

بسمه تعالی

مروری بر روندهای کلان اقتصاد انرژی

تابستان ۱۳۹۴

حامد قدوسی

Stevens Institute of Technology

هدف از این جلسه:

۱) ارائه تصویری خلاصه و در عین حال سیستماتیک از وضعیت کلی منابع و مصارف انرژی در دنیا و شناخت برخی نیروهای اصلی که باعث تغییرات محتمل در سبب انرژی دنیا در دو دهه آینده خواهند شد.

۲) آشنایی شرکت کنندگان با منابع سناریوهای انرژی و ترجمه یافته‌های آن‌ها به پیامدهای دنیای واقع

مقدمه: چند کلمه در مورد سناریوهای انرژی

- تولید سناریو کار پیچیده و پرهزینه‌ای است و تنها چند شرکت / سازمان جهانی این کار را می‌کنند.
- از جمله معروف‌ترین مدل‌های سناریو می‌توان به آژانس بین‌المللی انرژی (IEA)، شرکت نفت انگلیس (BP)، اداره اطلاعات انرژی آمریکا (EIA)، شرکت اکسون‌موبیل و هر از گاهی اوپک اشاره کرد.
- سناریوها بی‌طرفانه نیستند و گرایش‌های سیاسی / اقتصادی سازمان‌های تولید کننده روی پیش‌بینی‌های آن‌ها اثر دارد.

منابع سناریوها

[World Energy Outlook, 2015](#), International Energy Agency (IEA)

[BP Statistical Review of World Energy](#), 2014

[U.S. Energy Information Administration \(EIA\)](#), 2015

[EXXONMobil Energy Outlook, 2015](#)

[World Energy Investment Outlook](#), 2014, IEA

منابع سناریوها

[Energy Technology Perspective](#), 2015, EIA

[Global Energy Assessment \(GEA\)](#), International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), 2012

پیش‌بینی روندهای بلندمدت انرژی

- مدل‌های پایین به بالا (Bottom Up) با ساختارهای خرد
- عدم اطمینان‌های زیاد در مورد پارامترها و روندها
- استفاده از نظرات خبرگان برای تخمین پارامترها
- نتیجه نهایی بر اساس مدل‌های بهینه‌سازی و تعادل (بخشی / عمومی) اقتصادی

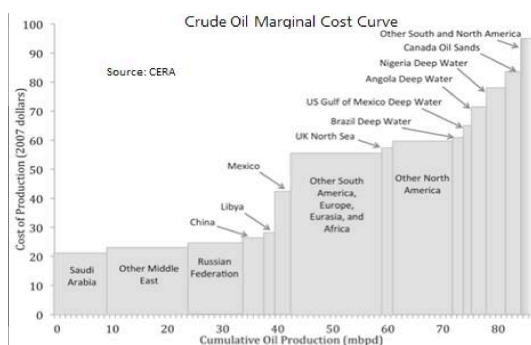
شمای ساده مدل‌های انرژی



روندهای بلندمدت انرژی: آیا امکان پیش‌بینی‌های معنی‌دار وجود دارد؟

- تغییرات تدریجی هزینه فناوری‌ها
- منحنی‌های هزینه «محدب» (فقدان مزیت مقیاس)
- هزینه سرمایه‌ای بالای زیرساخت‌ها (Infrastructure Lockin)
- چسبندگی در سطح کاربران

نمونه‌ای از منحنی هزینه محدب در بخش نفت خام



قطعی‌ترین جمله این جلسه:

تمامی پیش‌بینی‌های عددی که در اسلایدهای بعدی خواهید دید «قطعا» غلط از آب در خواهد آمد! این تنها چیزی است که می‌توانیم با قاطعیت بگوییم.

وضعیت کلان انرژی در دنیا

مقدمه تحلیلی بحث: تفکیک مصارف انرژی

- تولید برق: ذغال‌سنگ، گاز، نفت، هسته‌ای، آبی، انرژی‌های نو (عمدتا بادی و خورشیدی)
- حمل و نقل: نفت خام، سوخت‌های زیستی، برق
 - فناوری‌های آبی: گاز، سوخت‌های زیستی پیشرفته، هیدروژن
- صنعت و کسب و کار: برق، ذغال‌سنگ، گاز، نفت، ...
- گرمایش و پخت و پز خانگی: گاز، نفت، برق، زیست‌توده، ...

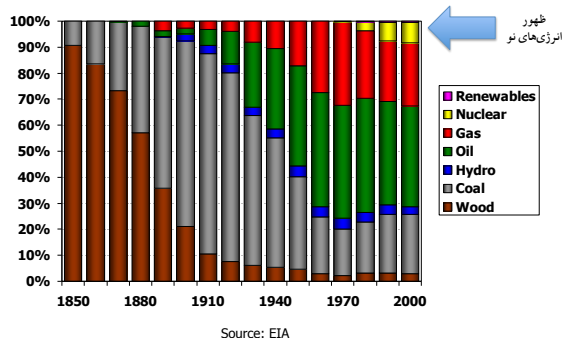
اصل کلیدی در «اقتصاد» انرژی

- جهان پراز منابع انرژی است. بر خلاف تصور موجود «منابع انرژی» به این زودی‌ها پایان نخواهد یافت.
- سوال در مورد «هزینه»، «درجه اعتماد» و «میزان کربن» موجود در منابع در دسترس است.
- در غیاب نگرانی برای **تغییرات اقلیم** (انتشار کربن) و **امنیت انرژی** انگیزه جدی برای نوآوری و تغییر ساختار انرژی وجود ندارد.

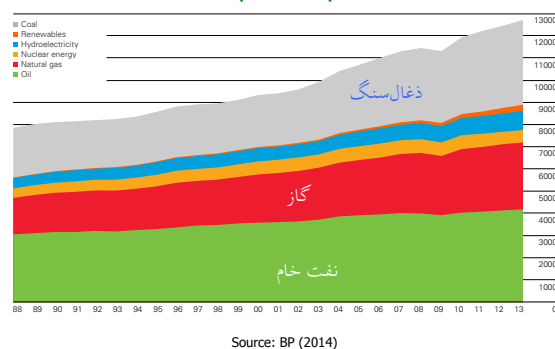
سیمرغ افسانه‌ای دنیای اقتصاد انرژی

- منبع انرژی که «**فراوان**»، «**تمیز**»، «**قابل حمل**» و «**ارزان**» باشد.
- مشکلات حامل‌های انرژی فعلی:
 - ذغال‌سنگ و گاز: فراوان و ارزان ولی کثیف
 - نفت خام: قابل حمل ولی نه چندان فراوان
 - خورشید و باد: فراوان و تمیز ولی غیرقابل حمل
 - سوخت‌های زیستی: قابل حمل و تمیز ولی غیرارزان
 - هسته‌ای: ارزان ولی غیرتمیز (مساله زباله‌ها)

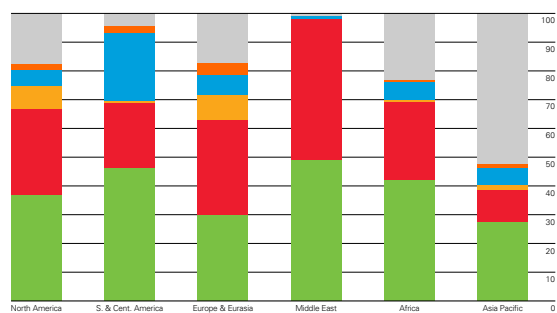
شروع از تاریخ: تغییرات سبد انرژی در آمریکا



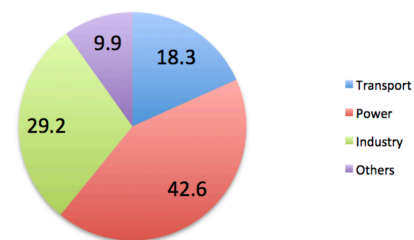
سهم انواع مختلف انرژی از کل مصرف جهانی (MTOE)



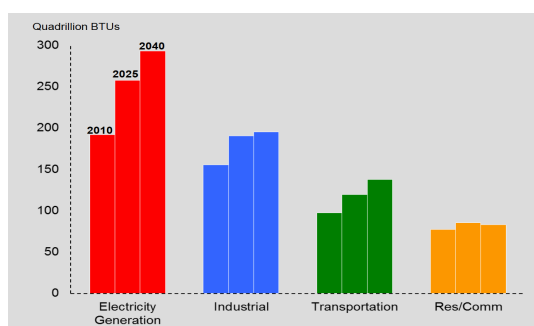
مصرف انرژی در نقاط مختلف دنیا



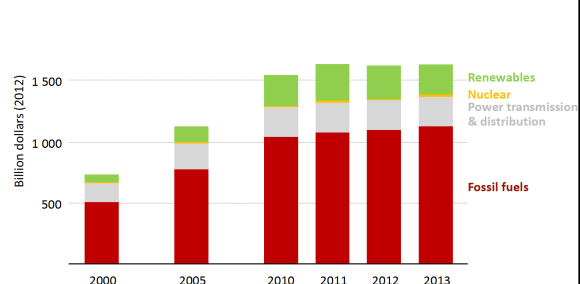
سهم بخش‌های مختلف از حامل‌های اولیه

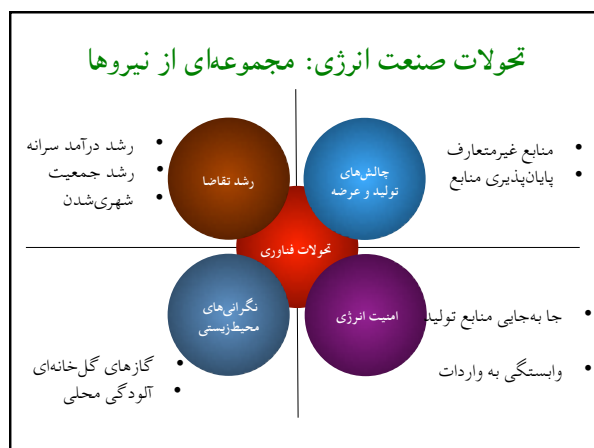


مصرف انرژی در بخش‌های مختلف: برقی شدن انرژی

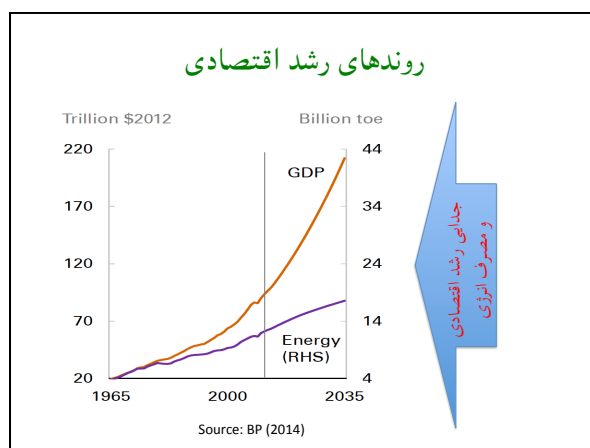
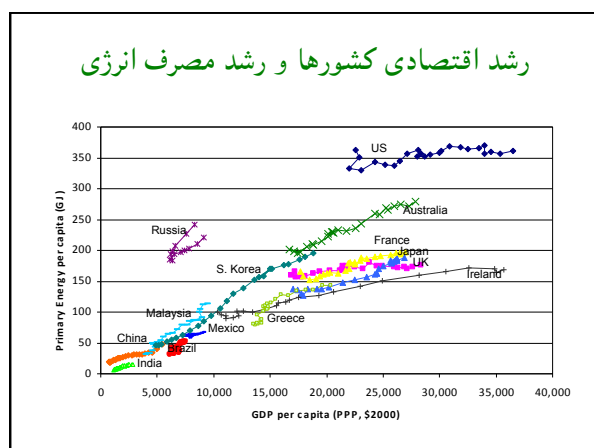


سرمایه‌گذاری در بخش‌های مختلف صنعت انرژی

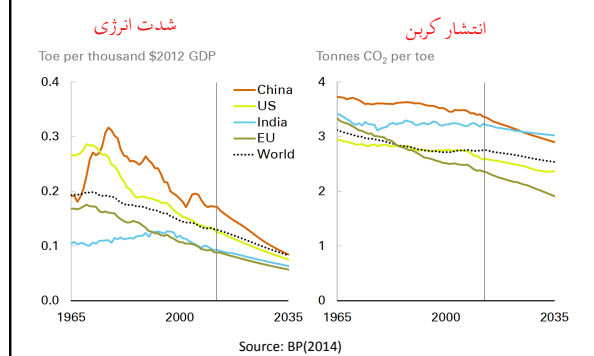




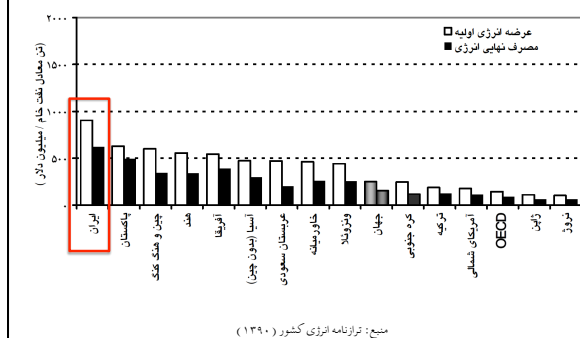
تحولات کلاسیک: رشد اقتصادی و جمعیت



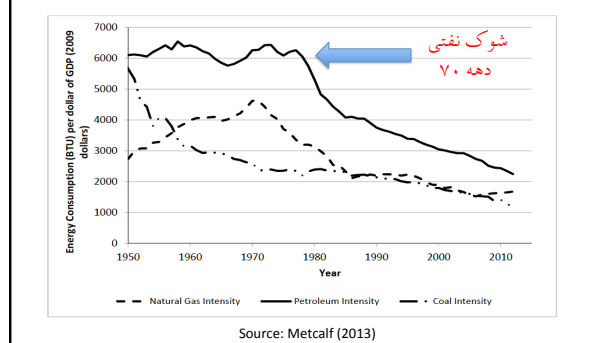
روند نزولی شدت انرژی (و کربن)



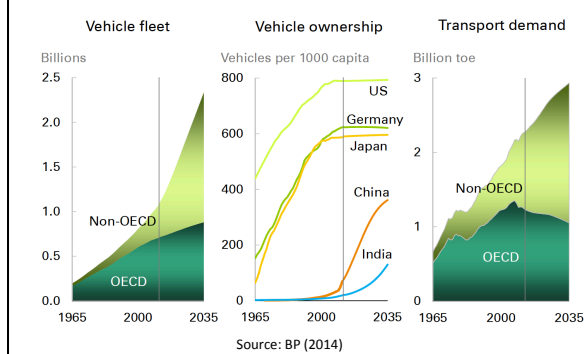
و البته وضعیت کشور خودمان:

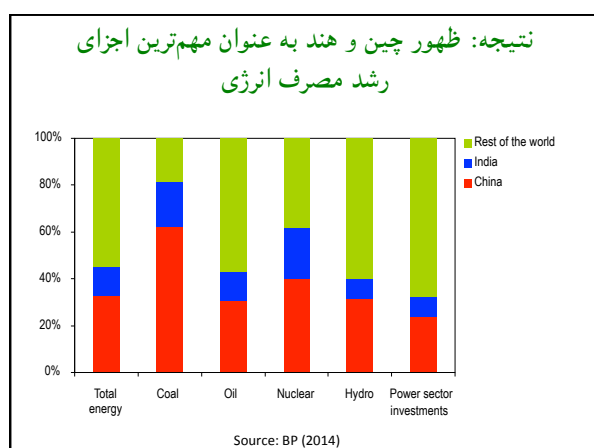
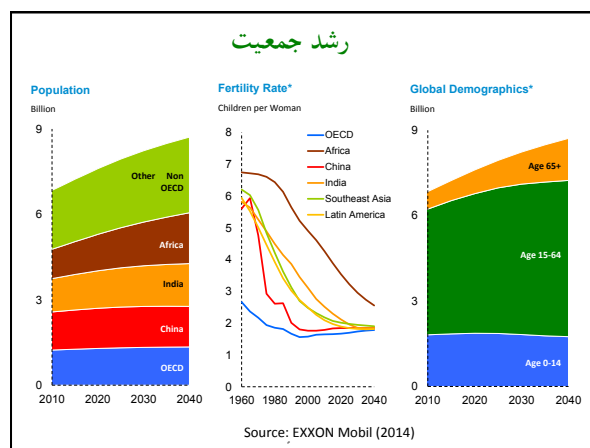
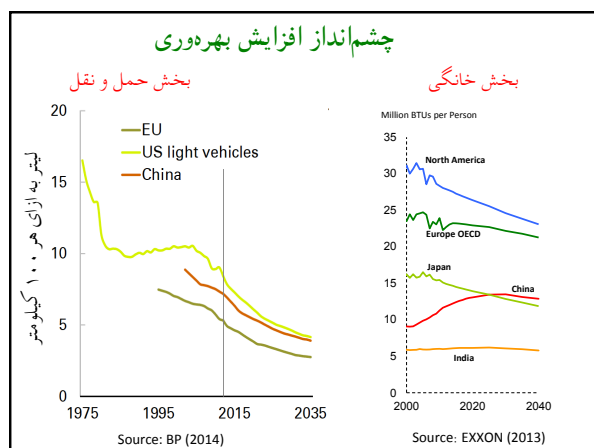


بهره‌وری در اقتصادهای پیشرفته: شدت انرژی به تفکیک سوخت‌های مختلف



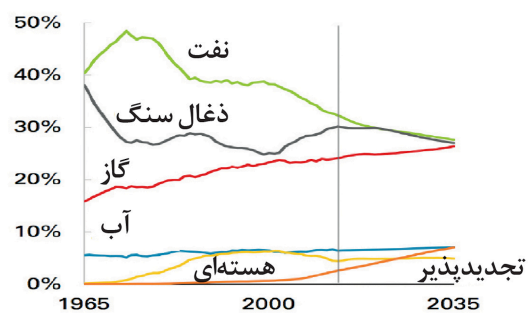
تقاضای حمل و نقل





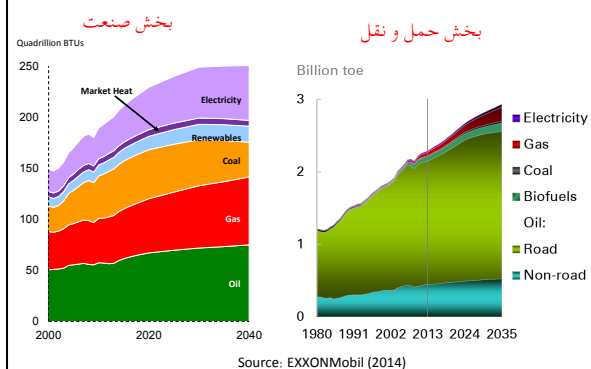
روندهای کلان گذشته و آینده تولید و مصرف

چشم‌انداز آینده حامل‌های پایه: سناریوی BP



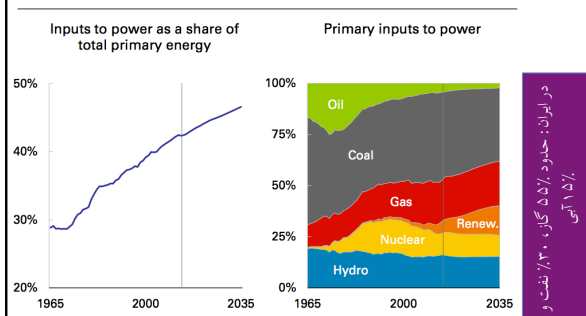
Source: BP (2014)

روندهای کلان در بخش‌های مختلف



Source: EXXONMobil (2014)

روندهای کلان در بخش‌های مختلف



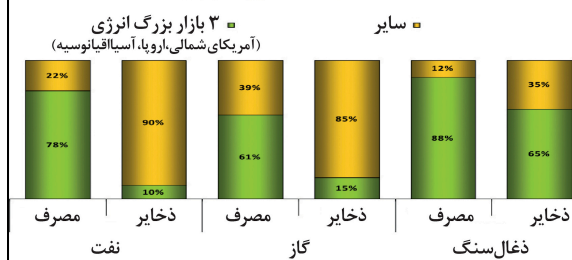
Source: BP (2014)

جغرافیای سیاسی و منابع انرژی

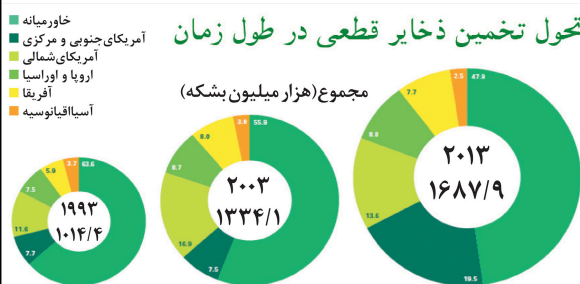
جغرافیای سیاسی انرژی

- نفت: تولید و مصرف در مکان‌های بسیار مجزا از هم
- ذغال‌سنگ: تولید و مصرف در یک‌جا
- گاز طبیعی:
 - آمریکای شمالی: مصرف و تولید در یک‌جا
 - اروپا: تولید در مناطق پرریسک
 - آسیای شرقی: وابسته به گاز واردتی

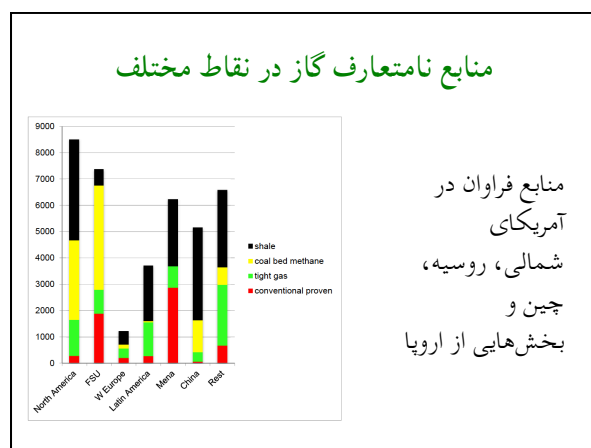
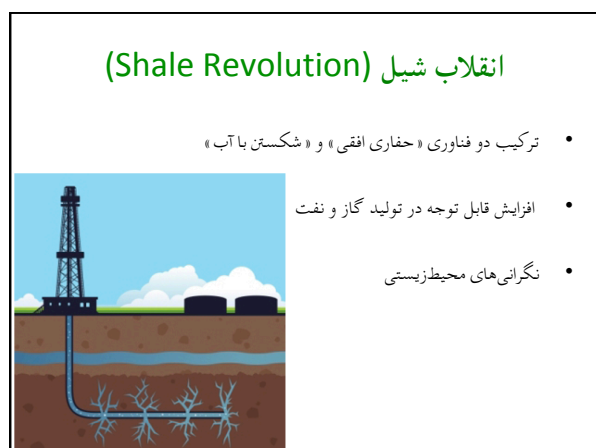
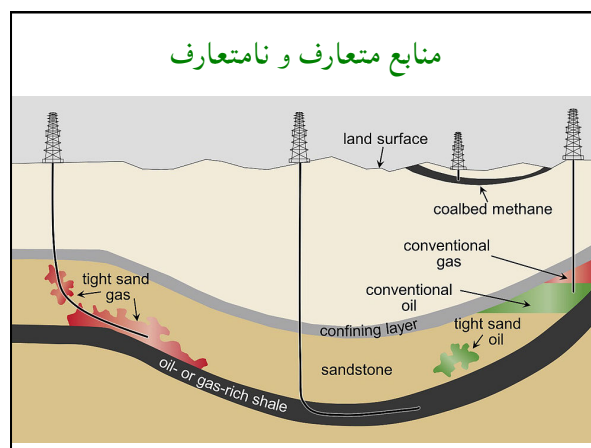
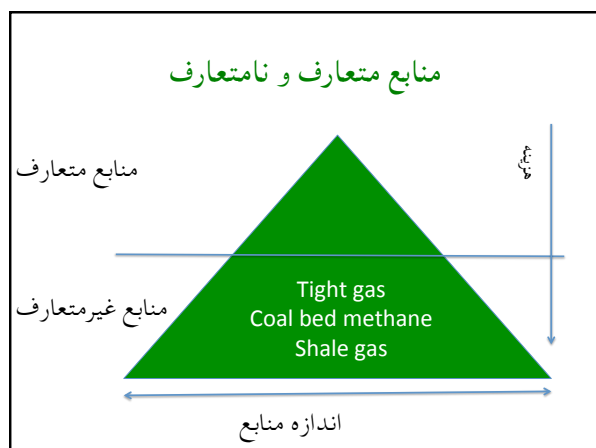
جغرافیای سیاسی انرژی



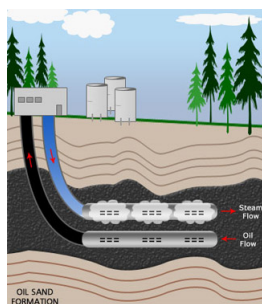
تحول تخمین ذخایر قطعی در طول زمان



انقلاب منابع غیرمتعارف (Unconventional Resources)

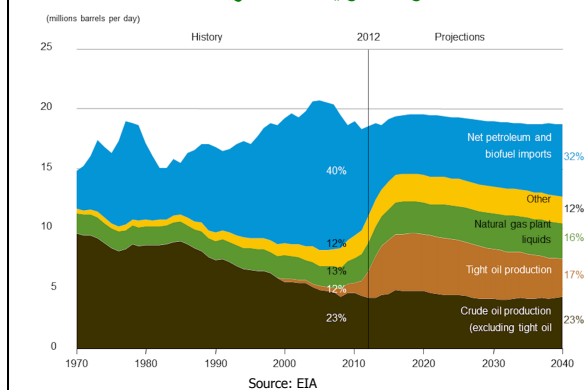


شن‌های نفتی (Tar Sand)

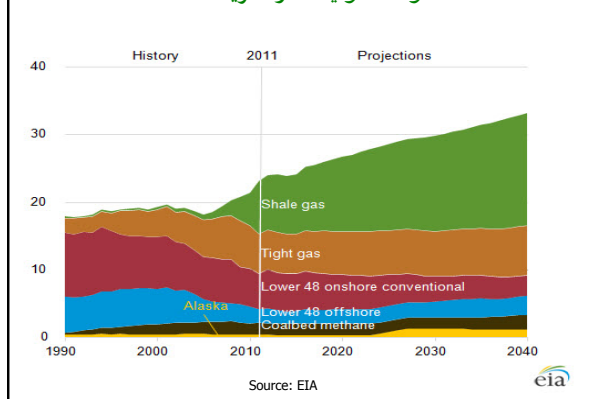


- شبیه خمیر و گل: شن و نفت آمیخته
- تنها حاوی نفت سنگین
- منابع سطح زمینی و زیر زمینی
- نیازمند تحولات تکنولوژیک برای استخراج
- هزینه تولید بالا (نزدیک ۱۰۰ دلار) ولی با عرضه تقریباً نامحدود

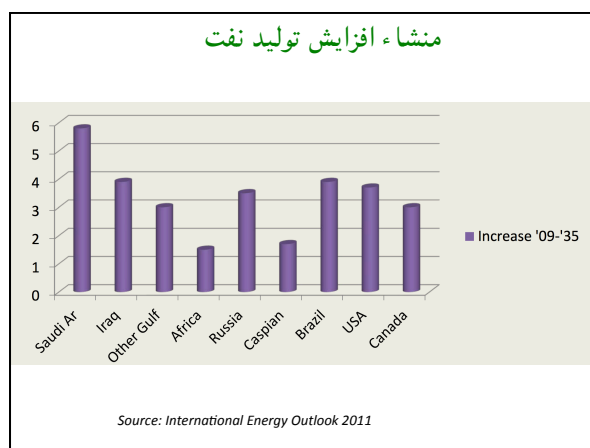
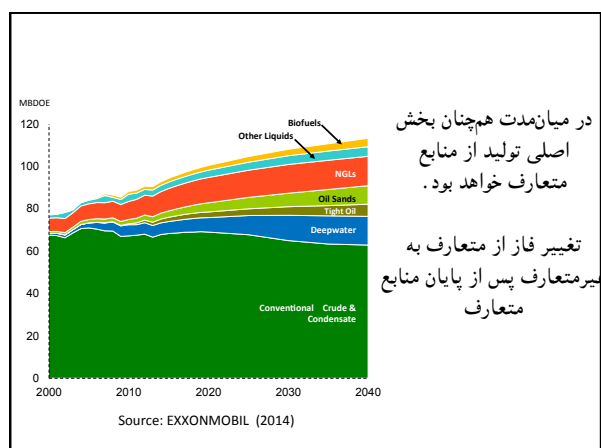
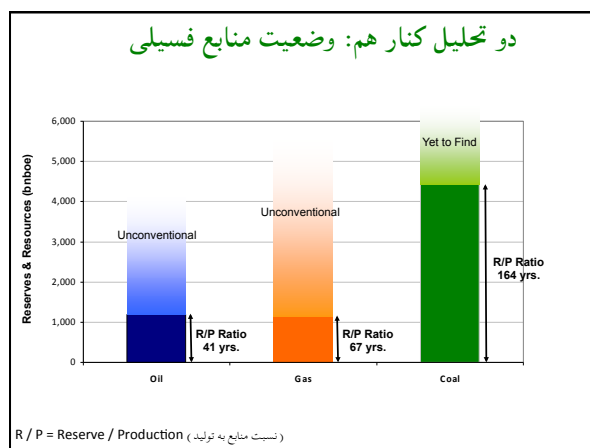
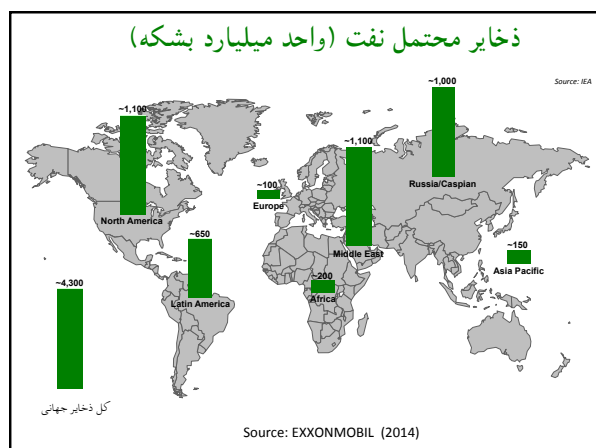
تحولات تولید نفت آمریکا

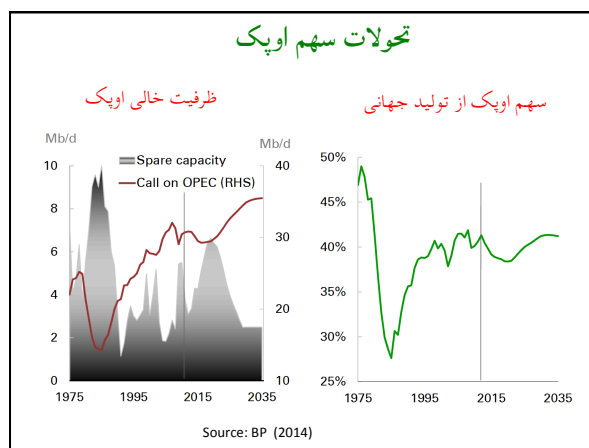
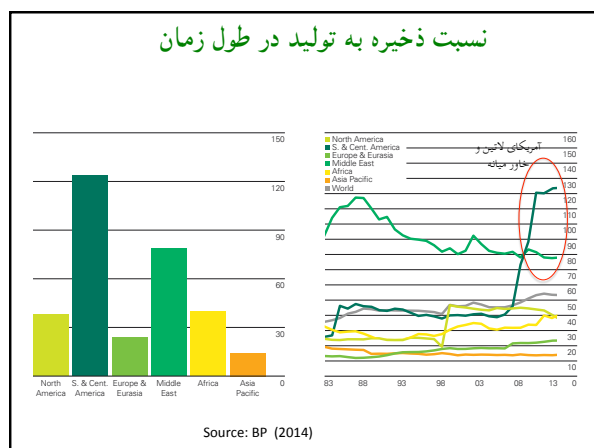


تحولات تولید گاز آمریکا



آینده انرژی با لحاظ کردن منابع غیرمتعارف





تغییردهنده‌های محتمل بازی برای سوخت‌های مایع

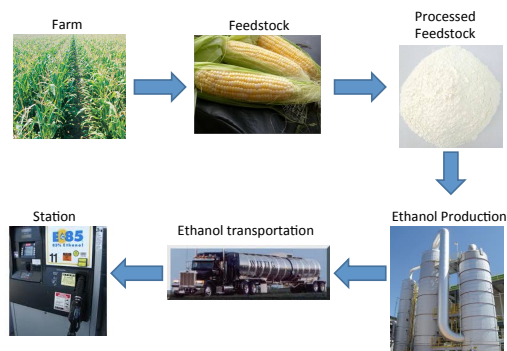
- سوخت‌های زیستی نسل دوم (Advanced Biofuels)
- باتری‌های کارا تر برای خودروهای برقی
- خودروهای هیدروژنی / گازی

سوخت‌های زیستی

سوخت‌های زیستی (بیوفیول‌ها)

- تولید اتانول (عمدتاً آمریکا و برزیل) و بیودیزل (اروپا) از گیاهان
- نسل اول و نسل دوم

سوخت‌های نسل اول



سوخت‌های نسل دوم و پیشرفته

ضایعات کشاورزی



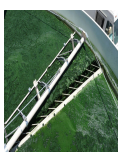
Switchgrass



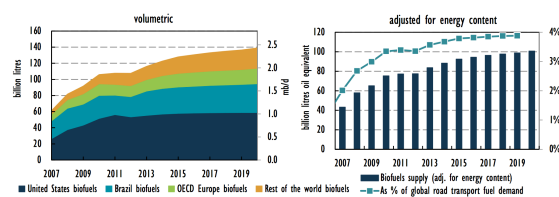
ضایعات چوب



جلیک‌ها

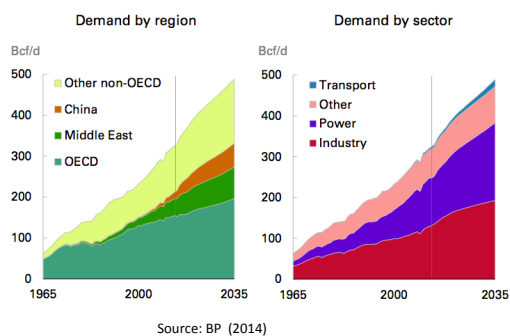


چشم‌انداز تولید جهانی سوخت‌های زیستی



Source: Renewable Energy Market Report (2014)

بازار گاز طبیعی

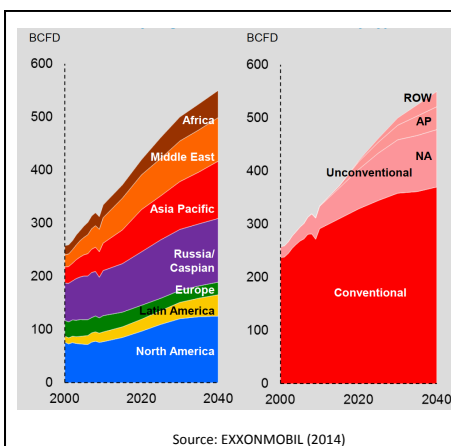


بازار گاز طبیعی

- رشد عمده این بازار به واسطه کشورهای Non-OECD خواهد بود.
- ۸۰٪ رشد تقاضا و امدار برق و واحدهای صنعتی است.
- با این که تقاضای گاز طبیعی در بخش حمل و نقل بیشترین رشد را دارد ولی سهمش در این بخش از ۳٪ فراتر نخواهد رفت.
- بر خلاف نفت خام، گاز طبیعی هنوز فاقد یک بازار جهانی است.

بازار گاز طبیعی

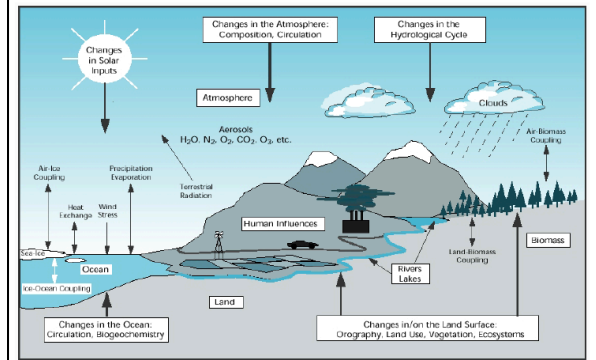
- به علت فقدان بازار جهانی قیمت‌های گاز در نقاط مختلف دنیا اختلاف فاحشی با هم دارند.
- اجازه صادرات گاز آمریکا، سرمایه‌گذاری در واحدهای مایع‌سازی و در نتیجه رشد سهم گاز مایع در مقایسه با CNG باعث ادغام بیشتر بازارهای گاز طبیعی و نزدیک‌تر شدن قیمت‌های این محصول خواهد شد



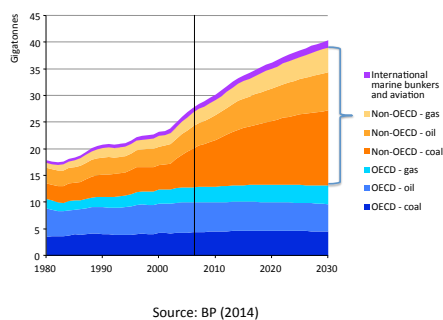
به مدد
انقلاب منابع
غیرمتعارف
تولید گاز به
صورت
کمابیش
مساوی در
نقاط مختلف
دنیا اتفاق
خواهد افتاد.

نگرانی‌های محیط‌زیستی: مساله گازهای گلخانه (Greenhouse Gases)

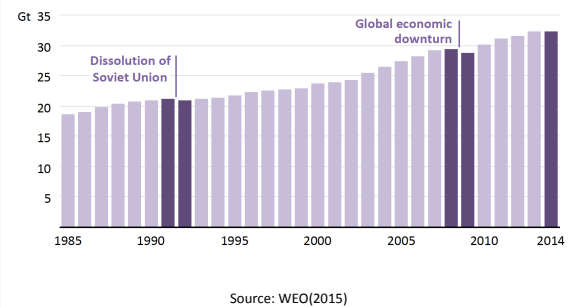
مساله گازهای گلخانه‌ای



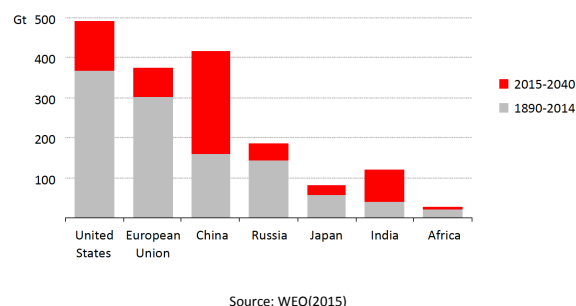
چشم‌انداز انتشار کربن



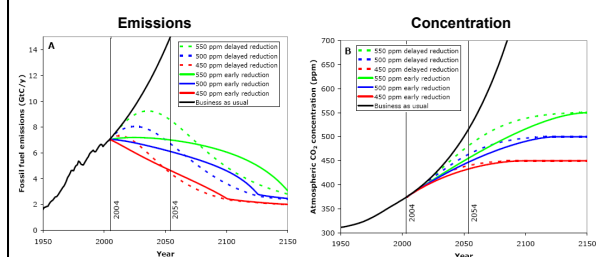
گذشته انتشار کربن



سهم کشورهای مختلف از تولید تاریخی کربن



سناریوهای انتشار و تراکم گاز در لایه اوزون



گزینه‌های فناوری برای مدیریت مساله کربن

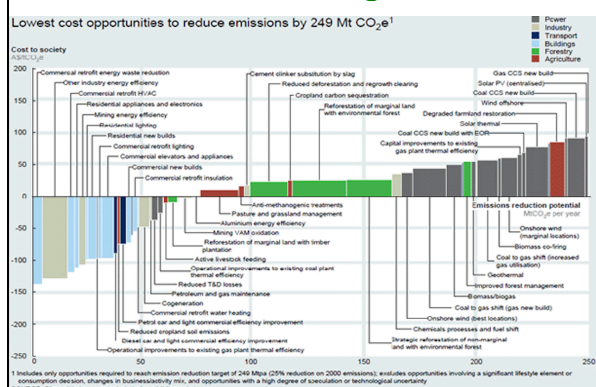
طرف تقاضا

- مدیریت مصرف
- بهره‌وری انرژی
- جمع‌آوری و نگهداری کربن

طرف عرضه

- جمع‌آوری و نگهداری کربن
- سوخت‌های زیستی نسل دوم
- خورشیدی حرارتی
- سلول‌های خورشیدی
- انرژی بادی
- انرژی هسته‌ای
- خودروهای برقی و هیدروژنی

منحنی هزینه کاهش کربن



آیا مالیات کربن محقق خواهد شد؟

روند کلی:

- اقدام سازمان ملل از اوایل دهه ۱۹۹۰
- پیمان کیوتو (۲۰۰۸-۲۰۱۲) توافق برخی کشورها برای کاهش کربن
- خروج کانادا از پیمان در سال ۲۰۱۱
- ۳۷ کشور متعهد به پسا کیوتو
- تقویت ائتلاف جهانی: بیانیه مشترک آمریکا و چین (۲۰۱۴)

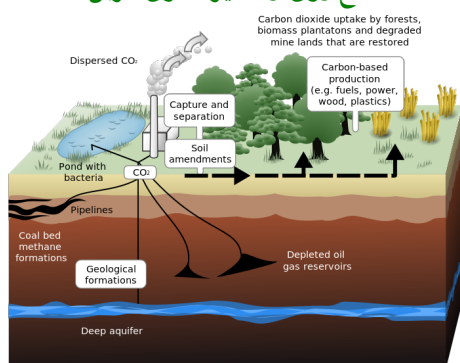
موانع:

- حمایت از سوی افکار عمومی
- انگیزه سیاستمداران: شکاف بین زمان اقدام و دوره عمر سیاسی
- وابستگی رشد اقتصادی به تولید کربن
- حوادث منحرف کننده: تروریسم، بیماری‌های فراگیر، بحران اقتصادی

جمع‌آوری و ذخیره‌سازی کربن (CCS)

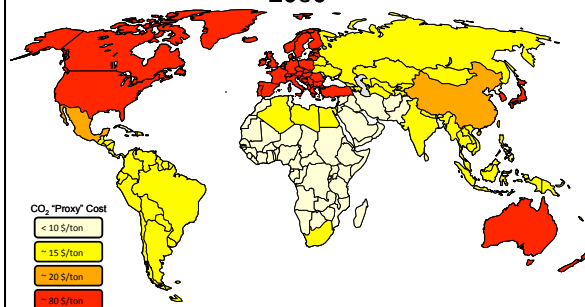
- جمع‌آوری کربن در نقطه تولید (مثل دودکش نیروگاه) و انتقال به مکان دیگری برای ذخیره‌سازی
- گزینه‌های ذخیره‌سازی: زیر اقیانوس‌ها، مخازن خالی شده نفت و گاز، تزریق به منابع نفت خام (EOR)
- تاثیر در صورت موفقیت: ادامه روند سوخت‌های فسیلی در بخش برق
- چالش‌ها: هزینه، نگرانی از نشت کربن

جمع‌آوری و ذخیره‌سازی کربن



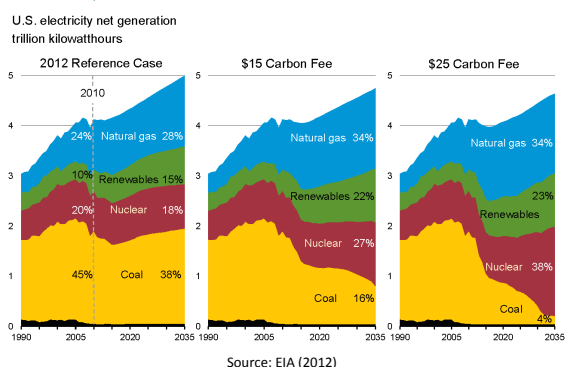
قیمت محتمل کربن در نقاط مختلف دنیا

2030



ExxonMobil 2013 Outlook for Energy

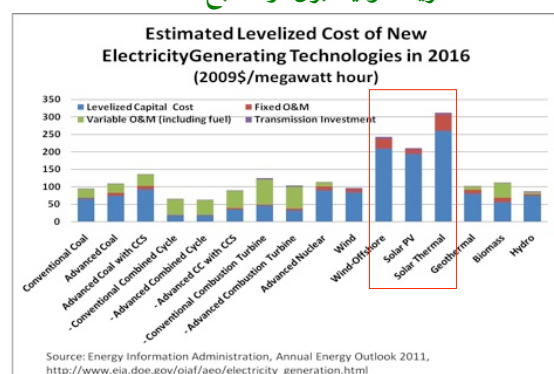
تأثیر مدیریت کربن روی ترکیب حامل‌های پایه



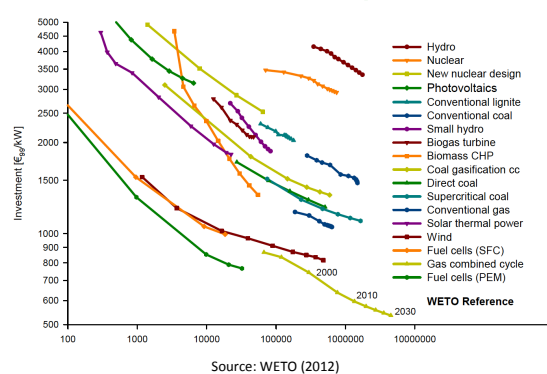
انرژی‌های نو: تلاش‌هایی برای پاسخ به نگرانی‌های

امنیت انرژی و انتشار کربن

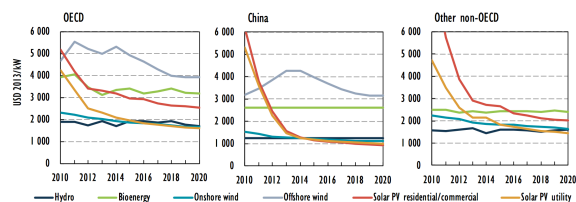
هزینه تولید برق از منابع مختلف



منحنی یادگیری انرژی‌های نو

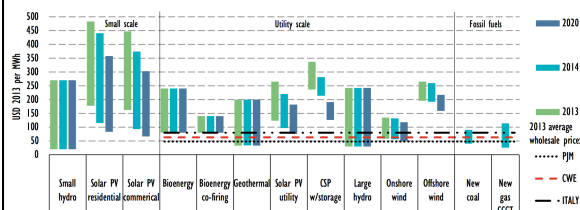


پیش‌بینی دینامیک هزینه‌ها در مناطق مختلف



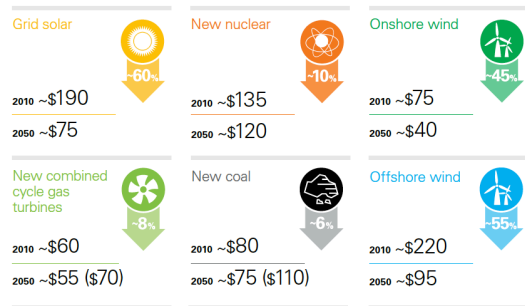
Source: Renewable Energy (2014)

چشم‌انداز هزینه تولید برق از منابع مختلف



Source: Renewable Energy (2014)

چشم‌انداز آینده

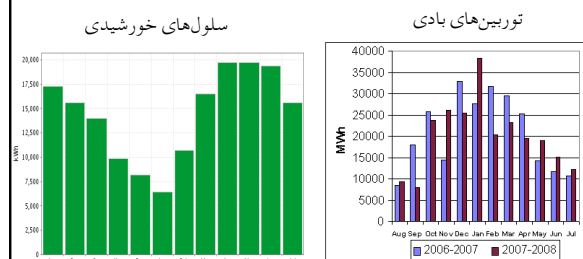


Source: BP (2014)

برخی چالش‌های فراگیر شدن انرژی‌های نو

- معضل گاه و بی‌گاه بودن (Intermittency)
- مشکل مقیاس‌پذیری: منحنی عرضه مواد اولیه
- افزایش هزینه‌های زمین و آب در مقیاس بالا
- محدود بودن چگالی انرژی
- مساله پسماندها

مثال‌هایی از رفتار فصلی انرژی‌های نو



مدیریت مساله گاه و بی‌گاهی

- مدیریت طرف مصرف (Demand Management)
- پورت‌فولیویی از فناوری‌های نوین در مناطق مختلف
- ذخیره ظرفیت احتیاطی از فناوری‌های سنتی (عمدتاً گاز)
- ذخیره‌سازی انرژی در مقیاس بالا: متمرکز و توزیع‌شده

ذخیره‌سازی برق: کلیدی‌ترین تغییردهنده بازی

- ذخیره‌سازی پمپ آبی
- ذخیره‌سازی در باتری‌های خودرو و خانگی
- هوای فشرده
- چرخ گردان
- باطری‌های بزرگ مقیاس

سرمایه‌گذاری

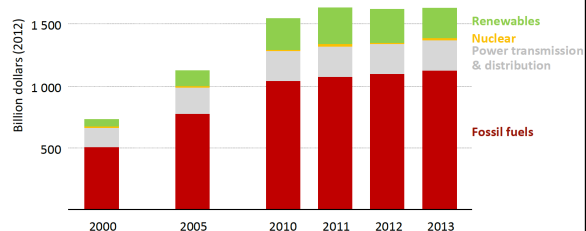
سرمایه‌گذاری در انرژی

- بخش انرژی نیازمند سرمایه‌گذاری عظیم در حوزه‌های زیر است:
 - گسترش دسترسی به انرژی در بخش‌های فقیر جهان
 - بهره‌وری انرژی برای مدیریت مصرف در بخش توسعه‌یافته
 - جای‌گزینی مبدل‌های کثیف به تمیز
 - نگهداری زیرساخت‌ها برای تولید فعلی
 - تولید حامل‌های پایه برای پاسخ به تقاضای رو به افزایش
- سرمایه‌گذاری سالیانه در تولید انرژی از سال ۲۰۰۰ تا الان **دو برابر** شده است.

سرمایه‌گذاری در انرژی

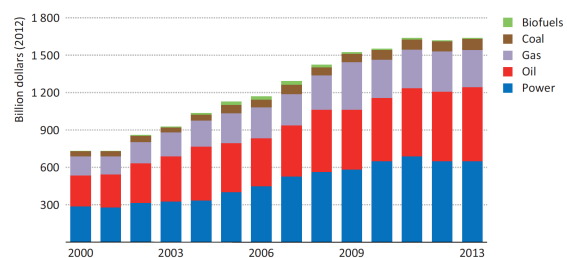
- به طور متوسط باید سالیانه ۱۶۰۰ میلیارد دلار در بخش تولید انرژی سرمایه‌گذاری شود.
- ۱۰۰۰ میلیارد دلار در حوزه نفت و گاز و ۶۰۰ میلیارد دلار در حوزه برق

سرمایه‌گذاری در انرژی

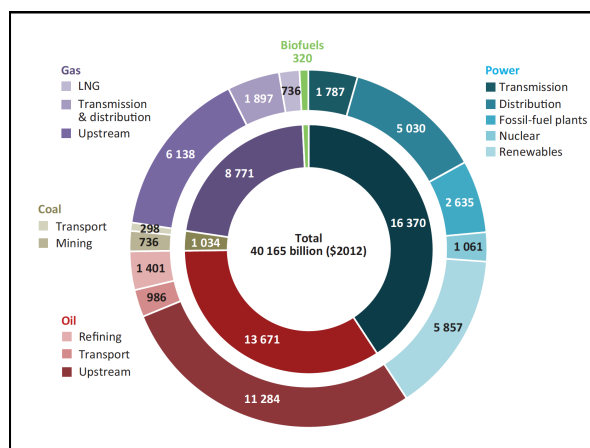
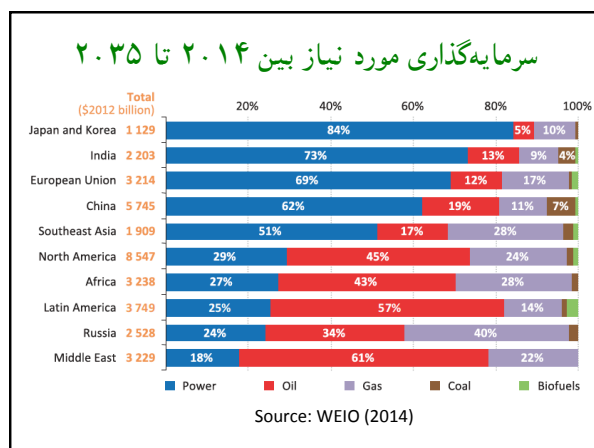


Source: WEIO (2014)

سرمایه‌گذاری در انرژی



Source: WEIO (2014)



جمع‌بندی و خلاصه بحث

پیش‌رانه‌های محقق‌شده تحولات بازار جهانی انرژی

- روندهای کلاسیک: رشد اقتصادی، رشد جمعیت، کاهش شدت انرژی
- دغدغه‌های محیط‌زیستی:
 - مالیات کربن
 - حمایت از انرژی‌های نو
 - گسترش بهره‌وری انرژی
- ظهور منابع نامتعارف (انقلاب شیل)
- اقتصادی‌تر شدن انرژی‌های نو

نکات کلیدی بحث

- متوقف شدن رشد مصرف انرژی در کشورهای توسعه یافته و انتقال موتور رشد مصرف به چین و هند و سایر اقتصادهای نوظهور
- نگرانی از انتشار گازهای گلخانه‌ای و گرمایش زمین
- کاهش انتشار کربن از مسیرهای مختلف: افزایش کارایی و کاهش مصرف، گسترش انرژی‌های نو، جذب و نگهداری کربن
- افزایش سریع سهم انرژی‌های نو، در عین محدود ماندن سهم کلی آنها

نکات کلیدی بحث

- انقلاب منابع نامتعارف و عرضه نسبتاً نامحدود منابع متعارف و نامتعارف نفت و گاز
- حفظ سهم مسلط نفت خام در بازار سوخت‌های مایع در سناریوی محتمل در عین کاهش سهم نسبی نفت خام در سبد تامین انرژی
- افزایش سهم گاز طبیعی
- کاهش سهم و خروج تدریجی ذغال‌سنگ از سبد تولید (مگر تحت سناریوی CSS موفق)

عوامل کلیدی عدم قطعیت در پیش‌بینی‌ها

- جهش‌های پیش‌بینی‌نشده در فناوری: انرژی هسته‌ای امن، ذخیره‌سازی کربن، زیست‌سوخت‌های نسل دوم، خودروهای هیدروژنی و خورشیدی، ذخیره‌سازی مقیاس بزرگ برق، ...
- تغییر رشد GDP در کشورهای در حال توسعه
- تغییر مالیات کربن و سیاست‌های حمایتی از انرژی‌های نو (خصوصاً در چین)
- عوامل سیاسی و ژئوپولیتیک

نکات کلیدی بحث

- افزایش سهم بخش برق و گسترش سیستم‌های توزیع‌شده و هوشمند در نظام عرضه و تقاضای برق
- ظرفیت‌سازی‌های جدید بخش برق عمدتاً در بخش انرژی‌های نو
- تغییرات در ژئوپولیتیک تولید و مصرف انرژی خصوصاً در بخش گاز
- و نکته آخر: تا اطلاع ثانوی «نفت خام» و «انرژی‌های نو» اصولاً رقیب یا جای‌گزین جدی هم نیستند!!