

الفصل الثاني عشر

تصميم الحوائط الاستنادية

Design of Retaining Walls

- عام • إعداد منحنيات $P-y$ خلال عمق التربة المحجوزة
- إعداد منحنيات $P-y$ خلال عمق التربة الساندة • منحنيات $P-y$ لمقياس الضغط • مثال

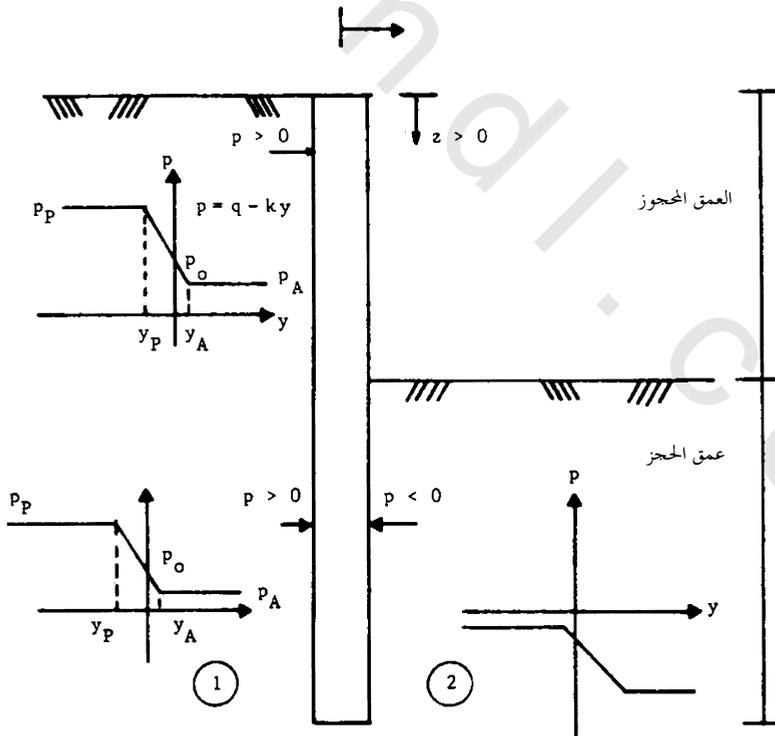
(١٢,١) عام GENERAL

يساعد مقياس الضغط قليلاً في تصميم الأنواع التالية من الحوائط الاستنادية: حوائط ثقيلة وحوائط كابولية وحوائط أرضية مسلحة ويستثنى من ذلك المشكلات المتعلقة بقدرة الاحتمال والهبوط لهذه الحوائط (البند ٩).

يكرس هذا الفصل لتصميم كل من الحوائط الاستنادية ذات الأعمدة المفرغة وحوائط الخوازيق اللوحية وحوائط الخنادق الوحلة وأكثر عموماً لتصميم الحوائط التي تظهر جزءاً أو جميع القوى الساندة من مقاومة الجزء المدفون من الحائط (شكل رقم ١٢٦).

توجد عدة أنواع من الطرق لتصميم الحوائط الاستنادية. أول هذه الطرق هي طريقة حد الاتزان، حيث يؤخذ في الاعتبار الاتزان الشامل للحائط ويفترض أن يكون توزيع ضغط التربة خلف الحائط نشطاً، أما من أمام الحائط الاستنادي فإن توزيع الضغط على الجزء المدفون يكون مقاوماً ويقسم على معامل الأمان المناسب. ولا يمكن لهذه الطريقة توقع التشوهات الناتجة للحائط.

أما الطريقة الثانية فهي طريقة العناصر المحددة. و فيها يتم نمذجة الحائط والتربة المحيطة به بسلسلة من العناصر المحددة. ويمكن توقع الإزاحات للتربة والحائط بهذه الطريقة. والطريقة الثالثة هي طريقة الفوارق المحددة وفيها يتم نمذجة الحائط بسلسلة من العناصر والتي تؤثر عليها نماذج من الزنبرك اللاخطية التي تمثل رد فعل التربة. تتوقع هذه الطريقة إزاحة الحائط ويمكن اعتبار هذه الطريقة بأنها متوسطة التعقيد. توضح منحنيات $P-y$ سلوك التربة الممنذجة بالزنبركات اللاخطية، حيث إن P هو الحمل على الحائط عند عمق z لكل وحدة طول ووحدة عرض من الحائط و y هي إزاحة الحائط عند نفس العمق z (شكل رقم ١٢٦). وستستخدم هذه الطريقة في هذا الفصل، حيث إن الخلفية النظرية لهذه الطريقة ذكرت في البند ١١،٣. ويبين في الملحق د مثال لكيفية التعامل مع هذه الطريقة.



شكل رقم (١٢٦). منحنيات $P-y$ للحوائط الاستنادية.

(١٢،٢) إعداد منحنيات $P-y$ خلال عمق التربة المحجوزةPREPARING THE $P-y$ CURVES WITHIN THE RETAINED SOIL DEPTH

يوضح شكل رقم (١٢٦) أنه يوجد خلال التربة المحجوزة تربة على أحد الأطراف وهواء على الطرف الآخر، ويجب الأخذ في الاعتبار من هذا الشكل مصطلح الإشارات. ويتم تبديد الضغط على الحائط عند السكون. فلو تحرك الحائط إلى الجهة الموجبة من y فإن الضغط سيتناقص حتى يصل إلى ضغط التربة الفعال p_a ، ويكون مقدار الإزاحة الضرورية للحائط للوصول للضغط p_a هو y_a (شكل رقم ١٢٦). أما إذا تحرك الحائط إلى الجهة السالبة من y فإن الضغط سيتزايد حتى يصل إلى ضغط التربة السلبي p_p ، ويكون مقدار الإزاحة الضرورية للحائط للوصول للضغط p_p هو y_p (شكل رقم ١٢٦).

تُحسب قيم كل من p_p و p_a من ميكانيكا التربة التقليدية كالتالي :

$$(٣٤٦) \quad p_a = k_a \sigma'_v + u$$

$$(٣٤٧) \quad p_p = k_p \sigma'_v + u$$

حيث إن σ'_v هو الجهد الرأسى الفعال عند العمق z ، و k_p و k_a هما معاملا ضغط التربة النشط والسلبي على التوالي، u هو ضغط الماء عند عمق z على الحائط. وقد عملت عدة توصيات لقيم p_p و p_a ، حيث بين ترزاقي (Terzaghi, 1954) بيانات تقترح القيم التالية من y_p و y_a :

$$(٣٤٨) \quad y_a = 0.0005H$$

$$(٣٤٩) \quad y_p = 0.005H$$

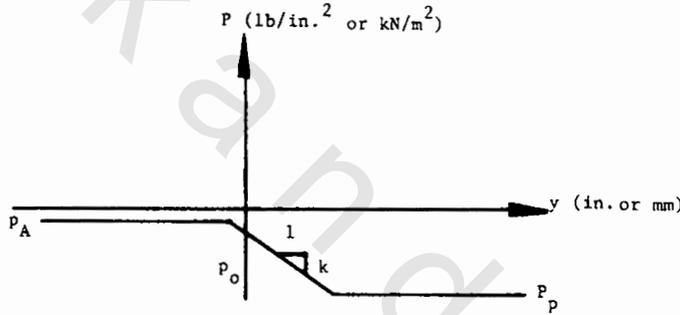
حيث إن H هو ارتفاع الحائط (ارتفاع التربة المحجوزة).

يكون منحنى $P-y$ بناء على ذلك مكتملاً، كما هو موضح في شكل رقم (١٢٦)

عند أي عمق خلال التربة المحجوزة.

(١٢,٣) إعداد منحنيات $P-y$ خلال عمق التربة الساندةPREPARING THE $P-y$ CURVES WITHIN THE RETAINING SOIL DEPTH

خلال عمق التربة الساندة توجد تربة على جانبي الحائط (شكل رقم ١٢٦)، حيث إن التربة المحجوزة تقع على الجانب رقم ١، أما التربة الساندة فتقع على الجانب رقم ٢ (شكل رقم ١٢٦). ويعد منحنى $P-y$ للجانب رقم ١ كما في حالة منحنى $P-y$ خلال عمق التربة المحجوزة. يعد منحنى $P-y$ للجانب رقم ٢ بنفس الطريقة باستثناء أن الضغوط P بالسالب لأنها باتجاه معاكس ل y (شكل رقم ١٢٧).

شكل رقم (١٢٧). منحنى $P-y$ للجانب رقم ٢ في الشكل رقم ١٢٦.

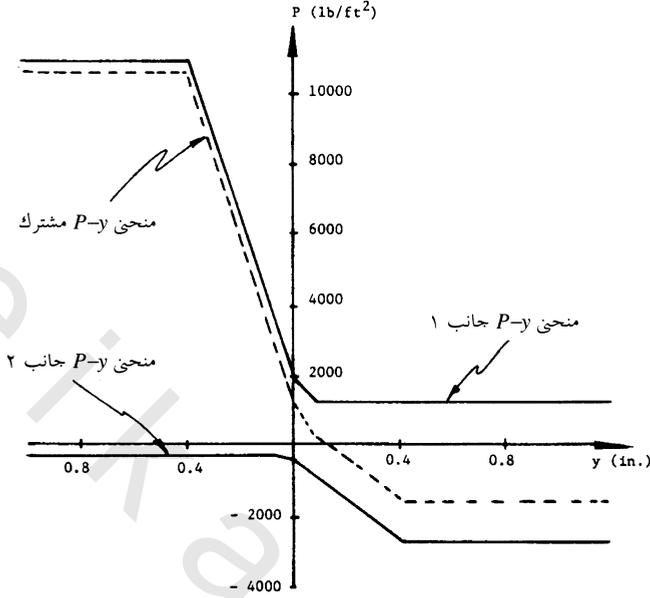
نحصل على نتيجة منحنى $P-y$ لعمق التربة الساندة بإضافة منحنى $P-y$ للجانب رقم ١ إلى منحنى $P-y$ للجانب رقم ٢، كما هو موضح في شكل رقم (١٢٨). ويمكن إعداد منحنيات $P-y$ المشتركة عند أعماق مختلفة خلال التربة الساندة.

(١٢,٤) منحنيات $P-y$ لمقياس الضغط PRESSUREMETER $P-y$ CURVES

قام مينارد بوضع عدة توصيات للحصول على منحنيات منفردة من $P-y$ خلال عمق التربة الساندة (Menard et al., 1964; Menard and Bourdon, 1965; Menard at al., 1969) ويوضح شكل رقم (١٢٧) منحنى منفرداً من $P-y$ للجانب الثاني في عمق التربة الساندة. وقد اقترح مينارد لحساب الميل k لمنحنى $P-y$ (شكل رقم ١٢٧) التالي:

(٣٥٠)

$$k = \frac{3E_0}{\alpha R + 39(0.06h)^\alpha}$$



شكل رقم (١٢٨). إعداد المنحنى P-y المشترك.

حيث إن E_0 هو معامل متوسط الحمل الأول لمقياس الضغط خلال التربة الساندة (كيلو باسكال)، h هو العمق المدفون المصحح بالسنتيمتر، كما هو محدد في شكل رقم (١٢٩)، α هو معامل لا وحدة له (الجدول رقم ٩ في البند ٧،٥) ويعتمد على نسبة E_0 على الضغط النهائي لمقياس الضغط p_L ، و k هو معامل رد فعل طبقة الأساس ووحدته (كيلو باسكال/سم).

قدم مينارد المعادلة التالية للمقاومة السلبية القصوى للتربة

p_p (Menard et al., 1964; Menard and Bourdon, 1965; Menard et al., 1969).

$$(٣٥١) \quad p_p = \frac{p_L - p_0}{K_B} + p_0$$

حيث إن p_L هو الضغط النهائي لمقياس الضغط، p_0 هو الضغط الأفقي الكلي عند

السكون في التربة، K_B هو معامل لا وحدة له ويعتمد على نسبة E_0/p_L :

للترية الطينية :

(٣٥٢) $K_B = 2.7$ عند $E_0/p_L = 10$

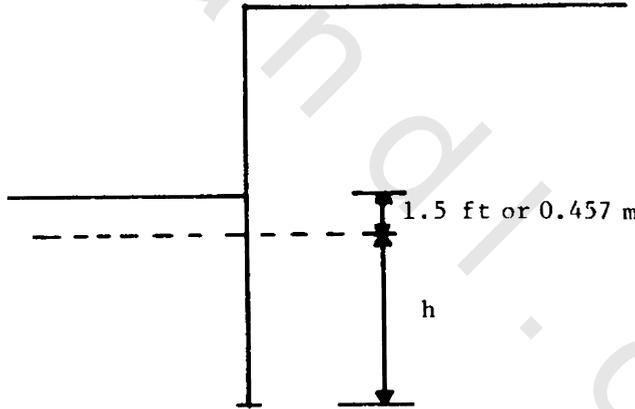
(٣٥٣) $K_B = 3.2$ عند $E_0/p_L = 15$

للترية الرملية :

(٣٥٤) $K_B = 3.5$ عند $E_0/p_L = 10$

(٣٥٥) $K_B = 4.2$ عند $E_0/p_L = 15$

يجب استخدام التمييز الهندسي لتحديد قيم K_B للقيم الأخرى من E_0/p_L غير ١٠ و ١٥. وتحسب قيمة المقاومة السلبية بالمعادلة ٣٥١ ومن الممكن أنها تدل على قيمة قصيرة المدى. أما القيم طويلة المدى فيوصى باستخدام الطريقة التقليدية (معادلة ٣٤٧).



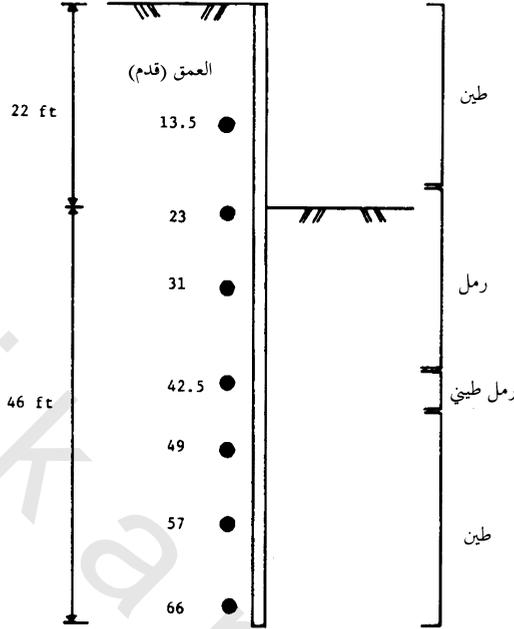
شكل رقم (١٢٩). تعريف العمق المصحح.

لم يقدم مينارد أي توصيات خاصة باختبار مقياس الضغط للمقاومة النشطة القصوى للترية، ولذا يجب تطبيق الطريقة التقليدية (معادلة ٣٤٦).

ف عند إعداد منحني $P-y$ للجانب رقم ٢ عند عمق z فإن منحني $P-y$ للجانب

رقم ١ سيعد تبعاً لنفس التوصيات، وعندها تضاف منحنيات $P-y$ للجانبين رقمي ١

و ٢ للحصول على منحني $P-y$ المشترك عند العمق z (البند ٣، ١٢).



شكل رقم (١٣٠). الحائط الاستنادي للنفق في هيوستن.

EXAMPLE (١٢,٥) مثال

يقع الموقع عند تقاطع الحزام الغربي مع طريق كمبرلي في مدينة هيوستن بولاية تكساس، حيث سيتم إنشاء حائطين استناديين للتمكن من عمل نفق عند التقاطع. وسيتم إنشاء كل من هذين الحائطين الاستناديين على خط من الدعامات المحفورة، قطر الدعامة ٠,٩١ م والمسافة بين كل مركزين لدعامتين متتاليتين ١,٠٧ م. والطول الكلي لهذه الدعامات عند المرحلة النهائية هو ١٨,٣ م ويحجز ٦,٧ م من التربة (شكل رقم ١٣٠).

تم إجراء سبعة اختبارات لمقياس الضغط في ١٩٨٣/٨/٣١ م، ويبين في شكل رقم (١٣٠) مواقع هذه الاختبارات خلال طبقات التربة، أما نتائجها فهي موجودة في شكل رقم (١٣١).

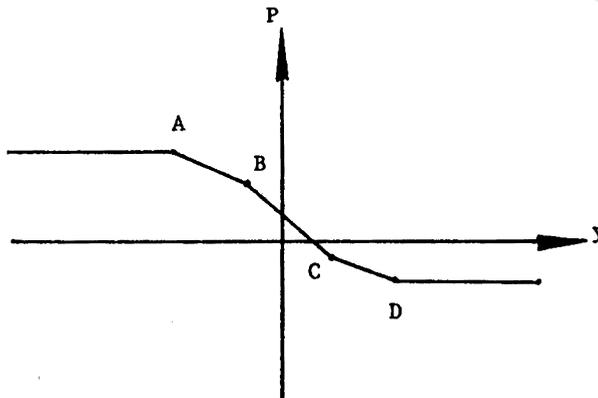
ولتحليل الحائط الاستنادي فقد وضعت عدة فرضيات، وهي كالتالي :

١. تؤثر كل دعامة على تربة عرضها ١,٠٧ م.
٢. مراعاة حديد التسليح ؛ وذلك بعدم زيادة عزم التشقق في كل دعامة.
٣. معامل المرونة للخرسانة هو $27,6 \times 10^6$ كيلو باسكال.
٤. وحدة الوزن الكلي للتربة هي ١٨,٨ كيلو نيوتن/م^٣ وزاوية الاحتكاك للتربة ϕ هي ٣٠° مع عدم وجود تماسك في التربة.

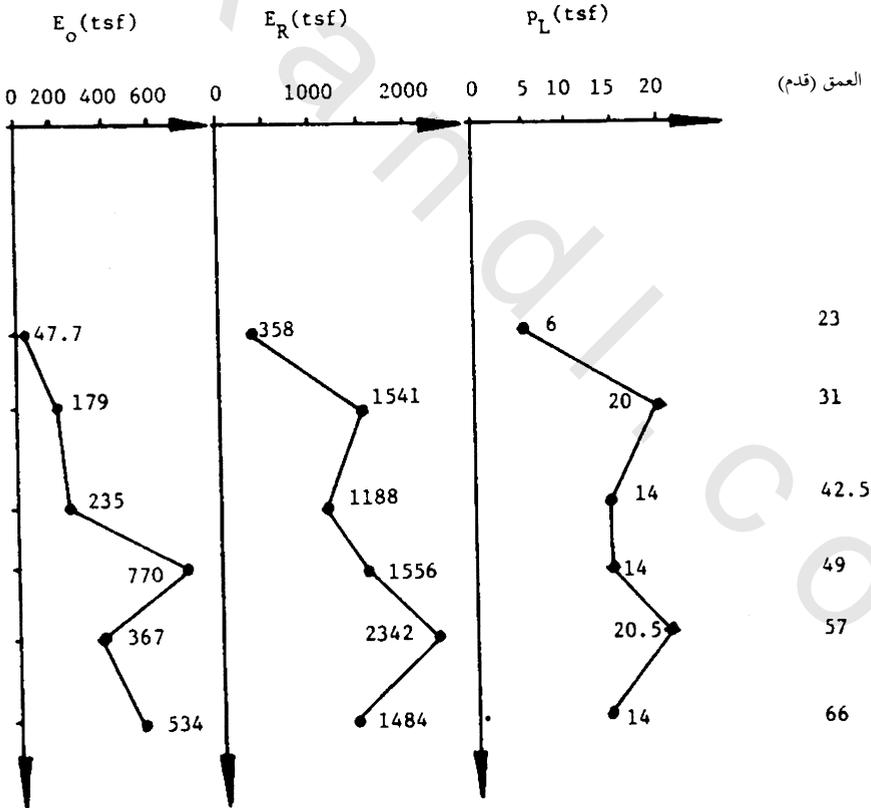
جدول رقم (٢٧): بيانات منحني $P-y$ لجدار كمبرلي (Kimberly) والحزام الغربي (West Belt).

D		C		B		A		
y (قدم)	P (رطل/قدم)	y (قدم)	P (رطل/قدم)	y (قدم)	P (رطل/قدم)	y (قدم)	P (رطل/قدم)	z
١,٠٠٠	٠	-	-	-	-	١,٠٠٠	٠	٠
٠,٠٣١	٨٨٠	-	-	٠	١٣٢٠	٠,٢٤٥٠	٤٧٤٠	٢٢
٠,١١٧	١,٠٧٣٠	٠,٠١٢	٧٠	٠,٠٠٣	١٦٦٠	٠,٢١٧	١٢٩٣٠	٣١
٠,١٦٠	٦٢٠٠	٠,٠٢٠	٣٦٠	٠,٠١٠	٢١٥٠	٠,١٠٦	٨٤٠٠	٤٢
٠,٢٨٢	٨٤١٠	٠,٠٣٢	٦٥٠	٠,٠١٧	٢٣٩٠	٠,٢٨٢	١٠٦١٠	٤٩
٠,٨٦٦	١٢٦٣٠	٠,٠٧٧	٩٦٠	٠,٠٤٧	٢٧٢٠	٨,٦٦	١٤٨٣٠	٥٧
٠,٤٠٧	٨٧٥٠	٠,٠٦١	١٣١٠	٠,٠٤١	٣٠٨٠	٠,٤٠٧	١٠٩٥٠	٦٦

ملاحظة : النقاط A، B، C و D موضحة في الشكل أدناه

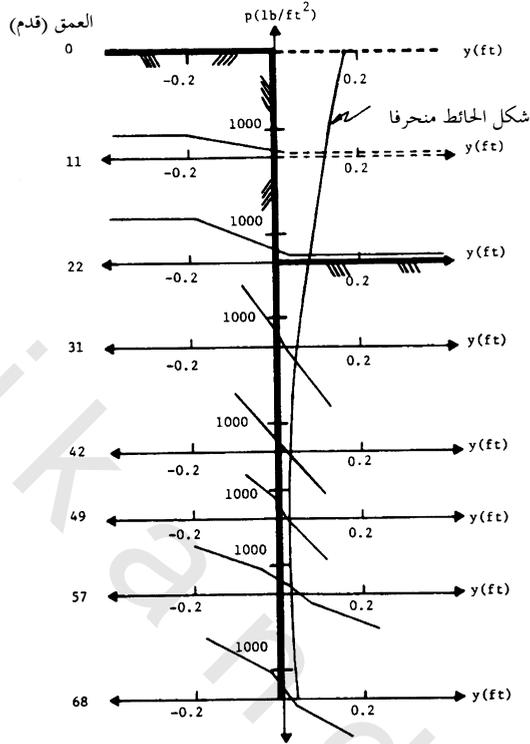


تستخدم الخطوات المبينة في البند ٤, ١٢ لطريقة مينارد تحت مستوى الحفر، أما أعلى مستوى الحفر فتستخدم منحنيات $P-y$ بناء على الطريقة التقليدية. يحتوي جدول رقم (٢٧) على ملخص المحاور P و y والمستخدمه لتحليل الحائط. ووحدة العمق z بالقدم وتقاس من أعلى الحائط، ووحدة قياس الضغط P هي رطل/قدم^٢، أما الإزاحة الجانبية وتقاس بالقدم. وتشير النقاط A، B، C، و D إلى أربع نقاط على منحنى $P-y$ ، كما هو مبين في جدول رقم (٢٧). ونتائج التحليل موضحة في الشكلين رقمي (١٣٢ و ١٣٣).

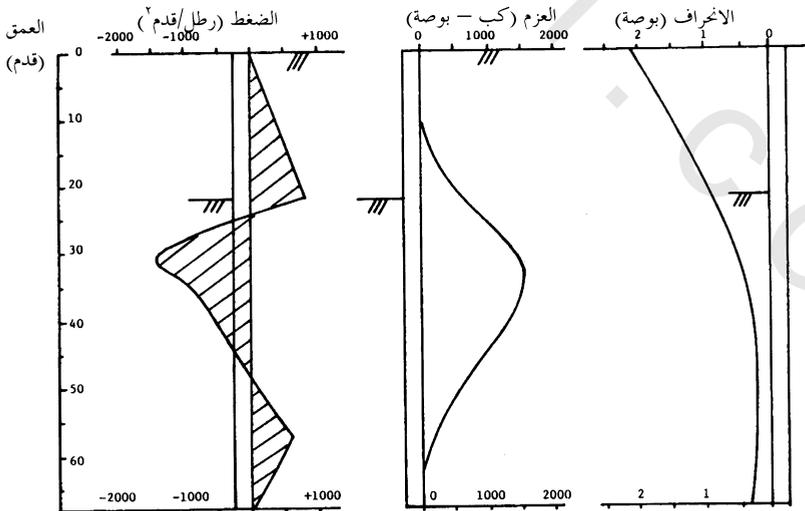


شكل رقم (١٣١). ملخص نتائج اختبارات مقياس الضغط.

مقياس الضغط



شكل رقم (١٣٢). نتائج تحليل الحائط.



شكل رقم (١٣٣). الضغط ، وعزم الانحناء والانحراف للحائط.