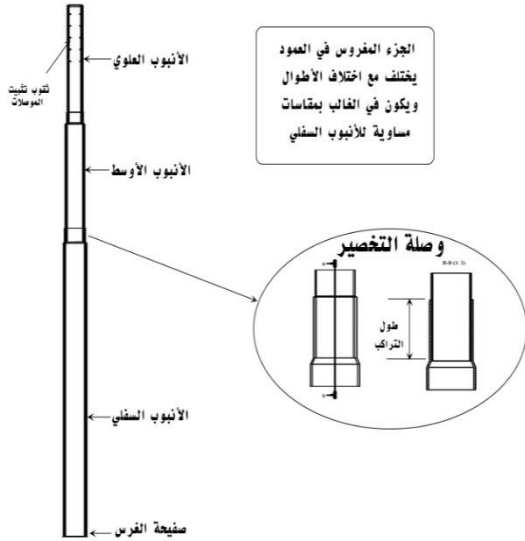


مكافئة أعمدة توزيع القدرة الكهربائية الخشبية بالأعمدة الفولاذية

م. محمد حسن القلته كلية الهندسة، قسم الهندسة الصناعية والتصنيع مصراته، ليبيا m.algalta@eng.misuratau.edu.ly	أ. أحمد حسين القلته شركة قلته للصناعات الهندسية، مجلس الإدارة مصراته، ليبيا Ahmed.elgulta@gulta.ly	د. محمود علي الجعراي كلية الهندسة، قسم الهندسة الصناعية والتصنيع مصراته، ليبيا m.eljaarani@eng.misuratau.edu.ly
--	---	--

المخلص — تحتوي هذه الورقة على دراسة تصميمية لأعمدة فولاذية مشكلة بواسطة التخصير (Swaging) تكون مكافئة للأعمدة الخشبية ويمكن استخدامها في نفس أصناف أعمدة توزيع القدرة الكهربائية المعتمدة في مواصفات الشركة الليبية للكهرباء. تهدف هذه الورقة الى التحقق إمكانية مكافئة الصنفين الأكثر استخداما في الأصناف الثلاث للأعمدة الخشبية بمواصفات الشركة العامة للكهرباء، التأكيد على ملائمة الخامات المحلية للنوع المختار من الأعمدة الفولاذية في عملية التصميم. تمت خطوات التصميم لهذا المنتج بأخذ الحمل الموضح في كل طول من أطوال الأعمدة الخشبية في الصنفين الأكثر استخداما من قبل الشركة العامة للكهرباء ألا وهما الخفيف والمتوسط بمواصفات الشركة العامة للكهرباء، ومن ثم إجراء الحسابات التحليلية الرياضية للإجهادات للطول 9 متر باستخدام المعادلات الموضحة في المواصفة: (American Society Civil Engineering) ASCE 48-11 وعمل محاكاة لهذا الطول باستخدام البرنامج ANSYS وبرنامج (RSAP)، ليتم تغطية أغلب الجوانب التحليلية في عملية التصميم، واستخدام الأكثر دقة بينها (برنامج ANSYS) في إخراج نتائج التحليل لباقي الأطوال. ومن ثم التأكيد على هذه النتائج التحليلية حسب المشترك به في المواصفات المذكورة، فكانت النتيجة من خلال اتباع هذه الآلية هي الجدوى من الناحية الإنشائية للقطاعات التي وقع عليها الاختيار لهذا النوع من الأعمدة الفولاذية في جميع الحسابات؛ وذلك لأن الإجهادات الناتجة من التحليل كانت أقل من المسموح به في المواصفة (ASCE 48-11). الكلمات المفتاحية: أعمدة التوزيع الانبوبية، الأعمدة المخصرة، المكافئة.



شكل 1. بيانات العمود المخصر

التخصير (Swaging): تعتبر عملية التخصير إحدى عمليات التشكيل الميكانيكية على البارد أو على الساخن التي تقوم بتقليل قطر الأنابيب دون وجود فقد في المادة الخام المكونة لها، إذ تقتصر على تطبيق قوى ضغط هيدروليكية على سطح الأنبوب الخارجي بواسطة قالب، ويفضل وضع عمود صلب (Mandrel) ذو تحميله عالية داخل الأنبوب الواقع عليه عملية الضغط؛ حيث أن وضع العمود الصلب يعطي تناسق في القطر والسلك للأنبوب، ويمكن حصر الطرق المستخدمة لإنشاء هذه العملية إلى طريقتين:

طريقة التحميل المستمر بواسطة قالب طولية (Longitudinal Die) وطريقة التخصير بالتدوير (Rotary Swaging) [3].

المقدمة

اعتماداً على تكلفة الفولاذ مقارنةً بالخشب، فإن الأعمدة الفولاذية تعتبر منافساً قوياً للأعمدة الخشبية فهي تتميز بالسهولة والمرونة في التصنيع، وبذلك يمكن القول إنها خيار جيد للبلدان الفقيرة في الغابات. حيث تختلف المقاسات في هذه الأعمدة على الاحتياج المتطلب منها، والأشكال التي توجد بها هذه الأعمدة في خطوط التوزيع مشابهة تقريباً لأشكال الأعمدة الخشبية، فحسب المتداول استخدامه في مختلف البلدان حول العالم فإن الأعمدة الفولاذية تصنع مفردة على أشكال متعددة وهي: أعمدة فولاذية مخروطية مضلعة أو أنبوبية، أعمدة فولاذية تتكون من قطاعات متعددة، أعمدة فولاذية على شكل كمر مركبة، ويعتبر النوع المراد مكافئته بالأعمدة الخشبية أحد أنواع الأعمدة الفولاذية ذات القطاعات المتعددة والتي سيتم التطرق لها في النقطة التالية.

الأعمدة الفولاذية ذات القطاعات المتعددة

تنقسم الأعمدة ذات القطاعات المتعددة المصنوعة من الفولاذ والتي تكون عادة تحت وصف عام (Tubular Pole) إلى نوع مختصر (Swaged Type)، نوع مدرج (Stepped Type)، نوع ذو شفة (Flange Type)، نوع مخروطي (Tapered Type) [1]. حيث إن النوع المختصر والذي يعتبر موضوع هذه الورقة، يتكون من أنابيب ملحومة طولياً (Longitudinal Weld)، ومن المعروف أن هناك طريقتان في لحام الأنابيب طريقة اللحام بالمقامة الكهربائية (ERW: Electrical Resistance Weld)، طريقة القوس المغومر

جدول 2. الخواص الميكانيكية للفولاذ المتوفر محليا

نوع الصفححة S275 JOH		
إجهاد الشد N/mm ²	إجهاد الخضوع الأدنى N/mm ²	التركيب الكيميائي للصفحة
430/560	275	Fe 430A

ج. الحمل المسلط على المنشأ

توضح المواصفة (ASCE 48-11) في الفصل الرابع بهذا الشأن من التصميم، أن الأحمال المسلطة على المنشأ تحدد من قبل المالك (الشركة العامة للكهرباء)، ومن هذا التوضيح تم أخذ الأحمال المسلطة على العمود الخشبي والشاملة لحمل الرياح، والحمل الحي على أنها أحمال أفقية مساوية للأحمال المعرض لها عمود الفولاذ حسب مواصفات الأعمدة الخشبية لشركة العامة للكهرباء، والتي يمكن تفصيلها إلى الآتي:

• حمل الفشل

هو الحمل النظري المضروب في معامل تضخيم، بعد دراسة لأسوء الأحوال كإيقاف الموصلات، وأحوال الطقس الحرجة داخل ليبيا حسب مواصفات الشركة العامة للكهرباء للأعمدة الخشبية. حيث يقوم هذا الحمل بتكوين إجهادات يتم التأكيد عنها بمقاومة الشد (Tensile Strength) للمادة الخام في حالة تصميم الفولاذ، والتي تكون فيها المادة الخام عند نقطة غير قابلة لتحمل أي أحمال إضافية، وتصفه الشركة العامة للكهرباء بالحمل الأقصى أو حمل الفشل حسب مواصفاتها ذات الرقم (GES10310)، ولن يتم استعماله في التصميم.

• حمل التصميم

هو الحمل الذي ستنتم به عملية التصميم حسب مواصفة التصميم رقم (ASCE 48-11) والذي يتم الحصول عليه من حاصل ضرب الحمل الحقيقي في معامل الأمان، حيث إن معامل الأمان لتصميم الأعمدة الفولاذية في الغالب ما يكون (1.5)، واختيار هذا المعامل كان تبعا للمواصفات المبينة عليها مواصفات الشركة العامة للكهرباء في تقدير أحمال تصميم العمود الانبوبي، وكذلك وفقا للمواصفة (GN101-03-SP-61-00-BSES Delhi) المستخدمة لمواصفة رقم (ASCE 48-5) في تصميم الإجهادات المؤثرة على الأعمدة الفولاذية.

د. الحالة الإنشائية للعمود

حسب الوظيفة المرادة من العمود في خط توزيع الشبكة الكهربائية، فيمكن القول إن المنشأ معرض لإجهادات ضغط ناتجة عن عزم الانحناء والوزن الذاتي للعمود، وإجهادات قص ناتجة عن قوى القص المتمثلة في الحمل الأفقي والذي يعتبر كذلك السبب لحدوث عزم الانحناء، وبالتالي فإنه في مثل هذه الحالة من حالات الإجهاد يحدث تأثير جماعي ناتج عن تجمع هذه الإجهادات عند كل جزء من أجزاء العمود يعرف بالإجهادات المركبة (Compound Stress) ويتم اعتباره حسابيا بالمعادلة (1). [5]

$$\sqrt{\left(\frac{P}{A} + \frac{M_y c_x}{I_y} + \frac{M_x c_y}{I_x}\right)^2 + 3\left(\frac{VQ}{Ib} + \frac{Tc}{J}\right)^2} \quad (1)$$

ويمكن حساب الانحراف الناتج عن هذا الحمل حسابيا بطريقة العارضة المرافقة أو عن طريق التكامل، وهاتين الطريقتين معتمدين في إيجادهما للانحراف على المعادلة (2). [6]

$$v = \frac{M}{EI} \quad (2)$$

كما يجب الإشارة إلى أن تصنيع العمود المخصر يتم بأخذ اعتبارات تشمل الأنابيب والوصلة المكونة لهذا العمود تتمثل في عدم زيادة السماحية لزيادة في طول الأنابيب عن (40 ملم) من طول المحدد، ألا تزيد السماحية لزيادة في طول الكلي للعمود عن (25 ملم) من طول المحدد، أن يتبع طول التراكب لإعطاء وصلة تراكبية مربوطة باللحام الزاوي بشكل محيطي، كما يجب مراعاة معايير الجودة للعمود من ربط وتجهيز جيد للعمود والتأكد من خلو السطح من الاعوجاج والتشققات، وقطع نهايات الأعمدة بشكل عمودي.

متغيرات التصميم

تتضمن هذه النقطة دراسة لكيفية الحسابات الأولية لمقاييس المنشأ والحالة الإنشائية له والتعريف بالأحمال المسلطة عليه وفقا لمواصفات الشركة العامة للكهرباء (GES10310)، والتوضيح لخصائص المواد الخام المحلية المستخدمة في تصنيع الأنابيب ومستويات السماحية للإجهاد فيها، وبالإضافة للمعادلات المبينة للحدود التصميمية وفقا لمواصفة (ASCE 48-11).

حيث إن هذه المواصفات معتمدة كليا في تصميم الأجزاء الإنشائية على أسلوب التحمل الأقصى (Ultimate Strength Methods) بواسطة (LRFD: Lode Resistance Factor Design).

أ. فلسفة التصميم

تقتضي الفلسفة في التصميم للأعمدة الفولاذية على اتخاذ مواصفات الأعمدة الخشبية (كنقطة تطبيق الحمل، الحمل الأقصى، عمق الغرس) المتفق عليها في مواصفات الشركة العامة للكهرباء داخل ليبيا، والموضحة في جدول 1 كجزء من الاعتبارات التصميمية للأعمدة الفولاذية لتوفير متطلبات الشبكة الكهربائية داخل ليبيا.

جدول 1. مواصفات الأعمدة الخشبية الخاصة بالشركة الليبية للكهرباء

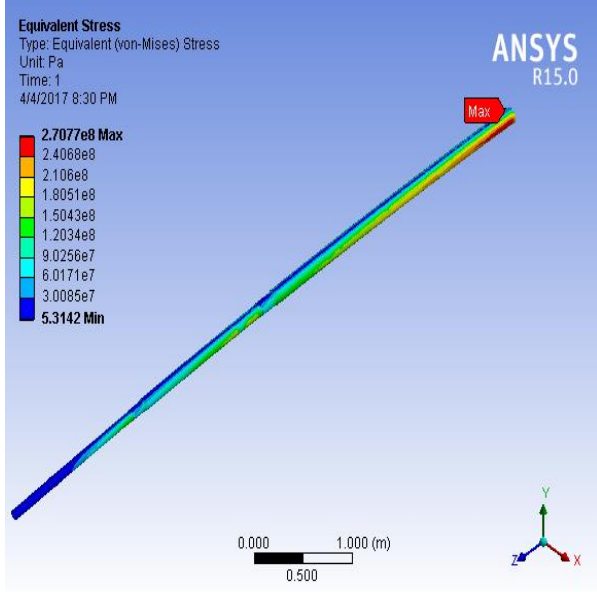
الصفحة	الطول (m)	الحمل ¹ (KN)	القطر (mm)		عمق الغرس (m)	الحمل لكل ملم الانحراف المسبب في (N/mm)
			min	max		
خفيف	9	4.46	125	150	1.5	3.6
	10	4.23	125	160	1.5	2.6
	11	4.40	125	160	1.8	2.3
متوسط	9	8.15	150	180	1.5	7.8
	10	8.13	150	185	1.5	5.9
	11	8.18	150	190	1.8	5.0

فكما موضح في الجدول 1 فإن الشركة العامة للكهرباء تقسم أطوال الأعمدة الخشبية من صف إلى آخر اعتمادا على الحمل المتوقع منها تليته؛ فتم أخذ هذا الحمل المعبر في كونه أقصى حمل للعمود الخشبي ودراسته لاستخلاص حمل التشغيل (التصميم) منه، والذي استخدم حسب الطرق المتعارف عليها في تصميم الفولاذ؛ لتنبؤ بقطر وسمك النوع المختار من الأعمدة الفولاذية، ليتم الحصول على إجهادات تكون ناتجة من تأثير هذا الحمل ومقارنتها بالإجهادات المسموحة بها في التصميم حسب المواصفات المتخذة في العملية التصميمية (ASCE 48-11)،

ب. الفولاذ المحلي المستخدم في صناعة الأنابيب

حسب المتداول محليا، فإن لفات الفولاذ المستخدمة في تصنيع الأنابيب مصنوعة وفقا للمواصفات الأوربية، وتم اختيار النوع المسمى (S275) حسب التصنيف الأوربي (DIN EN 10210-2) في عملية التصميم، ويوضح جدول 2 الخصائص اللازمة في عملية التصميم للنوع المختار من لفات الفولاذ، وفقا لهذه المواصفات. [4]

1 معامل التضخيم حسب مواصفات الشركة العامة للكهرباء بالنسبة للأعمدة الخشبية هو 2.5.



شكل 3. نتائج الإجهادات المركبة بواسطة برنامج ANSYS

تصميم العناصر (الأنابيب)

الإجهادات المسموحة لتصميم العناصر حسب المواصفة الخاصة بتصميم أعمدة نقل وتوزيع القدرة الكهربائية (ASCE 48-11) في المعادلتين رقم (EQ. 5.2-20) ورقم (EQ. 5.2-21) تكون مقيدة بنسبة الانبعاج الموضعي (Local Pickling) في الحالة التي يكون فيها الضغط الناتج عن الانحناء أو الوزن المحوري هي المسبب الحرج للإجهادات، وبناء على نقطة إجهادات الضغط بفصل تصميم العناصر أن الإجهادات المسموح بها تحدد حسب المعادلتين (3)، (4) والتي يجب أن تكون أكبر من الإجهادات الناتجة عن عملية التحليل [5].

$$F_a = F_y \quad \text{when} \quad \frac{D_o}{t} \leq \frac{3800\Phi}{F_y} \quad (3)$$

$$F_b = F_y \quad \text{when} \quad \frac{D_o}{t} \leq \frac{6000\Phi}{F_y} \quad (4)$$

تصميم الوصلات

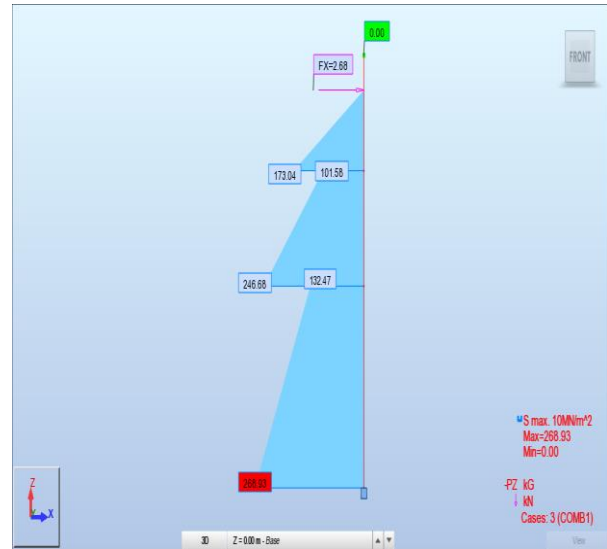
حسب المواصفات التصميمية فإن انتقال الأحمال من الأنابيب العلوي إلى الأنبوب السفلي معتمد بالدرجة الأولى على طول التراكب (Overlap) الذي يقوم بنقل هذه الأحمال الناتجة عن قوة القص وعزم الانحناء بواسطة الاحتكاك المتحصل عليه من تضاعف السطح الخارجي للأنبوب العلوي مع السطح الداخلي للأنبوب السفلي في الوصلة، شريطة ألا يقل هذا الطول عن (1.5) من القطر الخارجي للأنبوب الأصغر حسب المواصفة (ASCE 48-11)، ولعدم المحدودية لمعامل إيجاد هذا الطول تم الاستعانة ببرنامج (ANSYS) لمعرفة المعامل المناسب لعملية نقل الأحمال، وعدم تطرق المواصفات لطول تقليل القطر من الأنبوب الأكبر قطر إلى الأنبوب الأصغر قطر جعل الإجهادات المتكونة نتيجة المحاكاة في تسليط الأحمال داخل البرنامج هي المحدد للطول اللازم للتخصير؛ لتجنب حدوث شروخ بعد تسليط الأحمال، ويبين شكل 4 المعامل التقريبي لإيجاد الطول (S)، وهو 2.5 من الفرق بين نصفي القطر في الأنبوبين (L)، بالإضافة إلى باقي تفاصيل تصميم الوصلة كالحام المحيطي الذي تتمثل وظيفته في دعم وتثبيت الأنابيب، وذلك بتحملة أحمال الضغط

تم إجراء أنواع متعددة من التحليل لطول 9 متر، بما فيها التحليل الرياضي بواسطة المعادلات الموضحة في مواصفة التصميم، والمحاكاة ببرامج الحاسب الآلي (ANSYS, RSAP) وكانت النتائج كما مبين في جدول 3.

جدول 3. نتائج تحليل الإجهادات

نوع التحليل	الإجهادات المركبة N/mm ²				الانحراف mm
	الانبوب العلوي	الانبوب الأوسط	الانبوب السفلي	قمة العمود	
يدوي	173.43	247.09	269.34	414	357.65
برنامج RSAP	173.04	246.68	268.93	415.08	358.47
برنامج ANSYS	83.41	124.50	270.77	379.68	329.35

ويمكن مشاهدة نتائج البرامج المستخدمة من خلال المخططات التحليلية المتحصل عليها في شكل 2 وشكل 3.



شكل 2. نتائج الإجهادات المركبة بواسطة برنامج RSAP

$$P_s = m * g \quad (10)$$

$$A_p = \frac{P_p}{F_{SO}} \quad (11)$$

مواصفات فتحات تثبيت الموصلات

حاملات الموصلات مثل (Cross-arms) و (Racks) تثبت في العمود الفولاذي عن طريق فتحات بقياسات متبعة على أساس مواصفات (GES 10310) لشركة العامة للكهرباء التي تنص على التخريم ببعده 200 ملم من أعلى نقطة في العمود للثقب الأول والتخريم ببعده 600 ملم للثقب الثاني بقطر 22 ملم لكلا الثقبين في حالة (Cross-arms)، أما في حالة (Racks) فيتم عمل خمس ثقب بقطر 20 ملم يبدأ أولها بمسافة 150 ملم لتتبعه الثقب الأربعة الأخرى بشكل متتالي بمسافة 200 ملم.

مواصفات غطاء العمود

يجب في أي نوع من أنواع الأعمدة الانبوبية أن يتم تغطية رأس العمود بغطاء مصنوع على شكل أنبوب مفتوح من أحد النهايتين بارتفاع 30 ملم وسمك (1.6 ملم)، حيث يركب بشكل يمنع تحريكه ويكون ذلك قبل جلفنة العمود، بالإضافة إلى الاشتراط في تصنيعه بنوع مطابق لخصائص الفولاذ المستخدم في تصنيع العمود الانبوبي.

النتائج

نلاحظ في جدول 3 أن الإجهادات المركبة الخاصة بالطول 9 متر في جميع أنواع التحليل أقل من الإجهادات المسموح بها حسب اعتبارات التصميم في المواصفة التصميمية المذكورة مسبقاً، حيث كانت الإجهادات المسموح بها من خلال التعويض في المعادلتين (3)، (4)، 275 MPa ، وبالتالي يمكن القول إن القطاعات المختارة لطول 9 متر مجديه من الناحية الإنشائية، فتم بناءً على هذه النتيجة تسريع عملية حساب الإجهادات باستخدام الطريقة الأدق في التحليل (برنامج ANSYS). وتنتج عن هذا الأمر الجدوى الإنشائية لقطاعات الأطوال الأخرى المبينة في مواصفات الأعمدة الخشبية بالشركة العامة للكهرباء الموضحة في الجدول 1، وتوضح القطاعات المختارة في جميع الأطوال في الجدول 4، أما بالنسبة للإجهادات الناتجة عن تسليط الحمل فيوضحها الجدول 5، وبالنسبة لنتائج التصميم الأخرى كالوصلات و صفيحة الغرس و غطاء العمود موضحة في الجدول 6 والجدول 7.

جدول 4. جدول مقاسات القطاعات المكونة للأطوال

مقاسات القطاعات (الطول والسمك والقطر)							الصفحة	الطول m
الانبوب السفلي mm	الانبوب الأوسط mm	الانبوب العلوي mm	عقود الغرس m	الانبوب السفلي m	الانبوب الأوسط m	الانبوب العلوي m		
139.7x5	114.3x4	88.9x4	1.5	5	2	2	9	
168.3x4	139.7x3.6	114.3x3	1.5	5.2	2.4	2.4	10	
168.3x4.5	139.7x4	114.3x3	1.8	5.6	2.7	2.7	11	
177.8x5.5	139.7x4.5	114.3x3	1.5	5	2	2	9	
193.7x5.5	168.3x5	139.7x4	1.5	5.2	2.4	2.4	10	
219.1x5	168.3x5	139.7x4	1.8	5.6	2.7	2.7	11	

الناتجة عن الوزن الذاتي للأنبوب العلوي والمكونة للحمل المحوري في كل وصلة، بالإضافة إلى أي أحمال إضافية من الممكن أن تقع عليه أثناء عملية المناولة. وباعتبار النسبة الضئيلة للأحمال المتولدة عن الوزن الذاتي أو عملية المناولة مقارنة بمقاومة الشد القصوى المعتبرة في عملية تصميم اللحام عادة، فإنه سيتم وضع الحد الأعلى لسمك اللحام باتخاذ أقصى ساق له (a_{max})، الذي يكون استخراجاً باتباع اشتراطات النقطة (Sec J2.2b) في مواصفة المعهد الأمريكي (AISC: American Institute Steel Construction)، التي تنص على المعادلات (5)، (6)، (7)، (8). [7].

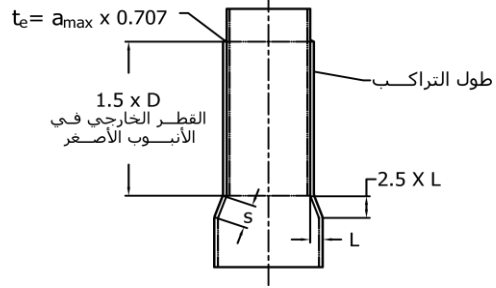
$$\text{if } t_s \leq 6mm \quad a_{max} = t_s \quad (5)$$

$$\text{if } t_s \geq 6mm \quad a_{max} = t_s - 2mm$$

$$t_w = 0.707 * a \quad (6)$$

$$L_w = 2\pi r \quad (7)$$

$$A_w = t_w * L_w \quad (8)$$



شكل 4. تفاصيل في وصلة التخسير

الجزء المغروس من العمود

يصنف العمود من ناحية الأساسات خازوق الذي يتم غرسه في التربة أو الخرسانة باتباع طريقة (Lateral Resistance Approach) المقاومة الجانبية لاعتبار إجهادات الخرسانة والتربة، وحسب المواصفة (ASCE 48-11) فإن المواصفات المطلوبة للغرس يتم تحديدها من قبل المالك، وبسبب تمحور فكرة التصميم حول اعتبار الطول الفعال للخشيب هو الأساس في عملية المكافئة، سيتم إزالة عمق الغرس للعمود الخشبي لإيجاده، واعتبار سطح الأرض مكوناً للعمود ركيزة ثابتة (Fixed)، ولكن على العموم فإن مسافة الغرس للعمود الفولاذي لن تكون بعيدة عن المسافة الموضحة بمواصفات الأعمدة الخشبية، حيث يوضح تقرير (Transmission and Distribution) أن هذه المسافة يمكن حسابها تقريباً بواسطة جمع 0.6 متر مع (10%) من طول العمود الكلي. [8]

أما بالنسبة لصفحة الغرس (الصفحة المثبتة في نهاية الجزء المغروس من العمود تحت مستوى سطح الأرض) ماهي إلا قطاع لمنع العمود من الغرق في التربة. ولكن لا بد من تثبيت هذه الصفحة بلحام محيطي شريطة أن تكون من نفس نوع الفولاذ للعمود وبسمك لا يقل عن 4 ملم وذلك حسب مواصفات الشركة العامة للكهرباء (GES 10310). علماً بأن الصفحة ستكون دائرية ولذلك سيتم حساب القطر للصفحة بقسمة

مساحة الصفحة على π ومن ثم أخذ الجذر التربيعي للقيمة المتحصل عليها من حاصل القسمة، والمساحة يتم الحصول عليها من المعادلات (9)، (10)، (11). [9].

$$P_p = P_{ST} + P_{SM} + P_{SB} + P_{SC} \quad (9)$$

الخلاصة

هدفت هذه الورقة إلى التحقق من إمكانية مكافحة الصنفين الأكثر استخداماً من أصناف الأعمدة الخشبية والتأكد من ملائمة الخامات المحلية للنوع المختار من الأعمدة الفولاذية. فأوضحت النتائج التحليلية لطول 9 متر الجدوى الإنشائية من القطاعات المختارة في هذا الطول بجميع أنواع التحليل. وبسبب القرب الملحوظ في نتائج الإجهادات، تم تحليل الإجهادات للقطاعات المختارة في باقي الأطوال للصنفين المختارين ببرنامج (ANSYS)، وكانت نتائج التحليل تبين الجدوى من الناحية الإنشائية لهذه القطاعات، مما أكد إمكانية من مكافحة هذا النوع من الأعمدة الفولاذية في الصنفين الأكثر استخداماً (الخفيف والمتوسط) بين أصناف الأعمدة الخشبية، بالإضافة إلى ملائمة الإجهادات المسموح بها في المادة الخام المحلية المختارة في تصميم وتصنيع هذا النوع.

المراجع

- [1] I. E. P. CORORATION, "COMMENTARIES ON TUBULAR STEEL POLE," 2009.
- [2] SPECIFICATION FOR TUBULAR STEEL POLES FOR OVERHEAD POWER LINES, 1980 (Reaffirmed 2008).
- [3] Metal Forming Virtual Simulation Lab. Available: <http://msvs-dei.vlabs.ac.in/Swaging.php>
- [4] Hot finished structural hollow sections of non-alloy and fine grain steels-, 2006.
- [5] Design of Steel Transmission Pole Structures (Design of Steel Transmission Pole Structures). United States of America: American Society of Civil Engineers, 2011.
- [6] R. C. Hibbeler and T. Kiang, Structural analysis. Prentice Hall, 2015.
- [7] C. G. Salmon, J. E. Johnson, and F. A. Malhas, Steel Structures: Design and Behavior: Emphasizing Load and Resistance Factor Design, 5th ed. Pearson/Prentice Hall, 2009.
- [8] "steel transmission and distribution poles," U. M. Corporation, Ed., ed. USA: Union Metal Corporation, 2016.
- [9] International Building Code, 2012.

جدول 5. نتائج تحليل الاجهادات بواسطة برنامج ANSYS

الانحراف mm	الإجهادات المركبة N/mm^2			الطول m	الصنف
	قيمة العمود	الانبوب السفلي	الانبوب الأوسط		
نقطة تسليط الحمل mm	mm	N/mm	N/mm	N/mm	
329.35	379.63	270.77	124.50	83.41	9
339.60	386.33	268.29	129.37	114.50	10
452.37	401.88	240.35	172.19	117.47	11
269.48	312.47	268.14	149.43	103.03	9
299.56	338.23	265.90	156.63	84.23	10
321.09	362.05	238.21	207.92	149.49	11

جدول 6. نتائج تصميم الوصلات

الوصلة السفلية			الوصلة العليا			الطول m	الصنف
مساحة اللحام mm^2	ساق اللحام mm	طول التراكب mm	مساحة اللحام mm^2	ساق اللحام mm	طول التراكب mm		
1016.20	4	228.6	790.39	4	177.8	9	
1119.14	3.6	350	761.25	3	228.6	10	
1242.03	4	350	761.25	3	228.6	11	
1395.64	4.5	350	1242.03	4	228.6	9	
1871.70	5	420	1242.03	3	350	10	
1871.70	5	420	1242.03	3	350	11	

جدول 7 نتائج تصميم صفيحة الغرس وغطاء العمود

غطاء العمود mm	مقاس صفيحة الغرس mm	الطول m	الصنف
80.9x30x1.6	148x4	9	خفيف
108.3x30x1.6	170x4	10	
108.3x30x1.6	172x4	11	
108.3x30x1.6	180x4	9	متوسط
131.7x30x1.6	200x4	10	
131.7x30x1.6	255x4	11	