

****

دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران جنوب

دانشکده فنی

پایان­نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد "M.Sc."

مهندسی مکانیک – تبدیل انرژی

عنوان:

آنالیز اگزرژی آبگرمکن‌های خورشیدی

استاد راهنما:

استاد مشاور:

فهرست مطالب

**عنوان مطالب شماره صفحه**

[چکیده 1](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc323311861)

[مقدمه 2](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc323311862)

[فصل اول: کلیات 4](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc323311864)

[1-1) هدف 4](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc323311865)

[1-2) پیشینه‌ی تحقیق 4](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc323311866)

[1-3) روش کار و تحقیق 10](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc323311867)

[فصل دوم: کلکتورهای خورشیدی 12](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc323311869)

[2-1 ) کلکتور صفحه تخت 12](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc323311870)

[2-1-1) ساختمان کلکتور صفحه تخت 12](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc323311871)

[2-1-2) تاثیر آب و هوا بر کلکتور صفحه تخت 15](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc323311872)

[2-2 ) کلکتورهای لوله ای خلاء 15](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc323311873)

[2-2-1) انواع کلکتورهای لوله ای خلاء 16](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc323311874)

[2-3 ) کلکتورهای متمرکز کننده 19](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc323311875)

[2-3-1 ) اجزای کلکتورهای متمرکز کننده 20](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc323311876)

[2-3-2 ) انواع کلکتورهای متمرکز کننده 20](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc323311877)

[فصل سوم : آبگرمکنهای خورشیدی 24](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc323311878)

[3-1 ) اجزای اصلی آبگرمکن های خورشیدی 25](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc323311879)

[3-1-1) کلکتور خورشیدی 25](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc323311880)

[3-1-2) مخزن ذخیره آب گرم 25](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc323311881)

[3-2-1 ) آبگرمکن خورشیدی ترموسیفونی 26](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc323311882)

[3-2-2) آبگرمکن های خورشیدی با سیستم های جابجایی اجباری 27](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc323311883)

[3-2-3) آبگرمکن های خورشیدی یکپارچه 29](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc323311884)

[فصل چهارم : آنالیز قانون دوم ترمودینامیک 31](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc323311885)

[4-1 ) انرژی و قانون اول ترودینامیک 31](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc323311886)

[4-2) قانون دوم ترمودینامیک 32](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc323311887)

[4-2-1) اگزرژی 33](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc323311888)

[4-2-2)اتلاف اگزرژی و تولید آنتروپی در فرایندهای ترمودینامیکی 38](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc323311890)

[فصل پنچم : آنالیز انرژی و اگزرژی کلکتورهای خورشیدی 41](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc323311891)

[5-1) کلکتور صفحه تخت 41](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc323311892)

[5-1-1) آنالیز انرژی 41](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc323311893)

[5-1-2) آنالیز اگزرژی 44](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc323311894)

[5-2) کلکتور لوله‌ای خلاء با لوله حرارتی 47](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc323311895)

[5-2-1) تحلیل حرارتی 47](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc323311896)

[5-2-2) راندمان انرژی 52](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc323311897)

[5-2-2) راندمان اگزرژی 52](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc323311898)

[فصل ششم : نتیجه‌گیری و پیشنهادات 54](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc323311899)

[6-1) ارزیابی عملی روابط تئوری 54](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc323311900)

[6-1-1) کلکتور صفحه تختف 55](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc323311901)

[6-1-2) کلکتور لوله‌ای خلاء با لوله حرارتی 61](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc323311902)

[6-2) بررسی تاثیر تغییر پارامترهای طراحی بر عملکرد کلکتورها 66](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc323311903)

[6-2-1) کلکتور صفحه تخت 66](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc323311904)

[6-2-2) کلکتور لوله‌ای خلاء با لوله حرارتی 75](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc323311905)

[6-3) جمع بندی و پیشنهادات 77](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc323311906)

[منابع و ماخذ 78](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc323311907)

[فهرست منابع لاتین 78](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc323311908)

[سایتهای اطلاع رسانی 80](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc323311909)

[چکیده انگلیسی 81](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc323311910)

صفحه عنوان انگلیسی ............................................................................................................................................................82

اصالت نامه .............................................................................................................................................................................83

**فهرست جدول‌ها**

**عنوان شماره صفحه**

[جدول 4-1) مقایسه بین انرژی و اگزرژی 34](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc315793592)

[جدول 6-1) مشخصات کلکتور صفحه تخت مورد استفاده جهت آزمایشات عملی 55](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc315793593)

[جدول 6-2) نتایج آزمایشات عملی کلکتور صفحه تخت 56](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc315793594)

[جدول 6-3) مشخصات کلکتور لوله‌ای خلاء مورد استفاده در آزمایشگاه 61](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc315793595)

[جدول 6-4) نتایج آزمایشات عملی و تئوری کلکتور لوله‌ای خلاء 62](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc315793596)

**فهرست نمودار‌ها**

**عنوان شماره صفحه**

[نمودار 6-1) تغییرات راندمان انرژی کلکتور صفحه تخت بر حسب](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc315793639)  در دبیهای مختلف. 58

[نمودار 6-2) تغییرات راندمان اگزرژی کلکتور صفحه تخت بر حسب](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc315793640)  در دبیهای مختلف. 60

[نمودار 6-3) تغییرات راندمان انرژی کلکتور لوله‌ای خلاء بر حسب](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc315793641) در دبیهای مختلف. 64

[نمودار 6-4) تغییرات راندمان اگزرژی کلکتور لوله‌ای خلاء بر حسب](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc315793642) در دبیهای مختلف. 65

[نمودار 6-5) تغییرات دمای صفحه جاذب بر حسب تغییرات](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc315793643)  و دبی جریان 67

[نمودار 6-6) تغییرات راندمان انرژی کلکتور صفحه تخت بر حسب](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc315793644)  *و دبی جریان ورودی به کلکتور.* 68

[نمودار 6-7) تغییرات راندمان اگزرژی کلکتور صفحه تخت بر حسب](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc315793645)  *و دبی جریان ورودی به کلکتور.* 69

[نمودار 6-8) تغییرات راندمان انرژی و اگزرژی کلکتور را بر حسب تغییرات قطر لوله‌های داخلی کلکتور. 70](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc315793646)

[نمودار 6-9) تغییرات راندمان انرژی کلکتور بر حسب ضخامت عایق پشت کلکتور. 71](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc315793647)

[نمودار 6-10) تغییرات راندمان اگزرژی کلکتور بر حسب ضخامت عایق پشت کلکتور. 71](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc315793648)

[نمودار 6-12) تغییرات راندمان اگزرژی کلکتور بر حسب سرعت وزش باد. 72](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc315793649)

[نمودار 6-13) تغییرات راندمان انرژی کلکتور بر حسب](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc315793650) *، برای سه سیال عامل مختلف.* 73

[نمودار 6-14) تغییرات راندمان اگزرژی کلکتور بر حسب](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc315793651) *، برای سه سیال عامل مختلف.* 74

[نمودار 6-15) تغییرات راندمان انرژی کلکتور لوله‌ای خلاء بر حسب](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc315793652)  *و دبی جریان ورودی به کلکتور.* 75

[نمودار 6-16) تغییرات راندمان اگزرژی کلکتور لوله‌ای خلاء بر حسب](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc315793653)  *و دبی جریان ورودی به کلکتور.* 76

**فهرست شکل‌ها**

**عنوان شماره صفحه**

[شکل 2-1 ) کلکتور صفحه تخت 15](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc315793687)

[شکل 2-2) کلکتور لوله‌ای خلاء 16](file:///C:\Users\Vaio\Desktop\ببب.docx#_Toc315793688)

[شکل 2-3 ) کلکتور لوله ای خلاء جریان مستقیم 17](file:///C:\Users\Vaio\Desktop\ببب.docx#_Toc315793689)

[شکل 2-5 ) کلکتور لوله ای خلاء با دو لوله‌ی شیشه‌ای 18](file:///C:\Users\Vaio\Desktop\ببب.docx#_Toc315793690)

[شکل 2-6) نمای شماتیک کلکتور لوله‌ای خلاء با لوله حرارتی 19](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc315793691)

[شکل 2-7) کلکتور سهموی خطی 21](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc315793692)

[شکل 2-8) کلکتور فرنل 22](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc315793693)

[شکل 3-1 ) ابگرمکن ترموسیفونی با کلکتور صفحه تخت 26](file:///C:\Users\Vaio\Desktop\ببب.docx#_Toc315793695)

[شکل 3-2 ) آبگرمکن خورشیدی ترموسیفونی حلقه باز 27](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc315793696)

[شکل 3-3) آبگرمکن خورشیدی با سیستم های جابجایی اجباری حلقه باز 28](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc315793697)

[شکل 5-1) نمای شماتیک کلکتور صفحه تخت مورد بررسی. 41](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc315793699)

[شکل 5-2) لوله حرارتی در حالت افقی 48](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc315793700)

[شکل 5-3) کلکتور لوله‌ای خلاء با لوله حرارتی مورد بررسی 49](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc315793701)

[شکل 5-4) مدل الکتریکی انتقال حرارت در کلکتور لوله خلاء با لوله حرارتی. 49](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc315793702)

[شکل 6-1) تجهیزات مورد استفاده در آزمایشگاه انرژی خورشیدی 54](file:///G:\پایان%20نامه\پایان%20نامه%20مهندسی%20مکانیک\تبدیل%20انرژی\آنالیز%20اگزرژی%20آب%20گرم%20کن%20‌های%20خورشیدی\آنالیز%20اگزرژی%20آبگرم%20کن%20‌های%20خورشیدی.docx#_Toc315793703)

# چکیده:

آبگرمکنهای خورشیدی پرکاربردترین سیستمهای حرارتی خورشیدی در جهانند. اصلی‌ترین بخش آنها کلکتور خورشیدی است که انرژی تابشی خورشید را جذب کرده و به سیال عامل انتقال می‌دهد. استفاده از راندمان قانون اول ترمودینامیک به عنوان یکی از مهمترین پارامترها جهت معرفی و مقایسه‌ی سیستمهای حرارتی از جمله کلکتورهای خورشیدی به طور متداول مورد استفاده قرار می‌گیرد. در حالیکه قانون اول ترمودینامیک به تنهایی قادر به بیان عملکرد کمی و کیفی این سیستمها نمی‌باشد. در این تحقیق مدلی تئوری و جامع برای تحلیل انرژی (قانون اول ترمودینامیک) و اگزرژی (قانون دوم ترمودینامیک) کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت و لوله‌ای خلاء با لوله حرارتی ارائه شده که در آن تاثیر مولفه‌های طراحی کلکتور روی عملکرد آن قابل بررسی است. پس از ارزیابی و تایید این مدل با استفاده از نتایج آزمایشات عملی به بررسی تاثیر پارامترهای طراحی مختلف روی راندمان انرژی و اگزرژی کلکتور پرداخته شده است.

# مقدمه:

طبق آمار استخراج شده در سال 2006، %81 انرژی مصرفی در جهان توسط منابع فسیلی تامین می‌گردد [1]. با ادامه‌ی این روند علاوه بر مشکلات حاصل از محدودیت این منابع، شاهد مشکلات زیست محیطی بسیاری نیز خواهیم بود. گرم شدن زمین در اثر افزایش گازهای گلخانه‌ای یکی از مهمترین اثرات استفاده‌ی روز‍ افزون از انرژیهای فسیلی است. افزایش پنج درصدی غلظت دی اکسید کربن که مهمترین گاز گلخانه‌ای محسوب می‌شود، در جو زمین در فاصله‌ی سالهای 1995 تا 2005 [1] نمونه‌ای از خطرات زیست محیطی ناشی از ادامه‌ی روند کنونی مصرف سوختهای فسیلی است که موجب روی آوردن بیشتر بشر به استفاده از انرژیهای پاک و تجدیدپذیر شده است. بطوریکه طبق سیاستهای منتشر شده استفاده از انرژیهای تجدیدپذیر در فاصله‌ی سالهای 2008 و 2035 سه برابر می‌شود [2]. در میان انواع مختلف انرژیهای تجدیدپذیر انرژی خورشیدی به دلیل دسترسی آسان و هزینه کارکرد پایین همواره مورد توجه خاصی بوده است. استفاده از این انرژی در دو مقیاس صنعتی (عمدتاً با هدف تولید برق ) و خانگی ( عمدتاً به منظور تولید حرارت ) در چند دهه‌ی اخیر رشد چشمگیری داشته است. در مناطق با آب و هوای گرم می‎توان تا %75 نیاز گرمایش آب را با استفاده از سیستمهای حرارتی خورشیدی تامین کرد. این درصد در مناطق با آب و هوای سرد اروپا تا %20 کاهش می‌یابد [1]. آبگرمکنهای خورشیدی به دلیل قیمت پایین و تکنولوژی ساده‌ترش پرکاربردترین سیستم حرارتی خورشیدی در جهان محسوب می‌شوند. اصلی‌ترین بخش این سیستمها، کلکتور خورشیدی است که انرژی تابشی خورشید توسط آن جذب می‌گردد. کلکتور خورشیدی نوع خاصی از مبدل است که انرژی تشعشع خورشید را به حرارت تبدیل می کند اما از جهات مختلف با مبدلهای حرارتی تفاوت دارد. در مبدلهای گرمایی، گرما معمولا از طریق جابجایی یا هدایت به سیال دیگر منتقل می شود و انتقال گرما از طریق تابش در آنها بسیار ناچیز است درحالیکه در یک کلکتور خورشیدی، انتقال حرارت از طریق تابش دارای نقشی اساسی است. در سیستمهای خانگی عموماً از کلکتورهای صفحه تخت و لوله‌ای خلاء استفاده می‌شود. شناخت و ارزیابی دقیق این کلکتورها می‌تواند تاثیر زیادی در طراحی بهینه‌ی آنها داشته باشد. عمده‌ی تحقیقاتی که در سالهای گذشته روی این کلکتورها صورت گرفته بر پایه‌ی قانون اول ترمودینامیک بوده است. اما این تحلیل هيچگونه اطلاعاتی در مورد افت‌ها و بازگشتناپذیریهای داخلی نمی‌دهد و به تنهايی نمی‌تواند معيار مناسبی جهت ارزیابی کارايی کلکتورهای خورشيدی باشد. این امر لزوم استفاده از تحلیلهای بر پایه‌ی قانون دوم ترمودینامیک را نشان می‌دهد. آنالیز اگزرژی واضح ترین تحلیل بر پایه‌ی قانون دوم ترمودینامیک است. که یکی از مهمترین مزایای آن نسبت به قانون اول در نظر گرفتن شرایط محیط است که تاثیر بسیاری بر عملکرد سیستم و افزایش یا کاهش مصرف انرژی دارد. به همین دلیل در این پایان نامه به صورت تئوری و تجربی به بررسی راندمان انرژی و اگزرژی دو نمونه کلکتور صفحه تخت و لوله‌ای خلاء موجود در سایت انرژی خورشیدی دانشگاه آزاد واحد تهران جنوب خواهیم پرداخت.

# فصل اول

**کلیات**

# فصل اول: کلیات

## 1-1) هدف

انرژی خورشیدی یکی از مهمترین منابع انرژیهای تجدید پذیر و پاک به جهت جایگزینی سوختهای فسیلی است که استفاده از آن در سراسر جهان رو به گسترش است. این انرژی به صورت عمده به دو مصرف تولید برق و تولید حرارت می رسد. عمومی ترین مصرف این انرژی در آبگرمکن های خورشیدی است. در ارزیابی کارایی آبگرمکنهای خورشیدی از آنالیز انرژی ( قانون اول ) به طور گسترده ای استفاده شده، اما آنالیز قانون اول به تنهایی معیار مناسبی برای ارزیابی کارایی این سیستمها نیست، یکی از مهمترین مزایای آنالیز قانون دوم نسبت به قانون اول در نظر گرفتن شرایط محیط است که تاثیر بسیاری بر عملکرد سیستم و افزایش یا کاهش مصرف انرژی دارد، به همین دلیل لازم است سیستم بر مبنای قانون دوم ( آنالیز اگزرژی ) نیز بررسی شود تا بتوان تحلیل بهتری برای بازدهی سیستم و همچنین یافتن نقایص ترمودینامیکی و فرایندهایی از سیستم که امکان رشد و پیشرفتشان از لحاظ ترمودینامیکی وجود دارد ارایه داد.

در این پایان نامه روابط ترمودینامیکی و انتقال حرارت در کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت و لوله‌ای خلاء با لوله حرارتی برای تحلیل آنها بر پایه‌ی قوانین اول و دوم ترمودینامیک با استفاده از کمترین فرضیات به منظور بدست آوردن راندمانهای انرژی و اگزرژی آنها و همچنین بررسی تاثیر تغییر پارامترهای طراحی بر عملکرد کلکتورها مورد بررسی قرار می‌گیرند. مطمئناً نتایج حاصله در کلیه سیستمهای حرارتی خورشیدی از قبیل گرمایشی و سرمایشی که از این کلکتورها استفاده می‌کنند قابل استفاده می‌باشند.

## 1-2) پیشینه‌ی تحقیق

در سیستمهای خورشیدی به دلیل هزینه اولیه نسبتاً زیاد، نیاز به ارزیابی دقیق و ارائه راهکارهایی جهت بهبود عملکرد و کارایی ضروری به نظر می رسد. در سالهای اخیر مطالعاتی در زمینه آنالیز اگزرژی انواع مختلف سیستمهای خورشیدی صورت گرفته که عمده‌ی آنها روی کلکتورهای صفحه تخت می‌باشد. در این بخش به بررسی و مرور چند نمونه از تحقیقاتی که روی آبگرمکنهای خورشیدی و کلکتورهای خورشیدی که در واقع مهمترین بخش آبگرمکن است انجام شده‌اند خواهیم پرداخت.

در سال 1986 جی. آر. هال [3] به وسیله‌ی مدلسازی یک کلکتور خورشیدی لوله‌ای خلاء با لوله‌ی حرارتی به بررسی مراحل انتقال حرارت از سطح جاذب کلکتور به آب پرداخته و با استفاده از پارامترهای بدست آمده، راندمان حرارتی کلکتور را مورد بررسی قرار داده است. نویسنده در این تحقیق به بررسی فرایندهای انتقال حرارت در کلکتور نپرداخته اما مدل کارامدی برای استفاده از روابط کلی انتقال حرارت مفید در کلکتورهای با تعداد مختلف لوله‌های خلاء ارائه کرده است.

در سال 1988 آکیو سوزوکی [4] در مقاله‌ای به بررسی روابط اساسی در تحلیل اگزرژی کلکتورهای خورشیدی پرداخته و پس از آن دو مدل کلکتور صفحه تخت و لوله‌ای خلاء را با فرض ثابت بودن ضریب افت حرارت کلی[[1]](#footnote-1) از دیدگاه اگزرژی مقایسه کرده است. که به دلیل افت راندمان اپتیکی در نتیجه‌ی وجود فاصله بین لوله‌های شیشه‌ای در کلکتور لوله‌ای خلاء، نتایج مقایسه‌ی صورت گرفته بسیار به هم نزدیک بوده‌اند.

در سال 1989 سی. آی. ازکوی [5] در یک سیستم حرارتی خورشیدی از لوله‌های حرارتی برای جذب و انتقال انرژی تابشی خورشید به آب استفاده کرده است. البته این سیستم با کلکتورهای لوله‌ای خلاء تفاوت دارد. و بیشتر شبیه کلکتور صفحه تختی است که از لوله حرارتی به جای صفحه جاذب و لوله‌های داخل آن استفاده شده باشد. نتایج حاصل از بررسی مدل طراحی شده نشان‌دهنده‌ی پایینتر بودن ضریب دفع حرارت[[2]](#footnote-2) در این کلکتور به نسبت کلکتورهای صفحه تخت معمولی است.

در سال 2000 سی. یاپ و همکارانش [6] به بررسی روابط انتقال حرارت در کلکتور لوله‌ای خلاء با لوله حرارتی پرداختند. نویسندگان در این مقاله با بررسی مقاومتهای حرارتی در مسیر انتقال حرارت از سطح جاذب به آب، روابطی برای محاسبه‌ی ضریب اتلاف حرارت و حرارت مفید منتقل شده به آب ارائه کردند. هرچند که در این تحقیق از مدل مقاومت الکتریکی مناسبی جهت تحلیل رفتار کلکتور ارائه شده، اما برخی از روابط انتقال حرارتی استفاده شده مختص جریانهای داخلی مغشوش[[3]](#footnote-3) هستند و استفاده‌ی آنها برای جریانهای آرام مناسب نیست.

در سال 2003 لاندانو و ریورا [7] مدلی برای مطالعه رفتار کلکتورهای حجمی خورشیدی[[4]](#footnote-4) تهیه کرده اند که تاثیر پارامترهای طراحی را روی عملکرد کلکتور بررسی می‌کند. این مدل بر پایه استفاده از اعداد بی بعد است که مفهوم فیزیکی مشخصی در سیستم دارند و از این مدل جهت تحلیل ترمودینامیکی کلکتورهای حجمی برای افزایش اگزرژی خروجی در آنها استفاده شده است. کلکتور حجمی کلکتوری است که از رابط نیمه شفاف برای جمع کردن تشعشع خورشید روی ماده جامد یا نیمه شفاف ناقل حرارت استفاده می کند. نمونه‌ی این نوع کلکتورها حوضچه های خورشیدی[[5]](#footnote-5) می باشند. در این مقاله ابتدا با استفاده از معادلات بی بعد شدهی انتقال حرارت توزیع دما در کلکتور مورد بررسی قرار گرفته و در مرحله بعد اگزرژی خروجی از کلکتور به عنوان نشانه‌ای از ارتباط بین راندمان و دمای پایین کلکتور، که می تواند معیار مناسبی جهت سنجش راندمان و دمای بهینه‌ای که اگزرژی خروجی را حداکثر می کند باشد، به صورت رابطه‌ای بی بعد بدست آورد شده است. در حقیقت این رابطه نشان دهنده‌ی درصدی از انرژی خورشید می باشد که توسط کلکتور جذب شده و می تواند به کار تبدیل شود. در مرحله بعد تغییرات اگزرژی خروجی با راندمان انرژی بر حسب مقادیر مختلف پارامتر بی بعد عرض کلکتور بررسی شده که نتایج آن نشان می دهد برای یک راندمان مشخص عمق بهینه ای وجود دارد که اگزرژی خروجی را بیشینه می کند و با رعایت این نکته می توان به راندمان بالاتر، عمق کمتر و اگزرژی خروجی بیشتر دست یافت. عدد بی بعد دیگری نیز برای خواص مواد بکار رفته در کلکتور تعریف شده که نتایج نشان می دهد بالاتر بودن این عدد موجب افزایش اگزرژی خروجی می گردد. در ادامه نویسندگان به بهینه سازی عملکرد کلکتور بر حسب پارامترهای بی بعد و همچنین متغیر عمق کلکتور پرداخته اند که حاصل آن بدست آمدن رابطه ای برای تغییرات راندمان بهینه کلکتور با عمق آن است. در صورتی که عمق کلکتور صفر فرض شود ، کلکتور حجمی تبدیل به کلکتور صفحه تخت می گردد ، اما گرافهای بدست آمده نشان می دهند که اگزرژی خروجی از کلکتور حجمی بسیار بیشتر از کلکتور صفحه تخت در شرایط مشابه می باشد.

در سال 2005 لومینوسا و فارا [8] تحقیقی با هدف نشان دادن وابستگی اگزرژی به نرخ جریان سیال و سطح کلکتور صفحه تخت و تاثیر این دو پارامتر در عملکرد کلکتور انجام دادند. روش بکار رفته شده در این تحقیق دامنه وسیعی از مقادیر ممکن برای دبی سیال ورودی ارائه می‌دهد اما در مورد اینکه مدل انتخاب شده بهترین حالت باشد با اطمینان اظهار نظر نمی کند. مدلهای تحلیلی برای راندمان انرژی و اگزرژی با در نظر گرفتن فرضیات مسئله مورد بررسی قرار گرفته وسپس این مدلها به یک برنامه محاسباتی به نام رِکس که در محیط نرم افزار توربو پاسکال نوشته شده منتقل شده‌اند. در این برنامه راندمان اگزرژی، راندمان انرژی، دمای خروجی سیال از کلکتور، شدت جریان سیال و سطح کلکتور به عنوان پارامترهای قابل تغییر در نظر گرفته شده اند. راندمان اگزرژی به صورت تابعی از دبی و سطح مورد بررسی قرار گرفته و توسط برنامه کامپیوتری یک نقطه ماکزیمم کلی بدست آمده است. آنالیز اگزرژی ارائه شده در این مقاله بر پایه فرض برابری دمای ورودی سیال به کلکتور با دمای محیط و ثابت بودن ضریب افت حرارت کلی می باشد.

در سال 2005 هاوُ بن و وانگ ژیائو [9] با هدف دستیابی به روشهای جدید صرفه جویی در هزینه ها و حفظ و بالا بردن راندمان آبگرمکنهای خورشیدی در مقیاس خانگی و همچنین سنجش میزان اتلاف اگزرژی به تحلیل اگزرژتیک آبگرمکنهای خورشیدی پرداختند. آنالیز صورت گرفته بر مبنای تئوری است که تحلیل فرایندها را به سه مرحله تقسیم می کند. بر اساس این تئوری که توسط پرفسور هاوُ بن ارائه شده است [10] می‌توان فرآیندهای تکنولوژیک را به سه زیر مجموعه‌ی نزدیک به هم تقسیم کرد. فرایند تبدل، پروسه ی بهره برداری و پروسه ی بازگشت به حالت ابتدایی. در مقایسه با سایر تئوریهای آنالیز انرژی، تئوری فرایند سه مرحله ای مزایای قابل توجهی نشان داده است. در حقیقت این تئوری سیستم را در یک ساختار مناسبتری جهت آنالیز انرژی در اختیار ما قرار می دهد. روابط تئوری اگزرژی برای آبگرمکنهای ترموسیفون و با فرض توزیع خطی دما در مخزن ذخیره آب ساده شده اند. داده های مورد استفاده در روابط تئوری به صورت تجربی و توسط مرکز تست آبگرمکنهای خانگی خورشیدی چین بدست آمده است. راندمان انرژی و اگزرژی سیستم تست شده به ترتیب در حدود 15 و 77/0 درصد می‌باشند. پایین بودن راندمان اگزرژی می تواند نشان دهنده ی کیفیت خیلی پایین انرژی خروجی از آبگرمکن باشد. در ادامه با استفاده از داده های تجربی تغییرات رندمان اگزرژتیک کلکتور صفحه تخت بر حسب عرض آن و با در نظر گرفتن مقادیر مختلف ضریب اتلاف حرارتی کلکتور که نشان دهنده ی سه نوع کلکتور با پوشش تک لایه ، دو لایه و سه لایه می باشد بررسی شده است. و طی آن مشاهده می شود که راندمان اگزرژی کلکتور با افزایش عرض و ضریب اتلاف حرارتی کاهش می یابد. در نتیجه برای دستیابی به راندمان بالاتر می بایست کلکتور کوچکتر و با اتلاف حرارتی کمتر طراحی طراحی شود. با توجه به نتایج بدست آمده کلکتور با پوشش دو لایه و عرض صفحه بین 5 تا 10 سانتی متر برای آبگرمکنهای خنگی خورشیدی پیشنهاد شده است.

در سال 2006 پولساک اینتاوی و همکارانش [11] در راستای بهره برداری بیشتر از انرژی خورشیدی مطالعاتی در زمینه طراحی و تولید آبگرمکنهای خورشیدی با راندمان بالاتر و همچنین هزینه ی پایینتر انجام دادند . نویسندگان با استفاده از 10 آرایه ی بازتاب دهنده سهموی خطی که از سطوح صیقلی فولاد زنگ نزن تشکیل شده اند کلکتور جدیدی جهت بالا بردن راندمان آبگرمکن خورشیدی طراحی کرده و ساخته اند. به دلیل استفاده از آینه های سهموی خطی در کلکتور طراحی شده، این سیستم نیازمند بکارگیری تکنولوژی ردیابی خورشید در طول روز می باشد. مبنای آنالیز صورت گرفته در این مقاله مانند تحقیق صورت گرفته توسط هاو بن و وانگ ژیائو [9] استفاده از تئوری فرایند سه مرحاه ای است. داده های تجربی مورد استفاده در دسامبر 2005 و آوریل 2006 در کشور تایلند استخراج شده اند. نتایج بدست آمده برای راندمان اگزرژتیک نشان دهنده‌ی راندمان % 9/0 است. راندمان انرژی سیستم نیز برابر با % 28 بدست آمده است.

در سال 2006 حسین گونرهان و آریف هپباسلی [12] یک مدل آب گرمکن خورشیدی مداربسته با جابجایی اجباری با کلکتور صفحه تخت را مورد بررسی قرار دادند. اهداف آنها از این تحقیق 1) ارائه مدل و ارزیابی کامل از آبگرمکنهای خورشیدی با استفاده از آنالیز اگزرژی 2) تحقیق در مورد تاثیر تغییر در دمای آب ورودی به کلکتور روی راندمان اگزرژی سیستم 3) مطالعه روی برخی پارامترهای ترمودینامیکی 4) پیشنهاد و ارائه نمودارهای راندمان اگزرژتیک و راندمان حرارتی برای یک سیستم پیشنهادی می باشد. در راستای دستیابی به اهداف فوق ابتدا روابط تئوری مورد نیاز ارائه شده و سپس داده های مورد نیاز در این روابط از آزمایشات تجربی در کشور ترکیه بدست آمده است. نتایج نشان می دهند که بیشترین تلفات اگزرژی ( برگشت ناپذیری ) در کلکتور و پس از آن در مبدل حرارتی و پمپ سیرکولاسیون اتفاق می افتد. راندمان اگزرژتیک بدست آمده برای کل سیستم حدود % 4 است. نتایج بدست آمده می تواند در پیدا کردن مکان، نوع و میزان درست تلفات انرژی مفید باشد.

در سال 2007 ویورل بادسکو [13] با در نظر گرفتن دبی جریان آب به عنوان پارامتر کنترل به بررسی تاثیر تغییرات آن بر راندمان اگزرژتیک آبگرمکن خورشیدی مدار باز با کلکتور صفحه تخت پرداخته است . برای این منظور از یک مدل واقعی کلکتور استفاده شده که با تحقیقات مشابه صورت گرفته در گذشته قابل مقایسه است. ابزار دوم در این تحقیق استفاده از تکنیکهای بهینه سازی عددی به وسیله ی برنامه ریاضی تامپ است که امکان دستیابی به مدلهای ریاضی وابسته به زمان که به مدلهای واقعی نزدیکتر باشد را فراهم می کند. علاوه بر این در این تحقیق از داده‌های گسترده ی هواشناسی که توسط موسسه‌ی هواشناسی رومانی در بخارست اندازه گیری شده استفاده شده است. نتایج بدست در ماه ژانویه نشان می دهد راندمان اگزرژتیک کمتر از % 3 است. همچنین نتایج نشان می دهند که مقادیر بیشینه‌ی راندمان اگزرژی با مقادیر کمتر دبی جریان ورودی به کلکتور متناظر است و دبی جرمی بهینه جریان با افزایش دمای سیال ورودی به کلکتور افزایش می یابد ولی ارتباط بین دبی جرمی و دمای محیط بسیار کم است. میزان دبی بهینه در حوالی طلوع و غروب خورشید افزایش یافته اما در طول روز ثابت است. در این مقاله همچنین تغییرات راندمانهای انرزی و اگزرژی در فصول مختلف بررسی شده و نتایج آن نشان دهنده ی این امر است که راندمان انرژی در تمام فصول کمتر از % 35 می باشد و میانگین روزانه‌ی آن با افزایش دمای سیال ورودی کاهش می یابد. راندمان اگزرژتیک هم به طور کلی کمتر از % 3 خواهد بود.

در سال 2008 گاپتا و کاشیک [14] به منظور تعیین پارامترهای عملکرد بهینه جهت دستیابی به اگزرژی خروجی بالاتر در گرمکن های هوایی خورشیدی به بررسی تاثیر پارامتر نسبت طول به عرض صفحه جاذب و عمق بهینه کانال هوا ( فاصله بین جاذب و صفحه پایینی ) پرداختند بررسی ها در این تحقیق با فرض مقادیری برای دماها و شدت تابش و استفاده از آنها در روابط تئوری ذکر شده صورت گرفته است. نتایج نشان می‌دهد نرخ انرژی خروجی (توان ) با افزایش پارامترهای دبی جریان و نسبت طول به عرض صفحه جاذب، افزایش و در مقابل با افزایش عرض کانال و دمای ورودی کاهش می‌یابد. بررسی های انجام شده بر پایه آنالیز اگزرژی نشان می دهد که عملکرد کلکتور به صورت یکنواخت افزایشی با نسبت طول به عرض صفحه جاذب و دبی و کاهشی با عمق کانال هوا و دمای ورودی تغییر نمی‌کند.

در سال 2008 ای. آزاد [15] به آنالیز تئوری و تجربی یک کلکتور صفحه تخت که در آن بجای مجاری سیال زیر سطح جاذب از لوله‌های حرارتی استفاده شده پرداخته است. نتایج نشان دهنده‌ی راندمان حرارتی بالاتر این سیستمها به نسبت کلکتورهای صفحه تخت معمولی است.

در سال 2009 سعید فراهت و همکارانش [16] تحقیقی برای طراحی و بهینه سازی کلکتورهای صفحه تخت بر پایه آنالیز اگزرژی انجام دادند تا به وسیله ی آن راندمان و پارامترهای طراحی بهینه ی این سیستمها مشخص شوند. از آنجائیکه آنالیز اگزرژی وابستگیهایی به آنالیز انرژی سیستم دارد ابتدا مروری بر روابط مربوط به تحلیل انرژی و راندمان انرژی کلکتورهای صفحه تخت صورت گرفته و پس از آن به بررسی معادله موازنه ی اگزرژی سیستم پرداخته شده است. روابطی که برای تحلیلهای انرژی و اگزرژی بدست آورده شده به یک برنامه محاسباتی در نرم افزار مطلب منتقل شده اند که در آن بیشتر پارامترهای هواشناسی و شرایط عملکرد سیستم را می‌توان به عنوان متغیر در نظر گرفت که هدف آن بیشینه کردن راندمان اگزرژی سیستم است. با توجه به شرایط طراحی در نظر گرفته شده نتایجی برای بهینه سازی پارامترهای مختلف بدست آمده که مقایسه ی آنها با نتایج تحقیق انجام شده توسط لومینوسا و فارا [8] از دقت بیشتری برخوردار می باشند. تاثیر پارامترهای موثر در طراحی از جمله دمای ورودی سیال، دمای محیط، قطر لوله ها، سرعت باد، راندمان اپتیکی سیستم و میزان انرژی تابش خورشید بر واحد سطح نیز روی راندمان اگزرژی مورد بررسی قرار گرفته است. که نتایج بدست آمده نشان می دهد افزایشانرژی تابش خورشید بر واحد سطح موجب افزایش راندمان اگزرژی می‌شود. از طرف دیگر راندمان اگزرژی با افزایش دمای محیط و سرعت باد به سرعت کاهش می یابد و از آنجائیکه این پارامترها در طول روز تغییر می کنند برای دستیابی به راندمان اگزرژی بالاتر، پارامترهای دیگر و شرایط عملکردی کلکتور نیز باید در طول روز متغیر باشند و طراحی کلکتور خورشیدی باید بر پایه میانگین روزانه این پارامترها صورت گیرد. افزایش دمای ورودی قبل از رسیدن به یک دمای خاص که همان دمای بیشینه نمودار تغییرات بر حسب دمای ورودی است، موجب افزایش راندمان اگزرژی می شود ولی پس از آن راندمان اگزرژی به سرعت کاهش می‌یابد. پارامترهای طراحی مانند قطر لوله نیز تاثیر ناچیزی بر راندمان اگزرژی دارند.

در سال 2010 ماجد حاضمی و همکارانش [17] به منظور بر طرف کردن مشکلات استفاده از آبگرمکنهای خورشیدی نظیر هزینه ی بالا و نیاز به سیستم گرمایش کمکی خصوصاً در زمستان، اقدام به طراحی و ساخت یک کلکتور یکپارچه با هزینه ی پایین که سطح جاذب آن از لایه نازک بتن تشکیل شده در کشور تونس کرده اند. برای این کلکتور مزایایی شمرده شده که از جمله آنها عملکرد و نگهداری ساده و آسان، مواد اولیه ساده و در دسترس عدم نیاز به مخزن ( به دلیل یکپارچه بودن سیستم ) و عدم نیاز به سیستم کنترلی یا کمکی می باشند. تلاش محققین در این مقاله در راستای تخمین عملکرد این سیستمها در شرایط آب و هوایی تونس انجام شده که شامل تحلیل انرژی، اگزرژی و اقتصادی سیستم می باشد. پس از مشخص کردن روابط مورد استفاده جهت تحلیل انرژی و اگزرژی سیستم به صورت تجربی به جمع آوری اطلاعات مورد نیاز پرداخته شده تا از این داده‌های بدست آمده در روابط مشخص شده استفاده گردد. جمع آوری داده ها در ماههای نوامبر و فوریه صورت گرفته است. بررسیهای انجام گرفته روی تاثیر شدت تابش بر دمای آب خروجی از کلکتور نشان دهنده‌ی افزایش دمای آب همراه با افزایش شدت تابش است، نکته‌ی دیگر مشاهده شده تاخیر 35 دقیقه ای بین زمان اوج تابش و زمان اوج درجه حرارت آب است که علت آن استفاده از سطح جاذب بتونی و اینرسی موجود در آن است. عملکرد حرارتی کلکتور با استفاده از تغییرات انتقال حرارت مفید در طول روز بر حسب شدت تابش مورد بررسی قرار گرفته و نتیجه‌ی آن نشان دهنده ی وابستگی به عایقکاری و اختلاف دما در داخل کلکتور است. همچنین بررسی صورت گرفته نشان دهنده ی راندمان انرژی % 32 برای عملکرد برای عملکرد بلند مدت کلکتور با میانگین شدت تابش 750 و دمای محیط 21 درجه سانتی گراد می باشد. نتایج بررسی صورت گرفته روی راندمان انرژی و اگزرژی در طول روز نشان دهنده ی حداکثر بودن راندمانها در ساعت 1 بعد از ظهر می باشد. همچنین نتایج نشان می دهد که دو کمیت اگزرژی ذخیره شده در سیستم و اگزرژی هدر رفته به عایقکاری سیستم و اختلاف دمای بین محیط و سطح بتنی وابسته است. همچنین مقایسه ای بین این سیستم و آبگرمکنهای خورشیدی که به طور معمول مورد استفاده قرار می گیرند صورت گرفته که نشان دهنده ی بالاتر بودن میانگین راندمان انرژی و کمتر بودن راندمان اگزرژی این سیستم در مقایسه به سیستمهای معمول مورد استفاده می باشد. اما با توجه به تحلیل اقتصادی ذکر شده استفاده از کلکتور یکپارچه ساخته شده در این تحقیق به دلیل پایینتر بودن هزینه اولیه و نزدیکی عملکرد نسبت به سیستمهای معمول مورد استفاده صرفه اقتصادی بیشتری دارد.

در سال 2011 ال. ام. آیومپ و همکارانش [18] به مقایسه‌ی تجربی عملکرد دو آبگرمکن خورشیدی با کلکتورهای صفحه تخت لوله‌ای خلاء هیت پایپ در مدت یک سال و در شرایط آب و هوایی یکسان پرداختند. حرارت تولید شده توسط هر متر مربع از کلکتورهای صفحه تخت و لوله‌ای خلاء در طول یک سال برابر 496 kWh/m2 و 681 kWh/m2 بوده است. همچنین میانگین سالیانه راندمان حرارتی کلکتورهای صفحه تخت و لوله‌ای خلاء برابر 46.1% و 60.7% بدست آمده است. کاهش تلفات حرارتی کلکتور به واسطه‌ی خلاء در کنار راندمان بالای هیت پایپها باعث ایجاد تفاوت بین راندمانهای حرارتی کلکتورهای صفحه تخت و لوله‌ای خلاء هیت پایپ شده است.

## 1-3) روش کار و تحقیق

در این پایان نامه ابتدا مروری بر انواع کلکتورها و سیستمهای آبگرمکن خورشیدی صورت خواهد گرفت. سپس به معرفی آنالیز قانون و مقایسه‌ی آن با آنالیز قانون اول ترمودینامیک خواهیم پرداخت. کمیت اگزرژی در این بخش تعریف شده و رابطه‌ی آن با بازگشت‌ ناپذیریهای داخلی و تولید آنتروپی در فراینها نشان داده خواهد شد. در مرحله‌ی بعد روابط مورد نیاز جهت آنالیز انرژی و اگزرژی دو نمونه کلکتور خورشیدی صفحه تخت و لوله‌ای خلاء مورد بررسی قرار خواهند گرفت. روابط بدست آمده در این مرحله توسط آزمایشات عملی روی کلکتورهای موجود در سایت انرژی خورشیدی دانشگاه آزاد واحد تهران جنوب مورد ارزیابی قرار گرفته و در مرحله‌ی بعد با استفاده از این روابط تئوری و نرم‌افزار مطلب به بررسی تاثیر برخی از پارامترهای طراحی کلکتور روی راندمانهای انرژی و اگزرژی آن خواهیم پرداخت.

1. 1-Overall heat loss coefficient [↑](#footnote-ref-1)
2. - Heat removal factor [↑](#footnote-ref-2)
3. -Turbulent [↑](#footnote-ref-3)
4. -Solar volumetric collectors [↑](#footnote-ref-4)
5. -Solar ponds [↑](#footnote-ref-5)