

محاكاة استخدام أبراج الرياح لغرض تهوية المباني في مدينة الموصل

د. عباس سعيد حسين

مدرس

قسم الهندسة الميكانيكية / كلية الهندسة / جامعة الموصل

عبد اللطيف محمد خضر

طالب ماجستير

قسم الهندسة الميكانيكية / كلية الهندسة / جامعة الموصل

الخلاصة

تهدف الدراسة لمعرفة إمكانية تطبيق أبراج الرياح في مدينة الموصل لغرض التهوية . تم اختيار البرج المربع المقسوم بالقطرين من الأعلى إلى الأسفل مركبا على سطح غرفة بأبعاد 4x6x4 متر .تمت دراسة حركة الهواء داخل الغرفة وتوزيعها عن طريق أحد أنظمة محاكاة حوسبة حركة الموائع وهو Autodesk Simulation Computational Fluid Dynamic . خصص جزء من الدراسة للعوامل المعمارية من حيث موقع البرج (4 مواقع) ، وارتفاع البرج (5 ارتفاعات) وتغيير مساحة المقطع (3 خيارات) ، لتحديد أفضلها ثم إدخال ظروف مدينة الموصل (بعد تحليل بيانات الأنواء الجوية لسنة كاملة لمعرفة الاتجاه السائد للرياح وسرعتها بالنسبة إلى كل الاتجاهات واختيار البيانات التي تخدم عملية التهوية استنادا إلى مدى درجات الحرارة الداخلة ضمن منطقة الراحة الحرارية وهي بين 20 – 30 سيليزية) لمعرفة إمكانية استخدام الأبراج فيها .

وجد أفضل ارتفاع للبرج هو 4 امتار وأفضل مساحة مقطع هي 1x1 م وأفضل موقع وهو ان يكون وسط الضلع الطويل في طرف الجدار . ووجد ان سرعات الرياح السائدة هي بين 1.63-4.83 م/ثا ، وأخيرا أن اتجاه البرج الذي يعطي أفضل أداء لانتشار الهواء وتوزيعه داخل الغرفة هو 337 درجة شمال الشمال الغربي.

Simulation For the Buildings Ventilation using Windcatchers in Mosul

Abdullateef M. Khedher

Dr. Abbas S. Hussein

University of Mosul/ Collage of Engineering/ Mechanical Eng. Dept.

Abstract

This research investigates windcatcher usage in Mosul for ventilation . The choice of a square shape windcatcher diagonally partitioned along its height attached to a room of dimensions 4x6x4 m. Indoor air motion speed and movement were studied to assess a windcatcher's performance .A computational model is used with Autodesk Simulation CFD software for the simulation case. Part of this study was dedicated to find the geometrical characteristics of the windcatcher parameters: - height (4 cases), cross-section (3 cases) and location with respect to the room (4 cases). Another part is to analyze a yearly weather data of Mosul to find the prevailing speed and direction for all cases (a range of 20-30°C is chosen as a thermal comfort temperature range) and to use them as an input for the simulation to find the best case of the windcatcher.

The results shows that the best heights of 4m , the best cross-section of 1x1 m and the best location of the wind catcher is found to be at the middle of long side of the room. The weather data shows that the prevailing wind speed between 1.62 to 4.83 m/s. The final result of the study confirm that the direction of the windcatcher and the room which can give the best performance using all the above selected parameters in Mosul is 337 °NNW.

المختصرات

| الرمز | التعريف | الوحدة | الرمز | التعريف | الوحدة |
|--------|-------------------------|------------------------------------|---------------|----------------|------------------------------------|
| ρ | كثافة الهواء | (kg/m ³) | L | الطول | (m) |
| U | السرعة | (m/s) | μ_t | لزوجة الاضطراب | (N.s/m ²) |
| μ | لزوجة الهواء | (N.s/m ²) | ε | تشتت الاضطراب | (m ² /s ³) |
| K | الطاقة الحركية للاضطراب | (m ² /s ²) | C_μ | عامل نموذج k-ε | |

مقدمة

ازداد اهتمام الباحثين في العقود الأخيرة بدراسة وتطوير طرائق التهوية الطبيعية والتراكيب التي تخدمها وذلك للتقليل من استهلاك الطاقة والموارد لتلافي اخطار الانبعاثات الكربونية والتلوث وتشجيع استخدام الطاقة البديلة والمستدامة . وتنبه الكثير الى أهمية دراسة التراكيب المعمارية التاريخية ومن أهمها أبراج الرياح WindCatcher والتي شاع استخدامها في المناطق الحارة والجافة في منطقة الشرق الأوسط .

وأبراج الرياح عبارة عن تراكيب معمارية ترتفع عادة فوق الأبنية لسحب الهواء الجوي من ارتفاعات مناسبة وادخاله الى داخل البناء لغرض التهوية او التبريد . وتختلف أنواع أبراج الرياح من حيث الشكل والارتفاع والاتجاه والاضافات مثل الموجهات والمتحكمات والتي تصب جميعها في تحسين كفاءة البرج للغرض المطلوب حيث هناك البرج ذو الوجه الواحد او الفتحتين أو متعدد الفتحات وكذلك ذو الشكل المستطيل والدائري والمضلع . وقد اضيفت اليها اضافات لأغراض التبريد منها الماء للتبريد التبخيري والقنوات تحت الأرضية ومنها المدخنة الشمسية للمساعدة في سحب الهواء . لم تستخدم هذه التراكيب في مدينة الموصل ، إلا أنها من المتوقع أن تكون مفيدة في تهوية وتبريد المباني نظراً لتغيرات المناخ وارتفاع درجات الحرارة وطول فتراتها ، وكذلك فإن اتجاه الرياح يكاد يكون محدداً في أكثر أيام السنة مما يجعل أبراج الرياح تعمل بكفاءة أعلى وبأشكال بسيطة . وعليه فقد كانت هذه الدراسة لمعرفة امكانية استخدام هذه التراكيب المعمارية للتهوية في مدينة الموصل على غرار مدن أخرى في الكثير من الدول في منطقة الشرق الأوسط .

البحوث السابقة

لوحظ عند استعراض البحوث والدراسات التي تناولت أبراج الرياح أنها انقسمت الى عدة حقول فمنها ما كان استقراراً للبحوث النظرية حيث يستعرض [1] El-Shorbagy الأبنية التاريخية ومناطق وجودها وأنواعها وخاصة في منطقة الشرق بينما حاول الباحثان [2] Himmo & Suleiman بعد استعراض التقانات المطبقة في الأبنية التاريخية التطرق الى التحسينات التي تعمل على رفع الكفاءة وتحقيق اغراض التبريد فضلاً عن التهوية . وقام الباحث [3] Hughes بمقارنة التبريد السلبي مع التقانات الحديثة من حيث الاداء والتقليل من رأس المال واستهلاك الطاقة لكي يخلص الى أن ابراج الرياح والتركيبات الملحقة بها هي من البدائل المعقولة في زمن الحاجة الى المباني الخضراء . أما الباحث [4] Saadatian وآخرون فقد استعرضوا أنواع الأبراج وإضافاتها والقوى المحركة للهواء واتجاهاتها بالنسبة إلى اتجاه الرياح وتأثير الإضافات لغرض التهوية والتبريد معاً .

أما الحقل الثاني والذي تناولته البحوث فهو التجارب العملية كما فعل الباحثان [5] Montazeri & Azizian حيث تناول أشكال أبراج الرياح وتأثير اتجاه وسرعة الرياح على منطقة الفصل وقام الباحثان Rizk & Abd [6] Elghaffar بدراسة نموذج الجريان وكذلك تأثير حجم فتحة الدخول وزاوية سقف البرج . فيما قام الباحث Soutullo [7] بدراسة تهوية الفضاءات الخارجية وتأثير موقع المبنى نسبة إلى محيطه. أما استخدام أبراج الرياح لغرض التبريد التبخيري فقد استعرض الباحثون مثل الباحث [8] Elmualim و الباحثان [9] Galat & Sciuto استخدام تبليل السطوح بالماء وتأثيرها على الوصول إلى الراحة الحرارية في المباني التي استخدمت أبراج الرياح .

الحقل الآخر للدراسات كان البحث في خصائص وأشكال وتقانات أبراج الرياح عن طريق محاكاة تصرفها بواسطة برمجيات محاكاة حوسبة حركة الموائع CFD كالذي قامت به الباحثة [10] Ghadiri و الباحث [11] Nikas والباحثان [12] Elizalde & Mumovic وكل هذه الأبحاث تناولت شكل البرج واتجاه الرياح وتأثير سرعة الرياح والفتحات الأخرى في المبنى على أداء البرج في التهوية . أما في مجال التبريد التبخيري فقد قام الباحث [13] Kalantar بإيجاد كفاءة التبريد من خلال المحاكاة وقرن النتائج مع بعض البحوث العملية فوجد أنها متقاربة. وركز الباحث [14] Su وآخرون وكذلك الباحثان [15] Ramponi & Blocken على اختيار نموذج اضطراب الجريان k-ε لغرض المحاكاة مع التأكيد على حساسية شبكة المحاكاة في النتائج .

كذلك درس الباحثون التراكيب المساعدة حيث قدم [16] Nouane'gue' وآخرون دراسة عددية حول تأثير إضافة البرج الشمسي إلى برج الرياح و تحدث Jafarian [17] وآخرون عن تأثير درجة حرارة الهواء الداخل وسرعته وطول القنوات تحت الأرض على كفاءة التبريد لنظام متكامل كما تناولت [18] Khatami في دراستها تأثير تطبيق الموجات العمودية ودرس الباحث [19] Tavakolinia منظومة باستخدام أبراج الرياح متكاملة مع المدخنة الشمسية وعلاقة كفاءة المنظومة مع سرعة واتجاه الرياح .

نظرية البحث

في أغلب المسائل الخاصة بحركة الموائع تعالج وتتوقع النتائج بالمحاكاة باستخدام برامج حوسبة حركة الموائع CFD . والمعادلات الحاكمة لهذه الحركة هي معادلات نافير ستوكس وهي مكونة عادة من معدلات حفظ الكتلة والزخم والطاقة .

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho V) = 0$$

• حفظ الكتلة

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u V) &= - \frac{\partial p}{\partial x} + \rho f_x \\ \frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho v V) &= - \frac{\partial p}{\partial y} + \rho f_y \\ \frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho w V) &= - \frac{\partial p}{\partial z} + \rho f_z \end{aligned}$$

• حفظ الزخم

المركبة في المحور X

المركبة في المحور Y

المركبة في المحور Z

• حفظ الطاقة

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} \left[\rho \left(e + \frac{V^2}{2} \right) \right] + \nabla \cdot \left[\rho \left(e + \frac{V^2}{2} \right) V \right] = \rho q - \frac{\partial(up)}{\partial x} - \frac{\partial(vp)}{\partial y} - \frac{\partial(wp)}{\partial z} + \rho f \cdot v$$

تقوم برامج المحاكاة بحل المعادلات أعلاه بناء على المعطيات في كل نقاط الشبكة ثلاثية الأبعاد وتمثل نقاط الشبكة البناية المدروسة ومحيطها . إن مجاهيل الضغط ومركبات السرعة تأتي من الظروف الابتدائية والمحيطية ، ولهذا فإن دقة النتائج تعتمد عليها على نحو كبير كما أنها تتأثر على نحو كبير بكثافة شبكة المحاكاة . إن المسألة المدروسة تقع ضمن الجريان المضطرب وذلك عندما يكون رقم رينولد أكبر من 4000 محسوبة على أساس ارتفاع البرج. إن أنظمة حوسبة حركة الموائع تتعامل مع نماذج مختلفة من الجريان المضطرب ومنها أنموذج مطور لتحسين نتائج المحاكاة وهو أنموذج k-ε والذي يتكون من معادلتين ويفترض أن الجريان من النوع المتجانس isotropic . ويتحدث الباحثون أنه أفضل أنموذج لدراسة الجريان المضطرب داخل الغرف (22) يربطه k-ε بين الطاقة الحركية للجريان Turbulence kinetic Energy وتشنت اللزوجة dissipation of Viscosity للجريان للسماح بتقدير تأثير إجهاد رينولد Renold Stress اللازم لحصول الجريان .

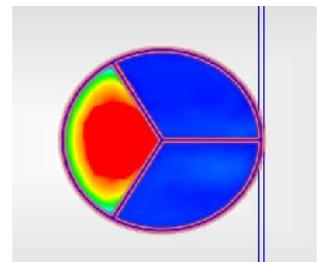
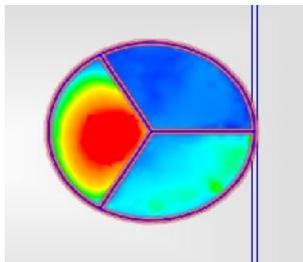
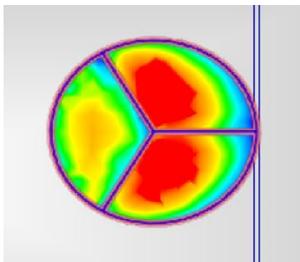
C_μ يفترض عادة كثابت هو 0.09

$$\mu_t = \rho C_\mu k^2 / \varepsilon$$

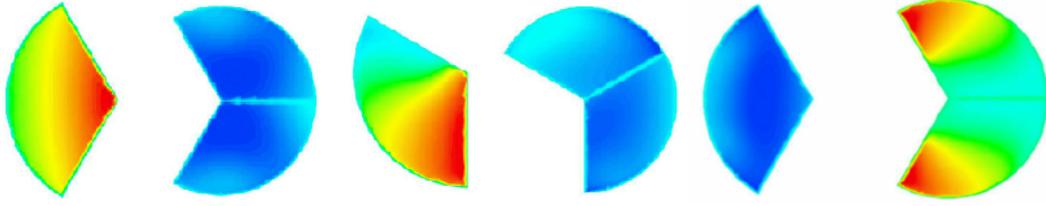
بالمعادلة

مصادقية برنامج المحاكاة

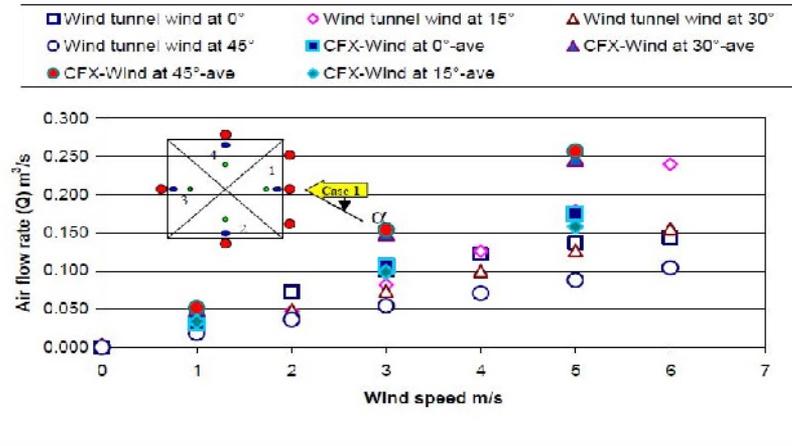
من متابعة البحوث [21] [8] لتنفيذ ما قام به الباحثون من عمل في أحد برامج المحاكاة ومقارنته مع نتائج البرنامج الذي تم المحاكاة من خلاله. وكما في أكثر البحوث ، فإن البحث لم يذكر بالتفاصيل الدقيقة كل الأرقام والأبعاد للنموذج المستخدم وقد حاولنا التقريب قدر المستطاع وكانت النتائج متقاربة إلى حد ما ولكنها غير متطابقة تماما للأسباب المذكورة إضافة إلى أن البحث لم يذكر ظروف المحاكاة بالدقة المطلوبة إلا أن المهم أن شكل المخرجات متقارب كما يظهر في الشكلين (1-2) ، وكذلك الجدول والرسم البياني في الشكلين (3-4) .



الشكل 1 نتائج برنامج المحاكاة

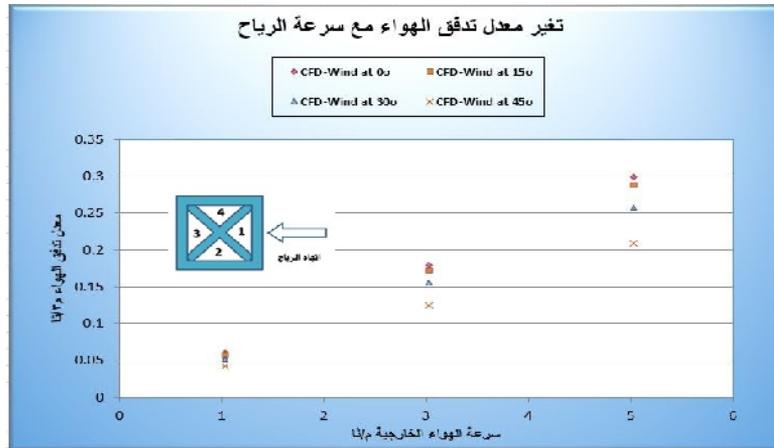


الشكل 2 نتائج البحث [21]



Variation of air flow with wind speed and wind direction using wind tunnel and CFD modelling

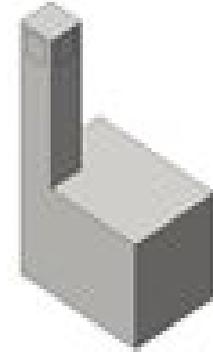
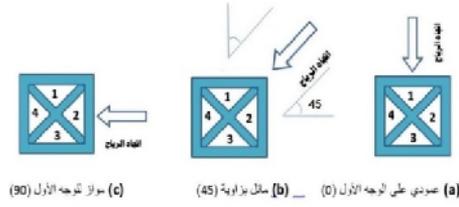
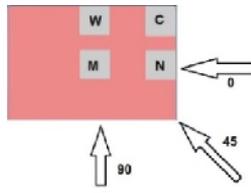
الشكل 3 الرسم البياني لنتائج البحث [8]



الشكل 4 الرسم البياني لنتائج المحاكاة

طريقة الدراسة

لغرض دراسة برج الرياح تم اختيار نموذج لغرفة بأبعاد 4x6x4 مركب عليها أحد الأشكال التقليدية للبرج وهو ذو المقطع المربع المقسم قطرياً إلى أربعة أقسام لينتج عن ذلك قنوات هوائية مثلثة المقطع تمتد من أعلى البرج حتى سقف الغرفة [20]. علماً أن اعتماد هذا الخيار تم بناءً على بعض البحوث التي قارنت بين أنواع المقاطع في الأبراج المستخدمة لأغراض التهوية. كما في الشكل (5)



الشكل 5 شكل الغرفة النموذج وموقع واتجاه البرج بالنسبة إلى الرياح

ولغرض محاكاة حركة الهواء داخل البرج والغرفة استخدم أحد أنظمة حوسبة حركة الموائع وهو Autodesk Simulation CFD كما استخدم أحد البرامج المساعدة في التصميم الهندسي Autodesk Inventor Fusion . وقسم العمل إلى ثلاث مراحل :

- دراسة المواصفات الهندسية من حيث الشكل والارتفاع والموقع
- تحليل بيانات الأنواء الجوية لمدينة الموصل
- تطبيق بيانات الأنواء الجوية على المواصفات الهندسية المختارة للبرج من أجل استنتاج الاتجاه الأفضل للبرج في مدينة الموصل

المواصفات الهندسية

أجريت المحاكاة لحركة الهواء داخل الغرفة والبرج لخمس ارتفاعات (2و3و4و5و6) متر . ولمقطع البرج المربع لثلاث حالات بطول ضلع (0.5 و 1 و 1.5) متر ولموقع البرج لأربع حالات (وسط الغرفة ، وسط الضلع الطويل ، وسط الضلع القصير ، زاوية الغرفة) وافترضت السرعة 2 متر/ثا واختيرت اتجاهات ثلاثة للرياح . قورنت الحالات وعلى ثلاثة مراحل بطرق مختلفة احدها مقارنة معدلات السرعات حيث حددت مستويات داخل الغرفة تبدأ من ارتفاع 50 سم عن ارض الغرفة وتنتهي ب 150 سم وهي 16 مستويا تم فيها تحديد السرعة الدنيا والسرعة القصوى و معدل السرعات من كل نقاط المستوي والتي هي عقد شبكة المحاكاة ثم قورنت هذه البيانات لكل حالة من الحالات المذكورة . ولما كانت الاحتمالات كثيرة فقد تم تقسيمها لكي تسهل المقارنة بينها وكما في الأشكال (6-7-8)



الشكل 6 رسم بياني للسرعات الدنيا لجميع الحالات



الشكل 7 رسم بياني لمعدل السرعات لجميع الحالات

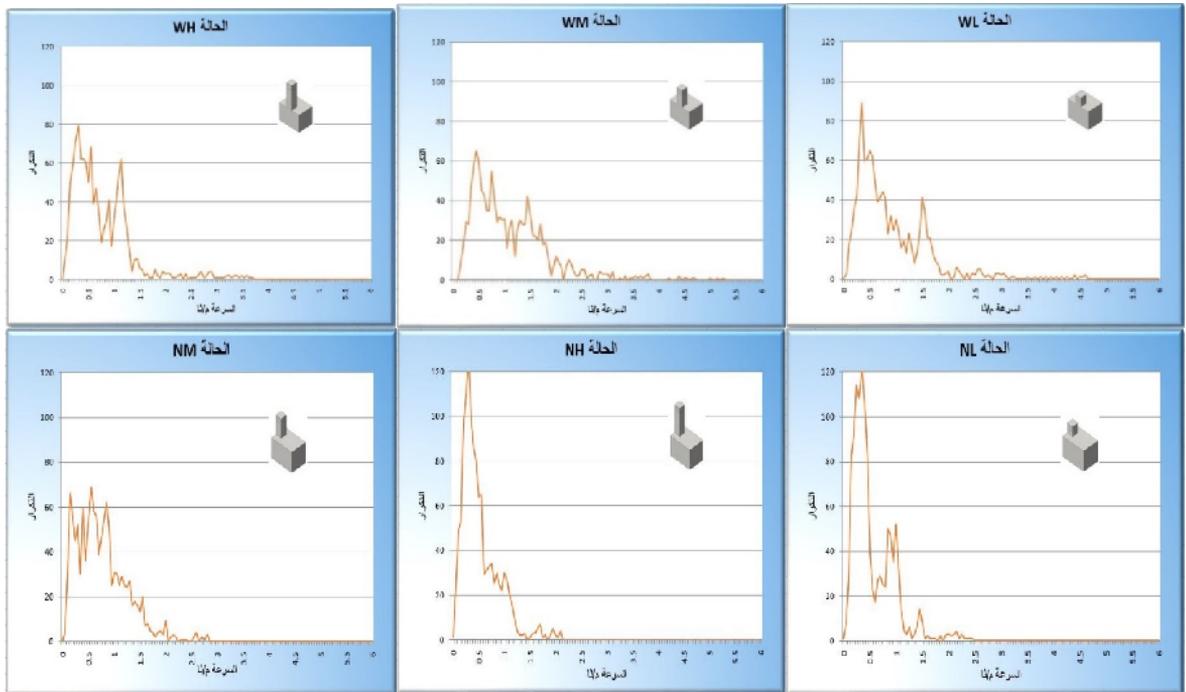


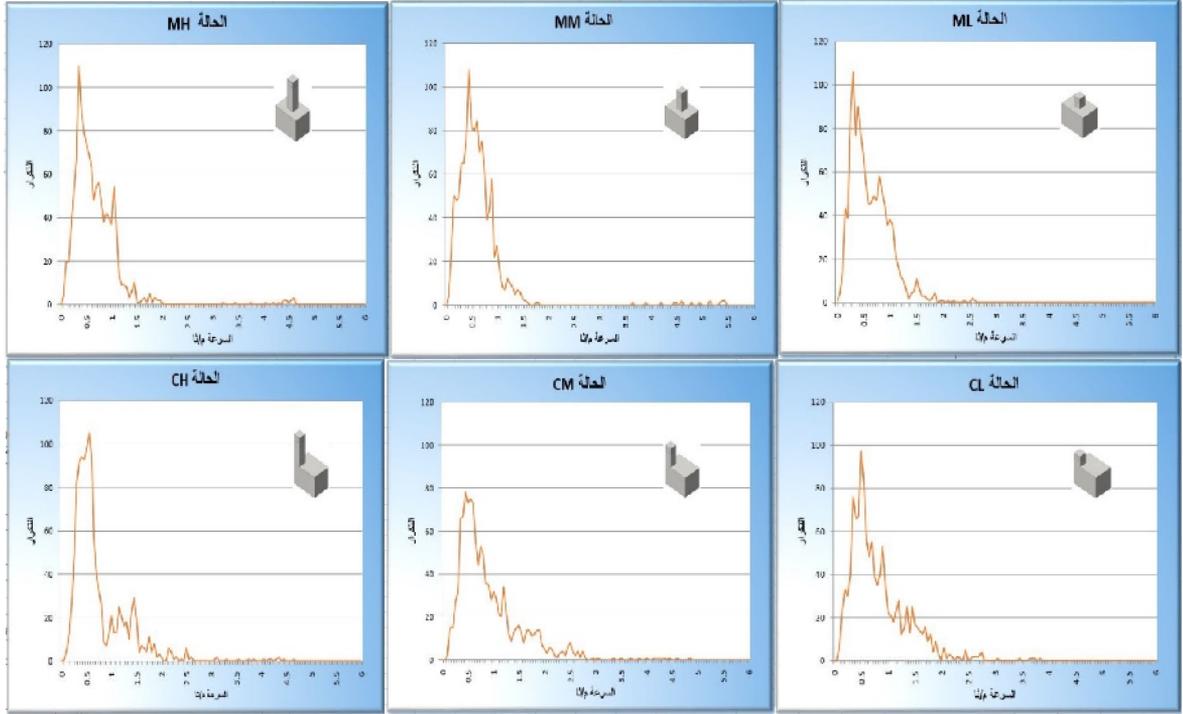
الشكل 8 رسم بياني للسرعات العليا لجميع الحالات

وكان من المهم أن يكون المعدل أعلى ما يمكن على أن لا تتجاوز حدود الراحة الحرارية والسرعة الدنيا أعلى ما يمكن والسرعة الأعلى أقل ما يمكن لكي تقترب من الراحة الحرارية وقد حقق نموذج وسط الضلع الطويل أفضل نماذج في ذلك.

أما طريقة المقارنة الثانية فكانت عن طريق مقارنة تكرار السرعات حيث رتب جميع نقاط المستويات المذكورة لكل حالة ووجد تكرار كل سرعة ووضعت في جداول وتمت المقارنة بينها كما في الشكل (9).

ويمكن القول إن سعة المدى للسرعات في المستوي تعطي انطباعاً عن حركة الهواء وهي كما يبدو من المنحنى تشير إلى الحالة WM نفسها (وسط الضلع الكبير وارتفاع البرج 4 أمتار) ، وعلى الرغم من أن التكرارات ليست هي الأعلى إلا أنها تمتد إلى سرعة 2 م/ث تقريباً لهذه الحالة ، مما يعني أن حركة الهواء كبيرة ولا تقتصر على سرعات محدودة وهذا طريق آخر لاختيار هذه الحالة . ثم أعيدت نفس الطرق السابقة لغرض استنتاج الارتفاع الأفضل والمقطع الأفضل فوجد في النهاية أن النموذج الأفضل هو مساحة المقطع للبرج بضعف 1 متر وارتفاع 4 متر وموقع وسط الضلع الكبير.

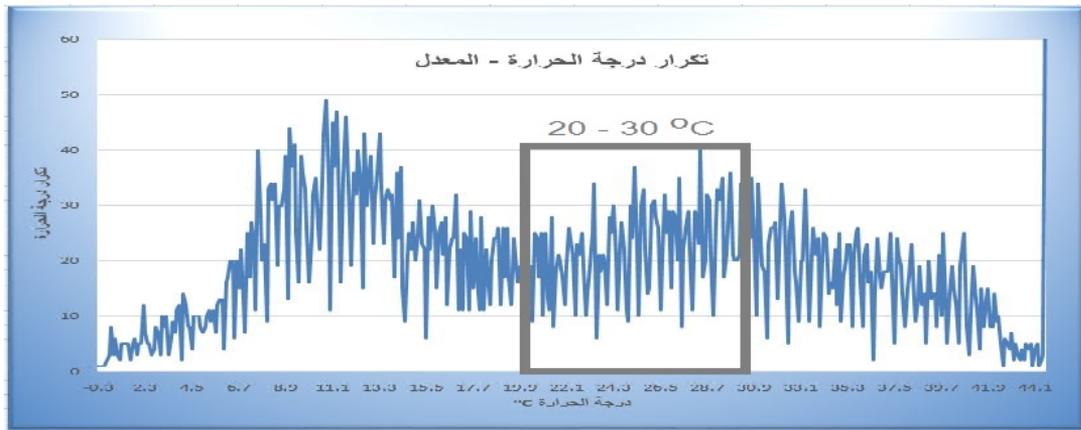




الشكل 9 رسم بياني تردد السرعات لكل حالة من الحالات الـ 12 في المرحلة الأولى

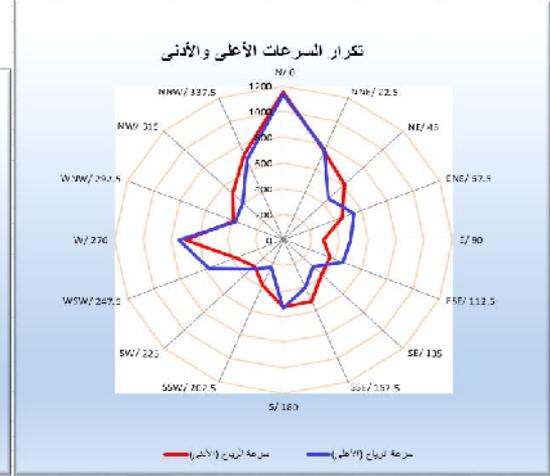
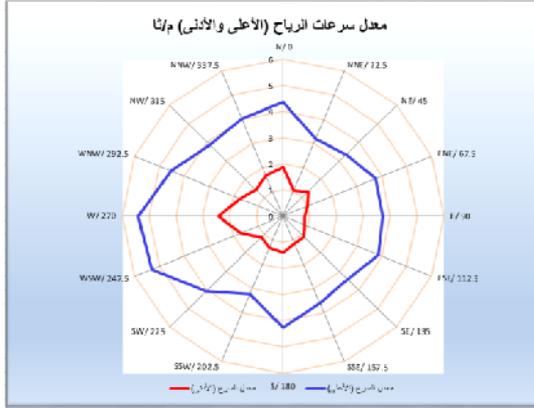
الأنواء الجوية

لا بد من معرفة سرعات الرياح السائدة في مدينة الموصل والاتجاهات السائدة للرياح حيث تحوي بيانات الأنواء الجوية التي تم اعتمادها درجات حرارة أعلى وأدنى وسرعة رياح أعلى وأدنى واتجاهاتها وسرعة هبوب مجردة من الاتجاه . وقد فرزت البيانات على أساس اختيار درجة حرارة متوافقة مع الراحة الحرارية بين 20 - 30 درجة سيليزية (لاحظ الشكل 10) حيث أن هذه الدراسة لا تدخل التبريد والتدفئة التي تعتبر إضافات إلى أبراج الرياح .



الشكل 10 تكرار درجات الحرارة المعدل فضلاً عن الجزء الذي يتراوح بين 20 و 30 م

وكانت نتائج التحليل كما في الشكلين 11 و 12.



الشكل 11 تكرار توزيع اتجاهات الرياح بشكل الزهرة (السرعة الأعلى الأدنى)

الشكل 12 زهرة الرياح لمعدل سرعة الرياح الأعلى والأدنى

ولغرض تطبيق السرعات على النموذج استخدمت مقارنات التكرارات لإيجاد السرعات السائدة المقبولة (التي لا تؤدي إلى سرعات عالية داخل الغرفة) إضافة إلى أنها تشكل نسبة كبيرة من السرعات المسجلة عند درجات الحرارة المذكورة) وقد اختيرت السرعات 1.61 و 3.22 و 4.83 م/ثا. أما الاتجاهات فقد حسبت الاتجاهات السائدة لهذه السرعات ورسمت على شكل زهرة الرياح ثم تم عمل جداول لجميع الاتجاهات الستة عشر وثبت على كل اتجاه السرعة السائدة له كما في الجدول (1)

الجدول 1 السرعات المختارة والاتجاهات السائدة فيها

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|----|------|----|------|---|
| 337.5 | 315 | 292.5 | 270 | 247.5 | 225 | 202.5 | 180 | 157.5 | 135 | 112.5 | 90 | 67.5 | 45 | 22.5 | 0 |
| B | B | C | A | A | C | C | B | A | B | C | C | C | C | B | A |

| الرمز | السرعة | الاتجاه |
|-------|--------|---------|
| C | 1.61 | 45 |
| B | 3.22 | 135 |
| A | 4.86 | 270 |



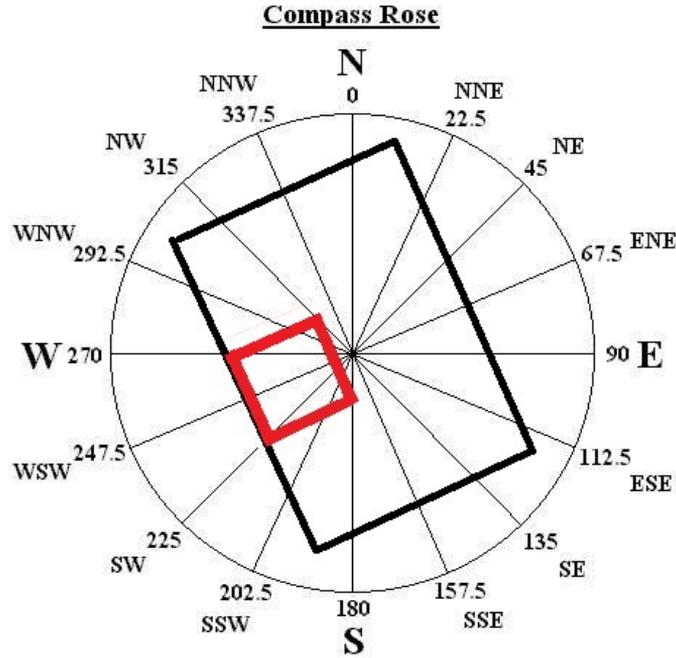
الشكل 13 شكل زهرة الرياح لتوضيح تأثير مديات السرعات المختارة على مؤشر الاتجاهات

تطبيق بيانات الأنواء الجوية على النموذج المختار

وفي المرحلة الأخيرة أجريت المحاكاة لكل حالة من جدول الاتجاهات الستة عشر للسرعات السائدة الثلاثة وأعيدت لكل اتجاه من اتجاهات المبنى الستة عشر.

إن النتائج من المحاكاة والتي تمت مقارنتها بنفس الطرق السابقة تحوي على قيم الصفر بشكل كبير وتحوي على قيم لم تتكرر إلا نادرا (منها قيم صغيرة جدا ومنها كبيرة جدا) وهذا ما يعيق رسمها على شكل الزهرة حيث أن الفروق طفيفة جدا وكان لا بد من إلغاء هذه الأرقام التي لا تؤثر على النتائج وقد تم اختيار المدى بين 0.5 و 2.0 للمقارنة ورسمت النتائج كما في الشكل (13)

ومن الواضح هنا بعد هذا الرسم أن أفضل اتجاه للغرفة هو بزاوية 337.5 تقريبا أي (شمال الشمال الغربي) كما في الشكل التالي الشكل (14).



الشكل 14 رسم يوضح الاتجاه الأفضل للمبنى وفقاً لمؤشر الاتجاه في المديت المختارة من السرعة

إن التشابه بين البيانات واضح حيث أن العلاقة الخطية متقاربة وكذلك معدلات التدفق الموافقة لسرعات الرياح والاختلاف يعود إلى دقة حجم النموذج أولاً وإلى أسلوب المعالجة حيث أن هناك اختلافاً بسيطاً في نموذج الاضطراب بين الحالتين .

النتائج :

إن الهدف الأساسي من هذه الدراسة هو معرفة صلاحية تطبيق أنظمة أبراج الرياح في مدينة الموصل لأغراض التهوية وبعد إجراء المحاكاة بأحد أنظمة CFD على نموذج غرفة مستطيلة وبرج ذو مقطع مربع استنتج أن أفضل موقع للبرج هو في وسط الضلع الطويل ملاصقاً للجدار إن أفضل مقطع لبرج الرياح كان بطول ضلع 1 متر وبفتحات دخول بالأبعاد 1 x 1 متر وإن أفضل ارتفاع للبرج هو 4 متر . أما بالنسبة إلى الأنواء الجوية فإن سرعات الرياح السائدة في مدينة الموصل هي بين 1.63 و 4.83 م/ثا وإن الاتجاهات السائدة في مدينة الموصل لا تتطابق مع اتجاهات الرياح ذات السرعات السائدة ولهذا فإن لكل سرعة من السرعات المذكورة اتجاهات تكون فيها أكثر تكراراً من غيرها . إلا أن أكثر اتجاهات الرياح تكراراً بصورة عامة يكون في اتجاه الشمال يليه اتجاه غرب الجنوب الغربي . وأخيراً وبعد مقارنات بين البيانات بطرائق متعددة تم استنتاج أن أفضل اتجاه للبرج والمبنى ضمن المواصفات التي تم تحديدها للدراسة هو أن يكون الضلع الصغير للمبنى عمودياً على شمال الشمال الغربي . واستنتج إمكانية استخدام أبراج الرياح في مدينة الموصل لغرض التهوية مما يساعد في تقليل التلوث وتقليل استهلاك الطاقة . وإذا ما تولدت القناعة لدى المتخصصين في هذا المجال بكفاءة هذه التراكيب فيمكن عند ذلك نشر ثقافة استخدام أبراج الرياح بأنواعها للاستفادة منها على نطاق واسع كنوع من الطاقة البديلة والمستدامة .

إن هناك اختصارات وتقريبات استخدمت خلال الدراسة حاولنا أن نختارها بحيث لا يكون تأثيراً جوهرياً على الاستنتاجات ، منها اختيار مدى درجات حرارة الراحة الحرارية (20-30) ثم عدم التفريق بين الليل والنهار ومنها اختيار 3 سرعات سائدة وهي تشكل لوحدها أكثر من نصف السرعات المسجلة وليس كلها وكذلك حذف السرعات والتكرارات العالية والواظئة في أكثر من مرحلة لغرض حصر النتائج في مديات يمكن الاستنتاج منها . إضافة إلى الاعتماد على بيانات الأنواء الجوية لسنة واحدة فقط ، وكل هذا يمكن أن يكون مجالاً لبحوث مستقبلية فيما يخص مدينة الموصل . ويمكن الإشارة إلى أفكار أخرى يرجى أن تكون ذات فائدة في هذا المجال ومنها

- دراسة استخدام المنائر في المساجد على أنها أبراج رياح مع معالجتها معماريا من الداخل والخارج لتحسين الكفاءة وخاصة أن التهوية في الأماكن المزدحمة لها أهمية كبيرة من حيث تحريك وتوزيع وتبديل الهواء ، وكذلك يمكن استخدام الشبائيك والقباب كتراكيب للسحب في هذه المساجد .
- استخدام الماء في التبريد التبخيري ، كإضافة إلى أبراج الرياح لغرض التبريد إضافة إلى التهوية مما يزيد الفترة الزمنية التي يمكن الاعتماد فيها على الأبراج وخاصة أن مناخ مدينة الموصل ذا رطوبة منخفضة نسبيا بشكل عام
- التحول إلى التراكيب المعمارية الحديثة مع التحكم الآلي بدخول وخروج الهواء والفتحات ودراسة الإضافات الأخرى التي ترفع كفاءة الأبراج لغرض التهوية والتبريد وهو محور كبير لدراسات مستقبلية باتجاه المدن الخضراء .

المراجع

- [1] Abdel-moniem El-Shorbagy "Design with Nature: Windcatcher as a Paradigm of Natural Ventilation Device in Buildings". International Journal of Civil & Environmental Engineering IJCEE-IJENS Vol:10 No: 03, 2010.
- [2] S. Suleiman, B. Himmo. "Direct comfort ventilation Wisdom of the past and technology of the future (wind-catcher)". Sustainable Cities and Society 5 (2012) 8–15
- [3] Ben Richard Hughesa, Hassam Nasarullah Chaudhrya, Saud Abdul Ghanib. "A review of sustainable cooling technologies in buildings". Renewable and Sustainable Energy Reviews 15 (2011) 3112– 3120
- [4] Omidreza Saadatian, Lim Chin Haw, K. Sopian, M.Y. Sulaiman. " Review of windcatcher technologies". Renewable and Sustainable Energy Reviews 16 (2012) 1477– 1495
- [5] H. Montazeri, R. Azizian. "Experimental study on natural ventilation performance of one-sided wind catcher". Building and Environment 43 (2008) 2193–2202
- [6] Ahmed Abdel Wahab Ahmed Rizk, Mohamed Abd Elmawgoud Abd Elghaffar. "The Effect of Wincatcher -Elmalqaf- On The Internal Natural Ventilation In Hot Climate With Special Reference To Egypt. A Study On Small Physical Model". Ass. Univ. Bull. Environ. Res. Vol. 10 No. 1, March 2007
- [7] S. Soutullo, R. Olmedo, M.N. Sánchez, M.R. Heras. "Thermal conditioning for urban outdoor spaces through the use of evaporative wind towers". Building and Environment 46 (2011) 2520e2528
- [8] Abbas Ali Elmualim. "Modelling of A Windcatcher for Natural Ventilation. School of Construction Management & Engineering", The University of Reading, United Kingdom, 2004
- [9] Alfio Galatà, Salvo Sciuto. "Passive Evaporative Cooling: the PDEC project". International Thermal Energy and Environment Congress (ITEEC) Marrakesh (Marocco), June 1997
- [10] Maryam Hossein Ghadiri, N. Lukman N. Ibrahim, Mahmud Dehnavi. "The Effect of Tower Height in Square Plan Wind catcher on its Thermal Behavior". Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 5(9): 381-385, 2011
- [11] K.-S. Nikas, N. Nikolopoulos, A. Nikolopoulos. "Numerical study of a naturally cross-ventilated building". Energy and Buildings 42 (2010) 422–434
- [12] Tomas Elizalde, DejanMumovic. "Simulated Performance of Windcatchers in an Urban Environment". PLEA 2008 – 25th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Dublin, 22nd to 24th October 2008
- [13] ValiKalantar. "Numerical Simulation of Cooling Performance of Wind tower (Baud-Geer) in hot and arid region". Renewable Energy 34 (2009) 246–254

- [14] Yuehong Su, Saffa B. Riffat, Yen-Liang Lin, Naghman Khan." Experimental and CFD study of ventilation flow rate of a Monodraught™ windcatcher. Energy and Buildings, Volume 40, Issue 6, 2008, Pages 1110–1116
- [15] R. Ramponia,b, B. Blocken. "CFD simulation of cross-ventilation for a generic isolated building: Impact of Computational parameters". Building and Environment 53 (2012) 34e48
- [16] H.F. Nouane'gue' , L.R. Alandji, E. Bilgen. " Numerical study of solar-wind tower systems for ventilation of dwellings". Renewable Energy 33 (2008) 434–443
- [17] S.M. Jafarian, S.M. Jaafarian, P. Haseli, M. Taheri. "Performance analysis of a passive cooling system using underground channel (Naghb)". Energy and Buildings ,Volume 42, Issue 5, May 2010, Pages 559–562
- [18] Narguess Khatami. The Wind Catcher , "A Traditional Solution For Modern Problem". A Theses for the degree of Master of Philosophy, University of Glamorgan / Prifysgol Morgannwg, August 2009
- [19] Fereshteh Tavakolinia. WIND-CHIMNEY Integrating the Principles of a Wind-Catcher and a Solar-Chimney to Provide Natural Ventilation. A Thesis for Master of Science in Architecture, Faculty of California Polytechnic State University, San Luis Obispo, December 2011
- [20] Naghman Khan, Yuehong Su, Saffa B. Riffat. "A review on wind driven ventilation techniques. Energy and Buildings Volume 40, Issue 8, 2008, Pages 1586–1604
- [21] Hamid Montazeri. "Experimental and numerical study on natural ventilation performance of various multi-opening wind catchers". Building and Environment 46 (2011) 370e378
- [22] Mohammad Mehdi Maneshi, Amir Rezaei-Bazkiaei, A. Scott Weber, Gary F. Dargush. A "Numerical Investigation of Impact of Architectural and Climatic Parametrs of Wincatcher Systems in Induced Ventilation", Proceedings of the ASME 2012 International Mechanical Engineering Congress & Exposition IMECE2012 November 9-15, 2012, Houston, Texas, USA

تم اداء البحث في كلية الهندسة = جامعة الموصل