



مقدمه‌ای بر سیستم‌های تهویه و تبرید خورشیدی

نویسندگان:

دکتر امین‌رضا نقره‌آبادی
دانشیار دانشگاه شهید چمران اهواز

مهندس مجتبی مروج

مهندس امیر بهرشت

آراد کتاب

سرشناسه	: نقره‌آبادی، امین‌رضا، ۱۳۵۶ -
عنوان و نام پدیدآور	: مقدمه‌ای بر سیستم‌های تهویه و تبرید خورشیدی / نویسندگان امین‌رضا نقره‌آبادی، مجتبی مروج، امیر بهسرشت.
مشخصات نشر	: تهران: آراد کتاب، ۱۳۹۱.
مشخصات ظاهری	: ۱۹۲ ص: مصور.
شابک	: 978-600-186-101-7
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
موضوع	: تهویه مطبوع
موضوع	: سردسازی و دستگاه‌های سردکننده
شناسه افزوده	: مروج، مجتبی، ۱۳۶۰ -
شناسه افزوده	: بهسرشت، امیر، ۱۳۶۶ -
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۱ ۷۴۷/ن۷۶۸۷ TH
رده بندی دیویی	: ۶۷۱/۳
شماره کتابشناسی ملی	: ۲۹۵۹۱۸۲

مقدمه‌ای بر سیستم‌های تهویه و تبرید خورشیدی

نویسنده	: امین‌رضا نقره‌آبادی، مجتبی مروج، امیر بهسرشت
ناشر	: آراد کتاب
صفحه‌آرایی	: آتلیه طرح نگار پارسی
تیراژ	: ۱۰۰۰ جلد
نوبت چاپ	: اول - ۱۳۹۲
لیتوگرافی	: مهرشاد
چاپ	: عطا
صحافی	: کیمیا
بهاء	: ۹۰۰۰ ریال
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۱۸۶-۱۰۱-۷

حق چاپ برای ناشر محفوظ است. کلیه حقوق و حق چاپ متن، طرح روی جلد و عنوان کتاب با نگرش به قانون حمایت مؤلفان، مصنفان و هنرمندان مصوب ۱۳۴۸ برای انتشارات آراد کتاب محفوظ است و متخلفین تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

مرکز پخش و فروش: آراد کتاب

تلفن: ۶۶۴۸۲۲۲۶ - ۶۶۹۷۵۲۸۵ - ۰۹۱۲۳۰۶۲۴۵۸

www.aradbook.com

فهرست

فهرست نمایه ۷

مقدمه نویسندگان ۱۳

فصل اول: مبانی نظری انرژی خورشیدی ۱۵

مقدمه ۱۵

• سیستم‌های فوتوولتائیک ۱۸

• نیروگاه‌های خورشیدی ۲۰

• آب‌گرم‌کن‌ها و هواگرم‌کن‌های خورشیدی ۲۱

• آب شیرین‌کن‌های خورشیدی ۲۲

• خودروهای خورشیدی ۲۳

• پمپ آب خورشیدی ۲۳

• اجاق گاز خورشیدی ۲۳

• خشک‌کن‌های خورشیدی ۲۴

• استخرهای خورشیدی ۲۵

• خانه سبز خورشیدی ۲۶

• کوره خورشیدی ۲۶

فصل دوم: فناوری‌های مربوط به سرمایه‌گذاری خورشیدی ۲۹

۱-۲ سیستم خورشیدی ۲۹

۲-۲ تعاریف و محدودیت‌های ترمودینامیکی ۳۲

- ۳۲-۲-۱ بازدهی چرخه ۳۳
- ۳۳-۲-۲ بازدهی (راندمان) کلکتور خورشیدی ۳۳
- ۳۳-۲-۳ بازده فوتوولتائیک ۴۱
- ۴-۲-۲ راندمان (بازده) سیستم ۴۲
- ۳-۲ خلاصه‌ای از سیستم‌های سرمایشی خورشیدی ۴۴
- ۱-۳-۲ سیستم‌های تبرید جذبی خورشیدی ۴۵
- چرخه جذبی تک‌اثره ۴۶
 - چرخه چنداثره‌ی جذبی ۴۶
 - چرخه جذبی نفوذی ۴۷
 - ژنراتور ترموشیمیایی TCA ۴۹
 - چرخه بازجذب ۵۲
 - چرخه‌های تناوبی ۵۳
- ۲-۳-۲ سیستم جذبی سطحی جاذب خورشیدی و سیستم تبرید انفعالی و واکنش شیمیایی ۵۶
- چرخه تبرید جذبی تناوبی ۵۶
 - سیستم پیوسته ۵۷
 - چرخه موج حرارتی ۶۰
 - چرخه جذبی شیمیایی ۶۱
 - سیستم سرمایش ترکیبی جذبی-دسیکانت ۶۳
 - سیستم خنک‌کننده ترکیبی جذبی-سطحی-اجکتوری ۶۵
- ۳-۳-۲ سیستم‌های سرمایشی دسیکانت خورشیدی ۶۵
- (دسیکانت) خشک مایع ۶۶
 - سیستم سرمایش دسیکانت خورشیدی همراه با چرخه‌ای چرخان ادغام شده با سیستم تهویه (سیستم MEX) ۶۹
 - سیستم سرمایش دسیکانت خورشیدی ادغام شده با کلکتور خورشیدی دسیکانت ... ۶۹
 - فناوری دسیکانت مایع ۷۱
 - سیستم دسیکانت هیبریدی معمولی ۷۵
- ۴-۳-۲ سیستم‌های تبرید رانکین دوگانه با انرژی خورشیدی ۷۸
- ۵-۳-۲ سیستم‌های تراکمی یخار خورشیدی ۸۱
- یخچال‌های خورشیدی در کاربردهای پزشکی ۸۲
 - یخچال‌های خورشیدی والکین ۸۳
- ۶-۳-۲ سیستم‌های سرمایش استرلینگ با انرژی خورشیدی ۸۴

۸۴	سیستم‌های سرمایش ترموالکتریک خورشیدی
۸۹	سیستم‌های تبرید اجکتوری-خورشیدی
۸۹	سیستم تبرید اجکتوری تک مرحله‌ای
۹۱	سیستم سرمایشی اجکتوری چند مرحله‌ای
۹۲	سیستم تبریدی اجکتوری- تراکمی
۹۶	سیستم‌های ترکیبی تبرید جذبی و اجکتور خورشیدی
۹۷	سیستم‌های ترکیبی تبرید جذبی سطحی-اجکتوری خورشیدی
۱۰۴	۹-۳-۲ کولر هیبرید خورشیدی
	• نتایج آزمایش برای مقایسه کولر هیبریدی خورشیدی با کولر غیر خورشیدی در فصل زمستان
۱۰۵	
	• نتایج آزمایش برای مقایسه کولر هیبریدی خورشیدی با کولر غیر خورشیدی در فصل تابستان
۱۰۶	
۱۱۱	فصل سوم: تأثیرات شرایط محلی بر روی سیستم‌های تبرید خورشیدی
۱۱۱	۱-۳ مقدمه
۱۱۲	۲-۳ اقلیم و آب‌وهوا
۱۲۹	فصل چهارم: سیستم‌های تبرید اجکتوری خورشیدی
۱۳۱	۱-۴ زیرمجموعه کلکتور خورشیدی
۱۳۲	۲-۴ زیرمجموعه سیکل تبرید اجکتوری
۱۳۵	۱-۲-۴ نسبت جرمی و ضریب عملکرد
۱۳۶	۳-۴ بار سرمایشی
۱۳۷	۴-۴ عملکرد سیستم
۱۳۸	۵-۴ اطلاعات آب‌وهوایی
۱۳۹	فصل پنجم: انتخاب سیال عامل
۱۳۹	۱-۵ مقدمه
۱۴۰	• تأثیر زیست محیطی: مسائلی چون تخریب لایه اوزون و گرم شدن کره زمین
۱۴۰	• ایمنی (مسمومیت و اشتعال پذیری)
۱۴۰	• اقتصادی بودن و در دسترس بودن
۱۴۱	۲-۵ سیال‌های عامل برای چرخه‌های اجکتوری
۱۴۱	۳-۵ توصیف خصوصیات خط بخار اشباع در دیاگرام T-S

۳-۵	مشخصه مبردهای متفاوت در سیکل تبرید اجکتوری	۱۴۷
فصل ششم: تحلیل حالت پایا سیستم اجکتوری خورشیدی		
۱-۶	فرضیات	۱۵۳
۲-۶	نتایج	۱۵۵
فصل هفتم: تحلیل اکسرژی		
۱-۷	توصیف سیستم	۱۶۶
۱-۱-۷	زیرمجموعه کلکتور خورشیدی	۱۶۶
۲-۱-۷	زیرمجموعه تبرید	۱۶۷
۲-۷	عملکرد	۱۶۹
۳-۷	بررسی اصول	۱۷۰
۴-۷	نتایج	۱۷۱
مراجع		
		۱۸۱

فهرست نمایه‌ها

A_a	مساحت دهانه کلکتور سهموی متمرکز m^2
A_{abs}	مساحت سطح جاذب کلکتور m^2
A_{cov}	مساحت سطح پوشش کلکتور
A_{sc}	مساحت کلکتور خورشیدی
A_{env}	مساحت جانبی کلکتور CPC m^2
A_r	مساحت دریافت‌کننده کلکتور سهموی متمرکز m^2
A_t	مساحت نازل m^2
ACH	تغییردهنده هوا در واحد ساعت h^{-1}
atm	اتمسفر
C	نسبت تمرکز
c_0	راندمان چشمی (اپتیکی)
c_1	ضریب افت حرارتی خطی
c_2	ضریب افت حرارتی درجه دوم
c_e	سرعت جریان ثانویه میرد از اواپراتور $m \cdot s^{-1}$
c_g	سرعت جریان اولیه میرد از ژنراتور به نازل اجکتور $m \cdot s^{-1}$
c_m	سرعت خروجی جریان مخلوط از مقطع عرضی اختلاط $m \cdot s^{-1}$
c_p	گرمایی ویژه $kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$
COP_{ejc}	ضریب عملکرد زیرمجموعه تبرید اجکتوری
COP_{carnot}	ضریب عملکرد ماشین کارنو
COP_{el}	ضریب عملکرد سیستم تبرید مکانیکی/برقی

$COP_{thermal}$	ضریب عملکرد سیستم حرارتی محور
$C.P.$	فشار بحرانی bar
$C.T.$	دمای بحرانی $^{\circ}C$
$E_{c,out}$	اکسرژی خروجی از کندانسور kW
E_e	اکسرژی بار سرمایش kW
E_g	اکسرژی ورودی ژنراتور (اکسرژی خروجی کلکتور خورشیدی) kW
$E_{p,et}$	اکسرژی ورودی به پمپ از طریق برق شهری kW
E_s	اکسرژی تابش ورودی به کلکتور خورشیدی kW
$E_{s,h}$	اکسرژی حرارتی ورودی به کلکتور خورشیدی kW
E_{su}	اکسرژی مفید ورودی به کلکتور خورشیدی kW
EPI	برنامه جامع مصونیت از طرف سازمان سلامت جهانی
ETC	کلکتور خورشیدی لوله خلاء
f	ضریب قدرت نور خورشید
F_R	ضریب انتقال حرارت هدر رفته کلکتور
F_m	ضریب راندمان کلکتور یا ضریب انتقال حرارت
FSS	کلکتور خورشیدی یک طرف لعاب دیده صفحه تخت
FSD	کلکتور خورشیدی دو طرف لعاب دیده صفحه تخت
g	ثابت گرانش $kg.N.m.s^{-2}$
G	تابش تصادفی خورشید بر واحد سطح $W.m^{-2}$
G_u	تابش خورشید جذب شده مفید $kW.m^{-2}$
G_{tot}	تابش خورشید نیم کره‌ای کامل $kW.m^{-2}$
G_{ava}	تابش خورشید قابل دسترس $W.m^{-2}$
$G_{horizontal}$	تابش خورشید کامل بر افق $W.m^{-2}$
GWP	پتانسیل گرمایش جهانی در ارتباط با دی‌اکسید کربن
h_a	آنتالپی هوای محیط $kJ.kg^{-1}$
I	برگشت‌ناپذیری یا اتلاف اکسرژی kW
I_c	برگشت‌ناپذیری در کندانسور kW
I_e, I_{evap}	برگشت‌ناپذیری در اواپراتور kW
I_{exp}	برگشت‌ناپذیری در شیر انبساط kW
I_g	برگشت‌ناپذیری در ژنراتور kW

I_j	برگشت‌ناپذیری در اجکتور kW
I_p	برگشت‌ناپذیری در پمپ kW
I_{sc}	برگشت‌ناپذیری در کلکتور خورشیدی kW
I_{tot}	برگشت‌ناپذیری کل از هر بخش در سیستم kW
IEA	دفتر نمایندگی انرژی بین‌المللی
IIR	مؤسسه بین‌المللی تبرید
$K(\theta)$	تابع تنظیم زاویه تصادفی θ
m	نرخ جریان جرمی $kg.s^{-1}$
m_e	نرخ جریان جرمی ورودی از اواپراتور $kg.s^{-1}$
m_g	نرخ جریان جرمی از ژنراتور $kg.s^{-1}$
M.W.	وزن مولکولی $kg.kgmole^{-1}$
n.B.P	نقطه جوش نرمال $^{\circ}C$
ODP	پتانسیل تخلیه لایه اوزن در ارتباط با R11
$\mathcal{P}$	ضریب اتلافات نوری شکاف
P_c	فشار تقطیر (فشار کندانسور) Pa
P_e	فشار تبخیر (فشار اواپراتور) Pa
P_g	فشار ژنراتور Pa
PV	فوتوولتائیک
$Q_{abs-cov}$	گرمای جذب شده در جاذب بوسیله فرآیند جابجایی kW
Q_{ava}	حرارت قابل دسترس برای فرآیند موجود در کلکتور خورشیدی kW
$Q_{air coupling,i}$	جریان حرارت جابجایی از کوپلینگ هوا به نواحی مسیر هوا kW
Q_{conv}	جریان حرارت جابجایی به نواحی مسیر هوا kW
Q_e	ظرفیت سرمایش kW
$Q_{infiltration,i}$	نفوذ جریان حرارتی به نواحی مسیر هوا kW
$Q_{internal gain}$	حرارت بدست آمده داخلی در فضای داخل kW
$Q_{r,long,wall}$	تابش با طول موج بلند از دیوار به نواحی مسیر هوا kW
$Q_{r,sol,wall}$	تابش خورشید از دیوار به نواحی مسیر هوا kW
$Q_{r,w}$	جریان حرارتی تشعشعی به دیوارها و پنجره‌ها kW
$Q_{r,wall,int}$	تابش داخلی از دیوار به نواحی مسیر هوا kW
Q_s	انرژی به دست آمده از تابش خورشید kW

Q_{su}	گرمای جذب شده مفید در کلکتور خورشیدی kW
$Q_{surface,i}$	جریان حرارت جابجایی از سطح به نواحی مسیر هوا kW
Q_u	انرژی بدست آمده مفید در کلکتور خورشیدی kW
$Q_{ventilation,i}$	جریان حرارت جابجایی از تهویه هوا به نواحی مسیر هوا kW
r	حرارت تبخیر تخمین زده شده بوسیله قانون تروتون $kJ \cdot kg^{-1}$
r_p	نسبت تراکم، نسبت فشار بین کندانسور و اواپراتور
r_p^*	نسبت فشار در دمای بحرانی کندانسور
REE	بازده اکسرژی تبرید
S	آنترופی $kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$
S_e	آنترופی جریان ثانویه میرد از اواپراتور $kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$
S_g	آنترופی جریان اولیه میرد از ژنراتور $kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$
$S_{g-sc,in}$	آنترופی جریان از کلکتور خورشیدی به ژنراتور $kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$
$S_{g-sc,out}$	آنترופی جریان برگشتی از ژنراتور به کلکتور خورشیدی $kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$
SEE	بازده اکسرژی سیستم
SP	عملکرد سیستم
STR	نسبت حرارتی سیستم
T	دما K
T_1	دمای چاه گرمایی برای موتور حرارتی کارنو شکل ۸-۲ K
T_1	دمای چاه گرمایی برای سیستم تبرید کارنو شکل ۸-۲ K
T_2	دمای منبع گرمایی برای سیستم تبرید کارنو در دمای پائین شکل ۸-۲ K
T_a	دمای هوای محیط $^{\circ}C$
$T_{abs,avg}$	دمای میانگین سطح جاذب کلکتور $^{\circ}C$
T_c	دمای تقطیر (دمای کندانسور) $^{\circ}C$
T_c	دمای سلول فوتوولتائیک $^{\circ}C$
$T_{c,critical}$	دمای بحرانی کندانسور $^{\circ}C$
T_{cov}	دمای پوشش کلکتور در کلکتور لوله خلاء $^{\circ}C$
T_e	دمای تبخیر (دمای اواپراتور) $^{\circ}C$
T_g	دمای ژنراتور K

t_g	دمای ژنراتور °C
T_i	دمای سیال عامل ورودی به کلکتور خورشیدی °C
T_o	دمای سیال عامل خروجی از کلکتور خورشیدی °C
T_{planet}	دمای پلانت K
T_r	دمای اتاق °C
T_{sun}	دمای خورشید K
T_{sc}	دمای میانگین کلکتور خورشیدی K
T_{ref}	دمای مرجع K
U_L	ضریب افت
$W_{p,el}$	برق ورودی به پمپ kW
WHO	سازمان سلامت جهانی
z_A	ارتفاع در سطح A, m
z_B	ارتفاع در سطح B, m

فهرست علائم یونانی

α	ضریب جذب جاذب
α_{abs}	قابلیت جذب جاذب
β	ضریب تغییرات بازده سلول خورشیدی
β_D	ضریب تصحیح برای نفوذ آفتاب
β_β	ضریب تصحیح برای تابش مستقیم
γ	نسبت ظرفیت حرارتی یا ضریب تأخیر (فصل ۲)
ε_{eff}	قابلیت انتشار مؤثر
ε_1	قابلیت انتشار یا بازتابندگی از سطح ۱ در کلکتور
ε_2	قابلیت انتشار یا بازتابندگی از سطح ۲ در کلکتور
ε_{abs}	قابلیت انتشار جاذب
ε_t	کار kW
η	بازده کلکتور خورشیدی
η_{opt}	بازده چشمی (اپتیکی)

η_R	بازده مرجع در دمای $^{\circ}\text{C}$
$\eta_{opt,PTC}$	بازده چشمی کلکتور سهموی متمرکز ساده
$\eta_{opt,CPC}$	بازده چشمی کلکتور سهموی متمرکز مرکب
η_D	بازده دیفیوزر
η_N	بازده نازل
η_{PV}	بازده سلول فوتوولتائیک
η_R	بازده مرجع در یک سلول فوتوولتائیک در دمای $^{\circ}\text{C}$
η_{sc}	بازده کلکتور خورشیدی
$\eta_{system,carnot}$	راندمان (بازده) سیستم کارنو
$\eta_{system,el}$	راندمان (بازده) سیستم برقی
ρ	قابلیت انعکاس دهنده‌گی
$\rho_{ref}^{\bar{n}}$	قابلیت انعکاس دهنده‌گی بازتابنده
ρ_{abs}	قابلیت انعکاس دهنده‌گی جاذب
ρ_{env}	قابلیت انعکاس دهنده‌گی مساحت جانبی کلکتور
λ	بازده آیزوتروپیک اجکتور
σ	ثابت استفان-بولتزمن
τ	ضریب قابلیت نقل و انتقال مربوط به پوشش شیشه کلکتور
τ_{cov}	قابلیت انتقال دهنده‌گی پوشش کلکتور
τ_{env}	قابلیت انتقال دهنده‌گی مساحت جانبی کلکتور
$(\tau\alpha)_e$	ضریب جذبی- عبوری مؤثر کلکتور
ω	نسبت جرمی
$\xi_{carnot,heat engine}$	بازده موتور حرارتی کارنو

مقدمه نویسندگان

لزوم گسترش و کاربرد انرژی‌های تجدیدپذیر امروزه بر همگان ثابت شده است. در میان انواع انرژی‌های نو، انرژی خورشیدی بیشترین کاربرد را در صنایع مختلف داشته است. انرژی خورشیدی، منبع لایزالی است که حضور آن را به صورت مستقیم یا غیرمستقیم می‌توان در سایر منابع انرژی درک کرد. به طور کلی این انرژی در دو بخش حرارتی خورشیدی و برقی خورشیدی استفاده می‌گردد. یکی از عمده‌ترین مسایل در زمینه انرژی خورشیدی، تولید سرما به وسیله انرژی خورشیدی است که موضوع تحقیقات زیادی در سراسر دنیا می‌باشد. در کتاب حاضر سعی شده گزیده‌ای از این تحقیقات جهت ارائه به دانشجویان و محققین آماده شود.

فصل اول کتاب ضمن بیان مقدمه، خواننده را به اهمیت موضوع در این بخش از کاربرد انرژی خورشیدی آگاه می‌سازد. مطالب این فصل عمدتاً از اینترنت و سایت‌های اطلاع‌رسانی گرفته شده که صرفاً جهت اطلاع و آشنایی خوانندگان است. در فصل دوم که به نوعی مهم‌ترین قسمت کتاب است سعی شده اکثر سیکل‌های سرمایش و تهویه و تبرید خورشیدی به تفصیل ارائه شود.

در فصل سوم شرایط محیطی بر سیستم‌های خورشیدی بیان شده است که برای محققان در شرایط واقعی بسیار مفید می‌تواند باشد.

در فصل چهارم یکی از مباحث مهم و جدید در زمینه سرمایه‌های خورشیدی، یعنی سیستم‌های اجکتوری خورشیدی مورد مطالعه قرار گرفته است.

فصل پنجم کتاب به انتخاب مبرد که در همه سیستم‌های تبرید حائز اهمیت است، می‌پردازد. در فصل‌های ششم و هفتم نیز تحلیل حالت‌های پایا و تحلیل اکسرژی مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است.

به‌هرحال در این کتاب تا آن‌جا که امکان داشته، سعی بر آن بوده است که نحوه بیان مطالب به گونه‌ای مناسب برای همه گروه از خوانندگان ارائه گردد، اگرچه هر کاری خالی از عیب و نقص نیست اما امید است که خوانندگان گرامی ما را از نظرات و پیشنهادات خود محروم نسازند. در پایان لازم می‌دانیم از زحمات مدیریت محترم انتشارات آراد کتاب جناب آقای رضایی و همه کسانی که ما را در این راه مساعدت کرده‌اند تشکر نمائیم.

امین‌رضا نقره‌آبادی

Noghrehabadi@scu.ac.ir

مجتبی مروج

Moravej60@gmail.com

امیر بهسرشت

Behsere-sht.amir@gmail.com