# دراسة ظاهرة مباني البشرة الزجاجية و ملاءمتها للظروف البيئية المناخية في اليمن

*د. نجم الدين الوهابي

## مقدمة:

من أهم مبادئ التصميم المعماري المستدام هو خفض استهلاك الطاقة و تأمين الراحة و المحافظة على صحة الإنسان .ويعد المهندس أحد أهم المسئولين عن رسم الواجهة الحضارية لبلده إن لم يكن المسؤول الأول. نلاحظ الآن أن البشرة الزجاجية أصبحت بجاذبيتها تقتحم بقوة عالم العمارة وأصبحت تشكل نمطاً معمارياً خاصاً يعرف باسم البشرة الزجاجية بغض النظر عن الطابع المعماري المحلي لهذه البلدان .ومنها اليمن حيث يلاحظ المتجول في بعض المدن اليمنية بداية انتشار هذا النمط من المباني. وذلك لما للزجاج من صفات وخواص تجعله يحتل مكانة مميزة بين مواد البناء فهو المادة الوحيدة التي تسمح للضوء بالدخول إلى داخل الفراغات المعمارية كما يمتاز بخفة وزنه مقارنة بمواد البناء الأخرى مثل الحجر التي تستخدم كجدران حاملة والجدران المنفذة من البلك الإسمنتي ...إلخ وهذه الأحمال الثقيلة من مواد البناء دفعت بالمعماري إلى التفكير بوضع حلول عديدة لتخفيف الحمولة الذاتية فقد أوجد العقود الرشيقة المتقاطعة في عصر النهضة ،و أوجد الفتحات الواسعة بين العناصر الإنشائية الحاملة فهاجس المعماري و مهندس المباني دوماً كيفية الحصول على مادة جديدة تؤمن التجديد المستمر والحيوي والتفاعل مع المحيط وإحيائه وإعطائه روح الحياة والحيوية وبذلك يحصل على التفاعل مع الإضاءة والوسط المحيط و التغير مع تغير الوقت اليومي والمناخ وبهذا يتمكنون من إنشاء المباني وفق عوامل الجذب والإبداع و الاقتصاد والملاءمة البيئية والمتانة ... وقد فرضت عمارة البشرة الزجاجية نفسها على مستوى العالم رغم الاختلاف الجوهري في البيئة والعادات والتقاليد والثقافة والحضارة .فأطلق عليها البعض((العولمة في العمارة)) فعمارة الحداثة المتأخرة اتسمت بالتطور الكبير في شتى الأساليب وخاصة أساليب الإنشاء وتقنياته. ولهذه العمارة ميزات وخصائص ومعالم خاصة بها، ويعد الزجاج والبشرة الزجاجية على اختلاف أنواعها من أهم مظاهرها. ولعمارة البشرة الزجاجية نقاد في الوسط الهندسي والمعماري العربي، حيث يرونها ظاهرة تسللت إلى بيئتنا دون مراعاة لجملة من العوامل المحلية والمعروفة ولهذا يحذرون من استخدام الواجهات الزجاجية في المباني ، بحجة أنها ترفع درجة الحرارة في محيط تلك المباني. ويدعون إلى إيجاد بدائل أخرى تكون أفضل من الموجود حالياً من خلال تطبيق الأساليب والمفاهيم الجديدة في التخطيط الحضري من خلال الأبنية الذكية والأبنية الخضراء التي تتعامل مع التنمية المستدامة .ويقول المعماري حسن فتحي لمعماري عمارة البشرة الزجاجية((... أعمال هؤلاء المعماريين تسيطر فيها النواحي التكنولوجية على النواحي المعمارية...ليس من تفاعل ذكاء ومهارات المعماريين مع بيئتهم الطبيعية...)).

## هدف البحث:

إن المتتبع للتطور المعماري الهائل واستخدام الزجاج والبشرة الزجاجية في العمارة باختلاف أنواعه من زجاج شفاف عادي وملون وعاكس و...إلخ ،ولاسيما في بيئتنا العربية عموماً والبيئة اليمنية خصوصاً يلاحظ أهمية دراسة خصائص هذا الأسلوب المعماري لمعرفة مدى ملاءمته للواقع المحلي علاوة على التعريف الجيد بالبشرة الزجاجية نظراً للفكرة العامة بأنها غير مناسبة لبيئتنا المحلية. مما يساعد القارئ والمهندس المعماري على الحكم الصحيح الذي يساعده في تصميم نظام معماري يتناسب مع بيئتنا ويتناغم مع التطور والحداثة. وللوصول إلى هذه الغاية لابد من دراسة خصائص الزجاج والبشرة الزجاجية ،وتحليل أمثلة معمارية لمشاريع منفذة في مناطق مختلفة من العالم ومنها اليمن ،لمعرفة مدى ملاءمة هذا النمط المعماري للبيئة المناخية اليمنية وهل يمكن أن تشكل استجابة لتطوير العمارة المحلية؟. ومن ثم تقديم التوصيات بهذا الخصوص.

* استاذ هندسة المباني الدنية والصناعية المساعد – كلية الهندسة والعمارة – جامعة إب

**لمحة تاريخية عن الزجاج واستخدامه في البناء:**

ظهر الاهتمام بصناعة الزجاج الحديث في الدول الأوروبية خاصة في التشيك، فرنسا، ألمانيا، بريطانيا... (8)

وقد شكلت المواد المعدنية الإنشائية أرضية خصبة للسطوح الزجاجية الكبيرة التي تطورت إلى مباني مغلفة بشكل كامل بالزجاج . وقد كان المعماري البلجيكي أُوغست بريت (August Perret) من أوائل المجربين لهذا النمط الجديد في العمارة في مبنى سكني يتكون من ثمانية طوابق وذلك عام 1903م في باريس – فرنسا. من خلال استخدام التسليح الفولاذي الخارجي مع واجهات زجاجية (9). كما أن مبنى Jar din Des Plants في فرنسا الذي بني عام 1834 -1836م يمثل نموذجاً مبكراً لاستخدام المعدن والزجاج في الجدران الستائر (10). وكانت المحاولات اللاحقة تتجلى بمبنى الباوهوس حيث قام الترغروبيوس وأساتذة مدرسة الباوهوس بوضع تصاميم المقر الجديد للمدرسة في مدينة ديساو وقد أتت هذه التصاميم بوصفها تطبيقاً عملياً للأفكار و المبادئ التي نادت إليها الباوهوس (1919 -1933) من خلال التضاد بين سطوح الجدران الصماء والسطوح الكبيرة المزججة مع المحافظة على الإنارة الطبيعية اللازمة للفراغات الداخلية . وطبقت الباوهوس الفكرة في مبنى Seagram في نيويورك والذي تم تغليفه بالكامل بالزجاج والذي بني بين عامي 1954 -1958م (1).هنا البشرة الزجاجية قد حررت المعماري إلى حدٍ ما من الأنماط المعمارية التي كان يكثر من تفاصيلها. والتطور الذي جرى لمواد وتقنيات البناء بشكل متوازٍ بين الفولاذ والحديد و البيتون المسلح أدى إلى نتائج عظيمة من خلال الحصول على جدران خارجية غاية في الفخامة . بل استخدم الزجاج كقواطع داخلية مرنة في المباني الإدارية مما ساعد المهندس الإنشائي في اختيار مقاطع عرضية للعناصر الإنشائية الحاملة أقل سماكة بكثير من مثيلاتها من منشآت حيطانها الخارجية من الخرسانة المسلحة أو الحجر وكذا قواطعها الداخلية من البلك الإسمنتي ... إلخ. ينعكس كل هذا على التكلفة الإجمالية للمبنى. ويشكل تيار الصقالة (– Slick Tack) الذي ينادي بواجهات مباني ذات سطوح لماعة وبراقة وشفافة إحدى المقاربات المهنية الطبيعية التي شغفت بها الممارسة المعمارية المعاصرة على مدى سنين عديدة أفضت إلى نتائج معبرة اتسمت حلولها التكوينية بتميز واضح. ولجأ أنصار هذا التيار إلى المواد المصنعة الجديدة و من ضمنها الألواح الزجاجية. وبعد ظهور البيت الزجاجي لفليب جونسون عام 1949م كحدث فريد إذ صدمت هيئته الشفافة والعارية المنفذة من الزجاج التصورات المألوفة عن البيت السكني الذي يتميز بخصوصيته المغلقة (11).ومن ثم انتشرت ظاهرة مباني البشرة الزجاجية في بلدان أوروبا وأمريكا ومنها إلى البلدان العربية بمعزل عن الاهتمام بخصائص البشرة الزجاجية البيئية ومدى ملاءمتها للبيئية المحلية مما أدى إلى ظهور منتقدين بل محذرين من تطبيقها في البلدان العربية.(2).وقد شكلت عمارة البشرة الزجاجية نقلة نوعية في عالم البناء وخصوصاً بعد أن شهدَ قطاع الإنشاء تطوراً كبيراً ومنها استخدام جدران القص والنواة المركزية في المباني وغيرها من الأساليب الإنشائية وبهذا تحررت الجدران الخارجية من عملها كجدران حاملة، وبذلك أصبح بالإمكان استعمال مواد إنشائية أقل وزناً كالزجاج الأمر الذي يشكل حافزاً قوياً نحو ازدياد استخدام البشرة الزجاجية.

**4- أنواع الزجاج المستخدم في المباني:**

العنصر الأساسي في تركيبة الزجاج هو السيلكون حيث يتحول إلى سائل بعد تمرير الصخور أو الرمل الحاوية له إلى أفران تصل الحرارة فيها إلى 2300درجة مئوية ثم إلى عجينة نقية من الشوائب ومن ثم يمكن تشكيله قبل تبريدها(6).ومن أهم أنواع الزجاج:

**4 -1 - الزجاج الصناعي المطور غير القابل للكسر:** الهدف الأول من صنعه استخدامه في الطائرات والسفن الفضائية، ويمتاز بالعزل الحراري الجيد ،الشفافية ،العزل الصوتي ومقاوم للصدمات والضربات العنيفة والقوية.

**4 -2 -الزجاج التقليدي(العادي الشفاف):** يستخدم غالباً في الفتحات والنوافذ وغيرها .يصنع من ألواح مسحوبة أفقياً وعموديا .

**4 -3 -الزجاج المصنع التقني :** يستخدم في المباني وغيرها من

المجالات ويستخدم الزجاج الملون في الديكور الداخلي .ويتميز بمقاومته لكافة الظروف المناخية من ارتفاع درجة الحرارة و انخفاضها - يساعد على حماية الألوان والأشكال والأثاث من الأشعة -عازل جيد للصوت - لا يسمح بمرور الأشعة تحت الحمراء والأشعة فوق البنفسجية. له قدرة كبيرة على التحكم باللون والضوء. علاوة على ذلك فإنه يظهر الأشكال والصور من جانب و تختفي من الجانب الآخر . ولهذا الزجاج عدة أنواع : العادي، الملون، الزجاج ذو الغشاء المعدني نصف العاكس للواجهات ،الزجاج الحساس للضوء، الزجاج الحساس للكهرباء، الزجاج الصلب ذو مواصفات تمكن من الرسم عليه.

**4 -4 - الزجاج الصلب المقاوم للصدمات والريح القوية:** يتميز هذا النوع بأنه يقاوم التغيرات الحرارية و فروقاتها الكبيرة وله عدة أنواع من أهمها :

**4 -4 -1 - الزجاج المحمي أو المعالج حرارياً**

**(Tuff-Flex):** ونحصل عليه بعملية إعادة التسخين والتبريد. وقد أثبت بالتجارب المتكررة عليه أنه حافظ على مواصفاته دون تغيير.

**4 -4 -2 - الزجاج المقسى حرارياً**

**(Tuff - Flex he):** يتميز بمقاومة مضاعفة للأحمال وذو مقاومة كافية للإجهادات الحرارية المتنوعة ويعتبر من أهم أنواع الزجاج للاستعمالات المختلفة.

**4 -4 -3 - الزجاج الصلب النوع الثالث:** يملك قوة أكبر بمرتين من الزجاج المقسى حرارياً وأربع مرات من الزجاج المحمي، مما يعطي للمعماري خيارات أفضل في استخدامه في الأماكن التي تتعرض للضغوطات المختلفة والممرات والأماكن التي تتطلب أماناً أكثر.

**4 -5 - الزجاج المسلح والمقوى:** يصنع بإضافة شبكة أسلاك داخلية أثناء صبه أو سحبه وله قياسات وسماكات متعددة .يتميز بعدم تطاير شظاياه عند انكساره ومقاومة الانعطاف و الصدم والكسر كما يتحمل الرياح و الثلوج.[2]

**4 -6 - الحجر الزجاجي:** قطع من الزجاج المصبوب على شكل أحجار مكعبة أو اسطوانية، تسمح لأشعة الشمس و للضوء باختراقها. وهي مضادة للحريق. تستعمل في الواجهات والجدران الزجاجية و الأسقف الكبيرة كالقاعات والمطاعم و المحطات لتنويرها و تزينها.

**4 -7 -الزجاج الرخامي أو البلاط الزجاجي:** يستعمل كبلاط للأدراج التزيينية وللجدران الشفافة وللأثاث حيث يمكن تنويره و تزيينه.

**4 -8 – الزجاج المسقى الواقي:** زجاج عادي تماماً إلا أنه معرض للسقاية لتحسين صفاته. يتحمل قوى الصدم و الانعطاف بشكل جيد ويصل تحمله لقوى الصدم إلى خمسة أضعاف القوى التي يتحملها الزجاج العادي .[3]

**4 -9 - الطوب (القرميد) الزجاجي أو الزجاج المتلئ:** يتألف من قرميدتين بسماكة تصل حتى 8سم.وللحصول على نوعية تقاوم حتى الرصاص يصنع بسماكة تصل حتى 30سم.ويستعمل في الأماكن المحرومة من الإضاءة حيث يسمح بمرور ما يعادل50٪ من ضوء النهار. ويمكن استعماله مع كافة مواد البناء.[2]

**4 -10 - الزجاج المغشى :** تستعمل مادة أكسيد الألمنيوم لتشكيل الخطوط والرسوم والأشكال والرموز والشعارات المختلفة على سطح الزجاج آليا (الحفر على الزجاج).ومن استخداماته - زجاج الأبواب ،التقطيعات الداخلية للمنازل والنوافذ و درابزينات الشرفات، المحلات التجارية ...إلخ.[12]

**4 -11 -الزجاج الرقائقي:** هو عبارة عن ضم لوحين من الزجاج أو أكثر مع إضافة حشوات رقائقية من البلاستيك . يمتاز بالتماسك عند الكسر وتتراوح سماكته من 2 -20مم ويتوفر شفافاًأو مدخناً وله ثلاثة ألوان رمادي –أخضر - برونز . كما يتوفر مسلحاً أو مضلعاً. وله نوع مقاوم أو مضاد للرصاص .وله عدة أنواع من أهمها زجاج الأمان الرقائقي الذي يقاوم الصدمات المفاجئة والقوية. وكذلك الزجاج الملدن وهو زجاج رقائقي يركب معه صفيحة من مادة البوليكاربونات والتي تلتصق بالزجاج لدعمه وتقويته من الخارج بفضل طبقة بينية بلاستيكية ،وتوضع في الجهة المقابلة لجهة الصدم و هذا يمنع

شظايا الزجاج من التطاير. يستعمل في الأماكن الخاصة أيضاً في الأسقف المقببة وغير المقببة للحصول على إضاءة طبيعية ،مع توفير الأمان والعزل والمتانة للبناء.[2]

**4 -12 -الزجاج الكرستالي**(Crystal Glass)**:** هو زجاج مسطح يتميز بالنسبة المنخفضة لأكسيد الحديد الداخل في تكوينه وبعدم ظهور اللون الأخضر فيه كما هو الحال في الزجاج العادي. يتميز بالشفافية العالية، إذ إن نسبة الوضوح من خلاله تصل إلى 95٪ وبذلك يوفر هذا النوع من الزجاج رؤية واضحة جداً ويعطي الشكل و اللون الحقيقي للأشياء المعروضة خلفه. و له سماكات من 6 -19مم. إضافة إلى ذلك إمكانية تقسيته و جلتنته ليصبح مقاوماً للرصاص والسرقة، يستخدم في صالات العرض والمحال التجارية ...إلخ. كما إنه يستخدم بفعالية عالية في مشاريع الإفادة من الطاقة الشمسية.

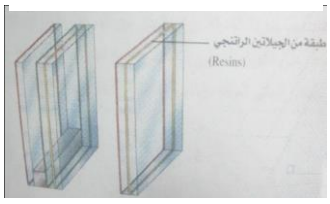
**4 -13 -الزجاج المقسى**

Tempered GLASS :أو (زجاج الأمان Softly GLASS) إذ إنه يضمن سلامة الأشخاص في حالة الانكسار. لأنه يتناثر إلى قطع صغيرة وغير مؤذية عند تلقيه لصدمة قوية. وتكمن أهميته في قوته الميكانيكية والحرارية ومن مميزاته أنه يتحمل فرقاً في درجة الحرارة بين سطحيه الداخلي والخارجي تصل إلى 250 درجة مئوية . كما يتحمل سبعة أضعاف الإجهاد الذي يتحمله الزجاج العادي. يستعمل الزجاج المقسى في الواجهات الكبيرة للأبنية، غرف الدش، الأبواب الداخلية والخارجية للمحال والمخازن التجارية .أسوار الحدائق، أنظمة الستائر الزجاجية للشرفات ... إلخ.[12]

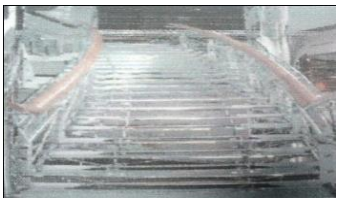
**شكل الزجاج المقسى المكسور**

**4 -14 -الزجاج المجلتن:** يتألف من طبقتين أو أكثر من الزجاج تفصل بين كل منهما طبقة من البلاتين الراتنجي (مادة عضوية) لضمان درجة أعلى من الأمان حيث تمتص الصدمات وتحمل قطع الزجاج المكسورة.وله قدرة على تخفيض نسبة الضجيج ومقادير الأشعة فوق البنفسجية . ويمكن جلتنة الزجاج الأبيض الشفاف والملون و المطلي بطبقة عاكسة سواء أكان مقسى أو مقوى حرارياً أو ملدناً. ويمكن استخدامه مفرداً أو في أحد طرفي وحدة الزجاج العازل المزدوج. ويستعمل في الأدراج التزيينية وممرات المشاة التي تربط بين الأبنية ودور الأطفال، المدارس ،وكافة الأماكن التي يخشى فيها من تدافع التجمعات البشرية، وواجهات الأبنية والأماكن التي تحتاج إلى حماية من السرقة.وكذا الأماكن التي تتطلب الراحة و الهدوء.[12]

**تكوين وحدة الزجاج المجلنن**




**درج من الزجاج المجلتن**



**الزجاج المجلتن المكسور**

**4 -15 - الزجاج المقوى حرارياً**

(Heat strengthened)**:** يتميز بمقاومته للكسر ضعف مقاومة الزجاج العادي وعند انكساره يتحول إلى عدد قليل من القطع الكبيرة يبقى عالقاً بإطاره .وذلك بسبب الإجهادات التي تلقاها خلال عملية التقوية الحرارية. يستخدم ،في الأسقف و المظلات الزجاجية والفتحات السماوية .كما ينصح به في المباني البرجية ابتداءً من الطابق الرابع إلى الأخير بينما الزجاج المقسى في الطوابق الثلاثة الأولى. وغالباً ما يكون الزجاج المقوى حرارياً ضمن وحدة زجاج مجلتن أو مزدوج عازل.[12]

**4 -16 - الزجاج العاكس**

ويعد بداية الانطلاقة للمادة الحديثة (البشرة الزجاجية). وقد ساعد على هذا، التقنيات الحديثة المتطورة ،واستخدام المنشآت المعدنية والأسقف المعلقة والفراغ الداخلي الواحد و التصاميم المرنة الحديثة . ويوفر الخيارات بين عدة ألوان تنقل درجات مختلفة من الأشعة حسب نوع المعدن وسماكة الطبقة ،كما يساعد على التظليل الشمسي .(تغطى الجهة الخارجية لبعض أنواعه بطبقة معدنية ) ويعد من أهم أنواع الزجاج المستخدم في واجهات المباني لما له من ميزات تفاضلية بالرؤية من الداخل و لا تسمح بالرؤية من الخارج (تحقق الخصوصية).[4] .

وللزجاج العاكس عدة أنواع :

**4 -16 -1 - الزجاج العاكس الصافي:** يتحكم بالأشعة الضوئية والسماح لكمية كبيرة منها بالدخول إلى الفراغ الداخلي و يتميز بنقله للضوء بنسبة 85٪ والأشعة تحت الحمراء بنسبة 70٪ . وتبلغ نسبة صفاء لونه 99٪.

**4 -16 -2 - الزجاج العاكس الأخضر:** يتميز بأدائه الحراري الجيد وقدرته على التكيف بنقل الضوء ويماثل بخواصه الكيميائية الزجاج الصافي ولكنه يحتوي على نسبة من أكسيد الحديد تعادل خمسة أضعاف النسبة الموجودة في العاكس الصافي ، ويسمح بنفوذ الضوء بنسبة 76٪ والأشعة الحمراء 25٪ وصفاء لونه96٪.[4]

**4 -16 -3 - الزجاج الملون بلون خفيف (الدائم الخضرة):** يسمح لكمية كبيرة من الضوء للدخول، ويؤمن حداً أدنى من الانعكاس الخارجي لضوء النهار مما يجعله النوع المثالي لتلبية متطلبات التصميم المعماري ،يخفف من كمية الأشعة فوق البنفسجية الداخلة بدون أي طبقة إضافية حيث يحتجز86٪ منها لذا يعد منافساً لبقية أنواع الزجاج الملون.

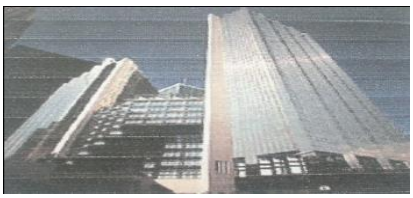
**4 -16 -4 - الزجاج العاكس البرونزي:** يتميز بحمايته للألوان والأشكال داخل الفراغ المعماري ويشابه بخواصه الزجاج العاكس الأخضر ويحتوي على أكسيد الحديد بنسبة 25٪ أقل من الزجاج السابق . وأكسيد الكوبالت بخمس مرات والسيلين يوم أكثر بمرتين. وينقل الضوء بنسبة 50٪ والأشعة تحت الحمراء 42٪ ونسبة صفاء لونه 88٪.

**4 -16 -5 - الزجاج العاكس الأخضر الرمادي:** يحتوي على 25٪ من أكسيد الحديد ولا تحتوي مركباته على السيلين يوم . يسمح بنفوذ الضوء بنسبة 42٪ و الأشعة تحت الحمراء 40٪ ونسبة صفاء لونه 94٪.

**4 -16 -6 - الزجاج العاكس الأزرق الرمادي:** يشابه بخواصه زجاج البرونز، ويحتوي على نفس النسبة من أكسيد الحديد والسيلين يوم وعلى ضعفي أكسيد الكوبالت. ينقل الضوء بنسبة 41٪ والأشعة تحت الحمراء 42٪ وتبلغ نسبة صفاء لونه 94٪.

**4 -16 -7 - الزجاج العاكس الرمادي الداكن:** صمم ليخدم ظروفاً وظيفية معينة تتطلب حجب الأشعة الشمسية الضوئية بنسبة معينة .يحتوي على أكسيد الحديد بنفس النسبة الموجودة في الزجاج الصافي .ويخلو من مركب السيلين يوم .يسمح بنقل الضوء بنسبة 18٪ والأشعة تحت الحمراء 58٪ ونسبة الصفاء97٪. [1]

**4 -16 -8 - الزجاج العاكس الذهبي:** يستعمل غالباً في التغطية الزجاجية الكاملة، وهو يتمتع بمقاومة وصلابة كافية للإجهادات الحرارية حيث يعالج بالحرارة بسهولة و يثنى حسب المنشأ من أجل تصميم مميز قابل للثني. ينقل الضوء بنسبة 71٪ والأشعة تحت الحمراء 48٪ صفاء لونه 93٪ . (استخدم هذا الزجاج في البنك الملكي في تورينتو الزجاج العاكس الذهبي في البنك الملكي في تورينتو).



**4 -16 -9 -الزجاج العاكس للحرارة** ( Reflective Glass): يعد هذا الزجاج حلاً نوعياً وفريداً بخواصه المتعددة، فهو يملك مركباً فريداً للانعكاس مع نقل عادي لضوء النهار، بالإضافة إلى الحد الأدنى من امتصاص للحرارة و كل هذا مترافق مع صناعة عالية الجودة مع معالجة لميزات لا يمكن أن تؤمنها أنواع الزجاج . إن هذه الميزات تساهم في زيادة كفاءة نظام تكييف المبنى. ومن صفاته التقنية: - يمكن أن يعالج –

يقص - يعزل - يجلتن - أو يقوى بالحرارة أو يقسى. و من ألوانه: أزرق مخضر، برونز، رمادي ..إلخ.يستخدم قي الأماكن التي تحتاج إلى تحكم بالحرارة الداخلية والحماية من الرؤية من الخارج والمنشآت التي تتطلب استخدام زجاج ذي مواصفات مميزة كالمقسى والمنحني.[4]

**4 -17 - وهناك أنواع أخرى من الزجاج تعرف بالاسم التجاري الصناعي غالباً** وقد يتميز هذا النوع بخاصية واحدة أو مجموعة خواص وتحتل الأفضلية بحسب ملاءمتها لمتطلبات التصميم. حيث تم إنتاج أنواع متطورة من الزجاج تصل فيها قيمة العامل (u) إلى الواحد وتتمتع بنقل ضوئي كبير(تعرف الانتقائيةU بأنها نسبة ناقلية الضوءLTإلى قيمة العامل الشمسي SF و تعتبر التجربة أن الانتقالية السيئة تتراوح بين 0 -1، والجيدة بين1 -2 ، ولذلك تسمي بعض الشركات الزجاج الذي يقترب من القيم الجيدة بالزجاج الانتقائي)[13].ومن أمثلة هذا المنتج.

**4 -17 -1 - زجاج عازل حراري بنفاذية عالية** تصل إلى 69٪ وقيمة منخفضة ل U- Value – تصل حتى 1,1 وقد نفذ مبنى Gent Casino في Nimes بفرنسا من هذا الزجاج.

**4 -17 -2 - زجاج عاكس حراري:** مطلي بطبقة فضية بواسطة تكنولوجيا متخصصة، و يتوفر بألوان متعددة منها الألوان الأساسية. و يتميز بمستوى عالٍ من خواص الحماية من أشعة الشمس ومرور الضوء من خلاله وكذلك انعكاسه كما إن هذا الزجاج يتميز بقيمة منخفضة U جداً تصل لغاية 1,2. مبنى Genes International في بلجراد، ومبنى بمدينة فيرونا الإيطالية نفذت من هذا الزجاج .[13]

**زجاج أخضر في مبنى Genex International في بلغراد**

**زجاج أزرق في مبنى بمدينة فيرونا الإيطالية**

**4 -17 -3 -زجاج شفاف:** Low-T (عازل حراري) إن كافة أنواع هذا الزجاج توفر مظهراً حيادياً و نفاذية عالية للضوء. و الجزيئات المعدنية المؤكسدة الموجودة في الطلاء تعزز خصائص العزل في الزجاج مما يحسن توفير الطاقة في البناء.

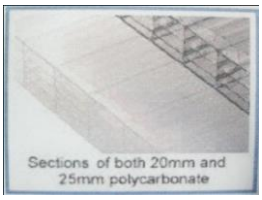
**4 -17 -4 - زجاج عاكس يسهم بالعزل الحراري:** يستخدم في الواجهات والفتحات السماوية التي تحتاج إلى التحكم بحرارة الشمس ويتميز بمقاومته للخدش وثبات طبقة العاكس عليه ، وله عدة ألوان[13]

زجاج أخضر في مبنى A.S.F في هولندا

زجاج ازرق في مبنىInnopolis في تولوز -فرنسا

**4 -18 -الزجاج ذو القيمة E المنخفضة** Low E Glass

لقد أدرك مصممو الزجاج الآن أنه لا يكفي أن يكون المبنى جميلا فقط بل يكون متكاملا بيئياً. وتأمين كفاءة أعلى من خلال تزجيج فعال حرارياً وأنظمة تهوية ذات قدرات عالية. وتعرف غالباً بأسمائها التجارية.




ولكنها تنضوي تحت مجموع من العناوين، منها الزجاج ذو القيمة E المنخفضة. ويعمل هذا الزجاج من خلال السماح لضوء النهار بالعبور من خلاله بدون الأشعة الضارة كالأشعة تحت الحمراء.(ويعرف هذا الزجاج باسم الشركة المصنعة له Pilkington). فيتغير لون هذا الزجاج تلقائياً من الغامق إلى الفاتح، ويسمح بتمرير الأشعة الشمسية ذات الموجات القصيرة فقط ويعكس الموجات الطويلة فيحافظ على جو داخلي دافئ ،ولكن هذا يجعل السطوح أسخن من أن تلمس .أثبت هذا النوع من الزجاج فاعلية كبيرة في رفع نسبة العزل الصوتي30٪ من الزجاج المضاعف للنوافذ الأخرى. علاوة على قدرته العالية في مجال امتصاص ضوء الشمس وعكس الحرارة الزائدة إلى الخارج متحكماً بذلك بكمية الحرارة ضمن المبنى. ويقلل هذا النوع من الزجاج قيمة الإشعاع الحراري من الزجاج مما يخفض من قيمة الضياع الحراري من المبنى. يعمل هذا الزجاج على طبقات: معدن عازل وزجاج عازل. ومجموع الطبقات يساعد في التحكم بكمية الضوء الشمسي والحرارة الداخلة إلى المبنى، ويعد فعالا بشكل خاص في الطقس الحار. يتم الآن استخدام الزجاج العازل الشمسي ذي القيمة Eالمنخفضة ،بكثرة في المباني الحديثة ويستبدل به القديم في بعض المباني. وتزيد كلفة استخدام الزجاج المضاعف ذي القيمة المنخفضة عن الزجاج المضاعف العادي لكن توفير الطاقة كفيل برد هذا الفارق في القيمة خلال حوالى خمس سنوات . حث دفع القلق المتزايد حول البيئة عبر العالم الباحثين لتحسين عمل الزجاج المذكور، لفعاليته في مجال الطاقة ،مما ساعد على الانتشار الواسع لهذا الزجاج عبر أوروبا وأمريكا. كما تؤكد الأبحاث أن استعمال زجاج Pilkington المضاعف يساعد في تخفيف قيمة انبعاث CO2 في حال تم وضع هذا الزجاج المضاعف مكان كل نافذة منفردة في المبنى. يشكل الزجاج غير المكسي (uncoated glass) مشعاً حراريا جيداً ولذلك تتشكل ضياعات حرارية كبيرة. ولكن هذا النوع يمتص الحرارة أثناء عبورها للنافذة باتجاه الخارج يعكسها مرة أخرى إلى الداخل[14].

**4 -18 -1 - ومن أنواع هذا الزجاج:** زجاج بلكينغتون الذي يطلى بطبقة من الفلور ( غاز سام) المعجون بأكسيد القصدير الذي يظهر نفاذية عالية (إيصالية) في مجال الطيف المرئي... وانعكاس عال في مجال الأشعة تحت الحمراء IR و بشكل تقريبي سلوك شبه معدني. يملك أكسيد القصدير زيادة في الإلكترونات مناسبة للنقل و التفاعل والاتصال ليكون شبه ناقل نوعي. بينما تطلى بعض أنواع الزجاج الأخرى بطبقة من الفضة لتعكس الأشعة تحت الحمراء.

وقد صمم منزل زجاجي لاختبار فاعلية زجاج Pilkington .وقد أظهر هذا البيت أن تقنية الزجاج المتقدمة يمكن أن تخلق تصميماً بقدرة كبيرة على حفظ الطاقة و الاستجابة الكبيرة للعوامل البيئية... يتضمن هذا الإنجاز : وحدات كهربائية معدودة على السطح يمكنها توليد الطاقة الكهربائية توضع بشكل زاوي لتحديد الاختراق الشمسي إلى داخل المبنى .يخفض هذا الزجاج كسب الحرارة في الصيف بفضل عامل E الممتاز، لكن في الشتاء يصعب لمسه بسبب حرارته حيث يمكن تدفئة المبنى (يبرد في الصيف ويسخن في الشتاء) وتتضمن الواجهات الشرقية والغربية شقوق تهوية تخلق تدفق هوائي انسيابي لتبريد المبنى[14] .

**4 -19 - زجاج ذاتي التنظيف:** أدى ظهور هذا النوع المتطور من الزجاج إلى حدوث ثورة في مجال البشرة الزجاجية. تعتمد فكرة تصنيعه على احتواء بنيته البلورية على خلايا كهربائية ميكروية حساسة تستفيد من طاقة الأشعة الشمسية الواقعة عليه

في تنظيف سطوحه الخارجية ذاتياً عن طريق الخلخلة التدريجية للغبار والأوساخ والكتل العضوية العالقة باستخدام الطاقة الكهروستاتيكية الساكنة المتولدة من هذه الخلايا التي تعتمد على أكسيد مكروكرستالين التيتانيوم الذي يستجيب لضوء النهار. ينظف هذا التفاعل الأقذار عن الزجاج، دون الحاجة إلى استخدام الماسحات، وعندما تسقط عليه المياه، يحدث التفاعل الذي يؤدي إلى انزلاق الأوساخ والمياه من على سطح الزجاج. يحتاج هذا النوع من 5 -7 أيام ليصبح فعالاً ويبدأ بالعمل، بعد ذلك يستمر في أداء وظيفته حتى في الأيام الغائمة وفي الليل كذلك. وتوجد بعض الظروف التي تكون حماية هذا الزجاج فيها ضرورية، مثل: الكساء المستخدم للزجاج في النهاية سوف يحطم حتى أكثر الرواسب الطبيعية والأوساخ العضوية ثقلا، ولكن في حال كانت طبقة الأوساخ سميكة بحيث تحجب ضوء النهار عن الزجاج فإن عملية التنظيف الذاتي لن تكون فعالة. وفي هذه الحالة يتوجب غسل الزجاج بماء فيه صابون وخلال أيام قليلة يعود للعمل. وقد أجريت اختبارات أثبتت أن الطبقة التي تغطي الزجاج لن تفقد اللون أو ينطفئ تأثيرها ولكنها تتأثر في حالة إذابة الزجاج. ويمكن أن يستخدم هذا الزجاج من أجل أغلب إغراض التزجيج الخارجي ولكن أفضل استخداماته هي في النوافذ التي يصعب الوصول إليها والألواح الضخمة من الزجاج التي تستخدم في المستنبتات الزجاجية ، كما يمكن دمجه أثناء التركيب مع مختلف أنواع الزجاج الأخرى. واستخدم هذا الزجاج لأول مرة في منزل في سياتل عام2005م تحت اسم Pilkington Activeومن ميزاته: يعطي سطوحاً نظيفة واضحة الرؤية - يقلل من تكاليف المواد الكيميائية المستخدمة في خدمات التنظيف التقليدية ومن ثم فهو يعد منتجاً صديقاً للبيئة - كفاءة تنظيفية عالية تدوم لفترة طويلة نظراً لوجود الخلايا الحساسة الفعالة ضمن البنية البلورية للزجاج وليست طبقة سطحية معرضة للزوال بسهولة - يقلل بنسبة20٪ من نفاذ الأشعة الضارة - يمكن التعامل معه كأي نوع من أنواع الزجاج العادي المسطح فتجري عليه جميع عمليات القص، الجلخ، التقسية، الجلتنة ، بما يتناسب مع مختلف التطبيقات المعمارية - يمكن لهذا الزجاج أن يعمل بالنسبة للنوافذ الخارجية كما يعمل الزجاج ذو القيمة E المنخفضة بالنسبة للحفاظ على الطاقة حيث إن أفضل ميزات الاختراع الجديد هي خلق نوع من الملاءمة مع الحفاظ على الطاقة. وهذا الابتكار هو أحد أربعة ابتكارات وصلت إلى نهائيات جائزة ماكر وبرت الهندسية، التي تمنحها الأكاديمية الملكية البريطانية للهندسة.[14].

ان طبقة ثاني أكسيد التيتانيوم التي تغطي الزجاج لها صفتان تميزانها: الأولى – تمتص أشعة الشمس ، والأشعة فوق البنفسجية، وخلال هذه العملية ،تتفاعل الطبقة العازلة مع الأوساخ العضوية بحيث تفتتها. – والثانية – الطبقة العازلة تؤدي إلى جعل الزجاج أكثر جاذبية للمياه، أي عندما يلامس الماء سطح الزجاج ينجذب إليه. الابتكار الجديد يدمر الأوساخ العضوية ويؤدي إلى سقوطها على الأرض. كما إنه يقلل من المواد التي تلتصق بها الأوساخ الأخرى .ونظراً لتواصل تأثير الحافز الضوئي، فإن الزجاج يجف نظيفاً. على الرغم من أن الزجاج هذا تزيد تكلفته 20٪ عن الزجاج التقليدية، إلا إن هذه التقنية الجديدة أصبحت تستخدم في المساكن المغطاة بالزجاج، وهي المساكن التي تحتاج إلى الكثير في التنظيف ولذلك فإنها ستوفر القيمة الزائدة في سعرها من خلال توفير التنظيف المتكرر.

**4 -20 - النوافذ الذكية** Smart Windows **:** نوع جديد من النوافذ المدهشة يساعد على تشكيل مناخ داخلي لطيف. أي هي تلك التي تتحكم بكمية الضوء المطلوب حسب الحاجة ويمكن أن تعتمد فكرتها على العديد من الطرق والوسائل التكنولوجية التي تعتمد على مواد تغير خواصها الضوئية من ناحية الامتصاص والانعكاس مع تغير فرق الجهد المطبق [ك]. وما زالت الأبحاث مستمرة لتطوير نوافذ ذكية بكفاءة عالية. وقد استخدم هذا الزجاج لأول مرة في بنك بمدينة دريسدن في ألمانيا عام1999م في مبنى المكاتب الرئيس التابع له[60]. وتعتمد فكرة عمل النوافذ الذكية في التحكم في مرور الضوء من خلالها على إحدى الظواهر الفيزيائية الكثيرة التي تستجيب للضوء ولكل ظاهرة ميزاتها وعيوبها ومن هذه الظواهر: - البصريات الحرارية thermo tropics – تغيير لون الضوء photo chromatics – البلورات السائلة liquid crystals – شاشة

الجسيمات المعلقة suspended particle displays – تغيير اللون بالكهرباء electrochromics . ومن بين الوسائل التي تعتمد عليها النوافذ الذكية البلورات السائلة و شاشة المجسمات المعلقة وتغير اللون بالكهرباء.[16]

**4 -21 -الخلايا الشمسية الكهروضوئية**

(photovoltaic,cells) تستخدم الخلايا الكهروضوئية( PV cells) الضوء المباشر والضوء المشتت والمنعكس من الأسطح المجاورة لتوليد الكهرباء حيث يمكنها العمل عندما تكون السماء غائمة ، وتخزن الكهرباء المولدة خلال النهار في بطاريات لتستخدم خلال الليل. وتطبيقاً لهذا المبدأ (توليد الكهرباء من الشمس مباشرة وتزويد المبنى بها عن طريق الزجاج الخارجي) تم التوصل إلى تكوين معماري اختباري لتطبيق هذه النظرية تحت مسمى :الهيكل الزجاجي (Solar Glass Pavilion). وتشكل هذه الوحدة القياسية (PV) الهيكل –المحتوي - مصدر القوة للسرادق الزجاجية الشمسية. جمعت شريحة (PV) Apolloالرقيقة والألواح الزجاجية الشفافة مع بعضها في زجاج مساحته 4قدم مربع شكلت أسقف وجدران المقصورة .وتصل وحدات الزجاج المجلتن التي تشكل الدعامات المقواة مع الأرضية إلى 37 وحدة. زجاج المقصورة يولد ما يكفي من الكهرباء ليدعم طاقته الخاصة اللازمة من أجل أنظمة التهوية والإنارة الليلية فهو يمرر الإضاءة السماوية الجيدة ويولد الطاقة أثناء قيامه بتمرير الضوء. كما يمكن لهذه المقصورة الصغيرة رفد الشبكة الكهربائية بالكهرباء. يبرهن هذا التصميم على الجهد الكهربائي للمباني التي هي أكثر من ملجأ بل كذلك محطات توليد كهربائية غاية في الصغر. يعتمد مبدأ هذه المقصورة على الاتجاه نحو عمارة جديدة تعبر عن التطور الزمني وأهمية الاتصال مع البيئة، وتتجلى فائدة زجاج (PV) في الدمج بين وظائف متعددة ليؤدي غرض مادة بناء مثالية تشكل عنصراً نظيفاً ومورداً للطاقة المتجددة.

حيث يعد الزجاج الكهربائي الضوئي واحداً من أشكال موارد طاقية قليلة يمكن تجديدها ويمكن أن تندمج مع بيئتها المحيطة. ويمكن أن يحل هذا النوع من الزجاج في أي مكان يستخدم فيه الزجاج في المبنى ويمكن أن يشكل جداراً ستارة يحجب ما داخله - مصدراً للطاقة - مظلات شمسية - غطاءً خارجياً. يتم طلاء زجاج المباني بطبقات رقيقة من المعدن أو صباغ يمكنه تصفية أو صرف الضوء ولكن هذا النوع من الزجاج يمكنه إعطاء النتيجة ذاتها. طورت التحسينات الأخيرة لهذا الزجاج إمكاناته ليصبح فعالاً في مختلف المجالات منافساً لأفضل مواد البناء الأخرى المستخدمة لأغراض مشابهة. [17]

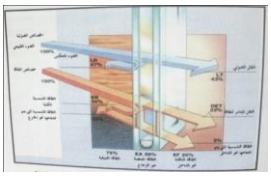
**المقصورة الزجاجية الشمسية**

## 5- القدرات البيئية للبشرة الزجاجية:

البشرة الزجاجية تنتج عمارة حية تتفاعل مع البيئة الخارجية بمختلف مكوناتها وتتشكل علاقة بينهما تنتقل إلى الفراغات المعمارية الداخلية وتتجلى هذه العلاقة الفيزيائية البيئية بالعناصر الآتية: الحرارة - الضوء الطبيعي - الطاقة المنتقلة عبر الزجاج - التهوية الطبيعية - الصوت ... الخ. تتلخص الفكرة العامة من استخدام الزجاج كطريقة في التحكم البيئي بإدراك المشاكل الكامنة وراء فقد الحرارة غير المرغوب بفقدها واكتساب الحرارة الشمسية الزائدة ضمن واجهات المباني. وترتبط عملية العزل الحراري ارتباطا وثيقاً بحرارة الشمس التي يجب الحماية منها عندما تزيد عن حدها المطلوب، مع الموازنة الدقيقة لضوء النهار الطبيعي المطلوب و الذي يشكل جزءاً من الطيف الشمسي. ومن ثم يكمن الحل الحراري في تخفيض التبادل الحراري على جانبي اللوح الزجاجي وبذلك نحافظ على الحرارة الداخلية للفراغات المعمارية ونؤمن الراحة الحرارية ضمنها. عندما يتحقق العزل بأنواعه المختلفة بشكل جيد، نحصل على توفير في الطاقة تتفرد البشرة الزجاجية بتأمينه، وذلك عندما يتم اختيار الزجاج المناسب للبيئة المكانية. ومن خلال ما تم استعراضه من التطور التكنولوجي لأنواع

الزجاج وخصائصه التي تسعى لتشكيل عازلاً جيداً في مجال الصوت والحرارة والحفاظ المناسب على الطاقة، وتوفير الإنارة والتهوية الجيدة للفراغات المعمارية الداخلية مما يفتح آفاقاً واسعة للاختيار، ومن أهم ما تقدمه البشرة الزجاجية في مجال البيئة المعمارية: -

**5 -1 - العزل الحراري :** تنتقل الحرارة من المناطق ذات الدرجات الحرارية العالية إلى المناطق ذات الدرجات الحرارية المنخفضة بثلاث طرق رئيسية هي - التوصيل الحراري – الإشعاع الحراري - الحمل الحراري. علاوة على ذلك تنتقل الحرارة بطريقة الرشح Infiltration ، وهو



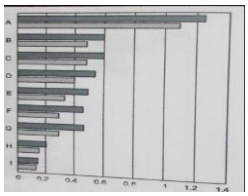
تسرب الهواء حول الإطارات ومن خلال أغطية النوافذ أثناء تحرك أجزائها. ويتم التحكم به من خلال الدراسة المتأنية أثناء التصميم و الأخذ بعين الاعتبار كافة العوامل الجوية وخاصة للنوافذ المتحركة [12] وتتعلق هذه العوامل إلى حد كبير بسرعة الرياح، ويعبر عن التبادل مع الوسط الخارجي بالمعامل he (external) والتبادل مع الوسط الداخلي بالمعامل hi (interior). ولكي نفهم آلية انتقال الحرارة عبر البشرة الزجاجية (خاصة الإفادة من الطاقة الحرارية الشمسية) يجب أن نعرف مفهوم الطاقة الحرارية المنقولة عبر الزجاج وكيف تتم تغذيته بها... وذلك من خلال جملة من المفاهيم:

**ا - التحكم الشمسي** (Solar-Control) **:** وهو تحكم شمسي من خلال عكس أو امتصاص جزء من الطاقة الشمسية [18].

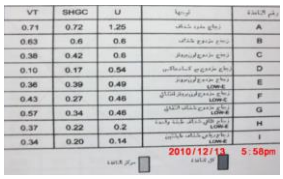
**ب - التحكم الحراري** (Thermal Control) **:** يشير هذا المفهوم إلى القيمة العازلة للزجاج، أي قدرته على مقاومة انتقال الطاقة ذات الأمواج الطويلة المنتقلة بشكل طبيعي من السطح الأدفأ إلى السطح الأبرد بالتوصيل [14].

**ج - العامل** (U) **:** هو مقدار ضياع الحرارة في م$^2$ ضمن ظروف ثابتة بين الداخل والخارج لما يعادل 1 كلفن وكلما انخفضت قيمته انخفض مقدار ضياع الحرارة، وكانت مواصفات الزجاج أفضل في مجال نقل الحرارة ويقاس هذا العامل بوحدة هي $W/m^2.C^O$ وله علاقة وثيقة بالعاملين he – hi [12].

وقد يكون السطح الزجاجي مفرداً أو مضاعفاً. ويوفر الزجاج المضاعف عزلاً حرارياً إضافياً يستند إلى مبدأ ملء الفراغ بين وجهي الزجاج بهواء جاف او غاز ساكن بغية تخفيض التبادل الحراري بواسطة الحمل والإفادة من الناقلية الحرارية المنخفضة للهواء. ويمكن تخفيض العامل U في النوافذ باستخدام:



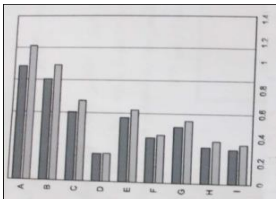
**1 -زجاج نوافذ مضاعفة (مزدوج)** حيث يخفض الهواء المحجوز بين لوحي الزجاج النقل الحراري أكثر من الزجاج بحد ذاته ويمكن استخدام غازات بديلة كالأرغون الذي يتميز بعازليه أفضل من الهواء .



| VT | SHGC | U | | |
|---|---|---|---|---|
| 0.71 | 0.72 | 1.25 | | A |
| 0.63 | 0.6 | 0.6 | | B |
| 0.38 | 0.42 | 0.6 | | C |
| 0.10 | 0.17 | 0.54 | | D |
| 0.36 | 0.39 | 0.49 | | E |
| 0.43 | 0.27 | 0.46 | | F |
| 0.57 | 0.34 | 0.46 | | G |
| 0.37 | 0.22 | 0.2 | | H |
| 0.34 | 0.20 | 0.14 | | I |

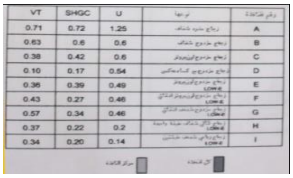
**2 -غطاء واحد أو أكثر من الأغطية (الطلاء** Coatings ) ذات القيمة E المنخفضة [18] من أجل راحة حرارية أكبر واستهلاك طاقة أقل في المناخ الأشد قسوة عندما تنخفض درجة الحرارة تحت الصفر في الشتاء تنخفض قيمة U وترتفع قيمة R (يزداد النقل الحراري) ،وينصح عندها باستخدام أكثر من فراغ هوائي مع ألواح زجاجية متعددة ذات قيمة Eمنخفضة. ويحدد هذا العامل قيمة العزل لمركبات النافذة وتبلغ هذه القيم أقصاها في مركز لوح الزجاج وتكون قيمة العامل U للنافذة ككل أعلى من U للمركز. تختلف قيمة U بدءاً من إطار النافذة إلى لوح الزجاج ومركز اللوح الزجاجي. ولذلك قامت مؤسسة (National Fenestration Rating Council) (NFRC) بدراسة مختلف القيم للعامل U . حيث النوافذ من A—G مزودة بإطار ألمونيوم عادي لذا نلاحظ قيمة U في المركز دائماً أقل من قيمتها للنافذة ككل، والنوافذ من H-I فالقيم متقاربة لأن إطارات النوافذ عازلة [20] الشكل (أ)

**د - القيمة** R **:** هي القيمة التي تعبر عن زيادة النقل الحراري، ويعبر عن العلاقة بين المعاملU و R بالصيغة R=1/U أي إن هذا العامل يقدر قيمة العزل الحراري ومقاومة



التسرب الحراري الناتج عن اختلاف الحرارة بين الوسطين على جانبي النافذة الزجاجية. و خلال الطقس البارد تتمتع النوافذ ذات القيمة الكبيرة للعامل R بحرارة مشعة عن السطح الداخلي أكبر من النوافذ التقليدية مما يؤدي إلى عدد من الميزات: منها تخفيف التكاثف الناتج عن الرطوبة داخل الفراغات – تقليل الضغط على أنظمة التدفئة – تخفيف الحاجة إلى المثبتات الحرارية (ترموستات) – تأمين الراحة الحرارية.[19]

**ه - العامل:** (Solar Heat Gain Coefficient)(CHGC):



| VT | SHGC | U | | |
|---|---|---|---|---|
| 0.71 | 0.72 | 1.25 | | A |
| 0.63 | 0.6 | 0.6 | | B |
| 0.38 | 0.42 | 0.6 | | C |
| 0.10 | 0.17 | 0.54 | | D |
| 0.36 | 0.39 | 0.49 | | E |
| 0.43 | 0.27 | 0.46 | | F |
| 0.57 | 0.34 | 0.46 | | G |
| 0.37 | 0.22 | 0.2 | | H |
| 0.34 | 0.20 | 0.14 | | I |

يصف معامل الكسب الحراري الشمسي قدرة الزجاج على امتصاص أو عكس الحرارة الشمسية، وتتعلق قيمته بمقدار الجزء من الطاقة الشمسية التي تصل إلى النوافذ وتنفذ إلى داخل الفراغ المعماري. و يتعلق بكل مكونات النافذة بما فيها الإطار والزجاج. وكلما زادت قيمة SHGC تكون النتيجة أفضل حيث تقل الحرارة الممتصة من الأشعة الشمسية وتتراوح قيمته بين (0 -1) فمثلاً عندما يكون SHGC=0,4 فإن ذلك يعني أن النافذة الشكل(ب) تحمي الفراغ الداخلي من 60٪ من الطاقة الشمسية الحرارية عن طريق منعها من الدخول. ويمكن الوصول إلى قيمة منخفضة لهذا العامل بإضافة L0w-e coating، مما يقلل الكسب الحراري خلال الصيف، و الفقد الحراري خلال الشتاء. ويعبر الشكل (ب)عن قيم نمطية لهذا العامل لكل النافذة ككل وللمركز حسب NFRC.[18]

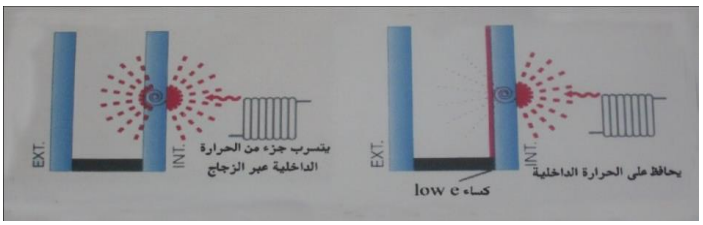
**و - العامل** (Shading coefficient (SC : يعبر عامل التظليل عن نسبة نقل الطاقة الشمسية الإجمالية مقارنة بالنقل عبر وحدة من الزجاج الشفاف بسماكة 1/8 أنش . يتعلق هذا العامل فقط بالزجاج، ولا علاقة له بالإطار و يحدد برقم صحيح يتراوح بين(0 -1) وعندما تزداد قيمته يعني زيادة قيمة الكسب الحراري الشمسي. و تربط بين هذا العامل وعامل الكسب الحراري العلاقة الحسابية : SC=1,15SHGC **أو** SHGC=0,87SC

**ز – العامل** (Light-to-Solar Gain (LSG) يتعلق قيمة هذا العامل بالمعادلة التي تؤدي إلى قيمة صغيرة لSHGC وقيمة كبيرة ل VLT وتتراوح القيمة المثالية لهذا العامل بين – (1,4 1,2).[22]

**ح – التسرب الهوائي** (Air Leakage) . يحدث الكسب أو الفقد الحراري عن طريق الشقوق في مركبات النافذة ويقاس هذا المقدار من خلال كمية الهواء المتسربة (م$^3$ \ د) والتي تعبر ضمن وحدة المساحة في النافذة (م$^2$) في ظروف ضغط معينة . وتختلف قيمة التسرب إلى حد ما بسبب الرياح و تغيرات ضغط الحرارة الجوية. ويساهم في زيادة أحمال التبريد أو التدفئة. ويعد التسرب الهوائي جزءاً من التهوية الداخلية غير المضبوطة وغير المرغوب بها. ويوجد عدة عوامل تتحكم بها: تثبيت الإطارات حول الألواح الزجاجية و الجوانات المثبتة للزجاج و غيرها.[18] .أن حرارة الشمس التي تخترق المبنى و التي يجب تقليلها باستخدام أجهزة التكييف للحفاظ على درجة الحرارة الملائمة وتقدر الحرارة التي تخترق الجدران والأسقف في الصيف بنسبة 60 -70٪ من الحرارة المراد تقليلها باستخدام التكييف و أما البقية فتأتي من النوافذ وفتحات التهوية وعند استخدام البشرة الزجاجية تنضم هاتان المجموعتان لبعضهما لأن النافذة تصبح نفسها الجدار. تقدر نسبة الطاقة الكهربائية المستهلكة في الصيف لتبريد المبنى بحوالى 66٪ من كامل الطاقة الكهربائية للمبنى. و من هنا تنبع أهمية استخدام البشرة الزجاجية المناسبة لتأمين العزل الحراري لتخفيض استهلاك الطاقة الكهربائية .[24] ويتم هذا من خلال معرفة الخصائص الحرارية للمادة.

**5 -2 - الكسب الحراري** : يعطي الإشعاع الشمسي معطيات مختلفة خلال الفصول الأربعة حيث يسبب تنوعاً في المكتسبات الحرارية بين الارتفاع و الانخفاض وكل منها يتطلب تزجيجاً مناسباً لتجنب الإزعاج الحراري أو الحمل الحراري بحيث يؤمن الحل الحراري المناسب وخاصة في منطقة الدراسة (اليمن) . جرت محاولات عديدة مبكرة لتقليل الكسب الشمسي عبر الزجاج من خلال تلوينه بألوان قاتمة – كساءات عاكسة ...

وغيرها، لكن ذلك تسبب في تقليل الضوء المنتقل عبر الزجاج . حيث يجمد الزجاج الملون (Tinted glazing) النقل الحراري عبر امتصاص الحرارة من قبل كتلة الزجاج ذاته. ولكن ذلك يسبب ارتفاعاً في درجة حرارة الزجاج وزيادة في الإشعاع الحراري القادم من النافذة إلى الفراغ الداخلي المكيف. على الرغم من أننا نستفيد من البشرة الزجاجية العاكسة في المناخ الحار حيث يتطلب الأمر تحكماً شمسياً دقيقاً .. ولذا تم العمل على توظيف الألوان والأغشية (Coating) ذات القيمة E المنخفضة الأكثر حداثة لتقوم بالنقل الانتقائي للضوء المرئي وتجميد الأشعة تحت الحمراء و فوق البنفسجية.




و تمتلك المعادن المستعملة في هذا الكساء (Coating) للبشرة الزجاجية ميزتين: - تسمح بمرور الموجات الضوئية إلى داخل الفراغ المعماري (و أحياناً تجمد الضوء المرئي بحسب نوعها) – تقلل ذي القيمة E المنخفضة حيث يصبح الكساء جزءاً من تصنيع اللوح الزجاجي وتعمل الصناعات الحديثة على تحسين خصائص ألكساء بحيث نحصل على اللوح الزجاجي ذي الخصائص الحرارية المميزة – يقصد بهذا إعادة عكس الحرارة التي أمتصها الزجاج إلى الفراغ الداخلي فيؤمن الراحة الحرارية الداخلية المطلوبة، وتعكس أكثر مما تمتص الطاقة الناتجة عن الأشعة تحت الحمراء. و كلما قلت قيمة العامل E تزداد فعالية الزجاج في الحفاظ على الحرارة الداخلية ضمن الفراغ المعماري فمثلاً القيمة 0,2 للعامل E تعني أن 80٪ من الحرارة الممتصة عبر اللوح الزجاجي أعيدت من جديد إلى الداخل .وتعتبر البشرة الزجاجية الانتقائية (Spectrally Selective glazing) بأنها تملك أفضل القيم للعامل E حيث تحجب الحرارة الزائدة أو تزيد الكسب الشمسي أو تتحكم بتأمين التوازن بينهما، وتمرر الضوء المطلوب. وعندما تكون قيمة العامل Ke أكبر من (1) فإن الزجاج انتقائي للطيف الشمسي.[12] فمثلاً يبدو من خلال الشكل التالي كيف يمنع الكسب ذو القيمة E المنخفضة، الحرارة الداخلية من التسرب إلى الخارج فيمتصها و يعيدها إلى الفراغ الداخلي المدفأ. في حين تتسرب هذه الحرارة عبر وحدة الزجاج التي لا تملك نفس الخصائص [12]

الشكل يبين كيفية الحفاظ على الحرارة الداخلية من خلال Low-e glass ويمكن تحقيق الافادة المثلى من خلال الزجاج ذي القيمة E المنخفضة كما هو مبين في الأشكال التالية:

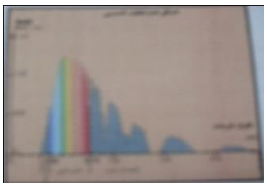
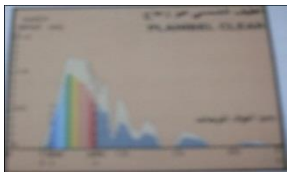
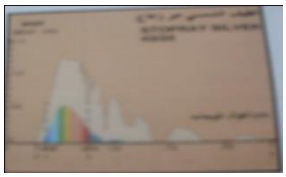
((أ))

((ب))

((ج))

الشكل((أ)): لتأمين تحكم حراري ممتاز يستخدم الزجاج الأزرق يمتص الأشعة الحرارية من خلال الطبقة الثانية ذات السطح الزجاجي المعرض للمعالجة الحرارية ثلاث مرات والذي يعكس الحرارة بالاتجاه الخارجي. الشكل(ب): يحدث الكسب الحراري للزجاج عن طريق إشعاع الأمواج القصيرة للشمس ونقل الطاقة من البيئة الخارجية. الشكل(ج ): نلاحظ في أعلى

الصورة انسياب واضح باتجاه الفراغ الداخلي. وفي أسفل الصورة زجاج ذو القيمة E المنخفضة معرض للمعالجة الحرارية ثلاث مرات يعكس الحرارة باتجاه الخارج .[14] و يتم العمل على تقليل النقل الحراري الشمسي عبر الزجاج من خلال تخفيض تأثير الطيف الشمسي عبر اللوح الزجاجي. وتعتبر الخطوط البيانية التالية عن معالجة الأفكار السابقة من خلال نوع معالج من الزجاج، حيث يدل الخط الأفقي على طول الموجات و الخط الرأسي على الكثافة المنقولة، حيث تقلل أنواع الزجاج المبينة كثافة الطيف الشمسي الحرارية الغير مرغوبة. وتماثل قيم التمرير الضوئي والمعامل الشمسي لهذا الزجاج خصائص الزجاج المزدوج العازل.

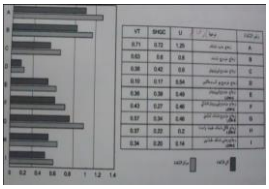
الشكل العام للطيف الشمسي.

يقلل هذا النوع من الزجاج (المستوى الصافي) كثافة الأشعة الشمسية نستنتج من هذه الخطوط البيانية أن كثافة الطيف الشمسي الحرارية تم تقليلها بواسطة هذا النوع من الزجاج لنفس أطوال الأمواج الضوئية. وهذا يبين المحاولات الجادة من قبل شركات الزجاج لتطوير خصائص منتجاتها لتؤمن التحكم الحراري الأمثل بأفضل الحلول الاقتصادية والتقنية. وهذا سيساعد المعماري في اختيار النوع المناسب من البشرة الزجاجية.

**5– 3 - نفوذ ضوء النهار إلى داخل الفراغ المعماري:** يحب الإنسان بفطرته ضوء النهار ورؤية مظاهر الحياة عبر النوافذ والفتحات التي تربط الفضاء الداخلي بالفضاء الخارجي ، و منطقة البحث (اليمن) أولى بالاهتمام بالطاقة الشمسية و الإنارة الطبيعية حيث الشمس الساطعة و السماء الصافية، و من ثم يمكن التقليل من أحمال الكهرباء اللازمة في المباني. ولاسيما في المباني التي فيها العمل نهاراً مثل المباني الإدارية ،و التعليمية .... وغيرها. و من هنا تظهر أهمية الجمع بين الخبرات الهندسية و المعمارية للوصول بالبشرة الزجاجية إلى تحقيق مستوى الإنارة المطلوب و النوعية الجيدة والأداء الحراري الأمثل. و يعتمد تصميم ضوء وانعكاساته المتعددة حتى يصل إلى مستوى الشغل في الفراغ الداخلي. و من الممكن تقسيم ذلك إلى ثلاث مركبات: الأولى: المركبة السماوية(Sky component (SC و التي تمثل جزء ضوء النهار الذي يصل من السماء مباشرة إلى داخل الفراغ المعماري عن طريق النافذة التي يتسبب عنها بعض الفقدان، أي إن المركبة السماوية = الإمارة المباشرة من السماء – الفقدان الناتج عن النافذة. المركبة الثانية: -الناتجة عن الانعكاسات الخارجية Externally reflected component (ERC) وهي تمثل جزء ضوء النهار الذي يصل إلى الفراغ المعماري نتيجة لانعكاسات الضوء خارج المبنى نتيجة وجود عوائق خارجية. وتظهر أهمية هذه المركبة في المناطق المزدحمة بالمباني . ومن الممكن التعبير عن هذه المركبة بأنها الجزء من الإنارة السماوية الذي ينير العوائق مضروباً في معاكسة العوائق. المركبة الثالثة: هي الناتجة عن الانعكاسات الداخلية Internally reflected component (IRC) ويحددها البعض بالمعادلة التالية (Hopkinson and Kay,1969) المركبة الناتجة عن الانعكاسات الداخلية= الفيض الضوئي المنعكس لأول مرة مقسوماً على حاصل ضرب مساحة الغرفة(1 - المعاكسة المتوسطة). نلاحظ أن محصلة المركبات الثلاث تمثل الإنارة على مستوى الشغل[5]. وتقدر قيمة الإضاءة الطبيعية داخل المبنى من خلال معرفة كمية الضوء الطبيعي الذي يخترق واجهات المبنى ويتم معرفة هذه القيم من خلال تقدير عوامل انتقال الضوء وهي:

**- نقل الضوء** Light transmission (LT)**:** نسبة الضوء المتدفق نحو الزجاج و الذي يمر نحو الداخل. ويعرف كذلك باسم نقل الضوء المرئي Visible light

transmission(TLT) ويرمز له أحياناً (Tvis)، ويعني كمية الضوء الطبيعي الذي يقع ضمن الجزء المرئي من الطيف الذي يخترق الزجاج نحو الفراغ الداخلي للمبنى. و كلما زادت قيمة هذا العامل يعني زيادة مقدار ضوء النهار الداخل إلى الفراغ المعماري، و عندما يدرس بشكل دقيق فإنه يساعد على تخفيض مصروفات الإضاءة الصناعية. كما تتأثر الإضاءة الطبيعية بنوع التزجيج وعدد الطبقات والكساء المضافة إلى الزجاج[12] وتتراوح قيمة الضوء المنتقل نحو الداخل من 90٪ للزجاج الصافي وصولاً إلى 10٪ للزجاج الملون ذي الطلية العاكسة ويظهر الشكل قيماً متعددة لعامل النقل الضوئي .



**- عكس الضوء**(LR) Light reflection : هي نسبة الضوء المنعكس من الزجاج نحو الخارج وتنتج عنها ظاهرة اللمعان والتوهج التي تسبب إزعاجاً للعين سواء للمارة في الشارع أو للمباني المقابلة، لذلك يجب أن يتم اختيار هذا العامل بدقة وأخذه بعين الاعتبار كي لا يسبب الإزعاج البصري .[12]

**- Ke ثابت متعلق بمصدر الإضاءة** Luminous constant efficacy يحدد أداء النوافذ من حيث رفض الطاقة الشمسية خلال نقل الضوء المرئي. وهو نسبة النقل الضوئي إلى عامل التظليل Ke=Tvis/SC. يسمح الزجاج الشفاف بدخول كثيف لضوء النهار والأشعة تحت الحمراء مما يرفع قيمة هذا العامل أما الزجاج المختار بدقة فيسمح بكمية كافية من ضوء النهار بينما يجمد الأشعة تحت الحمراء و فوق البنفسجية غير المرئية ويخفض قيمة هذا العامل [19]. و في منطقة الدراسة يجب الإفادة من ضوء النهار بما لا يسبب كسباً حرارياً زائداً. و قد سمح التطور الحديث في مجال البشرة الزجاجية الإفادة القصوى من ضوء النهار بدون الحرارة الزائدة من خلال أنواع الزجاج التي تفصل الضوء عن الحرارة عند درجات حرارة معينة وكمثال عن الفروق في التحكم الضوئي والحراري عبر الزجاج فإن الزجاج الدائم الخضرة يتحكم بالأشعة الشمسية أكثر من الزجاج الأخضر المطلي حيث تحجز وحدة زجاجية من الزجاج الدائم الخضرة بسماكة 6مم 86٪ من الأشعة فوق البنفسجية و تسمح بدخول 65٪ من ضوء النهار . وتتأثر عملية نقل الضوء المرئي بلون اللوح الزجاجي مع العلم أن معظم الزجاج المعماري يمتلك تلويناً أخضراً خفيفاً حيث تشوبه بعض إضافات الحديد. ويتم تحقيق الزجاج الأنقى مع النقل الأفضل للضوء بتخفيف نسبة الحديد فينتج زجاج أبيض بتكلفة وقيمة عالية – تبلغ قيمة العامل Ke 100٪ في حالة الشفافية الكاملة للوح الزجاجي، ولكن بالنسبة لأكثر أنواع الزجاج تتراوح قيمته بين 35 – 80٪. بعض الألوان المنتقاة مثل اللازوردي والأخضر تقلل الأشعة فوق البنفسجية وتحت الحمراء وتسمح بنقل ضوئي جيد ورؤية جيدة. ومن ثم يتم التعبير عن فعالية الزجاج في نقل الضوء المرئي ورفض الحرارة بالقيمة A حيث (A=VLT/SHGC (المماثلة للقيمة LSG وكلما ازدادت هذه القمة تكون ميزات الزجاج المستخدم أفضل. أي إن مواصفات البشرة الزجاجية الجيدة تتجلى ب VLT عالية و SHGC منخفضة [22]. و لذلك تعمل التقنية الحديثة على الوصول إلى القيمة الانتقائية المناسبة لمختلف البيئات من خلال الموازنة بين عملية الكسب الحراري وتمرير الضوء والحرارة ويشكل نقطة الوصل بينهما. وتعرف الانتقائية بأنها نسبة ناقلية الضوء LT إلى قيمة العامل الشمسي SF. وتعتبر التجربة أن الانتقائية السيئة تتراوح بين (0 – 1)، والجيدة بين (1 – 2).ولذلك تسمي بعض الشركات الزجاج الذي يقترب من القيم الجيدة بالزجاج الانتقائي.[12]

## 6- الاستخدام البيئي للبشرة الزجاجية في الأبنية:

نستعرض هنا بعض النماذج التي تعبر عن الحلول البيئية المتكاملة وذلك باستخدام وسائل بيئية مساعدة للبشرة الزجاجية المستخدمة في المباني .

**6– 1– برج كوميرز في المانيا أطول ناطحات أوربا:** يضفي مبنى برج " كوميرز " خاصية مثيرة لإعجاب الزوار في سماء فرانكفورت عند النظر إليه من بعيد بارتفاعه الذي يصل إلى 299 متراً كأعلى مبنى في قارة أوروبا، أما عند إلقاء نظرة عن قرب فيكتشف الزائر أنه أكثر من مبنى مرتفع، إذ يمر الداخل إليه من خلال سلالم مغطاة بسقف زجاجي تمتزج مع أشكال

المباني المجاورة له بصورة متناسقة، و قاعة مركزية يصل ارتفاعها إلى 160 متراً تصل بين الأجنحة الثلاثة المكونة للمبنى.. كما يلاحظ التصميمات الفريدة والمتميزة في قاعات وممرات وغرف المبنى على امتداد طوابقه الخمس والستين، ويمتاز المبنى بإعادة استخدامه للطاقات الطبيعية والتخلي عن وسائل التهوية والإضاءة الصناعية مما يجعل الزائر يحس بكونه في أحضان الطبيعة. أقيم برج كوميرز على مساحة بلغت 3 ،1 مليون قدم مربع، بمدينة فرانكفورت الألمانية، واكتمل بناؤه في 3 سنوات (1994 - 1997) وصممه المهندس المعماري السير نورمانفوستر، من شركة "فوستر وشركاه"، أما المالك فهو المصرف الألماني "كوميرزبنك" الذي يعد ثالث أكبر الهيئات المصرفية الخاصة في ألمانيا بل والدول الأوروبية كلها .

أهم ما يميز هذا البرج كونه صديقاً للبيئة حيث يلقب بأنه أول برج صديق للبيئة في العالم، وهذا لحرص المهندس المصمم له على الإفادة من عناصر الطبيعة في إضاءة وتهوية المبنى المتعدد الطوابق، ومن هذا المنطلق يعد المبنى أحد تجليات العصر الحديث لا من حيث التقنيات والإمكانيات الموجودة فيه فحسب ولكن من حيث إعادة استخدامه للطاقات الطبيعية والتخلي عن وسائل التهوية والإضاءة الصناعية والتي تضر بشكل أو بآخر بالبيئة المحيطة .

والحقيقة أن هذا ما يجعل الزائر لهذا المبنى يجد نفسه بين أحضان الطبيعة مما يخفف من حدة التوتر التي قد تنتاب البعض من مجرد التواجد داخل أحد المباني الشاهقة خاصة بعد أن شاهد العالم مثل هذه البنايات وهي تنهار بشكل مريع، فبعدما كانت ناطحات السحاب تمثل رمزاً للحضارة والتطور في العالم أصبحت ومنذ ذلك اليوم تعتبر أيضا مصدراً للخوف والقلق بين بعض الناس حتى من غير المصابين بأمراض الخوف من الأماكن المرتفعة، فالمبنى مغمور بضوء النهار معظم الوقت بالإضافة إلى تهويته من خلال المصادر الطبيعية. وقد تم تصميم المبنى على شكل مثلث حيث تم ترتيب أجنحته المكتبية الثلاثة حول قاعة مركزية بارتفاع المبنى بالكامل مما يسمح لكل مكتب ومحطة عمل الحصول على منظر واضح للعالم الخارجي، كما تمت إضافة النواحي الجمالية على المبنى للتغلب على الطابع العملي له من خلال سلسلة حلزونية من الحدائق ذات الطوابق الأربعة التي تتسم كل منها بطابع مميز وتتصل جميعها بالقاعة المركزية وعلى حد قول الكاتب كولينز دافيز في مقدمة كتابه "كومرز بنك فرانكفورت: مثال للصعود البيئي". فإن التصميم الثوري لشركة فوستر وشركاه المصممة لهذا المبنى بدأ مرحلة جديدة في تطوير المباني الصديقة للبيئة والموفرة للطاقة والمخفضة للتلوث.. فهذا المبنى تم تصميمه لمستخدميه بالإضافة إلى عملائه. فهو لا يهتم فقط بالشكل الاقتصادي والتخطيط الفعال ولكن بنوعية المساحة والراحة المادية والنفسية، مع إضفاء الكثير من الضوء والهواء والمناظر الطبيعية والاسترخاء علاوة على العمل، مع إيقاع يوم العمل، وتعد فكرة الارتفاع في المضمون البيئي جديدة ولذلك بحثنا عن أمثلة عنها، فمبنى مصرف "كومرزبنك" هو أبرز مثال، حيث تشمل خصائصه البيئية الرئيسية المخطط امثلثي الذي يسمح للقاعة المركزية في الوسط بتوزيع الحرارة، كما إن الهيكل المعماري المميز المزدوج الجدار يسمح بالتهوية الطبيعية في كل مكان من دون التأثير على كينونة المبنى، فيما تعد الحدائق المتعددة الطوابق مصدر تهوية للمبنى، وعلاوة على هذه الخصائص الطبيعية، هناك أيضا دعم ميكانيكي كامل للمبنى، استهلاك الطاقة أقل بنسبة 40٪ ويمكن أن تتلخص الأهداف التي حرص عليها المهندس المعماري في البناء في عدد من النقاط أولها فعالية الطاقة، حيث يحقق المبنى الفوائد القصوى المكتسبة من التهوية الطبيعة وأشعة الشمس واختصار الأنظمة الميكانيكية، فبالنسبة للتهوية يحصل المبنى على أقصى ما يحتاجه من خلال اتجاهاته والفتحات المزود بها، وبإمكان المقيمين السيطرة على بيئتهم الخاصة بغض النظر عن فصل السنة. كما قام المصمم بالإفادة من أشعة الشمس بحيث يتعين أن يقيد كسب الحرارة في الصيف مع الوصول إلى الحد الأقصى لها في الشتاء، ومرة أخرى يمكن للمقيمين السيطرة الفردية .

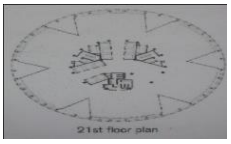
وفي جانب الأنظمة الميكانيكية فإن المزايا المكتسبة من الأنظمة

غير الفاعلة "الطبيعية" لن تتغلب على الحاجة للأنظمة الميكانيكية ولكنها سوف تسمح بتركيز المال نحو احتياجات قليلة معينة، ويعد النظام المركزي ضرورياً بحيث لا تقوم المحاولات الفردية للتعديل الميكانيكي للبيئة بتعريض فعالية الأنظمة الطبيعية للخطر. كما روعي في المبنى أن يتسع إلى الحاجات الفردية مهما صغرت أو كبرت فالمساحات يمكن تغييرها وتعديل أشكالها حسب الطاقات البشرية الموجودة فيها وهذا ما يسمى بالمرونة ومع أن مثل هذه المشاريع تحتاج إلى تمويل كبير ولكن المبنى الذي نحن بصدده الآن روعي فيه العديد من وسائل الاقتصاد في البناء والتشييد فمن ناحية البناء تم استخدام الطرق والمواد الإنشائية المحلية لجعل هذا التصميم ذا مردود اقتصادي بشكل سريع ولا يعتمد على التكنولوجيات الأجنبية . هناك قاعة مركزية تسمح بدخول ضوء النهار ترتفع لتصل إلى كافة الطوابق وبذلك تحقق جواً من الإضاءة الطبيعي شكل جمالي وتهوية طبيعية .

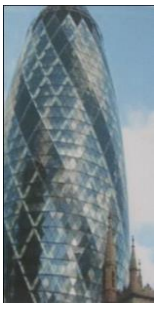
أما بالنسبة للحدائق فإنها تشكل رئة التنفس للمبنى ويمكن استخدامها بواسطة الموظفين كمناطق للتواصل والترفيه، وقد أمكن تحقيق كل ذلك من خلال التصميم المبتكر للشركة المعمارية التي قامت باستبدال الجزء المركزي المعتاد في المباني المرتفعة بقاعة مركزية يصل ارتفاعها إلى 160 مترا تصل بين الأجنحة الثلاثة المكونة للمبنى.. لقد قام نورمان فوستر الذي يرى أن النباتات تمثل عاملا أكبر من كونها مجرد ديكور بوضع الحدائق التسع بشكل حلزوني لتمتد على ارتفاع المبنى، كل ثلاثة منها تواجه الجانب الشرقي، الجانب الجنوبي والغربي للمبنى. كما أن النباتات في كل جهة تعبر عن الوجهة الجغرافية الموجودة فيها، فمثلا تلك التي تتجه إلى الشرق تحتوي على النباتات الآسيوية بينما تجد في الجنوب نباتات البحر الأبيض المتوسط والغرب نباتات أمريكا الشمالية، وتزود الحدائق المكاتب الداخلية بالكثير من ضوء النهار، وتشكل جزءاً من النظام المتطور للتهوية الطبيعية. نظامان للتهوية وبينما تعتمد المكاتب على هذه الحدائق بشكل كبير في التهوية إلا إن كل مجموعة من مجموعات الطوابق الأربعة بها نظام خاص للتحكم في التهوية وأنظمة التبريد والتدفئة، وهذا يعني أن هناك نظامين للتهوية في كل مجموعة من مجموعات الطوابق: النظام الطبيعي والنظام الميكانيكي، أما النظام الميكانيكي فيحصل على الهواء من خلال تجويف زجاجي خاص يقلل من امتصاص أشعة الشمس، هذا بالإضافة إلى أنظمة الحاسب الآلي وأجهزة قياس الرياح والتي تعمل على اختبار درجة الحرارة في خارج وداخل المبنى وتنظيمها، ويتم تبريد المبنى بواسطة نظام تبريد سقفي يعمل بالماء بدلا عن نظام تكييف الهواء العادي، ويتم تدفئة الغرف بواسطة أجهزة التدفئة العادية. كما يمكن للموظفين التحكم في درجة الحرارة في مكتبهم بشكل فردي بدرجة معينة وخلال ثلثي اليوم تقريباً أثناء السنة. يمكن للموظفين تنظيم التهوية بأنفسهم من خلال فتح أو إغلاق النوافذ بشكل فردي، وفقط في ظل الظروف الجوية السيئة يقوم نظام إدارة المبنى بتشغيل معدات التهوية، وعلى أية حال فإن عنصر الزجاج يخدم كثيراً أغراض التهوية والإنارة في المبنى طوال فترة النهار مما يسمح بتوفير كثير من الطاقة التي تلزم في العادة لتشغيل أنظمة التكييف والإنارة، ولذلك اعتمد تصميم المبنى على تغليفه من الخارج بواجهة من طبقتين، وهي تعد سمة مميزة حتى الآن في المباني المرتفعة، وتحتوي الطبقة الخارجية على شقوق يعبر منها الهواء الجديد إلى داخل التجويف بين الطبقات المختلفة. أما نوافذ الواجهة الداخلية، وحتى تلك التي تقع في الطوابق المرتفعة، فيمكن فتحها لضمان الحصول على تهوية طبيعية حتى الطابق الخمسين. كما يمكن أيضا فتح النوافذ التي تقع على جانب القاعة المركزية، وقد قام فريق التخطيط بتحقيق إنجاز عظيم بالحصول على أقصى استخدام ممكن لضوء النهار، ونتيجة لذلك، فإن شفافية المبنى والقواعد الزجاجية بين المكاتب والردهات تزود كافة أماكن العمل بدرجة كبيرة من ضوء النهار.

أما بالنسبة للبرج فإن استخدام الزجاج بهذا الشكل المكثف كان له سبب أمني إذ يقع بالقرب من موقع المطار في مدينة فرانكفورت ولطول ارتفاع المبنى كان لا بد من أن يكون من مادة تسمح بمرور إشارات الرادار التي توجه الطائرات المحلقة بالقرب من المطار، ولذلك كان على المصمم أن يختار من بين المواد الشفافة الموجودة بالفعل في الأسواق والتي لا تعيق عمل

الرادار .اختراع مادة زجاجية خاصة : - كانت المواد الموجودة في الأسواق في ذلك الوقت من نوع الزجاج المغلف من الخارج والذي يحجز الإضاءة بشكل كبير بالإضافة إلى ثقل وزنه. ولذلك كانت الحاجة لاختراع مادة جديدة تحقق المعادلة بحيث لا تتعارض مع الأنظمة الأمنية والحكومية ومن جهة أخرى تسمح بمرور الضوء بشكل جيد. وقد عملت شركة كوميرز على اختراع هذه المادة إلى أن تم تطوير منتج زجاجي جديد يستخدم الأسلاك المصنوعة من عنصر التنجستين ووضعها في الطبقات الداخلية للزجاج المصفح.[21]




6 -2- **برج Gherkin في لندن:** - يتميز هذا المبنى عن محيطه بشكله و ارتفاعه ويشكل علامة فارقة في المدينة حيث يمكن أن يرى من أماكن بعيدة جداً. ويبلغ ارتفاعه 180م. قامت فكرة إنشائه على مبدأ توفير الطاقة ، وكانت النتيجة أن المبنى يستهلك نصف كمية الطاقة اللازمة لأي مبنى بنفس الحجم. تحتوي كل بلاطة في الطوابق 6 فتحات تعمل كجزء من نظام التهوية الطبيعية للمبنى وتعمل هذه الفتحات على تغليف الهواء بين الطبقتين من الزجاج لخلق تأثير مشابه لوحدة زجاج مزدوج ضخمة للغاية تؤمن العزل للفراغات الداخلية في المبنى. كما تسحب هذه الفتحات الهواء الساخن من المبنى خلال الحرارة الشمسية الممتصة. وتسمح هذه الفتحات بوصول الضوء الطبيعي إلى كل أقسام المبنى. يسمح النظام الإنشائي (المقسم إلى مثلثات) للمبنى بثبات كافٍ ليواجه التأرجح الإنشائي الناتج عن قوة الريح. مع أن المباني الأخرى ذات نفس الحجم تعتمد على كتل خراسانية أو نواة أو غير ذلك من وسائل التثبيت . وينتهي أعلى المبنى بقطعة زجاجية واحدة بشكل عدسة.[7]



6–3– **برج الطاقة في دبي:** إن مباني الإمارات العربية المتحدة تشكل مجالاً واسعاً ليتعلم منه الناس كيف ينشئون مباني مستدامة. وبرج الطاقة هو واحد من أحدث تلك المشاريع ويقدم حلا بيئياً مدهشاً حيث استهلاك الطاقة يساوي صفراً و انبعاث الغازات يساوي صفراً. ويبلغ ارتفاعه 322م مما يضعه في المرتبة 22 بين أطول أبراج العالم. يتألف البرج من 68 طابقاً و تتوزع أشعة الخلايا الشمسية لتغطيه بمساحة 161459م$^2$. صمم بشكل اسطواني بحيث يقلل من تعرض الواجهات للأشعة الشمسية و استخدام مواد فعالة في مجال الطاقة ، و يستفيد المبنى من طاقة الشمس والرياح لتوليد طاقته الخاصة. استخدم في الواجهة الزجاجية جيل جديد من الزجاج المفرغ طرح في الأسواق عام 2008م، و تتميز النوافذ المكونة من ألواح الزجاج هذا بالفعالية الكبيرة في مجال العزل الحراري بالنسبة لمنطقة ترتفع فيها الحرارة في الصيف إلى 50 درجة مئوية. بالإضافة إلى الفعالية في مجال العزل الحراري فالمبنى سيولد طاقته الكهربائية الخاصة من الشمس اعتماداً على مجموعتين من الخلايا الكهربائية الضوئية و مجموعة إضافية في البحر مرئية من البرج وهي جزيرة عائمة من الخلايا الشمسية التي تعد المزود الأساسي للمبنى بالطاقة و استخدام الكهرباء الزائدة لتوليد طاقة أكبر عن طريق استخراج الهيدروجين من مياه البحر و في الليل تستخدم المزودات الطاقية خلايا الوقود لتوليد الكهرباء محافظة على عمل و إنارة البرج في الظلام . تعمل مرايا عاكسة خلال النهار على توجيه الضوء عبر النواة المركزية للمبنى و تؤمن الضوء الطبيعي المناسب لكامل الطوابق. اعتمد الحل البيئي لعملية التهوية الطبيعية للمبنى على فكرة بيئية معمارية شبيهة بالملقف العربي انتشرت في إيران، و تتلخص بأبراج التهوية التي ترتفع فوق أسطح المنازل، وتمتص الفتحات المحاطة بإطارات متحركة الهواء الخارجي البارد وتنتقل إلى الداخل ليحل محل الهواء الدافئ الموجود في الغرفة تسمى هذه التقنية ب Barzeels [23]. صالة المدخل في البرج هي تصميم فعال في مجال الطاقة تحتوي على منظر طبيعي مثير يضيئه ضوء النهار الذي يخترق البشرة الزجاجية المغلفة للبناء. الضغط السالب المتولد عن الرياح المصطدمة بالمبنى يسحب الهواء المستهلك عن طريق شقوق طولية في الواجهة فيدخل الهواء النقي من خلال قنوات وتستخدم مياه البحر لإعادة تبريد الهواء. تعتمد فكرة المبنى على مواد غير مجربة من قبل وتقنيات

غير مثبتة ولكنها تبشر بمستقبل مذهل للتقنية التي تؤمن الحل المناسب لكل النواحي البيئية الواجب مراعاتها عند تصميم أي مبنى وهذا بالتأكيد يلامس الحل المعماري البيئي المناسب للمناطق الحارة. على كل حال فإن المبنى الذي يصمم بهذه الطريقة سيوفر 60٪ من الطاقة المستهلكة في المباني المماثلة المغلقة منها بالبشرة الزجاجية أو غيرها كما إنه لا يسبب أي انبعاث لغاز ثاني أكسيد الكربون.

## 7- تحليل ورصد ظاهرة البشرة الزجاجية في اليمن :

تعد ظاهرة البشرة الزجاجية حديثة الاستخدام في الجمهورية اليمنية، حيث مازالت في طور الاستخدام الخجول وبهدف التعبير عن الحداثة والمعاصرة والتحرر من الأشكال التقليدية للكتل المصمتة، ونلاحظ أن أغلبها اعتمد أسلوب الاستخدام الجزئي للبشرة الزجاجية . وبما أن اليمن كغيرها من بلاد شبه الجزيرة العربية التي انتشر فيها هذا النمط المعماري بصورة خاصة و في الوطن العربي بصورة عامة فإنه غير معزول عن تيارات و تأثيرات العمارة المعاصرة ،علاوة على الحس الفني المعماري الذي يتمتع به المعماري اليمني منذ القدم مما جعل من المدن اليمنية متاحف مفتوحة تحت قبة السماء . فقد جاءت هذه الظاهرة الوافدة تعبيراً عن ذلك . ونظراً لقلة الأمثلة عن المباني الحاوية على البشرة الزجاجية ، فيتم تحليل ورصد أمثلة مختارة من بعض المدن اليمنية.

### 7 -1 - مبنى مطعم سوبر برست

Super Broast يقع هذا المبنى بمدينة عدن على شاطئ ساحل أبين. وقد نفذت تقريباً جميع واجهاته من الزجاج الشفاف الآمن الذي تبلغ نسبة الوضوح من خلاله إلى 95٪ و سماكته 6 مم عدا ركن المطبخ الذي نفذ من الطوب الإسمنتي وتلبيسه من الداخل والخارج بخلطة إسمنتية و من ثم طلاؤها من الخارج بالون الأبيض . هدف المصمم الاستفادة من خاصية الزجاج الشفاف لتحقيق الاتصال اللا محدود بين داخل المبنى وخارجه فيظهر الفراغ الداخلي للمطعم من وراء البشرة الزجاجية. وإظهار مختلف عناصر المبنى الداخلية بوضوح لنقل المشهد الداخلي للمار بجانب المبنى فيشد بصره نحو الداخل فيبعث الفضول وجذب الزبون للدخول. وتؤمن للجالس في الداخل الاستمتاع بالوسط المحيط الخارجي عبر الاتصال البصري مع محيط المبنى والذي يطل مباشرة على البحر كما تلفه من الجهات الأخرى حدائق ومناظر طبيعية. ويمنح المبنى التكامل بين التكوين والتفاصيل الوظيفية من منظار خارجي فيمنح هذا الاتصال البصري المتقابل الفراغ رحابة واتساع أكبر. إلا أن المصمم أغفل جانباً مهماً وهو الظروف المناخية واعتمد على التكييف الكهربائي لمعالجة الحرارة الداخلية المكتسبة مما أثر سلباً على عامل الاستثمار نتيجة ارتفاع تكلفة الإنفاق على التكييف، مما تسبب في عدم استمرار المتعهد له مدة طويلة . حاول أحد المتعهدين أجراء معالجة للواجهة الجنوبية بطلاء الزجاج باللون الأبيض إلا أن التكلفة مازالت مرتفعة فمثلاً كان الاستهلاك لشهر سبتمبر 2010م حوالى 1079kw/day. الحجم الكلي للفراغ المكيف 24*15*5=1800م$^3$ . أما خلال أشهر الصيف فيتضاعف الاستهلاك. علاوة على ذلك ما تسببه أشعة الشمس النافذة إلى الداخل من إزعاج للعاملين وكذلك للزبون بسبب وجود منطقة التخديم بالقرب من الواجهة الجنوبية الغربية كما إن الطاولات الواقعة بالقرب من الواجهة الشمالية الغربية لا تستخدم خلال فترة الظهيرة .[25]

الواجهة الجنوبية

الواجهة المطلة على البحر

الواجهة الغربية والشمالية

الرؤية من الداخل

**7 -2 - فندق سماء الإمارات**

Emirate Sky Hotel يقع بالقرب من فندق مركيور بمدينة عدن . نفذت واجهته الغربية بالكامل من البشرة الزجاجية ، زجاج أزرق عاكس معتم لإضفاء خصوصية لما يدور في الداخل من أحداث. نفذت الواجهة بخبرات عربية (شركة إيفرست الزجاجية بدبي) . ويمتاز هذا الزجاج بحمايته للألوان والأشكال داخل الفراغات المعمارية وبأدائه الحراري الجيد إلا أن نقل ضوء النهار ضعيف لا عن 41٪. وسمحت البشرة الزجاجية العاكسة للمشاهد برؤية العناصر حول المبنى وليس فقط تكوينه الحجمي فينتج عن ذلك لوحة جميلة لعناصر متغيرة تعكسها الواجهة بدءاً بالسماء الزرقاء الصافية أو الملبدة بالغيوم والمباني والأشجار حول المبنى وانتهاءً بالمارة والمركبات . يولد كل ذلك صورة بانورامية متغيرة المشهد. ومثل هذه البشرة الزجاجية تحتاج إلى تكامل في التصميم مع الفراغ المعماري الداخلي أي حجم الفراغ ونوعية الطلاء وألوان الأثاث حتى تقلل من الإنفاق على الإنارة الاصطناعية خلال النهار .[25] .

الواجهة الرئيسية للفندق

منظر عام للفندق

الرؤية من بهو الفندق نحو الخارج

7 -3 - **مبنى الأمومة والطفولة :**

يقع المبنى على قمة ربوة الجبانة التي تطل على مدينة إب Ibb القديمة والجديدة . ويتميز المبنى ببنائه الضخم وتعبر كتلته المتداخلة عن الحيوية في التصميم ،وقد استخدم فيه الزجاج الشفاف و الزجاج الملون بطريقة غير مدروسة .ففي الكتلة الشمالية الشمالية الغربية استخدم الزجاج العاكس الأخضر المثبت داخل إطارات من الألمنيوم ذات ألون الأبيض على واجهة الدورين الأخيرين والتي تبدو للناظر من الخارج وكأنها بشرة زجاجية عاكسة أقرب إلى اللون الفضي بسبب الارتفاع الكبير بالنسبة للناظر إليه من الخارج . ومن المفترض الإفادة من هذا الموقع المرتفع لتشكيل اتصال بصري مريح بين الداخل والخارج فيسمح للمرضى والعاملين على حد سواء بالنظر نحو الخارج ذو الطبيعة الساحرة الذي يكسر الملل و التضجر لدى المرضى حيث يرى من هذا العلو جميع الفعاليات التي تتم داخل المدينة من حركة مشاة ومركبات إلى تشييد المباني .... إلخ . إلا أن الاستخدام الكثيف لإطارات الألمنيوم المثبتة للزجاج، أثرت بصورة مزعجة على الاتصال البصري .علاوة على ذلك التأثير السلبي على الراحة الحرارية حيث يسمح فقط بمرور 25٪ من الأشعة تحت الحمراء . و ومن ثم هُجرت هذه القاعات في معظم فصول السنة (خريف - شتاء - ربيع).

مبنى الأمومة والطفولة

القاعة

الرؤية من الداخل إلى الخارج

7 -4 - **مبنى السعيد مول في مدينة تعز** Alsaeed Mall

المبنى عبارة عن مجمع تجاري ومطاعم يقع في مركز المدينة على شارع 26 سبتمبر. تتكون الواجهات من مواد بناء مختلفة تتراوح بين البلك الإسمنتي ،الستانلس ستيل والألكويوند والرخام والبشرة الزجاجية التي استخدمت بنسبة كبيرة في الواجهة الأمامية ونسبة بسيطة في الجانبية. استخدم الزجاج العاكس الأزرق الذي يخفف من الحرارة الداخلة إلى المبنى خلال النهار . أما بالنسبة لضوء النهار العابر للبشرة الزجاجية الزرقاء تأثر بلون الزجاج فيبدو معتماً قليلاً وهو بين المريح في قسم المطاعم الذي أمن هذا النوع من الزجاج علاوة على هذا، الإطلالة المريحة على الخارج وحد بشكل كبير من الرؤية من الخارج إلى الداخل (حقق الخصوصية) لذا يرى الباحث أن المصمم حقق الغرض الذي أنشئ من أجله هنا . والشبه مقبول والمقبول للمحلات التجارية بحسب وظيفة العنصر الداخلي. الزجاج المستخدم يسبب بعض الوهج في الواجهة الشرقية(الأمامية)[25]

الواجهة الأمامية للمبنى

منظر عام لموقع المبنى

منظر المبنى ليلاً

نلاحظ من خلال تفحص صور المباني التالية أن الزجاج الأزرق العاكس هو الزجاج السائد استخدامه في البشرة الزجاجية على مستوى اليمن دون مراعاة الظروف البيئية للمناطق المناخية المختلفة.[25].

مباني في مواقع مختلفة بمدينة صنعاء نفذت واجهتها من الزجاج الأزرق العاكس

## النتائج:

1. البشرة الزجاجية تقدم فرصاً كبيرة ومتعددة للإبداع المعماري ، فقد ساعدت التقنية الحديثة في مجال تصنيع الزجاج على الوصول إلى الحلول البيئية اللازمة لمختلف المناطق المناخية في اليمن التي يراد الحماية منها أو الإفادة منها. فالمفاهيم البيئية هي مصدر حقيقي للإبداع..
2. البشرة الزجاجية تؤمن الاتصال البصري اللامحدود بين داخل المبنى وخارجه .
3. البشرة الزجاجية العاكسة تسمح للمشاهد برؤية التكوين الحجمي للمبنى والعناصر الموجودة حول المبنى.
4. استخدام البشرة الزجاجية في اليمن في معظم الحالات لايراعى فيه العوامل البيئية المناخية. فمثلاً الزجاج الملون و العاكس في إقليم المناطق الجبلية (من مستوى 1800م

عن سطح البحر وما فوق) تصبح عديمة الفائدة وغير مرغوب بها في فصل الشتاء، حيث الشمس مشرقة ودرجة حرارة الغرف منخفضة.

## التوصيات :

1. عدم استخدام الزجاج بشكل اعتباطي عند تصميم البشرة الزجاجية أو النوافذ بل يجب دراسة مجموعة العوامل المؤثرة في التصميم والتي تحدد الخصائص البيئية والفيزيائية للزجاج و البشرة الزجاجية مثل (U-SHGC-SF-LT-....) . لتصبح البشرة الزجاجية فعالة بيئياً و ملائمة لبيئتنا المحلية من حيث الحرارة والضوء والصوت ...إلخ.
2. الإفادة من التجارب والدراسات العالمية المتجددة في مجال تقنية الزجاج وأخذ الملائم منه لبيئتنا.
3. نوصي باستخدام الزجاج الملون العاكس في المناطق الساحلية . والزجاج ذي القيمة المنخفضة E في المناطق الجبلية والصحراوية ،مع مراعاة البند (1) من التوصيات
4. التفكير الجدي في التوفيق بين ظاهرة البشرة الزجاجية وأسلوب العمارة المحلية من خلال الاستخدام الجزئي للبشرة الزجاجية للواجهات .
5. إدراج تقنية الزجاج والبشرة الزجاجية ضمن المنهج الجامعي لطلاب الهندسة المعمارية والمدنية.

## المراجع :


1 -د. محمد حاكمي - نظرية العمارة، منشورات جامعة البعث 1997 – 1998م .

2 -د. طالب ديوب - البشرة الزجاجية في المباني العامة وأثرها في التكوين المعماري . مجلة جامعة البعث المجلد 25 العدد 8 - 2003 م .

3- د. طارق أصلان – مواد البناء. منشورات جامعة تشرين 1997 - 1998م .

4-د. بديع أبو شامي – تقنيات إنشاء البشرة الزجاجية في الأبنية العامة – مجلة إبداعات الهندسة – العدد 2 -2004م – العدد 4 -2005م – العدد 2 – 2006م – العدد 2 – 2008م

5-د. محمد عبد الفتاح عبيد - أسس الإنارة المعمارية - جامعة الملك سعود – الرياض 1993م

6 - د. مهدي السعيد – جريدة القبس – يناير 2010م

7- Ana G Canizares, Spain, 2005,Gret New Buildings of the World - (Pasco Ascensions.

8- SZKLO(W Budownictwie). Wlodzimier Prochaska/ Romuald Polujan 1967 (Arcady Waezawa

مواقع انترنت

9- http://www.encarta.msn.com9

10-http://www.en.Wikipedia.org10-

11 - http://www.almadapaper.com

12 -http://www.utg-Syria.com

13- http://www.myglaverbel.com(www.yourglass.com) 14http://www.pilkington.com

15http://www.features.csmonitor.com

10http://www.hazemsakeek.com(Smart Windows)

17- http://www.Smartglass.com

18- http://www.commercial windows.com

19http://www.peoplegasdelivey.scom

20-http://www.reno.nrc-cnrc-gc.ca

21 برج كموميرز المانيا

-www.al-jazirah.com.sa/magazine/22072003/malem7.htm

22- http://www.archlighting.com

23- http://www.Worldchanging.com

24- http://www.m3mare.com

25 - النزول الميداني للباحث