

النمذجة الرياضية لأنظمة محطات الطاقة الحرارية وحساباتها الحرارية باستخدام الحاسوب

الدكتور المهندس عيسى مراد

قسم هندسة القوى الميكانيكية

كلية الهندسة الميكانيكية و

الكهربائية

جامعة دمشق

الملخص

يقدم البحث كيفية النمذجة الرياضية لعناصر أنظمة محطات الطاقة الحرارية بهدف تحديد بارامترات النظام الحراري (بعض البارامترات الترموديناميكية الأساسية، التدفق الكتلي والطاقي في الجريانات بين عناصر محطة الطاقة الحرارية).

يتضمن البحث دراسة أساسية في تحليل بارامترات وبنية النظام الحراري وكيفية تمثيلها رياضياً بما يساعد في صياغة مصفوفة النموذج الرياضي وتحويل نظام المعادلات اللاخطي (معادلات موازنة النظام الحراري) إلى نظام معادلات خطي قابل للحل باستخدام الحاسوب، حيث تمت كتابة برنامج بلغة الفورتران 77 لهذه الغاية.

تم تطبيق هذه الدراسة على المخطط الحراري لمحطة تشرين الحرارية (200 MW) وحددت قيم التدفق الكتلي والطاقي في الجريانات الواصلة بين عناصر نظامها الحراري التي تفيد في حساب الموازنة الحرارية لجميع عناصر محطة الطاقة وتقييم أدائها بالإضافة إلى الاستنتاجات الأخرى.

قائمة الرموز المستخدمة

مصفوفة التدفق الكتلي والتدفق الطاقي	Q, M
رقم العنصر ورقم الجريان	i, j
أبعاد المصفوفة	n
عدد دورات الكتلة وعدد دورات الطاقة	Z_p, Z_m

عدد عناصر الكتلة وعدد عناصر الطاقة	E_p, E_m
عدد العناصر المزجية	E_z
عدد الجريانات الطاقية وعدد الجريانات الكتلية الحقيقية	M_m, M_p
عدد الجريانات متساوية الانتالبي	E_e
عدد معادلات الموازنة الكتلية	R_m
عدد معادلات الموازنة الطاقية	R_p
عدد المعادلات الخاصة	R_s
جريان طاقي وهمي	F_j
قيمة مفترضة للانتالبي	h^*_j
الاستطاعة الميكانيكية للعنفة	Q_5
الاستطاعة الحرارية للمرجل	Q_{51}
مردود المضخة	η_i
الجريان الكتلي الداخل والخارج من العنصر وإليه	$\sum m_o, \sum m_i$
الجريان الطاقي الداخل والخارج من العنصر وإليه	$\sum Q_o, \sum Q_i$
استهلاك الوقود	$[kg/h] B$
مردود المرجل	η_b
قيم الانتالبي في المرحلة الأخيرة من العنفة عند ضغط ثابت	h^*, h^{**}
قيم الانتالبي الداخل والخارج من العنصر وإليه	h_o, h_i

1- مقدمة: Introduction

تعدُّ الحسابات الحرارية لأنظمة محطات الطاقة الحرارية الجزء الأكثر تعقيداً لاختيار البارامترات الترموديناميكية، أي اختيار بنيتها، حيث تؤدي دوراً أساسياً في تحديد حالة النظام الحراري، مما يستدعي دراسة النظام الحراري بهدف تحديد بارامتراته (البارامترات الترموديناميكية الأساسية والتدفق الكتلي والطاقي). ولتنفيذ هذه الحسابات لا بد أولاً من دراسة النمذجة الرياضية لعناصر النظام الحراري التي تعتمد على وصف الإجراء بشكل تمثيلي، أي تمثيل هذه العناصر أو العمليات التي تقوم على تركيب علاقات التشابه فيه والمتعلقة بالحسابات الترموديناميكية، وديناميك الجريان، وكميات ميكانيكية كافية لوصف التحولات الطاقية والكتلية داخل العملية، وذلك باستخدام العلاقات الرياضية بين هذه الكميات، بالإضافة إلى القوانين التي تصف العلاقة بين عدد من البارامترات الترموديناميكية (p, t, h, \dots) والمتغيرات الأولية، أو مع المعطيات التصميمية للنظام الحراري للحصول على النموذج الرياضي لكامل النظام والذي يساعد في إنجاز الحل بشكل تام.

يتضمن البحث التعاريف والافتراضات الأساسية في بنية النظام الحراري وهي واردة في المقطع الثاني، في حين تبين المقاطع الثالث والرابع والخامس والسادس جوهر الموازنات الطاقية والكتلية والحساب الجبري لفعالية العناصر الحرارية، أما المقطع السابع فيقدم صورة عن هذه الموازنات في محطة تشرين

الحرارية (200 MW) من خلال حساب قيم التدفق الكتلي والطاقي في جريانات المحطة باستخدام برنامج حاسوبي كتب لهذه الغاية بلغة الفورتران 77.

2- النظام الحراري، البارامترات، البنية : Thermal System ,Parameters ,Structure

إن عمليات إنتاج الطاقة الكهربائية والحرارية في محطات التوليد البخارية تتم من خلال مجموعة أجهزة وآلات، جزء منها يعرف بالنظام الحراري لمحطة الطاقة ويتبع لها: مولدات البخار، العنفات، المسخنات، المكثف، المبادلات الاسترجاعية، المضخات، وتدعى عناصر موازنة تتصل فيما بينها بتوصيلات أو أنابيب يمر فيها الجريان أو جسم التشغيل، بالإضافة إلى بعض التجهيزات التي تحتاج إليها العملية التكنولوجية، ولكنها لا تؤخذ بالحسبان في أثناء حل مسائل الموازنة كونها تتوضع عادة بشكل مستقل عن نظام المحطة، نذكر منها: نظام تحضير الفحم، نظام تحضير ماء التعويض،

إن البارامترات الترموديناميكية ($p, t, h, v, s, h..$) هي التي تحدد حالة جسم التشغيل وحيد الجريان، أي بمعرفة بارامترين على الأقل منها، أما بقية البارامترات فتحدد من العلاقات الترموديناميكية المعطاة على شكل جداول أو مخططات للماء وبخار الماء أو برامج على الحاسوب [8]، في حين الاستطاعة (الحرارية، الكهربائية، الميكانيكية، ...) وبعض المؤشرات المميزة للمحطة أو لعناصرها مثل: المردود، اختلاف درجات الحرارة ...، فيتم تحديدها بمعرفة التدفق الكتلي والطاقي في عناصر النظام الحراري.

إن بنية النظام الحراري هي مجموعة المعلومات المتعلقة بالتجهيزات التابعة له وكيفية اتصالها مع بعضها، لكن في أثناء الحسابات الحرارية تهمل منها التجهيزات الاحتياطية، الصمامات، العناصر الصغيرة مثل مبردة الأملاح، مبردة البخار، في حين التجهيزات التي تعمل على التوازي ولها البارامترات الترموديناميكية نفسها (مثل مجموعة مراحل لها بارامترات الجريان نفسها لخطوط التغذية) فإنها تعامل كعنصر واحد.

يمكن تمثيل العناصر على شكل قطع أجر صغيرة والأنابيب بخطوط تصل بين هذه القطع لتشكل بمجموعها المخطط الحراري للبنية كما في الشكل (3) يفيد المخطط الحراري في بناء النموذج الرياضي لحل مسألة الموازنة، لكن عندما يحوي النظام الحراري بنايات مختلفة تتألف من عناصر متشابهة كبيرة العدد يكفي بناء نموذج رياضي للبنية العامة ومن ثم إتمامه بوضع نموذج لكل بنية، مما يسمح باختصار الزمن اللازم لحل مسألة الموازنة لكامل النظام، أما بالنسبة لبناء محطات الطاقة الحرارية الحديثة الذي يتطلب فرضيات كثيرة فيستعمل عادة مخطط حراري يحوي بعض التعديلات المناسبة والتي قد لا تكون مريحة أحياناً ولكنها ضرورية لإدخال المعلومات إلى ذاكرة الحاسوب.

أحياناً تحوي البنية عناصر لا تحصل فيها عمليات ترموديناميكية تدعى عناصر فارغة ووجودها يساعد في كتابة المصفوفة [2]، وعندما يتصل النظام الحراري مع الوسط المحيط بجريانات خارجية أو منابع كتلية أو طاقيّة تكون بنية النظام مفتوحة كتلياً أو طاقياً، لكن في حالة عدم وجود هذا الاتصال تكون البنية مغلقة كتلياً أو طاقياً [4, 1].

لسهولة كتابة مصفوفة النظام يحاط كل عنصر بغلاف يدعى غلاف موازنة، حيث ترقم العناصر (من 1 حتى i)، في حين ترقم جريانات الكتلة والطاقة (من 1 حتى j)، ويعطى الجريان إشارة موجبة إذا دخل إلى غلاف الموازنة وإشارة سالبة إذا خرج منه. تشكل جريانات الكتلة دورة كتلة Z_m وجريانات الطاقة دورة طاقة Z_p ، حيث يتعلق عدد دورات الكتلة والطاقة بعدد دورات هذه الجريانات مثلاً: محطة الطاقة

النوية لتوليد الطاقة الكهربائية وإنتاج الماء الساخن للتدفئة $Z_m=4$ (دورة لمياه التبريد في المفاعل، ودورة لجسم التشغيل، ودورة لمياه التدفئة، ودورة لمياه التبريد في المكثف).

إن التشكيل بين عناصر بنية النظام الحراري يشبه تماما التشكيل في المجموعات [9]. مثلاً: بفرض A و B هما عنصرا بنية مرتبطان فيما بينهما، كما هو مبين في الأشكال $[2_a, 2_b, 2_c, 2_d]$ نجد أن:

$$(1) \quad A \cup B = a : a \in A \cup a \in B \quad : \quad B \text{ و } A \text{ مجموع البنيتين}$$

$$(2) \quad A \cap B = a : a \in A \cap a \in B \quad : \quad B \text{ و } A \text{ جداء البنيتين}$$

$$(3) \quad A / B = a \in A : a \notin B \quad : \quad B \text{ و } A \text{ الفرق بين البنيتين}$$

3- التمثيلات الممكنة للعمليات الحرارية :

The possible representations for thermal processes

عندما يواجه المرء ظاهرة أو عملية جديدة يقوم بالتمثيل الذهني لها مباشرة مع تضمين جميع الكميات المطلوبة من المعلومات الكمية وقيم بعض الكميات الترموديناميكية لإجراء الموازنات الطاقية والكتلية لتسهيل العمليات الحسابية [5,6].

الشكل (4_a) يبين التمثيل الكامل للنظام الحراري، في حين الشكل (4_b) يبين عناصر النظام الحراري والجريانات الواصلة بينها مع وجود العناصر الفارغة (العناصر 5,4)، وملاحظة أنه لا يمكن أن يكون عدد الجريانات بين عنصرين أكبر من الواحد، أما الشكل (4_c) يبين التمثيل الكامل للنظام الحراري على شكل مصفوفة التدفق الكتلي M ومصفوفة التدفق الطاقى Q . أبعاد كل من هاتين المصفوفتين ($n \times n$) التي يمكن صياغتها على شكل مصفوفة إدخال إلى الحاسوب وفق التطابق بين عناصر المصفوفتين $[Q, M]$ ، حيث تأخذ الرقم 1 إذا وجد بين العناصر جريان كتلة أو طاقة، وتأخذ الرقم 0 في حال عدم وجود جريان كتلة أو طاقة كما يلي :

$$m(j,i)=1 \text{ إذا وجد بين العناصر } i, j \text{ جريان كتلة}$$

$$m(j,i)=0 \text{ في الحالة المعاكسة (لا يوجد جريان كتلة)}$$

$$q(j,i)=1 \text{ إذا وجد بين العناصر } i, j \text{ جريان طاقة}$$

$$q(j,i)=0 \text{ في الحالة المعاكسة (لا يوجد جريان طاقة)}$$

حيث: i رقم الجريان، i رقم العنصر

4- النموذج الرياضي : Mathematical Model

إن طبيعة المسألة تحدد الفرضيات والهدف المطلوب منها ، أي تعيين مركبات شعاع الهدف [7] ، ففي مسائل الموازنة تكون مركبات شعاع الهدف هي: البحث عن بارامترات النظام الحراري والمؤشرات المختلفة للمحطة مثل: المردود، استهلاك الوقود ،... أما النموذج الرياضي فهو مجموعة العلاقات الناتجة عن القوانين بين عناصر النظام، بالإضافة إلى المؤشرات التي تحدد الصفات التصميمية للأجهزة [3].

تصنف معادلات النموذج الرياضي لمسألة الموازنة في عدة مجموعات :

1- معادلات ناتجة عن قوانين مصونية الكتلة والطاقة، وتدعى علاقات موازنة الكتلة والطاقة .

2- معادلات ناتجة عن المؤشرات المحددة للصفات المميزة للتصميمية للعناصر مثل مردود المرجل، ...

3- معادلات ناتجة عن عدم التكافؤ مع القيم المحددة تكنولوجياً مثل جريان البخار إلى المكثف الذي لا يجوز أن يكون أقل من قيمة محددة بالنسبة لتبريد مراحل العنفة الأخيرة .

4- معادلات تحدد شروط العمل المتعلقة ببنية النظام الحراري مثل جريان التكاثف من المبادل الاسترجاعي الأول حيث يمكن أن يذهب إلى فاصل الغازات أو إلى المبادل الاسترجاعي الأخير منخفض الضغط .

استناداً لما سبق يتطلب بناء النموذج الرياضي لمسائل الموازنة إجراء تحليل يتعلق بما يلي :

a: تحديد الصفات المميزة لبنية النظام الحراري ،عناصر الموازنة والجريانات:

- عدد دورات الجريانات الكتلية والطاقة المغلقة والمفتوحة Z_p, Z_m

- عدد عناصر الكتلة وعناصر الطاقة E_p, E_m

- عدد العناصر الكتلية المزجبة E_z

- عدد جريانات الكتلة وجريانات الطاقة M_p, M_m

- عدد الجريانات متساوية الانتالبي E_e

b: تحديد الصفات المميزة الكمية لنظام معادلات النموذج الرياضي

(4) $R_m = E_m + E_p - Z_m$ عدد معادلات الموازنة الكتلية

(5) $R_p = E_m + E_p - Z_p - E_e$ عدد معادلات الموازنة الطاقية

- عدد المعادلات الخاصة التي تتعلق بالبارامترات التصميمية R_s

(6) $R = R_m + R_p + R_s$

C: القيم الخاصة التي تظهر في النموذج، تحدد كمية القيم المعلومة والمجهولة اعتماداً على معانيها الفيزيائية (تدفق الكتلة، الانتالبي، درجة الحرارة، الكثافة وقيم أخرى مثل المردود والمؤشرات)، وللسهولة أحياناً تهمل العلاقات الرياضية التي تحدد الانتالبي وكثافة جسم التشغيل في المضخات إذ تحل بشكل مستقل ولكنها تؤخذ بالحسبان في أثناء كتابة النموذج الرياضي الكامل لجميع عناصر النظام الحراري.

5- الطريقة العددية: The numerical method:

يتألف النموذج الرياضي للنظام الحراري عادةً من معادلات خطية ولاخطية (نموذج لاخطي) حيث تصنف المعادلات اللاخطية في النموذج الرياضي كما يلي:

الأولى: معادلات تحوي جداء مجهولي الكتلة والانتالبي للجريان بعد المضخة باعتبار أن البارامترات الترموديناميكية وكثافة جسم التشغيل قبل المضخة تكون معلومة (عادةً تعدُّ كثافة جسم التشغيل ثابتة قبل المضخة وبعدها).

الثانية: معادلات يظهر فيها جداء مجهولي الكتلة والانتالبي $m_j \times h_j$ وهي معادلات الطاقة للعناصر المزجبة مثل العنفة التي تحوي بداخلها فاصل الرطوبة ومبردة تكاثف.

الثالثة: معادلات تحوي مجهولين ولكن دون وجود للخواص السابقة ويتبع لها جميع المعادلات اللاخطية المتبقية.

لصعوبة حل النموذج اللاخطي وفق الطرق العددية نقوم بتحويله إلى نظام معادلات خطي حسب إحدى الطرق التالية:

- يمكن حذف اللاخطية من معادلات المجموعة الأولى والثانية باستخدام العلاقة:

$$(7) \quad m_j \times h_j = m_j \times h_j^* + F_j$$

حيث: h_j^* قيمة مفترضة للإنتالبي ويمكن اعتبارها صفراً.

F_j جريان طاقة وهمي مجهول القيمة يفترض فيزيائياً بحيث يكمل القيمة المفترضة لتدفق

الطاقة $m_j \times h_j^*$ بالنسبة للتدفق الحقيقي $m_j \times h_j$.

وأحياناً تحل معادلات المجموعة الأولى بشكل مستقل عن النموذج.

- إضافة منبع طاقة وهمي كما في الشكل (5) الذي يبين بنية نظام يحوي عنصرين والمعادلات

اللاخطية هي التي تحوي جداء الكتلة والإنتالبي ($m_3 \times h_3$) المجهولين للعنصر (3):

$$(8) \quad m_3 \times h_3 = m_2 \times h_2 + m_9 \times h_9 - F_{10}$$

يمكن حساب قيمة F_{10} بعد افتراض قيمة الإنتالبي h_3 ومن ثم تطبيق العلاقة التالية لحساب قيمة h_3 :

$$(9) \quad h_3 = \frac{m_2 \times h_2 + m_9 \times h_9 - F_{10}}{m_3}$$

ثم تكرر العملية حتى نحصل على قيمة F_{10} وقيمة h_3 المناسبين.

- يمكن حذف اللاخطية بدمج العنصرين بغلاف موازنة واحد، العنصر 6 على الشكل (4_b).

تعتمد الطريقة العددية لحل معادلات النموذج الرياضي لمسائل الموازنة على طبيعة هذه المعادلات، فإذا كان نظام المعادلات لاخطياً وعدد عناصر النظام الحراري كبيراً، وكانت طريقة التكرار Sidle متباعدة عندها نستخدم الطريقة الحدية للحل، والتي تعتمد على إضافة جريان وهمي أو منبع وهمي إلى النظام الحراري.

6- تطبيق على محطة طاقة حرارية

Application to thermal power plant:

يبين الشكل (6) المخطط الحراري لمحطة طاقة حرارية بخارية (محطة تشرين الحرارية)، حيث توصف العملية باجتماع 22 عنصراً بما فيها الوسط المحيط و 58 جريان كتلة وطاقة (10 جريانات طاقة حقيقية و 5 جريانات طاقة وهمية، بالإضافة إلى 43 جرياناً كتلياً).

المطلوب حساب التدفق الكتلي والطاقي والبارامترات الترموديناميكية غير المعلومة في النظام الحراري ومردود المحطة وفق المعطيات التالية:

حيث:

- المخطط الحراري .

$$Q_b = 39607.13 \text{ [kJ/kg]} \text{ - القيمة الحرارية للوقود}$$

$$Q_5 = 214 \text{ MW} \text{ - الاستطاعة الميكانيكية للعنفة،}$$

$$\eta_6 = \eta_{16} = 0.8, \eta_{11} = 0.7 \text{ - مردود المضخات،}$$

$$\eta_b = 0.92 \text{ - مردود مولد البخار}$$

$$\Delta t_8 = \Delta t_{10} = 4 \text{ }^{\circ}\text{C} \text{ - فرق درجات الحرارة في مبردات التكاثف}$$

$$\alpha = 0.07 \text{ - معامل الضياعات الذاتية}$$

- البارامترات الترموديناميكية (معلوم على الأقل بارامتران لكل جريان) باستثناء الجريانات أدناه معلوم فيها فقط الضغط :

$$\text{- الجريانات , 8 , 10 , 16 , 19 , 24 , 32 , 39 .}$$

$$\text{- الجريان 55 بعد العنصر المزجي (12).}$$

$$\text{- جريانات الاستنزاف 42 , 43 .}$$

اعتماداً على ما سبق تكون قيم الانتالبي في الجريانات الكتلية معلومة باستثناء الجريانات (55,20,19,11,9).

يبين الشكل (7) تمثيل النظام الحراري للمحطة على شكل مصفوفة M ومصفوفة Q التي أبعاد كل منها n×n.

اعتماداً على مميزات البنية (عدد عناصر الموازنة الكتلية) ومميزات نظام المعادلات نجد أن:

$$Z_p = 1, Z_m = 1, E_m = 21, E_p = 1, E_e = 0, E_z = 10, M_m = 44, M_p = 8$$

$$R_m = 21 + 10 - 1 = 30, \quad R_p = 21 + 1 - 1 - 0 = 21, \quad R_s = 7$$

$$R = 30 + 21 + 7 = 58$$

نلاحظ أن العدد الكلي لمعادلات النموذج الرياضي 58 معادلة موزعة على الشكل التالي:

$$(10) \quad \Sigma m_i - \Sigma m_o = 0 \quad \text{30 معادلة موازنة كتلية من الشكل:}$$

$$20 \quad \text{معادلة موازنة طاقة من الشكل:}$$

$$(11) \quad \Sigma m_i \times h_i - \Sigma m_o \times h_o + \Sigma Q_i - \Sigma Q_o = 0 \quad 21$$

$$(12) \quad Q_5 - Q_{58} - Q_{57} = 0 \quad \text{1 معادلة موازنة طاقة واحدة من الشكل:}$$

7 معادلات مختلفة تتعلق بمؤشرات النظام الحراري (مع إهمال تغير الحجم النوعي لجسم التشغيل بعد المضخات) هي:

$$(13) \quad Q_{51} \times (1 - \eta_b) - Q_{52} = 0 \quad \text{- معادلة الضياعات في المرجل:}$$

$$(14) \quad Q_5 \times (1 - \alpha) - Q_{57} = 0 \quad \text{- معادلة الضياعات في المنوبة:}$$

$$(15) \quad m_2 - m_3 = 0 \quad \text{- معادلة موازنة الكتلة للمحصر الثانوي:}$$

- (16) - معادلة الموازنة الكتلية في العنصر 20 : $m_{21}-m_{22} = 0$
- (17) - معادلة الاستطاعة الميكانيكية: $Q_5 = 214000$
- (18) - معادلة الموازنة الكتلية في العنصر 9: $m_{43}-m_{38} = 0$
- معادلة الانتالبي للاستنزاف الأخير في عنفة الضغط المنخفض :
- (19) $m_{31} \times h_{31} = (m_{31} + m_6) \times h^* - m_6 \times h^{**}$

حيث : η_b مردود المرجل.

قيمنا الانتالبي في نهاية التمدد في الاستنزاف عند ضغط ثابت . h^* , h^{**}

إن المعادلات اللاخطية هي التي تحوي الجداءات التالية :

$$m_{55} \times h_{55}, m_{37} \times h_{37}, m_{32} \times h_{32}, m_{19} \times h_{19}, m_{11} \times h_{11}, m_9 \times h_9$$

حيث تم حذف اللاخطية من الجداءات ($m_9 \times h_9, m_{11} \times h_{11}, m_{19} \times h_{19}, m_{32} \times h_{32}$) بإضافة جريان

طاقة وهي F_j يحقق العلاقة:

(حيث $h_j^* = 0$ و $F_{46}, F_{49}, F_{50} = F_j$)، في حين حذفت من

الجداءات ($m_{37} \times h_{37}, m_{55} \times h_{55}$) بإضافة منبع طاقة وهي F_{47} إلى العنصر 12 .

لقد كتبت مصفوفة الإدخال إلى الحاسوب بالشكل التالي:

$$A \times X = B$$

حيث: A مصفوفة أبعادها $(n \times m)$

X شعاع المتغيرات (التدفق الكتلي والطاقي في الجريانات) في النموذج الرياضي.

B شعاع أمثال المتغيرات .

في الحالة العامة يجب الحصول على المصفوفة الموسعة A ذات الأبعاد $(n \times n)$ والشعاع B ذي البعد n

، وفي هذا المثال تم الحصول على المصفوفة الوحيدة A ذات الأبعاد $(n \times m)$ ، حيث $m = n + 1$ ،

والعمود الأخير يمثل أمثال المتغيرات، وبناءً على ذلك نجد أن أكثر عناصر المصفوفة A يساوي الصفر، ومن ثمَّ يمكن فقط إدخال قيم العناصر التي لا تساوي الصفر، حسب الفرضيات التالية:

1- رقم المعادلة في النموذج الرياضي يمثل رقم السطر.

2- رقم المتغير يمثل رقم العمود.

تقسم عناصر النظام الحراري إلى ثلاث مجموعات كما هو مبين أدناه لتكون بنية العناصر مقروءة بشكل واضح في أثناء كتابة المصفوفة A :

$$1\text{-العناصر } a(i, j) = 1$$

$$2\text{-العناصر } a(i, j) = -1$$

$$3\text{-العناصر } a(i, j) \neq 1, a(i, j) \neq -1, a(i, j) \neq 0$$

حيث: i - رقم المعادلة، j - رقم المتغير .

واعتماداً على ما سبق تم إدخال قيم الانتالبي في الجريانات كمعطيات ابتدائية إلى الحاسب حسب المخطط الصندوقي المبين في الشكل (1) .

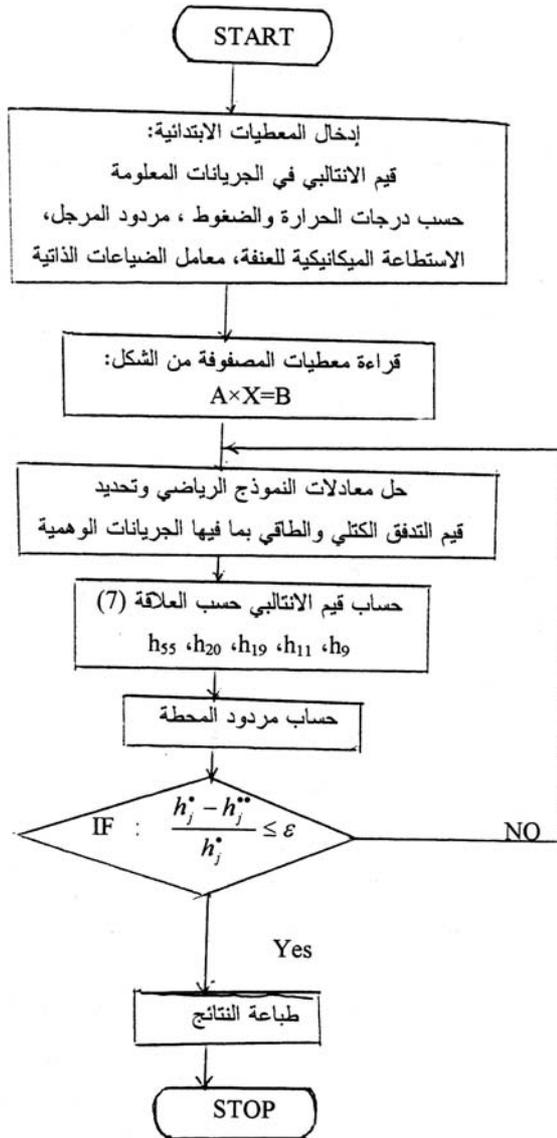
حيث: h_j^* , h_j^{**} نتائج قيم الانتالبي المحسوبة في مرحلتين متتاليتين .

الجدول (1) يبين قيم الانتالبي المعلومة حسب درجات الحرارة والضغط للجريانات الفعلية.

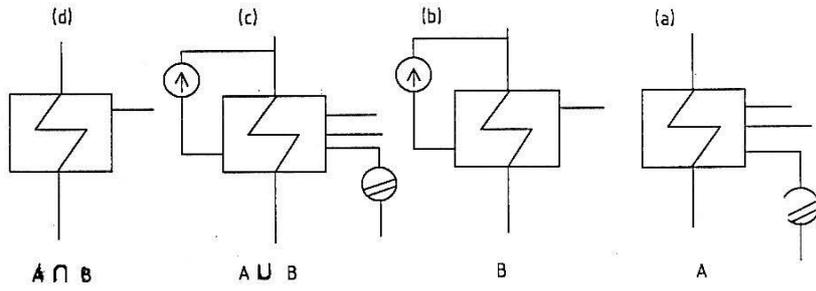
الجدول (2) يبين نتائج حساب التدفق الكتلي والطاقي للجريانات الفعلية والوهمية والانتالبي للبارامترات الترموديناميكية غير المعلومة بالإضافة إلى قيم الانتالبي المعلومة حسب درجات الحرارة والضغط.

7- الاستنتاجات : conclusions

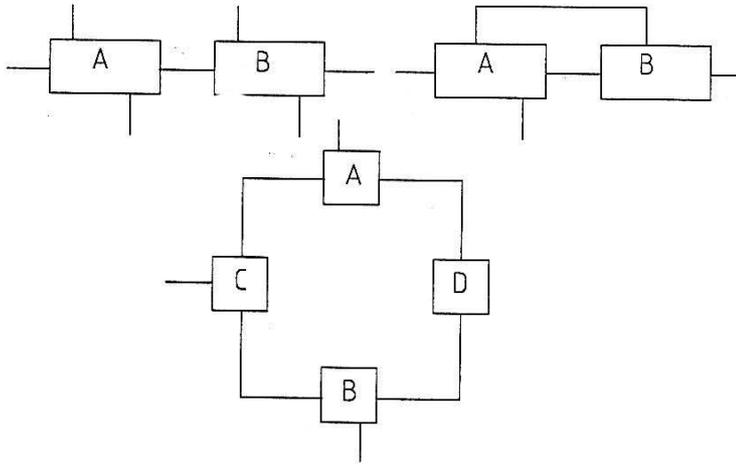
- 1- يفيد هذا البحث بإمكانية اختصار الزمن اللازم لإجراء الحسابات الحرارية للأنظمة الحرارية المعقدة والتي تحوي على عدد كبير من العناصر، وذلك من خلال وضع نموذج رياضي لكامل البنية كوحدة متكاملة .
- 2- يفيد هذا البحث في إجراء الموازنة الحرارية لعناصر المحطة وتقييم أدائها مقارنة مع الشروط التصميمية.
- 3- تبين نتائج الحسابات التي تم الحصول عليها الخاصة بمحطة تشرين أنها قريبة من البارامترات التي تعمل عندها المحطة.
- 4- يمكن تطوير الدراسة الحالية ومن ثمّ البرنامج الحاسوبي بحيث تعطي نتائج أكثر شمولية لتحليل تأثير مختلف المتغيرات في أداء المحطة وإمكانية التحكم بعملها.



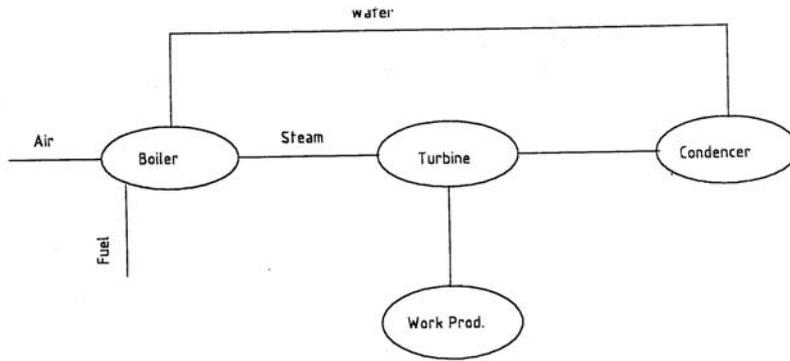
الشكل (1) المخطط الصندوقي للنموذج الرياضي



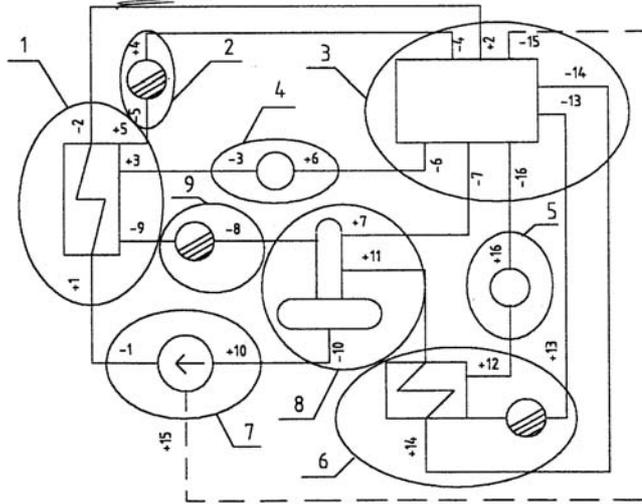
الشكل (2) تطبيق المجموعات الرياضية على العناصر الحرارية



الشكل (3) طرق التوصيل بين عناصر الموازنة



الشكل (4a) التمثيل الكامل للنظام الحراري

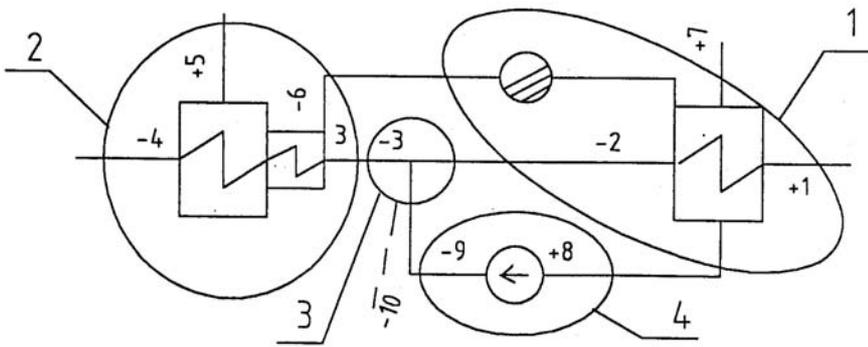


1- steam generator, 2,9 - elutriator, 3- ambient,
 4,5 - empty elements, 6 - heat exchanger, 7 - pump, 8 - gas separator
 الشكل (4b) المخطط الحراري لبنية النظام الحراري

	1	2	3	4	5	6	7	8	9		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
M=	1	1	1	1	0	0	1	0	1	Q=	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	1	1	1	0	0	0	0	0		2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	1	1	1	1	1	0	1	0		3	0	0	1	0	0	0	1	0	0
	4	1	0	1	1	0	0	0	0		4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	1	0	1	1	0	0		5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	1	0	1	1	0	1		6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7	1	0	0	0	0	0	1	1		7	0	0	1	0	0	0	1	0	0
	8	0	0	1	0	0	1	1	1		8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	9	1	0	0	0	0	0	0	1		9	0	0	0	0	0	0	0	0	0

الشكل (4c) الصيغة الكاملة للمصفوتين M, Q

للنظام الحراري الشكل (4a)



الشكل (5) إضافة منبع طاقي وهمي إلى النظام الحراري

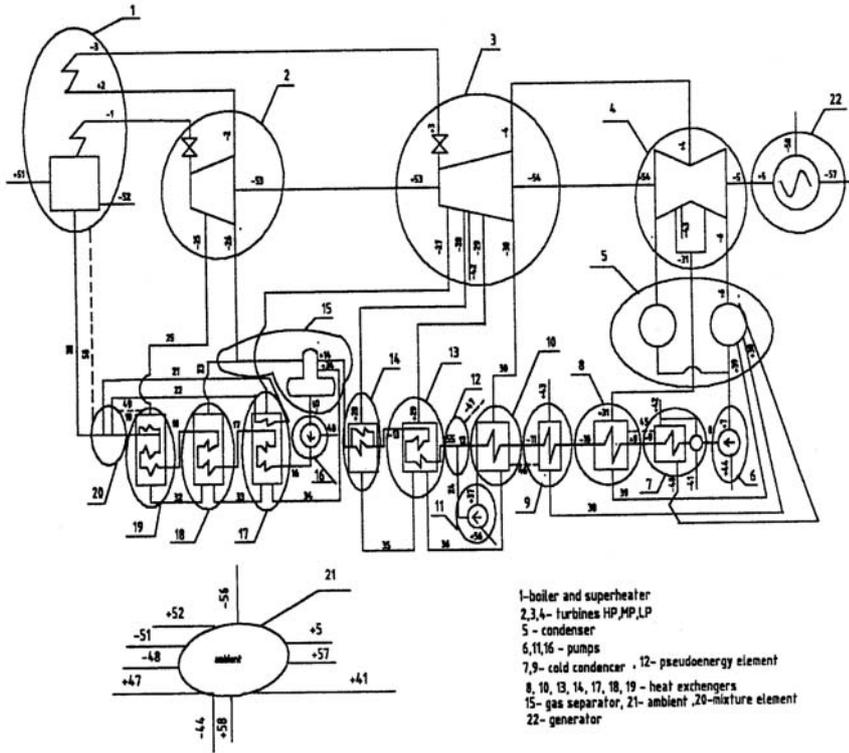


fig.16) The thermal diagram of thermal power plant (200mw)

الشكل (6) المخطط الحراري لمحطة طاقة حرارية (200MW)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
3	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
4	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Q=

13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

الشكل (7) الصيغة الكاملة للمصفوفتين (Q, M)

للمحطة الحرارية (200 MW)

الجدول (1) يبين قيم الانتالبي المعطومة حسب درجات الحرارة والضغط للجريانات الفعلية في محطة تشرين 200 MW.

Flow No.	KJ/ kg h Enthalpy	Flow (mass,energy) M,Q [kg/s]. [kW]	Flow No.	KJ/ kg H Enthalpy	Flow (mass,energy) y) M,Q [kg/s]. [kW]
1	3404.8		30	2823.6	
2	3085.26		31	2630	
3	3642.1		32	1017.8	

4	2933.5		33	816.4	
5	جريان طاقى	214000	34	749.4	
6	2524.64		35	662.8	
7	227.76		36	470	
8	233.1		37	438.8	
9			38	318.2	
10	315.3		39	297.3	
11			40	411	
12	356.6		41	247	
13	464.82		42	3380.4	
14	695.22		43	3314.7	
15	722.77		44	جريان طاقى	
16	749.39		45	جريان طاقى وهمى (F ₄₅)	
17	948.35		46	جريان طاقى وهمى (F ₄₆)	
18	1158.67		47	جريان طاقى وهمى (F ₄₇)	
19			48	جريان طاقى	
20			49	جريان طاقى وهمى (F ₄₉)	
21	1068.4		50	جريان طاقى وهمى (F ₅₀)	
22	1172		51	جريان طاقى	
23	802.6		52	جريان طاقى	
24	443.95		53	جريان طاقى	
25	3175.27		54	جريان طاقى	
26	3085.25		55		
27	3360.32		56	جريان طاقى	
28	3177.78		57	جريان طاقى	
29	2976.8		58	جريان طاقى	

الجدول (2) يبين نتائج حساب التدفق الكتلي والطاقي للجريانات الفعلية والوهمية والإنتالبي للبارامترات الترموديناميكية غير المعلومة.

Flow No.	KJ/ kg h Enthalpy	Flow (mass,energy) M,Q [kg/s]. [kW]	Flow No.	KJ/ kg H Enthalpy	Flow (mass,energy) M,Q [kg/s]. [kW]
1		182.5	30		6.64
2		154.55	31		2.53
3		154.55	32		8.11
4		122.86	33		23
5	جريان طاقي	214000	34		27.8
6		120.53	35		8.6
7		128.8	36		13.9
8		128.8	37		20.4
9	271.2	128.8	38		5.8
10		128.8	39		2.5
11	333.1	128.8	40		0.4
12		128.8	41		0.56
13		154.57	42		0.92
14		154.57	43		5.8
15		182.58	44	جريان طاقي	750
16		182.58	45	جريان طاقي وهمي	36380.4
17		182.5	46	جريان طاقي وهمي	44695.3
18		182.5	47	جريان طاقي وهمي	56901.58
19	1240.66	182.5	48	جريان طاقي	4857.6
20		182.5	49	جريان طاقي وهمي	226420.01
21		16.81	50	جريان طاقي وهمي	224678.46
22		16.81	51	جريان طاقي	587865.86
23		14.9	52	جريان طاقي	47029.26
24		20.4	53	جريان طاقي	55869.67
25		8.11	54	جريان طاقي	161374.25
26		20.4	55	368.21	154.57
27		4.69	56	جريان طاقي	105
28		8.6	57	جريان طاقي	199020
29		5.3	58	جريان طاقي	14980

$$\text{Thermal efficiency: } \eta_b = \frac{Q_{57}}{B \cdot Q_b} = \frac{Q_{57}}{Q_{51}} = 0.34$$

8- References المراجع

- 1- J. Portacha - Optymalizacja struktury układu cieplnego silowni parowych , Archwium Energetyki , Nr 2/1972 .
- 2- J. Portacha - Macierzowy zapis układu ruruciagow , Archiwum Energetyki Nr 1, 1974.
- 3- J. Portacha , A. Smyk , I. Mrad - The possibilities increasing peak power of a power plant unit through energy storage in a regenerative system. PD-vol. 64-3 Engineering System Design and analysis, Volume 3, ASME 1994.
- 4- M. De Marco, M. F. Falchetta, R. Melli, B. Paoletti, E. Sciubba: “COLOMBO: an expert system for the process design of thermal power plants” ,in ASME- AES-H00874, 1993.
- 5- M. Moran, E. Sciubba: “Exergy analysis: principles and practice” ,jn1. En. Res. & Tech., 1993.
- 6- M. Rettaroli, E. Sciubba: A code for the symbolic calculation of thermal plants, in ASME v. 3- 1994.
- 7- Poradnik inżyniera Matymatyka 2 - WNT Warszawa 1987.
- 8- S.C. Arora , S. Domikundwar - A course in power plant engineering, Delhi 1994.
- 9- Z. Bubnicki -Model matematyczne & identyfikacja procesow , Archiwum Automatyki & Telemekhaniki Nr 2/1973 .