مشاركة وحدات تخزين الطاقة بقيم كافية للتطبيق على نظام الطاقة بجزيرة كريت باليونان

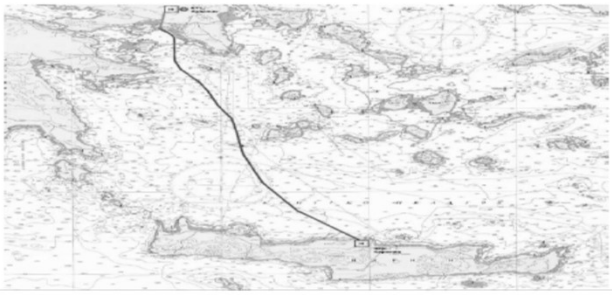
الجامعة القومية باثينا ومرفق الكهرباء

Contribution of energy storage to capacity adequacy – Application to island power systems

[1] National Technical University of Athens (NTUA)
[2] Regulatory Authority for Energy (RAE)
Greece

Adittion data in 2013

Crete's electricity generation system is based mainly on three (3) oil-fired **thermal** power plants with more than 25 generators and approximately **700** MW power capacity in total. Additionally, there are **25 wind** parks installed with nominal power of approximately 167MW across the island. These WPs are connected to the grid through MV/HV substations of 20kV/150kV. Additionally, 1200 small PV plants of 80kW nominal power each are already installed or are about to be installed. The steam and diesel power units mainly supply the base load. The Gas turbines normally supply the daily peak load or the load that cannot be supplied by the other units in outage conditions. These units have a high running cost that increases significantly the average cost of the electricity being supplied.



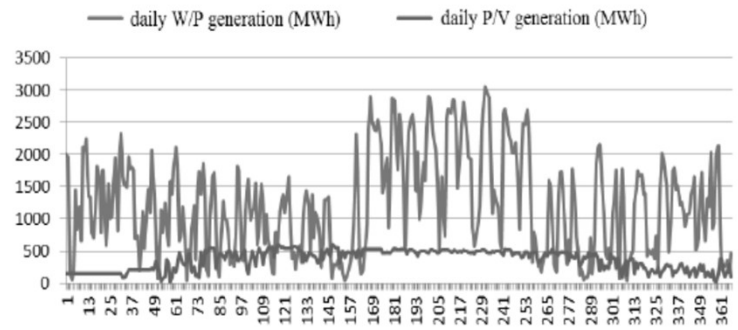


Fig.11 Load demand evolution estimations

both the daily wind power, the corresponding PVs generation for the year 2013

ملخص الورقة

تعتبر نظم التخزين السريعة (ESS) مرادف ذواهمية لامداد نظم القوى بالجزيرة بالطاقة المطلوبة بالامداد بباقة موازية واضافية لتغذية الاحمال مما يقلل تكاليف انشاء محطات محطة طاقة متجددة .

تعتبر نظم التخزين السريعة (ESS) مرادف ذواهمية لامداد نظم القوى بالجزيرة بالطاقة المطلوبة بالامداد بباقة موازية واضافية لتغذية الاحمال مما يقلل تكاليف انشاء محطات محطة طاقة متجددة .

إلى جانب فوائد تشغيل نظم الخزين فإن مشاركة (ESS) بكميات كافية مازل تحت البحث ويعتبر هام جدا من وجهة نظر تقليل الكاربون بقطاع الكهرباءوذلك بتقليل التوليد الحرارى .

فى هذا البحث تم اختبار مشاركة نظم التخزين السريع (ESS) عن طريق استخدام تفنيات التحديديه والاحتمالية وفى كلا الطريقتين تم اشتقاقهما من علم مستوى الحمل a load-levelling methodology بهدف تقليل الاحمال (shaving the peaks) القصوى بالحمل اليومى وتم استخدام محددات للطرق مثل (MICQC) (a mixed integer quadratic constraint) كما تم تحديد قواعد تنفيذ كلا الطريقتين (تحديديه والاحتماليه) بسعة كافية وتم مناقشتها .

1. مقدمه

فى السنوات الاخيرة اصبحت محطات التخزين (ESS) ضرورية من الناحية الاقتصادية والفنية لكل مستويات النظام سواء بالمشاركة فى الاحمال أو الاحتياطى بالشبكة ومما يعزز مشاركة مصادر الطاقة المتجددة لمساعده المحطات الحرارية.

وجدير بالذكر ان تلك المصادر لا تزيد عن 25% من اجمالى قدرات وحدات التوليد بالجزيرة لهذا فان وحدات (ESS) ستزيد من التوسع فى مصادر الطاقة المتجددة حيث أنها تمتص الطاقة الناتجة من تلك النظم مع الأخذ فى الاعتبار المحددات الفنية لانشاء محطات الطاقة المتجددة. بالاضافة لتنفيذ نظم الطاقة المتجددة (Renewable energy RES source) فإن تكاليف التوليد تقل كما انها تعزز الامان و تساهم بالقدرة الكافيه لنظم الطاقة بالجزيرة.

مستهدف التوسع فى انشاء مصادر الطاقة المتجددة ووحدات التخزين للتحرر من الكربون ويتم تقييم مشاركة نظم الطاقة التخزينية ل (ESS) بقيم كافية لتغطيه كل مستويات الاحمال . وقد عرضت الابحاث[14-15] تقليل الحمل الاقصى على مدار اليوم (shaving the peak) استخدم فيها طرق الامثلة (Optimization)مع تكامل مع محددات معادلات من الدرجة الثانية التربيعية (MIQCP) (optimization mixed integer quadratic constraint problem)

والتى تعاقب مستويات المتبقى (احمال كبيره) من الطاقة شكل (1) يوضح الحمل الكهربى خلال اسبوع وثلاثة اشكال من مصادر التخزين للطاقة .يتم شحنها فى فترات الحمل الادنى كما يتم التفريغ فى ساعات الحمل الاقصى فى نفس اليوم مع ملاحظه كفاءة النظام.

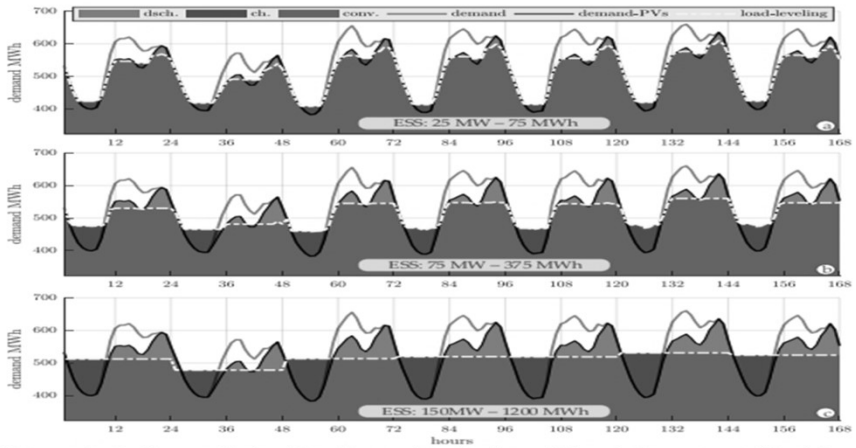


Figure 1. Indicative weekly load-levelling profiles for three different storage capacities (a) 25 MW / 75 MWh, (b) 75 MW / 375MWh and (c) 150 MW / 1200 MWh.

- النتائج توضح ان عول كل التوليد و بالنظام كان افضل بالطريقه التحديدية

2 . مساهمة (ESS) فى كفاية سعة نظم الطاقة

تم تقدير مشاركة (ESS) فى كفاية سعة نظام الطاقة على اساس مرادفين من الطرق . الطريقة التحديدية والطريقة الاحتمالية والتى سيتم شرحها فى القسم 4

- تم حساب النقص فى الطاقة بالطريقة التحديدية مع الاخذ فى الاعتبار نسبة الاضطرابات مثل خروج اكبر وحدة من وحدات التوليد. فى حالة وجود (ESS) تم حساب الحمل الاقصى خلال العام عن طريق عمل محاكاه لمستوى تشغيل الحمل لل (ESS) بلاعتماد على الحمل اليومى مما يؤدى الى تسوية منحنى الحمل اليومى . ويمكن تحديد مشاركة (ESS) الى قيمة السعة الكافية فى يوم الاختبار وحساب قيمة الانخفاض فى الحمل الاقصى .

تم تكرار ذلك لمدة 365 يوم فى العام ويتم تحقيق النقص فى الحمل الاقصى عن طريق السعة

الكافية.يوضح شكل (2) يوضح مستوى الحمل مع وجود (ESS) إلى استثمار تكاليف التوليد وتقليل اسعار بيع الكهرباء بين اقصى حمل واقل فترات الطلب على الطاقة الكهربائية كما أن تخزين الطاقة فى مستويات الطلب على الطاقة يتم تقليل الحمل الاقصى نتيجة جداول التوليد وخاصة فى ظروف عجز التوليد.

- طريقة الاحتمالية تعتمد على حسابات مؤشرات العول التى يتم مقارنتها بقيم مرجعية ليتم تقدير كمية العجز بالنظام والتى من الضرورى اضافة سعة توليدية لإعادة مؤشرات العول إلى معدلاتها المرجعية فى هذه الطريقة فان وحدات التخزين تشارك طوال العام وتعتبر اصول للتوليد واداء وتسوية الحمل عن طريق امتصاص أو ضخ كما فى قسم 2.1
- النتائج توضح ان عول كل التوليد و بالنظام كان افضل بالطريقه التحديدية

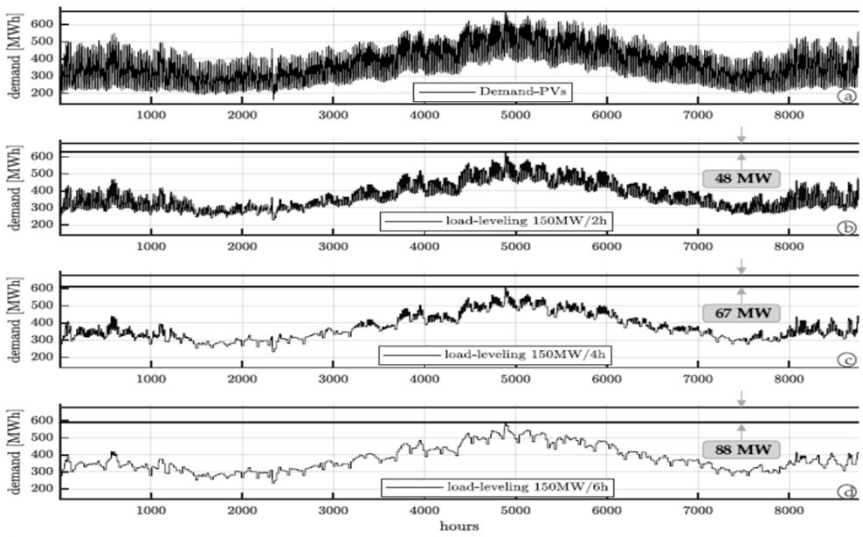


Figure 2. Contribution of three different ESS configurations to the capacity adequacy of the system based on the deterministic load-levelling approach. Load demand (a) without ESS, (b) with an ESS 150MW/2h leading to a 48 MW peak-shaving, (c) with an ESS 150MW/4h leading to 67 MW peak-shaving and (d) for ESS 150MW/6h leading to 88 MW peak-shaving.

2.1 علم تسوية الحمل Load levelling Methodology

لتحقيق تسوية الحمل على مدار اليوم فان منحنى الحمل يتم تبسيط المنحنيات الغير خطية تسمى وحدة الالتزام للتعامل مع مشكله الادارة للاهداف التاليه: تقليل تكاليف التشغيل الكليه للنظام عن طريق الامثله الافقيه فى نفس الوقت تقليل تفاوت الاحمال كل ساعه من الفكره النظريه المثاليه لشكل الحمل وحيث ان الهدف الاساسى هو الحصول على شكل حمل يومى مقبول مع الاخذ فى الاعتبارمحددات تشغيل محطات التوليد التقليديه.

فى المعادله (1) اعتبر نظام الطاقة تحت الاختبار مكون من (m) وحدة توليد حرارية متماثلة و انتاجها من الطاقة ($p_{m,t}$) تتغير تدريجيا بين صفر و (p^{max}).

$$0 \le P_{m,t} \le P^{max} \qquad (1)$$

هيكل طريقه (MICP) تم توضيحه فى المعادلة (2) تمثل اتزان الطاقة كل ساعة للجزيرة بعد اعادة تسويه الاحمال والتى يجب ان تساوى قيمة البداية للحمل المطلوب لكل ساعة $p_{1,t}$ مع الزيادة الممتصة عند فترات الحمل القليل وتقل فى حالة حقن الطاقة ($p_{vf,t}$) للشبكة عن طريق محطات التخزين لتشكيل تخفيف الحمل الاقصى ($p_{ps,t}$)

$$P_{l-new,t} = P_{l,t} + \underbrace{P_{vf,t}}_{\text{valley filling}} - \underbrace{P_{ps,t}}_{\text{peak shaving}} \quad (2)$$

$$\sum_t P_{vf,t} \cdot n_{vf} \cdot n_{ps} = \sum_t P_{ps,t} \quad (3)$$

$$P_{l-new}^{av} = \left(\sum_t P_{l-new,t}\right) \Big/ T \quad (4)$$

$$\sum_t P_{m,t} = P_{l-new,t} \quad (5)$$

معادلة (3) توضح الطاقة المولدة عن طريق (ESS) اثناء يوم كامل وهى تساوى الطاقة الكلية الممتصة من الشبكة لشحن n_{vf} وكفاءة التفريغ n_{ps} s لمحطة التخزين.

الحمل المستهدف كل ساعة P_{lnew}^{av} اعتمادا على المعادلة (4) والمعادلة (5) توضح الحمل المطلوب والذى تغطيه المحطات الحراريه.

محددات التشغيل تم ذكرها فى المعادلة (6) وكذلك معادلة (7) و معادلة (8) تحدد المستوى اللحظى للشحن والتفريغ لمحطة التخزين ومعادلة (9) تبين الطاقة المخزنة المتاحة كل ساعه فى وحدات (ESS) ومعادلة (10) تحدد مدى السعة القصوى لل (ESS) القيمة القصوى لكل معامل x يعرف بـ $\bar{x}$

$$0 \le P_{vf,t} \le \bar{P}_{vf} \cdot v_{vf} \quad (6)$$

$$0 \le P_{ps,t} \le \bar{P}_{ps} \cdot v_{ps} \quad (7)$$

$$v_{vf} + v_{ps} \le 1 \quad (8)$$

$$E_t = E_{t-1} + P_{vf,t} \cdot n_{vf} - P_{ps,t} / n_{ps} \quad (9)$$

$$0 \le E_t \le \bar{E} \quad (10)$$

الطاقه المخزنه كل ساعه: E_t

والمعادلة المستهدفة هى (11) وهى توضح $C_{m,t}$ تكاليف انتاج الوحدة m خلال فترة زمنيه t لانتاج طاقه $P_{m,t}$ كما توضح غرامة القيمة المطلقة لمربع الانحراف لمستوى الحمل المحقق من MIQCP عند زمن t مقارنة بالحمل المقدر فى المعادلة (4) ,ومعامل غرامه *l*.

$$P_{l-new}^{av} = \left(\sum_t P_{l-new,t}\right) \Big/ T \quad (4)$$

$$obj = \min \sum_t \left(C_{m,t} + \ell \cdot \left|P_{l-new,t} - P_{l-new}^{av}\right|^2\right) \quad (11)$$

2-2 الطريقة الاحتمالية

ويتم]18[تقييم طريقة الاحتمالية لكفاية سعة نظام الطاقة تم عرضها فى Transmission System استخدمها مشغلى نظم نقل الطاقة على نطاق واسع - (شكل والاسس التالية توضح قواعد الطريقة باختصار [19](Operation (TSO_S)

البداية فى وجود وحدات تخزين الطاقة مع الاخذ فى الاعتبار عول توليد ونقل الطاقة عن طريق استخدام مؤشرات لمعدل الخروج الاضطرارى لوحدات]18[| Forced Outage Rate (FOR) |التوليد

باعتبار ان كل وحدات التوليد وسعات الربط وفترات الصيانة مجدولة Capacity Outage Probability Table (COPT)تحسب كل ساعة خلال عام كامل

آخذ فى الاعتبار كل الحالات المحتملة للنظام منها امكانية حدوث خروج وحدة توليد مع خط الربط معا وسعة التوليد المتاحة باحتماليه $prob_{i,t}$.وسعه توليد المتاحه ثم تقديرها $P_{g,i,t}$

معطى COPT والحمل المتبقى ((الحمل+ RES التوليد) - $P_{i,t}$) يحسب احتمالية فقد الحمل مع معرفهLOPLعن طريق حساب مجموع حالات الاحتمالات COPTكمية الطاقة من الاحتياجات التى لا يمكن امدادها من السعه المتاحه تم تقديرها بمؤشر EENSعن طريق جمع.LOPL وEENS خلال العام يحسب فقد فى الحمل بمؤشرات الحمل السنوى المتوقع LOLEو EENS واخيرا مستوى العول لنظام القوى عندما تكون قيم LOLE

(the annual Loss of Load Expectation (LOLE)

و EENS اعلى من المستويات المحددة بمرجعيات فإن نقص السعة يساوى البث الاضافى المطلوب من التوليد الذى سيتم بثه فى الشبكة لاعادة العول إلى معدلتها المرجعيه.

$$LOLP_t = \sum_{i \in \{P_{i,t} > P_{g,i,t}\}} prob_{i,t} \quad (12)$$

$$EENS_t = \sum_{i \in \{P_{i,t} > P_{g,i,t}\}} \left(prob_{i,t} \cdot \left(P_{i,t} - P_{g,i,t} \right) \right) \quad (13)$$

ان الطاقة المخزنة تقلل نقص السعة فى نظام الطاقة المستمر (أو تساوى النقص) فمن الضرورى إضافة وحدات توليد تقليدية لتحقيق مستوى العول إلى القيم المطلوبة .

- تنفيذ علم الاحتمالية فى وجود ESS تستخدم تسويه شكل الحمل فى قسم 2.1 والتى استخدمت فى الطريقة التحديديه.
- هذا الافتراض يعتبر متاح فى حالة امكانيه تسويه شكل منحنى الحمل اليومى كما ان هدف طريقة الاحتماليه هو تقليل القيم اليومية ل EENS و LOLE الحالية .يتم تعديل شكل تخزين الطاقة للـ شحن/ التفريغ كل ساعة طبقا للحمل المطلوب والتى يتم تغطيتها عن طريق وحدات التوليد التقليدية $P_{l\text{-}new,t}$ مما يغير مؤشرات EENS و LOLE والتى تم وضعها فى معادلات (15) و (14) فى حين FOR هو مؤشر محطة التخزين .

لهذا فان الطريقة المعروضة لحساب COPT للنظام لابد أن يكون ثابت انما يتم تغيير شكل الحمل المتبقى و يأخذ فى الاعتبار مؤشر العول FOR وكذلك فترات الصيانة للـ ESS.باختلاف قيم LOLE ، EENS نتيجة وجود وحدات تخزين الطاقة يؤدى الى اختلاف كميه النقص فى الطاقه.

مشاركة الطاقة المخزنة للسعة الكافية تحسب كأنها الفرق بين نقص الطاقة فى حالة وجود أو عدم وجود وحدات التخزين

هكذا يعرف لتجنب السعة المكافئة من محطات التوليد التقليدية بضرورة اعادة عول النظام الى المستوى المحدد LOLE اكثر المرجعية الشائعة لطريقة الاحتمالية لحساب نقص السعة والتى استخدمت فى القسم 4 فى حين نفس المضمون تم تطبيقه ل EENS كما يلى :

$$LOLP_t = \left(1 - FOR_{ess}\right) \cdot \sum_{i \in \left\{P_{l\text{-}new,t} > P_{g,i,t}\right\}} prob_{i,t} + FOR_{ess} \cdot \sum_{i \in \left\{P_{i,t} > P_{g,i,t}\right\}} prob_{i,t} \qquad (14)$$

$$EENS_t = \left(1 - FOR_{ess}\right) \cdot \sum_{i \in \left\{P_{l\text{-}new,t} > P_{g,i,t}\right\}} \left(prob_{i,t} \cdot \left(P_{l\text{-}new,t} - P_{g,i,t}\right)\right) + FOR_{ess} \cdot \sum_{i \in \left\{P_{i,t} > P_{g,i,t}\right\}} \left(prob_{i,t} \cdot \left(P_{i,t} - P_{g,i,t}\right)\right) \qquad (15)$$

هذه الطريقة توضح مشاركة ESS محددة بملاحظة النقص فى النظام وهذا التعريف مناسب عند حساب السعة المخزنة للتعويض بانشاء مباشر لمحطات حرارية مكافئة.

3-افتراضات حالة لدراسة نظام.

النظام تحت الدراسة والاختبار هو نظام جزيرة كريت الحمل الأقصى MW 677 وشكل (2a) يوضح منحنى الحمل السنوى والشبكة مربوطة بنظام تقليدى من خلال كابل بحري بسعه MW150لكل واحد منهما مؤشرFOR بنسبه -3%

التوليد فى الجزيرة يشمل 24 وحدة حرارية بقدرات من MW 10 الىMW 90 .لكل منها. يفترض FOR لوحدات التوليد بين 3% الى 20% باستثناء 4 وحدات غازية قديمة جدا يكون FOR لها 30%

تم دراسة حالتين افترض انشاء RES بالجزيرة الاولى منخفض RES وهى رياح MW200 و MW 96 طاقه شمسيه كما تم فرض اخر RESعالى بقدره MW 260 رياح وMW 175 خلايا شمسيه.

لتقييم تأثير الطاقة المخزنة بسعة كافيه بالنظام تم البحث بمحطة MW 25- MW 200 ومحطة تخزين من MWh 100الى MWh 1200 .

و اعتباركفاءة ال. ESS 85% وFOR منخفض 2% بطاريات سريعة لشحن الطاقة النتائج كما بلى:

4-النتائج

لتقييم مشاركة ESS بالسعة الكفاية باستخدام الطريقتين الاحتمالية أو التحديدية تم اختبارهما فى وجود او عدم وجود طاقه الرياح وانتقد مقدمى البحث عدم وجودها.

4.1 مشاركه وحدات التخزين بسعه كافيه وحساب السعه الحرجة

يوضح شكل 3 طريقه مشاركه وحدات التخزين بسعات مختلفه لكفايه احتياجات الجزيره باستخدام تقنيه التحديديه لاربع مستويات لشكل الحمل باستخدام علم تستويه الحمل وعرف السعه الحديه بانها النسبه بين مشاركة وحدات التوليد بسعه كافيه الى الطاقه الاسميه لوحدات التخزين ESS يوضح شكل 4 (a,c) وشكل 3 (a,c) السعه الحديه لوحدات التخزين فى حاله RES منخفض ومرتفع فى وجود او عدم وجود طاقه رياح وتم تكرار نفس البيانات بتقنيه الاحتماليه بوجود او عدم وجود طاقه رياح وتم تطبيق تقنيه تسويه الحمل فى شكل 4.

الاشكال (5،3) حققت مشاركة الطاقة المخزنة بسعه كفاية إلى مستوى معين طبقا لحجم المخزن

كمثال فان اقصى مشاركة فى الحمل الاقصى السنوى الذى تم تقليله peak shaving عندما تكون RES قليله باهمال طاقة الرياح شكل 3-a حقق تقليل الحمل ب 105MW بقدره تخزينيه 150 MW و MWh 1200 على الاقل اذا تم الأخذ فى الاعتبار طاقة الرياح فان مساهمة وحدات التخزين تزداد 125 MW شكل 3-a فى حاله تطبيق تقنيه الاحتماليه فان وحدات التخزين تشارك ب 75MW.لنفس قدره وحدات التخزين وفى حاله ارتفاع RES فى اشكال 3-b و 3-d سواء اخذ فى الاعتبار طاقة الرياح ام لا تقنيه الاحتمالية يصل الحمل الاقصى المخزن للمشاركة بسعة النظام تقريبا 85MW .

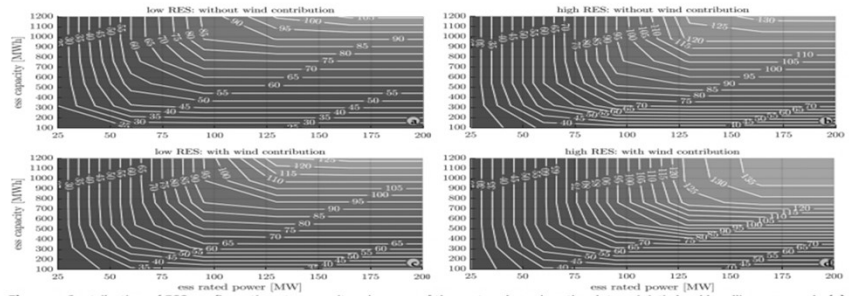


Figure 3. Contribution of ESS configurations to capacity adequacy of the system based on the deterministic load-levelling approach. (a) and (c) for low RES conditions without and with contribution of wind. (b) and (d) for RES development conditions.

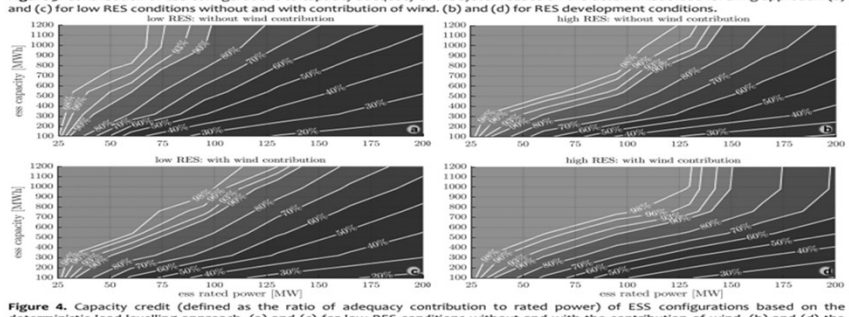


Figure 4. Capacity credit (defined as the ratio of adequacy contribution to rated power) of ESS configurations based on the deterministic load-levelling approach. (a) and (c) for low RES conditions without and with the contribution of wind. (b) and (d) the same for high RES conditions.

ولا يمكن ان بقل عن هذا فى حاله تنفيذ مستوى الحمل الذى يسطح منحنى الحمل.. (Load levelling)

يوضح اللون الاصفر فى شكل (1-c) عمليات تقليل اقصى حمل ال ESSبقدره 150MW تنتج 1200 MW بالرغم ان الطاقه المطلوبه سنويا تزيد فى حاله وجود وحدات تخزين نظرا لوجود فقد وياثر هذا سلبيا على حساب LOLP.و EENS Expected Energy Not Served اثناء فترات الشحن وبالرغم من ذلك فان وجود وحدات التخزين يكون ايجابيا وتقل هذه الايجابيه اثناء الحمل الاقصى

شكل (5و3) يوضحا مشاركه وحدات التخزين والتى تعزز وجود مصادر الطاقه الشمسيه بمقارنه الاشكال(3- a,c) (5- a) مع (3- b,d), (5-b) نجد زياده مشاركه وحدات التخزين فى حاله وجود طاقه الرياح كما فى اشكال (3- c,d)

من الواضح فى شكل 3 ان ESS التى تزيد قدرتها عن 125 MW فانها تشارك بجزء من السعه المناسبه للنظام باستخدام الطريقه التحديدية بجزء من طاقتها فى تقليل الحمل الاقصى (peak shaving) بصرف النظر عن سعه المحطه وباستخدام تقنيه الاحتمالية فان القدره المشاركه تقل الى 50 MW شكل (5) .

توضح الاشكال (6 و4) السعه الحرجه المفترضه لكلا الطريقتين لهيكله ESS والتى تظهر جليا (بقدره 100MW للطريقة التحديدية و 50MW للطريقة الاحتمالية) ويصل انتاجها اكثر من 600 MWh تمثل نسبه 100% من السعه الحرجه ومن جهه اخرى تزيد القدره المقننه لل ESS (اكثر من 150MW) تغطى جزء من السعه الحرجه اقل من 50% وتصل الى 20% للسعه الصغيره من محطات ESS لمده ساعه واحده بصرف النظر عن سعه وحدات RES ومشاركه مزارع الرياح.

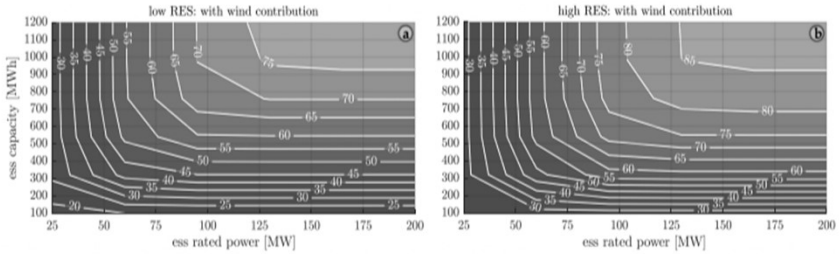


Figure 5. Contribution of ESS configurations to capacity adequacy of the system based on the probabilistic approach, for (a) low and (b) high RES conditions.

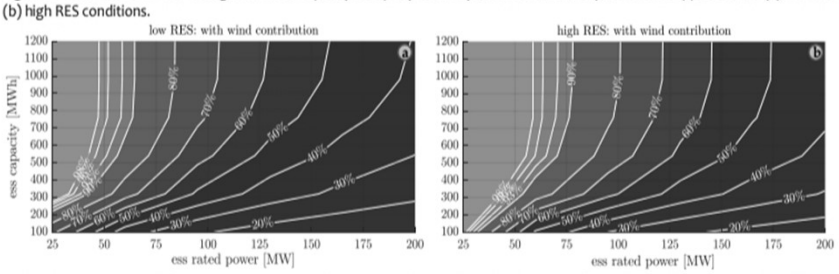


Figure 6. Capacity credit (defined as the ratio of adequacy contribution to rated power) of ESS configurations based on the probabilistic approach, for (a) low and (b) high RES conditions.

2-4 مقارنة الطريقتين

تم مشاركة وحدات التخزين ESSبقدره من 100MW- 200 MW فى حالة ارتفاع RES تم تطبيق الطريقتين ويوضح شكل (7) مدى ملائمه السعه المشاركه وتم حساب مشاركه سعه التحزين الحرجه وجد أن الطريقة التحديدية كانت النتائج اعلى من طريقة الاحتمالية ويرجع ذلك ان الطريقه الاحتمالية توازن بالدرجه الاولى على عول النظام خلال العام فى حين الطريقة التحديدية تعتمدفقط على تقليل الحمل الاقصى السنوى بالإضافة إلى انشاء مكافىء بين الطاقة المخزنة ESS والسعة التقليدية مما يقلل مشاركة السعه المخزنه عند استخدام طريقة الاحتمالية نتيجة حتميه تشكيل التوازن اليومى يكون غير مكافىء لنفس الكمية المنبعثة من التوليد ويكون متاحا دائما خلال ساعات الحمل الاقصى وفى اوقات اخرى.

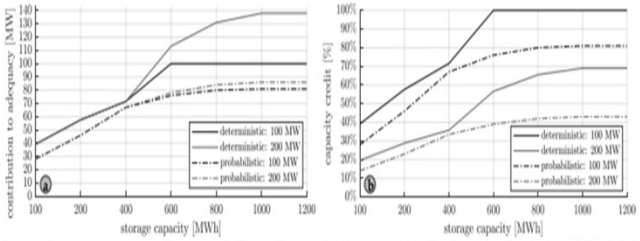


Figure 7. Impact of storage capacity on contribution to adequacy with the deterministic (continuous lines) and probabilistic (dashed lines) approaches, for the high RES capacity case.

الطاقة المخزنة تزيد الطلب على الطاقه اثناء الشحن ويزيد الحمل السنوي نتيجة الفقد.

ويمكن ملاحظه عند استخدام طريقة الاحتمالية ان السعه الحرجه لل ESSاكبر من القدرة المقننة (شكل 5) بالنسبه للمشاركه فى كفاية للنظام .

5- الخلاصة

فى هذه الورقة تم مشاركة محطات التخزين بسعة كافية لنظام الطاقة للجزيرة وتم استخدام طريقتين هما التحديديه و الاحتمالية وتم اختبارهما لعدد كبير فى وجود وحدات التخزين ESS ومن التحليلات التى تمت لاختبار محطات الشحن ذات قدرات محدده مع زيادة سعة التوليد تصل سعتها الى 100%

من الناحية الاخرى تم مشاركه وحدات كبيرة من وحدات التخزين ذات قدرات طاقة كبيره بسعة كافية للجزيره كجزء من تلك القدرة المقننه .

من الملاحظ ان كلا الطريقتين الاحتمالية والتحديديه تؤدى إلى اقصى قيمة لمشاركة وحدات التخزين ESS إلى السعة الكافيه بين 75 MW إلى 125 MW عند انتشار سعات محدوده من مصادر الطاقه المتجدده RES وتزاد بزياده انشاء الطاقات المتجدده بالجزيره(~ 10MW) وهذا يتطلب وحدات تخزين ESS كبيره تصل على الاقل الى 150 MW تولد طاقه بقدره 900 -1200 MWh .

سيتم انشاء خط ربط a BIPOLAR HVDC 2X500MW LINK للجزيره بالشبكه الاوربيه خلال سنوات قليله قادمه مما يزيد من سعه الطاقات المتجدده RES الى مستوى اعلى مما ذكر فى هذه الورقه (اكثر من 1GW)وستزيد قدرات وحدات التخزين اكثر مما ذكر فى هذا البحث.

وبمقارنة الطريقتين وجد أن التحديديه أبسط وأكثر دقة وشمولا وتم تعريف النتائج بأقصى حمل سنوى فقط للنظام أكثر من شكل الحمل المطلوب خلال العام . والعول عناصراخرى للنظام كما هو فى الطريقه الاحتماليه ولذلك فإن الطريقة التحديديه حسابها يؤدى إلى ارتفاع مشاركة وحدات التخزين إلى كفاية النظام

كلا الطريقتين ذات فائدة ممكن تقييم ادائهما اعتمادا لقبول وجهة النظر اتجاه كفاية النظام والحفاظ مستوى العول على مدار العام مثل الانظمة الكبيرة وتاكيد مقدرة النظام لمواجهة الحمل الأقصى بشكل مقبول كما يحدث بالنظم الصغيرة للجزر.

ABBREVIATIONS

ESS : Fast- response Energy Storage Systems

E_t: Energy Storage per hour

Transmission System Operation (TSO_S ([19]

FOR indices and scheduled maintenance periods,

the Forced Outage Rate (FOR), [18].

a "*load-levelling*" in order to achieve the maximum peak shaving on a daily basis. This process is

implemented solving an optimization mixed integer quadratically constrained problem (MIQCP),

Capacity Outage Probability Table (COPT)

the per hour Loss of Load Probability (LOLP)

the annual Loss of Load Expectation (LOLE)

Expected Energy Not Served (EENS) index (13).

شكرا على حسن الإستماع