المقر الجديد للمجلس الفلسطيني للأبنية الخضراء – مشروع إعادة تأهيل

مقدم إلى: المجلس الفلسطيني للأبنية الخضراء

التاريخ: نوفمبر، 2022

Hasan Bakeer
Engineering and Construction

المجلس الفلسطيني للأبنية الخضراء
Palestine Green Building Council

جدول المحتويات

الملخص التنفيذي	5
مقدمة	6
وصف المبنى	10
إشغال المبنى وجدولة تشغيل وإطفاء الأنظمة	13
وصف الجدران الخارجية والسقف	14
الفرز الأولي لخيارات تحديث المبنى المقترحة	16
محاكاة أداء النموذج المرجعي (قبل التحديث) مقابل النموذج المحدث للمبنى	19
التأثير البيئي	24
الأداء الاقتصادي	24
إستغلال الطاقة المتجددة	26
ملحق 1: تقرير نمذجة ومحاكاة نظام الخلايا الشمسية	28
ملحق 2: تقرير نتائج نمذجة ومحاكاة المبنى التفصيلية	29

Hasan Bakeer
Engineering and Construction

قائمة الجداول

جدول 1: البيانات المناخية ومعاملات التصميم المستخدمة لمحاكاة المبنى. 7
جدول2 : إحصائيات درجة الحرارة الجافة (درجة مئوية). 8
جدول 3: إحصائيات الاشعاع الشمسي اليومية. 8
جدول 4: العطل السنوية المشمولة في محاكاة المبنى للعام 2022. 8
جدول 5: خواص وأبعاد مكونات غلاف المبنى. 12
جدول6 : خواص وأبعاد أبواب المبنى. 13
جدول 7: خواص وأبعاد نوافذ المبنى. 13
جدول 8: جدول ساعات العمل اليومية في المبنى. 13
جدول 9: جدول أيام الإشغال السنوية. 14
جدول 10: بيانات وخواص الجدران الخارجية الحجرية المستخدمة في نموذج المحاكاة. 14
جدول 11: بيانات وخواص الجران الخارجية غير الحجرية المستخدمة في نموذج المحاكاة. 14
جدول 12: بينات وخواص السقف المستخدمة في نموذج المحاكاة. 15
جدول 13: بينات وخواص الجدران الداخلية المستخدمة في نموذج المحاكاة. 15
جدول 14: خيارات العزل المقترحة الخاصة بالجدران الخارجية والأسقف. 17
جدول 15: نسبة التوفير المتوقع من خلال اعتماد خيارات العزل والتحديث الخاصة بغلاف المبنى. 18
جدول 16: التكاليف التشغيلية السنوية للمبنى قبل التحديث مقارنة ببعد التحديث. 19
جدول 17: التكليف التشغيلية السنوية للمبنى بوحدة المتر المربع. 19
جدول 18: نسبة المصاريف التشغيلية لكل مكون من مكونات الأنظمة من التكاليف الكلية. 20
جدول 19: التكاليف التشغيلية النسوية لأنظمة التدفئة والتكييف مقارنة بغيرها لحالتي ما قبل التحديث وما بعده. 20
جدول 20: حمل الكهرباء للتجدفئة والتكييف السنوي لحالتي ما قبل وما بعد تحديث المبنى. 20
جدول 21: قدرة حمل التدفئة والتكييف لمختلف الغرف بوحدة الكيلو واط وطن التبريد. 22
جدول 22: نسبة التوفير المقدرة لكل خيار من خيارات التحديث المعتمدة. 23
جدول 23: تقييم خيارات التحديث المعتبرة إقتصادياً إعتماداً على التوفير المتوقع لكل خيار من فاتورة الطاقة الكلية. 24
جدول 24: حمل التدفئة والتكييف المتوقع للجدران والنوافذ والسقف. 25

قائمة الأشكال

رسم توضيحي 1: تباين درجة الحرارة المعتمدة لتصميم نظام التكييف، 2022/07/15. 9
رسم توضيحي 2: تبيان الاشعاع الشمسي المعتمد لتصميم نظام التكييف صيفاً، 2022/07/15. 9
رسم توضيحي 3: خريطة موقع المبنى الجوية..... 10
رسم توضيحي 4: مكونات غلاف المبنى وأبعاد المساحات الداخلية..... 11
رسم توضيحي 5: مساحات المبنى الداخلية حسب الاستخدام.. 11
رسم توضيحي 6: تباين استهلاك الطاقة الشهري لكل من أنظمة التدفئة، التكييف، الإنارة، والمعدات المكتبية. 21
رسم توضيحي 7: تباين استهلاك الطاقة الشهري لكل من أنظمة التكييف والأنظمة الأخرى..... 22
رسم توضيحي 8: الانخفاض في كمية غازات ثاني أكسيد الكربون وما يعادله من أشجار سنوياً..... 24
رسم توضيحي9 : هرم خطوات إدارة الطاقة..... 26
رسم توضيحي 10: الإنخفاض في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون وما يعادلها من أشجار سنوية الناتج عن أنظمة الطاقة المتجددة..... 27

Hasan Bakeer
Engineering and Construction

الملخص التنفيذي

يعرض هذا التقرير نتائج تحليل نموذج الطاقة الخاص بمبنى المجلس الفلسطيني للأبنية الخضراء (PalGBC)، والذي يحتوي على مكتب المجلس الذي تم استئجاره مؤخراً. وتجدر الإشارة إلى أن المبنى قديم ويقع في أراضي مدينة البيرة. يتكون المبنى من طابقين اثنين فقط، التسوية والتي تحتوي على محال تجارية، والطابق الأول المستأجر من قبل المجلس.

خلال المرحلة الأولى من المشروع، تم إعداد المخططات المعمارية كاملة، حيث شملت تفاصيل المبنى القديم بكافة مكوناته، وبمواصفات تفصيلية. ومن ثم، تم طرح وتقييم الأفكار الخاصة بإعادة تأهيل المبنى، والتي شملت عزل الجدران الخارجية وسقف المبنى حرارياً، وتغيير النوافذ والأبواب، وتبديل نظام الإنارة من Fluorescentإلى LED. ولأغراض المقارنة، ومعرفة تأثير كل من الأفكار التطويرية المقترحة على استهلاك الطاقة في المبنى، تم بناء نموذجين مختلفين باستخدام برنامج Hourly Analysis Program (HAP 4.9) والذي يعتبر من أكثر البرامج شيوعاً وواقعية في هذا المجال. بحيث يمثل النموذج الاول وضع المبنى قبل تحديثه، فيما يمثل الثاني محاكاة لأداء المبنى بعد تحديثه. يستهلك المبنى بشكل رئيسي الطاقة الكهربائية، ولأغراض الدراسة تم تصنيف الأنظمة المستهلكة للطاقة إلى قسمين: القسم الأول أنظمة تدفئة وتكييف، والقسم الثاني الأنظمة الأخرى التي ليست لأغراض التدفئة والتكييف.

من خلال مقارنة نتائج النموذجين، تبين وجود فروقات ملحوظة في استهلاك المبنى للطاقة، حيث يتوقع خفض استهلاك المبنى لأغراض التدفئة من 6.1 دولار لكل متر مربع سنوياً إلى 5.3 دولار، فيما يتوقع خفض استهلاك التكييف من 5.6 إلى 4.5 دولار لكل متر مربع سنوياً. أما فيما يتعلق بالإنارة، فيتوقع انخفاض المصاريف من 3.1 إلى 2.7 دولار لكل متر مربع سنوياً. وبالتالي ستنخفض استهلاكات الأنظمة غير المستخدمة لأغراض التدفئة والتكييف من 32.6 دولار لكل متر مربع سنوياً، إلى 23.3. وبشكل عام، يمكن تحقيق وفورات تصل إلى 28.6% سنوياً وذلك من خلال خفض فاتورة الطاقة من 5,441 دولار إلى 3,884 دولار سنوياً وذلك بتطبيق كافة مقترحات التحديث المشمولة في هذا التقرير.

مقدمة

تُعرف نمذجة الطاقة بأنها محاكاة افتراضية باستخدام الحاسوب لمكونات مبنى سواء أكان بسيطاً أم معقداً. ويتم من خلاله التركيز على استهلاك الطاقة من قبل كافة الأنظمة الموجودة/مقترحة في المبنى. بما في ذلك التدفئة والتهوية وتكييف الهواء والإضاءة والماء الساخن والمعدات المكتبية وسلوك وأنشطة الأشخاص العاملين أو المقيمين في المبنى. تعمل البرامج الحديثة وانظمة نمذجة الطاقة على محاكاة سلوك المقيمين بالمبنى وتأثره على استهلاك الطاقة، وبمكن تطبيق هذه النماذج والاستفادة منها في المبان السكنية والتجارية وحتى الصناعية.

هنالك اهتمام متزايد بموضوع الطاقة واستهلاكاتها عالمياً، حيث تلعب حقيقة عدم وجود توازن ما بين الاستهلاك والمصادر دوراً محورياً في تحفيز الدول على تبني إستراتيجيات مختلفة لترشيد الاستهلاك، مما يؤثر إيجاباً على التخفيف من آثار ونتائج التغير المناخي، ويعمل على الحفاظ على البيئة. وفي هذا السياق، تستهلك المبان كميات ضخمة من الطاقة عالمياً، وفي فلسطين، يستهلك قطاع المبان ما يعادل حوالي 50% من إجمالي استهلاك الطاقة.

تعد نمذجة طاقة المباني أداة حسابية قوية للمهندسين، حيث يمكن من خلالها التنبؤ بكمية الطاقة المستهلكة في المبنى وتوقع أداء الأنظمة الموجودة بمختلف أنواعها. وخلال دورة حياة المبنى، يمكن تطوير عدة أنواع من نماذج الطاقة بحيث توفر نتائج المحاكاة المحققة رؤية تفصيلية للمهندسين حول أداء غلاف المبنى (Building Envelope)، وتمكنهم من اقتراح بدائل أفضل ومقارنتها واختيارها لضمان الجدوى الاقتصادية والحماية البيئية.

يعرض هذا التقرير نتائج نمذجة أحد المباني المحلية القديمة في البيرة، لكي يتم استخدامه لاحقاً كمكاتب للمجلس الفلسطيني للأبنية الخضراء. للقيام بذلك، تم استخدام برنامج التحليل (HAP 4.9)، والذي يتضمن وصفًا تفصيليًا لمكونات المبنى، والاستخدام المقصود منه، بالإضافة إلى أداءه من حيث استهلاكه للطاقة.

بيانات الطقس المحلية

يقع المبنى في محافظة رام الله والبيرة وتحديداً في مدينة البيرة. يعرض الجدول (1) المعلومات اللازمة للتصميم، وقد تم الأخذ بعين الاعتبار أحدث بيانات الطقس المتوفرة في الموقع المرفق (http://ashrae-meteo.info/v2.0/) ، حيث تم اعتباره موقع ذو مصداقية في مجال محاكاة المباني وتصميم أنظمة التكييف في جميع أنحاء العالم. تم تلخيص المعايير الرئيسية المتعلقة في الطقس واللازمة في عملية التصميم في الجدول (1) الموضح أدناه.

جدول 1: البيانات المناخية ومعاملات التصميم المستخدمة لمحاكاة المبنى.

City Name	Ramallah & Al-Bireh
Location	Palestine
Latitude	31.9 Deg
Longitude	-35.2 Deg.
Elevation	759.0 m
Summer Design Dry-Bulb	31.8 °C
Summer Coincident Wet-Bulb	18.3 °C
Summer Daily Range	10.4 °K
Winter Design Dry-Bulb	2.2 °C
Winter Design Wet-Bulb	-2.5 °C
Atmospheric Clearness Number	1.00
Average Ground Reflectance	0.20
Soil Conductivity	1.385 W/(m.°K)
Local Time Zone (GMT +/- N hours)	-2.0 hours
Consider Daylight Savings Time	Yes
Daylight Savings Begins	April, 1
Daylight Savings Ends	October, 31
Simulation Weather Data	Ramallah & Al-Bireh (Avg)
Current Data is	User Modified
Design Cooling Months	June to September

بالإضافة إلى معايير التصميم التي تم ذكرها في الجدول السابق، هنالك معايير أخرى تستخدم في عملية التصميم مثل درجة الحرارة الجافة والإشعاع الشمسي على مدار العام، وترد هذه البيانات في الجدولين (2 و3).

جدول2 : إحصائيات درجة الحرارة الجافة (درجة مئوية).

Month	Absolute Max.	Average Max.	Average	Average Min.	Absolute Min.
January	12.2	12.2	7.7	3.9	3.9
February	13.2	13.2	8.6	4.4	4.4
March	15.5	15.5	10.5	6.1	6.1
April	22.8	22.7	15.6	9.4	9.4
May	28.3	28.3	20.6	13.9	13.9
June	30.6	30.5	22.8	16.1	16.1
July	31.6	31.6	24.5	18.3	18.3
August	32.2	32.2	24.8	18.3	18.3
September	31.1	31.1	23.3	16.7	16.7
October	27.2	27.2	20.1	13.9	13.9
November	21.1	21.1	15.1	10.1	10.1
December	15.0	15.0	9.9	5.6	5.6

جدول 3: إحصائيات الاشعاع الشمسي اليومية.

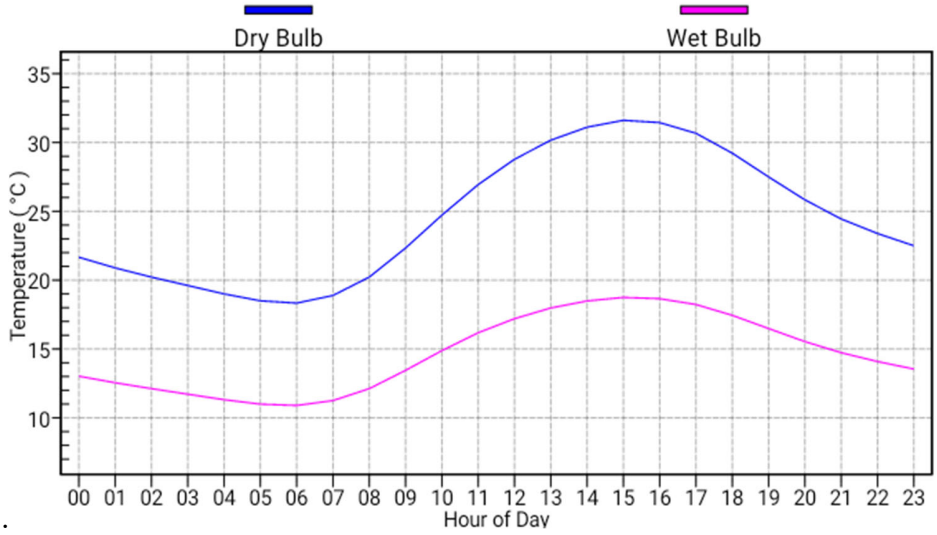
	Daily Total Solar on Horizontal (kJ/m²)			Daily Clearness Number (dimensionless)		
Month	Maximum	Average	Minimum	Maximum	Average	Minimum
January	12011.3	10903.9	10087.2	0.538	0.538	0.537
February	14513.5	13036.9	11712.1	0.520	0.519	0.520
March	20077.9	18308.6	16429.2	0.587	0.586	0.584
April	23902.0	22579.3	21073.8	0.618	0.615	0.613
May	27715.1	27104.7	26157.8	0.674	0.675	0.674
June	30573.9	30492.2	30266.8	0.737	0.737	0.736
July	30924.4	30368.6	29618.0	0.748	0.747	0.745
August	28325.2	27007.8	25474.4	0.716	0.714	0.711
September	25453.2	23599.9	21752.3	0.713	0.712	0.716
October	20116.9	18012.7	15956.2	0.667	0.664	0.662
November	14988.6	13485.8	12300.2	0.627	0.626	0.628
December	10773.9	10391.1	10224.1	0.553	0.554	0.553

أخذ نموذج المحاكاة في الاعتبار عام 2022، لذلك اعتبر الأول من كانون الثاني (يناير) يوم السبت، وتم توضيح جميع أيام العطل خلال العام في الجدول (4).

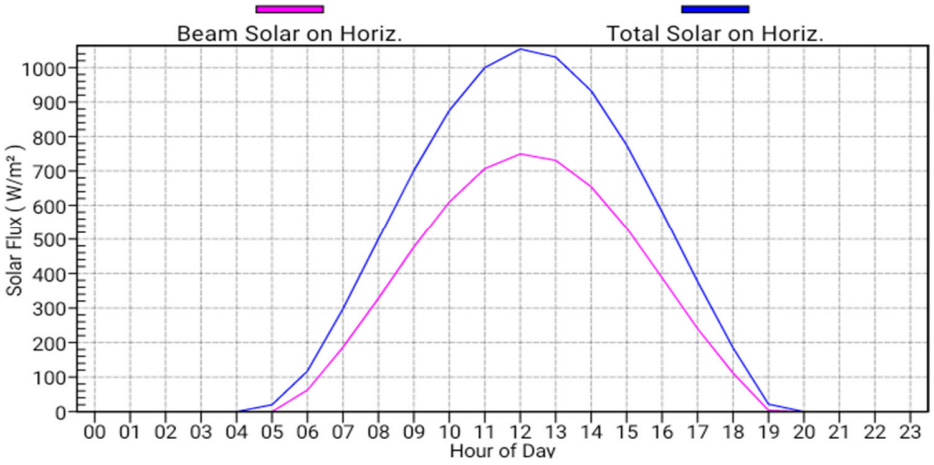
جدول 4: العطل السنوية المشمولة في محاكاة المبنى للعام 2022.

			1	Jan
			28	Feb
	3	2	1	May
30	11	10	9	Aug
			8	Oct
			15	Nov
			25	Dec

من المهم أيضاً خلال عملية تصميم أنظمة التكييف وتقدير الأحمال المرادة فهم الظروف الجوية القصوى. حيث تم الاعتماد على يوم 15 يوليو في عملية المحاكاة. يوضح الشكلان (1 و2) درجات الحرارة (Wet & Dry bulb) إضافة إلى الإشعاع الشمسي خلال اليوم المحدد.



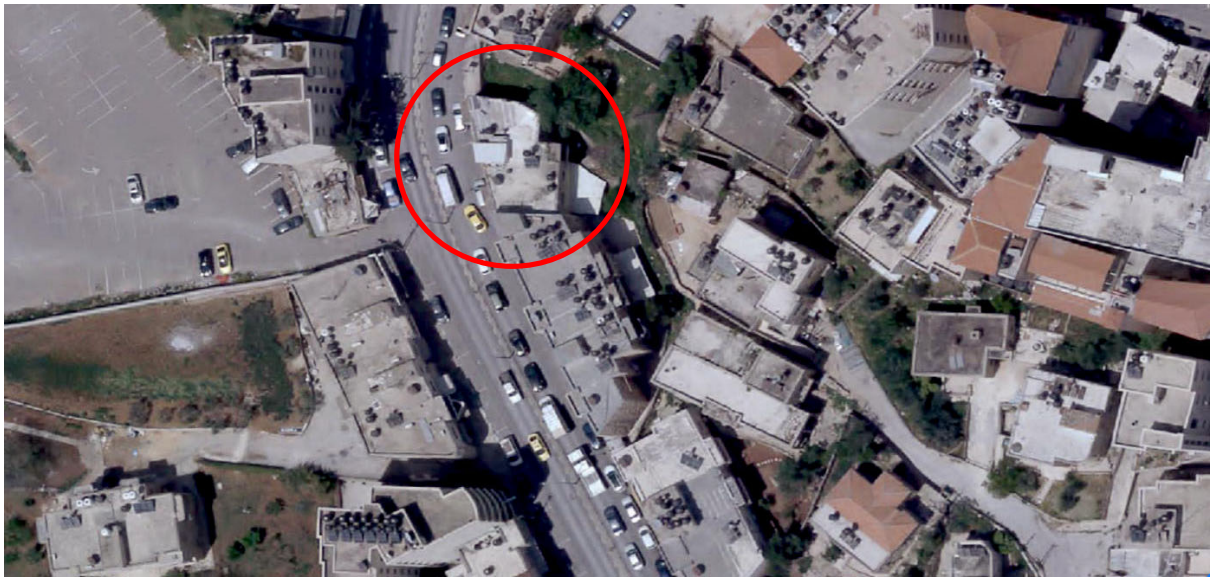
رسم توضيحي 1: تباين درجة الحرارة المعتمدة لتصميم نظام التكييف، 2022/07/15.



رسم توضيحي 2: تبيان الاشعاع الشمسي المعتمد لتصميم نظام التكييف صيفاً، 2022/07/15.

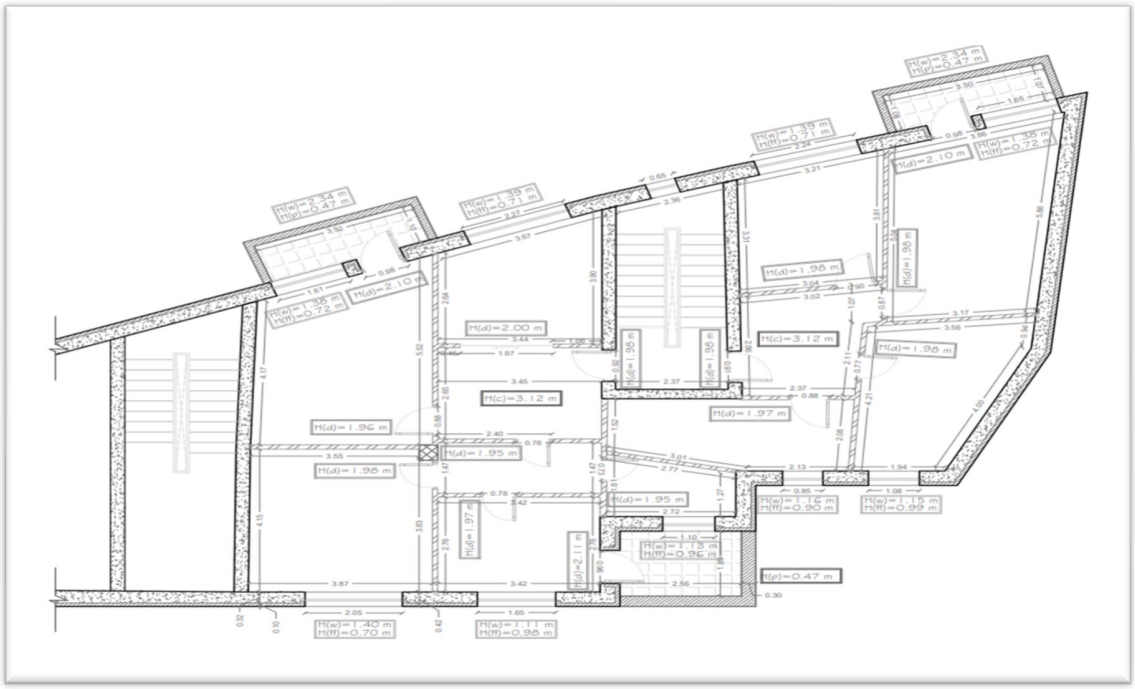
وصف المبنى

كما ذُكر سابقاً، تم اختيار مبنى قديم في هذه الدراسة، والذي يتكون من طابق أرضي وطابق أول فقط. يستخدم الطابق الأرضي للوحدات التجارية، بينما الطابق الأول هو المساحة المستهدفة في هذا التقرير. شكل رقم (3) يوضح موقع البناء والحي المقام فيه، ويمكن ملاحظة أن المبنى القريب منه لا يشكل أي تظليل عليه. لذلك، يمكن تركيب سخان المياه الشمسي والألواح الكهروضوئية على السطح.

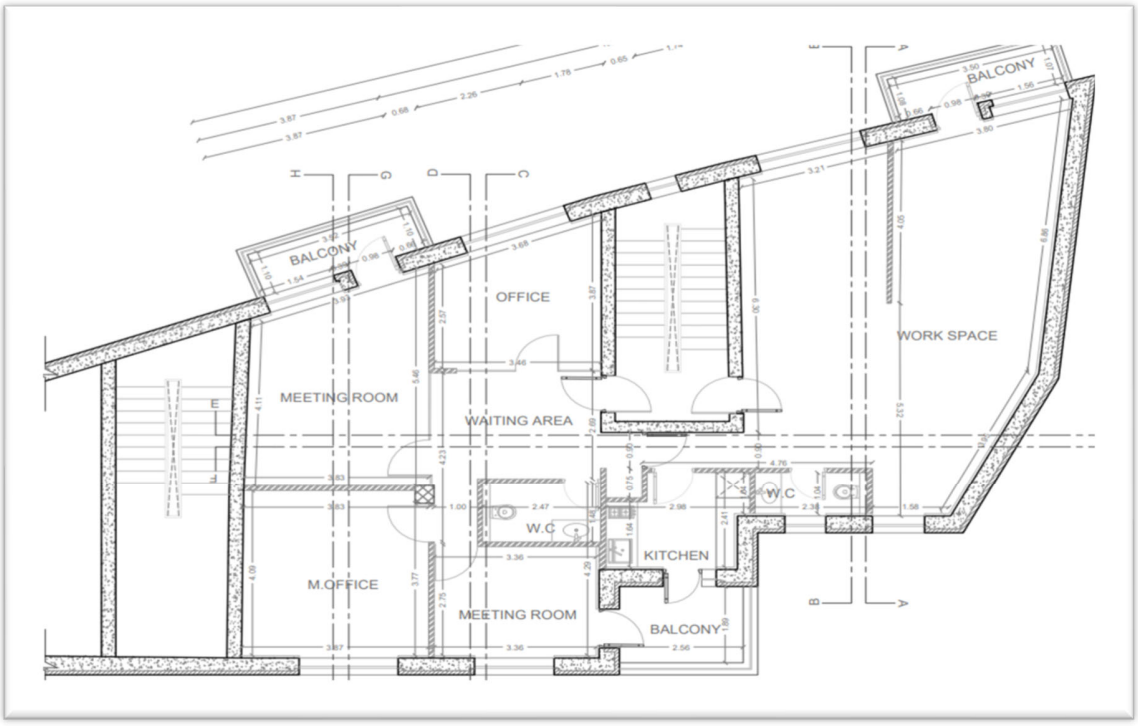


رسم توضيحي 3: خريطة موقع المبنى الجوية.

تعتبر تفاصيل التصميم الداخلي للطابق الأول مهمة جدًا في عملية التصميم لضمان دقة نتائج النمذجة والمحاكاة. يوضح الرسمان (4 و5) استخدامات المساحات الداخلية وأبعادها وأبعاد غلاف المبنى الضرورية، وهي النوافذ والأبواب والجدران الخارجية.



رسم توضيحي 4: مكونات غلاف المبنى وأبعاد المساحات الداخلية قبل التدخل.



رسم توضيحي 5: مساحات المبنى الداخلية حسب بعد التدخل.

لبناء النموذج، من الضروري تحديد الأبعاد والخصائص الحرارية لمكونات المبنى، والجداول (5-7) توضح خصائص جدران المباني والأبواب والنوافذ على التوالي. يعرض الجدول رقم (5) الطبقات المكونة للجدران الخارجية لهيكل المبنى وأبعادها وموضع وأبعاد النوافذ والأبواب. علاوة على ذلك، فإنه يعرض معامل انتقال الحرارة الكلي(Uov) بوحدة واط / (م². ° C)، و قد تم تحديد المقاومة الحرارية الخارجية والداخلية لفيلم الهواء الرقيق 0.06 واط / (م². ° C) و0.12 واط / (م². ° C)، على التوالي. أما بالنسبة لمواصفات ما بعد التعديل (post-retrofit specifications)، فإن إضافة 2 سم من عازل البولي يوريثين (التوصيل الحراري = 0.02 واط / م. كلفن) سيضيف 1.0 مقاومة حرارية للجدران الخارجية. نتيجة لذلك، فإن قيم Uov للجدران الخارجية، سواء بالحجارة أو بدونها، قد تغيرت من 2.438 و2.846 إلى 0.709 و0.7399 على التوالي. وبالمثل، أدت إضافة 3 سم من عازل البولي يوريثين إلى السقف إلى تغيير قيمة Uov من 3.603 إلى 0.5626. بالنسبة للنوافذ، فإن قيمة معامل نقل الحرارة الكلي 5.6 و 3.2 واط / م².° C قبل إجراء إعادة التجديد (المعدن والزجاج الفردي) وما بعد التجديد (الألومنيوم والزجاج المزدوج) ، على التوالي. في نفس السياق، تبلغ معاملات نقل الحرارة الكلية للأبواب الخشبية، والفولاذية، والأبواب الزجاجية، 2.7 (واط / م²)، 5.8 (واط / م²)، 2.3 (واط / م² .° C)، و 5 (واط / م². ° C)، على التوالي.

جدول 5: خواص وأبعاد مكونات غلاف المبنى.

Wall #	Orientation	Length × height	Layers	Thermal conductivity (W / m. K)	U_{ov} including air thin film resistance $W/m^2.^oC$	Included windows	Included doors
1	South – West	18.3 × 3.12	0.3 concrete 0.07 stone	1.75 1.70	2.438	W01, W02, W03, W04, & W09	D02 (2 items)
2	North	6.86 × 3.12	0.3 concrete 0.07 stone	1.75 1.70	2.438		
3	North – East	3.95 × 3.12	0.3 concrete 0.07 stone	1.75 1.70	2.438		
4	East	4.25 × 3.12	0.3 concrete 0.07 stone	1.75 1.70	2.438	W07 & W08	
5	North	1.33 × 3.12	0.3 concrete 0.07 stone	1.75 1.70	2.438		
6	East	2.86 × 3.12	0.3 concrete 0.07 stone	1.75 1.70	2.438		D08
7	North	2.19 × 3.12	0.3 concrete 0.07 stone	1.75 1.70	2.438		D07
8	East	7.93 × 3.12	0.3 concrete 0.07 stone	1.75 1.70	2.438	W05 & W06	
9	South (exposed to the next building stairs)	9.06 × 3.12	0.3 concrete	1.75	2.846		
Stairs1		5.22 × 3.12	0.3 concrete	1.75	2.846		D09 (same D01)
Stairs2		6.17 × 3.12	0.3 concrete	1.75	2.846		D09 (same D01)
Stairs3		2.77 × 3.12	0.3 concrete	1.75	2.846		
Roof		170 m^2	0.17		3.603		

جدول6 : خواص وأبعاد أبواب المبنى.

Label	H (m)	W (m)	Area (m^2)	# of units	Type
D01	2.00	0.9	1.8	2	Multi-lock
D02	2.00	1.0	2	2	Multi-lock
D03	2.00	0.9	1.8	1	Multi-lock
D04	2.00	0.8	1.6	2	Wooden
D05	2.00	0.9	1.8	1	Wooden
D06	2.00	0.9	1.8	4	Glass (internal)
D07	2.00	0.95	1.9	1	Multi-lock
D08	2.00	0.8	1.6	1	Multi-lock
D09	2.00	0.9	1.8	2	Glass
D10	2.34	1.3	3.042	1	Multi-lock

جدول 7: خواص وأبعاد نوافذ المبنى.

Label	H(m)	W(m)	Area (m^2)	# of units
W01	1.38	1.66	2.29	1
W02	1.39	2.24	3.11	1
W03	1.39	2.27	3.16	1
W04	1.38	1.61	2.22	1
W05	1.40	2.05	2.87	1
W06	1.11	1.56	1.73	1
W07	1.16	0.85	0.99	1
W08	1.15	1.08	1.24	1
W09	5.72	0.65	3.72	1

إشغال المبنى وجدولة تشغيل وإطفاء الأنظمة

يتمّ استهلاك الطاقة عند وجود بعض الأنشطة داخل المبنى؛ لذلك، فإن فهم جدول الإشغال والإضاءة والتكييف أمر ضروري لتقدير استهلاك كل نظام. يعرض الجدول (8) جدول الإشغال على مدار 24 ساعة في اليوم العادي، وقد تم تقسيمه بشكل أساسي إلى جداول العمل والعطلات (أيام التشغيل / الإيقاف). تشير القيمة صفر إلى أن المبنى فارغ بينما، يمثل 100٪ أن المبنى تحت الإشغال الكامل. يعرض الجدول (9) جدول الإشغال على مدار العام، حيث يرمز الحرفان "O" إلى الحالة المشغولة و "U" غير المشغولة. تم تحديد جداول الإضاءة والتكييف بشكل مشابه. أخيرًا، تم الأخذ بعين الاعتبار وجود بويلر كهربائي بسعة 1 كيلو وات لتسخين المياه في فصل الشتاء، وتم افتراض عدد ساعات تشغيلها يومياً في فصل الشتاء على أنها 1.5 ساعة.

جدول 8: جدول ساعات العمل اليومية في المبنى.

Hour	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
On	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0

جدول 9: جدول أيام الإشغال السنوية.

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Design	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
Monday	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
Tuesday	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
Wednesday	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
Thursday	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
Friday	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U
Saturday	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U
Sunday	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
Holiday	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U

وصف الجدران الخارجية والسقف

يمكن تقسيم الجدران الخارجية للمبنى إلى فئتين رئيسيتين اعتماداً على وجود الحجر على الطبقة الخارجية. جدول (10) يبين بيانات النوع الشائع من الجدران وهي التي تحتوي على الحجر ولونه متوسط. هذا الجدار له قيمة امتصاصية تبلغ 0.675، وقد تم حساب معامل انتقال الحرارة الكلي بمقدار 2.444 واط / (م². ° ك). النوع الآخر الذي لا يحتوي على حجر ويفصل المبنى عن المباني المجاورة له كما موضح في الجدول رقم (11)، حيث يعتبر اللون والامتصاصية متماثلين، بينما أصبح معامل انتقال الحرارة الكلي 2.597 واط / (م². ° ك).

جدول 10: بيانات وخواص الجدران الخارجية الحجرية المستخدمة في نموذج المحاكاة.

Layers	Thickness mm	Density kg/m³	Specific Ht. kJ / (kg - °K)	R-Value (m²-°K)/W	Weight kg/m²
Inside surface resistance	0.000	0.0	0.00	0.12064	0.0
plaster	30.000	2400.0	0.75	0.01714	72.0
Concrete	300.000	2400.0	0.75	0.17143	720.0
stone	70.000	1750.0	0.75	0.04130	122.5
Outside surface resistance	0.000	0.0	0.00	0.05864	0.0
Totals	400.000	-		0.40915	914.5

جدول 11: بيانات وخواص الجران الخارجية غير الحجرية المستخدمة في نموذج المحاكاة.

Layers	Thickness mm	Density kg/m³	Specific Ht. kJ / (kg - °K)	R-Value (m²-°K)/W	Weight kg/m²
Inside surface resistance	0.000	0.0	0.00	0.12064	0.0
plaster	30.000	2400.0	0.75	0.01714	72.0
Concrete	300.000	2400.0	0.75	0.17143	720.0
plaster	30.000	2400.0	0.75	0.01714	72.0
Outside surface resistance	0.000	0.0	0.00	0.05864	0.0
Totals	330.000	-		0.39000	792.0

بالنسبة إلى السقف، تعتبر الامتصاصية واللون الخارجي متماثلين، 0.675 ومتوسط، على التوالي. يتم عرض بيانات البناء التفصيلية في الجدول (12)، حيث يساوي معامل انتقال الحرارة الكلي 3.603 واط / (م². ° ك).

جدول 12: بينات وخواص السقف المستخدمة في نموذج المحاكاة.

Layers	Thickness mm	Density kg/m³	Specific Ht. kJ / (kg - °K)	R-Value (m²-°K)/W	Weight kg/m²
Inside surface resistance	0.000	0.0	0.00	0.12064	0.0
Solid slab	170.000	2242.6	0.84	0.09822	381.2
Outside surface resistance	0.000	0.0	0.00	0.05864	0.0
Totals	170.000	-		0.27750	381.2

أخيرًا، بالنسبة للجدران الداخلية للمبنى، يعتبر اللون خفيفاً، والامتصاصية تساوي 0.450، ومعامل انتقال الحرارة الإجمالي 2.731 واط / (م². ° ك). يتم عرض بيانات نموذج البناء التفصيلية في الجدول (13).

جدول 13: بينات وخواص الجدران الداخلية المستخدمة في نموذج المحاكاة.

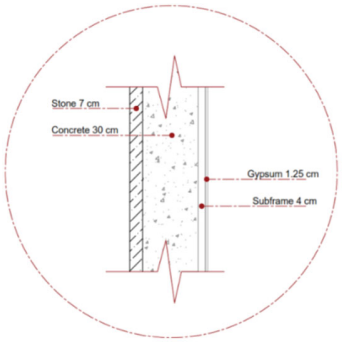
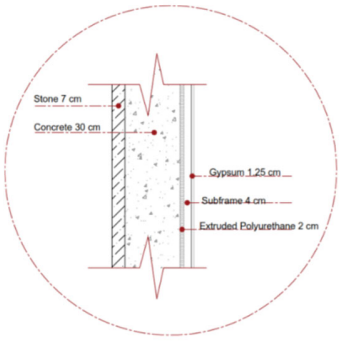
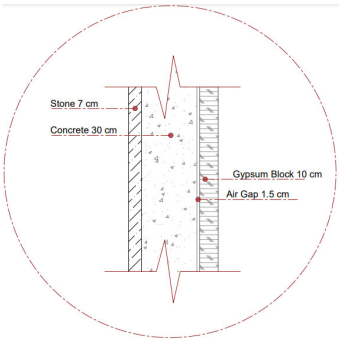
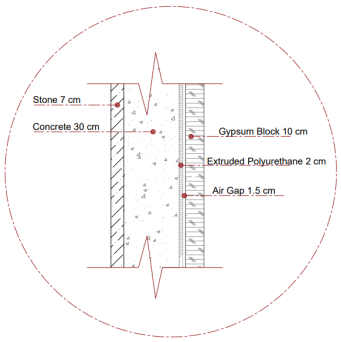
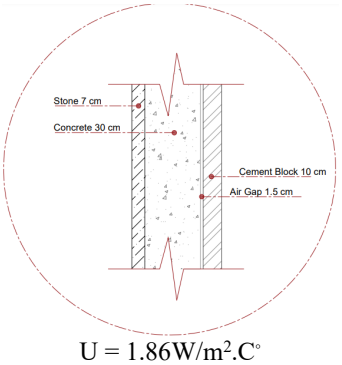
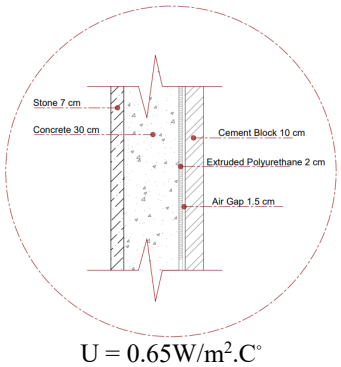
Layers	Thickness mm	Density kg/m³	Specific Ht. kJ / (kg - °K)	R-Value (m²-°K)/W	Weight kg/m²
Inside surface resistance	0.000	0.0	0.00	0.12064	0.0
102mm HW concrete block	101.600	977.1	0.84	0.12490	99.3
Outside surface resistance	0.000	0.0	0.00	0.12064	0.0
Totals	101.600	-		0.36618	99.3

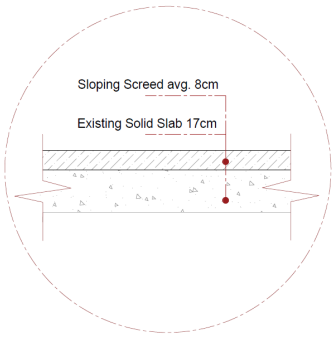
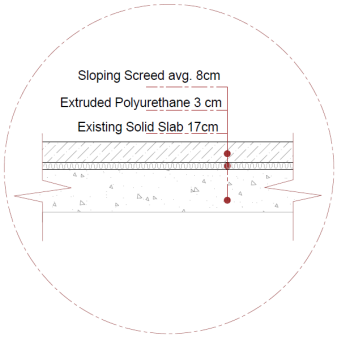
الفرز الأولي لخيارات تحديث المبنى المقترحة

شملت مرحلة التصميم العديد من البدائل المقترحة لعملية إعادة تجديد المبنى، والتي تم تصنيفها إلى مستهلكين مباشرين للطاقة، ومستهلكين ذي تأثير مهم. تم تصنيف أنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء والإضاءة كمستهلكين مباشرين للطاقة، بينما تم تصنيف مكونات غلاف المبنى على أنها ذات التأثير الكبير، ويشمل ذلك الجدران الخارجية والسقف والنوافذ والأبواب الخارجية. بالنسبة للأبواب، تم النظر في بديلين؛ أبواب معدنية وأبواب معزولة متعددة القفل. تم اختيار الأبواب متعددة القفل لأغراض الأمن وكفاءة الطاقة. وبالمثل، تم النظر في بديلين للنوافذ، وهما تعديل الإطار المعدني الحالي بإطار من الألومنيوم، إما بطبقة زجاجية مفردة أو مزدوجة، وتم اختيار بديل إطار الألمنيوم لما تمتاز بمواصفات عديدة منها تحسين إحكام غلاف المبنى، وتوصيل حراري أقل وبالتالي كفاءة أعلى. أما بالنسبة لخيارات الزجاج الفردي والمزدوج، تم تحديد الخيار الثاني لكل من أغراض تقليل الطاقة والضوضاء، خاصة أن المبنى يقع في شارع مزدحم نهاراً. المكونات المهمة الأخرى لغلاف المبنى كانت الجدران الخارجية والسقف، وهنا تم النظر في بدائل عملية مختلفة مع وبدون طبقة عازلة. ثم تم حساب معامل انتقال الحرارة الإجمالي لكل بديل. يوضح الجدول (14) جميع البدائل المدروسة مع وصف تفصيلي للطبقات المركبة .بعد تحديد جميع البدائل الممكنة العملية، تم حساب نسبة التوفير المقدرة في استهلاك الطاقة باستخدام المعادلة (1). جميع التوفيريات موضحة في جدول (15). ويمكن ملاحظة من هذه الحسابات أن التوفير سيتراوح بين 40٪ و89٪ للجدران الخارجية، وبين 16٪ و84٪ للسقف، حيث تم النظر في بديلين، مع اختلاف واحد فقط، سماكة 2 سم للعزل. ومع ذلك، لا ينبغي أن تؤدي هذه القيم عن طريق الخطأ إلى استنتاج مفاده أن فواتير الطاقة ستكون أقل بنفس النسبة المئوية، لأن متغيرات استهلاك التدفئة والتهوية وتكييف الهواء الأخرى تلعب دورًا مهماً في تحديد الاستهلاك الفعلي، بما في ذلك تسرب الهواء والتهوية وأنشطة توليد الحرارة الداخلية.

$$\% \text{ التوفيرات} = \left(\frac{U_{ov_{baseline}} - U_{ov_{retrofit}}}{U_{ov_{baseline}}}\right) \times 100\%$$

جدول 14: خيارات العزل المقترحة الخاصة بالجدران الخارجية والأسقف.

External walls alternatives	
Without insulation	With insulation
 U = 1.78W/m^2.C°	 U = 0.64W/m^2.C°
ExWa 1	ExWa 4
 U = 1.28W/m^2.C°	 U = 0.56W/m^2.C°
ExWa 2	ExWa 5
 U = 1.86W/m^2.C°	 U = 0.65W/m^2.C°
ExWa 3	ExWa 6

 U = 4.29 W/m^2.C°	 U = 0.58W/m^2.C°
Roof 1	Roof 2

جدول 15: نسبة التوفير المتوقع من خلال اعتماد خيارات العزل والتحديث الخاصة بغلاف المبنى.

Alternative	U_{ov} Baseline	U_{ov} retrofit	% saving
Windows	5.60	3.2	43%
Doors	5.80	2.3	60%
ExWa1	2.72	1.78	35%
ExWa2	2.72	0.98	64%
ExWa3	2.72	1.86	32%
ExWa4	2.72	0.64	76%
ExWa5	2.72	0.49	82%
ExWa6	2.72	0.65	76%
Roof 1	5.08	4.29	16%
Roof 2	5.08	0.58	89%

من الجدول 15، يمكن ملاحظة أن إضافة طبقة العزل إلى سقف الجدران الخارجية له تأثير كبير على الطاقة المهدرة بسبب التوصيل الحراري. كلما كانت الطبقة أكثر سمكًا، ازدادت قيمة التوفير، ولكن أيضًا زيادة رأس المال وستؤدي إلى فقدان بعض المساحة الداخلية. لذلك، ينبغي أن يؤخذ في الاعتبار حل وسط جيد بين مقدار رأس المال والتوفير المقدر؛ أظهرت العديد من الدراسات الفلسطينية المحلية أن السماكة المثلى المطلوبة تتراوح بين 1 إلى 4 سم. في جميع الحسابات التي تم إجراؤها وعمليات المحاكاة، يعد تحديد الأساس المرجعي (Baseline) للبدائل المقترحة أمرًا ضروريًا عند حساب الطاقة الموفرة المحتملة. بالنسبة للأبواب، تم اعتبار الباب المعدني كأساس مرجعي، أما بالنسبة للنوافذ، فقد تم اعتبار النافذة ذات الإطار المعدني الفردي كأساس مرجعي عند حساب توفير الطاقة. وبالنسبة للسقف، تم اعتبار البلاطة الصلبة القديمة بسمك 17 سم كأساس مرجعي، وأخيرًا، بالنسبة للجدران الخارجية، تم اعتبار الحجر 7 سم وطبقات الجدران الخرسانية المركبة 30 سم بمثابة أساس مرجعي.

عند اختيار البديل المناسب للسقف، فقد تم اختيار خيار Roof-2 الذي يحتوي على طبقة بولي يوريثان 3 سم، والذي بإمكانه أن يوفر ما يصل إلى 84 ٪ من توفير الطاقة مقارنة بنسبة 16 ٪ التي يمكن تحقيقها عن طريق اختيار Roof-1 كبديل. وبالمثل، عند اختيار أنسب بديل للجدار الخارجي، فقد تم اختيار ExWa4؛ الذي يمكنه توفير حوالي 76٪ من الطاقة عن طريق تقليل نقل الطاقة الحرارية بالتوصيل بين الأسطح الداخلية والخارجية للجدار.

إن السبب خلف اختيار ExWa4 ليتم استخدامه عوضا عن ExWa5 الذي لديه معامل انتقال حرارة أفضل هو الفارق بين التكلفة للخيارين والميزانية المرصودة من المالك، كما أن المتطلبات المعمارية للمبنى كانت بالحصول على أفضل مساحة داخلية ممكنة.

محاكاة أداء النموذج المرجعي (قبل التحديث) مقابل النموذج المحدث للمبنى

تم إجراء نماذج سيناريوهات ما قبل عملية إعادة التجديد (Baseline) وما بعد إعادة التجديد بناءً على عزل الجدران الخارجية والسقف، واستبدال الأبواب والنوافذ الحالية، والاستثمار في وحدات التدفئة والتهوية وتكييف الهواء الموفرة للطاقة، وتعديل نظام الإضاءة من الفلورسنت إلىLED ، مما يؤدي إلى تقليل التكلفة السنوية جنبًا إلى جنب مع أحمال التكييف السنوية. يعرض هذا القسم نتائج محاكاة سيناريوهات ما قبل عملية إعادة التجديد (Baseline) مقابل سيناريوهات ما بعد إعادة التجديد وتأثيرها الاقتصادي. يتم عرض التكلفة السنوية قبل وبعد التجديد في الجدول (16) بينما يتم عرض بيانات التكلفة السنوية لكل وحدة مساحة أرضية في الجدول (17). ويمكن ملاحظة أن استبدال معدات التدفئة والتكييف القياسية وتركيب وحدات ذات كفاءة أعلى أدى إلى توفير إجمالي الطاقة بنسبة 5.9٪. توفير الاستهلاك السنوي للمبنى بالكامل، وتوفير 16.4٪ من استهلاك نظام التدفئة والتهوية وتكييف الهواء السنوي. وبالمثل، أدى استبدال نظام الإضاءة الفلوريسنت القياسي بنظام LED الموفر للطاقة إلى توفير 68.3٪ في استهلاك الإضاءة و 10.7٪ من إجمالي استهلاك الطاقة. ولتحسين مكونات أغلفة المباني، وهي عزل الجدران والسقف، واستبدال النوافذ والأبواب بأنواع عالية الكفاءة، أدى إلى توفير 50.3٪ من إجمالي استهلاك نظام التدفئة والتهوية وتكييف الهواء، و18٪ من القيمة السنوية الإجمالية لفاتورة الكهرباء.

جدول 16: التكاليف التشغيلية السنوية للمبنى قبل التحديث مقارنة ببعد التحديث.

Component	baseline ($)	Replacing HVAC system to energy efficient ($)	Replacing lighting, HVAC, and retrofitting building envelope ($)
Cooling	934	747	519
Heating	1,010	877	449
HVAC Sub-Total	1,945	**1,625**	**967**
Lights	851	851	270
Electric Equipment	2,646	2,646	2,646
Non-HVAC Sub-Total	3,497	**3,497**	**2,916**
Grand Total	5,441	**5,122**	**3,884**

جدول 17: التكليف التشغيلية السنوية للمبنى بوحدة المتر المربع.

Component	baseline ($/m²)	Replacing HVAC system to energy efficient ($/m2)	Replacing lighting, HVAC, and retrofitting building envelope. ($/m2)
Cooling	5.594	4.475	3.107
Heating	6.050	5.254	2.687
HVAC Sub-Total	11.644	**9.729**	**5.793**
Lights	5.093	5.093	1.617
Electric Equipment	15.846	15.846	15.846
Non-HVAC Sub-Total	20.939	**20.939**	**17.463**
Grand Total	32.583	**30.668**	**23.256**
Gross Floor Area (m²)	167.0	167.0	167.0
Conditioned Floor Area (m²)	117.0	117.0	117.0

Note: Values in this table are calculated using the Gross Floor Area.

يلخص الجدول 18 أدناه التكلفة السنوية، والتكلفة السنوية لكل وحدة مساحة أرضية بناءً على أرضية المبنى الإجمالية والتي تبلغ 167 متر مربع، والنسبة المئوية للتكلفة لكل مكون.

جدول 18: نسبة المصاريف التشغيلية لكل مكون من مكونات الأنظمة من التكاليف الكلية.

	Baseline	Replacing HVAC system to energy efficient	Replacing lighting, HVAC, and retrofitting building envelope.
Component	Percent of Total (%)	Percent of Total (%)	Percent of Total (%)
Air System Fans	0.0	0.0	0.0
Cooling	17.2	14.6	13.4
Heating	18.6	17.1	11.6
Pumps	0.0	0.0	0.0
Heat Rejection Fans	0.0	0.0	0.0
HVAC Sub-Total	35.7	**31.7**	**24.9**
Lights	15.6	16.6	7.0
Electric Equipment	48.6	51.7	68.1
Misc. Electric	0.0	0.0	0.0
Misc. Fuel Use	0.0	0.0	0.0
Non-HVAC Sub-Total	64.3	**68.3**	**75.1**
Grand Total	100.0	**100.0**	**100.0**

يقدم الجدول 19 ملخصًا عامًا لأحمال HVAC مقابل أحمال Non-HVAC. أدت عملية إعادة تجديد المبنى إلى خفض نسبة حمل التدفئة والتهوية وتكييف الهواء من 35.7٪ إلى 31.7٪ في حالة الاستثمار في وحدات أكثر كفاءة في استخدام الطاقة، وإلى 24.9٪ في حالة اعتماد جميع التعديلات المقترحة. وهذا يعني أن التعديلات التحديثية المقترحة لتحسين غلاف المبنى فعالة.

جدول 19: التكاليف التشغيلية النسوية لأنظمة التدفئة والتكييف مقارنة بغيرها لحالتي ما قبل التحديث وما بعده.

	Baseline			Replacing HVAC system to energy efficient.			Replacing lighting, HVAC, and retrofitting building envelope.		
Component	Annual Cost ($/yr)	($/m²)	Total (%)	Annual Cost ($/yr)	($/m²)	Total (%)	Annual Cost ($/yr)	($/m²)	Total (%)
HVAC	1,945	11.644	35.7	1,625	9.73	31.7	967	5.79	24.9
Non-HVAC	3,497	20.939	64.3	3,497	20.94	68.3	2,916	17.46	75.1
Grand Total	5,441	32.583	100.0	5,122	30.67	100.0	3,884	23.26	100.0

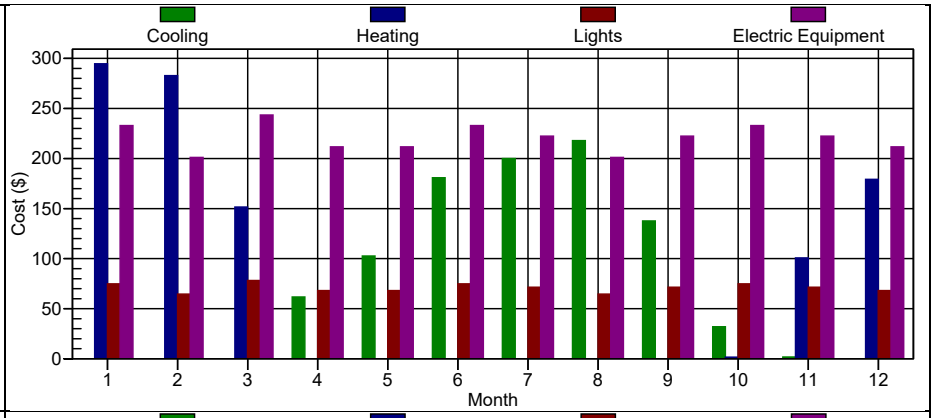
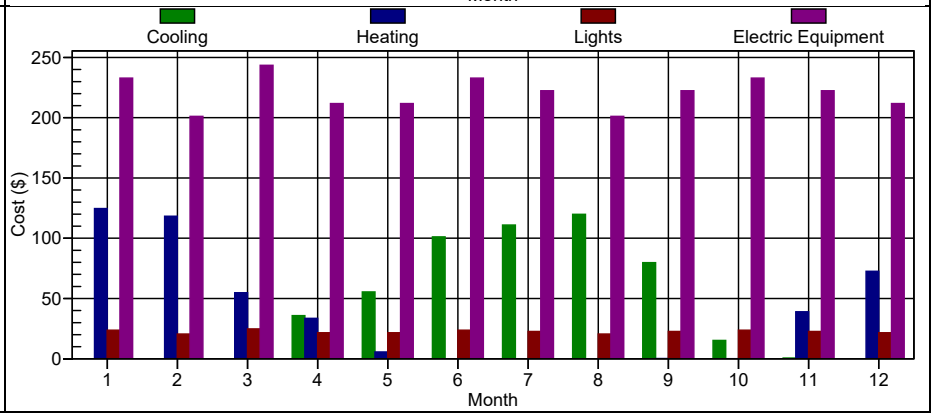
بالنظر بشكل أعمق إلى تحليل حمل HVAC ، يعرض الجدول (20) kWh و kWh / m2 لكل من استهلاك ملفات التدفئة والتبريد.

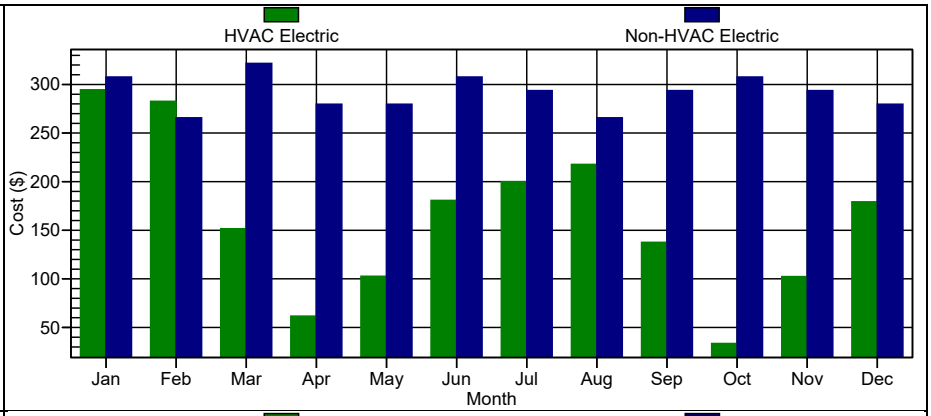
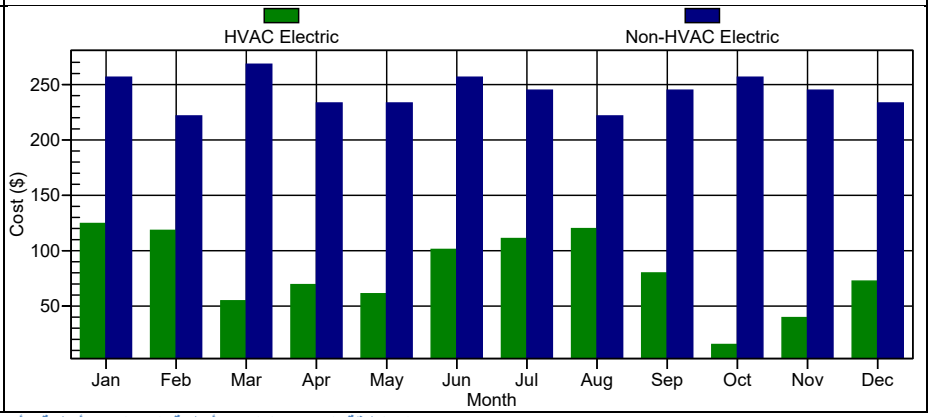
جدول 20: حمل الكهرباء للتجدفئة والتكييف السنوي لحالتي ما قبل وما بعد تحديث المبنى.

	Baseline		All interventions effects	
Component	Load (kWh)	(kWh/m²)	Load(kWh)	(kWh/m²)
Cooling Coil Loads	15,080	90.301	10,548	63.160
Heating Coil Loads	15,430	92.393	7,773	46.544
Grand Total	30,510	182.695	18,321	109.704

يظهر التباين في استهلاك الطاقة الشهري للتبريد والتدفئة والإضاءة والمعدات في حالات ما قبل التجديد وما بعده في الشكل 6 أدناه بينما يظهر التباين الشهري في استهلاك الطاقة للتدفئة والتهوية وتكييف الهواء وغير نظام التدفئة والتهوية وتكييف الهواء في الشكل 7 أدناه لحالات ما قبل التجديد وبعده.

رسم توضيحي 6: تباين استهلاك الطاقة الشهري لكل من أنظمة التدفئة، التكييف، الإنارة، والمعدات المكتبية.

Baseline	
Post – retrofit	

Baseline	
Post – retrofit	

رسم توضيحي 7: تباين استهلاك الطاقة الشهري لكل من أنظمة التكييف والأنظمة الأخرى.

لوحظ أن عملية إعادة التجديد أدت إلى اختلافات كبيرة في القدرات المطلوبة لمعدات التدفئة والتهوية وتكييف الهواء المطلوبة. يعرض الجدول (21) نتائج تغيير أحجام سعات التكييف المطلوبة باستخدام خوارزمية تصميم البرمجيات. تظهر النتائج تقليل سعة التبريد بمقدار 2.3 طنًا، وبالتالي خفض رأس المال المطلوب.

جدول 21: قدرة حمل التدفئة والتكييف لمختلف الغرف بوحدة الكيلو واط وطن التبريد.

Room	Work Space	M. Office	Meeting room	Meeting room	Office
Area	62	16	9.4	18.3	11.3
Cooling Load kW (baseline)	15.4	4.1	2.8	4.3	3.8
Heating Load kW (baseline)	11.5	2.7	2.2	3	2
Cooling Load kW (Post)	11.2	2.6	2.3	3.2	3
Heating Load kW Post	7.5	1.6	1.4	1.9	1.3
R.T cooling (baseline)	4.4	1.17	0.80	1.22	1.08
R.T heating (baseline)	3.3	0.77	0.63	0.85	0.57
R.T cooling (Post)	3.2	0.74	0.65	0.91	0.85
R.T heating (Post)	2.1	0.45	0.40	0.54	0.37
% Reduction in cooling load	27%	37%	18%	26%	21%
% Reduction in heating load	35%	41%	36%	37%	35%

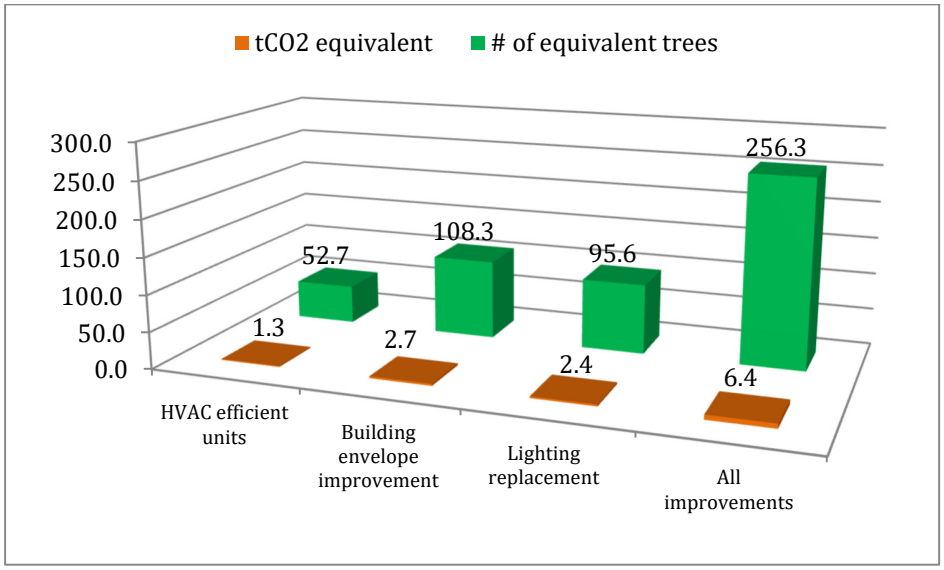
بعد محاكاة جميع خيارات إعادة التجديد، يمكن إيجاد مقدار التوفيرات المحتملة. في هذا السياق، يعرض الجدول (22) التوفيرات المقدرة لكل خيار تم النظر فيه. يمكن ملاحظة أن عزل الجدران الخارجية والسقف وكفاءة نظام الإضاءة لهما أكبر تأثير على فاتورة الكهرباء. ومع ذلك، فإن التوفيرات المقدرة لمكونات المبنى المعدلة ترجع إلى تقليل خسائر التوصيل الحراري فقط.

جدول 22: نسبة التوفير المقدرة لكل خيار من خيارات التحديث المعتمدة.

	Uov	Saved $ per year	%saving of total annual baseline bill
Overall heat transfer coefficient Uov_building baseline	3.161787	---	---
External wall insulation	2.562299	284	5.2%
Window retrofitting	3.066165	45	0.8%
Doors retrofitting	3.061765	47	0.9%
Roof insulation	2.568274	281	5.2%
HVAC higher efficiency units	---	320	6%
Lighting higher efficiency units	---	581	11%

التأثير البيئي

تعدّ الطريقة الأكثر شـيوعًا لتقدير الفوائد العائدة على البيئة هي حسـاب انبعاثات مكافئ ثاني أكسـيد الكربون المحفوظة. في هذا السياق، تستورد فلسطين معظم طاقتها (أكثر من 90٪) من الخارج، حيث يولد مزيج الطاقة المصدر 0.000823 طن من ثاني أكسـيد الكربون لكل كيلوواط سـاعة يتم توليدها. لذلك، يمكن اسـتخدام هذه القيمة لتقدير الطاقة الموفرة المحتملة الناتجة عن طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون، وفي عدد الأشجار المحفوظة. يقدم الشكل (8) هذه الأرقام، ويمكن ملاحظة أن جميع التعديلات التحديثية يمكن أن تؤدي إلى توفير 6.4 طن من ثاني أكسيد الكربون، وهذا التعويض يعادل 256.3 شجرة في السنة.



رسم توضيحي 8: الانخفاض في كمية غازات ثاني أكسيد الكربون وما يعادله من أشجار سنوياً.

الأداء الاقتصادي

إن عملية إجراء إعادة تجديد المبنى أدت إلى تقليل كمية الطاقة المستهلكة، والذي بدوره يؤدي إلى انخفاض فواتير الطاقة السنوية.

إعادة تجديد المبنى شملت عزل الأسقف والجدران الخارجية والنوافذ والأبواب والإضاءة. جدول (23) يعرض نتائج التحليل الاقتصادي حيث يمكن ملاحظة أن افتراض الاستثمار الكامل في الإضاءة ومغلف المبنى كأمر ضروري لتحقيق التوفيرات المقدرة. بالمقابل، فإن فترة الاسترداد البسيطة (SPP) والقيمة الحالية (PV) ومعدل العائد الداخلي (IRR) كلها ليست جذابة اقتصادياً. تم اعتبار الحد الأدنى من معدل العائد الجاذب (MARR) وعمر نظام الإضاءة وعمر مكونات غلاف المبنى 10٪ و8 سنوات و30 عامًا على التوالي، باستثناء نظام الإضاءة، حيث تم اعتبار عمر المصابيح 8 سنوات، وتم حساب الاستثمار الأولي للأبواب بناءً على متوسط فرق التكلفة بين الأبواب متعددة الأقفال والأبواب المعدنية. وبالمثل، بالنسبة للنوافذ، تم اعتبار رأس المال بمثابة الفرق بين خيارات الزجاج الفردي والمزدوج.

جدول 23: تقييم خيارات التحديث المعتبرة إقتصادياً إعتماداً على التوفير المتوقع لكل خيار من فاتورة الطاقة الكلية.

Retrofit	Investment ($)	Saving ($/year) *	SPP (years)	PV ($)	IRR
Lighting	950	581	1.5	2,293	61%
Walls insulation	3,000	834	3.8	5,914	27%
Roof insulation	1,400				
Windows	400				
Doors	350				

* The provided savings are for year number one; these savings will increase annually due to fuel escalation rate.

استنادًا إلى وحدات التكييف المتاحة في السوق، تم الأخذ بعين الاعتبار أنه يمكن تخفيض حوالي 2.3 طن من سعة التبريد من رأس المال، والذي يؤدي إلى تقليل حوالي 1800 دولار أمريكي، وبالتالي تحسين الأداء الاقتصادي العام للبديل. أما بالنسبة لنظام الإضاءة، فمن الأنسب التفكير في استبدال المصابيح بدلاً من النظام بأكمله، حيث لن يتم تغيير معظم تركيبات الإضاءة. علاوة على ذلك، تجدر الإشارة إلى أنه تم النظر في معدل تصاعد سعر الوقود في التحليل، وذلك لمراعاة زيادة أسعار الكهرباء بمرور الوقت، في هذا البحث، تم أخذه 2٪ سنويًا في الاعتبار. يوضح الجدول (24) تقدير الأحمال للنوافذ والجدران والأبواب لكل مساحة مكيفة بالواط، كما يوضح نسبة خفض الحمل من خلال تنفيذ كل نشاط تعديلي. كما يمكن ملاحظة أنه يمكن تحقيق أكبر نسبة من تقليل الحمل من الجدران ومكونات الأسقف، سواء بالنسبة لمتطلبات التبريد أوالتدفئة. بناءً على ذلك، يُنصح بإعطاء الأولوية لتعديل السقف، متبوعًا بالجدران الخارجية. ومن الجدير بالذكر أيضاً أن تكاليف إعادة تهيئة الأسقف والجدران الموضحة في الجدول (24) مخصصة للمبنى بأكمله، وليس المساحة المكيفة فقط، مما يلغي تكاليف المساحات غير المكيفة، وسيؤدي إلى نتائج اقتصادية أكثر جاذبية.

إضافة إلى أنظمة التبريد والتكييف، يشتمل المكتب على ثلاجة تحمل الرقم التسلسلي (SJ-SE70D-SL5)، ملصق طاقة +A بحجم صافٍ قدره 553 لترًا، يستهلك حوالي 460 كيلو وات ساعة / سنة في حالة الاستخدام المنطقي. مع الأخذ في الاعتبار أن هذا النوع من الثلاجات الموفرة للطاقة تقلل من استهلاك الكهرباء بحوالي 25٪ مقارنة بالخيارات الاعتيادية، ستوفر هذه الثلاجة حوالي 115 كيلو وات في الساعة سنويًا، أي ما يعادل 23 دولارًا، و0.019 طنًا من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، و0.76 تأثير شجرة سنويًا.

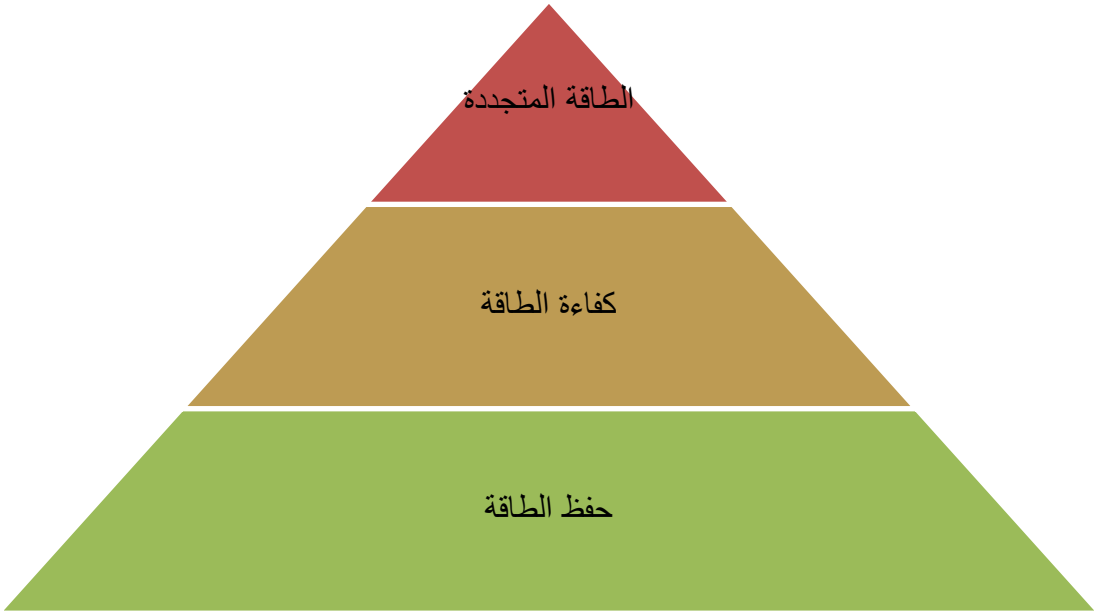
جدول 24: حمل التدفئة والتكييف المتوقع للجدران والنوافذ والسقف.

Space	Component	Baseline (W)		Retrofit (W)		% Load reduction	
		Cooling	Heating	Cooling	Heating	Cooling	Heating
M. Office (16m2)	Window	404	N.A *	356	N.A *	12%	N.A *
	Wall	182	418	91	219	50%	48%
	Roof	1349	1090	446	647	67%	41%
Meeting room (9.4m2)	Window	275	N.A *	231	N.A *	16%	N.A *
	Wall	199	583	109	305	45%	48%
	Roof	537	641	194	380	64%	41%
Meeting room (19.3m2)	Window	381	N.A *	197	N.A *	48%	N.A *
	Wall	116	376	69	196	41%	48%
	Roof	1543	1247	378	740	76%	41%
Office (11.3m2)	Window	640	N.A *	538	N.A *	16%	N.A *
	Wall	123	379	71	198	42%	48%
	Roof	903	770	333	457	63%	41%
Work space (62m2)	Window	1101	N.A *	1059	N.A *	4%	N.A *
	Wall	713	2288	358	1197	50%	48%
	Roof	5228	4225	1828	2506	65%	41%

* N.A: Not applicable, since in heating load calculation standard procedure, we do not consider the solar radiation gained heat through windows.

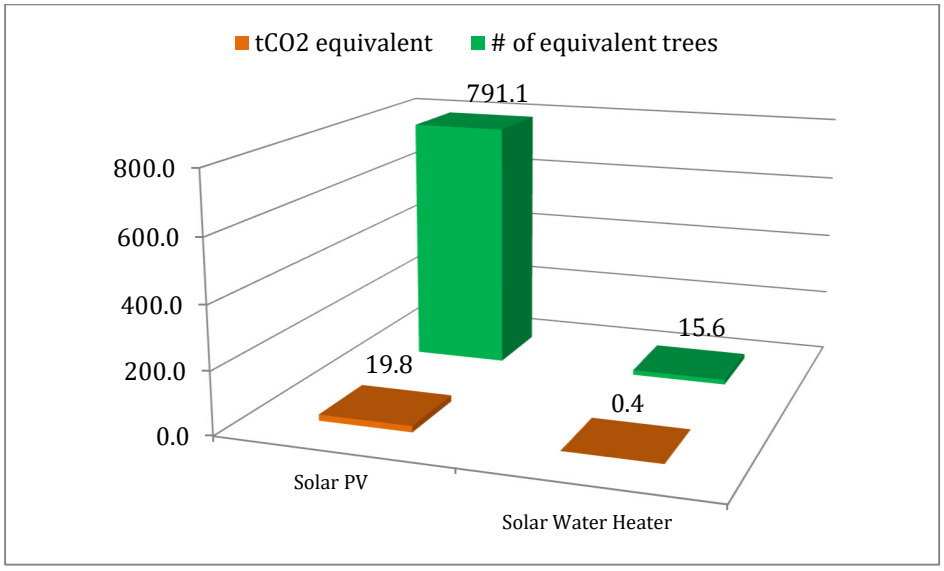
استغلال الطاقة المتجددة

في العقود الماضية، كان من الواضح أن الاستثمار في مصادر الطاقة المتجددة أصبح ممكناً، من وجهة نظر اقتصادية وبيئية، وذلك بسبب الأنظمة الحديثة والكفاءة العالية وانخفاض تكاليف الإنتاج. ومع ذلك، يجب أن يكون تبني مثل هذه الأنظمة هو الخيار الأخير، حيث من الأفضل دائماً تقليل استهلاك الطاقة التي تولد طاقة متجددة لتعويض الخسائر التي يمكن تجنبها. يوضح الشكل (9) هذا المفهوم حيث يمكن وصف الإجراء الذكي بأنه؛ استخدام الأنظمة الحالية بطريقة أكثر عقلانية وكفاءة في استخدام الموارد، متبوعاً بتعديل هذه الأنظمة إلى أنظمة أعلى كفاءة، من ثمّ الاستثمار في مصادر الطاقة المتجددة..



رسم توضيحي9 : هرم خطوات إدارة الطاقة.

باتباع هذا الإجراء الذكي، وبعد تنفيذ الخيارات الممكنة للحفاظ على الطاقة وكفاءتها، تم اقتراح نظامين للطاقة المتجددة؛ الكهروضوئية الشمسية وسخان المياه بالطاقة الشمسية. بالنسبة لنظام الطاقة الشمسية الكهروضوئية، تم اقتراح تصميم تفصيلي لنظام 15.84 كيلو واط، فمن المتوقع أن يولد 24،031 كيلو واط في الساعة سنويًا. أما بالنسبة لسخان المياه بالطاقة الشمسية، فتم التصميم على احتياج 150 لترًا من الماء الساخن عند 45 درجة مئوية يوميًا، لمدة 80 يومًا مشمسًا وباردًا نسبيًا في السنة. إذا أخذنا متوسط درجة حرارة ماء الصنبور في الشتاء حوالي 12 درجة مئوية، وبافتراض أن البديل هو سخان كهربائي، بمتوسط كفاءة يساوي 97٪، فإن الكهرباء الموفرة بسبب استخدام سخان المياه بالطاقة الشمسية تبلغ حوالي 5.93 كيلو واط ساعة في اليوم، أي 474 كيلو واط ساعة في السنة. يوضح الشكل (10) تقديرات التوفير المكافئ منtCO_2 والأشجار التي تم توفيرها سنويًا لهذين النظامين من الطاقة المتجددة. مع العلم أن الاستهلاك التقديري الكامل للمبنى بعد تنفيذ جميع التدخلات يبلغ حوالي 19456 كيلوواط ساعة في السنة، وهذا يعني أن الكهرباء المولدة من الخلايا الكهروضوئية ستكون أعلى، ويمكن اعتبار هذا المبنى بمثابة صافي انبعاثات ايجابي.



رسم توضيحي 10: الانخفاض في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون وما يعادلها من أشجار سنوية الناتج عن أنظمة الطاقة المتجددة.

ملحق 1: تقرير نمذجة ومحاكاة نظام الخلايا الشمسية

ملحق 2: تقرير نتائج نمذجة ومحاكاة المبنى التفصيلية