



## المدخنة الشمسية الطاقوية (SCPP) للمساهمة في تغطية استهلاك الاضاءة داخل المساكن الفردية

\*Ammar Mebarki <sup>(1)</sup>

[1] ABE Laboratory, Constantine 3 University, Institute of Architecture and Urbanism, University of Batna 1, Algeria

Email : [ammar.mebarki@univ-batna.dz](mailto:ammar.mebarki@univ-batna.dz)

### ملخص

الطاقة الكهربائية أساس الحياة الحضرية المعاصرة في المسكن. وقد برزت عدة أنظمة لتطوير الطاقة المتجددة النظيفة، والمدخنة الشمسية المنتجة للكهرباء (solar chimney power plants-SCPP) أحد أهم هذه المقترحات. وهي مجمع للحرارة بشكل دائرة من الزجاج أو البلاستيك، يعمل على التقاط الطاقة الشمسية لتسخين الهواء وإخراجه من خلال أسطوانة مرتفعة تتوسطه، يوضع في بداية الأسطوانة وشيعة مرتبطة بمروحة لتحويل الطاقة الحركية الى كهربائية.

لأجل تقدير كفاءة النظام في المناطق السكنية تم استخدام محاكاة التبادلات الحرارية وحركة الموائع Ansys-CFD مع اختيار أنماط اضطراب الحركة المعتمدة. وأظهرت النتائج أن مجمعا بنصف قطر 30م توفر الاحتياج اليومي للإضاءة لـ 3.18 مسكن فردي بمساحة 80م<sup>2</sup> خلال يوم نموذجي بمدينة باتنة. في حين يوفر نظام بنصف قطر 61 م نفس التغطية لأكثر من 34.32 مسكن.

### الكلمات المفتاحية

المسكن الفردي، الطاقة الشمسية، المدخنة المنتجة للكهرباء، الاستهلاك الكهربائي.





## مقدمة

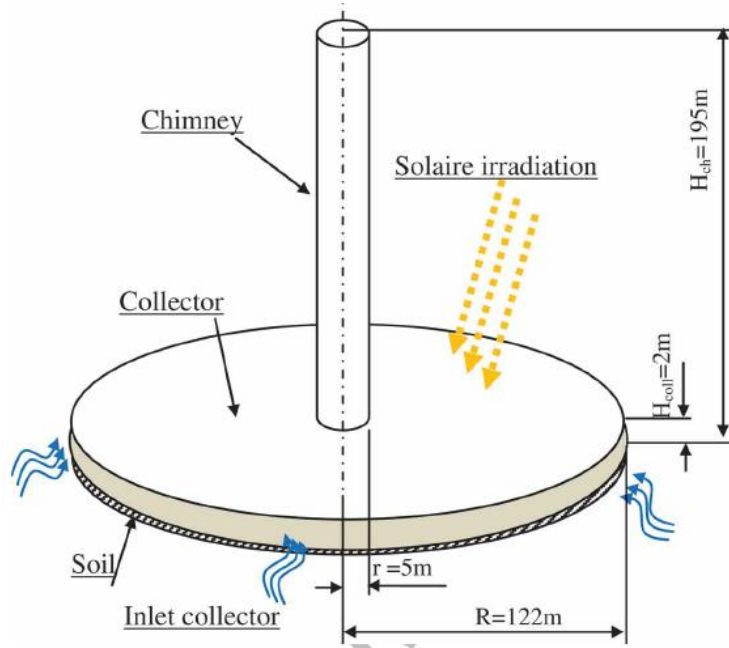
لا يزال 1.1 مليار شخص لا يستفيدون من الطاقة الكهربائية [1، 2]. حيث يزداد الاستهلاك العالمي بشكل كبير من خلال استخدام الطاقة الأحفورية التي باتت تهدد الحياة البشرية بشكلها المعهود من خلال غازات الدفيئة.

حظيت محطة توليد الطاقة بالمدخنة الشمسية SCPP باهتمام كبير في السنوات الأخيرة نظرا لأهميتها الاقتصادية والبيئية من خلال إنتاجها للطاقة المتجددة وبتكاليف إنتاج وصيانة منخفضة مقارنة بغيرها من الأنظمة البيئية المكلفة. نظام SCPP هو هيكل أسطواني مرتفع في السماء يتوسط مجمعا حراريا مصنوعا من الزجاج الشفاف أو فلم بلاستيكي بشكل دائرة ترتفع عن سطح الأرض [3]. يعمل النظام على تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية في المجمع، ثم طاقة حركية في المدخنة وأخيراً إلى طاقة كهربائية باستخدام توربينات هوائية [4]. المدخنة SCPP قيد الدراسة بإسبانيا بواسطة بيرجرمان [5] ذات ارتفاع 194.6م مع قطر مدخنة م، والمجمع يرتفع عن سطح الأرض بـ 1.85 م بقطر 122م، كما هو موضح في الشكل 1، يسمح المجمع للإشعاع الشمسي باختراقه لتسخين الهواء بين المجمع ومساحة التربة. يشير تأثير الدفيئة إلى امتصاص التربة للإشعاع المستلم من خلال الهواء الساخن بمعامل الامتصاص. يرتفع زخم الهواء مع طاقته الحرارية ويتسارع بسبب الاختلاف الكبير في الضغط الناتج عن التدرج الحراري وارتفاع المدخنة.

تم اختبار المدخنة الشمسية في العديد من المناخات، على سبيل المثال، عمل صالحى وآخرون [6]. في الجزائر، تحليل CFD على أداء نظام SCPP بواسطة Rayan et al. [7] أظهر أن متوسط الطاقة الشهرية المنتجة هو 68-73 كيلوواط على مدار العام وأن الحد الأقصى لقيمة إنتاج الطاقة لكل ساعة لشهر يونيو هو حوالي 111 كيلو واط. درست معظم هذه الأعمال المدخنة الشمسية خارج المناطق الحضرية بسبب قيود الأبعاد الكبيرة التي يفرضها حجم النماذج مع عدم توفر قاعدة بيانات دقيقة لمردودية النماذج الأقل حجماً. تهدف هذه الورقة البحثية إلى توفير قاعدة بيانات للطاقة المنتجة بأحجام مختلفة، والتي يمكن أن تكون بمثابة مرجع للفاعلين في المجال العمراني لربط المداخل الشمسية تدريجياً بالمناطق والمباني الحضرية الحالية أو المستقبلية.

لتحقيق ذلك عمدنا الى استخدام برنامج المحاكاة CFD ANSYS Fluent ، تم اختبار وتقييم نماذج لمداخل شمسية متتالية بمعامل 0.25، حيث تعرض كل حجم لقيم الإشعاع (1000 ، 600 واط / م<sup>2</sup>). كمرحلة مكملة من العمل الحالي، أظهر أيضاً مثال عملي لاستخدام الليبيانات المستخرجة من هذه الدراسة، حيث تم تقييم مقدار تغطية الإضاءة داخل المساكن الفردية بمساحة 80 م<sup>2</sup> بمدينة لمدينة باتنة ، الجزائر، من أجل توضيح كيفية التعامل مع مخرجات البحث.





الشكل 1. التفاصيل الهيكلية لمحطة تجريبية للمخنة الطاقوية باسبانيا [6]

## 1 المنهجية وأدوات البحث

معادلات Navier–Stokes لنقل الطاقة [8]:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial (\rho u r)}{\partial r} + \frac{\partial (v r)}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial (\rho u)}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial (\rho r u v)}{\partial r} + \frac{\partial (\rho u v)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( \mu r \frac{\partial u}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu \frac{\partial u}{\partial z} \right) - 2\mu \frac{u}{r^2} \quad (2)$$

$$\frac{\partial (\rho v)}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial (\rho r u v)}{\partial r} + \frac{\partial (\rho v v)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( \mu r \frac{\partial v}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu \frac{\partial v}{\partial z} \right) - (\rho_0 - \rho) g \quad (3)$$

$$\frac{\partial (\rho c_p T)}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial (\rho r c_p u T)}{\partial r} + \frac{\partial (\rho c_p v T)}{\partial z} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \lambda \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) - \nabla \cdot \mathbf{q}_r \quad (4)$$

### 1.1 نمذجة أداء SCPP

#### 1.1.1 المجمع





يتم إعطاء اكتساب الحرارة للهواء وفق المعادلة:

$$Q = \eta_{col} A_{col} G \quad (5)$$

حيث:  $\eta_{col}$  و  $A_{col}$  و  $Q$  هي كفاءة المجمع الشمسي، مساحة المجمع الشمسي والحرارة المتولدة نتيجة تأثير الدفينة.

يتم إعطاء  $Q$  بواسطة:

$$Q = Cp \dot{m} \Delta T \quad (6)$$

مع:

$$\dot{m} = \rho_{air} V_{ch} A_{ch} \quad (7)$$

ثم:

$$\eta_{col} = \frac{\rho_{air} V_{ch} A_{ch} Cp \Delta T}{A_{col} G} \quad (8)$$

حيث:

$A_{ch}$  و  $V_{ch}$  و  $m$  هي السطح والسرعة وتدفق الكتلة عند مدخل المدخنة على التوالي.

### 2.1.1 المدخنة

يتم التعبير عن كفاءة المدخنة على النحو التالي:

$$\eta_{ch} = \frac{g H_{ch}}{Cp T_a} \quad (9)$$

حيث

$T_a$  و  $H_{ch}$  هي درجة حرارة الهواء المحيط وارتفاع المدخنة على التوالي.

القوة الإجمالية تعطى من خلال:

$$P_{tot} = \eta_{ch} Q = \frac{g A_{ch}}{T_a} \rho_{col} V_{ch} \Delta T A_{ch} \quad (10)$$

فرق الضغط بين قاعدة المدخنة و المنفذ يتم حسابه من خلال:





$$\Delta P_{tot} = \rho_{col} g H_{ch} \frac{\Delta T}{T_a}$$

### 3.1.1 التوربين

تقع في الجزء السفلي، يعمل على تحويل الطاقة الحركية لتدفق الهواء إلى طاقة دورانية ميكانيكية [9]. القوة الميكانيكية التي يسحبها التوربين هي كما يلي [10]:

$$P_{tot} = m g H_{ch} \frac{\Delta T}{T_a} \quad (11)$$

باعتبار  $Q_v$  معدل التدفق الحجمي، يمكن الحصول على ناتج الطاقة من خلال:

$$P_{tot} = \eta_t \Delta P_t Q_v \quad (12)$$

أين:

$$\Delta P_t = \frac{2}{3} P_{tot} \quad (13)$$

تعتبر  $\eta_t$  تساوي 0.8 في هذه الورقة [11]

### 2.1 النمذجة والمحاكاة

تم استخدام برنامج ANSYS Fluent للمحاكاة، حيث تم تطبيق نموذج CFD المتماثل المحاور ثلاثي الأبعاد لـ Manzanares للمنهجية العددية. نظرًا لوجود تماثلات على طول المحاور YZ و XZ.

### 3.1 شروط وظروف المحاكاة

تم اعتماد خصائص مواد النموذج المنجز باسبانيا المختار لأجل الدراسة وذلك للدقة النتائج، كما هو موضح في الجدول 1.

تم استخدام نموذج RNG k-ε المضطرب لإيجاد حل معادلة الزخم. تم استخدام خوارزمية بسيطة لإيجاد التفاعل بين الضغط وسرعة الهواء. لاستيفاء الضغط، تم تنفيذ طريقة PRESTO. تم استخدام طريقة عكس اتجاه الرياح من الدرجة الثانية لتقريب المعادلات الرئيسية. لمعادلة الإشعاع، تم اعتماد نهج الإشعاع غير الرمادي المنفصل DO باستخدام طريقة تتبع الأشعة الشمسية. للإشارة إلى العلاقة بين درجة الحرارة وتغير كثافة الهواء، تم تنشيط مقارنة Boussinesq واختيار معيار التقارب  $10^{-6}$  لتحقيق دقة محاكاة مثالية.

Table 1. Material properties adopted in CFD model.

Physical property	Ground	Glass	Chimney
Thickness (m)	0.5	0.004	0.00125
Density (kg/m <sup>3</sup> )	2160	2500	2719



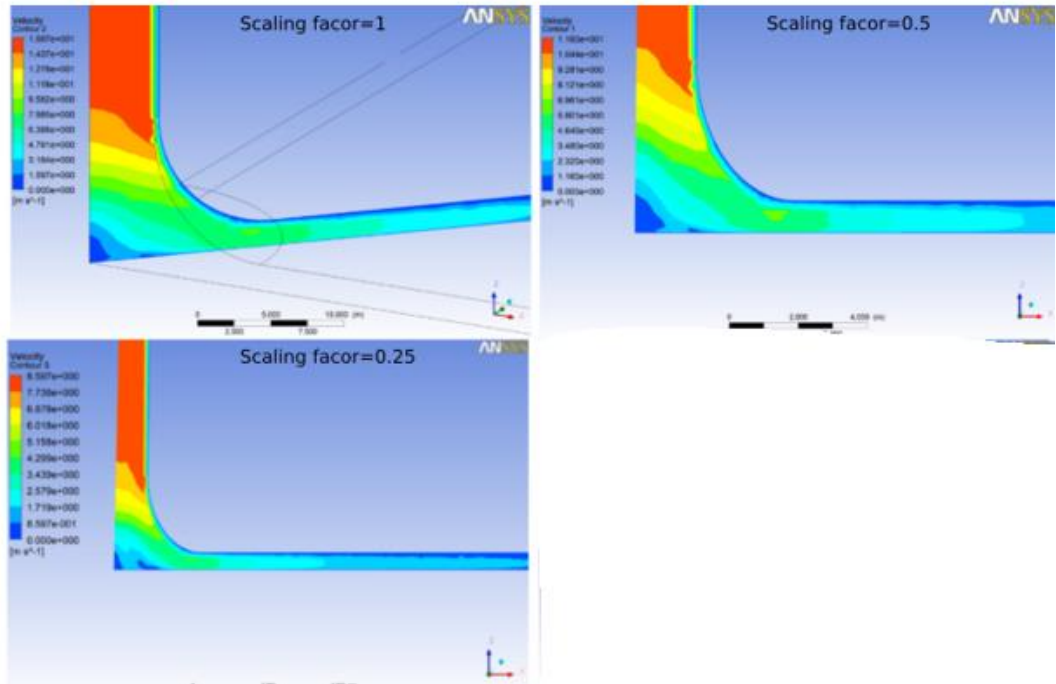


Thermal conductivity (W/mK)	1.83	1.15	202.4
Specific heat (J/kgK)	710	750	871
Absorption coefficient	0.9	0.03	0
Transmissivity	-	0.9	-
Emissivity	0.9	0.9	1
Refractive index	1	1.526	1

#### 4 النتائج والمناقشة

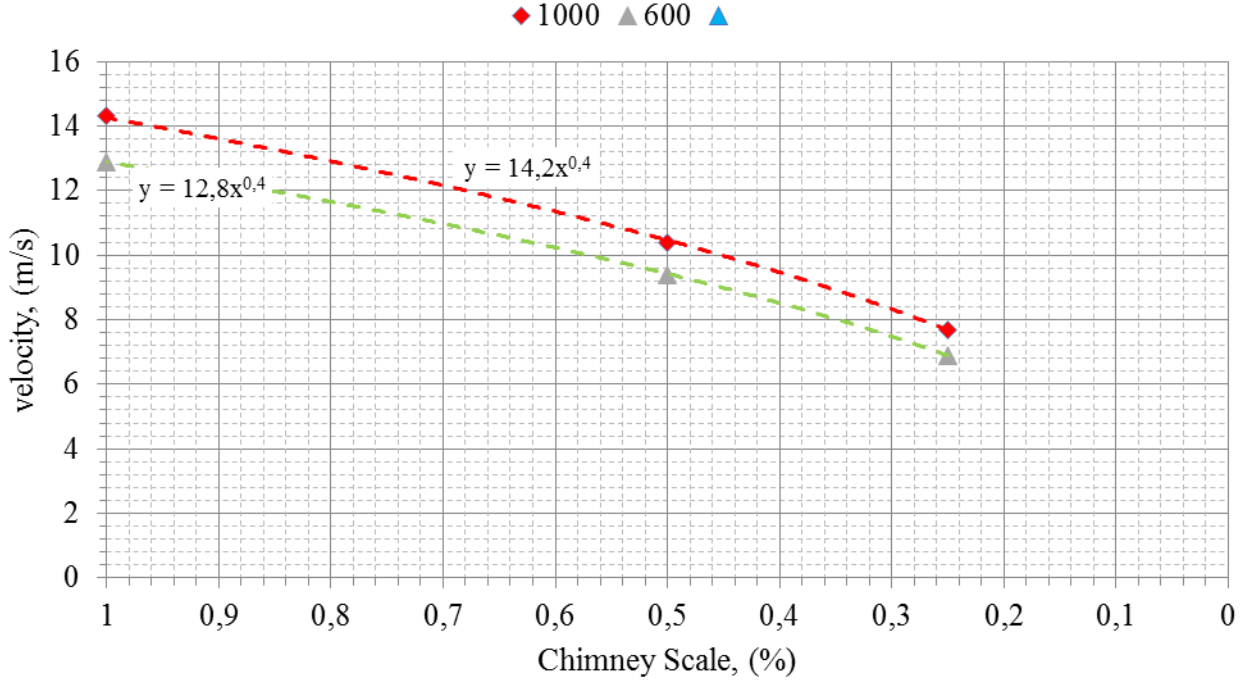
بعد وضع نموذج CFD على البحث البارامترى المتبع في هذا العمل، أظهرت النتائج أن:

1.4 سرعة الهواء  $V_m$



1





ب

الشكل 2 سرعة الهواء ( $V_m$ ) بدلالة عامل مقياس تصغير المدخنة. أ: المحاكاة الرقمية. ب: البيانات المستخرجة

يظهر الشكل 2 تأثير عامل تقليل الحجم على سرعة الهواء في نموذج المدخنة الشمسية المنتجة للطاقة لكل من الإشعاعين الشمسيين 1000 و 600 واط / م<sup>2</sup>. يمكن الاستنتاج من البيانيين أن هناك تناسباً بين سرعة الهواء وعامل تقليل الحجم بشكل معادلة أسية ويعود سبب الانخفاض إلى انخفاض الطاقة إضافة إلى زيادة الاختلاف في الضغط الناتج عن ارتفاع المدخنة، وهو ما يتوافق مع الأعمال السابقة التي تشير إلى تأثير ارتفاع المدخنة مع اختلاف واضح في طبيعة المعادلات. هذا الأخير أسى في الأعمال السابقة بينما في هذه الدراسة على النحو التالي:

$$V_m = 14.2 x^{0.4} \quad (14)$$

, لما الإشعاع الشمسي G يساوي 1000 واط / م<sup>2</sup>

$$V_m = 12.8 x^{0.4} \quad (15)$$

, لما الإشعاع الشمسي G يساوي 600 واط / م<sup>2</sup>

حيث المعادلات أعلاه لها نفس الانحدار.  $R^2 = 0.99$ .





#### 2.4 فرق الضغط بين مدخل المجمع ومستوى التوربين

يلعب توزيع الضغط دورًا مهمًا في الية انتاج الطاقة على مستوى نظام المدخنة الشمسية المنتجة للطاقة SSPP

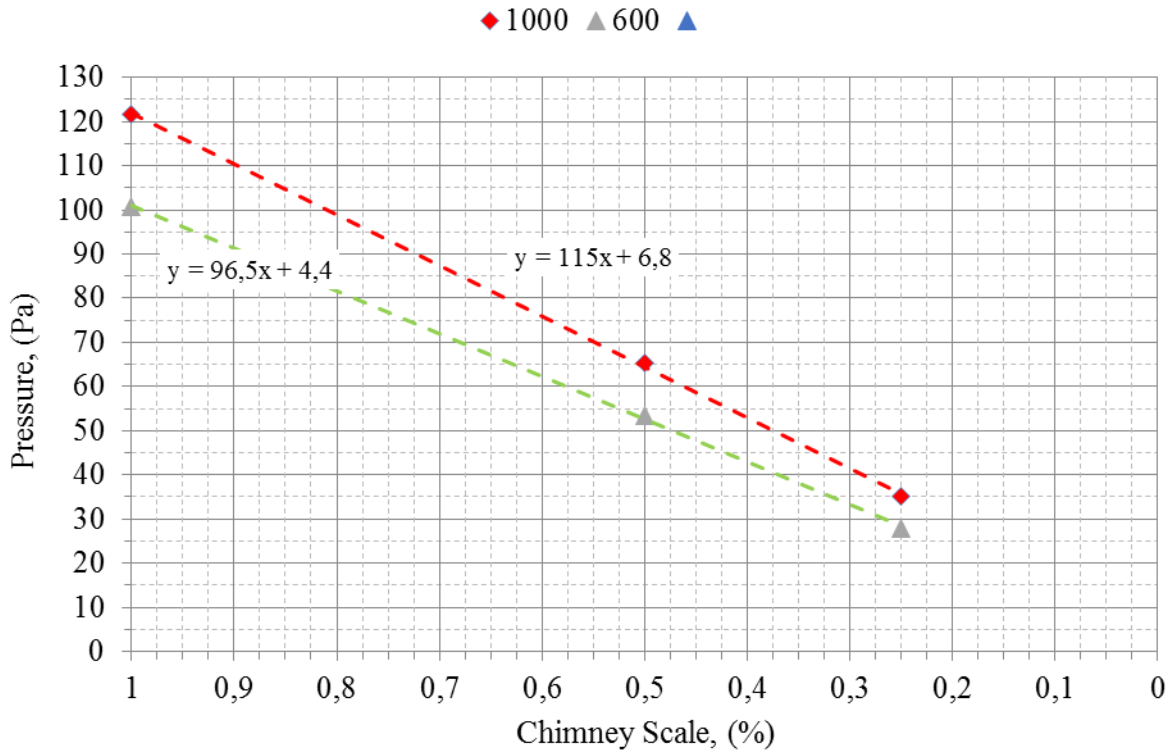
. يوضح الشكل 3 تأثير عامل تقليل الحجم على فرق الضغط في النموذج المدروس. يوضح الشكل 6 الفرق في الضغط بين مدخل المجمع ومستوى التوربين في المدخنة لكل نموذج ووفقًا لقيم الإشعاع الشمسي 1000 و 600 واط / م<sup>2</sup>. وتبين النتائج أن الفرق في الضغط يتبع معادلة خطية مع انخفاض عامل تقليل الحجم كما يلي:

$$P = 119 X + 4.1 \quad (R2 = 0.99) \quad (16)$$

عندما  $G = 1000$  واط / م<sup>2</sup>

$$P = 100.5 x + 2.383 \quad (R2 = 0.99) \quad (17)$$

عندما  $G = 600$  واط / م<sup>2</sup>

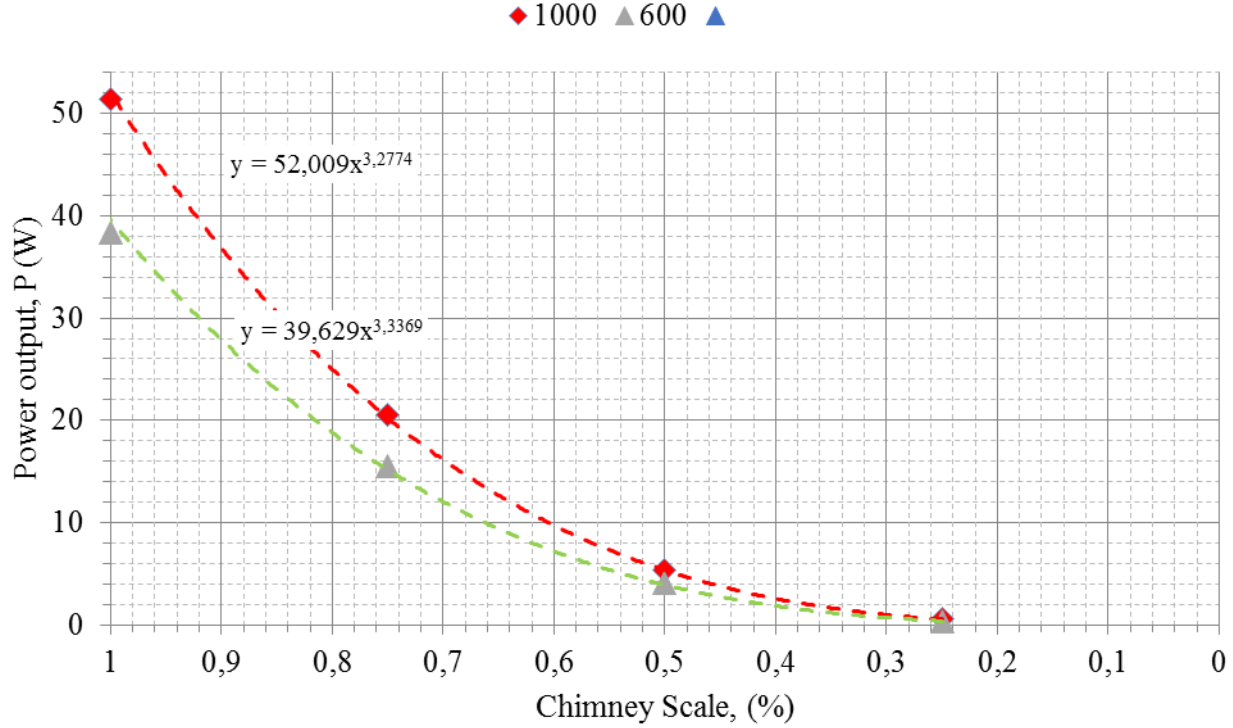


الشكل 3 فرق الضغط (P) بين مدخل المجمع ومستوى التوربين بدلالة عامل مقياس تخفيض المدخنة

#### 3.4 الطاقة المنتجة من النظام







يوضح الشكل 4 التباين في الطاقة الكهربائية الناتجة من النظام SCPP كدالة لعوامل مقياس الاختزال لكل قيمة إشعاع شمسي 1000 و 600 واط / م<sup>2</sup>.

الرسوم البيانية المذكورة أعلاه تتبع انخفاض puissance لجميع المعادلات:

$$P = 53 C^{3.3}, \text{ when } G = 1000 \text{ W/m}^2 \quad R^2 \approx 0.99. \quad (18)$$

$$P = 40 C^{3.3}, \text{ when } G = 600 \text{ W/m}^2 \quad R^2 \approx 0.99. \quad (19)$$

5. مثال عملي لاستخدام البيانات في تقييم القدرة على تغطية احتياجات كهرباء الإضاءة اليومية للمباني السكنية في الجزائر

يعد التحكم في الجو الداخلي للمبنى موضوعاً ذو أهمية كبيرة نظراً لتأثيره على للتكلفة الاقتصادية والبيئية وصحة شاغلي الفضاء المعماري. في الجزائر، تُستهلك طاقة كبيرة في الإضاءة [11]

على أساس قاعدة بيانات Rébha Ghedamsi وآخرون [12] بعد إجراء دراسة في الجزائر، والتي تضمنت حساباً لاستهلاك الطاقة لمنزل متوسط (80 م<sup>2</sup>). تم استخدام نتائج قاعدة البيانات التالية في هذا التقييم:





متوسط استهلاك الإضاءة السنوي اليومي لكل أسرة = 1.4 واط

تم تقييم نسبة الطاقة اليومية للإضاءة للنماذج والإشعاع الشمسي المتوسط لمدينة باتنة في اليوم النموذجي (16 أفريل) وذلك بإشعاع قدره 600 واط. يوضح الجدول أن نموذجًا به أن مجعًا بنصف قطر 30م توفر الاحتياج اليومي للإضاءة لـ 3.18 مسكن فردي بمساحة 80م<sup>2</sup> خلال يوم نموذجي بمدينة باتنة. في حين يوفر نظام بنصف قطر 61 م نفس التغطية لأكثر من 34.32 مسكن.

**الجدول 2** تقييم نسبة الطاقة اليومية للإضاءة للنماذج والإشعاع الذي تمت دراسته

	عامل التصغير للنموذج		
	0.25	0,5	0,75
الطاقة الناتجة خلال يوم نموذجي	4.52	48.7	185.75
عدد المساكن الفردية المضاءة	3.18	34.32	130.9

## 6 خلاصة

تتمثل أهداف الورقة الحالية في تقديم قاعدة بيانات للفاعلين في مجال البناء لمساعدتهم على اتخاذ قرارات أفضل من أجل دمج SCPP في المناطق والمباني الحضرية. للوصول إلى هذا، تم إنشاء نموذج CFD ثلاثي الأبعاد لنموذج المدخنة الطاقوية التجريبية لمدينة مانزاناريس في إسبانيا. تم استخدام نماذج محاكاة لمدائن خضعت للتصغير بواسطة عامل تحجيم 0.5. تعرضت للإشعاعات الشمسية م 1000 و 600 واط / م<sup>2</sup>. يمكن استنتاج النقاط التالية من هذه الدراسة:

- يأخذ Vm معادلة اسية بدلالة عامل التصغير.

- يتبع فرق الضغط (P) معادلة خطية بدلالة عامل اختزال المقياس.

أظهرت النتائج أن مجعًا بنصف قطر 30م توفر الاحتياج اليومي للإضاءة لـ 3.18 مسكن فردي بمساحة 80م<sup>2</sup> خلال يوم نموذجي بمدينة باتنة. في حين يوفر نظام بنصف قطر 61 م نفس التغطية لأكثر من 34.32 مسكن.





## المراجع

1. J. You et al., "Living architecture: Towards energy generating buildings powered by microbial fuel cells," *Front. Energy Res.*, vol. 7, p. 94, 2019. doi:10.3389/fenrg.2019.00094.
2. A. Mebarki and Y. Bouchahm, "Investigation of air velocity effect on thermal comfort in mosques-hot-dry climate," *Nature Technol. J.*, vol. 20, pp. 3–11, 2019.
3. A. A. Mostafa et al., "Performance of a solar chimney under Egyptian weather conditions: Numerical simulation and experimental validation," *Energy Sci. Technol.* vol. 1, pp. 49–63, 2011.
4. Elsayed, I.; Nishi, Y. A Feasibility Study on Power Generation from Solar Thermal Wind Tower: Inclusive Impact Assessment Concerning Environmental and Economic Costs. *Energies* 2018, 11, 3181.
5. Caicedo, P.; Wood, D.; Johansen, C. Radial Turbine Design for Solar Chimney Power Plants. *Energies* 2021, 14, 674. <https://doi.org/10.3390/en14030674>
6. F. J. Hurtado et al., "Evaluation of the influence of soil thermal inertia on the performance of a solar chimney power plant," *Energy*, vol. 47, no. 1, p. 213–224, 2012. doi:10.1016/j.energy.2012.09.040.
7. A. Salehi et al., "Investigation of thermal comfort efficacy of solar chimneys under different climates and operation time periods," *Energy Build.*, vol. 205, 2019. doi:10.1016/j.enbuild.2019.109528.
8. R. Rabehi et al., "CFD analysis on the performance of a solar chimney power plant system: Case study in Algeria," *Int. J. Green Energy*, vol. 14, no. 12, pp. 971–982, 2017. doi:10.1080/15435075.2017.1339043.
9. H. Nasraoui et al., "Novel collector design for enhancing the performance of solar chimney power plant," *Renew. Energy*, vol. 145, p. 1658–1671, 2020. doi:10.1016/j.renene.2019.07.062.
10. Schlaich J. The solar chimney: Electricity from the sun. In: Maurer C, editor. Germany: Geislingen; 1995.
11. R. Sangi, "Performance evaluation of solar chimney power plants in Iran," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 16, no. 1, pp. 704–710, 2012. doi:10.1016/j.rser.2011.08.035.
12. Nizetic S, Ninic N, Klarin B. Analysis and feasibility of implementing solar chimney power plants in the Mediterranean region. *Energy* 008;33(11):1680–90.
13. R. Qaoud et al. The Role Of The Urban Fabric in Reducing of the physical loads for the environment applied Within The Free Space - Street- , For Saharan Cities, Case Study Of The City Of Biskra -Algerie. *Technologies and Materials for Renewable Energy, Environment and Sustainability, TMREES18*, 19–21 September 2018, Athens, Greece.

