

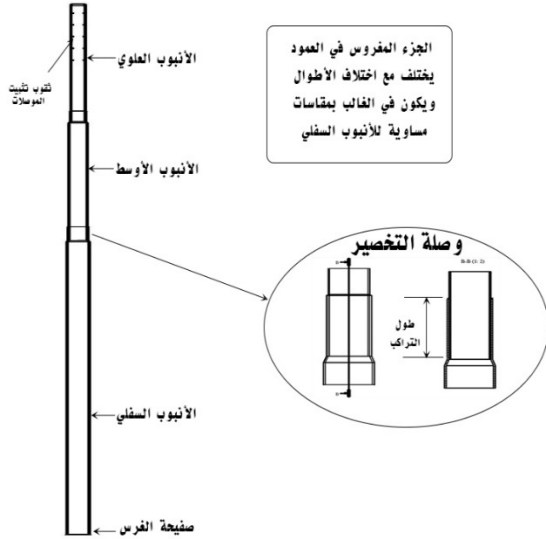
مكافئة أعمدة توزيع القدرة الكهربائية الخشبية بالأعمدة الفولاذية

م. محمد حسن القلته
شركة القلته للصناعات الهندسية، قسم المشغولات
مصراته، ليبيا
m.algalta@eng.misuratau.edu.ly

أ. أحمد حسين القلته
شركة القلته 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

بالأنابيب غير الملحومة (Seamless Pipe) يمكن استخدامها كذلك في إنشاء العمود. [2]
إذ سيتم في تصميم هذا العمود استخدام الأنابيب المصنوعة بطريقة المقاومة الكهربائية (ERW PIPE)، وذلك تماشياً مع الأكثر شيوعاً في الموارد المحلية، حيث تربط هذه الأنابيب مع بعضها عن طريق وصلة تداخلية بانحدار مدروس في الأنبوب الأكبر قطر مع اعتبار السماحية في عملية التداخل، وتعرف الوصلة المتكونة من هذه العملية بوصلة التخصير (swaging joint)، حيث تمكن هذه الوصلة من إدخال الأنبوب الأصغر قطراً في الأنبوب الأكبر قطراً؛ ليتم الحصول على وصلة تراكيبية يتم التأكيد عليها محيطياً باللحام الزاوي معطية شكل العمود الواحد المبين في شكل 1.



شكل 1 بيانات العمود المختصر

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].
كما يجب الإشارة إلى أن تصنيع العمود المختصر يتم بأخذ اعتبارات تشمل الأنابيب والوصلة المكونة لهذا العمود تتمثل في عدم زيادة السماحية لزيادة في طول الأنابيب عن (40 ملم) من الطول المحدد، ألا تزيد السماحية لزيادة في الطول الكلي للعمود عن (25 ملم) من الطول المحدد، أن يُتبع طول التراكب لإعطاء وصلة تراكيبية مربوطة باللحام الزاوي

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 الموضحة في مواصفات الشركة النيبية للكهرباء. حيث أن الهدف من هذه الورقة هو التحقق إمكانية مكافئة الصنفين الأكثر استخداماً في الأصناف الثلاث للأعمدة الخشبية بمواصفات الشركة العامة للكهرباء، التأكيد على ملائمة الخامات المحلية لنوع 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 استخداماً 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 (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 المشتراط 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 الأنبوبية، الأعمدة المختصرة، المكافئة.

1. 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 المطلوب 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 مزلعة 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.

2. 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 [1] (Tapered type).
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 المغمور (SAW Submerged arc welding)، وهناك نوع آخر من الأنابيب يعرف

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 (Failure Load)

هو الحمل النظري المضروب في معامل تضخيم، بعد دراسة لأسوء الأحوال كإنتقال 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، ونصفه الشركة العامة للكهرباء بالحمل الأقصى أو حمل الفشل حسب مواصفاتها ذات الرقم (GES10310)، ولن يتم استعماله في التصميم.

• حمل التصميم (Design load)

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 تبعاً للمواصفات المبنية عليها مواصفات الشركة العامة للكهرباء في تقدير أحمال تصميم العمود الإنشوي، وكذلك وفقاً 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 حسابياً 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 حسابياً بطريقة العارضة المرافقة أو عن طريق التكامل، وهاتين الطريقتين معتمدين في إيجادهما للانحراف على المعادلة (2). [6]

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

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.

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.

3. متغيرات التصميم

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

حيث إن هذه المواصفات معتمدة كلياً 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

الصف	الطول (m)	الحمل ¹ (KN)	القطر (mm)		عمق الغرس (m)	الحمل لكل ملم المسبب في الانحراف (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 صنف إلى آخر اعتماداً 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 وسبك 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 محلياً، فإن لفات الفولاذ المستخدمة في تصنيع الأنابيب مصنوعة وفقاً 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، وفقاً لهذه المواصفات. [4]

جدول 2 الخواص الميكانيكية للفولاذ المتوفر محلياً

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

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

جدول 3 نتائج تحليل الإجهادات

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

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

4. 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].

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

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

5. تصميم الوصلات

حسب المواصفات التصميمية فإن انتقال الأحمال من الانبوب العلوي إلى الانبوب 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 محدودية لمعامل إيجاد هذا الطول تم الاستعانة ببرنامج (ANSYS) لمعرفة المعامل المناسب لعملية نقل الأحمال، وعدم تطرق المواصفات لطول تقليل القطر من الانبوب الأكبر قطر إلى الانبوب الأصغر قطر جعل الإجهادات المتكونة نتيجة المحاكاة في تسليط الأحمال داخل البرنامج هي المحدد للطول اللازم للتخصير؛ لتجنب حدوث شروخ بعد تسليط الأحمال، وبين شكل 4 المعامل التقريبي لإيجاد الطول (S)، وهو 2.5 من الفرق بين نصفي القطر في الانبوبين (L)، بالإضافة إلى باقي تفاصيل تصميم الوصلة كالحام المحيطي الذي تتمثل وظيفته في دعم وتثبيت الأنابيب، وذلك بتحملة أحمال الضغط 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 لسماك اللحام باتخاذ أقصى ساق له (a_{max})، الذي يكون استخراجها بإتباع اشتراطات النقطة (Sec J2.2b) في مواصفة المعهد الأمريكي (AISC: American Institute Steel Construction)، التي

تنص على المعادلات (5)، (6)، (7)، (8) [7].

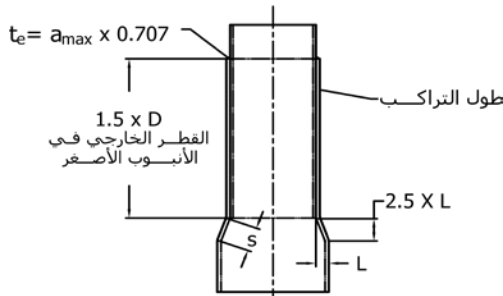
$$\text{if } t_s \leq 6\text{mm} \quad a_{\max} = t_s \quad (5)$$

$$\text{if } t_s \geq 6\text{mm} \quad a_{\max} = t_s - 2\text{mm} \quad (5)$$

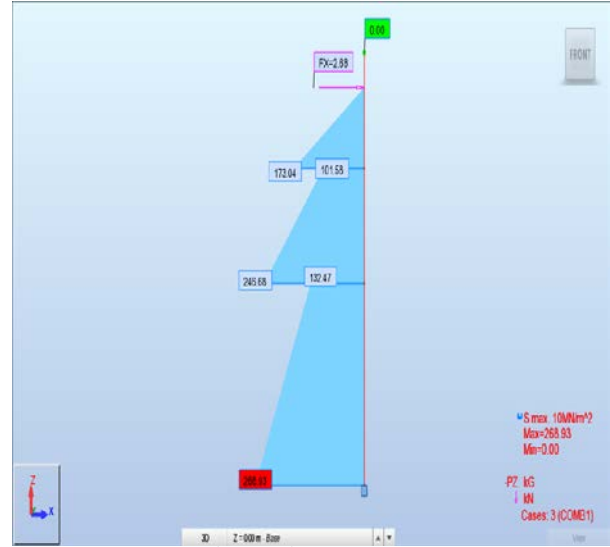
$$t_w = 0.707 * a \quad (6)$$

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

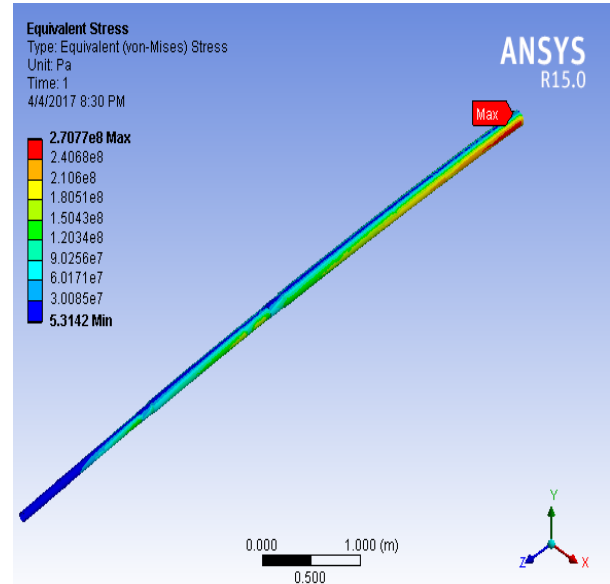
$$A_w = t_w * L_w \quad (8)$$



شكل 4 تفاصيل في وصلة التخصير



شكل 2 نتائج الإجهادات المركبة بواسطة برنامج RSAP



شكل 3 نتائج الإجهادات المركبة بواسطة برنامج ANSYS

6. الجزء المغروس من العمود

الأعمدة الخشبية بالشركة العامة للكهرباء موضحة 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

الصف	الطول m	مقاسات القطاعات (الطول والسمك والقطر)			
		الأنبوب العلوي mm	الأنبوب الأوسط mm	الأنبوب السفلي mm	الأنبوب السفلي mm
خفيف	9	2	2	5	1.5
	10	2.4	2.4	5.2	1.5
	11	2.7	2.7	5.6	1.8
متوسط	9	2	2	5	1.5
	10	2.4	2.4	5.2	1.5
	10	2.4	2.4	5.2	1.5
	11	2.7	2.7	5.6	1.8

جدول 5 نتائج تحليل الاجهادات بواسطة برنامج ANSYS

الصف	الطول m	الاجهادات المركبة N/mm ²			
		الأنبوب العلوي N/mm	الأنبوب الأوسط N/mm	الأنبوب السفلي N/mm	الانحراف mm
خفيف	9	83.41	124.50	270.77	329.35
	10	114.50	129.37	268.29	339.60
	11	117.47	172.19	240.35	452.37
متوسط	9	103.03	149.43	268.14	269.48
	10	84.23	156.63	265.90	299.56
	10	84.23	156.63	265.90	299.56
	11	149.49	207.92	238.21	321.09

جدول 6 نتائج تصميم الوصلات

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

جدول 7 نتائج تصميم صفيحة الغرس و غطاء العمود

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

10. الخلاصة

هدفت الورقة إلى التحقق من إمكانية مكافئة الصنفين الأكثر استخدام في أصناف الأعمدة الخشبية والتأكد من ملائمة الخامات المحلية لنوع المختار من الأعمدة الفولاذية. فأوضحت النتائج التحليلية لطول 9 متر الجدوى الإنشائية من القطاعات المختارة في هذا الطول لجميع أنواع التحليل. وبسبب القرب الملحوظ في نتائج الإجهادات، تم تحليل الإجهادات

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 للخشب هو الأساس في عملية المكافئة، سيتم إزالة عمق الغرس للعمود الخشبي لإيجاده، واعتبار سطح الأرض مكوّنًا 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 تقريبياً 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]

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

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

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

7. مواصفات فتحات تثبيت الموصلات

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

8. 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 الانبوبية.

9. 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 مجدية من الناحية الإنشائية، فتم بناءً على هذه النتيجة تسريع عملية حساب الإجهادات باستخدام الطريقة الأدي في التحليل (برنامج ANSYS). ونتج عن هذا الأمر الجدوى الإنشائية لقطاعات الأطوال الأخرى المبينة في مواصفات

g : عجلة الجاذبية الأرضية تساوي 9.81 m/s^2 .
 F_{SP} : أقل إجهاد لتربة في حالة الأحمال الرأسية.²

الجدول ب قائمة الاختصارات

American Institute Steel Construction	AISC
American Society Civil Engineering	ASCE 48-11
European Standard 10210-2	DIN EN 10210-2
Lode Resistance Factor Design	LRFD
GECOL (General Electricity Company of Libya) Specification	GES
Autodesk Robot Structural Analysis Professional	RSAP
International Building code	IBC
Submerged arc welding	SAW
Electrical Resistance Weld	ERW

للقطاعات المختارة في باقي الأطوال لصنفيين المختارين ببرنامج (ANSYS)، وكانت نتائج التحليل كذلك تبين الجدوى من الناحية الإنشائية لهذه القطاعات، مما أكد الإمكانية من مكافئة هذا النوع من الأعمدة الفولاذية في الصنفيين الأكثر استخداما (الخفيف والمتوسط) بين أصناف الأعمدة الخشبية، بالإضافة إلى ملائمة الإجهادات المسموح بها في المادة الخام المحلية المختارة في تصميم وتصنيع هذا النوع.

11. المراجع

- [1] I. E. P. COROORATION, "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.

12. الملاحق

الجدول أ قائمة الرموز

: الانحراف.

V : حمل التصميم.

a : حجم اللحام.

t_w : سمك اللحام.

π : تساوي 3.14.

r : نصف القطر .

m : كتلة القطاع .

t : سمك الأنبوب .

M : عزم الإنحناء .

A_p : مساحة الصفيحة .

I : عزم القصور الذاتي .

A : المساحة لكل قطاع .

P : حمل الضغط المحوري .

L_w : طول اللحام الفعال .

A_w : المساحة الفعالة للحام .

I : عزم القصور الذاتي .

F_a : إجهاد الضغط المسموح به .

F_b : إجهاد الإنحناء المسموح به .

Φ : تساوي 6,9 في حالة MPa .

D_o : القطر الخارجي للأنبوب .

P_p : إجمالي الحمل المحوري .

Q : عزم المقطع حول محور التعادل .

t_s : السمك الأصغر للقطاعات المتصلة .

b : تساوي 2 مضروبة في سمك الجدار .

P_s : الحمل المحوري الناتج عن كل قطاع .

J : عزم القصور الذاتي المستوي في القطبي .

c : المسافة من محور التعادل إلى أبعد نقطة يمكن الوصول

F_y : إجهاد الخضوع للمادة ويساوي 275 MPa .

E : معامل المرونة للفولاذ المستخدم 200 GPa .

² إن أقل قيمة لهذا الإجهاد تكون في العادة 1500 Psf حسب جدول 1806.2 في كود IBC 2012 علما بأن: $1 \text{ Psf} = 0.0479 \text{ KPa}$ ، وأخذت من عمود (إجهادات التربة المسموح بها في حالة الأحمال الرأسية (vertical))