



# البحوث العلمية

## تصميم شبابيك الإضاءة الطبيعية في الفضاءات 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 وعمارته. ويرتبط تصميم الشبابيك بشكل كبير مع اضاءة الفضاء الداخلي بجانبه 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، علاوة على مستوى الإضاءة الملائم لطبيعة المستخدمين والوظيفة التي تجري داخله. نتجه 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 الاعتماد على برنامج (Microsoft Excel) في إجراء الحسابات المرتبطة بمتغيرات الجوانب البيئية والجوانب التصميمية للحصول على نتائج البحث، التي بدورها صنفتمت 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.

والخارجية جميعاً إذا ما تمَّ إختيارها بصورة صحيحة يمكن أن يساهم في تحقيق مستويات كفاءة للإضاءة الطبيعية في الفضاءات الداخلية.

### 3- منهجية البحث:

تتجه فكرة البحث الى التعامل مع الشباك باعتبارها مصدر إضاءة الفضاء، حيث يتم التعامل معه بأسلوب مشابه لتصميم المصابيح الكهربائية بإعتماد الطريقة المسماة ب (طريقة اللومن في تصميم الإضاءة الصناعية LUMEN METHOD)<sup>[2]</sup>.

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

وحيث أُعتبر الشباك هو مصدر إضاءة الفضاء، سيتم بموجب ذلك حساب مقادير الإضاءة الطبيعية (الإضاءة السماوية المواجهة والإضاءة المنعكسة من سطح الأرض والمجاورات) الساقطة على السطح الخارجي للشباك. بعدها تحدد كفاءة الشباك في نفاذ الإضاءة الساقطة عليه الى داخل الفضاء، إستنادا الى مساحته ونوع الزجاج والإطار المستخدم. بعد نفوذ الإضاءة الى داخل الفضاء ستننتشر في نواحي الفضاء، وطبيعة إنتشارها تعتمد هي الاخرى على متغيرات تصميم الفضاء، كأبعاد الفضاء وتوزيع الشبايك في جدرانه إضافة الى خصائص سطوح جدرانه الداخلية وسقفه التي تعمل على توليد إنعكاسات متكررة للضوء ينتج عنه تشتتة 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- 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 الشبايك التي من المفترض أن تنعكس في هوية مبانيهم. فالإضاءة في التعامل يمكن أن تتسبب في حدوث مستويات مرتفعة من الإضاءة وتكوين إبهار غير مريح، علاوةً على إكتساب حراري كبير في الفضاء قد يؤدي الى نفاذ الأشعة الشمسية المباشرة وتسببها آثاراً سلبية لقيم الأعمال الفنية والأثاث الداخلي المستخدم.

من هنا حددت المشكلة البحثية في صعوبة تحديد التصميم المناسب للشبايك بما يوفر مستويات من الإضاءة الطبيعية الملائمة في الفضاءات المعمارية. بهذا إتجه البحث الى تحديد التصميم الأمثل للشبايك 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 تتسجم مع مستوى الفعالية المؤدات فيه.

### 2- هدف البحث:

يهدف البحث الى تحديد التصميم المناسب للشبايك بما يحقق المستويات الملائمة للإضاءة الطبيعية داخل الفضاء، آخذين بالاعتبار تحديد وقياس كمية الإضاءة الطبيعية الملائم نفاذها الى داخل الفضاءات خلال الفتحات الشفافة ضمن غلاف المبنى، علاوة على كفاءة إنتشارها وتوزيعها الداخلي، وبما يناسب وظيفة الفضاء. عليه افترض البحث ان كفاءة اداء الإضاءة الطبيعية لاينحصر بتحديد مساحة الشبايك فقط إذ ان إتجاه المبنى وهبئة شكله الخارجي وتقسيمات فضاءته الداخلية وصولاً الى مواد إنهائه الداخلية

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 استخدامه.

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 الإضاءة الطبيعية النافذة الى داخل الفضاء [1]، أهمها:

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

#### 2- توزيع الإضاءة وتجانسها:

يعتمد توزيع الإضاءة الطبيعية داخل الفضاء على تصاميم الشبائيك 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 الإضاءة الطبيعية في المباني وفقاً لطبيعة تلك المباني، ففي المعامل والمدارس والمستشفيات، حيث تتطلب طبيعة الوظيفة من المستخدمين الحفاظ على مستوى شبه ثابت للإستئارة لأداء أعمالهم خلال فترة العمل، يكون من الامور الاساسية في الإضاءة الطبيعية محاولة تحقيق التوزيع المتجانس لمستويات الانارة المناسبة في جميع مساحة الفضاء المستخدم والإبتعاد عن مؤثرات البقع

1- تحديد كمية الإضاءة الطبيعية الخارجية الساقطة على الشبائيك.

2- إعتياداً على الخصائص التصميمية للشبائيك) 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 استخدام الفضاء ونوع المهمة البصرية التي تجري فيه.

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

أولاً- شكل الفضاء الداخلي، بضمنها تناسب أبعاده ومساحته.

ثانياً- مواقع توزيع الشبائيك ضمن جدران الفضاء.

ثالثاً- خصائص إنهاء آت أسطح الفضاء الداخلية (الجدران والسقف).

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

وسيتم في الفقرات التالية التطرق مواصفات الإضاءة 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

وفي هذه الحالة ستختلف قيم الإضاءة باختلاف 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 جزءاً من حصة الإضاءة السماوية للشباك من الوصول الى داخل الفضاء. وان كمية هذا المنع يعتمد بشكل أساس على كل من شكل الشباك وموقع المانع ومقدار إمتدادها.

فمقدار ما يصل 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 جزءاً من الإضاءة الساقطة عليها الى الشباك.

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

لقد تمّ في دراسة سابقة<sup>[3]</sup>، قياس كمية الاضاءة الطبيعية الخارجية الساقطة على الشبايبك. وذلك من خلال حساب شدة الإضاءة السماوية القادمة من قبة السماء المواجهة للشباك، (والموضحة قيمها في الجدول رقم 1) ثم 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 أضيف إليها الاضاءة المنعكسة من سطح الأرض المقابل. وبالاعتماد على تلك الدراسة تمكن هذا البحث من تحديد

الشمسية المباشرة في الفضاء. أما في المساكن فإن تغير مستوى الإستتارة 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 وبعيق النظر، مما يتطلب عدم السماح له بالوصول الى حقل الرؤيا لمستخدمي المبنى. وللعمر تأثير في إحساس الشخص بالإبهار، فعيون الاشخاص الكبار تكون حساسيتها للإبهار أكثر مقارنة بعيون الاشخاص اللذين هم في عمر الشباب.

### 5- تحديد كمية الإضاءة الطبيعية الخارجية

#### الساقطة على الشبايبك:

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 الشبايبك تتأثر ب:

أ- قيم الإضاءة السماوية القادمة من قبة السماء:

حيث ان:

$$I_{win} = \text{مقدار الإضاءة النافذة من}$$

الشباك الى داخل الفضاء.

$$I_{wout} = \text{مقدار الإضاءة الساقطة على الشباك}$$

من الخارج.

## 7- مستويات الإضاءة الملائمة للفضاءات

### 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<sup>[5]</sup>.

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

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

## 8- الخصائص التصميمية للفضاء الداخلي:

إنّ تشكيل هيئة الفضاء الداخلي ومواصفات إنهاءاته المستخدمة، تلعب دوراً أساسياً في تحديد طبيعة

المعدلات الفصلية والسنوية للإضاءة الطبيعية الساقطة على الشبائيك، وإعطاء النتائج بوحدات اللوكس أو اللومن<sup>2</sup>\*. لقد وجد أنه يمكن في هذه المرحلة اعتماد 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) لا تنفذ جميعها الى داخل الفضاء، إذ تمتاز المواد الزجاجية للشبائيك بسماحها لنفاذ أجزاء فقط من طاقة الطيف الإشعاعي (الضوئي) الساقط عليها، بينما تمتص وتعكس بصفة الأجزاء الأخرى.

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

### 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 للشبائيك، وتقل قيمته الرقمية كلما كانت فترات التنظيف متباعدة، جدول(4)<sup>[4]</sup>.

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

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

توجه الشبكه	الفترة الباردة	الفترة المعتدلة	الفترة الحارة	الفترة المعتدلة	الفترة الباردة	الفترة المعتدلة	الفترة الحارة	الفترة المعتدلة	الفترة الباردة	الفترة المعتدلة	الفترة الحارة	
توجه الشبكه	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
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	6807	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<sup>[4]</sup>

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

جدول (3) قيم معاملات الإطار<sup>[4]</sup>

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<sup>[4]</sup>

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

جدول (5) المستويات العامة للإضاءة الداخلية<sup>[5]</sup>

توزيع وانتشار الإضاءة الطبيعية الداخلية. وسيطلب هذا من البحث الكثف 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 الفضاءات الداخلية، وبعد الاطلاع على تلك الطرق، تمّ إختيار (طريقة اللومن) في تصميم الإضاءة الصناعية LUMEN METHOD<sup>[2]</sup>، باعتبارها طريقة معتمدة عالمياً والأقرب الى توجه هذا البحث.

حيث سيعتبر البحث ان التعامل مع الشباك سيكون مشابه للتعامل مع المصابيح الكهربائية، أخذين 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 إضاءته 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 الانعكاس لأسطح الفضاء وسقفه.

جدول (1) المعدلات الشهرية لمستويات الإضاءة السماوية الساقطة على الشبابيك العمودية (لومن م<sup>2</sup>)<sup>[3]</sup>

وعند مقارنة طرق الإضاءة الصناعية بفتحات الشبائيك نجد أن الإضاءة الطبيعية النافذة من الشبائيك 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 جزءاً من تلك الإضاءة 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 ب:

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

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

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

Illuminating Engineering Society of North

\* America : جمعية هندسية مختصة بشؤون الإضاءة<sup>[5]</sup>.

• 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 إضاءة 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 إضاءته. ويوضح الشكل (1) رسماً تمثيلاً 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.

## 7-2 تناسب أبعاد الفضاء:

ليس من السهولة تحديد عمق الفضاء الذي يمكن إضاءته بإعتماد الإضاءة الطبيعية، إذ يعتمد وصول الإضاءة الطبيعية الى أجزاء الفضاء على تناسب أبعاد ذلك الفضاء. فالفضاءات المتشابهة بتناسب الأبعاد ومساحة الشبائيك وبجميع خصائصهم عدا عن الاختلاف في الحجم، سيكون لهم التوزيع ذاته للإضاءة الطبيعية داخلهم<sup>[6]</sup>، شكل(3). أما زيادة ارتفاع الفضاء مع تثبيت بقية الأبعاد، فإنها غالباً ما تؤدي الى جعل توزيع الاضاءة العلوية والإضاءة الجانبية أكثر توازناً في الفضاء الداخلي، شكل(4).

كما انه يمكن للشبائيك المرتفعة ان تحقق توزيعاً متوازناً نسبياً للإضاءة الطبيعية، حيث يساعد قربها من السقف ذي الانعكاسية العالية على نشر الإضاءة فوق مستوى العمل وعلى مساحة الفضاء<sup>[7]</sup>.

## 7-3 معاملات الانعكاس لأسطح وسقف الفضاء:

لطبيعة أسطح الفضاء الداخلي تأثيراً كبيراً في حسابات الإضاءة بسبب الانعكاس الضوئي المتكرر على هذه الأسطح. وتتوقف معاملات الانعكاس على نوع إنهاء السطح ولون الطلاء ودرجته ونوعه. 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<sup>[8]</sup>:

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

حيث أن:  $K =$  معامل الفضاء

$W =$  عرض الفضاء

$L =$  طول الفضاء

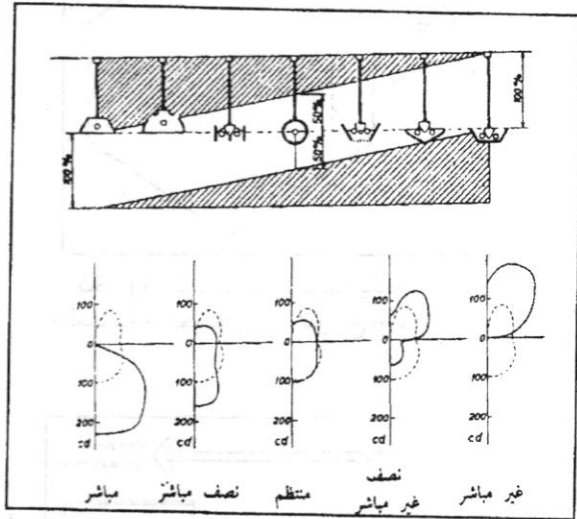
$D =$  المسافة بين المصدر الضوئي

وموقع العمل.

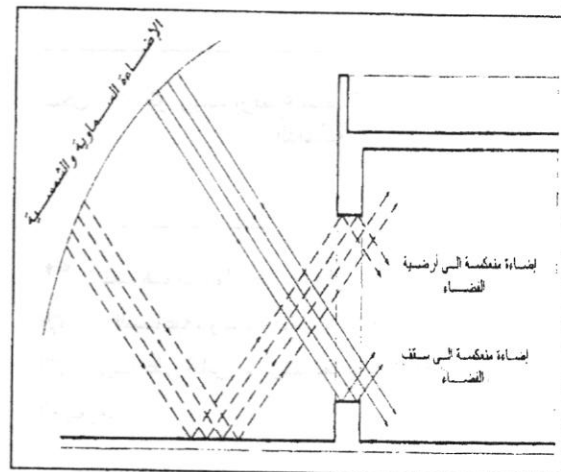
## ج- معامل إنعكاس حافات فتحات الشبائيك

إطاراتها: ويعتمد معامل الإنعكاس على نوع مادة السطح ولونه.

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



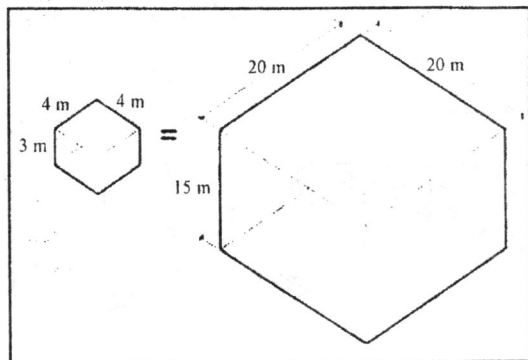
شكل (1) رسم تمثيلي لوحدة الإضاءة في الحالات المختلفة مع منحنى يبين توزيع شدة الإضاءة عند كل حالة<sup>[8]</sup>



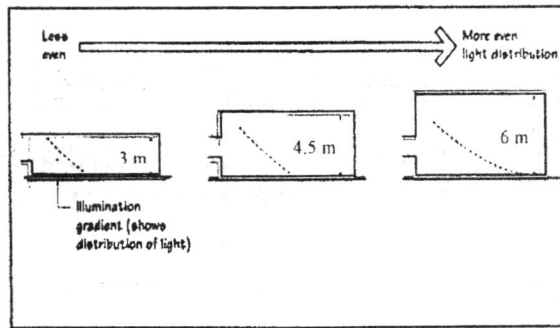
شكل (2) سمك الجدار يعمل كعاكسات تشتت جزء من الإضاءة الطبيعية<sup>[الباحث]</sup>.

بعد الحصول على قيمة الكفاءة الضوئية للفضاء (η)، يجري حساب كمية الفيض الضوئي (θ) (أو كمية الإضاءة اللازم نفاذها من الشبائيك مقاساً بوحدة اللومن) اللازم للحصول على مستوى إضاءة (E) (مقاساً بوحدة اللوكس) اعتماداً على وظيفة الفضاء [ضمن مساحة الفضاء (A) مقاساً بالمترب (المربع). على النحو الآتي<sup>[7]</sup>:

$$\theta = (E * A) / \eta \dots \dots \dots (3)$$



شكل (3) الفضاءات المتشابهة بالخصائص التصميمية والمختلفة بالحجم يكون لها التوزيع نفسه للإضاءة الداخلية<sup>[6]</sup>



شكل (4) أثر زيادة ارتفاع سقف الفضاء في توزيع الإضاءة الداخلية<sup>[6]</sup>

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 من (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):

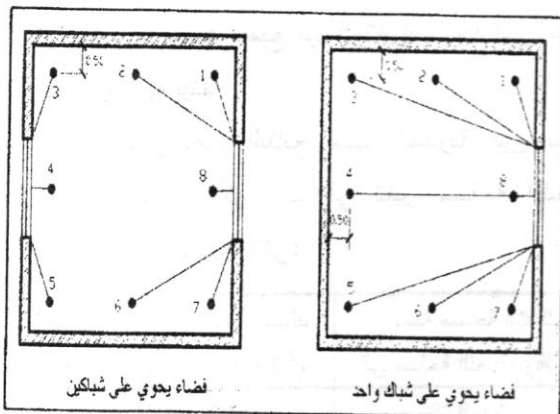
تمثل الكفاءة الضوئية للفضاء: النسبة بين كمية الضوء المفيد الذي يصل موقع العمل الى الضوء الكلي المنبعث من المصادر الضوئية في الفضاء. وتعتمد الكفاءة الضوئية للفضاء على مجمل الخصائص التصميمية للفضاء التي ذكرت في النقاط السابقة.

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

\* أن أخذ معدل المسافة بين الشباك ونقاط الفضاء المختلفة واعتمادها في حساب (معامل الفضاء - K)، لايعني ان توزيع الإضاءة سيكون متجانساً ضمن جميع مساحة الفضاء، فعادة ما تكون الأجزاء القريبة من الشباك ذات مستويات عالية من الإضاءة والأجزاء البعيدة ذات مستويات إضاءة منخفضة. الا انه في هذا البحث سيتم التعامل مع توزيع الأضاءة الطبيعية داخل الفضاء بحسب معدل مستويات الأضاءة الطبيعية في عموم مساحة الفضاء للأجزاء القريبة والبعيدة من الشباك.

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

لون السطح	معامل الانعكاس (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<sup>[8]</sup>.

طريقة الأضواء	k	معامل انعكاس السقف								
		70	50	30	50	30	10	50	30	10
شتر بنظام	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	

بعد تحديد كمية الفيض الضوئي ( $\theta$ ) اللازم نفاذه من الشباك، تجري المرحلة التالية وهي تقويم التصميم: يتم فيها حساب كمية الفيض الضوئي الفعلي النافذ خلال شبائك الفضاء، وبموجب المقارنة بين النتيجتين (كمية الفيض الضوئي الفعلي النافذ مع كمية الفيض الضوئي اللازم للفضاء) تحدد كفاءة تصميم الإضاءة الطبيعية، ولغرض مقارنة 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، ابتداءً من قياس مقدار الإضاءة الخارجية الساقطة على الشباك، مروراً بجميع المتغيرات المؤثرة في نفاذ وانتشار الإضاءة داخل الفضاء، تم الإعتماد على برنامج (Microsoft Excel) في إجراء الحسابات المرتبطة بجميع قيم هذه المتغيرات، ومن ثم تطبيقها على عدد من نماذج لفضاءات إختبارية لمدينة بغداد يحدد خلالها التصميم المناسب للشبائك.

### 9- التطبيق:

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

جدول (6) معاملات الانعكاس لأسطح الفضاء وسقفه<sup>[7]</sup>.

## 10- النتائج:

حيث نجد أن مساحة الشباك تقل نسبتها كلما  
ازدادت 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 استخدام 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 الشبايبك  
الملائمة له:

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

لغرض تحديد الخصائص التصميمية للشبايبك  
والفضاءات 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 الشبايبك الملائمة له:

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

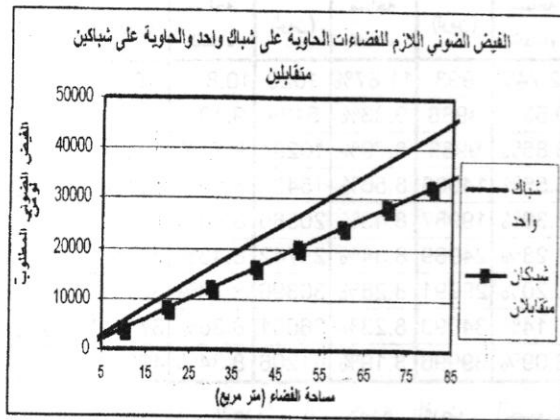
وفي هذه النتائج سيتم المقارنة بين تغير  
مساحة الفضاء وأثر ذلك في تغير مساحة الشباك  
الملائمة له. الجدول الآتي:

مساحة الفضاء (م <sup>2</sup> )	مساحة الشباك الملائمة (م <sup>2</sup> )	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%

\* ان الاحتمالات الممكنة لتصميم الشبايبك وتوزيعها  
ضمن جدران الفضاءات المختلفة في أشكالها ومساحاتها ووظائفها،  
هي حالات واسعة ولا يمكن 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 مقارنة.

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

تم اعتماد 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

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

\* تم اعتماد 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 واحد 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.

توضيح إختلاف مستويات الإضاءة الداخلية المتحققة عند تغير شكل الفضاء في الجدول الآتي:

مستوى الإضاءة المتحقق (لوكنس)	الكفاءة الضوئية للفضاء (%)	شكل الفضاء وموقع الشباك	تناسب أبعاد الفضاء (X) : (Y)
173	13.09		3 : 1
187	15.12		2 : 1
204	16.46		3 : 2
231	18.63		1 : 1
227	18.34		2 : 3
220	17.79		1 : 2
206	16.63		1 : 3

### 11- الإستنتاجات:

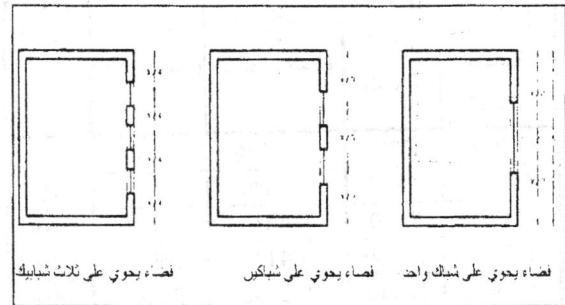
يمكن بلورة أهم إستنتاجات البحث بالمحورين

الآتيين:

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

1. عند زيادة مساحة الفضاء.
2. عند حدوث التناوب في نسب أبعاد الفضاء.
3. عند زيادة إرتفاع الشباك.
4. عند زيادة إرتفاع السقف.

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



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

نجد من الجدول ان كمية الفيض الضوئي اللازم للفضاء ستقل قيمها جزئياً عند تقسيم الشباك الى مجموعة شبائيك 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 داخله. وعند تثبيت مساحة الشباك بنسبة (20%) من مساحة الفضاء المعماري البالغ (30 م<sup>2</sup>) أي أن تكون مساحة الشباك (6 م<sup>2</sup>) (بأبعاد: 2.45\*2.45م)، يمكن

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

- توزيع الشبائيك على جميع جدران الفضاء.
- توزيع الشبائيك على جدارين متقابلين.
- توزيع الشبائيك على جدارين متجاورين.
- استخدام أكثر من شبك في أحد الجدران.
- وضع الشبائيك 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 هندسة الأضاءة"، المركز القومي للإستشارات الهندسية والمعمارية، بغداد، 1976 م.

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

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، 1980 م.

5. عند إقتراب توجيه الشبائيك من الجهة الجنوبية.

ثانياً: تحسين كفاءة الإضاءة الطبيعية في الفضاءات 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 فضاءه المصمم يقترب من الشكل المربع أصبح توزيع الإضاءة الطبيعية بداخله أكثر توازناً، مما يزيد من كفاءة أدائه للإضاءة. وفي حالة تطلب وظيفة الفضاء ان يكون شكله ذي استطالة، فيكون من الملائم وضع الشبائيك في أحد الأضلاع الطويلة للفضاء (راجع الجدول في المحور الثاني من النتائج).

ب- الاعتماد على أكثر من جدار لإضاءة الفضاء: بانتشار الشبائيك ضمن جدارين أو أكثر من جدران الفضاء، يقل معدل المسافة بين الشبائيك 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 نفسه من الإضاءة الطبيعية (راجع الجدول في الفقرة - ثالثاً من المحور الاول للنتائج).

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