

التطورات والآفاق المستقبلية في تكنولوجيا حصاد طاقة الأمواج

د. زهرة علي جبريل^{1*}، يوسف علي سالم الذواوي²، د. عماد عمر عبدالله³.

¹ الفيزياء، كلية العلوم، جامعة صبراتة، صبراتة، ليبيا.

² الهندسة البحرية، المعهد العالي لتقنيات وعلوم البحار، صبراتة، ليبيا.

³ العلوم، كلية العلوم، جامعة صبراتة، صبراتة، ليبيا.

* البريد الإلكتروني للباحث المرجعي (د. زهرة علي جبريل): zahra.gebrel@sabu.edu.ly

الملخص

يبدو أن طاقة الأمواج هي واحدة من أكثر الموارد الطاقات المتجددة الواعدة. ومن المتوقع أنها ستخضع لنمو كبير في العقود القادمة بمجرد أن تصبح تكنولوجيا محولات طاقة الأمواج أكثر نضجاً وتطوراً. لذلك تحظى طاقة الأمواج باهتمام ودعم متزايدين كمورد متجدد واعد ليحل محل جزء من إمدادات الطاقة. ولا يزال قطاع الطاقة المتجددة البحرية في حوض البحر الأبيض المتوسط في بدايته. ويعتمد تطوره على سلسلة من التحديات والعقبات التي يجب التغلب عليها. كما أن نقص الخبرة العملية وقلة الدراسات التي تركز على التأثيرات المحتملة في الحوض تجعل البحر الأبيض المتوسط منطقة غير مستكشفة فيما يتعلق بقطاع الطاقة المتجددة البحرية. وعلى الرغم من وجود العديد من الأبحاث والدراسات حول تكنولوجيا طاقة الأمواج، إلا أنه لا زال هناك العديد من الدراسات التي تجرى يوميا على طاقة الأمواج والتكنولوجيا الملائمة لها، وتقدم هذه الورقة البحثية مشهد طاقة الأمواج من منظور تكنولوجي ومتابعة الدراسات والأبحاث المتعلقة بتطوير تكنولوجيات عملها. حيث تم إجراء مسح شامل للوضع الحالي لتكنولوجيا طاقة الأمواج على مستوى العالم؛ وتصنيف أجهزة طاقة الأمواج ومقارنة مزايا وعيوب أنواع مختلفة من هذه الأجهزة؛ وتحليل الصعوبات والتحديات التقنية. بدءاً من توصيف أهم الأجهزة المستخدمة وتوضيح الأماكن الأكثر ملاءمة لاستغلالها، وتصنيف الأنواع المختلفة من محولات طاقة الأمواج وفقاً لعدة سمات. وعلاوة على ذلك، تقدم رؤى

حول المسار المستقبلي لتكنولوجيا حصاد طاقة الأمواج أخيراً.. بينما نقدم أيضاً رؤى حول مسار التطوير المستقبلي لتكنولوجيا حصاد طاقة الأمواج

الكلمات المفتاحية: طاقة الأمواج البحرية، **OWC**، تكنولوجيا طاقة الأمواج؛ التطوير والاستخدام لطاقة البحرية، الطاقات المتجددة. محولات طاقة الامواج.

Advances and future prospects in wave energy harvesting technology

ABSTRACT

Renewable energy harvesting is one of the most attractions for scientists and researchers today. Wave energy appears to be one of the most promising renewable energy resources. It is expected to undergo significant growth in the coming decades. The offshore renewable energy sector in the Mediterranean Basin is still in its infancy. Its development depends on a series of challenges and obstacles that must be overcome. The lack of research and the scarcity of studies focusing on the potential impacts in the basin make the Mediterranean an unexplored area for the offshore renewable energy sector. Although there are many researches and studies on wave energy technology, there are still many studies being conducted daily on wave energy and the appropriate technology for it. Once wave energy converter technology becomes more developed and advanced In this paper, Firstly a comprehensive survey of the current situation of wave energy technology in global has been given; Secondly, sorting of wave energy devices and comparing the advantages and disadvantages of various types of devices have been combed and the technical difficulties and challenges have been analysed this review examines the wave energy landscape from a technological, research.

Keywords: Wave energy converters, sea waves, wave energy. Wave energy, wave energy technology; marine energy development and utilization, renewable energies, wave energy, wave energy converters

1. المقدمة

تزايد الأبحاث حول مصادر الطاقة المتجددة بسبب الوقود الأحفوري المحدود الذي يلبي نسبة كبيرة من احتياجات الطاقة ويؤدي إلى مشاكل بيئية كبيرة. أصبحت مصادر الطاقة المتجددة حلاً بارزاً وبديلة للوقود الأحفوري. من بين هذه المصادر للطاقة المتجددة، تظهر طاقة الأمواج كمصدر بديل للطاقة لسد الطلب المتزايد على الطاقة، كونها مورداً غير مستغل نسبياً، حيث يتراوح مورد الأمواج العالمي في نطاق 1-10 تيراوات [1]. ومع ذلك، فإن التقدير العالمي الدقيق لطاقة الأمواج القابلة للاستخراج مازال تحت البحث والدراسة. و يمكن الاستفادة من طاقة الامواج عندما يتم تحويل الطاقة الحركية و المرتبطة بموجة البحر المتحركة إلى طاقة ميكانيكية أو كهربائية قابلة للاستخدام بواسطة آلات تسمى محولات طاقة الأمواج (WECs) (Wave energy converters) [2]

عادة يتم استخدامها عندما يغير المحول تقلب الأمواج إلى دوران توربين دافع، متصل بمولد لتوليد الكهرباء. وعلى الرغم من أن المفهوم الأول لاستخدام طاقة الأمواج قد تم اقتراحه في أواخر القرن الثامن عشر إلا أنه لم يتم إجراء المزيد من الأبحاث العلمية على نطاق عالمي حتى سبعينيات القرن العشرين حيث نمت تكنولوجيا طاقة الأمواج بسرعة. تتميز طاقة الأمواج بمواردها الكبيرة الغير مستغلة من الطاقة. ومن أبرز اسباب عدم استغلالها هو أن تكنولوجيا محول طاقة الأمواج لا تزال في مرحلة البحث والتطوير. مما يعني أن طاقة الأمواج لا تزال لديها طريق طويل لتقطعه. ومع ذلك، مع الطلب على الطاقة النظيفة والمتجددة المتزايد بسرعة وإجراء المزيد من التجارب المبتكرة، لا تزال تكنولوجيا طاقة الأمواج تتمتع بمستقبل مشرق في مواجهة هذه الظروف المواتية. بالمقارنة مع الموارد الطاقات المتجددة الأخرى، وخاصة الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، فإن مزايا طاقة الأمواج متعددة وأبرزها [3-4]:

- تتميز طاقة الأمواج بكثافة طاقة عالية، أكثر من 10 أضعاف طاقة الرياح والطاقة الشمسية.
- تتمتع طاقة الأمواج بتوافر عالٍ، يصل إلى 90٪، في حين أن توافر طاقة الرياح والطاقة الشمسية يتراوح عمومًا بين 20 و30٪.
- تستخدم أجهزة طاقة الأمواج مساحة صغيرة من الأرض عند مقارنتها بمزارع الطاقة الشمسية وطاقة الرياح.
- ترك محولات طاقة الأمواج الماء في حالة هادئة بعد استخراج الطاقة وبالتالي لا تنتج أي تلوث أو منتجات ثانوية.

تم نشر العديد من الكتب [5 - 6] وأوراق المؤتمرات / المجلات [7 - 8] والتقارير [9 - 10] التي تحدد المبادئ الأساسية والتقدم المحرز في تطوير WECS في جميع أنحاء العالم. كما ساهمت هذه التقارير في تقديم دعم معلوماتي قيم عن WECS للمشاريع الأخيرة. يتم الآن نشر نشرات منتظمة [11] لتسليط الضوء على البحث والتطوير (R&D) والسياسات الحكومية ونشر الأجهزة والمشاريع في البلدان الأعضاء في OES منذ عام 2010. تُظهر هذه المراجعات والنشرات أنه تم تطوير مجموعة واسعة من WECS حتى الآن. علاوة على ذلك، تم تسجيل أكثر من 1000 تقنية لتحويل طاقة الأمواج براءات اختراع في اليابان وأمريكا الشمالية وأوروبا. ولا يزال

العدد يتزايد بشكل كبير (راجع [2] لقائمة براءات اختراع WEC المختارة). بالرغم من وجود العديد من الأبحاث والدراسات حول تكنولوجيا طاقة الأمواج، إلا أنه لا يزال هناك العديد من الدراسات التي تجرى يوميا على طاقة الأمواج والتكنولوجيا الملائمة لها [6-7] وهناك طرق عديدة يمكن بموجبها تصنيف التكنولوجيات المستخدمة لتحويل طاقة الأمواج، من خلال الطريقة التي يتم بها تحويل طاقة الأمواج إلى طاقة ميكانيكية، أو عن طريق التكنولوجيا المستخدمة. في هذا البحث الموجز، سنستعرض ثلاث نماذج من المحولات التي تحتل المرتبة الأولى من حيث الانتشار. في القرن الحادي والعشرين، خطت تكنولوجيا طاقة الأمواج خطوة تدرجية نحو النضج. وقد نما الاهتمام الدولي الهائل بتكنولوجيا طاقة الأمواج منذ عام 2000.

2. مراحل تطور تكنولوجيا توليد الكهرباء من طاقة الأمواج

2.1 المراحل المبكرة:

2.1.1 الستينيات: بدأت الأبحاث حول تحويل طاقة الأمواج إلى كهرباء، مع التركيز على استخدام الأجهزة الطافية.

2.1.2 السبعينيات: تم تطوير أولى النماذج التجريبية لأنظمة الطفو، مثل مشروع "NEPTUNE" في الولايات المتحدة

2.1.3 الثمانينيات: بدأت الدراسات حول استخدام أنظمة الضغط الهيدروديناميكي لتحويل طاقة الأمواج

2.2 المراحل التطويرية :

2.2.1 التسعينيات: تم تطوير تقنيات جديدة مثل أنظمة الاهتزاز والأنظمة الهيدروليكية .

2.2.2 الألفية الجديدة (2000): (بدأت مشاريع تجريبية كبيرة مثل مشروع "Pelamis" في اسكتلندا ومشروع "Wave Dragon" في الدنمارك.

2.2.3 في 2010 تم تطوير تقنيات أكثر كفاءة مثل أنظمة الطفو ذات الأجهزة المتعددة.

2.3 المراحل الحديثة :

2.3.1 مرحلة التطوير التجاري : في 2020 بدأت مرحلة التطوير التجاري لتكنولوجيا طاقة

الأمواج، مع مشاريع تنفيديه مثل مشروع "MegaRoller" في البرتغال .

2.3.2 التكامل مع تقنيات أخرى: بدأت الأبحاث حول دمج تكنولوجيا طاقة الأمواج مع تقنيات أخرى مثل الطاقة الشمسية والرياح.

2.3.3 تحسين الكفاءة والتصميم: مستمرة الأبحاث لتحسين كفاءة التحويل وتصميم الأجهزة أكثر كفاءة وقل تكلفة.

2.4 التطورات المستقبلية:

2.4.1 تكنولوجيا الذكاء الاصطناعي: تطبيق الذكاء الاصطناعي لتحسين كفاءة التحويل وتقليل التكلفة.

2.4.2 المواد المتقدمة: استخدام مواد متقدمة لتحسين أداء الأجهزة .

2.4.3 التصميمات المبتكرة: تطوير تصاميم جديدة ومبتكرة لتحسين كفاءة التحويل .

2.4.4 التكامل مع الشبكات الكهربائية: دمج تكنولوجيا طاقة الأمواج مع الشبكات الكهربائية

التقليدية. هذه المراحل تعكس التطور المستمر لتكنولوجيا توليد الطاقة الكهربائية من

الأمواج، من الأبحاث المبكرة إلى التطوير التجاري والتحسين المستمر

3. طاقة الموجة Wave energy

تبدأ الموجات المولدة بواسطة الرياح في التطور عند سرعات رياح تبلغ حوالي (1m/s) على السطح، حيث تتحول طاقة الرياح جزئياً إلى طاقة موجة عن طريق القص السطحي (surface shear) . تعتمد صياغة انتشار الموجات على دراسة (D'Alembert) الذي قدم أول معادلة موجة خطية. وتم تطوير نظرية جديدة وهي نظرية الموجة الكونويدية (theory the Cnoidal) لوصف موجات المياه الضحلة بدقة. نظرية الموجة الخطية هي النظرية الأساسية لموجات سطح البحر. وفقاً لهذه النظرية، يمكن تحديد قوة الموجة من خلال ارتفاع الموجة وطول الموجة وكثافة الماء. يمكن وصف ذلك رياضياً على النحو التالي [7-11].

$$P = \frac{\rho g}{64\pi} h^2 T \dots (1)$$

حيث P هو تدفق طاقة الموجة لكل وحدة طول قمة الموجة (kW/m)

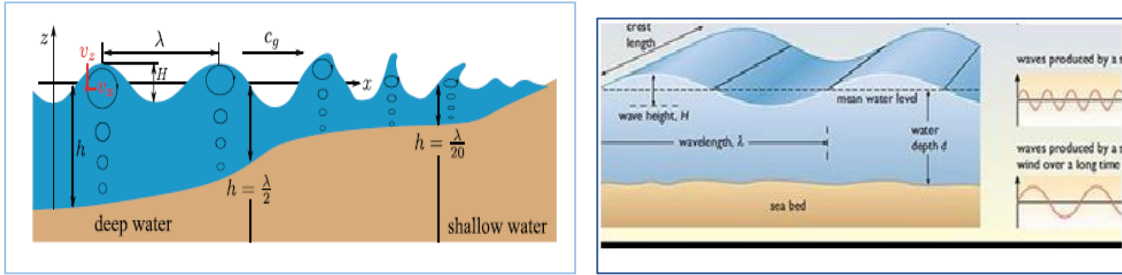
ρ هي كثافة كتلة الماء (kg/m^3)

؛ g هو تسارع الجاذبية (m/s^2)

؛ h هو ارتفاع الموجة (m)؛ T هي فترة الموجة (s).

تنتج طاقة الأمواج عندما تنزلق الرياح فوق سطح المحيط وتسبب تقلبات في الأمواج. في الواقع، تأتي هذه الطاقة من الطاقة الحركية للرياح، نتيجة لتحويل الطاقة. تتضمن طاقة الأمواج الطاقة الحركية الناتجة عن حركة الماء والطاقة الكامنة الناتجة عن فرق الارتفاع بالنسبة لمستوى سطح

البحر عندما ينزاح الماء. يتم تحويل طاقة الأمواج إلى كهرباء بواسطة محول طاقة الأمواج (WEC). وعادةً ما يتم استخدامها عندما يغير المحول تقلب الأمواج إلى دوران توربين دافع، متصل بمولد لتوليد الكهرباء. وعادةً ما يتم وصف طاقة الموجة (أو تدفق طاقة الموجة) بأنها الطاقة المنقولة لكل طول موجة، في مستوى عرض B ، عموديًا على اتجاه انتشار الموجة، [8-12] كما هو موضح بالشكل (1).



الشكل (1): يوضح نموذج الموجة

(2)..... تعتبر المياه ضحلة عندما $h_{\text{depth}} \leq \frac{\lambda}{2}$

(3)..... في حين أن مياه عميقة تكون $h_{\text{depth}} \geq \frac{\lambda}{2}$

ويمكن تقدير القدرة P (بالكيلووات لكل متر) لكل وحدة عرض لواجهة الموجة، من خلال

الصيغة التجريبية التالية [9]:

$$(4)..... P = 0.5H^2t$$

حيث H هو ارتفاع الموجة و t إلى الزمن الدوري الموجة .

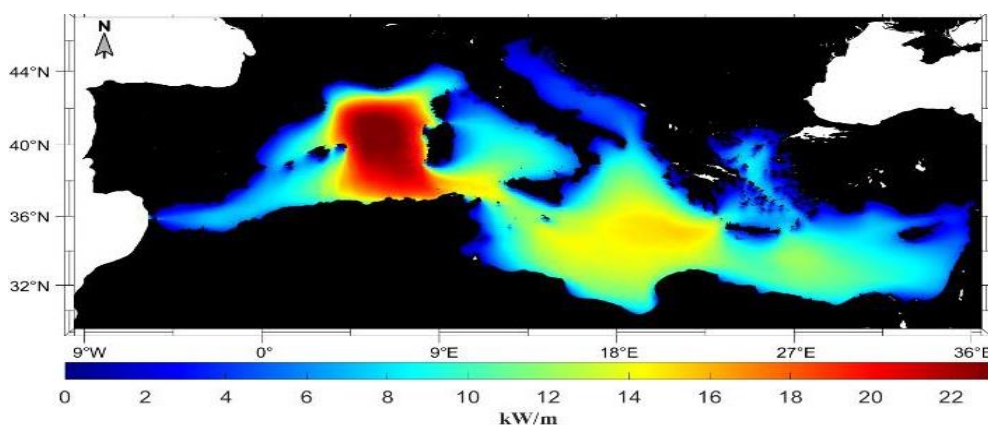
4. كفاءة محول طاقة الموجة

يمكن تعريف محول طاقة الموجة بأنه جهاز يحول إجمالي الطاقة (الطاقة الكامنة + الطاقة الحركية) المرتبطة بالحركة النسبية للموجات إلى طاقة ميكانيكية أو كهربائية مفيدة. تم تطوير محولات طاقة الموجة لالتقاط الطاقة من الشاطئ إلى أعماق البحر. على الرغم من أن الأمواج الأكبر حجمًا تكون أكثر قوة، فإن العوامل الرئيسية التي تحدد طاقة الموجة هي سرعة الموجة وطول الموجة وكثافة الماء. يمكن استخراج أقصى قدر من الطاقة المتجددة من الأمواج (حتى 95%) في منطقة بين سطح الماء و $(L/4)$ ، حيث L هو الطول الموجي. يمكن حساب كفاءة الطاقة كنسبة مستوى الطاقة المنتجة وطاقة الموجة الواردة المتاحة عند مدخل النظام [9-10]

$$(5)..... \eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}}$$

5. تدفق طاقة الأمواج في حوض البحر الأبيض المتوسط

لا يزال قطاع الطاقة المتجددة البحرية في حوض البحر الأبيض المتوسط في بدايته. ويعتمد تطوره على سلسلة من التحديات والعقبات التي يجب التغلب عليها. كما أن نقص الخبرة العملية و قلة الدراسات التي تركز على التأثيرات المحتملة في الحوض تجعل البحر الأبيض المتوسط منطقة غير مستكشفة فيما يتعلق بقطاع الطاقة المتجددة البحرية بوضوح الشكل (2) التوزيع المكاني لمتوسط تدفق طاقة الأمواج السنوي في البحر الأبيض المتوسط، للفترة 1993 – 2022 خلال شهر ديسمبر [13]. وقد تم رصد أعلى القيم (بفارق كبير) قبالة سواحل خليج ليون حتى سواحل الجزائر. بالإضافة إلى ذلك، فإن المناطق الساحلية الجنوبية لأجزاء من وسط البحر الأبيض المتوسط، و بحر إيجه المركزي، والمضايق بين جزيرة كريت وبيلوبونيز، و جزيرة كريت وجزيرة كارباثوس، و بين جزيرة صقلية وأفريقيا، تظهر أيضًا قيمًا متزايدة فيما يتعلق بمتوسط تدفق طاقة الأمواج السنوي (يتراوح من 6 إلى 10 كيلو وات/م).



الشكل (2): متوسط تدفق طاقة الأمواج خلال (2022-1993) السنوي في البحر الأبيض المتوسط خلال ديسمبر [13].

6. تكنولوجيا مولدات طاقة الأمواج : Wave energy generator technology

من الضروري إجراء دراسة أولية لطبيعة الأمواج في المنطقة المحددة لموقع النظام. يتم نشر WEC الملائم بين العديد من الأنواع الموجودة وفقًا لخصائص الموجة والظروف البيئية. تتكون تكنولوجيات مولدات طاقة الأمواج من عدد من المكونات : [11-12]

- الهيكل والمحرك الرئيسي الذي يلتقط الطاقة من الموجة.
- القاعدة أو الأساس التي تعمل على تثبيت الهيكل والمحرك الأساسي في المكان والمحافظة عليه.

- نظام الإقلاع (PTO) وهو النظام الذي يتم من خلاله تحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية.

- منظومة التحكم و الحماية لتأمين حماية المحولة وتحسين الأداء في ظروف التشغيل المختلفة. ويتم تصنيف أجهزة الأمواج حسب موقع نشرها وطريقة التقاط طاقة الأمواج وحسب أنظمة إقلاع الطاقة [13]. المواقع هي على الشاطئ، وقريبة من الشاطئ، وبعيدة عن الشاطئ. تشترك جميع طرق الالتقاط في نفس مبدأ استشعار حركة الموجة ولكنها تختلف من وجهة نظر التكنولوجيا والتركيب. يمكن أن تكون الأنظمة المطبقة ثابتة أو مغمورة أو عائمة. بالإضافة إلى ذلك، يمكن استخدام الأنظمة كمولدات مستقلة أو كجزء من كاسرات الأمواج أو البنية التحتية للميناء و هناك طرق عديدة يمكن بموجبها تصنيف التكنولوجيات المستخدمة لتحويل طاقة الأمواج ، من خلال الطريقة التي يتم بها تحويل طاقة الأمواج إلى طاقة ميكانيكية، أو عن طريق التكنولوجيا المستخدمة.

7. طرق تصنيف محولات طاقة الامواج

Classifications of wave energy converters wec's

تصنف محولات طاقة الموجة بشكل عام حسب الطريقة التي تستخدمها لالتقاط طاقة الموجة، والموقع الذي يمكن تثبيتها فيه ونظام أخذ الطاقة الذي تستخدمه. وعلى أساس المواقع، فهي على الشاطئ، وبالقرب من الشاطئ، وفي عرض البحر. والأنواع الرئيسية لأنظمة أخذ الطاقة المستخدمة هي المحولات الهيدروليكية، والتوربينات الهيدروليكية، والتوربينات الهوائية، وأنظمة الدفع الميكانيكي المباشر، وأنظمة الدفع الكهربائي المباشر. واستنادًا إلى التكنولوجيا، يمكن تصنيف محولات طاقة الموجة على أنها عوامات امتصاص نقطية، ومخففات سطحية، وأعمدة مياه متذبذبة، وأجهزة تغلو الموجة. واستنادًا إلى طريقة امتصاص الطاقة فيما يتعلق باتجاه الموجة، تصنف محولات طاقة الموجة على أنها مخففات، ومنهيات، وأجهزة امتصاص نقطية. واستنادًا إلى طريقة التشغيل، يمكن تصنيفها على أنها عمود مائي متذبذب. وهنا نلخص أهم تصنيفات وفقًا للمعايير التالية :

7.1 وفقًا لموقع التركيب : على اليابسة بالقرب من الشاطئ، وبعيدا عن الشاطئ ،وعلى مقربة من

الشاطئ في عرض البحر. [14]

7.2 وفقاً لنظام التقاط الطاقة wave energy converters by power-take-off mechanism على أساس التوربينات (قد يكون السائل المحرك عبارة عن ماء أو زيت أو هواء)، وأنظمة تعتمد على آلية الحركة (خطية أو دورانية). يمكن تقسيم مولدات طاقة الموجة حالياً إلى ثلاث فئات، توليد الطاقة الهيدروليكية وتوليد الطاقة التوربينية (توربينات مائية / توربينات هوائية) وتوليد الطاقة الخطية ذات الدفع المباشر [15].

7.3- وفقاً لمبدأ التشغيل (آلية إقلاع الطاقة) على أساس أجهزة الرفع، وأعمدة المياه المتذبذبة، والأجسام المنشطة بالموجات [16]

7.1 تصنيفات محولات طاقة الأمواج بالنسبة للمواقع

هناك طرق مختلفة لتصنيف محولات طاقة الأمواج. بعضها يعتمد على موقع الجهاز.

7.1.1 أجهزة الشاطئ Shoreline Devices:

هذه الأجهزة موجودة على الساحل. تتمثل مزايا هذه الأجهزة في أنها سهلة التركيب والصيانة. يجب تركيبها في النقاط الساخنة لتوليد طاقة أفضل. يقتصر تنفيذ هذه الأجهزة على جيولوجيا الشاطئ، ونطاق المد والجزر، والحفاظ على المناظر الساحلية، وما إلى ذلك. ومن الأمثلة على ذلك، عمود الماء المتذبذب.

7.1.2 أجهزة بالقرب من الشاطئ Near shore Devices:

يتم تثبيت هذه الأجهزة في أعماق مياه تصل إلى 20 متراً من الشاطئ، في غضون كيلومتر واحد من الشاطئ. يتم نقل الطاقة المولدة إلى الشبكة على الشاطئ من خلال الكابلات الكهربائية. ومن الأمثلة على ذلك، ارتفاع المياه المتذبذب Oscillating Water Surge, Osprey, Wave star.

7.1.3 - الأجهزة البحرية Off Shore Devices:

تتعرض هذه الأجهزة لأنظمة أمواج أقوى وتوجد على عمق يزيد عن 40 متراً في المياه العميقة. ومن الأمثلة على ذلك، Archimedes Wave Swing (AWS)، وPelamis، وSalter Duck، وWave Penguin، وDragon.

7.2 . تصنيف محولات طاقة الموجة حسب أبعاد الجهاز واتجاهه:

Based on the mode of absorption of energy with respect to the wave direction

بناءً على طريقة امتصاص الطاقة بالنسبة لاتجاه الموجة واستناداً إلى طريقة امتصاص الطاقة فيما يتعلق باتجاه الموجة، تصنف محولات طاقة الموجة على أنها مخففات، ومنهيات، وأجهزة امتصاص نقطية.

7.2.1 المُنهيّات Terminators: المحور الرئيسي موازي للموجة الواردة. ويكون طول الجهاز بنفس ترتيب الحجم (أو أكبر) من طول الموجة. ي محولات طاقة أمواج تستخدم الاختلافات في الطاقة الكامنة لإنتاج الطاقة. تعيد هذه الأجهزة إنشاء حركة أمواج مماثلة لتلك الموجودة على الشاطئ. تحتوي هذه الهياكل على أذرع عائمة ممتدة تركز على الأمواج، من أجل زيادة الارتفاع. ثم يتم توجيه الأمواج نحو شاطئ [15-17].

7.2.2 المُنخففات Attenuators: هي محولات طاقة موجية وعادة ما يكون بنفس أبعاد المُنهيّات والتي يتم محاذاها بالتوازي مع اتجاه انتشار الموجة. يعتمد هذا النوع على ثني المفاصل بين الوحدات المعيارية لتوليد الطاقة.

7.2.3 الممتصات النقطية Point Absorbers: المحور الرئيسي عمودي على سطح البحر. يعتبر الممتص النقطي جهازاً صغيراً عند مقارنة أبعاده بطول موجة الموجات الواردة. وعند مقارنة أبعاد الجهاز، يكون البعد الرأسي أكبر كثيراً من البعد الأفقي للهيكل. ورغم أن الممتصات النقطية تختلف في الأساس الهيكلي، فإن منظر معظمها من السطح يشبه العوامة النموذجية. ورغم أنها تمتص الطاقة من جميع الاتجاهات من خلال حركتها، فإن معظم هذه الأجهزة تستخدم حركة رفع الأمواج لتوليد الطاقة. ويمكن أن تكون هياكل عائمة أو هياكل مغمورة. ولا يعد اتجاه الموجة مهماً لهذه الأجهزة نظراً لصغر حجمها.

جدول (1) ايجابيات وسلبيات توليد طاقة الأمواج على اليابسة وفي البحر.

الموقع Location	النوع Type	المميزات Features	العيوب Disadvantages	ابرز الاجهزة المستخدم Devices used
على الشاطئ	Shoreline Devices هذه الأجهزة موجودة على الساحل	<ul style="list-style-type: none"> سهولة التركيب والصيانة تحويل الطاقة على الأرض عدم وجود خسائر في الطاقة بسبب المقاومة الكهربائية عدم وجود كابلات نقل باهظة الثمن تحت الماء مخاطر منخفضة للتلف والتدمير إمكانية الجمع مع كاسرات الأمواج 	<ul style="list-style-type: none"> انخفاض كثافة طاقة الأمواج بسبب الاحتكاك الشديد مع قاع البحر احتلال الشاطئ للتأثيرات على النظام البيئي 	عمود الماء المتذبذب، وللمبيت، Oscillating Water Column
الأجهزة البحرية	Off Shore Devices هذه الأجهزة موجودة في البحر	<ul style="list-style-type: none"> كثافة طاقة عالية للأمواج لا يوجد أي تأثير يذكر على النظام البيئي لا يوجد احتلال للشاطئ مزيج محتمل مع مزارع الرياح البحرية 	<ul style="list-style-type: none"> تكاليف التركيب والصيانة باهظة الثمن كابلات تحت الماء باهظة الثمن تحويل معقد للطاقة تحت الماء ظروف صعبة ومخاطر عالية للتلف والتدمير خسائر الطاقة بسبب المقاومة الكهربائية 	Archimedes Wave Swing Attenuator ((AWS)، المخفف

7.3 هناك مستوى عال من النشاط في مجال أبحاث طاقة الأمواج. تم تحديد 147 جهازًا فرديًا لتوليد الطاقة من الأمواج في مراحل مختلفة من التطوير تعمل باستخدام مبادئ مختلفة جدًا. يهيمن على القطاع حاليًا أجهزة توليد الطاقة من الأمواج من النوع الممتص للنقاط (46%~ WECS)، تليها أجهزة توليد الطاقة من الأمواج المتذبذبة من النوع المحول للموجات المتذبذبة **oscillating** ((wave surge converter type WECS (~16% المتذبذبة من النوع العمودي المائي) (15%~) **oscillating water column type** [18]. [WECS].

- وفقًا لمبدأ التشغيل (آلية إقلاع الطاقة) على أساس أجهزة الرفع، وأعمدة المياه المتذبذبة، والأجسام المنشطة بالموجات: واستنادًا إلى طريقة التشغيل، يمكن تصنيفها على أنها عمود مائي متذبذب، وأجهزة تعلق الموجة وأجهزة متذبذبة

3.1 Oscillating Water Column [OWC] عمود مائي متذبذب 7

7.3.2 Overtopping devices أجهزة تعلق الموجة

7.3.3 Oscillating devices. وأجهزة متذبذبة

والجدول (2) يوضح أهم و أبرز الاجهزة المستخدمة حليا [18-20] :

Prospect المستقبل	Application التطبيق	Device type نوع الجهاز
يمكن استخدامه كمحطة طاقة كبيرة؛ مناسب لأيام الأعاصير العديدة	يستخدم على المناطق البحرية ذات الأمواج العاتية (heavy waves)	OWC
تعتبر فترة الموجة وارتفاع الموجة في منطقة البحر في المتوسط صغيرين، ويمكن دمجهما مع كاسر الأمواج واستخدامه	يستخدم للمناطق ذات الأمواج الأقل	Attenuator
كثافة طاقة الأمواج في منطقة البحر المتوسط في ليبيا صغيرة، لذا فهي غير مناسبة لتثبيت جهاز طاقة الأمواج من نوع الطوافة.	يستخدم على المناطق البحرية ذات كثافة طاقة الأمواج الكبيرة	OWSC
لا يعد اتجاه الموجة مهمًا لهذه الأجهزة نظرًا لصغر حجمها	يستخدم على المناطق البحرية ذات الأمواج الأقل	Point absorber
مقيد بالتضاريس ومسار الموجة، ليس من السهل تعميمها.	يستخدم للمناطق الضيقة	Overtopping

8. لخطوة التالية لتطوير تقنيات طاقة الأمواج:

هي الانتقال من مرحلة اختبار التقنيات الفردية لتوسيع نطاق الانتشار وخفض التكاليف ومن المتوقع أن تمتلك تقنيات الجيل القادم من **WECs** للذهاب بعيدا عن الشاطئ، لتصل إلى أعماق أكبر و أمواج أعلى - ويتم التحضير لاختبار تجهيزات تصل حتى 100 متر عمق و 15 كم بعد عن الشاطئ.

9. الخاتمة :

إن طاقة الأمواج هي واحدة من أكثر المصادر المستدامة الواعدة. فإن استخدام طاقة الأمواج يمكن أن يفتح الطريق النظيف والمتجدد لتغطية العجز في الطاقة العالمية بشكل نسبي وملموس، وتقدم تكنولوجيا طاقة الأمواج خيارات مختلفة لتحويل الطاقة فهناك العديد من أنواع أجهزة تحويل طاقة الأمواج. ولكل جهاز مزايا وعيوب ويجب أن يتم فهم خصائص الموجة، ثم يحدد النوع المناسب من التقنية وفقاً لخصائص الموجة لمنطقة البحر المستهدفة ومع ذلك، فإن الكثير من هذه التقنيات في مرحلة التطوير. وبالتالي، تظهر بعض الصعوبات، التي يجب القضاء عليها، في المراحل الأولية. ويبدو أن العديد من هذه التقنيات الحالية عبارة عن أجهزة معقدة ومكلفة للغاية مع نسبة كتلة إلى طاقة خرج ضعيفة. وفي معظم الحالات، يصعب تقليص حجمها أو استخدامها في عرض البحر وعلى الشواطئ. نأمل أن تكون هذه الورقة البحثية مفيداً لأبحاث تكنولوجيا توليد طاقة الأمواج. و أن توفر قابلية التوسع لمفاهيم **WEC** المختلفة الملخصة في هذا العمل ومعلومات قيمة للباحثين في قطاع طاقة .

10. المراجع

1. Thorburn . K and M. Leijon. Farm size comparison with analytical model of linear generator wave energy converters. Ocean Engineering, 2007,34(5–6):908– 916.
2. Angre, H. and Joshi, R. (2015). Scope of wave energy in India, International Journal of Engineering, Management & Sciences, Vol. 2 (10),7-12
3. Baghbani Kordmahale, S.; Do, J.; Chang, K.-A.; Kameoka, J. A Hybrid Structure of Piezoelectric Fibers and Soft Materials as a Smart Floatable Open-Water Wave Energy Converter. Micromachines 2021, 12, 1269.
4. Chen, S.-E.; Pan, F.-T.; Yang, R.-Y.; Wu, C.-C. A multi-physics system integration and modeling method for piezoelectric wave energy harvester. Appl. Energy 2023, 349, 121654.
5. J. Brooke, Wave energy conversion, Elsevier Publications, 2003
6. R. Shaw, Wave energy: a design challenge. Chichester: Ellis Horwood, p. 202, 1982
7. Mentaschi L, Besio G, Cassola F, Mazzino A. Performance evaluation of WavewatchIII in the Mediterranean Sea. Ocean Model 2015;90:82e94.
8. Baker, N. J. and Mueller, M. A. Direct Drive Wave Energy Converters, Power Engineering, Revue des Energies Renouvelables, (2001). 1–7.
9. Altunkaynak, A. and Mahnamfar, F. (2017). Comparison of numerical and experimental analyses for optimizing the geometry of OWC systems, Ocean Engineering, Vol.130,10-24.
10. Bingyong Guo John V. Ringwood2 A review of wave energy technology from a research and commercial perspective IET Renewable Power Generation IET Renew. Power Gener. 2021;15:3065–3090.
11. WAVEPLAM , “Deliverables D 2.1 State of the Art Analysis - A Cautiously Optimistic Review of the Technical Status of Wave Energy Technology,” EU project report, 2009
12. Chenari, B., Saadatian, B. S. S., and Ferreira, A., 2014. Wave energy systems: an overview of different wave energy converters and recommendation for future improvements, 8th International Technology, Education and Development Conf., Valencia, Italy, pp.10-12.

13. Drew, B., Plummer, A. R., and Sahinkaya, M. N. A review of wave energy converter technology, *Journal of Power Energy*, (2009). Vol.223 (8),887–902
14. Hong, Y., Pan, J.F., Liu, Y., et al A Review on Linear Generator Based Wave Energy Conversion Systems. *Proceedings of the CSEE*, . (2019) vol.39, no.7, pp.1886-1899.
15. Liang, Y., Wang, W.M., Liu, H.Y., et al. Modeling and Simulation of Wave Energy Power Generation System. *Electric Engineering*, (2020) no.7, pp.37-38.
16. Guo, B., Ringwood, J.V.: Parametric study of a vibro-impact wave energy converter. *IFAC-PapersOnLine* (2020) 53(2), 12283–12288.
17. Behrang Chenari, Almerindo Ferreira, Shiva Saadatian , wave energy systems: an overview of different wave energy converters and recommendation for future improvements (2014) ,6-7.
18. Rusu, E., and Onea, F.. A review of the technologies for wave energy extraction. *Clean Energy*, (2018), 2(1), 10-19
19. . Tyrberg, R. Waters, and M. Leijon. Wave power absorption as a function of water level and wave height: theory and experiment. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, (2010),35(3):558–564.
20. Kazimierczuk, K., Henderson, C., Duffy, K., Hanif, S., Bhattacharya, S., Biswas, S., Tarekegne, B. (2023). A socio-technical assessment of marine renewable energy potential in coastal communities. *Energy Research and Social Science*. R. Ahamed,
21. K. McKee, I. Howard, Advancements of wave energy converters based on power take off (PTO) systems: A review, *Ocean Engineering* 204 (2020) 107248.
22. Ramos V., Lopez M., Taveira-Pinto F., and Rosa-Santos P.. Performance assessment of the CECO wave energy converter: Water depth influence, *Renewable Energy*, (2018) Vol.117, 341-356
23. Chenari, B., Saadatian, B. S. S., and Ferreira, A., 2014. Wave energy systems: an overview of different wave energy converters and recommendation for future improvements, 8th International Technology, Education and Development Conf., Valencia, Italy, pp.10-12.