

أثر تغيير زاوية ميل الالواح الزجاجية للنوافذ في الطاقة الشمسية المكتسبة للمباني المختلفة وظيفياً

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

د. رواء فوزي نعوم
مدرس
قسم الهندسة المعمارية / الجامعة التكنولوجية

المستخلص:

ان ميلان الالواح الزجاجية للنوافذ هو احد الحلول لتقليل الطاقة الشمسية المكتسبة تبعاً لزاوية سقوط الاشعاع الشمسي ونفاذه، ونظراً لتباين ساعات التعرض الشمسي للفضاءات الوظيفية المختلفة (سكنية، وإدارية، وتعليمية) مما يتطلب معالجات متباينة ناتجة عن اختلاف كمية الطاقة المكتسبة، فقد برزت المشكلة البحثية في: عدم وجود تصور واضح عن الميلان المناسب للالواح الزجاجية للنوافذ واثره على الطاقة الشمسية المكتسبة للمباني المختلفة وظيفياً. يهدف البحث الى تحديد الميلان المناسب للالواح الزجاجية للنوافذ حسب ساعات الاشغال تبعاً لوظيفة المبنى وتقييم الكفاءة لغرض الخروج بمعلومات تساعد المهندس المعماري لاعتمادها في تصاميمه بما يساعد على تحسين الكفاءة الحرارية للفضاءات المبنية ضمن مدينة بغداد. ولتحقيق الهدف تم التوصل الى معادلات نتجت من تحليل العلاقة الهندسية بين اتجاه الاشعاع الشمسي الساقط وميلان اللوح الزجاجي وذلك بحساب زوايا سقوط الاشعاع الشمسي وتم تطبيق تلك المعادلات باستخدام برنامج (Microsoft Office Excel) على زوايا ميلان مختلفة للالواح الزجاجية للنوافذ تراوحت بين (0° الى 30°) نحو داخل الفضاء او خارجه ضمن التوجيهات الجغرافية المختلفة وذلك لحساب كمية الطاقة الموسمية المكتسبة ضمن الاشهر الحارة والباردة وصولاً الى الكفاءة السنوية للأداء الحراري لفضاءات المباني المختلفة وظيفياً. توصل البحث الى عدد من المخططات (بهئية منقلات تبعاً الى وظيفة الفضاء) توفر وسيلة ارشادية تساعد المصمم على تحديد الزاوية الاكثر كفاءة لميلان اللوح الزجاجي للنوافذ نسبةً لتوجيه النافذة ونوع الزجاج المستخدم يمكن الاستناد اليها في التصاميم الخاصة بمدينة بغداد.

The Impact of Angle Tilted Glass Panels on Solar Energy Gained in Different Buildings Function

Tilted of glass panels of windows is one of the solutions to reduce the solar energy gain depending on the angle of solar radiation and transmittance of glass panel. The variance of hour's usage of the different functional spaces (residential, administrative, and educational), requires different treatment due to the different amount of energy gain. This determined the research problem as: the absence of a clear vision about tilted of windows glass panels and its impact on solar energy for different buildings.

The research aim is to determine the appropriate tilted of glass panels of windows according to the period of occupations to help the architect for approval in his designs within the city of Baghdad

The research identified equations resulting from the geometrical analysis of the relationship between the direction of solar radiation and the tilted of glass window, using (Microsoft Office Excel program) to measure varies window's glass panels ranged between (0° to 30°) towards the inside or outside the space in different geographical directions, and calculate the amount of seasonal gained energy (summer and winter) up to the annual efficiency of the thermal performance.

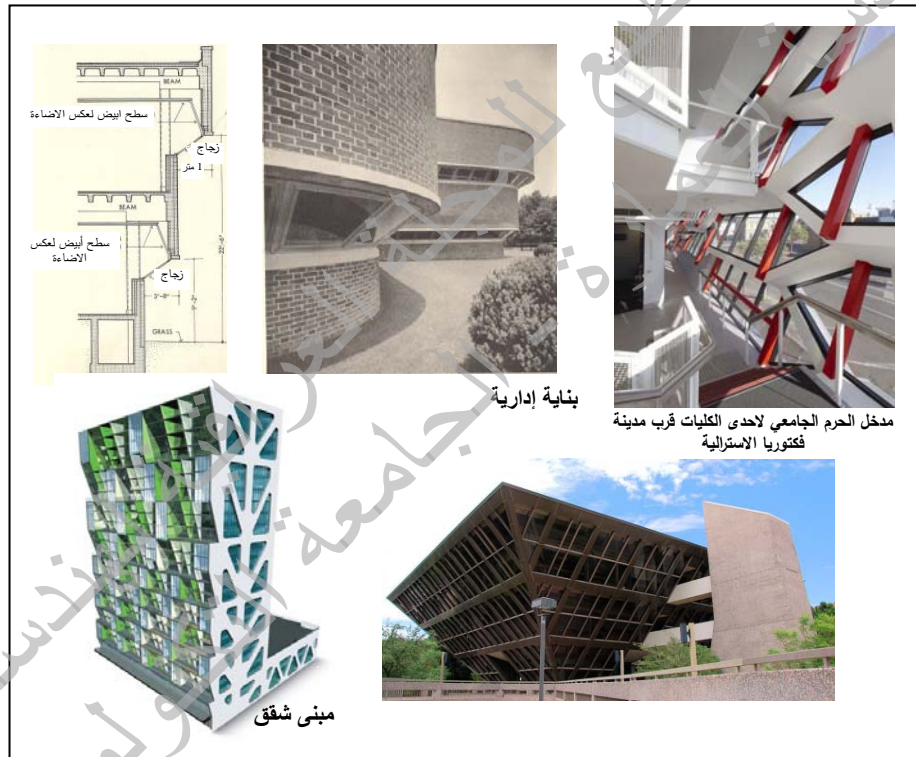
The research obtain number of diagrams (as protractors according to the function of space), could help the architect to determine the most efficient angle for tilted glass window depending on the direction and type of glass used, these protractors can be adopted in windows design of Baghdad city.

1- المقدمة:

اصبحت النوافذ الزجاجية إحدى سمات المباني الحديثة، هذه السمة أدت الى ظهور مشاكل حرارية وبيئية عديدة اثرت في الكفاءة الحرارية لأداء المبنى، وكان تقليل ابعاد النوافذ واستخدام المانع الشمسية من الحلول التي اعتمدت من قبل المصمم لمعالجة تلك المشكلات لكن هذه الحلول قد تؤثر أحيانا بدورها على المتطلبات الوظيفية لتلك الفضاءات، لذا توجه هذا البحث نحو إيجاد حلول لاتتعارض مع ابعاد المساحات الزجاجية وذلك من خلال جعل الالواح الزجاجية مائلة نحو الداخل او الخارج تبعا لتوجيه الشباك وزوايا سقوط الاشعاع وتباين الحاجة الوظيفية اليها صيفاً وشتاءً.

إذ يمكن التحكم النسبي بكمية الاكتنساب الحراري من خلال تغيير زاوية ميلان الالواح الزجاجية للنوافذ، حيث جرى في البحث دراسة الاشعاع الشمسي وقياس شدته وقياس زوايا سقوطه على الالواح الزجاجية للنوافذ العمودية والنوافذ المائلة علاوةً على اختبار خصائص اللوح الزجاجي في نفاذه للإشعاع الشمسي الساقط عليه باعتبارها جوانب مهمة في تحقيق السيطرة الحرارية للمبنى.

هناك عدد من الابنية متباينة في وظائفها صممت بالاستفادة من هذا الجانب وقد أصبح لبعض منها سمة معمارية مميزة في شكلها الخارجي علاوة على الخصائص الفريدة التي تميزت بها فضاءاتها الداخلية، الشكل (1).



شكل (1) بعض المباني المعتمدة في تصميمها على استخدام الزجاج المائل [1 و 2 و 3]

وقد تم تحديد المشكلة البحثية في الحاجة الى وسيلة لقياس كفاءة الاداء الحراري للنوافذ تبعاً لاختلاف المتطلبات الوظيفية للمبنى ووفقاً لزاوية ميلان الالواح الزجاجية كأحدى الطرق للسيطرة على كمية الطاقة الشمسية المكتسبة .

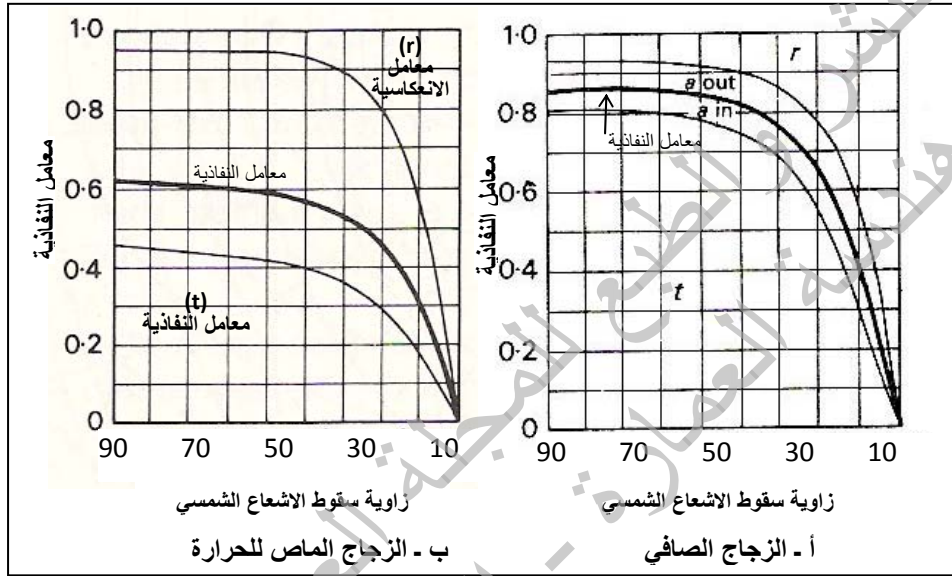
أما هدف البحث فتحدد بإيجاد الميلان المناسب للمساحات الزجاجية حسب فترة التعرض للإشعاع الشمسي المرتبطة بساعات الاشغال لكل وظيفة على حدة (السكنية والادارية والتعليمية) وتقييم الكفاءة لغرض الخروج بمعلومات تساعد المهندس المعماري لاعتمادها في تصاميمه.

وتناول البحث دراسة خصائص الزجاج التي تؤثر في كمية نقله للطاقة الحرارية الشمسية المباشرة ضمن ظروف ومناخ مدينة بغداد.

2- خواص الزجاج في نقل الإشعاع الشمسي:

تتغير كمية الاشعاع الشمسي المنتقلة عبر اللوح الزجاجي اعتماداً على:

أ- زاوية سقوط الاشعاع الشمسي: فقيمة نفاذية الزجاج للإشعاع الشمسي المباشر تعتمد على زاوية سقوط الاشعاع على اللوح الزجاجي، فكلما كان الاشعاع عمودياً على اللوح الزجاجي زادت من قيمة معامل نفاذية الزجاج، وبصورة عامة تكون قيمة معامل النفاذية مرتفعة عندما تكون زاوية ميلان الإشعاع بين (90-50) درجة، إلا ان هذه القيمة تنخفض بصورة سريعة عندما تقل قيمة الزاوية عن (40) درجة كما موضح في الشكل (2) (تغير قيم معامل نفاذية الزجاج للنوع الصافي والنوع الماص للحرارة وفقاً لزاوية سقوط الاشعاع الشمسي).



شكل (2) تغير نفاذية الزجاج بتغير زاوية سقوط الاشعاع الشمسي^[4]

ب- نوعية الزجاج: تصنع الواح الزجاج بألوان ونوعيات متباينة، تؤثر في كمية الاشعاع الشمسي الحراري النافذ خلالها، الشكل (2) السابق يوضح المقارنة بين قيم معامل النفاذية لنوعية الزجاج الصافي والماص للحرارة.

3- أوقات تعرض الشبائيك للإشعاع الشمسي:

يمكن السيطرة على الكسب الحراري الناتج عن الاشعاع الشمسي المباشر من خلال منع او تقليل سقوط الاشعاع على المساحات المزججة لواجهات المباني صيفاً وزيادته شتاءً، وهذا يعتمد على فهم الحركة النسبية للشمس وموقع المبنى وتوجيهه، في هذه الحالة ستتخذ كل واجهة من واجهات المبنى تصميماً خاصاً يرتبط بتوجيهها.

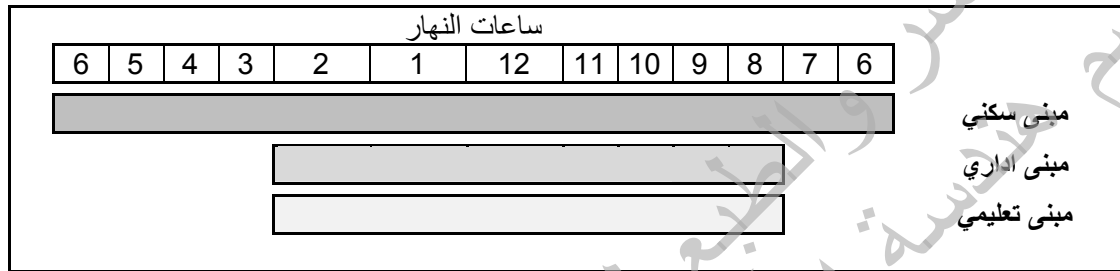
ولغرض توضيح الاوقات التي تؤثر في تعرض واجهات المبنى للاشعاع الشمسي سيتم التطرق الى الجوانب الآتية:

أ- حركة الشمس: ان هندسية حركة الشمس الظاهرة في قبة السماء تتيح امكانية تحديد قيم زوايا ارتفاع الشمس واتجاهها لأي موقع على الارض ولأي وقت. ويتم تحديد موقع الشمس في قبة السماء بزوايتين: زاوية ارتفاع الشمس عن خط الافق (Altitude) وزاوية اتجاه الشمس (Azimuth).

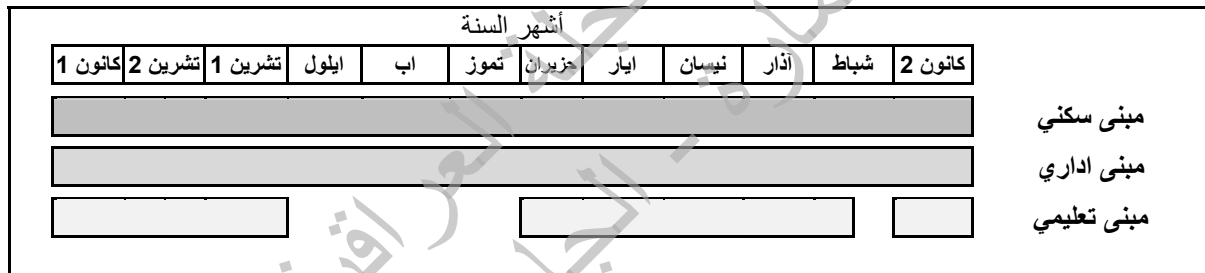
ب- اختلاف تعرض واجهات المبنى للإشعاع الشمسي: تختلف كمية الطاقة وعدد الساعات التي تتعرض لها واجهات المبنى المختلفة، وهي تعتمد على زوايا الظل الافقية والعمودية لمسقط الشمس نسبة لكل إتجاه.

ج- أثر وظيفة المبنى (ساعات الاشغال): فهي تؤثر في كمية تعرض النوافذ للإشعاع الشمسي. في هذا البحث تم

انتخاب ثلاثة اصناف للمباني مختلفة من حيث طبيعة الاستخدام، وهي المباني السكنية والادارية والتعليمية، وفقاً للاختلاف في أوقات اشغالهم، إذ تمّ اعتبار ان المباني السكنية تكون مستخدمة بصورة مستمرة في جميع ساعات اليوم ولكل اشهر السنة، اما المباني الادارية فهي التي تستغل فقط خلال اوقات الدوام الرسمي الصباحي في حين يكون التعامل مع المباني الادارية المستخدمة في اوقات الصباح وفي اوقات العصر (كما في عدد من مكاتب القطاع الخاص) معاملة المباني السكنية من حيث ساعات تعرضها للإشعاع الشمسي، وتعامل المباني التعليمية (وهي الصفوف والقاعات الدراسية الخاصة بالطلبة في جميع مراحل الدراسة) على أنها تستخدم في ساعات الدوام الصباحي وتتوقف الدراسة فيها خلال عطلة الفصل الدراسي الاول (في النصف الاول من شهر شباط) وعطلة نهاية العام الدراسي (في الاشهر تموز وأب وأيلول)، ويمكن ان تعامل غرف الادارة المستخدمة ضمن المباني التعليمية معاملة المباني الادارية . كما موضحة في الاشكال (3 و 4).



شكل (3) التباين في ساعات إشغال المباني [الباحث]



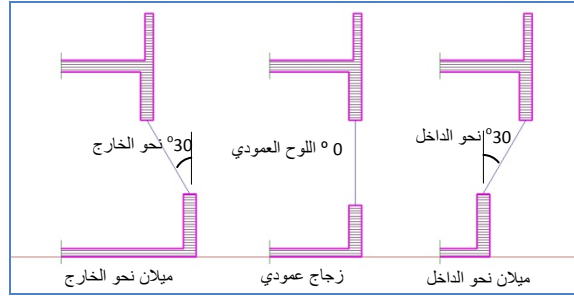
شكل (4) التباين في أشهر إشغال المباني [الباحث]

4- الاسلوب المتبع للحسابات في البحث

لغرض حساب شدة الاشعاع الشمسي النافذ خلال النوافذ بتغيير زوايا ميلان الزجاج تم تحديد النقاط الآتية:-

1.4 حساب زاوية سقوط الاشعاع الشمسي على الالواح الزجاجية المائلة:

من خلال دراسة حركة الشمس وزوايا سقوطها على الالواح الزجاجية للنوافذ وميلان تلك الالواح لغرض الوصول الى قياس قيمة زاوية سقوط الاشعاع الشمسي وكما موضحة في الشكل (5)، توصل الي بحث الى معادلات ناتجة عن تحليل العلاقة الهندسية بين اتجاه الاشعاع الشمسي الساقط وميلان اللوح الزجاجي ،علما ان القيم المعلومة في الشكل هي (زاوية ارتفاع الشمس AL) و (زاوية الظل الافقية HS) وايضاً سيفترض قيمة البعد ($1 = X$) فضلاً عن الزاوية (M) والتي تمثل زاوية ميلان اللوح الزجاجي أذ يتم تحديدها من قبل المصمم، ويوضح الشكل المعادلات التي جرى التوصل اليها في البحث واعتمدها في الحساب [الباحث]:



شكل (6) المدى الذي ستم دراسته لميلان الزجاج [الباحث]

4-4 تباين شدة الإشعاع الشمسي الساقط على الألواح الزجاجية المائلة:

إن شدة الإشعاع الشمسي الساقط على الزجاج تتأثر بكل من موقع الشمس بالنسبة لإتجاه الشباك وعلى زاوية ميلان اللوح الزجاجي، كما إن تعرض واجهات المبنى للإشعاع الشمسي يتحدد من جانب آخر بعدد ساعات التعرض المتأثرة بطبيعة إشغال المبنى ووظيفته.

ففي حين تكون المباني السكنية ذات اشغال مستمر خلال اليوم فهي تستلم اشعاع شمسي من الواجهة الشرقية مقاربا لما تستلمه من الواجهة الغربية (بسبب الحركة التناظرية للشمس خلال اليوم الواحد وكذلك الشدة التناظرية التقريبية للإشعاع الشمسي، إذ تزداد قيم الإشعاع الشمسي في الإتجاه الغربي قليلاً عما عليه في الإتجاه الشرقي بسبب أختلاف كثافة هواء الغلاف الجوي بعد ساعات الظهيرة)، تكون واجهة المبنى الإداري والتعليمي المتجهة نحو الشرق تستلم شدة اشعاع شمسي اعلى مما تستلمه الواجهة الغربية (على افتراض عدم إشغال المبنى بعد انتهاء الدوام الرسمي في الساعة الثانية أو الثالثة عصراً).

ويوضح الجدول (1) كيفية حساب المعدلات الساعية المعتمدة في البحث لشدة الإشعاع الشمسي الساقط على الألواح الزجاجية وفقاً لزاوية ميلانها وتوجيه المبنى لكلا الفترتين الحارة والباردة وحسب الوظيفة.

جدول (1) نموذج للحسابات الساعية المعتمدة في البحث لشدة الإشعاع الشمسي الساقط على الألواح الزجاجية وفقاً لزاوية ميلانها في الأبنية السكنية وللتوجيه 157.5 درجة. [الباحث].

المعدلات الساعية لشدة الإشعاع الشمسي الساقط على الألواح الزجاجية للمباني السكنية (واط/م ²) - للتوجيه 157.5 درجة [الباحث]														
زاوية ميلان الجدار = 30		زاوية ميلان الجدار = 25		زاوية ميلان الجدار = 20		زاوية ميلان الجدار = 15		زاوية ميلان الجدار = 10		زاوية ميلان الجدار = 5		زجاج عمودي	شدة الإشعاع الشمسي (واط/م ²)	الساعة
الداخل	الخارج	الداخل	الخارج	الداخل	الخارج	الداخل	الخارج	الداخل	الخارج	الداخل	الخارج			
10.4	0	7.926	0	5.863	0	3	0	2	0	1	0	1	165	6
111.7	0	92.58	0	75.26	0	60	1	44	5	33	12	21	432	7
244	0	214	0	179.8	0	151	5	121	17	90	37	64	579	8
346.8	0	307.1	0	268.1	0	225	5	182	25	140	57	94	663	9
398	0	354.8	0	307.4	0	260	1	206	19	159	54	100	702	10
442	0	389.9	0	334.5	0	273	0	214	6	150	37	87	789	11
410.7	0	353.4	0	291.6	0	226	0	159	0	94	7	41	810	12
317.9	0	255.6	0	195.8	0	134	0	76	0	29	0	3	781	13
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	707	14
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	615	15
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	540	16
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	418	17
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	233	18
175	0	152	0	128	0	103	1	77	6	53	16	32	Average	
95.16	73.53	93.57	76.14	91.98	78.45	91	80	89	82	87	84	86	120	8
253.1	156.3	250.7	170.3	247.3	182.8	243	195	237	205	230	214	223	296	9
0	151.7	303.8	175.4	301	198.3	296	218	289	236	279	252	267	354	10
353.1	144.7	350.3	175.9	345	203.6	337	231	326	254	311	276	294	411	11
351.9	117.6	344.3	149.5	333.6	178	321	205	306	230	289	252	272	420	12
308.9	85.52	296.2	111.3	282.8	136.2	269	160	254	181	237	202	220	404	13
241.2	53.14	227.8	72.74	214.6	92.44	202	109	186	125	172	142	158	380	14
133.2	25.22	124.1	33.51	115.5	42.47	106	52	96	62	87	71	79	299	15
36.32	6.844	32.99	10	29.94	12.34	27	13	25	15	22	18	20	173	16
197	91	225	108	218	125	210	140	201	155	191	168	180	Average	

ومن ثم جرى حساب المعدلات الساعية لشدة الإشعاع الشمسي الساقط على الألواح الزجاجية لكلاً من المباني السكنية والإدارية والتعليمية) وذلك تبعاً لساعات التعرض الشمسي، وللأشهر الحارة والباردة، وبين الجدولين (2 و 3) شدة الإشعاع الشمسي المباشر الساقط على الألواح الزجاجية للنوافذ ذات الميلان المختلف في المباني السكنية والإدارية والتعليمية على التوالي.

الجدول (2) المعدلات الساعية لشدة الإشعاع الشمسي الساقط على الألواح الزجاجية للمباني السكنية (واطام2) [الباحث]

التوجيه	زوايا ميلان الزجاج																									
	30 خارج		25 خارج		20 خارج		15 خارج		10 خارج		5 خارج		عمودي 0		5 داخل		10 داخل		15 داخل		20 داخل		25 داخل		30 داخل	
	شتاء	صيفاً	شتاء	صيفاً	شتاء	صيفاً	شتاء	صيفاً	شتاء	صيفاً	شتاء	صيفاً	شتاء	صيفاً	شتاء	صيفاً	شتاء	صيفاً	شتاء	صيفاً	شتاء	صيفاً	شتاء	صيفاً	شتاء	صيفاً
0	0	55	0	47	0	39	0	31	0	24	0	18	0	14	0	10	0	8	0	6	0	4	0	3	0	3
22.5	0	101	0	91	0	80	0	69	0	58	0	48	0	39	0	31	0	25	0	20	0	17	0	13	0	10
45	2	161	1	148	1	135	1	120	1	105	1	91	1	77	1	67	0	56	0	47	0	39	0	32	0	26
67.5	30	143	26	162	23	151	21	139	18	136	16	121	14	107	12	92	10	79	9	67	8	56	7	45	5	36
90	82	215	74	201	67	186	61	169	55	151	50	134	45	117	41	102	36	87	32	73	28	61	25	48	22	39
112.5	123	213	127	198	119	181	111	164	103	145	95	126	87	107	80	91	72	75	65	61	57	49	50	38	43	29
135	147	191	140	175	160	156	163	137	154	116	144	97	135	76	124	58	113	43	100	30	89	20	76	13	63	8
157.5	197	175	225	152	218	128	210	103	201	77	191	53	180	32	168	16	155	6	140	1	125	0	108	0	91	0
180	250	167	244	140	238	111	230	83	221	55	211	31	200	12	189	2	176	0	162	0	146	0	129	0	109	0
202.5	199	172	229	149	222	125	214	100	205	76	195	52	184	31	172	15	159	5	145	1	129	0	113	0	95	0
225	149	188	141	172	162	153	170	135	161	114	151	95	141	75	131	57	119	43	107	30	95	20	81	14	68	9
247.5	125	210	134	196	126	179	118	162	110	143	102	125	94	106	86	90	78	75	71	61	63	49	55	39	48	30
270	79	190	74	181	69	171	64	159	60	146	55	132	50	117	45	101	41	87	36	74	32	62	29	50	25	40
292.5	33	138	30	156	26	145	24	133	21	135	19	121	16	107	14	92	12	80	11	68	10	57	8	47	7	38
315	2	160	2	147	2	134	2	120	1	105	1	92	1	78	1	68	1	57	0	49	0	41	0	34	0	28
337.5	0	100	0	90	0	80	0	69	0	59	0	49	0	40	0	33	0	27	0	22	0	19	0	15	0	12

الجدول (3) المعدلات الساعية لشدة الإشعاع الشمسي على الألواح الزجاجية للمباني الإدارية والتعليمية (واطام2) [الباحث]

التوجيه	زوايا ميلان الزجاج																									
	30 خارج		25 خارج		20 خارج		15 خارج		10 خارج		5 خارج		عمودي 0		5 داخل		10 داخل		15 داخل		20 داخل		25 داخل		30 داخل	
	شتاء	صيفاً	شتاء	صيفاً	شتاء	صيفاً	شتاء	صيفاً	شتاء	صيفاً	شتاء	صيفاً	شتاء	صيفاً	شتاء	صيفاً	شتاء	صيفاً	شتاء	صيفاً	شتاء	صيفاً	شتاء	صيفاً	شتاء	صيفاً
0	0	24	0	19	0	14	0	10	0	6	0	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22.5	0	134	0	117	0	100	0	82	0	64	0	48	0	34	0	23	0	14	0	8	0	5	0	2	0	0
45	2	229	2	207	2	183	1	159	1	133	1	110	1	86	1	69	1	52	0	38	0	27	0	17	0	11
67.5	38	266	34	248	30	228	26	205	24	182	20	156	18	131	15	107	13	86	11	68	10	50	8	36	7	24
90	105	326	95	301	87	273	79	242	71	211	64	181	58	153	52	126	47	102	41	80	36	60	32	42	28	29
112.5	158	330	163	304	153	275	143	245	133	211	122	179	112	147	102	119	93	92	83	69	74	50	64	33	55	21
135	185	309	177	281	204	250	208	218	198	182	185	148	173	113	160	82	145	56	129	36	114	20	97	11	81	4
157.5	229	308	267	268	259	225	251	181	241	137	229	94	217	56	203	28	188	9	171	1	153	0	133	0	112	0
180	276	284	271	240	264	193	256	146	245	98	234	56	222	22	209	3	193	0	177	0	158	0	139	0	116	0
202.5	199	224	239	194	231	161	222	128	211	94	200	62	187	33	173	14	158	4	142	0	124	0	104	0	84	0
225	191	189	181	169	171	146	160	122	149	96	138	72	126	47	114	28	102	14	88	5	75	1	61	0	48	0
247.5	125	189	115	169	106	146	96	123	87	98	78	75	69	53	60	36	52	21	44	10	37	4	29	0	22	0
270	54	135	49	123	44	110	39	96	35	80	30	64	25	47	21	32	17	19	13	10	9	4	7	0	5	0
292.5	14	123	11	110	9	96	7	80	5	65	3	48	2	33	1	20	0	11	0	5	0	1	0	0	0	0
315	0	103	0	88	0	73	0	57	0	41	0	27	0	14	0	7	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
337.5	0	41	0	34	0	27	0	19	0	12	0	6	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

4-5 تبين خواص الزجاج في نفاذية الإشعاع الشمسي

جرى في البحث اعتماد نوعين من الزجاج ذات معامل نفاذية مختلف وهما الزجاج الصافي والزجاج الماص للحرارة وذلك لظهور الاختلاف في كفاءة الأداء الحراري عند تغيير نوع الزجاج، والشكل (2) السابق يوضح تبين قيم معامل النفاذية للزجاج المستخدم تبعاً لاختلاف زوايا الإشعاع الشمسي الساقط لنوعي الزجاج الصافي والماص للحرارة.

4-6 كفاءة الأداء الحراري للنوافذ ذات الميلان المختلف:

ان كفاءة الأداء الحراري للنوافذ يعتمد على مقدار تقليل شدة الإشعاع الشمسي النافذ من خلاله الى داخل المبنى صيفا وزيادته شتاءً. اي لغرض الوصول الى تحديد كفاءة الأداء الحراري للنوافذ لابد من حساب كفاءة الأداء الحراري الموسمي (للأشهر الحارة والباردة) ومن ثم حساب كفاءة الأداء السنوي، وكالآتي:

أ- كفاءة الاداء الموسمي للنوافذ المائلة:

تشمل الكفاءة الموسمية على كفاءة الاداء للأشهر الحارة و للأشهر الباردة كل على حدة:

أولاً: كفاءة الاداء للأشهر الحارة.

تعتمد الكفاءة للفترة الحارة على قيم معدلات الطاقة الشمسية النافذة خلال النوافذ صيفاً (يمكن في هذه الحالة المقارنة بين المباني المختلفة الوظائف كل حسب فترة إشغال المبنى: ساعات التعرض الشمسي اليومي وعدد اشهر الاشغال السنوي). تم من الجدولين (2 و3) تحديد أعلى معدل ساعي لقيم الطاقة المستلمة وهو (330) واط ، واقل معدل للطاقة المستلمة (0) واط [ضمن الميلانات والتوجيهات المختلفة للنوافذ للفترة الحارة]. وحيث ان كفاءة الاداء الحراري للفترة الحارة تزداد كلما قلت قيمة الطاقة الشمسية المستلمة، بذلك ستكون أعلى كفاءة أداء هي لحالة الميلان والتوجيه الذي يستلم الطاقة (0) واط، في حين تكون اقل كفاءة أداء حراري للفترة الحارة هي للحالة التي تستلم طاقة مقدارها (330) واط. وتم تقسيم درجات الكفاءة للفترة الحارة الى (10) درجات كفاءة، فستحصل الحالات التي تستلم معدلات الطاقة (0) على الدرجة (10) وتستلم الحالات التي تستلم الطاقة (330) واط على الدرجة (1)، ان تفاصيل قيم كفاءة الاداء للفترة الحارة موضحة على المنقطة النهائية التي توصل اليها البحث في الفقرة (5).

ثانياً: كفاءة الاداء للأشهر الباردة:

في حين تزداد كفاءة الاداء الحراري للفترة الحارة كلما قل مقدار الطاقة المستلمة فان كفاءة الاداء الحراري للفترة الباردة تزداد كلما زاد مقدار الطاقة الشمسية الساقطة على الزجاج والنافذة خلاله. وتعتمد الدرجات التي ستتحقق لتحديد الكفاءة الادائية للفترة الباردة على جانبين:
- ان كلفة احمال التكييف في الفترة الحارة هي أربع أضعاف كلفة احمال التدفئة للفترة الباردة [7].
- بذلك تكون كمية الطاقة المستلمة في الفترة الباردة لكل درجة من درجات كفاءة الاداء الحراري هي أربعة أضعاف كمية الطاقة للفترة الحارة ، آخذين بالاعتبار ان الفترة الحارة مدتها أطول من الفترة الباردة.

ب- كفاءة الاداء السنوي:

يقصد بكفاءة الاداء السنوي مجموع كفاءة الاداء للفترة الحارة والباردة، فالقيم العالية لكفاءة الاداء السنوي هي بسبب حصولها على قيم عالية في كفاءة الاداء الموسمي لكلاً من الفترة الحارة والباردة، حيث من المفترض ان يتجه المعماري في تصميمه للنوافذ بما يحقق القيم العالية لكفاءة الاداء السنوي، وفي الوقت نفسه الابتعاد عن الحالات التصميمية التي تحقق القيم المنخفضة لكفاءة الاداء السنوي. تبين الجداول (4 و5 و6) قيم كفاءة الاداء السنوي لحالات الميلان المختلف للنوافذ في المباني السكنية والادارية والتعليمية على التوالي.

الجدول (4) الكفاءة السنوية للنوافذ المائلة للمباني السكنية¹ [الباحث]

التوجيه	زاوية ميلان الزجاج												
	داخل 30	داخل 25	داخل 20	داخل 15	داخل 10	داخل 5	0	داخل 5	داخل 10	داخل 15	داخل 20	داخل 25	داخل 30
0	8	9	9	9	9	9	10	10	10	10	10	10	10
22.5	7	7	8	8	8	8	9	9	9	9	9	9	10
45	5	6	6	6	7	7	8	8	8	9	9	9	9
67.5	6	5	6	6	6	6	7	7	8	8	8	9	9
90	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	8	9	9
113	4	4	5	5	6	7	7	8	8	8	9	9	9
135	5	5	6	6	7	8	8	9	9	9	10	10	10
158	5	6	7	8	8	9	10	10	10	11	10	10	10
180	6	7	8	8	9	10	10	11	11	11	11	10	10
203	6	6	7	8	8	9	10	10	10	11	10	10	10
225	5	5	6	7	7	8	8	9	9	9	10	10	10
248	4	5	5	6	6	7	7	8	8	8	9	9	9
270	5	5	5	5	6	6	7	7	8	8	8	9	9
293	6	5	6	6	6	6	7	7	8	8	8	9	9
315	5	6	6	6	7	7	8	8	8	9	9	9	9
338	7	7	8	8	8	9	9	9	9	9	9	10	10

الجدول (5) الكفاءة السنوية للنوافذ المائلة للمباني الادارية¹ [الباحث]

التوجيه	زاوية ميلان الزجاج												
	داخل 30	داخل 25	داخل 20	داخل 15	داخل 10	داخل 5	0	داخل 5	داخل 10	داخل 15	داخل 20	داخل 25	داخل 30
0	9	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
22.5	6	6	7	8	8	9	9	9	10	10	10	10	10
45	3	4	4	5	6	7	7	8	8	9	9	9	10
67.5	2	3	3	4	5	5	6	7	7	8	9	9	9
90	1	1	2	3	4	5	6	6	7	8	8	9	9
113	1	1	2	3	4	5	6	7	8	8	9	9	10
135	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9	10	10	10
158	2	3	4	5	7	8	9	10	10	11	11	11	10
180	2	4	5	7	8	9	10	11	11	11	11	11	10
203	4	5	6	7	8	9	10	10	10	11	10	10	10
225	5	6	6	7	8	8	9	10	10	10	10	10	10
248	5	5	6	7	7	8	9	9	10	10	10	10	10
270	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10	10	10	10
293	6	7	7	8	8	9	9	9	10	10	10	10	10
315	7	7	8	8	9	9	10	10	10	10	10	10	10
338	9	9	9	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10

الجدول (6) الكفاءة السنوية للشبابيك المائلة للمباني التعليمية¹ [الباحث]

التوجيه	زاوية ميلان الزجاج												
	داخل 30	داخل 25	داخل 20	داخل 15	داخل 10	داخل 5	0	داخل 5	داخل 10	داخل 15	داخل 20	داخل 25	داخل 30
0	9	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
22.5	6	6	7	8	8	9	9	9	10	10	10	10	10
45	3	4	4	5	6	7	7	8	8	9	9	9	10
67.5	2	3	3	4	5	5	6	7	7	8	9	9	9
90	1	1	2	3	4	5	6	7	7	8	8	9	9
113	1	2	3	3	4	5	6	7	8	8	9	9	10
135	2	3	4	5	6	7	8	9	9	10	10	10	10
158	2	4	5	6	7	9	10	10	11	11	11	11	11
180	3	4	6	7	9	10	11	11	11	11	11	11	11
203	4	6	7	8	8	9	10	11	11	11	11	11	11
225	5	6	7	7	8	9	9	10	10	10	10	10	10
248	5	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10	10
270	6	7	7	7	8	8	9	9	10	10	10	10	10
293	6	7	7	8	8	9	9	9	10	10	10	10	10
315	7	7	8	8	9	9	10	10	10	10	10	10	10
338	9	9	9	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10

ينظر البحث الى جانب ميلان الزجاج بأنه يتطلب معالجات ويفرض محددات تصميمية وانشائية خاصة مقارنة بالزجاج العمودي، لذا فإنه عند تقارب قيم كفاءة الاداء الحراري للزجاج المائل مع الزجاج في حالته العمودية (بدون ميلان) فالبحث سيفضل بقاء الزجاج عمودياً تلافياً للمحددات والكلف التي قد تضاف للتصميم، أما إذا كانت الفروقات في كفاءة الاداء

¹ القيم المظلة هي التي تحوي على قيم عالية لكفاءة الاداء السنوي.

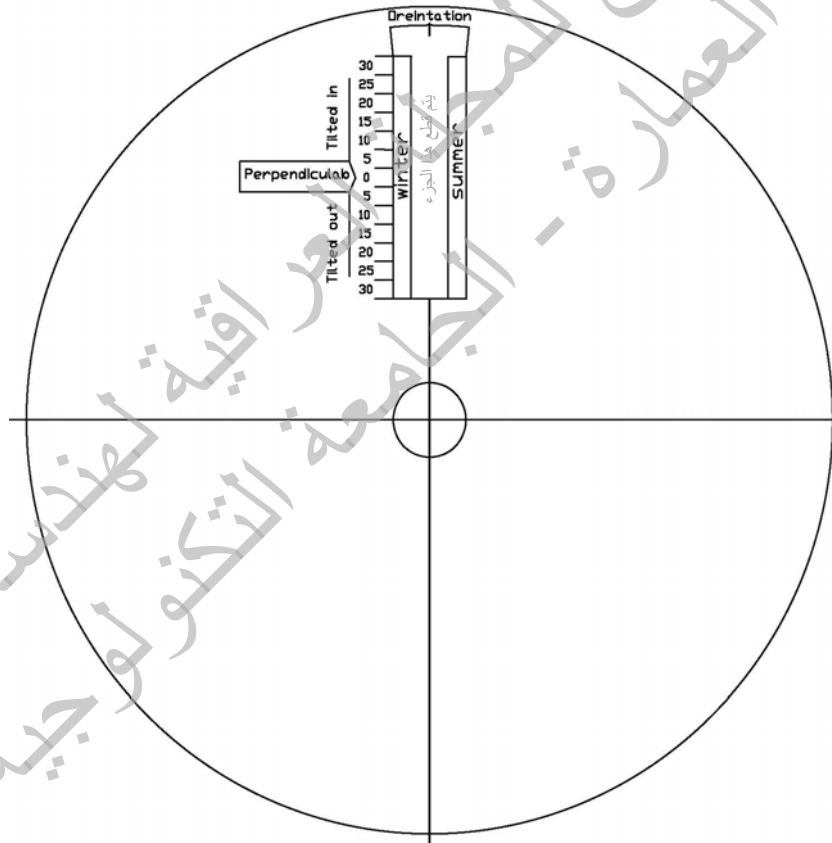
كبيرة بين الزجاج المائل والزجاج العمودي، فإن البحث سيتبنى معالجة الزجاج ضمن زوايا الميلان الملائمة آخذين بالإعتبار تفضيل أن تكون زوايا الميلان هذه ضمن حدودها الدنيا.

5- منقلات كفاءة أداء الميلان

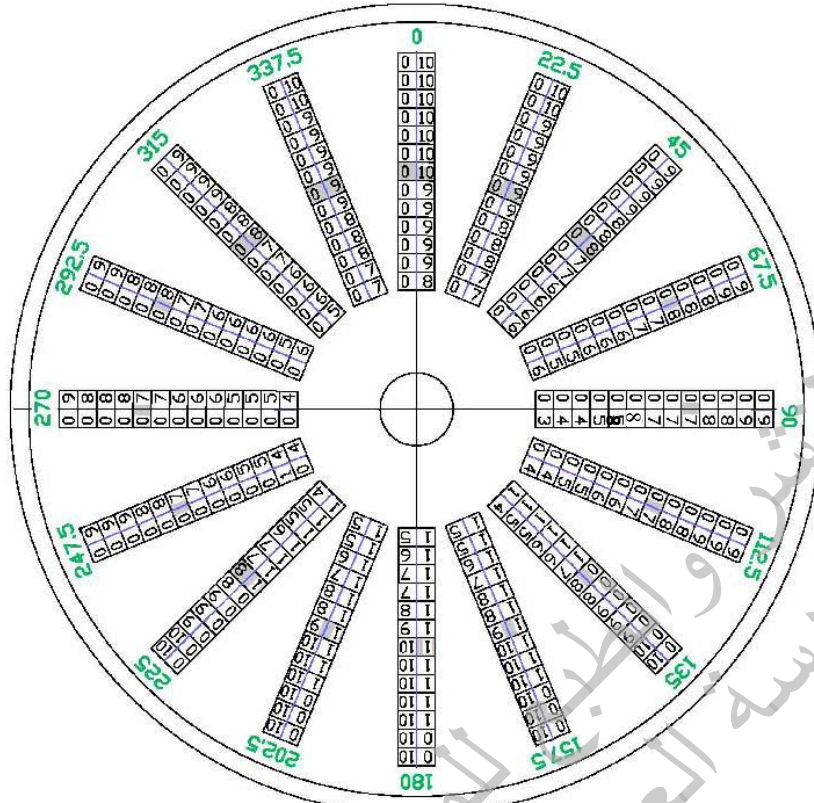
لغرض تسهيل الاستفادة من النتائج والحسابات التي انجزت في هذا البحث وتبسيط أسلوب عرضها للمصمم تم جمع القيم التي تعتبر أكثر أهمية في التصميم وإظهارها ببيئة منقلات دائرية تستخدم في الاتجاهات المختلفة توضح أهم المعلومات التي يحتاج إليها المصمم في حال استخدام الزجاج المائل، وقد تم وضع ثلاث منقلات تبعاً لوظيفة المبنى (سكني وإداري وتعليمي) وهي كما موضحة بالاشكال (7 الى 10). تتكون المنقلة من جزئين:

– دائرة علوية توضع فوق الدائرة السفلى بحيث يتطابق المركزان وتكون قابلة للدوران، تحوي على فتحة لإظهار القيم الواردة في الدائرة السفلى حسب توجيه الشباك، حيث يمثل الجانب الأيمن قيم كفاءة الأداء للفترة الحارة والجانب الأيسر للفترة الباردة وكما موضحة في الشكل (7).

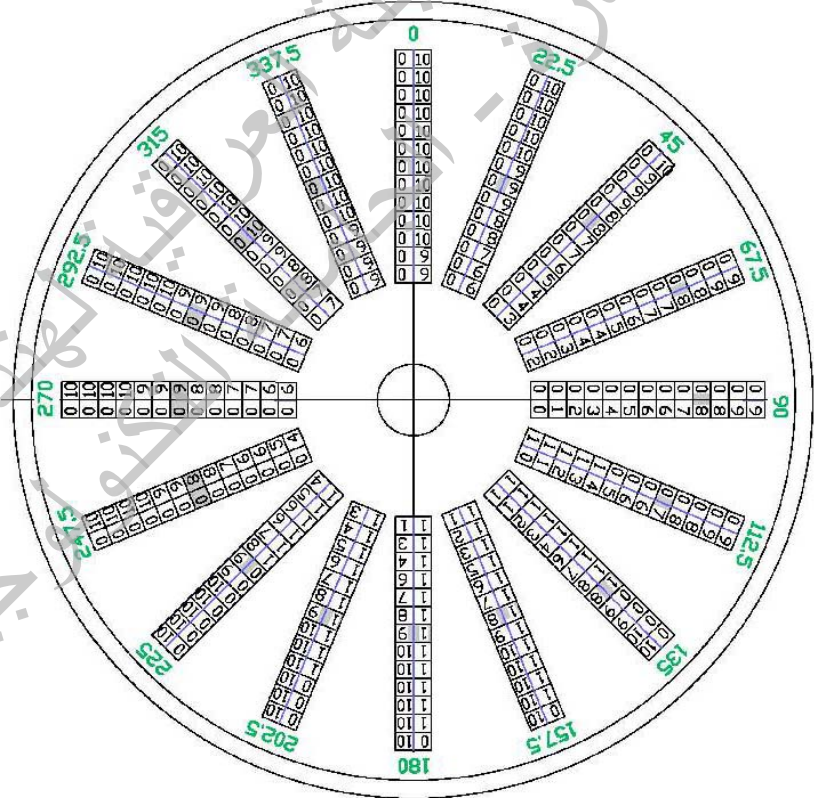
– دائرة سفلية تحوي على قيم كفاءة الأداء الموسمي للفترة الحارة والباردة للزجاج المائل نحو الخارج والداخل كما في الأشكال (8 الى 10)، وقد تم تظليل القيم التي اعتبرت في البحث الحدود المقبولة ضمن كل توجيه، ويتم جمع هاتين القيمتين للحصول على كفاءة الأداء السنوي.



شكل (7) الدائرة العلوية لجميع المنقلات

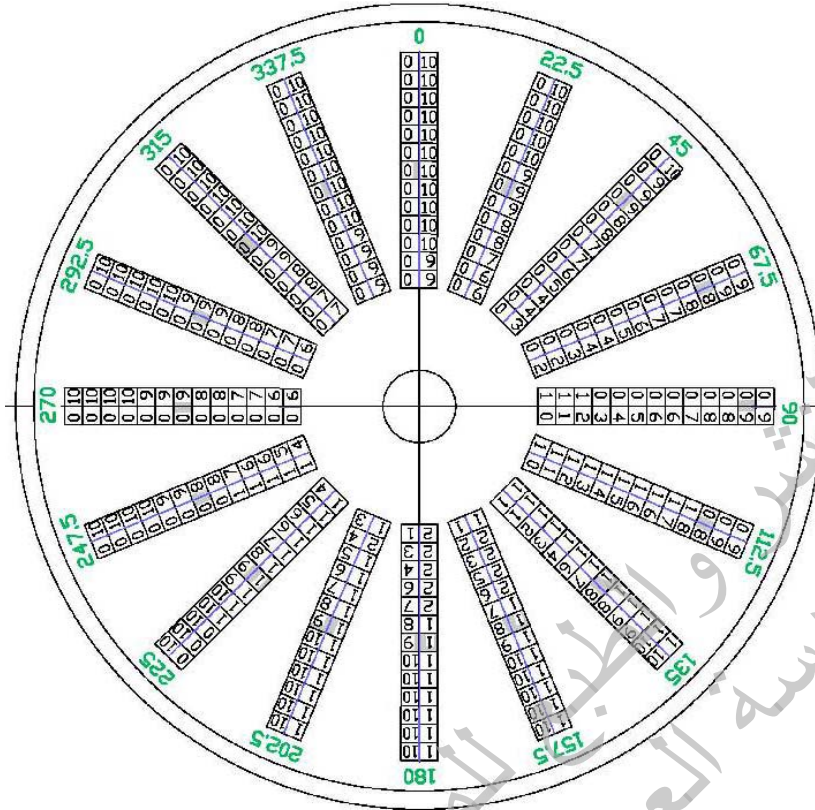


شكل (8) الدائرة السفلية لمنقلة المبنى السكني 2 [الباحث]



شكل (9) الدائرة السفلية لمنقلة المبنى الاداري [الباحث]

² القيم المظلة ضمن كل توجيه تمثل الحالات التي تعتبر حدود الميلان الملائم من حيث الكفاءة الادائية الحرارية.



شكل (10) الدائرة السفلية لمنقلة المبنى التعليمي [الباحث]

6- مثال تطبيقي:

لتوضيح كيفية استخدام المنقلات الخاصة بهذا البحث واختيار زاوية الميلان الملائم للزجاج عند التصميم، تم التطبيق على المثال التوضيحي الآتي:

مثال: فضاء في مبنى يحوي على نافذة متجهة نحو الشرق، المطلوب السيطرة على الأداء الحراري للنافذة من خلال التحكم بزاوية ميلان زجاجها، ما هي زوايا الميلان الملائمة اذا كانت وظيفة المبنى: أ- (مبنى سكني). ب- (مبنى إداري).

الحل:

أ- (في حالة المبنى السكني): من خلال الاستعانة بالمنقلة الخاصة بالمبنى السكني وللتوجيه الشرقي الشكل (7 و 8) نجد الآتي:

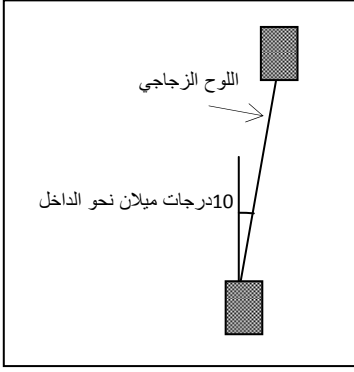
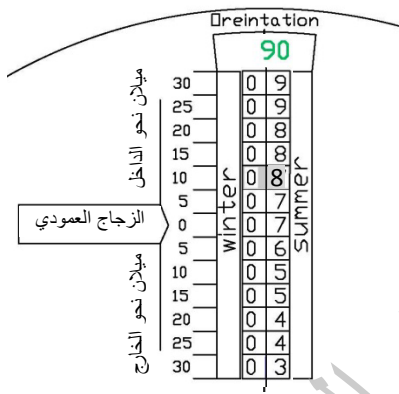
- ان الشباك العمودي (ذو زاوية ميلان صفر) يحقق مستوى كفاءة سنوية بمقدار (7) [جمع قيم كفاءة أداء الفترة الحارة والباردة] لاحظ الشكل (11).

- كلما زاد ميلان الزجاج نحو الخارج تقل كفاءة ادائه بسبب زيادة تعرضه للإشعاع الشمسي والظروف السماوية الخارجية.

- كلما زاد ميلان الزجاج باتجاه الداخل زادت كفاءة ادائه الحراري بسبب ابتعاده عن مواجهة حركة الشمس خاصة في الفترة الحارة.

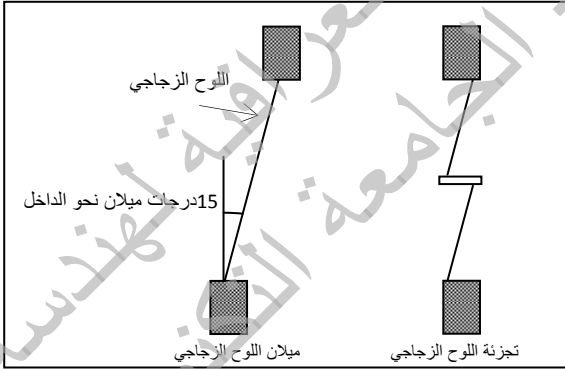
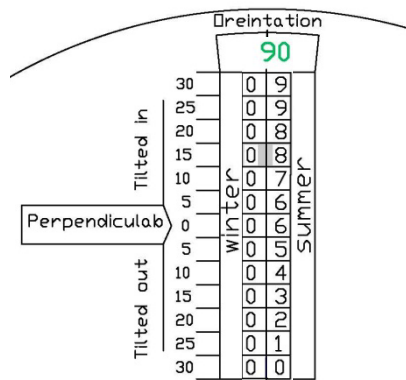
- القيم المظلة الواردة في المنقلة (التي تعد ذات كفاءة ملائمة هي ضمن الزاوية (10) درجات نحو الداخل وذات قيمة

الكفاءة (8). بذلك يتم وضع الزجاج مائلاً بزاوية (10) درجات نحو الداخل، الشكل (12).

	
<p>شكل (12) درجة ميلان الزجاج المستخدم للتوجيه الشرقي للمبنى السكني.</p>	<p>شكل (11) جزء مكبر من المنقطة يظهر المعلومات الخاصة بالتوجيه الشرقي للمبنى السكني.</p>

ب- (في حالة المبنى الإداري): من خلال الاستعانة بالمنقطة الخاصة بالمبنى الإداري للتوجيه الشرقي الشكل (7 و 9) نجد الآتي:

- ان الشباك العمودي (زو زاوية ميلان صفر) يحقق مستوى كفاءة سنوية بمقدار (6) كما في الشكل (13).
- القيم المظلمة الواردة في المنقطة (التي تعتبر ذات كفاءة ملائمة هي ضمن الزاوية (15) درجة. أي ان يتم وضع الزجاج مائلاً بزاوية (15) درجة نحو الداخل.
- عند زيادة قيم زاوية الميلان بالامكان تجزئة اللوح الزجاجي الى عدة أجزاء وذلك لمنع تأثيره في مساحة الفضاء الداخلي، الشكل (14).

	
<p>شكل (14) درجة ميلان الزجاج المستخدم للتوجيه الشرقي للمبنى الإداري.</p>	<p>شكل (13) جزء من المنقطة يظهر المعلومات الخاصة بالتوجيه الشرقي للمبنى الإداري.</p>

7- الاستنتاجات:-

بعد ان اجري في البحث الحسابات الحرارية المرتبطة بقياس أثر تغير ميلان اللوح الزجاجي في كمية الطاقة الشمسية المباشرة النافذة خلاله ضمن التوجيهات المختلفة، وقد اجريت تلك الحسابات بما يلاءم وظائف المبنى المختلفة حيث تم انتخاب ثلاث أصناف رئيسة للمباني وهي المباني السكنية والإدارية والتعليمية تختلف فيما بينها بأشهر إستخدامها خلال السنة وساعات تعرضها الشمسي خلال اليوم (تبعاً لساعات الاشغال حسب الوظيفة). أستنادا الى ذلك تم التوصل الى عدد من الاستنتاجات تم جمعها وترتيبها وفقاً الى الحسابات والجداول والمنقطات التي

وردت في البحث، وشملت ما يأتي:-

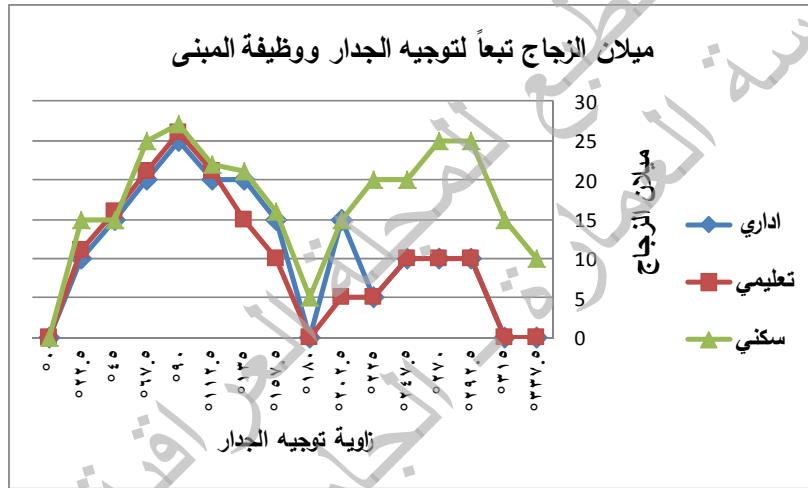
أ- بالإمكان الاعتماد على المنقلات التي توصل إليها البحث كأداة مساعدة للمصمم لتحديد الزاوية المناسبة لميلان الزجاج في المباني المختلفة بما يحقق المتطلبات الكفاءة للاداء الموسمي او السنوي تبعاً لوظيفة المبنى وتوجيهه.

ب- ميلان الزجاج نحو الداخل

الزجاج المائل نحو الداخل هو الاكثر كفاءة من الزجاج العمودي، اما الزجاج المائل نحو الخارج فهو ذو كفاءة حرارية سنوية سالبة لزيادة تعرضه الى الظروف الخارجية والاشعاع الشمسي.

ج- الميلان الاكثر كفاءة للزجاج

بالاعتماد على النتائج المستحصلة من قيم الكفاءة الموسمية والسنوية للوظائف المختلفة للمباني، تم تحديد زوايا الميلان للزجاج المحققة للكفاءة الاعلى وفقاً للتوجيهات المختلفة (وفي حالة تساوي او تقارب قيم الكفاءة السنوية لعدد من زوايا الميلان يتم اختيار القيمة الاقل للميلان _ اي الاقرب الى الشباك العمودي باعتبار ان الشباك العمودي هو الحالة القياسية لوضعية الشبائك)، ويوضح الشكل (15) اختيار ميلان الزجاج الاكثر كفاءة وفقاً للتوجيهات المختلفة وحسب وظيفة المبنى.

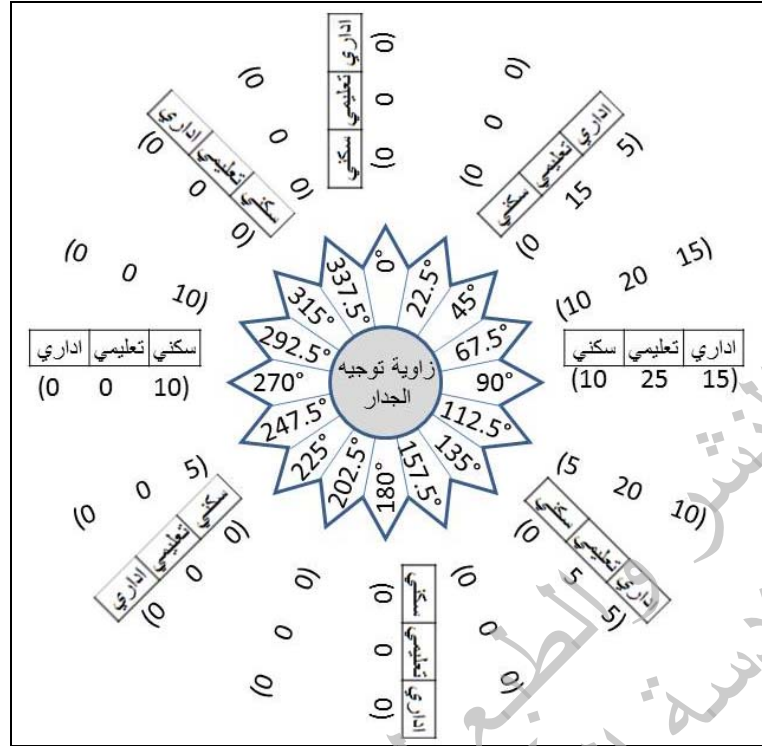


شكل (15) الميلان الاكثر كفاءة

د- الحد الادنى للميلان للملاءم للزجاج

زوايا الميلان الواردة في الشكل (15) لعدد من التوجيهات تعد زوايا ميل كبيرة قد يصعب على المصمم تحقيقها خاصة ان بعض التوجيهات تتطلب زوايا ميل كبيرة لكنها تحقق تحسن بسيط في كفاءة اداء النافذة مقارنة بالنافذة العمودية، لذا تم تحديد الحالات التي يحقق فيها الميلان تحسن كبير في كفاءة اداء النافذة مقارنة بالنافذة العمودية، واهمال زوايا الميلان التي تحقق تحسن بسيط في كفاءة الاداء، الشكل (16).

ان جعل الزجاج مائلاً نحو الداخل في الواجهات الشرقية والواجهات الغربية للمباني السكنية سيزيد وبشكل كبير من كفاءة ادائه الحراري. اما الواجهات الشمالية والجنوبية والتي تعتبر ضمن التوجيهات الكفاءة أصلاً لأنها لا تتطلب ميل الزجاج الى الداخل لانها كفاءة في حالتها العمودية وستزداد كفاءتها شتاءً للعلاقة الهندسية بين زاوية الاشعاع الشمسي المنخفض وزاوية الميلان التي تقترب من التعامد، الا في حالة رغبة المصمم في زيادة الكفاءة اكثر فبالإمكان الرجوع الى المنقلات في الاشكال (8 الى 10) لتحديد زوايا الميلان لزيادة كفاءة الأداء الحراري وفقاً لوظيفة المبنى.



الشكل (16) زوايا ميلان الزجاج (الصافي) نحو الداخل لمعالجة الواجهات غير الكفوءة حرارياً

يلاحظ في الشكل (16) ان التوجيهات الشمالية (22.5, 0, 22.5, 315, 337.5) والجنوبية (225, 202.5, 180, 157.5) لمختلف الوظائف (سكني, اداري, تعليمي) لا تتطلب بأهمية كبيرة ميل الزجاج الى الداخل لانها كفوءة لذا اعطيت القيمة (صفر) والتي ترمز الى الزجاج العمودي غير المائل. اما التوجيه من (45 والى 135) باتجاه عقرب الساعة فيكون الميلان الملائم ما بين (5 الى 10 درجات نحو الداخل) للمبنى السكني و(5 الى 25) للمبنى التعليمي (5 الى 15) بالنسبة الى الاداري لإختلاف فترات تعرضهم للإشعاع الشمسي اليومي والشهري، ويكون الميلان ضمن هذه المديات بكفاءة واضحة ومؤثرة على الاداء السنوي للنافذة. وللتوجيه من (247.5 الى 292.5) فان الوظيفة السكنية تحديداً تتطلب ميلان بزوايا (5 الى 10) لتحسين كفاءة الاداء السنوي، اما بالنسبة الى التعليمية والادارية فلا يكون لميلان الزجاج تأثير يذكر على تحسين الكفاءة وذلك لعدم اشغال المبنى في ساعات مابعد الظهيرة.

هـ- زيادة كفاءة الاداء باستخدام انواع اخرى من الزجاج

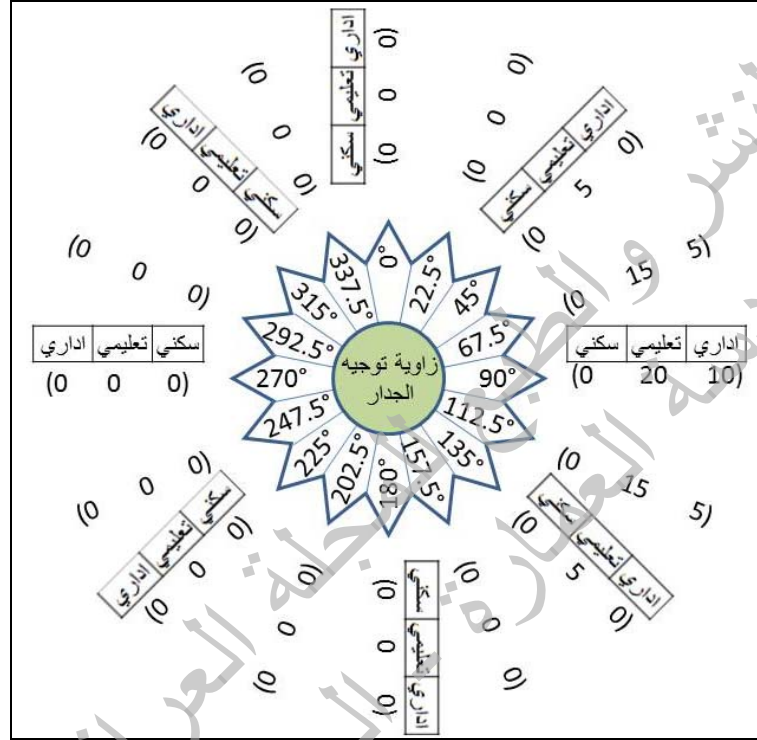
لزيادة كفاءة الاداء الحراري بالامكان استبدال الزجاج الاعتيادي (الصافي) المستخدم في اعلاه بزجاج مظلل وماص للحرارة الذي بطبيعته سيسمح بنفاذ كمية أقل من الطاقة الشمسية مقارنة مع الزجاج الصافي (علماً ان استخدام الزجاج المظلل غير مرغوب به وذلك لتأثيراته السلبية على مواصفات الاضاءة الطبيعية النافذة خلاله)، واستنادا الى النقطة (ب) السابقة التي تعتبر ان جعل الزجاج مائل هو لتحسين كفاءة الاداء للتوجيهات غير الجيدة، فان استعمال الزجاج المظلل سيسمح باستخدام زجاج ذو ميلان أقل (أقرب الى الاتجاه العمودي) لتحقيق نفس كفاءة الاداء الحراري للزجاج الصافي، وكما موضحة في الجدول (7) الذي يبين مقارنة نتائج الاداء الحراري لكلاً من الزجاج الصافي والمظلل.

الجدول (7) مقارنة كفاءة الاداء الحراري تبعا لنوع الزجاج الصافي والمظلل.

نوع المبنى	التوجيه	زاوية ميلان الزجاج المظلل في المباني السكنية															
		الى الداخل						عمودي	الى الخارج								
		30	25	20	15	10	5		0	-5	-10	-15	-20	-25	-30		
مبنى سكني	0	9	9	9	9	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	22.5	8	8	8	9	9	9	9	9	9	9	9	10	10	10	10	10
	45	7	7	7	7	8	8	8	8	9	9	9	9	9	9	9	9
	67.5	7	7	7	7	7	8	8	8	8	9	9	9	9	9	9	9
	90	6	6	6	7	7	7	8	8	8	9	9	9	9	9	9	9
	112.5	6	6	6	7	7	8	8	8	8	9	9	9	9	9	9	10
	135	6	7	7	8	8	8	9	9	9	10	10	10	10	10	10	10
	157.5	7	7	8	8	9	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	180	7	8	8	9	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	202.5	7	7	8	8	9	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	225	6	7	7	8	8	8	9	9	9	10	10	10	10	10	10	10
	247.5	6	6	7	7	7	8	8	8	8	9	9	9	9	9	9	9
	270	6	6	7	7	7	7	8	8	8	8	9	9	9	9	9	9
	292.5	7	7	7	7	7	7	8	8	8	8	9	9	9	9	9	9
315	7	7	7	7	8	8	8	8	9	9	9	9	9	9	9	9	
337.5	8	8	8	9	9	9	9	9	9	9	10	10	10	10	10	10	
مبنى اداري	0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	22.5	7	8	8	8	9	9	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	45	5	6	6	7	7	8	8	9	9	9	9	10	10	10	10	10
	67.5	4	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9	9	10	10	10	10
	90	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9	9	9	9
	112.5	3	4	5	5	6	7	7	8	8	9	9	9	9	10	10	10
	135	4	5	5	6	7	7	8	9	9	10	10	10	10	10	10	10
	157.5	4	5	6	7	8	9	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	180	5	6	7	8	9	9	10	10	11	10	10	10	10	10	10	10
	202.5	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	225	7	7	7	8	8	8	9	9	10	10	10	10	10	10	10	10
	247.5	6	7	7	8	8	8	9	9	9	10	10	10	10	10	10	10
	270	7	8	8	8	8	8	9	9	9	10	10	10	10	10	10	10
	292.5	7	8	8	8	8	8	9	9	9	10	10	10	10	10	10	10
315	8	8	8	8	9	9	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
337.5	9	9	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
مبنى تعليمي	0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	22.5	7	8	8	8	9	9	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	45	5	6	6	7	7	8	8	9	9	9	9	10	10	10	10	10
	67.5	4	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9	9	10	10	10	10
	90	4	4	5	5	6	6	7	8	8	8	9	9	9	9	9	9
	112.5	4	4	5	5	6	7	7	8	8	9	9	10	10	10	10	10
	135	4	5	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10	10	10	10
	157.5	5	6	6	7	8	9	10	10	11	11	11	11	11	11	11	11
	180	5	6	7	8	9	10	10	11	11	11	11	11	11	11	11	11
	202.5	6	7	8	8	9	10	10	10	11	11	11	11	11	11	11	11
	225	7	7	8	8	9	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	247.5	7	7	8	8	8	9	9	9	10	10	10	10	10	10	10	10
	270	7	8	8	8	8	8	9	9	9	10	10	10	10	10	10	10
	292.5	7	8	8	8	8	8	9	9	9	10	10	10	10	10	10	10
315	8	8	8	8	9	9	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
337.5	9	9	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	

ومن الجدول اعلاه تم استنتاج الشكل (17) الذي يوضح قيم الزوايا المنخفضة لميلان الزجاج عند اعتماد النوع المظلل وكالاتي:-

ان التوجيهات (0 الى 22.5 درجة) باتجاه عقرب الساعة والتوجيهات (157.5 الى 337.5 درجة) يكون التحسن في كفاءة اداءها الحراري السنوي قليلاً لذا يفضل بقاءها عمودية.
 اما التوجيهات من (45 الى 135 درجة) فبالنسبة الى المباني السكنية يكون التحسن في كفاءة اداءها الحراري قليل لذا يفضل بقاءها عمودية، اما بالنسبة الى الوظيفة التعليمية فان الميلان الملائم للزجاج في تحسين الكفاءة يكون من (5 الى 20 درجة درجة).
 وفي الابنية الادارية فيكون الميلان الملائم للتوجيهات من (67.5 الى 112.5 درجة) ما بين (5 الى 10 درجة).



الشكل (17) يبين الزوايا التي تتطلب ميلان الزجاج لتحسين كفاءة أدائه الحراري باعتماد الزجاج المظلل.

و- بالامكان تحقيق الاداء الامثل للزجاج المائل مع تقليل تأثيره في الفضاء الداخلي للمبنى من خلال اجراء معالجات تصميمية للنوافذ مع المحافظة على زوايا ميلان الالواح الزجاجية، كما تم الاشارة الى بعض منها ضمن المعالجات الواردة في المثال التطبيقي.

المصادر:

- 1- Olgyay, V. & Olgyay, A., "Solar Control and Shading Devices", Princeton University Press, 1957.
- 2- Condo Architect Angles for Energy Savings With Tilted-Window Design
http://www.wired.com/culture/design/magazine/15-08/pl_home
- 3- SOSA, M. E. Y SIEM, G. (2004). Manual de Diseño para Edificaciones
http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652007000400009&lng=es&nrm=iso
- 4- Markus, T.A. & Morris, E.N., "Building, Climate and Energy", Pitman Press Ltd, 1980.
- 5- Daylighting Strategies: Skylighting in Hot Dry Climates , By Warren R. Hampton.
<http://ag.arizona.edu/oals/ALN/aln28/hampton.html>
- 6- يحيى، سرى زكريا ، "معالجات التصميم البيئية وأثرها في كفاءة المبنى الحرارية"، رسالة ماجستير مقدمة الى قسم الهندسة المعمارية في الجامعة التكنولوجية، 2010م.
- 7- عبد الحميد، ارقم، "مثالية التشكيل الهندسي لغلاف المبنى كمفهوم للتقليل من الهدر في الطاقة"، رسالة ماجستير، قسم الهندسة المعمارية، الجامعة التكنولوجية. 1996م.