

التسوية Leveling

مقدمة:

التسوية هي عملية مساحية الغاية منها تحديد فرق المنسوب بين نقطتين. وإذا كان المنسوب elevation لإحدى النقطتين معلوم، عندها نستطيع تحديد منسوب النقطة الثانية.

منسوب نقطة هو مقدار إرتفاعها عن **سطح السوية المرجعي** أو سطح الكمون المتعادل لحقل الجاذبية الأرضية. هذا السطح منحنى ويتعامد في كل نقطة منه مع خط الشاقول Plumb line.

عادةً نستخدم المصطلح Datum (السطح ذو المنسوب صفر) للتعبير عن **سطح السوية المرجعي**، حيث أن إرتفاعات كافة النقاط المرجعية تكون منسوبة إلى هذا السطح. بالرغم من أن كل دولة تقوم بتأسيس سطح سوية مرجعي خاص بها، لكننا وبصورة عامة نستطيع إعتبار سطح البحار الوسطي MSL هو السطح المعياري الذي تُنسب إليه كافة مراجع التسوية.

وبما أن **خط التسوية Level Line** (ويسمى أيضاً الخط الأفقي) يتعامد في كل نقطة منه مع الشاقول وهذا الأخير يتبع إتجاه الجاذبية الأرضية ، ولهذا فهو خط منحنى curved يوازي سطح السوية المرجعي أو سطح البحار الوسطي كما هو مبين في الشكل 3.1

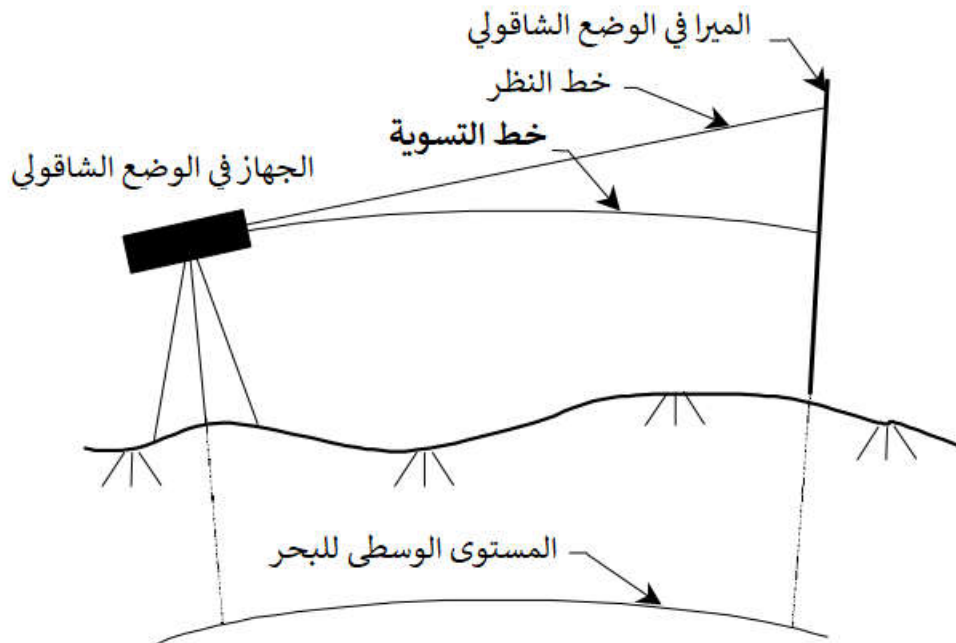


Fig. 3.1

كما نلاحظ أن خط التسوية يتعامد (أي يصنع زاوية قائمة) في كل نقطة منه مع إتجاه الشاقول وإن محور النظارة (خط النظر) يمس هذا الخط في نقطة مركز النظارة. يبعد هذا الخط بعداً ثابتاً عن سطح البحار الوسطي MSL وبصورة عامة لا ينطبق هذا الخط مع خط النظر إلا في المسافات القصيرة.

من جهة أخرى في حالة المسافات الطويلة نحتاج إلى إجراء تصحيحات على قراءات الميرا لأن هذه القراءات تتبع خط النظر وليس خط التسوية الأفقي. أيضاً في حالة المسافات الطويلة يجب إدخال تصحيح آخر وهذا بسبب إنكسار أو إنحراف الأشعة الضوئية كما في الشكل 3.2 أدناه. يمكننا استخدام علاقة واحدة تشمل كلا التصحيحين كما يلي

$$C_{cr} = -\frac{3 d^2}{7 R}$$

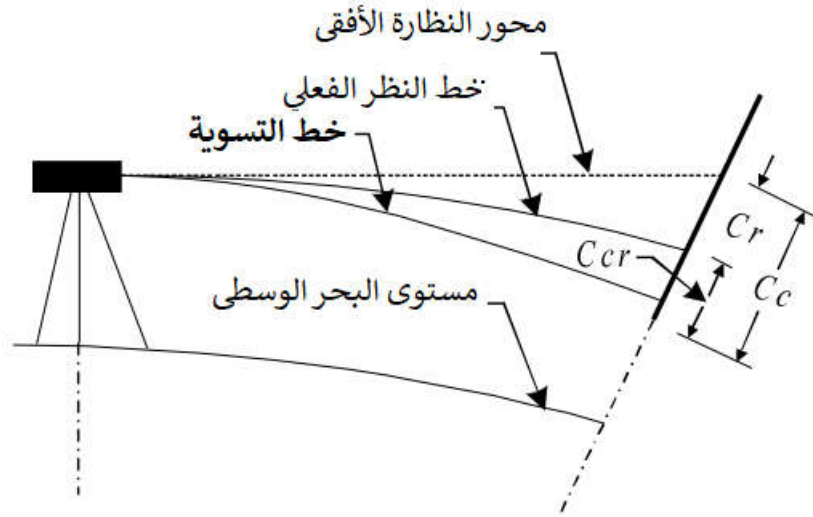


Fig. 3.2

C_{cr} قيمة التصحيح الكلي يشمل إنحناء سطح الأرض وإنحراف الأشعة الضوئية

d هو البعد بين الميرا (أو المسطرة) وبين نقطة التماس (مركز الجهاز)

R نصف قطر الأرض الوسطي ، وهو يساوي إلى 7370 km

وبتطبيق قيمة R في العلاقة أعلاه وباعتبار d معطاة بالكيلومتر ، عندها نستطيع تطبيق علاقة أبسط

$$C_{cr} = -0.067 d^2$$

قياس فرق الارتفاع بالطرق المباشرة

تُعتبر الطريقة التفاضلية المباشرة في التسوية من أفضل الطرق من حيث الدقة والسهولة في تحديد (قياس) فرق الارتفاع بين نقطتين ويتم ذلك باستعمال جهاز النيفو والقراءات على المسطرة (أو الميرا). نحن باستعمال جهاز النيفو نؤسس مستقيماً أفقياً (خط النظر) وبعدها نقرأ مباشرة على المسطرة قراءة تمثل المسافة الشاقولية بين خط النظر والنقطة التي تم تثبيت الميرا فوقها.

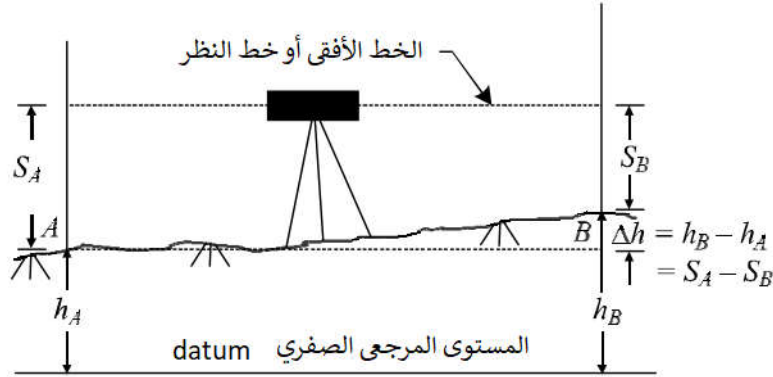


Fig. 3.3

يوضح الشكل 3.3 مبدأ تحديد فرق الارتفاع Δh بين نقطتين A و B وهذا يقود إلى معرفة ارتفاع نقطة مجهولة إذا كان ارتفاع النقطة الأخرى معلوم. بفرض كانت القراءات S_B و S_A على المسطرة عند النقطتين A و B وكانت h_B و h_A هي مناسيب هاتين النقطتين على الترتيب، عندها يكون فرق الارتفاع

أي أنه إذا كانت القراءات $S_A > S_B$ فهذا يعني أن $h_B > h_A$ ، وإذا كانت $S_A < S_B$ فهذا يعني أن $h_A > h_B$ ، وكما نلاحظ من هذه المناقشة أن قياس ارتفاع جهاز النيفو (في التسوية المباشرة) غير ضروري وتجدر الإشارة هنا أنه إذا أردنا معرفة ارتفاع خط النظر الأفقي أي ارتفاع الجهاز ومن ملاحظة الشكل السابق سنجد أن $HI = h_A + S_A$ وكذلك $HI = h_B + S_B$

نستخدم في التسوية المباشرة مصطلحات مثل "القراءة الخلفية" و "القراءة الأمامية". نعي بالقراءة الخلفية B.S. القراءة على مسطرة مثبتة في النقطة المعلوم أو أصبحت معلومة بعد آخر قياس، والقراءة الأمامية F.S. تمثل دوماً القراءة على نقطة مجهولة بغض النظر عن وضعية جهاز النيفو ما إذا كان يقع على الإستقامة بين A و B أو في أي مكان آخر مناسب لأخذ القراءات. وعادةً تُسجل القراءة الخلفية أولاً بعد تثبيت وتمركز الجهاز. في الشكل 3.4 نجد توضيحاً للقراءات الخلفية والأمامية من وضعيات الجهاز في النقطتين 1 و 2 على النقاط A و B و C

من مطالعة الشكل 3.4 نجد أن هنالك مصطلحات أخرى قد تُستخدم مثل "القراءة الجانبية" أو الوسطية I.S. أي القراءات على النقاط a, b, c

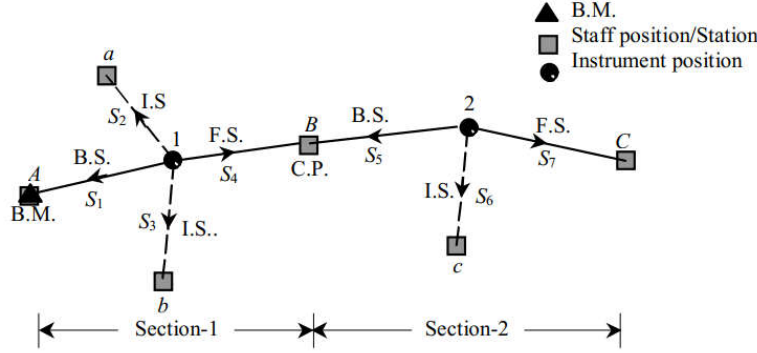


Fig. 3.4

عادة نقوم بوضع جهاز النيفو بصورة تقريبية على مسافة متساوية إلى مواقع النقاط المرصودة (مواقع المسطرة) وذلك من أجل التخفيف من تأثير أخطاء القراءات على المسطرة بمعنى آخر كي تكون لهذه القراءات نفس الدقة وهذا الإجراء يدعى بموازنة الرؤية Balancing of Sights.

نستخدم أيضاً مصطلح "المنسوب المختزل" (R.L.=reduced level) وهو ببساطة إرتفاع النقطة فوق المنسوب المرجعي الصفري Datum (أو المستوى الوسطي للبحر MSL).

كذلك يُستخدم مصطلح "الصعود والهبوط" Rise and Fall أثناء عمليات التسوية لعدة نقاط متتالية، وعليه يكون لدينا صعود إذا كانت نقطة الرصد الأمامية أعلى من نقطة الرصد الخلفية ويمكننا أن نستنتج ذلك بفحص إشارة $(S_A - S_B)$ حيث يجب أن تكون موجبة، وفي حال كانت سالبة نستنتج أن لدينا هبوط.

أخيراً فإن مصطلح "مقطع" Section يشير إلى مجموعة كاملة من القراءات التي تُسجل من محطة واحدة (وقفه واحدة) لجهاز النسوية: تتكون القراءات من قراءة خلفية واحدة وقراءة أمامية واحدة وعدة قراءات جانبية. مثلاً في الشكل 3.4 لدينا مقطعين من محطتين للجهاز 1 و 2 ، المحطة الأولى والمقطع الأول يشمل القراءات من A إلى B ، والمحطة الثانية أو المقطع الثاني يشمل القراءات من B إلى C.

من أجل تسجيل القراءات لسلسلة كاملة من النقاط يجب إتباع نظام محدد وواضح كي لا نقع في أخطاء فادحة. وهناك طريقتان أو نظامان، الأولى تعتمد طريقة ارتفاع الجهاز Height of instrument ولثانية تعتمد طريقة الصعود والهبوط Rise and Fall.

يتم تسجيل القراءات في جدول مُعد مسبقاً وفي كلا الطريقتين فإن أعمدة الجدول الخاصة بتسجيل القراءات واحدة ، لكن عدد الأعمدة الإضافية في الجدول تختلف حسب الطريقة المتبعة. كما يجب التنويه من البداية وفيما عدا نقطة الوصل C.P. ، يجب أن تُسجل كل قراءة في سطر مستقل بحيث أن لكل وضعية للمسطرة ارتفاع مختزل خاص بها. وإن إستثناء نقطة الوصل (النقطة B في الشكل) له ما يبرره لأننا عند الإنتقال من محطة إلى المحطة للجهاز نُبقي المسطرة في نقطة الوصل كي نسجل القراءة الخلفية.

كي تتوضح كلا الطريقتين سنستخدم الشكل 3.4 مرة أخرى حيث أن كافة الإصطلاحات السابقة موضحة عليه ويلخص عملية تسوية من النقطة A إلى النقطة C.

جدول 3.1 يوضح الطريقة الأولى (ارتفاع الجهاز)

Table 3.1 Height of instrument method

Station	B.S.	I.S.	F.S.	H.I.	R.L.	Remarks	
A	S_1			$H.I._A = h_A + S_1$	h_A	B.M. = h_a	Section-1
a		S_2			$h_a = H.I._A - S_2$		
b		S_3			$h_b = H.I._A - S_3$		
B	S_5		S_4	$H.I._B = h_B + S_5$	$h_B = H.I._A - S_4$	C.P.	Section-2
c		S_6			$h_c = H.I._B - S_6$		
C			S_7		$H_C = H.I._B - S_7$		
	Σ B.S.		Σ F.S.				
<i>Check:</i> Σ B.S. - Σ F.S. = Last R.L. - First R.L.							

والجدول الثاني 3.2 يوضح الطريقة الثانية (الصعود والهبوط).

Table 3.2 Rise and fall method

Station	B.S.	I.S.	F.S.	Rise	Fall	R.L.	Remarks	
A	S_1					h_A	B.M. = h_a	Section-1
a		S_2		$r_1 = S_1 - S_2$		$h_a = h_A + r_1$		
b		S_3			$f_1 = S_2 - S_3$	$h_b = h_a - f_1$		
B	S_5		S_4		$f_2 = S_3 - S_4$	$h_B = h_b - f_2$	C.P.	Section-2
c		S_6			$f_3 = S_5 - S_6$	$h_c = h_B - f_3$		
C			S_7	$r_2 = S_6 - S_7$		$H_C = h_c + r_2$		
	Σ B.S.		Σ F.S.	Σ Rise	Σ Fall			
<i>Check:</i> Σ B.S. - Σ F.S. = Σ Rise - Σ Fall = Last R.L. - First R.L.								

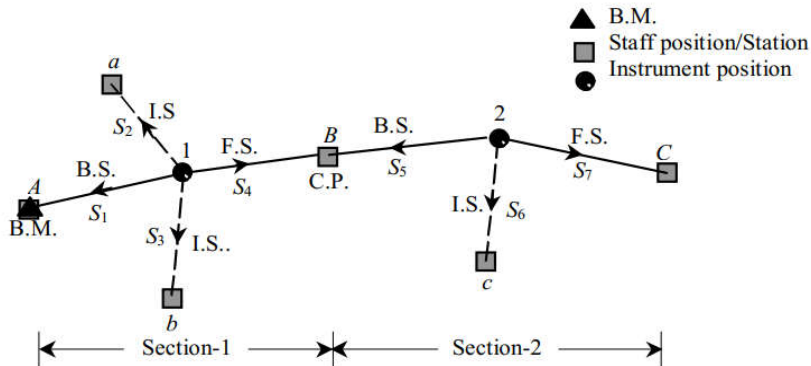


Fig. 3.4

أمثلة ومسائل على محاضرة التسوية

مثال (1): بفرض كان لدينا القراءات التالية باستخدام جهاز نيفو ومسطرة بطول 4 m .

0.578 B.M.(= 58.250 m), 0.933, 1.768, 2.450, (2.005 and 0.567) C.P., 1.888, 1.181, (3.679 and 0.612) C.P., 0.705, 1.810.

والمطلوب عمل صفحة تسجيل (جدول) بطريقة ارتفاع الجهاز Height of instrument وحساب الارتفاعات المختزلة لكافة المحطات والتحقق من نتائج الحسابات.

الحل:

القراءة الأولى هي قراءة خلفية على نقطة تسوية مرجعية BM . القراءة الخامسة على نقطة وصل (أو نقطة تحويل C.P.) الرقم 2.005 يُمثل القراءة الأمامية و الرقم 0.567 الخلفية. جميع القراءات بين المحطة الأولى والخامسة هي قراءات جانبية. بصورة مماثلة المحطة الثامنة هي تحويل C.P. الرقم 3.679 قراءة أمامية و 0.612 خلفية. القراءات الأخرى بين المحطتين الأخيرتين هي جانبية. القراءة الأخيرة 1.810 هي قراءة أمامية على المحطة العاشرة (الأخيرة) و 0.705 هي قراءة جانبية. لنضع الآن جميع هذه القراءات بالجدول التالي مع الإلتزام بوضع كل قراءة في العمود المناسب، ولنحسب المناسيب (الارتفاعات) المختزلة باستخدام ارتفاع الجهاز

Station	B.S.	I.S.	F.S.	H.I.	R.L.	Remarks
1	0.578					B.M.=58.250 m
2		0.933				
3		1.768				
4		2.450				
5	0.567		2.005			C.P.
6		1.888				
7		1.181				
8	0.612		3.679			C.P.
9		0.705				
10			1.810			

المقطع الأول: حساب المناسيب المختزلة للمحطات {2,3,4,5}

$$H.I._1 = h_1 + B.S._1 = 58.250 + 0.578 = 58.828\text{ m}$$

$$h_2 = H.I._1 - I.S._2 = 58.828 - 0.933 = 57.895\text{ m}$$

$$h_3 = H.I._1 - I.S._3 = 58.828 - 1.768 = 57.060\text{ m}$$

$$h_4 = H.I._1 - I.S._4 = 58.828 - 2.450 = 56.378\text{ m}$$

$$h_5 = H.I._1 - F.S._5 = 58.828 - 2.005 = 56.823\text{ m}$$

المقطع الثاني: حساب المناسيب المختزلة للمحطات {6,7,8}

$$\begin{aligned} H.I._5 &= h_5 + B.S._5 = 56.823 + 0.567 = 57.390 \text{ m} \\ h_6 &= H.I._2 - I.S._6 = 57.390 - 1.888 = 55.502 \text{ m} \\ h_7 &= H.I._2 - I.S._7 = 57.390 - 1.181 = 56.209 \text{ m} \\ h_8 &= H.I._2 - F.S._8 = 57.390 - 3.679 = 53.711 \text{ m} \end{aligned}$$

المقطع الثالث: حساب المناسيب المختزلة للمحطات {9,10}

$$\begin{aligned} H.I._8 &= h_8 + B.S._8 = 53.711 + 0.612 = 54.323 \text{ m} \\ h_9 &= H.I._8 - I.S._9 = 54.323 - 0.705 = 53.618 \text{ m} \\ h_{10} &= H.I._8 - F.S._{10} = 54.323 - 1.810 = 52.513 \text{ m} \end{aligned}$$

ونضع نتائج الحساب في نفس الجدول السابق في عمود ارتفاع الجهاز H.I. وعمود المنسوب المختزل R.L.

Station	B.S.	I.S.	F.S.	H.I.	R.L.	Remarks
1	0.578			58.828	58.250	B.M.=58.250 m
2		0.933			57.895	
3		1.768			57.060	
4		2.450			56.378	
5	0.567		2.005	57.390	56.823	C.P.
6		1.888			55.502	
7		1.181			56.209	
8	0.612		3.679	54.323	53.711	C.P.
9		0.705			53.618	
10			1.810		52.513	
Σ	1.757	8.925	7.494		557.956	

بعده نقوم بالتحقق من نتائج الحساب كما يلي:

- مجموع القراءات الخلفية (ناقص) مجموع القراءات الأمامية = الإرتفاع المختزل للمحطة الأخيرة (ناقص) الإرتفاع المختزل للمحطة الأولى (للتأكد):
 $1.757 - 7.494 = -5.737, \quad 52.513 - 58.250 = -5.737$
- كذلك نستطيع التحقق بطريقة أخرى:

$$[58.828 \times 4 + 57.390 \times 3 + 54.323 \times 2] - 8.925 - 7.494 = 557.959 - 58.250 = 499.709 \text{ (O.K.)}$$

ويترك تفسير هذا الإختبار للطالب!

مثال (2): بفرض كان لدينا نفس القراءات في المثال السابق .

0.578 B.M.(= 58.250 m), 0.933, 1.768, 2.450, (2.005 and 0.567) C.P., 1.888, 1.181, (3.679 and 0.612) C.P., 0.705, 1.810.

والمطلوب عمل صفحة تسجيل (جدول) بطريقة الصعود والهبوط Rise and Fall وحساب الإرتفاعات المختزلة لكافة المحطات والتحقق من نتائج الحسابات.

الحل:

في البداية نقوم بجدولة القراءات كما في المثال السابق، ومن ثم نحسب المناسيب المختزلة للمحطات بطريقة الصعود والهبوط. ونستخدم الحرف r للإشارة إلى الصعود والحرف f للهبوط.

■ أولاً: حسابات الصعود والهبوط:

المقطع الأول: حساب الصعود r والهبوط f للمحطات {2,3,4,5}

$$f_2 = B.S._1 - I.S._2 = 0.578 - 0.933 = 0.355$$

$$f_3 = I.S._2 - I.S._3 = 0.933 - 1.768 = 0.835$$

$$f_4 = I.S._3 - I.S._4 = 1.768 - 2.450 = 0.682$$

$$r_5 = I.S._4 - F.S._5 = 2.450 - 2.005 = 0.445$$

المقطع الثاني: حساب الصعود r والهبوط f للمحطات {6,7,8}

$$f_6 = B.S._5 - I.S._6 = 0.567 - 1.888 = 1.321$$

$$f_7 = I.S._6 - I.S._7 = 1.888 - 1.181 = 0.707$$

$$f_8 = I.S._7 - F.S._8 = 1.181 - 3.679 = 2.498$$

المقطع الثالث: حساب الصعود r والهبوط f للمحطات {9,10}

$$f_9 = B.S._8 - I.S._9 = 0.612 - 0.705 = 0.093$$

$$f_{10} = I.S._9 - F.S._{10} = 0.705 - 1.810 = 1.105$$

■ ثانياً: حساب المناسيب المختزلة لكافة المحطات:

$$h_2 = h_1 - f_2 = 58.250 - 0.355 = 57.895 \text{ m}$$

$$h_3 = h_2 - f_3 = 57.895 - 0.835 = 57.060 \text{ m}$$

$$h_4 = h_3 - f_4 = 57.060 - 0.682 = 56.378 \text{ m}$$

$$h_5 = h_4 + r_5 = 56.378 + 0.445 = 56.823 \text{ m}$$

$$h_6 = h_5 - f_6 = 56.823 - 1.321 = 55.502 \text{ m}$$

$$h_7 = h_6 + r_7 = 55.502 + 0.707 = 56.209 \text{ m}$$

$$h_8 = h_7 - f_8 = 56.209 - 2.498 = 53.711 \text{ m}$$

$$h_9 = h_8 - f_9 = 53.711 - 0.093 = 53.618 \text{ m}$$

$$h_{10} = h_9 - f_{10} = 53.618 - 1.105 = 52.513 \text{ m}$$

■ ثالثاً: نضع نتائج الحسابات الأخيرة في الجدول التالي:

Station	B.S.	I.S.	F.S.	Rise	Fall	R.L.	Remarks
1	0.578					58.250	B.M.=58.250 m
2		0.933			0.355	57.895	
3		1.768			0.835	57.060	
4		2.450			0.682	56.378	
5	0.567		2.005	0.445		56.823	C.P.
6		1.888			1.321	55.502	
7		1.181		0.707		56.209	
8	0.612		3.679		2.498	53.711	C.P.
9		0.705			0.093	53.618	
10			1.810		1.105	52.513	
Σ	1.757		7.494	1.152	6.889		

■ وأخيراً نتحقق من صحة نتائج الحسابات:

- مجموع القراءات الخلفية (ناقص) مجموع القراءات الأمامية = الإرتفاع المختزل للمحطة الأخيرة (ناقص) الإرتفاع المختزل للمحطة الأولى (لنتأكد):

$$1.757 - 7.494 = -5.737, \quad 52.513 - 58.250 = -5.737 \text{ OK}$$

- ونتحقق بطريقة أخرى: مجموع الصعودات (ناقص) مجموع الهبوطات = نفس النتيجة السابقة (لنتأكد):

$$1.152 - 6.889 = -5.737, \quad \text{OK}$$