

تقنية التوزيع الكهربائي

حسابات الإنارة الكهربائية

حسابات الإنارة الكهربائية

(7-1) مقدمة

إن الإضاءة الطبيعية التي منحنا الله إياها عن طريق الشمس هي من نعم الله سبحانه وتعالى ولكن مع التقدم العلمي الهائل احتاج الإنسان إلى الإضاءة الصناعية وذلك لحاجته للإضاءة ليلاً ونهاراً في بعض الأحيان. ولأهمية الإضاءة في حياتنا يستعرض هذا الفصل بعض الأشياء الهامة عن الإضاءة.

وهذا الفصل يستعرض في البداية الوحدات والتعريفات المستخدمة في الإضاءة، وكذلك أنواع المصابيح واستخداماتها والجزء التالي يستعرض الإضاءة الخارجية أما الجزء الأخير فيستعرض الإضاءة الداخلية والإضاءة الخارجية. في الإضاءة الداخلية يجب أن يكون هناك تعاون وتنسيق بين مهندس الإضاءة والمهندس المعماري. أما الإضاءة الخارجية فتشتمل على إضاءة الملاعب وإضاءة الطرق، وتجيء إضاءة الطرق لأسباب أمنية وتيسير العمل ليلاً.

(7-2) كميات ووحدات الإضاءة

(7-2-1) الفيض الضوئي Luminous flux

ويرمز له بالرمز (Φ) أو بالرمز (F) ويعبر عن حساسية العين للقدرة الضوئية الناتجة من الإشعاع ويعرف بأنه الكمية الكلية للضوء المنبعث في الثانية، من مصدر ضوئي، أو الطاقة الصادرة من مصدر ضوئي في الثانية. يقاس الفيض الضوئي بوحدة تسمى الليومن (Lumen) ويرمز لها بالرمز (Lm) وأما العلاقة بين الليومن ووحدة القدرة الكهربائية الوات (watt) فهي كالآتي:

$$1 \text{ Lumen} = 0.0016 \text{ watt} \quad (7-1)$$

$$\text{or } 1 \text{ watt} = 681 \text{ Lumen} \quad (7-2)$$

(7-2-2) الزاوية المجسمة أو الزاوية الفراغية Solid angle

ويرمز لها بالرمز (ω) ويوضح الشكل (7.1) تمثيلاً للزاوية الفراغية ω والتي تعرف تبعاً للمعادلة الآتية:

$$\omega = \frac{A}{r^2} \text{ steradian} \quad (7-3)$$

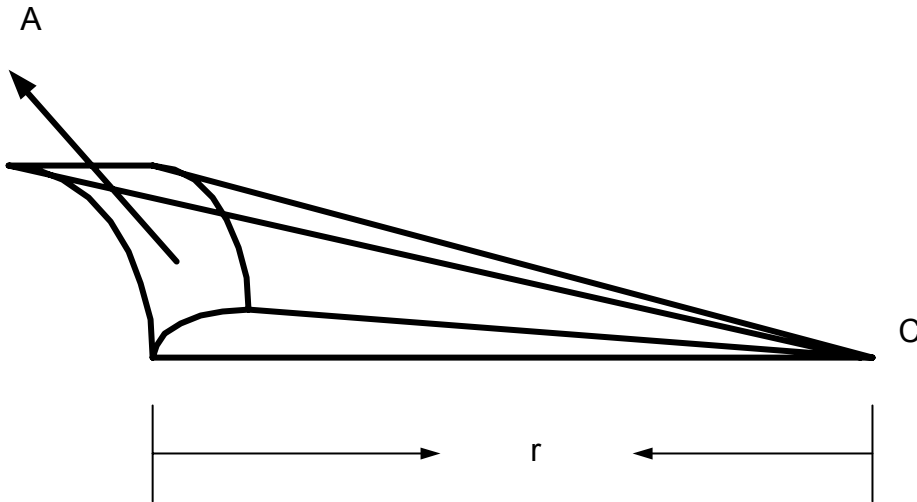
حيث إن: A = مساحة جزء من سطح كرة

r = نصف قطر كرة

C = مركز الكرة

وتكون وحدة الزاوية الفراغية (steradian) أي زاوية نصف قطرية مجسمة، ويرمز لها بالرمز (sr)، وتعرف (steradian) بأنها الزاوية عند المركز المقابلة لجزء من سطح كرة (هذا الجزء له مساحة تساوي مربع نصف القطر أي أن $\omega = 1$ عندما $A = r^2$) وفي الهندسة الضوئية تكون ω هي الزاوية الفراغية المقابلة لمساحة السطح المضاء A .

وتعتبر أقصى قيمة للزاوية الفراغية ω هي 4π (st) ويمكن الحصول عليها عندما تتحقق المعادلة $A = 4\pi r^2$ (وهي المساحة الكلية لسطح الكرة)



الشكل (7.1) تمثيل للزاوية الفراغية ω

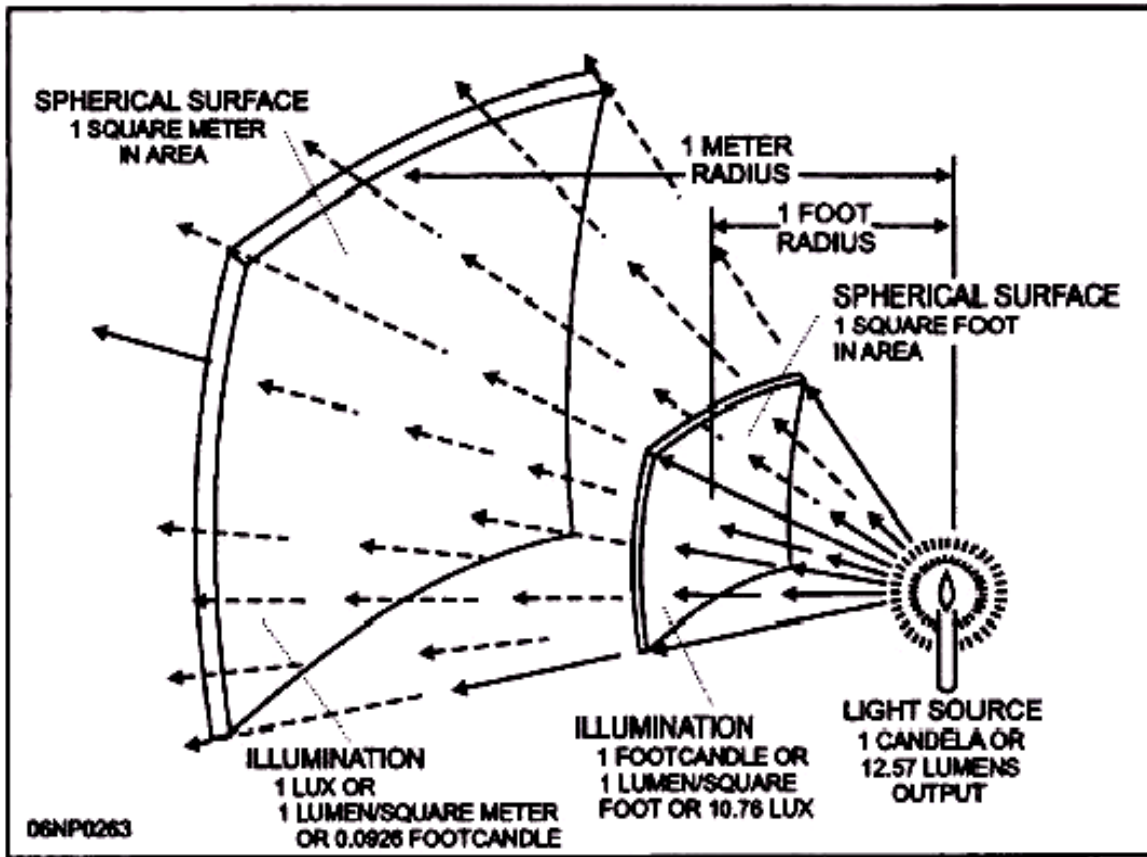
(7-2-3) الكنديلا (Candela)

ويرمز لها بالرمز (cd) أو قدرة الشمعة (candela power) ومن الشائع أن يطلق عليها الشمعة فقط

ويرمز لها بالرمز (cp) والكنديلا هي وحدة شدة الإضاءة (Luminous intensity)

(7-2-4) الليومن (Lumen)

ويرمز له بالرمز (Lm) وهو وحدة الفيض الضوئي. إذا وضع ضوء له شدة استضاءة تساوي واحد كنديلاً (كنديلاً واحداً) في جميع الاتجاهات، عند كرة نصف قطرها يساوي متراً واحداً، والزاوية الفراغية تساوي واحد (steradian)، فعنده ينتج فيض ضوئي يساوي واحد (ليومن واحداً). ويوضح الشكل (7.2) كل من الليومن والشمعة.



الشكل (7.2) يبين العلاقة بين الليومن والشمعة

(7-2-5) كمية الضوء (Quantity of light)

ويرمز لها بالرمز Q وهي كمية الضوء الخارجية خلال ساعة نتيجة فيض يساوي (ليومن واحداً) في مصباح معين ، ويعبر عنها كما يلي :

$$Q = \Phi \cdot t \quad \text{Lm.hr} \quad (7-4)$$

ووحدة كمية الضوء هي ليومن - ساعة (Lm-hr) وهي تقابل أو تشبه وحدة الطاقة الكهربائية (وات - ساعة)

(7-2-6) شدة الإضاءة (Luminous intensity)

ويرمز لها بالرمز (I) وهي قدرة المصدر الضوئي على انبعاث الفيض الضوئي (Φ) في اتجاه محدد وتمثل بالمعادلة التالية :

$$I = \frac{\Phi}{\omega} \quad \text{Lm/sr (candela)} \quad (5-5)$$

وتختلف شدة الإضاءة باختلاف الاتجاه حيث يكون متوسط شدة الإضاءة أو متوسط الكنديلا للمصدر هي القيمة المتوسطة لقيم الكنديلا في جميع الاتجاهات وتعرف أيضاً بأنها كمتوسط قدرة شمعة كروية (mean spherical candela - power) ويرمز لها بالرمز MSCP .

(7-2-7) الاستضاءة (Illumination)

ويرمز لها بالرمز (E) وتعرف بأنها كمية الفيض الضوئي (ليومن) الساقطة عمودياً على وحدة المساحة من هذا السطح وتمثل بالمعادلة التالية :

$$E = \frac{\Phi}{A} \quad \text{Lux} \quad (7-6)$$

وتكون وحدة الاستضاءة هي لأكس ($\text{Lux} = \text{lm/m}^2$)

(7-2-8) النصوص (Luminance)

ويرمز له بالرمز (L) ويعرف النصوع بأنه النسبة بين شدة الإضاءة والمساحة الظاهرية لمصدر الضوء ويتم التعبير عن النصوع بالمعادلة التالية :

$$L = \frac{I}{S} \quad \text{cd/m}^2 \quad (7-7)$$

حيث إن: S = المساحة الظاهرية بوحدة m^2

(7-3) قانون التربيع العكسي

ويمكن كتابة معادلة الاستضاءة (7-6) بصورة أخرى يطلق عليها معادلة قانون التربيع العكسي للضوء والتي تستنتج كالاتي :

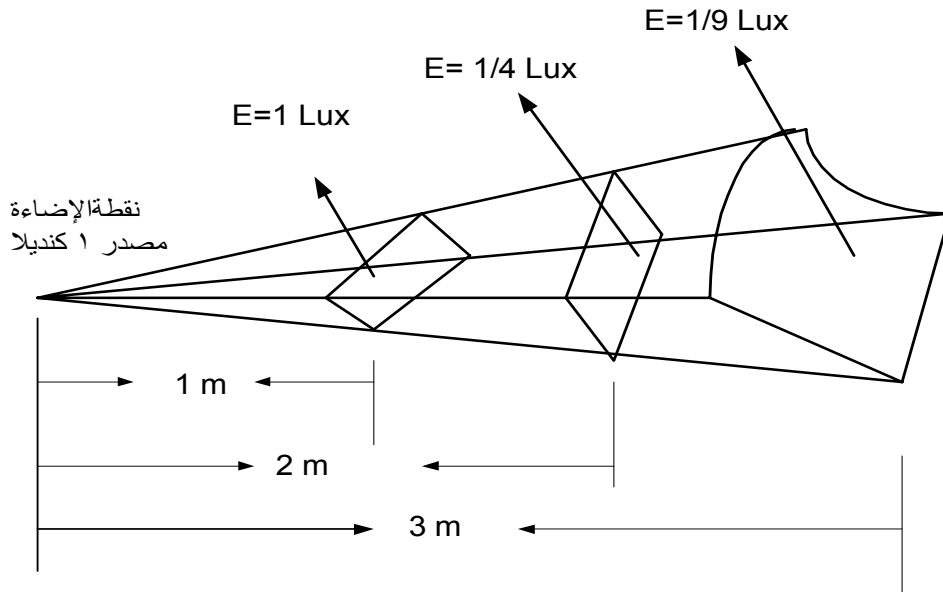
$$I = \frac{\Phi}{\omega} \quad \text{cd} \quad (7-8)$$

$$A = \omega r^2 \quad \text{m}^2 \quad (7-9)$$

$$E = \frac{\Phi}{A} = \frac{I\omega}{\omega r^2} = \frac{I}{r^2} \quad \text{Lux} \quad (7-10)$$

$$E = \frac{I}{r^2} \quad \text{Lux} \quad (7-11)$$

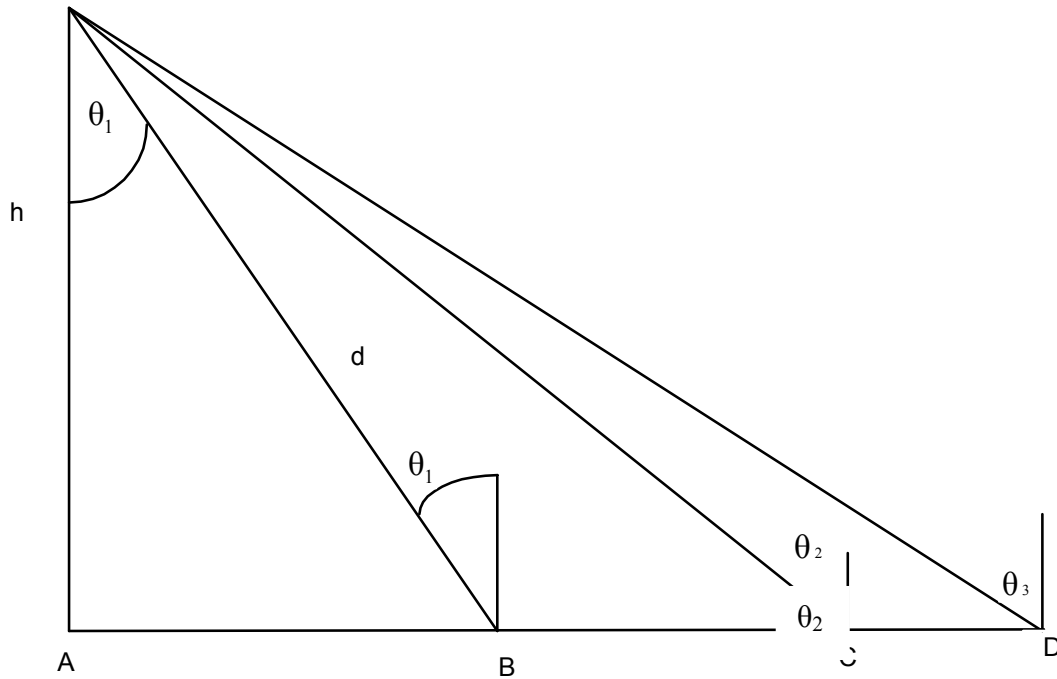
ويوضح الشكل (7.3) تمثيل قانون التربيع العكسي، ويتضح مما سبق أن الاستضاءة على سطح عمودي على اتجاه الضوء تتناسب ومربع المسافة بين المنبع والسطح، ويلاحظ أن قانون التربيع العكسي قد استنتج على أساس أن منبع الضوء مركز عند نقطة، ولكن من الناحية العملية نجد أن الضوء يسقط بزوايا ميل مختلفة على الأسطح المراد إضاءتها، وعندما تكون الاستضاءة أفقية كما في الشكل (7.4) فتكون المعادلة (7-10) كما يأتي



(7.3) تمثيل القانون التربيع العكسي

$$E_B = \frac{I \cos \theta_1}{d^2} \quad (5-12)$$

$$E_B = \frac{I \cos^3 \theta_1}{h^2} \quad (5-13)$$



الشكل (7.4) يبين الاستضاءة الأفقية لمنبع نقطي

حيث إن:

$$E_p = \text{الاستضاءة عند نقطة } P$$

(7-3-1) تطبيقات على قانون التربيع العكسي

مثال (١)

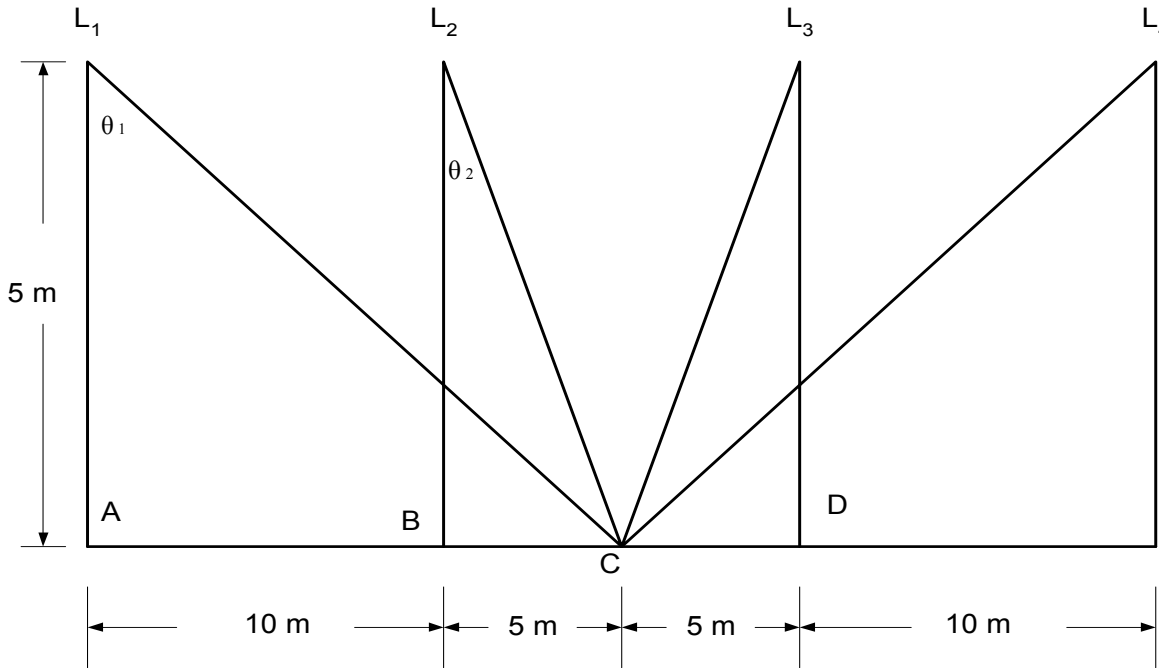
يراد إضاءة ممر بأربعة مصابيح يبعد كل واحد عن الآخر 10 m وعلى ارتفاع 5 m من سطح الأرض وأن شدة الإضاءة للمصباح 200 cd في جميع الاتجاهات. أوجد الاستضاءة عند منتصف المسافة بين المصباحين الثاني والثالث.

الحل

لحل هذه المسألة نوجد الاستضاءة للمصباح الأول وكذلك الثاني ويوجد تماثل فنوجد الاستضاءة الكلية بضرب مجموع الإضاءة للمصباحين في 2.

$$E_{L1} = \frac{I \cos \theta_1}{(L_1 C)^2}$$

الاستضاءة نتيجة المصباح الأول



الشكل (7.5)

$$L_1C = \sqrt{5^2 + 15^2} = 15.8 \text{ m}$$

$$\cos \theta_1 = 5/15.8$$

$$E_{L1} = \frac{200 \times 5/15.8}{15.8^2} = 0.253 \text{ Lux}$$

$$E_{L2} = \frac{I \cos \theta_2}{(L_2C)^2}$$

الاستضاءة نتيجة المصباح الثاني

$$L_2C = \sqrt{5^2 + 5^2} = 5\sqrt{2} \text{ m}$$

$$\cos \theta_2 = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$E_{L2} = \frac{200 \times 1/\sqrt{2}}{(5\sqrt{2})^2} = 2.83 \text{ Lux}$$

$$= E_{L1} + E_{L2} = 0.253 + 2.83 = 3.08 \text{ Lux}$$

$$= 2 \times 3.08 = 6.16 \text{ Lux}$$

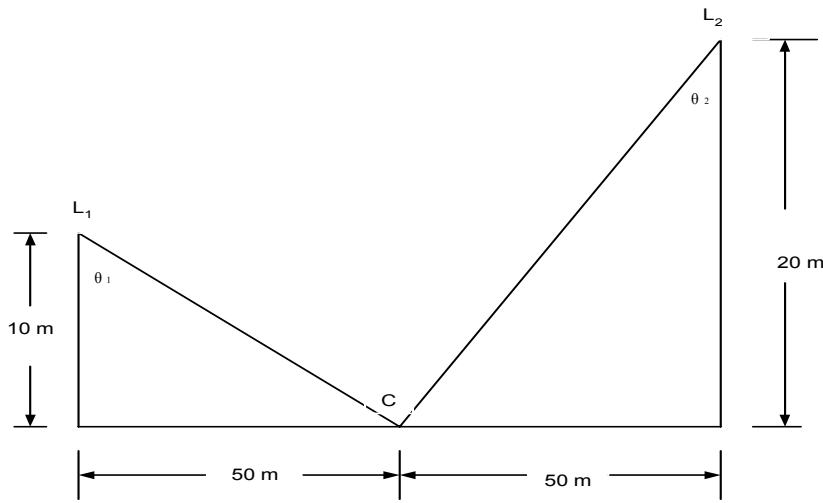
مجموع الاستضاءة للمصباحين

الاستضاءة الكلية

مثال (2)

مصباحان يبعدان عن بعضهما 100 m وشدة الإضاءة 200 cd للمصباح A و 400 cd للمصباح B ويرتفع المصباح A عن الأرض 10 m والمصباح B يرتفع 20 m. ووضع جهاز فوتوميتر لقياس الاستضاءة بين نقطة المنتصف من سطح الأرض أوجد قراءة الجهاز.

الحل



الشكل (7.6)

$$(L_1 C) = \sqrt{10^2 + 50^2} = 51 \text{ m}$$

$$\cos \theta_1 = 10/51$$

$$E_{L1} = \frac{200 \times 10/51}{51^2} = 0.0151 \text{ Lux}$$

$$(L_2 C) = \sqrt{20^2 + 50^2} = 53.9 \text{ m}$$

$$\cos \theta_2 = 20/53.9$$

$$E_{L2} = \frac{400 \times 20/53.9}{53.9^2} = 0.051 \text{ Lux}$$

$$= E_{L1} + E_{L2} = 0.0151 + 0.051 = 0.066 \text{ Lux}$$

قراءة جهاز فوتوميتر

(7-4) مصابيح الإضاءة

تعتبر المصابيح الكهربائية هي مصدر الإضاءة الكهربائية حيث تقوم بتحويل القدرة الكهربائية إلى قدرة ضوئية ويوجد أنواع كثيرة من المصابيح الكهربائية تختلف في تركيبها وطرق تشغيلها. وفيما يلي تصنيف المصابيح الكهربائية.

١- مصابيح الفتيلة (Filament lamps) وتتضمن ما يلي :

أ- المصابيح المتوهجة Incandescent lamps

ب- مصابيح التنجستن الهالوجينية Tungsten halogen lamps

ج - المصابيح العاكسة Reflection lamps

٢- مصابيح التفريغ الغازي (Gas-discharge lamps) وتتضمن ما يلي

أ- مصابيح الفلورسنت Fluorescent lamps

ب- مصابيح الصوديوم ذات الضغط المنخفض

Low pressure sodium lamps (SOX)

ج- مصابيح الصوديوم ذات الضغط العالي

High pressure sodium lamps (HPS)

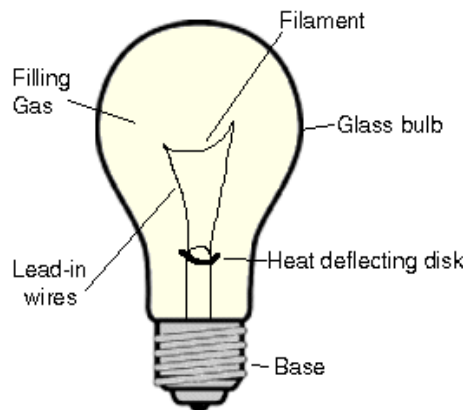
د - مصابيح الزئبق ذات الضغط العالي

High pressure mercury lamps (HPM)

هـ - مصابيح الهاليد المعدني Metal halide lamps

(7-4-1) المصابيح المتوهجة (Incandescent lamps)

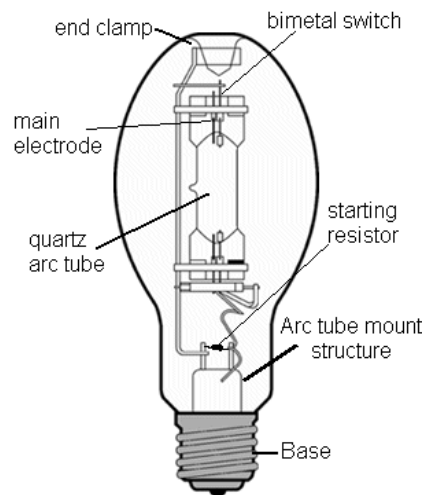
تنتج مصابيح الفتيلة المتوهجة ضوءاً عند تسخين الفتيلة ، ويتوهج عند مرور تيار كهربائي به. وتعمل الفتيلة المتوهجة في وسط مفرغ من الهواء أو وسط يحتوي على غاز خامل ويوضح الشكل (7.7) مكونات المصباح المتوهج. الكفاءة الضوئية للمصابيح المتوهجة المستخدمة في إضاءة الطرق حوالي 21 lm/w المصابيح المتوهجة المستخدمة لإضاءة الطرق تتصل مع بعضها البعض على التوالي وعلى التوازي . توجد أنواع مختلفة من الكشافات تستخدم مع المصابيح المتوهجة.



شكل (7.7) مكونات المصباح المتوهج

(7-4-2) مصابيح الزئبق (Mercury lamps)

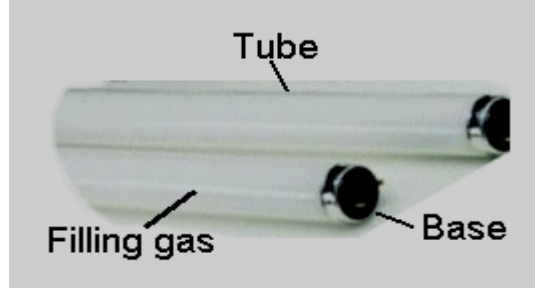
توجد أنواع متعددة من مصابيح بخار الزئبق ، والتي تتكون من بوصيلتين (bulb) ، إحداها بوصيلة داخلية (أو أنبوبة قوس) والتي يحدث بها القوس الكهربائي والأخرى الخارجية تحفظ أنبوبة القوس من تغيرات درجات الحرارة وفي بعض الأحيان تعمل كمرشح لإبعاد بعض أطوال الموجات من إشعاعات القوس . كذلك بعض البوصيلات الخارجية تحتوي على طبقة من الفسفور وتعرف هذه المصابيح بمصابيح الزئبق الفلورسنتية (Fluorescent-mercury lamps) ويوضح الشكل (7.8) مصباحاً زئبقياً.



شكل (7.8) مكونات المصباح الزئبقي

(7-4-3) مصابيح الفلورسنت (Fluorescent lamps)

يتكون المصباح من أنبوبة مملوءة بغاز الأرجون عند ضغط منخفض ونقط من الزئبق ، وقطبين عبارة عن فتيلة سلك مكسوة بالنتجستن كما في شكل (7.9) ويجهز مع المصباح ملف خائق (ballast) كما في شكل (7.10). ويبين شكل (7.11) طرق توصيل المصابيح الفلورسنت



الشكل (7.9) مكونات مصباح الفلورسنت



الشكل (7.10) الملف الخائق لمصباح الفلورسنت

(7-5) إضاءة الطرق (Road lighting)

مميزات إضاءة الطرق ليلاً هي الارتقاء بعوامل الأمان وتناسب عمل رجال الأمن والأعمال الليلية لتوفير الرؤية الكافية، وأيضاً للارتقاء بالتقدم المدني والحضاري. وقد أوضحت الإحصاءات أن الطرق المضاءة إضاءة مناسبة تقلل منها حوادث المرور والجريمة وتنشط الأعمال التجارية بالمناطق التجارية. توجد عدة عوامل تشارك في تحديد مستوى الإضاءة المطلوبة للطرق. ومن أهم هذه العوامل، اعتبارات الأمان بالطرق، وحجم حركة مرور السيارات والمارة، فكلما زاد حجم المرور زادت نسبة التعرض للحوادث وتصبح الرؤية غير جيدة عند ارتباك حركة المرور والمارة، لذا يجب الإدراك والاهتمام بالمخاطر الناتجة عن حوادث المرور.

(7-5-1) طرق توصيل مصابيح إضاءة الطرق

يوجد نظامان لتوصيل مصابيح إضاءة الطرق هما :

١- نظام التوالي (Series system)

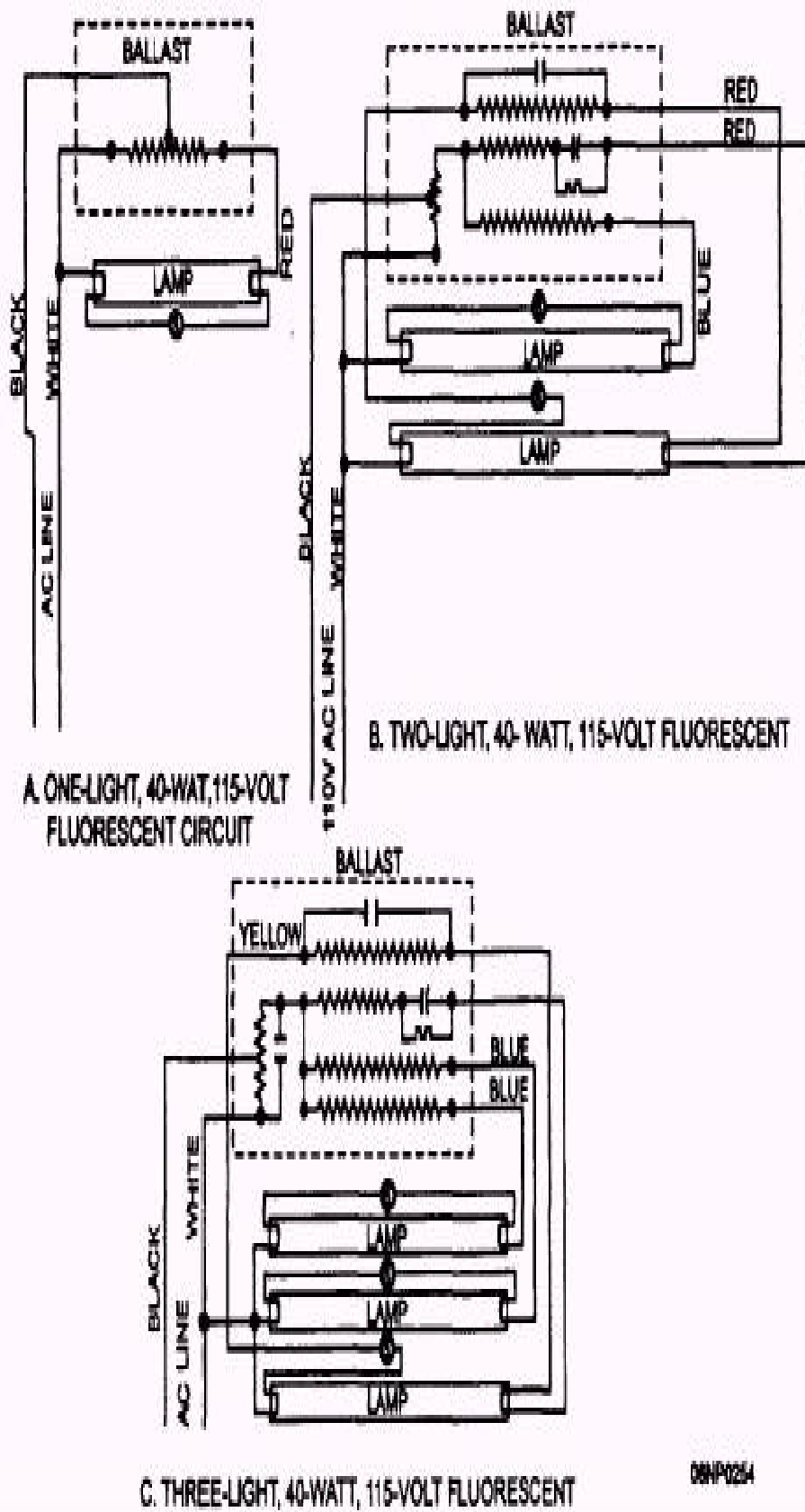
إن جميع المصابيح في نظام إضاءة الطرق توصل على التوالي في دائرة الإضاءة، ويتم تغذية هذه الدائرة بالتيار من محول ثابتاً التيار (constant-current transformer) ويكون خرج المحول ثابت مع تغير الحمل كما في الشكل (7.13) يحتاج هذا النظام إلى دائرتين لتغذيته :

- أ- دائرة تغذية محول التيار الثابت والتي تعرف بدائرة الجهد العالي وتغذى عادة من مصدر أحادي الوجه يكون موجوداً في نفس المنطقة المراد إضاءتها
- ب- دائرة التحكم وتعرف بدائرة الجهد المنخفض

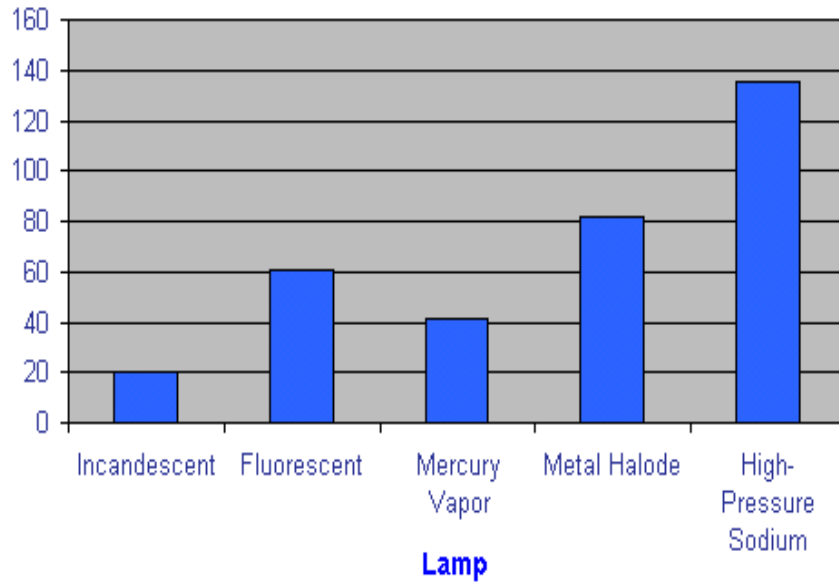
يصمم محول التيار الثابت عند قيمة جهد ثابتة وتكون حدودها من 2.4 kV إلى 13.2kV للحصول على تيار ثابت بقيمة 6.6, 7.5, 15, 20 أمبير ويستخدم هذا التيار لتشغيل المصابيح . ويجب ألا يقل التيار المار بدائرة التوالي للمصابيح عن مقنن المصابيح. وذلك للحفاظ على عمر تشغيل مناسب للمصابيح (لأن زيادة التيار عن التيار المقنن 1% يخفض من عمر المصابيح بمقدار 20%)

٢- نظام التوازي المتعدد (Multiple system)

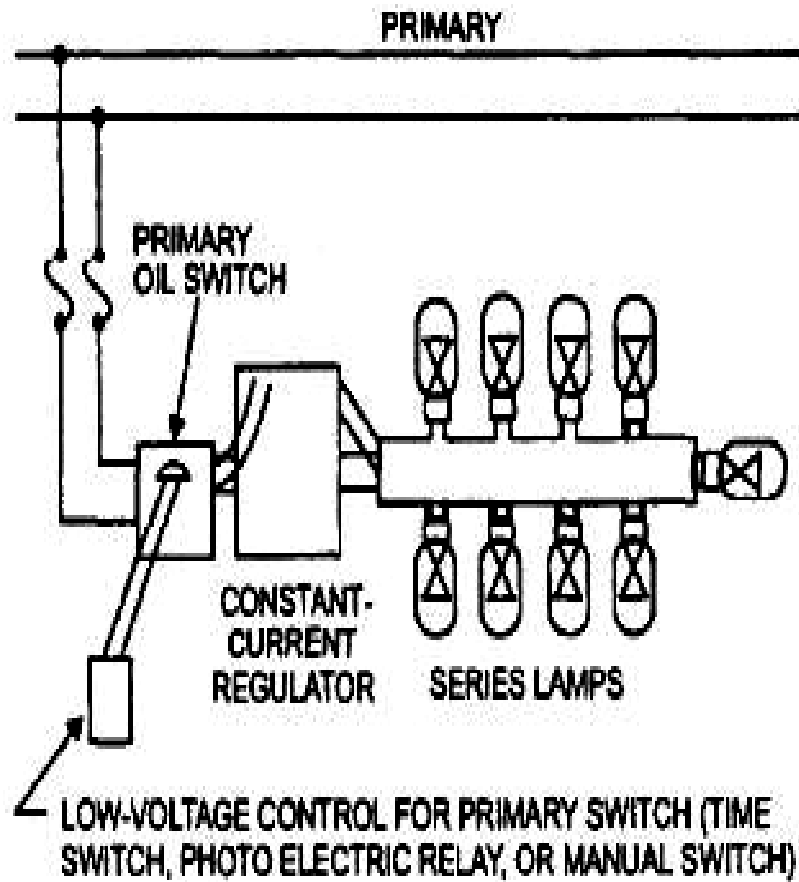
في هذا النظام توصل المصابيح على التوازي وتوزع بانتظام على مخرجات ثلاثة الأوجه لمحول التوزيع وهناك طريقتان لنظام التوازي، في إحداهما يتم التحكم في مصدر التغذية الرئيسية لمحول التوزيع، بينما في النظام الآخر يتم التحكم من خلال قاطع تيار في الدوائر الثانوية لمحول التوزيع كما في الشكل (7.14).



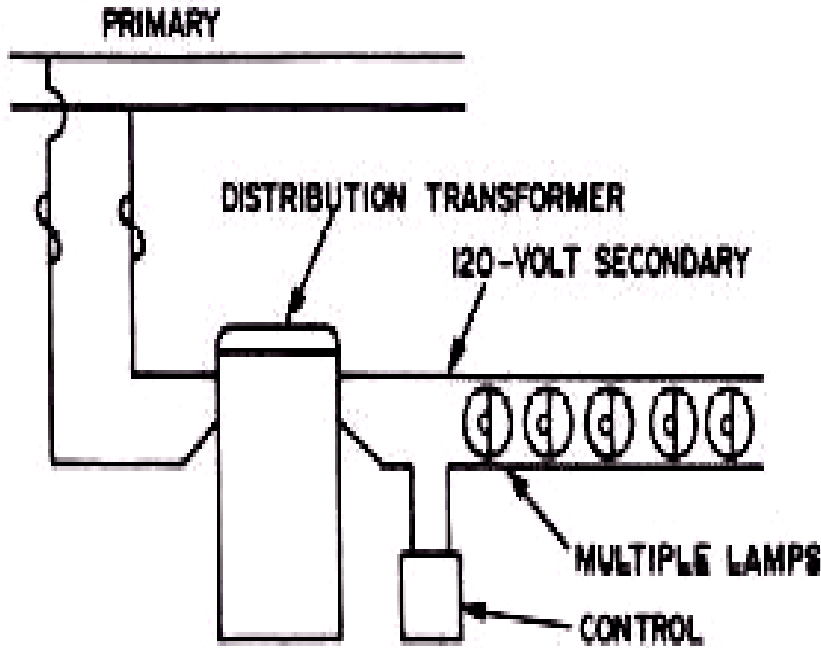
الشكل (7.11) طرق توصيل المصابيح الفلورسنت



الشكل (7.12) مقارنة بين الأنواع المختلفة للمصابيح من حيث توفير الطاقة في حالة استخدام مصابيح ذات قدرة 200 watt



الشكل (7.13) توصيل المصابيح على التوالي في إضاءة الطرق



الشكل (7.14) توصيل المصابيح على التوازي في إضاءة الطرق

(7-5-2) حسابات الاستضاءة

في هذا الجزء سنستعرض الطرق السريعة والدقيقة لحساب كل من النصوص والاستضاءة

١- الاستضاءة عند نقطة

تبعاً للشكل (7.15) فإن الاستضاءة الكلية عند نقطة تعطى من العلاقة الآتية

$$E_p = \sum \frac{I_{\gamma c}}{n h^2} \cos^3 \gamma \quad (7-14)$$

حيث إن: E_p = الاستضاءة عند نقطة P

$I_{\gamma c}$ = شدة الإضاءة للكشاف في اتجاه النقطة P بدلالة الزاويتين γ ، C

n = عدد الكشافات المستخدمة

h = ارتفاع عمود الإضاءة

بعد حساب الاستضاءة من نقطة إلى نقطة ، عادة باستخدام الكمبيوتر ، ويرسم الرسم البياني لتساوي الإضاءة (Isolux diagram) ويوضح الشكل (7.16) رسماً بيانياً لخط تساوي الإضاءة وفيه جميع الإحداثيات بدلالة الارتفاع h الكشاف. ويمكن قراءة الاستضاءة النسبية عند أي نقطة من الشكل مباشرة .

وتحسب القيمة المطلقة للاستضاءة عند نقطة من العلاقة الآتية:

$$E_p = E_r \frac{a \Phi n}{h^2} \quad (7-15)$$

حيث :

حيث إن:

E_r - الاستضاءة النسبية عند نقطة P

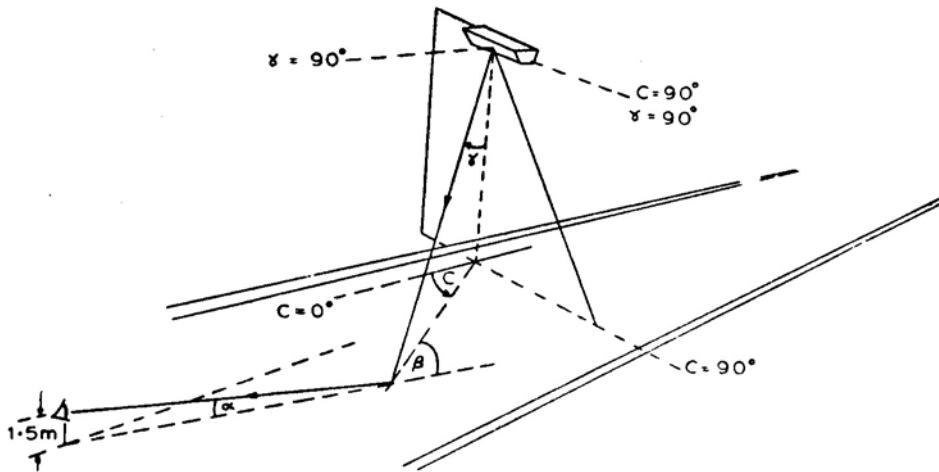
n = عدد المصابيح في الكشف

Φ = الفيض الضوئي للمصباح

a = معامل خاص بوسائل الإضاءة المستخدمة ونحصل عليه من الرسم البياني لخط

تساوي الإضاءة

h = ارتفاع عمود الإضاءة



الشكل (7.15) يبين الاستضاءة عند نقطة P لكشاف

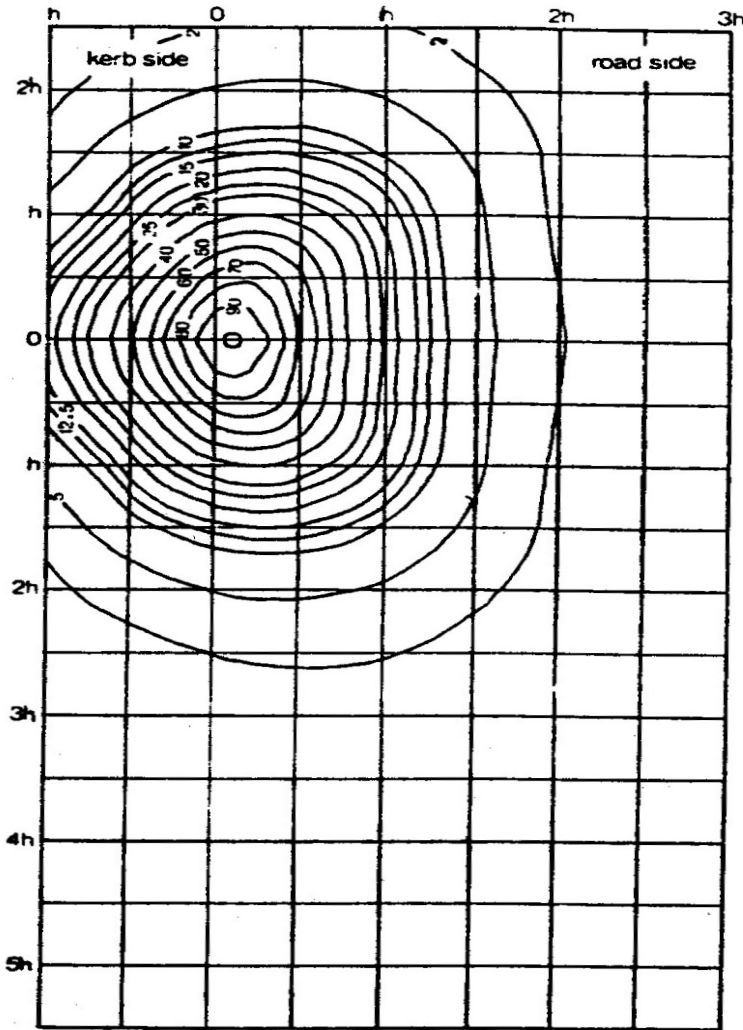
٢- متوسط الاستضاءة

تحسب كمتوسط الاستضاءة من العلاقة الآتية :

$$E_{av} = \frac{\sum E_p}{N} \quad (7-16)$$

حيث إن : E_p = الاستضاءة عند كل نقطة

N = العدد الكلي للنقط



الشكل (7.16) منحنى تساوي شدة الاستضاءة

كذلك يمكن حساب متوسط الاستضاءة باستخدام منحنيات عامل الانتفاع، وذلك باستخدام العلاقة الآتية:

$$E_{av} = \frac{\eta \Phi n}{WS} \quad (7-17)$$

حيث إن:

W = عرض الطريق

S = المسافة بين عمودين

η = عامل الانتفاع

ويعرف عامل الانتفاع بالنسبة بين الفيض الضوئي الفعال والفيض الضوئي الكلي. تعطى منحنيات عامل الانتفاع في إحدى الصورتين الآتيتين:

أ- بدلالة الارتفاع h وباستخدام الشكل (7.17b).

عند $\frac{h}{4}$ نحصل على عامل انتفاع = 0.075

عند $\frac{3}{2}h$ نحصل على عامل انتفاع = 0.32

ويكون عامل الانتفاع الكلي

$$\eta = 0.0725 + 0.32 = 0.395$$

ب- بدلالة الزاويتين γ_1 ، γ_2

فمن الشكل (7.17a)

$$\gamma_1 = \tan^{-1} \frac{h}{4h} = 14^\circ$$

$$\gamma_2 = \tan^{-1} \frac{3h}{2h} = 56.5^\circ$$

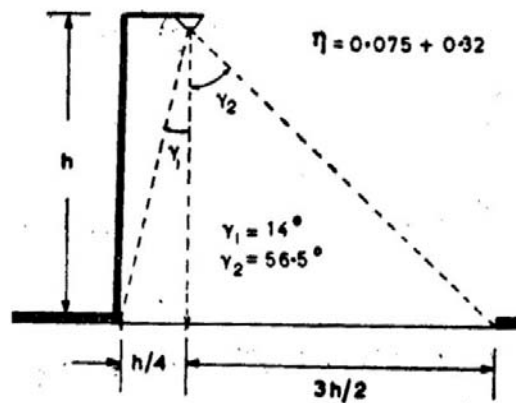
ومن الشكل (7.17c) نحصل على

عند $\gamma_1 = 14^\circ$ فإن عامل الانتفاع = 0.075

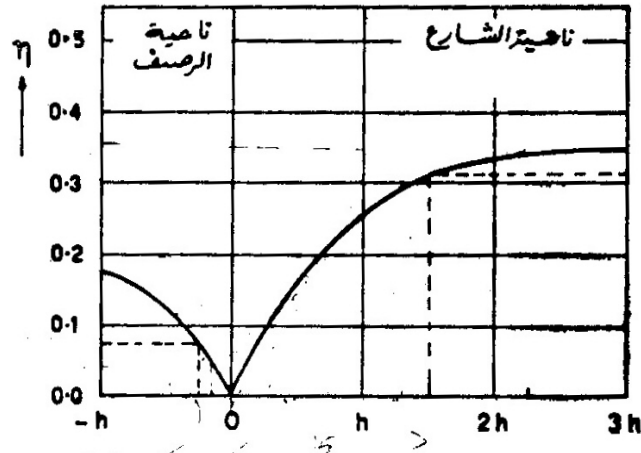
عند $\gamma_2 = 56.5^\circ$ فإن عامل الانتفاع = 0.32

ويكون عامل الانتفاع الكلي

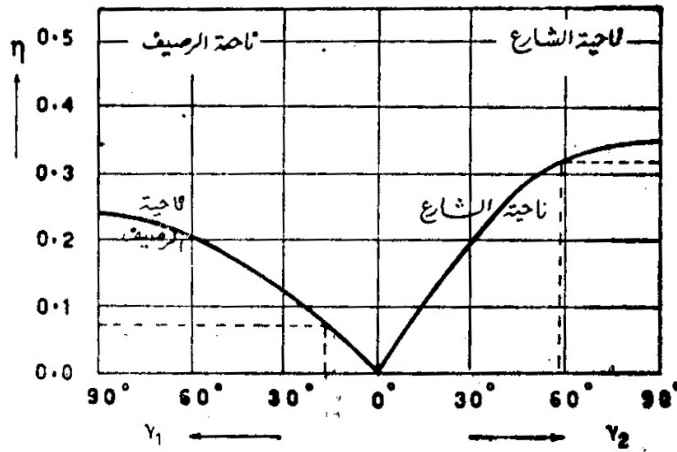
$$\eta = 0.0725 + 0.32 = 0.395$$



الشكل (7.17a)



شكل (7.17b)



الشكل (7.17c)

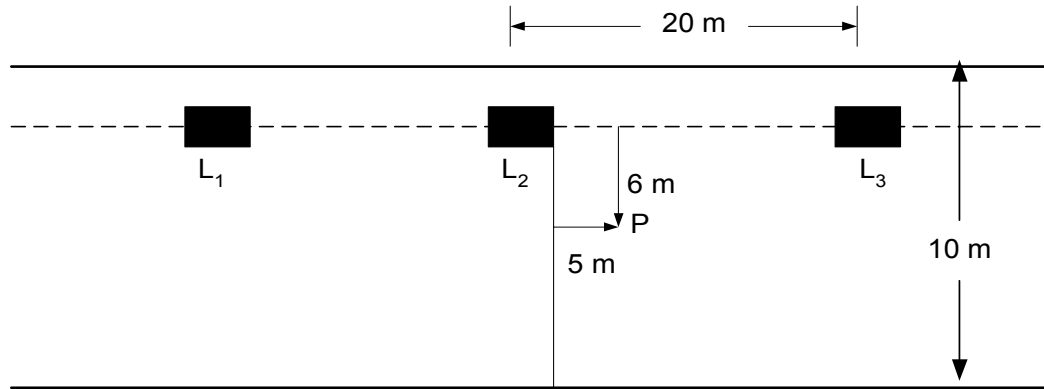
الشكل (7.17) منحنيات عامل الارتفاع

مثال (3)

في الشارع المبين في الشكل (7.18) الفوانيس تعلو 10 m عن سطح الشارع وكل فانوس به فيضه الضوئي 4000 Lm ومنحنيات تساوي شدة الاستضاءة هي المبينة في الشكل (7.19) المطلوب إيجاد الاستضاءة عند النقطة P على سطح الشارع علماً بأن معامل وسيلة الإضاءة $a=0.187$

الحل:

نرسم الخط المثبتة عليه الأعمدة وتكون بعد نقطة P عن محور الفوانيس 6 m (0.6h) ، وهو الخط (A-A) على الرسم البياني لخط تساوي الإضاءة كما في الشكل (7.19) ، نوجد المسافة لكل عمود بدلالة الارتفاع h



الشكل (7.18)

$$L_1 \text{ to } P = 25 \text{ m} = 2.5h$$

$$L_2 \text{ to } P = 5 \text{ m} = 0.5 h$$

$$L_3 \text{ to } P = 15 \text{ m} = 1.5 h$$

ونحدد من الشكل (7.19) قيمة الاستضاءة النسبية عند هذه النقاط

$$E_{L1} = 3\% \text{ of } E_{\max}$$

$$E_{L2} = 53\% \text{ of } E_{\max}$$

$$E_{L3} = 13\% \text{ of } E_{\max}$$

الاستضاءة الكلية عند P

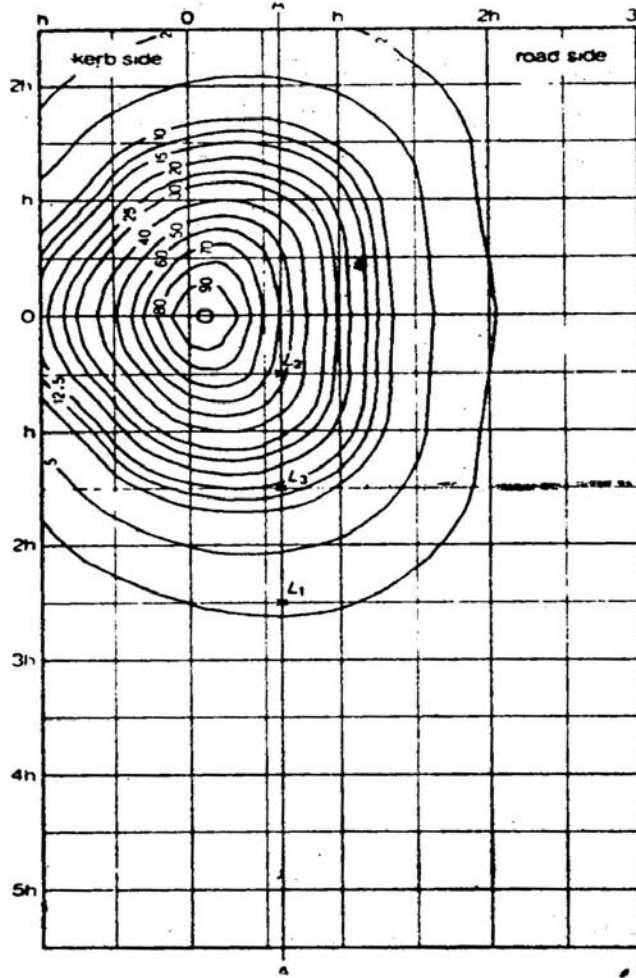
$$\begin{aligned} E_p &= E_{L1} + E_{L2} + E_{L3} \\ &= 3\% + 53\% + 13\% \\ &= 69\% \end{aligned}$$

وحيث إن

$$\begin{aligned} E_{\max} &= \frac{a\Phi}{h^2} \\ &= \frac{0.187 \times 40000}{10^2} = 74.8 \text{ Lux} \end{aligned}$$

الاستضاءة الكلية عند P هي

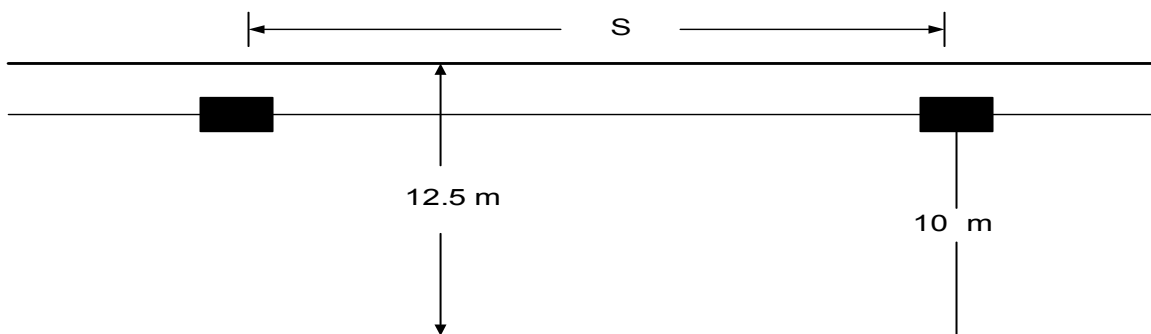
$$E_p = 0.69 \times 74.8 = 51.6 \text{ Lux}$$



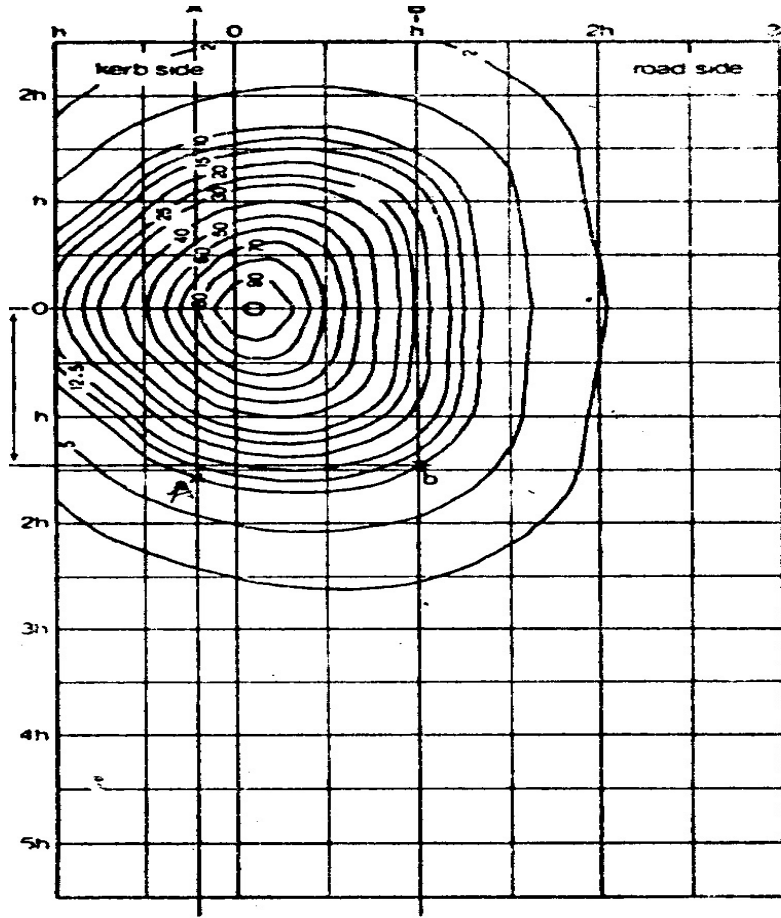
الشكل (7.19)

مثال (4)

المطلوب إيجاد أقصى تباعد ممكن للفوانيس بالنسبة للشارع كالمبين في الشكل (7.20) بحيث لا يقل انتظام الاستضاءة (E_{max} / E_{min}) عن 0.2 إذا كان ارتفاع الفوانيس 10 m، علماً أن منحني تساوي شدة الاستضاءة كما في الشكل (7.21)



الشكل (7.20)



الشكل (7.21)

الحل

تحسب المسافة بين الخط المثبتة عليه وسائل الإضاءة وحافتي الطريق بدلالة الارتفاع h ويوقع الخط $A-A$ على بعد $(2.5/10)h$ والخط $B-B$ على بعد $(10/10)h$ في الشكل (7.20) بفرض وجود عمودين L_1 L_2 يمكن كتابة المعادلة الآتية :

$$E_{\min}(L1) + E_{\min}(L2) \geq 0.2 E_{\max}$$

وعلى الاعتبار أن أقل استضاءة بين العمودين هي نقطة المنتصف وتكون لكل عمود هي $0.1 E_{\max}$ نوع النقطتين على المنحنى ١٠% بالرسم البياني والمتقاطعتين مع الخطين $A-A$, $B-B$ وهما النقطتان a , b . إذا فإن نصف المسافة بين الفانوسين هي المسافة بين المحور المستعرض للفانوس وأقرب هاتين النقطتين له أي النقطة b وذلك

$$S/2 = 1.5h$$

$$S = 3h$$

$$= 30 \text{ meters}$$

مثال (5)

شارع يراد إضاءته وارتفاع عمود الإضاءة من سطح الشارع 10 m وتتدلى 2.5 m نحو محور الشارع والفيض الضيائي لكل مصباح 40000 Lm احسب متوسط الاستضاءة في الحالات الآتية :

- أ - الشارع مضاء بصف فوانيس على الجانب الأيسر كما في الشكل (7.22)
 ب - الشارع مضاء بصف فوانيس على الجانب الأيمن كما في الشكل (7.22)
 ج - الشارع مضاء بصفين متقابلين من الفوانيس كما في الشكل (7.22)

الحل

أ - يتم إيجاد عامل الانتفاع من الشكل (7.17b)

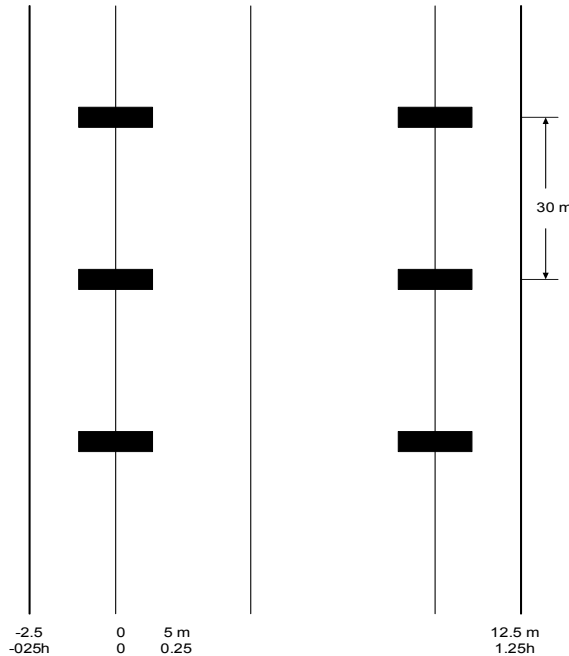
$$\eta_{0 \rightarrow 1.25h} = 0.3$$

$$\eta_{0 \rightarrow 0.5h} = 0.17$$

$$\eta_{0.5h \rightarrow 1.25h} = 0.3 - 0.17 = 0.13$$

معامل الانتفاع الكلي هو

متوسط الاستضاءة من المعادلة الآتية:



الشكل (7.22)

$$E_{av} = \frac{\eta \Phi}{WS}$$

$$E_{av} = \frac{0.13 \times 40000}{7.5 \times 30} = 23.1 \text{ Lux}$$

ب- يتم إيجاد عامل الانتفاع من الشكل (7.17b)

$$\eta_{0 \rightarrow 0.25h} = 0.075$$

$$\eta_{0 \rightarrow 0.5h} = 0.17$$

معامل الانتفاع الكلي هو $\eta_{0.25h \rightarrow 0.5h} = 0.075 + 0.17 = 0.245$

$$E_{av} = \frac{\eta \Phi}{WS} \quad \text{متوسط شدة الاستضاءة من المعادلة الآتية:}$$

$$E_{av} = \frac{0.245 \times 40000}{7.5 \times 30} = 43.5 \text{ Lux}$$

ج - الاستضاءة الكلية هو مجموع الحالة أ ، والحالة ب

$$E_{av} = 23.1 + 43.5 = 66.6 \text{ Lux}$$

(٧ - ٦) الإضاءة الداخلية

يعتمد أساس كمية ونوعية الإضاءة المطلوبة لإنارة مساحة معينة على الأغراض المستخدمة لهذا المبنى ونوعية العمل ويبين الجدول (7-1) قيم الاستضاءة الموصى بها عالمياً ، وذلك عند مستوى التشغيل (بأن مستوى مساحته مساوية لمساحة أرضية الغرفة ومرتفع عنها بمسافة تتراوح بين (70 إلى 90 cm)

النظم المختلفة لتوزيع الإضاءة هي:

- ١- إضاءة مباشرة
- ٢- إضاءة غير مباشرة
- ٣- إضاءة شبه مباشرة
- ٤- إضاءة تنثرية

(7-6-1) خطوات حساب الإضاءة الداخلية (طريقة الليومن)

تعتبر طريقة الليومن أكثر الطرق شيوعاً لحسابات الإضاءة الداخلية والمعادلة الآتية هي المعادلة المستخدمة في طريقة الليومن

$$E = \frac{n \Phi \eta \text{ LLF}}{A} \quad (7 - 18)$$

حيث إن: E = الاستضاءة المطلوبة ووحدها Lm/m^2

A = مساحة مستوى التشغيل ووحدها m^2

Φ = الفيض الضوئي لكل مصباح ووحدها بالليومن

η = معامل الاستفادة

LLF = معامل فقد الضوء

n = عدد المصابيح لكل وحدة إضاءة

وعند استخدام المعادلة (7-18) يجب اتباع الخطوات الآتية:

الخطوة الأولى: وهي تعيين مستوى الاستضاءة ويتم تحديدها من الجدول (7-1) وذلك بعد تحديد نوع الإضاءة المطلوبة.

الخطوة الثانية: وهي تعيين معامل الانتفاع

الفيض الضوئي عند مستوى التشغيل

ويعرف $\text{معامل الانتفاع} = \frac{\text{الفيض الضوئي الكلي المتولد من المصباح}}{\text{الفيض الضوئي عند مستوى التشغيل}}$

الفيض الضوئي الكلي المتولد من المصباح

ولحساب معامل الانتفاع يجب معرفة النسب الفجوية للغرفة ويبين الشكل (7.22) الفجوات الثلاث، فجوة السقف وفجوة الغرفة وفجوة الأرض كما يلي:

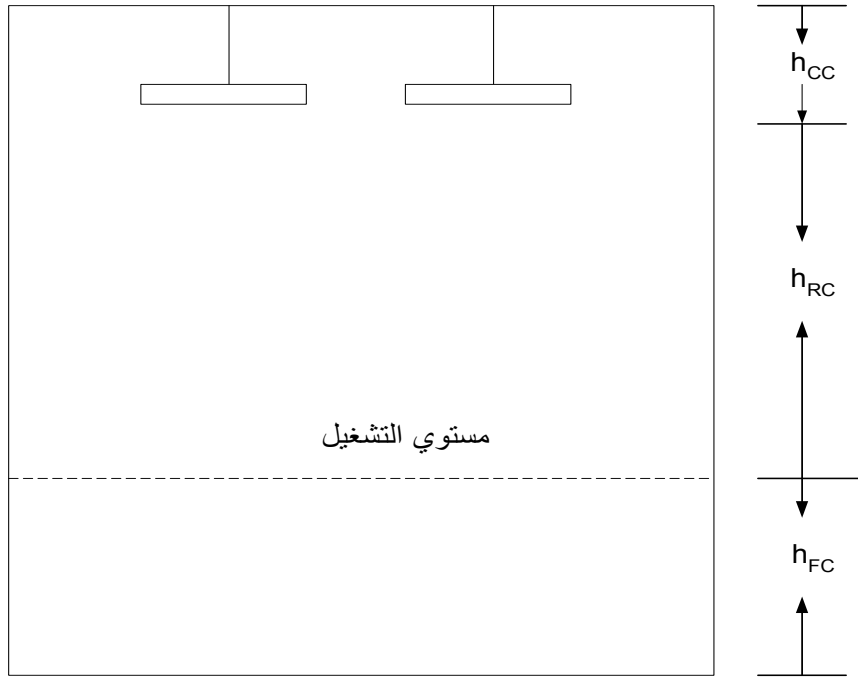
جدول (7-1) قيم الاستضاءة الموصى بها عالميا

أقل استضاءة (لوكس)	المكان	أقل استضاءة (لوكس)	المكان
1000	٦- الكراجات وخدمة السيارات	300	١- صالة عرض فنية عامة
20	تصليح	300	للرسومات
500	منطقة نشطة للمرور	1000	بها معروضات
50	مدخل الكراج	150	صالة لتجمع الجمهور
	خطوط انتظار السيارات	300	معرض
	٧- المستشفيات	300	محل عرض سيارات
300	غرف التحضير والبنج		٢- بنك
100	عام	500	دهليز
2000	موضعي	70	مساحة بها مكتبة
300	غرف العمليات	1500	مكتب صياغة
1000	غرف العمليات	100	مكتب بريد
300	غرف العمليات	100	مكاتب عادية
1000	غرف العمليات		٣- محكمة
	غرف العمليات	300	مكان جلوس الجمهور
200	غرف العمليات	700	مكان المرافعات
30	غرف العمليات	200	الممرات
1000	فحص		٤- غرف الرسم
5	ليلي	1500	رسم تخطيطي
300	الحمام	2000	رسم دقيق
1000	غرف تشريح : عام		٥- المحطات
10000	موضعي	300	غرف انتظار
300	الممرات أثناء النهار	1000	مكتب قطع التذاكر
30	أثناء الليل	1000	المحاسب
			٨- مكاتب البريد
300	غرفة الصراف	300	غرفة راحة
1000	غرفة فرز الخطابات	200	أرصفة

		200	أماكن رفع العفش
		200	سلالم متحركة
	١٣ - عيادات عامة		٩ - الفنادق
300	غرفة استقبال	300	غرفة استحمام
150	غرف انتظار	300	غرفة كتابة
300	غرف قراءة	200	ممرات وسلالم
500	فحص وعلاج	300	مداخل
1000	سرير فحص	200	غرف البياضات
10000	كرسي فحص أسنان	750	غرف خياطة
1000	معمل	300	منطقة قراءة
500	غرفة فحص عيون		١٠ - مكاتب
	١٤ - مطاعم	700	غرفة مذاكرة
500	غرفة الصراف	500	غرفة قراءة عادية
300	غرفة النظافة	500	تجليد كتب
1000	خدمة سريعة	700	كتالوجات
500	عرف طعام	700	مكان ترتيب كروت
700	مطبخ	700	مائدة مراجعة
1000	غرفة غذاء		١١ - أقسام الشرطة البلدية والإطفاء
	١٥ - المدارس	800	غرفة تعارف
300	قراءة كتاب مطبوع	300	غرفة السجن
70	قراءة كتاب بقلم الرصاص	300	غرفة الإطفاء مخزن
1000	غرفة شف مرسوم		
1000	غرفة رسم تخطيطي		

تابع جدول (7-1)

أقل استضاءة (لوكس)	المكان	أقل استضاءة (لوكس)	المكان
70	قراءة كتاب بقلم الرصاص	300	غرفة الإطفاء (مخزن)
1000	غرفة شف مرسوم		
1000	غرفة رسم تخطيطي		
750	غرفة خياطة	300	غرفة السيارات الخاصة بالإطفاء
1000	فصل دراسي		١٢- المتاحف وصلات العرض
1200	السبورة		
400	غرفة سكرتارية		
500	غرفة معمل	3000	غرف تصميم وتخطيط
200	غرفة مخزن	100	مكاتب
700	غرفة آلة كاتبة		
500	صالة ألعاب رياضية	700	كتابة
300	غرفة إعاشة		١٦- منازل سكنية
100	سلالم	300	غرفة مكتب
250	غرفة انتظار	750	غرفة خياطة
100	ممرات	500	غرفة طبخ
10	غرفة نوم أطفال (أثناء النوم)	700	غرفة شاي
150	غرفة نوم	500	غرفة مذاكرة
500	غرفة كي ملابس	100	حمام



الشكل (7.22) الفجوات الثلاث في الحجرة

$$CCR = 5 h_{cc} \frac{L + W}{L \times W}$$

$$RCR = 5 h_{rc} \frac{L + W}{L \times W}$$

$$FCR = 5 h_{fc} \frac{L + W}{L \times W}$$

حيث إن: h_{cc} فجوة السقف و CCR النسبة الفجوية للسقف

h_{rc} فجوة الغرفة و RCR النسبة الفجوية للغرفة

h_{fc} فجوة الأرضية و FCR النسبة الفجوية للأرض

ولتحديد معامل الانتفاع يجب تحديد أولاً النسب الفجوية ومن النسب الفجوية ومعاملات الانعكاس للسقف والحوائط والأرضيات من الجداول الخاصة بذلك.

الخطوة الثالثة: وهي تعيين معامل فقد الضوء

عندما تكون المصابيح جديدة يختلف اليوم من الخارج عنها بعد فترة نتيجة لعدة عوامل أهمها

- أداء الكابج
- جهد التشغيل
- تغير معاملات الانعكاس
- احتراق المصابيح
- قدم المصابيح
- اتساخ وحدة الإضاءة

الخطوة الرابعة: حساب عدد المصابيح وتعيين أماكنها

$$N = \frac{E A}{\Phi \text{ LLF } \eta}$$

عدد المصابيح الكلية

عدد وحدات الإضاءة = عدد المصابيح في كل وحدة إضاءة

(7-6-2) تطبيقات على الإضاءة الداخلية

مثال (6)

حجرة مساحتها 8 m x 12 m ويراد إضاءتها بعدد 15 مصباحاً ويراد أيضاً انتظام الاستضاءة بمقدار 100 Lm/m² احسب معامل الانتفاع إذا كان خرج المصباح 1600 Lm .

الحل

الفيض الضوئي المنبعث من المصابيح

$$15 \times 1600 = 24000 \text{ Lm}$$

الفيض الضوئي الساقط على مستوى التشغيل في الحجرة

$$8 \times 12 \times 100 = 9600 \text{ Lm}$$

$$\text{معامل الانتفاع} = 9600 / 24000 = 40\%$$

مثال (7)

احسب التوفير في الحمل الكهربائي ومقدار الزيادة المئوية في الاستضاءة في حالة استبدال 12 مصباحاً متوهجاً قدرة كل مصباح 150 W بعدد 12 مصباحاً فلورسنتياً قدرة كل مصباح 80 W مع افتراض الآتي:

أ- أن مفاقيد الملف الخائق 25% من قدرة المصباح

ب- متوسط الكفاءة لمصابيح المتوهجة 15 Lm/W, للفلورسنت 40 Lm/W

ج- معامل الانتفاع واحد للمصباحين

الحل

$$12 \times 150 = 1800 \text{ W}$$

$$12(80 + 0.25 \times 80) = 1200 \text{ W}$$

$$1800 - 1200 = 600 \text{ W}$$

الحمل الكلي للمصابيح المتوهجة

الحمل الكلي للمصابيح الفلورسنت

الوفر الكلي في الحمل الكلي

نفرض أن مساحة الحجرة A وأن عامل الانتفاع η ، نحسب الاستضاءة في الحالتين

$$E_1 = \frac{12 \times 150 \times 15 \eta}{A} = 27000 \eta / A \quad \text{Lm/m}^2 \quad \text{المتوهجة للمصابيح}$$

$$E_2 = \frac{12 \times 80 \times 40 \eta}{A} = 38400 \eta / A \quad \text{Lm/m}^2 \quad \text{لمصابيح الفلورسنت}$$

$$= \frac{38400 - 27000}{27000} = 0.42 \text{ or } 42\% \quad \text{الزيادة في الاستضاءة}$$

مثال (8)

ملعب لكرة القدم مساحته 120m x 60m يراد إضاءته ليلاً بمصابيح W 1000 على أن تكون الاستضاءة منتظمة حول الملعب وتكون الإضاءة على أبراج عددها 12 برجاً وبفرض أن 40 % من الإضاءة تصل إلى الملعب وأن الاستضاءة لأغراض البث التلفزيوني 1000 Lm/m² وأن كفاءة المصابيح المستخدمة 30 Lm/w احسب عدد المصابيح في كل برج.

الحل

$$\text{مساحة الملعب} = 120 \times 60 = 7200 \text{ m}^2$$

$$\text{الفيض المطلوب} = 7200 \times 1000 = 7.2 \times 10^6 \text{ Lm}$$

وحيث إن 40 % من الفيض يصل إلى أرض الملعب فإن

$$\text{الفيض الكلي} = 7.2 \times 10^6 / 0.4 = 18 \times 10^6 \text{ Lm}$$

$$\text{الفيض المطلوب من كل برج} = 18 \times 10^6 / 12 = 1.5 \times 10^6 \text{ Lm}$$

$$\text{الفيض الخارج من كل مصباح} = 30 \times 1000 = 3 \times 10^4 \text{ Lm}$$

$$\text{عدد المصابيح في كل برج} = 1.5 \times 10^6 / 3 \times 10^4 = 50$$

مثال (٩)

يراد إضاءة صالة رسم في إحدى الكليات التقنية ومساحتها 30 m x 20 mX8 m والمصابيح معلقة على ارتفاع 5 m والاستضاءة 144 Lm/ m² علماً بأن

- معامل الارتفاع = 0.6 - معامل الصيانة = 0.75 - النسبة بين الفراغ والارتفاع = 1
- الكفاءة = 13 Lm/watt لمصباح 300 watt
- الكفاءة = 16 Lm/watt لمصباح 500 watt

اختر المصباح الأفضل مع توضيح السبب وارسم توزيع المصابيح في صالة الرسم

الحل

$$\Phi = \frac{E \cdot A}{\eta \cdot p}$$

$$\Phi = \frac{30 \times 20 \times 144}{0.6 \times 0.75} = 192000 \quad \text{Lm}$$

$$= 500 \times 16 = 8000 \quad \text{Lm} \quad \text{500 W الليومن الخارج من مصباح}$$

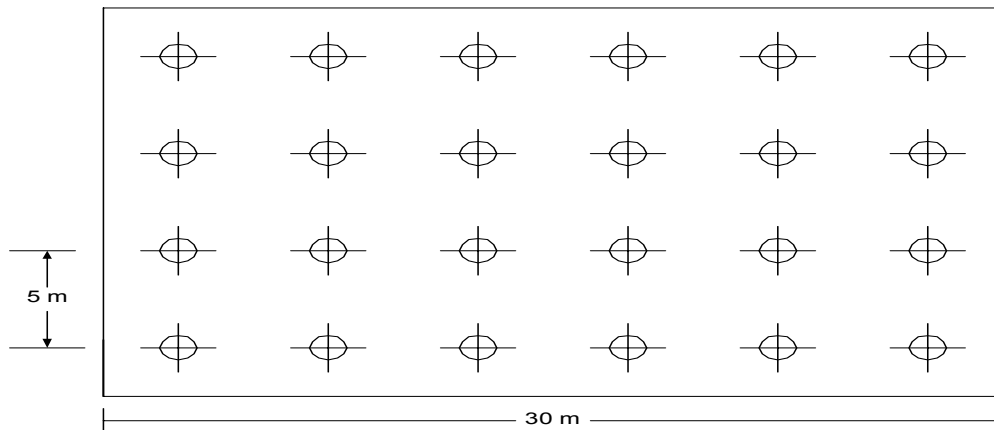
$$= 192000 / 8000 = 24 \quad \text{عدد المصابيح المطلوبة}$$

$$= 300 \times 13 = 3900 \quad \text{Lm} \quad \text{300 W الليومن الخارج من مصباح}$$

$$= 192000 / 3900 = 49 \quad \text{عدد المصابيح المطلوبة}$$

من الواضح عدم استخدام المصابيح 300W لأنه لا يمكن تنظيمها، ويمكن استخدام المصابيح 500W و تنظيمها في 4 صفوف و 6 أعمدة والمسافة بين كل مصباح والآخر 5 m كما هو موضح

في الشكل (7.23)



الشكل (7.23)