

الإكسبيرجيا كأداة لتقييم أداء منظومات الطاقة

د. جمعة امحمد الفلاح *

مقدمة :

لم يكن الحرص على الاستخدام الأمثل لمصادر الطاقة هو العامل الأهم عند اقتنائنا لأي منظومة من منظومات الطاقة، بل اتحصرت الأهمية في اتجاه التقليل من التكلفة الأولية والتشغيلية للمنظومة. إلا أن النقص في مصادر الطاقة وارتفاع أسعارها نسبيا وعدم الاستقرار في المناطق التي تتواجد فيها هذه الثروات جعل من عامل الحرص على الاستخدام الأمثل لهذه الموارد من العوامل المهمة إن لم يكن الأهم عند اقتنائنا وتشغيلنا لهذه المنظومات.



شكل (2) محطة توليد كهرباء نووية

يهدف التحليل الديناميكي الحراري عند تصميمنا لمنظومات جديدة إلى الوصول بهذه المنظومات إلى درجة من الكفاءة تسهم بشكل واضح في التقليل من تحطيم موارد الطاقة الطبيعية لدينا، أما في المنظومات القديمة العاملة، فإن هذا التحليل يعمل على الكشف عن مواضع الفقد فيها

ومن هذه المنظومات محطات توليد الطاقة الكهربائية، مثل المحطات التقليدية التي تستعمل الوقود الأحفوري، والمحطات النووية، وتلك التي تستعمل طاقة الرياح، أو تستخدم الطاقة الجوفية (أنظر الأشكال رقم 1، و2، و3، و4).



شكل (1) محطة توليد كهرباء تقليدية



شكل (4) استغلال الطاقة الجوفية في تشغيل محطات القوى



شكل (3) استغلال طاقة الرياح في توليد الكهرباء

العملية الانعكاسية، والشغل الانعكاسي، والإكسيرجيا

تُعرف العملية الانعكاسية بتلك العملية التي يتم إجراؤها دون حدوث اضمحلال في جودة الطاقة، ولا شك في أنها عملية مثالية وليس لها تطبيق عملي. ويُعرف الشغل الانعكاسي بذلك الشغل الذي يمكن الحصول عليه أو بذله أثناء العملية الانعكاسية. أما الإكسيرجيا فإنها تُعرف بأقصى شغل انعكاسي يمكن الحصول عليه عند نقل حالة معينة من وضع الانحراف مع المحيط الجوي إلى حالة أتران كامل معه.

تكمن أهمية استخدام تحليل الإكسيرجيا في دمجها للقانونين معا، وفي مقدرتها على تعيين مقدار الفقد في جودة الطاقة في كل عنصر من عناصر المنظومة العاملة.

أداء محطة القدرة في مصفاة الزاوية من منظور الإكسيرجيا

تم اختيار محطة القدرة في مصفاة الزاوية للنفط كوسيلة لبيان قدرة تحليل الإكسيرجيا على تقييم منظومات القدرة لدينا. وتعمل محطة القدرة هذه بالإضافة إلى توليد الطاقة

وتقيّمه بغرض التقليل منه، إما بالتحويل أو بالاستبدال أو بالصيانة.

ينص القانون الأول للديناميكا الحرارية على أن الطاقة محفوظة من ناحية المقدار، وقد تتحول من صورة إلى أخرى دون أن يضع قيود على عملية التحوّل هذه، إلا أن القانون الثاني يضع قيودا على هذا التحوّل، حيث ينص هذا القانون على أن للطاقة جودة أيضا، وأن عملية التحوّل يصاحبها هبوط أو اضمحلال في هذه الجودة، وإذا اعتبرنا أن كلمة جودة الطاقة مرادفا للمقدرة على بدل شغل مفيد، فهذا يعني أنه باستمرار العمليات الطبيعية والاصطناعية قد نصل إلى اللحظة التي نصبح فيها عاجزين على الحصول على أي شغل مفيد، وهي اللحظة التي تصل فيها مواردنا الطبيعية إلى أدنى مستوى لها من الجودة رغم ثبوت مقدارها. بذلك نقول عند حدوث أي عملية طبيعية كانت أو اصطناعية فإنه:

- يبقى مقدار الطاقة ثابتا "القانون الأول للديناميكا الحرارية"
- جودة الطاقة أو الإكسيرجيا تضمحل إلى الأبد "القانون الثاني للديناميكا الحرارية"

المصفاة. بينما يعرض الجدول رقم (1) الخواص والإكسبرجيا عند كل موضع (حالة) في المحطة.

القانون الأول والقانون الثاني للديناميكا الحرارية

القانون الأول:

ينص القانون الأول للديناميكا الحرارية على أن الطاقة لا تفنى ولا تستحدث بل يمكن تحويلها من صورة إلى أخرى، والصيغة الرياضية لهذا القانون والتي تُعرف بمعادلة الطاقة يمكن كتابتها للحالة المستقرة والتدفق المستقر كالآتي:

معدل دخول الطاقة = معدل خروج الطاقة

أو

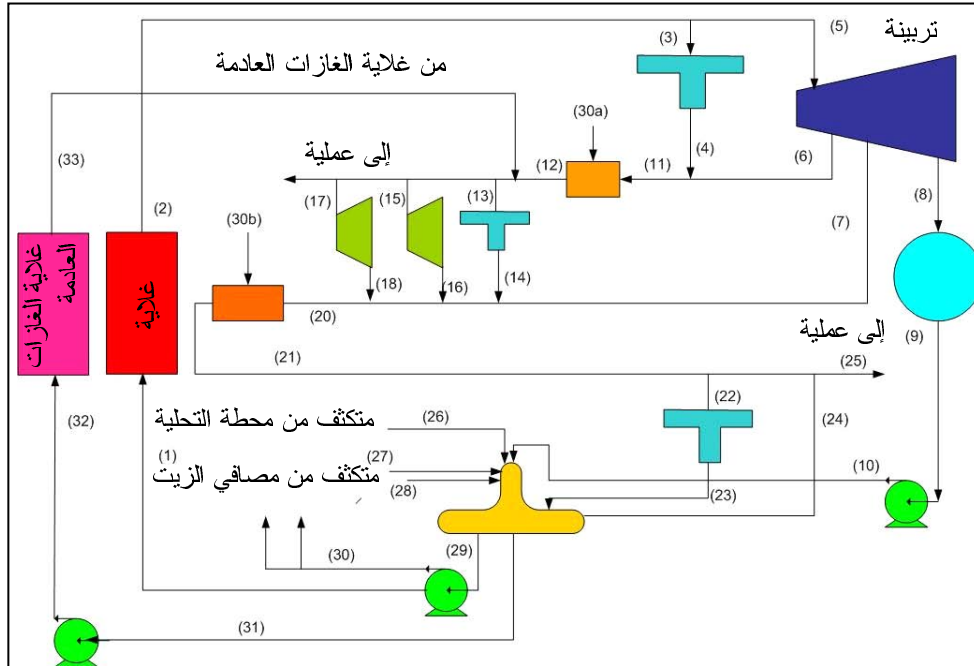
معدل خالق الطاقة = صفرا

$$\dot{Q}_{e,v} + \sum \dot{m}_i \left(h_i + \frac{v_i^2}{2} + gz_i \right) = \sum \dot{m}_e \left(h_e + \frac{v_e^2}{2} + gz_e \right) + W'_{e,v}$$

الكهربائية على توفير الماء الساخن بضغط ودرجة حرارة مناسبة لكي يستخدم في بعض الأعمال الصناعية والخدمية في المصفاة. وتضم المحطة العديد من العناصر من أهمها الآتي:-

- 1- ثلاث ترينينات.
- 2- أربعة مولدات بخار.
- 3- غلاية الغازات العادمة.
- 4- ثلاثة مكثفات.
- 5- مضخات لضخ المياه والزيوت.
- 6- محطات تخفيض الضغط.
- 7- محطات تخفيض درجة الحرارة.
- 8- أنابيب التوصيل.

يوضح الشكل (5) رسم تخطيطي مبسط لمحطة القدرة في



الشكل رقم (5) رسم تخطيطي لمحطة القدرة في المصفاة

الجدول رقم (1) الخواص والإسبيرجيا عند كل موضع

حيث:

\dot{Q}_{cv} معدل دخول الطاقة الحرارية،

\dot{W}_{cv} معدل خروج الطاقة الميكانيكية

من المنظومة

\dot{m} معدل تدفق الكتلة

h الإنثالبي

$\frac{v^2}{2}$

طاقة الحركة

gz طاقة الوضع

أما الحرف السفلي "i" فيعني دخول

(inlet)، والحرف السفلي "e" يعني خروج

(exit).

القانون الثاني:

يمكن تلخيص القانون الثاني للديناميكا

الحرارية عند التعامل مع الدوائر

الترموديناميكية في منطوق بلانك وكلفن

عند تناول دوائر القدرة، وفي منطوق

كلاوسسيوس عند تناول دوائر التبريد كالاتي:

منطوق بلانك وكلفن: " من المستحيل تحويل كل الطاقة

الحرارية إلى طاقة ميكانيكية في دورة قدرة"، وذلك يعني

استحالة وجود آلة حرارية تشتغل في دورة تكون كفاءتها

100%.

منطوق كلاوسسيوس: "من المستحيل نقل الطاقة الحرارية

الحالة	الكتلة t/hr	درجة الحرارة °C	الضغط bar	الإنثالبي kJ/kg	الإنتروبي kJ/kg.K	السرعة m/s	إسبيرجيا kJ/kg
1	63	30	57.88	550	629	.40	68.95
2	63	400	45.3	3204	6703	32.90	2 0.68
3	23	395	43.6	3 96	6.7 0	42	200.94
4	23	360	.77	3 75	7.255	39	0 7.32
5	40	395	43.6	3 96	6.7 0	33.20	200.60
6		280	2.26	300	6.943	27.60	935.97
7	5	80	3.92	28 9	7.089	40.60	7 0.88
8	4	45	0.096	2344	7.4 2	40	39.55
9	4	45	0.096	88.42	0.639	0.45	2.66
0	4	52	4.4	2 8	0.729	.60	5.20
	34	334	.77	3 9.87	7.66	-	987.97
2	35.5	235	.77	2902	6.773	37.50	887.97
3	4	235	.77	2902	6.773	42	888. 5
4	4	2 5	3.92	2892	7.246	34	736.82
5		235	.77	2902	6.773	9.5	887.46
6		78.8	3.92	28 6	7.083	26.60	709.20
7	0	235	.77	2902	6.773	8.20	887.46
8	0	98	3.92	2857	7. 7	25	723.60
9	8.5	235	.77	2902	6.773	8	887.43
20	50	223	3.92	2902	7.279	44.50	744.40
2	5 5	70	3.92	2797	7.04	40	703. 7
22	4.5	70	3.92	2797	7.04	3 70	702.87
23	4.5	60	.72	279	7.04	37.20	589.72
24	5	70	3.92	2797	7.04	20.30	702.57
25	42	70	3.92	2797	7.04	9	702.55
26	2	00	4.4	4 9.30	.365	.80	6.97
27	9.5	60	4.4	25 50	0.83	.80	8.44
28	20	90	5.40	377	. 92	2	26.22
29	66	30	9.5	545.90	.629	.30	64.82
30a	.5	30	26.09	547.70	.632	.90	65.64
30b	.5	30	26.09	547.70	.632	.90	65.64
3	8	30	9.50	545.90	.629	.30	64.82
32	8	30	24.53	547.80	.632	.90	65.80
33	8	235	.77	2902	6.773	20	887.47

$$\dot{Q}_{cv} + \sum \dot{m}_i \left(h_i + \frac{v_i^2}{2} + gz_i \right)$$

يمثل التعبير:

معدل دخول الطاقة إلى المنظومة الترموديناميكية (الحجم

التحكمي)، ويمثل التعبير $\sum \dot{m}_e \left(h_e + \frac{v_e^2}{2} + gz_e \right)$ معدل

خروجها من المنظومة الترموديناميكية (الحجم التحكمي).

في انتروبي الكون. وندرك بذلك أيضا أن النقص في انتروبي الكون يعني ارتفاعاً في جودة الطاقة وهو مخالف لقوانين الطبيعة إذ أن الكون كانت له القيمة العظمى من الإكسرجيا والقيمة الدنيا من الانتروبي عندما كان سحابة من دخان اتبعها عقب الانفجار العظيم اضمحلال مستمر في الإكسرجيا وارتفاع مستمر في الانتروبي.

أما جودة الطاقة نفسها فيمكن التعبير عنها بالإكسرجيا كالتالي:

$$\psi = (h - h_0) - T_0(s - s_0) + \frac{v^2}{2} \quad (\text{kJ/kg})$$

أما التغير في الإكسرجيا فيمكن التعبير عنه كالتالي:

$$\Delta\psi = \psi_2 - \psi_1 = (h_2 - h_1) - T_0(s_2 - s_1) + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2}$$

وباستخدام القانون الأول نحصل على:

$$\Delta\psi = T_0 \left[\left(\frac{q_{cv}}{T_0} - \frac{w_{cv}}{T_0} \right) - (s_2 - s_1) \right]$$

ومن ذلك نجد أن:

$$\Delta\psi = -T_0 \left[(s_2 - s_1) - \frac{q_{cv}}{T_0} \right] - w_{cv}$$

وهذا يعني أن:

$$\Delta\psi = -T_0 \left[\Delta s_{system} + \Delta s_{surroundings} \right] - w_{cv}$$

بهذا نحصل على:

$$\Delta\psi = -I - w_{cv}$$

$$I = (\psi_1 - \psi_2) - w_{cv}$$

تلقائيا في دورة تبريد (أو تسخين، وتسمى في هذه الحالة مضخة حرارية) من وسط بارد إلى آخر أكثر سخونة"، وذلك يعني استحالة وجود آلة تبريد (أو تسخين) يكون معامل أداؤها لا نهائي.

وعند التعامل مع العمليات يمكن تلخيص القانون الثاني للديناميكا الحرارية كالتالي:

"لضمان حدوث أو إجراء أي عملية فإن المجموع الجبري للتغير في انتروبي المنظومة الترموديناميكية ومحيطها يجب أن يكون أكبر من أو يساوي الصفر"، أي أن:

$$\Delta S_{total} = \Delta S_{system} + \Delta S_{surroundings} \geq 0$$

وهذا يعني استحالة حدوث أي عملية يكون فيها التغير الكلي في الانتروبي أصغر من الصفر.

وتنص نظرية "جوي-ستدولا" على تناسب الإضمحلال في جودة الطاقة أو الإكسرجيا مع الزيادة في الإنتروبي الكلية (انتروبي الكون) وفق الآتي:

$$I = T_0 \Delta S_{total}$$

حيث I تمثل الاضمحلال في جودة الطاقة أو اللانعكاسية، و T_0 درجة حرارة المحيط. ومن ذلك نجد أن:

$$I \geq 0$$

والانتروبي من الخواص الديناميكية الحرارية التي قد يصحبها بعض الغموض عند محاولة فهمها وتقديمها، فمن منظور الديناميكا الحرارية التقليدية تم تقديم الانتروبي كمرآة تعكس الاضمحلال في جودة الطاقة (الإكسرجيا)، حيث يصاحب الاضمحلال أو الهبوط في مستوى أو جودة الطاقة زيادة في انتروبي الكون (الانتروبي الكلية)، وبما أن جميع العمليات الطبيعية والاصطناعية يصاحبها هبوط في جودة الطاقة ندرك بذلك أن جميع العمليات تكون مقرونة بزيادة

$$I = \psi_1 - (\psi_2 + w_{cv})$$

الجدول رقم (2) الفقد في عناصر المحطة

العنصر	القاتون الأول (.)	القاتون الثاني (kJ/s)
تربينة	0	1497.0443
مكتف	8385.9218	532.3527
غلاية	3780.4261	30254.654
غلاية الغازات العالمة	411.684	2498.755
مضخة ماء (1)	0	105.164
مضخة ماء (2)	0	0.299
مضخة ماء (3)	0	4.6213
تربينة مضخة ماء التغذية	0	282.4145
تربينة مراوح السحب القسري	0	329.6213
محطة تخفيض (1)	134.9429	1173.0843
محطة تخفيض (2)	40.0711	588.5017
محطة تخفيض (3)	7.2632	141.4306
محطة تخفيض التخميص (1)	620.6553	307.0094
نزع الغازات	1387.4018	510.9318
محطة تخفيض التخميص (2)	1069.7699	601.7488
وصلة خلط (1)	0	5.3
وصلة خلط (2)	0	14.494
وصلة خلط (3)	0	6.543
وصلة خلط (4)	0	3.645
وصلة خلط (5)	0	19.877
الفقد الكلي	15838.1361	38877.4917

وهذا يعني أن الاضمحلال في جودة الطاقة يساوي الفرق بين الإكسرجيا الداخلة والخارجة، أو:

$$I = (exergy)_{in} - (exergy)_{out}$$

عرض ومناقشة النتائج

تم تطبيق القانونين الأول والثاني على محطة القدرة في المصفاة وتدوين النتائج في الجدول رقم (2) وهي توضح الفقد في الطاقة في كل عنصر من عناصر المحطة من منظور كل قانون.

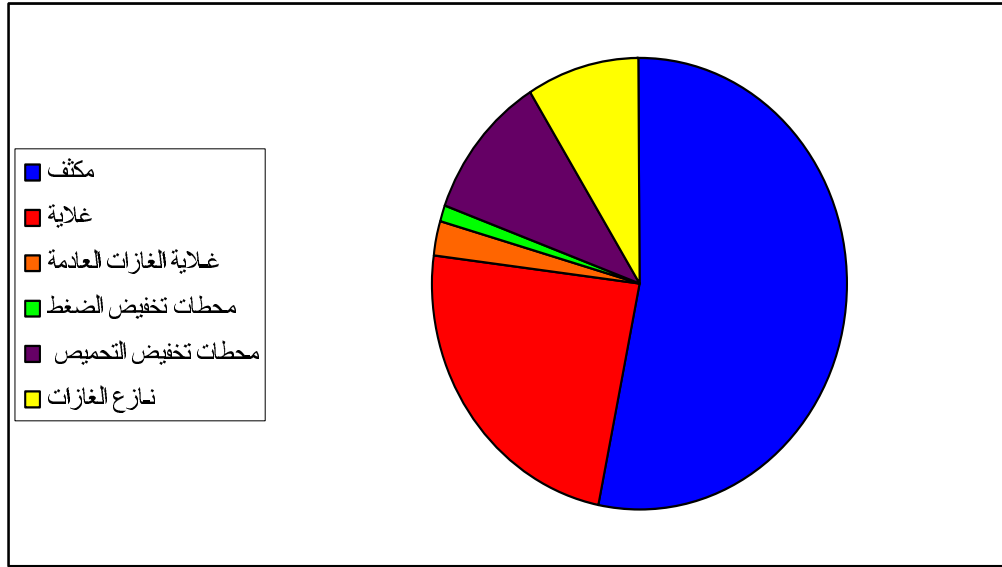
يوضح الشكل رقم (6) النسبة المئوية لمساهمة كل عنصر من عناصر المنظومة في الفقد الكلي من منظور القانون الأول للديناميكا الحرارية، ومن هذا الشكل نرى أن المكتف (اللون الأزرق) يُسهم بنسبة 53% من الفقد الكلي، أما الغلاية (اللون الأحمر) فتسهم بنسبة 24%، وتسهم باقي مكونات المحطة بنسبة 23% فقط، مع ملاحظة أننا أهملنا مساهمات التربينات والمضخات ووصلات الخلط في الفقد الكلي لصغرهما.

6.4%، أما بقية مكونات المحطة فبلغت نسبة مساهمتها 8.8%.

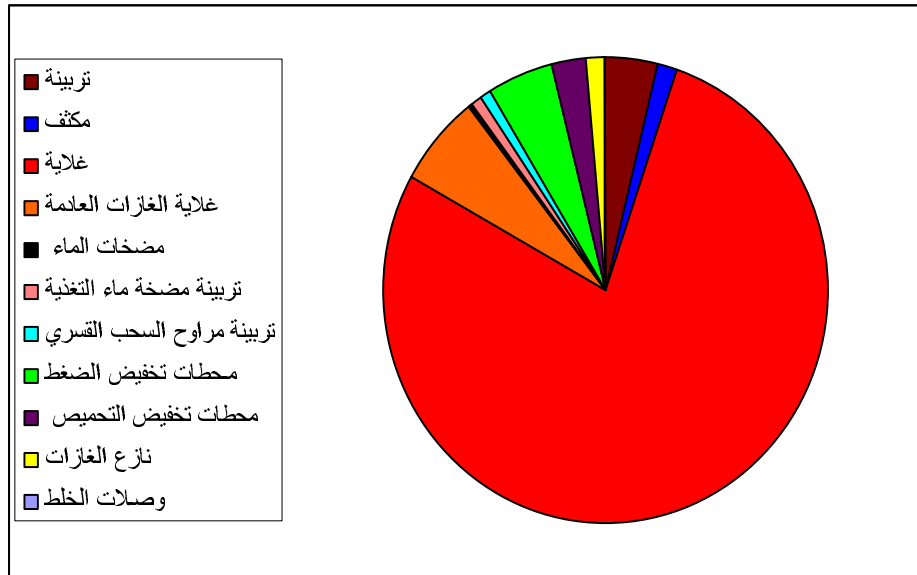
ويتقسم الفقد في الغلاية من منظور القانون الثاني إلى أربعة أجزاء رئيسية، تتمثل في الفقد في الإكسرجيا نتيجة للفقد في الطاقة الحرارية في غرفة الاحتراق (حيث يصل حسب بعض المصادر إلى 12% من مجموع الفقد في الغلاية)، وفقد في الإكسرجيا نتيجة لعملية التحويل من الطاقة

يوضح الشكل رقم (7) مساهمة كل عنصر من عناصر المنظومة في الفقد الكلي من منظور القانون الثاني، حيث نجد أن نسبة مساهمة المكتف (اللون الأزرق) في الفقد الكلي بلغت فقط 1.4%، ونسبة مساهمة الغلاية (اللون الأحمر) بلغت 78%، ونسبة مساهمة التربينات (اللون البني) 5.4%، ونسبة مساهمة غلاية الغازات العالمة (اللون البرتقالي) بلغت

تقنيات الطاقة



الشكل رقم (6) نسبة مساهمة كل عنصر في الفقد الكلي من منظور القانون الأول



شكل (7) نسبة مساهمة كل عنصر في الفقد الكلي من منظور القانون الثاني

الإكسبرجيا مع غازات العادم التي تغادر الغلاية عن طريق المدخنة.

توضح النتائج المتحصل عليها من تطبيق القانونين الأول والثاني اختلافا جليا وواضحا، وذلك نتيجة لتباين القانونين في نظرهما إلى مفهوم الطاقة.

الكيميائية إلى الطاقة الحرارية وهي تتناسب مع $\frac{T_0}{T_g}$ ، حيث T_g درجة حرارة الاحتراق الأديباتية، وفقد في الإكسبرجيا نتيجة لانتقال الحرارة من نواتج الاحتراق إلى ماء التغذية في الغلاية، أما الجزء الأخير وهو الأقل أهمية فيتمثل في فقد

المراجع

1- الطاهر الهادي سويسي، وأحمد محمد ارحومة، "تقييم أداء محطة القدرة في مصفاة الزاوية باستخدام تحليل المتاحية"، قسم الهندسة الميكانيكية والصناعية، كلية الهندسة، جامعة الفاتح (مشروع لنيل درجة البكالوريوس).

2- د. جمعة إمحمد الفلاح، "الطاقة بين الكم والكيف"، آفاق العلم والتقانة، المجلد الأول، العدد الأول، الهيئة القومية للبحث العلمي، الربيع "مارس" 2003 ف، 32-39.

3- Ahern, John E., The Exergy Method of Energy Systems Analysis, New York, John Wiley, 1980.

وكما أسلفنا، فالقانون الأول ينظر إلى الطاقة من منظور الكم، والفقء من هذا المنظور يكون كبيرا في المكثف (اللون الأزرق)، ويكون قليلا في الغلاية (اللون الأحمر).

أما القانون الثاني فينظر إلى الطاقة من منظور الكيف (الجودة).

ولا شك في أن الفقء من هذا المنظور يكون قليلا في المكثف ويكون كبيرا في الغلاية (اللون الأحمر).

الخلاصة والتوصيات

أوضحت النتائج مدى أهمية استخدام تحليل الإكسيرجيا لتقييم أداء محطة القدرة في المصفاة، وتكمن أهمية هذا التحليل في قدرته على تعيين مساهمة كل عنصر من عناصر المنظومة في الفقء الكلي، ولاشك في أن تحسين أداء هذا العنصر أو ذاك سوف يعمل على الأغلب على تحسين أداء المنظومة إجمالاً. وتكمن أهمية هذا التحليل أيضا في أنه ينظر للطاقة من منظور الكيف لا من منظور الكم، فالحفاظ على القليل ذي الجودة العالية أفضل بكثير من الحفاظ على الكثير ذي الجودة المنخفضة، وذلك يعني على سبيل المثال أن التقليل من الفقء في الطاقة ذات الجودة العالية في الغلاية وإن صغر مقداره، يكون أفضل بكثير لتحسين أداء المنظومة من التقليل من الفقء في الطاقة ذات الجودة المنخفضة في المكثف وإن كبر مقداره.

يوضح هذا التحليل أهمية استخدام تحليل الإكسيرجيا في تحليل جميع منظومات الطاقة.