

دور برامج محاكاة الرياح في تحسين كفاءة أداء المباني السكنية: دراسة حالة على نماذج إسكان الشباب بمدينة دميطة الجديدة

محمود محمد محمد علي عبد الرحمن¹ و أسامة محمد علي فرج و² وائل صديق عبد اللطيف مصطفى

¹ قسم الهندسة المعمارية - كلية الهندسة جامعة كفر الشيخ

² قسم العمارة - قسم الهندسة المعمارية - كلية الهندسة - جامعة المنصورة

ABSTRACT

This research highlights the importance of Computational Fluid Dynamics (CFD) simulation software in optimizing building efficiency through studying natural ventilation for both thermal comfort and human health in residential buildings. Besides introducing methodologies used in this regard and ways of validating results such as wind tunnel and in-situ measurements, selecting the appropriate turbulence model and presenting best practices in performing simulation process. Youth housing in New Damietta has been selected as a case study to evaluate natural ventilation inside 3 different prototypes depending on the local weather station wind data. A wind tunnel validated K-epsilon turbulence model has been used for this simulation. The results of this research emphasizes the importance of using simulation software as a credible tools in achieving thermal comfort energy efficiency in residential buildings.

Keywords:: CFD – Thermal Comfort – Simulation Software – Wind Tunnel – Energy Efficiency.

ملخص البحث :

هذا البحث يسلط الضوء على أهمية برامج محاكاة ديناميكا الموائع الحسابية (CFD) Computational Fluid Dynamics في تحسين كفاءة أداء المباني من خلال دراسة التهوية الطبيعية من أجل صحة الإنسان والراحة الحرارية داخل المباني السكنية، وكذلك عرض المنهجيات المستخدمة في ذلك وطرق التحقق من النتائج باستخدام الوسائل التجريبية مثل نفق الرياح أو القياس في الموقع. واختيار نموذج العصف المناسب turbulence model وخطوات العمل داخل برامج محاكاة الرياح بناء على أفضل الممارسات. وتم اختيار نموذج إسكان الشباب بمدينة دميطة الجديدة كحالة دراسية لتقييم الراحة الحرارية داخل الفراغات في ثلاث نماذج مختلفة بناء على بيانات أقرب محطات أرصاد جوية، وتم استخدام نموذج العصف المعتمد على الطاقة الحركية (Kinematic energy k) و معدل تبديد الاضطرابات (turbulence dissipation rate ϵ) والذي يطلق عليه اسم (K- ϵ turbulence model). نتائج هذا البحث تشير إلى أهمية استخدام برامج محاكاة الرياح كأدوات معتمدة لتحقيق الراحة الحرارية في المباني السكنية وتحسين كفاءة الطاقة.

الكلمات المفتاحية:

برامج محاكاة الرياح - التهوية الطبيعية - كفاءة أداء المباني - نفق الرياح - برامج المحاكاة - المدن المتوسطة - المباني السكنية.

(1) المقدمة :

في منتصف القرن السابق كان عدد السكان في المدن لا يزيد عن 200 مليون نسمة ، لكن في نهاية القرن بلغ عدد سكان الحضر ما يزيد عن 3 مليار نسمة ويتوقع أن يزيد العدد إلى 5 مليار بحلول عام 2025 حيث إن 600 مليون نسمة تضاف سنويا للسكان في المدن أي كما تذكر منظمة الأمم المتحدة في برنامج البيئة (UNEPTIE): "هو بمثابة إضافة باريس أو بكين أو قاهرة جديدة كل شهر". وتشير الدراسات أنه بحلول عام 2020 سيكون 70% من سكان العالم من ساكني المدن وبالتوازي سيكون 60% من سكان العالم تحت خط الفقر^[1].

أدت زيادة السكان في الحضر إلى زيادة عدد الوحدات السكنية بما يغير المناخ الحضري أو بما يعرف بظاهرة الجزيرة الحضرية الحرارية (Urban Heat Island (UHI)). ويُنظر إلى مشكلة الجزيرة الحضرية الساخنة كواحدة من أخطر المشكلات البيئية الحضرية في العالم والتي يسببها حصر الموجات الإشعاعية القصيرة والطويلة ما بين المباني، و نقص معدل خفض (الحرارة عن طريق الانتقال) وذلك بسبب انخفاض سرعة الرياح نتيجة لزيادة خشونة السطح بالإضافة إلى زيادة درجة الحرارة الناتجة من حرق الوقود (السيارات

والاحتراق المنزلي). وكذلك بسبب زيادة تخزين الحرارة في مواد البناء. تركيز الملوثات في المدن بما يؤثر على صحة وحياة الأفراد. إن باحثي المناخ الحضري يعتبرون أن مشكلة الجزيرة الحضرية الساخنة وخفضها من أهم المشكلات المناخية في الحضر خلال العقود الأخيرة [2]. لا تشكل كثافة الجزيرة الساخنة مشكلة كبيرة في المناطق ذات المناخ البارد، لكنها تمثل مشكلة في المناخ الحار وتشير الدراسات التي أجريت على أكثر من 30 منطقة حضرية إلى أن هذه المشكلة تؤدي إلى مضاعفة أحمال التبريد في المباني الموجودة مرتين و مضاعفة استهلاك الكهرباء للتبريد إلى ثلاث أضعاف في هذه المناطق [3،4].

عملية التهوية الطبيعية للمباني يقصد بها استبدال الهواء الداخلي للفراغات بهواء نقي من الخارج بالوسائل الطبيعية فقط. وتوفير المعدل الأدنى للتهوية الطبيعية في المباني من الضروريات لحياة الإنسان، وتكمن أهميتها في أثرها الفعال في تخفيف الإجهاد الحراري على الإنسان، وتساعد أيضاً على التخلص من ثاني أكسيد الكربون والروائح الكريهة والشوائب والملوثات الضارة بالصحة. وتعتبر التهوية الطبيعية ضرورية من أجل تخفيض درجة حرارة الحوائط والأسقف والأرضيات بالاستفادة من ظاهرة الانتقال الحراري بواسطة تيارات الحمل. كما يمكن للتهوية الطبيعية أن تحسن البيئة الصحية والحرارية لما يقرب من 3 مليار شخص في العالم من ذوي الدخل المتوسط والمنخفض.

إن الطاقة التي تتسبب في حركة الهواء عبر المبنى تعرف بالطاقة الحركية (Kinetic energy) للرياح وهي تعادل $(\frac{1}{2}\sigma V^2)$

حيث إن σ ترمز إلى كثافة الهواء و V ترمز إلى سرعة الهواء، إن تخلخل الهواء وحركته داخل المبنى يتم نتيجة للتدرج في الضغط الجوي (Pressure gradient) عبر الفراغ الداخلي والذي يتكون نتيجة لعاملين أساسيين هما قوة الدفع الحراري (thermal force) الناتجة عن التدرج في درجات الحرارة (temperature gradient) بين الهواء الداخلي والهواء الخارجي، وقوة الدفع الهوائي (wind force) الناتج عن تيارات الهواء الخارجي [5،6].

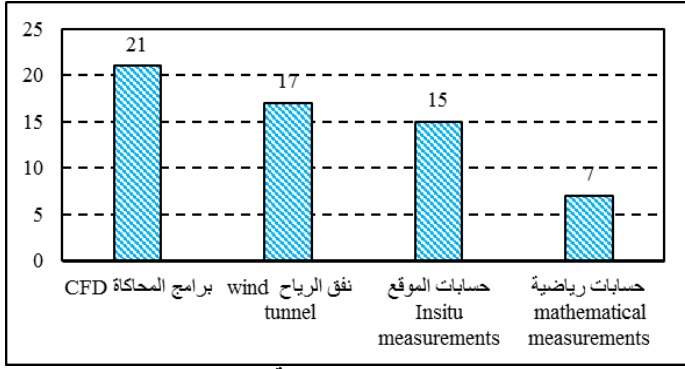
(١٠) محاكاة الرياح.

إن محاكاة الرياح لا تعني فقط دراسة هجرة الرياح من مكان لآخر لكنها تهتم بدراسة الخواص الفيزيائية للرياح. هناك عدة طرق لمحاكاة حركة الرياح في التصميم المعماري وقد تم دراستها بالتفصيل في الكثير من الأبحاث والأطروحات السابقة منها، **أولاً:** الطرق الحسابية التحليلية (Mathematical Analytical Methods) والتي تعتمد بشكل أساسي على حل المعادلات التفاضلية الجزئية الرياضية الحاكمة [7-9]. **ثانياً:** طرق القياس في الموقع (In Situ Measurements) وتتم إما من خلال عمل ماكيت بمقياس 1:1 أو من خلال إجراء تجربة في مباني قائمة بالفعل، وتعد من أكثر الوسائل من حيث الدقة والاعتمادية إلا أنه يعزوها تكلفة التجارب وعدم القدرة على التحكم في المدخلات الخاصة بالتجارب [10،11]. **ثالثاً:** نفق الرياح (Wind Tunnel) ويعد من الوسائل الدقيقة والتي يمكن التحكم في مدخلاتها إلا أن تكلفة التجارب تشكل أحد عيوب هذه الطريقة، وعلى الرغم من ذلك فإن طرق القياس في الموقع وتجارب نفق الرياح لا يمكن الاستغناء عنها لإجراء عمليات التحقق من الحسابات الرياضية وبرامج محاكاة الرياح [12-15]. **رابعاً:** برامج محاكاة الرياح (Computational Fluid Dynamic CFD) وتعد من أحدث وسائل محاكاة الرياح والتي لاقت انتشاراً واسعاً نتيجة سهولة استعمالها ودقتها وتطور أجهزة الكمبيوتر والذاكرة والخوارزميات [16-18] والجدول التالي (1) بواسطة لونر [19] يوضح معايير اختيار الوسيلة الأنسب من بين وسائل محاكاة الرياح:

جدول 1. معايير اختيار الوسيلة المناسبة لمحاكاة حركة الرياح. [19]

نقاط تقييم طرق حساب الرياح مرتبة ترتيباً تنازلياً				المعايير
نقطة واحدة	نقطتين	3 نقاط	4 نقاط	
حسابات رياضية	برامج المحاكاة	نفق الرياح	القياس في الموقع	الدقة
حسابات رياضية	حسابات الموقع	نفق الرياح	برامج المحاكاة	القدرة على العرض
حسابات رياضية	نفق الرياح	برامج المحاكاة	القياس في الموقع	التقييم في المناطق الحضرية الموجودة
حسابات رياضية	القياس في الموقع	نفق الرياح	برامج المحاكاة	أقل تكلفة
القياس في الموقع	حسابات رياضية	نفق الرياح	برامج المحاكاة	أقل استهلاكاً للوقت
حسابات رياضية	القياس في الموقع	نفق الرياح	برامج المحاكاة	متوفر لمجتمع المستخدمين

من هذا الجدول فإنه يتبين أن ترتيب معايير اختيار الوسيلة الأنسب كانت في اختيار برامج محاكاة الرياح كما هو موضح في الشكل التالي:



شكل 1. تقييم وسائل محاكاة حركة الرياح (الباحث)

مجموع نقاط التقييم	وسيلة المحاكاة
21	برامج محاكاة الرياح CFD
17	نفق الرياح Tunnel
15	قياسات الموقع In-situ Measurement
7	الحسابات الرياضية Mathematical

(٢-١) برامج محاكاة الرياح.

تستخدم برامج المحاكاة في محاكاة حركة الرياح حول وداخل المباني عن طريق حل مجموعة من المعادلات التفاضلية الجزئية Partial Differential Equations اعتماداً على قوانين بقاء المادة (مثل معادلات نافير ستوكس Navier-Stocks equations) وقوانين بقاء الطاقة (energy conservation) و معادلات بقاء الكتلة (mass conservation) ونماذج العصف (turbulence models) عند مجموعة من العناصر المحددة (finite elements) تقع في نطاق عملية المحاكاة (computational domain). ويعتبر هذا المجال من المجالات البحثية النشطة التي تطورت كثيراً نتيجة لعدة أسباب منها [19]: الحاجة إلى توقع أداء المنتجات، وتكلفة التجارب العملية، وتطور إمكانيات أجهزة الكمبيوتر والخوارزميات وطرق الحل إضافة إلى سهولة استخدامها ونتيجة لسرعة انتشار برامج محاكاة الرياح، فقد تم وضع مجموعة من المعايير للمفاضلة البرامج الموجودة بين مجتمع المستخدمين وهذه المعايير موضحة في الجدول (2).

جدول 2. معايير اختيار برنامج محاكاة الرياح.

وجود نقاط مرجعية	قدرته على التوسع	السرعة	الدقة	وقت دورة محاكاة كاملة	مرونة التشكيل	التوثيق	سهولة الاستعمال
Benchmarking (BM)	Expandability (EX)	Speed (SP)	Accuracy (AC)	Turnaround time (TT)	Geometric flexibility (GF)	Documentation (DO)	Ease of use (EU)

(1-2-1) المعادلات الحاكمة.

من أهم شروط إجراء عمليات محاكاة الرياح والتي ينص عليها ASHRAE [20] هو ذكر المعادلات الحاكمة لعملية المحاكاة (Governing equations) وفيما يلي ذكر المعادلات الرئيسية الحاكمة لعملية المحاكاة بصفة عامة، وكذلك المعادلات الحاكمة لنموذج العصف (turbulence model)، والمعادلات الحاكمة لدراسة معدل تدفق الرياح نتيجة لفرق الضغط بين جانبي المبنى:

أ. المعادلات العامة الحاكمة لحركة الرياح.

إن المعادلات الرئيسية التي تحكم حركة الرياح حول وداخل المباني تعد معادلات تفاضلية جزئية لا خطية (non-linear partial differential equations) مشتقة من قوانين بقاء الكتلة (معادلة 1) وبقاء كمية الحركة (معادلة 2) و بقاء الطاقة (معادلة 3). ويتم حل هذه المعادلات لكل نقطة في مجال المحاكاة في الأبعاد الثلاثة x, y, z [21, 22] وهي كالتالي: معادلة بقاء الكتلة ويطلق عليها اسم معادلة الاستمرارية (continuity equation):

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0$$

معادلة 1

معادلة بقاء كمية الحركة (Momentum conservation).

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(v + v_t) \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \right] + \delta_i g \beta (\bar{T} - T_a) - \frac{2}{3} \frac{\partial k}{\partial x_i} + \frac{1}{\rho} S_{u_i}$$

معادلة 2

معادلة بقاء الطاقة (Energy conservation)

$$\text{معادلة 3} \quad \frac{\partial \bar{T}}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(D_T + D_{Tt}) \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_j} \right] + \frac{1}{\rho_a c_p} S_T$$

حيث: \bar{u}_i متجه السرعة في الإحداثيات الكارتيزية [م/ث]، t الزمن [ث]، \bar{p} الضغط [باسكال]، v لزوجة الهواء [م²/ث]، g متجه تسارع الجاذبية [م²/ث]، β معامل التمدد الحراري [1/كلفن]، T درجة الحرارة [كلفن]، k ثابت فون كارمان ~ 0.41 ، ρ كثافة الهواء ~ 1.204 [كجم/م³]، S_{u_i} كمية الحركة [كجم/م²ث]، D_T انتشارية الحرارة [م²/ث]، c_p الحرارة النوعية للهواء عند ضغط ثابت (الضغط الجوي عند منسوب سطح البحر) [جول/كجم.كلفن].
ب. المعادلات الحاكمة لتحديد الشروط الحدودية.

وهذه المعادلات تحدد سرعة الرياح الخاصة بعملية المحاكاة من خلال تصحيح بيانات محطات الأرصاد الجوية تبعاً لخشونة سطح الأرض التي تقع فيها عملية المحاكاة، ويختلف طول الخشونة (z_0) تبعاً لاختلاف موقع المشروع ففي حالة المناطق الريفية والمناطق المفتوحة يكون طول الخشونة 0.03م، أما في حالة المدن (كما في هذا البحث) يكون طول الخشونة 1.0 م. كما تحدد هذه المعادلات مدخلات نموذج العصف المستخدم في عملية المحاكاة وفي هذه الحالة تم استخدام نموذج العصف (standard K-ε turbulence model)، وتحديد هذه النماذج يعد ضرورياً للحصول على نتائج صحيحة.

معادلة حساب سرعة الرياح (U) على ارتفاع (z) م:

معادلة 4

$$U(z) = \frac{u^*}{k} \log \frac{z}{z_0}$$

معادلة حساب طاقة العصف الحركية (K) (turbulence kinetic energy):

معادلة 5

$$K = 1.5(I_U U)^2$$

معادلة حساب معدل تشتيت العصف (ε) (turbulence dissipation rate):

معادلة 6

$$\varepsilon = \frac{(U_{ABL}^*)^3}{k(z + z_0)}$$

حيث: $U(z)$ سرعة الرياح على ارتفاع z [م/ث]، u^* سرعة الرياح من بيانات محطة الأرصاد على ارتفاع 10م [م/ث]، k ثابت فون كارمان ~ 0.41 ، z_0 طول خشونة السطح [م]، K الطاقة الحركية للعصف [م²/ث]، I_U هو كثافة العصف الطولي، ويتراوح بين 30% على ارتفاع 2م إلى 5% عند تدرج الارتفاع، ε معدل تشتيت طاقة العصف الحركية [م³/ث].

ت. المعادلات الحاكمة لتحديد معدل تدفق الرياح خلال المباني.

وهي معادلات تعتمد على فرق الضغط بين جانبي المبنى (المواجه لحركة الرياح، والمظاهر لحركة الرياح) معادلة رقم 7 من ASHRAE [20]، ويتم الحصول على فرق الضغط من خلال عمليات المحاكاة، أما معدلات تدفق الرياح فتتم حسابها من المعادلات التالية و معادلة تحديد معدل تغير الهواء في الساعة (Air change per hour ACH) معادلة رقم 8: معادلة حساب معدل تدفق الرياح خلال فتحات المبنى:

معادلة 7

$$Q = C_D A \sqrt{2 \frac{\Delta P}{\rho}}$$

معادلة حساب معدل تدفق الرياح في الساعة ACH:

معادلة 8

$$ACH = \frac{3600 Q}{V}$$

حيث : Q معدل تدفق الهواء خلال الفتحات [م³/ث]، C_D معامل تصحيح الشباك ~ 0.65 في حالة شباك شيش ذو سلك للحشرات، A مساحة فتحة مدخل الهواء [م²]، ΔP القيمة المطلقة لفرق الضغط الاستاتيكي بين مدخل ومخرج الهواء [باسكال]، ρ كثافة الهواء [كجم/م³]، V حجم الفراغ [م³].

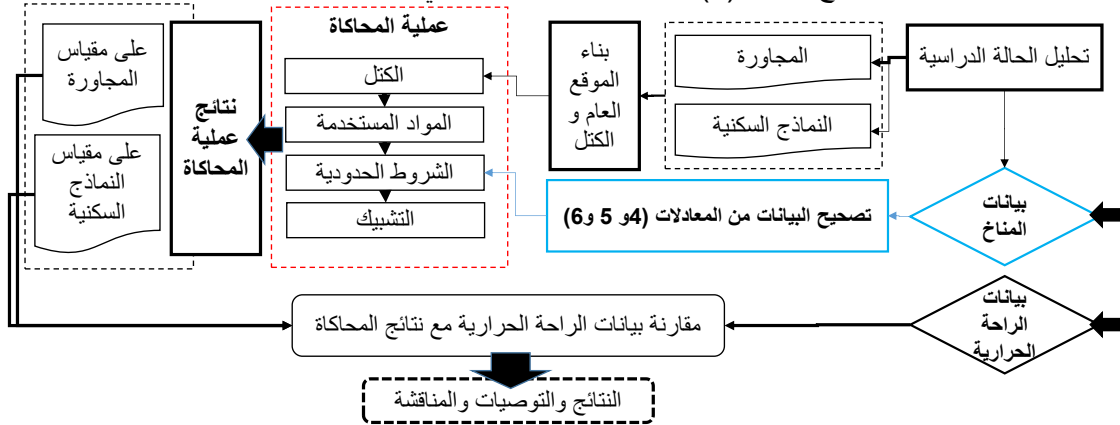
(2-2-1) أفضل الممارسات في محاكاة الرياح.

عند إجراء عملية محاكاة للرياح، فإنه من الممارسة الأفضل الأخذ في الاعتبار المتطلبات التالية حتى يتم ضمان جودة أعلى في عملية المحاكاة و أقل قدر من الأخطاء :

- 1 - عند بناء الكتل، يجب أن يتم تضمين جميع الكتل المحيطة والعوائق التي من شأنها التأثير بشكل كبير على حركة الرياح في منطقة الدراسة، وفي هذه الحالة يجب أن يتم بناء الكتل بشكلها المبسط أي بدون تفاصيل [23]. أما في حالة الكتل التي ليس لها تأثير مباشر على تدفق الرياح، فلا يجب بناءها وفي هذه الحالة يجب أن يتم حساب سرعة الرياح بناء على خشونة السطح (z_0) من المعادلات (4 و 5 و 6) [24].
- 2 - يجب أن يكون مجال المحاكاة computational domain كبيراً بما فيه الكفاية لتجنب أي تسارع غير حقيقي للرياح ويمكن حساب أبعاد مجال المحاكاة إما من أعلى ارتفاع للكتل، أو من خلال حساب معامل الإنسداد Blockage ratio [23، 17].
- 3 - يجب أن تكون الشروط الحدودية متناسقة بمعنى أن يكون مدخل الرياح، و خشونة سطح الأرض، و حدود مجال المحاكاة العلوية متناسقة بحيث لا تولد تدرجات غير صحيحة في سرعات رياح خلال عملية المحاكاة [25].
- 4 - يجب مراعاة جودة التشبيك بحيث يكون عالي الدقة وأن يكون توزيعه متناسق بما يضمن دقة النتائج وتضييق هامش الخطأ [25].

(2) منهجية البحث.

يقوم هذا البحث على أساس دراسة الحالة والتي تعد أحد الوسائل الهامة في جمع المعلومات وتحقيق النتائج التي لا يمكن الحصول عليها بأساليب أخرى ويكون هذا الأسلوب مناسباً للاستخدام عندما تكون الحالة التي يتم دراستها تحتوي على العديد من المتغيرات والعوامل المرتبطة مع بعضها البعض [26]. وقد وقع الاختيار لدراسة الحالة على نماذج إسكان الشباب في مدينة دمياط الجديدة، وقد تمت الدراسة على مقياسين رئيسيين. أولاً: مقياس (عمراني) وهو مقياس المجاورة السكنية وذلك لدراسة الراحة الحرارية الخارجية، وثانياً: مقياس (معماري) وهو مقياس الوحدات السكنية لقياس الراحة الحرارية الداخلية لعدد 6 وحدات سكنية من أحد النماذج والشكل (2) يلخص المنهجية المتبعة في دراسة الحالات.

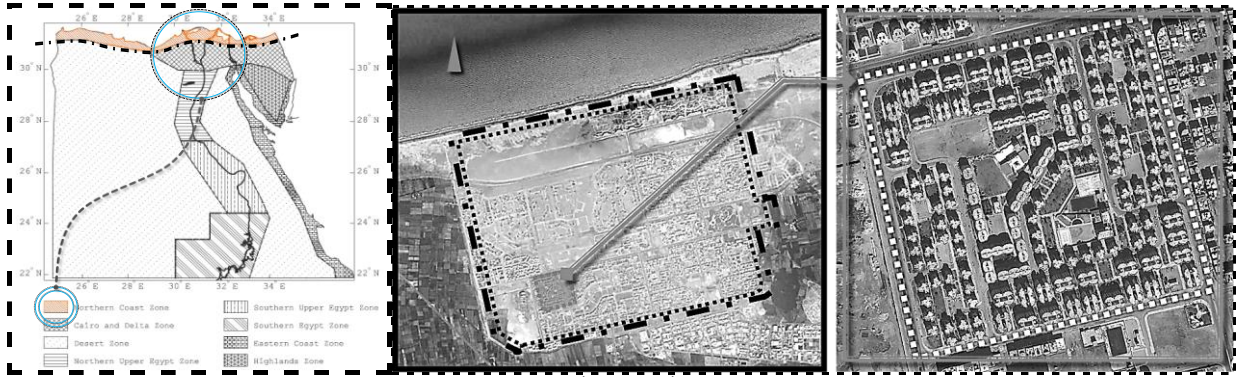


شكل 2. مخطط بياني لمراحل منهجية دراسة الحالة (الباحث)

(1-2) تحليل الحالة الدراسية.

تقع الحالة الدراسية في مدينة دمياط الجديدة إحدى مدن الإقليم المناخي الساحلي المصري، وهذه الحالة عبارة عن مجاورة سكنية على شكل مربع متساوي الأضلاع، يبلغ طول ضلعه 540 م. ويميل على اتجاه الشمال الجغرافي بزاوية 15° شكل (3)، ويحتوي على ثلاثة نماذج من المباني السكنية كما هو موضح في جدول (3) يطلق عليها اسم "نماذج السبعين" حيث إن كل نموذج يحتوي على وحدات سكنية بمساحة تقريبية 70 م² بارتفاع 5 أدور (دور أرضي وأربع أدوار علوي) ويوجد منطقة خدمات في المنتصف تحتوي على مسجد و منطقة خضراء و مدرسة.

دور برامج محاكاة الرياح في تحسين كفاءة أداء المباني السكنية: دراسة حالة على نماذج إسكان الشباب بمدينة دمياط الجديدة



شكل 3. موقع الحالة الدراسية (Mahmoud 2012)

والأشكال التالية توضح تحليل المجاورة السكنية من حيث الموقع العام والكتلة والفراغ شكل (4).



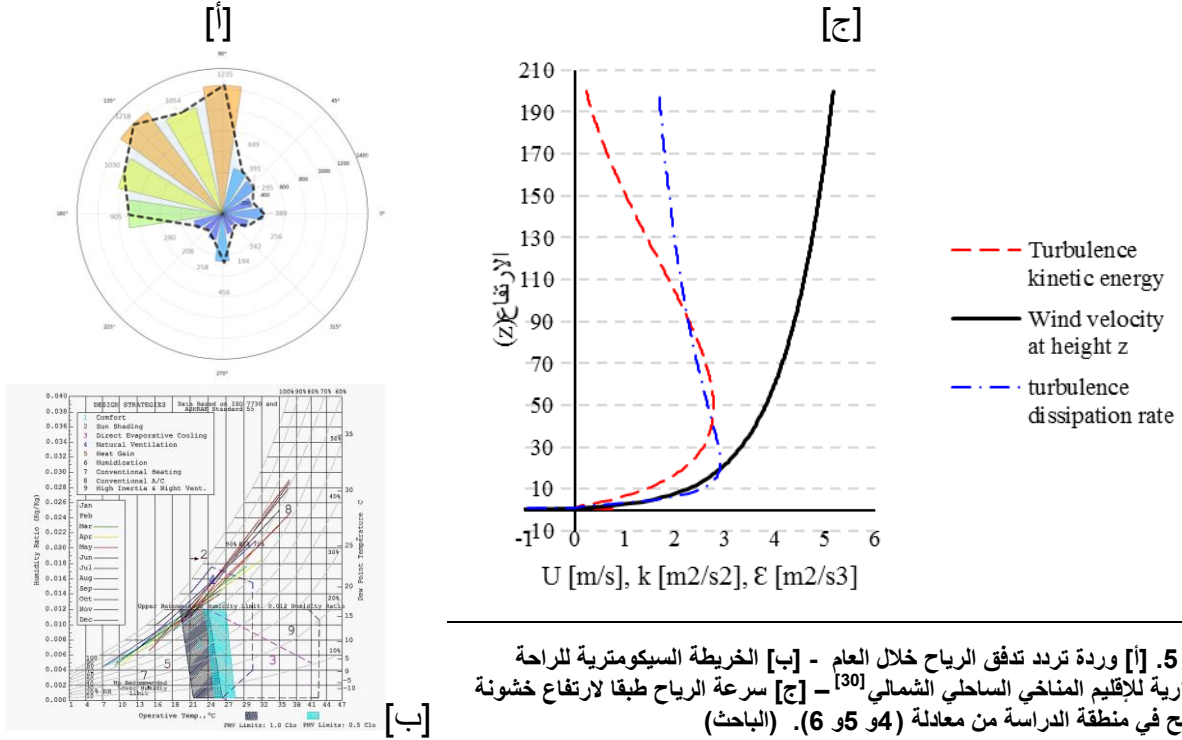
شكل 4. [أ] الموقع العام للمجاورة [ب]. الكتلة والفراغ (الباحث)

جدول 3. النماذج السكنية في المجاورة (الباحث)

النموذج الثالث	النموذج الثاني	النموذج الأول	النموذج
			شكل النموذج في الموقع
			كتلة النموذج
5 أدوار	5 أدوار	5 أدوار	عدد الأدوار
4 وحدات دور	8 وحدات دور	3 وحدات دور	عدد الوحدات
300 م ²	670 م ²	225 م ²	مساحة الدور
39 وحدة في المجاورة	37 وحدة في المجاورة	92 وحدة في المجاورة	عدد النماذج
			توزيع كل نموذج داخل المجاورة

(2-2) بيانات المناخ:

تقع الحالة الدراسية في الإقليم المناخي الشمالي الساحلي والذي يحتل شريط رفيع للمنطقة الساحلية موازية للبحر المتوسط بارتفاع يتراوح بين 0 إلى 500 متر أعلى منسوب سطح البحر كما هو موضح في شكل (3). وقد تم الاستعانة بالبيانات الخاصة بأقرب محطات أرصاد جوية من المنطقة وباستخدام نماذج توليد بيانات الأرصاد من بين 6 محطات أرصاد جوية باستخدام برنامج (meteonorm) والذي يعد من البرامج المعتمدة في هذا السياق [29-27]، وهذه المحطات هي: محطة أرصاد بلطيم - 55 كيلو متر، محطة أرصاد بورسعيد/الجميل - 57 كم، محطة أرصاد بورسعيد - 63 كم، محطة أرصاد الاسماعيلية - 108 كم، محطة أرصاد الاسكندرية (النزهة) وتبعد مسافة 164 كم عن منطقة الدراسة بالإضافة إلى محطة أرصاد القاهرة - 154 كم.



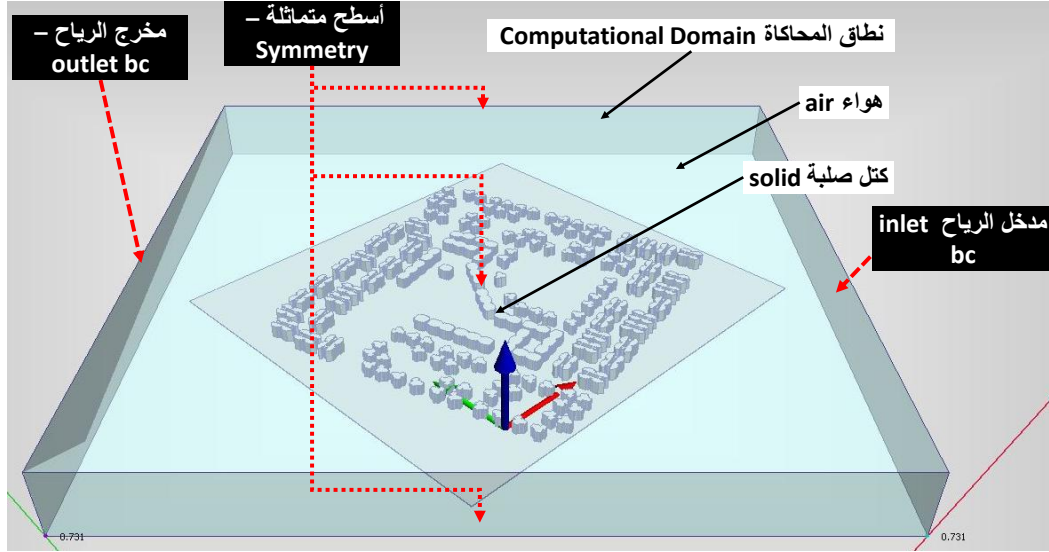
شكل 5. [أ] واردة تردد تدفق الرياح خلال العام - [ب] الخريطة السيكومترية للراحة الحرارية للإقليم المناخي الساحلي الشمالي^[30] - [ج] سرعة الرياح طبقا لارتفاع خشونة السطح في منطقة الدراسة من معادلة (4 و 5 و 6). (الباحث)

(3-2) الشروط الحدودية ومجال المحاكاة.

(1-3-2) الشروط الحدودية على مقياس المجاورة السكنية.

لعمل محاكاة للرياح على مستوى المجاورة، تم بناء النموذج باستخدام برنامج اوتوكاد 2012 قليل التفاصيل وذلك لتسريع عملية المحاكاة^[6]. يلي هذه الخطوة، إدخال الكتل إلى برنامج المحاكاة (Autodesk Simulation CFD) بمقياس رسم 1:1، ثم إضافة نطاق المحاكاة وهو عبارة عن صندوق متوازي أضلاع محيط بجميع الكتل يمثل مادة الهواء ويجري فيه عملية المحاكاة، وتم عمل هذا النطاق بحيث يكون موازيا لاتجاه الشمال مرة، ومائلا بزاوية 45 على اتجاه الشمال (عكس عقارب الساعة) مرة أخرى طبقا لبيانات المناخ الموضحة في الشكل السابق(). تم تحديد المواد المستخدمة لعملية المحاكاة كما هو موضح في الشكل (). بعد ذلك، تم إضافة الشروط الحدودية وهي كالتالي : أولا: مدخل الرياح وهو الوجه الذي يهب منه الرياح في اتجاه الشمال والشمال الغربي (inlet boundary condition) وتم تحديد قيمته من قيم المخرجات من المعادلة (4، 5، 6) والتي تم توضيحها في الشكل(5-ج)، وثانيا: مخرج الرياح وتم تحديد نوعه ضغط بقيمة صفر باسكال وهو الوجه المظاهر لاتجاه حركة الرياح، وثالثا: باقي الأوجه الجانبية والوجه العلوي والسفلي، تم تحديده (symmetry) حتى لا يؤثر وجوده على حركة الرياح. كما تم استخدام نموذج العصف الذي يعتمد على الطاقة الحركية Turbulent kinematic energy (K) من المعادلة (5)، ومعدل تبديد الطاقة (ε) Energy dissipation rate وتم الحصول عليه من المعادلة (6).

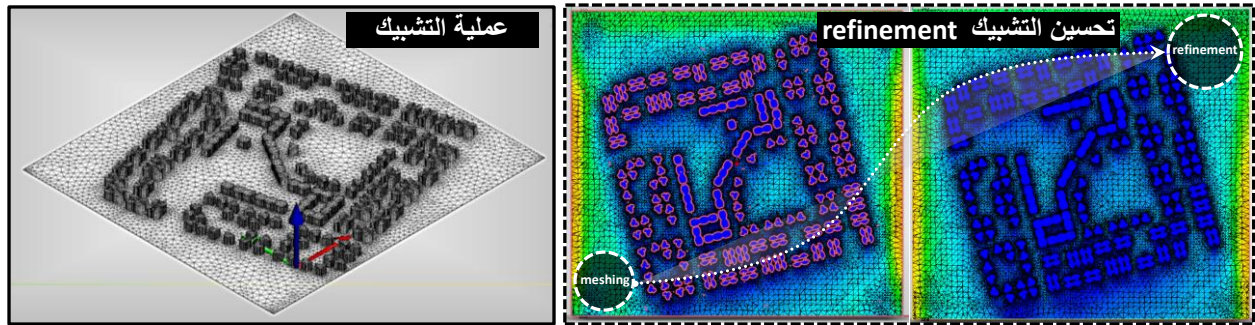
دور برامج محاكاة الرياح في تحسين كفاءة أداء المباني السكنية: دراسة حالة على نماذج إسكان الشباب بمدينة دمياط الجديدة



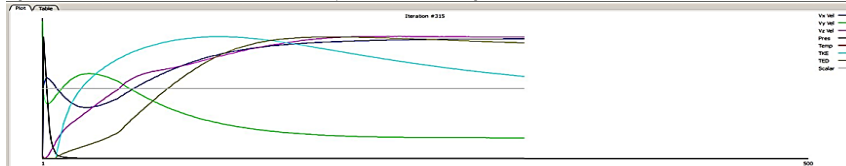
شكل 6. نطاق المحاكاة و الشروط الحدودية (الباحث باستخدام برنامج Autodesk Simulation CFD).

بعد ذلك، تم إجراء عملية تشبيك (meshing) لنطاق المحاكاة ، وبلغت دقة التشبيك 0.3 متراً وتم استخدام ما يقارب 13 مليون عنصراً محددًا (finite element) في عملية المحاكاة مع استخدام التشبيك المتكيف (adaptive meshing) كما هو موضح في الشكل (7). ويوضح الجدول التالي ملخص عملية المحاكاة وخصائص جهاز الكمبيوتر الذي تمت عليه عملية المحاكاة والزمن الكلي لكل عملية.

	Case1	Case2
CPU	Intel Core I7	Intel Core I7
Memory	24 GB	24 GB
Iterations	315 iterations	350 iterations
Turnaround time	30 hours	30 hours



شكل 7. عملية التشبيك وتم استخدام التشبيك المتكيف لتحسين دقة شبكة العناصر المحدودة (الباحث باستخدام Autodesk Simulation CFD)

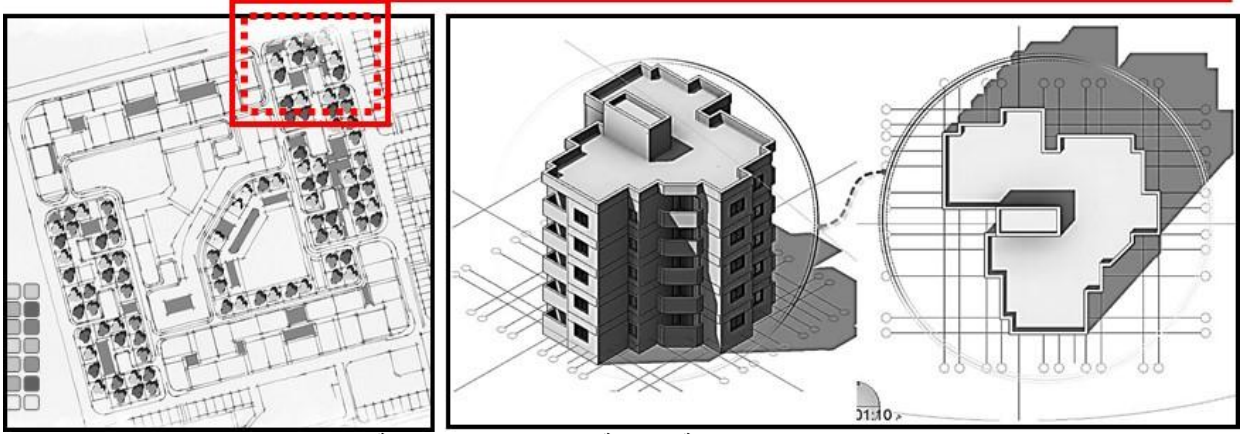


شكل 8 . عدد الدورات التكرارية 315 قبل الوصول إلى حالة الاستقرار steady state

(2-3-2) الشروط الحدودية على مقياس النماذج السكنية.

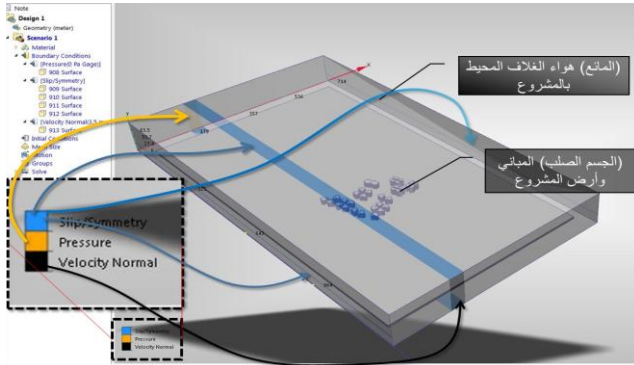
وقع الاختيار على 6 مباني سكنية تقع في شمال شرق المجاورة لإجراء عملية المحاكاة ودراسة الراحة الحرارية الداخلية للفراغات ووقع الاختيار على هذه النماذج خصوصاً لعدة أسباب منها: تنوع أشكالها واتجاهاتها، و سهولة الوصول إليها

وتوافر البيانات الخاصة بها وهي موضحة في الشكل (9)، وتم ترقيم كل كتلة من الكتل من 1 : 6 ليسهل عملية التوثيق لكل نتيجة شكل(10، 15).

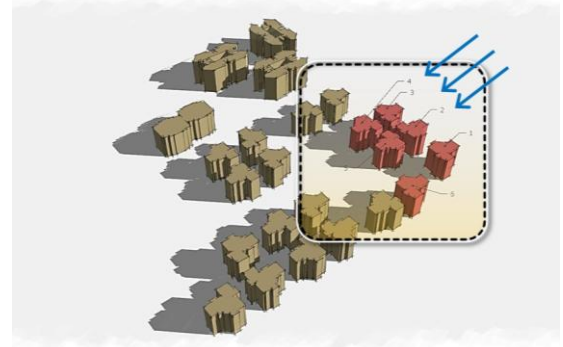


شكل 9. اختيار الحالة الدراسية على مقياس الكتل السكنية.

تم بناء الكتل باستخدام برنامج (AutoCAD 2012) شكل (10)، ثم تصدير الكتل إلى برنامج المحاكاة (Autodesk Simulation CFD 2015) بامتداد (SAT) لإجراء عملية المحاكاة ، وتم تحديد نطاق المحاكاة على شكل صندوق أبعاده من الجوانب والأمام = 5 أضعاف ارتفاع المباني. وأبعاده من الخلف = 15 مرة ضعف ارتفاع المباني كما يرجح ذلك هال[31]. شكل(11).



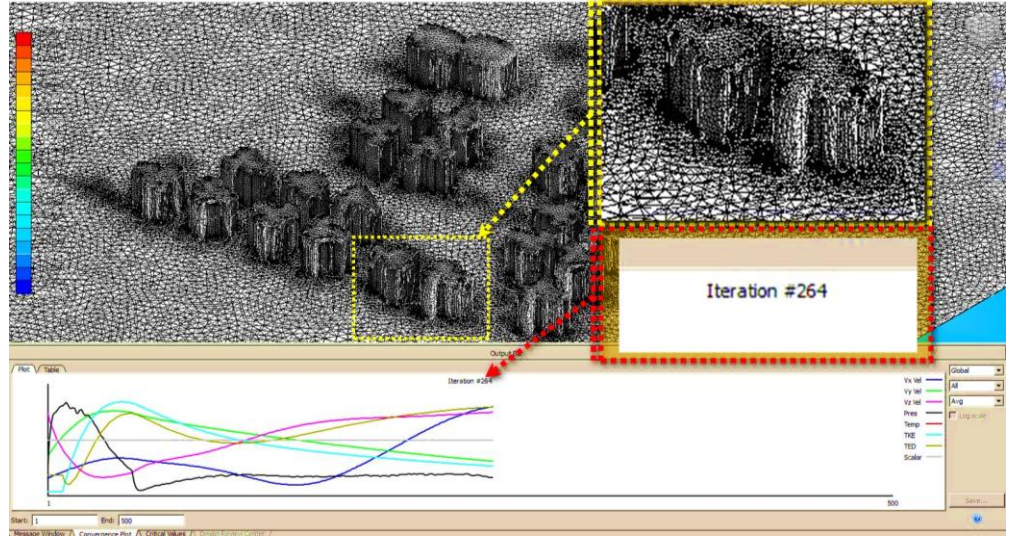
شكل 11. نطاق المحاكاة والمواد المستخدمة و الشروط الحدودية (الباحث)



شكل 10. بناء الكتل (الباحث)

يلي ذلك عمل تشبيك اوتوماتيكي متكيف (Adaptive automatic meshing) للكتل ، حيث وصلت عدد العناصر المحدودة إلى 3.7 مليون عنصرًا ، بينما وصلت عدد مرات التكرار قبل الوصول لحالة الاستقرار إلى 264 مرة في زمن قدره 12 ساعة كما هو موضح في الشكل(12). وتم عمل التجربة على جهاز Intel Core I7 وذاكرة مؤقتة 16 جيجا بايت.

دور برامج محاكاة الرياح في تحسين كفاءة أداء المباني السكنية: دراسة حالة على نماذج إسكان الشباب بمدينة دمياط الجديدة

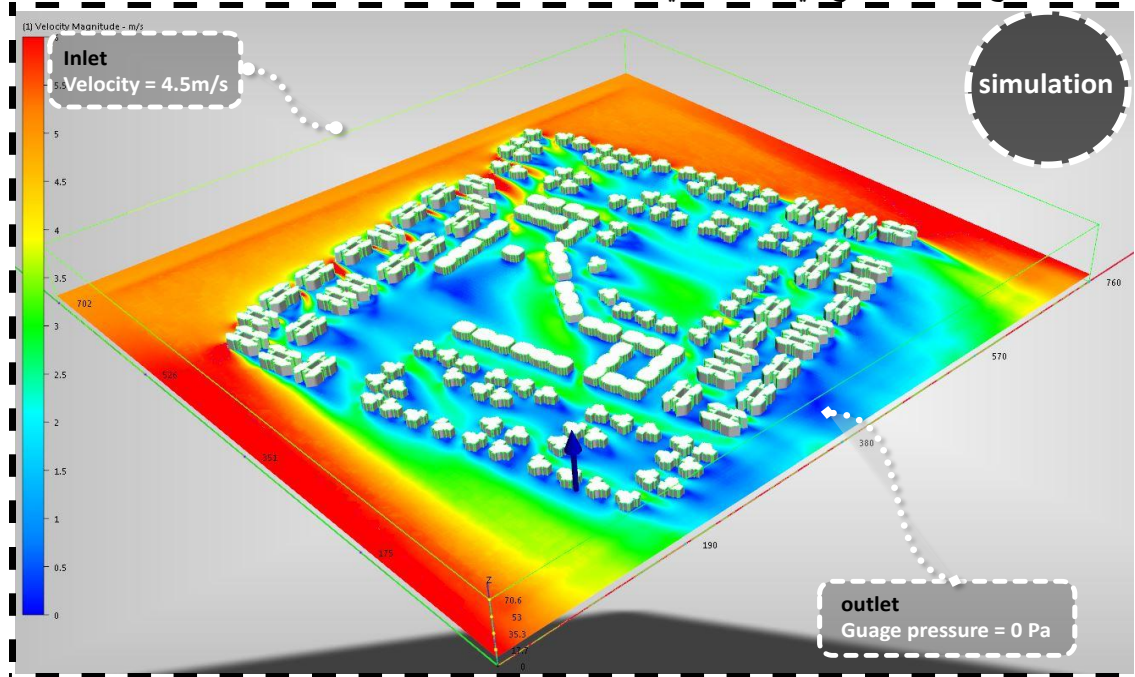


شكل 12. عمل
التشبيك اوتوماتيكي
متكيف بعدد 3.7
مليون عنصر محدود
، وبلغت عدد المرات
التكرارية 264 مرة
(الباحث).

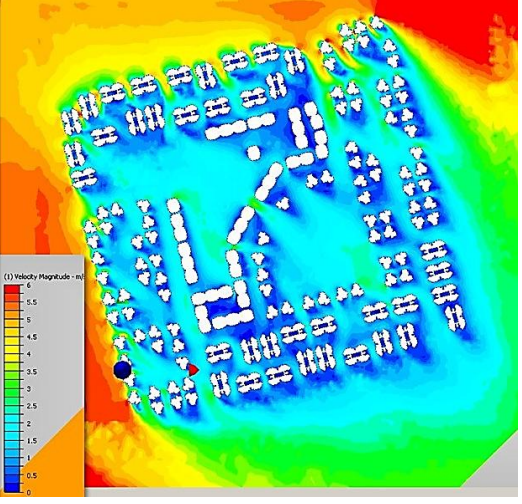
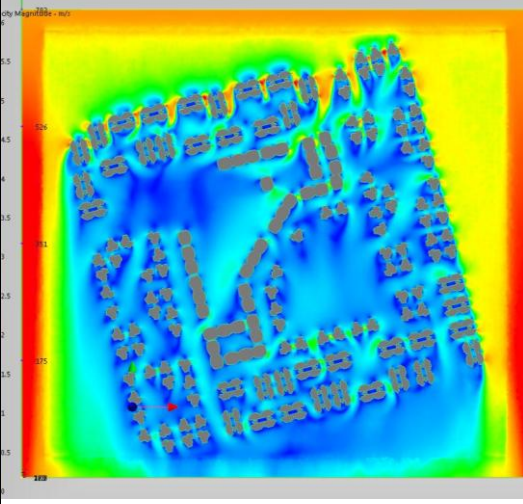
(4-2) عملية المحاكاة.

(1-4-2) عملية المحاكاة على مقياس المجاورة السكنية.

تم إجراء عملية المحاكاة مرتين، المرة الأولى بتحديد اتجاه الرياح الشمالي. والثانية بتحديد اتجاه الرياح شمالي غربي وتم رصد سرعة واتجاه حركة الرياح على مستوى المشاه (1.75 م) من سطح الأرض وذلك لتحديد مناطق الراحة الحرارية الخارجية ومناطق الإزعاج الذي يتسبب به الرياح، وبالتالي يمكن معالجته بزيادة نسبة التشجير أو وضع العوائق لكسر حدة الرياح. وكانت النتائج كما هو موضح في الشكل التالي :

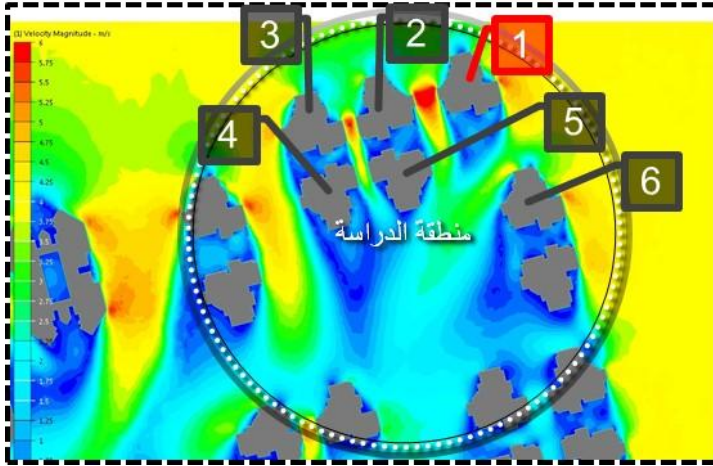


شكل 13. النتائج الميدانية لعملية المحاكاة على مستوى المجاورة السكنية (الباحث)

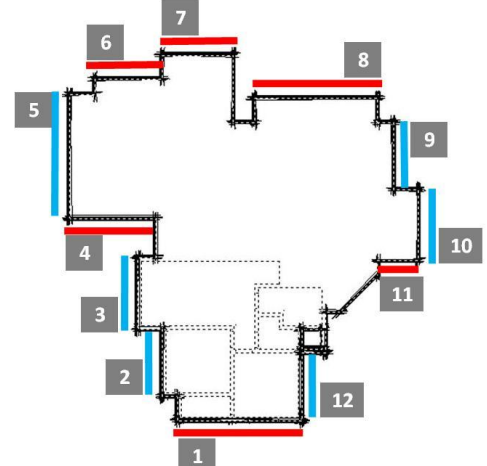
الحالة الثانية	الحالة الأولى	
شمالية غربية.	شمالية	اتجاه الرياح
4.5 م/ث	4.5 م/ث	سرعة الرياح
		عملية المحاكاة

(2-4-2) عملية المحاكاة على مقياس النماذج السكنية.

تم اتباع استراتيجية مختلفة في حالة النماذج السكنية، حيث إن الحسابات في هذه الحالة تعتمد على فروق الضغط بين كل حائطين من حوائط كل مبنى من المباني الستة، فقد تم ترقيم كل حائط برقم مختلف (بخلاف رقم كل مبنى) بحيث يكون من السهل توثيق النتائج كما في الشكل (14) فيصبح بالتالي كل مبنى من المباني الست له ترقيم من 1 : 12 حسب عدد الحوائط في كل مبنى ، فيكون – على سبيل المثال – الحالة رقم 3-1-5 (تدل على المبنى رقم 3 ، وفرق الضغط بين الحائط رقم 1 و 5)



شكل 15. ترقيم المباني حيز الدراسة. (الباحث)



شكل 14. ترقيم الحوائط لكل مبنى من المباني حيز الدراسة حتى يسهل توثيقها (الباحث)

من ثم ، تم إجراء عملية المحاكاة على الكتل شكل (16)، واستخلاص النتائج على شكل خطوط كنتور للضغط الاستاتيكي على واجهات المباني كما سيتم ذكرها بالتفصيل في الجزء القادم.

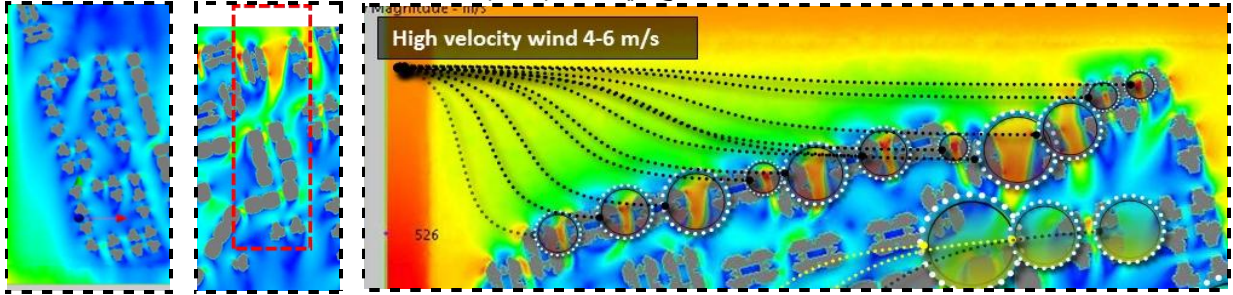


شكل 16. أحد خطوات عملية المحاكاة ، والنتائج الموضح هي الضغط الاستاتيكي على حوائط المباني (الباحث)

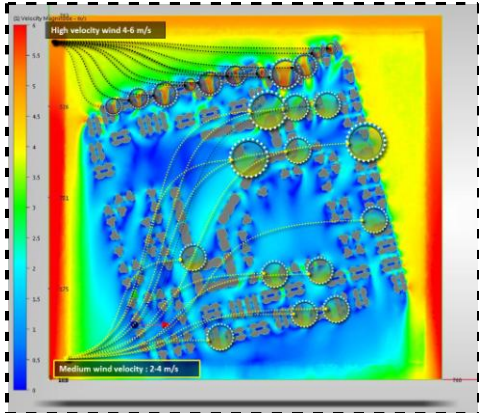
(3) النتائج.

(1-3) نتائج مقياس المجاورة.

أ. تزداد سرعة الرياح في المباني المواجهة للرياح حيث تقع هذه المباني على شارع بعرض 40 م مما يجعل هذه المناطق شديدة البرودة في الشتاء وكذلك يؤثر على الراحة الحرارية الخارجية للمشاة pedestrian thermal comfort كما هو موضح في الشكل (17-أ).



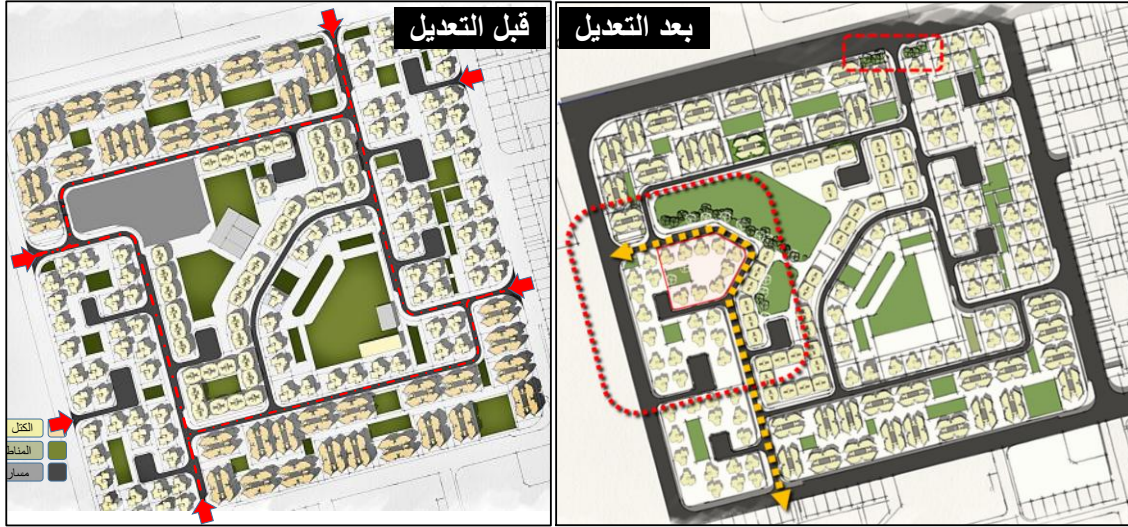
شكل 17. [أ] زيادة سرعة الرياح في الشوارع المواجهة لاتجاه الشمال، [ب] و [ج] ، زيادة سرعة الرياح في الشوارع الموازية لاتجاه حركة الرياح



شكل 18. سرعة رياح عالية عندما تكون نسبة عرض الشارع إلى

ارتفاع المبنى أكبر من 2.

يقترح الباحث لتحسين جودة التهوية الطبيعية على مستوى المجاورة السكنية التالي أن يتم زيادة التشجير في المناطق الشمالية المواجهة للرياح. إضافة إلى إعادة حل الشوارع الموازية لاتجاه الرياح بحيث لا تكون في موازاة حركة الرياح . كذلك يمكن توزيع المباني بشكل متبادل staggered بحيث يتم كسر سرعة الرياح في هذه المناطق . إضافة إلى إعادة توزيع الفراغات بين المباني بحيث لا تزيد نسبة عرض الفراغ إلى ارتفاع المبنى عن 1 كما هو موضح في الشكل (19) المقترح بواسطة الباحث.



شكل 19. مقترح إعادة تخطيط المجاورة لتحسين الراحة الحرارية الخارجية . (الباحث).

(2-3) نتائج مقياس المباني السكنية.

(1-2-3) تصميم الراحة الحرارية للمباني السكنية.

الجدول التالي يوضح خصائص الوحدات السكنية المستخدمة في دراسة الراحة الحرارية لاستنتاج مدى تأثير التهوية الطبيعية على كل وحدة من الوحدات الـ 6 سابقة الذكر:

جدول (6): شروط التصميم الحراري للراحة الحرارية.

أحمال التبريد	العنصر
° 24	درجة الحرارة الداخلية (للتصميم)
%90	الرطوبة النسبية الداخلية (للتصميم)
° 37	أقصى درجة الحرارة الخارجية في الصيف
° 31	أقصى درجة حرارة للهواء الخارجي في الصيف
13 كلفن	فرق درجات الحرارة للتصميم Δt Design
%90	الرطوبة النسبية %
0.016 كجم/كجم	فرق الرطوبة

جدول (7): كميات عناصر الوحدة السكنية للنموذج الأول.

ملاحظات	الكمية	العنصر
--	70 م ²	الأسقف
باب لكل وحدة سكنية مطل على البلكونة 2.2*0.9 م.	2 م ²	الأبواب
افتراض أن مساحة كل شباك 1 م ² لظروف التصميم.	4 م ²	الشبابيك
لكل وحدة - ارتفاع الدور 3 م.	72 م ²	الحوائط المعرضة للخارج
--	70 م ²	مساحة الدور
--	33.6 م ²	محيط الدور
بفرض أن الدور الذي يتم دراسته دور متكرر أما في حالة دور السطح فإن المساحة الكلية المعرضة 142 م ² .	72 م ²	المساحة الكلية المعرضة للخارج

وبعد إجراء عمليات المحاكاة واستخلاص فروق الضغط بين كل واجهتين من واجهات المباني ، تم استخدام معادلة حساب معدل التهوية الطبيعية رقم (7) لكل مبنى من المباني الـ 6 بين كل نافذتين من نوافذ المبنى. وحيث إن نوافذ المبنى

عبارة عن شيش من الخشب ، و نافذة زجاجية ذات شراعة من سلك الحشرات شكل(20) ، فقد تم استخدام معامل تصحيح النافذة C_D بقيمة 0.65 في المعادلة رقم 7.



شكل(20) النوافذ المستخدمة في نماذج إسكان الشباب السبعين

العنصر	معامل التبريد CF	المساحة(م ²)	حمل التبريد (واط)
الأسقف	-	70	لا يوجد في الأدوار المتكررة
الحوانط	57.2	72	4290
الأبواب	46.27	2	92.54
الشبابيك	64.3	4	257.2
بلاطة الدور	4.24-	70	297-
إجمالي أحمال التبريد للغلاف			4342
الاكتساب الداخلي			378
الإجمالي بدون فقد الانتشار			4720
فقد الانتشار			1369

6089 واط

إجمالي أحمال التبريد في فصل الصيف. q_s

من الجدول السابق(6و7)، تم حساب إجمالي أحمال التبريد خلال فصل الصيف كما هو موضح في الجدول التالي :
 بالتعويض في معادلة الحرارة المحسوسة q_s Sensible heat يمكننا تحديد مقدار تدفق الهواء المطلوب للوحدة السكنية حتى تحقق الاتزان الحراري :

معادلة 9

$$q_s = C_s Q \Delta t$$

$$6089 = 1230 Q * 13$$

$$Q = 0.380 \text{ m}^3/\text{sec}$$

مما سبق يتضح أن معدل تدفق الهواء داخل الفراغ اللازم للوصول إلى الراحة الحرارية وبالتالي توفير الطاقة يجب ألا يقل عن 0.38 م³ في الثانية ، وحيث إن النتائج التي تم دراستها في الجدول(9) تشير إلى تقلب قيم معدل التدفق زيادةً ونقصاناً حول هذه القيمة.

جدول(9): معدلات تدفق الرياح للفراغات المختلفة

رقم الحالة	1	2	3	4	5	6
حائط 1, 3	0.5	0.468	0.396	0.19	0.18	0.43
حائط 1, 2	0.48	0.527	0.275	0.1	0.09	0.36
حائط 3, 12	0.14	0.392	0.617	0.09	0.169	0.53
حائط 5, 7	0.34	0.356	0.372	0.13	0.221	0.37
حائط 5, 6	0.3	0.338	0.333	0.25	0.239	0.34
حائط 5, 8	0.32	0.341	0.351	0.21	0.261	0.37
حائط 8, 10	0.56	0.554	0.202	0.22	0.27	0.29
حائط 8, 9	0.34	0.35	0.202	0.11	0.201	0.12
حائط 8, 11	0.51	0.572	0.374	0.27	0.347	0.26
متوسط معدل التدفق	0.39	0.433	0.347	0.17	0.22	0.34

تهوية ضعيفة	منخفض	أقل من المتوسط	متوسط	أعلى من المتوسط	مرتفع
-------------	-------	----------------	-------	-----------------	-------

يلاحظ من الشكل ما يلي :

- في الحالة الأولى يكون معدل تدفق الرياح في جميع الفراغات متقاربة من القيمة المثلى ، إلا أنها تزيد في بعض الفراغات كما الحال بين الحائط (1,3) والحائط (1,2) والحائط (8، 10) والحائط (8، 11). إلا أنها تقل بشكل ملحوظ في حالة الحائط (3، 12) والتي تمثل نافذة في المعيشة و نافذة في الحمام والمطبخ في الوحدة السكنية الأولى. وللتغلب على هذه المشكلة يلجأ بعض السكان بشكل عفوي إلى عمل فتحات ليست في التصميم الأصلي للوحدة كما هو موضح في الشكل (21).
- يقترح الباحث أن يتم عمل فرق بين مساحة المدخل والمخرج لزيادة تدفق الهواء داخل الفراغ. فتكون مساحة المدخل 5 أضعاف مساحة المخرج، سيؤدي إلى زيادة معدل التدفق إلى 0.2 م³/ث.
- الحلة الثانية تعتبر حالة مثلى ، حيث إن معدل التدفق إما أن يكون متقارباً للحالة المثلى أو أعلى منها بمقدار بسيط ، لذا ، فإن الذي يتحكم في التهوية الطبيعية هو شاغلي الفراغ حسب الحاجة وحسب تكيف الراحة الحرارية لديهم .



شكل(21): يلجأ بعض السكان إلى عمل فتحات مخالفة للقانون

٣. الحالة الثالثة أيضا تمثل حالة جيدة من حيث معدلات التهوية الطبيعية ، إلا أنه لتحسين بعض الحوائط مثال: (حائط 1، 2) ، (حائط 8، 9) و(حائط 8، 10) فإن الباحث يقترح أن تكون النسبة بين مساحة نافذة المدخل والمخرج 1:4 ، حيث سيتم الوصول إلى الدرجة المثلة من تدفق الرياح : 0.38 م³/ثانية.

٤. على النقيض، فإن الحالة الرابعة تتطلب الكثير من التعديلات ، وقد يتطلب الأمر استخدام بعض الوسائل الإضافية كالملاقف أو المداخل أو حتى يمكن استخدام ادوات تهوية ميكانيكية نتيجة ضعف تدفق الهواء في بعض الفراغات ، كما هو الحال في : (حائط 1، 2) و(حائط 3، 12) و(حائط 5، 7) أما في باقي الحالات الأقل من المتوسطة ، فإنه سيتم عمل زيادة النسبة بين مدخل الهواء والمخرج بنسبة تتراوح بين 1:3 و 1:1.

٥. الحالة الخامسة تعتبر من الحالات الجيدة ، إلا أنه في بعض الفراغات كالفراغ بين (حائط 1، 2) سيكون هناك ضرورة لاستخدام ملقف أو مدخنة أو استخدام وسائل تهوية ميكانيكية. أما باقي الفراغات فإنه سيكون من الجيد زيادة النسبة بين مدخل الهواء والمخرج بنسبة : 1:2 .

٦. في الحالة السادسة هناك فراغ واحد سيتم استخدام التهوية الميكانيكية أو المستحثة للوصول للراحة الحرارية وهو: (حائط 8، 9). أما باقي الفراغات فتعتبر التهوية جيدة جدا ،

(٤) التوصيات والتطلعات المستقبلية.

من خلال الباحث تم الوصول إلى مجموعة من النتائج والتوصيات وهي كالتالي:

١. الأهمية الكبيرة لاستخدام تكنولوجيا المحاكاة بصفة عامة، وفي العمارة والعمران بصفة خاصة لما لها من كبير الأثر في المساعدة في اتخاذ قرارات تؤثر بشكل مباشر على كفاءة المباني وصحة وراحة المستخدمين. وبصفة خاصة استخدام تكنولوجيا محاكاة الرياح في البيئة المعمارية والعمرانية لما لها من كبير الأثر في هذا الجانب ، وخاصة برامج محاكاة الرياح أو الموانع CFD والتي أصبحت في متناول الجميع وسهلة الاستخدام وتتميز ببساطة وسهولة واجهات البرامج Graphic User Interface . وكذلك سرعة تنفيذها للمهام ومصداقيتها الشديدة credibility والتي أثبتتها الدراسات

٢. ثبت من خلال الدراسة ، أهمية استخدام برامج محاكاة الرياح في تطبيق مبادئ الاستدامة البيئية وتوفير حياة جيدة للأجيال المستقبلية في المراحل الأولى من التصميم وهو ما يثبت صحة الفرضية التي تم اقتراحها في بداية البحث.
٣. على الرغم من كفاءة استخدام برامج المحاكاة ، إلا أنه يعيها في بعض الأحيان وجود هامش من الخطأ والشك الذي يجب تداركه بعمل تحقيق للدراسة Validation . باستخدام أحد الوسائل التجريبية مثل نفق الرياح أو الطرق الحسابية أو الدراسة في الموقع، بجانب استهلاكها الشديد لذاكرة أجهزة الكمبيوتر.
٤. الضرورة الماسة لتطوير برمجيات أكثر كفاءة ، و سرعة وأكثر اعتمادية من ذي قبل ، وهذا ما يتضح في الأبحاث الجارية على الصعيد العالمي . واستخدام برمجيات حوسبة متوازنة Parallel computation وإجراء عمليات محاكاة عالية الكفاءة High performance Simulation HPS . وكذلك استخدام تقنية الحوسبة السحابية Cloud Computation . وكذلك استخدام أجهزة فائقة القوة Super Computers .
٥. من أهم النتائج التي يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار، ضرورة توفر بيانات دقيقة ومعتمدة للمناخ تغطي جميع مناطق الدولة وكذلك ضرورة رفع مساحي للمدن باستخدام تقنيات الرفع الدقيقة والمسح الليزري LIDAR وسهولة الوصول إلى البيانات مما يساعد الباحثين والمطورين في الاستفادة القصوى من هذه البيانات.
٦. يجب نشر حملات توعية للمواطنين بضرورة استغلال وسائل الطاقة النظيفة والسلبية في تلبية متطلبات الحياة حيث إن سلوك المستخدمين يعتبر من العوامل المهمة والمؤثرة بشكل كبير في استهلاك الطاقة وكفاءة أداء المباني

7. Serageldin, I., R. Barrett, and J. Martin-Brown, *The business of sustainable cities: public-private partnerships for creative technical and institutional solutions*. Vol. 7. 1995: World Bank Publications.
8. Wong, N.H., S.K. Jusuf, and C.L. Tan, Integrated urban microclimate assessment method as a sustainable urban development and urban design tool, in ELSEVIER. 2011.
9. Santamouris, M., *Energy and climate in the urban built environment*. 2013: Routledge.
10. Santamouris, M., *Energy in the urban built environment: The role of natural ventilation*. *Natural ventilation in the urban environment: assessment and design*, 2005: p. 1-19.
11. عوف، س.ع.ا.، العناصر المناخية والتصميم المعماري. 1994، الرياض: جامعة الملك سعود.
12. ASHRAE, American society of heating, refrigerating and air-conditioning engineers. Inc.: Atlanta, GA, USA. 2009.
13. Linden, P.F., The fluid mechanics of natural ventilation. *Annual review of fluid mechanics*, 1999. 31(1): p. 201-238.
14. Coffey, C. and G. Hunt, Ventilation effectiveness measures based on heat removal: Part 2. Application to natural ventilation flows. *Building and environment*, 2007. 42(6): p. 2249-2262.
15. Santamouris, M. and F. Allard, *Natural ventilation in buildings: a design handbook*. 1998: Earthscan.
16. Surry, D., Pressure measurements on the Texas tech building: Wind tunnel measurements and comparisons with full scale. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 1991. 38(2): p. 235-247.
17. Mahdavi, A. and C. Pröglhöf, A model-based approach to natural ventilation. *Building and Environment*, 2008. 43(4): p. 620-627.
18. Sharples, S. and R. Bensalem, Airflow in courtyard and atrium buildings in the urban environment: a wind tunnel study. *Solar Energy*, 2001. 70(3): p. 237-244.
19. Sacht, H., et al., Study of Natural Ventilation in wind Tunnels and Influence of the Position of Ventilation Modules and Types of Grids on a Modular Façade System. *Energy Procedia*, 2016. 96: p. 953-964.
20. Calautit, J.K. and B.R. Hughes, Wind tunnel and CFD study of the natural ventilation performance of a commercial multi-directional wind tower. *Building and Environment*, 2014. 80: p. 71-83.
21. Nejat, P., et al., Wind tunnel and numerical data on the ventilation performance of windcatcher with wing wall. *Data in Brief*, 2016. 9: p. 448-452.
22. Löhner, R., *Applied CFD techniques*. J. Wiley & Sons, 2001.
23. Franke, J., *Best practice guideline for the CFD simulation of flows in the urban environment*. 2007: Meteorological Inst.
24. Amorim, J.H., et al., CFD modelling of the aerodynamic effect of trees on urban air pollution dispersion. *Science of The Total Environment*, 2013. 461-462(0): p. 541-551.
25. Löhner, R., *Applied Computational Fluid Dynamics Techniques: An Introduction Based on Finite Element Methods*, Second Edition. 2008: John Wiley & Sons, Ltd.
26. Ashrae, A., *Standard 55-2004, Thermal environmental conditions for human occupancy*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineering, Atlanta, GA, 2004.
27. Constantin, P. and C. Foias, *Navier-stokes equations*. 1988: University of Chicago Press.
28. Chorin, A.J., Numerical solution of the Navier-Stokes equations. *Mathematics of computation*, 1968. 22(104): p. 745-762.
29. Franke, J., et al. *Recommendations on the use of CFD in wind engineering*. in *Cost action C*. 2004.

30. Blocken, B., T. Stathopoulos, and J. Carmeliet, *CFD simulation of the atmospheric boundary layer: wall function problems*. Atmospheric environment, 2007. **41**(2): p. 238-252.
31. Richards, P. and R. Hoxey, *Appropriate boundary conditions for computational wind engineering models using the $k-\epsilon$ turbulence model*. Journal of wind engineering and industrial aerodynamics, 1993. **46**: p. 145-153.
32. Gado, T. and M. Mohamed., *Application of computer based environmental assessment and optimization tools :An approach for appropriating buildings*, in *3rd international conference ArchCairo, Appropriating Architecture taming Urbanism in the decades of transformation*. 2006: Cairo.
33. Remund, J., S. Kunz, and R. Lang, *METEONORM, global meteorological database for solar energy and applied climatology, solar engineering handbook, version 4.0*. Meteotest, Bern, 1999.
34. Remund, J., R. Lang, and S. Kunz, *Meteonorm, Version 3.0*. Meteotest, Bern, 1997.
35. Remund, J. and S.C. Müller. *Solar radiation and uncertainty information of Meteonorm 7*. in *Proceedings of 26th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition*. 2011.
36. Mahmoud, A.H.A., *An analysis of bioclimatic zones and implications for design of outdoor built environments in Egypt*. Building and Environment, 2011. **46**(3): p. 605-620.
37. Hall, R., *Evaluation of modelling uncertainty. CFD modelling of near-field atmospheric dispersion. Project EMU final report, European Commission Directorate-General XII Science*. Research and Development Contract EV5V-CT94-0531, WS Atkins Consultants Ltd., Surrey, 1997.