

تأسیس ۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

در رشته مکانیک تبدیل انرژی

بهبود عملکرد سیکل جذبی با انرژی خورشیدی

نگارش:

مهران تقی پور

استادان راهنما:

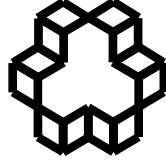
دکتر مجید بازارگان

دکتر سیروس آقاجفی

اللَّهُمَّ صَلِّ عَلَى مُحَمَّدٍ

تقدیم به پدر بزرگوار و مادر مهربانم

آن دو فرشته ای که از خواسته‌هایشان گذشتند،
سختی‌ها را به جان خریدند
و خود را سپر بلای مشکلات و ناملایمات کردند
تا من به جایگاهی که اکنون در آن ایستاده‌ام برسم.



دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مکانیک

تأییدیه هیات داوران

هیئت داوران پس از مطالعه پایان نامه و شرکت در جلسه دفاع از پایان نامه تهیه شده تحت عنوان:
بهبود عملکرد سیکل جذبی با انرژی خورشیدی

توسط آقای مهران تقی پور صحت و کفایت تحقیق انجام شده را برای اخذ درجه کارشناسی ارشد
در رشته: مکانیک تبدیل انرژی با رتبه مورد تأیید قرار می دهند.

۱- استاد راهنما آقای دکتر مجید بازارگان امضاء

.....

۲- استاد راهنما آقای دکتر سیروس آقاجفی امضاء

.....

۳- ممتحن داخلی آقای دکتر علی اشرفی زاده امضاء

.....

۴- ممتحن داخلی آقای دکتر محمد مهدی هیهات امضاء

.....

۵- نماینده تحصیلات تکمیلی آقای دکتر علی اشرفی زاده امضاء

.....

دانشکده

اظهار نامه دانشجو

موضوع پایان نامه: بهبود عملکرد سیکل جذبی با انرژی خورشیدی

استادان راهنما: دکتر مجید بازارگان و دکتر سیروس آقاجفی

نام دانشجو: مهران تقی پور

شماره دانشجویی: ۹۰۰۲۰۷۴

این جانب **مهران تقی پور** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی دانشکده مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در این پایان نامه توسط شخص این جانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده مورد تأیید است، و در موارد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. بعلاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط این جانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان نامه چارچوب (فرمت) مصوب دانشگاه را به طور کامل رعایت کرده‌ام.



امضاء دانشجو:

تاریخ:

حق چاپ و تکثیر و مالکیت بر نتایج

۱- حق چاپ و تکثیر این پایان‌نامه متعلق به نویسنده آن می‌باشد. هرگونه کپی‌برداری به صورت کل پایان‌نامه یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می‌باشد. ضمناً متن این صفحه نیز باید در نسخه تکثیرشده وجود داشته باشد.

۳- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می‌باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست. همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

از زحمات و راهنمایی‌های استادان ارجمند

جناب آقای دکترمجید بازارگان و جناب آقای دکتر سیروس آقاجفی

و حمایت مالی جناب آقای ارشادی فر و

راهنمایی‌های دوست عزیزم جناب آقای محمد انصاری

صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم.

چکیده:

در دهه‌های اخیر به علت افزایش نگران‌کننده نرخ گرمایش زمین و همچنین روند صعودی قیمت انرژی‌های فسیلی، توجه جهان به انرژی‌های نو و تجدید پذیر جلب شده است. در این بین انرژی خورشیدی هم اکنون بیش از انواع دیگر انرژی‌های نو مورد توجه و مصرف است. از طرفی با توجه به تابش خورشید در اغلب نقاط کشورمان می‌توان از این منبع پاک برای مصارف صنعتی و خانگی استفاده کرد. شاید بهره‌برداری از گرمای خورشید با توجه به ماهیت آن زیاد دشوار به نظر نرسد، اما استفاده از خورشید برای تولید سرما قابل تأمل است. برای تولید سرما از انرژی خورشید می‌توان از سیکل‌های جذبی استفاده کرد، که به دلیل توان ورودی پایین، گزینه‌ی مناسبی برای کوپل شدن با خورشید می‌باشند. در این بین سیکل‌های جذبی آب-آمونیاک به دلیل ساده بودن نحوه‌ی ساخت نسبت به نمونه‌های دیگر مورد مناسبی است. برای این تحقیق به منظور ساخت یک سیستم جذبی خورشیدی از سیکل تبرید جذبی پخشی استفاده شد که در واقع سیستم یخچال نفتی الکترولوکس را تشکیل می‌دهد. لذا نمونه‌ای از این یخچال از شمال کشور تهیه شد. برای انتقال حرارت به ژنراتور این دستگاه از کلکتور سهموی استفاده شد. با توجه به شار حرارتی مورد نیاز، ابعاد کلکتور طراحی و ساخته شد. در پایان نیز بازگشت سرمایه برای نمونه ساخته‌شده محاسبه شد.

کلمات کلیدی:

انرژی خورشیدی - سیکل تبرید جذبی آب-آمونیاک - کلکتور سهموی - طراحی و ساخت کلکتور - یخچال خورشیدی - بازگشت سرمایه

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست شکل‌ها.....	ث
فهرست جدول‌ها.....	ح
فهرست علامت‌ها.....	خ
فصل اول: تبرید و انرژی خورشیدی.....	۱
۱-۱ مقدمه.....	۲
۱-۲ وضعیت انرژی در جهان.....	۲
۱-۳ وضعیت انرژی در ایران.....	۴
۱-۴ رویکرد به انرژی‌های تجدیدپذیر.....	۶
۱-۵ جایگاه انرژی خورشیدی.....	۷
۱-۶ انرژی خورشیدی در ایران.....	۸
۱-۷ سیستم جذبی آب-آمونیاک.....	۱۰
۱-۸ سیکل تراکمی.....	۱۵
۱-۹ مهم‌ترین مزایای سیکل تبرید جذبی نسبت به سیکل تبرید تراکمی:.....	۱۸
۱-۱۰ اسلول‌های خورشیدی.....	۲۰
۱-۱۱ کلکتور خورشیدی.....	۲۰
۱-۱۱-۱ کلکتور صفحه تخت.....	۲۱
۱-۱۱-۲ کلکتور متمرکز کننده.....	۲۲
۱-۱۲ نتیجه‌گیری.....	۲۳
۲ فصل دوم: پژوهش‌های پیشین.....	۲۴
۲-۱ مقدمه.....	۲۵
۲-۲ سیکل تبرید جذبی.....	۲۷

۳۲	فصل سوم: طراحی و ساخت یک سیکل تبرید خورشیدی.....
۳۳	۳-۱ سیکل تبرید جذبی.....
۴۰	۳-۲ طراحی کلکتور.....
۴۳	۳-۳ تحلیل عملکرد کلکتور.....
۴۴	۳-۳-۱ فاکتور هندسه.....
۴۵	۳-۳-۲ زاویه‌ی برخورد.....
۴۹	۳-۳-۳ فاکتور قطع.....
۵۲	۳-۴ تحلیل حرارتی کلکتور.....
۵۷	۳-۵ ساخت نمونه واقعی.....
۵۷	۳-۵-۱ قالب منحنی شکل.....
۵۸	۳-۵-۲ بدنه سازه و محل لوله جاذب.....
۵۹	۳-۵-۳ لوله جاذب.....
۶۰	۳-۵-۴ بازتاب‌کننده.....
۶۱	۳-۵-۵ پمپ دستگاه.....
۶۲	۳-۵-۶ اتصالات.....
۶۲	۳-۵-۷ نتیجه.....
۶۳	فصل چهارم: بررسی عملکرد، بهبود و تجاری‌سازی نمونه ساخته‌شده.....
۶۴	۴-۱ بررسی عملکرد.....
۶۵	۴-۲ راه‌اندازی یخچال.....
۶۷	۴-۳ بازده کلکتور.....
۷۱	۴-۴ بهبود عملکرد.....
۷۲	۴-۵ تجاری‌سازی.....
۷۵	۴-۶ آنالیز خطا.....
۷۷	فصل پنجم: نتیجه‌گیری.....

۷۸ ۵- نتیجه گیری

۷۹ ۵-۲ پیشنهاد برای ادامه کار

۸۱ ۶ منابع ...

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱: پیش بینی مصرف انرژی جهانی تا سال ۲۰۳۵ بر حسب کوادریلیون بی تی یو [۶]. ۳
- شکل ۱-۲: مصرف سالیانه انرژی کشور از ۱۳۴۶ تا ۱۳۸۸ [۵]. ۵
- شکل ۱-۳: انرژی مصرفی ایران در بخش‌های مختلف در سال ۱۳۸۸ [۵]. ۵
- شکل ۱-۴: سهم منابع انرژی مصرفی در ایران در سال ۱۳۸۸ [۵]. ۵
- شکل ۱-۵: سهم انرژی‌های تجدیدپذیر جهانی در سال ۲۰۰۹ [۱۰]. ۷
- شکل ۱-۶: میزان انرژی خورشیدی دریافتی در نقاط مختلف ایران [۱۶]. ۱۰
- شکل ۱-۷: سیکل سردسازی آب-آمونیاک ۱۳
- شکل ۱-۸: طرحواره سیکل تبرید تراکمی [۲۷] ۱۶
- شکل ۱-۹: نمودار T-S سیکل تبرید تراکمی [۲۷] ۱۷
- شکل ۱-۱۰: طرحواره و نمودار $T - S$ سیکل تبرید تراکمی واقعی [۲۷] ۱۸
- شکل ۱-۱۱: کلکتور صفحه تخت ۲۲
- شکل ۱-۱۲: کلکتور متمرکز کننده ۲۳
- شکل ۱-۲: سیکل تبرید جذبی پخشی [۳۵] ۲۸
- شکل ۲-۲: طرح‌بندی سه ژنراتور [۳۶] ۲۹
- شکل ۲-۳: دو نمونه اواپراتور موجود [۳۸] ۳۰
- شکل ۱-۳: سیکل ساخته‌شده توسط دو دانشمند سوئدی [۴۲] ۳۳
- شکل ۲-۳: نمودار دما بر حسب تنش سطحی [۴۳] ۳۴
- شکل ۳-۳: یخچال نفتی الکترولوکس ۳۵
- شکل ۳-۴: مسیر عبور سیال داغ در ژنراتور ۳۷
- شکل ۳-۵: مبدل حرارتی تعبیه شده در ژنراتور ۳۷
- شکل ۳-۶: پارامترهای هندسی کلکتور سهموی لوله خلا [۴۶] ۴۱
- شکل ۳-۷: منحنی کلکتور ۴۲
- شکل ۳-۸: قالب منحنی کلکتور ۴۳
- شکل ۳-۹: سطوح قابل دید کلکتور سهموی [۴۶] ۴۴
- شکل ۳-۱۰: موقعیت خورشید نسبت به زمین [۵۰] ۴۶
- شکل ۳-۱۱: مقادیر مختلف زاویه‌ی خورشید [۵۰] ۴۸
- شکل ۳-۱۲: زاویه‌ی ارتفاع βa و زاویه‌ی گرای خورشید ϕ [۵۰] ۴۸

- شکل ۳-۱۳: پارامترهای پرتو خورشید و سطح کلکتور [۵۲] ۵۰
- شکل ۳-۱۴: تغییرات فاکتور قطع بر حسب خطای تصادفی کلی [۵۳] ۵۱
- شکل ۳-۱۵: تغییرات فاکتور قطع بر حسب خطای تصادفی کلی توسط کد متلب ۵۲
- شکل ۳-۱۶: طرح لوله‌های جاذب شیشه‌ای و مسی ۵۳
- شکل ۳-۱۷: منحنی ساخته‌شده کلکتور ۵۷
- شکل ۳-۱۸: اتصال سه قالب ساخته‌شده ۵۷
- شکل ۳-۱۹: سازه‌ای برای نگهداری لوله جاذب ۵۸
- شکل ۳-۲۰: اسکلت فلزی سازه ۵۸
- شکل ۳-۲۱: مشخصات لوله جاذب شیشه‌ای ۵۹
- شکل ۳-۲۲: پایه‌های آلومینیومی ۵۹
- شکل ۳-۲۳: ترموکوپل‌های تعبیه‌شده ۶۰
- شکل ۳-۲۴: طلق آینه‌ای به همراه روکش ۶۰
- شکل ۳-۲۵: شکل شماتیک پمپ دنده‌ای ۶۱
- شکل ۳-۲۶: پمپ به همراه ترانس ۶۲
- شکل ۳-۲۷: سیکل تبرید جذبی خورشیدی ساخته‌شده ۶۲
- شکل ۴-۱: منحنی دبی بر حسب دور موتور ۶۴
- شکل ۴-۲: تست روز اول مرداد ۶۵
- شکل ۴-۳: تست روز دوم مرداد ۶۵
- شکل ۴-۴: سیکل یخچال نفتی ۶۶
- شکل ۴-۵: تست روز یازدهم شهریور ۶۷
- شکل ۴-۶: تست روز دوازدهم شهریور ۶۷
- شکل ۴-۷: شار حرارتی دریافتی از خورشید ۶۸
- شکل ۴-۸: رابطه‌ی بازده کلکتور ۶۹
- شکل ۴-۹: مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی ۷۱
- شکل ۴-۱۰: روند بازگشت سرمایه ۷۵

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۳: مشخصاتی که از طریق نتایج آزمایشگاهی به دست آمده است [۴۲] ۳۶
- جدول ۲-۳: مشخصات روغن موجود در کلکتور ۳۸
- جدول ۳-۳: مقادیر به کاررفته در نسبت تمرکز ۴۲
- جدول ۴-۳: مقادیر به دست آمده برای شعاع منحنی کلکتور ۴۲
- جدول ۵-۳: ابعاد قالب منحنی شکل ۴۳
- جدول ۶-۳: پارامترهای معادله‌ی ۱۷-۳ ۴۴
- جدول ۷-۳: مقادیر جدول ۳-۳ ۴۵
- جدول ۸-۳: مقادیر زاویه‌ی برخورد [۴۹] ۴۵
- جدول ۹-۳: مقادیر زاویه‌ی تمایل در ایام سال [۵۰] ۴۶
- جدول ۱۰-۳: مشخصات معادله ۲۳-۳ ۴۷
- جدول ۱۱-۳: مقادیر به دست آمده برای زوایای خورشیدی ۴۹
- جدول ۱۲-۳: علائم معادله‌ی ۲۹-۳ ۴۹
- جدول ۱۳-۳: مقادیر معادله‌ی ۲۹-۳ ۵۰
- جدول ۱۴-۳: علائم معادله‌ی ۳۰-۳ ۵۱
- جدول ۱۵-۳: پارامترهای طراحی ۵۴
- جدول ۱۶-۳: توضیحات معادله ۳۸-۳ ۵۵
- جدول ۱۷-۳: مشخصات طلق آینه ۶۰
- جدول ۱-۴: معادلات بازده کلکتور ۶۹
- جدول ۲-۴: مقادیر خطای سطح ۷۰
- جدول ۳-۴: شار و ساعات آفتابی در ماه‌های مختلف ۷۴
- جدول ۴-۴: مقادیر بازگشت سرمایه ۷۴

فهرست علامتها

T_{wall}	دمای دیواره‌ی روغن
T_{aw}	دمای محلول آب-آمونیاک
h_{aw}	ضریب جابجایی آب-آمونیاک
D_{in}	قطر داخلی
K_{tube}	ضریب هدایت لوله
Q	گرمای منتقل شده
U_m	سرعت متوسط
Re_D	عدد رینولدز
$x_{fd,h}$	طول ورودی
μ_m	ویسکوزیته محلول
x	نسبت مولی آمونیاک به کل محلول
y	نسبت جرمی آمونیاک به کل محلول
ρ_m	چگالی محلول
T_{sol}	دمای محلول
K_{aw}	ضریب هدایت آب-آمونیاک
NU_{aw}	نوسلت آب-آمونیاک
Pr	پرانتل
Q_{oil}	حرارت منتقل شده به روغن
h_{oil}	ضریب جابجایی روغن
k_{copper}	ضریب هدایت حرارتی مس
$T_{in,oil}$	دمای ورودی روغن
$T_{out,oil}$	دمای خروجی روغن
m	دبی جرمی روغن
CR	نسبت تمرکز
θ	زاویه برخورد
φ_r	زاویه لبه

W_a	عرض رویه کلکتور
$D_{r,g}$	قطر جاذب شیشه‌ای
f	فاصله‌ی کانونی
η_o	بازده نوری
ρ	ضریب انعکاس آینه
τ	ضریب عبور از پوشش شیشه‌ای
α	ضریب جذب‌کنندگی جاذب
A_f	فاکتور هندسه
γ	فاکتور قطع
h_p	فاصله‌ی عمودی انحنای داخلی کلکتور تا لبه‌ی آن
δ	زاویه‌ی انحراف
N	روز سال
h	زاویه‌ی ساعتی
θ_s	زاویه‌ی سمت الراس
β_a	زاویه ارتفاع
λ	عرض جغرافیایی
ϕ	زاویه‌ی گرای خورشید
β	خطای زاویه‌ی غیر هم محوری
dr	خطای محل قرارگیری جاذب
$h_{r,c-a}$	ضریب تشعشع سطح شیشه‌ای با محیط
$h_{r,r-c}$	ضریب تشعشع سطح جاذب تا پوشش شیشه‌ای
h_w	ضریب جابجایی ناشی از وزش باد
$\varepsilon_{o,g}$	ضریب تابش، پوشش شیشه‌ای
σ	ثابت استفان بولتزمن
$A_{r,g}$	مساحت بیرونی لوله جاذب شیشه‌ای
$A_{o,g}$	مساحت بیرونی پوشش شیشه‌ای

K_a	ضریب هدایت حرارتی هوا
$T_{r,g}$	دمای سطح جاذب شیشه‌ای
$T_{o,g}$	دمای خارجی پوشش شیشه‌ای
	دمای محیط
h_{fi}	ضریب جابجایی سیال گرم درون کلکتور
I_{dir}	تشعشع مستقیم
I_{so}	تشعشع خارجی
I_{sc}	ثابت خورشیدی
η	بازده کلکتور
T_{fi}	دمای سیال ورودی
C_{LS}	هزینه‌ی جاری سیکل
C_{OP}	هزینه‌ی عملیاتی سالانه
C_F	هزینه سوخت
C_M	هزینه‌ی نگهداری
NAT	نرخ بازگشت سرمایه
C	هزینه کل

۱ فصل اول: تبرید و انرژی خورشیدی

با توجه به پایان‌پذیر بودن منابع سوخت‌های فسیل، بالا بودن آلاینده‌های تولیدشده در اثر مصرف این سوخت‌ها و هزینه بالای استخراج این منابع، امروزه استفاده از انرژی‌های نو بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. به طور کلی منابع انرژی را می‌توان به دو گروه تقسیم‌بندی نمود: منابع انرژی تجدیدپذیر و منابع انرژی تجدیدناپذیر. انرژی در منابع تجدیدپذیر از جریان تکراری یا پیوسته انرژی که در محیط‌زیست به طور طبیعی اتفاق می‌افتد، به دست می‌آید [۱]؛ به عبارت دیگر، انرژی تجدیدپذیر عبارت از هر نوع منبع انرژی است که بدون آنکه مخازن تامین کننده آن رو به زوال روند، مورد استفاده قرار گیرد [۲]. علاوه بر انرژی خورشیدی، انرژی باد، انرژی زمین گرمایی^۱، زیست توده^۲، انرژی آب‌های پشت سد و جزرومد دریا نیز از این دسته محسوب می‌گردند.

ولی انرژی در منابع تجدیدناپذیر از منابع استاتیکی که تنها می‌تواند با دخالت بشر آزاد شود و تا قبل از آن به صورت ذخیره است، تأمین می‌گردد. انرژی هسته‌ای و سوخت‌های فسیلی از قبیل زغال‌سنگ، نفت و گاز طبیعی در این گروه قرار دارند [۲]. شایان ذکر است، گاز هیدروژن می‌تواند هم از منابع تجدیدپذیر و هم از منابع تجدیدناپذیر تولید شود. اما امروزه تولید گاز هیدروژن از منابع تجدیدپذیر به سرعت مراحل توسعه و رشد خود را می‌پیماید.

۲-۱ وضعیت انرژی در جهان

سوخت‌های مناسب تر فسیلی نظیر نفت و گاز اکنون در حال تمام شدن هستند و در ظرف چند دهه دیگر حتی باقیمانده نفت مناطق نفت‌خیز به پایان می‌رسد. میزان مصرف کنونی به اندازه‌ای زیاد است که هیچ اکتشاف قابل تصویری قادر به تغییر این سرنوشت نیست. اکتشافات جدید تنها می‌توانند این تاریخ را چند دهه دیگر به تأخیر بی‌اندازند [۳]. بدون تردید، مصرف مداوم هر یک از سوخت‌های فسیلی یا هسته‌ای با آهنگی رشد یابنده، در درازمدت، مخاطره‌های زیستی مشهود و هزینه‌های اقتصادی و اجتماعی فزاینده‌ای را به وجود می‌آورد، که لزوم گسترش منابع دیگر انرژی را قطعی می‌کند [۳].

طبق گزارش اداره اطلاعات انرژی آمریکا^۳ مصرف جهانی نفت در سال ۲۰۰۹ برابر با ۳۸۸۲/۱ تن بوده که نسبت به سال قبل از آن ۱/۷٪ کاهش نشان می‌دهد. در همین سال مصرف گاز طبیعی نیز با ۱/۲٪ کاهش نسبت به سال ۲۰۰۸ به ۲۹۸۷ میلیارد مترمکعب رسید؛ که علت اصلی کاهش مصرف در سال ۲۰۰۹، بحران‌های اقتصادی و روند رو به افزایش قیمت حامل‌های انرژی بود؛ اما این روند

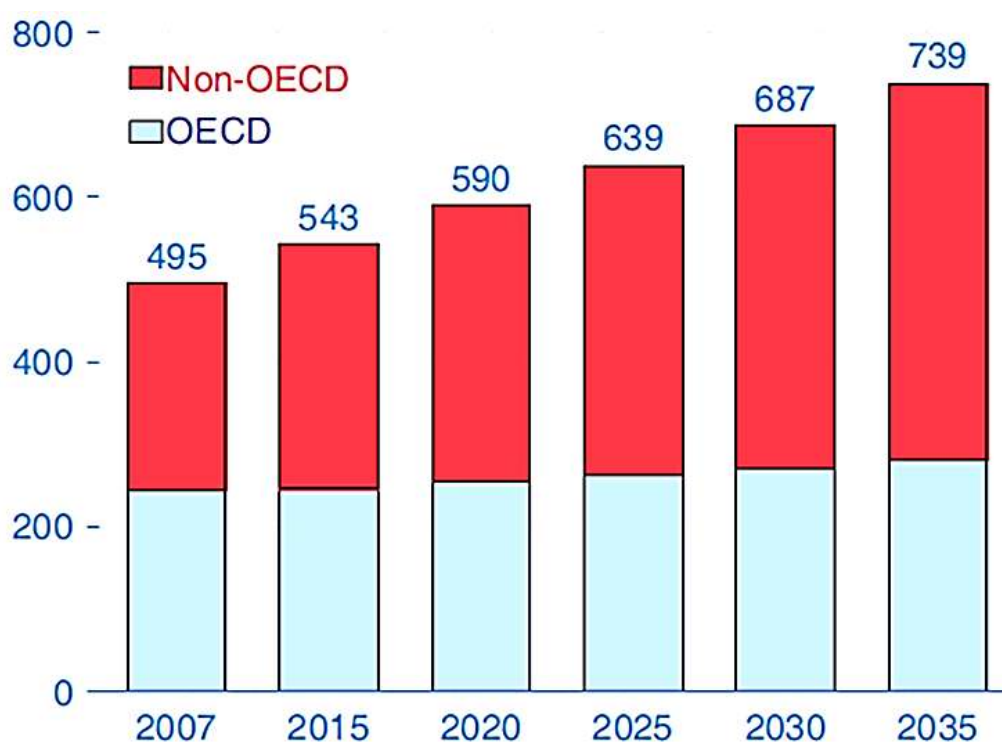
¹ Geothermal Energy

² Biomass

³ EIA – Energy Information Administration

کاهش در ابتدای سال ۲۰۱۰ ادامه نیافت و بار دیگر مصرف سوخت‌های فسیلی در جهان افزایش یافت [۴].

ذخایر تثبیت‌شده نفت و گاز طبیعی جهان در سال ۲۰۰۹ به ترتیب ۳۳۳۱/۱ میلیارد بشکه و ۱۸۷/۵ تریلیون مترمکعب می‌باشند [۵]. بر اساس پیش‌بینی انجام‌شده، انتظار می‌رود که قوانین و سیاست‌های جاری کشورها، در رابطه با انرژی طی دوره ۲۰۰۷ تا ۲۰۳۵ همچنان بدون تغییر باقی بماند. بر اساس همین سناریو مصرف انرژی بازارهای جهان، ۴۹٪ طی این دوره افزایش یافته و کل مصرف انرژی جهان از ۴۹۵ کوادریلیون^۱ بی تی یو در سال ۲۰۰۷ با ۲۰٪ رشد به ۵۹۰ کوادریلیون بی تی یو در سال ۲۰۳۵ خواهد رسید شکل ۱-۱ [۶].



شکل ۱-۱: پیش‌بینی مصرف انرژی جهانی تا سال ۲۰۳۵ بر حسب کوادریلیون بی تی یو [۶]. این ارقام نشان می‌دهند که میزان مصرف انرژی جهان در قرن آینده عظیم بوده و بالطبع، این سؤال مهم مطرح است که آیا منابع انرژی‌های فسیلی در قرن آینده جوابگوی نیاز انرژی جهان برای بقا، تکامل و توسعه خواهند بود؟ حداقل به سه دلیل عمده، جواب این سؤال منفی است و باید منابع جدید انرژی را جانشین منابع قدیم کرد. این دلایل عبارت‌اند از: محدودیت و در عین حال مرغوبیت انرژی‌های فسیلی که از نظر منطقی کاربردهای بهتر از احتراق دارند و همچنین مسائل و مشکلات

^۱ هر کوادریلیون معادل ۱۰^{۱۵} است.