# بسم الله الرحمن الرحيم

∞∞∞

تم رفع هذه الرسالة بواسطة / سلوي محمود عقل

بقسم التوثيق الإلكتروني بمركز الشبكات وتكنولوجيا المعلومات دون أدنى مسئولية عن محتوى هذه الرسالة.

| |
|---|
| ملاحظات: لا يوجد |

# منظومة التهوية الطبيعية في المباني العالية: دراسة رقمية

اعداد

**م/ أحمد صبري السيد ناجي**

رسالة مقدمة إلى كلية الهندسة – جامعة القاهرة
كجزء من متطلبات الحصول على درجة
**دكتوراه الفلسفة**
في
**الهندسة المعمارية**

كليــة الهندســة - جامعــة القاهـرة
الجيـزة - جمهوريـة مصـر العربيــة
2022

# منظومة التهوية الطبيعية في المباني العالية: دراسة رقمية

اعداد

**م/ أحمد صبري السيد ناجى**

رسالة مقدمة إلى كلية الهندسة – جامعة القاهرة
كجزء من متطلبات الحصول على درجة
**دكتوراه الفلسفة**
في
**الهندسة المعمارية**

تحت اشراف

**أ.د. بهاء الدين حافظ بكري** (رحمه الله)
أستاذ التصميم والتخطيط البيئي
قسم الهندسة المعمارية
كلية الهندسة - جامعة القاهرة

**أ.د. مدحت محمد الشاذلي**
أستاذ التصميم والتخطيط البيئي
قسم الهندسة المعمارية
كلية الهندسة - جامعة القاهرة

**أ.د. أحمد أحمد فكرى**
أستاذ التصميم والتخطيط البيئي
قسم الهندسة المعمارية
كلية الهندسة - جامعة القاهرة

**أ.د. عباس محمد الزعفراني**
أستاذ التصميم والتخطيط البيئي
والعميد السابق للكلية
كلية التخطيط العمراني - جامعة القاهرة

كليــة الهندســة - جامعــة القاهـرة
الجيـزة - جمهوريـة مصـر العربيــة
2022

# منظومة التهوية الطبيعية في المباني العالية: دراسة رقمية


اعداد

**م/ أحمد صبري السيد ناجى**


رسالة مقدمة إلى كلية الهندسة – جامعة القاهرة
كجزء من متطلبات الحصول على درجة
**دكتوراه الفلسفة**
في
**الهندسة المعمارية**

يعتمد من لجنة الممتحنين:

**الأستاذ الدكتور: مدحت محمد الشاذلي** **المشرف الرئيسي**

**الأستاذ الدكتور: أحمد أحمد فكرى** **المشرف**

**الأستاذ الدكتور: عباس محمد الزعفراني** **المشرف**
أستاذ التصميم والتخطيط البيئي والعميد السابق لكلية التخطيط العمراني - جامعة القاهرة

**الأستاذ الدكتور: أيمن حسان أحمد محمود** **الممتحن الداخلي**
أستاذ و رئيس قسم الهندسة المعمارية بكلية الهندسة – جامعة القاهرة

**الأستاذ المساعد الدكتورة: ريهام الدسوقي حامد** **الممتحن الخارجي**
أستاذ مساعد و رئيس قسم الهندسة المعمارية بكلية الهندسة – جامعة بني سويف


كليــة الهندســة - جامعــة القاهـرة
الجيـزة - جمهوريـة مصـر العربيــة
2022

**مهنـــــــــدس:** أحمد صبري السيد ناجي سالم

**تاريـخ الميـــلاد:** 1966/10/25

**الجنسيـــــــة:** مصري

**تاريخ التسجيل:** 2012/03/01

**تـــاريخ المنـــح:** / /

**القســـــــــم:** الهندسة المعمارية

**الدرجـــــــــة:** دكتوراه الفلسفة

**المشرفون:** **أ.د. بهاء الدين حافظ بكري** (رحمه الله)

**أ.د. مدحت محمد الشاذلي**

**أ.د. أحمد أحمد فكري**

**أ.د. عباس محمد الزعفراني**

**الممتحنـــون:** **أ.د. مدحت محمد الشاذلي** (المشرف الرئيسي)

**أ.د. أحمد أحمد فكري** (المشرف)

**أ.د. عباس محمد الزعفراني** (المشرف)

أستاذ التصميم والتخطيط البيئي والعميد السابق لكلية التخطيط العمراني– جامعة القاهرة

**أ.د. أيمن حسان أحمد محمود** (الممتحن الداخلي)

**أ.م.د. ريهام الدسوقي حامد** (الممتحن الخارجي)

أستاذ مساعد و رئيس قسم الهندسة المعمارية بكلية الهندسة – جامعة بني سويف


**عنـــوان الرسالـة :**

## منظومة التهوية الطبيعية في المباني العالية: دراسة رقمية


**الكلمات الدالة:** المباني العالية، التهوية الطبيعية، الاستدامة، فراغات المبنى، ديناميكا السوائل الحسابية



**ملخـــص البحـــث :**

يعد تحسين أداء التهوية الطبيعية في المباني مهمًا للمعيشة من حيث الصحة والراحة الحرارية. من أهم استراتيجيات التصميم المستدام لتحسين التهوية الطبيعية في المباني بصفة عامة هي استغلال الفراغات المفتوحة داخل المبنى مثل المنور أو الحوش أو بئر السلم. من أجل ذلك تعد العناية بتصميم الفراغات المفتوحة في المباني من البداية أمرًا بالغ الأهمية للحصول على التهوية الطبيعية الجيدة. وقد تم اجراء التجربة في هذا البحث على مبنى افتراضي عالٍ مكون من خمسين طابقا. تهدف هذه الدراسة إلى استكشاف تأثير استغلال الفراغات المفتوحة داخل المباني العالية بصفة خاصة على كفاءة التهوية الطبيعية من خلال دمج اثنين و ثلاثة من أنواع هذه الفراغات مع فرضية عدم إجراء أي تغيير في حجم أو مكان النوافذ. لتقييم الوضع والوصول إلى النتائج اعتمد المنهج التجريبي و تم استخدام برامج المحاكاة على الحاسب الآلي لعمل نموذج رقمي CFD. المحدد الأساسي الذي استُخدم للمقارنة بين مختلف أشكال الفراغ هو معدل التدفق الحجمي لأنه يوضح كمية الهواء الداخلة للمبنى. أثبتت هذه الدراسة كميًا ما هو معروف نظريًا أن إضافة الفراغات لمنظومة التهوية و زيادة مساحتها يمكن أن يعزز بنسب كبيرة كفاءة التهوية الطبيعية في المبنى العالي أيضًا.

# إهداء

أهدي هذه الرسالة تكريمًا لوالديَّ رحمهما الله كما رباني صغيرًا و غفر لهما و تجاوز عنهما

كما أهديها لزوجتي التي تحملت كثيرًا و وقفت بجانبي حتى انتهيت من هذه الرسالة

و أهديها لأبنائي لتكون قدوة لهم في حياتهم

# شكر و عرفان

لأساتذتي الأفاضل ،

ومن أبدأ به

**الأستاذ الدكتور/ بهاء بكرى**

أن يرحمه الله و يغفر له و يجعل علمه و وقته و جهده الذي بذله لنا في ميزان حسناته

و

أساتذتي المشرفون على الرسالة

**الأستاذ الدكتور/ مدحت الشاذلي**

**الأستاذ الدكتور/ أحمد فكري**

**الأستاذ الدكتور/ عباس الزعفراني**

و من ساعدني و أرشدني في التطبيق العملي من الرسالة

**الأستاذ الدكتور/ خالد إبراهيم أحمد**

أستاذ الهندسة الميكانيكية بجامعة الملك عبد العزيز بجدة

على سعة صدرهم وبذلهم العلم والنصح وتضحيتهم بالوقت والجهد

وأدعو الله لهم بدوام الصحة والعافية والسداد

وأن ينفع الله بهم مصر وطلبة العلم

وأن يبارك في علمهم وعقلهم وبصيرتهم

وجزاهم الله خيراً

# فهرس المحتويات

صفحة


**إهداء** ..... أ

**شكر و عرفان**..... ب

**فهرس المحتويات**..... ج

**قائمة الجداول**..... خ

**قائمة الأشكال**..... د

**قائمة الصور**..... س

**التعاريف الأساسية**..... ش

**ملخص البحث**..... ض

**هيكل البحث**..... ض

**الباب الأول: المقدمة و الأدبيات**..... 1

1.1. الهدف من البحث..... 3

2.1. منهجية البحث..... 4

**الباب الثاني: جدلية الأبراج وناطحات السحاب كمبانٍ خضراء ومستدامة**..... 5

1.2. ملخص الباب..... 5

2.2. مقدمة الباب..... 6

3.2. مشكلة الباب..... 7

4.2. منهجية الباب..... 7

5.2. جدلية البناء المنخفض و العالي..... 8

1.5.2. من مميزات البناء المنخفض..... 8

2.5.2. من عيوب البناء المنخفض..... 9

3.5.2. من مميزات البناء العالي..... 9

4.5.2. من عيوب البناء الرأسي العالي جدا..... 9

5.5.2. مصفوفات للمقارنة بين البناء المنخفض و العالي..... 12

1.5.5.2. المصفوفة الأولى..... 12

1.5.5.2. المصفوفة الثانية..... 13

6.2. نتيجة جدلية البناء المنخفض أو العالي..... 14

7.2. موانع و مسوغات إنشاء المباني العالية..... 16

1.7.2. المناطق التاريخية ذات القيمة..... 16

2.7.2. المناطق ذات القدسية..... 18

3.7.2. منطقة طبيعية محمية أو ذات تميز أو جذب..... 18
4.7.2. منطقة تعاني من الزلازل أو مشاكل في التربة..... 19
5.7.2. المناطق السكنية العادية والأراضي الممتدة..... 19
8.2. تطور المباني العالية تاريخيًا..... 19
1.8.2. شبام باليمن..... 19
2.8.2. مؤتمر CIAM..... 20
3.8.2. أماكن تركز الأبراج حول العالم..... 23
9.2. أسباب ودوافع بناء المباني العالية..... 25
1.9.2. الأسباب والدوافع قديمًا..... 25
2.9.2. الأسباب والدوافع حديثًا..... 25
1.1.9.2. الكثافة السكانية وندرة الأراضي..... 25
2.1.9.2. مراكز الأعمال و تعقيد استعمالات المباني..... 26
3.1.9.2. القرار السياسي والتنمية الاقتصادية..... 27
4.1.9.2. التنافسية الرمزية و المبنى المَعْلَم و العلامة المميزة أو الدعائية..... 27
5.1.9.2. الاشتراطات البنائية..... 28
6.1.9.2. المنظر والمشهد الهام..... 29
10.2. المباني العالية ومستقبل الاستدامة..... 30
1.10.2. عناصر العمارة الخضراء التي يتم البحث عنها في أي مبنى..... 31
2.10.2. أمثلة لمراعاة البعد البيئي في تصميم بعض الأبراج الحديثة..... 32
1.2.10.2. مبنى منارة ميزينياجا، كوالا لامبور، للمعماريين HAMZAH & YEANG..... 32
2.2.10.2. مبنى COMMERZBANK بفرانكفورت، ألمانيا، للمعماري NORMAN FOSTER..... 34
11.2. نتيجة الباب..... 36
12.2. توصيات الباب..... 37
**الباب الثالث: التهوية الطبيعية و القوى المناخية والطبيعية الدافعة لها..... 39**
1.3. مقدمة الباب..... 39
2.3. مناخ الأرض و المناخ المصغر..... 40
1.2.3. مناخ الأرض و الغلاف الجوي..... 40
2.2.3. المناخ المصغر حول المباني المرتفعة و الأبراج..... 42
3.2.3. التغيرات في الخصائص المناخية مع الارتفاع..... 44
1.3.2.3. التغير في الحرارة..... 44
2.3.2.3. التغير في الضغط..... 45
3.3.2.3. الخصائص الطبيعية لحركة الرياح..... 47
4.3.2.3. سرعات الرياح..... 48

5.3.2.3. حركة الرياح حول المباني ..... 48
3.3. القوى المحركة للهواء ..... 49
2.3.3. قوى الرياح ..... 49
3.3.3. الطفو و تأثير المدخنة ..... 50
1.3.3.3. مستوى الضغط المحايد ..... 50
2.3.3.3. الفتحات ..... 52
3.3.3.3. الارتفاعات الكبيرة ..... 52
4.3.3.3. الحريق ..... 52
5.3.3.3. تأثير المدخنة العكسي ..... 52
6.3.3.3. تأثير الرياح ..... 53
4.3. تقنيات مدفوعة بالرياح ..... 53
1.4.3. التهوية المستعرضة CROSS VENTILATION ..... 53
2.4.3. التهوية من جانب واحد ..... 55
3.4.3. الملقف أو برج الرياح ..... 56
4.4.3. سقف فنتوري VENTURI ..... 57
5.3. تقنيات يحركها الطفو ..... 57
1.5.3. الفناء أو الحوش ATRIUM ..... 57
2.5.3. مداخن التهوية VENTILATION CHIMNEYS ..... 58
3.5.3. المدخنة الشمسية SOLAR CHIMNEY ..... 59
1.3.5.3. تجويف الهواء AIR CAVITY ..... 59
2.3.5.3. الإمالة / الوضع ..... 60
3.3.5.3. الزجاج ..... 60
4.3.5.3. السطح الماصّ ABSORBER ..... 60
4.5.3. التهوية من أعلى إلى أسفل ..... 61
6.3. دراسة حالة ..... 61
1.6.3. مبنىCOMMERZBANK ، فرانكفورت، ألمانيا، للمعماري NORMAN FOSTER ..... 61
2.6.3. مبنى QUEEN الجامعي، ليستر، إنجلترا، مكتب شورت ..... 62
7.3. نتيجة الباب ..... 63
8.3. توصيات الباب ..... 63
**الباب الرابع: كفاءة إدراج الفراغات المعمارية في منظومة التهوية الطبيعية للمباني العالية عن طريق الدراسة الرقمية ..... 65**
1.4. تجربة المحاكة CFD رقم1 ..... 65
1.1.4. أهداف التجربة ..... 65

2.1.4. أدوات وثوابت ومتغيرات التجربة..... 66
3.1.4. خطوات التجربة..... 67
1.3.1.4. نتائج الحالة الأولى: قياس التهوية مع النوافذ الخلفية فقط..... 71
2.3.1.4. الحالة الثانية: قياس التهوية مع النوافذ الخلفية و الفناء الداخلي..... 72
3.3.1.4. الحالة الثالثة: قياس التهوية مع النوافذ الخلفية و الفناء الداخلي و بئر السلم..... 73
4.3.1.4. مقارنة الحالات الثلاثة..... 74
5.3.1.4. نتائج التجربة من حيث معدل التدفق الحجمي بـ (م$^3$/ث)..... 75
6.3.1.4. نتائج التجربة من المنظور المعماري..... 75
4.1.4. نتائج التجربة رقم 1..... 76
2.4. تجربة المحاكة CFD رقم 2..... 76
1.2.4. أهداف التجربة..... 76
2.2.4. أدوات وثوابت ومتغيرات التجربة..... 76
3.2.4. خطوات التجربة..... 81
1.3.2.4. نتائج السيناريو الأول: اختبار كتلة المبنى و الفراغات كلٍ على حدة..... 89
2.3.2.4. السيناريو الثاني: قياس التهوية لكل فراغ على حدة..... 96
3.3.2.4. السيناريو الثالث: قياس نظم التهوية للمبنى..... 105
4.3.2.4. مقارنة الحالات من حيث الرسوم البيانية..... 119
5.3.2.4. مقارنة الحالات من حيث معدل التدفق الحجمي محسوبة بـ (م$^3$/ث)..... 124
6.3.2.4. نتائج التجربة من المنظور المعماري..... 125
4.2.4. نتائج التجربة رقم 2..... 126
**النتائج والتوصيات..... 127**
**قائمة المراجع..... 130**
**إقرار باللغة الإنجليزية..... i**
**ملخص البحث باللغة الإنجليزية..... ii**

# قائمة الجداول


جدول 1 مقارنة بين البناء الأفقي و البناء الرأسي..... 15

جدول 2 مقارنة مخرجات معدل التدفق الحجمي للحالات الثلاثة في الأدوار العلوية والسفلية، Ansys 75

جدول 3 مقارنة للحالات الثلاثة في الأدوار العلوية والسفلية لزيادة التهوية الطبيعية مقابل زيادة نسبة الفتحات..... 76

جدول 4 يمثل حالات المحاكاة و تفاصيلها..... 88

جدول 5 مقارنة مخرجات معدل التدفق الحجمي لكل الحالات، برنامج Ansys..... 124

جدول 6 مقارنة للحالات التي حدث فيها زيادة للتهوية الطبيعية في الأدوار نتيجة زيادة نسبة الفتحات 125

# قائمة الأشكال


شكل 1 رسم توضيحي لموضوع البحث..... 4
شكل 2 تأثير البرج على البيئة المحيطة تبعاً لKen Yeang..... 12
شكل 3 نفس المسطح يحوي نفس عدد الوحدات بارتفاعات مختلفة FAR..... 13
شكل 4 نفس المسطح يحوي نفس المساحة المبنية بارتفاعات مختلفة..... 14
شكل 5 خريطة توضح أماكن الأبراج في العالم وكثافتها..... 23
شكل 6 خريطة توضح توزيع المناطق المناخية حول العالم..... 23
شكل 7 جدول يوضح العلاقة الزمنية والمكانية وارتفاعات الأبراج حول العالم..... 24
شكل 8 رسم بياني يوضح النمو السكاني من العام 500 م وحتى المتوقع في العام 2500 م..... 24
شكل 9 حركة الهواء من خلال ال stack effect في مبنى Commerzbank..... 34
شكل 10 حركة الهواء داخل الأروقة السماوية الحدائقية صيفًا (اليمين) وشتاءً..... 35
شكل 11 المسقط الأفقي المثلث للمبنى ويظهر فيه الرواق والحوش..... 35
شكل 12 طبقات الغلاف الجوي..... 41
شكل 13 رسم تصويري يوضح طبقة حدود الكوكب..... 42
شكل 14 يوضح حركة الرياح داخل الطبقة الحدودية للكوكب (Source: www.revimage.org)..... 42
شكل 15 التغيرات المؤثرة رأسيا على البرج في المناخ الصحراوي (ناجي، 2011)..... 43
شكل 16 يوضح نوعية التغير في الحرارة خلال طبقات الغلاف الجوي..... 45
شكل 17 التغير في الضغط مع الارتفاع..... 46
شكل 18 التغير في الضغط مع الارتفاع مقارنة بالتغير في الحرارة..... 47
شكل 19 يوضح مناطق الضغط والحركة الرأسية للهواء..... 47
شكل 20 مناطق الضغط المسببة للرياح..... 48
شكل 21 منحنى سرعة الرياح و علاقته بتضاريس سطح الأرض..... 49
شكل 22 حركة الرياح عند اصطدامها بالمباني المرتفعة (Jatupatwarangkul, 2013)..... 49
شكل 23 تأثير المدخنة Stack Effect..... 50
شكل 24 يبين تغيرات الضغط خارجيا و داخليا مع الارتفاع..... 51
شكل 25 يبين كيف يمكن عن طريق الهواء الخارجي تغيير ارتفاع المستوى المحايد..... 52
شكل 26 تأثير المدخنة الطبيعي و العكسي..... 53
شكل 27 المجاري الفرعية bypass للهواء..... 54
شكل 28 مصفوفة تجمع بين التهوية المستعرضة وتأثير المدخنة عن طريق رفع الفتحات لأعلى..... 55
شكل 29 التهوية من جانب واحد أفقيًا (Rizk, 2018) و رأسيًا (Macquoy, 2014)..... 56
شكل 30 بعض أنواع الملاقف (المصدر: تنتوش، 2010)..... 57
شكل 31 نموذج حاسوبي لسقف فنتوري..... 58
شكل 32 التهوية عن طريق الفناء..... 59

شكل 33 مداخن التهوية..... 59
شكل 34 المدخنة الشمسية و أنواع منها..... 60
شكل 35 لوحة امتصاص الحرارة المعزول حولها في المدخنة الشمسية..... 62
شكل 36 التهوية من أعلى إلى أسفل..... 62
شكل 37 قطاع منظوري للمبنى..... 63
شكل 38 نظام التهوية الطبيعية و مدخنة التهوية..... 64
شكل 39 مسقط أفقي وقطاع للمبنى..... 67
شكل 40 النموذج الثلاثي الأبعاد للمبنى..... 67
شكل 41 النموذج التماثلي للمبنى داخل برنامج Ansys ..... 68
شكل 42 مجال كتلة الهواء حول المبنى (domain)..... 68
شكل 43 رسمة شبكية للحجوم المحدودة للمبنى في برنامج Ansys..... 69
شكل 44 Residual Convergence after 1450 iterations, Ansys..... 70
شكل 45 لقطات توضح مسار وسرعات الهواء في مقاطع مختلفة خارج وداخل المبنى للحالة الأولى، برنامج Ansys..... 72
شكل 46 لقطات توضح مسار وسرعات الهواء في مقاطع مختلفة خارج وداخل المبنى للحالة الثانية، برنامج Ansys..... 73
شكل 47 لقطات توضح مسار وسرعات الهواء في مقاطع مختلفة خارج وداخل المبنى للحالة الثانية، برنامج Ansys..... 74
شكل 48 مقارنة لسرعات الهواء خارج وداخل المبنى للحالات الثلاثة، برنامج Ansys..... 74
شكل 49 توزيع الأبراج بمصر..... 76
شكل 49 مسقط أفقي وقطاع للمبنى..... 78
شكل 50 الرسم البياني الخاص بـ Roughness length = 0.1m..... 78
شكل 51 حاسبة الرياح..... 79
شكل 52 وردة الرياح السنوية لمدينة القاهرة، مصر..... 79
شكل 53 تدرج الحرارة مع الارتفاع، القاهرة، مصر..... 80
شكل 54 المتوسط السنوي درجات الحرارة لمدينة القاهرة، مصر..... 80
شكل 55 تدرج درجات الحرارة في عمق الأرض في مدينة المنيا، مصر..... 81
شكل 56 النموذج الثلاثي الأبعاد للمبنى..... 82
شكل 57 مجال كتلة الهواء حول المبنى (domain)..... 83
شكل 58 مساقط أفقية توضح مسار وسرعات واتجاه الهواء حول المبنى، برنامج Ansys..... 89
شكل 59 قطاعات توضح مسار وسرعات الهواء خارج المبنى للحالة الأولى, برنامج Ansys..... 90
شكل 60 قطاعات توضح مسار وسرعات الهواء داخل المنور للحالة الثانية, برنامج Ansys..... 91
شكل 61 قطاع يوضح درجات الحرارة داخل و خارج المبنى للحالة الثانية، برنامج Ansys..... 91
شكل 62 قطاعات توضح مسار وسرعات الهواء داخل بئر السلم للحالة الثالثة، برنامج Ansys..... 92

شكل 63 قطاعات توضح مسار وسرعات الهواء داخل بئر السلم للحالة الرابعة، برنامج Ansys..... 93
شكل 64 قطاعات توضح مسار وسرعات الهواء داخل المنور وبئر السلم للحالة الخامسة، Ansys... 94
شكل 65 أيزومتري يوضح اتجاه وسرعات الهواء داخل بئر السلم للحالة الخامسة، برنامج Ansys.... 95
شكل 66 مسقط أفقي يوضح الهواء في المستوى الثالث، الحالة الخامسة، برنامج Ansys..... 96
شكل 67 قطاعات توضح مسار وسرعات الهواء في المنور والأدوار للحالة السادسة، Ansys..... 97
شكل 68 أيزومتري يوضح المستوى المحايد في المستوى الثالث، الحالة السادسة، برنامج Ansys.... 97
شكل 69 أيزومتري يوضح تغير سرعات الهواء في المستوى الثالث، الحالة السادسة، برنامج Ansys. 98
شكل 70 أيزومتري يوضح اتجاهات الهواء في المستوى الثالث، الحالة السادسة، برنامج Ansys..... 98
شكل 71 قطاع يوضح اتجاهات الهواء في المستوى الرابع، الحالة السادسة، برنامج Ansys..... 99
شكل 72 قطاعات توضح مسار وسرعات الهواء داخل بئر السلم للحالة السابعة، Ansys..... 99
شكل 73 أيزومتري يوضح اتجاهات الهواء في المستوى الرابع، الحالة السابعة، برنامج Ansys..... 100
شكل 74 قطاعات توضح مسار وسرعات الهواء داخل بئر السلم للحالة الثامنة، Ansys..... 100
شكل 75 قطاع أيزومتري يوضح سرعات الهواء في مستوى المدخل و الميزانين، الحالة الثامنة، برنامج Ansys..... 101
شكل 76 قطاعات توضح مسار وسرعات الهواء داخل بئر السلم للحالة التاسعة، Ansys..... 102
شكل 77 قطاع أيزومتري يوضح سرعات الهواء في مستوى المدخل والميزانين، الحالة التاسعة، برنامج Ansys..... 102
شكل 78 قطاعات توضح مسار وسرعات الهواء داخل بئر سلم الهروب للحالة العاشرة، Ansys..... 102
شكل 79 قطاع أيزومتري يوضح سرعات الهواء الخارج من الأدوار إلى بئر سلم الهروب و من فتحة البئر في الحجيرة العلوية إلى الخارج ، الحالة العاشرة، برنامج Ansys..... 103
شكل 80 قطاعات توضح مسار وسرعات الهواء داخل بئر سلم الهروب للحالة الحادية عشرة، برنامج Ansys..... 104
شكل 81 قطاع أيزومتري يوضح اتجاه الهواء داخل الأدوار خروجًا إلى بئر سلم الهروب، الحالة الحادية عشرة، برنامج Ansys ..... 104
شكل 82 قطاعات توضح مسار وسرعات واتجاه الهواء في الأدوار للحالة الثانية عشرة، Ansys..... 106
شكل 83 أيزومتري أفقيات توضح مسار وسرعات واتجاه الهواء في المستوى الرابع للحالة الثانية عشرة، برنامج Ansys..... 106
شكل 84 أيزومتري مقاطع توضح مسار وسرعات واتجاه الهواء في المستوى الرابع للحالة الثانية عشرة، برنامج Ansys..... 107
شكل 85 قطاعات توضح مسار وسرعات واتجاه الهواء في الأدوار للحالة الثالثة عشرة، Ansys..... 108
شكل 86 أيزومتري أفقيات توضح مسار وسرعات واتجاه الهواء في المستوى الرابع للحالة الثالثة عشرة، برنامج Ansys..... 108
شكل 87 أيزومتري أفقيات توضح مسار وسرعات واتجاه الهواء في المستويات المختلفة للحالة الثالثة عشرة، برنامج Ansys..... 110
شكل 88 قطاعات توضح مسار وسرعات واتجاه الهواء في الأدوار للحالة الرابعة عشرة، Ansys..... 111