طرف حباب (یا لمب افقی) بالاتر باشد، امتداد قرائت شده کوچکتر از امتداد واقعی است (البته با در نظر گرفتن این مطلب که جهت افزایش درجات دوربین، در جهت عقربه‌های ساعت است).

«دستورالعمل صحرائی اجرای این روش»

در این روش بعد از هر قرائت روی به سمت ستاره (یا خورشید)، قرائت دو طرف حباب تراز ثبت می‌گردد. این عمل را می‌بایست مکرر تا زمانی که بعد از ثبت زمان انجام داد، چون ممکن است با گذشت زمان، حباب تغییر مکان دهد. همانگونه که قبلاً گفته شد، لازم است به نحوه درجه‌بندی تراز نیز توجه داشت. در اکثر تودولیت‌های مدرن، تقسیم‌بندی حباب تراز از وسط به دو طرف بوده، و همچنین درجه‌بندی با مقداری فاصله از مرکز صورت گرفته، و عددی نیز مقابل درجات نوشته نمی‌شود. در این حالت عامل می‌تواند به اولین درجه عددی دلخواه، و به درجات بعدی، در هر دو طرف مرکز، اعداد متوالی بزرگتر (یا روند افزایشی بکناخت) نسبت دهد. به این ترتیب عامل قادر است، موقعیت دو انتهای حباب تراز را تا حد درجه یا جزئی از آن که مقابل حباب قرار گرفته، ثبت کند. توجه داشته باشید که در شماره‌گذاری بصورت فوق، نیازی به در نظر گرفتن علامت مثبت و منفی برای قرائت‌های چپ و راست حباب نخواهد بود، و در هر دو حالت علامت تصحیح از فرمول مربوطه بدست می‌آید. از آنجایی که تصحیح امتداد افقی قابل اغماض است، تصحیح بدست آمده مستقیماً به زاویه افقی، که در جهت عقربه‌های ساعت بین نقطه زمینی و ستاره اندازه‌گیری می‌شود اعمال می‌گردد.

نتایج

عدم تنظیم حباب تراز افقی دوربین مورد استفاده در صحرا، به اندازه یک چهارم تقسیمات تراز ام‌ری عادی است. علاوه بر تنظیم نبودن حباب ممکن است دوربین بر اثر فشار اضافی عامل بر آن، راه رفتن دوران هنگامی که زمین اطراف نرم است، و غیره از تراز خارج گردد. جدول ۱ و مثال زیر نشان می‌دهند که اندازه این خطا می‌تواند آنقدر بزرگ بوده که آزمون نجومی مشاهده شده را برای شبکه‌های درجه سه یا حتی بالاتر غیر قابل قبول سازد.

مثال: $d=20''$

وضعیت دوربین	شکل مشاهده شده	قرائت لمب راست	قرائت لمب چپ	قرائت دوربین حباب
مستقیم		271° 05' 37"		
مستقیم	ستاره	289° 22' 15"	59° 43'	3-0 2-75
معکوس	ستاره	109° 29' 57"	299° 22'	3-5 2-25
معکوس	نقطه زمینی	91° 05' 41"		

$$\beta'' = \frac{1}{2}[(3-0 + 3-5) - (2-75 + 2-25)] \cdot 20'' = 7-5''$$

$$h = 29^\circ 49' 30'' \quad c = 4-3''$$

توجه داشته باشید که اگر خطا، ناشی از عدم تنظیم تراز باشد، در آن صورت خطای سیستماتیک ثابتی در تمام مشاهدات خواهیم داشت که باعث توافق مجموعه مشاهدات می‌گردد. خطاهای جزئی در تراز کردن دوربین، در صورت افزایش تعداد مشاهدات به سمت خطاهای اتفاقی میل خواهد کرد (البته لازمه آن کنترل و تنظیم حباب تراز در ابتدای هر کوپل است).

اگر ارتفاع جسم سماوی مشاهده شده کم، و تراز تنظیم باشد، می‌توان از این خطا صرف نظر کرد. اما در مشاهده خورشید هنگامی که ارتفاع آن زیاد است، یا مشاهده ستاره قطبی در مناطق با عرض متوسط، می‌بایست این تصحیح را بکار برد. برای رسیدن به دقت‌های بالایی می‌توان وقت بیشتری را در قرائت حباب صرف کرد. اگر نقطه زمینی به میزان قابل توجهی بالاتر یا پایین‌تر از دوربین باشد، آنگاه می‌توان با قرائت دو طرف حباب به هنگام قرائت روی به نقطه زمینی این تصحیح را برای آن نیز محاسبه کرد. اما در اکثر موارد این تصحیح برای ارتفاعات کمتر از 10³ مقدار ناچیزی خواهد بود.

1) F.G.C.C. : Federal Geodetic Control Committee

۲) ارتفاع جسم مشاهده شده است

3) Transit / Teodolite Survey, Part 2, vol. 9, No. 5, 1984

منابع

Biddle, C. A. (1958), *The Text Book of Field Astronomy*, Her Majesty's Stationery Office, London, England.

Breed, C. B., G. L. Hosmer, and A. J. Bone (1962), *Higher Surveying*, Vol. II, 8th ed., John Wiley and Sons, Inc., New York, p. 159.

Buckner, R. Ben, (1975), "Reasons and Methods for Accurate Direction in Land Surveys," *Journal of the Surveying and Mapping Division*, ASCE, (Dec).

Buckner, R. Ben, (1984), *Manual on Astronomic and Grid Azimuth*, Landmark Enterprises.

Department of the Army (1970), "Precise Astronomic Surveys," *Technical Manual TM5-442*, 442, Washington, D. C., paras. 8 - 10.

Deumlich, Fritz (1982), *Surveying Instruments*, Walter de Gruyter, Berlin and New York, pp. 128 - 129.

Hoskinson, A. and J. Duerksen (1952), "Manual of Geodetic Astronomy," *Special Publication 237*, U. S. Coast and Geodetic Survey, Washington, D. C., pp. 92 - 93.

Mackie, J. B. (1978), *Astronomy for Surveyors*, 8th ed., Charles Griffin and Co., Ltd., London.

Mueller, Ivan I. (1969), *Spherical and Practical Astronomy as Applied to Geodesy*, Frederik Ungar Publishing Co., New York, pp. 312 - 313 and ch. 9.