

# الفصل التاسع

## برج الحفر

يعد برج الحفر أحد الأجزاء الميكيلية لوحدة الحفر ، غير أن ارتباطه بالعمليات التنفيذية الجارية خلال عملية الحفر وعمليات الرفع والإإنزال المرافقة لها وبقية عمليات استكمال حفر البئر وإعداده للإنتاج ، يجعل موضوع دراسته ، كأحد الأجزاء الرئيسية لوحدة الحفر ، ضرورة لا بد منها .

### 1-1X : مهماته

يستخدم برج الحفر لتشييت مجموعة البكرات التاجية وتعليق بقية أجزاء منظومة الحبال وما يتصل بها من معدات ، سواءً خلال عملية الحفر ، أم خلال عمليات رفع وإنزال مجموعة المواسير ، أو إإنزال مواسير التغليف أو أجهزة قياسات واختبارات البئر .

توزع على أرضيته (منصة البرج وتسمى أيضاً منصة الحفر) :

- **الأجهزة الأساسية** في عملية الحفر والرفع والإإنزال (المنضدة الروحية والأجهزة الرافعة وأجهزة التحكم والسيطرة الرئيسية) .
- **الأجهزة المساعدة** المستخدمة في هذه العمليات مثل المفتاح الآلي والميكانيكي ومسكات المواسير ومتباتها وأقراط (عتلات) التعليق والدقاقات المستخدمة للحفر يجب أن تتسع منصة البرج لاحتواء المواسير المستخدمة خلال عملية حفر البئر أو خلال عمليات رفع عمود مجموعة المواسير لاستبدال الدفاق المستهلك أو عملية إنزال مواسير التغليف وعملية سمنتتها .

## X-1-2 : تصنیفه و خصائصه التصمیمية

تصنف أبراج وحدات الحفر إلى ثلاثة أنواع :

1. الأبراج رباعية القوائم وتسمى بالنوع البرجي .

2. الأبراج ثنائية القوائم أو الأبراج الصاربة من نوع الحرف (A) .

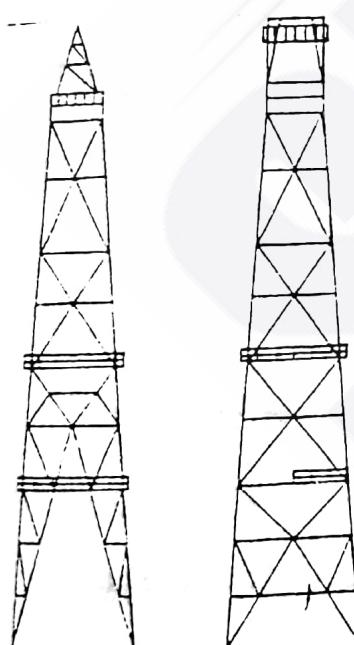
3. الأبراج أحادية القوائم .

الخل الهندسي لحركة الخطاف :

• ينطبق على محور البرج الشاقولي في النوعين الأول والثاني .

• يميل بزاوية معينة عن محور البرج الشاقولي في النوع الثالث .

يتم جمع الأبراج ثنائية القوائم بالوضع الأفقي وبعدها يرفع البرج إلى وضعه الشاقولي بواسطة روافع هيدروليكية وبمساعدة حبل الحفر الذي يربط مع أسطوانة الملفاف .



أولاً : الأبراج رباعية القوائم

سيطر هذا النوع من الأبراج في وحدات الحفر ، الشكل رقم (a-1-IX) ، سيطرة مطلقة لفترة زمنية طويلة حيث حل محل الأبراج الخشبية رباعية القوائم التي كانت مستخدمة في وحدات الحفر حتى نهاية القرن الماضي وبداية القرن الحالي .

الشكل رقم (a-1-IX) : برج حفر رباعي القوائم .

تصنع قوائم البرج وهي الجزء الرئيسي منه ، من أنابيب معدنية فولادية عالية المثانة تحمل الحمولات الكبيرة التي يتعرض لها البرج .

تمتاز أبراج الحفر رباعية القوائم المعدنية بمتانتها وطول عمرها وتحملها للحمولات الكبيرة ، وتكون ذات معامل أمان كبير ضد الاحتراق . وهذه الميزات لا تجدها في أبراج الحفر رباعية القوائم الخشبية .

يتراوح ارتفاع هذه الأبراج بين ( 18 - 57 ) م وذلك حسب :

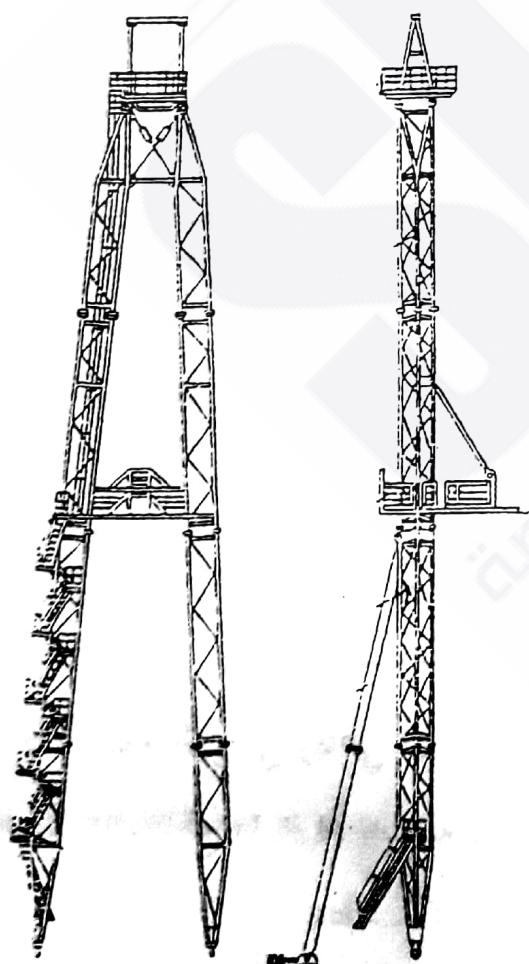
- استطاعة وحدة الحفر .
- الحمولات المؤثرة على البرج .
- طول الشوط الواحد من مواسير الحفر .
- قياسات التجهيزات والمعدات المستخدمة في عمليات الرفع والإنزال .

كانت عمليات فك وتركيب هذه الأبراج إحدى مؤشراتها السلبية ، نظراً لتعقيدها واستغراقها للوقت الطويل ، إلا أن التطور التقني لمعدات الفك والتركيب وطرق تنفيذ هذه العمليات وتطور تصاميم هذه الأبراج جعل هذه المسألة قليلة الأهمية

### ثانياً : الأبراج ثنائية القوائم

تسمى هذه الأبراج أيضاً بالأبراج الصارية من نوع حرف (A) ، الشكل رقم (b-1-IX) . يصل ارتفاع هذه الأبراج حتى (47) م .

تتكون من قائمتين متباينتين يصنعان من الفولاذ ( بشكل زوايا ) أو من أنابيب فولاذية تتلقي بعضها مكونة القاعدة العليا للبرج .



تمتاز هذه الأبراج عن الأبراج رباعية القوائم :

الشكل رقم (b-1-IX) : برج صاري ثانوي القوائم .

قلة كتلتها المعدنية وقلة عدد أجزائها وسهولة فكها وتركيبها .

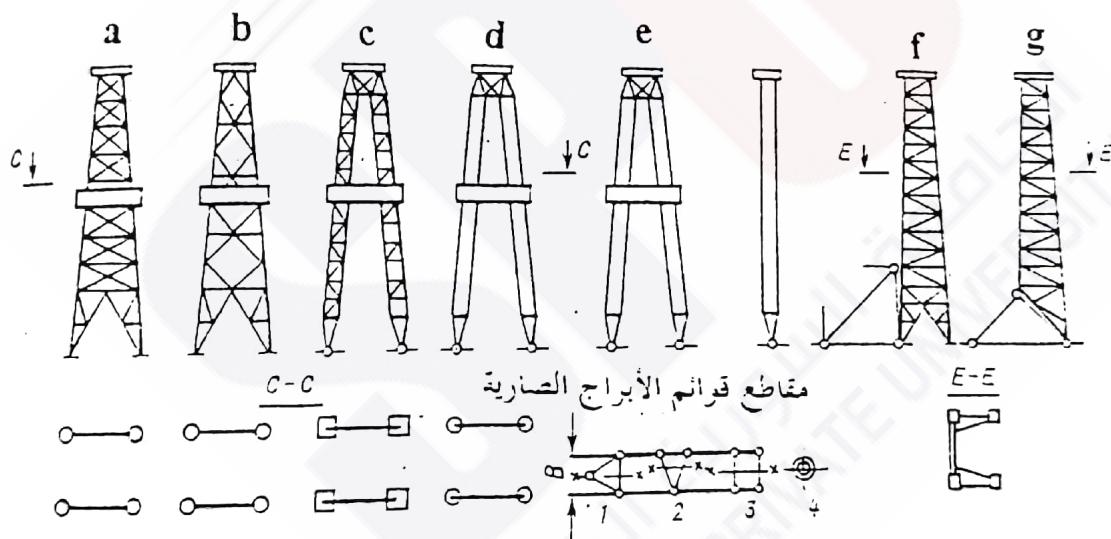
- تشغيل قوائم الأبراج حيزاً أقل من الأبراج رباعية القوائم وبذلك تنسق مجالاً واسعاً لحرية عمل طاقم الحفر وتوزيع الأجهزة والمعدات على مساحة البرج .

- تنقل هذه الأبراج في أحيان كثيرة مجمعة مع قواعدها وتكون مجهزة بروافع هيدروليكيّة تقوم برفعها عند وضع الوحدة في موقع الحفر الجديد حتى تأخذ وضعها الشاقولي فوق فوهة البئر وإنزالها إلى الوضع الأفقي عند الانتهاء من حفر البئر ونقلها إلى موقع آخر .

#### تصنع قوائم الأبراج ، الشكل رقم (2-IX) :

رباعية القوائم بمقاطع عرضية ذات شكل هندسي رباعي أو دائري .

الصاربة بشكل مثلث أو رباعي الأضلاع أو دائري .



الشكل رقم (2-IV) : مقاطع أرجل البرج ثنائية القوائم

في حالة القياس (B) الواحد ومساحة المقطع العرضي الواحدة يكون البرج ذو القوائم ذات المقطع العرضي رباعي الأضلاع أكثر مقاومة للانحناء والفتل ، وذلك لأن عزم العطالة للمقاطع (1.2.3) بالنسبة للمحور (X) يتغير وفق القيم (1.5, 1.35, 1) إلا أن هذا النوع من الأبراج يتطلب كتلةً معدنية أكبر من الأنواع الأخرى .

الأبراج ذات القوائم دائيرية المقطع العرضي تصنع من الأنابيب الفولاذية المحوفة ذات الأقطار الكبيرة مما يؤدي إلى زيادة وزنها بشكل ملحوظ .

يتم تصنيع بعض الأبراج بجهة واحدة مفتوحة (على شكل [ ) ، ويسهل ذلك طريقة تركيبها ويسهلها ويزيد من صلابتها .

**تزويد الأبراج من النوعين السابقين ( رباعية وثنائية القوائم ) بـ :**

• سلام من الجهة الخارجية لصعود عامل البرج إلى موقعه على شرفة البرج (القاعدة الوسطية ) حيث يكون مسؤولاً عن تركيب أو نزع مواسير الحفر من مaskaة المواسير وسحبها أو إعادةها إلى مخزن المواسير في حالة عدم استخدام جملة الرفع الآلي .

• سلام مغطاة بسقف واقٍ للوصول إلى القاعدة العليا للبرج (قاعدة مجموعة البكرات التاجية ) .

• أوتاد خارجية أحياناً لزيادة استقرارية البرج خلال العواصف والرياح الشديدة

### **ثالثاً : الأبراج أحادية القوائم**

تستخدم هذه الأبراج في الوحدات الخفيفة ذاتية الحركة المستخدمة لحفر الآبار المائية والآبار الضحلة .

### **رابعاً : القواعد الأفقية للأبراج**

تحتوي جميع الأبراج من الصنفين الأول والثاني بغض النظر عن نوعها أو تصميمها على ثلاثة قواعد أفقية على الأقل ، وهي :

• قاعدة مجموعة التاجية (القاعدة العليا ) : حيث تثبت عليها مجموعة البكرات التاجية .

• قاعدة عامل البرج أو شرفة البرج التي يعمل عليها عامل البرج لتشييت نهاية مقطع المواسير المنزل في البئر داخل لاقطة المواسير ، أو تحرير هذه النهاية من

لاقطة المواسير عند الرفع ودفع المقطع إلى مخزن المواسير ، وكذلك ربط هذه النهايات مع جذع الرأس الهيدروليكي القائد في حال استخدامه في الوحدة عند عمليات الحفر .

#### • منصة (أرضية) البرج ، أي قاعدته السفلية التي تمثل الموقع الرئيسي في الوحدة .

تزود القاعدة العليا للبرج بتجهيزات خاصة لرفع مجموعة البكرات التاجية وإنزالها موقعاً خلال عمليات تركيبها أو فكها وإصلاحها . ويجب ألا تقل الحمولة التصميمية لهذه التجهيزات عن مرة ونصف أكبر من وزن أضخم مجموعة بكرات تاجية يمكن تركيبها على هذا البرج .

إضافة إلى ما سبق ، تصمم الأبراج الحديثة ، (برجية أم صارية) ، وفق منظومة

احتزاز أكثر مما يمكن من الوقت المصروف على عمليات نصب أو إنزال البرج .

لهذا تصمم الأبراج حالياً وفق ما يسمى بالأبراج التلسكوبية ، حيث تصمم مقاطع البرج متراقبة ومتداخلة مع بعضها ، ويتم دفع أجزاء البرج بواسطة ضواغط هيدروليكية ليتحدد طوله العامل ، ومن ثم رفعه بواسطة هذه الضواغط ليتخد وضعه الشاقولي .

### 3-1X : قياسات برج الحفر

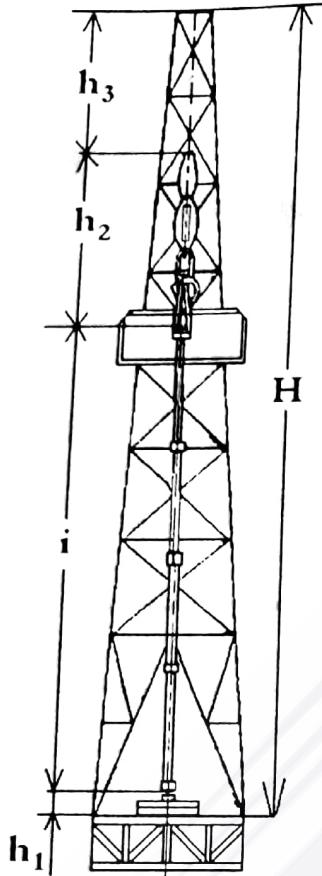
أولاً : ارتفاع البرج

يميز مفهومان لارتفاع البرج :

• الارتفاع التصميمي : يمثل المسافة من قواعد أرجل البرج و حتى المستوى العلوي للقاعدة العليا .

• الارتفاع المفيض : يمثل المسافة من أرضية (منصة) البرج حتى المستوى العلوي للقاعدة العليا .

يتطابق المفهومان عندما تكون قواعد أرجل البرج في مستوى أرضيته .



يكون الارتفاع المفيض للبرج، الشكل رقم (3-IX)

وفق متطلبات سلامة عمليات الرفع والإنتزال ، مساوياً :

$$H = h_1 + I_s + h_2 + h_3 \quad (1-1X)$$

حيث إن :

$h_1$  : المسافة من أرضية البرج حتى النهاية السفلية لمقطع (شوط) مواسير الحفر المعلق فوق المنصة الروحية خلال عمليات الرفع والإنتزال ، وتشمل هذه المسافة :

الشكل رقم (3-IV) : الارتفاع المفيض للبرج

- ارتفاع المنصة الروحية ومسكبة المواسير و قفل ماسورة الحفر المستندة على المنصة الروحية .

- مسافة الفراغ بين النهاية العليا لهذا القفل والنهاية السفلية للمقطع المعلق . تترواح قيمة ( $h_1$ ) بين (1.2-1.5) م .

- $h_2$  : طول قضبان تعليق لاقطة المواسير والخطاف وجموعة البكرات المتحركة يتراوح بين (7-8) م .

- $h_3$  : مسافة الأمان بين مجموعة البكرات التاجية وأعلى وضع لجموعه البكرات المتحركة خلال رفع مقاطع المواسير . هذه المسافة ضرورية لتأمين الكبح اللازم للأجهزة الرافعة لإيقاف حركة مجموعة البكرات المتحركة وتلافي اصطدامها بالقاعدة العليا للبرج وجموعه البكرات التاجية ( حوالي 7 م ) .

- $I_s$  : طول مقطع المواسير ، متر .

## ثانياً : ارتفاع شرفة البرج (قاعدة عامل البرج )

$$h_B = l_s \cos \alpha + h_0 - \Delta h \quad . \quad m \quad (IX-2)$$

حيث إن :

$\alpha$  : زاوية ميل مقطع مواسير الخفر عن المحور الشاقولي عند استناده على إصبع (محور) الاستناد العلوي في مخزن المواسير ( $20^\circ - 40^\circ$ ) .

$h_0$  : ارتفاع قاعدة مخزن المواسير عن أرضية البرج ، متر .

$\Delta h$  : المسافة بين نهاية مقطع المواسير العليا وأرضية الشرفة ، متر .

## ثالثاً : قياسات القاعدة العليا للبرج

تحدد هذه القياسات وفق قياسات مجموعة البكرات التاجية مع تأمين المجال الكافي لحركة وعمل فرق الصيانة والتركيب عليها .

## رابعاً : قياسات أرضية البرج (منصة البرج )

يجب أن تؤمن قياسات المنصة :

- موقع الرأس الهيدروليكي وقلم الحفر خلال عمليات الرفع والإنزال ( ثقب الفار )
- إمكانية توضع الأجهزة الرافعة والمنضدة الروحية والمفتاح الآلي والميكانيكي (اليدوي ) ومركز السيطرة والتحكم ومخزن مقطع المواسير المرفوعة والمنزلة في البشر خلال عملية حفره وبقية المعدات المساعدة .
- المكان الكافي والمريح لعمل فرقة الحفر لتنفيذ العمليات المطلوبة ولصيانة هذه الأجهزة والقيام بالإصلاحات الموقعة لها عند الحاجة .

وفق المواصفات القياسية تكون المسافة بين الحواف الداخلية لأرجل البرج رباعية القوائم ذات ارتفاع في حدود :  $(42 \div 40) = (8 \times 8)$  متر .

$$(54 \div 53) = (10 \times 10) \text{ متر .}$$

للأبراج ثنائية القوائم (الصاربة ) : تحدد قياسات المنصة حسب الارتفاع

والحمولة وتصنع بالقياسات التالية بالأمتار :

$$(11 \times 11), (9 \times 9), (7 \times 7), (5.5 \times 5.5)$$

خامساً : مساحة مخزن المواسير على منصة البرج

مساحة مخزن المواسير على منصة البرج يجب أن تكون كافية لاحتواء مقاطع مواسير الحفر المفروعة من البئر مع قطع المواسير الاحتياطية المخصصة لاستبدال القطع المتضررة أو المستهلكة خلال المشاكل الحاصلة عند الحفر :

$$F_S = K F_I \quad F_I = \frac{L}{I_s} f \Rightarrow F_S = \frac{KL}{I_s} f \quad , \text{m}^2 \quad (\text{IX-3})$$

حيث إن :

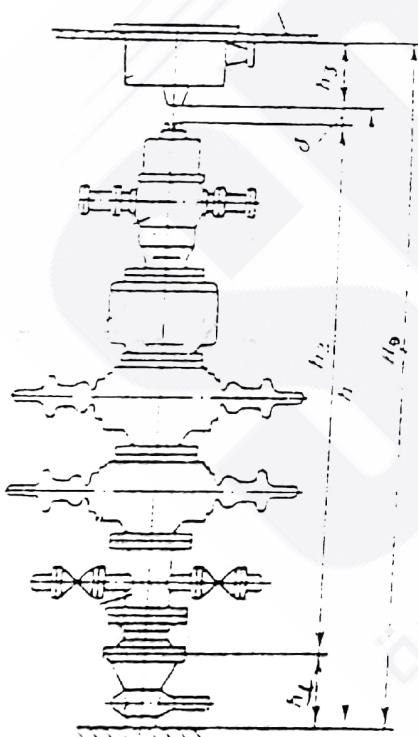
$K$  : معامل احتياطي المساحة . يؤخذ في حدود (1.2 - 1.25)

$F_I$  : المساحة النظرية لمخزن المواسير ،  $\text{m}^2$  .

$L$  : طول عمود مجموعة المواسير ،  $\text{m}$  .

$I_s$  : طول المقطع الواحد من المواسير ،  $\text{m}$

$f$  : مساحة المقطع العرضي لقفل المواسير ،  $\text{m}^2$  .



سادساً : ارتفاع أرضية (منصة) البرج

يتم تحديد هذا الارتفاع وفق احتياجات

تركيب معدات إحكام فوهة البئر وتجهيزاتها

وصياتها ، الشكل رقم (4-IX) ، من العلاقة :

$$H_p = h_1 + h_2 + h_3 + \delta \quad (\text{IX-4})$$

الشكل رقم (4-IV) : ارتفاع منصة البرج

حيث إن :

$h_1$  : ارتفاع فلنجة فوهة البئر عن الأرض (0.5 m) .

$h_2$  : ارتفاع معدات إحكام فوهة البئر .

$h$  : المسافة من أرضية (منصة) البرج حتى الحافة السفلية للمنصة الرحوية .  
 $\delta$  : المسافة (الفراغ) بين الحافة العليا لمانع الاندفاع والحافة السفلية للمنصة  
 $\delta = 0.5 - 0.7$  متر رحوية ، م .

## 4-IX : الكتلة النوعية للبرج

تعد كتلة البرج إحدى مؤشرات تطورها التقني من حيث حجم المواد المستخدمة في صنعها ، ويحدد هذا الحجم بالكتلة النوعية ( $m_0$ ) للبرج التي تحدد وفقاً

العلاقة :

$$m_0 = \frac{M_D}{P_D \cdot h} \quad (\text{IX-5})$$

حيث إن :

$M_D$  : كتلة البرج ، كغم .

$P_D$  : حمولة البرج ، كغم .

$h$  : ارتفاع البرج ، متر .

## 5-IX : الحمولات المؤثرة في البرج

تعد حمولة البرج من المؤشرات المهمة التي تحدد الحمولة المسموح بها على الخطاف باستخدام منظومة حبال معينة .

تحدد الحمولة المسموح بها للبرج بأعظم حمولة متوقعة في المجال المحدد للحفر و يجب أن تتطابق قيمة هذه الحمولة مع الحمولة المسموح بها على الخطاف .

وبهذا تؤخذ بعين الاعتبار قوة الشد في الطرفين المتحرك والثابت لحبيل الحفر .

أثناء تصميم الأبراج تستستخدم الحالة الحدية التي تعتمد الحسابات فيها على المعطيات السكنوية لتحميل البرج خلال الاستثمار ، وفقاً لذلك يمكن تغيير المواصفات الميكانيكية للمواد المستخدمة في صناعته مما يسمح بزيادة معامل المتنانة والأمان له .

تدرس أبرااج الحفر بحالتين حديثين للتصميم :

1. ضياع مقاومة البرج نتيجة التحميل المتكرر التي تؤدي إلى تحطم البرج وفقدانه عنصر المثانة .

2. حالة التشوه إذ لا يمكن ، عند بلوغ البرج هذه الحالة ، استخدامه في وضعية الاستثمار بالرغم من بقاء مثانته ضمن حدودها المقبولة .

تنصف الحالات الحدية السابقة لأبرااج الحفر بشروط محددة :

- شروط الحالة الحدية الأولى :

$$N \leq f \quad (\text{IX-6})$$

حيث إن :

$N$  : القوة الحسابية الأعظمية المؤثرة في أجزاء برج الحفر .

$f$  : القوة الحدية لمعدن الجزء المدروس من برج الحفر والتي تحدد بفقدان مقاومة البرج .  
يمكن تحديد القوة الحدية لمعدن برج الحفر (1) بمعرفة نوع التشوه الحاصل

للعنصر المدروس حيث تحدد قيمة ( $f$ ) في حالة الشد المركزي بالعلاقة :

$$f = F \cdot R_{II} \cdot K \cdot m \quad (\text{IX-7})$$

حيث إن :

$F$  : مساحة مقطع الجزء المدروس .

$R_{II}$  : مقاومة المادة التي يصنع منها الجزء المدروس (للفولاذ تساوي حد المطاوعة ) .

$K$  : معامل تحانس المادة (  $K = 0.8 - 0.9$  ) .

$m$  : معامل يتعلق بشروط ظروف العمل وقيمه : للبرج الصاري  $m = 0.95$

للبرج رباعي القوائم :  $m = 0.8 - 0.9$

- شروط الحالة الحدية الثانية :

$$\Delta \leq \Delta_0 \quad (\text{IX-8})$$

حيث إن :

$\Delta$  : املاك الأعظمي لأعلى برج الحفر عن محور المنصة الروية ومركز البشر .

$\Delta_0$  : الملاك الخدي لأعلى برج الحفر ، والذي يحدد إمكانية الاستثمار العادي للبرج .

$\Delta_0$  تحدد الحدود المسموح بها لميلان القمة العليا للبرج والتي تؤمن مرور مواسير

الحفر من فتحة المنصة الروية ، وفق العلاقة :

$$\Delta_0 = \Delta_1 + \Delta_2$$

(IX-9)

حيث إن :

$\Delta_1$  : ميلان القمة العليا للبرج عن محور البشر والمنصة الروية تحت تأثير القوى الناتجة

عن الاستثمار .

$\Delta_2$  : ميلان القمة العليا للبرج بنتيجة عدم وجود الدقة الكافية في أثناء عملية تركيبها

فرق فوهه البشر .

ودائماً يجب أن تتحقق المراجحة :

$$\Delta_0 \leq \frac{D - D_s}{2} = \frac{H}{300} \quad (\text{IX-10})$$

$$\Delta_2 = \frac{H}{750} \Rightarrow \Delta_1 \leq \Delta_0 - \Delta_2 = \frac{H}{500} \quad (\text{IX-11})$$

حيث إن : H : ارتفاع البرج .

D : قطر فتحة المرور في المنصة الروية .

$D_s$  : قطر إغفال مواسير الحفر .

القوى الحسابية في أجزاء البرج المختلفة تحدد كمجموعه قوى مؤثرة بوقت واحد في البرج .

$$N = N_1 n_1 + N_2 n_2 + \dots + N_n n_n = \sum_{i=1}^n N_i n_i \quad (\text{IX-12})$$

حيث إن :

$N_i$  : قيمة الحمولة في الجزء (i) من البرج .

$n_i$  : معامل التحميل من أجل الجزء (i) .