

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
1432



ENERGY EFFICIENCY PARADOX

پارادوکس بازدهی انرژی

استاد: آقای دکتر عباس رجبی قهنویه

ارائه دهندگان: محمد شریفیان، شایان محمددینی

دانشگاه صنعتی شریف _ دانشکده مهندسی انرژی

پروژه درس تحلیل سیستم‌های انرژی

پاییز _ زمستان ۱۴۰۰

فهرست مطالب



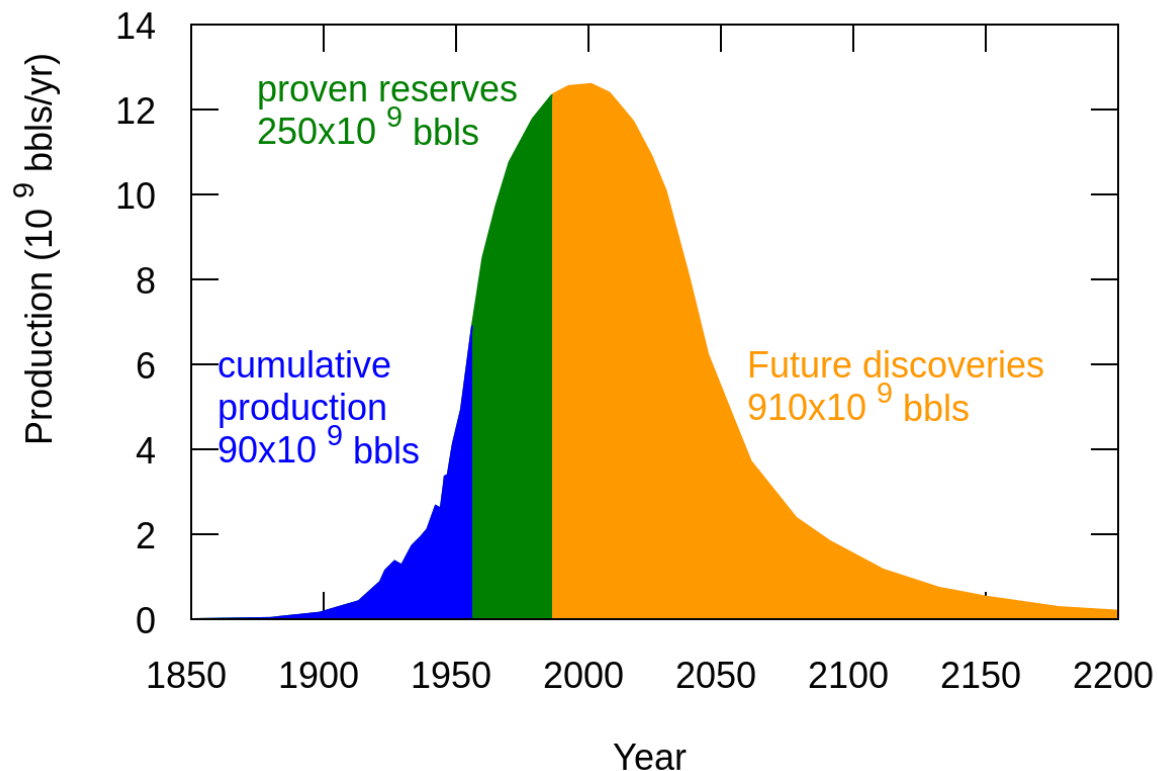
- ✓ پارادوکس‌های زندگی روزمره
- ✓ اهمیت سیاست‌های انرژی
- ✓ اثر بازگشتی Rebound Effect
- ✓ علت بوجود آمدن پارادوکس بازدهی انرژی
- ✓ پارادوکس جونز و تکامل موتورهای بخار
- ✓ پارادوکس جونز در روش‌های جدید آبیاری
- ✓ نحوه پاسخ به پارادوکس بازدهی انرژی (پارادوکس جونز)
- ✓ افزایش کارایی خوب است یا بد؟
- ✓ مدلسازی پارادوکس انرژی
- ✓ نحوه پاسخ به اثر بازگشتی و جلوگیری از ایجاد پارادوکس بازدهی انرژی
- ✓ پارادوکس انرژی در صنعت برق ایران
- ✓ نتیجه گیری
- ✓ مراجع

پارادوکس‌های زندگی روزمره

- کاهش فعالیت‌های جسمی روزمره در ازای استفاده بیش از حد از وسایل حمل و نقل
- کاهش استفاده از نور خورشید به واسطه وجود نورهای غیر طبیعی مختلف مانند انواع وسایل روشنایی
- اختصاص یارانه برای مصرف بنزین با وجود ایجاد آلودگی و ترافیک و ...
- اختصاص یارانه انرژی برای برق مصرفی با وجود کمبود در پیک بار و عدم توسعه مناسب زیرساخت‌ها
- پارادوکس بازدهی انرژی (پارادوکس جونز)

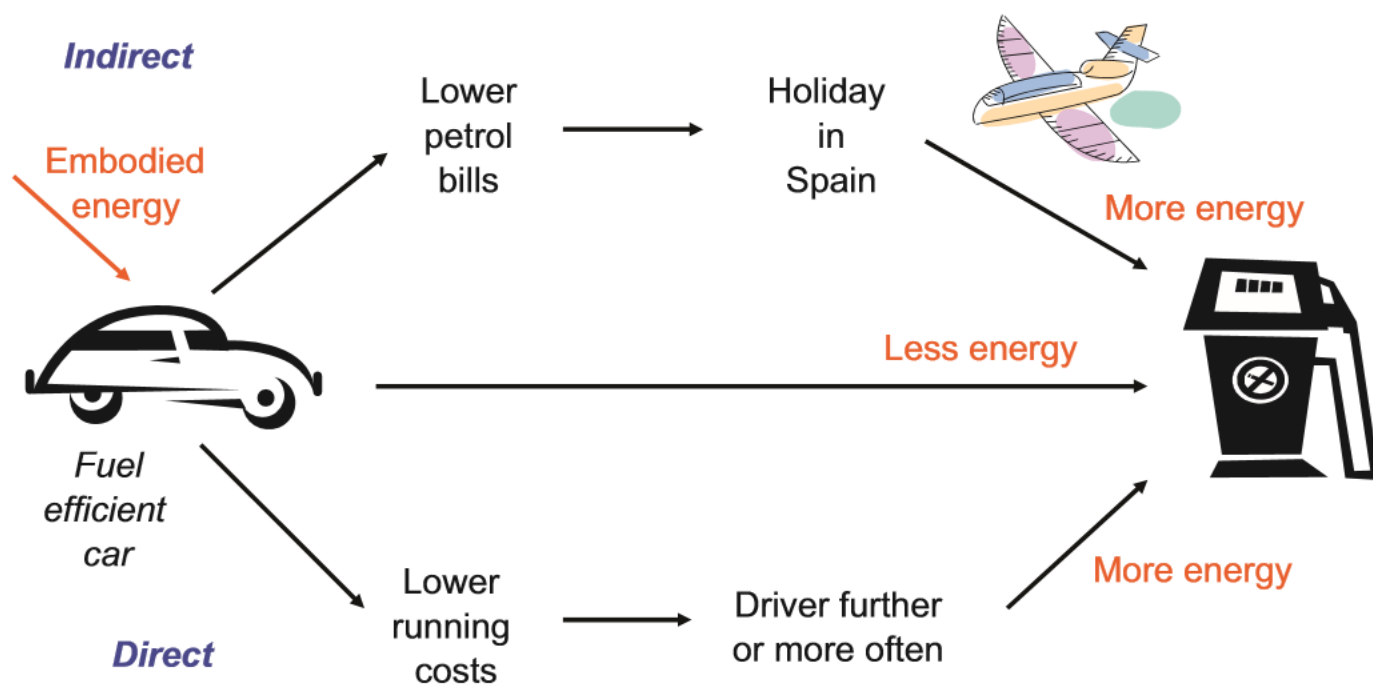


اهمیت سیاست‌های انرژی



- انفجار جمعیت جهان
- رشد اقتصادی
- تشدید نگرانی پیرامون محیط‌زیست و منابع طبیعی
- پیک مصرف نفت
- گرمایش زمین

اثر بازگشتی Rebound Effect



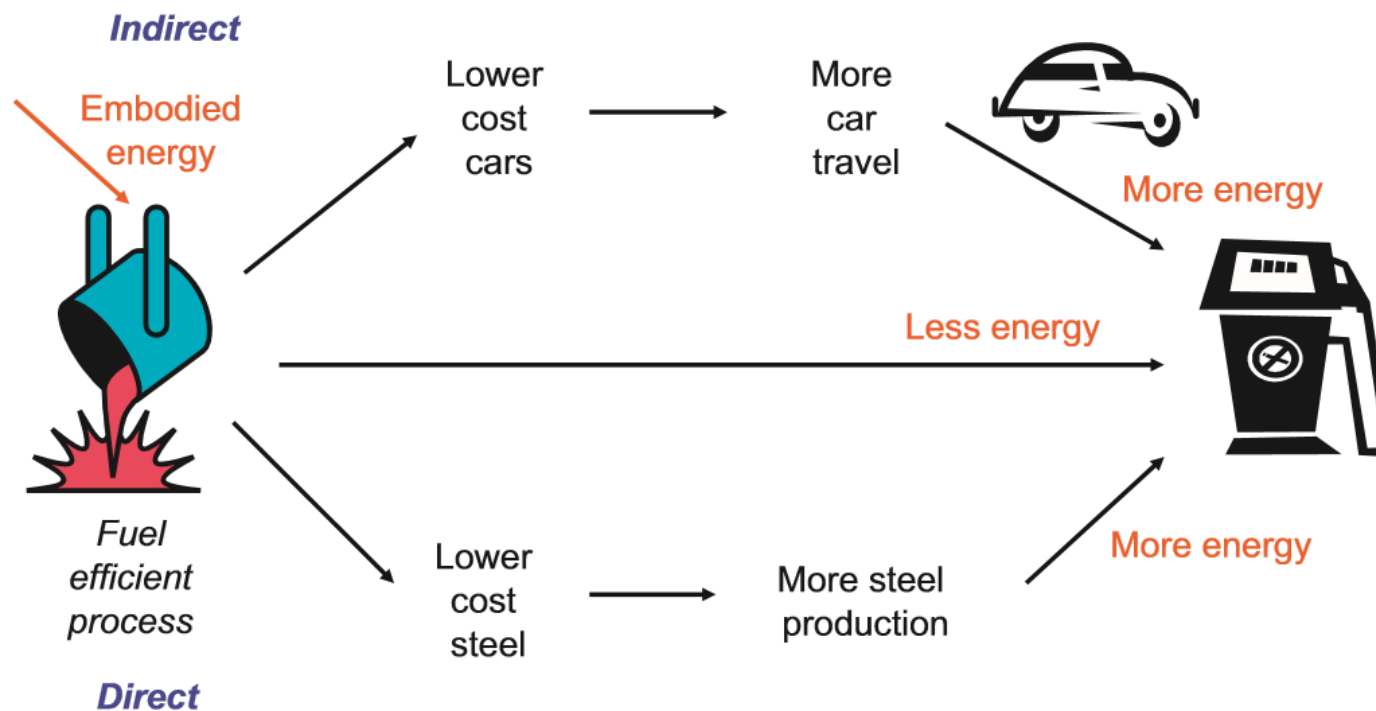
- مصرف دوباره بخشی از انرژی صرفه جویی شده، ناشی از بهبود بازدهی انرژی

- اثر بازگشتی مستقیم: اثر کاهش قیمت و افزایش تقاضا

- اثر بازگشتی غیرمستقیم: اثر افزایش درآمد و اثر جانشینی

Ref: Steve Sorrell, "Jevons' Paradox revisited: The evidence for backfire from improved energy efficiency" 2009.

اثر بازگشتی Rebound Effect



Ref: Steve Sorrell, "Jevons' Paradox revisited: The evidence for backfire from improved energy efficiency" 2009.

علت بوجود آمدن پارادوکس بازدهی انرژی



اثر بازگشتی به صورت کلی

- اثر بازگشتی منفی: صرفه جویی در مصرف بیشتر از حد انتظار ← پارادوکس وجود ندارد.
- اثر بازگشتی معمولی: صرفه جویی در مصرف کمتر از حد انتظار ← پارادوکس وجود ندارد.
- اثر بازگشتی **back-fire**: صرفه جویی در مصرف کمتر از افزایش مصرف ← پارادوکس بازدهی انرژی بوجود می‌آید.

پارادوکس جونز و تکامل موتورهای بخار



ویلیام استنلی جونز

- جونز در سال ۱۸۳۵ در لیورپول متولد شد.
- جونز از اولین افرادی بود که در مورد اثر بازگشتی و پارادوکس بازدهی انرژی صحبت کرد و سپس این اصطلاح به پارادوکس جونز معروف شد.
- کتاب مرتبط با پارادوکس بازدهی انرژی: مسئله زغال سنگ (The Coal Question)
- جونز در مورد روندهای احتمالی مصرف آتی زغال سنگ بحث می کرد.
- جونز بیان کرد که با افزایش بازدهی به واسطه اختراع موتورهایی با کارایی بالاتر، لزوماً مصرف زغال سنگ نیز کاهش پیدا نخواهد کرد.

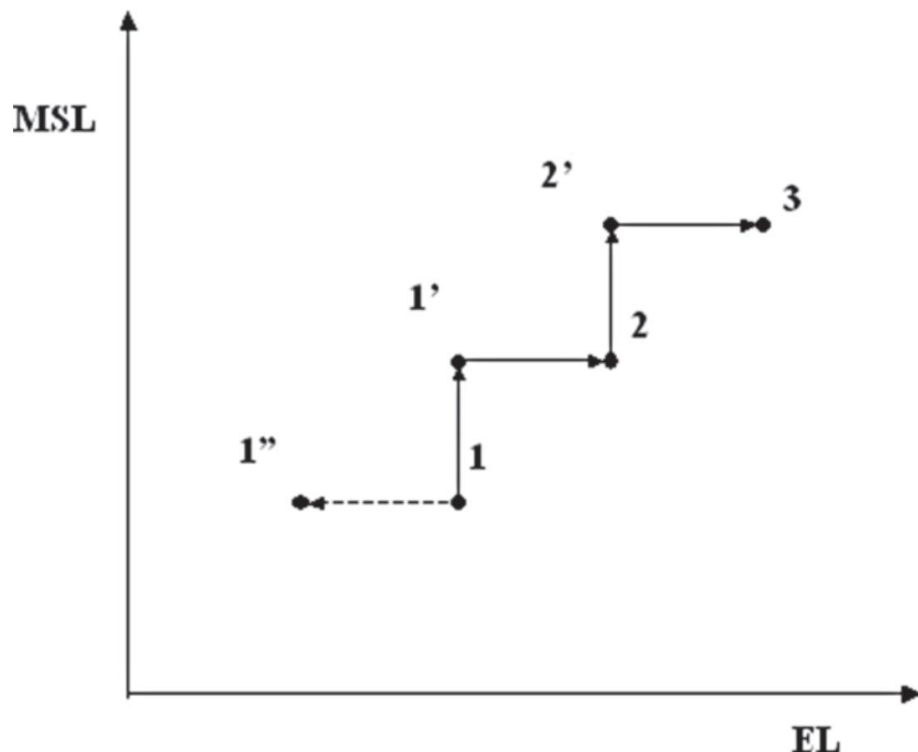
پارادوکس جونز در روش‌های جدید آبیاری

- کارل گومز و کارلوس گوترز
- افزایش بهره‌وری روش‌های آبیاری توسط کشاورزان مدیترانه‌ای
- در این مورد به دو دلیل شاهد پارادوکس جونز هستیم:

- پیشرفت تکنولوژی ← کاهش قیمت خدمات آبیاری ← افزایش تقاضا برای مصرف
- انتقال راحت‌تر آب به مناطق کم آب ← دسترسی جمعیت جدید به آب ← تقاضای جدید برای آب کشاورزی
- برخلاف انتظار کاهش مصرف آب به تبع افزایش بازدهی، برعکس افزایش مصرف آب داریم:

پارادوکس جونز

افزایش کارایی خوب است یا بد؟



Ref: John M. Polimeni, Kozo Mayumi, Mario Giampietro, Blake Alcott, "The Jevons Paradox and the Myth of Resource Efficiency Improvements", 2008.



مدلسازی پارادوکس انرژی

$$\pi_t = \max Pq(\varphi_t, E_t, L_t) - zE_t - wL_t$$

$$q(E, L) = \theta(\varphi E)^\alpha L^\beta$$

$$f(u) = \begin{cases} \frac{1}{\bar{u}} & \text{for } 0 \leq u \leq \bar{u}, \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$E_i^* = \left[P\theta \left(\frac{\beta}{w} \right)^\beta \left(\frac{\alpha}{z} \right)^{1-\beta} \right]^{\frac{1}{1-\alpha-\beta}} \varphi_i^{\frac{\alpha}{1-\alpha-\beta}}$$

$$L_i^* = \left[P\theta \left(\frac{\beta}{w} \right)^{1-\alpha} \left(\frac{\alpha}{z} \right)^\alpha \right]^{\frac{1}{1-\alpha-\beta}} \varphi_i^{\frac{\alpha}{1-\alpha-\beta}}$$

$$\pi_i^* = [1 - \alpha - \beta] \times \left[P\theta \left(\frac{\alpha}{z} \right)^\alpha \left(\frac{\beta}{w} \right)^\beta \right]^{\frac{1}{1-\alpha-\beta}} \varphi_i^{\frac{\alpha}{1-\alpha-\beta}}$$

$$\pi(\varphi_i) = \xi \varphi_i^\gamma, \quad \gamma = \frac{\alpha}{1 - \alpha - \beta}$$

$$\xi = [1 - \alpha - \beta] \times \left[P\theta \left(\frac{\alpha}{z} \right)^\alpha \left(\frac{\beta}{w} \right)^\beta \right]^{\frac{1}{1-\alpha-\beta}}$$

$$V(\varphi_i) = \int_{t=0}^{\infty} \pi(\varphi_i) e^{-rt} dt = \frac{\xi \varphi_i^\gamma}{r}$$

$$\Omega(\varphi_i) = V(\varphi_i) - I = \frac{\xi \varphi_i^\gamma}{r} - I.$$

$$F(\varphi) = \pi(\varphi_0)dt + \frac{1}{1+rdt} E[F(\varphi + d\varphi)]$$

$$E[F(\varphi + d\varphi)] - F(\varphi) = \lambda dt \left\{ \int_{u=0}^{\varphi^*-\varphi} \frac{1}{\bar{u}} F(\varphi + u) du + \int_{u=\varphi^*-\varphi}^{\bar{u}} \frac{1}{\bar{u}} (\Omega(\varphi + u)) du - F(\varphi) \right\}$$

$$F(\varphi) = \frac{\pi(\varphi_0)}{r + \lambda} + \frac{\lambda}{r + \lambda} \left[\int_{u=0}^{\varphi^*-\varphi} \frac{1}{\bar{u}} F(\varphi + u) du + \int_{u=\varphi^*-\varphi}^{\bar{u}} \frac{1}{\bar{u}} (V(\varphi + u) - I) du \right]$$

مدلسازی پارادوکس انرژی

$$F(\varphi^*) = \frac{\pi(\varphi_0)}{r + \lambda} + \frac{\lambda}{r + \lambda} \left[\int_{u=0}^{\bar{u}} \frac{1}{u} (V(\varphi + u) - I) du \right] =$$

$$\frac{\xi \varphi_0^\gamma}{r + \lambda} + \frac{\lambda \xi [(\varphi^* + \bar{u})^{\gamma+1} - (\varphi^*)^{\gamma+1}]}{r \bar{u} (r + \lambda) (\gamma + 1)} - \frac{\lambda I}{r + \lambda}$$

$$F(\varphi^*) = \Omega(\varphi^*)$$

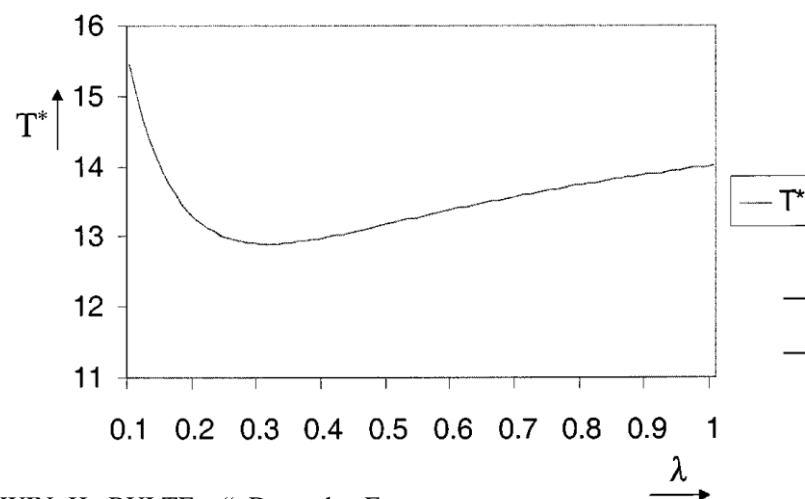
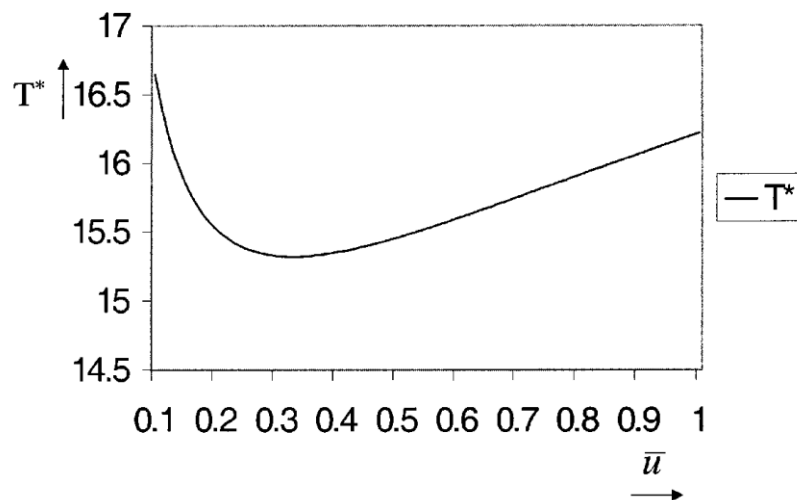
$$\xi \varphi_0^\gamma + \frac{\lambda \xi [(\varphi^* + \bar{u})^{\gamma+1} - (\varphi^*)^{\gamma+1}]}{r \bar{u} (\gamma + 1)} - \left(\frac{r + \lambda}{r} \right) \xi (\varphi^*)^\gamma + r I = 0$$

$$E(\varphi(t)) = \varphi_0 + \frac{1}{2} \lambda \bar{u} (1 - e^{-\lambda t})$$

$$E(\varphi^*) = \varphi_0 + \frac{1}{2} \lambda T^* \bar{u} (1 - e^{-\lambda T^*})$$

مقادیر پارامترهای ثابت:

$$P=1, \theta=1, \\ w=0.15, z=0.15, \\ \alpha=0.4, \beta=0.35, \\ \varphi_0=1, \bar{u}=0.5, l=1, \\ r=0.1$$



Ref :DAAN P. VAN SOEST and ERWIN H. BULTE “ Does the Energy-Efficiency Paradox Exist? Technological Progress and Uncertainty”, March 2000.

	T^*
I	+
r	-
w	+
z	+
φ_0	-

نحوه پاسخ به اثر بازگشتی و جلوگیری از ایجاد پارادوکس بازدهی انرژی

- گام اول: دستیابی به یک هدف خاص بازده انرژی ← شناخت وجود اثر بازگشتی ← تعریف اهداف سیاست انرژی



پارادوکس انرژی در صنعت برق ایران

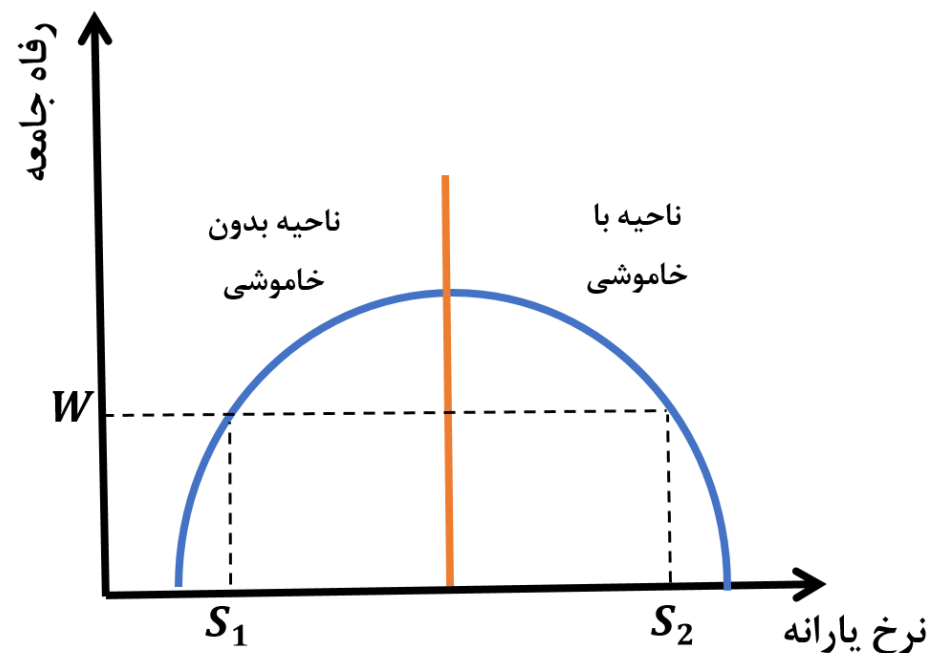
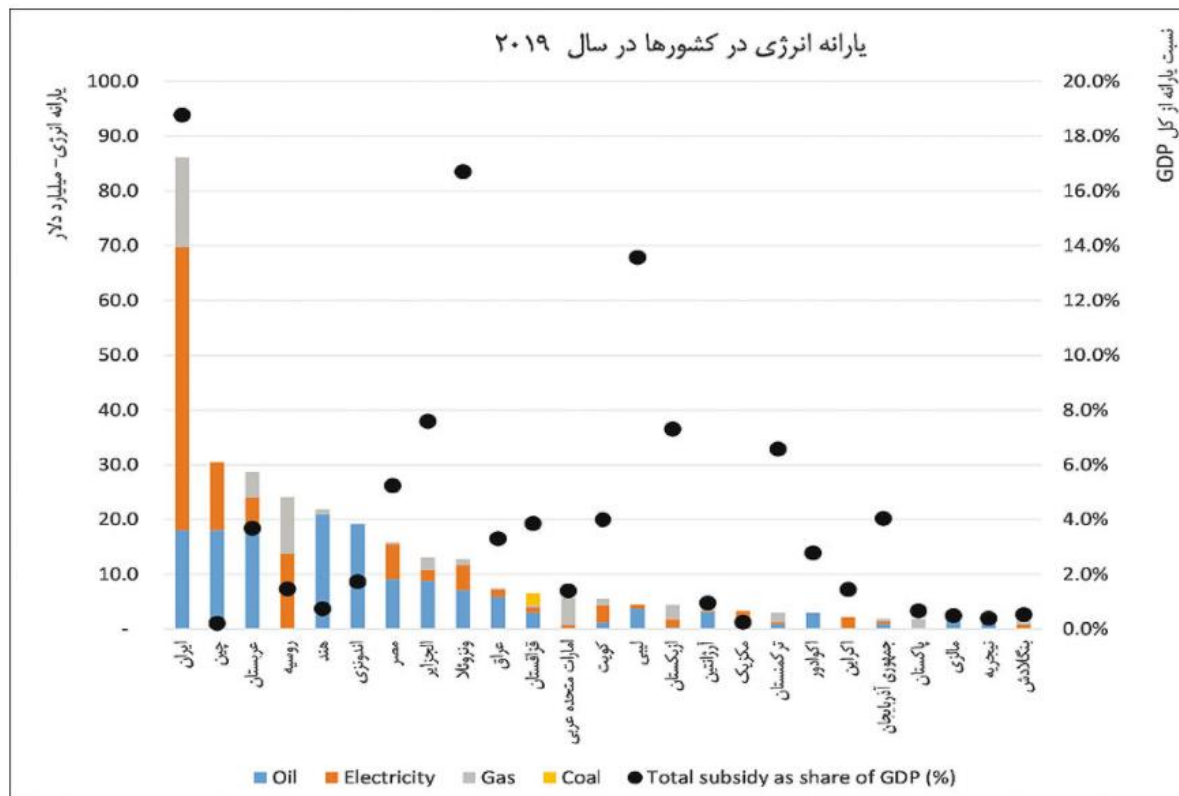
- یارانه صنعت برق ایران ۴۶ درصد یارانه برق کل جهان می باشد:

جدول یارانه پرداختی برق در روسیه و چین و ایران در سال ۲۰۱۹

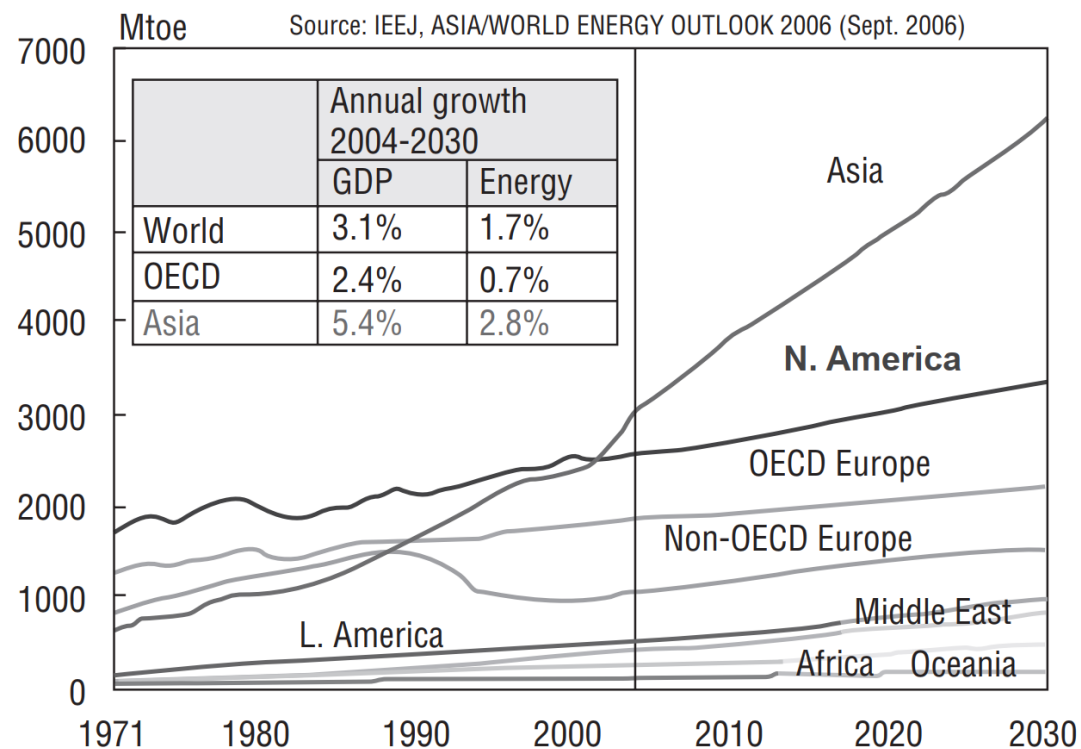
یارانه برق (میلیارد دلار)	جمعیت	
۱۳	۱۴۵ میلیون نفر	روسیه
۱۲	۱.۴ میلیارد نفر	چین
۵۱	۸۰ میلیون نفر	ایران

- برق ارزان در ایران به واسطه بازدهی نسبتا خوب و یارانه بالا ← تقاضای بالا ← پارادوکس بازدهی انرژی
- ← کمبود برق در پیک بار و خاموشی ← نارضایتی و عدم توسعه نیروگاهها به واسطه این پارادوکس

پارادوکس انرژی در صنعت برق ایران



نتیجه گیری



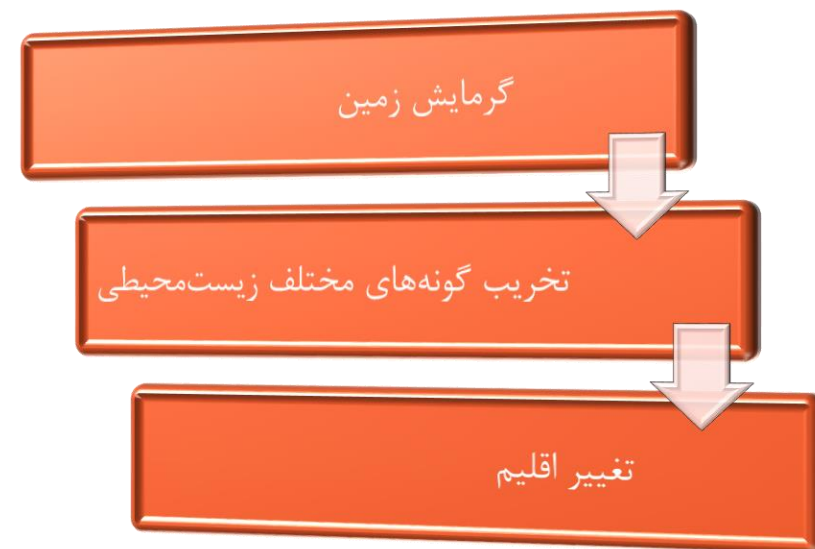
Ref: John M. Polimeni, Kozo Mayumi, Mario Giampietro, Blake Alcott, "The Jevons Paradox and the Myth of Resource Efficiency Improvements", 2008.

World

2004
10.2 billion toe
↓
2030
15.9 billion toe
(1.6-fold increase)

Asia

2004
3.1 billion toe
↓
2030
6.2 billion toe
(2.0-fold increase)



❖ نظریه ژرسکو-روگن : یک فناوری مانند یک گونه زیستی قابل دوام و زنده است، اگر و تنها اگر بتواند خود را با مازاد انرژی که توسط راه اندازی همین فناوری تولید و اکنون در حال استفاده است، تکثیر کند.

نتیجه گیری



- [1]. [Steven R. Gundry, MD, “The energy pradox what to do when your get up and go has got up and gone” , 2008.](#)
- [2]. [John M. Polimeni, Kozo Mayumi, Mario Giampietro , Blake Alcott, ” The Jevons Paradox and the Myth of Resource Efficiency Improvements”, 2008.](#)
- [3]. [Steve Sorrell, “Jevons’ Paradox revisited: The evidence for backfire from improved energy efficiency” 2009.](#)
- [4]. [DAAN P. VAN SOEST and ERWIN H. BULTE “ Does the Energy-Efficiency Paradox Exist? Technological Progress and Uncertainty”, March 2000.](#)
- [5]. [Shannon Kehoe , Heather Yutko, “ENERGY EFFICIENCY AND CONSERVATION: A PARADOX” , 2009.](#)
- [6]. [Jaume Freire-González, Ignasi Puig-Ventosa “Energy Efficiency Policies and the Jevons Paradox”, November 2015](#)
- [7]. [Stephen J DeCanio, “The efcieny paradox: bureaucratic and organizational barriers to profitable energy-saving investments”, 1998.](#)
- [8]. [Todd D. Gerarden, Richard G. Newell, Robert N. Stavins, “Assessing the Energy-Efficiency Gap”, 2015.](#)
- [9]. [Edward Tenner, “The Efficiency Paradox What big data cant do”, 2018.](#)
- [10]. [William Steinhurst, Vladlena Sabodash, “The Jevons Paradox and Energy Efficiency A Brief Overview of Its Origins and Relevance to Utility Energy Efficiency Programs” February 2011.](#)

سپاس از توجه شما



mohammad.sharifian@energy.sharif.edu



shayan.md@energy.sharif.edu