تصميم شبابيك الإضاءة الطبيعة في الفضاءآت المعمارية

د. يونس محمود محمد سليم
مدرس
قسم الهندسة المعمارية/ الجامعة التكنولوجية

المستخلص:

كان ضوء النهار ولايزال من أهم الوسائل التي يمكن أن تضع الإنسان في تماس مباشر مع بيئته وعمارتهِ. ويرتبط تصميم الشبابيك بشكل كبير مع اضاءة الفضاء الداخلي بجانبيه الكمي والنوعي.

عليه هدف هذا البحث الى تحديد التصميم المناسب للشبابيك في مدينة بغداد بما يحقق المستويات الملائمة للإضاءة الطبيعية داخل الفضاء، آخذين بالإعتبار حساب أثر تغير الخصائص التصميمية للعناصر الداخلية والخارجية للفضاء، علاوةً على مستوى الإضاءة الملائم لطبيعة المستخدمين والوظيفة التي تجري داخلهِ.

تتجه فكرة البحث في حساب المساحة الملائمة للشباك الذي هو مصدر إضاءة الفضاء بشكل مشابه الى الاساليب المتبعة في تحديد القدرة الملائمة للمصابيح الكهربائية في طرق تصميم الإضاءة الصناعية.

تمّ الإعتماد على برنامج (Microsoft Excel) في إجراء الحسابات المرتبطة بمتغيرات الجوانب البيئية والجوانب التصميمية للحصول على نتائج البحث، التي بدورها صنفت ضمن محورين:

الأول: إيجاد مساحة الشباك(أو مجموعة الشبابيك) الملائمة للفضاء، بعد أن تحدد قيم المتغيرات التصميمية والبيئية وبضمنها مستوى الإضاءة الملائم للفضاء.

الثاني: إيجاد معدل مستوى الإضاءة داخل الفضاء، بعد أن تحدد قيم المتغيرات التصميمية والبيئية وبضمنها مساحة الشباك.

توصل البحث الى مجموعة إستنتاجات إرتبطت بتحديد مساحة الشبابيك الملائمة للفضاءات في مدينة بغداد، وبالإمكانات المتاحة لتحسين كفاءة الإضاءة الطبيعية باختلاف وظائف الفضاء وخصائصه التصميمية.

DESIGN FOR DAYLIGHT WINDOWS IN ARCHITECTURAL SPACES

Dr. Younis Mahmood M. Saleem
Lecture
Architectural Department /
University Of Technology

Abstract:

The daylight was and still one of the most important means and could put human in touch with his environment and architecture.

The aim of this research is to determine the proper design of window's area which achieves suitable level of daylight in Architectural spaces of Baghdad city. This area of window relate to the change of interior and exterior design characteristic with addition to the suitable light level for users and their activities.

The research treats windows in the same way followed in methods of designing artificial lighting and determining power size of electric lamp.

Because it's difficult to compute all the variables relate to this subject manually, the research depends on the (Microsoft Excel Program) to solve all design and environmental variables relate to daylight. The results were caring in:

First: determining area of windows suitable to spaces, after supplying the values of designing variables and environmental variables including the lighting level suitable to space.

Second: estimate the average daylight level in the space, after supplying the values of designing variable and environmental variable including the area of windows.

The conclusions of this research relate to determine the suitable areas of windows in spaces according to their characteristics design, and the possibility to improve the performance efficient of daylight in architectural spaces.

1- المقدمة:

يعتمد المعماريون على إدخال الإضاءة الطبيعية الى مبانيهم للحصول على الضوء الكافي للمهام اليومية التي تجري في المبنى، وهذا يتطلب من المعماري ومن يعمل في حقل البناء أن يتعرف على قواعد الإضاءة الطبيعية وتصميم الشبابيك التي من المفترض أن تنعكس في هوية مبانيهم. فالإساءة في التعامل يمكن أن تتسبب في حدوث مستويات مرتفعة من الاضاءة وتكوين إبهار غير مريح، علاوةً على إكتساب حراري كبير في الفضاء قد يؤدي الى نفاذ الأشعة الشمسية المباشرة وتسبيبها آثاراً سلبية لقيم الأعمال الفنية والأثاث الداخلي المستخدم.

من هنا حددت المشكلة البحثية في صعوبة تحديد التصميم المناسب للشبابيك بما يوفر مستويات من الإضاءة الطبيعية الملائمة في الفضاءآت المعمارية. بهذا إتجه البحث الى تحديد التصميم الامثل للشبابيك بما يحقق المستويات الملائمة للإضاءة الطبيعية الداخلية.

ونأمل أن يكون هذا التقديم خدمة للمصممين المعماريين في العراق عامة وفي مدينة بغداد خاصة، في تقويم تصاميمهم المختلفة، بما يحقق إستجابة أكبر في جانب السيطرة على الإضاءة الطبيعية داخل الفضاء تنسجم مع مستوى الفعالية المؤدات فيهِ.

2-هدف البحث:

يهدف البحث الى تحديد التصميم المناسب للشبابيك بما يحقق المستويات الملائمة للإضاءة الطبيعية داخل الفضاء، آخذين بالاعتبار تحديد وقياس كمية الإضاءة الطبيعية الملائم نفاذها الى داخل الفضاءآت خلال الفتحات الشفافة ضمن غلاف المبنى، علاوة على كفاءة إنتشارها وتوزيعها الداخلي، وبما يناسب وظيفة الفضاء. عليه افترض البحث ان كفاءة اداء الاضاءة الطبيعية لاينحسر بتحديد مساحة الشبابيك فقط إذ ان إتجاه المبنى وهيئة شكله الخارجي وتقسيمات فضاءآته الداخلية وصولاً الى مواد إنهائه الداخلية والخارجية جميعاً إذا ما تمَّ إختيارها بصورة صحيحة يمكن أن يساهم في تحقيق مستويات كفوءة للإضاءة الطبيعية في الفضاءآت الداخلية.

3-منهجية البحث:

تتجه فكرة البحث الى التعامل مع الشباك بإعتبارهِ مصدر إضاءة الفضاء، حيث يتم التعامل معه بإسلوب مشابه لتصميم المصابيح الكهربائية بإعتماد الطريقة المسماة بـــ (طريقة اللومن في تصميم الإضاءة الصناعية LUMEN METHOD)[2].

فقد إستفاد البحث من طريقة اللومن وتصميمها للإضاءة الصناعية داخل الفضاء، واعتبر ان تحديد مساحة الشبابيك يستند على الموازنة بين كثافة الفيض الضوئي المسلط على الشباك وكمية الفيض المطلوبة للفضاء حسب وظيفته.

وحيث أُعتُبِر الشباك هو مصدر إضاءة الفضاء، سيتم بموجب ذلك حساب مقادير الإضاءة الطبيعية (الاضاءة السماوية المواجهة والإضاءة المنعكسة من سطح الأرض والمجاورات) الساقطة على السطح الخارجي للشباك. بعدها تحدد كفاءة الشباك في نفاذ الاضاءة الساقطة عليه الى داخل الفضاء، إستنادا الى مساحته ونوع الزجاج والإطار المستخدم. بعد نفوذ الإضاءة الى داخل الفضاء ستنتشر في نواحي الفضاء، وطبيعة إنتشارها تعتمد هي الاخرى على متغيرات تصميم الفضاء، كأبعاد الفضاء وتوزيع الشبابيك في جدرانه إضافة الى خصائص سطوح جدرانه الداخلية وسقفه التي تعمل على توليد إنعكاسات متكررة للضوء ينتج عنه تشتتهُ وإنتشاره في أنحاء الفضاء. وهكذا سيصل ضوء النهار الى أنحاء الفضاء بكمية ومواصفات يتم السيطرة عليها من قبل المصمم، وبمستوى يجري تحديده إستناداً الى وظيفة الفضاء ونوع المهمة البصرية المطلوبة.

بذلك فإن مراحل إنجاز مهام هذا البحث سيجري تحديدها وفق التسلسل الآتي:

1- تحديد كمية الإضاءة الطبيعية الخارجية الساقطة على الشبابيك.

2- إعتماداً على الخصائص التصميمية للشبابيك(نوع اللوح الزجاجي والاطار)، يتم تحديد كمية الإضاءة الطبيعية (الفيض الضوئي) التي ستنفذ (فعلياً) الى داخل الفضاء.

3- تحديد كمية الإضاءة الطبيعية(الفيض الضوئي) الملائم نفاذها الى داخل الفضاء، التي ستعتمد على:

أ- مستوى الإضاءة الملائم للفضاء، وفقاً لطبيعة إستخدام الفضاء ونوع المهمة البصرية التي تجري فيه.

ب- خصائص تصميم الفضاء الداخلي، التي تؤثر في طريقة توزيع وإنتشار الإضاءة الطبيعية. وهذه الخصائص تشمل:

أولاً- شكل الفضاء الداخلي، بضمنها تناسب أبعاده ومساحته.

ثانياً- مواقع توزيع الشبابيك ضمن جدران الفضاء.

ثالثاً- خصائص إنهاءآت أسطح الفضاء الداخلية(الجدران والسقف).

وبموجب مقارنة كمية الإضاءة الطبيعية التي ستنفذ فعلياً مع الكمية التي تلائم تصميم الفضاء يمكن تقدير كفاء تصميم الاضاءة الطبيعية للفضاء.

وسيتم في الفقرات التالية التطرق مواصفات الاضاءة الداخلية والى مراحل تصميمها.

4- مواصفات الإضاءة الطبيعية الداخلية:

للإضاءة الطبيعية أهمية كبيرة في العمارة، هدفها الأساس تكوين بيئة بصرية بأفضل ملائمة للوظائف والمهام التي تجري ضمنها سالكة الطريق الى تحقيق مايسمى بالراحة البصرية.

ولإنجاح التصميم المعماري في كافة جوانبه مع توفير الضوء الطبيعي، يجب على المصمم أن يستخدم الإضاءة الطبيعية أينما كان ذلك ضرورياً، وأن يتجنب التضاد الضوئي القوي والإبهار والكسب الحراري غير المرغوب به، وكذلك تجنب تحقيق مستويات إضاءة أعلى بكثير من المستويات المفضلة في الفضاء حسب طبيعة إستخدامه.

يمكن توضيح أهم مواصفات الإضاءة الطبيعية الداخلية الجيدة بالجوانب الآتية:

1-كمية الضوء:

يجب أن تكون كمية الفيض الضوئي النافذ ملائماً لمساحة الفضاء ووظيفته.

هناك عوامل متعددة تحدد كمية الاضاءة الطبيعية النافذة الى داخل الفضاء [1]، اهمها:

1. إتجاه الشباك
2. المساحة المزججة.
3. الخصائص الضوئية لمادة الزجاج.
4. اشكال ومواقع المصدات الخارجية.
5. معاملات الانعكاس الضوئي للاسطح الخارجية القريبة من الشباك.

2-توزيع الإضاءة وتجانسها:

يعتمد توزيع الاضاءة الطبيعية داخل الفضاء على تصاميم الشبابيك ومواقعها ضمن جدران الفضاء، كما يعتمد على شكل الفضاء وتناسب أبعاده، إضافة الى طبيعة السطوح العاكسة الداخلية والخارجية، والتي يكون لمهارة المصمم وخبرته في هذا المجال الأثر الأكبر في إختيارها.

هناك اختلافات اساسية في تصميم الاضاءة الطبيعية في المباني وفقاً لطبيعة تلك المباني، ففي المعامل والمدارس والمستشفيات، حيث تتطلب طبيعة الوظيفة من المستخدمين الحفاظ على مستوى شبه ثابت للإستنارة لأداء أعمالهم خلال فترة العمل، يكون من الامور الاساسية في الاضاءة الطبيعية محاولة تحقيق التوزيع المتجانس لمستويات الانارة المناسبة في جميع مساحة الفضاء المستخدم والإبتعاد عن مؤثرات البقع

الشمسية المباشرة في الفضاء. أما في المساكن فإن تغير مستوى الإستنارة الداخلية ووجود البقع الشمسية المسيطر عليها يمكن أن تعطي للمسكن الحيوية في تغير مستويات الإنارة عاكسة التغيرات في البيئة الخارجية ومتواصلة معها، وقد يتفاعل هذا مع ترتيب الاثاث وتوزيعهم وفقاً لتوزيع الاضاءة ورغبة المستخدم، وفي الحالات التي تتطلب مستويات انارة اكبر لانجاز بعض المهام، فيمكن الاقتراب اكثر من الشباك للحصول على الاضاءة المطلوبة أو الإستعانة بالإضاءة الإصطناعية.

3-خلو الإضاءة من الإبهار:

يجب تجنب حدوث الإبهار في الفضاء الداخلي، ويقصد بالإبهار: التضاد الضوئي القوي، أو أن الإضاءة تأتي من إتجاه غير صحيح. فالتضاد بين نصوع البيئة الخارجية المرئية من الشباك وبيئة الفضاء الداخلي(الأكثر ظلمة) قد يسبب الإبهار. كما ان ضوء الشمس المباشر أو ضوء الشمس المنعكس من الأسطح الناصعة والمشرقة يمكن أن يكون مزعجاً ويعيق النظر، مما يتطلب عدم السماح لهُ بالوصول الى حقل الرؤيا لمستخدمي المبنى. وللعمر تأثير في إحساس الشخص بالابهار، فعيون الاشخاص الكبار تكون حساسيتها للإبهار أكثر مقارنة بعيون الاشخاص اللذين هم في عمر الشباب.

5- تحديد كمية الإضاءة الطبيعية الخارجية الساقطة على الشبابيك:

تكمن الصعوبة الأساسية في التعامل مع الإضاءة الطبيعية في قياس التغير المستمر بقيم مظاهر هذه الإضاءة الكمية والنوعية، مع تغير الوقت والسنة والموقع والظروف البيئية الخارجية وبالأخص في المناطق ذات السماء الصاحية.

إن كمية الاضاءة الطبيعية الساقطة على الشبابيك تتأثر بـــ:

أ-قيم الإضاءة السماوية القادمة من قبة السماء:

وفي هذه الحالة ستختلف قيم الإضاءة بإختلاف إتجاه الشباك. إن هذه القيم من الإضاءة السماوية سوف لن تصل جميعها الى الشباك، فوجود بعض التراكيب المضافة الى الشباك كسمك الجدار المحيط بالشباك من الخارج ووجود الكاسرات الشمسية والمصدات الخارجية تعمل على منع جزءً من حصة الإضاءة السماوية للشباك من الوصول الى داخل الفضاء. وان كمية هذا المنع يعتمد بشكل أساس على كل من شكل الشباك وموقع المانعات ومقدار إمتدادها.

فمقدار مايصل الى الشباك فعلياً من إضاءة القبة السماوية هو: حصة الاضاءة السماوية المواجهة للشباك مطروحاً منها الإضاءة التي مُنعت بسبب وجود المصدات الخارجية.

ب-قيم الإضاءة المنعكسة من المصدات الخارجية ومن سطح الأرض المقابل للشباك:

فالمصدات الخارجية وسطح الارض المقابل للشباك التي سيسقط عليها إضاءة سماوية أو إضاءة شمسية مباشرة أو ينعكس إليها إضاءة من السطوح المجاورة، ستعمل نفسها على عكس جزءً من الإضاءة الساقطة عليها الى الشباك.

ان قيم الإضاءة المنعكسة ستضاف الى قيم الإضاءة السماوية الواصلة الى الشباك. وبجمع هاتين القيمتين سنحصل على قيم الإضاءة الطبيعية الكلية الساقطة على الشباك والنافذة الى الفضاء المعني.

لقد تمَّ في دراسة سابقة[3]، قياس كمية الاضاءة الطبيعية الخارجية الساقطة على الشبابيك. وذلك من خلال حساب شدة الإضاءة السماوية القادمة من قبة السماء المواجهة للشباك، (والموضحة قيمها في الجدول رقم 1) ثمّ طرحت منها نسبة ماتمّ منعه من الاضاءة السماوية بسبب وجود المصدات الخارجية حول الشباك بمختلف أشكالها ومواقعها. ثم اضيف إليها الاضاءة المنعكسة من هذه المصدات الخارجية، وأخيراً أُضيف اليها الاضاءة المنعكسة من سطح الأرض المقابل.

وبالاعتماد على تلك الدراسة تمكن هذا البحث من تحديد المعدلات الفصلية والسنوية للإضاءة الطبيعية الساقطة على الشبابيك، وإعطاء النتائج بوحدات اللوكس أو اللومن\م^2*. لقد وجد أنهُ يمكن في هذه المرحلة إعتماد نتائج تلك الدراسة، دون الحاجة لإعادة إجراء حسابات جديدة.

6- تحديد إعاقة الشباك لنفاذ الإضاءة:

إنّ الإضاءة الطبيعية الساقطة على السطح الخارجي للشباك (التي تم حسابها في الفقرة 5 السابقة) لاتنفذ جميعها الى داخل الفضاء، إذ تمتاز المواد الزجاجية للشبابيك بسماحها لنفاذ أجزاء فقط من طاقة الطيف الإشعاعي (الضوئي) الساقط عليها، بينما تمتص وتعكس بيقة الأجزاء الاخرى.

يتأثر مقدار الجزء النافذ من الإضاءة الى داخل الفضاء بثلاث عوامل رئيسة تعمل على التقليل من قيمته هي[4]:

1- معامل نفاذ الزجاج (T):

هو النسبة بين كمية الفيض الضوئي النافذ من الزجاج الى الفيض الضوئي الكلي الساقط عليه, وتعتمد قيمه على نوع الزجاج المستخدم وخواصه وتعدد طبقاته، الموضحة قيمه في جدول(2).

2- معاملات إطار الشباك (F):

وهو النسبة بين مساحة الزجاج الصافية الى مساحة الشباك الكلية بضمنها مساحة الاطار، جدول(3).

3- عامل الصيانة (M):

يمثل هذا العامل مقدار الفقدان بالإضاءة الناتج عن معدل فترات الصيانة والتنظيف الدوري للشبابيك، وتقل قيمتهُ الرقمية كلما كانت فترات التنظيف متباعدة، جدول(4)[4].

بذلك يمكن تحديد كمية الإضاءة النافذة خلال الشبابيك الى الفضاء الداخلي وفق الصيغة الآتية:

$$I_{win} = I_{wout} * (T * F * M) \quad .. .. (1)$$

حيث ان:

I_{win} = مقدار الإضاءة النافذة من الشباك الى داخل الفضاء.

I_{wout}= مقدار الإضاءة الساقطة على الشباك من الخارج.

7- مستويات الإضاءة الملائمة للفضاءآت الداخلية:

هناك مستويات من الإضاءة تعطي الشعور بالراحة البصرية، ترتبط خصيصاً بوظيفة الفضاء ونوع المهمة المرئية.

كما تتغير متطلبات مستويات الإضاءة مع تقدم العمر. وعموماً، فالأشخاص اللذين يكون عمرهم (60) عاماً يكونوا (على الأقل) بحاجة الى ضعف كمية الإضاءة التي يحتاجها الأشخاص اللذين هم بعمر (20) عاماً لأداء مهاماً بالدقة والوقت نفسيهما.

يوضح الجدول (5) المعدل المناسب لمستوى الإضاءة ضمن منطقة العمل لكل فضاء، وعلى مستوى العمل بإرتفاع (85) سم[5].

بعد إختيار مستوى الإضاءة المناسب للفضاء، يبرز دور الخصائص التصميمية الداخلية في طبيعة إنتشار الضوء الداخلي وإنعكاساته وبالتالي أثرها في مستوى الاضاءة المتحقق داخل الفضاء، ليتم بموجب تلك الخصائص حساب كمية الفيض الضوئي المطلوب للفضاء واللازم نفاذه من الشبابيك.

---

* اللوكس Lux: هو قيمة الوحدة الانارية او الاستنارية في نظام الوحدات الدولي (SI) ويساوي لومن واحد لكل متر مربع (Lm/m^2). أما اللومن فهو الوحدة الأساسية لقياس الفيض الضوئي.

8- الخصائص التصميمية للفضاء الداخلي:

إنَّ تشكيل هيئة الفضاء الداخلي ومواصفات إنهاءآته المستخدمة، تلعب دوراً أساسياً في تحديد طبيعة توزيع وإنتشار الإضاءة الطبيعية الداخلية. وسيتطلب هذا من البحث الكشف عن الجوانب التصميمية التي تؤثر في كفاءة إنتشار الإضاءة الطبيعية داخل الفضاء، وبالتالي التمكن من تحديد كميتها الملائم نفاذها خلال الشبابيك.

عند الإطلاع على عدد من الدراسات السابقة التي اهتمت بجانب تصميم الإضاءة الطبيعية في المناطق ذات السماء الصاحية. لم يجد البحث من الدراسات مايمكن الاستعانة به لقياس أثر الخصائص التصميمية للفضاء الداخلي في توزيع الإضاءة الطبيعية وإنتشارها.

لذا تم التوجه الى طرق تصميم الإضاءة الصناعية في الفضاءآت الداخلية، وبعد الاطلاع على تلك الطرق، تمَّ إختيار (طريقة اللومن) في تصميم الإضاءة الصناعية LUMEN METHOD[2]، بإعتبارها طريقة معتمدة عالمياً والأقرب الى توجه هذا البحث.

حيث سيعتبر البحث ان التعامل مع الشباك سيكون مشابه للتعامل مع المصابيح الكهربائية، آخذين بالإعتبار أن موقع الشباك في جدران الفضاء وإتجاهه العمودي مختلف عن مواقع المصابيح الكهربائية في سقف الفضاء بتوزيعها المتجانس، مما يتطلب تحديد علاقة جديدة تربط بين موقع الشباك وبين توزيع إضائتهِ على أجزاء الفضاء المختلفة.

ولغرض الإستفادة من طريقة تصميم الإضاءة الصناعية، ينبغي تحديد الخصائص التصميمية للفضاء المؤثرة في توزيع الإضاءة الداخلية، وبالتالي تحديد المقاييس الخاصة بكل منها. وأهم تلك الخصائص:

- طريقة إضاءة الشباك ونوع العاكس المستخدم.
- تناسب أبعاد الفضاء.
- معاملات الإنعكاس لأسطح الفضاء وسقفه.

جدول (1) المعدلات الشهرية لمستويات الاضاءة السماوية الساقطة على الشبابيك العمودية (لومن \ م^2)[3]

توجيه الشباك	Jan	Feb.	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
	الفترة الباردة		الفترة المعتدلة		الفترة الحارة					الفترة المعتدلة		الفترة الباردة
0	3103	3396	3823	4286	4989	5692	4989	4286	3824	3396	3103	2811
45	4111	4426	4867	5302	5916	6529	5916	5302	4867	4426	4111	3795
90	6986	7226	7482	7566	8124	8682	8124	7566	7482	7226	6986	6745
135	10417	10178	9771	9043	8133	7223	8133	9043	9772	10178	10417	10657
180	11921	11295	10473	9331	7969	6607	7969	9331	10473	11295	11921	12546
225	10417	10178	9771	9043	8133	7223	8133	9043	9772	10178	10417	10657
270	6986	7226	7482	7566	8124	8682	8124	7566	7482	7226	6986	6745
315	4111	4426	4867	5302	5916	6529	5916	5302	4867	4426	4111	3795

جدول (2) قيم معاملات النفاذية للزجاج[4]

نوع الزجاج	قيم معامل النفاذية (%)
زجاج صاف	86
لون برونزي	48
لون رصاصي	43
لون أخضر	73
لون أزرق باستلي	35
لون فضي ميتاليك عاكس	42
زجاج صاف مزدوج الطبقات	80

جدول (3) قيم معاملات الإطار[4]

نوع الإطار	قيم معامل الإطار (%)
شبابيك معدنية	0.80 – 0.85
شبابيك معدنية ضمن إطار خشبي	0.75
شبابيك خشبية	0.65 – 0.70

جدول (4) قيم معاملات الصيانة[4]

الموقع	استخدام الفضاء	
	استخدام غير صناعي أو صناعي نظيف	استخدام صناعي غير نظيفة
موقع غير صناعي	0.9	0.8
موقع صناعي غير نظيف	0.8	0.7

جدول (5) المستويات العامة للإضاءة الداخلية[5]

نوع الاضاءة التي تتطلبها الفعالية	مستويات الاضاءة (Lux)			تصنيف الإضاءة
	مهمة حرجة أو المستخدمون بعمر 55 سنة فما فوق	مهمة دقيقة او المستخدمون بعمر 40 -55 سنة	دليل IESNA*	
إضاءة ضعيفة جدا	50	40	30	A
اضاءة ضعيفة	100	75	50	B
إضاءة متوسطة	200	150	100	C
اضاءة مرتفعة	500	400	300	D

*Illuminating Engineering Society of North America : جمعية هندسية مختصة بشؤون الاضاءة[5].

- معامل الفضاء.
- الكفاءة الضوئية للفضاء.

وفيما يلي توضيحاً لتأثير هذه الخصائص في حسابات الفيض الضوئي اللازم لإضاءة الفضاء الداخلي.

7-1 طريقة إضاءة الشباك ونوع العاكس المستخدم:

يتجه البحث الى تمثيل أدائية الشباك في اضاءة الفضاء الداخلي من خلال مقارنته مع الطرق التصميمية للإضاءة الصناعية، فهناك عدة طرق لإضاءة الفضاء الداخلي تستخدم فيها وحدات إضاءة كهربائية متعددة تناسب كل طريقة المكان المطلوب إضاءتهِ. ويوضح الشكل (1) رسماً تمثيلياً لوحدات الإضاءة الصناعية في الحالات المختلفة وتوزيع شدة الإضاءة في كل حالة.

كما يستخدم لمعظم وحدات الإضاءة الصناعية عواكس لتوجيه الضوء المنبعث من المصدر الضوئي مع وجود بعض الفقد في الفيض الضوئي لهذا المصدر في مقابل ذلك التوجيه. لذلك تكون كفاءة العاكس دائماً أقل من واحد. يمكن الحصول على كفاءة العاكس لوحدات الإضاءة الصناعية بعمل إختبار للعاكس في مختبر متخصص، وفي المعتاد تعطى نتائج هذه الإختبارات من الشركات المنتجة لهذه العواكس.

وعند مقارنة طرق الإضاءة الصناعية بفتحات الشبابيك نجد أن الإضاءة الطبيعية النافذة من الشبابيك تنتشر بصورة مركزة في الأجزاء القريبة من الشباك وفي الإتجاهان العمودي والافقي. من جهة اخرى يعمل سمك الجدار بجزئيه الداخلي والخارجي حول الشباك كعاكسات تشتت الإضاءة الطبيعية. فإذا كانت الإضاءة السماوية القادمة من قبة السماء تتجه إضائتها الى أرضية الفضاء، فإن الحافة السفلى لعتبة الشباك تعمل على إنعكاس بعضاً من تلك الإضاءة وتوجيهها الى سقف الفضاء. وكذلك الحال مع الإضاءة المنعكسة من سطح الارض الخارجية المقابلة للشباك والمتجهة نحو سقف الفضاء، فالحافة العليا للشباك تعكس جزءً من تلك الاضاءة الى أرضية الفضاء، شكل(2).

بذلك فإنه سيتم في هذا البحث تحديد خصائص إضاءة الشباك من خلال مقارنتها بطرق الإضاءة الصناعية من الناحيتين الآتيتين:

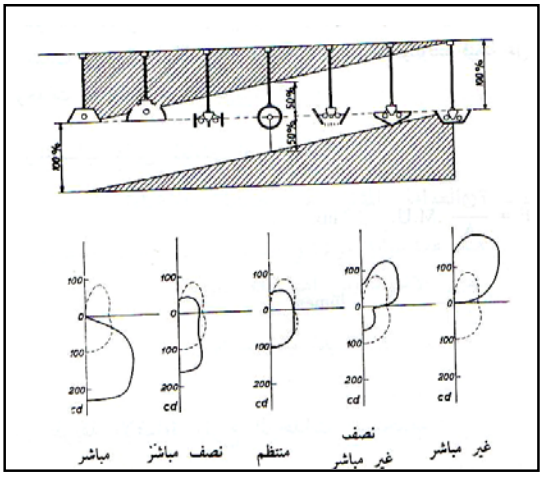
1. التوزيع العمودي لإضاءة الشباك: حيث إن الإضاءة الطبيعية النافذة من الشباك تتجه الى أرضية الفضاء وسقفه، لذا سيتم إعتبار أن الشباك يقترب في توزيع إنارته من المصابيح ذات التوزيع المنتظم. راجع الشكل(1).
2. كفاءة العاكس: عند إعتبارنا أن الحافة الداخلية للجدار تعمل كعواكس تغير وتوجه الإضاءة الطبيعية، فإن كفاءة هذه العواكس تعتمد على متغيرات عديدة يمكن أن نحدد أهمها بـــ:

أ- سمك الحافة الداخلية لفتحة الشباك: فكلما إزداد سمك الجدار حول فتحة الشباك بثبوت مساحة الشباك، ازداد تأثيره في عكس الاضاءة الى إتجاهات مختلفة.

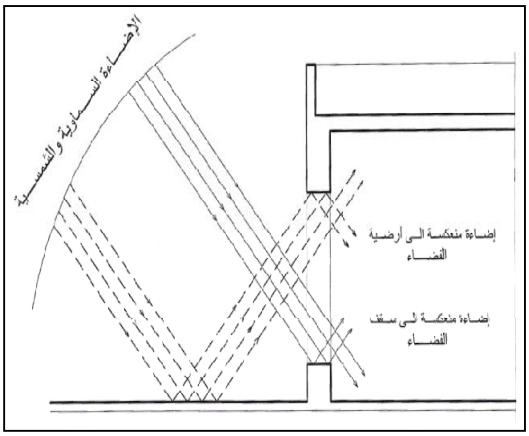
ب- إختلاف أهمية العاكس بتغير شكل الشباك: فالعاكسات العليا والسفلى للشبابيك الافقية تلعب دوراً أكبر في التوزيع العمودي للإضاءة مقارنة بالشبابيك ذات الشكل العمودي.

ج- معامل إنعكاس حافات فتحات الشبابيك وإطاراتها: ويعتمد معامل الإنعكاس على نوع مادة السطح ولونه.

إستناداً الى هذا فإن كفاءة العواكس حول الشبابيك تختلف وفقا لخصائص تصميم ذلك الشباك. ويقترح البحث أن تؤخذ الكفاءة (80%) لعموم أنواع الشبابيك، على أن تزداد هذه الكفاءة بالنسبة للشبابيك الكبيرة المساحة والموضوعة على الحافة الداخلية للجدار، في حين تقل هذه الكفاءة عند المساحات الصغيرة للشبابيك والموضوعة في منتصف الجدار أو على الحافة الخارجية منهُ.



شكل (1) رسم تمثيلي لوحدات الإضاءة في الحالات المختلفة مع منحني يبين توزيع شدة الإستضاءة عند كل حالة[8]



شكل (2) سمك الجدار يعمل كعاكسات تشتت جزءً من الإضاءة الطبيعية[الباحث].

7-2 تناسب أبعاد الفضاء:

ليس من السهولة تحديد عمق الفضاء الذي يمكن إضائتهُ بإعتماد الإضاءة الطبيعية، إذ يعتمد وصول الإضاءة الطبيعية الى أجزاء الفضاء على تناسب أبعاد ذلك الفضاء. فالفضاءآت المتشابه بتناسب الأبعاد وبمساحة الشبابيك وبجميع خصائصهم عدا عن الإختلاف في الحجم، سيكون لهم التوزيع ذاته للإضاءة الطبيعية داخلهم[6]، شكل(3). أما زيادة إرتفاع الفضاء(مع تثبيت بقية الأبعاد)، فإنها غالباً ما تؤدي الى جعل توزيع الاضاءة العلوية والإضاءة الجانبية أكثر توازناً في الفضاء الداخلي، شكل(4).

كما انهُ يمكن للشبابيك المرتفعة ان تحقق توزيعا متوازناً نسبياً للإضاءة الطبيعية، حيث يساعد قربها من السقف ذي الإنعكاسية العالية على نشر الإضاءة فوق مستوى العمل وعلى مساحة الفضاء[7].

7-3 معاملات الإنعكاس لأسطح وسقف الفضاء:

لطبيعة أسطح الفضاء الداخلي تأثيراً كبيراً في حسابات الإضاءة بسبب الإنعكاس الضوئي المتكرر على هذه الأسطح. وتتوقف معاملات الإنعكاس على نوع إنهاء السطح ولون الطلاء ودرجتهِ ونوعهِ. جدول(6).

7-4 معامل الفضاء:

تؤثر أبعاد الفضاء في كفاءة توزيع الإضاءة الداخلية. ومصطلح "معامل الفضاء" هو صورة تمثل ذلك التأثير. وتحسب قيمة معامل الفضاء من المعادلة الآتية[8]:

$$K = (0.8\ W + 0.2\ L) / D \quad \ldots\ldots (2)$$

حيث أن: K = معامل الفضاء

W = عرض الفضاء

L = طول الفضاء

D = المسافة بين المصدر الضوئي وموقع العمل.

يقصد بالقيمة (D) في طريقة الإضاءة الصناعية على انها (الإرتفاع الفعلي) ويساوي المسافة بين المصدر الضوئي ومستوى العمل الذي يقاس غالباً على إرتفاع (80 – 85) سم من سطح أرضية الفضاء.

أما في حسابات الإضاءة الطبيعية لهذا البحث، فسيعتمد في حساب قيمة (D) على أخذ معدل المسافة بين الشباك ومجموعة من النقاط بإرتفاع مستوى العمل [مؤلفة مـــن (8) نقاط موزعة في أركان الفضاء ومنتصف جدرانه، وعلى بعد مسافة 0.5 متر من الجدران]. حيث يتم أخذ أصغر مسافة بين كل نقطة واقرب شباك إليها، ثم يحسب معدل المسافات للنقاط الثمانية، ويعتبر هذا المعدل هو قيمة (D) وهي معدل المسافة بين المصدر الضوئي وموقع العمل•. شكل(5).

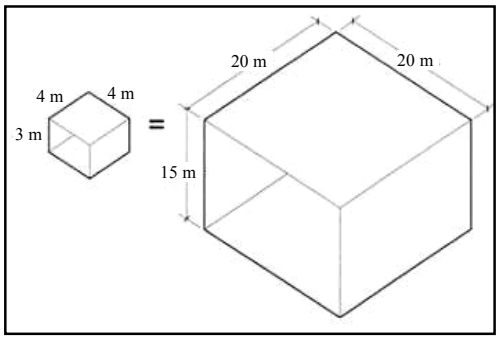
5-7 الكفاءة الضوئية للفضاء (η):

تمثل الكفاءة الضوئية للفضاء: النسبة بين كمية الضوء المفيد الذي يصل موقع العمل الى الضوء الكلي المنبعث من المصادر الضوئية في الفضاء. وتعتمد الكفاءة الضوئية للفضاء على مجمل الخصائص التصميمية للفضاء التي ذكرت في النقاط السابقة.

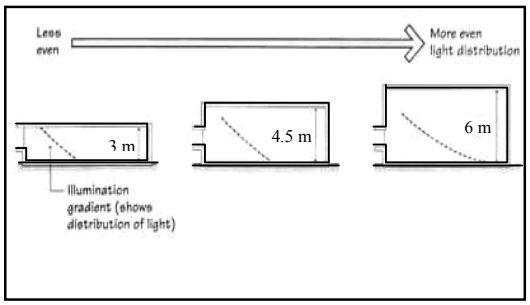
سيعتمد البحث على جداول خاصة لتحديد الكفاءة الضوئية للفضاء** (جدول 7). وفقا لقيمة معامل الفضاء(K)، بعد إختيار معاملات الإنعكاس للسقف والجدران. وتتراوح قيمها الواردة في الجدول بين(0.055 – 0.39).

بعد الحصول على قيمة الكفاءة الضوئية للفضاء(η)، يجري حساب كمية الفيض الضوئي (ø) (أو كمية الإضاءة اللازم نفاذها من الشبابيك مقاساً بوحدات اللومن) اللازم للحصول على مستوى إضاءة (E) (مقاساً بوحدات اللوكس)[إعتماداً على وظيفة الفضاء] ضمن مساحة الفضاء (A) (مقاساً بالمتر المربع). على النحو الآتي[7]:

$$Ø = (E * A) / \eta \quad .. .. (3)$$



شكل (3) الفضاءآت المتشابهة بالخصائص التصميمية والمختلفة بالحجم يكون لها التوزيع نفسه للإضاءة الداخلية[6]



شكل (4) أثر زيادة إرتفاع سقف الفضاء في توزيع الإضاءة الداخلية[6]

•أن أخذ معدل المسافة بين الشباك ونقاط الفضاء المختلفة وإعتمادها في حساب (معامل الفضاء -K)، لايعني ان توزيع الإضاءة سيكون متجانساً ضمن جميع مساحة الفضاء، فعادةً ما تكون الأجزاء القريبة من الشباك ذات مستويات عالية من الإضاءة والأجزاء البعيدة ذات مستويات إضاءة منخفضة. الا انهُ في هذا البحث سيتم التعامل مع توزيع الاضاءة الطبيعية داخل الفضاء بحساب معدل مستويات الاضاءة الطبيعية في عموم مساحة الفضاء للأجزاء القريبة والبعيدة من الشباك.

** تُعتمد هذه الجداول بالأساس في طريقة اللومن لتصميم الإضاءة الصناعية، وسيتم إعتمادها في هذا البحث بعد التعديلات التي اجريت على قياس متغيراتها بما يناسب تصميم الإضاءة الطبيعية.

بعد تحديد كمية الفيض الضوئي (ø) اللازم نفاذه من الشباك، تجري المرحلة التالية وهي تقويم التصميم: يتم فيها حساب كمية الفيض الضوئي الفعلي النافذ خلال شبابيك الفضاء، وبموجب المقارنة بين النتيجتين(كمية الفيض الضوئي الفعلي النافذ مع كمية الفيض الضوئي اللازم للفضاء) تحدد كفاءة تصميم الاضاءة الطبيعية، ولغرض مقاربة النتيجتان (عند ظهور إختلاف كبير بينهما) ينبغي إجراء بعض التعديلات على خصائص الشباك أو بعض خصائص الفضاء للسيطرة على قيم الإضاءة الطبيعية النافذة وجعلها قريبة من الكمية اللازمة لتحقيق مستوى الإضاءة الملائم للفضاء.

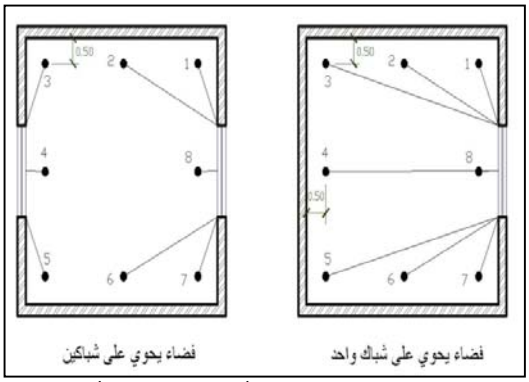
وحيث ان مجموعة الحسابات تكون مرتبطة مع بعضها، إبتداءً من قياس مقدار الإضاءة الخارجية الساقطة على الشباك، مروراً بجميع المتغيرات المؤثرة في نفاذ وإنتشار الإضاءة داخل الفضاء، تمّ الإعتماد على برنامج (Microsoft Excel) في إجراء الحسابات المرتبطة بجميع قيم هذه المتغيرات، ومن ثم تطبيقها على عدد من نماذج لفضاءآت إختبارية لمدينة بغداد يحدد خلالها التصميم المناسب للشبابيك.

9- *التطبيق:*

للتوصل الى تحديد مساحات الشبابيك الملائمة لتوفير الإضاءة النهارية داخل الفضاءآت المعمارية بما يناسب وظيفة الفضاء وتصميمهِ، تم في هذه المرحلة ومن خلال إعتماد برنامج (Microsoft Excel) قياس مجموعة من الحالات الإختبارية لتصاميم الشبابيك والفضاءآت المعمارية. توصل خلالها البحث الى مجموعة من النتائج تمت صياغتها بهيئة رسوم ومخططات.

جدول(6) معاملات الإنعكاس لأسطح الفضاء وسقفه[7].

لون السطح	معامل الإنعكاس (R%)
أبيض، دهان زيتي	80 - 85
أبيض (جديد)	82 - 89
أبيض (قديم)	75 - 85
احمر مصفر	49 - 66
عاج	73 - 78
رمادي	17 - 63
أصفر	61 - 75
اسمر مصفر	30 - 40
أخضر فاتح	48 - 75
أخضر غامق	11 - 25
ازرق فاتح	34 - 61
أحمر فاتح	36 - 61



شكل (5) توزيع ثمانية نقاط في أجزاء الفضاء ثم أخذ معدل بعدها عن الشباك(D) لغرض حساب قيمة معامل الفضاء(K)[الباحث].

جدول (7) قيم الكفاءة الضوئية[8].

معامل إنعكاس السقف		70			50			30		
معامل إنعكاس الجدران		50	30	10	50	30	10	50	30	10
طريقة الإضاءة	k	η الكفاية الضوئية								
متشتر بانتظام	1,0	0,13	0,10	0,081	0.12	0,09	0,072	0.062	0,056	0,055
	1,2	0,15	0,12	0,10	0.13	0,11	0,091	0,076	0,072	0.069
	1.5	0,19	0,15	0,13	0.16	0,13	0,12	0.10	0,093	0.090
	2,0	0,23	0,19	0,17	0,19	0,17	0,14	0.12	0,12	0.12
	2,5	0,25	0,22	0,19	0.21	0,19	0,17	0.14	0,14	0.13
	3	0,27	0,24	0,22	0,24	0,21	0,19	0.16	0,16	0.15
	4	0,31	0,28	0,25	0,26	0,25	0,22	0.19	0,19	0.18
	5	0,33	0,30	0,28	0.29	0,26	0,25	0.21	0,21	0.21
	6	0,35	0,32	0,30	0,30	0,28	0,26	0.23	0,23	0.22
	8	0,37	0,35	0,33	0,33	0,31	0,29	0,25	0,25	0,25
	10	0,39	0,37	0,35	0,34	0,33	0,31	0,27	0,27	0,27

10- النتائج:

لغرض تحديد الخصائص التصميمية للشبابيك والفضاءآت المعمارية الملائمة لتحقيق السيطرة على مستويات الإضاءة الطبيعية الداخلية، تم تقييم عدداً من التصاميم للفضاءات المعمارية* وتقسيم النتائج التي توصل إليها هذا البحث الى المحورين الآتيين:

المحور الأول: إيجاد مساحة الشباك الملائم للفضاء.

تم فيه تناول الجوانب الآتية:

أولاً- العلاقة بين مساحة الفضاء المعماري ومساحة الشبابيك الملائمة له:

هناك العديد من المتغيرات التصميمية يمكن أن تؤثر في تحديد مستويات الإضاءة الطبيعية في الفضاءآت المعمارية، ولغرض تبسيط النتائج وسهولة قراءتها سيتم تحييد جميع قيم المتغيرات عدا التي سيتم إجراء المقارنة بينها.

وفي هذه النتائج سيتم المقارنة بين تغير مساحة الفضاء وأثر ذلك في تغير مساحة الشباك الملائمة له. الجدول الآتي:

مساحة الفضاء ($م^2$)	مساحة الشباك الملائمة ($م^2$)	نسبة مساحة الشباك الى مساحة الفضاء (%)
2	0.24	11.83%
10	0.92	9.24%
20	1.73	8.66%
30	2.52	8.41%
40	3.31	8.27%
50	4.08	8.17%
60	4.86	8.09%
70	5.64	8.05%
80	6.42	8.02%

حيث نجد أن مساحة الشباك تقل نسبتها كلما إزدادت مساحة الفضاء.

تم الحصول على هذه النتائج، بتثبيت المواصفات الآتية للفضاء المعماري:

- الفضاء ذو شكل مربع، (أي طول الفضاء يساوي عرضه).
- الشباك الذي تم تحديده ذو شكل مربع.
- مستوى الإضاءة الداخلية للفضاء (100) لوكس.
- سمك الجزء الخارجي للجدار حول الشباك (15) سم، ذو إنعكاسية (50%).
- لم يتم إستخدام أي كاسرات شمسية مضافة الى الشباك.
- يتجه الشباك الى الشرق.
- إمتداد الأرض المقابلة للشباك (2) متر، ولسطحها معمل إنعكاس (50%).
- قيم معامل إنعكاس جدران الفضاء (50%)، وسقف الفضاء (70%).

ثانياً- أثر توجيه الفضاء في مساحة الشبابيك الملائمة له:

نظراً لتغير شدة الإضاءة الطبيعية الخارجية الساقطة على الشبابيك عند تغير التوجيه ، فإن ذلك سينعكس على تحديد مساحة الشبابيك الملائمة للفضاءات الداخلية. والتي يمكن توضيحها بالجدول الآتي:

---

* ان الاحتمالات الممكنة لتصميم الشبابيك وتوزيعها ضمن جدران الفضاءآت المختلفة في أشكالها ومساحاتها ووظائفها، هي حالات واسعة ولايمكن حصرها في تصاميم محددة. الا ان البحث حاول في هذا التطبيق تغطية أوسع مدى من الاحتمالات التصميمية المختلفة ليتمكن بعد ذلك من تعميم نتائجه على حالات تصميمية مقاربة.

توجيه الفضاء	مستوى الإضاءة في الفضاء (لوكس)					
	250	200	150	100	50	25
	نسبة المساحة الملائمة للشباك الى مساحة الفضاء (%)*					
N (0)	38.25	31.11	23.82	16.38	8.67	4.63
22.5 337.5	34.16	27.76	21.24	14.61	7.74	4.14
45 315	27.28	22.15	16.97	11.69	6.22	3.35
67.5 292.5	23.99	19.49	14.95	10.31	5.50	2.97
E (90) W(270)	19.64	16.01	12.31	8.52	4.58	2.50
112.5 247.5	18.08	14.74	11.34	7.85	4.22	2.31
135 225	16.76	13.66	10.50	7.27	3.91	2.14
157.5 202.5	15.10	12.31	9.46	6.55	3.53	1.94
S (180)	14.51	11.82	9.09	6.29	3.39	1.87

* تم إعتماد فضاء مربع الشكل بمساحة (25) متراً مربعاً.
وبمواصفات الفقرة السابقة.

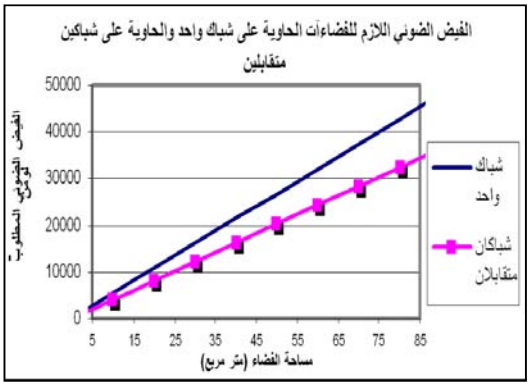
نجد ان مساحة الشباك تزداد بنسبة (90%) تقريباً عند زيادة مستوى الإضاءة في الفضاء الى الضعف.

ثالثاً– المقارنة بين إحتواء الفضاء على شباك واحدٍ وبين إحتوائه على شباكين متقابلين:

تم قياس كمية الفيض الضوئي اللازم ومساحة الشبابيك الملائمة للفضاء في حالتين: إحداهما عند إحتواء الفضاء على شباك واحد يقع في منتصف أحد جدرانه، والاخرى عند إحتواء الفضاء على شباكين يقعان في جدارين متقابلين. الجدول والمخطط الآتيان يوضحان نتائج المقارنة.

مساحة الفضاء ($م^2$)*	فضاء يحوي على شباك واحد		فضاء يحوي على شباكين متقابلين	
	الفيض الضوئي اللازم (لومن)	مساحة الشباك كنسبة من مساحة الفضاء	الفيض الضوئي اللازم (لومن)	مساحة الشباكان كنسبة من مساحة الفضاء
2	1059	11.83%	785	11.20%
10	5335	9.24%	3997	7.92%
20	10689	8.66%	8030	7.19%
30	16047	8.41%	12069	6.87%
40	21406	8.27%	16112	6.69%
50	26766	8.17%	20156	6.57%
60	32127	8.09%	24202	6.47%
70	37486	8.05%	28249	6.40%
80	42846	8.02%	32297	6.35%

* تم إعتماد فضاء مربع الشكل، تتجه جدرانه نحو الشرق والغرب. وبتحقيق مستوى إضاءة قدره (100) لوكس.

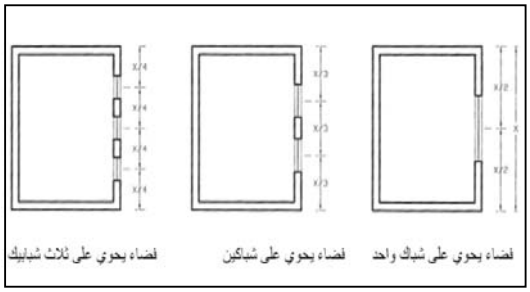


يلاحظ انه عند استخدام أكثر من شباك في الفضاء، ان كمية الفيض الضوئي اللازم لتحقيق المستوى نفسه من الاضاءة تكون اقل بسبب حصول تجانس أعلى في توزيع الاضاءة الداخلية (اي تحقيق استفادة اعلى من كمية الفيض الضوئي النافذ الى الفضاء).

رابعاً– المقارنة بين إحتواء الفضاء على شباك واحد وبين تقسيم الشباك الى مجموعة شبابيك تقع في الجدار نفسه:

تتم المقارنة بين مساحات الشبابيك التي يتطلبها الفضاء، عند كون الفضاء يحوي على شباك

واحد، وعند كون الفضاء يحوي على شباكين أو ثلاث شبابيك توزع ضمن مساحة الجدار نفسه. الشكل والجدول الآتيان يوضحان نتائج المقارنة:



مساحة الفضاء ($م^2$)	شباك واحد		شباكان في جدار واحد		ثلاث شبابيك في جدار واحد	
	الفيض الضوئي الازم (لومن)	مساحة الشباك كنسبة من مساحة الفضاء	الفيض الضوئي الازم (لومن)	مساحة الشباكان كنسبة من مساحة الفضاء	الفيض الضوئي الازم (لومن)	مساحة الشبابيك كنسبة من مساحة الفضاء
2	1062	10.81%	1020	11.87%	993	12.74%
10	5337	9.10%	5134	9.33%	4988	9.53%
20	10687	8.74%	10284	8.79%	9986	8.85%
30	16038	8.58%	15436	8.56%	14986	8.56%
40	21390	8.49%	20589	8.43%	19987	8.39%
50	26743	8.43%	25742	8.34%	24989	8.28%
60	32097	8.38%	30896	8.28%	29991	8.20%
70	37449	8.36%	36051	8.23%	34993	8.14%
80	42801	8.34%	41206	8.19%	39996	8.09%

نجد من الجدول ان كمية الفيض الضوئي اللازم للفضاء ستقل قيمها جزئياً عند تقسيم الشباك الى مجموعة شبابيك تقع في الجدار نفسه.

المحور الثاني: إيجاد مستوى الإضاءة داخل الفضاء:

يشمل هذا المحور تحديد أثر تغير شكل الفضاء المعماري(تناسب أبعاده) في مستوى الإضاءة المتحقق فيه.

إن تغير نسب أبعاد الفضاء (الطول والعرض) يؤثر في طبيعة إنتشار الإضاءة الطبيعية وتوزيعها داخلهُ. وعند تثبيت مساحة الشباك بنسبة (20%) من مساحة الفضاء المعماري البالغ (30 $م^2$) أي أن تكون مساحة الشباك (6 $م^2$) (بابعاد:2.45م*2.45م)، يمكن توضيح إختلاف مستويات الاضاءة الداخلية المتحققة عند تغير شكل الفضاء في الجدول الآتي:

تناسب أبعاد الفضاء (X) : (Y)	شكل الفضاء وموقع الشباك	الكفاءة الضوئية للفضاء (%)	مستوى الإضاءة المتحقق (لوكس)
3 : 1		13.99	173
2 : 1		15.12	187
3 : 2		16.46	204
1 : 1		18.63	231
2 : 3		18.34	227
1 : 2		17.79	220
1 : 3		16.63	206

11-الإستنتاجات:

يمكن بلورة أهم إستنتاجات البحث بالمحورين الآتيين:

أولاً: مساحة الشبابيك الملائمة للفضاءآت:

إن لكل فضاء معماري خصوصيته في تحديد مساحة الشبابيك الملائمة لهُ، تعتمد على العديد من الجوانب التصميمية والبيئية للمشروع. وبصورة عامة فإن مساحة الشبابيك الملائمة لوظيفة الفضاء تقل نسبتها مقارنة بمساحة الفضاء (مع المحافظة على مستوى الاضاءة الداخلية) في الحالات الآتية:

1. عند زيادة مساحة الفضاء.
2. عند حدوث التقارب في نسب أبعاد الفضاء.

3. عند زيادة إرتفاع الشباك.
4. عند زيادة إرتفاع السقف.
5. عند إقتراب توجيه الشباك من الجهة الجنوبية.

ثانياً: تحسين كفاءة الإضاءة الطبيعية في الفضاءآت المعمارية:

يمكن للمعماري توظيف مجموعة من الخصائص التصميمية للفضاء الداخلي تساعده في زيادة كفاءة أداء جانب الإضاءة الطبيعية. وأهم تلك الخصائص:

أ- شكل الفضاء: كلما تمكن المصمم المعماري من جعل فضائه المصمم يقترب من الشكل المربع أصبح توزيع الاضاءة الطبيعية بداخله أكثر توازناً، مما يزيد من كفاءة أدائه للإضاءة. وفي حالة تطلب وظيفة الفضاء ان يكون شكله ذي استطالة، فيكون من الملائم وضع الشباك في أحد الأضلاع الطويلة للفضاء(راجع الجدول في المحور الثاني من النتائج).

ب- الاعتماد على أكثر من جدار لإضاءة الفضاء: بإنتشار الشبابيك ضمن جدارين أو أكثر من جدران الفضاء، يقل معدل المسافة بين الشبابيك ونقاط الفضاء المختلفة مما يؤدي الى زيادة كفاءة الفضاء في جانب الإضاءة الطبيعية، وبالتالي الحاجة الى تزويد الفضاء بكمية أقل من الفيض الضوئي لتحقيق المستوى نفسهُ من الإضاءة الطبيعية(راجع الجدول في الفقرة – ثالثاً من المحور الاول للنتائج).

ج- تقسيم مساحة الشباك الى مجموعة شبابيك ضمن الجدار نفسه: عند إحتواء الفضاء على جدار واحد معرض للبيئة الخارجية، يمكن إستخدام عدد من الشبابيك ضمن ذلك الجدار بدلاً من شباك واحد لتحقيق توزيع أفضل للإضاءة الطبيعية الداخلية وبالتالي زيادة كفاءة إضاءة الفضاء (راجع الجدول في الفقرة – رابعاً من المحور الاول للنتائج).

د- توزيع الشبابيك على جدران الفضاء: تكون الأفضلية في توزيع الشبابيك على جدران الفضاء بالتسلسل الآتي:

- توزيع الشبابيك على جميع جدران الفضاء.
- توزيع الشبابيك على جدارين متقابلين.
- توزيع الشبابيك على جدارين متجاورين.
- أستخدام أكثر من شباك في أحد الجدران.
- وضع الشباك في منتصف الجدار.

12- المصادر:

رتبت المصادر حسب تسلسل ورودها في المتن.

1- Hopkinson, R.G., "Daylighting", Pitman Press, Great Britain, 1966.

2- بدران، ابراهيم وأونك، أديت، "دليل هندسةالأضاءة"، المركز القومي للإستشارات الهندسية والمعمارية، بغداد، 1976 م.

3- محمد سليم، يونس محمود، "اثر العناصر التصميمية الخارجية في تحديد مستويات الإضاءة الطبيعية الساقطة على الشبابيك"، المجلة العراقية للهندسة المعمارية، السنة الرابعة، العددان الثاني والثالث عشر، صفحة:128-142، بغداد، 2008م.

4- Szokolay, S.V., "Environmental Science Handbook", Lancaster, England, 1980.

5- Gary Steffy, "Architectural Lighting Design", Second Edition, John Wiley & sons, inc., USA,2002.

6- Egan, M. David & Olgyay, Victor, "Architectural Lighting" Second Edition, Mc Graw-Hill, New York, 2002

7- Egan, M. David, "Concepts in Architectural Lighting", McGraw Hill, USA, 1983.

8- حمدي، علي رفعت، "التمديدات الكهربائية في المباني وهندسة الإضاءة" دار الراتب الجامعية، بيروت، لبنان، 1980م.