Journal of Engineering Sciences, Assiut University, Vol. 37, No. 1, pp.179 -191 , January 2009.

APPLICABILITY OF DAYLIGHT ESTIMATION METHODS UNDER THE CLIMATIC CONDITIONS OF SAUDI ARABIA: THE CASE OF DAMMAM REGION

***Khalid Asker Alshaibani**, Associate Professor*

College of Architecture and Planning, King Faisal University, Saudi Arabia, P. O. Box 2397 Dammam 31451, Saudi Arabia,
kshaibani@gmail.com

(Received November 27, 2008 Accepted January 18, 2009)

Most of daylight prediction techniques are proposed based on assumed conditions related to the characteristics of the internal and external spaces of buildings, sky conditions and climatic conditions. The goal of this study is to investigate the accuracy of some of the proposed techniques in estimating the internal luminance under climatic conditions of Saudi Arabia.

KEYWORDS: *Natural Light, Daylight Estimation.*

دراسة لمدى ملائمة طرق حساب الإضاءة الطبيعية في المباني لأجواء المملكة العربية السعودية – حالة مدينة الدمام

د. خالد عسكر الشيباني

كلية العمارة والتخطيط – جامعة الملك فيصل – ص ب 2397 الدمام 31451

Email: kshaibani@gmail.com –المملكة العربية السعودية

المستخلص:

تطور مفهوم استخدام الإضاءة الطبيعية في المباني من خلال باحثين من دول شمال أوروبا والولايات المتحدة الأمريكية، حيث طوروا العديد من النماذج الرياضية التي تساعد المعماري على اختيار المساحات المناسبة للفتحات الزجاجية في المراحل الأولى للتصميم . وزاد الاهتمام بهذه النماذج مؤخرا نتيجة لزيادة الوعي بقضايا الطاقة والعمارة المستدامة. يتطرق هذا البحث إلى دراسة بعض النماذج الرياضية المقترحة لحساب الإضاءة الطبيعية داخل المباني ومدى ملائمتها لأجواء المملكة العربية السعودية. وتنقسم هذه الدراسة إلى جزأين، الأول يتعلق بإجراء قياسات خارجية لمستوى الإضاءة الطبيعية في منطقة الدمام والجزء الثاني يتضمن دراسات مقارنة بين بعض نماذج حساب الضوء الطبيعي وبرنامج محاكاة للإضاءة.

الكلمات الدالة:

الإضاءة الطبيعية، متوسط معامل الإضاءة الطبيعية.

المقدمة

تعتبر آلية حساب الإضاءة الطبيعية أداة مهمة للوصول إلى مباني تعتمد مفهوم الاستدامة والعمارة الخضراء. فنظام ليد[1] والذي يعتبر مرجعا مهما في معايرة المباني ومعرفة مدى تحقيقها لمفهوم الاستدامة أصبح يتطلب تحقيق مستويات معينة من الإضاءة الطبيعية. ولقد تطور مفهوم استخدام الإضاءة الطبيعية من خلال باحثين من دول شمال أوروبا والولايات المتحدة الأمريكية، حيث طوروا العديد من النماذج الرياضية التي تساعد في حساب كمية الإضاءة داخل المباني. ويمكن تصنيف هذه النماذج ضمن طريقتين أساسيتين: الأولى تحسب كميات الإضاءة كقيم مطلقة والمجموعة الثانية تحسب كميات الإضاءة الداخلية كنسبة من الإضاءة الخارجية حيث تسمى هذه النسبة "معامل الإضاءة الطبيعية – daylight factor". ويعرف معامل الإضاءة الطبيعية على أنه كمية الضوء الطبيعي عند نقطة ما داخل الغرفة منسوبا إلى الإضاءة الطبيعة الساقطة على سطح أفقي مكشوف كليا لسماء محدد استضاءتها، ولا يحسب في هذا المعامل ضوء أشعة الشمس المباشرة أو غير المباشرة. ولقد تبنت اللجنة الدولية للإضاءة (International Commission on Illumination–C.I.E) طريقة معامل الضوء الطبيعي كآلية لحساب الضوء الطبيعي مما ساعد على استخدام هذا الطريقة في العديد من دول العالم [2]، ومن ثم تطور لاحقا استخدام المتوسط لهذا المعامل كأداة لتقييم مستوى الإضاءة داخل المبنى. وتكمن ميزة متوسط معامل الإضاءة الطبيعية في حسابه للضوء داخل المبنى على أساس كمية خارجية مفترضة لخطوط العرض المختلفة (altitude) فإذا ارتفعت الكمية الخارجية ارتفعت الكمية داخل المبنى. لذا فان الهدف من معامل الضوء الطبيعي ليس الحصول على حساب دقيق للإضاءة الداخلية بل على انطباع وتصور عن مدى توفر الإضاءة الطبيعية داخل المبنى بصورة جيدة من عدمه، فالمواصفات البريطانية (وعلى سبيل المثال) تذكر أن تحقيق متوسط لمعامل الضوء الطبيعي قيمته 5% يمكن أن يوفر إضاءة جيدة للغرفة من دون الحاجة للإضاءة الكهربائية خلال ساعات النهار لمعظم أيام السنة [3].

نماذج حساب متوسط معامل الضوء الطبيعي:

يعتبر النموذج المطور من قبل لونقمور في عام 1975هو أول نموذج رياضي استخدم لحساب متوسط معامل الإضاءة الطبيعية دا خل المباني [4]:

$$ADF = \tau W \left(\frac{S}{A_{fw}} + \frac{S\ Rfw + G\ Rcw}{A(1-R)} \right) \quad \% \qquad (1)$$

حيث أن:

ADF = متوسط معامل الإضاءة الطبيعية وهو نسبة متوسط الإضاءة الداخلية إلى الإضاءة الخارجية على مستوى أفقي مكشوف للسماء

τ = نفاذية الزجاج (transmittance)

w = مساحة النافذة

S = كمية الضوء القادم من أعلى مستوى منتصف النافذة منسوبا إلى الضوء الساقط على مستوى الأفق (الشكل 1)

G = كمية الضوء المنعكس من أسفل مستوى منتصف النافذة منسوبا إلى الضوء الساقط على مستوى الأفق (الشكل 1)

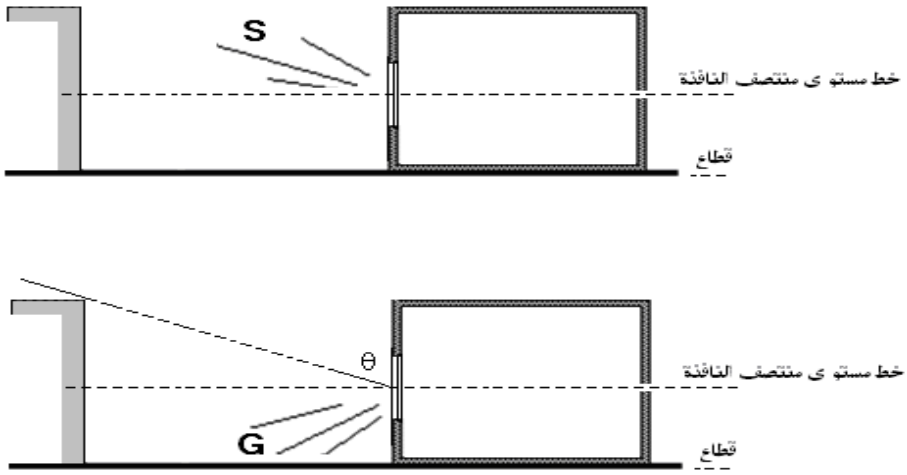
R = معدل قدرة جميع الأسطح الداخلية للغرفة على عكس الضوء (average reflectance)

R_{cw} = معدل قدرة الأسطح الواقعة أعلى مستوى منتصف النافذة على عكس الضوء ومن دون حساب جدار النافذة

R_{fw} = معدل قدرة الأسطح أسفل مستوى منتصف النافذة على عكس الضوء ومن دون حساب جدار النافذة

A = مساحة الأسطح الداخلية للغرفة

A_{fw} = مساحة الأسطح الواقعة أسفل مستوى منتصف النافذة ومن دون حساب مساحة جدار النافذة



الشكل (1) قطاع لغرفة يوضح زاوية قبة السماء (θ) بالإضافة إلى كمية الضوء القادم من أعلى وأسفل مستوى منتصف النافذة (S, G)

وفي عام 1979 تم تطوير نموذج اخر من قبل لينز5يعتمد على فرض أن مجموع كمية الضوء المنعكس من الأرض (G) وكمية الضوء القادم من أعلى (S) يساوي عادة قيمة زاوية قبة السماء (θ) مقسوما على 2، الشكل (1):

$$\text{ADF} = \frac{\theta}{2}\ \frac{w\ \tau}{A\ (1-R)}\quad \% \qquad (2)$$

ومن ثم تم تطوير هذا النموذج إلى نموذج رياضي آخرعام 1984من قبل مؤسسة أبحاث البناء البريطانية (BRE) [6]:

$$\text{ADF} = \frac{w\ \tau\ \theta}{A\ (1-R^2)} \qquad \% \qquad (3)$$

وهذا النموذج هو ما تم اعتماده في المواصفات البريطانية لحساب متوسط معامل الضوء الطبيعي. وجميع هذه النماذج السابقة عملت على أساس افتراض حالة سماء غائمة مشابهه لأجواء شمال أوروبا، لا تتأثر كمية الضوء الساقط على النافذة بتغير اتجاه النافذة أو حركة الشمس. وهو بالطبع ما لا يتناسب مع المناطق المشمسة حيث أن كمية الضوء الخارجي الساقطة تتأثر بحركة الشمس، إضافة إلى أن ضوء الشمس المنعكس من الأرض إلى النافذة يجب أن يؤخذ في الحسبان لأهميته من ناحية الكمية. لذا عند التعامل مع حساب الإضاءة الطبيعية في مثل هذه المناطق فانه من الأفضل أن ينسب متوسط الإضاءة الداخلية إلى كمية الإضاءة على سطح النافذة الخارجي وليس مستوى الأفق [7]. ولأن كلا المعادلتين 2 و3 اعتمدتا على الافتراض بأن الإضاءة الساقطة على سطح النافذة الخارجي تنسب دائما إلى الإضاءة على مستوى الأفق كما يلي:

كمية الإضاءة الساقطة على سطح النافذة =

(زاوية قبة السماء مقسوما على إثنين) X (كمية الضوء على مستوى الأفق)

لذا عند الرغبة في استخدام المعادلتين 2 و 3 لحساب معامل الإضاءة الطبيعية داخل المبنى ومنسوبا إلى كمية الضوء على مستوى النافذة فيجب إعادة صياغتهما بقسمة المعادلتين على $(\frac{\theta}{2})$، فتصبح بذلك المعادلة 2 كما يلي:

$$\text{ADF} = \frac{w\ \tau\ \theta}{2\ A\ (1-R)}\ \text{X}\ \frac{2}{\theta}\ =\ \frac{w\ \tau}{A\ (1-R)} \qquad (4)$$

وتصبح المعادلة 3 كما يلي:

$$\text{ADF} = \frac{w\ \tau\ \theta}{A\ (1-R^2)}\ \text{X}\ \frac{2}{\theta}\ =\ \frac{2\ w\ \tau}{A\ (1-R^2)} \qquad (5)$$

منهجية الدراسة

تنقسم الدراسة إلى جزأين رئيسين : الأول يتعلق بإجراء قياسات خارجية لكمية الإضاءة الطبيعية بمنطقة الدمام، والجزء الثاني إجراء حسابات الإضاءة الداخلية داخل المبنى باستخدام برامج المحاكاة. ولقد تم الاعتماد على استخدام برامج المحاكاة لدراسة صلاحية المعادلتين 4 و5 في حساب متوسط الإضاءة الداخلية حيث أن نسبة الخطأ في استخدام النماذج المصغرة قد تصل إلى 100% وهو ما قد يشكك في دقة النتائج وذلك لصعوبة تمثيل خاصية انعكاس الضوء من الأسطح بصورة تقارب الواقع الحقيقي [8]، أما بالنسبة للدراسة باستخدام المباني الحقيقية فهو لا يسمح بتجريب العديد من المتغيرات بسهولة كأبعاد الغرفة وأبعاد الفتحات الزجاجية. ولقد كان من المهم أن تجرى دراسة لكميات الإضاءة الطبيعية في منطقة الدمام لاستخدامها كوسيلة للتأكد من دقة مخرجات برنامج المحاكاة.

الإضاءة الخارجية للموقع وبرامج المحاكاة

يتطلب استخدام برنامج المحاكاة النظر إلى بعض المدخلات المستخدمة في البرنامج لحساب كمية الاضاءة الطبيعية في الخارج وذلك للحصول على نتائج مقاربة للواقع المراد دراسته. فكمية الضوء الطبيعي الواصل إلى سطح النافذة يحسب متأثرا بالموقع وبعض المدخلات المتعلقة بالمناخ كحالة السماء (صافية، غائمة، الغبار العالق في الجو، .....) وكمية الرطوبة. ولحساب الإضاءة الطبيعية تعتمد طرق الحساب على حساب الكميات القادمة من السماء ولا تأخذ في الحسبان كمية الضوء القادمة مباشرة مع أشعة الشمس وذلك باعتبار أن أشعة الشمس المباشرة من المفترض أن لا يسمح لها بالدخول من خلال النافذة في كثير من الأحيان وذلك للحرارة المصاحبة لها والأضرار المتعلقة بأشعة الشمس المباشرة. ومعظم برامج المحاكاة المتوفرة حاليا تستخدم نموذجين معتمدين من الهيئة الدولية للإضاءة لتوصيف استضاءة السماء، أحدهما لتوصيف استضاءة سماء غائمة كليا والأخر لتوصيف استضاءة سماء صافية من الغيوم. ونظرا لأن منطقة الدمام يمكن توصف بأنها ذات سماء صافية حيث أن ما يقارب من 70% أيام السنة هي أيام ذات سماء صافية [9] فسنركز في هذه الدراسة على النموذج المستخدم في برنامج المحاكاة لتوصيف استضاءة السماء الصافية ويعرف كالتالي [10-11]:

$$\frac{Lp}{Lz} = \frac{f(\xi)}{f(\frac{\pi}{2} - \gamma_s)} \quad \frac{\phi\ (\gamma)}{\phi\ (\frac{\pi}{2})}$$

$$f(\zeta) \qquad = 0.91 + 10 \exp(-3\,\zeta) + 0.45 \cos^2 \zeta$$

$$f(\frac{\pi}{2}-\gamma s) = 0.91 + 10 \exp\{-3(\frac{\pi}{2}-\gamma s)\} + 0.45 \cos^2(\frac{\pi}{2}-\gamma s)$$

$$\phi(\gamma) = 1 - \exp\left(\frac{-0.32}{\sin \gamma}\right)$$

$$\phi(\frac{\pi}{2}) = 0.27385$$

حيث أن:

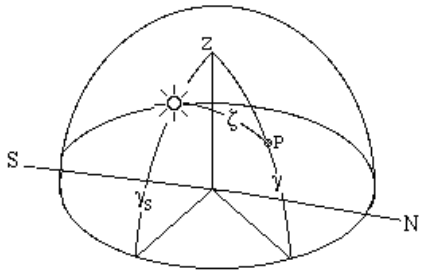
Lp = استضاءة السماء عند النقطة p

Lz = استضاءة السماء عند السمت (zenith)

ζ = الزاوية بين الشمس والنقطة في السماء المراد حساب استضاءتها (النقطة p)

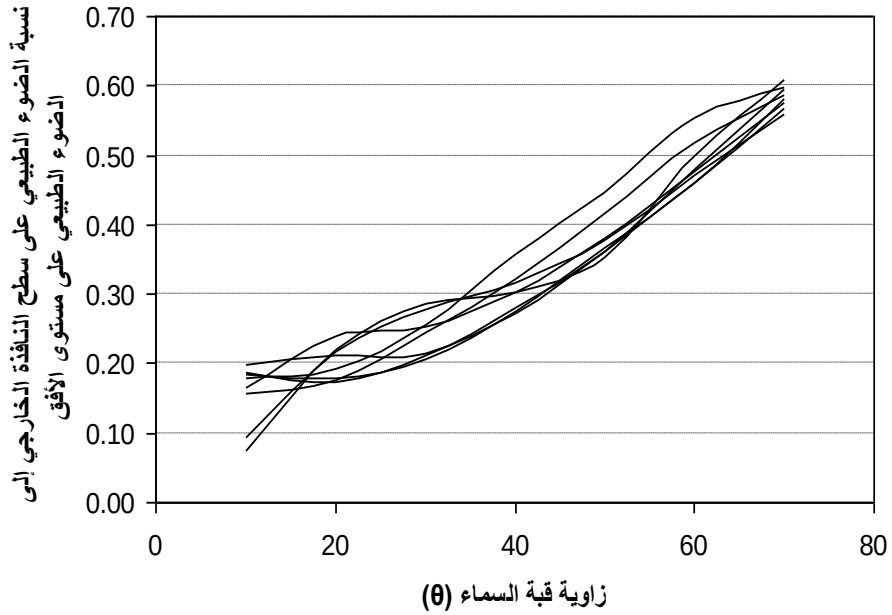
γ = زاوية ارتفاع النقطة p

γs = زاوية ارتفاع الشمس



الشكل (2) توضيح للزوايا المستخدمة في نموذج استضاءة السماء (المعادلة 6)

وهذا النموذج وكما هو واضح من المعادلات المستخدمة هو نموذج افتراضي يتأثر بموقع الشمس ولا يأخذ في الحسبان أي متغيرات مناخية كنسبة الرطوبة في الجو والغبار، لذا كان من المهم عند استخدام برنامج المحاكاة الحرص على إجراء الدراسة عندما كميات للاضاءة الطبيعية تكون مقاربة للكميات في الموقع محل الدراسة. لذا تم في هذه الجزء من الدراسة أخذ قياسات للضوء الطبيعي بمدينة الدمام الواقعة على ساحل الخليج العربي (خط عرض o5.26) في فصل الصيف (شهري 7 و 8 عام 2003)، وشملت القياسات إضاءة السماء على سطح أفقي مكشوف و سطح رأسي. ومن ثم تم حساب نسبة الضوء على السطح الرأسي إلى الضوء على السطح الأفقي (الشكل 3). وكان الهدف هو أن تكون نسبة الاضاءة الساقطة على سطح النافذة الرأسي إلى الإضاءة الساقطة على سطح أفقي مساوية تقريبا لتلك التي يحسبها برنامج المحاكاة.



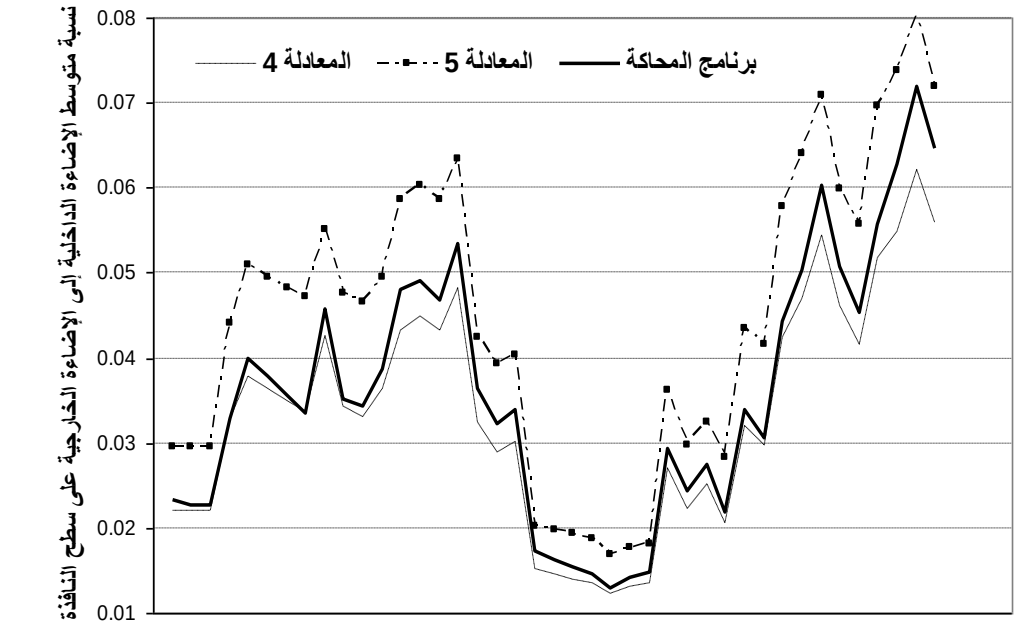
شكل (3) نسبة الإضاءة الطبيعية على مستوى رأسي إلى الإضاءة على سطح أفقي بناء على قياسات حقيقية بمدينة الدمام

دراسة مستوى الإضاءة الداخلية

تم في هذا الجزء من الدراسة استخدام برنامج المحاكاة " ليومن مايكرو–Lumen Mirco 2000 " وذلك لحساب الإضاءة الداخلية والخارجية نتيجة لعدة متغيرات شملت التالي:

- طول الغرفة يتراوح من 4 إلى 6 متر
- عرض الغرفة يتراوح من 3 إلى 5 متر
- ارتفاع الغرفة يتراوح من 2.5 إلى 3.5 متر
- مساحة النافذة من 1 إلى 5 متر مربع
- الخاصية الانعكاسية للسقف من0.6 إلى 0.8
- الخاصية الانعكاسية لأرضية الغرفة من0.1 إلى 0.2
- الخاصية الانعكاسية للجدران الداخلية من0.4 إلى 0.6

ويوضح الشكل (4) مقارنة بين المعادلتين4 و5 ومخرجات برنامج المحاكاة في حساب متوسط الإضاءة الداخلية منسوبا إلى كمية الإضاءة على مستوى النافذة الخارجي.



شكل

(4) نسبة متوسط الإضاءة الداخلية إلى الإضاءة الخارجية على مستوى النافذة باستخدام برنامج المحاكاة والمعادلتين 4و5

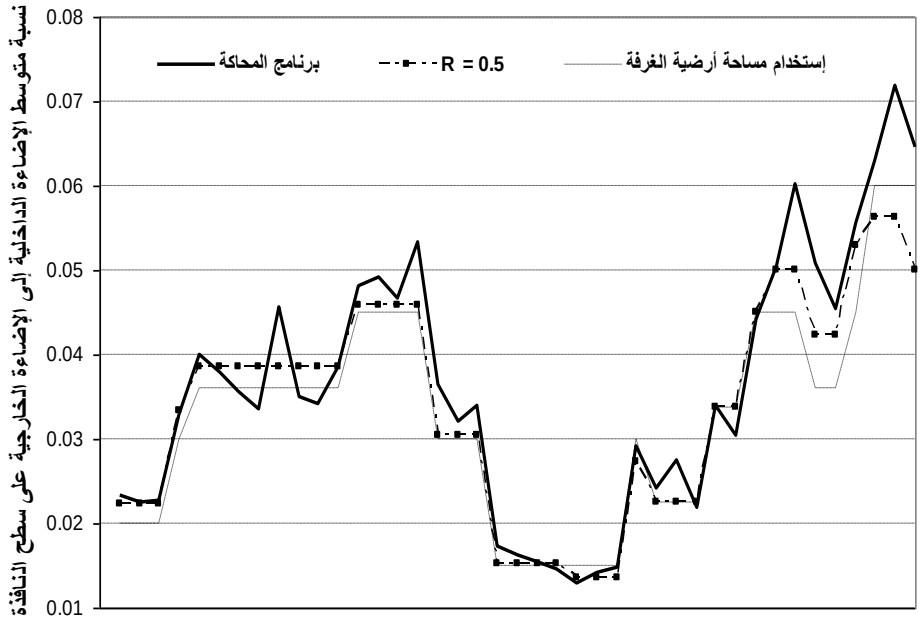
وتظهر النتائج التقارب الأكبر بين برنامج المحاكاة والمعادلة 4 في حساب مستوى الإضاءة الطبيعية داخل المبنى، مما يعطي ثقة أكبر في استخدام هذه المعادلة في المناطق المشمسة. وبالنظر إلى تفاصيل هذه المعادلة نلاحظ إمكانية تبسيطها والاستغناء عن حساب قيمة (R) بافتراضه أنه يساوي 0.5 في معظم الحالات وهذا ما يظهره لنا الجدول (1) فمع التغير في العديد من خواص الغرفة تظل قيمة (R) متقاربة. لذا يمكن صياغة المعادلة (4) بفرض أن (R) تساوي 0.5وتصبح كالتالي:

$$\text{ADF} = \frac{w\ \tau}{A\ (1-R)} = \frac{w\ \tau}{A\ (1-0.5)} = \frac{2\ w\ \tau}{A} \qquad (6)$$

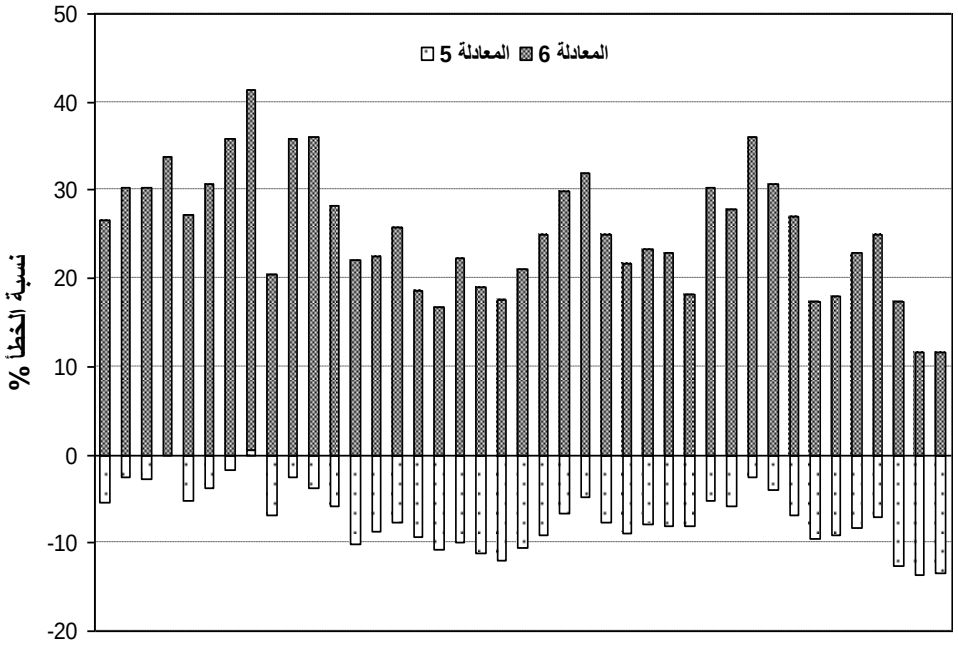
ولتبسيط عملية حساب مساحة جدران الغرفة الداخلية تم عمل مقارنة بين مساحة الغرفة ومساحة أرضية الغرفة من خلال الجدول (1) والذي يظهر أن مساحة جدران الغرفة من الممكن أن تفرض على أنها خمسة أضعاف مساحة أرضية الغرفة (Af):

$$\text{ADF} = \frac{w\ \tau}{A\ (1-R)} = \frac{w\ \tau}{A\ (1-0.5)} = \frac{2\ w\ \tau}{5\ Af} = \frac{w\ \tau}{2.5\ Af} \qquad (7)$$

ويوضح الشكل (5) مقارنة بين نتائج برنامج المحاكاة والمعادلتين 6 و7.



شكل (5) نسبة متوسط الإضاءة الداخلية إلى الإضاءة الخارجية على مستوى النافذة باستخدام برنامج المحاكاة والمعادلتين 6 و7

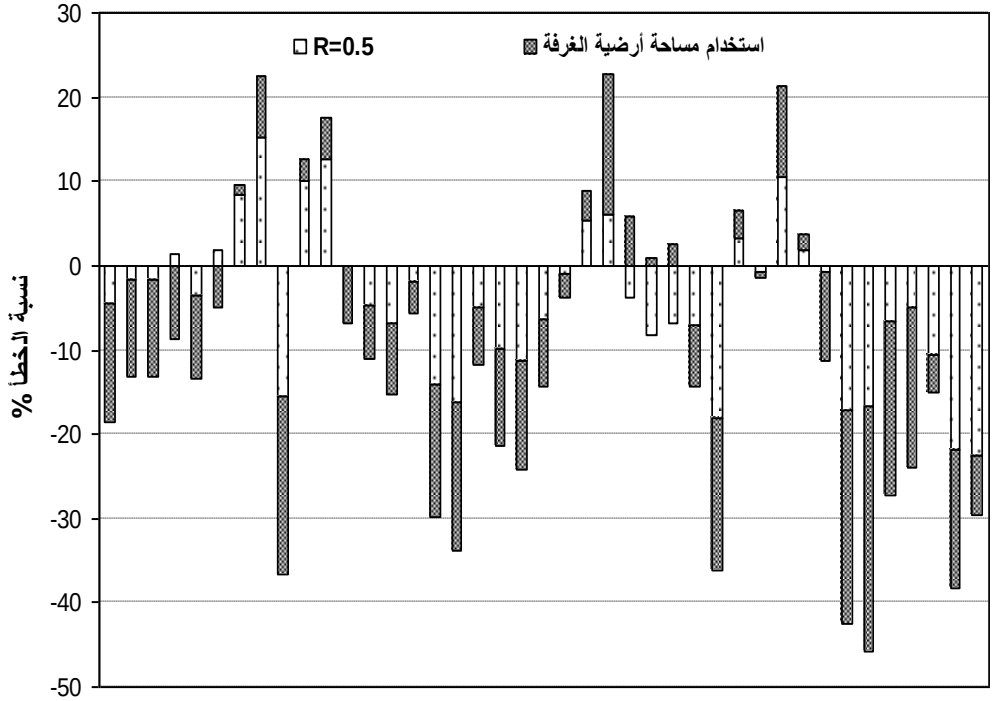


شكل (6) نسبة الخطأ والتي تحدث باستخدام استخدام المعادلتين 4 و5 مقارنة بنتائج برنامج المحاكاة

الجدول (1) أثر تغير قيمة انعكاسية الأسطح على متوسط انعكاسية كافة أسطح الغرفة(R) بالإضافة إلى العلاقة بين مساحة أرضية الغرفة والمساحة الكلية لأسطح الغرفة محل الدراسة

width of the room	depth of the room	height of the room	Reflectance of the ceiling	Reflectance of the floor	Reflectance of the walls	Area of all surfaces	R	Area of floor/ Area of all surfaces
3	6	2.5	0.8	0.2	0.5	81	0.50	0.22
3	5	2.5	0.8	0.2	0.5	70	0.50	0.21
3	5	2.5	0.7	0.2	0.5	70	0.48	0.21
3	5	2.5	0.6	0.2	0.5	70	0.46	0.21
3	5	2.5	0.8	0.2	0.4	70	0.45	0.21
3	5	2.5	0.8	0.1	0.4	70	0.42	0.21
3	5	2.5	0.8	0.1	0.5	70	0.48	0.21
3	4	2.5	0.8	0.1	0.5	59	0.48	0.20
3	4	2.5	0.8	0.2	0.5	59	0.50	0.20
3	4	2.5	0.7	0.2	0.5	59	0.48	0.20
3	4	2.5	0.7	0.2	0.6	59	0.54	0.20
3	4	2.5	0.7	0.2	0.5	59	0.48	0.20
3	4	2.5	0.8	0.2	0.5	59	0.50	0.20
3	4	2.5	0.7	0.2	0.5	59	0.48	0.20
3	4	2.5	0.6	0.2	0.5	59	0.46	0.20
3	4	2.5	0.5	0.2	0.5	59	0.44	0.20
3	4	3	0.5	0.2	0.5	66	0.45	0.18
3	4	3	0.7	0.2	0.5	66	0.48	0.18
3	4	3	0.8	0.2	0.5	66	0.50	0.18
4	4	3	0.8	0.2	0.5	80	0.50	0.20
4	4	3	0.8	0.2	0.6	80	0.56	0.20
4	4	3	0.6	0.2	0.5	80	0.46	0.20
4	4	3	0.7	0.2	0.5	80	0.48	0.20
4	4	3	0.5	0.2	0.5	80	0.44	0.20
4	4	2.5	0.7	0.2	0.5	72	0.48	0.22
4	4	2.5	0.8	0.15	0.6	72	0.54	0.22
4	5	2.5	0.8	0.1	0.6	85	0.53	0.24
4	5	2.5	0.8	0.1	0.5	85	0.48	0.24
4	5	2.5	0.8	0.15	0.5	85	0.49	0.24
3	3	2.5	0.8	0.2	0.5	48	0.50	0.19
3	3	2.5	0.8	0.2	0.6	48	0.56	0.19
3	3	3	0.8	0.15	0.6	54	0.56	0.17
3	3	3	0.8	0.2	0.6	54	0.56	0.17
5	4	3	0.8	0.2	0.6	94	0.56	0.21
5	4	2.6	0.8	0.2	0.6	86.8	0.55	0.23
5	5	3	0.8	0.2	0.6	110	0.55	0.23

وبالنسبة لاستخدام المعادلتين المبسطتين للمعادلة 4، فأظهرت النتائج أن استخدام مساحة أرضية الغرفة بدلا من استخدام مساحة كل الأسطح الداخلية للغرفة يحوي نسبة خطأ قد تصل إلى 40% وأن نسبة الخطأ بفرض معدل نسبة انعكاسية أسطح الغرفة (R) = 0.5 قد تصل إلى20% ولكنها في معظم الأحيان أقل من 15%. ومثل هذه النسبة من الخطأ هي إجمالا مقبولة في الحسابات الأولية للإضاءة الطبيعية، لذا من الممكن القول أن استخدام المعادلة رقم (6) في حساب الإضاءة الطبيعية في المناطق المشمسة وضمن نطاق الاستخدام المعتاد عليه للألوان في الأسطح الداخلية للمباني هو أمر مقبول ويسمح للمعماري بالحصول على تصور مبدئي لأثر مساحة الفتحات الزجاجية على كميات الإضاءة الطبيعية داخل المبنى.



شكل (7) نسبة الخطأ والتي تحدث باستخدام استخدام المعادلتين 6 و7 مقارنة بنتائج برنامج المحاكاة

الخلاصة

طرق حساب متوسط معامل الإضاءة الطبيعية داخل المباني هي آلية من الممكن أن تساعد المعماري على اختيار المساحات المناسبة للفتحات الزجاجية خصوصا في المراحل الأولى من التصميم. وتم من خلال هذا البحث اختبار عدة طرق طورت في دول شمال أوروبا للتأكد من مصداقيتها في حساب متوسط الإضاءة الطبيعية في مناطق مشمسة شبيهه أجواء مماثلة لأجواء المملكة العربية السعودية. تم من خلال هذه الدراسة استخدام برامج محاكاة متطور لحساب متوسط الإضاءة الداخلية في المباني،

ولتمثيل الإضاءة الطبيعية بصورة مقاربة لأجواء المملكة العربية السعودية تم عمل قياسات حقيقة لمستويات الإضاءة في مدينة الدمام وذلك لاستخدامها في برنامج المحاكاة. ولقد أظهرت نتائج الدراسة إمكانية استخدام معادلة لينز (المعادلة رقم 4 في هذه الدراسة) لحساب الإضاءة الطبيعية في المباني في المناطق المشمسة وبنسبة خطأ مقبولة نسبيا. وتم أيضا اختبار تبسيط لهذه المعادلة بفرض معدل لانعكاسية أسطح الغرفة الداخلية واختبار آخر باستخدام مساحة أرضية الغرفة بدلا من المساحة الكلية لجدران الغرفة الداخلية، وأظهرت النتائج أن فرض قيمة انعكاسية أسطح الغرفة لتساوي 0.5 (المعادلة 6) هو أمر ممكن في الحدود المعتادة للانعكاسية المستخدمة في أسطح المباني في المنطقة وأن نسبة الخطأ لا تتعدى 20% وهي في معظم الأحيان أقل من 15%. أما استخدام مساحة أرضية الغرفة (المعادلة 7) فهو يحوي احتمالية أكبر في الخطأ قد يصل إلى أكثر من 40%، لذا لا يوصى باستخدامها. ومن المهم الإشارة هنا إلى أن مفهوم الخطأ والذي يصل إلى 10 و20% في دراسات الإضاءة الطبيعية هو أمر مقبول نظرا لطبيعة التغير في كمية الإضاءة الطبيعية الخارجية ولصعوبة تمثيل كميات الضوء بصورة دقيقة عند انعكاسه من الأرض وأسطح المبنى الخارجية والداخلية. ولأن هذه النماذج تستخدم لتقديم تصور عن أداء الإضاءة الطبيعية داخل المبنى والتأكد من تحقيق حدود دنيا مقبولة من الإضاءة. أما في حال الرغبة في الحصول على نتائج دقيقة عن كميات الإضاءة الطبيعية لاستخدامها في دراسات مثل استهلاك الطاقة في المباني فإنه لابد في مثل هذه الحالة استخدام برامج المحاكاة المتطورة.

شكر وتقدير

يتقدم الباحث بالشكر والتقدير لجامعة الملك فيصل لدعمها هذا البحث بالمنحة البحثية رقم (3007)

الهوامش والمراجع:

1. U.S. Green Building Council - Leadership in Energy and Environmental Design (LEED), *Green Building Rating System for New Construction & Major Renovations, Version 2.2*. (2005)
2. (1970). Daylight: International Recommendations for the Calculation of Natural Daylight No. Publication CIE no.16 (E-3.2)). International Commission on Illumination.
3. Lighting for Buildings: Part 2. Code of Practice for daylighting. 1992. British Standards Institution.
4. Longmore J. Daylighting: A Current View. Light and Lighting 1975;68(3):113-119.
5. Lynes J. A. A Sequence for Daylighting Design. Lighting Research and Technology 1979;11(2):102-106.
6. Crisp V. H. S., Littlefair P. J. Average Daylight Factor Prediction. CIBSE National Lighting Conference. Cambridge: , 1984: 234-243.

7. Alshaibani, K. "A daylight factor for clear sky conditions", Lighting Research and Technology, pp. 192-196 ,1997
8. Cannon-Brookes, S. Simple scale models for daylighting design, an analysis of sources of error in illuminance prediction. Proceedings of the National Lighting Conference, University of Bath, pp. 147-156, 1996.
9. Presidency of Meteorology & Environment Protection, Surface Annual Climatological Report Dammam, 1992.
10. Standardization of Lumiance Distribution of Clear Skies. International Commission on Illumination Publication CIE no. 22 (TC-4.2). Paris: (1973).
11. Kittler R. Standardisation of Outdoor Conditions for the Calculation of Daylight Factor with Clear Skies. CIE Inter-Sessional Conference Sunlight in Buildings. University of Newcastle upon Tyne: Bouwcentrum International, Roterdam 1967, 1965: 273-285.