

نمذجة التصميم التكنولوجي لخط غسيل وتجفيف ألواح الزجاج باستخدام برنامج الـ Matlab

مي سعيد*

(تاريخ الإيداع 14 / 1 / 2014. قُبل للنشر في 5 / 6 / 2014)

□ ملخص □

يعد الزجاج المزوج عنصراً مهماً في الصناعات الحديثة، وهو لوحان من الزجاج المفرد يفصل بينهما عند الحواف طبقة رقيقة من الألمنيوم مملوءة بحبيبات ماصة للرطوبة. ويتم الحصول على لوح الزجاج المزوج من ألواح مفردة مغسولة ومجففة جيداً، وتُعدُّ عملية غسيل الألواح وتجفيفها من أهم مراحل تصنيع الزجاج المزوج، وتتضمن آلة الغسيل والتجفيف للألواح الزجاج ثلاث مراحل. ونظراً للتطور الهائل في مجال التصميم التكنولوجي واستخدام الحاسوب في عملية التصميم كوسيلة تحقق سرعة في التصميم ودقة في الأداء، فقد قام الباحث بإعداد نموذج حاسوبي باستخدام لغة الـ Matlab لخط غسيل وتجفيف ألواح الزجاج، ومن خلاله تمت دراسة العوامل المؤثرة على التصميم التكنولوجي للآلة.

الكلمات المفتاحية: لوح الزجاج، زاوية الميل، كمية الماء المتبقية، الزمن.

* قائم بالأعمال - قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Modeling The Technology Design of Washing and Drying Line Panes By Using Matlab Program

Mai Saaid*

(Received 14 / 1 / 2014. Accepted 5 / 6 / 2014)

□ ABSTRACT □

The double glass is considered an important element in the modern manufactures, the double glass is tow panes are separated by layer of aluminum at edges full of particles absorbing moisture.

we obtain double glass by single panes are washing and drying completely, washing and drying panes is considered the most important stages of making double glass, The washing and drying glass machine consists of three stages.

And for great development in the scope of the technology design and using the computer in the design process as a method which is achieved the speed in design and accuracy in the performance, The researcher has prepared programming pattern by using the Matlab program for washing line and drying panes, and by this pattern the researcher has studied the factors which are effective on the machine.

Key words: pane, inclination angle, amount of remaining water, time.

*Work Performer – Department of the Mechanical Power Engineering - Faculty Of Mechanical and Electrical Engineering - Tishreen University – Lattakia – Syria.

مقدمة:

إنّ العالم في سباق مع الزمن من أجل تخفيض الهدر والاستهلاك في الطاقة في شتى المجالات الصناعية وغيرها، هذا من جانب ومن جانب آخر تخفيف التلوث الناتج عن استهلاك الطاقة ومخلفاتها، ومن هذه المجالات مجال تخفيف الهدر في الطاقة أثناء تنظيف وتجفيف ألواح الزجاج [1].

من هنا تأتي أهمية هذا البحث التي تتمثل بصورة أساسية في البحث عن الحلول العلمية للمشكلات التي تواجه عملية تصنيع الزجاج المزدوج Double Glass، وذلك من خلال تصميم برنامج حاسوبي خاص بمراحل تصنيع الزجاج المزدوج وإجراء اختبار على البرنامج للبحث عن العوامل المؤثرة على عملية التصميم بغية الوصول إلى الحل الأمثل في عملية التصميم التكنولوجي Technology Design لخط غسيل وتجفيف ألواح الزجاج Washing and Drying Panes، والذي يشكل علاقة وثيقة ومتبادلة مع التطور الصناعي وتحقيق الوفرة الاقتصادي Economic Gain.

أهمية البحث وأهدافه:

يرتكز محور البحث على دراسة العوامل المؤثرة على التصميم التكنولوجي والحراري لخط غسيل وتجفيف ألواح الزجاج من خلال إنشاء برنامج حاسوبي Computer Program للتصميم التكنولوجي لمراحل غسيل وتجفيف ألواح الزجاج، والذي يشمل التصميم الميكانيكي Mechanical Design والتصميم الحراري Thermal Design لخط غسيل وتجفيف ألواح الزجاج، واختباره بغية الوصول إلى التصميم الأمثل بما يحقق اقتصادية عالية في عملية التصميم من جانب، ومن جانب آخر تحقيق وفر في استهلاك الطاقة عند استثمار الآلة.

هناك العديد من العوامل التي تؤثر على التصميم التكنولوجي لخط غسيل وتجفيف الزجاج إلا أنّ العوامل الجديرة بالاهتمام هي مساحة سطح لوح الزجاج وزاوية ميله وزمن بقاء الماء على اللوح، والتي تؤثر على اقتصادية خط غسيل وتجفيف ألواح الزجاج من خلال علاقتها مع كمية الماء المتبقية على لوح الزجاج.

طرائق البحث ومواده:

إجراء تصميم ميكانيكي لآلة غسيل وتجفيف ألواح الزجاج تتألف من ثلاث مراحل: - مرحلة الغسيل والتنظيف - مرحلة الانتظار - مرحلة التجفيف وإجراء تصميم حراري لمرحلة التجفيف. ومن ثمّ تصميم برنامج حاسوبي لدراسة تأثير أهم البارامترات التصميمية وهي: أبعاد لوح الزجاج- زاوية ميل اللوح - زمن الانتظار، وفي النهاية تم تقديم مجموعة من الاستنتاجات والتوصيات.

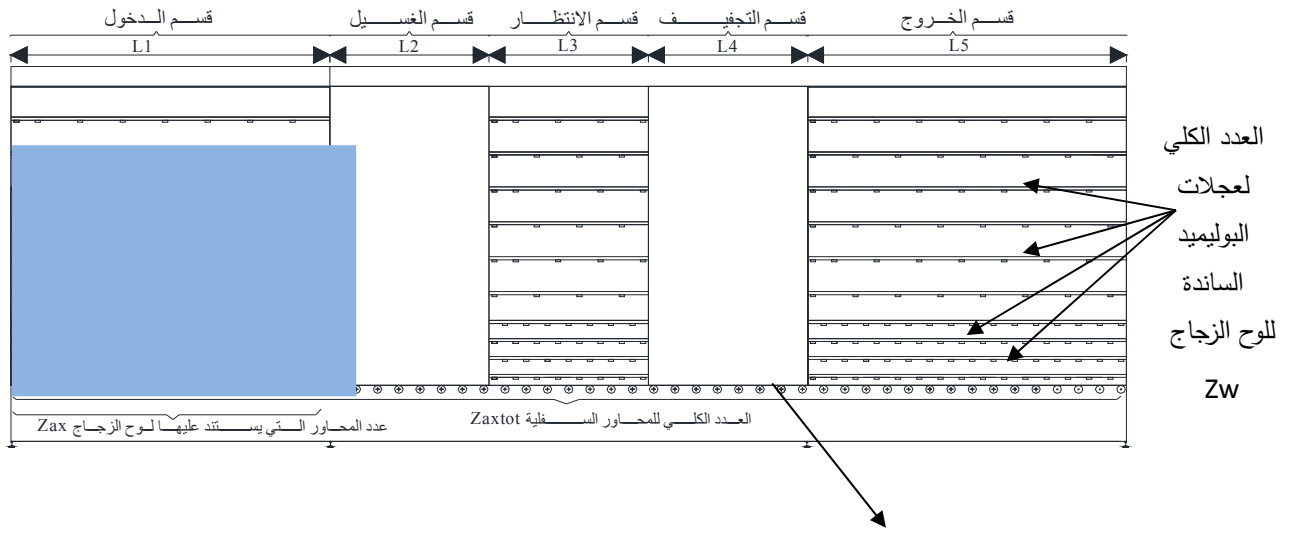
1. مجالات استخدام الزجاج المزدوج العازل:

للزجاج المزدوج أهمية متزايدة في مجالات الحياة كافة [2]، إذ يستخدم في الإنشاءات العمرانية وواجهات الأبنية والإكساء (نوافذ الشقق السكنية، المكاتب، المستشفيات).

ويستخدم الزجاج المزدوج العازل في نوافذ الطائرات العسكرية والمدنية إذ يؤمّن داخل الطائرة عزل صوتي وعزل حراري ويظهر ذلك بشكل ملحوظ في طبقات الجو العليا، كما يستخدم بشكل واسع في نوافذ القطارات القديمة والحديثة، وفي واجهات البرادات التجارية لما يحققه من عازلية حرارية.

2. مراحل تطوّر تصنيع الزجاج المزدوج:

تمر عملية تصنيع لوح الزجاج المزدوج بالخطوات الآتية: يؤخذ لوح الزجاج بأبعاده القياسية وتجرى عليه عملية قص أحرف اللوح الزجاجي وتنعيمها، ثم يؤخذ لوح الزجاج المفرد، ويتم غسله وتجفيفه بواسطة آلة غسل وتجفيف ألواح الزجاج المبيّنة في الشكل (1)، ومن ثمّ يتم دمج اللوح النظيف مع لوح زجاجي آخر بأبعاد اللوح السابق نفسه وقد مرّ بالمراحل السابقة نفسها وذلك لتشكيل لوح الزجاج المزدوج، ويتم دمج لوح الزجاج بواسطة عامل بشري يأخذ لوح الزجاج النظيف والجاف بشكل تام من الآلة ويضعه على منضدة ومن ثمّ يضع فوقه لوح الزجاج الآخر بعد غسله وتجفيفه بواسطة آلة الغسيل والتجفيف فتتم عملية الدمج.



محاور سفلية حاملة للوح الزجاج ذات القطر d_1

الشكل (1) أقسام آلة غسل وتجفيف ألواح الزجاج

3. تصميم برنامج خاص بآلة الغسيل والتجفيف باستخدام لغة الـ Matlab:

تمّ إنشاء برنامج حاسوبي خاص بالتصميم التكنولوجي لآلة غسل وتجفيف ألواح الزجاج؛ يتم من خلاله حساب أقطار المحاور السفلية الحاملة للوح الزجاج، وأقطار محاور عجلات البوليميد الساندة للوح الزجاج والمساعدة في حركته أثناء العملية الإنتاجية، كما تمّ حساب استطاعة المحرك القائد للمحاور السفلية واستطاعة المحركات الدائرة للفراشي المنظّفة لألواح الزجاج؛ وذلك ضمن الإطار الميكانيكي لعملية التصميم، كما تمّ حساب استطاعة المحقّف المسؤول عن تجفيف لوح الزجاج واستطاعة الحرقاق واستهلاك الوقود وذلك ضمن الإطار الحراري.

3-1. التصميم الميكانيكي لآلة الغسيل والتجفيف:

- يتم حساب قوة رد فعل العجلات على اللوح والنتيجة عن وزن لوح الزجاج، ولسهولة الدراسة نفرض أنّ لوح الزجاج مقسّم إلى عدد من الشرائح المتساوية، ولحساب وزن شريحة الزجاج الكلية والمؤلفة من شريحة الزجاج الجاف ووزن كمية الماء المتبقية على شريحة الزجاج [3] (الماء الناتج عن عملية غسل لوح الزجاج) من القانون الآتي:

$$Q = (m + G).g \quad (1)$$

حيث: m : كتلة شريحة الزجاج الجاف kg.

G : كتلة الماء المتبقية على شريحة الزجاج مقدرة بالـ kg، g : الجاذبية الأرضية مقدرة بالـ m/s^2 .
ولحساب كتلة شريحة الزجاج الجاف من القانون :

$$m = V \cdot \rho \quad (2)$$

حيث: ρ : الكتلة النوعية للزجاج وتساوي $2500 kg/m^3$.
 V : حجم شريحة الزجاج وتعطى بالقانون الآتي:

$$V = L_p \cdot W_p \cdot t_p \quad (3)$$

حيث: L_p : طول شريحة الزجاج وتساوي $0.1m$.

W_p : عرض شريحة الزجاج وتساوي عرض لوح الزجاج.

t_p : سماكة شريحة الزجاج وتساوي: $1cm=0.01m$ ، و ρ : الكتلة النوعية للزجاج.

ولحساب كمية الماء المتبقية على شريحة الزجاج [4]:

$$G = 106 \cdot t_1^{-0.45} \cdot \alpha^{-0.7} \cdot S^{0.78} \quad (4)$$

t_1 : الزمن الذي يستغرقه لوح الزجاج من لحظة خروجه من قسم الغسيل إلى لحظة دخوله إلى قسم التجفيف.
ويمكن حساب هذا الزمن من تقسيم طول قسم الانتظار على السرعة الخطية للوح الزجاج على الآلة كما يأتي:

$$t_1 = L_3 / u \quad (5)$$

u : السرعة الخطية للوح الزجاج على خط الإنتاج وتعطى بالعلاقة التالية:

$$u = L_{tot} / t \quad (6)$$

L_{tot} : طول آلة الغسيل الكلي ويعطى بالعلاقة:

$$L_{tot} = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 \quad (7)$$

حيث أن: L_1, L_2, L_3, L_4, L_5 (هي أطوال: قسم الدخول - قسم الغسيل - قسم الانتظار - قسم التجفيف - قسم الخروج على الترتيب مقدرة بالـ m).

t : الزمن اللازم لإتمام العملية الإنتاجية، وهو يعبر عن الطاقة الإنتاجية لآلة الغسيل والتجفيف وهي عدد الألواح المنتجة في وحدة الزمن.

α : زاوية ميل لوح الزجاج مع الأفق بالراديان، S : مساحة الشريحة الزجاجية مقدرة بالـ m^2 .

- ويكون مسقط قوة الوزن العمودي على اللوح والمؤثر بشكل عمودي على العجلات:

$$F_{tot} = Q \cdot \cos \alpha \quad (8)$$

وعلى اعتبار أنه ينشأ في عجلة البوليميد عزم انعطاف ناتج عن قوة رد الفعل، لذلك يُحسب عزم الانعطاف من العلاقة الآتية:

$$M_b = F_w \cdot L \quad (9)$$

L : بعد نقطة تأثير قوة رد الفعل عن نقطة ارتكاز محور العجلة مقدرة بالـ m .

F_w : قوة رد الفعل في المسند مقدرة بالـ N .

- أما قطر محور الدوران لعجلة البوليميد d فيعطى بالقانون الآتي [5]:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32}{\pi \cdot \sigma_b} (M_b \cdot K_b)} \quad (10)$$

M_b : عزم الانحناء المؤثر على المحور مقدر بـ $N \cdot m$.

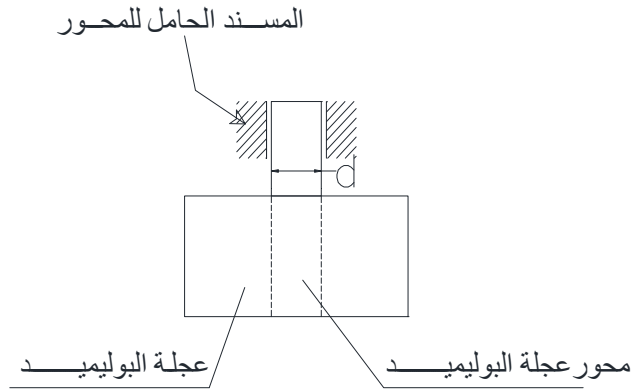
K_b : معامل الحمل الخاص للانحناء، σ_b : إجهاد الانحناء المسموح لمادة المحور مقدر بـ N/m^2 .

- حساب عزم الاحتكاك بين محور عجلة البوليميد المصنوع من الحديد والمسند الحامل الأسطواني كما هو مبين في الشكل (2) والذي يعطى من العلاقة الآتية [6]:

$$M_{fi} = (d/2) \cdot N \cdot f \quad (11)$$

N : المركبة النازمية المؤثرة على المحور والتي تساوي قوة رد الفعل المؤثرة F_w مقدره بالـ N .

d : قطر محور العجلة مقدرًا بالـ m ، f : معامل الاحتكاك.



الشكل (2) تأثير منطقة الاحتكاك بين محور العجلة والمسند الحامل

- حساب عزم الاحتكاك الكلي الناتج في دواليب البوليميد:

$$M_{f_{tot}} = Z_w \cdot M_{fi} \quad (12)$$

Z_w : العدد الكلي لعجلات البوليميد التي يستند عليها لوح الزجاج.

- حساب العزم الناتج عن الاحتكاك في عجلات البوليميد الذي يتلقاه المحور الواحد يُعطى بالعلاقة التالية:

$$M_{f1} = M_{f_{tot}} / Z_{ax} \quad (13)$$

$M_{f_{tot}}$: العزم الكلي الناتج عن عجلات البوليميد.

Z_{ax} : عدد المحاور التي يستند عليها لوح الزجاج.

- ولحساب ضياع الاحتكاك الناتج في عجلات البوليميد والذي تتلقاه جميع المحاور السفلية:

$$P_f = M_{f_{tot}} \cdot Z_{ax_{tot}} \cdot \omega \quad (14)$$

$Z_{ax_{tot}}$: العدد الكلي للمحاور السفلية الموجودة في الآلة.

ω : السرعة الزاوية لعجلة البوليميد وتعطى بالعلاقة الآتية:

$$\omega = u / (D_w / 2) \quad (15)$$

u : السرعة الخطية للوح الزجاج عند حركته على خط الإنتاج وتُقدر بالـ m/s .

D_w : قطر عجلة البوليميد مقدره بالـ m .

- ولحساب ضياع الاحتكاك الناتج عن الفرشي: ينشأ هذا النوع من الضياعات من احتكاك لوح الزجاج مع فرشاة الغسيل عند دخول اللوح إلى قسم الغسيل ويُحسب من العلاقة الآتية:

$$P_b = (V_b + u).F_b \quad (16)$$

u : السرعة الخطية للوح الزجاج عند حركته على خط الإنتاج وتُقَدَّرُ بالـ m/s.

V_b : السرعة الخطية للفرشاة وتُقَدَّرُ بالـ m/s.

$(V_b + u)$: السرعة النسبية على اعتبار أن اتجاه حركة اللوح من اليسار إلى اليمين أما اتجاه دوران الفرشاة

عكس عقارب الساعة أي عكس حركة اللوح.

وتُعطى السرعة الخطية للفرشاة من العلاقة الآتية:

$$V_b = \omega_b . d_b / 2 \quad (17)$$

d_b : قطر الفرشاة مقدرةً بالـ m.

ω_b : السرعة الزاوية للفرشاة وتعطى بالعلاقة:

$$\omega_b = \frac{2.\pi.n_b}{60} \quad (18)$$

n_b : عدد دورات الفرشاة في الدقيقة مقدرةً بالـ rpm.

F_b : قوة الاحتكاك الكلية بين الفرشي ولوح الزجاج تُعطى بالعلاقة:

$$F_b = z . F_{bt} \quad (19)$$

z : عدد الفرشي المستخدمة في حجرة الغسيل.

F_{bt} : قوة الاحتكاك الناشئة بين الفرشاة ولوح الزجاج وتُعطى بالعلاقة:

$$F_{bt} = \mu_{pl} . F \quad (20)$$

μ_{pl} : معامل الاحتكاك للبلاستيك.

F : قوة الضغط الناتجة من ضغط الفرشاة على لوح الزجاج وتُعطى بالعلاقة الآتية:

$$F = k_{pl} . e \quad (21)$$

k_{pl} : معامل المرونة على الضغط لمادة المطاط مقدراً بالـ N/m.

e : مقدار الانخماص في الفرشاة عند ضغط اللوح عليها أثناء دخوله وعبره قسم الغسيل مقدراً بالـ m.

مقدار الضياع الناتج عن الفرشاة الواحدة يُعطى بالعلاقة الآتية:

$$P_{b1} = P_b / z \quad (22)$$

إن استطاعة المحرك القائد للفرشاة (على اعتبار وجود محرك قائد لكل فرشاة)، تعطى من العلاقة الآتية:

$$P_{b1}' = P_{b1} . k \quad (23)$$

حيث k : عامل أمان المحرك.

- ولحساب قطر محور الفرشاة الذي يتعرض إلى عزم فتل ناتج عن المحرك، وإلى عزم انعطاف ناتج عن قوة الضغط للفرشاة على لوح الزجاج.

إن عزم الفتل المؤثر على محور الفرشاة يعطى بالعلاقة الآتية:

$$M_{ibr} = P_{nb} / \omega_b \quad (24)$$

ω_b : السرعة الزاوية للفرشاة وتقدر بالـ rad/s، P_{nb} : الاستطاعة الاسمية لمحرك الفرشاة kW.
ولحساب عزم الانعطاف الأعظمي يعطى بالعلاقة:

$$M_{br \max} = F_{br} \cdot L_{br} / 2 \quad (25)$$

F_{br} : قوة رد الفعل في المساند ومقدرة بالـ N، L_{br} : طول الفرشاة مقدرة بالـ m.
لذلك يمكن حساب قطر المحور [7] على اعتبار أنّ المحور معرض لعزم مركب: فتل وانعطاف من القانون الآتي:

$$d_{br} = \sqrt[3]{\frac{16}{\pi \cdot \tau_s} \sqrt{((K_b \cdot M_{br \max})^2 + (K_t M_{tbr})^2)}} \quad (26)$$

K_t, K_b : معاملي الحمل الخاص بالمحور للفتل والانحناء.
 $M_{br \max}$: عزم الانعطاف الأعظمي، M_{tbr} : عزم الفتل ويقدر بالـ N.m.
 τ_s : إجهاد القص المسموح لمادة المحور مقدر بالـ N/m².
كما ويتعرض المحور لعزم فتل إضافي ناتج عن احتكاك محور الفرشاة مع المدرجات التي تعدّ نقاط استناد للمحور، ويجب أخذه بعين الاعتبار عند حساب القطر كما يلي:

- حساب عزم الاحتكاك الناشئ في المدرجات المركبة على محور الفرشاة M_{rolbr} [6] حسب العلاقة الآتية:

$$M_{rolbr} = M_{visb} + M_{1b} + M_{3b} \quad (27)$$

M_{visb} : عزم الاحتكاك الناتج عن اللزوجة (اللزج) ويقدر بالـ N.mm ويعطى بالعلاقة الآتية:

$$M_{visb} = 160 \cdot 10^{-7} \cdot f_0 \cdot d_{mr}^3 \quad (28)$$

d_{mr} : القطر الوسطي للمدرج وهو يعطى بالقانون الآتي:

$$d_{mr} = 0.5 \cdot (d_{br} + D_{br}) \quad (29)$$

d_{br} : القطر الداخلي للمدرج وهو يساوي قطر محور الفرشاة ويقدر بالـ mm.

D_{br} : القطر الخارجي للمدرج ويقدر بالـ mm.

أمّا f_0 : فعامل يعتمد على نوع المدرج وطريقة التزييت.

M_{1b} : العزم المعتمد على الحمل المطبق ويقدر بالـ N.mm ويحدد من العلاقة الآتية:

$$M_{1b} = f_1 \cdot P_1^a \cdot d_{mr}^b \quad (30)$$

f_1 : معامل يعتمد على تصميم المدرج وحمل المدرج.

P_1 : الحمل المعبر عن عزم الاحتكاك ويعطى بالعلاقة:

$$P_1 = 3 \cdot F_a - 0.1 \cdot F_r \quad (31)$$

F_r : الحمل القطري المطبق على المدرج وتساوي قيمته قوة رد الفعل المؤثرة على المسند: F_{br} .

F_a : الحمل المحوري المطبق على المدرج.

a, b : معاملات تعتمد على نوع المدرج.

M_{3b} : عزم الاحتكاك الناتج عن الأغشية ويُحسب من العلاقة الآتية:

$$M_{3b} = \left(\frac{d_{br} + D_{br}}{f_3} \right)^2 + f_4 \quad (32)$$

d_{br} : القطر الداخلي للمدحرج وهو يساوي قطر محور الفرشاة ويقدر بالـ mm.

D_{br} : القطر الخارجي للمدحرج ويقدر بالـ mm.

f_3 و f_4 : معاملات جدولية.

إن عزم الاحتكاك الناتج يؤثر بعزم فتل على محور الفرشاة عند نقطتي الاستناد، لذلك نضيف قيمة عزم الاحتكاك مضروباً بـ (2) إلى عزم الفتل الناتج عن المحرك في علاقة حساب قطر محور الفرشاة [8]:

$$d_{br} = \sqrt[3]{\frac{16}{\pi \cdot \tau_s} \sqrt{((K_b \cdot M_{br \max})^2 + (K_t (M_{tbr} + 2 \cdot M_{rolbr}))^2)}} \quad (33)$$

ولاختيار المحرك القائد للآلية يجب أولاً حساب الضياعات الكلية في خط الإنتاج وهي مؤلفة من:

• ضياعات ناتجة عن احتكاك الفراشي مع لوح الزجاج P_b .

• ضياعات ناتجة عن احتكاك عجلات البوليميد: P_f .

وتكون الضياعات الكلية في الآلية:

$$P_{fb} = P_b + P_f \quad (34)$$

ونظراً لأن عملية نقل الحركة في الآلية من محور المحرك إلى باقي المحاور بواسطة السلاسل يجب تقسيم

الضياعات الكلية على مردود السلاسل حيث يبلغ مردود أجهزة نقل الحركة بالجنائز 96%.

فتصبح الضياعات الكلية:

$$P_1' = P_{fb} / \eta \quad (35)$$

لذلك يمكن حساب استطاعة المحرك من العلاقة الآتية:

$$P_m = P_1' \cdot k \quad (36)$$

حيث: k : معامل الأمان.

– أما سرعة دوران المحرك فيمكن حسابها كما يلي:

السرعة الزاوية للمحور الواحد تعطى بالعلاقة الآتية:

$$\omega_{ax} = 2 \cdot u / D_t \quad (37)$$

D_t : القطر الخارجي لعجلة التفلون (والتي توضع عند منطقة ارتكاز اللوح على المحور لمنع حصول احتكاك

بين اللوح والمحاور المعدنية أو حدوث انزلاق للوح الزجاج).

بناءً على ذلك تُعطى عدد دورات المحور الواحد بالعلاقة الآتية:

$$n_{ax} = 60 \cdot \omega_{ax} / 2 \cdot \pi \quad (38)$$

ω_{ax} : السرعة الزاوية للمحاور السفلية.

ولحساب قطر المحور السفلي الحامل للوح الزجاج فإنه يتعرض إلى عزم مركب من عزم فتل وعزم انحناء.

كما أن عزم الفتل مؤلف من عزمي فتل:

1- عزم ناتج عن احتكاك الفراشي مع لوح الزجاج أثناء دخول اللوح إلى قسم الغسيل [8] يعطى بالعلاقة الآتية:

$$M_{fb} = \frac{P_b}{\omega_{ax}} \quad (39)$$

P_b : الاستطاعة المقاومة من الفراشي، ω_{ax} : السرعة الزاوية للمحاور السفلية.
أما العزم الذي يتحمله المحور بمفرده فيعطى بالعلاقة الآتية:

$$M_{fb_1} = M_{fb} / Z_{ax} \quad (40)$$

حيث: Z_{ax} : عدد المحاور السفلية الحاملة للوح الزجاج وتتوقف على أبعاد لوح الزجاج.

2- عزم ناتج عن دوليب البوليميد المركبة على هيكل الآلة الذي يتلقاه المحور الواحد m_{f1} .

بناءً على ذلك يكون عزم الفتل الكلي الذي يتلقاه المحور الواحد هو مجموع العزمين السابقين ويُعطى بالعلاقة الآتية:

$$M_{glob} = M_{fb_1} + m_{f1} \quad (41)$$

- أما عزم الانحناء الذي يتعرض له المحور فناتج عن وزن لوح الزجاج أثناء نقله على خط الإنتاج.

تعطى علاقة قطر المحور على اعتبار أنّ المحور معرّض لعزم مركب: فتل وانعطاف من القانون الآتي:

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{16}{\pi \cdot \tau_{s1}} \sqrt{((K_b \cdot M_{bmax})^2 + (K_t (M_{glob} + 2 \cdot M_{rol}))^2)}} \quad (42)$$

τ_{s1} : إجهاد القص المسموح به لمادة المحور مقدر بالـ N/m^2 .

M_{bmax} : عزم الانحناء الأعظمي $N.m$ ، M_{glob} : عزم الفتل الكلي الذي يتعرض له المحور.

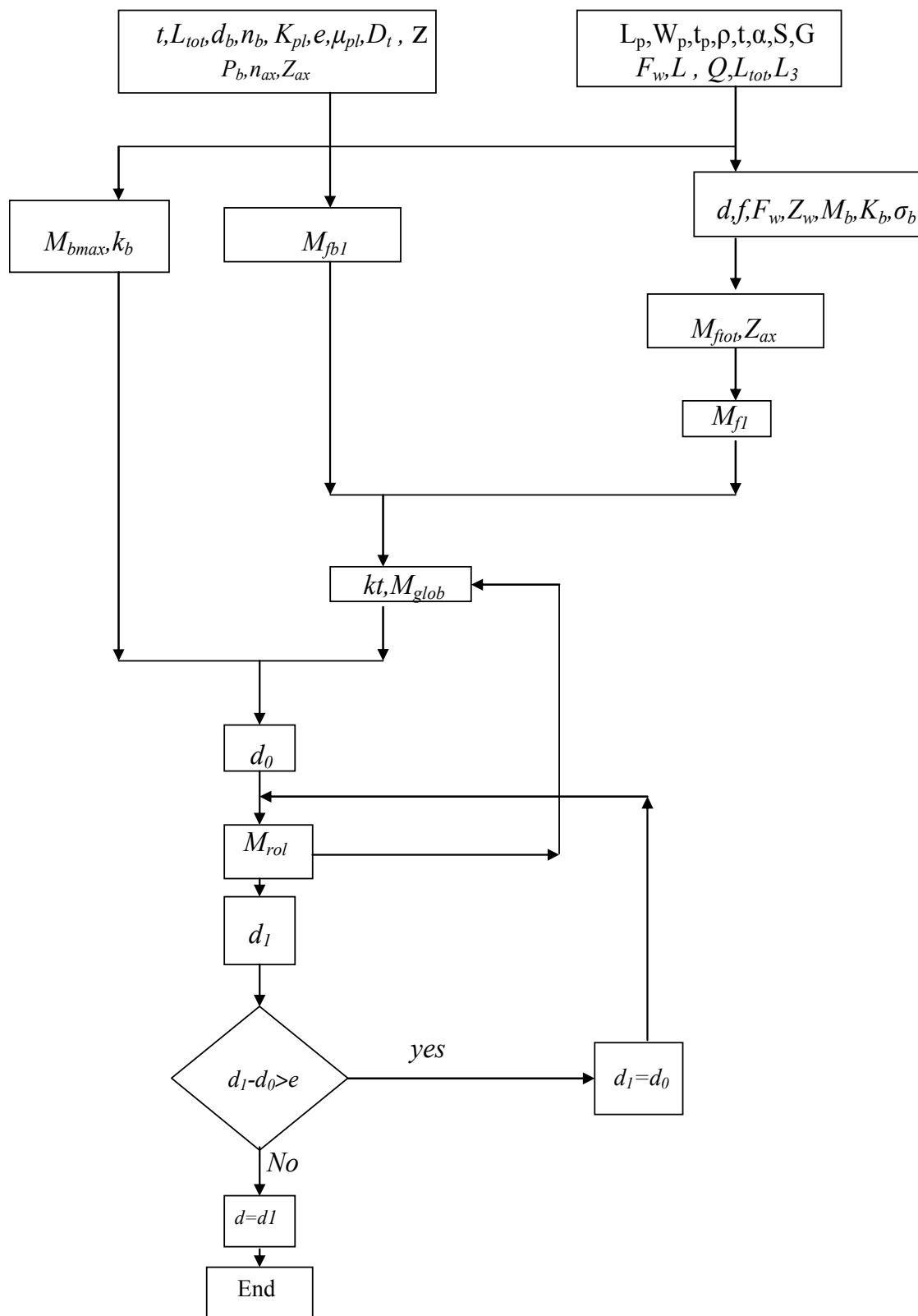
K_b : معامل الحمل الخاص بالمحور على الانحناء.

حيث M_{rol} : عزم الفتل الناتج عن الاحتكاك في المحمل M_{rol} ويعطى بالعلاقة:

$$M_{rol} = M_{vis} + M_1 + M_3 \quad (43)$$

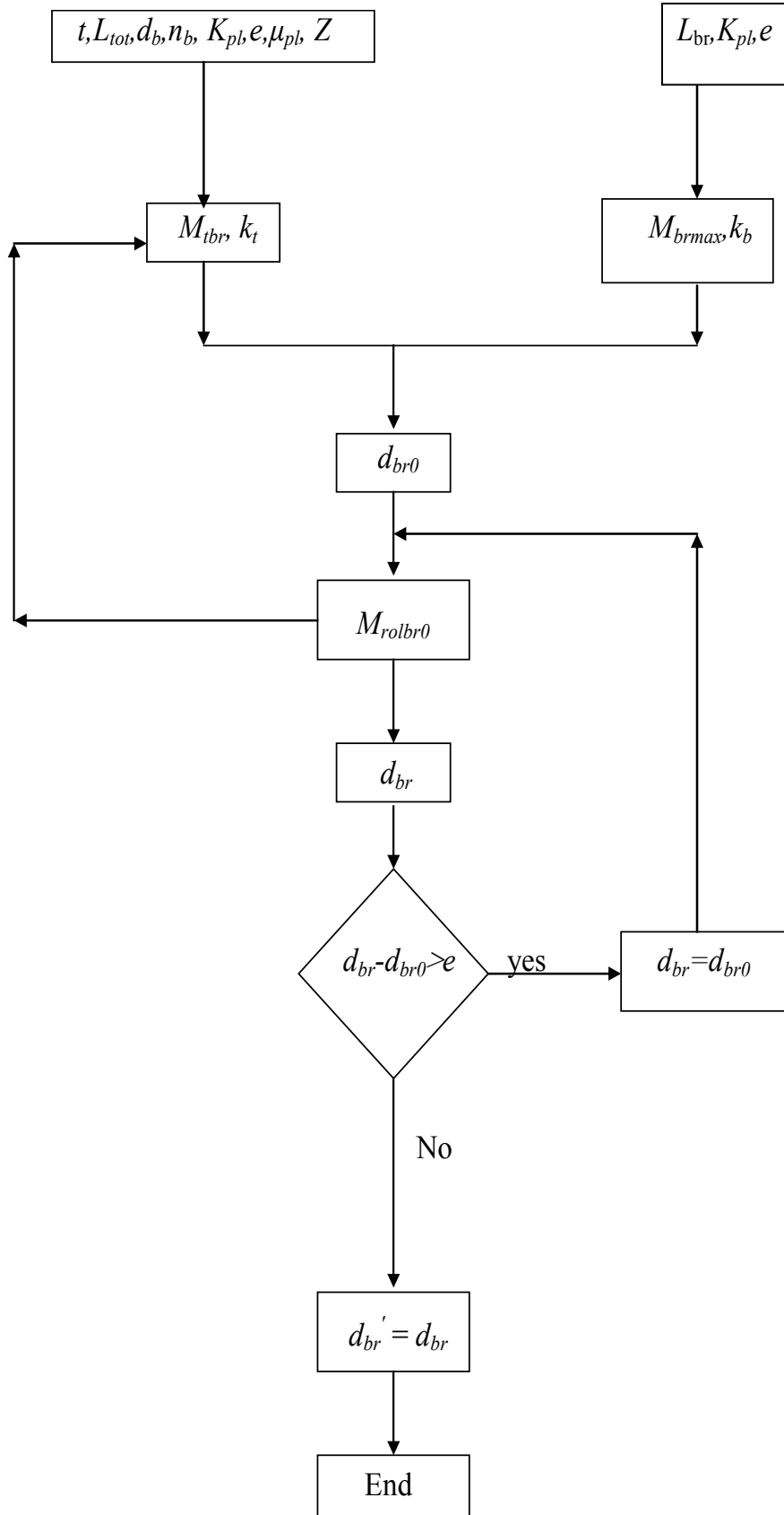
ويبين الشكل (3) المخطط الصندوقي لطريقة حساب قطر المحور السفلي الحامل للوح الزجاج d_1 باستخدام

برنامج الـ Matlab:



الشكل (3) المخطط الصندوقي لحساب قطر المحور السفلي

ويبين الشكل (4) المخطط الصندوقي لطريقة حساب قطر محور الفرشاة باستخدام برنامج الـ Matlab:



الشكل (4) المخطط الصندوقي لحساب قطر محور الفرشاة

2-3. التصميم الحراري لآلة الغسيل والتجفيف:

يدخل لوح الزجاج إلى حجرة التجفيف بعد خروجه من حجرة الغسيل ومروره في قسم الانتظار ليتم تجفيفه بشكل تام من الماء المتبقي عليه، ولتنفيذ عملية التجفيف سيتم استخدام حرّاق. نحسب أولاً كمية الماء المتبقية على جزء لوح الزجاج الموجود في قسم التجفيف، مع العلم أنّ مدة بقاء اللوح في المجفف تؤخذ من العلاقة الآتية:

$$t' = \frac{L_4}{u} \quad (44)$$

L_4 : طول قسم التجفيف مقدّر بالـ m.

u : السرعة الخطية للوح الزجاج على خط الإنتاج مقدّرة بالـ m/s.

وبالعودة إلى العلاقة (4) التي تمثل كمية الماء المتبقية على لوح الزجاج مع الأخذ بعين الاعتبار ما يلي:

$t'' = t_1$: الزمن الفاصل بين خروج لوح الزجاج من قسم الغسيل إلى دخوله إلى قسم التجفيف.

α : زاوية ميل لوح الزجاج مقدّرة بالراديان.

$S' = S$: مساحة سطح لوح الزجاج مقدّرة بالـ m^2 .

ويكون معدل تدفق الهواء مقدّراً بالـ m^3/sec :

$$v_a' = \frac{V_a}{t'} \quad (45)$$

حيث: V_a : حجم الهواء اللازم لسحب رطوبة قدرها G' .

- وتكون استطاعة المجفف [9]: والتي تمثل كمية الحرارة الكلية المنتقلة من الوسيط الساخن (غازات الاحتراق)

إلى الوسيط البارد (الهواء):

$$Q' = v_a' \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_{co} - T_{ci}) \quad (46)$$

T_{co} : درجة حرارة خروج الوسيط البارد.

T_{ci} : درجة حرارة دخول الوسيط البارد.

v_a' : معدل تدفق الهواء مقدّراً بالـ m^3/sec .

ρ : الكتلة النوعية للهواء مقدّرة بالـ kg/m^3 .

c_p : السعة الحرارية للهواء مقدّرة بالـ $kJ/kg.K$.

بناءً على ذلك فإن استطاعة الحرّاق هي كمية الحرارة العظمى التي يمكن أن تنتقل بشكل ترموديناميكي بين

الوسيطين الساخن والبارد:

$$Q'_{\max} = \frac{Q'}{\varepsilon} \quad (47)$$

ε : فعالية المبادل الحراري.

- حساب كمية المازوت اللازمة للحصول على الاستطاعة السابقة:

على اعتبار أنّ كل ليتر من المازوت ينتج كمية حرارة قدرها 33000 كيلو جول واحد، ولكن كمية الحرارة

اللازمة لتحقيق عملية التجفيف تعطى من القانون:

$$H_d = Q'_{\max} \cdot t' \quad (48)$$

Q_{\max} : استطاعة الحراق.

t' : زمن بقاء لوح الزجاج في قسم التجفيف.

لذلك تكون كمية المازوت مقدرة بالليتر اللازمة للحصول على هذه الحرارة:

$$m_{fu} = H_d / 33000 \quad (49)$$

فيكون استهلاك الوقود:

$$m_{fu}' = m_{fu} / t' \quad (50)$$

النتائج والمناقشة:

إن القانون الذي يعطي كمية الماء المتبقية على لوح الزجاج والتابع لثلاثة متغيرات هي: زاوية ميل لوح الزجاج، ومساحة سطح لوح الزجاج، وزمن بقاء الماء على اللوح الذي يعطى بالعلاقة التالية:

$$G = 106 * t^{-0,45} * \alpha^{-0,7} * S^{0,78} \quad (51)$$

وبناءً على ما تقدم نجري العديد من التجارب على البرنامج الحاسوبي المصمم بلغة الـ Matlab مع الأخذ بعين الاعتبار المتغيرات آنفة الذكر، وذلك بتثبيت عاملين وتغيير العامل الثالث فنحصل على النتائج الآتية:

أولاً: دراسة تأثير مساحة سطح لوح الزجاج:

نفرض أنّ مساحة سطح لوح الزجاج متغيرة وأنّ زمن بقاء الماء على اللوح ثابتة تساوي 7sec، وزاوية الميل ثابتة تساوي 80 degree؛ فنحصل على الجدول التالي:

جدول (1) علاقة أبعاد لوح الزجاج مع التصميم التكنولوجي للألة

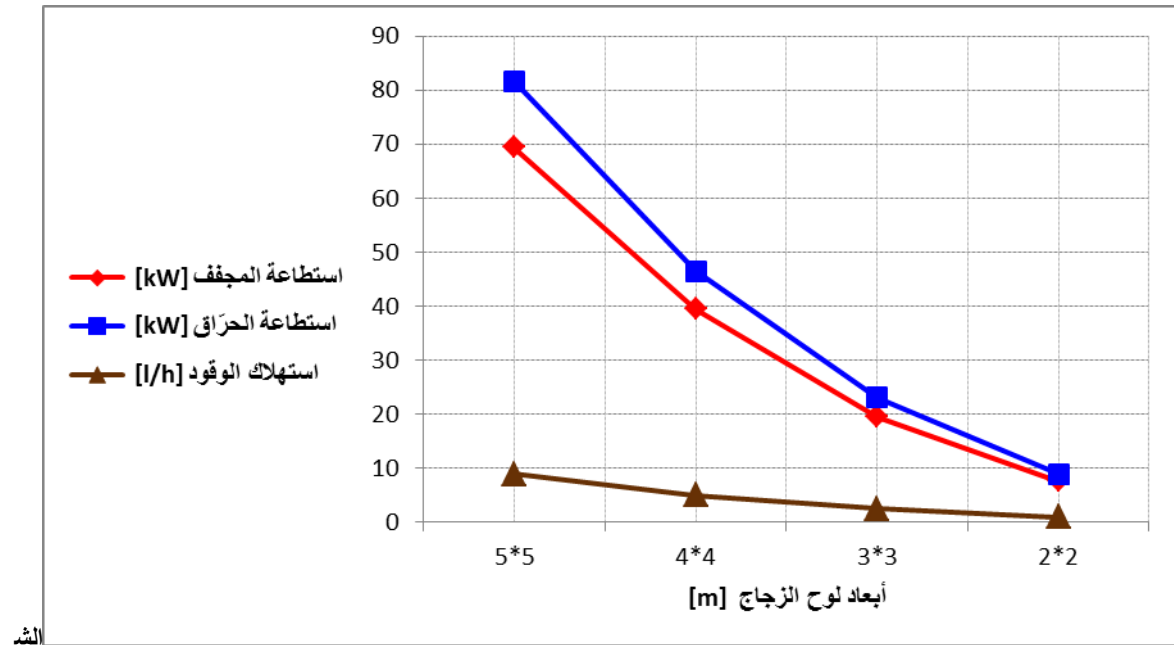
أبعاد لوح الزجاج m*m	5*5	4*4	3*3	2*2
قطر محور عجلة البوليميد [mm]	6	5	4	4
قطر محور الفرشاة [mm]	35	30	30	25
قطر المحور السفلي [mm]	15	15	15	17
استطاعة المحرك الرئيس [kW]	30	18.5	15	15
استطاعة المجفف [kW]	69.3760	39.4971	19.5824	7.6577
استطاعة الحراق [kW]	81.6188	46.4672	23.0381	9.0090
استهلاك الوقود [l/h]	8.9039	5.0692	2.5133	0.9828
استطاعة الحراق لكل m ² [kW/m ²]	3.264	2.9042	2.559	2.475
استهلاك الوقود لكل m ² [l/m ² .h]	0.356	0.316	0.279	0.245

نلاحظ من الجدول (1) أنه بانخفاض أبعاد لوح الزجاج ينخفض قطر محور عجلة البوليميد، كما ينخفض قطر محور الفرشاة، كما نلاحظ من الجدول أنه عند أبعاد اللوح الزجاج 3m*3m و 4m*4m لم يتغير قطر محور الفرشاة،

ويمكن تفسير ذلك بأن أقطار المحاور تكون أقطاراً قياسية وفق الشركة المصنعة للمحور، حيث أنه عند أبعاد لوح الزجاج $3\text{m} \times 3\text{m}$ يكون قطر محور الفرشاة 26.3483mm فيتم تدويره إلى أقرب قطر نظامي للمحور وهو 30mm وعند أبعاد لوح الزجاج $4\text{m} \times 4\text{m}$ يكون القطر 28.997mm يتم تدويره إلى 30mm الأمر الذي يؤدي إلى ثبات القطر عند هذه الأبعاد لوح الزجاج، وكذلك الأمر بالنسبة لقطر محور عجلة البوليميد فعند أبعاد لوح الزجاج $3\text{m} \times 3\text{m}$ كان قطر محور العجلة 3.624mm فيتم تدويره إلى 4mm وعند أبعاد $2\text{m} \times 2\text{m}$ كان القطر 2.67mm فيتم تدويره إلى 4mm .

كما نلاحظ أنه بانخفاض أبعاد اللوح تنخفض استطاعة المحرك القائد في الآلة، ومن ثم ينخفض استهلاك الطاقة الكهربائية الناتجة عنها.

ولتبيان العلاقة بين أبعاد لوح الزجاج واستطاعة المجفف واستطاعة الحراق، واستهلاك الوقود نرسم المخطط الممثل لعلاقة هذه البارامترات كتابع لأبعاد لوح الزجاج فنحصل على الشكل (5):



كل (5) علاقة أبعاد لوح الزجاج مع استطاعة المجفف واستطاعة الحراق واستهلاك الوقود

نلاحظ من الشكل (5) أنه بازدياد أبعاد لوح الزجاج تزداد استطاعة المجفف بشكل كبير كما تزداد استطاعة الحراق، كما نلاحظ أنه عندما كانت أبعاد لوح الزجاج $4\text{m} \times 4\text{m}$ كان استهلاك الوقود 5.06925l/h وعند أبعاد مقدارها $3\text{m} \times 3\text{m}$ كان استهلاك الوقود 2.5133l/h ومن ثم فإن التوفير في استهلاك الوقود: $\Delta m_{fu} = 2.55\text{l/h}$ ، وبانخفاض أبعاد اللوح إلى $2\text{m} \times 2\text{m}$ انخفض استهلاك الوقود إلى 0.9828l/h أي إن مقدار التوفير باستهلاك الوقود: $\Delta m_{fu} = 1.53\text{l/h}$ لذلك نستنتج أنه بانخفاض أبعاد لوح الزجاج ينخفض استهلاك الوقود.

ثانياً: دراسة تأثير زاوية ميل لوح الزجاج على الأفق:

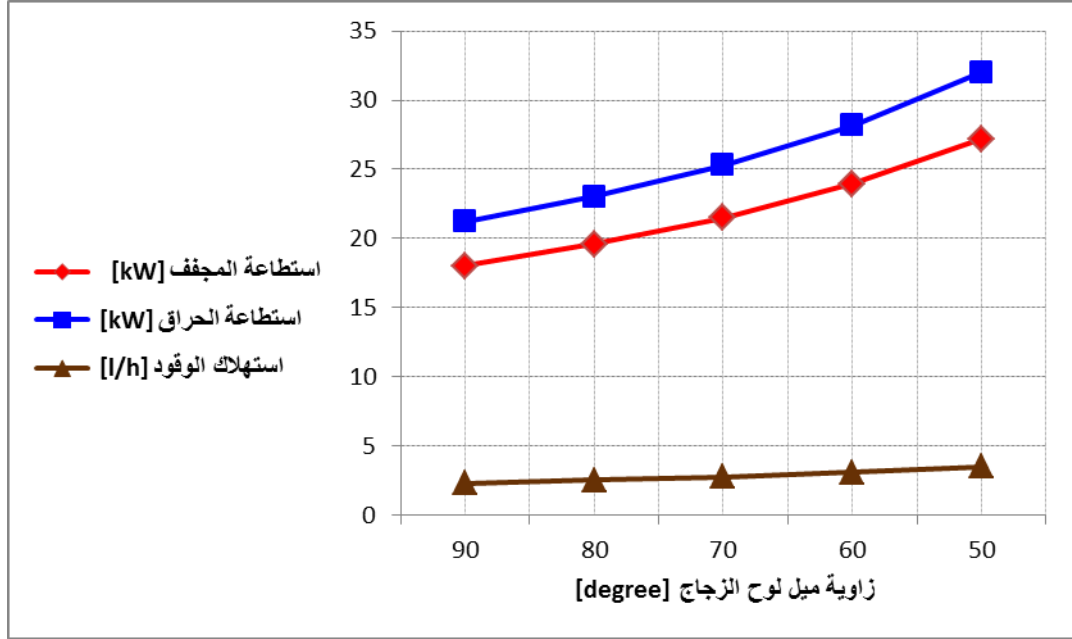
نفرض أن زاوية ميل لوح الزجاج على الأفق متغيرة مع ثبات أبعاد لوح الزجاج وهي $3\text{m} \times 3\text{m}$ وزمن بقاء الماء على اللوح هو 7sec ، نرتب النتائج في الجدول (2):

جدول (2) علاقة زاوية ميل لوح الزجاج مع التصميم التكنولوجي للآلة

زاوية الميل مع الأفق [degree]	90	80	70	60	50
قطر محور عجلة البوليميد [mm]	4	4	5	6	6
قطر محور الفرشاة [mm]	30	30	30	30	30
قطر المحور السفلي [mm]	15	15	15	15	15
استطاعة المحرك الرئيس [kW]	15	15	15	18.5	18.5
استطاعة المجفف [kW]	18.0326	19.5824	21.5011	23.951	27.2113
استطاعة الحراق [kW]	21.2149	23.0381	25.295	28.17	32.0134
استهلاك الوقود [l/h]	2.31	2.5133	2.759	3.073	3.4924

نلاحظ من الجدول أنه بزيادة زاوية ميل لوح الزجاج ينخفض قطر محور عجلة البوليميد كما تنخفض استطاعة المحرك القائد للآلة.

ويرسم العلاقة بين زاوية الميل واستطاعة المجفف واستطاعة الحراق واستهلاك الوقود نحصل على الشكل (6):



الشكل (6) علاقة زاوية ميل لوح الزجاج مع استطاعة المجفف واستطاعة الحراق واستهلاك الوقود

نلاحظ من الشكل (6) أنه بازياد زاوية الميل تنخفض استطاعة المجفف، كما تنخفض استطاعة الحراق، ونلاحظ أنّ استهلاك الوقود ينخفض بازياد زاوية الميل.

ثالثاً: دراسة تأثير زمن بقاء الماء على لوح الزجاج:

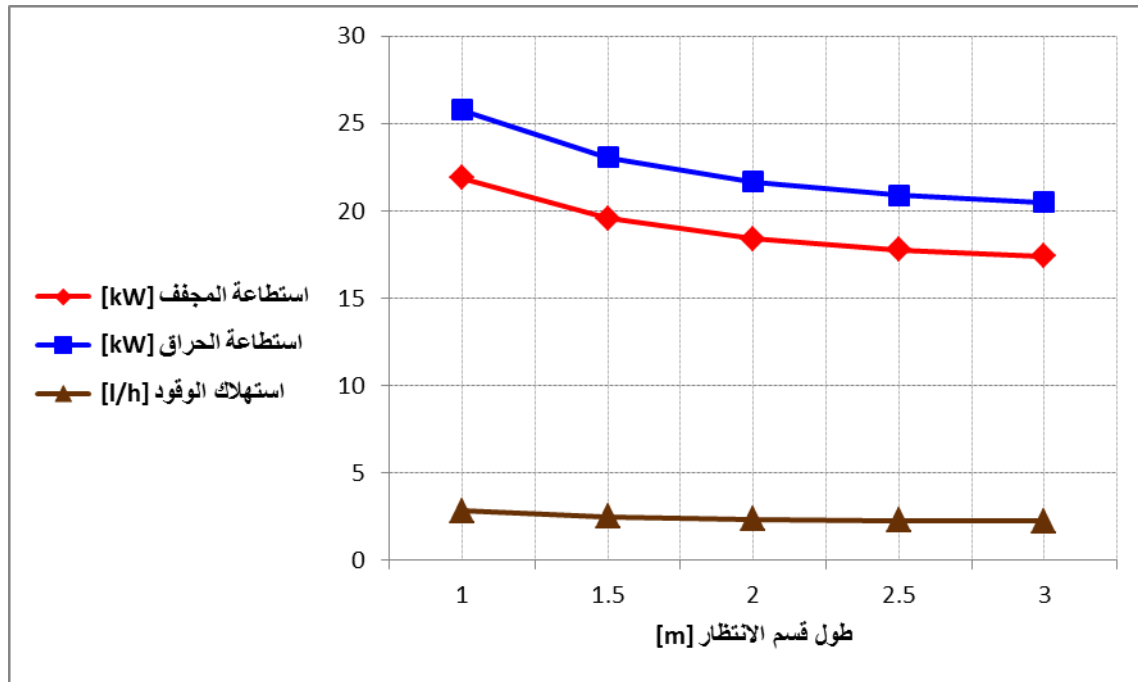
نفرض أنّ زمن بقاء الماء على اللوح متغيرة ونحصل على ذلك من تغيير طول قسم الانتظار في آلة الغسيل والتجفيف (حيث يحدث في قسم الانتظار فقدان كمية من الماء الناتجة عن عملية الغسيل قبل دخولها إلى مرحلة التجفيف) مع ثبات أبعاد لوح الزجاج وهي 3m*3m وزاوية ميل لوح الزجاج = 80 degree، ونرتب النتائج في الجدول التالي:

جدول (3) علاقة طول قسم الانتظار بالتصميم التكنولوجي للآلة

طول قسم الانتظار [m]	1	1.5	2	2.5	3
قطر محور عجلة البوليميد [mm]	4	4	4	4	4
قطر محور الفرشاة [mm]	30	30	30	30	30
قطر المحور السفلي [mm]	15	15	15	15	15
استطاعة المحرك [kW]	15	15	15	15	15
استطاعة محرك الفرشاة [kW]	3	3	3	3	3
استطاعة المجفف [kW]	21.8969	19.5824	18.4051	17.7550	17.3977
استطاعة الحراق [kW]	25.7611	23.0381	21.6531	20.8883	20.4678
استهلاك الوقود [l/h]	2.8103	2.5133	2.3622	2.2787	2.2329

نلاحظ أنه لا علاقة لزمن بقاء الماء على لوح الزجاج مع قطر محور عجلة البوليميد وقطر محور الفرشاة وقطر المحور السفلي واستطاعة المحرك الرئيس في الآلة.

بينما يتبين تأثير زمن بقاء الماء على لوح الزجاج على استطاعة المجفف واستطاعة الحراق، ويرسم العلاقة بين طول قسم الانتظار واستطاعة المجفف نحصل على الشكل (7):



الشكل (7) علاقة طول قسم الانتظار مع استطاعة المجفف واستطاعة الحراق واستهلاك الوقود

نلاحظ من المخطط أنه بازياد طول قسم الانتظار تتخفض استطاعة المجفف، وتتنخفض استطاعة الحراق، كما ينخفض استهلاك الوقود بشكل ضئيل، وذلك بسبب انخفاض كمية الماء المتبقية على لوح الزجاج أثناء مروره في قسم الانتظار الأمر الذي يؤدي إلى انخفاض استطاعة المجفف اللازم لتجفيفه.

الاستنتاجات والتوصيات:

بناءً على ما تقدّم تبين بشكل واضح تأثير كل من المتغيرات السابقة على التصميم الميكانيكي والحراري لآلة الغسيل والتجفيف الذي ينعكس على تخفيض تكلفة تصنيع الآلة من جهة، وترشيد استهلاك الطاقة من جهة أخرى بما يحقق اقتصادية عالية فيتحقق انخفاض ملموس في استهلاك الطاقة الكهربائية عن طريق المجفف عند الاختيار الأمثل لقيم العوامل الداخلة في معادلة كمية الماء المتبقية على لوح الزجاج.

ومن خلال الدراسة المنفّذة على البرنامج تمّ التوصل إلى النتائج الآتية:

1. بازدياد أبعاد لوح الزجاج تزداد استطاعة المحرك القائد للآلة، ومن ثم يحدث هدر في استهلاك الطاقة الكهربائية، كما أنّ قطر عجلة البوليميد ينخفض بانخفاض أبعاد لوح الزجاج.
2. هناك تأثير كبير لأبعاد اللوح على استطاعتي المجفف والحرق، لذلك نختار أبعاد اللوح $2m \times 2m$ الشكل (5)، بما يحقق ترشيداً كبيراً في استهلاك الطاقة الكهربائية ووفراً في استهلاك الوقود.
3. هناك تأثير لزاوية ميل لوح الزجاج على التصميم التكنولوجي لآلة الغسيل والتجفيف، حيث بازدياد زاوية ميل لوح الزجاج ينخفض قطر محور عجلة البوليميد واستطاعة المحرك القائد للآلة، كما تؤثر على استطاعة المجفف واستطاعة الحرق واستهلاك الوقود بما يحقق اقتصادية عالية الشكل (6)، لذلك نختار الزاوية المناسبة 80 درجة بما تحقق اتزان لوح الزجاج أثناء سيره على الآلة.
4. لا يؤثر زمن بقاء الماء على لوح الزجاج على التصميم الميكانيكي لآلة الغسيل والتجفيف.
5. هناك تأثير لزمن بقاء الماء على لوح الزجاج على استطاعة المجفف حيث لوحظ أنّه بزيادة طول قسم الانتظار ومن ثم زمن بقاء الماء على اللوح تنخفض استطاعة المجفف واستطاعة الحرق، وينخفض استهلاك الوقود الشكل (7) لذلك نختار طول قسم الانتظار 2.5 متر وذلك لتحقيق اقتصادية عالية.

المراجع:

- [1] SKRABEC, Q. *Michael Owens and the glass industry*. Pelican Publishing, 2006, 320.
- [2] BINGHAM, P.; WALLENBERGER, F. *Fiberglass and Glass Technology: Energy-Friendly Compositions and Applications*. Springer, 2009, 474.
- [3] GREGORY, J. *Particles in water: properties and processes*. CRC Press, 2006, 180. [4] محمود، د. حبيب.؛ دياب، د. ياسر.؛ سعيد، م. مي. دراسة العوامل المؤثرة على التصميم التكنولوجي لخط غسل وتجفيف ألواح الزجاج – تأثير زاوية الميل. مجلة بحوث جامعة حلب سلسلة العلوم الهندسية، العدد 90، 2010.
- [5] SMITH, R.; PETERSON, J. *Mathematics for Machine Technology*. 2nd ED, Cengage Learning, 2008, 594.
- [6] LINGAIAH, K. *Machine Design Databook*. Second Edition, McGraw Hill, 2002, 1237.
- [7] JINDAL, U. C. *Machine Design*. Pearson Education India, 2010, 892.
- [8] KHURMI, R. S.; GUPTA, J. K. *Machine design*. Eurasia Publishing House, 2005, 1230.
- [9] LEACH, J. A. *Engineering Thermodynamics*. Juta and Company Ltd, 2007, 164.