# حساب قيمة و دقة خطأ التوجيه الشاقولي لأجهزة التسوية في الحقل. ومناقشة هذه الدقة للوصول إلى الحل الأمثل

**الدكتور عبد الرحمن بكري لبابيدي***

## الملخّص

عند قياس فروق الارتفاع بطريقة التسوية المباشرة في أجهزة التسوية الضوئية العادية أو الرقمية علينا في البداية معايرة جهاز التسوية من خلال تحديد قيمة خطأ التوجيه الشاقولي.

تمت محاولة استنتاج علاقة عامة من خلال الترتيبة الأصغرية أي بوجود ميراتين وبوضعيتين للجهاز فقط يمكن تطبيقها في كل الحالات. ومن خلال هذه الدراسة تبين أنه يمكن الوصول مع حرية الاختيار لمسافة الأهداف إلى قيمة خطأ توجيه شاقولي أدق مما هو ظاهر في الطرق المرجعية وذلك من خلال إيجاد علاقة لحساب الخطأ متوسط التربيع لقيمة خطأ التوجيه الشاقولي ومن خلال إيجاد علاقة لتأثير خطأ التسوية الظاهرية على دقة حساب خطأ التوجيه الشاقولي.

ومن خلال مناقشة مسافة الأهداف تم استنتاج عدد من المعايير للحكم على اختيار الوضعيات ومسافة الأهداف للوصول إلى دقة أعلى وتأثير أقل لخطأ التسوية الظاهرية.

كلمات مفتاحية:

- خطأ التوجيه الشاقولي
- معايرة جهاز التسوية في الحقل

* مدرس في قسم الهندسة الطبوغرافية – كلية الهندسة المدنية – جامعة حلب – سورية.

**مقدمة:**

يستخدم جهاز التسوية لقياس فرق الإرتفاع بين نقطتين أو أكثر وبالتالي حساب الإرتفاع لهذه النقاط استناداً الى ارتفاع نقطة معلومة الإرتفاع.

ولتحقيق هذا الهدف يجب أن يحقق أي جهاز تسوية ضوئي أو رقمي الشروط التالية:

- أن يكون خط التسديد أفقياً في أجهزة التسوية ذات الزئبقية الإسطوانية عند وضع الفقاعة بين حديها.
- أن يكون خط التسديد أفقياً في أجهزة التسوية الآلية العادية أو الرقمية التي تحتوي على معدل ميكانيكي – ضوئي آلي (Compensator) لجعل المحور الضوئي أفقياً بشكل آلي ، عندما يتحرك هذا المعدل الآلي بحرية.

إذا لم يتحقق هذا الشرط فإنه توجد زاوية $\alpha$ كائنة بين خط التسديد وخط الأفق تدعى بخطأ التوجيه الشاقولي أو خطأ الميلان. و لتحديد قيمة خطأ التوجيه الشاقولي في الحقل يتم اتباع إحدى الطرق المرجعية. وفي كل طريقة يجب اتباع ترتيبة معينة لمسافة الميرات (المسافة بين الميرا وجهاز التسوية) وترتيبة لمكان تواجد جهاز التسوية و شروط خاصة كوقوع كل المجموعة في مستوي شاقولي واحد كما هو وارد في المراجع العلمية وحيث لا توجد قياسات فائضة. كما تطبق هذه الطرق على أجهزة التسوية الرقمية.

**أهمية البحث وأهدافه:**

تبرز أهمية البحث في حساب **قيمة و دقة خطأ التوجيه الشاقولي في الحقل** عن طريق اختيار طريقة تعتمد على حرية الاختيار لمسافة الأهداف عوضاً عن استخدام الطرق المرجعية المتبعة وذلك باستخدام علاقة رياضية واحدة لجميع الطرق. والتي نحتاجها حين رصد التشوهات الشاقولية لبعض المنشآت وخاصة التشوهات الشاقولية التفاضلية. وإيجاد المعايير التي تسمح بتقييم هذه الطريقة ومقارنتها بالطرق المرجعية المتبعة.

**طرائق البحث ومواده:**

يعتمد البحث على طرح طريقة يتم من خلالها استنتاج **قيمة ودقة خطأ التوجيه الشاقولي في الحقل** بعلاقة رياضية واحدة لكل الطرق من خلال الترتيبة الأصغرية بدون قياسات فائضة تسمح بحساب دقة خطأ التوجيه الشاقولي بأي توزيع للميرات وبأي ترتيب للمسافات بين الجهاز والميرات.

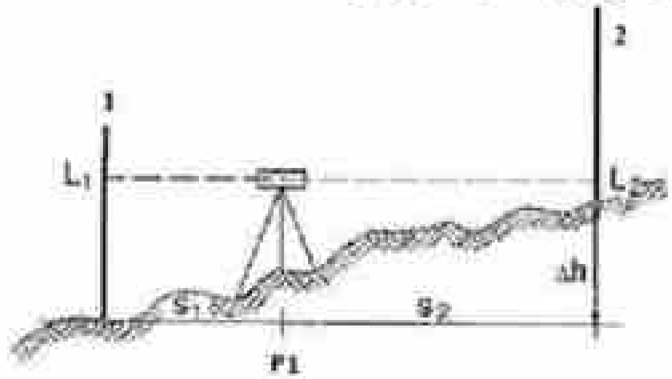
## القواعد العامة للتسوية المباشرة:

من المعلوم عند استخدام التسوية المباشرة فإنه يفترض بأن سطح سوية الجاذبية الأرضية في هذه البقعة الصغيرة مستمر ومسار شعاع التسديد بشكل خط مستقيم.

من أجل القياس يتم وضع ميراتين 1 و 2 وبينهما جهاز تسوية على مسافة S1 و S2 كما في الشكل(1). إن فرق الإرتفاع يساوي في هذه الحالة القراءة الخلفية L1 ناقص القراءة الأمامية L2

$$\Delta h = L1 - L2 \qquad (1)$$

مع ملاحظة أن نقطة تمركز جهاز التسوية والمسافات الى الميرات يمكن اختيارها بحرية مطلقة و لا يجب أن تقع في مستو شاقولي واحد.




الشكل (1) قياس فرق الإرتفاع بالتسوية المباشرة إذا كان محور التسديد أفقياً تماماً

## تحديد قيمة خطأ التوجيه الشاقولي من نتائج القياسات:

في حال وجود خطأ توجيه شاقولي (Baumann, 1999) فإن القيم الفعلية التي يتم قراءتها بدلاً من L1 و L2 هي l1 و l2 كما هو موضح بالشكل (2).

من الشكل نجد أنه يمكن حساب قيمة خطأ التوجيه الشاقولي $\alpha$ من المعادلة التالية:

$$\tan(\alpha) = \frac{l1 - L1}{S1} \quad \text{و} \quad \tan(\alpha) = \frac{l2 - L2}{S2} \qquad (2)$$

ومنها يمكن أن نستنتج:

$$l1 - L1 = S1 * \tan(\alpha) \Rightarrow l1 = L1 + S1 * \tan(\alpha) \qquad (3)$$

$$l2 - L2 = S2 * \tan(\alpha) \Rightarrow l2 = L2 + S2 * \tan(\alpha) \qquad (4)$$

بطرح المعادلتين 3 و 4 نجد:

$$l1 - l2 = (L1 - L2) + \tan(\alpha) * (S1 - S2)$$

$$l1 - l2 = \Delta h + \tan(\alpha) * (S1 - S2) \qquad (5)$$

تحوي المعادلة رقم (5) قيمتين غير معلومتين هما $(\tan(\alpha),\ \Delta h)$ ومن أجل تحديد قيمة خطأ التوجيه الشاقولي $\alpha$ نحتاج على الأقل الى معادلتين وهذا يعني وضع جهاز التسوية في نقطتي تمركز ندعوهما $P$=(P1,P2) و تركيبتين لنقاط توضع الميرات $n$=(1,2) . بشكل عام يجب أن يكون: $p \geq 2$  $n \geq 2$ وعندئذ يمكن حساب كل من $(\tan(\alpha),\ \Delta h)$ عن طريق تطبيق نظرية التربيعات الصغرى.

في هذه المقالة سيتم فقط معالجة الحالة الخاصة عندما $p = 2$ , $n = 2$ وهي التركيبة الأصغرية وهذا يعني عدم وجود قياسات فائضة. إذا تم التسديد على ميراتين من نقطتين مختلفتين فإن $p = 2$ , $n = 2$ وفي هذه الحالة يوجد هناك حل وحيد فقط.

لنفرض الأن الرموز التالية:

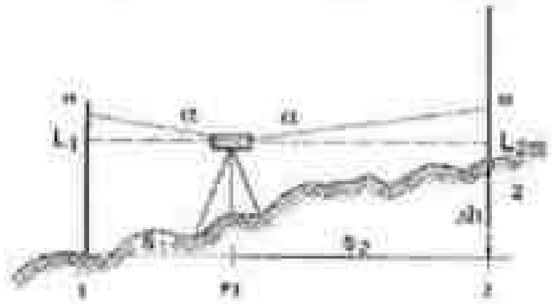
$S(i,j)$ بعد جهاز التسوية الموجود في النقطة $i$ عن الميرا الموجودة في النقطة $j$

$l(i,j)$ قراءة جهاز التسوية الموجود في النقطة $i$ على الميرا الموجودة في النقطة $j$

$L(I,J)$ القيمة المصححة لقراءة جهاز التسوية الموجود في النقطة $i$ على الميرا الموجودة في النقطة $j$ . إن المعادلات الناتجة في هذه الحالة:

$$l(1,1) - l(1,2) = \Delta h + (S(1,1) - S(1,2)) * \tan(\alpha) \qquad (6\text{-}1)$$

$$l(2,1) - l(2,2) = \Delta h + (S(2,1) - S(2,2)) * \tan(\alpha) \qquad (6\text{-}2)$$



الشكل (2) قياس فرق الإرتفاع بالتسوية المباشرة إذا كان محور التسديد ليس أفقياً تماماً

وباعتبار الاختصارات التالية:

$$l(1,1) - l(1,2) = \Delta l1 \qquad (S(1,1) - S(1,2)) = \Delta S1$$

$$l(2,1) - l(2,2) = \Delta l2 \qquad (S(2,1) - S(2,2)) = \Delta S2$$

$$\tan(\alpha) = t$$

إذا وضعنا المعادلات السابقة بالشكل المصفوفي نجد:

$$\begin{bmatrix} 1 & \Delta S1 \\ 1 & \Delta S2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \Delta h \\ t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta l1 \\ \Delta l2 \end{bmatrix} \quad (7)$$

بحل هذه المعادلات نجد:

$$\Delta h = \frac{\Delta S2 * \Delta l1 - \Delta S1 * \Delta l2}{\Delta S2 - \Delta S1} \quad (8)$$

$$t = \frac{\Delta l2 - \Delta l1}{\Delta S2 - \Delta S1} \Rightarrow \alpha = \arctan(t) \quad (9)$$

وعندئذ فإن القيم الواجب قراءتها يمكن استنتاجها من المعادلات 3 و 4 :

$$L(1,1) = l(1,1) - S(1,1) * t \quad , \quad L(1,2) = l(1,2) - S(1,2) * t \quad (10)$$
$$L(2,1) = l(2,1) - S(2,1) * t \quad , \quad L(2,2) = l(2,2) - S(2,2) * t$$

بواسطة المعادلة (9) يمكن حساب قيمة خطأ التوجيه الشاقولي في مختلف الطرق المرجعية. بالإضافة إلى ذلك يمكن ملاحظة أنه يمكن اختيار مكان الجهاز و مكان توضع الميرات بحرية تامة عند حساب قيمة خطأ التوجيه الشاقولي. كما أن وضع مجموعة الميراتين والجهاز في مستوي شاقولي واحد ليس ضرورياً. كما أنه نجد من المثلث الأفقي المتشكل أن كل النقاط تقريبا تقع في نفس المستوي الشاقولي.

## الطرق المرجعية في الترتيبة الأصغرية:

إن كل الطرق المرجعية بالترتيبة الأصغرية لتحديد قيمة خطأ التوجيه الشاقولي ذات متطلبات خاصة من أجل القياس واختيار مسافة الأهداف حيث يتم اختيار نقاط تمركز جهاز التسوية ونقاط وقوف الميرات حتى تقع جميعها في مستوي شاقولي.

وهذه الإجراءات جعلت لكل طريقة علاقات حسابية مبسطة لحساب قيمة خطأ التوجيه الشاقولي وذلك لجعلها مناسبة للحساب في الحقل ولكن في الوقت الحالي مع توفر الحواسيب الشخصية أصبحت السهولة ليست هي المعيار الحاسم. وكما أن هذه العلاقات المختلفة تحجب الرؤية من أن اختيار أية طريقة تقليدية بالترتيبة الأصغرية يمكن دوماً معالجته بنفس المبدأ من خلال المعادلة (9).

والطرق المرجعية هي:

1- طريقة التوسط (Deumlich and Staiger, 2002)

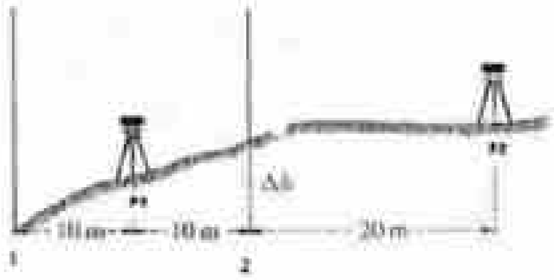
2- طريقة كوكاميكي (Kahman, 2006)

3- طريقة نيباور (Kahman, 2006)

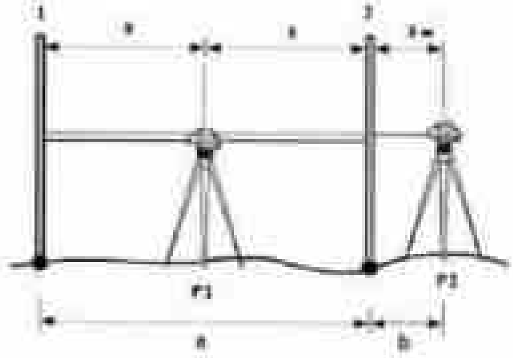
4- طريقة فورستنر (Forstner, 1970)

5- طريقة الرصد المتعاكس (جزماتي، 1993)

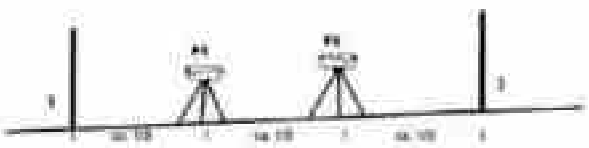
المسافات في كل منها واردة في الجدول رقم (1) . وعند تطبيق المعـادلات (8) و (9) سنحصل على المعادلات المعروفة في المراجع العلمية.



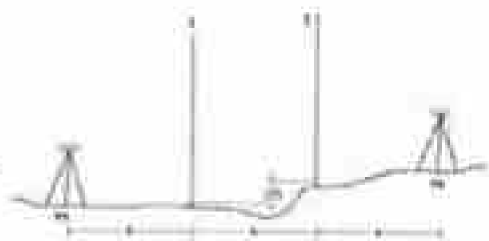
الشكل (4) طريقة كوكاميكي



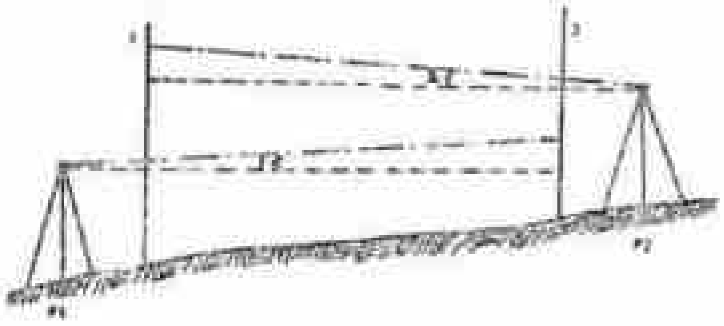
الشكل (3) طريقة التوسط



الشكل (6) طريقة فورستنر



الشكل (5) طريقة نيباور



الشكل (7) طريقة الرصد المتعاكس

في الطرق التي لا تتطلب دوران الجهاز عند القياس على الميراتين يمكـن حـذف خطـأ الانزياح الشاقولي لخط التسديد في القراءة الخلفية والأمامية والذي يمكن أن ينشـأ عنـد استخدام الأجهزة ذات المعدل الميكانيكي الضوئي الآلي والذي يبلغ في المراجع قيمة حتى

0.4 mm (Deumlich and Staiger, 2002). أما عند التسديد على أهداف متباينة القرب فإنه يظهر في هذه الحالة مشكلة تغيير المطابقة القوية .

**استنتاج قيمة الخطأ متوسط التربيع لخطأ التوجيه الشاقولي في الترتيبة الأصغرية:**

كما وجدنا فإنه يوجد في المراجع العلمية مجموعة من الإقتراحات لمسافة الأهـداف فـي الترتيبة الأصغرية. ولمعرفة أي من هذه الطرق يمكن أن يعطي قيمة أدق لخطأ التوجيـه الشاقولي $\alpha$ في حالة وجوده. علينا إيجاد قيمة الخطأ متوسط التربيـع لخطـأ التوجيـه الشاقولي.

باعتبار الخطأ متوسط التربيع للقراءات على الميرا $\sigma_{L(i,j)}$

والخطأ متوسط التربيع لقياس المسافات $\sigma_{S(i,j)}$

نحصل من المعادلة 9 وبتطبيق قانون انتشار الأخطاء على قيمة الخطأ متوسـط التربيـع لخطأ التوجيه الشاقولي $\alpha$:

$$\sigma_{\alpha}=\frac{1}{(1+t^2)}\sqrt{\frac{1}{(\Delta S2-\Delta S1)^2}\left[(\sigma_{L(1,1)})^2+......+(\sigma_{L(2,2)})^2\right]+\frac{(\Delta L2-\Delta L1)^2}{(\Delta S2-\Delta S1)^2}\left[(\sigma_{S(1,1)})^2+......+(\sigma_{S(2,2)})^2\right]} \quad (11)$$

إذا تم اعتبار أن قيم الخطأ متوسط التربيع على المسافات $\sigma_{S(i,j)}$ لها نفس القيمـة $\sigma_S$ باعتبار المسافات متقاربة وبالأخذ بعين الإعتبار للمجاميع في العلاقة 9 نحصل على:

$$\sigma_{\alpha}=\frac{1}{(1+t^2)|\Delta S2-\Delta S1|}\sqrt{[\sigma^2{}_{S(1,1)}+\sigma^2{}_{S(1,2)}+\sigma^2{}_{S(2,1)}+\sigma^2{}_{S(2,2)}]+4t^2(\sigma_S)^2} \quad (12)$$

من هذه العلاقة والتي يمكن تطبيقها على كل الترتيبات الأصغرية يمكن أن نستنتج بأن الخطأ متوسط التربيع لقيمة خطأ التوجيه الشاقولي $\sigma_{\alpha}$ تتناسب طرداً مع قيم الخطأ المتوسط التربيع للقراءات $\sigma_{L(i,j)}$ والخطأ المتوسط التربيع للمسافات $\sigma_S$ وعكساً مع فرق المسافة بين الأهداف $|\Delta S2-\Delta S1|$.

عند استخدام النيفو الرقمي فإنه يمكن إعطاء قيمة الخطأ متوسط التربيع من أجل 1 كم بالقياس المضاعف ذهاباً وإياباً والذي ينتج عن الخطأ متوسط التربيع لكل قراءة من خلال نظام القياس والحساسية. ومن أجل جهاز التسوية الرقمي DINI10, NA3003 و DL101 من خلال اختبارات حقلية ومخبرية يمكن إعطاء القيمة 0.02 mm لمسافة

10 m أي (0.02 mm/10m) (Schauerte, 1995, 1997) فإذا تم استخدام هذه القيمة كقيمة للدقة مرتبطة بالمسافة من أجل كل قراءة فإنه يمكننا أن نكتب:

$$\sigma_{l_{ij}}(S(i,j)mm = 0.002 \;\; mm/m \;\; Distance \qquad (13)$$

$$\sigma_{L(i,j)}(mm) = \sigma_0 * S(i,j)(m) \qquad (14)$$

حيث

$$\sigma_0 = 0.002 \;\; mm/m \;\; Distance$$

بتعويض المعادلة 13 في المعادلة 12 نجد :

$$\sigma_\alpha = \frac{1}{(1+r^2)*|\Delta S2 - \Delta S1|}\sqrt{\sigma_0^{\,2}[(S(1,1))^2 + (S(1,2))^2 + (S(2,1))^2 + (S(2,2))^2] + 4r^2 * \sigma_s^{\,2}} \qquad (15)$$

تكون قيمة $\sigma_\alpha$ أصغرية كلما كان قيم فرق المسافة $|\Delta S_2 - \Delta S_1|$ أكبر ما يمكن. ومجموع مربعات مسافة الأهداف أكبر ما يمكن. وباعتبار وجود تباين في مسافة الأهداف في الترتيبة الأصغرية بين الطرق المرجعية المستخدمة فإنه يوجد هناك أيضاً خلاف في الدقة فيما بينها.

## تأثير انحناء الأرض على قياس فرق الارتفاع:

تعطى علاقة تصحيح فرق الارتفاع والناتجة عن إهمال إنحناء الأرض بالعلاقة التالية:

$$s = -\frac{D^2}{2R} \qquad (17)$$

## تأثير انكسار الأشعة:

تعطى علاقة تصحيح فرق الارتفاع والناتجة عن إهمال إنكسار الأشعة بالعلاقة التالية:

$$r = 2n\frac{D^2}{R} = k_2\frac{D^2}{2R} \qquad (18)$$

وبالتالي فإن القيمة الناتجة بعد حذف الخطأ الناتج عن انحناء الأرض و الخطأ الناتج عن تأثير انكسار الأشعة لكل قراءة والمسميان تحت اسم **خطأ التسوية الظاهرية:**

$$l(i,j) = l(i,j)_{roh} - (s - r) = l(i,j)_{roh} - \frac{K}{2R}D^2 \qquad (19)$$

من الآن سنفترض أن قيم قراءات الميرا قد صححت من تأثير الإنحناء والإنكسار معاً.
وعندئذ يمكن حساب القيم المصححة للقراءات على الميرا من المعادلات التالية:

$$L_1 = l_1 + \frac{k}{2R}(S_1)^2 - S_1 * \tan(\alpha), \quad L_2 = l_2 + \frac{k}{2R}(S_2)^2 - S_2 * \tan(\alpha) \qquad (20)$$

بطرح هاتين المعادلتين من بعضهما البعض وباعتبار $\Delta h = L_1 - L_2$ نجد:

$$L_1 - L_2 = \Delta h - \frac{k}{2R}[(S_1)^2 - (S_2)^2] + (S_1 - S_2) * \tan(\alpha) \quad (21)$$

تحتوي هذه المعادلة على قيمتين مجهولتين $(\Delta h, \alpha)$ ولحساب هاتين القيمتين نحتاج الــى نقطتين للوقوف وقراءتين في كل تمركز :

$$L(1,1) - L(1,2) = \Delta h - \frac{k}{2R}[(S(1,1))^2 - (S(1,2))^2] + (S(1,1) - S(1,2)) * \tan(\alpha)$$

$$L(2,1) - L(2,2) = \Delta h - \frac{k}{2R}[(S(2,1))^2 - (S(2,2))^2] + (S(2,1) - S(2,2)) * \tan(\alpha) \quad (22)$$

باعتبار الاختصارات التالية : $t = \tan(\alpha)$

$$L(1,1) - L(1,2) = \Delta L_1 , \qquad L(1,2) - L(2,2) = \Delta L_2$$

$$S(1,1) - S(1,2) = \Delta S_1 , \qquad S(2,1) - S(2,2) = \Delta S_2$$

$$[(S(1,1))^2 - (S(1,2))^2] = \Delta \bar{S}_1 , \quad [(S(2,1))^2 - (S(2,2))^2] = \Delta \bar{S}_2 \quad (23)$$

نحصل على المعادلات المختصرة التالية:

$$\Delta L_1 = \Delta h - \frac{k}{2R}\Delta \bar{S}_1 + t * \Delta S_1 , \quad \Delta L_2 = \Delta h - \frac{k}{2R}\Delta \bar{S}_2 + t * \Delta S_2 \quad (24)$$

وبكتابة المعادلات الخطية السابقة بالشكل المصفوفي نجد:

$$\begin{bmatrix} 1 & \Delta S_1 \\ 1 & \Delta S_2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \Delta h \\ t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta L_1 + \frac{k}{2R}\Delta \bar{S}_1 \\ \Delta L_2 + \frac{k}{2R}\Delta \bar{S}_2 \end{bmatrix} \quad (25)$$

بحل جملة المعادلتين السابقتين نجد:

$$\Delta h = \frac{(\Delta S_2 * \Delta L_1 - \Delta S_1 * \Delta L_2) + \frac{k}{2R}(\Delta S_2 * \Delta \bar{S}_1 - \Delta S_1 * \Delta \bar{S}_2)}{\Delta S_2 - \Delta S_1} \quad (26)$$

$$t = \frac{(\Delta L_2 - \Delta L_1) + \frac{k}{2R}(\Delta \bar{S}_2 - \Delta \bar{S}_1)}{\Delta S_2 - \Delta S_1}; \quad \alpha = \arctan(t) \quad (27)$$

ولحساب تأثير تغيرات قيمة معامل الإنكسار k على قيمة الخطأ متوسط التربيع للزاويــة $\alpha$ $(\sigma_\alpha)$ نقوم بالإشتقاق الجزئي للمعادلة(27) بالنسبة ل $\alpha$ فنجد:

$$\frac{\partial\alpha}{\partial k}=\frac{1}{2R}*\frac{1}{1+t^2}*\frac{\Delta\bar{S}_2-\Delta\bar{S}_1}{\Delta S_2-\Delta S_1} \qquad (28)$$

ولايجاد قيمة تأثير تغير $\Delta k$ على $\Delta\alpha$ فإننا نكتب:

$$\Delta\alpha=\frac{\partial\alpha}{\partial k}*\Delta k=\frac{1}{2R}*\frac{1}{1+t^2}*\frac{\Delta\bar{S}_2-\Delta\bar{S}_1}{\Delta S_2-\Delta S_1}*\Delta k \qquad (29)$$

وبالأخذ بعين الأعتبار بان خطأ التوجيه الشاقولي عبارة عن زاوية صغيرة جداً يمكن اعتبار $t^2 \approx 0$ وذلك بإهمال اللامتناهيات في الصغر من الدرجة الثانية. يمكننا تبسيط العلاقة السابقة لتصبح بالشكل التالي:

$$\Delta\alpha=\frac{\partial\alpha}{\partial k}*\Delta k=\frac{1}{2R}*\frac{\Delta\bar{S}_2-\Delta\bar{S}_1}{\Delta S_2-\Delta S_1}*\Delta k \qquad (30)$$

**النتائج والمناقشة:**

نجد في المراجع العلمية معطيات ثابتة من أجل المسافات كما في الجدول (1) الذي يعطي قيم الخطأ متوسط التربيع لخطأ التوجيه الشاقولي $m_\alpha$ و التي تم الحصول عليها باستخدام المعادلة (15) ومسافات الأهداف الواردة في (Schauerte, 1997) (جزماتي، 1993) من أجل خطأ توجيه شاقولي يساوي إلى $\alpha = 5''$ وخطأ متوسط تربيع للقراءة الواحدة $\sigma_0 = 0.002\,mm/m$ و خطأ متوسط تربيع لقياس المسافة $\sigma_S = 30mm$. بالإضافة لذلك تم اختبار عدة ترتيبات حرة.

في الجدول رقم (1) نلاحظ أن طريقة كوكاميكي تعطي القيمة الأكبر للخطأ متوسط التربيع لخطأ التوجيه الشاقولي وبالتالي الدقة الأقل وبذلك تكون هذه الطريقة هي الطريقة الأسوأ من حيث الدقة على الإطلاق.

ونلاحظ أن طريقة نيباور وطريقة فورستنر وبسبب نفس المسافات تعطيان نفس القيمة للخطأ متوسط التربيع لخطأ التوجيه الشاقولي وبالتالي لهما نفس الدقة، بينما تعطي طريقة التوسط قيمة أصغر للخطأ متوسط التربيع لخطأ التوجيه الشاقولي وبالتالي دقة أعلى على الرغم من تساوي فرق المسافة $|\Delta S2-\Delta S1|$ بين هذه الطريقة وطريقة فورستنر ونيباور. تعطي طريقة الرصد المتعاكس قيمة أصغر للخطأ متوسط التربيع لخطأ التوجيه الشاقولي من طريقة التوسط على الرغم من تساوي فرق المسافة $|\Delta S2-\Delta S1|$ فإن هناك اختلاف المسافات مهماً.

ومن الملاحظ أنه في جميع الطرق الأخرى المختارة للمسافات خارج الميرائين والتي فيها $40 \geq |\Delta S2 - \Delta S1|$ تعطي قيماً متقاربة للخطأ متوسط التربيع لخطأ التوجيه الشاقولي والطريقة التاسعة تعتبر الطريقة الأنسب لأنها تعطي الدقة الأعلى لخطأ التوجيه الشاقولي.

الجدول (1) قيم الخطأ متوسط التربيع لخطأ التوجيه الشاقولي $m_{\theta}$ مع $\alpha = 5''$ و $\sigma_{\theta} = 0.002\, mm/m$ و $\sigma_{S} = 30mm$

| الطريقة | D | $S(1,1)$ | $S(1,2)$ | $S(2,1)$ | $S(2,2)$ | $\Delta S1$ | $\Delta S2$ | $\lvert\Delta S2-\Delta S1\rvert$ | $\sigma_{\alpha}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| طريقة رقم 1 | 10 | 3 | 7 | 7 | 3 | -4 | 4 | 8 | 0.56 |
| طريقة رقم 2 | 10 | 3 | 13 | 5 | 5 | -10 | 0 | 10 | 0.62 |
| طريقة رقم 3 | 10 | 3 | 13 | 13 | 3 | -10 | 10 | 20 | 0.39 |
| طريقة رقم 4 | 20 | 5 | 15 | 15 | 5 | -10 | 10 | 20 | 0.46 |
| طريقة رقم 5 | 20 | 3 | 23 | 23 | 3 | -20 | 20 | 40 | 0.34 |
| طريقة رقم 6 | 20 | 5 | 25 | 25 | 5 | -20 | 20 | 40 | 0.37 |
| طريقة رقم 7 | 25 | 5 | 30 | 30 | 5 | -25 | 25 | 50 | 0.35 |
| طريقة رقم 8 | 30 | 5 | 25 | 25 | 5 | -20 | 20 | 40 | 0.37 |
| طريقة رقم 9 | 30 | 5 | 35 | 35 | 5 | -30 | 30 | 60 | 0.34 |
| طريقة التوسط | 30 | 33 | 3 | 15 | 15 | 30 | 0 | 30 | 0.54 |
| طريقة كوكاميكي | 20 | 40 | 20 | 10 | 10 | 20 | 0 | 20 | 0.97 |
| طريقة نيبلور | 15 | 15 | 30 | 30 | 15 | -15 | 15 | 30 | 0.65 |
| طريقة فورستنر | 45 | 15 | 30 | 30 | 15 | -15 | 15 | 30 | 0.65 |
| طريقة الرصد المتناظر | 15 | 3 | 18 | 18 | 3 | -15 | 15 | 30 | 0.36 |

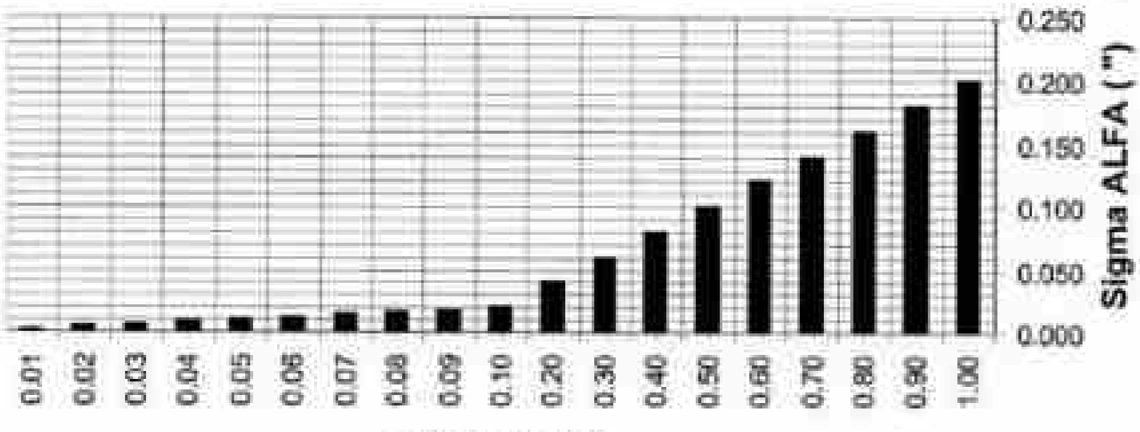
إن دقة التجارب في الفقرة السابقة تم حسابها من أجل قيم ثابتة معطاة ل $\sigma_{L(i,j)}$ . لكن في الحياة العملية يظهر السؤال التالي: **ما هي دقة قياس المسافة المطلوبة لكي نحدد قيمة الخطأ متوسط التربيع لخطأ التوجيه الشاقولي بدقة محددة؟**

من أجل معرفة تأثير دقة قياس المسافة المطلوبة سيتم اعتبار قراءات الميرا خالية من الأخطاء أي $\sigma_{L(i,j)} = 0$ من خلال اعتبار $\sigma_{\theta} = 0$ وباعتبار هذا الإفتراض وبالأخذ بعين الأعتبار بان خطأ التوجيه الشاقولي عبارة عن زاوية صغيرة جداً يمكن اعتبار $t^2 = 0$ وذلك بإهمال اللامتناهيات في الصغر من الدرجة الثانية وبذلك نحصل على العلاقة التقريبية التالية من المعادلة (15) :

$$\sigma_\alpha = \sigma_S \frac{2t}{|\Delta S2 - \Delta S1|} \qquad (31)$$

فإذا أخذنا فرق مسافة أهداف وسطية $|\Delta S2 - \Delta S1| = 30\ m$ وقيمة خطأ توجيه شاقولي $\alpha = 5''$ وتم حساب مختلف قيم الخطأ متوسط التربيع لخطأ التوجيه الشاقولي $\sigma_\alpha$ من أجل قيم مختلفة ل $\sigma_S$ وتم رسم النتائج في الشكل (8).

يمكننا أن نلاحظ من الشكل (8) أن الخطأ متوسط التربيع على المسافة يؤثر بشكل قليل جداً على قيمة الخطأ متوسط التربيع لخطأ التوجيه الشاقولي $\sigma_\alpha$. وهذا يعني عمليا أن دقة قياس المسافة المقاسة بجهاز التسوية الرقمي بدقة عدة سنتيمترات هي كافية على كل حال. كما يمكن حساب المسافة في أجهزة التسوية العادية من خلال القراءة على خطي المحكم العلوي و السفلي وضرب فرق القراءتين بثابت عادة ما يساوي إلى 100 وهي بدقة عدة ديسيمترات.




الشكل (8) قيم الخطأ متوسط التربيع لخطأ التوجيه الشاقولي $\sigma_\alpha$ تبعاً لدقة قياس المسافة $\sigma_S$

ولكي نقدر القيمة المطلوبة ل $\sigma_0$ التي نحتاجها من أجل دقة قراءة الميرا المطلوبة فإننا نفترض بأن تأثير دقة قياس المسافة مهمل. وباعتبار الإفتراض بأن $t^2 = 0$ ولهذين السببين يمكن تبسيط العلاقة 15 لتصبح بالشكل التالي:

$$\sigma_\alpha = \sigma_0 \frac{\sqrt{(S_1^1)^2 + (S_1^2)^2 + (S_2^1)^2 + (S_2^2)^2}}{|\Delta S2 - \Delta S1|} \qquad (32)$$

وباستخدام المسافات المستخدمة في الجدول رقم 1 والتي فيها $|\Delta S2 - \Delta S1| = 30\ m$ فإن القيمة الوسطية لجذر مجموع مربعات المسافات يعطي القيمة 40 وبحيث يمكننا أن

نكتب المعادلة التقريبية التالية:

$$\sigma_{\alpha} = \sigma_{0} \frac{40}{|\Delta S2 - \Delta S1|}$$

ومنه يمكننا أن نكتب:

$$\sigma_{0} = \sigma_{\alpha} \frac{|\Delta S2 - \Delta S1|}{40} \qquad (33)$$

من أجل فرق مسافة أهداف $|\Delta S2 - \Delta S1| = 30\ m$ وخطأ متوسط لدقة القراءة على الميرا $\sigma_{0} = 0.005\,mm/m$ ومن المعادلة التقريبية (33) نحصل في أحسن الأحوال على قيمة للخطأ متوسط التربيع لخطأ توجيه شاقولي تساوي $\sigma_{\alpha} = 1.70''$.

إذا أردنا حساب قيمة خطأ التوجيه الشاقولي بدقة $\sigma_{\alpha} = 1''$ نحصل من المعادلة (33) على قيمة الخطأ متوسط التربيع للقراءة على الميرا البالغ $\sigma_{0} = 0.0036\,mm/m$.

جدول (2) قيمة $\sigma_{\alpha}$ بال ( ″ ) من أجل قيم مختلفة ل $\sigma_{0}$ وقيمة ثابتة للخطأ على المسافة $\sigma_{s} = 3\ Cm$

| $\Delta S2-\Delta S1$ | $\sigma_{0}$ mm/m | 0.001 | 0.002 | 0.003 | 0.004 | 0.005 | 0.006 | 0.007 | 0.008 | 0.009 | 0.010 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 8 | طريقة رقم 1 | 0.28 | 0.56 | 0.84 | 1.12 | 1.40 | 1.68 | 1.96 | 2.24 | 2.52 | 2.80 |
| 10 | طريقة رقم 2 | 0.31 | 0.62 | 0.93 | 1.24 | 1.55 | 1.86 | 2.17 | 2.48 | 2.79 | 3.10 |
| 20 | طريقة رقم 3 | 0.20 | 0.39 | 0.59 | 0.78 | 0.98 | 1.17 | 1.37 | 1.56 | 1.76 | 1.95 |
| 20 | طريقة رقم 4 | 0.23 | 0.46 | 0.69 | 0.92 | 1.15 | 1.38 | 1.61 | 1.84 | 2.07 | 2.30 |
| 40 | طريقة رقم 5 | 0.17 | 0.34 | 0.51 | 0.68 | 0.85 | 1.02 | 1.19 | 1.36 | 1.53 | 1.70 |
| 40 | طريقة رقم 6 | 0.19 | 0.37 | 0.56 | 0.74 | 0.93 | 1.11 | 1.30 | 1.48 | 1.67 | 1.85 |
| 50 | طريقة رقم 7 | 0.18 | 0.35 | 0.53 | 0.70 | 0.88 | 1.05 | 1.23 | 1.40 | 1.58 | 1.75 |
| 40 | طريقة رقم 8 | 0.19 | 0.37 | 0.56 | 0.74 | 0.93 | 1.11 | 1.30 | 1.48 | 1.67 | 1.85 |
| 60 | طريقة رقم 9 | 0.17 | 0.34 | 0.51 | 0.68 | 0.85 | 1.02 | 1.19 | 1.36 | 1.53 | 1.70 |
| 30 | طريقة التوسط | 0.27 | 0.54 | 0.81 | 1.08 | 1.35 | 1.62 | 1.89 | 2.16 | 2.44 | 2.71 |
| 30 | طريقة فوكاميتي | 0.48 | 0.97 | 1.45 | 1.94 | 2.42 | 2.90 | 3.39 | 3.87 | 4.35 | 4.84 |
| 20 | طريقة ليباو | 0.33 | 0.65 | 0.98 | 1.31 | 1.63 | 1.96 | 2.28 | 2.61 | 2.94 | 3.26 |
| 30 | طريقة فورستنر | 0.33 | 0.65 | 0.98 | 1.31 | 1.63 | 1.96 | 2.28 | 2.61 | 2.94 | 3.26 |
| 30 | طريقة الرصد | 0.18 | 0.36 | 0.53 | 0.71 | 0.89 | 1.07 | 1.24 | 1.42 | 1.60 | 1.77 |

لمعرفة قيم الدقة المختلفة للخطأ متوسط التربيع لخطأ التوجيه الشاقولي فإنه تم إعطاء قيمة ثابتة للخطأ على المسافة $\sigma_{s} = 3\ Cm$ و قيم مختلفة لقيمة الخطأ متوسط التربيع للقـــراءة

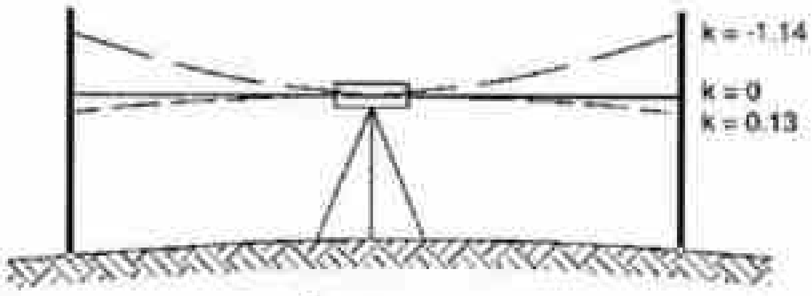
علـى الميـزا $\sigma_0$ تبلـغ $0.01$، ... $\sigma_0 = 0.010, 0.002, 0.003,...$ و وباسـتخدام المعادلة (15) تم حساب قيمة $\sigma_\alpha$ من أجل كل الحالات وتم ترتيبها في الجدول (2).

من خلال هذا المثال العملي نلاحظ تأثير فرق المسافة $|\Delta S2 - \Delta S1|$ بشكل واضح في الجدول (2). كما يظهر وبشكل واضح بان تحديد قيمة خطأ التوجيه الشاقولي بدقة $1'' \succ$ (أقل من ثانية ستينية) فقط ممكن عندما يتم العمل في الحقل بحرص كبير للحصول على أعلى دقة لجهاز التسوية الرقمي.

بالإضافة لذلك فإننا نلاحظ بأن طريقة كوكاميكي هي الطريقة الأسوأ من حيث الدقة بين مختلف الطرق المذكورة في المراجع العلمية.

ومن الملاحظ أيضاً أنه في جميع الطرق الأخرى للمسافات خارج الميزانين والتي فيها $|\Delta S2 - \Delta S1| \geq 40$ تعطي قيماً متقاربة للخطأ متوسط التربيع لخطأ التوجيه الشاقولي والطريقة التاسعة تعتبر الطريقة الأنسب لأنها تعطي الدقة الأعلى لخطأ التوجيه الشاقولي.

لمعرفة **تأثير انحناء الأرض وانكسار الأشعة معاً** والمسمى بتصحيح التسوية الظاهرية على **دقة قياس قيمة خطأ التوجيه الشاقولي** نجد أنه يوجد مشكلة في تحديد قيمة k الواردة في المعادلة (27).




الشكل (9) تأثير انحناء الأرض وانكسار الأشعة معاً والمسمى بتصحيح التسوية الظاهرية

ففي بعض المراجع وردت القيم التالية:

| | | |
|---|---|---|
| (جزماتي، 1993) | (34,1) | $k = 0.16$ |
| (Witte, 1995) | (34,2) | $k = 0.13$ |
| (Deumlich and Staiger, 2002) | (34,3) | $k = -1.14$ |

إن القيمة $k = -1.14$ الناتجة عن تجارب كوكاميكي تكبر القيم السابقة بسبعة أو تسعة أضعاف كما أنها تأخذ إشارة معاكسة لها (كما هو موضح بالشكل 9).

قبل أن نناقش أي قيمة يجب أن نأخذها يمكننا أن نحسب تأثير تصحيح التسوية الظاهرية $\Delta k$ على دقة قيمة خطأ التوجيه الشاقولي $\Delta\alpha$ من خلال الأمثلة العددية حيث تم اختيار القيمة $\Delta k = |-1.14 - 0.13| = 1.27$ وهو الفرق بين القيمة الناتجة عن تجارب كوكاميكي والقيمة المرجعية المستخدمة والقيم $\Delta k = -1.14$ ، $\Delta k = 0.13$ وباعتماد المسافات المستخدمة في كل طريقة وباستخدام المعادلة 30 نجد الجدول (3).

جدول (3) قيم $\Delta\alpha$ لمختلف الترتيبات الأصغرية مع $k = 0$

| الطريقة | $\frac{\Delta\bar{S}_2 - \Delta\bar{S}_1}{\Delta S_2 - \Delta S_1}$ | $\Delta\alpha('')$ bei $\Delta K = 1.27$ | $\Delta\alpha('')$ bei $\Delta K = -1.14$ | $\Delta\alpha('')$ bei $\Delta K = 0.13$ |
|---|---|---|---|---|
| طريقة رقم 1 | 10 | 0.21 | -0.18 | 0.02 |
| طريقة رقم 2 | 16 | 0.33 | -0.30 | 0.03 |
| طريقة رقم 3 | 16 | 0.33 | -0.30 | 0.03 |
| طريقة رقم 4 | 20 | 0.41 | -0.37 | 0.04 |
| طريقة رقم 5 | 26 | 0.53 | -0.48 | 0.05 |
| طريقة رقم 6 | 30 | 0.62 | -0.55 | 0.06 |
| طريقة رقم 7 | 35 | 0.72 | -0.65 | 0.07 |
| طريقة رقم 8 | 30 | 0.62 | -0.55 | 0.06 |
| طريقة رقم 9 | 40 | 0.82 | -0.74 | 0.08 |
| طريقة التوسط | 36 | 0.74 | -0.66 | 0.08 |
| طريقة كوكاميكي | 60 | 1.23 | -1.11 | 0.13 |
| طريقة تيباور | 45 | 0.93 | -0.83 | 0.09 |
| طريقة فورستنر | 45 | 0.93 | -0.83 | 0.09 |
| طريقة الرصد المتعاكس | 21 | 0.43 | -0.39 | 0.04 |

نلاحظ من الجدول (3) أنه إذا كانت القيمة الفعلية $k = 0.13$ و استخدمنا للحساب القيمة $k = -1.14$ وكذلك الأمر إذا كانت القيمة الفعلية $k = -1.14$ و استخدمنا للحساب القيمة $k = 0.13$ فإن قيمة $\Delta k = 1.27$ . والخطأ الناتج في تحديد قيمة $\alpha$ يقع في مجال $1.23'' \rightarrow 0.43''$ في جميع الطرق الأخرى التي فيها $30 \geq |\Delta S2 - \Delta S1|$.

وأنه إذا كانت القيمة الفعلية $k = -1.14$ واستخدمنا القيمة $k = 0$ بدلاً منها أي $\Delta k = -1.14$ فإنه ينتج عن هذا خطأ في تحديد قيمة $\alpha$ تقع في مجال $1.11'' \rightarrow 0.39''$

في جميع الطرق الأخرى التي فيها $30 \geq |\Delta S2 - \Delta S1|$.

أما إذا كانت القيمة الفعلية $k = 0.13$ واستخدمنا القيمة $k = 0$ بدلاً منها أي $\Delta k = 0.13$ فإنه ينتج عن هذا خطأ في تحديد قيمة $\alpha$ تقع في مجال $0.13'' \rightarrow 0.04''$ في جميع الطرق الأخرى التي فيها $30 \geq |\Delta S2 - \Delta S1|$.

لكي نلاحظ تأثير النتائج المبينة في الجدول (3) على فرق الإرتفاع فإن خطأ في قياس قيمة الزاوية $\alpha$ قيمته "1 على مسافة $20m$ يؤدي إلى خطأ في فرق الإرتفاع يساوي $0.1\ mm$ وعلى مسافة $30m$ يؤدي إلى خطأ في فرق الإرتفاع يساوي $0.15\ mm$.

وبالتالي إذا كان مطلوبنا ايجاد فرق الإرتفاع بدقة ما فعلينا حساب تأثير تصحيح التسوية الظاهرية على قيمة الزاوية $\alpha$ وبالتالي على فرق الإرتفاع ومقارنته بالدقة المطلوبة فإذا كان هذا التأثير أقل من الدقة المطلوبة فإنه يهمل وإلا فيجب إدخاله في الحسابات.

**وهنا نتساءل أي قيمة للمعامل k ينبغي أن نستخدم؟**

لقد تم استخدام القيمة $k = 0.13$ في التسوية المثلثاتية (Schauerte, 1995) والناتجة عن تجارب غوص والتي تعطي الإنكسار في طبقات الأتموسفير. أما القيمة $k = -1.14$ والناتجة عن تجارب كوكاميكي (Deumlich and Staiger, 2002) والتي تعطي الإنكسار قرب سطح الأرض. وبسبب تأثير انكسار الأشعة على التسوية بالمعاملات المكانية والوقتية يظهر لدينا أنه ليس منطقياً أن يتم الحساب بقيمة ثابتة $k = -1.14$.

وعليه فإن العوامل المؤثرة على قيم تصحيح التسوية الظاهرية على ارتفاعات من عدة ديسيمترات حتى 3m فوق سطح الأرض هي:

- مقدار تغير درجات الحرارة شاقولياً
- تغير ضغط الهواء
- الرطوبة ومحتوى $CO_2$ في الهواء

إذا أمعنا النظر ثانية في الجدول رقم 3 فإننا نجد أن اختيار مسافة الأهداف حسب طريقة كوكاميكي يعطي قيما هي الأسوأ من حيث الدقة. بينما تعطي طريقة نيباور و فورستنر قيماً أفضل منها. أما الطريقة الأنسب فهي طريقة الرصد المتعاكس **حيث تظهر مشكلة الأهداف القريبة جداً وعملية المطابقة الكبيرة.**

والطرق الأخرى المختارة والتي فيها $30 \geq |\Delta S2 - \Delta S1|$ تعرض حل وسطي على الرغم من أنه يجب تجنب مشكلة الأهداف القريبة جداً فإن تأثير الإنكسار أكبر من قيمة

الإنكسار في طريقة الرصد المتعاكس. وبالتالي فإن هذا الطريقة التاسعة هي الأنسب من الشكل الهندسي حيث تعطي خطأ متوسط تربيع قيمته $\sigma_\alpha = 0.35''$ (الجدول 1).

من خلال العلاقة (30) يمكننا أن نقول: كلما كانت النسبة $\frac{\Delta\bar{S}_2 - \Delta\bar{S}_1}{\Delta S_2 - \Delta S_1}$ أصغر, كلما كان تأثير انكسار الأشعة على تحديد قيمة الزاوية $\alpha$ أصغر.

إن عملية اختيار مسافة الأهداف لحساب قيمة الزاوية $\alpha$ يجب أن يكون يكون حلاً وسطاً بين الشكل الهندسي و الحساسية تجاه الإنكسار, وينبغي لإختيار مسافة الأهداف أن لا يتم تبعاً لإحدى الطرق المرجعية وإنما بموجب هذه الشروط.

- يعتبر اختيار مسافة الأهداف مناسباً من الناحية الهندسية إذا كان فرق مسافة الأهداف يحقق المعادلة $|\Delta S_2 - \Delta S_1| \succ 30\ m$

- يعتبر اختيار مسافة الأهداف مناسباً من ناحية انكسار الأشعة عندما تتحقق المعادلة

$$\frac{\Delta\bar{S}_2 - \Delta\bar{S}_1}{\Delta S_2 - \Delta S_1} \le 45m$$

ولإثبات صحة هذه الفرضية تم اختيار ترتيبات عديدة مختارة لمسافة الأهداف مع مراعاة الشرطين السابقين. وباعتبار القيم التالية: $\sigma_\theta = 0.002\,mm/m$ ، $\sigma_S = 30mm$ ، $\alpha = 5''$ تم حساب $\sigma_\alpha$ وحساب $\Delta\alpha$. وفي السطر الأخير من الجدول تم اختيار حالة غير متناظرة والتي خلالها يجب إجراء المطابقة الأقل لكي يتم البرهان بأن حرية اختيار مسافة الأهداف غير مرتبط بنسبة المسافات.

الجدول (4) قيم الخطأ متوسط التربيع لخطأ التوجيه الشاقولي $m_\alpha$ و قيم $\Delta\alpha$

| $S(1,1)$ (m) | $S(1,2)$ (m) | $S(2,1)$ (m) | $S(2,2)$ (m) | $\lvert\Delta S2 - \Delta S1\rvert$ (m) | $\frac{\Delta\bar{S}_2 - \Delta\bar{S}_1}{\Delta S_2 - \Delta S_1}$ | $\sigma_\alpha$ " | $\Delta\alpha$ " |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 20 | 20 | 5 | 30 | 25 | 0.40 | $0.40^* \Delta K$ |
| 5 | 25 | 25 | 5 | 40 | 30 | 0.37 | $0.49^* \Delta K$ |
| 5 | 30 | 30 | 5 | 50 | 35 | 0.35 | $0.57^* \Delta K$ |
| 5 | 35 | 35 | 5 | 60 | 40 | 0.34 | $0.65^* \Delta K$ |
| 5 | 40 | 40 | 5 | 70 | 45 | 0.34 | $0.73^* \Delta K$ |
| 10 | 25 | 25 | 10 | 30 | 35 | 0.52 | $0.57^* \Delta K$ |
| 10 | 30 | 30 | 10 | 40 | 40 | 0.46 | $0.65^* \Delta K$ |
| 10 | 35 | 35 | 10 | 50 | 45 | 0.42 | $0.73^* \Delta K$ |
| 5 | 40 | 30 | 10 | 55 | 43 | 0.38 | $0.70^* \Delta K$ |

## الاستنتاجات والتوصيات:

تظهر الطريقة أنها قابلة للتطبيق في كل حالات الترتيبة الأصغرية. وأن المعيار الوحيد الذي ذو معنى لاختيار مسافات الأهداف هو الترتيبة المناسبة التي تؤمن الأخذ بعين الاعتبار للشكل الهندسي وتأثير الإنكسار معاً.

وباتباع هذه الطريقة لتحديد قيمة الخطأ المتوسط التربيع لخطأ التوجيه الشاقولي من خلال استخدام علاقة وحيدة من خلال الترتيبة الأصغرية بدون قياسات فائضة. والتي تثبت أن توزيع الميرات والمسافات بين الجهاز والميرات عند اتباع كل الطرق المرجعية يعتبر إجراء غير ضروري من وجهة النظر التقنية الحسابية. وبأنه يمكن اختيار ترتيبة مناسبة للمسافات غير التي تم اقتراحها في كل الطرق المرجعية في المراجع العلمية.

يمكن أيضاً تطبيق كل التوصيات سواء في أجهزة التسوية العادية ذات الزئبقية الاسطوانية أو أجهزة التسوية العادية أو الرقمية ذات المعدل الميكانيكي- الضوئي الآلي.

كما تم وضع المعايير التالية من أجل تقييم هذه الطريقة ومقارنتها بالطرق المرجعية:

1- التوزيع الأمثل للميرات ونقاط التمركز والذي يعطي قيمة أدق لخطأ التوجيه الشاقولي.

2- جعل تأثير انكسار الأشعة أصغر ما يمكن عند تحديد قيمة خطأ التوجيه الشاقولي.

3- تجنب الإختلاف الكبير للمسافات بين الجهاز والميرا بسبب عملية الإحكام والمطابقة.

4- تجنب تدوير جهاز التسوية لحذف تأثير الإنزياح الشاقولي لخط التسديد من خلال وضع الجهاز خارج الميراتين.

5- يمكن اعتبار دقة حساب مسافة الأهداف من رتبة ديسيمتر كافياً.

6- يجب القراءة على الميرا بحرص أكبر لكي يتم استثمار دقة الجهاز بالشكل الأمثل.

7- يمكن اعتبار الطرق المرجعية التالية (طريقة نيباور- فورستنر- التوسط- الرصد المتعاكس) أيضاً مناسبة من الناحية الهندسية ومن ناحية تأثير الإنكسار.

8- إن وجود ترتيبة القياس (ميراتين ومكانين للجهاز) في مستوي شاقولي غير مطلوب.

تظهر التجارب من خلال الأمثلة العملية جودة هذه المعايير والتي تساعد الطبوغرافي في التطبيق العملي. و قد تم اقتراح المعايير التي يتم من خلالها الحكم على ترتيبة معينة. بحيث تعتبر ترتيبة ما بأنها مناسبة إذا تحقق الشرطين التاليين:

$$\frac{\Delta\bar{S}_2-\Delta\bar{S}_1}{\Delta S_2-\Delta S_1} \prec 45\,m \qquad \text{و} \qquad \left|\Delta S_2-\Delta S_1\right| \succ 30\,m$$

## المراجع

**جزماتي سامح**, 1993– **المساحة3**, منشورات كلية الهندسة المدنية, مطبوعات جامعة حلب, 472 .

## REFERENCES

BAUMANN, E,. 1999- **Vermessungskunde Band 1 Einfache Lagemessung und Nivellement**, 5[th] ed.., Duemmlers Verlag, Bonn, 251.

DEUMLICH, F.; STAIGER, R. , 2002-**Instrumentenkunde der Vermessungstechnik**, 9[th] ed., Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg, 435.

JORDAN, W.; EGGERT, O.; KNEISSL, M., 1955- **Hoehenmessung Tachymetrie**, 10[th] . ed., J. B. Metzlersche Verlag, Stuttgart, 34.

KAHMEN, H., 2006- **Vermessungskunde**, 20[th] ed., Walter de Gruyter, Berlin&New York, 679.

SCHAUERTE, W. , 1995-**Erste Untersuchungsergebnisse zum neuen DiNi 10 der Fa. Carl Zeiss**, *Vermessungswesen und Raumordnung*, ( 57) 2, 78-89.

SCHAUERTE, W., 1997- **Leistungsmerkmale des Digitalnivelliers Topcon DL-101**, *Vermessungswesen und Raumordnung*, (59) 1 + 2, 94-108.

Witte, B. ;Schmidt, H. ,1995 -**Vermessungskund und Grundlage der Statistik fuer das Bauwesen**. 3[th] ed., Wittwer Verlag, Stuttgart, 748.

# Calculate the Value and Accuracy of the collimation error of a Leveling Instrument in the Field. And discuss this Accuracy to reach optimal Solution

Dr. A. B. LABBABIDI*

**ABSTRACT**

When measuring the differences in Elevation in the direct Leveling method for normal optical or digital leveling instrument, we initially calibrate the leveling instrument through the determination of collimation error.

A generally valid formula for the determination of collimation error of a leveling instrument using a minimal configuration is derived by two Staffs and two Positions only, be applied in all cases. Through this study, me see that it can be accessed with the freedom of choice for a distance of objectives to guide the vertical error value more accurately than is apparent in the reference methods, through a formula to calculate the standard Division of collimation error, by finding the formula of the impact of virtual Leveling error on the accuracy of collimation error.

Through the discussion that using a free choice of ranges, it has been inferred of a number of criteria to judge the choice of positions and objectives for the distance to reach higher resolution and smaller influence to the virtual leveling error than the reference methods.

Keywords:

- Error of Collimation of Leveling Instrument
- Calibration of Leveling Instrument in the Field

*** Lecturer at Department of Geodesy Engineering, Faculty of Civil Engineering, Aleppo University, Syria.**