مدل مالیات اکسرژی نیروگاه

محمدحسن پنجه شاهی[1]، مجید عمید پور[2]، علیرضا مرادی[3]
۱- گروه مهندسی شیمی دانشگاه تهران
۲- گروه سیستم‌های انرژی دانشگاه صنعتی خواجه نصیر
۳- گروه مهندسی انرژی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

چکیده

در مدلی که ارائه می‌شود ابتدا با تحلیل اکسرژی سیستم مقادیر مربوط به تلفات اکسرژی در نیروگاه توربین گاز مشخص می‌شود. همچنین تلفات اکسرژی مربوط به دفع دی اکسید کربن به محیط نیز محاسبه می‌گردد. سپس هزینه تمام شده برق تولیدی در نیروگاه توربین گاز محاسبه شده و نهایتاً با توجه به چند دیدگاه مالیات اکسرژی محاسبه و تعیین میگردد؛ یکی دیدگاه هزینه تمام شده به ازای تولید یک واحد انرژی الکتریکی و دیگری دیدگاه هزینه اکسرژی سوخت. به دو دلیل با افزایش راندمان اکسرژیک در شرایط مختلف کارکردی نیروگاه، مالیات اکسرژی تعلق گرفته کاهش می‌یابد و سود خالص شرایط کارکردی با راندمان اکسرژیک بالاتر نیروگاه توربین گاز نیز بیشتر از حالتی می‌گردد که در آن راندمان اکسرژیک پایین تر است. این دو دلیل عبارتند از : ۱- دخالت دادن شاخص تعریف شده (index). ۲- در اختیار قراردادن سوخت ارزان قیمت برای نیروگاه با راندمان اکسرژیک بالاتر. البته مطابق مدل تنها در قیمتهای بالای سوخت، نزدیک به قیمت‌های منطقه ای، اعمال نظام مالیات اکسرژی میسر است. نهایتاً مدل ارایه شده را در قالب یک نیروگاه توربین گازی نمونه اجرا کرده که در سه حالت کارکردی با راندمان اکسرژیک متفاوت توانهای الکتریکی متفاوتی تولید می‌کند. حالت اول که حالت پایه است و حالت دوم و سوم که به ترتیب دمای ورودی به توربین (TIT) افزایش یافته و دمای ورودی کمپرسور کاهش یافته است. با توجه به میزان کل تلفات اکسرژی محاسبه شده در هر سه حالت،همچنین محاسبه محتوای اکسرژی دی اکسید کربن تولیدی در هر سه حالت؛ با دو دیدگاه مذکور مالیات اکسرژی تعلق گرفته به هر سه حالت محاسبه می‌شود. در حالتهای دو و سه با افزایش راندمان اکسرژیک، میزان مالیات اکسرژی تعلق گرفته کمتر و میزان سود دهی بیشتر است. در صورت در نظر نگرفتن سود برای نیروگاه (بازار رقابتی) در راندمانهای اکسرژیک بالاتر مقدار هزینه چرخه عمر نیروگاه نیز کمتر از حالت پایه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: مدل، مالیات، اکسرژی ، نیروگاه، بهینه سازی ، مالیات سبز ، کربن

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]

مقدمه

در دنیای امروز که با بحران منابع (ماده، انرژی و انسان) مواجه است و دلیل آن عدم شناخت مناسب از اکولوژی و دموکراسی است؛ تخلیه منابع و آلاینده سازی محیط زیست دو روی یک سکه می‌باشند که توجه به مفهوم توسعه پایدار، جامعه بشری را بر آن می‌دارد که فکری برای این مسئله کند تا با استفاده بهینه از این منابع و جلوگیری از آلوده‌سازی محیط زیست طبیعی به توسعه‌ای پایدار و همه جانبه دست یابد.

مباحث مطروحه در قالب مالیات زیست محیطی که سالهاست در کشورهای پیشرفته انجام می‌شود، امروزه مورد تجدید نظرقرار گرفته است چراکه پاسخگوی اهداف جامعه بشری در تأمین توسعه پایدار آنچنان که باید نمی‌باشد. کاستن از درآمدهای مالیاتی مربوط به کارگران و افزودن مالیاتهای زیست محیطی در حال حاضر در دستور کار کشورهای پیشرفته قرار گرفته است؛ آنچه که تا به امروز از آن غفلت شده بود. بدین معنی که تولید و مصرف تنها مد نظر برنامه ریزان توسعه‌ای نبوده بلکه تأثیرات تولید و مصرف از جمله آسیبهای زیست محیطی و تلفات منابع هستند که بعنوان رویکردهای جدید، بیشتر موضوع دریافت مالیات بوده تا با چنین اهرمهای اقتصادی، هم محیط زیست حفظ شود، هم فن‌آوریهای نو سریعتر اشاعه یابند و هم نهایتاً اهداف توسعه پایدار تأمین گردند.

مالیات اکسرژی بعنوان یک روش اجرایی کارا در اجرایی کردن اهداف فوق از اهمیت بالایی برخوردار است؛ چرا که با استفاده از مفهوم اکسرژی علاوه بر اینکه می‌توان منابع را با مقادیر اقتصادی بیان کرد؛ میزان آلاینده‌های زیست‌محیطی و تأثیرات مخرب آنها را نیز می‌توان با مقدار محتوای اکسرژی آنها مربوط ساخته و در قالب مالیات به آن مبنای پولی و مالی داد (مانند مالیات اکسرژی کربن).

این مقاله ضمن تحلیل اکسرژی سیستم ابتدا مقادیر تلفات اکسرژی سیستم را مشخص نموده و سپس با محاسبه محتوای ا کسرژی آلاینده‌های دفعی؛ نهایتاً با توجه به هزینه اکسرژی سوخت یا هزینه تمام شده تولید محصول، مقدار مالیات اکسرژی کل محاسبه می‌گردد. سپس در قالب یک مطالعه موردی مدل در مورد نیروگاه توربین گازی نمونه با محاسبه مالیات اکسرژی کل (مالیات اکسرژی تلفات و مالیات اکسرژی کربن) نشان داده شده که چگونه با افزایش راندمان اکسرژیک نیروگاه میزان مالیات اکسرژی تعلق گرفته کمتر شده و سوددهی نیروگاه در این شرایط بیشتر می‌شود.

تعریف یک شاخص : شدت تلفات اکسرژی (SEL. Index[1])

از آنجاییکه هدف ما از اعمال مالیات اکسرژی سوق دادن سیستم‌های تبدیل انرژی به سمت افزایش راندمان اکسرژیک با بکارگیری تجهیزات راندمان بالاتر است بکار گرفتن این شاخص می‌تواند ما را در تأمین این هدف یاری کند چرا که نسبت افزایش تولید محصول (توان الکتریکی) با افزایش کل تلفات اکسرژی در نیروگاه به صورت خطی افزایش پیدا نمی‌کند بدین معنی که با افزایش تلفات اکسرژی به مقدار کم، می‌توان به مقدار بیشتری محصول (توان الکتریکی) دست یافت.

INDEX= System Total Exergy Loss/Net Electric Power Generation = Specific Exergy Loss (SEL) (۱)

- در صورتی که Index بزرگتر یا مساوی یک باشد مقدار آن را یک در نظر می‌گیریم.

1- Specific Exergy Loss Index

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]

محاسبه میزا ن ELT : مالیات تلفات اکسرژی($/year)

این نوع مالیات بواسطه اتلاف منابع ماده و انرژی با هدف ارتقا، سیستم‌های موجود به جهت هر چه کم کردن این تلفات اعمال می‌گردد.[۱]

$$INDEX * T.E.L(Mw) * 1000(Kw/Mw) * 8000(h) * \$/Kwh \qquad (۲)$$

- کارکرد سالیانه نیروگاه معادل ۸۰۰۰ ساعت در نظر گرفته شده است.
- TEL : میزان کل اکسرژی اتلافی سیستم است که می‌توانست به توان الکتریکی تبدیل شود.

محاسبه میزا ن CET : مالیات اکسرژی کربن($/year)

این نوع مالیات به لحاظ آلاینده سازی محیط زیست اعمال می‌شود که مربوط بـه انتـشار کـربن و گـرم شدن کره زمین اعمال می‌گردد.[4]

(۳)

$$INDEX * \{[(CO2(Kg/Year) * 1000)/44.0095(Kg/Kmol)] * 19.87(Kj/mol) * 10^{-6}\} * 277.7 * \$/Kwh$$

نهایتاً جمع دو مقدار ELT ,CET مقدار کل مالیات اکسرژی را در نیروگاه نشان می‌دهد :

$$(\$/year)\ ELT + CET = TET \qquad (٤)$$

در نظر گرفتن مقدار برای $/ Kwh :

سناریوی اول) هزینه کل به ازای تولید یک کیلو وات ساعت انرژی الکتریکی کـه بـا توجـه بـه مطالعـه اکزرژواکونومیک نیروگاه در شرایط کارکردی آن قابل محاسبه با فرمول زیر می‌باشد. این روش که بنـام روش **Moran** در سال ۱۹۸۲ ارایه شـد بـه منظـور محاسـبه هزینـه محـصول نیروگـاه شـناخته شـده است.[۱۵]

$$C_w(\$/Kwh) = \frac{C_f}{\eta_b} * \left[1 + \frac{\sum Z_k^o}{C_f B_4^{oCHE}}\right] \qquad (۵)$$

$\left[\sum Z_k^o\right]$: مجموع هزینه های سرمایه گذاری است .

- B^{oCHE} نرخ اکسرژی ورودی به همراه سوخت
- C_f هزینه واحد سوخت براساس اکسرژی می باشد.
- η_b راندمان اکسرژی برای نیروگاه به فرم (ورودی / خروجی):

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]

سناریوی دوم) هزینه سوخت مصرفی در نیروگاه به ازای تولید یک کیلو وات ساعت انرژی الکتریکی که در شرایط کارکردی نیروگاه قابل محاسبه با فرمول زیر می‌باشد: (۱۶)(بر حسب $/Kwh)

[قیمت اکسرژی سوخت ($/Kj) *کل سوخت مصرفی سالیانه در نیروگاه](Kj) (۶)
۸۰۰۰*۱۰۰۰ * توان خالص تولیدی نیروگاه (Mw)

سناریوی سوم) هزینه مستقیم اکسرژی سوخت که با توجه به قیمتهای منطقه‌ای سوخت قابل محاسبه است و برای سوخت گاز بصورت زیر محاسبه می‌شود با توجه به اینکه محتوای اکسرژی گاز طبیعی برابر با 0.82 محتوای انرژی آن است (بر حسب $/Kwh) [۱۰]

.82 / ۳۶۰۰* هزینه سوخت گاز طبیعی ($/Kj) (۷)

حال دو آیتم دیده می‌شود که بایستی برای این دو آیتم یعنی؛ مقدار کل تلفات اکسرژی در سیستم (TEL)[۲] و مقدار محتوای اکسرژی دی اکسید کربن تولید شده (CE) [۳] مالیات برقرار نماییم. بطوریکه مجموع ELT[۴] و CET[۵] میزان کل مالیات اکسرژی (TET)[۶] را مشخص می‌نماید.
$\sum Z_k^o$ نیز با توجه به روابط زیر قابل محاسبه می‌باشد که میزان هزینه‌های مربوط به هزینه‌های سالیانه سرمایه گذاری اولیه سیستم را بیان می‌کند.

$$\overset{0}{C}(\$/year) = \left[I - (SV)PWF(i,n)\right]CFR(i.n) \qquad (۸)$$

- ارزش اسقاط در پایان سال n ام برابر ۱۰٪ سرمایه گذاری اولیه I در نظر گرفته می‌شود.
- هزینه تعمیر و نگهداری در فاکتور $\phi_k = 1.06$ برای هر جزء نیروگاه در نظر گرفته شده است.
- ساعت کارکرد سالیانه نیروگاه ۸۰۰۰ ساعت

$$z_k(\$/s) = \frac{\overset{0}{\phi_k c_k}(\$/y)}{3600(s/hr)\times 8000(hr/y)} \qquad (۹)$$

در نیروگاه توربین گاز هزینه سرمایه گذاری سیستم با توجه به عملکرد سیستم تعریف می‌شود. برای کمپرسور این مقدار تابعی از نسبت فشار، جرم هوای متراکم شده و راندمان کمپرسور می‌باشد[۱۶]

2 - Total Exergy Loss
3 - Carbon Exergy
4 - Exergy Loss Tax
5 - Carbon Exergy Tax
6 - Total Exergy Tax

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]

$$I_{AC}(\$/year)=\left(\frac{75\dot{m}_a}{0.9-\eta_{AC}}\right)\left(\frac{P_0}{P_1}\right)in\left(\frac{P_0}{P_1}\right) \qquad (۱۰)$$

در محفظه احتراق این مقدار تابعی از جرم هـوای مـورد نیـاز بـرای احتـراق، نـسبت فـشار در ورود و خروج و دمای خروجی می‌باشد[۱۶]:

$$I_{cc}(\$/year)=\left(\frac{48.64\dot{m}_a}{0.995-\frac{P_0}{P_a}}\right)(1+e_xp(0.018T_0-54.4)) \qquad (۱۱)$$

در توربین این مقدار تابعی از جرم گـاز ورودی، نـسبت فـشار در ورود و خـروج، رانـدمان تـوربین و دمای ورودی به آن است[۱۶]:

$$I_{GT}(\$/year)=\left(\frac{1536\dot{m}_g^{0}}{\eta_{GT}-0.92}\right)\ln\left(\frac{p_i}{P_0}\right)(1+e_xp(0.036T_i-54.4)) \qquad (۱۲)$$

اعمال مالیات اکسرژی

نکته مهم و قابل بحث در این باره این است که محاسبه مالیات اکسرژی در نیروگاه بایـستی بـه شـکلی انجام شود که با افزایش راندمان اکسرژیک نیروگاه مقدار آن کمتـر شـود و از طرفـی نکتـه حـائز اهمیـت دیگر این است که با افزایش راندمان اکسرژیک نیروگاه که بواسطه انتخاب تجهیزات پر رانـدمان صـورت می‌گیرد و منجر به تحمیل هزینه بیشتری به سیستم می‌گردد؛ بایستی سوددهی آن نیز با افـزایش همـراه باشد.

الف) در حالتی که مالیات اکسرژی بر اساس هزینه کل محاسبه می‌شود، می‌دانیم که در هزینه کـل دو فاکتور دخالت دارد. یکی هزینه اکسرژی سوخت و دیگری هزینه سرمایه گذاری و راندمان اکسرژیک. اگر قیمت‌های داخلی حاملهای انرژی برای محاسبه مالیات و سود دهی کارخانه در نظر گرفته شود ملاحظـه می‌گردد که بواسطه پایین بودن قیمت‌های داخلی حاملهای انرژی و تأثیر کمتر قیمت اکسرژی سـوخت در هزینه کل حتی اگر قیمت سوخت را برای نیروگاه با راندمان اکسرژی بالاتر به سمت صفر ببریم بـاز هـم بواسطه هزینه سرمایه گذاری بیشتر در این حالت کارکردی نیروگاه نـه تنهـا مالیـات اکـسرژی محاسـبه شده نسبت به حالت پایه کمتر نمی‌شود، بلکـه میـزان سـوددهی نیروگـاه در ایـن حالـت کمتـر مـی‌شـود. بنابراین بالا بودن قیمت حاملهای انرژی تا سطح قیمتهای منطقـه‌ای الزامـی بـرای برقـراری نظـام مالیـات اکسرژی می‌باشد.(شکلهای ۱و۲)

قیمت مازوت : ۰,۱۵ $ / lit ارزش حرارتی مازوت : ۹۶۰۰ kcal/lit
قیمت گاز طبیعی : ۰,۰۵ $ / lit ارزش حرارتی گاز طبیعی : ۹۰۰۰ kcal/m3

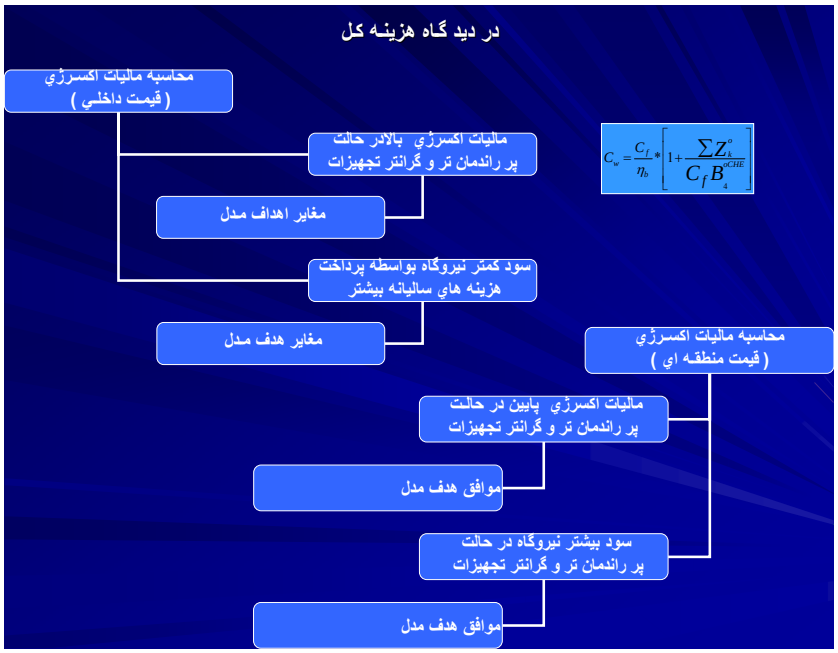
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]

قیمت برق : ۰,۰۵ $ / lit نرخ تسعیر ارز : ۹۰۰۰ Rls / $

جدول ۱ - قیمتهای منطقه‌ای انرژی و اکسرژی برخی حاملهای انرژی

	قیمت انرژی		قیمت اکسرژی	
حامل انرژی		Rls / Gj		Rls /Gj
نفت کوره **(RLS/Lit)**	۱۳۵۰	۳۳٤۸۰	۱۳۹۰	۳٤٥۱۷
گاز طبیعی**(RLS/Nm3)**	٤٥۰	۱۱۹٦۰	٥٥۰	۱٤٥۸٥
برق**(RLS/Kwh)**	٤٥۰	-	٤٥۰	-

با در نظر گرفتن قیمتهای منطقه‌ای حاملهای انرژی با کاهش قیمت سوخت، در حالات کارکرد نیروگاه که در آن راندمان اکسرژی بالاتراست، می‌توان به نقطه‌ای رسید که مالیات اکسرژی برابر یا کوچکتر از حالت پایه کارکرد نیروگاه است. چرا که به علت بالا بودن قیمت اکسرژی سوخت در حالت پایه، زمانی که قیمت سوخت در حالات با راندمان اکسرژیک بالاتر پایین می‌آید تاثیر خود را بعنوان یک آیتم مهم بر هزینه کل که مربوط به سوخت و سرمایه گذاری اولیه است می‌گذارد واز طرف دیگر بواسطه تولید توان الکتریکی بیشتر، index تعریف شده نیز در حالات باراندمان اکسرژیک بالاتر کمتر است و این مسئله نیز بر کم کردن مالیات اکسرژی در حالات پر راندمان کارکردی نیرو گاه مؤثر است. از طرفی هم



شکل ۱- مقایسه اعمال مالیات اکسرژی با قیمت‌های داخلی و منطقه‌ای انرژی
(دیدگاه هزینه کل ـ سناریوی اول)

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]

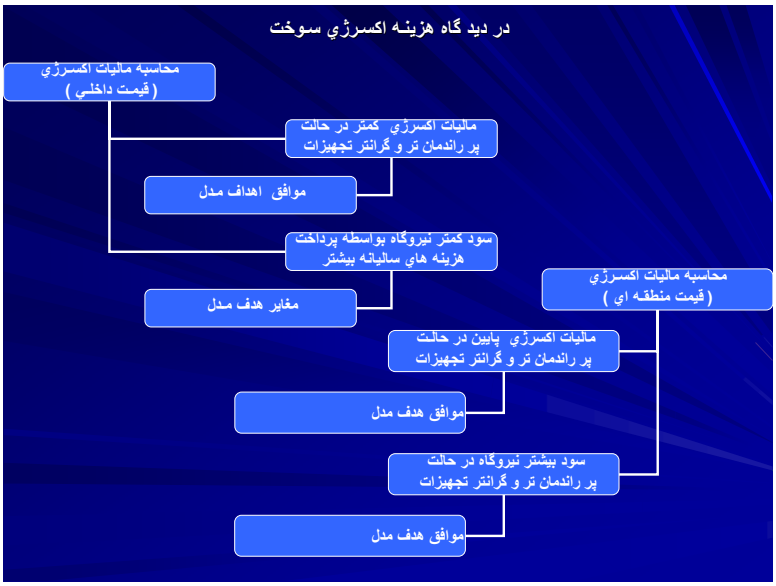
ملاحظه می‌شود که سود دهی خالص (سود پس از کسر مالیات اکسرژی) نیروگاه در حالات کارکردی با راندمان اکسرژیک بالاترنیز بیشتر از حالت پایه است. چرا که با پایین آوردن قیمت سوخت در این حالات که منجر به کاهش هزینه کل به ازای تولید یک واحد انرژی الکتریکی می‌گردد، هزینه‌های کل نیروگاه که شامل هزینه سرمایه گذاری اولیه و هزینه سوخت می‌گردد نیز کاهش می‌یابد. لذا سود در این حالات با راندمان اکسرژیک بالاتر با افزایش روبرو می‌شود. درضمن بواسطه اینکه سوخت با قیمت کمتر از قیمت منطقه‌ای در اختیار نیروگاه باراندمان اکسرژیک بالاتر قرار می‌گیرد، به این معنی است که در این حالت کارکرد، نیروگاه از مقداری یارانه سوخت برخوردار میشود که خود منجر به کاهش مالیات خالص پرداختی نیروگاه در این حالت می‌گردد.(شکلهای ۱و۲)

نکته مهمی که در اینجا قابل بحث است این است که تا چه حد قیمت سوخت در حالات کارکرد نیروگاه با راندمان اکسرژیک بالاتر پایین آورده شود؟

برای مواجهه با این موضوع بایستی قیمت سوخت برای نیروگاه با شرایط کارکردی راندمان اکسرژی بالا تا حدی پایین آورده شود که میزان سهم سود ناخالص نیروگاه از کل درآمد نیروگاه در این حالت برابر میزان سهم سود ناخالص (سود قبل از کسر مالیات اکسرژی)نیروگاه از کل در آمد آن در شرایط کارکرد پایه گردد. در اینصورت با افزایش راندمان اکسرژیک نیروگاه، میزان کل مالیات اکسرژی تعلق گرفته به نیروگاه کاهش یافته و از طرفی سود خالص استحصال شده در حالات با راندمان اکسرژیک بالاتر نیروگاه افزایش می‌یابد. در ضمن نیروگاه در شرایط کارکردی با راندمان اکسرژیک بالاتر، از مقدار یارانه سوخت بیشتری برخوردار می‌گردد. تمامی موارد فوق در جهت تامین اهداف مدل به منظور ایجاد انگیزه برای ارتقاءراندمان اکسرژیک نیروگاه می‌باشد ؛پرداخت مالیات اکسرژی کمتر، استحصال سود خالص بیشترو از طرفی برخورداری از یارانه سوخت بیشتر در حالتی که راندمان اکسرژیک نسبت به حالت پایه بالاتر رفته است.(جداول۷و۹)

ب) در حالتی که مالیات اکسرژی بر اساس هزینه اکسرژی سوخت محاسبه می‌شود. (هزینه اکسرژی کل سوخت مصرف شده در نیروگاه به ازای تولید یک واحد انرژی الکتریکی تولیدی / هزینه مستقیم اکسرژی سوخت). اگر قیمت‌های داخلی حاملهای انرژی را برای محاسبه مالیات و سود دهی کارخانه در نظر گرفته شود ملاحظه می‌گردد که بواسطه پایین بودن قیمت‌های داخلی حاملهای انرژی و تاثیر کمتر قیمت اکسرژی سوخت در هزینه کل، حتی اگر قیمت سوخت را برای نیروگاه با راندمان اکسرژی بالاتر به سمت صفر برسد باز هم بواسطه هزینه سرمایه گذاری بیشتر در این حالت کارکردی نیروگاه، هزینه کل محاسبه شده برای نیروگاه که عمدتاًتحت تاثیر سرمایه گذاری اولیه قرار گرفته بالاتر بوده در نتیجه سود دهی خالص نیروگاه در این حالت نسبت به حالت پایه کمترمی‌شود و این مغایر اهداف مدل است اگرچه در شرایط با راندمان اکسرژیک بالاتر میزان مالیات اکسرژیک تعلق گرفته به نیروگاه کمتر است ولی افزایش سود دهی نیز جزو اهداف مدل می‌باشد که بایستی تامین شود. بنابراین بالا بودن قیمت حاملهای انرژی تا سطح قیمتهای منطقه‌ای الزامی برای برقراری نظام مالیات اکسرژی می‌باشد.(شکل ۲)

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]



شکل ۲- مقایسه اعمال مالیات اکسرژی با قیمت‌های داخلی و منطقه‌ای انرژی
(دیدگاه هزینه اکسرژی سوخت ـ سناریوی دوم و سوم)

با در نظر گرفتن قیمتهای منطقه‌ای حاملهای انرژی، با کاهش قیمت سوخت، در حالات کارکرد نیروگاه که در آن راندمان اکسرژیک بالاتر است، می‌توان به نقطه‌ای رسید که سود ناخالص بزرگتر یا برابر با حالت پایه کارکرد نیروگاه گردد. چرا که به علت بالا بودن قیمت اکسرژی سوخت در حالت پایه (CASE1)، زمانی که قیمت سوخت در حالات با راندمان اکسرژیک بالاتر، پایین می‌آید تاثیر خود را بعنوان یک آیتم مهم بر هزینه کل که مربوط به سوخت و سرمایه گذاری اولیه است می‌گذارد درنتیجه با پایین آمدن هزینه کل، مقدار سود خالص در حالات پر راندمان کارکردی نیرو گاه افزایش می‌یابد. از طرفی هم ملاحظه می‌کنیم که مقدار مالیات اکسرژی تعلق گرفته به نیروگاه در حالات کارکردی با راندمان اکسرژی بالاترنیز کمتر از حالت پایه است. چرا که بواسطه تولید توان الکتریکی بیشتر در شرایط کارکرد با راندمان اکسرژیک بالاترمیزان index کوچکتر بوده و نهایتاً با عنایت به اینکه قیمت اکسرژی سوخت براساس قیمت‌های منطقه‌ای لحاظ شده، میزان کل مالیات اکسرژی در حالتهای پر راندمان تر اکسرژیک کاهش می‌یابد. درضمن بواسطه اینکه سوخت با قیمت کمتر از قیمت منطقه‌ای در اختیار نیروگاه باراندمان اکسرژیک بالاتر قرار می‌گیرد ؛ به این معنی است که در این حالت کارکرد، نیروگاه از مقداری یارانه سوخت برخوردار می‌شود که خود منجر به کاهش مالیات خالص پرداختی نیروگاه در این حالت می‌گردد.

مشخصات سیکل توربین گاز مورد مطالعه:

مدل نیروگاه : ALS GT 11N2

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]

شرکت سازنده : Power ALSTOM
ظرفیت نامی : ۱۰۵ Mw
حداقل و حداکثر دمای محیط : ^{o}C ۱۸ - ^{o}C ۳۲
متوسط دمای محیط : ^{o}C ۲۶
متوسط رطوبت نسبی : ٤٥٪
افت فشار در ورودی به کمپرسور : صفر
افت فشار در خروجی اگزاست : صفر
شبیه سازی نیروگاه : نرم افزار Thermoflow (GT Pro)
محتوای اکسرژی سوخت گاز طبیعی : 45361 Kj /kg

case 1	T1=۲٦°c و TIT =1142°c
case 2	T 1=۲٦°c و TIT =1246°c (افزایش دمای ورودی به توربین به مقدار ۹ درصد)
case3	T 1=۱۸°c (کاهش دمای محیط به میزان ۳۰ درصد بعنوان هوای ورودی به کمپرسور)

تابع C_p هوا و سوخت بصورت زیر می‌باشد: [16]

$$C_{pair} = 1.04841 - 3.84 \times 10^{-T} + 9.45 \times 10^{-7} T^2 - 5.49 \times 10^{-10} T^3 + 7.93 \times 10^{-14} T^4 \quad (۱۳)$$

$$C_{fuel} = -42.054 + 8.69117\ T^{0.25} - 0.0492\ T^{0.75} + 202.425\ T^{-0.5} \quad (۱٤)$$

تابع C_p گازهای حاصل از احتراق از رابطه زیر محاسبه شده است (با توجه به ترکیب سوخت گاز طبیعی مصرفی):

$$C_{pmix} = \sum C_{pi}\, W_i$$

W_i کسر وزنی جز، i ام است.

$$C_{pg} = 1.561656 - 22132047 T^{-3} + 300374.5027 T^{-2} - 14668.5 T^{-1.5} - 0.13688782 8 T^{0.25^2} \quad (۱۵)$$

$$+ 0.023163\ T^{0.5} - 0.00014\ T + 9.39592E\ -08\ T^{1.5} + 2.8914E\ -09\ T^2 \quad (۱٦)$$

برای محاسبه اکسرژی حرارتی، اکسرژی مکانیکی و آنتروپی از روابط زیر استفاده می‌شود:

$$B^T = \overset{0}{m} c_p \left[(T - T_0) - T_0 \ln \frac{T}{T_0} \right] \quad (۱۷)$$

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]

$$\overset{0}{B}^{T} = mRT_0 \ln\frac{P}{P_0} \qquad (۱۸)$$

$$\overset{0}{s} = \overset{0}{m} c_p \left[\ln\frac{T}{T_0} - \frac{\lambda - 1}{\lambda} \ln\frac{P}{P_0} \right] \qquad (۱۹)$$

جدول ۲ - پارامترهای ترمودینامیکی در هر یک از حالتهای کارکردی نیروگاه (نتایج شبیه سازی با GT. PRO)

		case 1	case 2	case 3
دمای محیط (درجه سانتیگراد)	T0	26	26	18
دمای ورودی به کمپرسور (درجه سانتیگراد)	T1	26	26	18
دمای خروجی کمپرسور (درجه سانتیگراد)	T2	391.4	401	386
دمای ورودی به محفظه احتراق (درجه سانتیگراد)	T2	391.4	401	386
دمای سوخت (درجه سانتیگراد)	T3	26	26	26
دمای خروجی محفظه احتراق (درجه سانتیگراد)	T4	1142	1246	1419
دمای ورود به توربین (درجه سانتیگراد)	T4	1142	1246	1419
دمای خروجی توربین (درجه سانتیگراد)	T5	532	587	527
EGT(درجه سانتیگراد)	T5	532	587	527
فشار محیط (bar)	P0	1.013	1.013	1.013
فشار ورود به کمپرسور (bar)	P1	1.013	1.013	1.013
فشار خروجی کمپرسور (bar)	P2	14.66	15.25	15.11
فشار ورودی به محفظه احتراق (bar)	P2	14.66		
فشار سوخت (bar)	P3	25.24	25.24	25.24
فشار خروجی محفظه احتراق (bar)	P4	14.22	14.79	14.66
فشار ورود به توربین (bar)	P4	14.22		
فشار خروجی توربین (bar)	P5	1.013	1.013	1.013
فشار خروجی گازهای احتراق (bar)	P5	1.013	1.013	1.013
راندمان کمپرسور	(Eff)Com	0.942	0.937	0.931
راندمان توربین	(Eff)Tur	0.886	0.89	0.889
کارایی پیش گرمکن	(Per)Aph	ندارد	ندارد	ندارد
نسبت فشار در کمپرسور	p.r	14.475	15.1	14.961

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]

ادامه جدول۲ ـ

		case 1	case 2	case 3
درصدافت فشار در محفظه احتراق	p.d			
Cp/Cv هوا	Ya	1.402	1.4015	1.404
Cp/Cv گازهای احتراق ا	Yg	1.3369	1.3313	1.3365
Cp/Cv سوخت	Yf	1.372	1.372	1.372
Kj/ kg. k هوا	R.a	0.2871	0.2906	0.28718
Kj/ kg. k گازهای احتراق	R.g	0.2925	0.2925	0.2925
Kj/ kg. k سوخت	R.f	0.4578	0.4578	0.4578
گرمای ویژه هوای ورودی به کمپرسور	CP. a1	1.0040	1.0040	1.00373
گرمای ویژه هوا خروجی از کمپرسور	CP. a2	1.06487	1.0671	1.06360
گرمای ویژه گازهای حاصل از احتراق	CP. G4	1.278262	1.301769	1.279315
گرمای ویژه گازهای خروجی از محفظه احتراق	CP. g4	1.278262	1.301769	1.279315
گرمای ویژه گازهای ورودی به توربین	CP. G4	1.278262	1.301769	1.279315
گرمای ویژه گازهای خروجی از توربین	CP. G5	1.163041	1.184654	1.162143
گرمای ویژه گازهای دفعی به محیط	CP. g5	1.163041	1.184654	1.162143
دبی هوا kg/s	Ma	358.68	358.68	369.73
دبی سوخت kg /s	Mf	6.91361	7.93562	7.18114

جدول ۳ ـ میزان اکسرژی کل ورووودی و خروجی، میزان کل تلفات اکسرژی و راندمان اکسرژیک در هر یک از حالتهای کارکردی نیروگاه

Component	$\overset{0}{B}_{m}$ (Mw	$\overset{0}{B}_{out}$ (Mw	$\overset{0}{B}_{D}$ (Mw	$\overset{0}{B}^{w}$ (Mw	$\overset{0}{B}^{Q}$ (Mw)	η_b (%)	β (%)
Total Plant (case1)	316.65	209.52	107.12	111.95	103.84	66.17	33.83
Total Plant (cas 2)	363.46	249.94	113.52	133.88	103.29	68.77	31.23
Total Plant (case3)	328.82	220.6	108.22	117.64	105.85	67.1	32.9

$$\eta_b = \frac{\overset{0}{B}_{m}}{\overset{0}{B}_{out}} * ۱۰۰ \qquad (۲۰)$$

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]

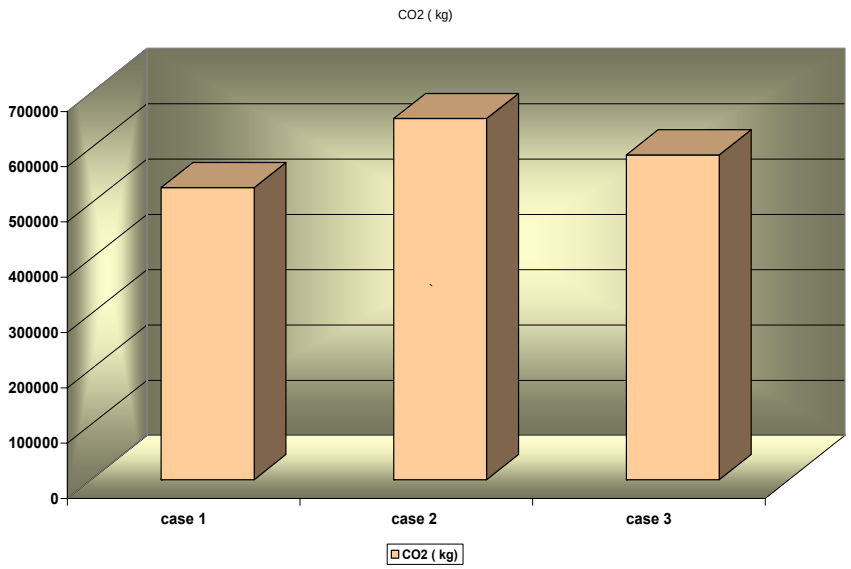
نمودار ۱ ـ نمودار میزان توان تولیدی توسط نیروگاه و توان خروجی از توربین

نمودار ۲ - نمودارتغییرات راندمان اکسرژیک و تلفات اکسرژی در حالتهای کارکرد نیروگاه

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]

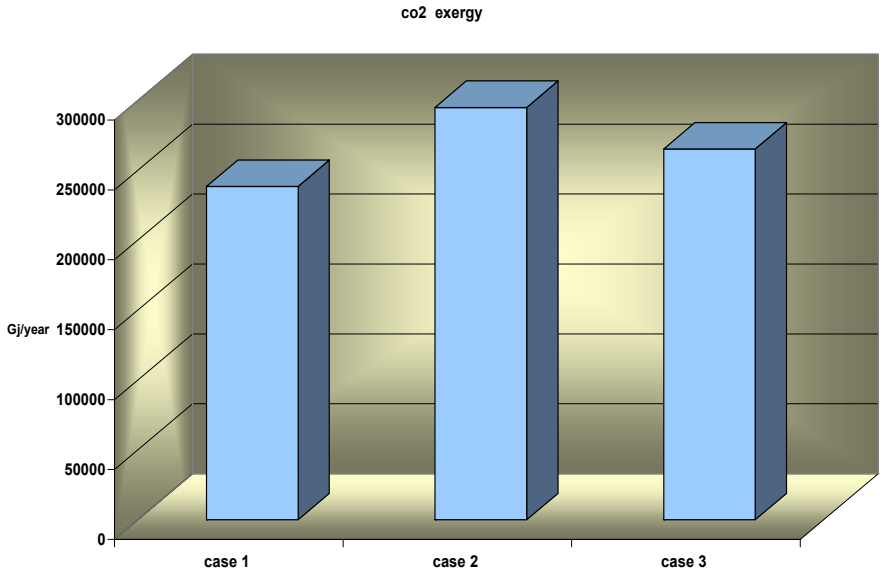
جدول۴ - مقدار دی اکسید کربن تولیدی در هر یک از حالتهای کارکردی نیروگاه (حالتهای ۱و۲و۳)

		CO2(case1)	CO2(case2)	CO2(case3)
CO2(kg/kmol)	fuel flow (kg/s)	6.91361	7.93562	7.18114
44.0095	Emmision index	(kg/kwh) 0.623	(kg/kwh) 0.610	(kg/kwh) 0.624
	Emmision(kg) /year	**527965088**	**653353664**	**587292939.8**
CO2(kj/mol))	Emmision(mol) /year	11996616367	14850000000	13344685575
19.87	Exergy (kj) /year	2.38373E+11	2.95E+11	2.65159E+11
	Exergy (Gj) /year	238372.76	294984.89	265158.9



نمودار۳ - نمودار مقدار CO2 تولیدی در هر یک از حالات کارکرد نیروگاه

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]

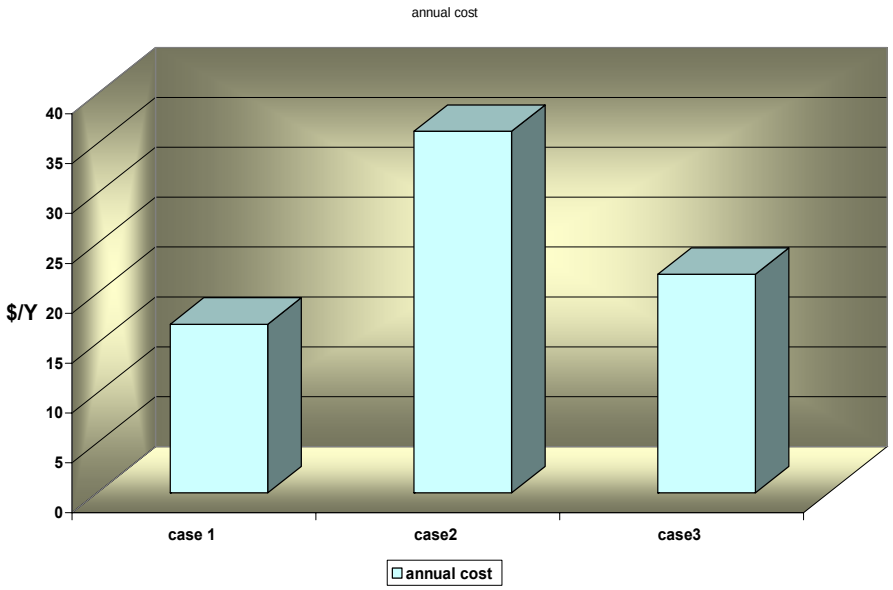


نمودار ۴ - نمودار مقدار محتوای اکسرژی CO_2 تولیدی در هر یک از حالات کارکرد نیروگاه

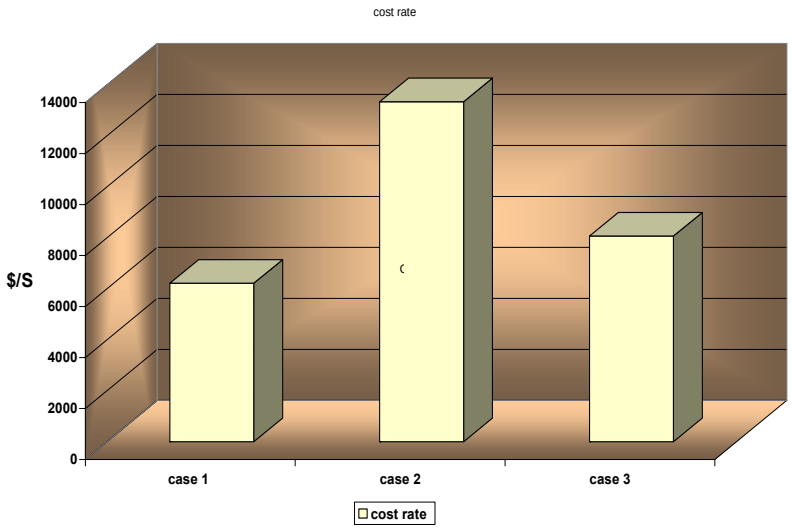
جدول ۵- نرخ هزینه سرمایه گذاری هریک از اجزا، نیروگاه و کل نیروگاه در هر یک از حالتهای کارکردی آن

Component	case 1		case 2		case 3	
	$\dot{C}^{o}$ ($/y*۱۰^{۶}$)	$\dot{Z}^{o}$ ($/s*۱۰*^{-۹}$)	$\dot{C}^{o}$ ($/y * ۱۰^{۶}$)	$\dot{Z}^{o}$ ($/s*۱۰*^{-۹}$)	$\dot{C}^{o}$ ($/y* ۱۰^{۶}$)	$\dot{Z}^{o}$ ($/s*۱۰*^{-۹}$)
AC	5.99	2205.86	7.10	2614.78	8.70	3201.96
CC	0.17	62.19	0.17	62.26	0.18	65.15
GT	10.74	3952.72	28.98	10665.49	13.04	4801.09
TOTAL	16.90	6220.78	36.25	13342.54	21.92	8068.21

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]



نمودار۵ – نمودارنرخ هزینه سرمایه گذاری کل نیروگاه در حالتهای مختلف کارکردی ان



الف) آنالیز اکسرژواکونومیک نیروگاه با دیدگاه هزینه کل و برابر شدن سود ناخالص (۶۰٪) در هر سه حالت کارکرد نیروگاه

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]

برای محاسبات مربوط به میزان سوددهی (سود خالص ـ سود ناخالص) هزینه کلی (سوخت و سرمایه‌گذاری) و همچنین میزان مالیات اکسرژی نیروگاه در شرایط کارکردی مختلف به اطلاعاتی درقالب جدول زیر نیازمندیم که با مطالعات و محاسبات توضیح داده شده در مدل تکمیل می‌گردد. (جداول ۲و۳و٤و٥)

جدول ۶- مشخصه‌های کارکردی نیروگاه (الف)

	case 1(حلت پایه)	case 2	case 3
B^{0}_{D} (Mw)	107.12	113.52	108.22
η_{b} (%)	66.17	68.77	67.09
CO2(Gj/Year)	248024.40	284691.08	257624.04
$/kwh(total cost –Moran method)	0.01962	0.01962	0.01962
index =B_d/W_{net} (plant)	1.00	0.89	0.97
$/kwh(fuel exergy cost)	0.0058	0.0001	0.0042
$/kwh(Elec. Selling cost)	0.05	0.05	0.05
(anuall fuel consump.)Nm3	64036520	73502770	66514486
energy. eff (%)	35.70	37.19	36.12
Wnet (GT)(Mw)	111.96	133.88	117.65
Wnet (plant)(Mw)	105.92	126.99	111.52
Delivered fuel cost ($/m3)	0.0500	0.0013	0.0364

محاسبه مالیات اکسرژی در هر سه حالت بر مبنای حالت(الف)

توضیح اینکه با توجه به اطلاعات ارایه شده در حالت (الف) که مربوط به محاسبه مالیات اکسرژی با دیدگاه هزینه کل (سوخت و سرمایه گذاری اولیه) می‌باشد. با ایجاد تغییر در قیمت سوخت مصرفی نیروگاه در حالتهای ۲و۳ می‌توان به نقطه‌ای دست یافت که مقدار سود ناخالص نیروگاه (مقدار سود قبل از کسر مالیات اکسرژی) در حالت ۲و۳ برابر این مقدار در حالت ۱ یعنی معادل ٦۰٪ در آمد گردد (جدول ۷). چرا که در حالت ۱ با در نظر گرفتن قیمتهای منطقه‌ای برای سوخت و برق مقدار سود نا خالص برابر با ٦۰٪ در آمد کل محاسبه گردیده است. (جدول ۷) در این صورت با توجه به محاسبات بعمل آمده ملاحظه می‌کنیم که نیروگاه در شرایط کارکرد با راندمان اکسرژیک بالاتر(حالتهای ۲و۳) سوخت ارزانتری نسبت به نیروگاه در شرایط کارکرد پایه (حالت ۱) دریافت می‌کند. به این معنی که نیروگاه در حالتهای ۲و۳ بابت سوخت مصرفی مقداری یارانه دریافت می‌کند و در حالت ۱ این یارانه صفر می‌باشد یعنی در حالت ۱ سوخت با قیمت منطقه‌ای در اختیار نیروگاه قرار می‌گیرد.(جدول ٦)

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]

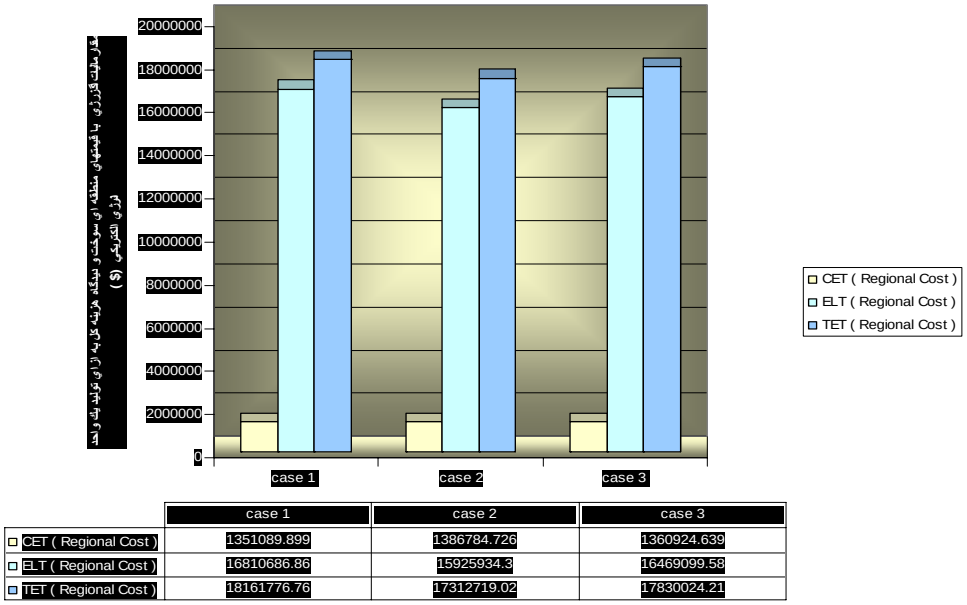
در هر یک از حالات با توجه به هزینه کل به ازای تولید یک کیلو وات ساعت انرژی الکتریکی مالیات تلفات اکسرژی و مالیات اکسرژی کربن محاسبه شده است (روابط ۲و۳ ـ نمودار ٦).

مالیات اکسرژی خالص در یافتی از نیروگاه در هر یک از حالات، از ما به التفاوت مقدار واقعی کل مالیات اکسرژی محاسبه شده با مقدار یارانه تعلق گرفته به سوخت مصرفی بدست می‌آید (نمودار ۷) .

هزینه کل نیروگاه اعم از هزینه سوخت و سرمایه گذاری با توجه به هزینه کل محاسبه شده به ازای تولید یک واحد انرژی الکتریکی محاسبه گردیده است (جدول ۷).

جدول ۷- مقادیر درآمد سالیانه، هزینه سالیانه و سود خالص و ناخالص سالیانه در هر یک از حالتهای کارکرد نیروگاه با دیدگاه هزینه کل

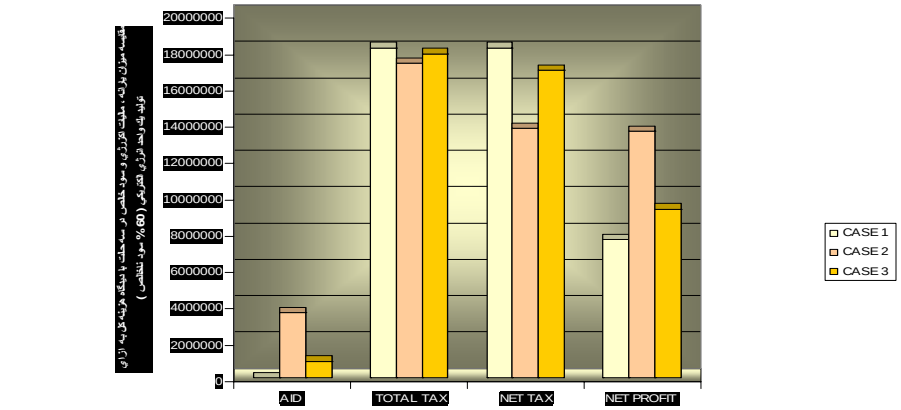
Total cost point of view			
	case 1	case 2	case 3
Regional price	$	$	$
annual revenue= power genarated (kwh)* 0.05($/kwh)	42369617	50794095	44607291
annual cost = power generated (Kwh)* 0.01962($/Kwh)	16622582	19928109	17504594
Annual gross profit= Annual Revenue - Annual Cost	25747035	30865986	27102697
net profit = Annual Profit - TEL(total exergy tax)	7585258	13553267	9272673



	case 1	case 2	case 3
CET (Regional Cost)	1351089.899	1386784.726	1360924.639
ELT (Regional Cost)	16810686.86	15925934.3	16469099.58
TET (Regional Cost)	18161776.76	17312719.02	17830024.21

نمودار ۶- مقایسه مالیات تلفات اکسرژی، مالیات کربن دفعی و مالیات کل (دیدگاه هزینه کل و سود ناخالص برابر)

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]



	AID	TOTAL TAX	NET TAX	NET PROFIT
CASE 1	0	18161776.76	18161776.76	7585258.014
CASE 2	3583260.047	17312719.02	13729458.97	13553267.2
CASE 3	907015.7144	17830024.21	16923008.5	9272672.911

نمودار ۷ – مقایسه مالیات اکسرژی کل ، مالیات خالص و یارانه سوخت و سود خالص (دیدگاه هزینه کل و سود ناخالص برابر)

ب) آنالیز اکسرژواکونومیک نیروگاه با دیدگاه هزینه اکسرژی سوخت و برابر شدن سود ناخالص (۶۰٪) در هر سه حالت کارکرد نیروگاه (با توجه به جداول ۲و۳و٤و٥):

جدول ۸- مشخصه‌های کارکردی نیروگاه (ب)

B^{0}_{D}	case 1(حالت پایه)	case 2	case 3
	107.12	113.52	108.22
(%)	66.17	68.77	67.09
CO2(Gj/Year)	248024.40	284691.08	257624.04
$/kwh (total cost- Moran Method)	0.01962	0.01962	0.01962
Index (max.=1)	1.00	0.89	0.97
$/kwh(fuel exergy cost)	0.0058	0.0058	0.0058
$/kwh(Elec.selling cost)	0.05	0.05	0.05
(annuallfuel consump.)Nm3	64036520	73502770	66514486
energy. eff (%)	35.70	37.19	36.12
Wnet (GT)(Mw)	111.96	133.88	117.65
Wnet (plant)(Mw)	105.92	126.99	111.52
Delivered fuel cost ($/m3)	0.0500	0.0013	0.0364

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]

محاسبه مالیات اکسرژی در هر سه حالت بر مبنای حالت(ب)

توضیح اینکه با توجه به اطلاعات ارایه شده در حالت (ب) که مربوط بـه محاسـبه مالیـات اکسـرژی بـا دیدگاه هزینه سوخت (هزینه سـوخت مـصرفی نیروگـا ه بـه ازای تولیـد یـک واحـد انـرژی الکتریکـی بـا قیمت‌های منطقه‌ای / هزینه اکسرژی سوخت با قیمت‌های منطقه‌ای) مـی‌باشـد، بـا ایجـاد تغییـر در قیمـت سوخت مصرفی نیروگاه در حالتهای ۲و۳ می‌توان به نقطه‌ای دست یافت که مقدار سود ناخالص نیروگاه (مقدار سود قبل از کسر مالیات اکسرژی) در حالت ۲و۳ برابـر ایـن مقـدار در حالـت ۱ یعنـی معـادل ۶۰٪ درآمد گردد (جدول ۹). چرا که در حالت ۱ با در نظر گرفتن قیمتهای منطقه‌ای برای سوخت و برق، مقـدار سود نا خالص برابر با ۶۰٪ در آمد کل محاسبه گردیده اسـت (جـدول ۹). در ایـن صـورت بـا توجـه بـه محاسبات بعمل آمده ملاحظه می‌کنیم که نیروگاه در شرایط کارکرد با راندمان اکسرژیک بالاتر (حالتهای ۲و۳) سوخت ارزانتری نسبت به نیروگاه در شرایط کارکرد پایه (حالت ۱) در یافت می‌کند. بـه ایـن معنـی که نیروگاه در حالتهای ۲و۳ بابت سوخت مصرفی مقداری یارانه دریافت میکند و در حالـت ۱ ایـن یارانـه صفر میباشد ؛یعنی در حالت ۱ سوخت با قیمت منطقه‌ای در اختیار نیروگاه قرار می‌گیرد(جدول ۸).

ملاحظه می‌گردد در حالیکه مالیات اکسرژی بر اساس هزینه اکسرژی سوخت مـصرفی در نیروگـاه بـه ازای تولید یک واحد انرژی الکتریکی با قیمت‌های منطقه‌ای محاسبه می‌شود، با افزایش راندمان اکسـرژیک نیروگاه؛ از طرفی مقـدار مالیـات اکسـرژی دریـافتی از نیروگـاه کمتـر مـی‌شـود و از طـرف دیگـر مقـدار سوددهی خالص نیروگاه نیز افزایش می‌یابد.

در هر یک از حالات با توجه به هزینه اکسرژی سوخت (هزینه اکسرژی سوخت مصرفی نیروگا ه بـه ازای تولید یک واحد انرژی الکتریکی بـا قیمـت‌هـای منطقـه‌ای / هزینـه اکسـرژی سـوخت بـا قیمـت‌هـای منطقه‌ای)، محاسبه مالیات اکسرژی مربوط به تلفات اکسرژی و مالیات اکسرژی مربوط به کـربن انجـام شده است (با استفاده از روابط ۲و۳ و جدول ۸ ـ نمودار ۸) .

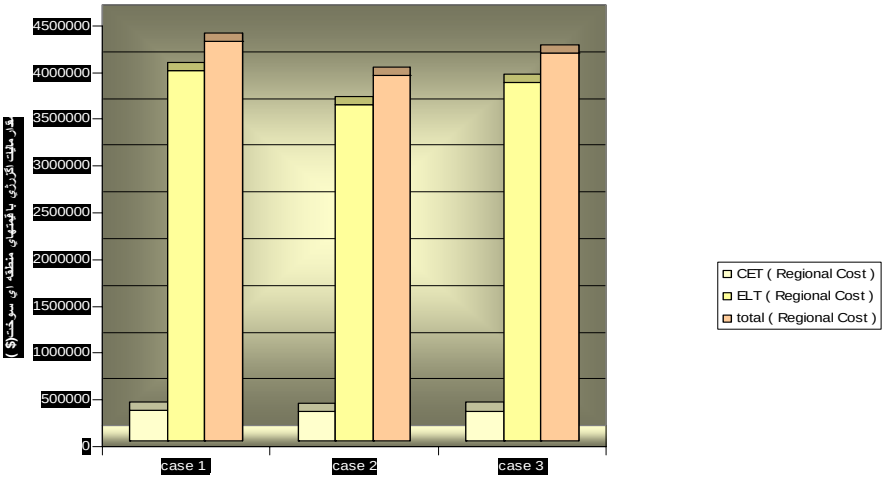
مالیات اکسرژی خالص در یافتی از نیروگاه در هر یک از حالات ما به التفاوت مقدار واقعی کل مالیات اکسرژی محاسبه شده با مقدار یارانه تعلق گرفته به سوخت مصرفی بدست می‌آید. (نمودار ۹).

هزینه کل نیروگاه اعم از هزینه سوخت و سرمایه گذاری با توجه به هزینه کـل محاسـبه شـده بـه ازای تولید یک واحد انرژی الکتریکی محاسبه گردیده است (جدول ۹) .

ج‌دول ۹- مقادیر درآمد سالیانه، هزینه سالیانه و سود خالص و ناخالص سالیانه در هر یک از حالتهای کارکرد نیروگاه با دیدگاه هزینه اکسرژی سوخت مصرفی

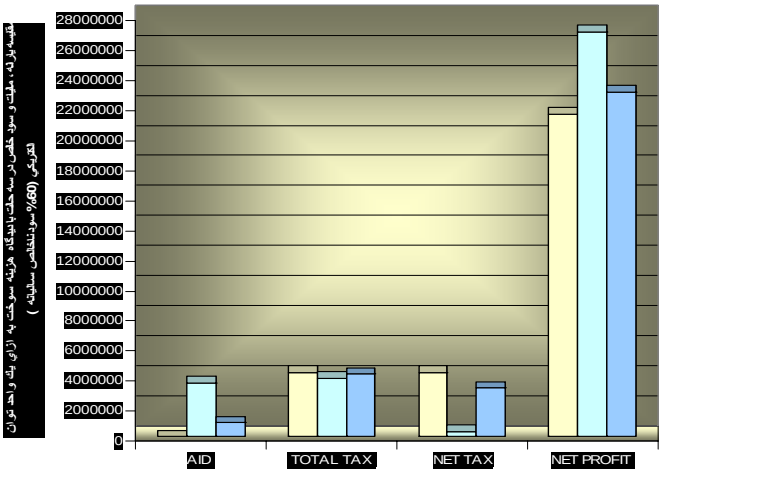
Fuel consumption/Kwh(elec.) point of view			
	case 1	case 2	case 3
Regional price	$	$	$
annual revenue= power genarated (kwh)* 0.05($/kwh)	42369617	50794095	44607291
annual cost = power generated (Kwh)* 0.01962($/Kwh)	16622582	19933638	17504594
Annual Gross profit= Annual Revenue - Annual Cost	25747035	30860457	27102697
net profit = Annual Profit - TEL(total exergy tax)	21477858	26964093	22964804

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]



	case 1	case 2	case 3
CET (Regional Cost)	317592.3693	312106.8192	315835.87
ELT (Regional Cost)	3951584.476	3584256.879	3822057.626
total (Regional Cost)	4269176.845	3896363.698	4137893.496

نمودار ۸ – مقایسه مالیات تلفات اکسرژی،مالیات کربن دفعی و مالیات کل (دیدگاه اکسرژی سوخت مصرفی و سود ناخالص برابر)



	AID	TOTAL TAX	NET TAX	NET PROFIT
CASE 1	0	4269176.845	4269176.845	21477857.93
CASE 2	3580904.189	3896363.698	315459.5088	26964093.11
CASE 3	907015.7144	4137893.496	3230877.781	22964803.63

نمودار ۹ – **مقایسه مالیات اکسرژی کل و یارانه سوخت و سود خالص (دیدگاه اکسرژی سوخت مصرفی و سود ناخالص برابر)**

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]

نتیجه گیری

مطابق آنچه که در بحثهای قبلی گفته شد مالیات اکسرژی به دو مقوله موضوعیت داده می‌شود. یکی میزان تلفات اکسرژی در کل سیستم (رابطه ۲) و دیگری تلفات اکسرژی مربوط به گازهای خروجی (رابطه ۳). از آنجاییکه هدف از مطرح کردن مالیات اکسرژی پرداختن به دو مقوله تخلیه منابع (از جمله منابع انرژی) و تخریب محیط زیست می‌باشد، اکسرژی تلف شده در سیستم را در واقع می‌توان فرصتی برای تبدیل شدن به کارمفید دانست که از دست رفته است و همانطور که قبلاً نیز به آن اشاره کردیم برخلاف انرژی که از شکلی به شکل دیگر تبدیل می‌شود اکسرژی اینطور نبوده و وقتی از دست رفت دیگر قابل بازیافت نیست. لذا کل اکسرژی اتلافی در سیستم به منزله منابعی است که از دست رفته و غیر قابل بازگشت است. به منظور ارزش گذاری بیشتر به منابع محدود ماده و انرژی در دنیایی که زندگی میکنیم اعمال مالیات اکسرژی بعنوان یک ابزار اقتصادی انسانهارا بر آ ن می‌دارد که اولاً در سیستم‌های تبدیل انرژی فعلی با ارتقاء سیستم‌های موجود و بهبود بهره برداری کمترین میزان تلفات اکسرژی را داشته باشند و به هر قیمت ممکن فقط به فکر تولید روز افزون محصول نباشند و هم اینکه افق روشنی را در برابر نوآوری در تکنولوژی‌ها و فن آوری‌ها در برابر ما قرار می‌دهند تا با بکار گیری سیستم‌های جدید و استفاده از منابع تجدیدپذیر نیازهای روز افزون جامعه بشری را برآورده کنند. چرا که تکنولوژی بهتر می‌تواند تلفات اکسرژی کمتری را به همراه داشته باشد و منجر به حفظ منابع تجدیدناپذیر از طرفی و عدم تخریب محیط زیست از طرف دیگر گردد.

در مطالعه موردی انجام شده می‌توان به این نتیجه رسید که با افزایش راندمان اکسرژیک از حالت پایه کارکرد نیروگاه (حالت ۱) به حالتهای کارکردی ۲و۳ ، مالیات اکسرژی تعلق گرفته به سیستم کاهش پیدا می‌کند و از طرفی هم سوددهی آن افزایش می‌یابد یا حد اقل در سطح پایه حفظ می‌شود (نمودارهای ٦ و ٨). علت کاهش مالیات اکسرژی در حالتهای کارکردی با راندمان اکسرژیک بالاتر را می‌توان به خاطر دو عامل دانست؛ یکی تامین سوخت ارزانتر برای نیروگاه (برخورداری بیشتر نیروگاه از یارانه سوخت مصرفی) و دیگری تاثیر شاخص تعریف شده (INDEX) که در شرایط کارکرد با راندمان اکسرژیک بالاتر بواسطه تولید توان الکتریکی بیشتر توسط نیروگاه، علیرغم افزایش مقدار تلفات اکسرژی سیستم در این حالات،شاخص مربوطه که نسبت تلفات اکسرژی سیستم بر مقدار توان الکتریکی تولیدی است کاهش می‌یابد (جداول ٦و٨).

اما در مورد سود دهی می‌توان با اجرای روش ارایه شده که در آن مقدار سهم سود ناخالص (سود قبل از کسر مالیات اکسرژی) از درآمد کل برای کل حالت‌های کارکردی نیروگاه مساوی حالت پایه، در نظر گرفته می‌شود (بعنوان مثال ٦٠٪) ؛ در شرایط کارکرد با راندمان بالاتر نیروگاه به مقدار سوددهی خالص (سود پس از کسر مالیات اکسرژی) بیشتری دست پیدا کرد(جداول ۷و۹).

دو دیدگاه ارایه شده به منظور محاسبه مالیات اکسرژیک یکی هزینه تمام شده به ازای تولید یک واحد محصول می‌باشد و دیدگاه دیگر هزینه اکسرژی سوخت به دو شکل یکی هزینه مستقیم اکسرژی سوخت (با قیمت‌های منطقه‌ای انرژی) و دیگری هزینه اکسرژی سوخت مصرفی به ازای تولید یک واحد محصول است.

با در نظر گرفتن هزینه تمام شده بعنوان پارامتر مورد نظر برای محاسبه مالیات اکسرژی، علاوه بر سوخت هزینه مربوط به سرمایه گذاری اولیه و تعمیرو نگهداری هم خود را در این مالیات نشان می‌دهند

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]

و به همین دلیل مقدار ارزشی محاسبه شده مالیات اکسرژی با این دیدگاه چند برابر مقدار مالیات اکسرژی محاسبه شده با دیدگاه هزینه اکسرژی سوخت است (مقایسه اعداد نمودارهای ٦و٨).

دیدگاه محاسبه مالیات اکسرژی با در نظر گرفتن هزینه اکسرژی سوخت ساده تر است چرا که برای محاسبه مالیات اکسرژی دیگر نیاز به دخیل کردن هزینه‌های سرمایه گذاری اولیه نمی‌باشد و با داشتن هزینه اکسرژی سوخت و مقدار تلفات اکسرژی، می‌توان مالیات اکسرژی تعلق گرفته را محاسبه کرد. البته اگر مالیات اکسرژی با توجه به هزینه اکسرژی سوخت مصرفی در نیروگاه به ازای تولید واحد انرژی الکتریکی محاسبه شود، این محاسبه دقیقتر بوده و شرایط کارکردی نیروگاه ازنظر میزان توان خالص الکتریکی تولیدی نیز دخیل شده است.

اگر با دید گاه هزینه تمام شده (هزینه کل)، مالیات اکسرژی سیستم محاسبه گردد با در نظر گرفتن سهم ٦٠درصدی سود ناخالص از کل درآمد نیروگاه؛ ملاحظه می‌شود که اولاً با ارتقاء راندمان اکسرژیک نیروگاه در حالتهای ٢و٣ (به ترتیب ١٣,٧٢٩ و ١٦,٩٢٣ میلیون دلار) مالیات اکسرژی خالص تعلق گرفته به نیروگاه در مقایسه با حالت پایه(١٨,١٦١ میلیون دلار) کمتر می‌شود (نمودار٦). ثانیاً سهم درصدی سود خالص نیروگاه در حالتهای کارکردی ٢و٣ (به ترتیب ٢٦,٦٪و ٢٠,٧٪) نسبت به درآمد، در مقایسه با حالت پایه (١٧,٩٪) بیشتر است(جدول ٧).

اگر با دیدگاه هزینه اکسرژی سوخت مصرفی، مالیات اکسرژی سیستم محاسبه شود، با در نظر گرفتن سهم ٦٠درصدی سود ناخالص از کل درامد نیروگاه ملاحظه می‌گردد که اولاً با ارتقاء راندمان اکسرژیک نیروگاه در حالتهای ٢و٣ (به ترتیب ٣,١٥ و ٣,٢٣ میلیون دلار) مالیات اکسرژی خالص تعلق گرفته به نیروگاه در مقایسه با حالت پایه(٤,٢٧ میلیون دلار) کمتر می‌شود(نمودار ٨). ثانیاً سهم درصدی سود خالص نیروگاه در حالتهای کارکردی ٢و٣ (به ترتیب ٥٣٪ و ٥١,٥٪) نسبت به درآمد، در مقایسه با حالت پایه (٥٠,٧٪) بیشتر است(جدول ٩). موارد فوق با دیدگاه هزینه مستقیم اکسرژی سوخت (سناریوی سوم) نیز در مورد حالتهای کارکردی نیروگاه (حالتهای ١و٢و٣) صادق هستند.

هر سه مورد بالا اهداف ما را در ایجاد انگیزه اقتصادی به منظور ارتقاء راندمان اکسرژیک سیستم تامین می‌نماید یعنی برخورداری از مالیات اکسرژی کمتر، یارانه سوخت بیشتر، سود دهی خالص بیشتر و هزینه چرخه عمر کمتر با افزایش راندمان اکسرژیک سیستم. (در هر دو مورد فوق با توجه به قیمت ثابت برق، ٠,٠٥ $/Kwh برای همه حالات، در یک بازار غیر رقابتی تحلیل صورت گرفته است (جداول٧و٩).

در صورتی که حالتهای کارکردی پایه(حالت١)و حالتهای ٢و٣ با دیدگاه هزینه تمام شده (هزینه کل) تحلیل شود، البته با در نظر گرفتن همان سهم ٦٠ درصدی سود ناخالص از کل درآمد نیروگاه همان نتایج فوق حاصل می‌شود. حال اگربا تغییر قیمت فروش برق مقدار سود خالص نیروگاه را به صفر برسد، یعنی بازار کاملاً رقابتی، در اینصورت باز هم مالیات اکسرژی مانند حالت قبلی بوده و با افزایش راندمان اکسرژیک کمتر می‌شود و از طرفی هزینه سالیانه (LCC/ 15) نیروگاه نیز با ارتقاء راندمان اکسرژیک کمتر می‌شود (حالت ١ برابر ٣٤,٧٨٤ میلیون دلار حالت ٢ و٣ به ترتیب ٣٣,٦٥٧ و ٣٤,٤٢٧ میلیون دلار)(جدول ١١). بدین معنی که قیمت فروش برق در حالت پایه٠,٠٤١ دلار می‌باشد و با ارتقاء راندمان اکسرژیک در حالتهای ٢ و ٣ به ترتیب برابر با ٠,٠٣٣ و ٠,٠٣٨ می‌باشد(جدول ١٠).

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]

$$LCC = \text{Total Cost} + \text{Total Tax} - \text{AID} \quad (۲۱)$$

جدول ۱۰ ـ هزینه فروش برق در یک بازار رقابتی در صورتی که سود نیروگاه صفر در نظر گرفته شود(با دیدگاه هزینه کل)

TOTAL COST POINT OF VIEW PROFIT(60% Gross Profit)						
	AID	TOTAL TAX	NET TAX	NET PROFIT	FEUEL ($/m3) COST	electricity ($/Kwh) cost
Case 1	۰	۱۸۱۶۱۷۷۶,۷۶	۱۸۱۶۱۷۷۶,۷۶	0	۰,۰۵	۰,۰۴۱۴
Case 2	۳۵۸۳۲۶۰,۰۴۷	۱۷۳۱۲۷۱۹,۰۲	۱۳۷۲۹۴۵۸,۹۷	0	۰,۰۰۱۲۵	۰,۰۳۳۳
Case 3	۹۰۷۰۱۵,۷۱۴۴	۱۷۸۳۰۰۲۴,۲۱	۱۶۹۲۳۰۰۸,۵	0	۰,۰۳۶۳۶۳۶۳۶	۰,۰۳۸۷

جدول ۱۱ ـ هزینه سالیانه نیروگاه (دیدگاه هزینه کل)

TOTAL COST POINT OF VIEW (60% Gross Profit)			
M$	Case 1	case 2	Case 3
LCC/15(annual)	۳٤,۷۸٤	۳۳,٦٥۷	۳٤,٤۲۷

در صورتی که حالتهای کارکردی پایه(حالت۱) و حالتهای ۲و۳ با دیدگاه هزینه اکسرژی سوخت مصرفی نیز تحلیل شود البته با در نظر گرفتن همان سهم ٦۰ درصدی سود ناخالص از کل درآمد نیروگاه همان نتایج فوق حاصل می‌شود. حال اگر با تغییر قیمت فروش برق مقدار سود خالص نیروگاه به صفر برسد، یعنی بازار کاملاً رقابتی در اینصورت باز هم مالیات اکسرژی مانند حالت قبلی بوده و با افزایش راندمان اکسرژیک کمتر می‌شود و از طرفی هزینه سالیانه (LCC /15) نیروگاه نیز با ارتقاء راندمان اکسرژیک کمتر می‌شود(حالت ۱ برابر ۲۰,۸۹۱ میلیون دلار حالت ۲ و ۳ به ترتیب ۲۰,۲٤۹ و ۲۰,۷۳٥ میلیون دلار)(جدول ۱۳). بدین معنی که قیمت فروش برق در حالت پایه۰,۰۲٤ دلار می‌باشد و با ارتقاء راندمان اکسرژیک در حالتهای ۲ و ۳ به ترتیب ۰,۰۲ و ۰,۰۲۳ دلار می‌باشد (جدول ۱۲).

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]

موارد فوق با دیدگاه هزینه مستقیم اکسرژی سوخت نیز در مورد حالتهای کارکردی نیروگاه (حالتهای ۱ و ۲ و ۳) صادق هستند.

فهرست علائم:

اکسرژی ورودی	B^{0}_{m}
اکسرژی خروجی	B^{0}_{out}
تلفات اکسرژی	B^{0}_{0D}
توان خروجی از توربین	B^{w}
راندمان اکسرژیک	η_b
درصد تلفات اکسرژی	β
هزینه سرمایه گذاری سالیانه	$\dot{C}^{o}_{o}$
نرخ هزینه سرمایه گذاری	Z
مالیات تلفات اکسرژی	ELT
مالیات اکسرژی کربن	CET
مالیات اکسرژی کل	TET
دمای محیط	T_o
فشار محیط	P_o
اکسرژی سوخت مصرفی	B^{0CHE}
قیمت اکسرژی سوخت	C_f
دبی هوا	M_a
دبی سوخت	M_f
قیمت اسقاط	SV
فاکتور ارزش حال	PWF
فاکتور بازیافت سرمایه	CFR
دمای ورودی به توربین	TIT
هزینه چرخه عمر	LCC

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]

منابع:

1- Wall, Goran., Mei Gongb, (2001) ," On exergy and sustainable development-Part 1:Conditions and concepts ", Exergy Int. J. 1(3)), 128–145

2- Mei. Gongb. , Wall. Goran. (2001)," On exergy and sustainable development-Part 2:Indicators and methods", -Exergy Int. J. 1(4)217–233

3- Wall. Goran ,(1994) , " Exergy , Ecology and Democracy ـ Concepts of a vital Society or A Proposal for An Exergy Tax " presented at " 2ed European Congress on Economic and Management of Energy in Industry " , April 5-9 , Estoril, Portugal.

4-EI.Gong and Wall. Göran, , June 10-13, 1997," On Exergetics, Economics and Optimization Of Technical Processes to Meet Environmental Conditions", International Conference on Thermodynamic Analysis and Improvement of Energy Systems, TAIES'97, June 10-13, 1997, Beijing, China , published inRuixian Cai, et al. Eds., "Thermodynamic Analysis and Improvement of Energy Systems," pp. 453-460, Beijing
World, Chinese Society of Engineering Thermophysics and American Society of Mechanical Engineers(1997)ISBN 7-5062-3264-Z

5-Wall.Goran, (2002), " Conditions and tools in the design of energy conversion and management system of a sustainable society" , Energy conversion and Management 43(2002) , pp. 1235-1248

6-Wall. Goran, (1995) ," Exergy And Morals " , position paper at ' seconde - law Analysis of Energy Systems : Towards the 21st Century" Rome , Italy.
Published : E. Ssiubba, M. J.Moran,Eds.,pp 21-29 Circus, ISBN 88-86662-0-9

7-[Wall. Goran, (1990) , " Exergy Conversion In Japanese Society "], Energy, vol. 15, No. 5 , pp.435-444. 1990

8-Wall.Göran, (1998), " EXERGETICS, Exergy , Ecology, Democracy ", SE- Mölndal in March 1998.

9-Wall. G ,(1977)." Exergy—a useful concept within resource accounting". Institute of Theoretical Physics. Report G€oteborg.

10-WALL. GÖRAN, (1988)," Exergy Flows In Industrial Processes", -Energy Vol. 13, No. 2, pp. 197-208, Printed in Great Britain. All rights reserved Copyright © 1988 Pergamon Journals Ltd

11-Sauar Erik, (after 1995),'" Improving energy flows in an industrial society by taxing exergy losses in material production" , the article (IE-A-251) is based on a paper currently review fc, The energy journal and appear here with permission from the International Association for Energy Economic.

12-Wall. Goran, 1991.," On The Optimization Of Refrigeration Machinary ", published in International Journal of Refrigeration Vol. 14., pp. 336-340

13-Wall.Göran, (1985), " Thermoeconomic Optimization Of A Heat Pump System " , Physical Resource Theory Group, Chalmers University of Technology and University of Göteborg,SE-412 96 Göteborg, Sweden

14-Bejan, (1988), A." Advanced Engineering Thermodynamics"

15- Kotas, T. J., (1985), " The exergy Method of Thermal Plant Analysis"

16- Moran, J.,Availability Analysis: A Guide to Efficient Energy Use , Prentice- Hall , P.199-218, 1982

17- Silveria , J.L. , Tuna , C. E. , Thermoeconomic Analysis Method For Optimization Of Combined Heat And Power Systems, Progress in Energy And Combustion Science , Vol.29, P.479-485,2003

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]