Engineering Research Journal
journal homepage: https://erj.journals.ekb.eg/

تحسين كفاءة استخدام الطاقة في محطات السكك الحديدية وفقا لمعايير تصميم المباني الخضراء

Improving the efficiency of using energy in Railway Stations utilizing Green Building Design Rating

م/محمد جمال هيكل*[1]، أ.م.د/هالة أديب فهمي[2] ، د.أحمد حليم حسين[3]

[1]. باحث ماجستير.

[2]. أستاذ مساعد بقسم الهندسة المعمارية، كلية هندسة المطرية، جامعة حلوان.

[3]. مدرس بقسم الهندسة المعمارية، كلية هندسة المطرية، جامعة حلوان.

*Corresponding author E-mail: mghekal@m-eng.helwan.edu.eg

الملخص:

تسعي رؤية مصر 2030 لتطوير العديد من المجالات من بينها قطاع النقل، مما ترتب عليه التوسع فى تشيد العديد من خطوط السكك الحديدية مثل القطار الكهربي والمونوريل. وتعد محطات السكك الحديدية النقط المركزية للتواصل بين المناطق المختلفة داخل الدولة وتسهل من حركة الأفراد والبضائع. ويعتبر استهلاك الطاقة المرتفع للمحطات من أهم العوامل التى يجب مراعتها عند بناء محطات السكك الحديدية. وفى إطار ذلك تهدف الدراسة الى تحسين كفاءة استخدام الطاقة فى المحطات.

لذلك ركزت الورقة البحثية على دراسة بعض المفاهيم مثل السكك الحديدية والمباني الخضراء وأنظمة تقييمها والكفاءة، وتحليل بعض نماذج محطات القطارات لإستنباط مجموعة من الآليات الفعالة والمبتكرة التي تساهم في رفع كفاءة استخدام الطاقة بها، وأخيرا تطبيق تلك الآليات على إحدي المحطات المحلية لتحسين كفاءة الطاقة بها. ومن ثم تختتم الدراسة بأهم النتائج البحثية وعرض التوصيات المقترحة التى من شأنها ان تحسن كفاءة استخدام الطاقة فى محطات السكك الحديدية.

Abstract:

Egypt's Vision 2030 aims to develop various sectors, including transportation, leading to the expansion of railway lines like the Electric Train and Monorail. Railway stations are the central points of communication between different regions within the country and facilitate the movement of people and goods. The high-energy consumption that must be addressed.

The study focuses on improving energy efficiency in stations by exploring concepts like Railways, Green buildings, Rating systems, and Energy Efficiency. It analyzes global and regional railway stations to identify effective strategies to enhance energy use, applying these to a local station. The study concludes with research results and recommendations to boost energy efficiency in railway stations.

الكلمات الدالة:

السكك الحديدية- محطات السكك الحديدية-المباني الخضراء- أنظمة تقييم المباني الخضراء- كفاءة استخدام الطاقة.

Key words:

Railways - Stations - Green Building - Green Building Rating Systems - Energy Efficiency.

DOI: 10.21608/erj.2024.324258.1112

Received 30 September 2024; Received in revised form 30 September 2024; Accepted 23 October 2024

Available online 03 February 2025

1- المقدمة:

تعتبر السكك الحديدية من أهم التجهيزات الحضرية التي تعمل على نقل الركاب والبضائع بطريقة فعالة وسريعة، ومع زيادة الاعتماد عليها كوسيلة للنقل تسببت فى زيادة استهلاك الطاقة مما تطلب ضرورة تحسين استهلاك الطاقة، والتي تعد خطوة حاسمة لإستدامة محطات السكك الحديدية وقطاع النقل والسعى لتحقيق رؤية مصر 2030 للتنمية المستدامة.

1.1- إشكالية البحث:

تتبلور المشكلة البحثية في إرتفاع معدلات استهلاك الطاقة فى محطات السكك الحديدية والتي تعد من معوقات التوسع والتطور فى قطاع السكك الحديدية نظرا لكلفتها الهائلة وتأثيرها السلبي على البيئة، مما يعيق تحقيق رؤية مصر 2030 في مجالات البيئة والنقل والطاقة.

1.2- هدف البحـــث:

فى إطار السعي لتحقيق رؤية مصر 2030 تهدف هذة الدراسة إلي تحسين استخدام كفاءة استخدام الطاقة بمحطات السكك الحديدية من أجل تحويلها الي مباني خضراء.

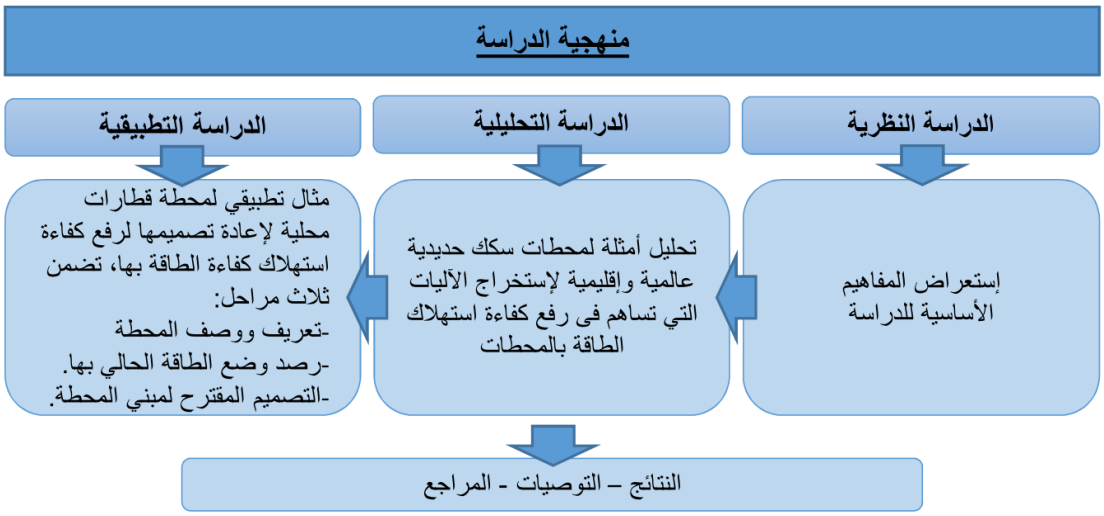
1.3- المنهجية البحثية:

لتحقيق الهدف تتبع الدراسة المنهج الوصفي التحليلي التطبيقي، والذي يتضمن ثلاث مراحل أساسية كأساس منهجي كما في (شكل 1):

أ. **الدراسة النظرية:** تعتمد على الاستفادة من المراجع السابقة، وفيها يتم استعراض بعض المفاهيم والتعريفات الهامة مثل السكك الحديدية والمباني الخضراء وكفاءة استخدام الطاقة.

ب. **الدراسة التحـــليلية:** تركز على تحليل أمثلة عالمية وإقليمية لمحطات السكك الحديدية تحقق معايير البناء الأخضر وكفاءة استخدام الطاقة ، لاستنباط الحلول الفعالة والمبتكرة التي تؤدي إلي رفع كفاءة استهلاك الطاقة.

ج. **الدراسة التطبيقية:** تقوم على إجراء دراسة لإحدى المحطات المحلية لرصد وضع استهلاك الطاقة بالمحطة بإستخدام برامج المحاكاة، ثم اقتراح تحسين وتطوير المحطة من خلال تطبيق بعض الأساليب والآليات المعمارية التى استنباطها للوصول للوضع الأمثل.



شكل *1*: المنهجية المتبعة بالدراسة. "المصدر الباحث"

2- الدراسة النظرية:

وفيها يتم التعرف على بعض المفاهيم والأفكار المتعلقة بالدراسة والتي تتضمن:

2.1- السكك الحديدية: هي نظام نقل بري يستخدم القطارات لتقديم خدمات نقل الركاب والبضائع على مسارات محددة تعرف بالخطوط الحديدية التى تتيح للقطارات السير عليها بأمان واستقرار. ويتكون النظام من: القطارات، القضبان، المحطات، الإشارات، نظم التحكم والمراقبة، نظم التشغيل والصيانة، الورش المركزية والمباني الملحقة. [1]

2.2- محطات السكك الحديدية: هي مرافق مخصصة لخدمة القطارات والركاب، وتعتبر نقاط توقف على شبكة السكك الحديدية حيث يتم تحميل وتنزيل الركاب والبضائع. وتتنوع المحطات في حجمها وأهميتها من محطات صغيرة تخدم القرى والمناطق الريفية إلى محطات كبيرة تخدم المدن الكبرى والمراكز الحضرية وأيضا محطات تبادلية في حالة تعدد مستويات أو اتجاهات القطارات.

وتتكون من: رصيف القطارات، غرف المراقبة والتحكم مثل غرفة ناظر المحطة (SMO-Station Master Office) وشباك التذاكر والشرطة والدفاع المدني ودورات المياه والمداخل، والغرف الفنية كغرف الكهرباء والتيار الخفيف، ومواقف سيارات، ومناطق تجارية طبقا للتخطيط.[1]

2.3- المباني الخضراء: هي المباني التي يتم تصميمها وبناءها وتشغيلها بأسلوب يقلل من التأثير البيئي السلبي ويعزز الاستدامة، ويهدف تصميم هذه المباني إلى تحقيق كفاءة عالية في استخدام الموارد مثل الطاقة والمياه، وتقليل النفايات والتلوث، وتحسين جودة البيئة الداخلية وصحة وراحة السكان، وهذة الأهداف يتم تقيمها بواسطة أنظمة تقييم المباني الخضراء.[2]

2.4- أنظمة تقييم المباني الخضراء: ببهي معايير وأطر توجيهية تهدف إلى تقييم وتصنيف المباني بناء على أدائها البيئي واستدامتها، وظهرت العديد من أنظمة التقييم حول العالم[3]، ومنها معيار BREEAM-Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology البريطاني والذى طبق في عام 1990م، ومن ثم العديد من الدول بدأت في إصدار أنظمة التقييم الخاصة بها مثل LEED-Leadership in Energy and Environmental Design في أميريكا ونظام الهرم الأخضر GPRS- Green Pyramid Rating System في مصر وغيرها من الأنظمة[4] كما في(**جدول 2**).

وكل نظام يشمل تقييم عدة مجالات، ويمنح شهادات إجتياز ذات مستويات مختلفة طبقا للنقاط التي حصل عليها المبني كما موضح في (جدول 1). [6][5]

جدول *2*: التسلسل الزمني لنظم تقييم المباني الخضراء حول العالم. *[3]* "بتصرف الباحث"

YEAR	RATING SYS.	COUNTRY
1990	**BREEM**	UK
1992	BEPAC	Canada
1994	**LEED**	USA
	PromisE	Finland
1995	BEAM	HK
1996	EcoEffect	Sweden
1997	GBA/GBTools	Canada
1998	NABERS/ABGR	Australia
	GBLS	Taiwan
	Eco-Quantum	Netherland
1999	GG	Canada
	BEAT	Denmark
	Ecoprofil	Norway
2000	CASBEE	Japan
2002	CEPAS	HK
	KGBC	Korea
2003	GS	Australia
	TGBRS	India
2004	GRIHA	India
	HQE	France
	GM	Singapore
2006	EPRS	Dubai
	SICES	Mexico
2007	NGBS	USA
	AQUA	Brasil
	LiderA	Portugal
2009	ITACA	Italy
	GBI	Malaysia
	BERDE	Philippine
	GASA	Qatar
	VERDE	Spain
2010	**GPRS**	Egypt
	LOTUS	Vietnam
	GREENSHIP	Indonesia
	TREES	Thailand
	BNB	Germany
2011	ARZ BRS	Lebanon
2012	IGBC	India
2013	EDGE	USA
	WELL	USA
2017	CASA	Columbia
2018	CEDBIK-Konut	Turkey

جدول *1*: معايير تقييم وتصنيف المباني الخضراء طبقا لبعض أنظمة التقييم *(BREEAM-LEED-GPRS)*"بواسطة الباحث".

GPRS-Green Pyramid Rating System			LEED BD+C			BREEAM			
الوزن النسبي % Weight of Credit	درجات التقييم Points of Credits	الفئة/المعيار Category	الوزن النسبي % Weight of Credit	درجات التقييم Points of Credits	الفئة/المعيار Category	الوزن النسبي % Weight of Credit	درجات التقييم Points of Credits	الفئة/المعيار Category	
10	20	الإدارة Management	0.9	1	العملية التكاملية Integrative Process	14.5	21	Management الإدارة	معايير الأنظمة والنقاط والوزن النوعي
15	10	الموقع المستدام وإمكانية الوصول والبيئة Sust. Sites, Reachability&Enviro	14.5	16	المكان والنقل Location & Trans	8.3	12	النقل Transport	
			9.2	10	إستدامة الموقع Sustainable Sites	9	13	إستخدامات الأراضى والإتزان البيئي Land Use and Ecology	
			3.6	4	الأولوية الإقليمية Regional Priority				
30	50	كفاءة استخدام المياه Water Efficiency	10	11	كفاءة استخدام المياه Water Efficiency	6.2	9	المياه Water	
25	50	كفاءة استخدام الطاقة Energy Efficiency	30	33	الطاقة والغلاف الجوي Energy & Atmo	21.4	31	الطاقة Energy	
10	20	المواد والموارد Materials & Resources	11.8	13	المواد والموارد Materials & Resources	9.6	14	المواد Materials	
10	20	جودة البيئة الداخلية Indoor Env. Quality	14.5	16	جودة البيئة الداخلية Indoor Env. Quality	13.8	20	الصحة والعافية Health & Wellbeing	
						8.3	12	التلوث Pollution	
						7.5	11	النفايات Waste	
10	10	الإبتكار والقيمة المضافة(إضافي) Innovation & Creation	5.5	6	الإبتكار Innovation	1.4	2	الإبتكار Innovation	
110	180	الإجمالي Total	100	110	الإجمالي Total	100	145	الإجمالي Total	
40	≤	معتمد Certified	40	≤	معتمد Certified	30	≤	مقبول Certified	مستوي الشهادة Rating Level
50	≤	الهرم الفضي Silver Pyramid	50	≤	فضي Silver	45	≤	جيد Good	
60	≤	الهرم الذهبي Gold Pyramid	60	≤	ذهبي Gold	55	≤	جيد جدا Gvery Good	
80	≤	الهرم الأخضر Green Pyramid	80	≤	بلاتيني Platinum	70	≤	ممتاز Excellent	
						85	≤	متميز جدا Outstanding	

2.5-كفاءة استخدام الطاقة: هي استخدام كميات أقل من الطاقة لتحقيق نفس النتائج. ويعتبر معيار هام وله ثقله في أنظمة تقييم المباني الخضراء كما في (جدول 4)، ويهدف لجلب مجموعة واسعة من الفوائد البيئية والاقتصادية لتحقيق التنمية المستدامة. يتم تحسين كفاءة استهلاك الطاقة فى المباني عن طريق تطبيق عدة استراتيجيات فعالة كما هو موضح فى (جدول 3).[9] ,[8],[7]

جدول *4*: معيار الطاقة فى بعض أنظمة تقييم المبانى الخضراء."بواسطة الباحث".

	BREEAM			LEED BD+C			GPRS-Green Pyramid Rating System		
	البند Item	درجات التقييم	الوزن النسبي %	البند Item	درجات التقييم	الوزن النسبي %	البند Item	درجات التقييم	الوزن النسبي %
معيار كفاءة استخدام الطاقة Energy Efficiency Category				عمل إجراءات لتحسين عمليات التشغيل لأنظمة التبريد والتهوية والإضاءة وتسخين المياة وأنظمة الطاقة المتجددة.	Required إلزامي		تحقيق الحد الأدنى من كفاءة الطاقة عند التصميم من خلال إتباع الكود المصري.	Required إلزامي	
				استخدام أقل كمية من الطاقة بأعلى كفاءة.			التدوين لكميات الطاقة المتوفرة والمستهلكة.		
				إدارة أنظمة التبريد لحماية طبقة الأوزون			إختيار الأجهزة التي لها أقل تأثير وضرر بالبيئة ولحماية طبقة الأوزون.		
	ترشيد الإستهلاك وتحسين أداء الطاقة من خلال التهوية وخلافها من الأنظمة.	17	55%	المتابعة والتحقق من كفاءة الأنظمة.	3	9%	تحسين أداء الطاقة من خلال التقليل فى استهلاك الطاقة على المدي البعيد للمشروع لتقليل إنبعاثات الكربون.	10	20%
	قياس ومتابعة الطاقة التى تستهلكها أنظمة المبني.	3	10%	استخدام الطاقة المتجددة.	7	21%	تقليل الأحمال والطلب الزائد على الطاقة فى ساعات الذروة بالإعتماد بشكل أساسي على مولدات الطاقة المتجددة	6	12%
	استخدام مولدات للطاقة بدون إنبعاثات.	2	6%	تحسين أداء الأنظمة والطاقة.	19	58%	وجود مرجعيات لإستخدام وصيانة الأجهزة داخل المباني لتقليل الطاقة المستهلكة فى التشغيل والصيانة.	1	2%
	ترشيد الطاقة المستهلكة فى إضاءة الفراغات الخارجية.	2	6%	تشكيل لجان متخصصة للإشراف لمتابعة الأنظمة من بداية التصميم وأثناء الإنشاء والتشغيل.	2	6%	إختيار أجهزة المبني بشكل يقلل من إستهلاك الطاقة داخل المبني.	3	6%
	استخدام العزل لتحسين أداء الأنظمة.	4	13%	استخدام الطاقة الخضراء.	1	3%	استخدام الطاقات المتجددة لتقليل الإنبعاثات الكربونية.	10	20%
	ترشيد الطاقة المستهلكة فى المصاعد والسلالم الكهربية والمماشي.	3	10%	متابعة الميردات.	1	3%	تقليل الأحمال الحرارية من خلال تصميم بيئي جيد.	7	14%
							تقليل الطاقات المستهلكة فى أجهزة المصاعد.	3	6%
							إختيار الأجهزة التى لها أقل تأثير وضرر بالبيئة لتقليل الإحتباس الحراري.	4	8%
							خلق التوازنات فى الأداء مثل الدمج بين الإضاءة الطبيعية والصناعية.	4	8%
							إبتكار طرق وأنظمة جديدة لتشغيل الأجهزة لتقليل إنبعاثات ثاني أكسيد الكربون.	2	4%
	الإجمالي Total	31	100%	الإجمالي Total	33	100%	الإجمالي Total	50	100%

جدول *3*: إستراتيجيات تحسين كفاءة الطاقة. "بواسطة الباحث"

	إستراتيجيات كفاءة استخدام الطاقة		
	إستراتيجيات تصميمية	إستراتيجيات تقنية وإدارية	إستراتيجيات الطاقة المتجددة
المفهوم	هو التصميم السلبي للمبني والإستفادة القصوي من المناخ المحلي لظبط الراحة الحرارية بالمبني صيفا وشتاءا بدون استخدام أنظمة التدفئة والتبريد.	هو إنشاء سياسات وإجراءات لإدارة استخدام الطاقة بشكل فعال.	الإعتماد على الطاقة النظيفة والمتجددة ذات التأثير الإيجابي بيئيا واقتصاديا.
الأدوات	-توجيه المبني طبقا لمحددات الموقع -الغلاف الخارجي للمبني (الحوائط، النوافذ، الأسطح) ومعالجاته -توفير إضاءة وتهوية طبيعية -العزل الجيد	-إستخدام الأنظمة الآلية بدلا من اليدوية -استخدام الأجهزة والأنظمة ذات كفاءة عالية فى استهلاك الطاقة -وجود أنظمة استشعار ورصد ومراقبة -وجود خبراء لتطبيق السياسات وتحليل التقارير ومتابعة الصيانة الدورية -ارشادات لخفض استهلاك الطاقة للعاملين بالمحطة	-الطاقة الشمسية -طاقة الرياح -طاقة حرارة باطن الأرض -الطاقة البحرية -الطاقة الحيوية

3-الدراسة التحليلية:

3.1- الأهداف:

بناء على الدراسة النظرية وما تم التوصل اليه، تم تحليل نماذج لمحطات سكك حديدية عالمية وإقليمية بإعتبارها تجارب لمحطات سكك حديدية خضراء، بهدف إستخراج آليات لرفع كفاءة استخدام الطاقة بالمحطات.

3.2- معايير إختيار عينات الدراسة:

تم اختيار العينات التي تحقق المعايير التالية

- الحصول على إحدي شهادات المباني الخضراء.
- استطاعت تحقيق درجة عالية من استهلاك الطاقة.
- تم بناءها أو تطويرها خلال ال 15 سنة الماضية.

3.3- أمثلة الدراسة:

بناء على المعايير السابقة وبما يحقق أهداف الدراسة التحليلية تم اختيار أربعة أمثلة وهي:

1- محطة **King Street station-USA.**
2- محطة **Blackfriars Station-UK.**
3- محطة **Denver Union Station-USA.**
4- **محطة مترو مركز الملك عبد الله المالي -السعودية**

3.3.1- محطة King Street station- USA

تعريف بالمحطة

الموقع:

تقع فى وسط مدينة سياتل بواشنطن (Jackson St, Seattle, WA 98104, United States)، وتصل بين محطة Everett Station شمالا ومحطة Tacoma Dome Station جنوبا.[11], [10]

شكل 2: محطة *(King Street station-USA). [11]*

نوع المحطة:

محطة حضرية تبادلية تخدم 3 خطوط قطارات سريعة، كما تحتوي على ممر يصل بالقطار الخفيف.

وصف المحطة:

- أحد المحطات التاريخية الرئيسية في المدينة، افتتحت المحطة في 1906 وتم تطويرها مؤخرا في 2013.
- وتتكون المحطة من مبني واحد رئيسي و أربعة أرصفة قطارات رئيسية.
- والمبني يتكون من طابقين فوق الأرض وطابق ميزانين بمساحة إجمالية 3065 م2.

تصنيف المبني وفقا لأنظمة تقييم المباني الخضراء

حازت المحطة على الشهادة البلاتينية في ال LEED-Platinum بمجموع نقاط 83 نقطة، وبدرجة مميزة في معيار الطاقة 34من37، وذلك لكفاءة استخدام الطاقة وتحسين إدارتها والإعتماد على الطاقة المتجددة كما فى(**شكل 3**).[12]

King Street Station
LEED BD+C: Core and Shell (v2009) — **PLATINUM**, AWARDED DEC 2013

SUSTAINABLE SITES إستدامة الموقع	AWARDED	19/28	**ENERGY & ATMOSPHERE** الطاقة والغلاف الجوي	AWARDE	34/37
WATER EFFICIENCY كفاءة إستخدام المياه	AWARDED	03/10	Fundamental commissioning of building energy sys.		REQUIRED
MATERIALS & RESOURCES المواد والموارد	AWARDED	11/13	Minimum energy performance		REQUIRED
INDOOR ENVIRONMENTAL QUALITY جودة البنية الداخلية	AWARDED	06/12	Fundamental refrigerant management		REQUIRED
INNOVATION الإبتكار	AWARDED	06/06	Optimize energy performance		21/21
Regional Priority الأولوية الإقليمية	AWARDED	04/04	On-Site renewable energy		4/4
TOTAL			Enhanced commissioning		2/2
			Enhanced refrigerant management		2/2
			Measurement and verification- base bld.		3/3
			Measurement and verification- tenant submetering		0/3
			Green power		2/2
			TOTAL		**83/110**

CERTIFIED (40-49 Points) SILVER (50-59 Points) GOLD (60-79 Points) PLATINUM (+80 Points)

شكل 3: *شهادة LEED-Platinum* التي حصلت عليها المحطة.*[12]* "بتصرف الباحث

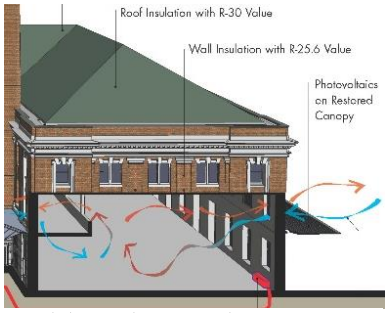
إستراتيجيات تحسين كفاءة استخدام الطاقة

إستراتيجيات تصميمية:

المبني الرئيسي:

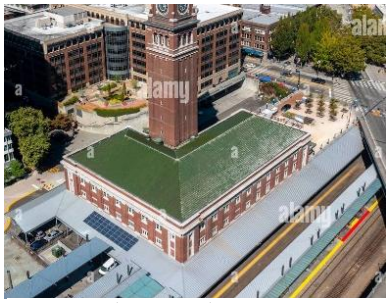
1- مساحة زجاجية كبيرة بالواجهات توفر إضاءة طبيعية نهارية كما فى (شكل 7).[13]
2- حوائط خارجية سميكة وتكسية من الألواح الجبسية المعزولة توفر مقاومة حرارية وصلت الي R-25.6 value، وتقلل الاحتياج لمكيفات الهواء [14]
3- توفير مظلات حول المبني ومداخلة بلطابق الأرضي بكل من الواجهات الجنوبية والشرقية والغربية لتقليل الإشعاع الشمسي.[11]
4- سقف جمالوني من الأخشاب مكسو بالقرميد الفخارى والمعزول بطبقة من الصوف الصخري يوفر مقاومة حرارية تصل الي R-30 value كما فى (شكل 9).[10]

شكل 7:مساحة زجاجية كبيرة. [13]



شكل 5: تدفق الهواء من النوافذ العلوية. [10]

شكل 6. الحوائط الخارجية. [14]



شكل 4: مظلات الواجهات المتبقية والأرصفة. *[11]*

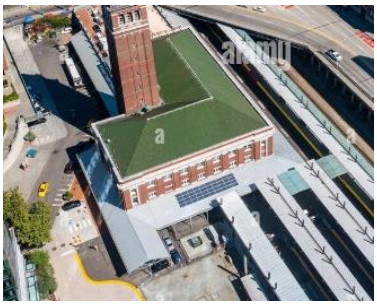
إستراتيجيات تقنية وإدارية:[10]

3- استخدام وحدات الإضاءة الموفرة للطاقة (LED)، وإيضا استخدام أنظمة التدفئة والتبريد ذات الكفاءة العالية فى استخدام الطاقة.
4- وضع نظام آلى لفتح وغلق النوافذ لضمان توفير تهوية طبيعية.
5- إستراتيجيات إدارة ومراقبة وتحكم آلي بشكل فعال بوضع مستشعرات لغاز ثاني أكسيد الكربون وأجهزة تنظيم حرارة المحركات والمعدات بالمحطة لمتابعة جودة البيئة الداخلية بما يتوافق مع معايير ASHRAE Std. 62.1.

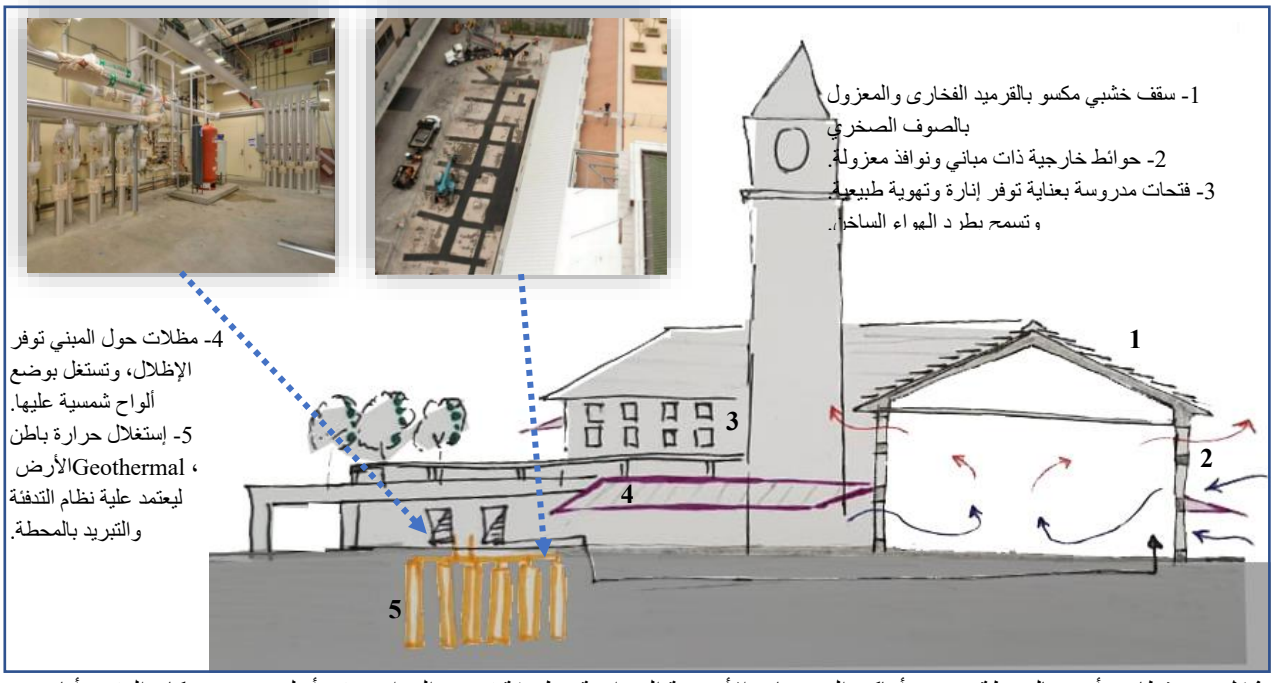
إستراتيجيات الطاقة المتجددة:

6- استبدال جميع الأنظمة الميكانيكية للتهوية بنظام المضخات الحرارية المدفونة بالأرض Geothermal ، وهي تقنية تستخدم الطاقة المخزنة في باطن الأرض لتدفئة وتبريد المبني بالإضافة لتوليد طاقة كهربية في بعض الحالات حيث يعتمد النظام على ثبات درجة الحرارة نسبيا تحت سطح الأرض طوال العام مما يو فر مصدر طاقة مستدام وفعال من حيث التكلفة.[10]
7- استغلال أجزاء من أسقف المظلات لوضع الألواح الشمسية.

شكل 8:مظلات لتظليل الدور الأرضي بالواجهة الغربية. [14]



شكل 9: السقف الجمالوني المعزول. *[11]*



شكل 10: قطاع رأسي بالمحطة يوضح أماكن المضخات الأرضية الحرارية وطريقة توزيع الهواء، وفى أعلى يوضح مكان الدفن وأنابيب الحرارية. والألواح الشمسية على المظلات الجانبية.*[10]*

مستوي رفع كفاءة الطاقة:

أدت الأنظمة المستحدثة والإستراتيجيات إلى انخفاض قدره 206Mt لثاني أكسيد الكربون سنويا بالإضافة الي انخفاض معدل الطاقة المستهلة بالمبني سنويا بمقدار68% حيث تراجع المعدل من 118KBTU/F2/Year إلي 38KBTU/F2/Year.

3.3.2- محطة Blackfriars Station-UK

تعريف بالمحطة:

الموقع:

تقع فى مدينة لندن بإنجلترا (Blackfriars Rd, London EC4R 2BB England)، على المسار الواصل بين Farringdon شمالا وWalworth جنوبا. [15]

نوع المحطة:

محطة حضرية تبادلية متعددة الأنماط تخدم السكك الحديدية الوطنية وأضيف لها مترو أنفاق لندن. وتخدم خطوط قطار Thameslink من فوق الأرض وإيضا خطوط قطارات Circle Line, District Line من تحت الأرض.

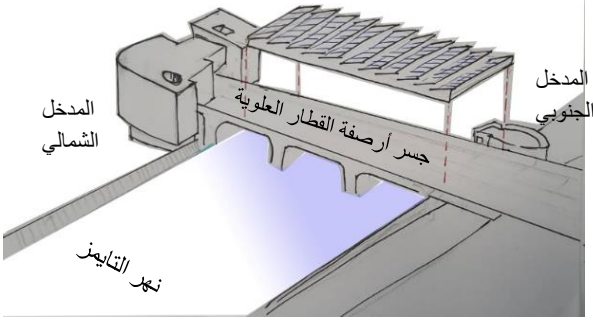
وصف المحطة:

-افتتحت في عام 1886م وخضعت للعديد من التجديدات والتوسعات أخرها في عام 2012م.

- تتكون من مبني رئيسي ومبني فرعى يصل بينهم جسر جسر Blackfriars على نهر التايمز River Thames كما فى (شكل 11).

- يحتوي المبني الرئيسي على عناصر المحطة والمدخل الرئيسي الشمالي ومنه نصل الي أرصفة القطارات بمناسيبها المختلفة، وتمتد الأرصفة الأربعة العلوية أفقيا عبر الجسر حتى تصل للمبني الفرعي على الجانب الأخر للنهر وهو المدخل الجنوبي للمحطة كما فى (شكل 12).[16], [15]

شكل *11*: الموقع العام لمحطة Blackfriars Station (Google Maps).



شكل *12*: مخطط تشريحى للمحطة. [15]

تصنيف المبني وفقا لأنظمة تقييم المباني الخضراء

حازت المحطةعلي شهادة ممتاز BREEAM-Excellent بمجموع نقاط 70.7 نقطة.[17] ,[16], [15],

إستراتيجيات تحسين كفاءة استخدام الطاقة

إستراتيجيات تصميمية:

المبني الرئيسي:

1- مساحات زجاجية كبيرة بالواجهات توفر إضاءة وتهوية طبيعية نهارية بالمبني الرئيسي (شكل 14).
2- إستخدام الكاسرات الشمسية على الواجهة الغربية للتظليل من أشعة الشمس ودخول الضوء للمبني بدون وهج وبالتالي تقليل الحمل الحراي بالفراغات العامة.

جسر الأرصفة:

3- بالرغم من جعل الأرصفة محاطة بغلاف خارجي لتوفير بيئة داخلية جيدة، إلا أن الواجهات الزجاجية وتغطية السطح لا تعوق الإنارة والتهوية، مما قلل من استخدام الطاقة فى الإضاءة والتبريد والتكييف كما فى (شكل 13). [19],[18]

شكل *14*: إضاءة وتهوية طبيعية وتظليل الواجهات للمبني الرئيسي.*[19]*

شكل *13*: إضاءة وتهوية طبيعية وتظليل الواجهات لجسر الأرصفة.*[19]*

<u>إستراتيجيات تقنية وإدارية:</u> [18]

4- تحويل كافة أنظمة الإنارة إلى أنظمة موفرة LED- light emitting diode.

5- استخدام أنظمة تدفئة وتبريد حديثة بمستشعرات أكثر دقة واختبارات جودة الهواء للتحكم فى الإستخدام الفعال لأنظمة التكييف.

6- وضع إستراتيجيات إدارة وتحكم إلى بشكل فعال بالمحطة لترشيد الطاقة. _[18]

<u>إستراتيجيات الطاقة المتجددة:</u>

7- الاستعانة بالطاقة النظيفة المتجددة بتكسية سقف الجسر بأكمله بألواح الطاقة الشمسية (شكل 15). [18]

شكل *15*: تغطية سطح الأرصفة بكاملة ب 4400 لوح طاقة شمسية كحل أخضر لتوليد الطاقة. *[19] ,[18]*

مستوي رفع كفاءة الطاقة:

أدي تركيب أكثر من 4400 لوح شمسي إلي توليد ما يقدر ب 1.1ميجاوات وهو ما يغطى ما يقرب من 50% من احتياجات المحطة، مما أدى ذلك لتقليل الانبعاثات الكربونية بمقدار 511 طنا سنويا.[18]

3.3.3- محطة Denver Union Station-USA

تعريف بالمحطة:

الموقع:

تقع فى دنفر بمدينة كولورادو (Wynkoop St., Denver, Colorado, United States)، بين Boulder شمالا و Lakewood جنوبا وعلى المسار بين شيكاغو وسانفرانسيسكو. [20]

نوع المحطة:

محطة حضرية تبادلية متعددة الإستخدام، وتخدم خطوط السكك الحديدية الإقليمية لخطوط Amtrak's California Zephyr والقطار الكهربي الخفيف لخدمة المدينة RTD Light Rail وترتبط أيضا مع خطوط النقل البري.[21]

وصف المحطة:

-أنشئت في 1881م وخضعت لعملية تجديد كبيرة أخيرة في عام 2014 ،وتعد محطة تبادلية متعددة الاستخدام كما في (شكل 16).

-تتكون المحطة من مبني رئيسي يحتوي علي (محطة سكة حديد، فندق، مركز تجاري)، وساحة الأرصفة ذات تغطية خيمية مميزة، ومحور مشاة مكشوف علي سطح الأرض يصل لمسار القطار الكهربي ومن أسفل ذلك المحور يوجد طابق للجمهور يتصل مع حركة النقل البري.[22], [23]

شكل *16*: المبني الرئيسي للمحطة.*[20]*

تصنيف المبني وفقا لأنظمة تقييم المباني الخضراء

حصلت المحطة على الشهادة الذهبية LEED –Gold بمجموع نقاط 61 نقطة، وفى معيار استهلاك الطاقة حصلت علي درجة متوسطة بمقدار 16من 35 كما في (شكل 17) ولذلك لقلة الاستراتيجيات المتبعة ومنها عدم الإعتماد على الطاقة المتجددة فى تشغيل المحطة .[24]

Denver Union Station Transit Center
LEED BD+C: New Construction (v2009) — **GOLD**, AWARDED AUG 2014

SUSTAINABLE SITES إستدامة الموقع	AWARDED	17/26
WATER EFFICIENCY كفاءة إستخدام المياه	AWARDED	03/10
MATERIALS & RESOURCES المواد والموارد	AWARDED	06/14
INDOOR ENVIRONMENTAL QUALITY جودة البنية الداخلية	AWARDED	12/15
INNOVATION الإبتكار	AWARDED	06/06
Regional Priority الأولوية الإقليمية	AWARDED	01/04

ENERGY & ATMOSPHERE الطاقة والغلاف الجوي	AWARDE	17/26
Fundamental commissioning of building energy sys.	REQUIRED	
Minimum energy performance	REQUIRED	
Fundamental refrigerant management	REQUIRED	
Optimize energy performance	7/19	
On-Site renewable energy	0/7	
Enhanced commissioning	2/2	
Enhanced refrigerant management	2/2	
Measurement and verification	3/3	
Green power	2/2	

TOTAL **61/110**

CERTIFIED (40-49 Points) SILVER (50-59 Points) GOLD (60-79 Points) PLATINUM (+80 Points)

شكل *17*: شهادة *LEED-Gold* التي حازت عليها محطة *Denver Union Station.[24]* "بتصرف الباحث"

إستراتيجيات تحسين كفاءة استخدام الطاقة

إستراتيجيات تصميمية:

المبني الرئيسي:

1- استخدام النوافذ كبيرة الحجم في الواجهات لتوفير الإضاءة والتهوية الطبيعية.

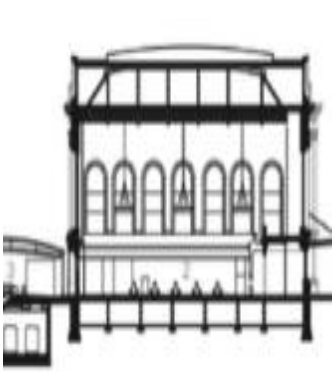
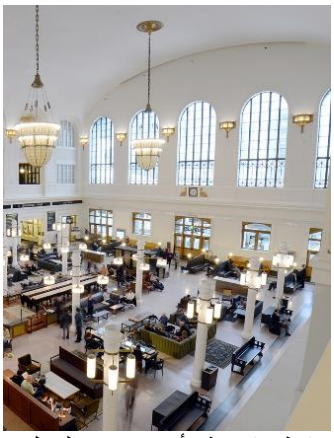
2- حوائط خارجية سميكة مع نوافذ من قطاعات الألومنيوم مع زجاج ثلاثي الطبقات وأسقف خشبية معزولة، لتوفير مقاومة حرارية وتقليل الإحتياج لمكيفات الهواء كما فى (شكل 19).

3- توفير مظلات حول الطابق الأرضي بالواجهة الجنوبية الشرقية للفراغات العامة، لتظليل وتقليل الوهج لتقليل حرارة الإشعاع الشمسي بها.[25]

محور المشاة:

4- عمل sky light بعدد 7 وحدات أعلى الممر السفلي للإنارة الطبيعية، مما أدي لتقليل استهلاك الطاقة الكهربية نهارا كما فى (شكل 18).[26]

5- توفير تهوية طبيعية عن طريق أبراج التهوية طبيعية مما أدي لتقليل استخدام أنظمة التهوية الميكانيكية.

شكل *19*: فتحات زجاجية كبيرة، وحوائط خارجية وأسقف جيدة العزل. *[25], [26]*

شكل *18*: قطاع عرضى بمحور المشاة، توفر الإضاءة الطبيعية للدور السفلي.*[26]*

إستراتيجيات تقنية وإدارية:

6- الاعتماد على وحدات الإضاءة الموفرة LED.[20]

7- توفير نظم إلية للمراقبة والتحكم واستشعار نسب الكربون والتحكم اللآلى في نظام التهوية الميكانيكية.

مستوى رفع كفاءة الطاقة:

يعتبر التصميم النهائي للمبنى أكثر كفاءة في استخدام الطاقة بنسبة 30 بالمائة من مبنى ذي حجم مماثل. [27]

3.3.4- محطة مترو مركز الملك عبد الله المالي-السعودية KFD Metro Station

تعريف بالمحطة:

الموقع:

تقع المحطة بداخل حدود مركز الملك عبد الله المالي في شمال مدينة الرياض على طريق الملك فهد بالقرب من تقاطعة من الطريق الدائري.[29] ,[28]

شكل *20*: المحطة وإتصالها بالمركز المالي.(*Google Maps*- بتصرف الباحث)

نوع المحطة:

محطة محلية تبادلية تخدم ثلاث خطوط بمنظومة مترو مدينة الرياض، وتصل أيضا مع خط Monorail القطار الأحادي الداخلي بالمركز المالي، كما أنها مرتبطة مع النقل البري الجماعي للمدينة.

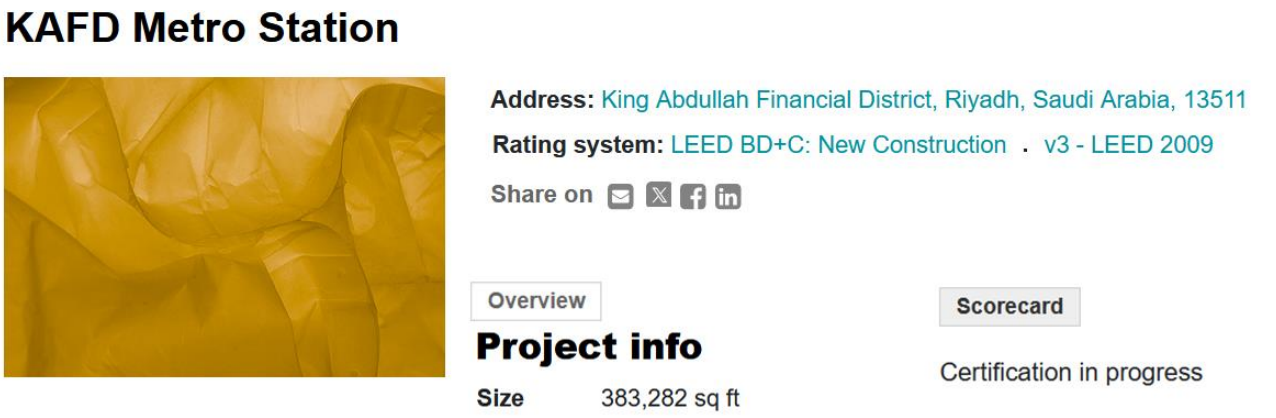
وصف المحطة:

- تم افتتاحها في سبتمبر 2021م.
- ومبني المحطة الرئيسي يتكون من 5 طوابق وبها 6 أرصفة للقطارات مرتفعة عن سطح الأرض على مستويين.
- التكوين الخارجي عبارة عن غلاف ثلاثي الأبعاد يعمل بمثابة العمود الفقري له ويعكس الأنماط التي تولدها الرياح الصحراوية في الرمال مشكله للكثبان الرملية كما فى (شكل 21).

شكل *21*: لقطة منظورية للواجهة وفكرة الكثبان الرملية. *[28], [29]*

تصنيف المبني وفقا لأنظمة تقييم المباني الخضراء

تستهدف المحطة الحصول على LEED- Silver وإن كان يمكن أن ترتقي للمستوي الأعلى. [30]

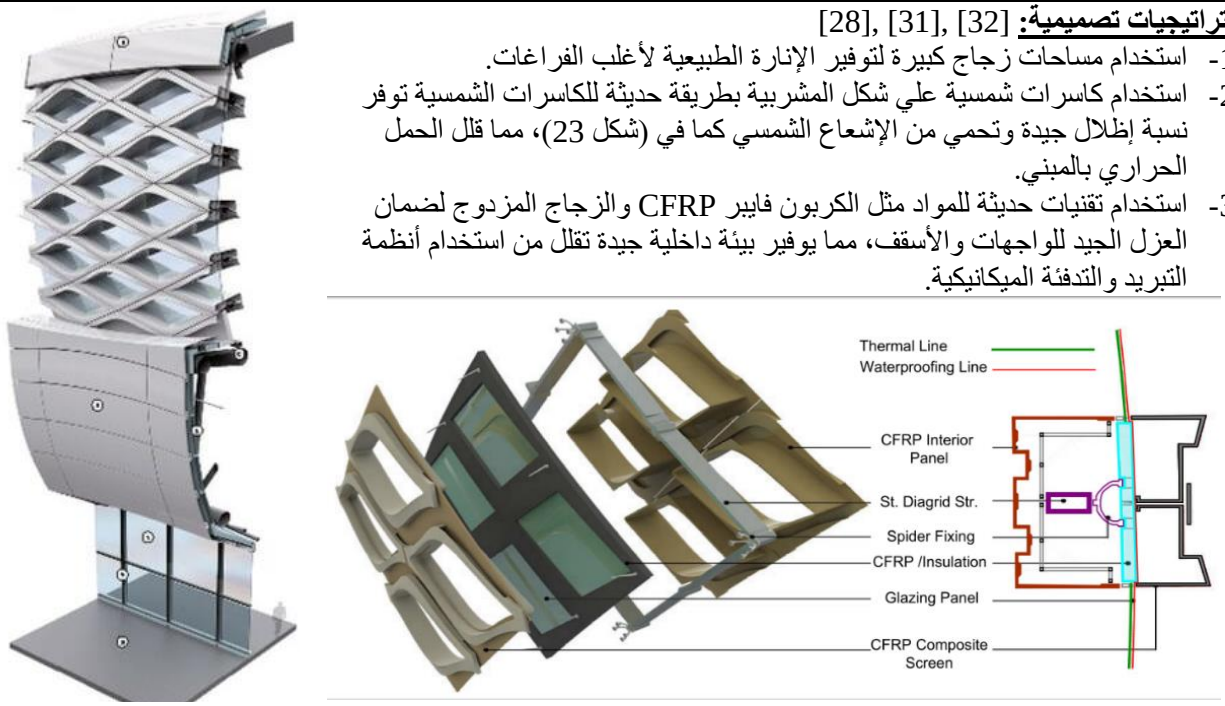


شكل *22*: قدمت المحطة مستنداتها للحصول على *LEED- Silver [30].*

إستراتيجيات تحسين كفاءة استخدام الطاقة

إستراتيجيات تصميمية: [28], [31], [32]

1- استخدام مساحات زجاج كبيرة لتوفير الإنارة الطبيعية لأغلب الفراغات.
2- استخدام كاسرات شمسية علي شكل المشربية بطريقة حديثة للكاسرات الشمسية توفر نسبة إظلال جيدة وتحمي من الإشعاع الشمسي كما في (شكل 23)، مما قلل الحمل الحراري بالمبني.
3- استخدام تقنيات حديثة للمواد مثل الكربون فايبر CFRP والزجاج المزدوج لضمان العزل الجيد للواجهات والأسقف، مما يوفير بيئة داخلية جيدة تقلل من استخدام أنظمة التبريد والتدفئة الميكانيكية.



شكل *23*: معالجات الغلاف الخارجي بمساحة إنارة طبيعية كبيرة ومظللة بالمشربية، ومواد عزل. *[31]*

إستراتيجيات تقنية وإدارية:[29]

4- استخدام عناصر الإنارة الموفرة للطاقة.
5- استخدام المستشعرات للتحكم في شدة الإضاءة والتشغيل للأجهزة مثل السلالم المتحركة.
6- إيجاد منظومة تشغيل قوية تتحكم آليا في كافة النظم مع وجود مراقبة دائمة لمعدلات الأداء لها.

إستراتيجيات الطاقة المتجددة:

7- استخدام الألواح الشمسية لتوليد 1.45% من إستهلاك المحطة. [29]

مستوي رفع كفاءة الطاقة:

نجحت العمليات التصميمية الأولي للمحطة في تحقيق توفير ملحوظ فى الطاقة بنسبة تصل إلى 34% مقارنةً بمعيار ASHRAE 90.1 (2007).[29]

يتضح من تحليل تجارب محطات السكك الحديدية المختارة والحاصلة على شهادات تصنيف الأبنية الخضراء تنوع الاستراتيجيات والأساليب المستخدمة والتي تم توظيف عدد كبير منها معا لتحقيق مستويات عالية من الكفاءة في استهلاك الطاقة بالمحطات والموضحة فى (جدول 5).
ويكشف الجدول أن إستخدام الإستراتيجيات التصميمية لتوفير إنارة وتهوية طبيعية بكافة الحلول مع عزل جيد للغلاف الخارجي لتقليل الأحمال الحرارية على المبني بالإضافة للإستراتيجيات التقنية والإدارية بإستخدام الأنظمة الآلية والأنظمة الموفرة للطاقة والمتابعة الجيدة للإستهلاك تشكل أهم الإستراتيجيات التي تم توظيفها فى كافة المحطات محل الدراسة، حيث تمثل 80% من متطلبات معيار الطاقة فى أنظمة تقييم المباني اخضراء كما فى(شكل 3،شكل 17). ومع الإستعانة بإستراتيجيات الطاقة المتجددة التي تغطي مقدار إستهلاك المحطات، نستطيع الوصول لحد الكمال فى تحسين كفاءة الطاقة.

جدول 5: معالجات تحسين كفاءة استهلاك الطاقة طبقا لنماذج الدراسة "بواسطة الباحث".

	معالجات تحسين كفاءة إستخدام الطاقة	King Street Station	Blackfriars Station	Union Station	KAFD Metro Station
إستراتيجيات تصميمية	التوجية الجيد للمبني طبقا لموقعة والظروق البيئية	√	√	-	-
	توفر نوافذ وفتحات بنسب مدروسة فى الواجهات	√	√	√	√
	غلاف خارجي بأساليب تصميمية ومواد للعزل الجيد	√	-	√	√
	توفر إضاءة طبيعية نهارية للفراغات العامة	√	√	√	√
	إرتفاعات أسقف كبيرة تحسن تدفق الهواء الطبيعي	√	√	√	-
	توفير كاسرات شمسية أو مضلات لتظليل للنوافذ	√	√	√	√
	السماح بالتهوية الطبيعية الفعالة	√	√	√	√
	استخدام الشخاشيخ وأبراج الهواء	√	-	√	-
	الواجهات والأسطح الخضراء	-	-	√	-
إستراتيجيات تقنية وإدارية	إستخدام الأجهزة الموفرة للطاقة مثل الإنارة ب LED	√	√	√	√
	استخدام أنظمة كهروميكانيكية حديثة بمستشعرات الحركة	√	√	√	√
	نظام آلي لفتح وغلق للنوافذ	√	-	-	-
	عمل إختبارات جودة الهواء	√	√	-	√
	مستشعرات لغاز ثاني أكسيد الكربون وأجهزة تنظيم الحرارة	√	√	√	√
	متابعة ورصد دائم لإستهلاك الطاقة	√	√	√	√
إستراتيجيات الطاقة المتجددة		Geothermal	Solar panel	-	-
شهادة تقييم المباني الخضراء (النقاط)		LEED-Platinum (83)	BREEAM-Excellent (70.7)	LEED-Certified (61)	In Progress

4- الدراسة التطبيقية:

4.1- الأهداف:

بناء على الدراسة التحليلية التى أمكن من خلالها إستنباط العديد من الآليات الفعالة التي ساهمت في تحسين استخدام الطاقة بمحطات السكك الحديدية تهدف الدراسة فى هذا الجزء الي اقتراح تحسين وتطوير محطة قطار محلية لرفع كفاءة استهلاك الطاقة بها من خلال تطبيق بعض الآليات التي تم استخلاصها وذلك فى إطار تطوير المبني وتحويلة الي مبني أخضر.

4.2- معايير إختيار عينة الدراسة:

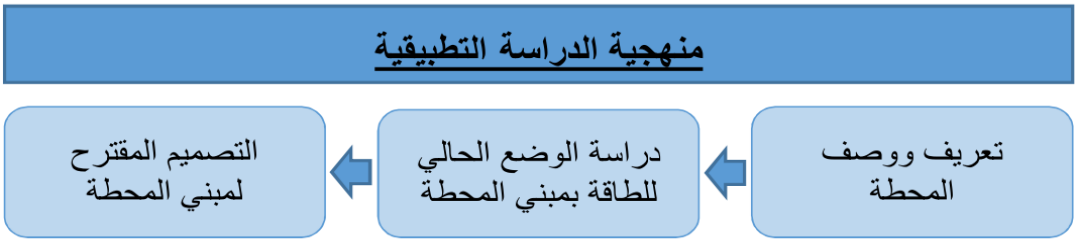
تم اختيار المثال الذى يحقق المعايير الأساسية التالية:
- محطة سكة حديد بمشروع جاري الإنشاء، فيمكن إضافة مقترحات التطوير إليه أثناء تنفيذه.
- محطة نموذجية تتشابهه مع المحطات المزعم انشائها مستقبلا.
- محطة حديثة تم بنائها مؤخرا خلال خمسة سنوات وتم تشغيلها.

4.3- مثال الدراسة:

ووفقا للمعايير التي تم تحديدها، تم إختيار **محطة المستقبل** إحدي محطات **القطار الكهربي الخفيف LRT** بالقاهرة.

4.4- منهجية الدراسة:

لتحقيق هدف الدراسة التطبيقية تضمن المنهجية ثلاث مراحل متتالية كما في (شكل 24)



شكل *24*: منهجية الدراسة التطبيقية."بواسطة الباحث"

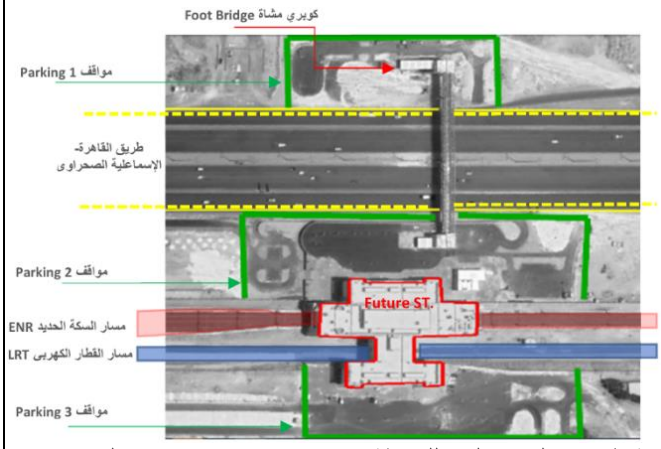
محطة المستقبل للقطار الكهربي الخفيف – مصر
(Future station of LRT-Egypt)

4.4.1- تعريف ووصف المحطة

الموقع:

- إحدي محطات القطار الكهربي الخفيف LRT والمعروف بقطار العاصمة، الذي يبدء من محطة عدلي منصور بمنطقة السلام وهى محطة تبادلية مركزية ويمتد بين المجتمعات السكنية الجديدية (العبور-المستقبل-الشروق –هيلوبلس-بدر) ثم يتفرع شمالا الي مركز مدينة العاشر من رمضان وجنوبا الي العاصمة الإدارية الجديدة.
- تعد محطة المستقبل المحطة الثالثة من نقطة بداية المسار، ويسبقها محطة العبور ويليها محطة الشروق.
- وتقع المحطة في شرق القاهرة على طريق القاهرة/إسماعلية الصحراوي وأمام مدينة المستقبل.
- تم افتتاح المحطة في يوليو 2022 ضمن تشغيل المرحلة الأولي للمسار.

شكل *25*: موقع محطة المستقبل على مسار القطار الكهربي الخفيف. *[33], [35]*



شكل *26*: الموقع العام للمحطة"*Google Map* بتصرف الباحث".

نوع المحطـــة:

محطة حضرية وسطية على مسار القطار، مرتبطة مع النقل العام الجماعي لمدينة المستقبل.

وصف المحطة:

تتكون المحطة محل الدراسة من مبني رئيسي ومبني خدمي صغير وملحق به ثلاثة مواقف لإنتظار السيارات لجذب أصحاب السيارات الخاصة لإستخدام وسائل النقل العامة كما فى (شكل 26).

المبني الرئيسي يتكون من طابقين فوق منسوب سطح الأرض مع طابق خدمة تحت منسوب أرصفة القطار. الطابق الأرضي وهو دور منسوب أرصفة القطارات وبه أربعة مداخل للجمهور ومنطقتين تجاريتين. أما الطابق الأول وهو دور الجمهور ويحتوي على صالة التجمهر والتذاكر والسلالم للنزول لمنسوب أرصفة القطارات ويحتوي إيضا علي المناطق الفنية ومنطقتين تجاريتين. والمبني بأبعاد كلية (120.80*76.90م). وبها رصيفين للقطار يحدوا مسارين القطار بأبعاد (120.80*24.60م) كما في (شكل 30،شكل 31).[33], [34][35]

الغلاف الخارجي للمبنى: (شكل 29)

الحوائط الخارجية: من الطوب الأسمنتى بسمك 20سم والمكسوة من الخارج بطبقة بياض أسمنتى جوتا شيلد بسمك 4سم مع إضافة جرانيت محلي بسمك 2سم بالطابق الأرضي، ومن الداخل مكسو بطبقة من البياض الأسمنتى ودهان بحدود سمك 2سم.

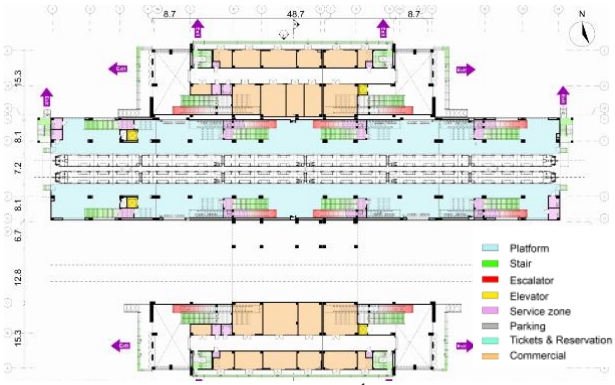
الفتحات والنوافذ: في الطابق الأرضي توجد فتحات كبيرة تخدم رصيف القطار بمقاس (4,6*5,2)، مع فتحات رشيقة فى المداخل الرئيسية الأربعة بمقاس (0,5*7م) وعدد من الأبواب المعدنية من الصاج المعرج المزدوج والمعزول، والمنطقة التجارية بها واجهات من قطاعات الألومنيوم العادية والزجاج المفرد الشفاف سمك 10مللي. أما الطابق الأول فبه نوافذ رشيقة طولية ذات إطارات ألومنيوم وبزجاج شفاف بسمك 6مللى بمقاس (0.5*3م).

السطح: عبارة عن بلاطة خرسانية بسمك 15سم، ويزيد عليها طبقات عزل رطوبة و عزل حرارة وخرسانة ميول وبلاط سطح بسمك إضافي لهذه الطبقات يصل إلى 35سم.

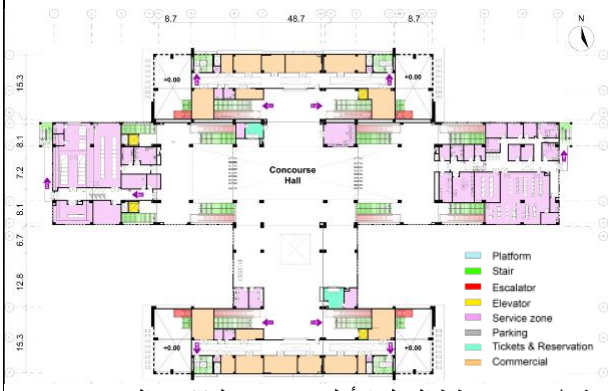
وكانت المعالجات المعمارية بالمبني:

الكاسرات الشمسية: للطابق الأول توجد كاسرات أفقية علي الواجهة الجنوبية بغرض الإظلال، ونجدها أيضا فى الواجهة الشمالية ولكن بغرض توحيد التشكيل المعماري للمحطة كما في(**شكل 27**).

الشخاشيخ Sky Light: تم عمل العديد منها بالسقف فوق أماكن الصالات العامة لتوفير الإضاءة والتهوية كما في (شكل 28).

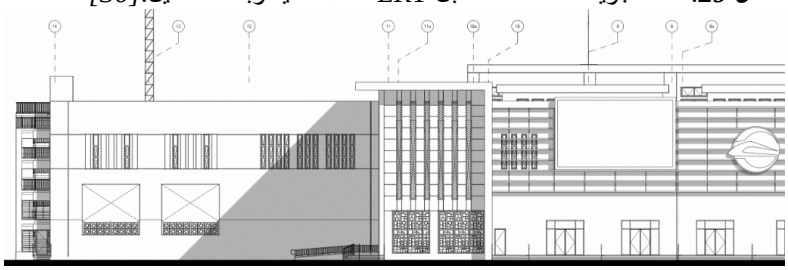


شكل *31*: مخطط الدور الأرضي (منسوب رصيف القطار)." بواسطة الباحث"

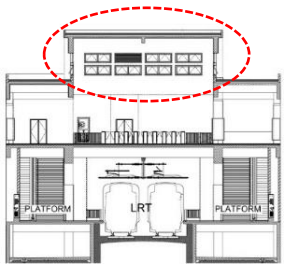


شكل *30*: مخطط الدول الأول (منسوب التذاكر والجمهور)." بواسطة الباحث"

شكل *29*: لقطة جوية لمحطة المستقبل *LRT* أثناء التنفيذ وبعد التشغيل.*[30]*



شكل *27*: واجهة جزئية لمحطة المستقبل"طبقا للمصمم والشركة المنفذة *AVIC*" توضح الفتحات والكاسرات الأفقية.*[34], [33]*



شكل *28*: قطاع جزئي يوضح الإستعانة بالشخشيخة. *[34], [33]*

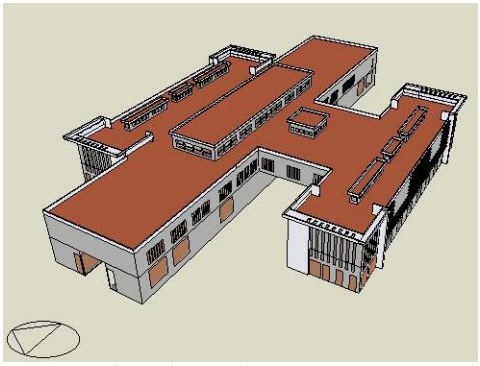
<u>الإستراتيجيات التقنية والإدارية:</u>

كانت ذكية ومتطورة، حيث تم إستخدام كافة الأجهزة والنظم الموفرة للطاقة كإستخدام عناصر الإضاءة LED وإستخدام كافة مستشعرات الحركة، وكان يعتمد على التهوية الطبيعية لكافة صالات التجمهر العامة وتم الإكتفاء بأنظمة التبريد الميكانيكية فى بعض الغرف الفنية بالدور الأول. مع وجود مراقبة دائمة ورصد للإستهلاك، مع عمل خطة متابعة وصيانة دورية، وتم إسناد عملية الإدارة والتشغيل لشركة متخصصة فى هذا المجال منذ 120 عام وهى RATP الفرنسية.

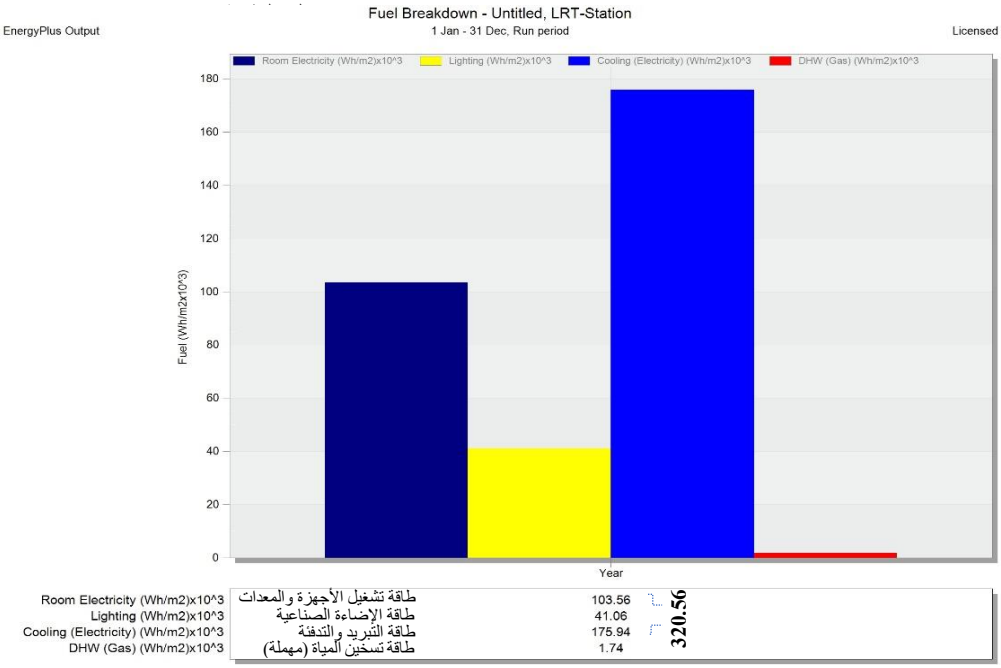
إستراتيجيات الطاقة المتجددة:
لم يتم إستخدامها بشكل موسع وإن كان تم استخدام أعمدة الإنارة المعتمدة على اللوحات الشمسية المفردة أعلاها، وذلك فى مواقف السيارات محيط الموقع العام للمحطة.

4.4.2- دراسة الوضع الحالي للطاقة بمبني المحطة

لرصد معدلات استهلاك الطاقة تم عمل محاكاة وبناء نموذج للمحطة عن طريق النسخة الكاملة من برنامج (DesignBuilder-version 6.1.5.002) والمدعوم بواسطة (EnergyPlus-ver.8.9.0) ومع أخذ بيانات الطقس من محطة الأرصاد لمطار القاهرة (Egyptian Meteorological Authority – Cairo Airport) وكان تحليل استهلاك الطاقة سنويا للمحطة يصل إلى [320.56 (Wh/m2)x10^3] كما في (شكل 33).



شكل 32: نموذج محاكاة لمحطة المستقبل "بواسطة*DesignBuilder* " لتحليل معدلات



شكل 33: كمية الطاقة المستهلكة فى المحطة لبند الإنارة والتبريد خلال العام والتى بلغت [*320.56 (Wh/m2)x10^3*]،وذلك طبقا للمعطيات التى تم تزويدها لبرنامج المحاكاة "بواسطة الباحث".

4.4.3- التصميم المقترح لمبني المحطة

يهدف التصميم المقترح إلي تحسين كفاءة استهلاك الطاقة بالمحطة وذلك فى إطار محاولة تطوير المبني وتحويله الي مبني أخضر. الفكرة التصميمية المقترحة لا تعتمد علي هدم المبني بالكامل بل الإحتفاظ بالنظام الإنشائي والبلاطات وإجراء التعديلات فى الغلاف الخارجي للمبني وأنظمته وتقنياته من خلال تطبيق العديد من الآليات التي تم استنباطها سابقا.
يتناول التصميم المقترح للمبني ثلاث محاور رئيسية وتتمثل فى:

أولا: الحلول والمعالجات المقترحة:

أ-معالجات تصميمية:

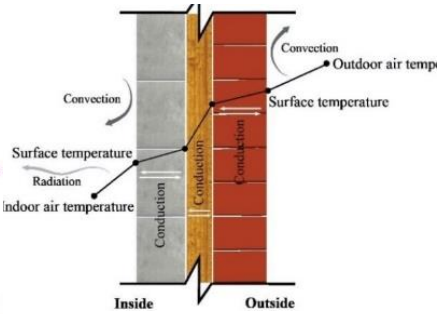
وتشمل المعالجات المقترحة بغلاف المبني (حوائط خارجية، فتحات ونوافذ، وأسقف)

معالجات الحوائط الخارجية: تحويل الحوائط الخارجية إلي حائط مزدوج من الطوب الأسمنتى بسمك 20سم وبينهما فراغ هوائي عازل به ألواح البولسترين العازلة بسمك 5سم والتشطيب من الخارج بطبقة بياض أسمنتى جوتا شيلد بسمك 4سم ومن جهة

الداخل التشطيب بياض أسمنتى ودهان بحدود سمك 2سم، بغرض العزل الجيد للحوائط الخارجية. للتحكم فى إكتساب وفقد الطاقة الحرارية الشمسية وبالتالي تقليل الحمل الحراري للفراغات كما في (شكل 34). [36]

معالجات النوافذ الزجاجية: تم استخدام إطارات ألومنيوم معزولة وبها ألواح من الزجاج المزدوج بسمك 6مللى الشفاف الخارجي منخفض الإنبعاثية Low E وبينهما فراغ بسمك13مللى مملوء بغاز الأرجون الخامل، بغرض عزل جيد للغلاف الخارجي. ليساهم فى تقليل الحرارة وتوفير الإضاءة الطبيعية والتحكم فى شدتها وبالتالي لتوفير الطاقة (شكل 35).[37]

معالجات السطح: تم تغطية سقف المبني بأقبية من ألواح الألومنيوم Alu. Sandwich panel لخفة وزنها على السقف كما فى (شكل 37) بالإضافة لما لها من مميزات كبيرة فى خفض الأحمال الحرارية على الأسقف وخفض درجات الحرارة داخل الفراغات أسفلها مما يقلل أحمال التبريد بالمحطة. كما أن تلك الأقبية أتاحت الفرصة لوجود أنشطة علي سطح المحطة.[38]



شكل *34*: معالجة الحوائط الخارجية. *[36]*

شكل *35*: معالجة زجاج النوافذ. *[37]*

شكل *36*: معالجة السطح بالأقبية الألومنيوم.

ب- **<u>المعالجات التقنية والإدارية:</u>**

لن يتم أخذها فى الإعتبار لأن خطة تشغيل وإدارة المحطة الحالية جيدة من خلال خبراء الشركة الفرنسية المشغلة وتحت إشراف الهيئة القومية للأنفاق.

ج- **<u>توظيف الطـــاقة المتجـــددة:</u>**

تم الإستعانة بالعديد من موارد الطاقة الطبيعية المتجددة فى التصميم المقترح ليخلق تنوع فى مصادر توليد الطاقة والتخلص من الإعتماد الكلي علي مصدر واحد، ولمساهمتها ايضا فى تقليل إنبعاثات الغازات الدفينة المتسببة فى تغير المناخ وبالتالي الحفاظ علي نظامنا البيئي وصحة البشر. وسيطرح عن طريق ثلاث أجزاء (التصميم-النتائج-الأثار الإيجابية).

ج.1- توظيف الطاقة الشمسية:

تم عن طريق تركيب الألواح الشمسية أعلي سطح المبني المقترح (الأقبية الألومنيوم) بحيث يواجة جهة الجنوب كما فى (شكل 37). وتم التركيب فوق أماكن الأرصفة فقط تماشيا مع كافة المحطات المزعم إنشائها، وعلية فأن مساحة الرصيف البالغة (L 120, W 8.2m) تستوعب مصفوفة بعدد (3Row*100Panel) من مقاس اللوح الشمسي ذو ال 72 خلية (L 196, W .99cm, Thick 4cm)

<u>المواصفات الفنية:</u>

- الدراسة ستعتمد على الألواح أحادية البلورة Monocrystalline لأنها الأكثر شيوعا والأعلى كفاءة وعمر إفتراضي40سنة. وسيتم الاعتماد في الحسابات على النوع متوسط القدرة والذى يولد 300Watt .
- أقل مدة سطوع في مصر شتاء بمتوسط 5 ساعات يوميا وذلك طبقا لتقارير الهيئة العامة للاستعلامات كما فى(جدول 6).[39]

<u>حساب كمية الطاقة المتولدة:</u>

الطاقة المتولدة سنويا = متوسط السطوع الشمسي اليومي x قدرة اللوح الواحد x معدل فقد طاقة (0.75 كمعامل أمان تحسبا لأى فقد) x عدد الألواح فوق كل رصيف x عدد الأرصفة x عدد أيام السنة.

Total Solar Energy =5**x**300watts**x**0.75**x**(3x100)x2**x**365=246375000watts=**<u>246.3x10^3Kw</u>**

<u>حساب تكلفة مقترح الطاقة الشمسية:</u>

المقترح يعتمد علي 600 لوح، وعلما بأن سعر اللوح الشمسي محملا عليه باقي متطلبات النظام من منظم ومحول وبطاريات وركائز معدنية وخلافة يصل ل 7000ج[40]، وبذلك تصل تكلفتة إلي 4,200,000ج.

جدول 6:متوسط ساعات السطوع الشمسي. *[39]*

المحطة	المتوسط السنوي للإنتاج المحتمل	المحطة	المتوسط السنوي للإنتاج المحتمل
العريش	5.46	أسيوط	5.99
بورسعيد	5.45	المنيا	5.89
رأس سدر	5.66	الواحات البحرية	5.92
الإسماعيلية	5.55	سيوة	5.7
رشيد	5.38	السلوم	5.43
الإسكندرية	5.45	الخارجة	6.11
العلمين	5.51	الداخلة	6.11
مرسى مطروح	5.35	الفرافرة	6.02
طور سيناء	5.69	نخل	5.57
الغردقة	5.78	أبو رديس	5.7
القصير	5.85	حلوان	5.62
أسوان	6.17	نويبع	5.56
الأقصر	6.06	متوسط عام	5.719

شكل *38*:النمط المقترح للتوربينات جانبي مسار القطار "بواسطة الباحث"

ج.2- توظيف طاقة الرياح:

تم بواسطة إستغلال سرعة الهواء السائدة مع الناتجة عن حركة القطارات وذلك عن طريق تركيب توربينات هوائية رأسية صغيرة علي جانبي مسار القطار قبل وبعد المحطة بمسافة 1 كم لعدد 1000 محور رأسي بمسافة بينية 2م " وذلك لتجنب الفقد في الطاقة الناتج عن التأثير المتبادل بين التوربينات (المردود الأيروديناميكي)، وأيضا لتجنب زيادة الضوضاء الناتجة " ، والمحور يحتوي علي عدد 2 توربينة كما فى (شكل 38).علما بأنه تم إهمال بعض المتغيرات [تغير سرعة الرياح الموسمية، حركة القطارات، ارتفاع التوربينة عن سطح الأرض]، وأن تلك المتغيرات يمكن أن تضاعف قيمة الطاقة المتولدة بنحو 10 أمثال طبقا لأقصى طاقة تولدها التوربينة المستخدمة.

المواصفات الفنية:

- سرعة الرياح بالقاهرة ما بين 4 إلي 5متر/ثانية طبقا لخرائط أطلس الرياح كما في (شكل 39).[41]
- توربينات الهواء مصنعة من خامات خفيفة (Reinforced fiberglass and carbon fiber) بقطر 52سم وارتفاع 130سم، والتي أقصى سرعة للدوران لها هو 13م/ث والتي يتولد عنده طاقة بمقدار 200وات/الساعة، ولكن طبقا لسرعة الرياح الطبيعية فى القاهرة فأنة يولد طاقة بمقدار 20وات/الساعة كما في(شكل 40).[42]

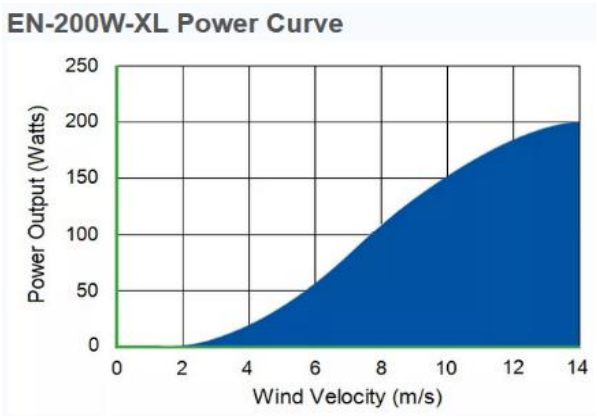
حساب كمية الطاقة المتولدة:

الطاقة المتولدة للمحور الواحد سنويا = عدد التوربينات x الطاقة الناتجة في الساعة عند سرعة الرياح التصميمية x عدد ساعات باليوم x عدد أيام السنة x عدد المحاور الرأسية

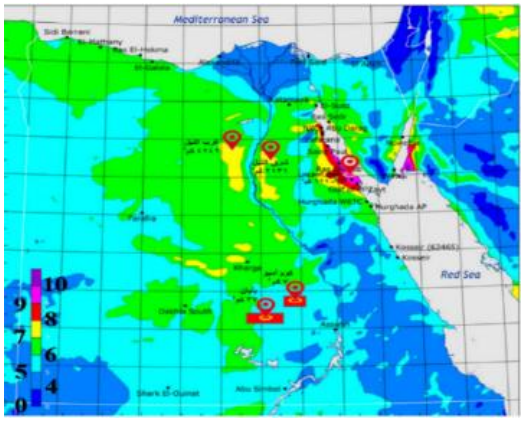
Total Turbine Energy =2**x**20watts**x**24**x**365**x**1000 = **350. 4x10^3Kw**

حساب تكلفة مقترح طاقة الرياح:

المقترح يعتمد علي 1000 محور به 2 توربينة، وعلما بأن سعر المحور محملا علية باقي متطلبات النظام من محول وكابلات وركائز معدنية وخلافة يصل إلي 250دولار[42]،وعلما بأن سعر الدولار فى سبتمبر 2024 يصل إلي 48ج، فبذلك تصل تكلفة المقترح إلي 12,000,000ج.



شكل *40*: التوربينة والطاقة المتولدة طبقا للرياح-المصدر الشركة المصنعة. *[42]*

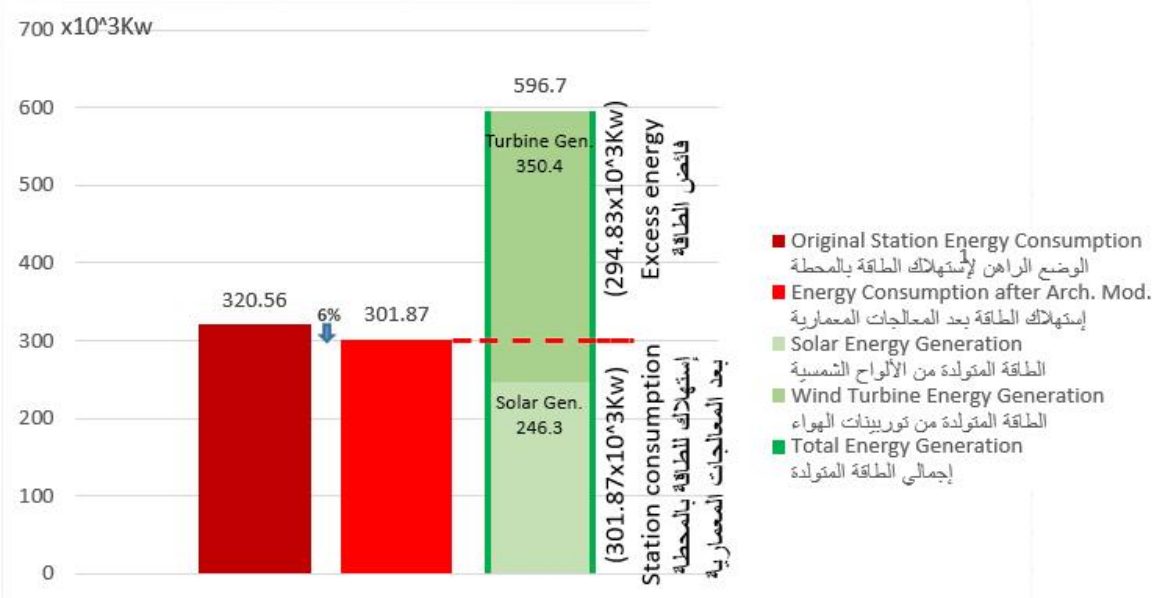


شكل *39*:سرعة الرياح فى مصر-المصدر هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة.

ثانيا: نتائج تحليل التصميم المقترح:

طبقا للحسابات السابق ذكرها فى تصميم مصادر الطاقة المتجددة بالمحطة وكما في (**شكل 41**)، وجد ما يلي:

- بعمل المعالجات المعمارية وجد أنها خفضت إستهلاك الطاقة بنسبة 6% مقارنة بالوضع الحالي للمحطة، ليصل الإستهلاك لمقدار [301.87x10^3Kw].
- تم توليد طاقة من الألواح الشمسية بمقدار [246.3x10^3Kw] وهي يمثل منفردا 82% من إستهلاك المحطة.
- تم توليد طاقة من توربينات الرياح بمقدار [350.4x10^3Kw] وهي تمثل بمفردها قيمة أكبر من إستهلاك المحطة.



شكل *41*: رسم بياني يوضح إستهلاك المحطة من الطاقة، وكم الطاقة المتولدة من الطاقة المتجددة، ومقدار فائض الطاقة الناتجة منها."بواسطة الباحث"

ثالثا:الأثر الايجابي للتصميم المقترح:

**فائض الطاقة:*

طبقا للنتائج أعلاه وجد أن الطاقات المتولدة من مصادر الطاقات المتجددة تزيد عن مقدار الإستهلاك بالمحطة بفائض مقدار [294.83x10^3Kw] كما في (**شكل 41**) ، والذى يمكن أن يصرف لشبكة الكهرباء العمومية.

وفر وعائد مادي:

وطبقا لسعر بيع الكهرباء منذ شهر أغسطس لعام 2024 والموضحة في جهاز تنظيم مرفق الكهرباء وحماية المستهلك التابع لوزارة الكهرباء والطاقة المتجددة (جدول 7)، والمسعر فيها لاستخدام النقل الكهربي لمترو الأنفاق بمتوسط سعر طاقة 160 قرش لكل كيلو وات ساعة، والسعر الحر يصل 234 قرش.[43]

ونظرا للسعي نحو إلغاء الدعم علي الطاقة في القريب العاجل فسيتم أخذ تعريفة السعر البالغة (234قرش)، وبما أن كمية الطاقة المنتجة [569.7x10^3Kw] فإنه تم توفير 1,396,278ج. وبذلك نستطيع أن نغطي التكلفة المبدئية لحلول الطاقة المتجددة البالغة 16,200،000ج خلال 11 عام علي الأكثر.

ويمكن التوسع في تلك المخططات وبخاصة الإعتماد علي أنظمة الطاقة المتجددة بغرض زيادة المردود المالي مع وجود صناعة محلية داعمة لتلك الأنظمة، وبذلك نستطيع استكمال شبكة حديد مصر طبقا لخطة مصر 2030 بوتيرة أسرع مع تخفيف الأعباء عن كاهل الدولة.

جدول 7:تعريفة بيع الكهرباء للجهد الفائق (132-220 ك.ف) من أغسطس 2024." بواسطة الباحث"

المشتركين	سعر البيع (قرش/ك.و.س)
مـــــترو الأنفـــــاق	**110**
السعر الحر لباقي المشتركين	**234**

الحفاظ على البيئة:

وبمعلومية البصمة الكربونية الناتجة عن توليد الوقود كما في(جدول 8)[44] ، وبناء على ما قمنا بتوليده بمقدار 596.7ميجاوات من الطاقة النظيفة، فأننا خفضنا بصمتنا الكربونية خلال العام بمقدار يقارب 196910 جرام مكافئ ثاني أكسيد الكربون لكل كيلووات ساعة، كما بالمعادلة التالية:

Carbon Footprint= [596.7 x (0.45-0.12)]= **196.91x10^3 C02e/kWh**).

في حالة أنه تم الأمداد لنا بنفس المقدار من محطات الكهرباء المدارة بالغاز.

جدول *8*: البصمة الكربونية لغاز ثانى أكسيد الكربون الناتج من عملية توليد 1 كيلو وات ساعة، طبقا لنوع الوقود المستخدم." *[44]* بتصرف الباحث"

Carbon Footprit of Various Fossil Fuels for Production of 1 kWh of Electric Energy

Fule Type	CO2 Footprint (lb/kWh)	CO2 Footprint (Kg/kWh)
Wood	3.306	1.50
Coal-fired plant	2.117	0.96
Gas-fired plant	19.15	8.69
Oil-fired plant	13.14	5.97
Combined-cycle gas	0.992	0.45

Carbon Footprit of Green and Renewable Sources for Production of 1 kWh of Electric Energy

Fule Type	CO2 Footprint (lb/kWh)	CO2 Footprint (Kg/kWh)
Hydroelectric	0.0088	0.00
Photo Voltic	0.2204	0.10
Wind	0.03306	0.02

وعلما بأن امتصاص الشجرة الناضجة لثاني أكسيد الكربون بمعدل 25 كيلو جرام في السنة [45] فكنا سنحتاج سنويا لامتصاص هذا الكم من الكربون ما يقارب 10240 شجرة، كالأتي:

Mature absorbing Trees qty = (256.05 x10^3 /25=**10.24 x10^3 tree**).

النتائـــــــــج:

- يمكن تحسين كفاءة استهلاك الطاقة فى محطات السكة الحديد بالإعتماد علي ثلاث محاور رئيسية تتضمن إجراء معالجات معمارية بغلاف المبني (مثل توفير إضاءة وتهوية طبيعية وعزل جيد للموثرات البيئية) ومعالجات تقنية وإدارية (مثل إستخدام الأنظمة الموفرة للطاقة ورصد وتحليل الإستهلاك والصيانات الدورية) لخفض إستهلاك الطاقة بالمحطة مع الإستعانة بتوظيف مصادر الطاقة المتجددة لتوليد الطاقة الكهربية بالمحطة.
- من خلال تطبيق معايير كفاءة استهلاك الطاقة بأنظمة المباني الخضراء على محطات السكك الحديدية يتضح أن تطبيق كافة معايير أنظمة البناء الأخضر لها مردود إيجابي على محاور الاستدامة البيئية والاجتماعية والاقتصادية
- توظيف موارد الطاقة المتجددة فى محطات السكة الحديد تعمل علي خفض التكاليف والنفقات المالية على المدي الطويل، كما أنها السبيل لحماية البيئة بخفض انبعاثات الكربون.

الخـــلاصـــــة:

العالم يسعي قدما نحو التطور في كل المجالات وبخاصة في مجال النقل، وذلك التطور يستهلك كم هائل من الطاقة بما فية من هدر للموارد وأثر سلبي علي البيئة. وبناء علي التصميم المقترح ونتائجة تم الوصول إلي تحسين إستهلاك الطاقة عن طريق الحلول التصميمية التي توفر إضاءة وتهوية طبيعية تقلل من اللجوء للحلول الميكانيكية المهدرة للطاقة، وايضا الاعتماد على الأجهزة الموفرة للطاقة في وجود إدارة تشغيل ومراقبة وصيانة جيدة، مع زيادة الوعي العام للمستخدمين.
ويلاحظ أن تقليل الإستهلاك ليس هو الحل الوحيد لحل أزمة الطاقة، ولكن الإتجاة نحو الإعتماد الكلي على مصادر الطاقة المتجددة هو الحل الأكثر شمولية وجودة لما به من أثر إيجابي إقتصاديا وبيئيا.
وعلية نحتاج جهود كل المؤسسات فى الدولة لعمل دورها لتطبيق كافة الحلول ومتابعة تطبيقها فى المشاريع القائمة، مع إلزام كافة المشاريع المستجدة بتطبيق إشتراطات نظم المباني الخضراء، مع عمل توطين للصناعات التكنولوجيا (مثل الألواح الشمسية وتوربينات الهواء والبطاريات وخلافة) اللازمة لثورتنا القادمة فى مجال الطاقة بناءا علي مقدراتنا الإقتصادية، وذلك ترسيخا لرؤية مصر 2030 نحو مستقبل أفضل لنا وللأجيال القادمة.

التـــوصـــــيات:

- ضرورة توظيف معايير كفاءة استهلاك الطاقة بأنظمة تقييم المباني الخضراء خلال مرحلة التصميم.
- ضرورة إعادة تصميم كافة محطات السكك الحديد للوصول إلي محطات خضراء فيما يتعلق بمعيار الطاقة
- إتخاذ إجراءات إلزامية للمحطات الجديدة بتطبيق إشتراطات نظم التقييم البيئي (كفاءة استهلاك الطاقة وإيضا إستدامة الموقع، كفاءة استخدام المياه، المواد والموارد، جودة البئية الداخلية،...)
- رفع كفاءة فريق العمل بالمحطات من خلال توفير الدورات التدريبة اللازمة لتقليل إستهلاك الطاقة سنويا
- أهمية إقامة الندوات لطلاب الأقسام المعمارية لنشر الوعي بالأخطار البيئية وترسيخ فكر كفاءة استهلاك الطاقة والإعتماد على الأفكار التصميمية الخضراء.

المـــــــــراجع:

[1] Ahmed Zaky, *Railways Engineering*. 2019. [Online]. Available: https://www.noor-book.com/كتاب-هندسة-السكك-الحديدية-pdf

[2] D. E. M. E. Aya Fekry ElBalshy, "استراتيجيات العمارة الخضراء للوصول إلي مباني صفرية الطاقة," *ERJ Engineering Research Journal-Faculty of Engineering-Menoufia University*, pp. 221–230, 2018. [Online]. Available: https://erjm.journals.ekb.eg/article_66308_9f8c84cbe57a2e6ee2b4dcc11313cd74.pdf

[3] Y. Zhang *et al.*, "A Survey of the Status and Challenges of Green Building Development in Various Countries," pp. 1–29, 2019, doi: 10.3390/su11195385.

[4] (JICA), "MiNTS – MISR NATIONAL TRANSPORT STUDY," 2012. [Online]. Available: http://open_jicareport.jica.go.jp/pdf/12057584.pdf

[5] B. G. de S. Ramani Ayyagari, "Estidama and Pearl Rating Systems: A Comprehensive review and alignment with LCA," *mdpi/journal/sustainability*, 2021, doi: https://doi.org/10.3390/su13095041.

[6] D. A. H. Hussain, "Developing and supporting the application of the Green Pyramid system for evaluating buildings to be facing the effects of climate change," Multi-Theme Hackathon-climate Change Challenges, Egypt, 2022. [Online]. Available: https://www.helwan.edu.eg/ختام-فعاليات-الهاكثون-متعدد-المحاور-و/ف

[7] D. A. M. A. Q. A. M. M. Fawzy, "Enhance Energy Efficiency in Existing Office Buildings As a Sustainable Approach," 2016. [Online]. Available: file:///C:/Users/mohamed.g.heikal/Downloads/57599247.pdf

[8] IEA, "Energy Efficiency." Accessed: May 08, 2024. [Online]. Available: https://www.iea.org/topics/energy-efficiency

[9] A. E. Ehab Okba, "دراسة تحليلية مقارنة لمادة الإنشاء والطاقة فى أنظمة تقييم المباني البيئية والمستدامة.pdf," in *المؤتمر الأول لفرع الرابطة الدولية لمحاكاة أداء المباني في مصر - نحو بيئة مشيدة خضراء ومستدامة*, Cairo, 2013. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/282183663_drast_thlylyt_mqarnt_lmadt_alansha_waltaqt_fy_anzmt_tqyym_almbany_albyyyt_walmstdamt_Analytical_Comparative_Study_for_construction_Material_and_Energy_in_the_evaluation_systems_for_the_environmental_a?enr

[10] HUD-DOT-EPA, "king-street-station-case-study." Accessed: Jun. 13, 2024. [Online]. Available: https://archive.epa.gov/region5/sustainable/web/pdf/king-street-station-case-study.pdf

[11] Allen Brown / Alamy Stock Photo, "King Street Station, Seattle, Washington, USA," Alamy.com. Accessed: Jul. 21, 2024. [Online]. Available: https://www.alamy.com/king-street-station-seattle-washington-usa-image451797787.html?imageid=BB4FE5C7-DB9E-442C-A2C9-962037EE5B46&p=43598&pn=1&searchId=2d292e6b2354b3a604229414ab630fe3&searchtype=0

[12] U. S. G. B. Council, "King Street Station," 2013. [Online]. Available: https://www.usgbc.org/projects/king-street-station-2?view=scorecard

[13] T. S. D. of T. (SDOT), "King Street Station."

[14] Www.seattle.gov, "king-street-station/additional-renovation-details." [Online]. Available: https://www.seattle.gov/transportation/projects-and-programs/programs/transit-program/king-street-station/additional-renovation-details

[15] L. Whitbourn, "All change at London station," NSC2 in Projects and Features. Accessed: Jul. 24, 2024. [Online]. Available: https://www.newsteelconstruction.com/wp/all-change-at-london-station/

[16] W. Contributors, "Blackfriars station," Wikipedia, The Free Encyclopedia. Accessed: Jun. 13, 2024. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Blackfriars_station

[17] BREEAM, "Explore the data behind BREEAM projects-Certified Assessments-Blackfriars." [Online]. Available: https://tools.breeam.com/projects/explore/buildings.jsp?sectionid=0&projectType=&rating=&certNo=&buildingName=Blackfriars&client=&developer=&certBody=&assessor=&location=&countryID=0&partid=10023&Submit

[18] NetworkRail, "New Blackfriars Station." Accessed: Jun. 13, 2024. [Online]. Available: https://www.networkrailconsulting.com/our-capabilities/network-rail-projects/new-blackfriars-station/

[19] "Blackfriars Station," Alamy. [Online]. Available: https://www.alamy.com/stock-video/Blackfriars-Station-UK.html?sortBy=relevant

[20] SOM, "Denver Union Station." [Online]. Available: https://www.som.com/projects/denver-union-station-hub-transit-oriented-development/

[21] R. Rail, "RTD Rail & Flatiron Flyer Map," Greater Denver Transit. Accessed: Jul. 17, 2024. [Online]. Available: https://www.greaterdenvertransit.com/rtdrailmap/

[22] DENVERUNIONSTATION, "denver union station," Union Station. Accessed: Jul. 17, 2024. [Online]. Available: https://www.denverunionstation.com/

[23] A. K. P. H. COA, "Denver union station , case study," issuu. Accessed: Jul. 25, 2024. [Online]. Available: https://issuu.com/buildingconstruction001/docs/denver_union_station_casestudy_

[24] U. S. G. B. Council, "Denver Union Station Transit Center," 2014. [Online]. Available: https://www.usgbc.org/projects/denver-union-station-transit-center

[25] "Denver union station," Alamy. Accessed: Aug. 10, 2024. [Online]. Available: https://www.alamy.com/stock-video/denver-union-station-high-view.html?sortBy=relevant

[26] "Denver Union Station," denverinfill. Accessed: Aug. 12, 2024. [Online]. Available: https://denverinfill.com/2010/05/union-station-plan-bus-terminal.html

[27] "Denver Union Station," Mass Transit. Accessed: Aug. 14, 2024. [Online]. Available: https://www.masstransitmag.com/rail/press-release/12020408/regional-transportation-district-rtd-denver-union-station-bus-concourse-awarded-prestigious-leed-green-building-certification

[28] Z. H. Architects, "King Abdullah Financial District (KAFD) Metro Station." Accessed: May 07, 2024. [Online]. Available: https://www.zaha-hadid.com/architecture/king-abdullah-financial-district-metro-station/#

[29] KSA, "King Abdulaziz Project for Riyadh Public Transport," Royal Commission for Riyadh city. Accessed: Jul. 28, 2024. [Online]. Available: https://www.rcrc.gov.sa/ar/projects/public-transport-project-riyadh

[30] U. S. G. B. Council, "KAFD Metro Station." [Online]. Available: https://www.usgbc.org/projects/kafd-metro-station?view=scorecard

[31] I. Paparo and M. Overend, "Performance - based material selection and design for freeform building envelopes," 2015. [Online]. Available: https://www.gft.eng.cam.ac.uk/system/files/documents/Advanced_Building_Skins_2015_Paparo_Overend_Micoli.pdf

[32] R. Warrier, "Saudi Arabia's KAFD obtains LEED Platinum certification from USGBC," Construction Week. [Online]. Available: https://www.constructionweekonline.com/products-services/270141-saudi-arabias-kafd-obtains-leed-platinum-certification-from-usgbc

[33] N.-N. A. for Tunnels, "Execution Projects (10th of Ramadan LRT-Light Rail Transit)." Accessed: May 07, 2024. [Online]. Available: http://www.nat.gov.eg/LocationActivityAr.aspx?id=2118

[34] Creec, "10th of Ramadan LRT," AVIC INTL. Accessed: Jul. 23, 2024. [Online]. Available: https://www.facebook.com/share/p/TL8KTsw5KxDhEUjQ/?mibextid=oFDknk

[35] R. D. M. C. (RDMC), "mobilitycairo." Accessed: Jul. 19, 2024. [Online]. Available: https://www.mobilitycairo.com/travel-information/maps

[36] N. Jannat, "A Comparative Simulation Study of the Thermal Performances of the Building Envelope Wall Materials in the Tropics," *MDPI*, 2020, doi: 10.3390/su12124892.

[37] "Double Glazing," Chevron Glass. Accessed: Aug. 15, 2024. [Online]. Available: https://www.chevronglass.com.au/products/insulated-glass-units/

[38] "Aluminum composite panel," alucobond. Accessed: Aug. 15, 2024. [Online]. Available: https://alucobond.com.sg/download/product-information/

[39] GEO-CRADLE, *Solar Atlas of Egypt*. 2020. doi: 10.5676/EUM_SAF_CM/SARAH/V001.

[40] D. El Hamshary, "Solar Panels pricing at Egypt 2024," Attaqa. Accessed: Sep. 17, 2024. [Online]. Available: https://attaqa.net/2024/01/04/2024-أسعار-ألواح-الطاقة-الشمسية-في-مصر/

[41] NREA, "Wind Energy-Atlas," New and Renewable energy Authority. Accessed: Jul. 23, 2024. [Online]. Available: http://www.nrea.gov.eg/Technology/WindAtlas

[42] Engelecenergy, "EN-200W-XL Spiral blades vertical axis small wind turbine generator VAWT."

[Online]. Available: http://jprnrwxhplmn5p.ldycdn.com/EN-200W-XL+DATA+SHEET-aidiiBqmKqkSRlpmnnkmql.pdf

[43] EgyptERA, "Electricity Tariff Starting," Egyption Electric Utility and Consumer Protection. Accessed: Jul. 23, 2024. [Online]. Available: https://egyptera.org/ar/Tarrif2024N.aspx

[44] Chegg, "arbon footprint of fossil fuels of production of 1kwh of electric energy." Accessed: Jul. 08, 2024. [Online]. Available: https://www.chegg.com/homework-help/questions-and-answers/one-year-operation-using-data-given-calculate-carbon-footprint-500w-bulb-coal-used-produce-q44629169

[45] "How much CO2 does a tree absorb?," ecotree. Accessed: Dec. 09, 2023. [Online]. Available: https://ecotree.green/en/how-much-co2-does-a-tree-absorb