

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده : مهندسی مکانیک

گروه : حرارت و سیالات

بررسی اثر تابش خورشیدی بر روی سیستم های اندازه گیری درون لوله های انتقال نفت

دانشجو : علیرضا راسخ

استاد راهنما :

دکتر محمود فرزانه گرد

دکتر شهرام هاشمی مرغزار

استاد مشاور:

دکتر حسین نیکوفرد

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

دی ۸۸

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : مکانیک
گروه : حرارت و سیالات

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای علیرضا راسخ
تحت عنوان:

بررسی اثر تابش خورشیدی بر روی سیستم های اندازه گیری درون لوله های انتقال نفت

در تاریخ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد
(رساله دکتری) مورد ارزیابی و با درجه مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :

این مجموعه را به **پدر عزیزو مادر دلسوزم** به پاس زحمات بی دریغ و بی شائبه شان تقدیم می نمایم.

تشکر و قدردانی

سپاس خدای را که هر چه دارم و ندارم از اوست. اوست که در مشکلات و پیچ و خم های زندگی همواره یار و مددکارم بوده و هست. با توکل و توصل به ذات پاکش با سرفرازی و سربلندی به این مرحله قدم نهادم. ای سر چشمه نور و روشنایی امیدم آنست که پلی به سویت به من حقیر و همه ره جویان ذات پاکت بگشایی.

از زحمات بی دریغ و بی شائبه استاد ارجمند و گرامی، جناب آقای دکتر فرزانه گرد، که در مدت زمان تدوین این اثر، همواره مرا یاری و پشتیبانی نمودند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

همچنین از اساتید ارجمند و بزرگوار، آقایان، دکتر نیازمند، دکتر نیکوفرد و دکتر هاشمی و دوستان عزیزم، آقایان مهندس نباتی و مهندس سعادت و پرسنل شرکت پایانه های نفتی خارک کمال تشکر و سپاس را دارم.

یا رب تو چنان کن که پشیمان نشوم

علیرضا راسخ

دی ۱۳۸۸

دانشجو تأیید می نماید که مطالب مندرج در این پایان نامه (رساله) نتیجه تحقیقات خودش می باشد و در صورت استفاده از نتایج دیگران مرجع آن را ذکر نموده است.

کلیه حقوق مادی مترتب از نتایج مطالعات ، آزمایشات و نوآوری ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد.

ماه و سال

چکیده

در این تحقیق، مدلی عملی برای جریان نفت داخل خطوط لوله در بالای سطح زمین به عنوان سیال تراکم ناپذیر ارائه شده است. تغییرات دمایی سطح لوله و جریان نفت مورد بررسی قرار گرفته است. سطح بیرونی لوله در معرض انرژی خورشیدی و جریان باد قرار دارد. مبادلات تشعشعی سطح لوله با محیط نیز مهم فرض شده و قابل نظر نمی باشد. تاثیرات رنگ سطح خارجی لوله ها نیز از نظر ضریب جذب و نشر نظرشان، مورد مطالعه قرار گرفته است.

برای بررسی توسعه دمایی نفت در خط لوله، مدلی ارائه شده است که نتایج بدست آمده از آن نشان می دهد درجه حرارت متوسط سیال در فاصله ای از لوله که به طور مشخص تابع عدد رینولدز است، به سمت مقدار معینی میل می کند. ضرایب جذب و نشر رنگ سطح لوله به عنوان عامل اصلی در توسعه دمایی جریان داخل لوله معرفی شده که قادر به افزایش یا کاهش دمای سطح لوله و دمای سیال داخل لوله به خصوص برای اعداد رینولدز پایین، می باشند. به طور کلی افزایش ضریب جذب، افزایش دمای سطوح و افزایش ضریب نشر، کاهش دمای سطوح را به همراه دارد.

یکی از مهمترین اهداف پایانه های نفتی محاسبه دقیق میزان نفت جابجا شده است؛ که آنها را به سمت کاهش یا از بین بردن هر گونه خطا در این سیستم های اندازه گیری سوق می دهد. سه منبع اصلی خطا در سیستم اندازه گیری نفت خام شامل موارد زیر می باشد:

الف) دمای نفت ب) ذرات رسوب و آب ج) دبی جریان.

دمای نفت به هنگام فروش یکی از عوامل ایجاد خطا در پایانه های صادرات نفت است. نور خورشید تاثیر بسزایی در جذب انرژی توسط سطوح لوله و در نتیجه تغییرات دمایی نفت دارد. جریان نفت در حین عبور از لوله با جذب انرژی خورشید توسط سطح خارجی لوله و انتقال آن از طریق هدایت گرم می شود. این امر سبب افزایش دمای نفت در هنگام رسیدن به ایستگاه اندازه گیری و متعاقب آن افزایش عدم قطعیت در اندازه گیری می گردد. مقدار افزایش دما به رنگ سطح لوله و دبی جریان نفت وابسته است.

ایستگاه اندازه گیری مورد بررسی در جزیره خارک واقع است. در این جزیره، خط لوله ای به طول سه کیلومتر از مخازن نفت تا ایستگاه اندازه گیری برای صادرات محصولات نفتی وجود دارد. نفت خام از مخازن ذخیره که در ارتفاع ۶۰ متری نسبت به ایستگاه اندازه گیری نفت قرار دارد، به دلیل فشار ثقل در خطوط انتقال نفت جریان می یابد. مقدار جریان توسط شیرهای مناسبی کنترل می شود. به دلیل اینکه پایانه نفتی جزیره خارک سهم عمده صادرات را به خود اختصاص می دهد، بحث دقت اندازه گیری اهمیت بیشتری می یابد. در بخشی از پروژه، دمای نفت خام در هنگام اندازه گیری (انتهای لوله) در پایانه های صادرات نفت، بر مبنای شرایط جوی و جغرافیایی جزیره خارک محاسبه شده است و تاثیرات رنگ سطح لوله و دبی جریان مورد بررسی قرار گرفته است. بعلاوه عدم قطعیت سیستم اندازه گیری در اثر افزایش دما مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج محاسبات نشان می دهد دمای نفت در هنگام اندازه گیری، هر چه از شرایط استاندارد (۱ atm، ۶۰°F) به دور باشد، میزان عدم قطعیت سیستم اندازه گیری نیز بیشتر خواهد بود. در نتیجه استفاده از رنگ های که انرژی خورشیدی کمتری را جذب می کنند، پیشنهاد می شود. محاسبات نشان می دهد، استفاده از رنگ سفید نسبت به دیگر رنگ های مورد بررسی کمترین درصد عدم قطعیت در اندازه گیری را به همراه دارد. در ادامه تاثیر دبی بر عدم قطعیت سیستم اندازه گیری بررسی شده است. نتایج حاکی از آن است که استفاده از حداکثر دبی مجاز عدم قطعیت اندازه گیری را در مقایسه با دبی های کمتر کاهش می دهد. بر همین اساس استفاده از حداکثر دبی مجاز توصیه می شود. در انتها به بررسی تاثیر تابش خورشید بر افت فشار جریان نفت در رژیم آرام اشاره شده است. بدین منظور استفاده از رنگ سیاه در جدار لوله در کاهش افت فشار پیشنهاد می شود.

کلمات کلیدی: تابش خورشید، نفت سبک، لوله انتقال نفت، رنگ جدار لوله، عدم قطعیت در سیستم اندازه

گیری، توسعه دمایی نفت درون لوله، افت فشار جریان.

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

1- Studying effects of pipe line flow rate on metering systems in Kharg Island oil terminal- The 6th International Chemical Engineering Congress and Exhibition (IChEC 2009) – Kish Island – 20 Nov 2009.

2 - Effect of seals on evaporation loss from the Khark Island crude oil storage tanks - The 6th International Chemical Engineering Congress and Exhibition (IChEC 2009) – Kish Island – 20 Nov 2009.

۱ - محاسبه میزان اتلافات تبخیری از مخازن ذخیره سازی نفت خام در جزیره خارک - کنفرانس دانشجویی مهندسی مکانیک - مشهد - دانشگاه آزاد اسلامی - آبان ماه ۱۳۸۸.

۲ - محاسبه چگالی یک سیستم هیدروکربنی دو فازی با استفاده از معادلات حالت مختلف - کنفرانس دانشجویی مهندسی مکانیک - مشهد - دانشگاه آزاد اسلامی - آبان ماه ۱۳۸۸.

فهرست مطالب

۱	مقدمه و تاریخچه کارهای انجام شده.....
۱-۱	مقدمه.....
۲-۱	تاریخچه.....
۳-۱	اهداف پایان نامه.....
۴-۱	معرفی فصل های پایان نامه.....
۲	روش های محاسبه تابش خورشید.....
۱-۲	مقدمه.....
۲-۲	تعاریف.....
۱-۲-۲	ثابت خورشیدی.....
۲-۲-۲	تابش مستقیم.....
۳-۲-۲	تابش پخشی (پراکنده).....
۴-۲-۲	زاویه سمت الراس (θ_z).....
۵-۲-۲	زاویه فراز (ارتفاعی) خورشید (α).....
۶-۲-۲	زاویه انحراف (میل) خورشید (δ).....
۷-۲-۲	مسیر توده جو (m).....
۸-۲-۲	زاویه طلوع و غروب نجومی.....
۹-۲-۲	زاویه برخورد تابش مستقیم به صفحات ثابت.....
۳-۲	عوامل موثر بر تابش.....
۱-۳-۲	عوامل نجومی.....
۱-۱-۳-۲	فاصله زمین - خورشید.....
۲-۱-۳-۲	زاویه ارتفاعی خورشید.....
۳-۱-۳-۲	زاویه میل خورشید.....
۴-۱-۳-۲	عرض جغرافیایی.....
۵-۱-۳-۲	طول روز.....

- ۲۱ ثابت خورشیدی..... (۶-۱-۳-۲)
- ۲۲ لگه های خورشیدی..... (۷-۱-۳-۲)
- ۲۲ عوامل جوی..... (۲-۳-۲)
- ۲۳ قانون بیر..... (۱-۲-۳-۲)
- ۲۳ تضعیف به سبب جذب انتخابی..... (۲-۲-۳-۲)
- ۲۶ پوشش ابر..... (۳-۲-۳-۲)
- ۲۶ کدری جو..... (۴-۲-۳-۲)
- ۲۶ تابش آسمان..... (۵-۲-۳-۲)
- ۲۸ برآورد تابش خورشیدی با استفاده از متغیر های هواشناسی..... (۴-۲)
- ۲۸ بانک اطلاعاتی داده های تابش..... (۱-۴-۲)
- ۲۹ بررسی مدلها..... (۲-۴-۲)
- ۳۰ مدل انگستروم..... (۱-۲-۴-۲)
- ۳۲ مدل بریستو و کمپبل..... (۲-۲-۴-۲)
- ۳۳ مدل هارگریوز..... (۳-۲-۴-۲)
- ۳۴ مدل ردی..... (۴-۲-۴-۲)
- ۳۵ مقایسه نتایج مدل های مختلف برای ایران..... (۳-۴-۲)
- ۳۷ محاسبه تابش خورشید..... (۵-۲)
- ۴۵ انتقال حرارت جابجایی در خطوط لوله..... (۳)
- ۴۶ مقدمه..... (۱-۳)
- ۴۶ ضریب انتقال حرارت جابجایی در داخل لوله افقی..... (۲-۳)
- ۴۶ جابجایی اجباری..... (۳-۳)
- ۴۶ جریان آرام..... (۱-۱-۳-۳)
- ۴۷ جریان درهم..... (۲-۱-۳-۳)
- ۴۸ جابجایی آزاد..... (۳-۱-۳-۳)
- ۴۸ ضریب انتقال حرارت جابجایی در خارج لوله افقی..... (۴-۳)
- ۴۸ جابجایی آزاد..... (۱-۴-۳)

۴۹	..... جابجایی اجباری (۲-۴-۳)
۴۹	..... جابجایی آزاد و اجباری (۳-۴-۳)
۵۰	..... نتایج ضریب جابجایی در خارج خطوط انتقال نفت (۵-۳)
۵۲	..... تاثیر تابش خورشید بر تغییرات دمای لوله های افقی (۴)
۵۳	..... مقدمه (۱-۴)
۵۴	..... شرح مسئله و مدل تحلیلی (۲-۴)
۵۵	..... انتقال حرارت تشعشی (۳-۴)
۵۷	..... ضریب جابجایی خطوط لوله (۴-۴)
۵۹	..... تعیین خواص ترمودینامیکی نفت (۵-۴)
۶۶	..... آنالیز حرارتی (۶-۴)
۶۷	..... بالانس انرژی در حجم کنترل (۱) (۱-۶-۴)
۶۸	..... بالانس انرژی در حجم کنترل (۲) (۲-۶-۴)
۷۰	..... تاثیر ضرایب نشر و جذب بر پروفیل دمایی لوله و سیال (۷-۴)
۷۸	..... تاثیر رنگ سطح لوله بر پارامترهای مختلف (۸-۴)
۷۹	..... تاثیر رنگ بر انتقال حرارت جابجایی سطح لوله (۱-۸-۴)
۸۰	..... تاثیر رنگ جدار لوله بر جذب تابش خورشید (۲-۸-۴)
۸۱	..... تاثیر رنگ بر تغییرات دمای نفت خروجی از خطوط لوله (۳-۸-۴)
۸۴	..... بررسی نتایج عددی با استفاده از نرم افزار وینترم (۹-۴)
۸۷	..... مقایسه نتایج عددی و مدل تحلیلی (۱-۹-۴)
۸۹	..... مقایسه نتایج تجربی و مدل تحلیلی (۱۰-۴)
۹۲	..... بررسی تاثیر دما بر عدم قطعیت سیستم های اندازه گیری (۵)
۹۳	..... مقدمه (۱-۵)
۹۴	..... جریان سنج توربینی (۲-۵)
۹۸	..... تاثیر دما بر عدم قطعیت سیستم اندازه گیری در جزیره خارک (۳-۵)
۹۸	..... تعیین حجم خالص استاندارد (۱-۳-۵)
۹۹	..... ضریب تصحیح فشار سیال (۲-۳-۵)

۹۹	.....۳-۳-۵) ضریب تصحیح دمایی سیال
۱۰۳	.....۶) بررسی تاثیر تابش خورشید بر افت فشار خطوط لوله
۱۰۴	.....۶-۱) مقدمه
۱۰۴	.....۶-۲) آنالیز مسئله
۱۰۷	.....۷) بحث و نتیجه گیری
۱۱۰	.....ضمائم

فهرست جداول

- جدول ۱-۲ - ضریب بازتاب جنس های مختلف ۶
- جدول ۲-۱ - مقدار n برای هر ماه ۱۵
- جدول ۲-۲ - مشخصات برخی از ایستگاه های هواشناسی در ایران ۲۹
- جدول ۳-۲ - ضرایب انگستروم برای ایستگاه های موجود در ایران ۳۱
- جدول ۴-۲ - ضرایب مدل بریستو و کمپیل برای مناطق مختلف ایران ۳۲
- جدول ۵-۲ - ضرایب مدل هارگریوز برای مناطق مختلف ایران ۳۴
- جدول ۶-۲ - مقایسه مدل های محاسبه تابش در ایستگاه ههای مختلف ۳۵
- جدول ۷-۲ - رتبه بندی مدل ها در ایستگاه ها ۳۷
- جدول ۸-۲ - متوسط تابش روزانه برای ماه های مختلف سال در جزیره خارک با مدل انگستروم ۴۱
- جدول ۹-۲ - مقدار تابش ساعتی بر سطح افقی برای شش ماه اول سال ۴۲
- جدول ۱۰-۲ - مقدار تابش ساعتی بر سطح افقی برای شش ماه دوم سال ۴۲
- جدول ۱-۳ - تعیین C_L با توجه به محدوده عدد پرائتل ۴۸
- جدول ۲-۳ - ضرایب معادله مورگان جابجایی اجباری روی استوانه افقی ۴۹
- جدول ۳-۳ - ابعاد و مشخصات استاندارد لوله مورد بررسی ۵۰
- جدول ۴-۳ - محاسبه ضریب جابجایی اطراف لوله در تابستان ۸۶ ۵۱
- جدول ۱-۴ - اطلاعات آزمایشگاهی نفت خام سبک ۶۳
- جدول ۲-۴ - برخی خواص نفت خام سبک در دماهای مختلف ۶۳
- جدول ۳-۴ - پارامترهای مورد نیاز در محاسبات ۷۰
- جدول ۴-۴ - خواص فیزیکی متوسط نفت سبک ۷۰
- جدول ۵-۴ - ضریب جذب و پخش رنگ های مورد بررسی ۷۸
- جدول ۶-۴ - مقدار دبی متداول در خطوط انتقال در بررسی موردی ۷۸
- جدول ۱-۵ - ضرایب ثابت معادله CTL برای محصولات نفتی ۱۰۰
- جدول ۲-۵ - تغییرات عدم قطیت ضریب CTL با دما برای نفت سبک ۱۰۰
- جدول ۱-۶ - بررسی تاثیر رنگ بر خواص نفت در حالت توسعه یافتگی ۱۰۶

فهرست شکل ها

- شکل ۲-۲- تابش پخشی خورشید در اثر برخورد با ابر و ذرات گرد و غبار جو ۱۳
- شکل ۳-۲ - زاویه سمت الراس و فراز خورشید ۱۳
- شکل ۴-۲ - زاویه میل خورشید ۱۴
- شکل ۵-۲ - شماتیکی از مسیر توده جو ۱۵
- شکل ۶-۲ - تغییرات تابش فرا جو با عرض جغرافیایی و زمان ۲۱
- شکل ۷-۲- تاثیر جذب تشعشع توسط گازهای موجود در اتمسفر ۲۴
- شکل ۸-۲ - انواع پراکندگی در اتمسفر ۲۵
- شکل ۹-۲- مقایسه میزان تابش بدست آمده از مدل انگستروم و هارگریوز برای سال ۸۶ ۴۰
- شکل ۱۰-۲- شدت تشعشع روی صفحه افقی در جزیره خارک در ماه ۱۵ مرداد سال ۸۶ ۴۳
- شکل ۱-۳- جریان عرضی روی استوانه افقی ۴۹
- شکل ۱-۴- شماتیکی از مسئله مورد بررسی ۵۵
- شکل ۲-۴- انواع مختلف نفت بر حسب ای پی آی ۶۰
- شکل ۳-۴- تغییرات ضریب هدایت بر حسب دمای نفت سبک ۶۴
- شکل ۴-۴- تغییرات چگالی بر حسب دمای نفت سبک ۶۴
- شکل ۵-۴- تغییرات ظرفیت گرمای ویژه بر حسب دمای نفت سبک ۶۵
- شکل ۶-۴- تغییرات لزجت با دمای نفت سبک ۶۵
- شکل ۷-۴- حجم کنترل لوله و سیال به منظور آنالیز حرارتی ۶۶
- شکل ۸-۴- بررسی تاثیر ضریب جذب بر تغییرات دمای متوسط سیال در طول لوله ۷۱
- شکل ۹-۴- بررسی تاثیر ضریب جذب بر تغییرات دمای سطح لوله در طول مسیر جریان ۷۲
- شکل ۱۰-۴- بررسی تاثیر ضریب نشر بر تغییرات دمای متوسط سیال در طول لوله ۷۳
- شکل ۱۱-۴- بررسی تاثیر ضریب نشر بر تغییرات دمای سطح لوله در طول جریان ۷۳
- شکل ۱۲-۴- تاثیر عدد رینولدز جریان بر تغییرات دمایی سیال در طول مسیر لوله ۷۴
- شکل ۱۳-۴- توسعه دمایی سیال داخل لوله در حالت کلاسیک با شار ثابت ورودی به دیواره لوله ۷۵
- شکل ۱۴-۴- تغییرات طول توسعه یافتگی و عدد رینولدز ۷۶

- شکل ۴-۱۵- تاثیر ضریب جذب بر تغییرات دمای نفت خروجی از خطوط لوله در طول روز..... ۷۷
- شکل ۴-۱۶- تاثیر ضریب نشر بر تغییرات دمای نفت خروجی از خطوط لوله در طول روز..... ۷۷
- شکل ۴-۱۷- اثر رنگ بر انتقال حرارت جابجایی سطح خارجی لوله..... ۷۹
- شکل ۴-۱۸- تاثیر رنگ بر میزان جذب انرژی خورشید توسط سطح لوله..... ۸۰
- شکل ۴-۱۹- تغییرات دمایی نفت در انتهای خط لوله در دبی ۱۰۰۰ بشکه در ساعت..... ۸۱
- شکل ۴-۲۰- تغییرات دمایی نفت در انتهای خط لوله در دبی ۲۰۰۰ بشکه در ساعت..... ۸۲
- شکل ۴-۲۱- تغییرات دمایی نفت در انتهای خط لوله در دبی ۳۰۰۰ بشکه در ساعت..... ۸۳
- شکل ۴-۲۲- تاثیر دبی لوله بر تغییرات دمایی نفت در انتهای لوله برای رنگ سیاه و سفید..... ۸۴
- شکل ۴-۲۳- کانتور دمایی خط لوله روی سطح زمین از ساعت ۵:۳۰ تا ۱۸:۳۰..... ۸۷
- شکل ۴-۲۴- مقایسه نتایج مدل تحلیلی و عددی برای رنگ سفید با دبی ۱۰۰۰ بشکه در ساعت..... ۸۸
- شکل ۴-۲۵- مقایسه نتایج مدل تحلیلی و عددی برای رنگ آلومینیومی با دبی ۲۰۰۰ بشکه در ساعت..... ۸۸
- شکل ۴-۲۶- مقایسه نتایج مدل تحلیلی و عددی برای رنگ سیاه با دبی ۳۰۰۰ بشکه در ساعت..... ۸۹
- شکل ۴-۲۷- نمایی از ترمومتر مادون قرمز..... ۹۰
- شکل ۴-۲۸- نمایی از خطوط لوله جزیره خارک..... ۹۰
- شکل ۴-۲۹- مقایسه دمای متوسط سطح لوله در هر ساعت در طول روز..... ۹۱
- شکل ۵-۱- شماتیکی از خط لوله و مخزن ذخیره نفت در جزیره خارک..... ۹۴
- شکل ۵-۲- برشی از یک دبی سنج توربینی..... ۹۶
- شکل ۵-۳- پالس ایجاد شده بر اثر چرخش روتور..... ۹۷
- شکل ۵-۴- درصد عدم قطعیت اندازه گیری روزانه در پانزدهم ماه مرداد..... ۱۰۲
- شکل ۵-۵- درصد عدم قطعیت اندازه گیری سالیانه..... ۱۰۲
- شکل ۶-۱- تاثیر رنگ لوله بر افت فشار نفت در لوله..... ۱۰۶

فهرست علائم

علامت	واحد	کمیت
α	m^2/s	پخشندگی گرمایی
H	Mj/m^2	تابش کلی روزانه
H_0	W/m^2	تابش فرا جو
a_R	بی بعد	تضعیف ناشی از پراکنش ریلی
a_D	بی بعد	تضعیف ناشی از پراکنش مایی
a_W	بی بعد	تضعیف ناشی از جذب
I_{SC}	W/m^2	ثابت خورشیدی
RH	%	رطوبت نسبی
k	$W/m.K$	رسانندگی گرمایی
θ	angle	زاویه برخورد تابش با سطح
Γ	بی بعد	زاویه روز
ω	angle	زاویه ساعتی خورشید
α	angle	زاویه فراز خورشید
θ_z	angle	زاویه سمت الراس
δ	angle	زاویه انحراف
V	m/s	سرعت
P	Kpa	فشار
α	بی بعد	ضریب جذب
β	بی بعد	ضریب بازتاب
ε	بی بعد	ضریب پخش
c	بی بعد	ضریب ابرناکی
Pr	بی بعد	عدد پرنتل
Gr	بی بعد	عدد گرافش

Ra	بی بعد	عدد ریلی
Re	بی بعد	عدد رینولدز
Nu	بی بعد	عدد نوسلت
R_n	بی بعد	عدد ولف
Φ	angle	عرض جغرافیایی
K_T	بی بعد	گذرایی روزانه جو
ν	m^2/s	لزجت سینماتیکی
μ	$N.s/m^2$	لزجت
N	hours	طول روز نجومی
L	angle	طول جغرافیایی
m	بی بعد	مسیر توده جو
S	hours	میزان ساعات آفتابی بودن
S_o	hours	حداکثر ساعت آفتابی
R	mm	میزان بارندگی
D_o	mm	قطر داخلی لوله
D_i	mm	قطر خارجی لوله
hi	$(w/m^2 k)$	ضریب جابجایی داخل لوله
ho	$(w/m^2 k)$	ضریب جابجایی خارج لوله
I	(W/m^2)	تابش کل ساعتی
I_b	(W/m^2)	تابش مستقیم ساعتی
I_d	(W/m^2)	تابش پخشی ساعتی
I_o	(W/m^2)	تابش فراجو
I_T	(W/m^2)	تابش روی سطح استوانه ای
\dot{m}	(Kg/s)	دبی لوله
c_p	$(kJ/kg K)$	ظرفیت گرمای ویژه
T_f	$(^{\circ}C)$	دمای سیال

T_s	(°C)	دمای سطح لوله
T_∞	(°C)	دمای محیط
ρ	(Kg/m ³)	چگالی
σ	(W/m ² K ⁴)	ثابت بولتزمن
CPL	بی بعد	ضریب تصحیح فشار
CTL	بی بعد	ضریب تصحیح دما

فصل اول

مقدمه و تاریخچه کارهای انجام شده

۱-۱) مقدمه

اگرچه امروزه کدها و برنامه های پرقدرت CFD^۱ قادر به شبیه سازی فرآیند های انتقال حرارت تحت تقریباً هر شرط مرزی می باشند؛ استفاده از حل تحلیلی یک بعدی در اغلب موارد دقت قابل ملاحظه ای در پروسه های انتقال حرارت در جریان پایا را منجر می شود. حل تحلیلی همچنین ادراک فیزیکی بهتری درباره فرآیند های پیچیده انتقال انرژی و جریان میسر می سازد. بعلاوه آنالیز بی بعد در حالت جریان یک بعدی بسیار آسانتر خواهد بود. بر همین اساس، حل تحلیلی یک بعدی در طراحی و کاربرد های مرتبط خورشیدی بطور وسیعی بکار می رود.

جریان داخل لوله یک مسأله کلاسیک انتقال حرارت است که در بسیاری از کتب مربوط به انتقال حرارت بررسی شده است (به طور مثال اینکروپر و دویت^۲ [۱] و کیس و کرافورد^۳ [۲]).

به طور کلی، دو شرط مرزی برای سطح لوله در نظر گرفته می شود. مورد اول شرط مرزی دمای دیواره ثابت و دیگری شار حرارتی ثابت روی دیواره. برای هر یک از این دو شرط مرزی، روش های تحلیلی برای بدست آوردن ضریب جابجایی از دیدگاه توسعه یافتگی هیدرودینامیکی و توسعه یافتگی حرارتی در جریان آرام و مغشوش، همچنین تعیین پروفیل دمای سیال در طول لوله وجود دارد.

اعمال شار ثابت به دیواره لوله از طریق گرمکن یا تشعشع خورشید امکان پذیر است. مدل مورد بررسی اعمال شار ثابت از طریق تشعشع خورشید به لوله با در نظر گرفتن اتلافات انرژی به محیط می باشد. اتلافات به محیط شامل دو قسمت جابجایی به محیط پیرامون و تشعشع به آسمان است.

در ادامه کار، برای امتحان درستی نتایج مدل ارائه شده از نرم افزار وینترم^۴ از سری نرم افزارهای مربوط به سازمان نفت امریکا^۵ و نتایج داده های تجربی استفاده شده است.

^۱ Computational Fluid Dynamics

^۲ Incropera and DeWitt

^۳ Kays and Crawford

^۴ Wintherm

^۵ A.P.I (American petroleum institution)

یکی از مهمترین اهداف پایانه های نفتی محاسبه دقیق میزان نفت جابجا شده است؛ که آنها را به سمت کاهش یا از بین بردن هر گونه خطا در این سیستم های اندازه گیری سوق می دهد. هر نوع خطا در اندازه گیری منجر به زیان مالی برای فروشنده و یا خریدار می شود. چنین خطاهایی در نتیجه عدم دقت در پروسه انتقال نفت است که فروشنده مقدار کمتر یا بیشتری از محصول نسبت به در قرارداد اشاره شده، دریافت می کند. دمای نفت به هنگام فروش یکی از عوامل ایجاد خطا در این پایانه ها است. در ادامه دمای نفت در انتهای خط لوله مورد نظر در طول روز با در نظر گرفتن تابش خورشید بر سطح لوله محاسبه شده و سپس با توجه به رابطه دما و عدم قطعیت در اندازه گیری، خطای سیستم اندازه گیری تخمین زده شده است.

۲-۱) تاریخچه

با توجه به اینکه محاسبه تابش خورشیدی و تاثیر آن بر دمای سطوح از اهداف پروژه محسوب می شود، اقدامات انجام شده در این راستا بیان شده است. که می توان به کار های زیر اشاره کرد:

جیووانی و هافمن^۱ [۳] دمای درون منازل مسکونی را اندازه گیری نمودند، آنها این کار را برای ساختمان هایی که بدنه و سقف آنها با رنگ های سفید و خاکستری رنگ آمیزی شده بود، انجام دادند. نتایج آن ها نشان می دهد که دمای درون ساختمان هایی که از رنگ سفید در سقف آنها استفاده شده است کمتر از ساختمان هایی است که سقف آنها خاکستری رنگ است. فتی^۲ [۴] تحقیقات گسترده ای را در زمینه سقف های گنبدی و سقف های مسطح انجام داد، وی به این نتیجه رسید که سقف های گنبدی و دارای انحنا نسبت به سقف های مسطح بخش بیشتری از تابش خورشید را بازتاب می دهند. ویلیز^۳ [۵] تحقیقاتی را برای استفاده از تابش خورشیدی در سیستم های گرمایشی ساختمان ها آغاز نمود و در این راستا به معرفی ضرایب جذب، بازتاب و پخش حرارتی برای فلزات مختلف پرداخت که این ضرایب در جدول (۱-۱) نشان داده شده اند.

¹ Givoni and Haffman

² Fathy

³ Whillier

جدول ۱-۱- ضرایب جذب، بازتاب و پخش برخی فلزات [۵]

ضریب پخش ϵ	ضریب بازتاب β	ضریب جذب α	فلز سطح
۰/۱	۰/۹	۰/۱	آلومینیم خالص
۰/۶۵	۰/۸۴-۰/۸۸	۰/۱۲-۰/۱۶	آلومینیم
۰/۲	۰/۶	۰/۴	کروم
۰/۰۳	۰/۸۵	۰/۱۵	مس- پولیش شده
۰/۰۲۵-۰/۰۴	۰/۷۷-۰/۸	۰/۲-۰/۲۳	طلا
۰/۰۷-۱/۱	۰/۵۶	۰/۴۴	آهن
۰/۱	۰/۵۷-۰/۶۴	۰/۳۶-۰/۴۳	نیکل
۰/۰۲	۰/۹۶۵	۰/۰۳۵	نقره- پولیش شده
۰/۰۵	۰/۵	۰/۵	قلع

بهداری و حقیقت^۱ [۶] با مطالعه بر روی ساختمان هایی با سقف های گنبدی واقع شده در شهر یزد نتایج بدست آمده توسط فتی را تایید نمودند و بیان کردند که سقف های گنبدی شکل در مناطق گرمسیری، در فصول گرم سال باعث خنکی فضای درون ساختمان می شود. رانشنگ و میر^۲ [۷] به آنالیز میزان جذب تابش خورشید توسط سطوح گنبدی و سطوح صاف پرداختند، آنها نشان دادند که برای زاویه سمت الراسی کمتر از ۳۰ درجه میزان تابش جذبی در سطوح گنبدی و مسطح یکسان است اما با افزایش این زاویه با مقادیر بیشتر از ۳۰ میزان تابش جذبی در سطوح گنبدی افزایش می یابد. تنگ^۳ [۸] به بررسی شدت تابش خورشیدی و اثر آن بر دمای درون ساختمان های مسکونی پرداخت؛ وی میزان تابش را برای موقعیت های مختلف خورشید در آسمان مورد بررسی قرار داد. او مسئله استفاده از بازتابنده ها در سقف ساختمان ها را نیز به صورت تئوری مطالعه نمود. بهداری و میرحسینی^۴ [۹] مطالعاتی در زمینه تخمین میزان تابش خورشیدی برای شهرهای مختلف ایران انجام دادند؛ که در این تحقیق میانگین ماهانه ضریب صافی روزانه هوا (\bar{K}_T) به عنوان متغیر وابسته و عوامل هواشناسی دیگر نظیر کسر ساعات آفتابی (S)، رطوبت نسبی (R)، دمای هوا (T) و میزان

¹ Bahadori and Haghghat

² Runsheng and Meir

³ Tang

⁴ Bahadori and Mirhosseni

بارندگی روزانه (R) و همچنین حاصلضرب هر یک از این عوامل با کسر ساعات آفتابی، به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شده و با استفاده از نرم افزار SPSS برای شهر های مختلف ایران و در ماه های مختلف سال یک رابطه آماری بدست آمده است. آمار استفاده شده در این تحقیق شامل داده های اندازه گیری شده توسط سازمان هواشناسی طی دوره آماری ۱۹۹۲-۱۹۹۹ بوده است. هداوند و یعقوبی^۱ [۱۰] با کمک های روش های عددی به تحلیل دمایی ساختمان هایی با سقف گنبدی پرداختند؛ شرایط جوی که آنها در نظر گرفتند متناسب با اول سپتامبر سال ۲۰۰۸ شهر یزد است. ماروا و بلیو^۲ [۱۱] به مطالعه راجع به استفاده از انرژی خورشیدی در سیستم های گرمایشی ساختمان های مسکونی پرداختند. آنها برای بررسی این مسئله میزان تابش خورشیدی را برای ماه های مختلف محاسبه نمودند و در محاسبات خود اثر باد را مد نظر قرار دادند. وانگ^۳ و همکارانش [۱۲] به بررسی اثر تابش بر روی دمای درون محوطه کارخانه ها پرداختند؛ برای این کار آنها شرایط اقلیمی چند شهر صنعتی در سراسر جهان را که دارای طول و عرض جغرافیایی متفاوتی بودند را در نظر گرفته و میزان تابش خورشیدی را در این مناطق محاسبه نمودند؛ سپس سقف کارخانه های موجود در این شهرها را با رنگ های مختلف رنگ آمیزی کرده و دمای درون سوله ها را اندازه گرفتند. آنها همچنین ضریب بازتاب را برای چند نوع رنگ مورد بررسی قرار دادند. تاکبایاشی و موریاما^۴ [۱۳] مطالعات خود را بر روی یک محوطه آزاد شامل چمن های محوطه، پیاده رو، ساختمان هایی با رنگ های مختلف آغاز نمودند، تا میزان جذب تابش را بر روی هر یک از این موارد محاسبه نمایند. برخی نتایج آنها در جدول (۱-۲) آورده شده است.

¹ Hadavand and Yaghoubi

² Marwa and Beliveau

³ Wang

⁴ Takebayashi and Moriyama

جدول ۱-۲ - ضریب بازتاب جنس های مختلف [۱۳]

جنس سطح	خاک	چمن	بتن	رنگ خاکستری	رنگ سفید
ضریب بازتاب	۰/۱۷	۰/۱۵	۰/۳۷	۰/۳۶	۰/۷۴

موهنلنیکو^۱ [۱۴] به بررسی تاثیر استفاده از روکش های مختلف در بدنه ساختمان ها بر روی دمای درون ساختمان پرداخت. برای این کار وی بدنه مدل هایی که تحت تابش خورشیدی قرار داشتند را با شیشه پوشاند، سپس بر روی شیشه لایه ای از روکش های مختلف قرار داده و دمای درون ساختمان را اندازه گرفت. وی در طی این پروژه ضریب بازتاب و ضریب عبور را برای روکش های نقره، آلومینیم، طلا و مس به صورت تابعی از طول موج بدست آورد. هونگ و یانگ^۲ [۱۵] به بررسی استفاده از تابش خورشیدی برای سیستم های گرمایشی ساختمان ها پرداختند. آنها برای انجام این کار میزان تابش خورشیدی را در منطقه هنگ کنگ محاسبه نموده و به صورت تجربی انرژی را که توسط کلکتور ها به آب منتقل می شد را بدست آوردند. اسمیت^۳ و همکارانش [۱۶] ضریب بازتاب انرژی خورشیدی را برای سطوح آلومینیمی با رنگ های زرد، زرد همراه با پوشش اکسید آهن، قرمز و قرمز همراه با پوشش اکسید آهن بررسی نمودند. آنها همچنین به محاسبه ضریب پخشی برای رنگ های سیاه، طلایی، قرمز همراه با پوششی از اکسید آهن و زرد همراه با پوشش اکسید آهن پرداختند. هیانجو^۴ [۱۷] به بررسی تاثیر انرژی خورشیدی در لوله های خلأ پرداخت و دمای سیال داخل لوله را با توجه به نوع سطح مورد بررسی قرار داد. کری^۵ [۱۸] به بررسی مدل های تشعشی پخشی انرژی خورشیدی برای شهرهای ترکیه پرداخت و با توجه به داده های آماری بهترین مدل برای تخمین تشعشع پخشی خورشید را انتخاب کرد.

از بین مطالعات اخیر در زمینه تاثیر انرژی خورشید بر دمای لوله و کاربردهای آن می توان به موارد

زیر اشاره کرد:

¹ Mohelnikova

² Hong and Yang

³ Smith

⁴ Hyunjoo

⁵ Koray

کوثری و پورشاقی^۱ [۱۹] به بررسی شار ثابت بر سطح خارجی لوله توسط گرمکن حرارتی بر تغییرات دمایی سیال داخل لوله با در نظر گرفتن اتلاف حرارت به محیط پیرامون از طریق جابجایی پرداختند و از تشعشع سطح لوله به آسمان صرف نظر کردند. آنها نشان داد که دمای سیال در طول لوله در فاصله خاصی از ابتدای جریان در لوله به مقدار معینی میل می کند. یعقوبی^۲ و همکارانش [۲۰] دمای نفت داخل کلکتورهای استوانه ای خورشیدی برای نیروگاه خورشیدی شیراز محاسبه کردند. آنها شرایط جریان را ناپایا با صرف نظر از تغییرات ترم هدایت در لوله در نظر گرفتند و در ادامه دستگاه معادله دیفرانسیل غیر خطی بدست آمده را با روش عدی جداسازی^۳ حل کردند. کوسیفاج^۴ [۲۱] حل تحلیلی برای انتقال نور خورشید از طریق لوله های خلأ با لعاب شفاف را ارائه کرد. این حل تحلیلی برای قسمت های مختلف شفاف و غیر شفاف شبیه سازی عددی سریعی را فراهم آورد. بوردوکان^۵ [۲۲] و همکارانش مدلی برای کلکتورهای لوله های خلأ به منظور استفاده در خشک کن خورشیدی پیشنهاد کردند.

چیراراتانانون^۶ [۲۳] و همکارانش مدلی برای دریافت انرژی خورشیدی از طریق لوله های شفاف در مناطق گرمسیری به منظور افزایش بار حرارتی تهویه مطبوع ارائه کردند. مدنی^۷ [۲۴] توزیع دمای آب داخل کلکتور خورشیدی استوانه ای با پوشش رنگ جدار سیاه را بدست آورد. برای این منظور او از مدل ساده ضریب کلی انتقال حرارت استفاده کرد.

کیم^۸ [۲۵] و همکارانش به ارزیابی عملکرد سیستم های خورشیدی متشکل از لوله های خلأ دو جداره با بکارگیری مدل تحلیلی یک بعدی پرداختند؛ آنها شرایط اطراف لوله را ناپایا با شار ثابت فرض

¹ Kowsary and Pourshaghaghay

² Yaghoubi

³ discretization method

⁴ Kocifaj

⁵ Bourdoukan

⁶ Chirarattananon

⁷ Madani

⁸ Kim

کردند. هان^۱ [۲۶] و همکارانش همان موضوع را با مدلی سه بعدی بررسی کردند و نتایج را با مدل یک بعدی مقایسه کردند و که نتایج مطابقت قابل قبولی با هم داشتند. در زمینه سیستم های اندازه گیری نیز می توان به تحقیق دمسنکو^۲ [۲۷] اشاره کرد. او به بررسی تاثیر دما، فشار و ویسکوزیته بر حجم اندازه گیری شده توسط توربین متر پرداخت و نتایج را با دیگر جریان سنج ها مقایسه کرد.

۳-۱) اهداف پایان نامه

اهداف زیر در راستای این تحقیق مورد نظر می باشد:

- محاسبه مقدار تابش خورشید در طول روز بر روی سطح زمین و تاثیر آن بر سطوح استوانه ای افقی.
- تهیه مدلی برای مطالعه اثر تابش خورشید و وزش باد بر دمای سیال و سطح لوله افقی در طول مسیر جریان و مقایسه نتایج بدست آمده با نتایج عددی و داده های تجربی.
- بررسی اثر تابش خورشید بر افت فشار جریان نفت داخل خطوط لوله افقی در جریان آرام.
- تاثیر تابش خورشید بر درصد عدم قطعیت سیستم های اندازه گیری پایانه های نفتی.

۴-۱) معرفی فصل های پایان نامه

در این قسمت به محتوی فصول پایان نامه اشاره ای کلی خواهیم داشت. در فصل بعد به بررسی مدل های تشعشی خورشید خواهیم پرداخت. سپس با توجه به پارامترهایی مانند موقعیت جغرافیایی و دمای هوا در ماه های مختلف سال تشعشع کلی، مستقیم و پخشی بر روی سطوح افقی در فراجو و روی سطح زمین را محاسبه خواهیم کرد و میزان تشعشع بر روی سطوح استوانه ای را محاسبه می کنیم. در فصل دیگری به بررسی مدلی برای بدست آوردن دمای سطح لوله و جریان داخل آن خواهیم

¹ Han

² Damasceno

پرداخت و نتایج بدست آمده را با نتایج عددی و داده های تجربی مقایسه خواهیم کرد. سپس به معرفی سیستم های اندازه گیری خواهیم پرداخت و تاثیر دما بر عدم قطعیت آنها را مورد مطالعه قرار می دهیم. در بخش بعد به بررسی اثر تابش بر افت فشار سیال در رژیم آرام اشاره خواهیم کرد. در آخر نیز نتایج کارهای صورت گرفته در راستای این تحقیق ارائه شده است.

فصل دوم

روش های محاسبه تابش خورشید

۲-۱) مقدمه

خورشید کره ای است به قطر تقریبی $۱۰^۶ \times ۱/۳$ کیلومتر که در فاصله متوسط $۱۰^۸ \times ۱/۴۹$ کیلومتری زمین قرار گرفته است. در بسیاری از موارد می توان خورشید را به منزله یک تولید کننده انرژی نقطه ای در نظر گرفت؛ زیرا متوسط زاویه راس آن نسبت به ناظری که در روی زمین قرار گرفته است حدود نیم درجه می باشد.

خورشید از لایه های متفاوتی از گاز های داغ تشکیل گردیده که هر چه به مرکز آن نزدیکتر می شویم، دمای آن بیشتر می شود. بیرونی ترین لایه خورشید که از آن انرژی ساطع می شود، چنانچه معادل یک جسم سیاه در نظر گرفته شود، دارای دمای ۵۷۶۲ K می باشد؛ در حالی که دمای قسمت های داخلی آن حدود $۱۰^۶ \times ۸$ تا $۱۰^۶ \times ۴۰$ درجه کلوین تخمین زده می شود. میزان انرژی ساطع شده از خورشید حدود $۱۰^{۲۳} \times ۳/۸$ کیلو وات است که از این مقدار فقط یک جز بسیار اندک آن معادل $۱۰^{۱۴} \times ۱/۷$ کیلو وات به جو زمین برخورد می کند از این مقدار انرژی حدود ۳۰٪ به فضا باز می تابد، حدود ۴۷٪ به سطح زمین می رسد، حدود ۲۳٪ آن صرف چرخه تبخیر و باران کره زمین می شود و حدود ۰/۰۱٪ به صورت فتو سنتز در گیاهان ذخیره می گردد.

۲-۲) تعاریف

در کاربرد انرژی خورشیدی غالباً از واژه هایی استفاده می شود که در زیر توضیح داده شده اند.

۲-۲-۱) ثابت خورشیدی

مقدار متوسط تابش خورشید در واحد زمان به ازای واحد سطحی عمود بر راستای تابش در سطح خارجی جو زمین را ثابت خورشیدی می نامند و با G_{sc} یا I_{sc} نشان می دهند. مقدار اندازه گیری شده آن که مورد قبول اکثریت مجامع علمی جهان می باشد، معادل ۱۳۶۷ W/m^2 است.

میزان تابش در سطح خارجی جو زمین به دو دلیل تغییر می کند؛ دلیل اول تغییرات میزان صدور انرژی از خورشید در نتیجه فعالیت های مختلف آن می باشد که هنوز مورد تایید کامل محافل علمی

قرار نگرفته و گزارشات متفاوتی در مورد آن وجود دارد. بنابراین در اینجا از آن تغییرات صرف نظر می کنیم. دلیل دوم مربوط به مدار خورشید و زمین می باشد. از آنجایی که مدار خورشید-زمین بیضوی است، فاصله خورشید در طول سال حدود ۱/۷٪ تغییر می کند و در نتیجه میزان تابش سطح خارجی جو زمین نیز کمی تغییر می کند. میزان تابش در سطح خارجی جو بر روی صفحه ای عمود بر راستای تابش را در هر روز سال می توان از رابطه زیر بدست آورد [۲۸].

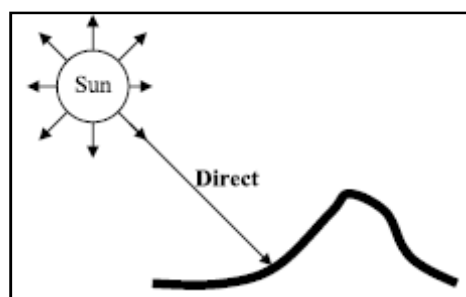
$$G_{on} = G_{sc} \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] \quad (1-2)$$

که در آن G_{on} میزان تابش در سطح خارجی جو بر روی صفحه ای عمود بر جهت تابش در روز n ام سال را نشان می دهد. $n=1$ روز اول ژانویه (۱۱ دی ماه) یعنی آغاز سال میلادی و $n=365$ روز سی و یکم دسامبر (۱۰ دی ماه) می باشد. مقادیر n از جدول (۱-۲) بدست می آید.

تابش خورشیدی در نتیجه عبور از جو زمین به دو جزء تابش مستقیم و تابش پخش تقسیم می شود. در واقع تابش کل، مجموع تابش مستقیم و پخشی می باشد.

۲-۲-۲) تابش مستقیم

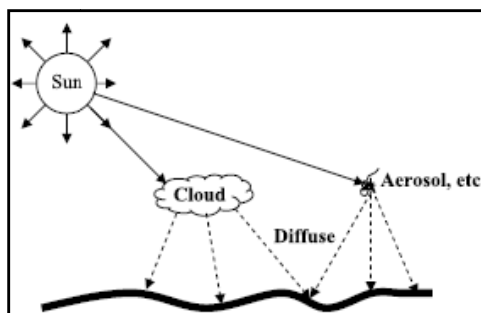
تابش مستقیم قسمتی از تابش خورشیدی است که بدون تغییر جهت ناشی از پراکندگی به وسیله جو، در سطح زمین دریافت می شود. این تابش می تواند سایه قابل تشخیصی در زمین ایجاد نماید.



شکل ۱-۲- تابش مستقیم خورشید [۲۹]

۳-۲-۲) تابش پخشی (پراکنده)

تابش پخشی قسمتی از تابش خورشید است که بعد از تغییر جهت یافتن ناشی از پراکندگی شدن به وسیله ذرات غبار و گاز در جو، به سطح زمین می رسد.



شکل ۲-۲- تابش پخششی خورشید در اثر برخورد با ابر و ذرات گرد و غبار جو [۲۹]

۲-۲-۴) زاویه سمت الراس (θ_z)

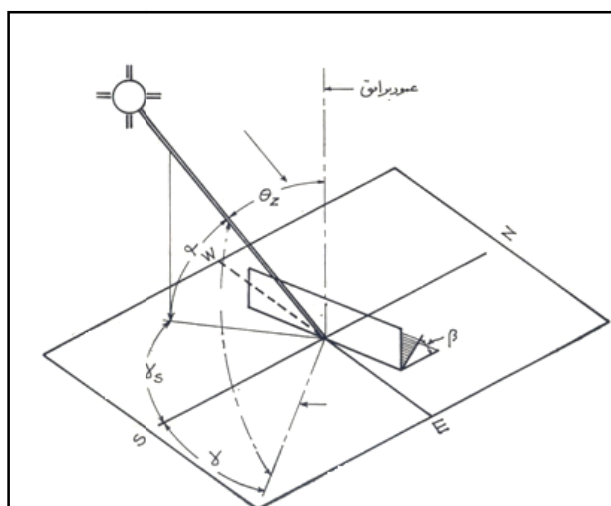
زاویه بین راستای تابش مستقیم خورشیدی و راستای عمود بر صفحه افق می باشد و با θ_z نشان داده می شود.

۲-۲-۵) زاویه فراز (ارتفاعی) خورشید (α)

زاویه بین راستای تابش مستقیم خورشید و راستای افق است. از تعریف این دو زاویه می توان نتیجه گرفت.

$$\theta_z + \alpha = 90^\circ \quad (۲-۲)$$

زاویه سمت الراس و فراز خورشید در شکل (۲-۳) به خوبی نشان داده شده اند.



شکل ۲-۳ - زاویه سمت الراس و فراز خورشید [۳۰]

۲-۲-۶) زاویه انحراف (میل) خورشید (δ)

موقعیت زاویه ای خورشید در ظهر خورشیدی نسبت به صفحه استوا می باشد. زاویه انحراف خورشید در طول سال از $-23/45$ تا $+23/45$ درجه تغییر می کند. حداکثر مقدار زاویه انحراف خورشید در شکل (۲-۴) نشان داده شده است.



شکل ۲-۴ - زاویه میل خورشید [۳۰]

لازم به ذکر است که مقادیر زاویه انحراف خورشید در طول سال های متوالی به اندازه ناچیزی با هم تفاوت دارند و هر چهار سال یک بار به علت واقع شدن سال کبیسه، مجدداً تکرار می شود. تا کنون روابط تجربی گوناگونی جهت محاسبه زاویه انحراف ارائه گردیده است که رابطه زیر یکی از آنها می باشد [۲۸].

$$\delta = \text{Arcsin} \left[\sin(23.45) \cdot \sin \left(\frac{360(284+n)}{365} \right) \right] \quad (۳-۲)$$

یا می توان رابطه را به صورت ساده تر نوشت:

$$\delta \approx 23.45 \sin \left(360 \cdot (284 + n) / 365 \right) \quad (۴-۲)$$

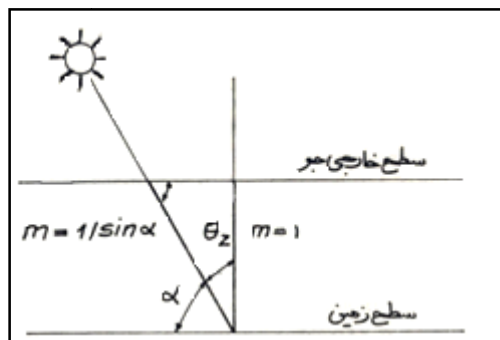
در این رابطه n شماره روز می باشد. برای محاسبه مقدار n روابطی موجود است که این روابط در جدول (۲-۱) متناسب با ماه میلادی آورده شده است؛ این جدول شامل مقادیر n برای کلیه سال ها، بجز سال های کبیسه می باشد. برای سال کبیسه به مقدار n از ماه مارس به بعد باید یک واحد اضافه کرد و بدین ترتیب مقادیر δ نیز مختصر تغییر خواهد کرد.

جدول ۲-۱ - مقدار n برای هر ماه [۳۰]

ماه میلادی	n برای روز i ام ماه میلادی
ژانویه Jan	1
فوریه Feb	$31+i$
مارس Mar	$59+i$
آوریل Apr	$90+i$
مه May	$120+i$
ژوئن Jun	$151+i$
ژوئیه Jul	$181+i$
آگوست Aug	$212+i$
سپتامبر Sep	$243+i$
اکتبر Oct	$273+i$
نوامبر Nov	$304+i$
دسامبر Dec	$334+i$

۲-۲-۷) مسیر توده جو (m)

نسبت طول مسیری که تابش مستقیم خورشید می بایستی در جو طی کرده تا به نقطه مورد نظر برسد به طول مسیری که تابش مستقیم خورشید در شرایط سمت الراس باید طی کند تا به همان نقطه برسد؛ مسیر توده جو نامیده می شود. پس مسیر توده جو بدون بعد می باشد. با توجه به تعریف فوق و طبق قرارداد، در سطح دریا، هنگامی که خورشید در سمت الراس باشد ($\theta_z = 0$) و یا ($\alpha = 90$)؛ $m = 1$ می گردد و یا زمانی که ($\theta_z = 60$) و یا ($\alpha = 30$)، $m = 2$ می باشد. مسیر توده جو به خوبی در شکل (۲-۵) نشان داده شده است.



شکل ۲-۵ - شماتیکی از مسیر توده جو [۳۰]

مسیر توده جو در سطح دریا را می توان از رابطه زیر محاسبه کرد [۲۸].

$$m = [1229 + (614 \sin \alpha) 2]^{0.5} - 614 \sin \alpha \quad (5-2)$$

این رابطه انحنای سطح زمین و سطح خارجی جو را در نظر می گیرد و برای زاویه فراز خورشید از حدود صفر تا نود درجه قابل استفاده است. رابطه زیر نیز یکی از متداول ترین روابطی است که برای محاسبه مسیر توده ارائه شده است و مبنی بر این فرض است که به طور کلی سطح زمین و سطح خارجی جو به صورت مسطح می باشد.

$$m = 1 / \sin \alpha \quad (6-2)$$

رابطه فوق به علت انحنای زمین از زاویه سمت الراس ۰ تا ۷۰ (زاویه فراز خورشید ۲۰ تا ۹۰) قابل استفاده است.

برای نقاطی که در سمت دریا قرار ندارند، باید روابط (۵-۲) و (۶-۲) را تعدیل نمود. برای این منظور کافی است که مقادیر m را که از روابط فوق بدست می آیند، در P/P_0 ضرب نمود که در آن P فشار جو در محل مورد نظر و P_0 فشار استاندارد جو در سطح دریا می باشد. اما از آنجایی که ممکن است مقادیر P و P_0 در دسترس نباشند می توان از رابطه تقریبی زیر استفاده نمود [۲۸].

$$\frac{P}{P_0} = \exp \left[- \left(\frac{A}{1000} \right) \cdot \left(0.174 + \frac{0.0017A}{1000} \right) \right] \quad (7-2)$$

که در آن A ، ارتفاع نقطه مورد نظر از سطح دریا بر حسب متر می باشد؛ لازم به ذکر است که در بسیاری از محاسبات مقادیر m را که از روابط (۵-۲) و (۶-۲) بدست می آیند، مستقیماً و بدون در نظر گرفتن ضریب تعدیل برای نقاطی غیر از سطح دریا مورد استفاده قرار می دهند.

هنگامی که از نقاط مختلف زمین صحبت می شود، باید توجه داشت که هر یک از نقاط روی زمین را به وسیله عرض جغرافیایی (Φ) و طول جغرافیایی (L) مشخص می کنند. از دیگر زوایایی که در کاربرد انرژی خورشیدی دارای اهمیت هستند، می توان زاویه شیب صفحه مورد نظر (β) و زاویه سمت صفحه (γ) و زاویه برخورد تابش مستقیم با صفحه (θ) را نام برد. زاویه شیب عبارت است از

زاویه بین سطح صفحه مورد نظر و سطح افق. زاویه سمت صفحه عبارتند از انحراف تصویر عمود بر صفحه در یک سطح افقی با نصف النهار محلی. هنگامی که صفحه به سمت جنوب شرقی باشد، زاویه سمت صفحه منفی و هرگاه به سمت جنوب غربی باشد، مقدار آن مثبت است. این زاویه بین $+180^\circ$ تا -180° تغییر می کند.

۲-۲-۸) زاویه طلوع و غروب نجومی

از دیگر پارامترهایی که در تعیین تابش خورشید لازم است تا محاسبه شود، زاویه طلوع و غروب خورشید به صورت زاویه ساعتی می باشند. زاویه ساعت در لحظه غروب خورشید از رابطه زیر بدست می آید [۲۸].

$$\omega_s = \text{Arccos}(-\tan \phi \cdot \tan \delta) \quad (۸-۲)$$

که در این رابطه ω_s زاویه ساعتی خورشید در لحظه غروب نجومی بر حسب درجه، ϕ عرض جغرافیایی بر حسب درجه و δ زاویه انحراف (میل) خورشید بر حسب درجه می باشد.

زاویه ساعتی خورشید در لحظه طلوع نجومی از رابطه زیر بدست می آید [۲۸]:

$$\omega_r = -\omega_s \quad (۹-۲)$$

۲-۲-۹) زاویه برخورد تابش مستقیم به صفحات ثابت

زاویه بین راستای تابش مستقیم بر روی یک صفحه و راستای عمود بر آن صفحه زاویه برخورد نام دارد. زاویه برخورد تابش مستقیم را برای هر صفحه تخت با هر زاویه شیب و زاویه سمت در هر نقطه از کره زمین، در هر روز و هر زمانی می توان از رابطه زیر محاسبه نمود [۲۸].

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \delta \sin \Phi \cos \beta - \sin \delta \cos \Phi \sin \beta \cos \gamma + \cos \delta \cos \Phi \cos \beta \cos \omega + \\ & \cos \delta \sin \Phi \sin \beta \cos \gamma \sin \omega + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \end{aligned} \quad (۱۰-۲)$$

در برخی از موارد می توان رابطه (۱۰-۲) را ساده نمود و سپس مورد استفاده قرار داد. به عنوان مثال برای صفحات عمودی ($\beta = 90^\circ$) رابطه را می توان به صورت زیر نوشت:

$$\cos \theta = -\sin \delta \cos \Phi \sin \beta \cos \gamma + \cos \delta \sin \Phi \cos \gamma \sin \omega + \cos \delta \sin \gamma \sin \omega \quad (۱۱-۲)$$

برای صفحات افقی ($\beta = 0$) چون زاویه سمت الراس و زاویه برخورد با یکدیگر برابرند؛ می توان رابطه را به صورت زیر در نظر گرفت:

$$\cos\theta = \sin\delta \sin\Phi + \cos\delta \cos\Phi \cos\omega \quad (12-2)$$

روابطی که تا کنون ارائه گردیدند مربوط به محاسبه زاویه برخورد تابش مستقیم به صفحات تخت ثابت می شود. چنانچه صفحات از نوع لوله ای (استوانه ای) و ثابت باشند، زاویه برخورد را می توان از رابطه زیر بدست آورد [۲۸].

$$\cos\theta = [1 - [\cos(\Phi - \beta) \sin\delta - \sin(\Phi - \beta) \cos\delta \cos\omega]^2]^{1/2} \quad (13-2)$$

۲-۳ عوامل موثر بر تابش

میزان انرژی تابشی که از جانب خورشید به سطح زمین می رسد، توسط دو سری از فاکتورها تحت تاثیر قرار می گیرد.

الف) فاکتور هایی که روی تابش رسیده به بیرون جو و یا به عبارت دیگر روی میزان تابش تاثیر می گذارند. این دسته شامل عوامل نجومی و لکه های خورشیدی می باشند.

ب) عوامل جوی که بر روی توزیع طیفی تابش و یا به اصطلاح کیفیت تابش تاثیر می گذارند.

۲-۳-۱ عوامل نجومی

تابش رسیده به بیرون جو زمین یا تابش فرا جو (I_0) برابر تابشی است که در صورت عدم وجود جو به سطح زمین می رسد. تابش فرا جو دریافتی بر روی یک صفحه موازی سطح زمین به صورت زیر با فاصله زمین - خورشید و زاویه ارتفاعی خورشید (β) مرتبط است [۲۸].

$$I_0 = I_{sc} \left(\frac{\bar{d}}{d}\right)^2 \cos\theta \quad (14-2)$$

که در این رابطه I_{sc} ثابت خورشیدی، \bar{d} فاصله متوسط زمین - خورشید برابر یک واحد نجومی (AU)، d فاصله واقعی زمین - خورشید، $\frac{\bar{d}}{d}$ تصحیح لازم برای خارج از مرکز بودن مدار بیضوی زمین به دور خورشید و I_0 تابش فرا جو در هر لحظه زمانی مشخص می باشد.

برای بدست آوردن تابش فرا جو روزانه باید در رابطه (۲-۱۴) از $\cos \theta$ در طول روز به صورت زیر انتگرال گرفته شود [۳۱]:

$$I_0 = I_{sc} \left(\frac{\bar{d}}{d}\right)^2 \cdot \int_{t_{ss}}^{t_{sr}} \cos \theta \quad (15-2)$$

$$H_0 = 3600 I_{sc} \left(\frac{\bar{d}}{d}\right)^2 \left[N \sin \phi \sin \delta + \left(\frac{24}{\pi}\right) \cos \phi \cos \delta (1 - \tan^2 \delta \cdot \tan^2 \phi)^{\frac{1}{2}} \right] \quad (16-2)$$

که t_{sr} و t_{ss} به ترتیب زمان های طلوع و غروب خورشید، N طول روز نجومی بر حسب ساعت و H_0 تابش فرا جو روزانه می باشند. طول روز نجومی (پتانسیل طول روز) از رابطه زیر بدست می آید که تابعی از زوایای ساعتی طلوع و غروب خورشید می باشد.

$$N = \frac{\omega_s - \omega_r}{15} = \frac{2\omega_s}{15} \quad (17-2)$$

برای محاسبه تابش فرا جو روزانه می توان از رابطه زیر نیز استفاده نمود:

$$H_0 = \frac{24 \times 3600}{\pi} I_{sc} \left(\frac{\bar{d}}{d}\right)^2 \left[\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{2\pi \omega_s}{360} \sin \phi \sin \delta \right] \quad (18-2)$$

بر اساس معادله (۲-۱۸) عوامل موثر بر تابش فرا جوی شامل فاصله زمین - خورشید، ثابت خورشیدی، زاویه ارتفاعی خورشید، عرض جغرافیایی و زاویه میل خورشید می باشند. در ادامه هر کدام از این عوامل به صورت جداگانه توضیح داده می شوند.

۲-۳-۱-۱) فاصله زمین - خورشید

مقدار $\left(\frac{\bar{d}}{d}\right)^2$ یا نسب فاصله متوسط زمین - خورشید (برابر یک AU) به فاصله واقعی زمین - خورشید می تواند با دقت خوبی از هر کدام از روابط زیر بدست آید [۳۰].

$$\left(\frac{\bar{d}}{d}\right)^2 = 0.00011 + 0.034221 \cos \Gamma + 0.00128 \sin \Gamma + 0.000719 \cos 2\Gamma + 0.000077 \sin 2\Gamma \quad (19-2)$$

یا به طور ساده تر:

$$\left(\frac{\bar{d}}{d}\right)^2 = 1 + 0.033 \cos\left(\frac{360n}{365}\right) \quad (2-20)$$

در این روابط n شماره روز از یک ژانویه و Γ زاویه روز می باشد و از رابطه زیر بدست می آید:

$$\Gamma = \frac{360n}{365} \quad (2-21)$$

رابطه (2-19) بر اساس بسط سریهای فوریه ارائه شده و نسبت به معادله (2-20) از دقت بالاتری برخوردار است.

2-3-1-2) زاویه ارتفاعی خورشید

همان طور که قبلاً بیان شد زاویه ارتفاعی خورشید نسبت به سطح افق، وابسته به عرض جغرافیایی و زاویه میل خورشید می باشد. در روزهای بهار و تابستان، زاویه ارتفاعی خورشید زیاد و میزان تابش دریافتی از خورشید بیشتر از روز های پاییز و زمستان است. کاهش زاویه ارتفاعی خورشید موجب افزایش طول مسیر نور در جو و تضعیف بیشتر تابش می شود.

2-3-1-3) زاویه میل خورشید

زاویه میل خورشید بر روی زاویه ارتفاعی خورشید و طول روز موثر است. در روزهای بهاری و تابستان به دلیل مثبت بودن زاویه میل، زاویه ارتفاعی خورشید و طول روز بیشتر بوده و میزان تابش دریافتی بیشتر است.

2-3-1-4) عرض جغرافیایی

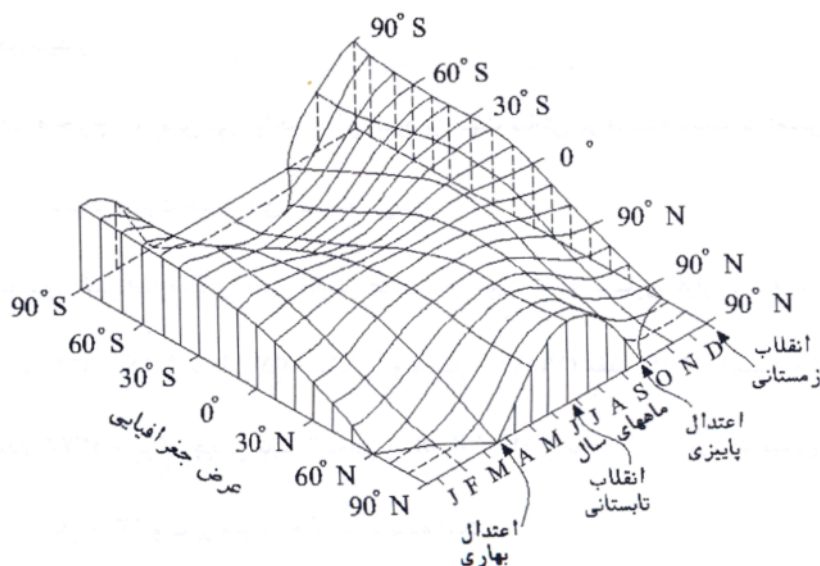
عرض جغرافیایی بر روی طول روز و زاویه ارتفاعی خورشید موثر می باشد. هر چند در نیمکره شمالی در روز های تابستان و بهار، در عرض های قطبی نسبت به استوا طول روز بیشتر است. ولی به علت زاویه ارتفاع کمتر خورشید در مناطق قطبی، میزان تابش دریافتی در عرض های نزدیک استوا نسبت به مناطق قطبی بیشتر است.

۲-۳-۱-۵) طول روز

طول روز با میزان ساعات دریافت تابش نسبت مستقیم دارد. به طوریکه افزایش طول روز باعث افزایش میزان تابش دریافتی از خورشید می گردد.

۲-۳-۱-۶) ثابت خورشیدی

انرژی رسیده به خارج جو زمین روی سطح واحد عمود بر جهت تابش در فاصله متوسط زمین - خورشید، ثابت خورشیدی نامیده می شود. در سال های اخیر اندازه گیری دقیق ثابت خورشیدی مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. شکل (۲-۶) تغییرات تابش فرا جو را با عرض جغرافیایی و زمان نشان می دهد. بر اساس این شکل، مناطق قطبی بیشترین مقدار تابش را در هنگام انقلاب تابستانی شان دریافت می کنند. مقدار دریافت شده در مواقع انقلاب دسامبر (انقلاب تابستانی قطب جنوب) در نیمکره جنوبی از نظر تئوری بیشتر از مقدار آن در نیمکره شمالی در انقلاب ژوئن (انقلاب تابستانی نیمکره شمالی) می باشد. استوا دارای دو ماکزیمم تابش در هنگام اعتدالین که خورشید موقع ظهر در استوا عمود می تابد و دارای دو مینیمم دریافتی در هنگام انقلابین که ارتفاع خورشید در استوا حداقل است، می باشد.



شکل ۲-۶ - تغییرات تابش فرا جو با عرض جغرافیایی و زمان [۳۰]

۲-۳-۱-۷) لکه های خورشیدی

لکه های خورشیدی مناطق نسبتاً تیره روی سطح خورشید هستند که دمای آنها فقط در حدود ۳۰۰۰ درجه کلوین می باشد و تا حدود ۰/۲ درصد از سطح قابل رویت خورشید را به خود اختصاص می دهند. هر لکه خورشیدی به نظر می رسد تا قبل از محو شدن دارای حرکت غربی، شرقی به سمت استوای خورشیدی می باشد.

لکه های خورشیدی سبب افزایش ثابت خورشیدی در حدود ۰/۳٪ و همچنین افزایش بسیار کم تابش فرا بنفش (UV) و باد های خورشیدی می شوند (بادهای خورشیدی شامل ذرات الکترون و پروتون با سرعت بالا هستند). لکه های خورشید دارای ماکزیمم سالانه با دوره بازگشت حدود ۱۱ ساله هستند. ماکزیمم این دوره ۱۱ ساله خود دارای دوره بازگشت ۸۵ سال می باشد. سقطی^۱ [۳۲] با شمارش گروه های لکه های خورشیدی (N_{sp}) و همچنین تعداد لکه های منفرد (n_{sp}) موجود بر سطح خورشید، شاخصی را برای تخمین فعالیت روزانه خورشید اختراع کرد. این شاخص که بعد ها به افتخار وی عدد ولف (R_n) نامگذاری شد، برابر $R_n = 10N_{sp} + n_{sp}$ می باشد.

۲-۳-۲) عوامل جوی

بر خلاف عوامل نجومی که باعث کاهش یا افزایش تابش خورشید در تمام طول موج ها می شوند، تاثیر عوامل جوی بر روی طول موجهای مختلف تابش خورشید یکسان نمی باشد، به طوری که در بعضی طول موج ها باعث تضعیف شدید تابش خورشید می شوند، ولی بر روی طول موج های دیگر یا تاثیر ندارند و یا اینکه تاثیر آنها بسیار اندک است. این ویژگی جو، قابلیت جذب انتخابی نامیده می شود.

¹ saghti

۲-۳-۱-۱ قانون بیر^۱

توزیع طیفی تابش خورشید در خارج جو زمین تقریباً پیوسته می باشد و می تواند با در نظر گرفتن خورشید به عنوان یک جسم سیاه با دمای ۵۷۷۷ درجه کلوین برآورد گردد. موقعی که تابش خورشیدی از جو زمین عبور می کند، در اثر جذب و پراکنش تضعیف می گردد. تابش مستقیم در سطح زمین (I_b) توسط قانون بیر به صورت زیر با تابش فرا جو (I_0) مرتبط می شود [۳۲].

$$I_b = \int_0^{\infty} I_0(\lambda) \cdot e^{-a(\lambda) \cdot m} d\lambda \quad (22-2)$$

$a(\lambda)$ ضریب خاموشی جو برای طول موج λ بوده و به صورت زیر تعیین می شود.

$$a(\lambda) = a_R(\lambda) + a_D(\lambda) + a_W(\lambda) \quad (23-2)$$

$a_R(\lambda)$ تضعیف به سبب پراکنش ریلی، $a_D(\lambda)$ تضعیف به سبب پراکنش مای، $a_W(\lambda)$ تضعیف به سبب جذب انتخابی توسط مولکولهای آب، اکسیژن، اوزن، دی اکسید کربن و مسیر توده جو برای سطح دریای آزاد می باشد. هنگامی که $\theta_z < 60^\circ$ باشد، $m = \sec(\theta_z)$ و در غیر این صورت داریم:

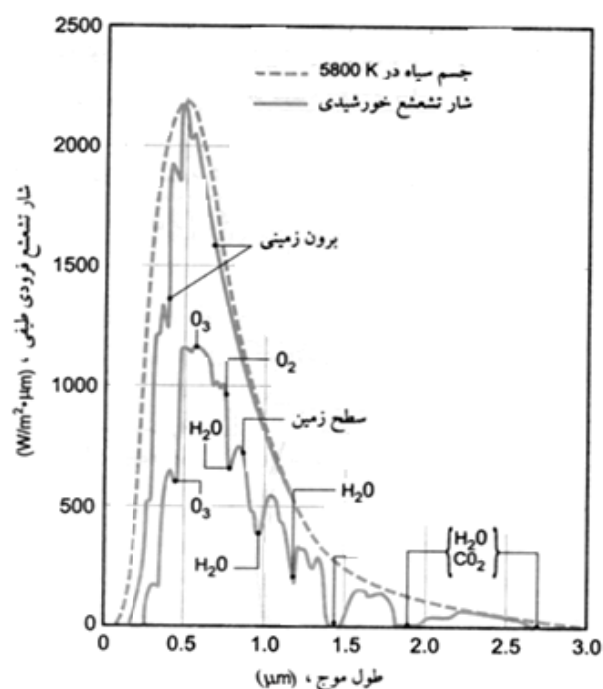
$$m = \frac{1}{\cos \theta_z + 0.15(93.885 - \theta_z)^{-1.253}} \quad (24-2)$$

این معادله انحنای زمین و شکست نور، هنگام عبور از جو را نیز در نظر می گیرد.

۲-۳-۲-۱ تضعیف به سبب جذب انتخابی

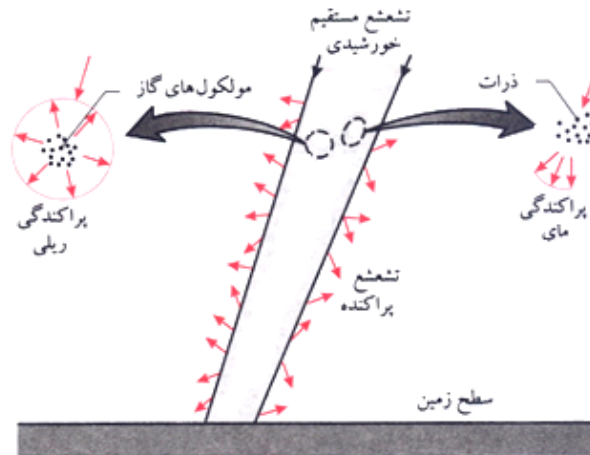
با عبور تشعشع خورشید از اتمسفر زمین، مقدار و توزیع های طیفی و جهتی آن خیلی تغییر می کند. این تغییر ناشی از جذب و پراکندگی تشعشع توسط عناصر جوی است. تاثیر جذب تشعشع توسط گازهای O_3 ، H_2O ، CO_2 ، O_2 در شکل (۲-۷) نشان داده شده است. جذب توسط اوزن (O_3) در ناحیه UV شدید است. به طوری که در کم تر از $0.4 \mu m$ قسمت قابل توجهی از تشعشع و در کمتر از $0.3 \mu m$ تمام تشعشع را جذب می کند. در ناحیه مرئی O_2 و O_3 تا اندازه ای تشعشع را جذب می کنند، در نواحی نزدیک مادون قرمز و دور از آن بخار آب به شدت تشعشع را جذب می کند. در سرتاسر طیف خورشیدی، جذب پیوسته تشعشع نیز توسط گرد و غبار موجود در جو روی می دهد.

¹ bier



شکل ۲-۷- تاثیر جذب تشعشع توسط گازهای موجود در اتمسفر [۳۱]

پراکندگی اتمسفریک باعث جهت گیری مجدد پرتو خورشیدی می شود و مطابق (شکل ۲-۷) بر دو نوع است. پراکندگی ریلی (مولکولی) که توسط مولکول های گاز روی می دهد و باعث پراکندگی تقریباً یکنواخت تشعشع در تمام جهات می شود. لذا تقریباً نیمی از تشعشع پراکنده دوباره به فضا بر می گردد و قسمت باقیمانده به سطح زمین برخورد می کند، نوع دوم پراکندگی مای است که توسط ذرات گرد و غبار معلق در اتمسفر روی می دهد و در جهات نزدیک به جهت پرتو خورشید متمرکز است. در واقع تمام این تشعشع در جهت های نزدیک به جهت پرتو های خورشید بر سطح زمین فرود می آید.



شکل ۲-۸ - انواع پراکندگی در اتمسفر [۳۱]

رایلی^۱ نظریه خود در رابطه با پراکنش تابش برای مولکول های هوا با قطر کوچکتر از $\lambda/10$ بیان کرد. مطابق این نظریه نسبت تابش پراکنده شده (I_{scat}) به تابش برخورد کرده (I_a) به صورت زیر می باشد [۳۲].

$$\frac{I_{scat}}{I_a} = 1 - \exp\left(-\frac{a \cdot (n_{air}-1)^2}{\rho_a \lambda^4} \cdot x\right) \quad (2-25)$$

در این رابطه $\rho_a = 1/59 \times 10^{-23} \text{ Kg}$ ، $a = 1/59 \times 10^{-23} \text{ Kg}$ چگالی هوا بر حسب kg/m^3 ، n_{air} شاخص بازتاب و برابر $1/7182000$ ، x طول مسیر طی شده توسط نور درون جو بر حسب متر و λ طول موج بر حسب متر می باشد.

پراکنش نور بر اثر ذرات بخار و غبار نیز دارای اهمیت است. پراکنش نور در این محیط بیشتر از جو صاف ولی کمتر از مه می باشد. ذرات موجود در آن عمدتاً بزرگتر از مولکول های گاز ها هستند و پراکنش مایی، پراکنش نور را بر اثر ذرات فوق تشریح می کند. تضعیف ناشی از آئروسول ها به وسیله رابطه انگستروم محاسبه می شود.

¹ Rayleigh

۳-۲-۳-۲ پوشش ابر

پوشش ابر هم بر روی کیفیت و هم بر روی مقدار تابش خورشید تاثیر دارد. کل تابش دریافتی از خورشید بر روی سطح زمین در روز های ابری، می تواند به صورت زیر محاسبه شود [۳۲].

$$G_g = G_{od}[b + (1 - b)(1 - c)] \quad (26-2)$$

که G_d تابش کل روزانه خورشید، c میزان ابرناکی و b ضریبی است که به نوع ابر و ضخامت آن و همچنین ضخامت جوی که تابش باید از آن عبور کند، بستگی دارد.

۴-۲-۳-۲ کدری جو

کدری τ_r برابر نسبت عمق نوری جو غیر شفاف (جوی که حاوی ذرات گرد و غبار و مولکول های گازی می باشد) به عمق نوری جو شفاف می باشد و توسط رابطه زیر بیان می شود.

$$\tau_r = (\tau_m + \tau_n)/\tau_m \quad (27-2)$$

که τ_m ضخامت نوری جو شفاف و τ_n برابر مقدار فوق برای جو غیر شفاف است. ضخامت نوری یک مسیر خاص توسط رابطه (۲۸-۲) مشخص می شود. که در آن s مسیر طی شده و β_x ضریب پراکنش کلی می باشد که ممکن است در طول مسیر تغییر کند.

$$\tau = \int_0^s \beta(x) dx \quad (28-2)$$

از آنجا که کدری با طول موج تغییر می کند، معمولاً در مطالعات مقدار آن در طول موج 550 nm به عنوان مبنا استفاده می شود [۳۲].

۵-۲-۳-۲ تابش آسمان

برای پیش بینی اثرات خورشیدی لازم است تبادل تابش بین سطح و آسمان را ارزیابی نماییم. آسمان را می توان یک جسم سیاه در دمایی معادل دمای آسمان فرض کرد و بنابراین می توان تابش خالص موجود بین یک صفحه تخت افقی و آسمان را از رابطه زیر بدست آورد.

$$Q = \varepsilon A \sigma (T_{sky}^4 - T^4) \quad (29-2)$$

جسم سیاه در دمایی معادل دمای آسمان در رابطه فوق مبین آن است که جو دارای دمای یکنواخت نبوده و در طول موج های معینی تابش می کند. جو اصولاً در ناحیه طول موج های بین ۸ الی ۱۴ میکرومتر شفاف می باشد و روابط متعددی برای نسبت دادن دمای آسمان صاف به سایر متغیر های اندازه گیری شده هواشناسی وجود دارد. یکی از آنها، رابطه ساده زیر می باشد که توسط شرما و مولاک^۱ [۳۳] دمای آسمان را به دمای هوای محلی ربط می دهد.

$$T_{sky} = 0.0552 T_a^{1.5} \quad (۳۰-۲)$$

در رابطه فوق هر دو دما بر حسب کلوین می باشند.

رابطه دیگری نیز وجود دارد که دمای موثر آسمان را به بخار آب موجود در هوا و دمای هوا ربط می دهد. نتایج حاصل را می توان به صورت دمای هوای محلی و نقطه شبنم، T_{dp} ، بیان نمود [۲۹].

$$T_{sky} = T_a \left[0.8 + \frac{T_{dp} - 273}{250} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (۳۱-۲)$$

زمانی که رطوبت نسبی حدود ۲۵٪ باشد هر دو رابطه ارائه شده دارای یک نتیجه هستند، در رابطه (۳۱-۲) حدود تقریبی اختلاف بین دمای آسمان و دمای هوا برای آب و هوای گرم و مرطوب ۱۰°C و برای آب و هوای سرد و خشک ۳۰°C است.

¹ Sharma and Mullick

۲-۴) برآورد تابش خورشیدی با استفاده از متغیرهای هواشناسی

روابطی که برای محاسبه تابش خورشیدی استفاده می شوند همواره وابسته به متغیرهای هواشناسی می باشند. این متغیرها شامل: ساعات آفتابی، دمای هوا، ابری بودن، بارندگی، رطوبت نسبی، ترکیب، غلظت و اندازه ذرات موجود در جو (آئروسولها) و آب قابل بارش می باشند. این متغیرها به تنهایی یا همراه با هم در روابط مختلف به کار گرفته می شوند.

۲-۴-۱) بانک اطلاعاتی داده های تابش

در حال حاضر ایستگاه تابش سنجی زیادی در ایران وجود دارد که در تمامی آنها تابش کل خورشید (TSR) و همچنین در برخی از آنها مولفه های دیگری مثل تابش پراکنده (DSR) و بازتاب یافته (RSR) اندازه گیری می شوند.

این ایستگاه ها دارای شرایط اقلیمی متفاوت بوده و عرض جغرافیایی آنها از $25/63$ درجه (جاسک) تا $38/08$ درجه (تبریز) متفاوت می باشد. مشخصات این ایستگاه ها در جدول (۲-۲) آمده است. تحلیل های صورت گرفته در این بخش بر اساس ایستگاه های موجود در این جدول می باشد. در این ایستگاه ها تغییر پذیری مقدار تابش دریافتی نیز قابل توجه است. به طوری که ایستگاه رامسر با قرار گرفتن در حاشیه خزر و به دلیل بالا بودن ابرناکی با متوسط تابشی برابر با $4637/1$ مگاژول بر متر مربع در سال دارای کمترین مقدار و ایستگاه کرمان با $7491/5$ مگاژول بر متر مربع در سال، دارای بیشترین مقدار تابش دریافتی می باشد.

برای تمام ایستگاههای مورد بررسی داده های تابش کل روزانه، ساعات آفتابی، دماهای حداکثر و حداقل روزانه و مجموع تابش سالانه موجود است. ایستگاههای مختلف دارای طول دوره اندازه گیری متفاوتی هستند، بطوری که ایستگاه بوشهر دارای کوتاه ترین دوره (۲۲۶۸ روز) و ایستگاه مشهد دارای طولانی ترین دوره ثبت شده (۶۷۳۱ روز) می باشد.

جدول ۲-۲ - مشخصات برخی از ایستگاه های هواشناسی در ایران [۳۱]

ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (متر)	دما حداقل °C	دما حداکثر °C	مجموع سالیانه ساعات آفتابی	مجموع سالیانه تابش (MJ/m ²)	متوسط گذرایی جو
بیرجند	۳۲/۸۷	۲۰۵۹	۱۴۹۱	۸/۴	۲۴/۴	۳۲۹۳/۹	۷۳۵۹/۲	۰/۶۵
بجنورد	۳۷/۴۷	۵۷/۳۲	۱۰۹۱	۶/۸	۱۹/۸	۲۹۴۶/۵	۶۲۲۲/۷	۰/۵۸
بوشهر	۲۸/۹۸	۵۰/۸۳	۱۹/۶	۱۹/۶	۲۹/۶	۳۲۱۴/۴	۶۷۶۵/۶	۰/۵۸
اصفهان	۳۲/۶۲	۵۱/۶۷	۱۵۵۰/۴	۹/۴	۲۳/۲	۳۳۶۲/۱	۶۰۷۱/۲	۰/۵۴
همدان	۳۴/۸۷	۵۳/۴۸	۱۷۴۱/۵	۳/۳	۱۹/۳	۳۱۱۱/۹	۶۳۳۴/۴	۰/۵۷
جاسک	۲۵/۶۳	۵۷/۷۷	۴/۸	۲۳/۶	۲۹/۷	۳۱۳۳/۷	۶۶۱۲	۰/۵۵
کرج	۳۵/۹۲	۵۰/۹۰	۱۳۱۲/۵	۸/۶	۲۱	۳۰۸۲/۱	۶۵۵۶/۱	۰/۶۰
کرمان	۳۰/۲۵	۵۶/۹۷	۱۷۵۳/۸	۶/۵	۲۴/۶	۳۲۸۸/۱	۷۴۹۱/۵	۰/۶۵
مشهد	۳۶/۲۷	۵۹/۶۳	۹۹۰	۷	۲۱/۲	۳۱۰۸	۵۸۱۹/۱	۰/۵۴
ارومیه	۳۷/۵۳	۴۵/۰۸	۱۳۱۳	۵/۱	۱۷/۵	۳۰۶۶/۳	۶۰۱۲/۵	۰/۵۶
رامسر	۳۶/۹۰	۵۰/۶۷	-۲۰	۱۲/۵	۱۹/۳	۲۱۱۸/۳	۴۶۳۷/۱	۰/۴۳
شیراز	۲۹/۶۰	۵۲/۵۳	۱۴۸۸	۹/۸	۲۵/۷	۳۴۳۷/۹	۷۲۳۵/۸	۰/۶۲
تهران	۳۵/۷۸	۵۱/۶۲	۱۵۴۸/۲	۱۰/۴	۲۰/۲	۳۰۲۲/۵	۶۲۳۲/۹	۰/۵۷
طیسی	۳۳/۶۰	۵۶/۹۲	۷۱۱	۱۴/۳	۲۸/۹	۳۳۷۱/۱	۷۰۴۸/۴	۰/۶۳
تبریز	۳۸/۰۸	۴۶/۲۸	۱۳۶۱	۷	۱۸	۲۹۹۸	۵۶۰۰/۴	۰/۵۳
یزد	۳۱/۹۰	۵۴/۲۸	۱۲۳۰/۲	۱۱/۵	۲۶/۵	۳۲۸۱/۴	۷۲۹۱/۷	۰/۶۴
زاهدان	۲۹/۴۷	۶۰/۸۸	۱۳۷۰	۱۰	۲۶/۶	۳۳۰۱/۴	۶۳۱۷/۶	۰/۵۴
زنجان	۳۶/۶۸	۴۸/۴۸	۱۶۶۳	۳/۹	۱۷/۹	۲۹۷۲/۲	۵۵۸۲/۴	۰/۵۲

۲-۴-۲) بررسی مدلها

برای محاسبه تابش کل خورشید با استفاده از متغیرهای هواشناسی می توان از مدل های مختلفی که به همین منظور توسعه یافته اند، استفاده کرد. بیشتر این مدلها دارای ضرایب تجربی هستند که لازم است با استفاده از داده های اندازه گیری شده برای هر ایستگاه بصورت جداگانه برآورد شوند. نتایج مدلها در مناطق مختلف متفاوت بوده و قبل از استفاده در هر منطقه لازم است که مدل ها بررسی و پس از محاسبه ضرایب و اعتبار سنجی، بهترین مدل برای منطقه مورد نظر مشخص شود.

در ایران این مدل ها توسط پژوهشگران مختلف کالیبره و ضرایب تجربی آنها محاسبه شده است. ولی در موارد متعدد، ضرایبی که در مقیاس زمانی یکسان برای یک مدل پیشنهاد شده اند دارای اختلاف بسیار زیادی با یکدیگر هستند. هرچند دوره آماری استفاده شده توسط محققین مختلف ممکن است با هم تفاوت داشته باشند ولی به دلیل تغییر پذیری ناچیز تابش در طی سالهای مختلف، این عامل نمی تواند دلیل اصلی اختلاف ها باشند. در برخی موارد ضرایب پیشنهادی حتی با قوانین

فیزیکی تابش مغایرت دارند. البته مهمترین دلیل این اختلاف ها به کنترل کیفیت داده ها بر می گردد. به دلیل این که هیچ روش استاندارد برای کنترل کیفیت داده های تابش وجود ندارد.

۲-۴-۲-۱ مدل انگستروم^۱

این روش تابش کل روزانه خورشید را با استفاده از ساعات آفتابی (S) برآورد می کند. انگستروم پیشنهاد کرد که گذرایی جو با متوسط روزانه نسبت ساعات آفتابی موجود به ساعات آفتابی حداکثر (S_0) یا همان طول روز نجومی (N) رابطه خطی دارد. رابطه وی به صورت زیر است [۲۹]:

$$S_0 = N = \frac{\omega_s - \omega_r}{15} = \frac{2\omega_s}{15} \quad (۳۱-۲)$$

$$K_T = a + b \frac{S}{S_0} \quad (۳۲-۲)$$

که در آن K_T گذرایی جو یا نسبت تابش کل روزانه خورشید به تابش فرا جو روزانه می باشد. a و b ضرایب تجربی هستند که باید با استفاده از یک دوره آماری داده های اندازه گیری شده تابش و ساعات آفتابی محاسبه گردند.

برای تمام مدل های به کار گرفته شده شامل مدل انگستروم، بریستو کمپبل، هارگریوز و ردی تابش فرا جو روزانه از رابطه (۲-۱۸) محاسبه شده و سپس گذرایی روزانه جو (K_T) بر اساس معادله زیر بدست می آید.

$$K_T = \frac{H (MJ.m^{-2}.day^{-1})}{H_{0d} (MJ.m^{-2}.day^{-1})} \quad (۳۳-۲)$$

برای بررسی ضرایب مدل ها، داده های موجود پس از کنترل کیفیت به دو فصل تابستان و زمستان تقسیم شدند و ضرایب مدل ها برای فصول مختلف به طور جداگانه محاسبه شدند.

ضرایب محاسبه شده مدل انگستروم در جدول (۲-۳) آورده شده است. در این جدول و سایر جداول مشابه مربوط به سایر مدل ها که در ادامه شرح داده می شوند، a و b و c ضرایب مدل ها و r ضریب همبستگی بین متغیر هواشناسی استفاده شده و متغیر برآورد شده (تابش کلی خورشید یا گذرایی جو) می باشد.

¹ Angstrom

در جداول ذکر شده، همچنین میانگین و انحراف معیار ضرایب برای کل داده های ایستگاه های تابش سنجی ایران محاسبه شده و مشاهده می گردد که در اکثر موارد انحراف معیار ضرایب ناچیز است و نشان دهنده تغییر پذیری کم آنها در گستره ایران می باشد.

جدول ۲-۳ - ضرایب انگستروم برای ایستگاه های موجود در ایران [۳۱]

ایستگاه	فصل	a	b	r	ایستگاه	فصل	a	b	r
بجنورد	تابستان	۰/۳۳	۰/۴۲	۰/۸۹	رامسر	تابستان	۰/۲۷	۰/۴۶	۰/۸۹
	زمستان	۰/۳۱	۰/۴۵	۰/۹۳		زمستان	۰/۲۹	۰/۴۲	۰/۸۷
بوشهر	تابستان	۰/۳۷	۰/۳۵	۰/۷۶	شیراز	تابستان	۰/۴۱	۰/۳۲	۰/۷۱
	زمستان	۰/۳۷	۰/۳۸	۰/۸۶		زمستان	۰/۳۹	۰/۳۶	۰/۸۴
اصفهان	تابستان	۰/۴۷	۰/۲۶	۰/۵۸	شمال تهران	تابستان	۰/۲۹	۰/۴۲	۰/۹۳
	زمستان	۰/۴	۰/۳۴	۰/۸۲		زمستان	۰/۲۹	۰/۴۴	۰/۹۵
همدان	تابستان	۰/۳۷	۰/۳۶	۰/۸۴	طبس	تابستان	۰/۵۵	۰/۱۹	۰/۳۶
	زمستان	۰/۳۳	۰/۴۳	۰/۹		زمستان	۰/۳۱	۰/۴۶	۰/۹۲
جاسک	تابستان	۰/۳۲	۰/۳۷	۰/۹۱	تبریز	تابستان	۰/۲۴	۰/۴۷	۰/۹۵
	زمستان	۰/۲۶	۰/۴۷	۰/۹۶		زمستان	۰/۲۷	۰/۴۶	۰/۹۳
کرج	تابستان	۰/۴	۰/۳	۰/۷۶	یزد	تابستان	۰/۴۳	۰/۳۶	۰/۵۹
	زمستان	۰/۳۴	۰/۴	۰/۹۱		زمستان	۰/۳۹	۰/۳۷	۰/۸۳
کرمان	تابستان	۰/۳۷	۰/۴۱	۰/۸۶	زاهدان	تابستان	۰/۴	۰/۳۲	۰/۷۸
	زمستان	۰/۳۳	۰/۴۲	۰/۹۳		زمستان	۰/۳۴	۰/۳۹	۰/۸۹
کرمانشاه	تابستان	۰/۳۴	۰/۴۱	۰/۹۳	زنجان	تابستان	۰/۳۹	۰/۳۸	۰/۷۷
	زمستان	۰/۳۱	۰/۴۹	۰/۹۵		زمستان	۰/۲۹	۰/۵	۰/۹۶
خوربیاپانک	تابستان	۰/۴۵	۰/۲۸	۰/۶۴	تابستان	میانگین	۰/۳۷	۰/۳۶	۰/۷۸
	زمستان	۰/۴۱	۰/۳۱	۰/۸		حداقل	۰/۲۴	۰/۱۹	۰/۳۶
مشهد	تابستان	۰/۳۳	۰/۳۸	۰/۹۲		حداکثر	۰/۵۵	۰/۴۷	۰/۹۵
	زمستان	۰/۳۳	۰/۴	۰/۹۱		انحراف	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۱۵
مهرآباد تهران ارومیه	تابستان	۰/۳۸	۰/۳۴	۰/۸۲	زمستان	میانگین	۰/۳۳	۰/۴۲	۰/۹
	زمستان	۰/۳۳	۰/۴۱	۰/۹۴		حداقل	۰/۲۶	۰/۳۱	۰/۸
	تابستان	۰/۳۸	۰/۴۳	۰/۷۸		حداکثر	۰/۴۱	۰/۵	۰/۹۶
	زمستان	۰/۳۲	۰/۴۹	۰/۹۱		انحراف	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۵

در رابطه انگستروم ضریب a بیانگر میزان تابش دریافتی در یک روز کاملاً ابری ($S=0$) و $a+b$ بیانگر مقدار تابش دریافتی در یک روز کاملاً صاف ($S=S_0$) است.

۲-۴-۲-۲) مدل بریستو و کمپبل^۱

این مدل تابش کل روزانه خورشید را بر اساس دماهای حداکثر و حداقل روزانه و بارندگی کل روزانه محاسبه می کند. در این روش گذرایی جو با استفاده از دامنه شبانه روزی دما (ΔT_B) به صورت زیر محاسبه می شود [۳۱].

$$K_T = a [1 - \exp(-B \cdot \Delta T_B^C)] \quad (۲-۳۴)$$

جدول ۲-۴ - ضرایب مدل بریستو و کمپبل برای مناطق مختلف ایران [۳۱]

C	B	a	فصل	ایستگاه	C	B	a	فصل	ایستگاه
۲/۴۵	۰/۰۱	۰/۶	تابستان	رامسر	۱/۵۴	۰/۰۶	۰/۶۸	تابستان	بجنورد
۲/۲۸	۰/۰۱	۰/۷	زمستان		۲/۰۴	۰/۰۲	۰/۶۹	زمستان	
۱/۹۵	۰/۰۲	۰/۶۸	تابستان	شیراز	۲/۰۶	۰/۰۳	۰/۶۶	تابستان	بوشهر
۲/۲۵	۰/۰۱	۰/۷	زمستان		۲/۸۹	۰/۰۴	۰/۶۸	زمستان	
۲/۱۷	۰/۰۲	۰/۶۵	تابستان	شمال تهران	۲/۰۵	۰/۰۲	۰/۶۸	تابستان	اصفهان
۲/۳۷	۰/۰۱	۰/۶۷	زمستان		۲/۴	۰/۰۱	۰/۶۸	زمستان	
۲/۳۵	۰/۰۱	۰/۷۳	تابستان	طبرس	۱/۶۸	۰/۰۳	۰/۶۸	تابستان	همدان
۲/۹۳	۰/۰۲	۰/۷۱	زمستان		۱/۸۷	۰/۰۲	۰/۶۸	زمستان	
۲/۱۸	۰/۰۲	۰/۶۲	تابستان	تبریز	۲/۴	۰/۰۱	۰/۷	تابستان	جاسک
۲/۳۵	۰/۰۱	۰/۶۴	زمستان		۲/۸۵	۰/۰۱	۰/۶۷	زمستان	
۲/۷۹	۰/۰۳	۰/۷۲	تابستان	یزد	۲/۶۳	۰/۰۱	۰/۶۳	تابستان	کرج
۲/۳	۰/۰۱	۰/۷۲	زمستان		۲/۳۱	۰/۰۱	۰/۶۸	زمستان	
۲/۱۵	۰/۰۱	۰/۶۶	تابستان	زاهدان	۲/۲	۰/۰۱	۰/۷۵	تابستان	کرمان
۱/۳۹	۰/۰۷	۰/۶۷	زمستان		۲/۰۱	۰/۰۲	۰/۷۱	زمستان	
۲/۲	۰/۰۱	۰/۷۲	تابستان	زنجان	۱/۳۶	۰/۰۵	۰/۷۲	تابستان	کرمانشاه
۲/۱۲	۰/۰۱	۰/۷۴	زمستان		۱/۷۸	۰/۰۲	۰/۷۴	زمستان	
۲/۲۱	۰/۰۱۹	۰/۶۸	تابستان	میانگین	۲/۱۴	۰/۰۲	۰/۶۹	تابستان	خوربیابانک
۱/۳۶	۰/۰۰۱	۰/۶		حداقل	۳/۱۹	۰/۰۰۲	۰/۶۸	زمستان	
۳/۵۴	۰/۰۶	۰/۷۵	تابستان	حداکثر	۲/۰۶	۰/۰۲	۰/۶۶	تابستان	مشهد
۰/۴۵۹	۰/۰۱۴۷	۰/۰۴		انحراف	۲/۰۷	۰/۰۲	۰/۶۴	زمستان	
۲/۲۹۵	۰/۰۱۵	۰/۶۹	زمستان	میانگین	۳/۵۴	۰/۰۰۱	۰/۶۵	تابستان	مهرآباد
۱/۳۹	۰/۰۰۲	۰/۶۴		حداقل	۲/۴۹	۰/۰۱	۰/۷	زمستان		تهران
۳/۱۹	۰/۰۷	۰/۷۵		حداکثر	۲/۲	۰/۰۱	۰/۷۵	تابستان	ارومیه
۰/۴۲۹	۰/۰۱۴	۰/۰۳		انحراف	۲/۰۲	۰/۰۲	۰/۷۵	زمستان	

¹ Bristow and Campbell

در این رابطه a, B, C ضرایب تجربی وابسته به شرایط ایستگاه بوده و برای هر ایستگاه جداگانه محاسبه می گردند. ضریب a ، بیان کننده ماکزیمم K_T در شرایط آسمان صاف برای منطقه مورد نظر است و ضرایب B و C مشخص می کنند با افزایش ΔT_B چه مدت طول می کشد تا ماکزیمم K_T بدست آید.

بريستو و کمپبل ضرایب معادله را به صورت $a = 0.7$ و $B = 10.36e^{(-0.154\Delta T_m)}$ و $C = 2/4$ پیشنهاد کردند (ΔT_m متوسط ماهانه ΔT_B). آنها همچنین برای محاسبه ΔT_B روش زیر را ارائه نمودند.

$$\Delta T_B(j) = T_{Max}(j) - \frac{[T_{min}(j) + T_{min}(j+1)]}{2} \quad (35-2)$$

که در این رابطه دما برحسب درجه سانتی گراد و Z نشان دهنده روز مورد نظر است. ضرایب مدل بریستو و کمپبل که با استفاده از داده های ایستگاه های تابش سنجی ایران محاسبه شدند، در جدول (۴-۲) آورده شده اند. میانگین و انحراف از معیار نیز محاسبه شده و مشاهده می گردد که تغییر پذیری ضرایب در گستره ایران ناچیز است.

۳-۲-۴-۲ مدل هارگریوز^۱

در این مدل تابش روزانه فرا جو و دامنه روزانه هوا (ΔT_H) متغییر های مستقل و تابش کل روزانه متغییر وابسته می باشد. رابطه پیشنهادی هارگریوز و همکارانش به صورت زیر می باشد [۳۱].

$$H = a + bH_o(\Delta T_H)^{0.5} \quad (36-2)$$

که

$$\Delta T_H = T_{Max} - T_{min}$$

ضرایب مدل هارگریوز که با استفاده از داده های ایستگاه های تابش سنجی ایران محاسبه شده اند در جدول (۵-۲) آورده شده اند. در اینجا نیز مانند دو مدل قبل میانگین و انحراف از معیار ضرایب برای تابستان و زمستان محاسبه شده است.

¹ Hargreaves

جدول ۲-۵ - ضرایب مدل هارگریوز برای مناطق مختلف ایران [۳۱]

ایستگاه	فصل	a	B	r	ایستگاه	فصل	a	b	r
بجنورد	تابستان	۷/۸۴	۰/۱۱	۰/۷۴	رامسر	تابستان	-۵/۵۵	۰/۲	۰/۶۷
	زمستان	۰/۷۳	۰/۱۶	۰/۸۸		زمستان	-۲/۸۵	۰/۲	۰/۹
بوشهر	تابستان	۱۱/۶۵	۰/۱	۰/۵۸	شیراز	تابستان	۹/۱۹	۰/۱	۰/۶۹
	زمستان	۳/۷۳	۰/۱۵	۰/۷۶		زمستان	۴/۰۴	۰/۱۳	۰/۷۹
اصفهان	تابستان	۶/۵۳	۰/۱۳	۰/۶۹	شمال تهران	تابستان	-۰/۴۶	۰/۱۸	۰/۷۸
	زمستان	۲/۱۳	۰/۱۶	۰/۸۶		زمستان	-۲/۶	۰/۲۱	۰/۹۴
همدان	تابستان	۲/۵۱	۰/۱۳	۰/۸۲	طبس	تابستان	۱۲/۰۲	۰/۱۱	۰/۶۶
	زمستان	۱/۷	۰/۱۴	۰/۸۶		زمستان	۰/۳۵	۰/۱۸	۰/۹
جاسک	تابستان	۱/۴۱	۰/۱۸	۰/۵۲	تبریز	تابستان	۱/۷۸	۰/۱۵	۰/۶۷
	زمستان	۵/۵۳	۰/۱۳	۰/۷		زمستان	-۰/۱۳	۰/۱۵	۰/۸۶
کرج	تابستان	۶/۹۷	۰/۱۱	۰/۷۸	یزد	تابستان	۱۱/۸۴	۰/۱	۰/۵۷
	زمستان	۱/۳۲	۰/۱۶	۰/۸۴		زمستان	۳/۳۷	۰/۱۴	۰/۸
کرمان	تابستان	۱۰/۹۶	۰/۱	۰/۵۸	زاهدان	تابستان	۸/۴۳	۰/۱	۰/۶۹
	زمستان	۰/۷۳	۰/۱۵	۰/۸۶		زمستان	۳/۷۸	۰/۱۱	۰/۸۲
کرمانشاه	تابستان	۲/۵	۰/۱۳	۰/۸۵	زنجان	تابستان	۷/۴۱	۰/۱۲	۰/۷۴
	زمستان	۱/۲۵	۰/۱۵	۰/۸۹		زمستان	۰/۷۴	۰/۱۶	۰/۸۶
خوربیابانک	تابستان	۹/۳۸	۰/۱۲	۰/۷۴	تابستان	میانگین	۶	۰/۱۳	۰/۷
	زمستان	۱/۸۹	۰/۱۶	۰/۸۵		حداقل	-۵/۵۵	۰/۱	۰/۵۲
مشهد	تابستان	۳/۳۵	۰/۱۴	۰/۷۶		حداکثر	۱۲/۰۲	۰/۲	۰/۸۵
	زمستان	۰/۶۳	۰/۱۵	۰/۸۹		انحراف	۴/۶۳	۰/۰۳	۰/۰۹
مهرآباد تهران ارومیه	تابستان	۵/۳۷	۰/۱۴	۰/۷۵	زمستان	میانگین	۱/۲۸	۰/۱۶	۰/۸۵
	زمستان	-۱/۳	۰/۲	۰/۸۷		حداقل	-۲/۸۵	۰/۱۱	۰/۷
	تابستان	۶/۹۲	۰/۱۴	۰/۷۵		حداکثر	۵/۵۳	۰/۲۱	۰/۹۴
	زمستان	۰/۶۲	۰/۱۷	۰/۸۶		انحراف	۲/۱۴	۰/۰۲	۰/۰۵

۲-۴-۲-۴ مدل ردی^۱

ردی از متغیرهای بارش روزانه (p, mm) و عرض جغرافیایی (φ بر حسب درجه) برای برآورد

تابش روزانه خورشید به صورت زیر استفاده نمود [۳۱].

$$H = a + b\phi + cp^{0.33} \quad (۲-۳۷)$$

با توجه به اینکه یکی از متغیرهای مستقل این رابطه عرض جغرافیایی است، بنابراین ضرایب آن

نمی توانند برای یک ایستگاه خاص تعیین شوند و برای محاسبه ضرایب آن نیاز به ایستگاه های دارای

¹ Reddy

عرض های جغرافیایی متفاوت داریم. با به کار بردن داده های تمامی ایستگاه های تابشی ایران، ضرایب این مدل به صورت زیر تعیین شده اند.

الف) برای تابستان $a = 29.56$ ، $b = -0.12$ ، $c = -4.0$ و $r = 0.35$

ب) برای زمستان $a = 32.74$ ، $b = -0.53$ ، $c = -2.72$ و $r = 0.48$

۲-۴-۳) مقایسه نتایج مدل های مختلف برای ایران

برای اعتبار سنجی مدل ها، داده های تابش سال هایی که برای کالیبراسیون مدل ها استفاده شده بودند کنار گذاشته شدند و داده های بقیه سال ها استفاده شدند. سنجه های آماری شامل عرض از مبدا (a)، شیب (b) و ضریب همبستگی (r)، رابطه خطی بین داده های اندازه گیری شده (RMSE) و میانگین داده های اندازه گیری شده (MBE) در جدول (۲-۶) آورده شده اند.

جدول ۲-۶ - مقایسه مدل های محاسبه تابش در ایستگاه ههای مختلف [۳۱]

ایستگاه	مدل	a	b	r	RMSE	MBE	%RMSE	%MBE
بجنورد	انگستروم	۴/۲۱	۰/۸۳	۰/۸۲	۳/۱۸	۰/۵	۱۵	۲/۳۷
	برستو	۶/۴۴	۰/۷۳	۰/۷۴	۳/۸	۰/۸	۱۷/۹۳	۳/۷۸
	هارگریوز	۸/۵۸	۰/۶۲	۰/۷۱	۳/۷۳	۰/۵	۱۷/۵۸	۲/۳۳
	ردی	۲۱/۷۲	-۰/۳۴	-۰/۳۹	۱۰/۴۹	-۶/۷۲	۴۹/۴۳	-۳۱/۶۸
بوشهر	انگستروم	۵/۵۵	۰/۷۵	۰/۹۱	۲/۳۴	۰/۱۲	۱۰/۷۹	۰/۵۵
	برستو	۵/۱۸	۰/۷۲	۰/۷۶	۳/۹۱	-۰/۸۱	۱۸/۰۲	-۳/۷۴
	هارگریوز	۹/۸	۰/۵۴	۰/۷۵	۳/۷۵	-۰/۰۸	۱۷/۲۶	-۰/۳۶
	ردی	۲۴/۴۹	-۰/۲۳	-۰/۳۳	۸/۰۹	-۲/۱۳	۳۷/۲۶	-۹/۸۱
اصفهان	انگستروم	۵/۵۴	۰/۷۹	۰/۹۲	۱۲/۲	۰/۷۴	۹/۱۲	۳/۱۷
	برستو	۶/۳۹	۰/۷۴	۰/۸۵	۲/۶۴	۰/۲۶	۱۱/۳۵	۱/۱۱
	هارگریوز	۸/۶۹	۰/۶۵	۰/۸۳	۲/۸۵	۰/۵۷	۱۲/۲۶	۲/۴۴
	ردی	۲۷/۳۴	-۰/۴۲	-۰/۵۲	۹/۷۷	-۵/۸	۴۱/۹۷	-۲۴/۹۲
همدان	انگستروم	۸/۰۲	۰/۶۲	۰/۸۲	۴/۳۷	-۰/۷۵	۱۸/۲۹	-۳/۱۹
	برستو	۸/۲۳	۰/۶۱	۰/۷۷	۴/۷۳	-۰/۸۵	۲۰/۲۷	-۳/۶۵
	هارگریوز	۱۰/۴۵	۰/۵	۰/۷۳	۵/۱۳	-۱/۲۵	۲۱/۹۶	-۵/۳۶
	ردی	۲۱/۳۱	-۰/۲۳	-۰/۴	۲/۱۲	-۷/۳۵	۵۲/۲۴	-۳۱/۴۷
جاسک	انگستروم	۴/۶۵	۰/۸	۰/۸۳	۲/۲۴	۰/۴۹	۱۰/۸۲	۲/۳۹
	برستو	۶/۵	۰/۱۸	۰/۰۹	۱۳/۱	-۱۰/۴۷	۶۳/۳۶	-۵۰/۶۷
	هارگریوز	۸/۱۱	۰/۳۵	۰/۳۸	۶/۶۹	۵/۳۳	۳۲/۳۷	-۲۵/۷۷
	ردی	۲۸/۱۳	-۰/۳۴	-۰/۴	۵/۹۲	۰/۳۵	۲۳/۶۳	۱/۶۹
کرج	انگستروم	۵/۰۹	۰/۷۸	۰/۸۸	۲/۶۸	۰/۴۲	۱۲/۷۳	۱/۹۹
	برستو	۶/۰۴	۰/۷۳	۰/۷۹	۳/۴۸	۰/۲۷	۱۶/۵۳	۱/۲۶
	هارگریوز	۸/۳۸	۰/۶۱	۰/۸	۳/۳۶	-۱/۰۸	۱۵/۹۴	۰/۳۸
	ردی	۲۳/۹۲	-۰/۳۹	-۰/۴۷	۱۰/۲۷	-۵/۳	۴۸/۷۱	-۲۵/۱۳

فصل دوم: روش های محاسبه تابش خورشید

۱/۵۳	۹/۲۸	-۰/۳۶	۲/۲۲	۰/۹۲	۰/۸۶	۳/۶۲	انگستروم	کرمان
۸/۱۱	۸۳/۱۴	۱/۹۴	۳/۵۵	۰/۸۵	۰/۷۴	۸/۱۱	بريستو	
۴/۶۸	۱۴/۰۳	۱/۱۲	۳/۳۶	۰/۸۳	۰/۷۲	۷/۹۱	هارگريوز	
-۲۱/۴۴	۴۰/۶۷	-۵/۱۳	۹/۷۳	-۰/۴۸	-۰/۳۳	۲۶/۷۳	ردی	کرمانشاه
۲/۱۷	۱۰/۸۶	۰/۴۸	۲/۴	۰/۹۳	۰/۸۶	۳/۵۸	انگستروم	
۳/۶۵	۱۴/۹۷	۰/۸۱	۳/۰۹	۰/۸۸	۰/۸۲	۴/۸۸	بريستو	
۱/۷۸	۱۴/۶	-۰/۳۹	۳/۲۳	۰/۸۶	۰/۶۹	۷/۲۲	هارگريوز	
-۲۶/۴۱	۴۷/۳	-۵/۸۵	۱۰/۴۷	-۰/۳۸	-۰/۲۵	۲۱/۷۶	ردی	زاهدان
۲/۹۷	۱۴/۱۳	۰/۶۵	۳/۱	۰/۸۲	۰/۶۸	۷/۶۶	انگستروم	
۰/۳۶	۱۶/۶	-۰/۰۶	۳/۶۵	۰/۷۳	۰/۵۸	۹/۳۶	بريستو	
-۲/۳۵	۱۷/۱۲	-۰/۵۲	۳/۷۶	۰/۷۲	۰/۵۸	۸/۷۵	هارگريوز	
-۱۰/۷۹	۳۸/۴۱	-۲/۳۷	۸/۴۴	-۰/۴۸	-۰/۳۶	۲۷/۶	ردی	مشهد
۳/۳	۱۴/۹۲	۰/۶۸	۲/۸۷	۰/۸۹	۰/۸۱	۴/۵۵	انگستروم	
۵/۴۵	۱۶/۶۴	۱/۱۲	۳/۴۳	۰/۸۵	۰/۸۱	۴/۹۸	بريستو	
۵/۳۵	۱۷	۱/۱	۳/۵	۰/۸۴	۰/۷۷	۵/۹۱	هارگريوز	
-۲۵/۸۳	۵۰/۷۸	-۵/۳۲	۱۰/۴۶	-۰/۵	-۰/۳۵	۲۲/۴۷	ردی	مهرآباد
۰/۰۱	۱۲/۶۷	.	۲/۷۶	۰/۸۹	۰/۸	۴/۴۱	انگستروم	
۰/۲۸	۱۸/۳۸	-۰/۰۶	۴/۰۱	۰/۷۵	۰/۶۹	۶/۹۱	بريستو	
-۰/۴۹	۱۷/۸۲	-۰/۱۱	۳/۸۹	۰/۷۶	۰/۶	۸/۷۱	هارگريوز	
-۲۸/۷۳	۴۸/۷۷	-۶/۲۷	۱۰/۶۴	-۰/۴۰	-۰/۲۹	۲۱/۸۷	ردی	ارومیه
۲/۸۲	۱۲/۲۳	۰/۶۸	۲/۹۴	۰/۹۲	۰/۸۱	۵/۲۳	انگستروم	
-۰/۸۴	۱۶/۹۶	-۰/۰۲	۴/۰۸	۰/۸۲	۰/۶۹	۷/۲۲	بريستو	
۱/۳۶	۱۷/۵۵	۰/۳۳	۴/۲۲	۰/۸۱	۰/۶۲	۹/۴۵	هارگريوز	
۳۹/۹۸	۵۷/۳۴	-۹/۶۲	۱۳/۱۸	-۰/۳۹	-۰/۲۵	۲۰/۴۹	ردی	رامسر
-۶/۲۵	۲۸/۳۸	-۰/۹۵	۴/۳۲	۰/۷۵	۰/۶۶	۴/۲۲	انگستروم	
-۳۱/۰۲	۴۹/۳۹	-۴/۷۲	۷/۵۲	۰/۵۵	۰/۵۴	۲/۲۴	بريستو	
-۱۹/۹۴	۳۸/۷۹	-۳/۰۴	۵/۹۱	۰/۵۹	۰/۴۲	۵/۸۵	هارگريوز	
-۹/۶۱	۵۳/۷۷	-۱/۴۶	۸/۱۹	-۰/۱۱	-۰/۰۸	۱۴/۹۶	ردی	شیراز
۲/۶۳	۱۰/۹۳	۰/۶	۲/۵۱	۰/۸۸	۰/۷۵	۶/۳۶	انگستروم	
۱/۷۲	۱۲/۰۹	۰/۳۹	۲/۷۷	۰/۸۵	۰/۷۹	۵/۲	بريستو	
-۰/۱۳	۱۲/۷۵	-۰/۰۳	۲/۹۲	۰/۸۳	۰/۶۲	۸/۶۱	هارگريوز	
-۱۶/۲۶	۳۶/۳۸	-۳/۷۳	۸/۳۴	-۰/۳۴	-۰/۲۵	۲۵/۰۴	ردی	شمال
-۶/۲۷	۱۳/۶	-۱/۳۸	۲/۹۹	۰/۹۲	۰/۷۸	۳/۴۴	انگستروم	
-۶/۷۴	۱۷/۱۴	-۱/۴۸	۳/۷۷	۰/۸۶	۰/۷۹	۳/۰۴	بريستو	
-۹/۰۱	۱۸/۲۹	-۱/۹۸	۴/۰۳	۰/۸۶	۰/۶۶	۵/۵۹	هارگريوز	
-۳۰/۳۶	۵۱/۴۳	-۶/۶۸	۱۱/۳۲	-۰/۳۷	-۰/۲۲	۲۰/۲۷	ردی	تبریز
۲/۶۹	۹/۱۱	۰/۶۴	۲/۱۸	۰/۹۲	۰/۸۶	۳/۹	انگستروم	
۲/۲۲	۱۲/۷۵	۰/۵۳	۳/۰۶	۰/۸۵	۰/۹۲	۲/۴۳	بريستو	
۸۸/۴	۱۳/۵۸	۱/۱۷	۳/۲۵	۰/۸۲	۰/۷۴	۷/۴۸	هارگريوز	
-۲۸/۵۷	۴۵/۲۵	-۶/۸۵	۱۰/۸۴	-۰/۵۴	-۰/۴۳	۲۷/۵۱	ردی	یزد
-۱۲/۶۶	۱۸/۹۵	-۳/۰۵	۴/۵۶	۰/۸۸	۰/۶۴	۵/۵۷	انگستروم	
-۱۲/۴	۲۱/۶۴	-۲/۹۹	۵/۲۱	۰/۷۹	۰/۵۴	۸/۱۸	بريستو	
-۱۵/۲۷	۲۳/۷۵	-۳/۶۸	۵/۷۲	۰/۷۸	۰/۵۱	۸/۲	هارگريوز	
-۰/۱۱	۱۰/۵	-۰/۰۳	۲/۶۳	۰/۸۸	۰/۸	۴/۸۹	انگستروم	یزد
۰/۴۱	۱۳/۶۹	۰/۱	۳/۴۳	۰/۷۹	۰/۶۵	۸/۸۷	بريستو	
-۱/۳۶	۱۳/۵۶	-۰/۳۴	۳/۴	۰/۷۹	۰/۶۱	۹/۴۶	هارگريوز	
-۲۷/۳۴	۴۴/۳۴	-۶/۸۵	۱۱/۱۱	-۰/۶	-۰/۴۵	۲۹/۵۹	ردی	

جدول (۷-۲) رتبه بندی مدل ها در ایستگاه ها که بر اساس اطلاعات جدول (۶-۲) انجام گرفته، را نشان می دهد. بطوریکه مشاهده می شود، در تمام ایستگاه ها معادله انگستروم، برآورد بهتری از تابش کل خورشید دارد. بنابراین استفاده از رابطه انگستروم برای برآورد تابش در ایستگاه های مختلف ایران پیشنهاد می شود.

جدول ۷-۲ - رتبه بندی مدل ها در ایستگاه ها [۳۱]

ایستگاه	رتبه ۱	رتبه ۲	رتبه ۳	رتبه ۴	ایستگاه	رتبه ۱	رتبه ۲	رتبه ۳	رتبه ۴
بجنورد	آنگستروم	هارگریوز	بریستو	ردی	مهرآباد	آنگستروم	هارگریوز	بریستو	ردی
بوشهر	آنگستروم	هارگریوز	بریستو	ردی	ارومیه	آنگستروم	هارگریوز	بریستو	ردی
اصفهان	آنگستروم	بریستو	هارگریوز	ردی	رامسر	آنگستروم	هارگریوز	بریستو	ردی
همدان	آنگستروم	بریستو	هارگریوز	ردی	شیراز	آنگستروم	هارگریوز	بریستو	ردی
کرج	آنگستروم	هارگریوز	بریستو	ردی	تهران	آنگستروم	هارگریوز	بریستو	ردی
جاسک	آنگستروم	بریستو	هارگریوز	ردی	طبس	آنگستروم	هارگریوز	بریستو	ردی
کرمان	آنگستروم	هارگریوز	بریستو	ردی	تبریز	آنگستروم	هارگریوز	بریستو	ردی
کرمانشاه	آنگستروم	بریستو	هارگریوز	ردی	یزد	آنگستروم	هارگریوز	بریستو	ردی
مشهد	آنگستروم	بریستو	هارگریوز	ردی	زاهدان	آنگستروم	هارگریوز	بریستو	ردی

با توجه به جدول بالا مشاهده می کنیم که استفاده از مدل انگستروم برای محاسبه تابش خورشیدی در شهرهای ایران از دیگر مدل های ارائه شده دقیق تر است. در قسمت بعدی مراحل محاسبه تابش کلی خورشیدی بر روی سطح افقی در منطقه ای با شرایط گرمسیری نشان داده شده است.

۵-۲) محاسبه تابش خورشید

در این بخش مراحل محاسبه تابش خورشید بر صفحه ای افقی واقع در جزیره خارک در روز ۱۵ مرداد سال ۱۳۸۶ آورده شده است. جزیره خارک از لحاظ جغرافیایی در ۳۰ مایلی (۴۸ کیلومتری) شمال غربی بندر بوشهر واقع می باشد. طول جزیره ۸ کیلومتر و عرض آن ۴ کیلومتر بوده و دارای هوای گرم و مرطوب می باشد. خارک در مختصات جغرافیایی به عرض ۲۹ و طول ۵۰ قرار دارد و از نظر آب و هوایی از نقاط گرمسیر کشور محسوب می شود.

مراحل محاسبه تابش خورشیدی به قرار زیر است:

(۱) تعیین شماره روز (n)

روز مورد نظر (۱۵ مرداد) مطابق با ۵ اگوست (اوت) می باشد، بنابراین با توجه به جدول (۲-۱) شماره این روز در سال میلادی برابر با $n=217$ است.

$$15 \text{ مرداد} \rightarrow 5 \text{ Aug} \rightarrow n = 212 + 5 = 217$$

(۲) محاسبه زاویه میل (انحرافی) خورشید (δ)

برای محاسبه زاویه انحرافی خورشید از رابطه (۲-۳) یا (۲-۴) استفاده می کنیم.

$$\delta \approx 23.45 \sin\left(360 \cdot \frac{(284 + n)}{365}\right) \Rightarrow \delta = 16.83^\circ$$

(۳) محاسبه زوایای ساعتی خورشید (ω_r و ω_s)

همان طور که در روابط ارائه شده برای محاسبه زوایای ساعتی مشاهده نمودیم، این زوایا تابعی از زاویه انحرافی (δ) و عرض جغرافیایی (ϕ) می باشند. رابطه (۲-۸) برای محاسبه این زوایا قابل استفاده می باشد.

$$\phi = 29^\circ$$

$$\omega_s = \text{Arccos}(-\tan \phi \cdot \tan \delta) \Rightarrow \omega_s = 99.65^\circ$$

$$\omega_r = -\omega_s = -99.65^\circ$$

$$S_o = N = \frac{2}{15} \omega_s = 13.29 \text{ hour}$$

(۴) محاسبه مقدار $\left(\frac{\bar{d}}{d}\right)^2$ یا نسبت فاصله متوسط زمین - خورشید به فاصله واقعی زمین - خورشید

با توجه به رابطه (۲-۲۰) برابر است با:

$$\left(\frac{\bar{d}}{d}\right)^2 = 1 + 0.033 \cos\left(\frac{360 n}{365}\right) \Rightarrow \left(\frac{\bar{d}}{d}\right)^2 = 0.973$$

(۵) تعیین ثابت خورشیدی

ثابت خورشیدی مطابق با مقدار اعلام شده از طرف مرکز جهانی برابر با 1367 W/m^2 می باشد.

$$I_{sc} = 1367 \text{ W/m}^2$$

۶ محاسبه تابش روزانه فرا جو

برای محاسبه تابش روزانه فرا جو از رابطه (۲-۱۸) استفاده می کنیم.

$$H_o = \frac{24 \times 3600}{\pi} I_{sc} \left(\frac{\bar{d}}{d} \right)^2 \left[\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{2\pi \omega_s}{360} \sin \phi \sin \delta \right]$$

$$\Rightarrow H_o = 39.120 \text{ Mj/m}^2$$

برای محاسبه تابش ساعتی فرا جو از رابطه زیر استفاده می نماییم:

$$H_o = \frac{24 \times 3600}{\pi} I_{sc} \left(\frac{\bar{d}}{d} \right)^2 \left[\cos \phi \cos \delta (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) + \frac{2\pi (\omega_2 - \omega_1)}{360} \sin \phi \sin \delta \right] \quad (2-38)$$

در این رابطه ω_1 و ω_2 زوایای ساعتی در دو زمان متوالی هستند.

۷ محاسبه گذرایی جو (K_T) یا نسبت تابش کل روزانه به تابش فرا جو روزانه

با توجه به مقایسه صورت گرفته برای مدل های محاسبه تابش روزانه خورشید در ایران، مشاهده می شود که برای منطقه بوشهر روش انگستروم بهترین نتیجه را می دهد و روش هارگریوز در رتبه بعدی قرار دارد، لذا برای محاسبه تابش کل روزانه از روش انگستروم استفاده شده است و مبنای سایر محاسبات در این تحقیق است.

ضرایب مدل انگستروم از جدول (۲-۶) برابرند با:

$$a = 0.37, \quad b = 0.35$$

با در نظر گرفتن $S = 11$ hours و استفاده از رابطه انگستروم، گذرایی جو بدست می آید.

$$K_T = a + b \frac{S}{S_o} \Rightarrow K_T = 0.37 + 0.35 \times \frac{10.62}{13.29} = 0.65$$

۸ محاسبه تابش کل روزانه

$$K_T = \frac{H}{H_{od}} \Rightarrow H = 0.65 \times 39.120 = 25.42 \text{ Mj/m}^2$$

* اگر از مدل هارگریوز برای محاسبه تابش کل روزانه استفاده شود به مقدار زیر می رسیم:

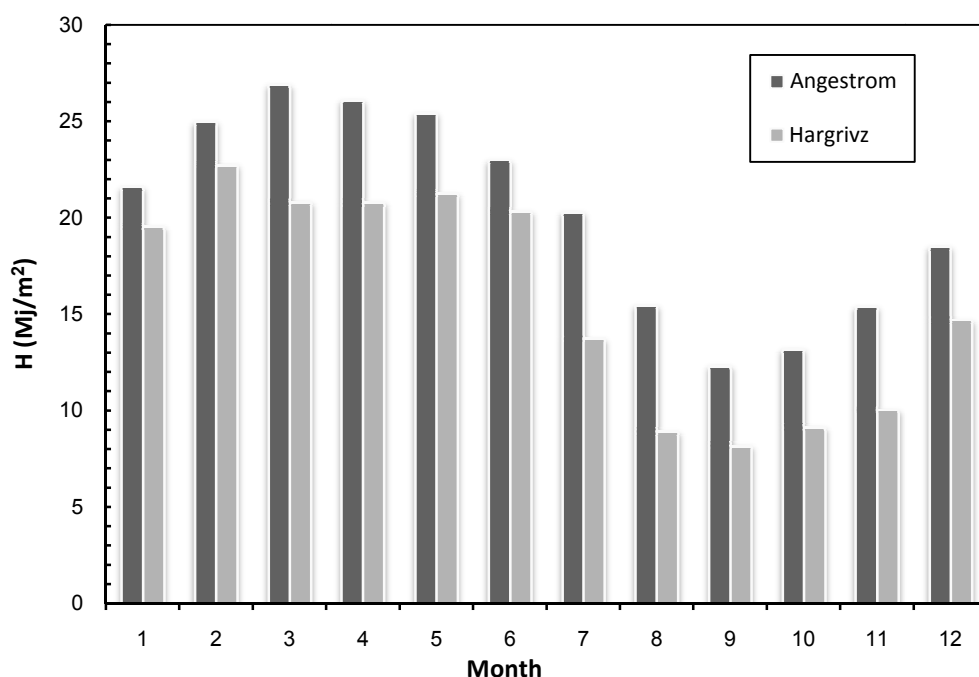
$$\begin{cases} T_{Max} = 38^\circ C \\ T_{min} = 32^\circ C \end{cases} \Rightarrow \Delta T_H = 6^\circ C$$

از جدول (۲-۵) خواهیم داشت:

$$a = 11.65, \quad b = 0.1$$

$$H = a + bH_o(\Delta T_H)^{0.5} \Rightarrow H = 20.39 \text{ Mj/m}^2$$

در ادامه نتایج محاسبه میزان تابش خورشیدی برای پانزدهم هر ماه شمسی در سال ۸۶ آورده شده است. همان طور که اشاره شد، برای منطقه بوشهر دو مدل انگستروم و هارگریوز نتایج بهتری را می دهند. نتایج حاصل از هر دو مدل در شکل های زیر نشان داده شده اند.



شکل ۲-۹- مقایسه میزان تابش بدست آمده از مدل انگستروم و هارگریوز برای سال ۸۶

شکل (۲-۹) میزان تابش کلی در سطح زمین در طول سال با توجه به دمای متوسط در ماه مربوطه را نشان می دهد. همانطور که انتظار می رود در ماه مرداد و شهریور میزان تابش نسبت به دیگر ماه ها بیشتر است.

مقدار تابش برای روز پانزدهم هر ماه با شرایط جوی متوسط همان ماه در جدول (۸-۲) آورده شده است و فرض بر این است که در تمام روزهای آن ماه مقدار تابش همان مقدار است.

جدول ۸-۲- متوسط تابش روزانه برای ماه های مختلف سال در جزیره خارک با مدل انگستروم

date	N	δ	$(d/d_0)^2$	ω_s	H_0 (Mj/m ²)	S (hours)	S_0 (hours)	H_A (Mj/m ²)
86/01/15	۹۳	۴/۸۱	۰/۹۹۹	۹۲/۶۷	۳۵/۱۷	۸/۶	۱۲/۳۶	۲۱/۵۸
86/02/15	۱۲۴	۱۵/۸۲	۰/۹۸۲	۹۹/۰۳	۳۹/۱۳	۱۰/۱۱	۱۳/۲	۲۴/۹۶
86/03/15	۱۵۵	۲۲/۴۲	۰/۹۷۱	۱۰۳/۲	۴۰/۸۸	۱۱/۳	۱۳/۷۶	۲۶/۸۷
86/04/15	۱۸۶	۲۲/۸	۰/۹۶۷	۱۰۳/۵	۴۰/۸۴	۱۰/۵۹	۱۳/۸	۲۶/۰۸
86/05/15	۲۱۷	۱۶/۸۳	۰/۹۷۳	۹۹/۶۵	۳۹/۱۱	۱۰/۶۲	۱۳/۲۹	۲۵/۴۱
86/06/15	۲۴۸	۶/۱۸	۰/۹۸۶	۹۳/۴۴	۳۵/۳۳	۹/۹۸	۱۳/۴۶	۲۲/۹۷
86/07/15	۲۷۹	-۶/۱۸	۱/۰۰۳	۸۶/۵۶	۲۹/۷۵	۹/۴۴	۱۱/۵۴	۲۰/۲۶
86/08/15	۳۰۹	-۱۶/۵۵	۱/۰۱۹	۸۰/۵۲	۲۴/۲۴	۷/۵۳	۱۰/۷۴	۱۵/۴۳
86/09/15	۳۳۹	-۲۲/۵۹	۱/۰۳	۷۶/۶۶	۲۰/۷۷	۵/۹۶	۱۰/۲۲	۱۲/۲۹
86/10/15	۴	-۲۲/۷۵	۱/۰۳۳	۷۶/۵۶	۲۰/۷۴	۷/۱۱	۱۰/۲۱	۱۳/۱۶
86/11/15	۳۴	-۱۶/۹۷	۱/۰۲۷	۸۰/۲۶	۲۴/۱۹	۷/۴۶	۱۰/۷۰	۱۵/۳۶
86/12/15	۶۴	-۶/۷۶	۱/۰۱۵	۸۶/۲۳	۲۹/۷۹	۷/۵۶	۱۱/۵	۱۸/۴۶

جداول (۲-۹) و (۲-۱۰) مقدار تابش ساعتی در واحد سطح در یک روز از هر ماه با استفاده از مدل

انگستروم را نشان می دهند.

جدول ۹-۲ - مقدار تابش ساعتی بر سطح افقی برای شش ماه اول سال

time	I (Mj/m ²)					
	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
5:30	۰/۱۲۳	۰/۴۰۸	۰/۵۸۱	۰/۵۷۱	۰/۴۳۷	۰/۱۶۵
6:30	۰/۸۰۱	۱/۰۷۷	۱/۲۳۶	۱/۲۰۳	۱/۱۰۸	۰/۸۷۳
7:30	۱/۴۳۳	۱/۷۰۲	۱/۸۴۶	۱/۷۹۳	۱/۷۳۵	۱/۵۳۳
8:30	۱/۹۷۶	۲/۲۳۸	۲/۳۷۱	۲/۲۹۹	۲/۲۷۲	۲/۰۹۹
9:30	۲/۳۹۳	۲/۶۴۹	۲/۷۷۳	۲/۶۷۸	۲/۶۸۵	۲/۵۳۴
10:30	۲/۶۵۵	۲/۹۰۷	۳/۰۲۶	۲/۹۳۱	۲/۹۴۴	۲/۸۰۷
11:30	۲/۷۴۴	۲/۹۹۶	۳/۱۱۲	۳/۰۱۵	۳/۰۳۳	۲/۹۰۱
12:30	۲/۶۵۵	۲/۹۰۷	۳/۰۲۶	۲/۹۳۱	۲/۹۴۴	۲/۸۰۷
13:30	۲/۳۹۳	۲/۶۴۹	۲/۷۷۳	۲/۶۸۷	۲/۶۵۸	۲/۵۳۴
14:30	۱/۹۷۶	۲/۲۳۸	۲/۳۷۱	۲/۲۹۹	۲/۲۷۲	۲/۰۹۹
15:30	۱/۴۳۳	۱/۷۰۲	۱/۸۴۶	۱/۷۹۳	۱/۷۳۵	۱/۵۳۳
16:30	۰/۸۰۱	۱/۰۷۷	۱/۲۳۶	۱/۲۰۳	۱/۱۰۸	۰/۸۷۳
17:30	۰/۱۲۳	۱/۴۰۸	۰/۵۸۱	۰/۵۷۱	۰/۴۳۷	۰/۱۶۵
18:30	۰/۰۵	۰/۰۶۲	۰/۰۷۴	۰/۰۷۲	۰/۰۳۵	۰/۰۶

جدول ۱۰-۲ - مقدار تابش ساعتی بر سطح افقی برای شش ماه دوم سال

time	I (Mj/m ²)					
	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
5:30	۰/۰۷۵	-	-	-	-	۰/۰۷۷
6:30	۰/۵۷۹	۰/۲۵۰	۰/۲۲۳	۰/۰۶۷	۰/۲۳۹	۰/۵۱۷
7:30	۱/۲۸۱	۰/۸۹۳	۰/۸۲۴	۰/۶۹۳	۰/۸۸۵	۰/۱۶۴
8:30	۱/۸۸۵	۱/۴۴۶	۱/۳۴۱	۱/۲۳۰	۱/۴۳۹	۱/۷۱۹
9:30	۲/۳۴۸	۱/۸۷۰	۱/۷۳۸	۱/۶۴۲	۱/۸۶۵	۲/۱۴۵
10:30	۲/۶۳۹	۲/۱۳۶	۱/۹۸۷	۱/۹۰۲	۲/۱۳۲	۲/۴۱۳
11:30	۲/۷۳۸	۲/۲۲۷	۲/۰۷۲	۱/۹۹۰	۲/۲۲۴	۲/۵۰۴
12:30	۲/۶۳۹	۲/۱۳۶	۱/۹۸۷	۱/۹۰۲	۲/۱۳۲	۲/۴۱۳
13:30	۲/۳۴۸	۱/۸۷۰	۱/۷۳۸	۱/۶۴۲	۱/۸۶۵	۲/۱۴۵
14:30	۱/۸۸۵	۱/۴۴۶	۱/۳۴۱	۱/۲۳۰	۱/۴۳۹	۲/۷۱۹
15:30	۱/۲۸۱	۰/۸۹۳	۰/۸۲۴	۱/۶۹۳	۰/۸۸۵	۱/۱۶۴
16:30	۰/۵۷۹	۰/۲۵۰	۰/۲۲۳	۰/۰۶۷	۰/۲۳۹	۰/۵۱۷
17:30	۰/۰۷۵	۰/۰۴۱	۰/۰۲۳	۰/۰۰۵	۰/۰۳۴	۰/۰۷۷
18:30	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳

محاسبات نشان داده شده مربوط به مقدار تابش کلی بر روی صفحه افقی است. برای بدست آوردن مقدار تشعشع مستقیم و تشعشع پخشی به رابطه ای بین تشعشع پخشی یا مستقیم با تشعشع کلی نیازمندیم. یک^۱ [۳۴] و همکارانش رابطه زیر را پیشنهاد کردند:

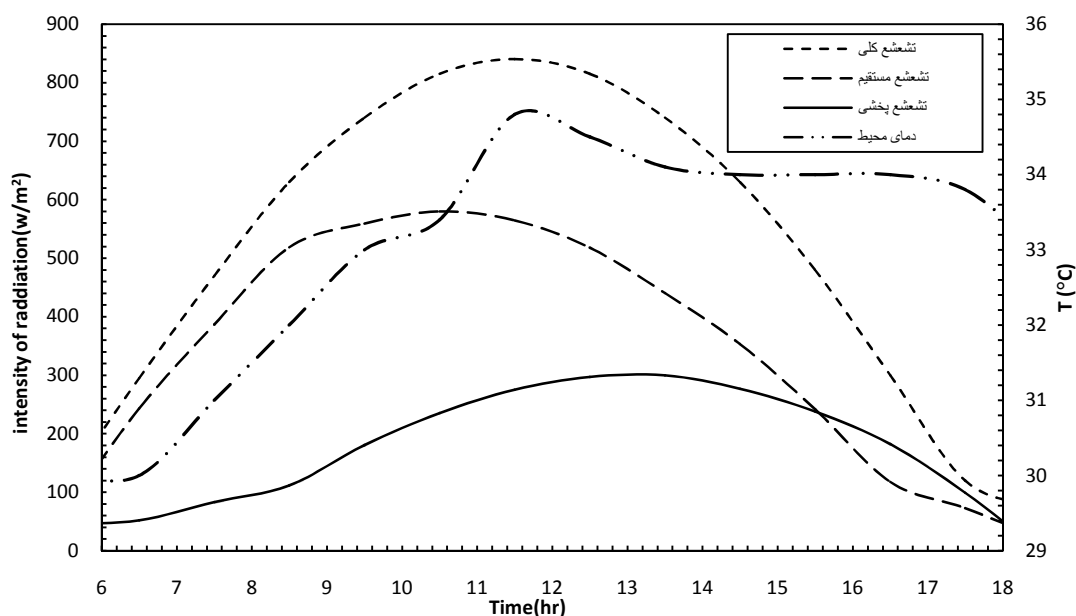
$$\frac{I_d}{I} = 1 - 0.435K_T \quad \text{For} \quad 0 \leq K_T < 0.325 \quad (۳۹-۲)$$

$$\frac{I_d}{I} = 1.42 - 1.695K_T \quad \text{For} \quad 0.325 \leq K_T < 0.679 \quad (۴۰-۲)$$

$$\frac{I_d}{I} = 0.259 \quad \text{For} \quad 0.679 < K_T \quad (۴۱-۲)$$

در رابطه بالا K_T ، ضریب گذرایی جو به صورت نسبت مقدار تشعشع کلی روی صفحه افقی در سطح زمین، I ، به تشعشع فراجو، I_0 ، تعریف می شود. با بکارگیری روابط بالا، تشعشع پخشی قابل محاسبه می باشد. سپس تشعشع مستقیم توسط رابطه مک گیستون و اسپیتتر^۲ [۳۵] به صورت زیر پیشنهاد می شود.

$$I_b = I - I_d \quad (۴۱-۲)$$



شکل ۲-۱۰- شدت تشعشع روی صفحه افقی در جزیره خارک در ماه ۱۵ مرداد سال ۸۶

¹ Yik

² McQuiston and Spitler

شکل (۲-۱۱) تشعشع کلی و دو مولفه آن، تشعشع مستقیم و پخشی بر روی صفحه افقی روی سطح زمین در جزیره خارک را در طول روز با توجه به دمای هوا در هر ساعت، نشان می دهد.

فصل سوم

انتقال حرارت جابجایی در خطوط لوله

۳-۱) مقدمه

جریان هوا در اطراف لوله و جریان سیال داخل آن پارامتر مهمی در انتقال حرارت در لوله محسوب می شوند. برای بدست آوردن ضرایب داخلی و خارجی سطح لوله موارد زیر مد نظر است. دمای مرجع مربوطه انتخاب و خواص سیال در آن دما ارزیابی می شود. برای اختلاف های معتدل دما در لایه مرزی، از دمای فیلم به عنوان دمای مرجع می توان استفاده کرد. ولی در بعضی از رابطه ها ارزیابی خواص سیال در دمای جریان آزاد نیاز است و لذا از نسبت خواص برای در نظر گرفتن اثر خواص متغییر استفاده می شود. سپس عدد رینولدز محاسبه شود. عدد رینولدز رژیم جریان را تعیین می کند. به طور مثال در جریان داخلی لوله در رینولدز کمتر از ۲۳۰۰، رژیم جریان آرام است. برای محاسبه انتقال حرارت جابجایی و همچنین محاسبه ضریب انتقال حرارت جابجایی (h) روابط زیادی ارائه شده اند که در اینجا به بررسی برخی از روابط و شرایط استفاده از آنها پرداخته شده است. در تمام روابط Nu_D عدد بدون بعد نوسلت، h ضریب انتقال حرارت جابجایی ($W/m^2.K$)، D قطر استوانه، k رسانندگی گرمایی سیال ($W/m.K$) می باشد.

۳-۲) ضریب انتقال حرارت جابجایی در داخل لوله افقی

ضریب انتقال حرارت به شرایط مرزی سطح مورد نظر بستگی دارد. در خطوط لوله به دلیل حضور تابش خورشید، روابط مربوط به شار ثابت آورده شده است. علاوه بر نوع رژیم جریان، ضریب جابجایی از لحاظ جابجایی آزاد و اجباری نیز بررسی شده است.

۳-۳) جابجایی اجباری

۳-۳-۱-۱) جریان آرام

عدد نوسلت در جابجایی اجباری و رژیم آرام مقدار ثابتی است [۳۶].

$$Nu_d = 4.364$$

(۳-۱)

سپس با توجه به تعریف عدد نوسلت، ضریب جابجایی برابر است با:

$$h = \frac{48 k}{11 d_0} \quad (2-3)$$

۳-۱-۳-۲ جریان درهم

برای جریان درهم توسعه یافته در لوله های صاف رابطه زیر توسط دیتوس و بولتر^۱ [۳۷] پیشنهاد شده است:

$$Nu_d = 0.023 Re_d^{0.8} Pr^n \quad (3-3)$$

خواص مورد نظر در درجه حرارت حجمی محاسبه می شوند. نمای n برای سرمایه مقدار ۰/۴ و برای گرمایش ۰/۳ می باشد. معادله بالا برای جریان درهم کاملاً تکامل یافته در لوله صاف و برای سیالاتی که اعداد پرانتل آنها از ۰/۶ تا ۱۰۰ استفاده می شود.

اطلاعات ارائه شده توسط لوبارسکی^۲ [۳۸] پیشنهاد می کند که برای جریان درهم درون لوله های صاف نتایج بهتری با روابط زیر بدست می آید:

$$Nu = 0.0214(Re^{0.8} - 100)Pr^{0.4} \quad 10^4 < Re < 5 \times 10^5 \text{ و } 0.5 < Pr < 1.5 \quad (4-3)$$

$$Nu = 0.021(Re^{0.8} - 280)Pr^{0.4} \quad 300 < Re < 10^6 \text{ و } 1.5 < Pr < 500 \quad (5-3)$$

برای آنکه تغییرات خواص بر اثر تغییرات دما در طول لوله در محاسبات وارد شود، سیدر و تت^۳ [۳۹] رابطه زیر را پیشنهاد کرده اند:

$$Nu_d = 0.027 Re_d^{0.8} Pr^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14} \quad (6-3)$$

معادلات بالا برای جریان درهم کاملاً تکامل یافته درون لوله کاربرد دارند. در حالتیکه در ناحیه ورودی، جریان تکامل یافته نیست، نوسلت^۴ [۴۰] معادله زیر را توصیه کرده است:

$$Nu_d = 0.036 Re_d^{0.8} Pr^{1/3} \left(\frac{d}{L}\right)^{0.055} \quad (7-3)$$

¹ Dittus and Boelter

² Lubarsky

³ Sieder and Tate

⁴ Nusselt

۳-۱-۳-۳) جابجایی آزاد

با توجه به سرعت بالای جریان نفت در خطوط انتقال نفت و اینکه مقدار $1 < \frac{Gr}{Re^2}$ است از جابجایی آزاد داخل لوله می توان صرف نظر کرد.

۳-۴) ضریب انتقال حرارت جابجایی در خارج لوله افقی

در این بخش به بررسی تاثیر سرعت باد و دمای هوای محیط بر ضریب جابجایی اطراف خطوط انتقال نفت پرداخته شده است. بدیهی است که مانند جریان داخل لوله، این قسمت باید از دیدگاه جریان آزاد و اجباری بررسی شود.

۳-۴-۱) جابجایی آزاد

در جابجایی آزاد، برای محدوده وسیعی از اعداد گراشف و پرانتل رابطه زیر توسط چرچیل و چو^۱ [۴۱] ارائه شده است:

$$Nu^{1/2} = 0.60 + 0.387 \left[\frac{GrPr}{1 + \left(\frac{0.559}{Pr}\right)^{9/16}} \right]^{1/6} \quad 10^{-5} < GrPr < 10^{12} \quad (۸-۳)$$

عبارت دیگری برای لوله بلند با شرایط محیطی ایزوترمال وجود دارد که به قرار زیر است [۴۲]:

$$Nu_{natural} = [Nu_l^m + Nu_t^m]^{1/m}, \quad m = 10 \quad (۹-۳)$$

$$Nu^T = 0.772 C_L Ra^{1/4}, \quad Nu_l = \frac{2f}{\ln(1 + \frac{2f}{Nu^T})}, \quad f = 1 - \frac{0.13}{(Nu^T)^{0.16}}, \quad Nu_t = C_l Ra^{1/3}$$

در رابطه بالا اگر عدد رایلی بزرگتر از 10^{-4} باشد، ضریب f برابر 0.8 است. ضریب C_L از جدول زیر

در محدوده عدد پرانتل بدست می آید:

جدول ۳-۱- تعیین C_L با توجه به محدوده عدد پرانتل [۴۲]

Pr	0.71	0.71 to 6	6 to 100	100 to 2000
C_L	0.103	0.109	0.097	0.088

¹ Churchill and Chu

۳-۴-۲) جابجایی اجباری

مورگان^۱ [۴۲] معادله زیر را برای لوله های افقی پیشنهاد کرد.

$$Nu_f = aRe^n \quad (۱۰-۳)$$

که ضرایب a و n برای محدوده اعداد رینولدز در جدول (۲-۳) آورده شده اند.

جدول ۲-۳- ضرایب معادله مورگان جابجایی اجباری روی استوانه افقی [۴۲]

Re	10^{-4} to 4×10^{-3}	4×10^{-3} to 9×10^{-2}	9×10^{-2} to 1	1 to 35	35 to 5×10^3	5×10^3 to 5×10^4	5×10^4 to 2×10^5
a	0.437	0.565	0.800	0.795	0.583	0.148	0.0208
n	0.0895	0.136	0.28	0.384	0.471	0.633	0.814

رابطه جامع تری توسط چرچیل و بربشتین^۲ [۴۳] ارائه شده که در گستره ای کامل از داده های

$100 < Re < 10^7$ و $Re > 0.2$ قابل حصول کاربرد دارد.

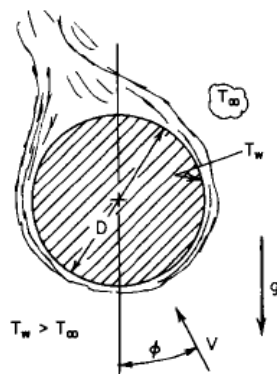
$$Nu_d = 0.3 + \frac{0.62Re^{1/2}Pr^{1/3}}{[1+(0.4/Pr)^{1/4}]^{1/4}} \left[1 + \left(\frac{Re}{282000} \right)^{5/8} \right]^{4/5} \quad (۱۱-۳)$$

۳-۴-۳) جابجایی آزاد و اجباری

با توجه به شکل زیر زاویه برخورد به استوانه افقی نقش مهمی در تعیین ضریب جابجایی و عدد

نوسلت در این وضعیت دارد. در این حالت عدد رینولدز موثر باید محاسبه شود. سپس مقدار آن در

رابطه (۱۰-۳) قرار داده شود. زاویه برخورد جریان هوا به لوله ۹۰ درجه فرض شده است.



شکل ۳-۱- جریان عرضی روی استوانه افقی [۴۲]

^۱ Morgan

^۲ Churchill and Berbstein

برای بدست آوردن رینولدز موثر، ابتدا Nu_N از رابطه زیر حاصل می شود [۴۲].

$$Nu_n = \left[\frac{\left[2 \left(1 - \frac{0.13}{(0.772 C_L Ra^{1/4})^{0.16}} \right) \right]}{\ln \left(1 + \frac{2 \left(1 - \frac{0.13}{(0.772 C_L Ra^{1/4})^{0.16}} \right)}{(0.772 C_L Ra^{1/4})} \right)} \right]^{10} + (C_L Ra^{\frac{1}{3}})^{10} \quad (12-3)$$

سپس رینولدز موثر (Re_{eff}) از رابطه زیر بدست می آید:

$$h_{tot} = \frac{Nu_{tot} k}{D}, Re_i = \left(\frac{Nu_N}{a} \right)^{1/n}, Re_{eff} = \left[\left(\frac{Nu_N}{a} \right)^2 + \left(\frac{\rho v_{wind} D_o}{\mu_{air}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (13-3)$$

حال عدد نوسلت کلی از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$Nu_{total} = a Re_{eff}^n \quad (14-3)$$

که ضرایب a و n از جدول (۲-۳) بدست می آیند. با داشتن عدد نوسلت ضریب جابجایی به راحتی قابل محاسبه خواهد بود.

۵-۳) نتایج ضریب جابجایی در خارج خطوط انتقال نفت

وزش باد در اطراف لوله در مناطق گرمسیری انتقال حرارت جابجایی زیادی از سطح لوله به محیط سبب می شوند. در بررسی موردی خط لوله جزیره خارک را در نظر گرفته شده است. مشخصات لوله مورد نظر در جدول (۳-۳) آورده شده است. جنس لوله از Carbon Steel, 1.5% می باشد.

جدول ۳-۳- ابعاد و مشخصات استاندارد لوله مورد بررسی

ضریب هدایت (W/m.K)	طول لوله (m)	جرم واحد طول (kg/m)	ضخامت (mm)	قطر خارجی (mm)
۵۵	۳۰۰۰	۲۴۸/۵۲	۹.۵۳	۱۰۶۶

جدول (۳-۴) ضریب جابجایی سطح خارجی لوله با توجه به سرعت باد و دمای هوا در ماه های گرم سال نشان را می دهد.

با توجه به سرعت وزش باد و ابعاد لوله در منطقه مورد نظر، جابجایی آزاد و اجباری را خواهیم داشت و رابطه (۳-۱۴) بکار برده می شود. ضریب جابجایی اطراف لوله مورد نظر در پانزده ام هر ماه در فصل تابستان سال ۸۶ در جدول (۳-۴) نشان داده شده است.

جدول ۳-۴- محاسبه ضریب جابجایی اطراف لوله در تابستان ۸۶

تبریز														
Time	5:30	6:30	7:30	8:30	9:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30	18:30
T (°C)	۳۲	۳۲	۳۲	۳۳	۳۳	۳۴	۳۴	۳۴	۳۵	۳۶	۳۷	۳۷	۳۶	۳۶
V (m/s)	۴/۱	۳/۹	۳/۹	۴/۴	۴/۸	۵/۳	۵/۲	۵/۹	۵/۸	۶/۱	۶/۲	۵/۳	۵/۱	۴/۴
h (W/m ² K)	۱۳/۷	۱۳/۲	۱۳/۲	۱۴/۵	۱۵/۶	۱۷	۱۶/۷	۱۸/۴	۱۸/۲	۱۸/۹	۱۹/۱	۱۷	۱۶/۵	۱۴/۸
مرداد														
T (°C)	۳۲	۳۲	۳۳	۳۴	۳۵	35	۳۶	۳۶	۳۷	۳۷	۳۷	۳۷	۳۸	۳۶
V (m/s)	۲/۸	۲/۸	۳/۳	۲/۹	۳/۲	۳/۵	۴/۳	۴/۹	۴/۴	۵	۴/۵	۴/۸	۳/۷	۳/۷
h (W/m ² K)	۱۰	۱۰	۱۱/۴	۱۰/۳	۱۱/۱	۱۱/۹	۱۴	۱۵/۶	۱۴/۳	۱۵/۸	۱۴/۵	۱۵/۳	۱۲/۴۲	۱۲/۴۷
شهریور														
T (°C)	۳۲	۳۲	۳۳	۳۴	۳۵	۳۵	۳۶	۳۷	۳۷	۳۸	۳۷	۳۷	۳۶	۳۵
V (m/s)	۰/۸	۱/۳	۱/۶	۱	۲/۲	۱/۵	۱/۳	۲	۲/۶	۲/۵	۲/۷	۲/۹	۲/۴	۱/۴
h (W/m ² K)	۳/۹	۵/۴	۶/۴	۴/۵	۸/۲	۶/۱	۵/۵	۷/۶	۹/۳	۹	۹/۶	۱۰/۲	۸/۸	۸/۵

فصل چهارم

تاثیر تابش خورشید بر تغییرات دمای لوله های افقی

۴-۱) مقدمه

جریان داخل لوله یک مسأله کلاسیک انتقال حرارت است که در بسیاری از کتب مربوط به انتقال حرارت بررسی شده است. به طور کلی، دو شرط مرزی برای سطح لوله در نظر گرفته می شود. مورد اول شرط مرزی دمای دیواره ثابت و دیگری شار حرارتی ثابت روی دیواره. برای هر یک از این دو شرط مرزی، روش های تحلیلی برای بدست آوردن ضریب جابجایی از دیدگاه توسعه یافتگی هیدرودینامیکی و توسعه یافتگی حرارتی در جریان آرام و درهم و همچنین تعیین پروفیل دمای سیال در طول لوله ارائه شده است.

اعمال شار ثابت به دیواره لوله از طریق گرمکن یا تشعشع خورشید امکان پذیر است. مدل مورد بررسی اعمال شار ثابت از طریق تشعشع خورشید به لوله با در نظر گرفتن اتلافات به محیط و تغییرات دمایی سطح لوله در امتداد جریان می باشد. اتلافات به محیط شامل دو قسمت جابجایی به محیط پیرامون و تشعشع به آسمان است.

در حالیکه راه های مختلفی برای انتقال نفت به بازار فروش صورت می پذیرد، خطوط لوله سریعترین، پر بازده ترین و با صرفه ترین راه برای انتقال این منبع با ارزش انرژی محسوب می شود. به دلیل اینکه نفت خام اغلب در نواحی دور از بازار عمده که جمعیت و مراکز صنعتی در آن قرار دارند تولید می شود، خطوط لوله اهمیت بیشتری به خود می گیرد. خطوط لوله قابلیت انتقال نفت و دیگر محصولات به مقدار زیاد حتی به جوامع دور را ممکن می سازند و معمولاً روی سطح زمین با قطر داخلی ۶۱-۲۰ سانتی متر هستند. نفت با سرعت ۵/۵ تا ۱۴/۵ کیلومتر در ساعت در آن جریان می یابد. سرعت انتقال نفت به عواملی نظیر قطر لوله، ویسکوزیته محصول نفتی، فشار جریان نفت و دیگر عوامل مانند ویژگی سطح زمین، تغییرات ارتفاعی و شیب مسیر بستگی دارد.

در این تحقیق، مدلی عملی برای سیال تراکم ناپذیر داخل خطوط لوله در بالای سطح زمین، ارائه شده است. سطح خارجی لوله در معرض تابش خورشید و جریان باد قرار دارد. تشعشع سطح لوله به آسمان مهم در نظر گرفته شده است. بعلاوه، تاثیر ضرایب جذب و نشر سطح لوله مورد مطالعه قرار

گرفته است. این مدل به منظور تعیین توسعه دمای جریان نفت خام در خط لوله گسترش یافته است. برای سادگی، شرایط ساعتی پایا^۱ در جریان نفت و لوله فرض شده است. در بیشتر مطالعات به طور مثال سوهرکی^۲ [۴۴] و همکارانش و ساهین^۳ [۴۵] بدلیل استفاده از مقاومت حرارتی در تشعشع به آسمان، از تغییرات دمای سطح لوله صرف نظر شده است. در حالیکه در مدل ارائه شده تغییرات دمایی سطح لوله مد نظر است. لذا نمی توان از روش مقاوت حرارتی برای تعیین دمای سیال در طول جریان استفاده کرد. این مدل برای خط لوله ای خاصی با مشخصات جدول (۳-۳) بکار برده شده است. این خط لوله در جزیره خارک، پایانه اصلی صادرات نفت، که نفت را از مخازن ذخیره به کشتی های نفت کش انتقال می دهد، قرار دارد.

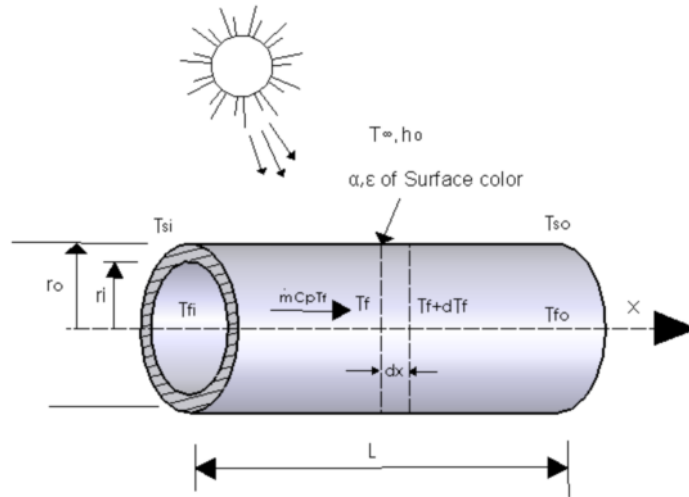
۲-۴) شرح مسئله و مدل تحلیلی

در این مسئله، خط لوله ای در معرض شرایط محیط پیرامون، تابش خورشید را به صورت طول موج کوتاه از طریق سطح خارجیش در طول روز دریافت کند. باد نقش مهمی در جهت مخالف با دفع گرما از طریق جابجایی با محیط اطراف دارد. مبادله حرارتی بین سطح خارجی لوله و آسمان از طریق تشعشع با طول موج بلند وجود دارد. هرچند که سطح مقطع دایره ای در این مسئله مورد بررسی قرار گرفته است، همین آنالیز برای سطح مقطع های هندسی دیگر نیز می تواند معتبر باشد. دمای ورودی و خروجی سیال در لوله به ترتیب T_{fi} و T_{fo} می باشد. پارامترهای دیگر در شکل (۴-۱) نشان داده اند. به دلیل بزرگی طول لوله نسبت به قطر آن، مسئله یک بعدی با تغییرات دمایی در جهت طول لوله (جهت x) فرض شده است.

¹ Hourly steady state

² Suehrcke

³ Sahin



شکل ۴-۱- شماتیکی از مسئله مورد بررسی

۴-۳) انتقال حرارت تشعشی

محاسبه تابش خورشیدی بر روی سطح افقی روی سطح زمین در فصل (۲) نشان داده شد و مدل های موجود بررسی شد. در این قسمت به محاسبه شار انرژی خورشیدی بر استوانه افقی روی سطح زمین پرداخته می شود. روابط اصلی در محاسبات فصل قبل به دلیل اهمیت زیاد یادآوری شده اند. شار تشعشی می تواند به طول موج کوتاه خورشید و طول موج بلند محیط به صورت زیر تعریف شود.

$$q_r = \alpha I_{solar} + \epsilon \sigma (T_{sky}^4 - T_s^4) \quad (4-1)$$

که در معادله بالا α و ϵ ضرایب جذب و نشر رنگ سطح لوله، σ ثابت استفان - بولتزمن و T_{sky} دمای آسمان است.

تشعشع خورشید عامل مهمی در جهت تغییرات دمایی سطوح است. برای تعیین پروفیل دمایی لوله و سیال، تشعشع خورشیدی بایستی در مرحله اول محاسبه شود. این محاسبات به طور کلی در فصل (۲) مورد بررسی قرار گرفت؛ در این فصل نگاهی اجمالی به روابط مورد استفاده خواهیم داشت.

از لحاظ تئوری وانگ^۱ [۴۶] و همکارانش نشان دادند که تشعشع خورشید حدود ۱.۵ کیلو وات در واحد سطح در هر ساعت بر جو زمین انرژی وارد می کند؛ بخشی از این انرژی منعکس شده و پراکنده می شود و بخشی توسط اتمسفر جذب می شود.

برای تخمین تشعشع خورشید مدل های مختلفی ارائه و پیشنهاد شده است (گازوامی^۲ [۴۷]). در همه این مدل ها، شرایط جوی و موقعیت جغرافیایی مهمترین فاکتور محسوب می شوند. تحقیقات در ایران توسط کمالی^۳ [۴۸] برای مدل های مختلفی نظیر انگستروم، ردی، هارگریوز، برستو و کمپل انجام شده است. این مدل ها با در نظر گرفتن بعضی متغیرهای جوی و ضرایب پیشنهادی تصحیح شده اند. همانطور که در فصل (۲) نشان داده است، مدل انگستروم برای جزیره خارک مناسبتر از دیگر مدل ها می باشد. بر مبنای مدل انگستروم، تشعشع خورشید روی سطح زمین از رابطه زیر بدست می آید:

$$\frac{I}{I_0} = a + b \frac{s}{s_0} \quad (۲-۴)$$

زاویه انحراف (δ)، زاویه غروب خورشید (ω_s) و حداکثر ساعات آفتابی در طول روز (s_0) توسط کوپر^۴ [۴۹] از روابط زیر بدست می آید:

$$\delta = 23.45 \sin (360 . (284 + n) / 365) \quad (۳-۴)$$

$$\omega_s = \text{Arccos} (- \tan \phi . \tan \delta) \quad (۴-۴)$$

$$s_0 = \frac{2}{15} \omega_s \quad (۵-۴)$$

تشعشع کلی فرا جو در هر ساعت از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$I_0 = \frac{24 \times 3600}{\pi} I_{sc} (1 + 0.033 \cos(\frac{360n}{365})) \left[\cos \phi \cos \delta (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) + \frac{2\pi(\omega_2 - \omega_1)}{360} \sin \phi \sin \delta \right] \quad (۶-۴)$$

¹ Wang

² Goswami

³ Kamali

⁴ Cooper

محاسبات نشان داده شده مربوط به مقدار تابش کلی بر روی صفحه افقی است. همانگونه که در

فصل قبل اشاره شد، از رابطه زیر برای محاسبه تابش پخشی استفاده می کنیم:

$$\frac{I_d}{I} = 1 - 0.435K_T \quad \text{For} \quad 0 \leq K_T < 0.325 \quad (7-4)$$

$$\frac{I_d}{I} = 1.42 - 1.695K_T \quad \text{For} \quad 0.325 \leq K_T < 0.679 \quad (8-4)$$

$$\frac{I_d}{I} = 0.259 \quad \text{For} \quad 0.679 < K_T \quad (9-4)$$

در رابطه بالا K_T ضریب وضوح آسمان به صورت نسبت مقدار تشعشع کلی روی صفحه افقی در سطح زمین، I ، به تشعشع فراجو، I_0 ، تعریف می شود. با بکارگیری روابط بالا، تشعشع پخشی قابل محاسبه می باشد. سپس تشعشع مستقیم از تفاضل تابش کل به تابش پخشی بدست می آید.

محاسبات صورت گرفته تا این مرحله مربوط به صفحه افقی بوده است. برای محاسبه تشعشع روی سطح استوانه افقی، مراتب زیر مد نظر می باشد. تشعشع رسیده به سطح لوله شامل سه قسمت می باشد. تشعشع مستقیم خورشید، تشعشع پخشی خورشید و تشعشع منعکس شده از سطح زمین که در هندبوک اشرا^۱ [۵۰] به صورت جمع سه جمله زیر بیان می شود:

$$I_T = I_b R_b + \frac{I_d}{2} + \rho_g \frac{I}{2} \quad (10-4)$$

در حالیکه در رابطه بالا قابلیت بازتاب زمین، ρ_g ، در نظر گرفته می شود و در معادله بالا R_b به صورت زیر محاسبه می شود:

$$R_b = \frac{[1 - (\cos \theta \sin \delta - \sin \theta \cos \delta \cos \omega)^2]^{1/2}}{\cos \theta \cos \delta \cos \omega + \sin \theta \sin \delta} \quad (11-4)$$

۴-۴) ضریب جابجایی خطوط لوله

ضریب جابجایی خطوط انتقال نفت در فصل (۳) به طور مفصل مورد بررسی قرار گرفت. همانگونه که اشاره شد، مفهوم جابجایی آزاد و اجباری برای تخمین ضریب جابجایی بیرون لوله مورد استفاده قرار گرفته است. جهت حرکت هوا در اثر جابجایی آزاد و اجباری عمود بر هم فرض شده است. به

¹ ASHRAE Handbook

طوریکه جهت حرکت هوا در جابجایی اجباری افقی و در جابجایی آزاد عمودی است. جریان و انتقال حرارت اطراف استوانه افقی در گذشته به طور وسیعی مورد مطالعه قرار گرفته است. به طور مثال نایاک و سندبورن^۱ [۵۱] به طور آزمایشگاهی انتقال حرارت از استوانه کوچک افقی که جریان هوا از طرف پایین به آن وارد می شد را بررسی کردند. بر مبنای اندازه گیری های انتقال حرارت، میانگین انتقال حرارت با افزایش عدد رینولدز برای هر دو مورد با جابجایی آزاد غالب و رژیم متناوب انتقال حرارت، افزایش یافته است. زینن^۲ [۵۲] انتقال حرارت در استوانه افقی وقتی جریان توربلانت به لوله برخورد می کند را مطالعه کرد. مهمترین بخش مطالعه او بدست آوردن ضریب انتقال حرارت با تغییرات عدد رینولدز است.

برای انتقال حرارت آزاد و اجباری در لوله افقی روابط زیادی وجود دارد. رابطه ای که به طور متداول کاربرد دارد و در فصل قبل نیز به آن اشاره کردیم، توسط مورگان پیشنهاد شده است.

$$Nu_n = \left[\frac{\left[2 \left(1 - \frac{0.13}{(0.772 C_L Ra^{1/4})^{0.16}} \right) \right]}{\ln \left(1 + \frac{2 \left(1 - \frac{0.13}{(0.772 C_L Ra^{1/4})^{0.16}} \right) \right)} \right]^{10} + (C_L Ra^3)^{10} \quad (12-4)$$

حال Re_{eff} از رابطه زیر بدست می آوریم:

$$h_{tot} = \frac{Nu_{tot} k}{D}, \quad Re_i = \left(\frac{Nu_N}{a} \right)^{1/n}, \quad Re_{eff} = \left[\left(\frac{Nu_N}{a} \right)^2 + \left(\frac{\rho v_{wind} D_0}{\mu_{air}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (13-4)$$

سپس عدد نوسلت کلی از رابطه زیر بدست می آید:

$$Nu_{total} = a Re_{eff}^n \quad (14-4)$$

¹ Nayak and Sandborn

² Zijnen

۴-۵) تعیین خواص ترمودینامیکی نفت

نفت خام^۱ درحالت طبیعی به صورت مایع بوده و رنگ آن قهوه‌ای یا زرد مایل به سیاه است و در برابر نور انعکاسی، رنگ سبز بخصوصی از خود نشان می‌دهد. از خواص فیزیکی نفت خام که ارزش اقتصادی نفت خام بر مبنای آن سنجیده می‌شود، وزن مخصوص آن می‌باشد. لذا سنجش و نحوه محاسبه آن مهم است. اکثر کشورهای جهان، وزن مخصوص نفت خام را برحسب ای پی آی که یک درجه بندی آمریکائی است، محاسبه می‌کنند. مشابه همین درجه بندی و سنجش، وزن مخصوص نفت خام را در کشورهای اروپائی با درجه بندی درجه بائوم^۲ محاسبه می‌کنند که از لحاظ مقدار اندکی از ای پی آی کمتر می‌باشد.

سنجش وزن مخصوص^۳ نفت خام مانند سایر مواد و مایعات بر مبنای وزن واحد حجم مایع است که در شرایط استاندارد در دمای ۶۰°F و فشار ۱ atm سنجیده می‌شود و مقدار آن در فرمول زیر جایگزین شده و وزن مخصوص نفت خام را بر حسب ای پی آی یا درجه بائوم نتیجه می‌دهد [۵۳].

$$A.P.I = \frac{141.5}{S.G} - 131.5 \quad (۱۵-۴)$$

$$Baume = \frac{140}{S.G} - 130 \quad (۱۶-۴)$$

بدلیل اینکه وزن مخصوص آب یک می‌باشد. لذا وزن مخصوص آب ۱۰ درجه ای پی آی خواهد بود. به علت کوچکتر بودن وزن مخصوص نفت از آب، هیچ وقت در جداول و محاسبات، وزن مخصوص نفت بر حسب ای پی آی کوچکتر و مساوی ۱۰ نخواهد بود.

از عواملی که سبب تغییر در وزن مخصوص نفت خام می‌شود، تغییرات دما است. یعنی با بالا رفتن دما، وزن مخصوص کمتر شده و به ای پی آی افزوده می‌شود. همچنین بالا رفتن دما اثر معکوس بر روی ویسکوزیته نفت خام می‌گذارد.

¹ Crude Oil

² Baume

³ specific gravity



شکل ۴-۲- انواع مختلف نفت بر حسب ای پی ای [۵۳]

نفت خام از نظر وزن مخصوص به صورت زیر تقسیم بندی می شود:

- نفت سنگین با ۱۰ الی ۲۰ ای پی ای
- نفت متوسط با ۲۰ الی ۳۰ ای پی ای
- نفت سبک با بیش از ۳۰ ای پی ای

وزن مخصوص نفتها بستگی به ماهیت هیدروکربن های مختلف دارد. هر قدر مقدار گاز محلول در

نفت بیشتر باشد، چگالی آن کمتر خواهد بود. بنابراین پارافینها دارای پایین ترین چگالی و نفتیکها

کمی بالاتر و آروماتیکها بالاترین چگالی را دارند.

نفت سبک با وزن مخصوص ۳۳/۳۶ ای پی ای در دمای 60°F و فشار جو به عنوان سیال مورد

نظر در محاسبات در نظر گرفته شده است. معمولاً هر نمونه نفتی دارای سه فاز نفت، آب و گاز است.

که در بخش بعد به شرح داده شده اند.

فاز آب :

این فاز علیرغم انحلال ترکیبات نفتی در آن در اغلب اوقات به صورت آب خالص در نظر گرفته می شود که این امر سبب کاهش میزان محاسبات انجام شده می گردد.

فاز گاز :

ترکیبات موجود در فاز گاز محدود بوده و همگی آنها از طریق روش های اندازه گیری غلظت قابل تعیین هستند. بنابراین برای معرفی فاز گاز از ترکیبات تشکیل دهنده آن و ترکیب در صدهای مربوط به آن ترکیبات استفاده می شود.

فاز نفت :

ترکیبات تشکیل دهنده فاز نفت نامحدود بوده و امکان اندازه گیری تمام ترکیبات آن وجود ندارد. لذا در این مورد خاص، فاز نفت به چندین برش¹ تقسیم بندی شده که هر کدام از این برش ها به یک سری داده های آزمایشگاهی نیاز دارند که در آزمایشگاه های نفتی تعیین می شوند. این داده های آزمایشگاهی اغلب به صورت خواص حجمی و یا منحنی های تقطیر می باشند که در آنها خواص فیزیکی نفت نظیر نقطه جوش، چگالی، جرم ملکولی و ویسکوزیته به صورت منحنی های تقطیر تعیین می شود. در این بخش نحوه تعیین این منحنی های تقطیر در آزمایشگاه توضیح داده می شود. برای تعیین منحنی های تقطیر در آزمایشگاه از دستگاه تقطیر استفاده می شود. یک نمونه نفتی در دستگاه تقطیر قرار داده شده و گرمایش به اندازه ای صورت می گیرد که در حدود ۱۰٪ حجمی این نمونه بخار شده و در قسمت دیگر دستگاه مایع شود. در این حالت خواص فیزیکی مختلف مربوط به حجم تقطیر شده اندازه گیری و یادداشت می شود. سپس گرمایش ادامه داده می شود تا اینکه ۱۰٪ حجمی دیگر نمونه نفتی بخار شده و در قسمت دیگر دستگاه مایع گردد به طوری که در مجموع ۲۰٪ حجمی کل نمونه نفتی تقطیر شده باشد. در این حالت خواص فیزیکی مربوط به حجم جدید تقطیر

¹ Cut

شده اندازه گیری و یادداشت می شود و این عمل ادامه پیدا می کند تا این که تمام خواص فیزیکی مربوط به نمونه نفتی در درصدهای مختلف محاسبه می گردد و در این حالت است که امکان رسم منحنی های تقطیر وجود دارد. البته تمام اعدادی که به عنوان درصد های حجمی تقطیر شده در اینجا بکار برده شده مطابق با شرایط آزمایشگاهی در منطقه خارک می باشد و در آزمایش های مختلف می تواند مقادیر دیگری داشته باشند. این منحنی های تقطیر با توجه به این که نوع دستگاه های تقطیر چگونه بوده و در چه شرایط دمایی و فشاری آزمایش انجام می شود دارای انواع مختلفی می باشند که مهم ترین آنها عبارتند از:

- TBP
- ASTM D86
- ASTM D1160
- ASTM D2887
- EFV

بدین دلیل آن که خواص ترمو فیزیکی نفت و تغییرات آن با دما مد نظر می باشد. لذا شبیه سازی نفت سبک در نرم افزار هایسیس^۱ انجام شده است. تمام این انواع منحنی های تقطیر قابل تبدیل به یکدیگر هستند. این نکته را نیز باید در نظر گرفت که برای معرفی یک نمونه نفتی به نرم افزار، وارد کردن تمام این داده ها الزامی نیست ولی هرچه میزان و دقت این داده های آزمایشگاهی بیشتر باشد، نرم افزار نتایج مطلوب تری در اختیار کاربر قرار می دهد. پس از وارد کردن داده های آزمایشگاهی به نرم افزار، با استفاده از روش های خاصی که در نرم افزار تعیین شده است تمامی این داده ها به داده های فرایندی قابل استفاده در شبیه سازی تبدیل می شوند.

داده های آزمایشگاهی که برای تعیین مشخصه نفت خام سبک در این شبیه سازی مورد استفاده قرار می گیرند در جدول (۴-۱) نشان داده شده اند. این داده ها توسط واحد آزمایشگاه شرکت پایانه های صادراتی که در جزیره خارک مستقر می باشد تهیه شده اند.

^۱ HYSYS

جدول ۴-۱ - اطلاعات آزمایشگاهی نفت خام سبک [۵۳]

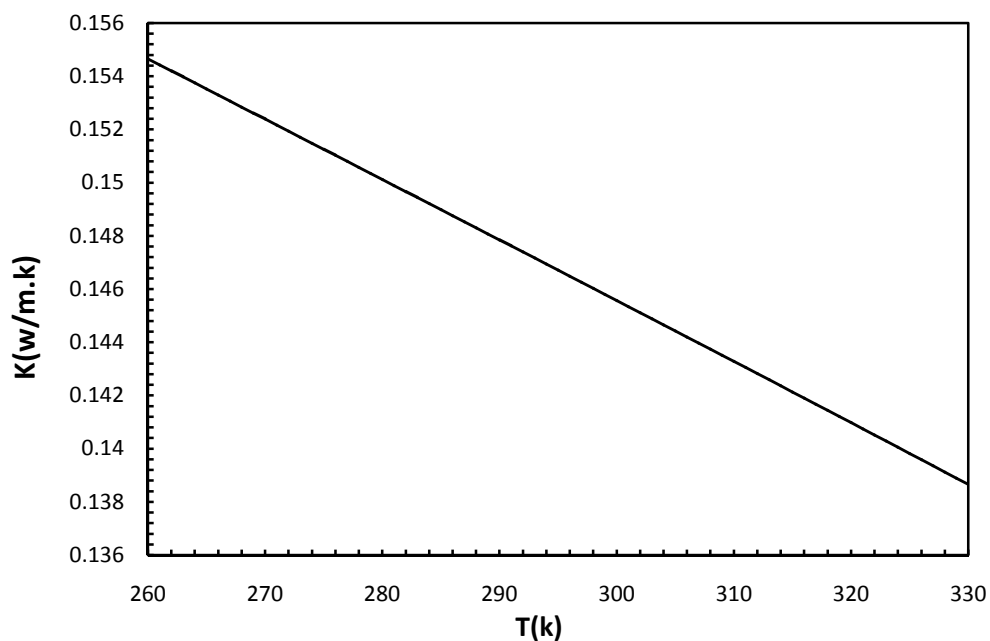
Assay Liq Volume %	Boiling Temp (C)	Light Ends	Liq Mass%
2.08	15	Methane	0.00
7.51	65	Ethane	0.00
14.43	100	Propane	0.02
17.42	125	I-Butane	0.06
22.05	150	N-Butane	0.36
26.84	175	I-Pentane	0.80
31.36	200	N- Pentane	1.16
35.67	225	2,2DiMethyl Butane	0.02
40.56	250	2,3DiMethyl Butane	0.17
45.00	275	2Methyl Pentane	0.56
48.65	300	3Methyl Pentane	0.33
51.71	325	N-Hexane	0.36
55.48	350	Methyl Cyclo Pentane	0.06
		Benzene	0.04
		Cyclo Hexane	0.01
		H ₂ O	0.00
RVP	7.89	TOTAL	3.95
API	33.36		

برخی خواص نفت خام سبک را که در مراحل بعدی تحقیق مورد نیاز است؛ در جدول (۴-۲) آورده شده است. همان طور که مشاهده می شود این خواص وابسته به دما می باشند. این وابستگی را می توان در اشکال بعدی نیز مشاهده نمود.

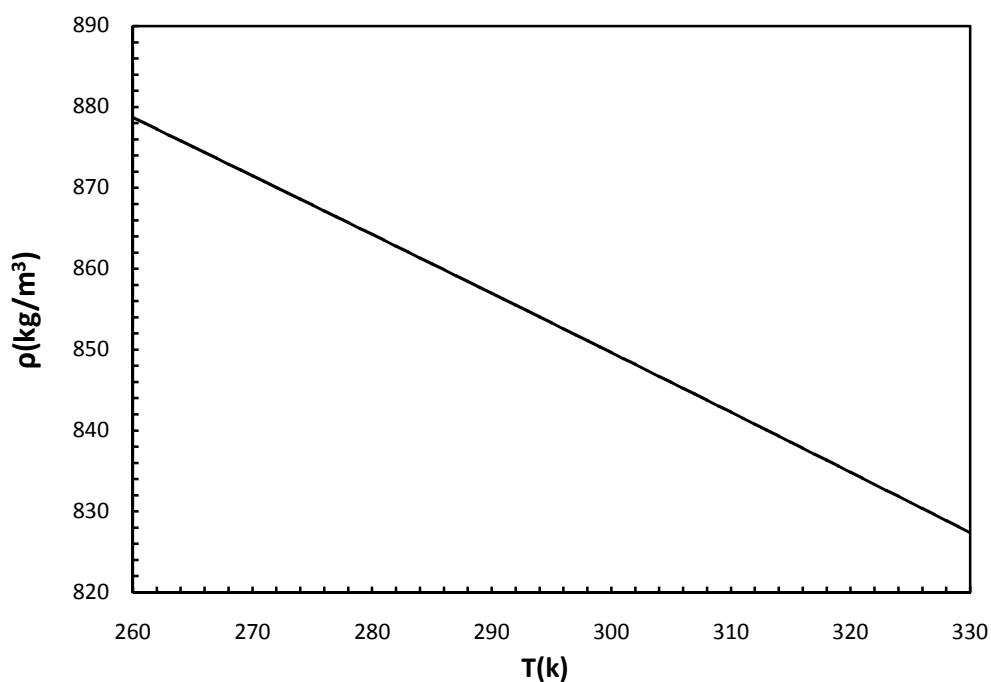
جدول ۴-۲ - برخی خواص نفت خام سبک در دماهای مختلف [۵۳]

T (K)	ρ (kg/m ³)	μ (Pa.s)	K (W/m-k)	Pr
۲۸۰	۸۶۴/۲	۰/۰۲۱۹	۰/۱۵۰۱	۲۷۰
۲۸۳	۸۶۲	۰/۰۱۸۶	۰/۱۴۹۴	۲۳۲
۲۸۶	۸۵۹/۹	۰/۰۱۶۰	۰/۱۴۸۸	۲۰۲
۲۸۹	۸۵۷/۷	۰/۰۱۳۹	۰/۱۴۸۱	۱۷۷
۲۹۲	۸۵۵/۵	۰/۰۱۲۱	۰/۱۴۷۸	۱۵۷
۲۹۵	۸۵۳/۳	۰/۰۱۰۷	۰/۱۴۶۷	۱۴۰
۲۹۸	۸۵۱/۱	۰/۰۰۹۵	۰/۱۴۶۰	۱۲۶
۳۰۱	۸۴۸/۹	۰/۰۰۸۵	۰/۱۴۵۳	۱۱۴
۳۰۴	۸۴۶/۷	۰/۰۰۷۷	۰/۱۴۴۷	۱۰۴
۳۰۷	۸۴۴/۵	۰/۰۰۶۸	۰/۱۴۴۰	۹۳
۳۱۰	۸۴۲/۳	۰/۰۰۵۸	۰/۱۴۳۳	۸۱
۳۱۳	۸۴۰	۰/۰۰۵۱	۰/۱۴۲۶	۷۱
۳۱۶	۸۳۷/۸	۰/۰۰۴۴	۰/۱۴۱۹	۶۳
۳۱۹	۸۳۵/۶	۰/۰۰۳۹	۰/۱۴۱۲	۵۶
۳۲۲	۸۳۳/۳	۰/۰۰۳۵	۰/۱۴۰۵	۵۱
۳۲۵	۸۳۱/۱	۰/۰۰۳۱	۰/۱۳۹۸	۴۶

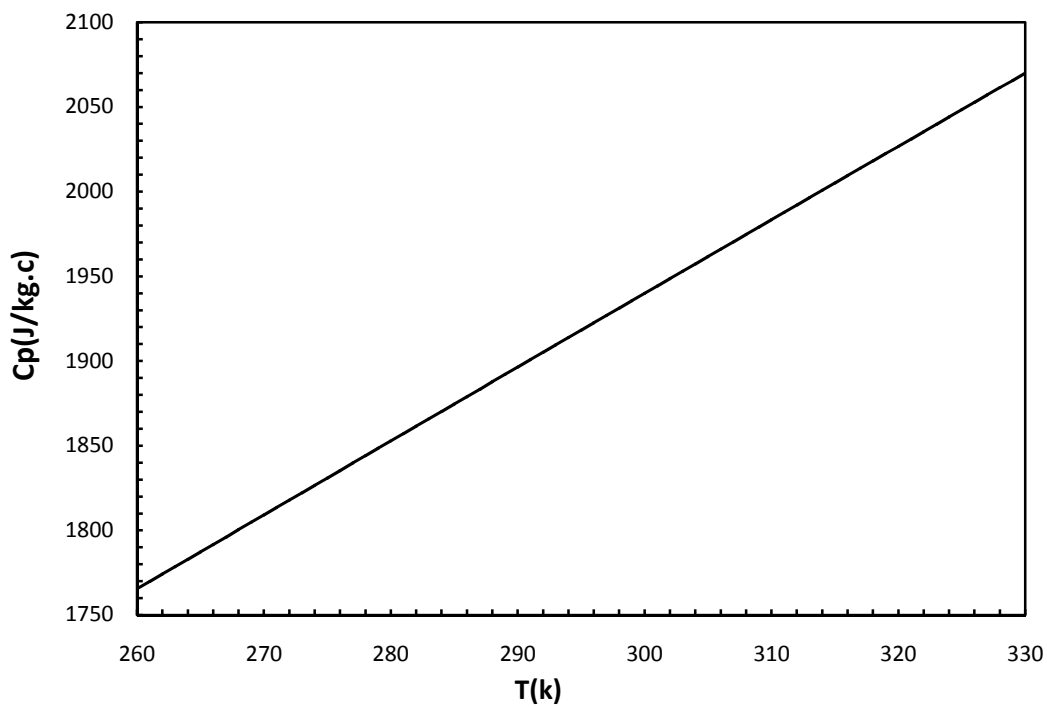
در شکل های زیر تغییرات ضریب هدایت حرارتی، چگالی، ظرفیت گرمایی ویژه و لزجت بر حسب دما برای نفت خام سبک رسم شده است. لازم به ذکر است که این خواص در مراحل بعدی انجام پروژه مورد نیاز است.



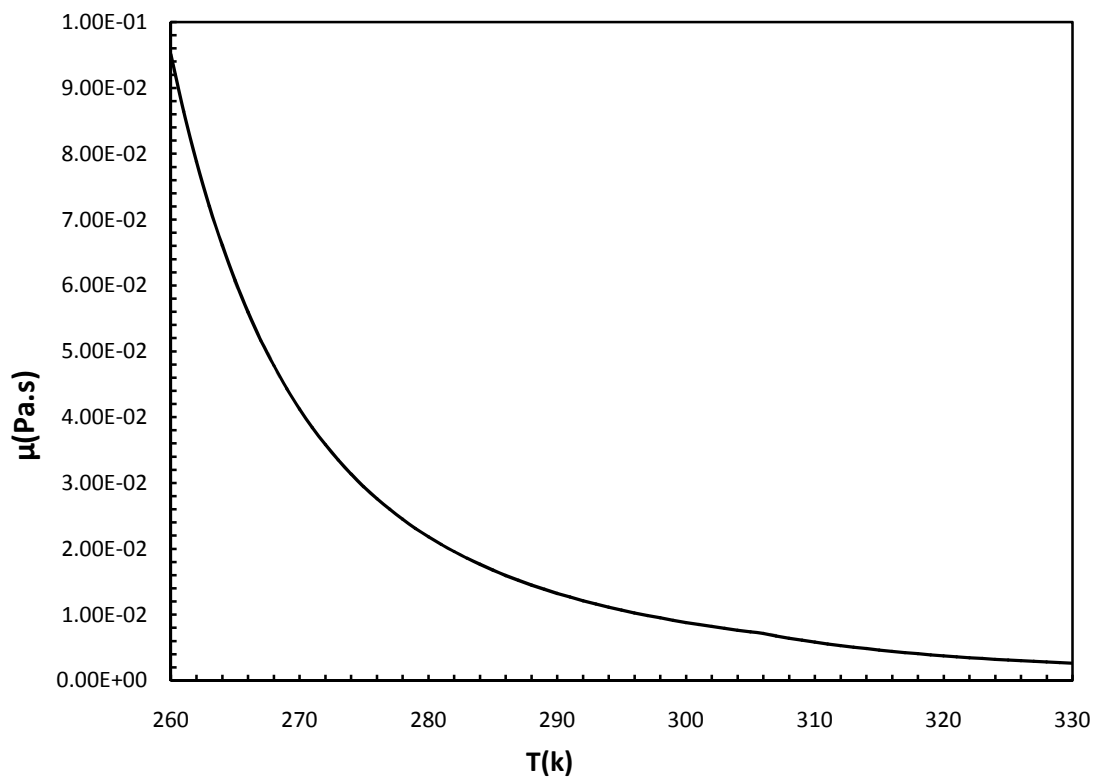
شکل ۴-۳- تغییرات ضریب هدایت بر حسب دمای نفت سبک



شکل ۴-۴- تغییرات چگالی بر حسب دمای نفت سبک



شکل ۴-۵- تغییرات ظرفیت گرمایی ویژه بر حسب دمای نفت سبک

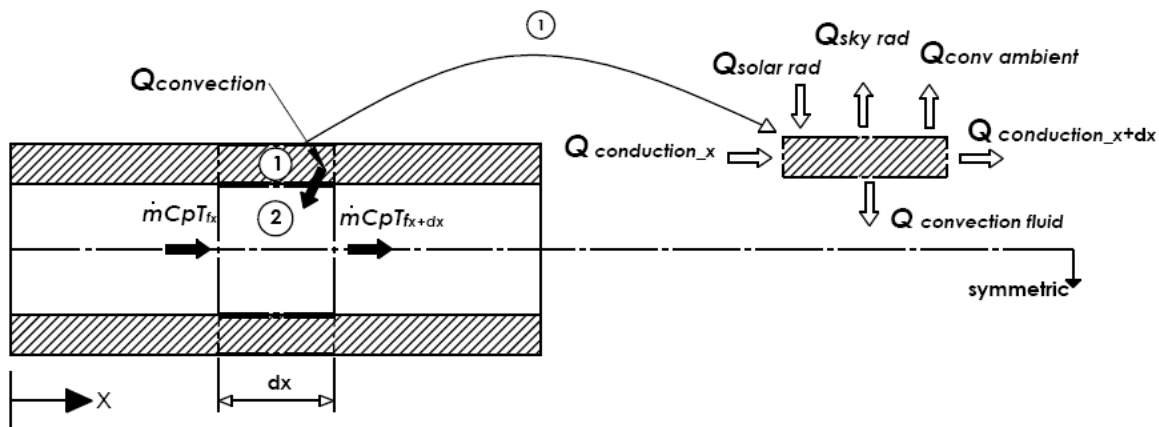


شکل ۴-۶- تغییرات لزجت با دمای نفت سبک

۴-۶) آنالیز حرارتی

شماتیکی از لوله تحت بررسی در شکل (۴-۱) نشان داده شده است. هنگامیکه ابعاد y, z نسبت به طول لوله خیلی کوچکتر هستند، جریان یک بعدی فرض می شود. سطح خارجی لوله بخشی از تشعشع خورشید را جذب و بخشی را به محیط منعکس می کند. سپس گرما از طریق هدایت به داخل لوله و جریان داخل آن منتقل می شود. به منظور بدست آوردن پروفیل دمایی سطح لوله و جریان سیال درون آن، المانی از لوله و سیال تهیه شده و بالانس انرژی در المان های مورد نظر برقرار شده است. فرضیات زیر برای معادلات بالانس انرژی در نظر گرفته شده است.

- گرادیان دمایی در جهت ضخامت لوله بسیار ناچیز است.
- ضرایب انتقال حرارت در فواصل زمانی یک ساعته ثابت فرض شده اند.
- رنگ سطح غیر شفاف با ضرایب جذب و نشر ثابت فرض شده است.
- تغییرات ضرایب جذب و نشر رنگ سطح لوله با زاویه ورودی تشعشع خورشید ناچیز است.
- خواص سیال با دما مستقل و مقدار متوسط آن در نظر گرفته شده است.
- تغییرات هدایت سیال در جهت جریان ناچیز فرض شده است.



شکل ۴-۷- حجم کنترل لوله و سیال به منظور آنالیز حرارتی

شکل (۴-۷) المانی از لوله و سیال را در جهت طول لوله به اندازه dx نشان می دهد. در ادامه بالانس انرژی را برای لوله، در حجم کنترل ۱، و برای سیال، در حجم کنترل ۲، برقرار شده است.

۴-۶-۱) بالانس انرژی در حجم کنترل (۱)

در این المان بخشی از لوله در جهت x در نظر گرفته شده است و انرژی خورشید بر سطح لوله وارد می شود. انتقال حرارت از طریق جابجایی و تشعشع به محیط و از طریق جابجایی به سیال داخل لوله وارد می شود. تغییرات ترم هدایت لوله در جهت x نیز قابل ملاحظه است. معادله (۴-۱۷) بالانس انرژی در این المان را نشان می دهد.

$$Q_{conduction_x} + Q_{solar} = Q_{sky} + Q_{conduction_x+dx} + Q_{convection_ambient} + Q_{convection_fluid} \quad (۱۷-۴)$$

با جایگذاری هر یک از جملات معادله بالا و حذف dx از طرفین، به عبارت زیر می رسیم:

$$-kA' \frac{dT_s}{dx} + \frac{\alpha I_T (\pi D_o)}{2} = \varepsilon \sigma (\pi D_o) (T_s^4 - T_{sky}^4) + \left(-kA' \frac{dT_s}{dx} - kA' \frac{d^2 T_s}{dx^2} \right) + h_o (\pi D_o) (T_s - T_\infty) + h_i (\pi D_i) (T_s - T_f) \quad (۱۸-۴)$$

که $A' = \frac{\pi(D_o^2 - D_i^2)}{4}$ و با ساده سازی خواهیم داشت:

$$\frac{k}{4} \left(D_o - \frac{D_i^2}{D_o} \right) \frac{d^2 T_s}{dx^2} - \left(h_o + h_i \frac{D_i}{D_o} \right) T_s + h_i \frac{D_i}{D_o} T_f - \varepsilon \sigma T_s^4 = -\frac{\alpha I_T}{2} - h_o T_\infty - \varepsilon \sigma T_\infty^4 \quad (۱۹-۴)$$

تغییرات دمایی سطح لوله در طول مسیر لوله به اندازه ای کوچک است که T_s^4 با تقریب مهندسی، می تواند به صورت تابع خطی از T_s بیان شود. این امر با بسط تیلر T_s^4 در دمایی محیط و صرف نظر کردن از جملات با مرتبه بالاتر امکان پذیر است.

$$T_s^4 \cong 4T_\infty^3 T_s - 3T_\infty^4 \quad (۲۰-۴)$$

با جایگزینی معادله (۲۰-۴) در عبارت (۱۹-۴) خواهیم داشت:

$$\frac{k}{4} \left(D_o - \frac{D_i^2}{D_o} \right) \frac{d^2 T_s}{dx^2} - \left(h_o + h_i \frac{D_i}{D_o} \right) T_s + h_i \frac{D_i}{D_o} T_f - \varepsilon \sigma (4T_\infty^3 T_s - 3T_\infty^4) = -\frac{\alpha I_T}{2} - h_o T_\infty - \varepsilon \sigma T_\infty^4 \quad (۲۱-۴)$$

بعد از ساده سازی، معادله (۲۱-۴) برابر خواهد بود با:

$$\frac{k}{4} \left(D_o - \frac{D_i^2}{D_o} \right) \frac{d^2 T_s}{dx^2} - \left(h_o + h_i \frac{D_i}{D_o} + 4\varepsilon \sigma T_\infty^3 \right) T_s + h_i \frac{D_i}{D_o} T_f = -\frac{\alpha I_T}{2} - h_o T_\infty - \varepsilon \sigma T_\infty^4 - 3T_\infty^4 \quad (۲۲-۴)$$

۴-۶-۲) بالانس انرژی در حجم کنترل (۲)

در این المان بخشی از سیال در جهت x انتخاب شده است. انتقال حرارت از طریق جابجایی بین سیال و سطح داخلی لوله به سیال وجود دارد و تغییرات ترم ادوکشن^۱، تغییرات دمایی سیال در طول لوله را به همراه دارد.

$$Q_{advection_x} + Q_{convection_fluid} = Q_{advection_{x+dx}} \quad (۲۳-۴)$$

با جایگذاری هریک از جملات معادله (۲۳-۴) و حذف dx از طرفین خواهیم داشت:

$$\dot{m}C_p T_f + h_i(\pi D_i)(T_s - T_f) = \dot{m}C_p T_f + \dot{m}C_p \frac{dT_f}{dx} \quad (۲۴-۴)$$

با ساده سازی، معادله (۲۴-۴) بدست می آید.

$$\dot{m}C_p \frac{dT_f}{dx} = h_i(\pi D_i)(T_s - T_f) \quad (۲۵-۴)$$

دو معادله دیفرانسیل (۲۲-۴) و (۲۵-۴) حاکم بر مسئله مورد نظر می باشند. برای سادگی در حل معادلات، با جایگذاری T_s ، دمای سطح لوله بر حسب T_f ، دمای سیال، دو معادله دیفرانسیل موجود، به یک معادله دیفرانسیل ناهمگن مرتبه سه تبدیل خواهد شد.
 T_s طبق معادله (۲۵-۴) بر حسب T_f برابر خواهد بود با:

$$T_s = \frac{\dot{m}C_p}{h_i\pi D_i} \frac{dT_f}{dx} + T_f \quad (۲۶-۴)$$

با جایگذاری معادله (۲۶-۴) در معادله (۲۲-۴) عبارت زیر بدست می آید:

$$a_1 \frac{d^3 T_f}{dx^3} + a_2 \frac{d^2 T_f}{dx^2} + a_3 \frac{dT_f}{dx} + a_4 T_f = d \quad (۲۷-۴)$$

که ضرایب معادله (۲۷-۴) عبارتند از:

$$a_1 = \frac{\dot{m}C_p \left(D_o - \frac{D_i^2}{D_o}\right) k}{4\pi D_i h_i}, \quad a_2 = \frac{k \left(D_o - \frac{D_i^2}{D_o}\right)}{4}, \quad a_3 = -\frac{\dot{m}C_p}{\pi D_i h_i} \left(h_o + h_i \frac{D_i}{D_o} + 4\varepsilon\sigma T_\infty^3\right),$$

$$a_4 = -\left(h_o + h_i \frac{D_i}{D_o} + 4\varepsilon\sigma T_\infty^3\right) + h_i \frac{D_i}{D_o}, \quad d = -\frac{\alpha I_T}{2} - h_o T_\infty - \varepsilon\sigma T_{sky}^4 - 3\varepsilon\sigma T_\infty^4$$

^۱ advection

معادله دیفرانسیل (۴-۲۷)، غیر همگن از مرتبه سوم است. برای حل این معادله دیفرانسیل نیاز به سه شرط مرزی داریم.

شرایط مرزی برای این معادله عبارتند از:

(۱) دمای سیال در ابتدای لوله مشخص است.

(۲) با مشخص بودن دمای سطح لوله در ابتدای مسیر و با استفاده از معادله (۴-۲۵) خواهیم داشت:

$$\left. \frac{dT_f}{dx} \right|_{x=0} = \frac{h_i \pi D_i}{\dot{m} C_p} (T_s(0) - T_f(0))$$

(۳) دمای سیال در موقعیت در فاصله بسیار دور از ابتدای لوله متناهی است.

حل ضمنی^۱ معادله (۴-۲۷) به صورت جمع حل همگن و جواب خصوصی معادله ناهمگن در

معادله (۴-۲۷) آورده شده است.

$$T_f(x) = C_1 e^{\lambda_1 x} + C_2 e^{\lambda_2 x} + C_3 e^{\lambda_3 x} + \frac{d}{a_4} \quad (۴-۲۸)$$

در معادله بالا سه جمله اول، حل عمومی معادله همگن و عبارت $\frac{d}{a_4}$ ، جواب خصوصی معادله غیر

همگن خواهند بود.

ضرایب λ_1 ، λ_2 و λ_3 با حل معادله زیر قابل محاسبه می باشند.

$$a_1 \lambda^3 + a_2 \lambda^3 + a_3 \lambda^3 + a_4 = 0 \quad (۴-۲۹)$$

ضرایب C_1 ، C_2 و C_3 در معادله (۴-۲۸)، با ارضا شرایط مرزی بدست می آیند.

دمای سطح لوله در امتداد مسیر جریان، با توجه به معادله (۴-۲۶)، از رابطه زیر قابل محاسبه است.

$$T_s(x) = \frac{\dot{m} C_p}{h_i \pi D_i} (C_1 \lambda_1 e^{\lambda_1 x} + C_2 \lambda_2 e^{\lambda_2 x} + C_3 \lambda_3 e^{\lambda_3 x}) + C_1 e^{\lambda_1 x} + C_2 e^{\lambda_2 x} + C_3 e^{\lambda_3 x} + \frac{d}{a_4} \quad (۴-۳۰)$$

^۱ implicit solution

۴-۷) تاثیر ضرایب نشر و جذب بر پروفیل دمایی لوله و سیال

معادلات (۴-۲۸) و (۴-۳۰) به ترتیب تغییرات دمایی درجه حرارت متوسط سیال و دمای سطح لوله در طول جریان را نشان می دهند. پروفیل های بدست آمده از نوع تابع نمایی هستند، هرچند که در بسیاری از موارد عملی رفتاری بسیار شبیه خط راست از خود نشان می دهند.

به منظور بررسی تاثیر تغییرات ضریب جذب و نشر سطح لوله و دیگر پارامترها، خط لوله ای در جزیره خارک انتخاب شده است. جدول (۴-۳) پارامترهای مورد نیاز خط لوله مورد نظر و شرایط محیط را در زمان مورد نظر نشان می دهد. محاسبات مربوط به ۱۵ مرداد سال ۱۳۸۶ در زمان ۱۱ تا ۱۲ ظهر در جزیره خارک است. جریان داخل لوله آرام و توسعه یافته فرض شده است.

جدول ۴-۳- پارامترهای مورد نیاز در محاسبات

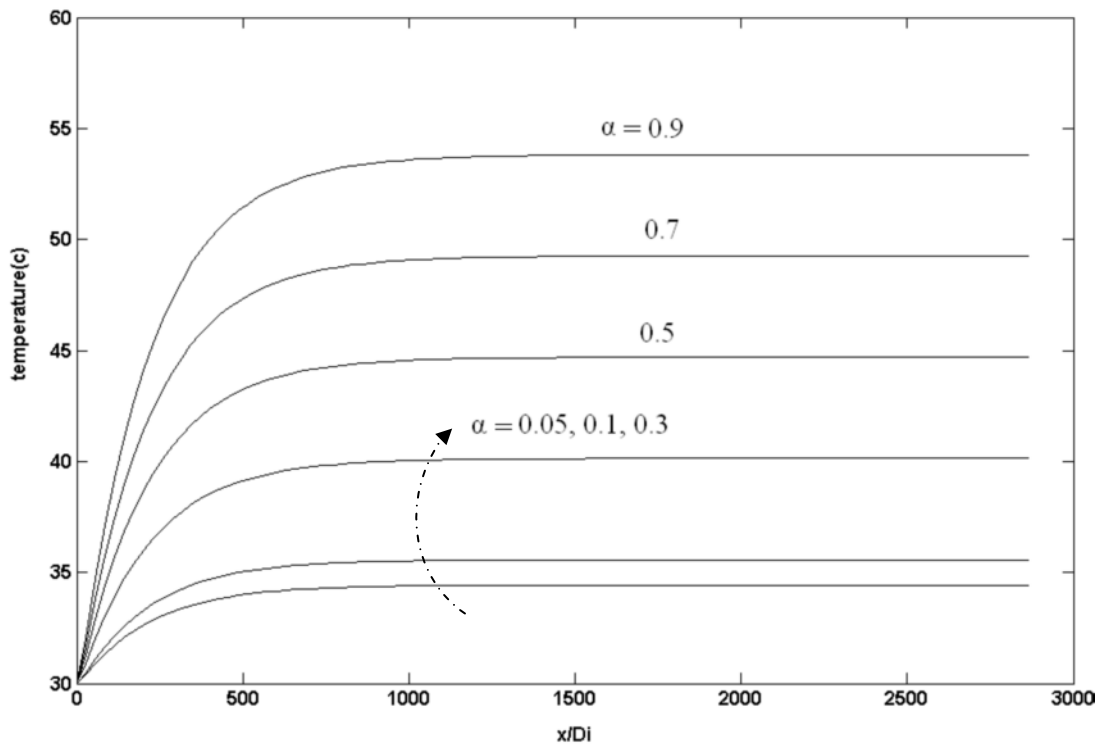
Parameter	Value
L(m)	۳۰۰۰
D _o (m)	۱/۰۶۶۸
D _i (m)	۱/۰۴۷۷۴
K _{pipe} (W/m.K)	۵۰
T _a (C)	۳۶
T _{fi} (C)	۳۰
T _{si} (C)	۳۵
Re Number	۲۰
U _{wind} (m/s)	۳/۵
Duration in day (h)	۱۱-۱۲

همانطور که اشاره شده نفت سبک به عنوان سیال عامل مورد نظر است. نفت به دلیل بالا بودن ظرفیت گرمایش، انرژی زیادی از خطوط لوله دریافت می کند. جدول زیر خواص فیزیکی متوسط نفت سبک را نشان می دهد.

جدول ۴-۴- خواص فیزیکی متوسط نفت سبک

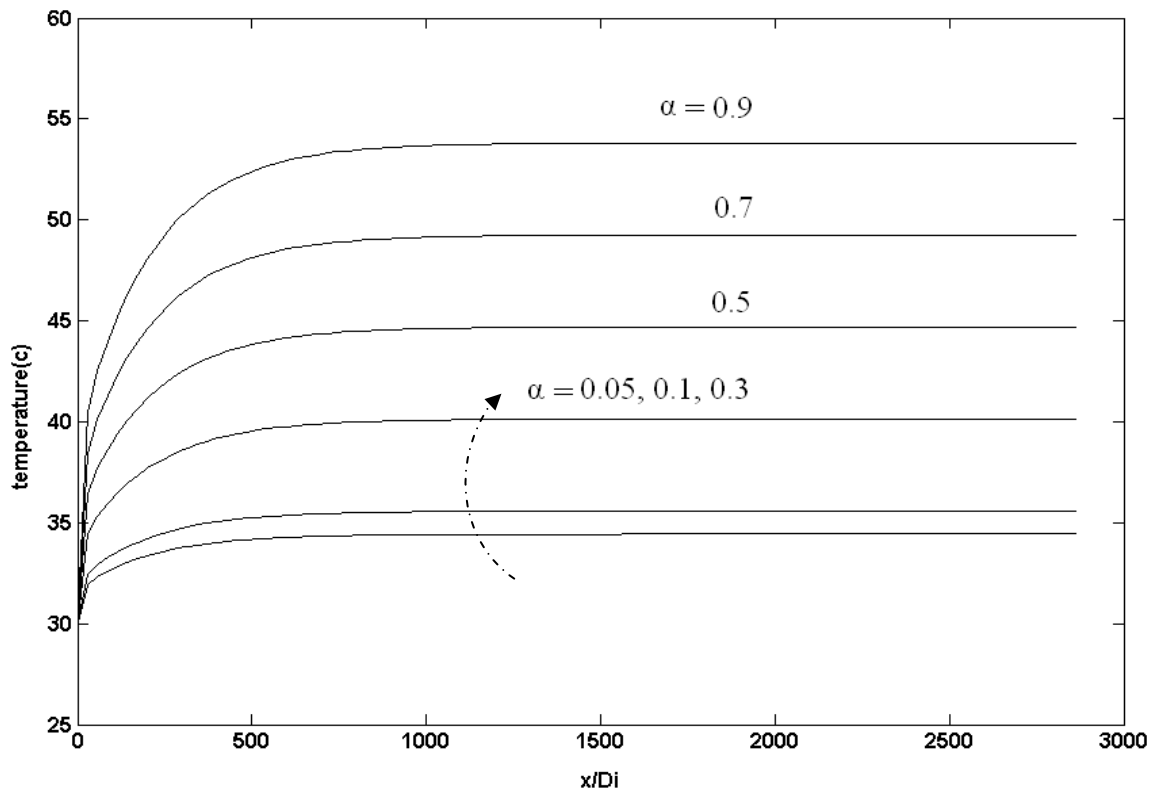
ρ	Cp	K	μ
(kg/m ³)	(KJ/kg°C)	(W/m.K)	(Pa.s)
۸۵۸/۴	۱/۸۸۷	۰/۱۴۸۳	۰/۰۰۱۴۵

پروفیل دمایی سیال داخل لوله به ضرایب جابجایی و تشعشی سطح لوله بستگی دارد. از اینرو ضرایب نشر و جذب مهم در نظر گرفته می شوند. در بررسی تغییرات ضریب جذب، ضریب نشر را $0/8$ و در بررسی تغییرات ضریب نشر، ضریب جذب $0/8$ در نظر گرفته شده است. ضخامت رنگ مورد استفاده در مقایسه با ضخامت لوله به اندازه ای کوچک است که از مقاومت حرارتی رنگ اطراف لوله صرف نظر شده است.



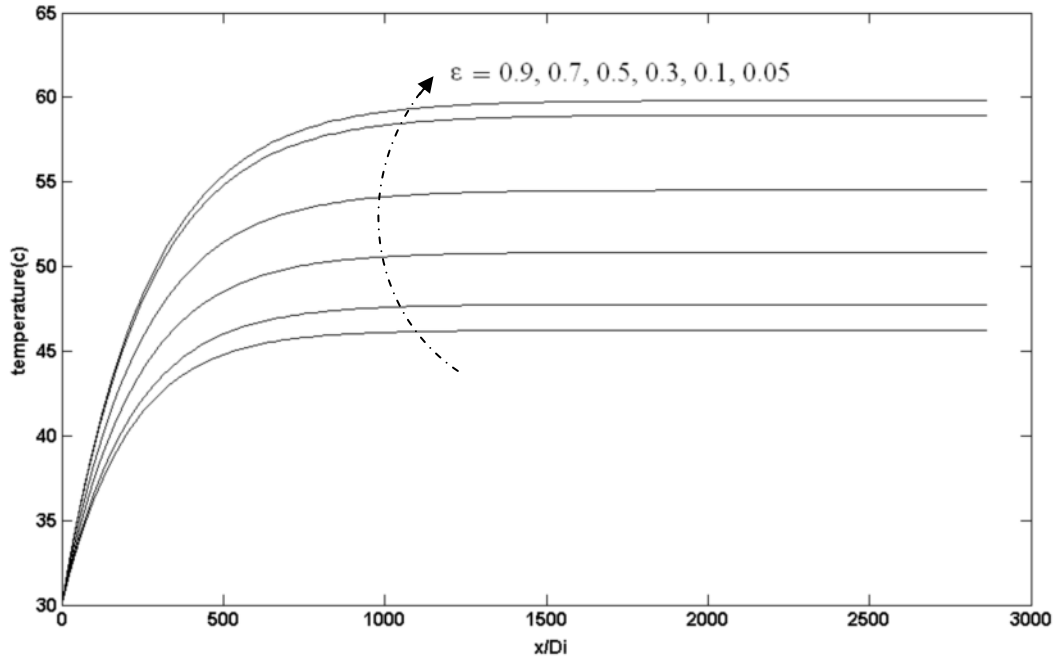
شکل ۴-۸- بررسی تاثیر ضریب جذب بر تغییرات دمایی متوسط سیال در طول لوله

شکل (۴-۸) تاثیر ضریب جذب رنگ سطح لوله بر تغییرات دمایی متوسط نفت سبک داخل خطوط لوله را نشان می دهد. نظر به اینکه دمایی ورودی نفت داخل لوله از دمایی محیط کمتر است، افزایش دمایی متوسط سیال در طول لوله را انتظار داریم. این افزایش طبق معادله (۴-۲۸) به صورت تابع نمایی است. با توجه به شکل (۴-۸)، افزایش ضریب جذب عاملی در جهت افزایش دمایی متوسط سیال در طول مسیر جریان محسوب می شود. با در نظر گرفتن دمایی محیط، ضرایب جذب بزرگ سطح لوله ($0/7$ ، $0/9$)، موجب افزایش دمایی متوسط سیال خیلی بزرگتر از دمایی محیط می شوند.



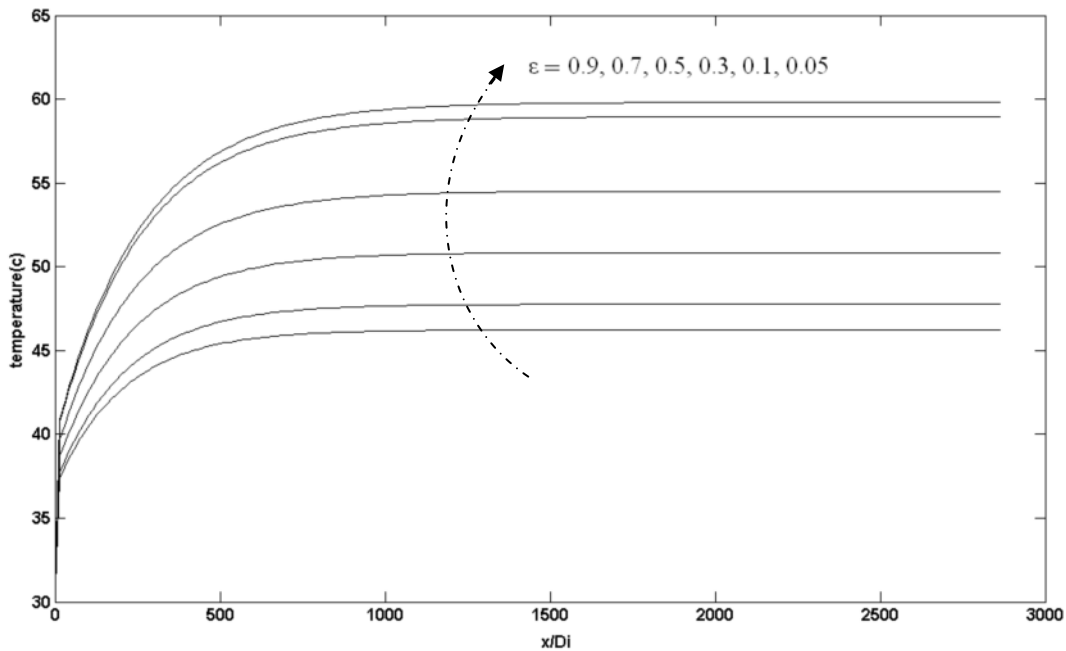
شکل ۹-۴- بررسی تاثیر ضریب جذب بر تغییرات دمایی سطح لوله در طول مسیر جریان

شکل (۹-۴) تاثیر ضریب جذب بر تغییرات دمایی سطح لوله در طول جریان را نشان می دهد. همانطور که مشخص است، ضریب جذب بیشتر، موجب افزایش انرژی خورشید جذب شده توسط سطح لوله می شود. بنابراین دمایی حالت پایایی لوله در انتهای مسیر جریان برای $\alpha=0.9$ بسیار بزرگتر از ضرایب جذب پایین است. دمایی متوسط لوله برای ضرایب جذب کوچک (0.1، 0.05) از دمایی محیط در تمام طول لوله کمتر خواهد بود. دلیل اصلی این رفتار به سبب زیاد بودن انتقال حرارت از طریق تشعشع بین سطح لوله و آسمان به صورت طول موج های بلند، نسبت به تابش ورودی خورشید است. هنگامیکه دمایی آسمان خیلی کوچکتر از دمایی محیط باشد، مخصوصاً در آسمان صاف به هنگام شب، این امر تشدید می شود.



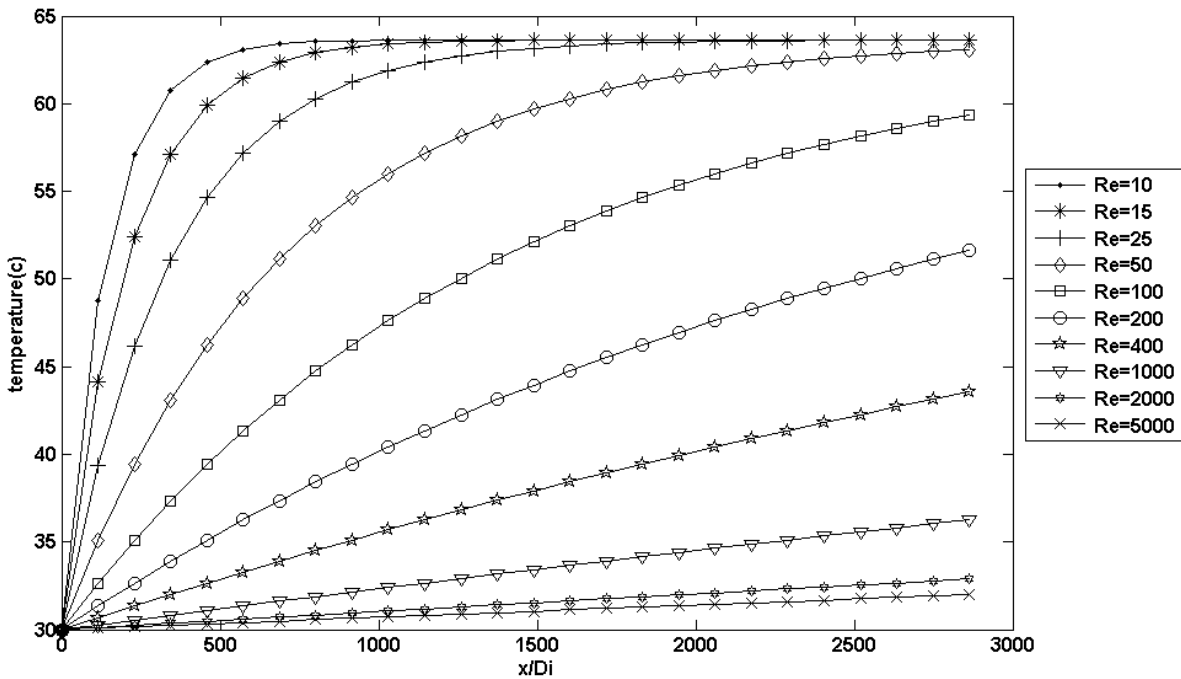
شکل ۴-۱۰- بررسی تاثیر ضریب نشر بر تغییرات دمایی متوسط سیال در طول لوله

شکل (۴-۱۰) تاثیر ضریب نشر بر تغییرات دمایی متوسط سیال درون لوله را نشان می دهد. همانطور که نشان داده شده، تاثیرات ضریب نشر بر تغییرات دمایی سیال در طول لوله برعکس تغییرات ضریب جذب است. افزایش ضریب نشر موجب زیاد شدن انتقال حرارت تشعشی از سطح لوله به آسمان و عاملی در جهت کاهش دمایی سطح لوله و دمایی سیال در طول جریان می باشد.



شکل ۴-۱۱- بررسی تاثیر ضریب نشر بر تغییرات دمایی سطح لوله در طول جریان

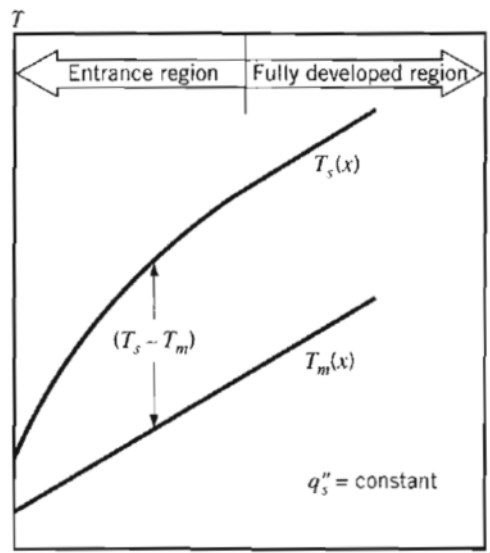
شکل (۴-۱۱) تاثیر ضریب نشر بر تغییرات دمایی سطح لوله در طول جریان را نشان می دهد. ضریب نشر کوچک، موجب افزایش دمای سطح لوله می شود. هرچه در طول مسیر پروفیل دمایی سطح لوله پیش می رویم، مشاهده می شود که شیب دمای سطح لوله کم می شود به طوریکه در لوله های با طول بلند به مقدار محدودی میل می کند.



شکل ۴-۱۲- تاثیر عدد رینولدز جریان بر تغییرات دمایی سیال در طول مسیر لوله

شکل (۴-۱۲) تاثیر عدد رینولدز بر تغییرات دمایی سیال داخل لوله در طول مسیر برای سطحی با ضریب جذب ۰/۸ و ضریب نشر ۰/۱ را نشان می دهد. برای اعداد رینولدز کم، دمای متوسط سیال در طول مشخصی از لوله که طول توسعه یافتگی نام دارد، به مقدار محدودی میل می کند. هنگامیکه سرعت جریان افزایش می یابد، طول توسعه یافتگی بیشتر می شود (در اینجا با افزایش عدد رینولدز نشان داده شده است). سپس در فاصله دورتری از ابتدای لوله، دمای سیال به سمت مقدار محدودی میل می کند. نکته ای دیگری که از این شکل مشخص است، وقتی سرعت سیال کاهش می یابد، دمای سیال در فاصله نزدیکتری از ابتدای لوله به سمت مقدار معینی می رسد.

معادله (۲۸-۴) رابطه حاکم بر تغییرات دمای سیال در طول جریان است. این معادله که در اشکال بالا رسم شده است، نشان می دهد هنگامیکه نشت انرژی به محیط از طریق تشعشع و جابجایی در سطح خارجی لوله وجود دارد، دمای متوسط سیال به صورت تابع نمایی تغییر می کند و در نهایت به مقدار محدودی در فاصله ای از ابتدای لوله میل می کند. این پیشامد برخلاف حالت کلاسیک لوله با اعمال شار ثابت به سطح خارجی آن می باشد. در حالت کلاسیک، مطابق شکل (۴-۱۳)، دمای سیال در طول جریان بدون محدودیتی به طور خطی افزایش می یابد. در صورتیکه در حالت مورد بررسی دمای سیال به مقدار مشخصی میل می کند.



شکل ۴-۱۳- توسعه دمایی سیال داخل لوله در حالت کلاسیک با شار ثابت ورودی به دیواره لوله [۵۴]

با در نظر گرفتن معادله (۲۸-۴)، در فاصله دور از ابتدای لوله خواهیم داشت:

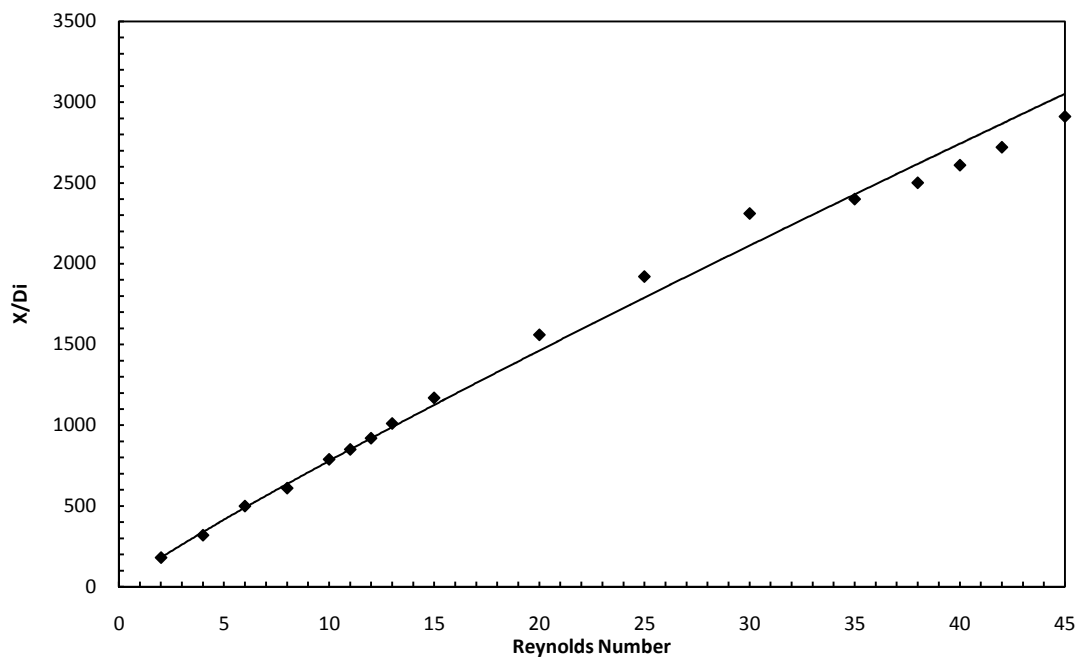
$$x \rightarrow \infty T_f(x) = \frac{d}{a_4} \quad (۳۱-۴)$$

برای بدست آوردن طولی از لوله که دمای سیال داخل لوله تقریباً ثابت می ماند، جملات نمایی معادله (۲۸-۴) به سمت مقدار کوچک ۰/۰۰۱ میل داده می شود. یعنی شرایطی که دمای سیال از لحاظ مهندسی تغییر قابل ذکری نمی کند.

$$C_1 e^{\lambda_1 x} + C_2 e^{\lambda_2 x} + C_3 e^{\lambda_3 x} = 0.001 \quad (۳۲-۴)$$

بنابراین x به عنوان، طول شبه توسعه یافته^۱ یا طول سکون^۲، تعیین می شود. حل معادله (۴-۳۲) در بررسی موردی با ضرایب جذب و نشر ۰/۸ با اعداد رینولدز مختلف در شکل (۴-۱۴) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، طول توسعه یافتگی تقریباً به صورت خطی با عدد رینولدز تغییر می کند. رابطه بین طول توسعه یافتگی و عدد رینولدز با فیت کردن بر داده های شکل (۴-۱۴) بدست آمده است.

$$\frac{x}{D_i} = 96.53 Re^{0.907} \quad (۴-۳۰)$$

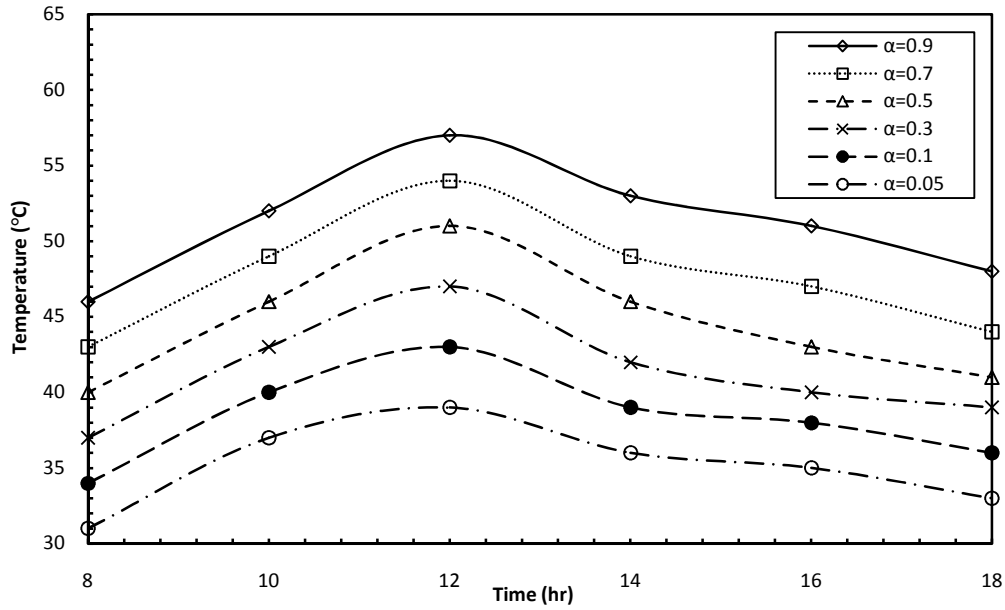


شکل ۴-۱۴- تغییرات طول توسعه یافتگی و عدد رینولدز

دمای نفت خروجی از خطوط لوله مورد بررسی (جزیره خارک) پارامتر بسیار مهمی در دقت سیستم های اندازه گیری می باشد. تاثیر ضریب جذب و نشر بر دمای نفت در انتهای خط لوله در شکل های (۴-۱۵) و (۴-۱۶) بررسی شده است. محاسبات مربوطه در ۱۵ مرداد ۸۶ می باشد.

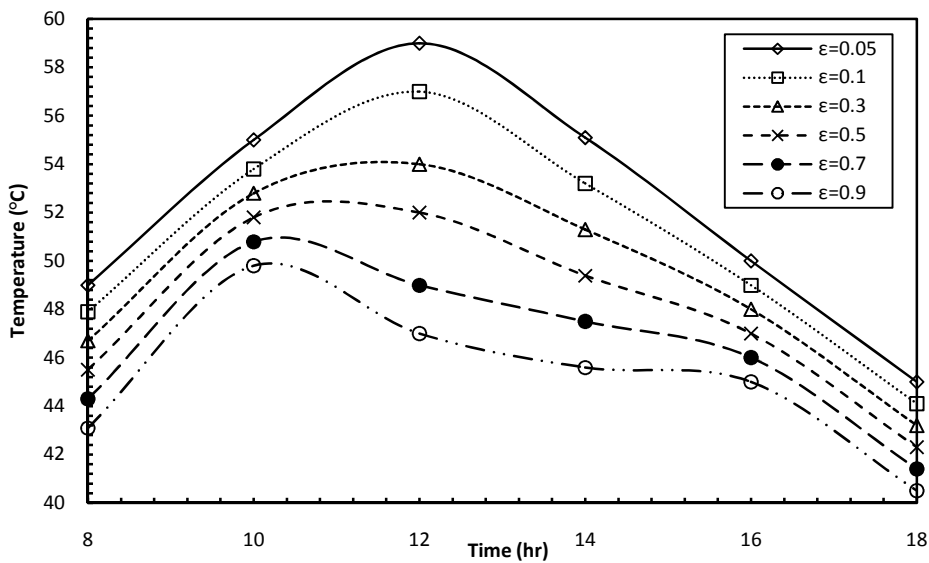
¹ quasi developed length

² stationary length



شکل ۴-۱۵- تاثیر ضریب جذب بر تغییرات دمای نفت خروجی از خطوط لوله در طول روز

شکل (۴-۱۵) تاثیر ضریب جذب بر دمای نفت خروجی از خط لوله در طول روز را نشان می دهد. همانطور که نشان داده شده، دمای نفت خروجی برای ضرایب جذب بزرگتر به مراتب بیشتر است. در ضریب جذب کوچک، انرژی خورشیدی کمتری توسط سطح لوله جذب شده که موجب کمتر بودن دمای نفت در مقایسه با ضرایب جذب بزرگ خواهد شد. بیشترین دمای نفت در زمان ظهر که حداکثر انرژی خورشید به سطح می رسد، اتفاق می افتد.



شکل ۴-۱۶- تاثیر ضریب نشر بر تغییرات دمای نفت خروجی از خطوط لوله در طول روز

شکل (۴-۱۶) تاثیر ضریب نشر بر دمای خروجی از خطوط انتقال را در طول روز نشان می دهد. در ضرایب نشر کوچک، دمای نفت خروجی بیشتر از ضرایب نشر بزرگ است. ضریب نشر عاملی مهمی در تغییرات مقدار انتقال حرارت تشعشعی از سطح لوله به آسمان است. سطحی با ضریب نشر کوچک نسبت به ضریب نشر بزرگ، دمای سیال داخل لوله را بیشتر افزایش می دهد.

۴-۸) تاثیر رنگ سطح لوله بر پارامترهای مختلف

از لحاظ ترمو فیزیکی هر رنگ ضریب جذب و نشر خاص خود را دارد. در بخش قبل، به بررسی اثر ضریب نشر و جذب بر پروفیل دمایی نفت و سطح لوله پرداخته شد. دمای نفت تاثیر زیادی بر دقت سیستم های اندازه گیری دارد. رنگ سطح لوله عامل موثری در تغییرات دمایی نفت در طول لوله است. همانگونه که اشاره شد، خطوط لوله خارک، نفت داخل مخازن ذخیره نفت را به پایانه اندازه گیری نفت منتقل می کنند. در این قسمت، تاثیر رنگ بر پارامترهای مختلف نظیر مقدار انتقال حرارت جابجایی، انتقال حرارت تابش خورشید و تغییرات دمای نفت در انتهای لوله در طول روز بیان شده است. جدول (۴-۵) ضریب جذب و نشر رنگ های مورد نظر را نشان می دهد.

جدول ۴-۵- ضریب جذب و پخش رنگ های مورد بررسی [۵۴]

رنگ	سفید	زرد	آلومینیومی	قهوه ای	سیاه
α	۰/۱۶	۰/۳۸	۰/۴۹	۰/۸	۰/۹۸
ϵ	۰/۹۳	۰/۹	۰/۲۲	۰/۸۵	۰/۹۱

یکی از پارامترهایی که نقش مهمی بر دمای نفت در طول خط لوله دارد، مقدار دبی لوله است که به دبی مورد نیاز کشتی و تعداد خطوط لوله بستگی دارد. در جدول زیر مقدار دبی های مختلف در بررسی موردی و سرعت جریان نفت با توجه سطح مقطع لوله آورده شده است.

جدول ۴-۶- مقدار دبی متداول در خطوط انتقال در بررسی موردی

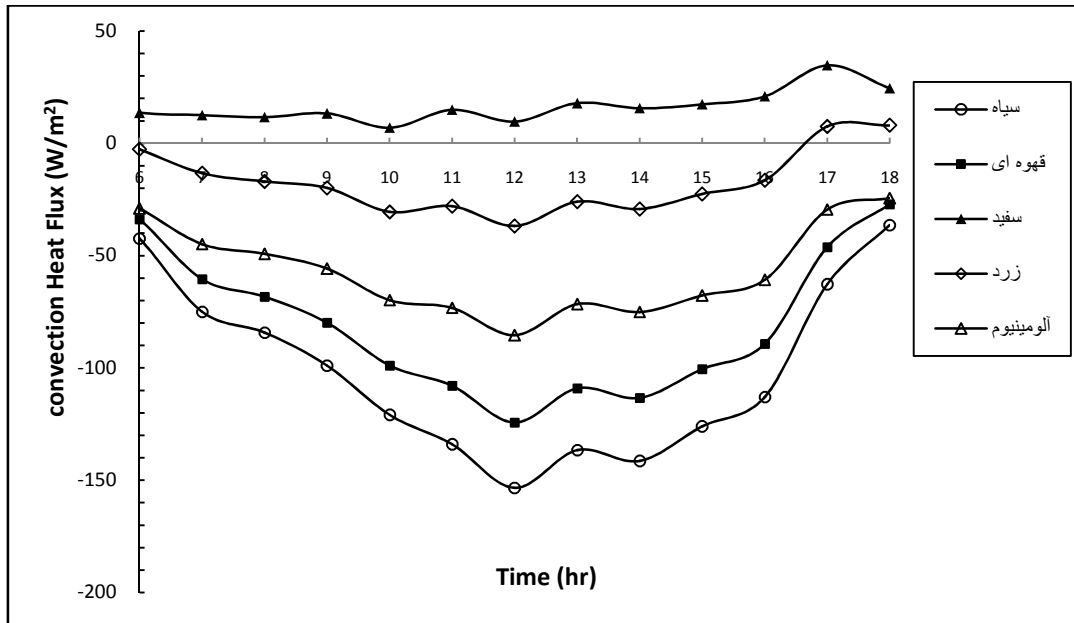
دبی متوسط (barrel/hr)	سرعت (m/s)
۱۰۰۰	۰/۰۳۸
۲۰۰۰	۰/۰۷۶
۳۰۰۰	۰/۱۱۵

۴-۸-۱) تاثیر رنگ بر انتقال حرارت جابجایی سطح لوله

از جمله پارامترهای متغییر با انتخاب رنگ سطح، مقدار انتقال حرارت جابجایی است. انتقال حرارت جابجایی به دمای محیط، دمای سطح انتقال حرارت، مساحت سطح و ضریب جابجایی محیط بستگی دارد. این عوامل انتقال حرارت جابجایی را تحت شعاع خود قرار می دهد. مقدار انتقال حرارت جابجایی توسط قانون سرمایش نیوتن به صورت زیر بیان می شود:

$$Q = h_o A (T_s - T_\infty) = \int_0^L \pi D_o h_o (T_s(x) - T_\infty) dx \quad (۴-۳۳)$$

در معادله (۴-۳۳)، T_s دمای سطح لوله است که از رابطه (۴-۳۰) بدست می آید. مقدار انتقال حرارت جابجایی طبق معادله بالا به دمای سطح لوله بستگی دارد. دمای سطح لوله نیز تابعی از رنگ لوله و شرایط جریان می باشد. در نتیجه میزان انتقال حرارت جابجایی سطح خارجی لوله به رنگ آن بستگی دارد. در شکل زیر اثر رنگ بر تغییرات انتقال حرارت جابجایی بررسی شده است.



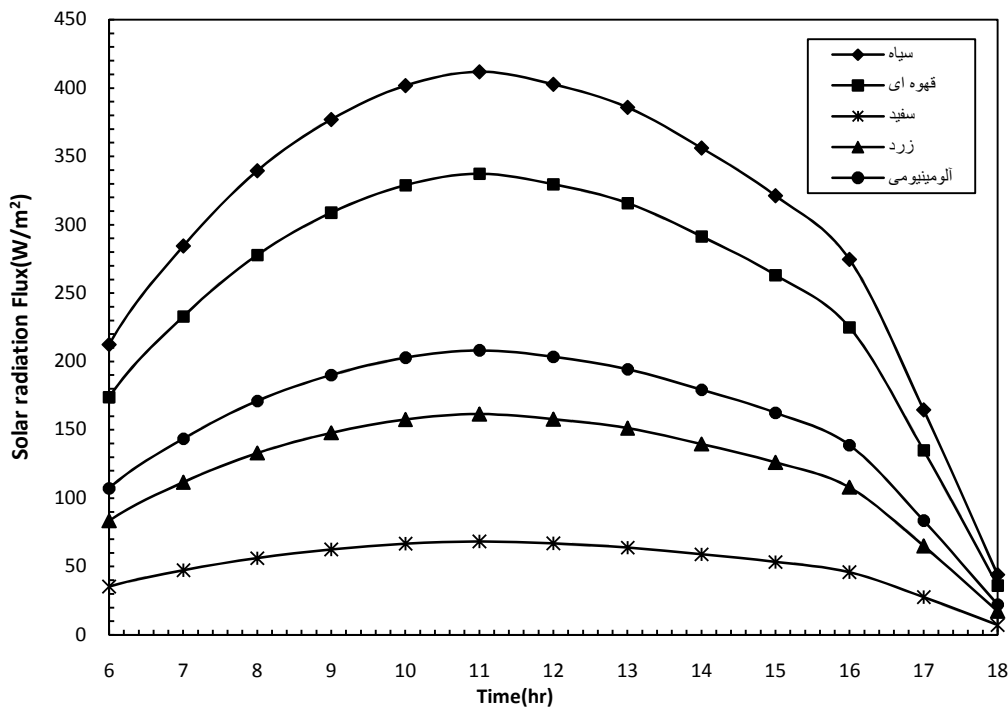
شکل ۴-۱۷- اثر رنگ بر انتقال حرارت جابجایی سطح خارجی لوله

شکل (۴-۱۷) تاثیر رنگ سطح خارجی لوله بر انتقال حرارت جابجایی در خط لوله مذکور با نفت سبک با دبی ۱۰۰۰ بشکه در ساعت در ۱۵ مرداد سال ۱۳۸۶ را نشان می دهد. مقدار منفی در شکل فوق نشان دهنده جهت انتقال حرارت از سطح لوله به محیط اطراف می باشد. طبق رابطه (۴-۳۳)

هرچه دمایی سطح لوله کمتر افزایش یابد، تفاضل دمایی سطح لوله با دمایی محیط کمتر می شود و در نهایت میزان انتقال حرارت جابجایی کاهش خواهد یافت. رنگ سیاه با جذب بیشتر شار حرارتی خورشید، دمایی سطح لوله را نسبت به دیگر رنگ ها بیشتر افزایش می دهد. در نتیجه تفاضل دمایی سطح لوله و محیط بیشتر می شود و انتقال حرارت جابجایی به محیط را افزایش می دهد. استفاده از رنگ سفید، دمایی سطح لوله را به زیر دمایی محیط می رساند. ازینرو جهت انتقال حرارت از محیط به سطح لوله است و در شکل فوق مقدار انتقال حرارت برای رنگ سفید مثبت است.

۴-۸-۲) تاثیر رنگ جدار لوله بر جذب تابش خورشید

رنگ سطوح، مهم ترین عامل در جذب انرژی خورشیدی است. به طوریکه برای اهداف مختلف در خصوص جذب انرژی خورشیدی می توان از رنگ های متفاوتی استفاده کرد. مقدار انتقال حرارت رسیده به سطح لوله توسط تابش خورشید از معادله (۴-۱۰) بدست می آید. ضریب جذب رنگ لوله اصلی ترین پارامتر در جذب این انرژی رسیده به سطح لوله می باشد. شکل زیر تاثیر رنگ جدار لوله بر انرژی خورشیدی جذب شده توسط سطح لوله را نشان می دهد.

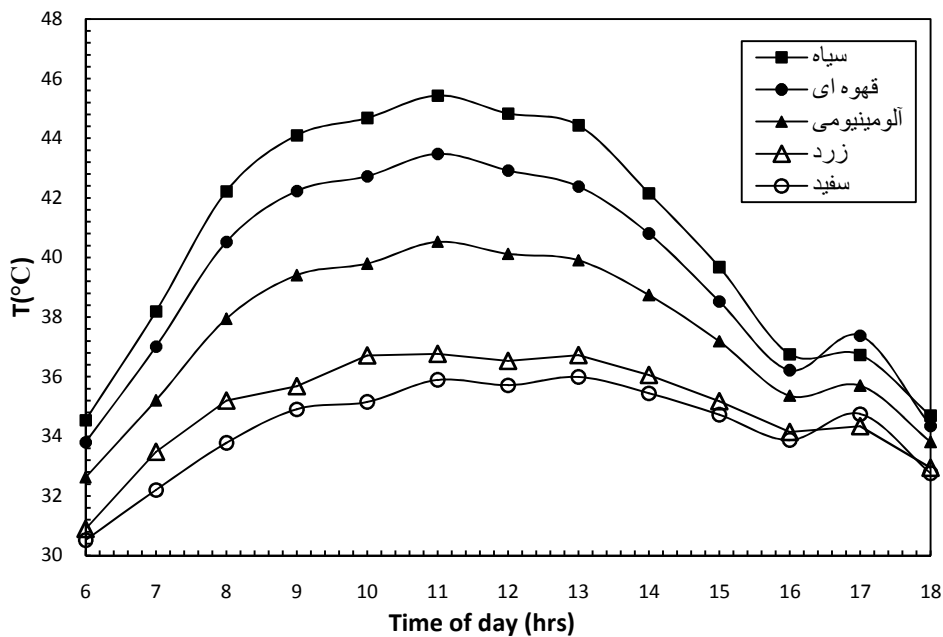


شکل ۴-۱۸- تاثیر رنگ بر میزان جذب انرژی خورشید توسط سطح لوله

شکل (۴-۱۸) تاثیر رنگ سطح جدار لوله بر جذب انرژی خورشید در طول روز در ۱۵ مرداد طبق شرایط جوی جزیره خارک را نشان می دهد. ضریب جذب عامل اصلی در جذب انرژی خورشید است. رنگ سیاه با داشتن بزرگترین ضریب جذب در میان رنگ های در نظر گرفته شده، انرژی خورشیدی بیشتری را جذب می کند. میزان جذب انرژی در هنگام ظهر بین ساعت ۱۱ الی ۱۲ بیشترین مقدار است که به دلیل تابش مستقیم خورشید به سطح لوله است.

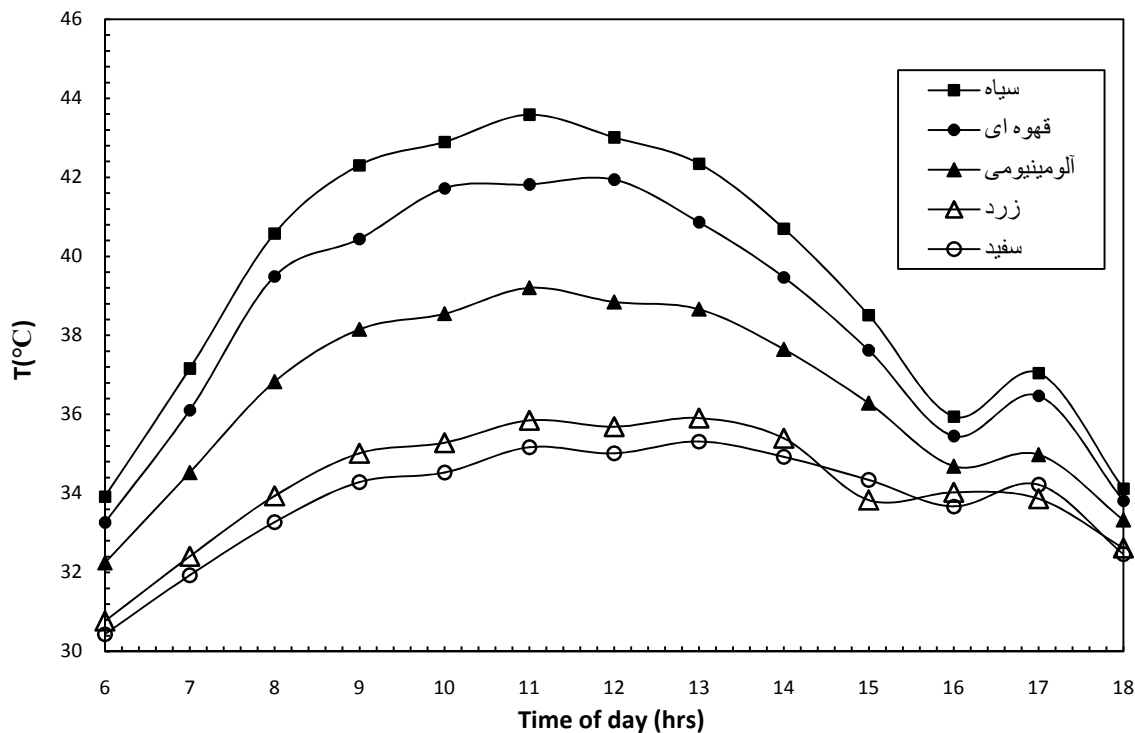
۴-۸-۳) تاثیر رنگ بر تغییرات دمایی نفت خروجی از خطوط لوله

در بخش های قبل به بررسی اثر رنگ لوله بر تغییرات حرارت وارده از طریق جابجایی و تابش خورشید پرداخته شد. با در نظر گرفتن بالانس انرژی، دمایی نفت در طول مسیر به رنگ سطح لوله بستگی خواهد داشت. در نتیجه رنگ سطح لوله عامل موثری در تغییرات دمایی نفت در انتهای لوله است. دمایی نفت تاثیر زیادی بر دقت سیستم های اندازه گیری دارد. همانگونه که اشاره شد، خطوط لوله مذکور، نفت داخل مخازن ذخیره نفت را به پایانه اندازه گیری نفت منتقل می کند. به این دلیل تغییرات دمایی نفت در انتهای لوله اهمیت زیادی خواهد داشت. در این قسمت تغییرات دمایی رنگ در انتهای لوله برای رنگ های مختلف در دبی های مختلف نشان داده شده است.



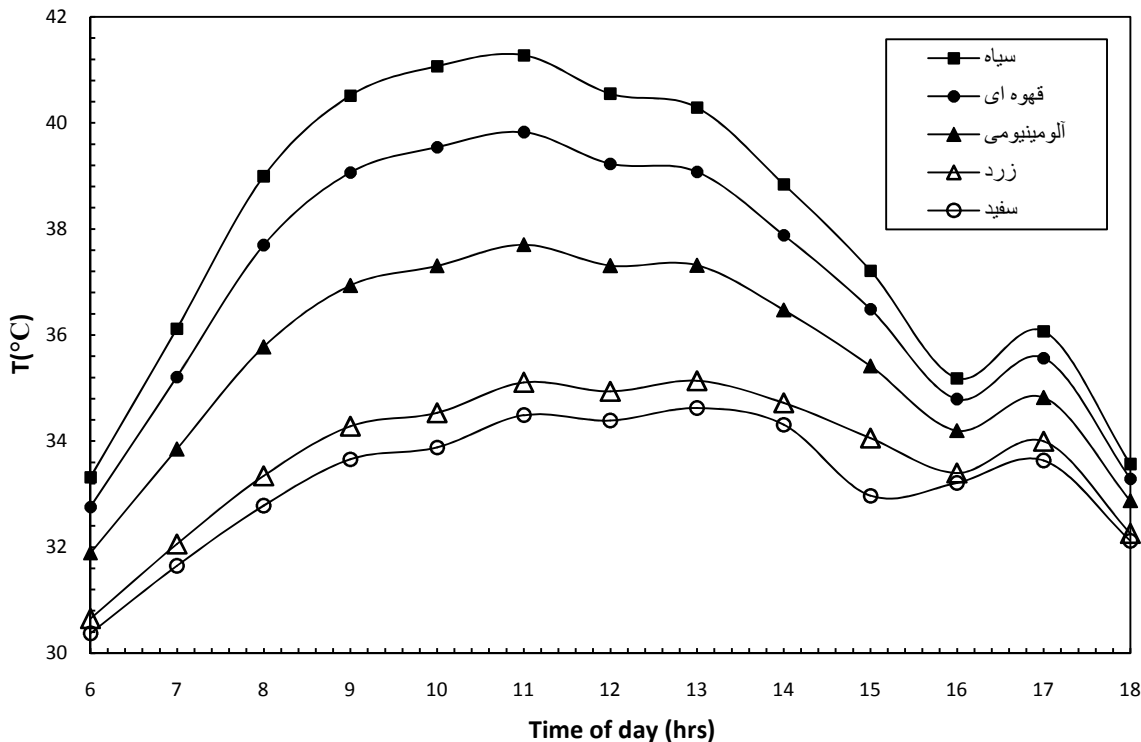
شکل ۴-۱۹- تغییرات دمایی نفت در انتهای خط لوله در دبی ۱۰۰۰ بشکه در ساعت

شکل (۴-۱۹) تغییرات دمایی نفت سبک در انتهای لوله با دبی ۱۰۰۰ بشکه در ساعت را در ۱۵ مرداد نشان می دهد. در میان رنگ های مورد بررسی رنگ سیاه بیشترین دما و رنگ سفید کمترین دمای نفت را به دنبال دارند.



شکل ۴-۲۰- تغییرات دمایی نفت در انتهای خط لوله در دبی ۲۰۰۰ بشکه در ساعت

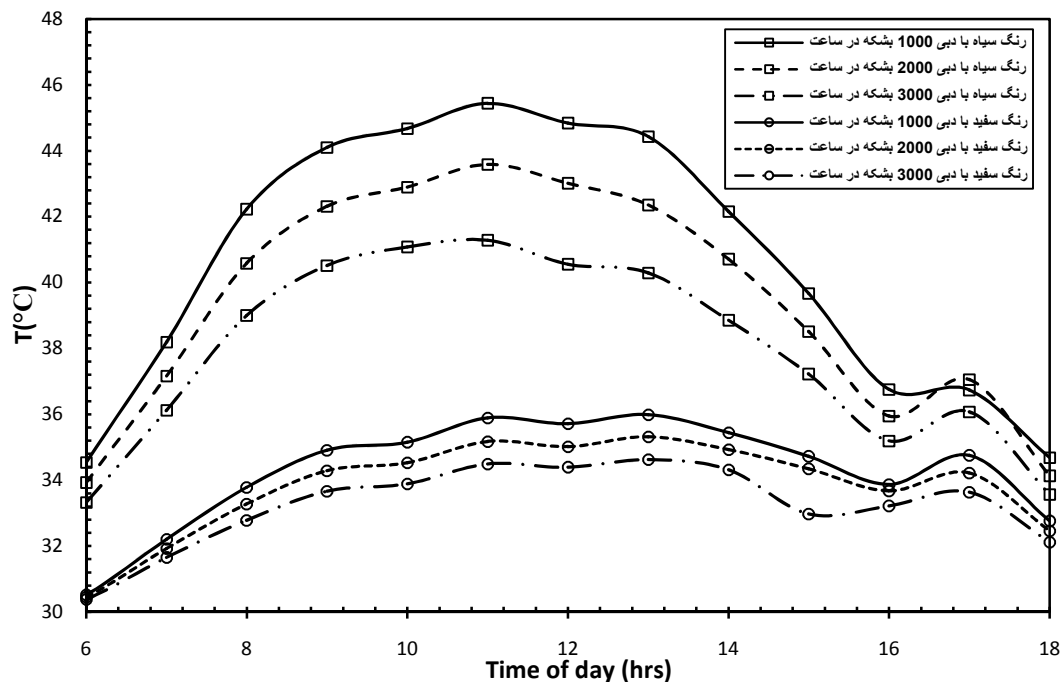
شکل (۴-۲۰) تغییرات دمایی نفت سبک در انتهای لوله با دبی ۲۰۰۰ بشکه در ساعت در زمان اشاره شده را نشان می دهد. در میان رنگ های مورد بررسی رنگ سیاه به دلیل ضریب جذب بزرگتر تابش خورشید را بیشتر جذب سطح لوله می کند. این انرژی جذب شده از طریق هدایت وارد سطح داخلی لوله می شود و به طریق جابجایی به نفت درون لوله می رسد. بدیهی است که انتقال بیشتر انرژی به جریان درون لوله، افزایش بیشتر دمای نفت را به همراه خواهد داشت. به همین دلیل، رنگ سیاه دمای نفت را نسبت به دیگر رنگ ها بیشتر افزایش می دهد.



شکل ۴-۲۱- تغییرات دمایی نفت در انتهای خط لوله در دبی ۳۰۰۰ بشکه در ساعت

شکل (۴-۲۱) تغییرات دمایی نفت سبک در انتهای لوله با دبی ۳۰۰۰ بشکه در ساعت در زمان اشاره شده را نشان می دهد. انتخاب رنگ سطح عامل مهمی در تغییرات دمایی سیال داخل لوله است. به طوریکه استفاده از رنگ سیاه دمای نفت را تا حدود 42°C و رنگ سفید به 33°C در ساعت ۱۱ ظهر می رسانند.

با در نظر گرفتن تاثیرات ضریب جذب و نشر سطح خارجی لوله بر توسعه دمایی نفت که بیانگر رنگ سطح می باشند. می توان به این نتیجه رسید که رنگ سطوح با اهداف خاصی از نظر انتقال حرارت انتخاب می شود. اگر هدف کاهش دمای سیال باشد، رنگ روشن بکار می رود. رنگ سیاه نیز برای اهداف افزایش دمای سیال مورد استفاده قرار می گیرد.



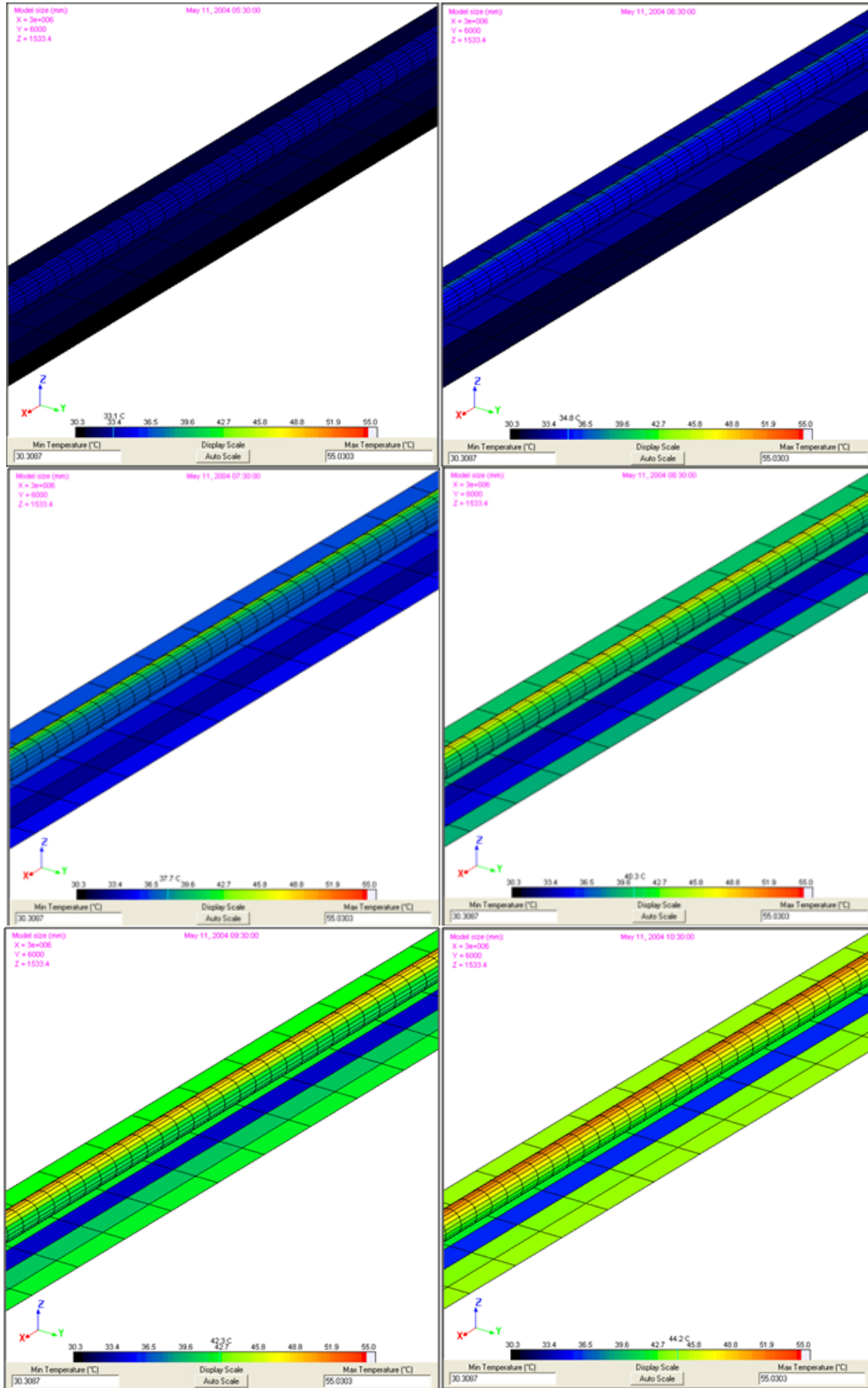
شکل ۴-۲۲- تاثیر دبی لوله بر تغییرات دمایی نفت در انتهای لوله برای رنگ سیاه و سفید

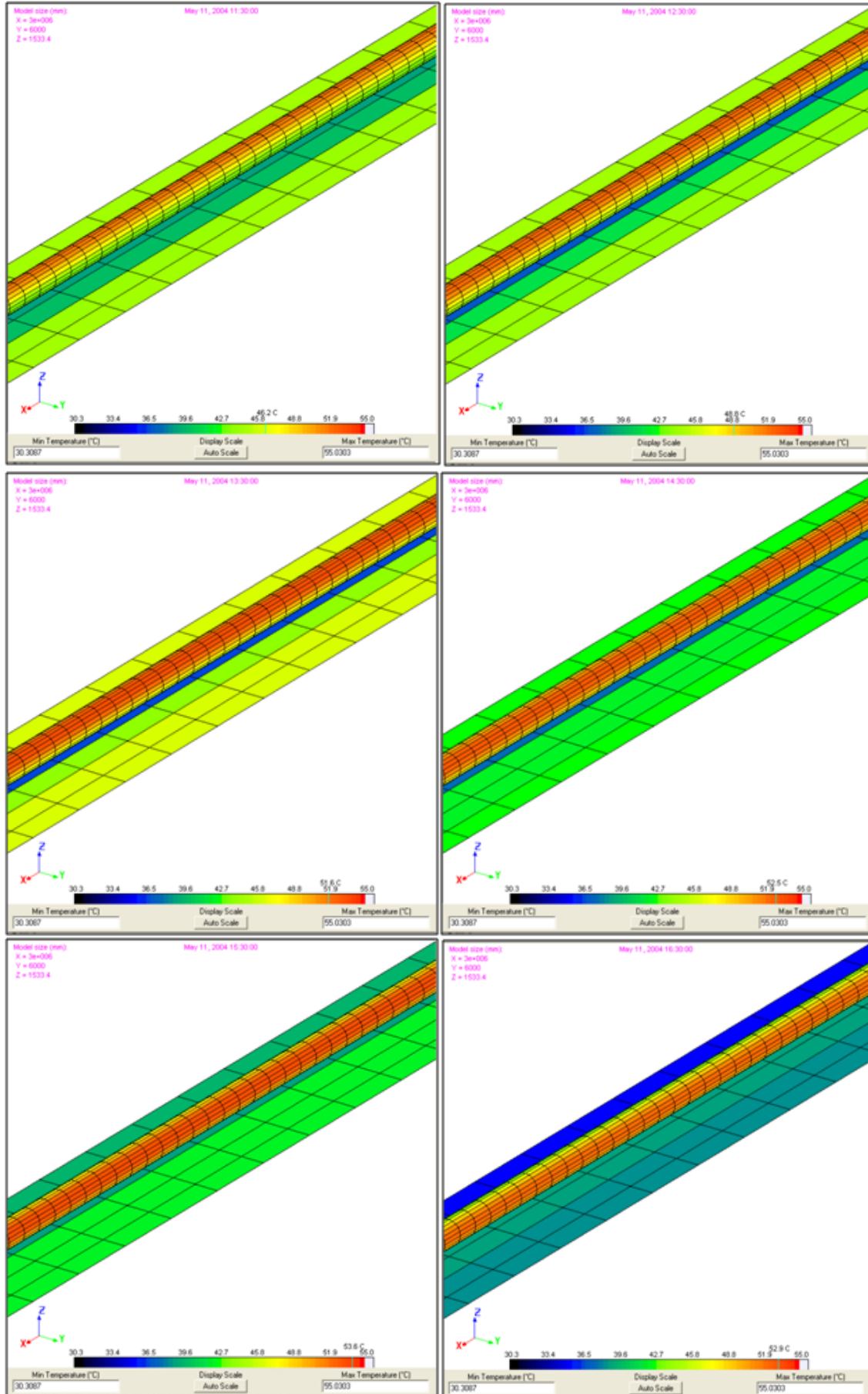
شکل (۴-۱۹) اثر دبی لوله بر دمای نفت خروجی از خط لوله مورد بررسی در زمان مذکور برای رنگ سیاه و سفید را نشان می دهد. همانگونه که نشان داده می شود، افزایش دبی نفت را برای هر دو رنگ مورد نظر افزایش می دهد. که می توان نتایج را به دیگر رنگ ها نیز تعمیم داد.

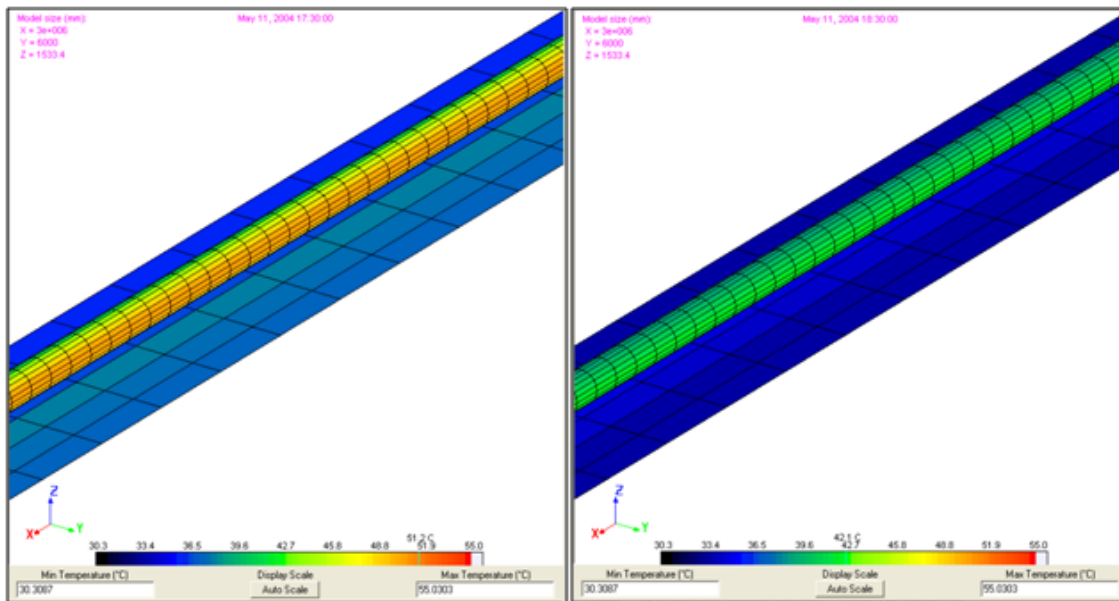
۹-۴) بررسی نتایج عددی با استفاده از نرم افزار وینترم^۱

به دلیل اطمینان از صحت محاسبات، نتایج بدست آمده از حل تحلیلی، با نتایج عددی حاصل از نرم افزار مقایسه شده است. وینترم [۵۵] یکی از نرم افزارهای قدرتمند در زمینه انتقال حرارت، به خصوص شبیه سازی تابش خورشید می باشد. این نرم افزار تحت حمایت موسسه ای پی آی است. خط لوله مورد بررسی توسط نرم افزار با توجه به موقعیت جغرافیایی جزیره خارک شبیه سازی شده است. در شکل زیر کانتور دمایی سطح لوله با پوشش رنگ سیاه در دبی ۱۰۰۰ بشکه از ساعت ۵:۳۰ تا ۱۸:۳۰ به فاصله یک ساعت در ۱۵ مرداد سال ۸۶ آورده شده است.

¹ Wintherm





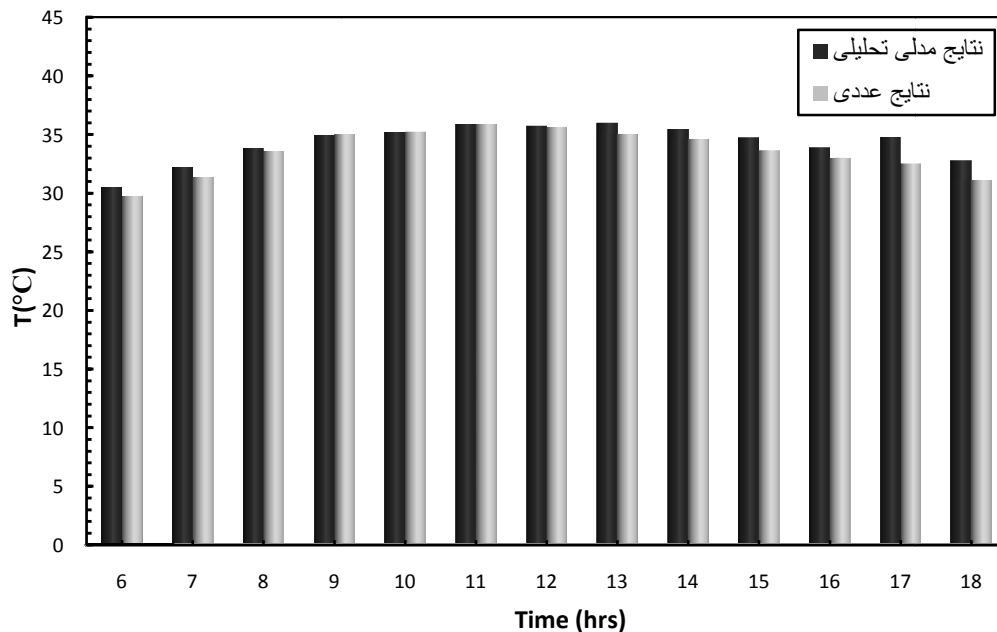


شکل ۴-۲۳- کانتور دمایی خط لوله روی سطح زمین از ساعت ۵:۳۰ تا ۱۸:۳۰

شکل (۴-۲۳) کانتور دمایی سطح لوله و زمین در جزیره خارک را در ۱۵ مرداد سال ۸۶ از ساعت ۵:۳۰ تا ۱۸:۳۰ را نشان می دهد. پوشش لوله سیاه و دبی جریان ۱۰۰۰ بشکه در ساعت در نظر گرفته شده است. محور X جهت شمال را نشان می دهد. زمان مربوطه در بالای هر تصویر به رنگ قرمز مشخص شده است. هرچه از ساعت ۵:۳۰ به سمت ظهر نزدیک می شویم، موقعیت حداکثر دمای سطح لوله، از قسمت شرقی لوله به سطح بالایی لوله منتقل می شود که به علت زاویه بر خورد خورشید به سطح لوله است. در بعد از ظهر نیز سطح غربی لوله گرمتر از قسمت های دیگر آن است.

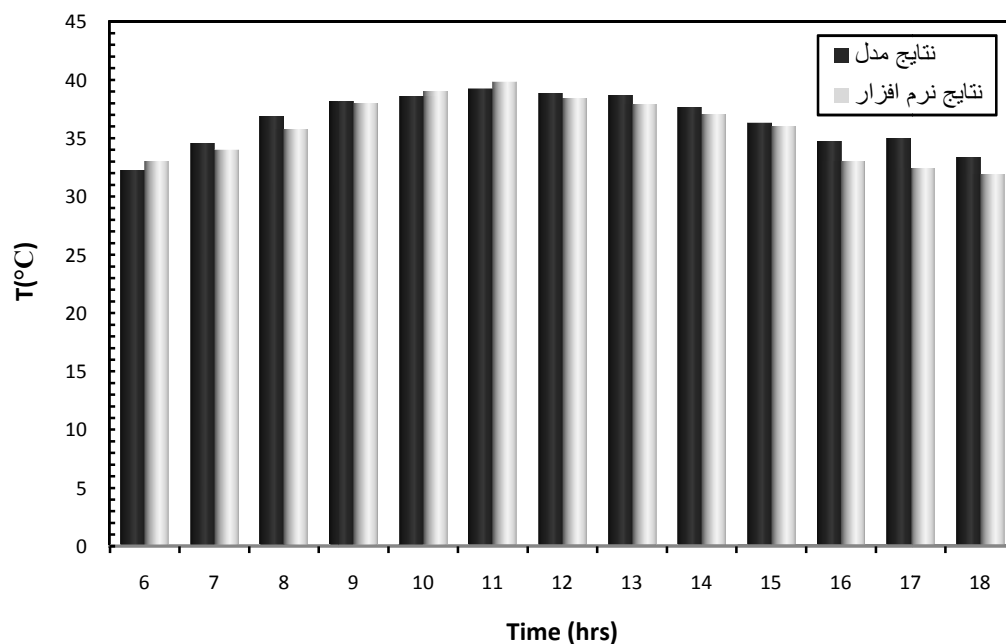
۴-۹-۱) مقایسه نتایج عددی و مدل تحلیلی

دمای نفت در انتهای خط لوله که نفت به پایانه های اندازه گیری منتقل می شود، پارامتر مهمی می باشد. از اینرو برای امتحان درستی نتایج مدل تحلیلی از نرم افزار وینترم برای محاسبه دمای نفت خروجی از خطوط لوله در طول روز استفاده شده است. در شکل های زیر نتایج شبیه سازی خط لوله مذکور با نتایج مدل تحلیلی مقایسه شده است.



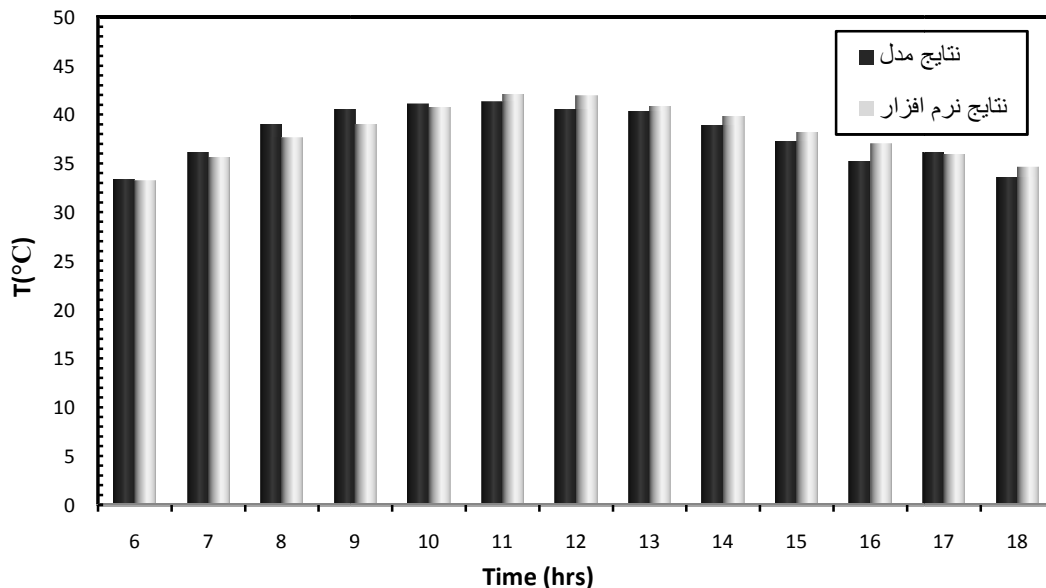
شکل ۴-۲۴- مقایسه نتایج مدل تحلیلی و عددی برای رنگ سفید با دبی ۱۰۰۰ بشکه در ساعت

شکل (۴-۲۴) مقایسه نتایج حل تحلیلی و عددی برای خط لوله مذکور با رنگ سفید با دبی ۱۰۰۰ بشکه در ساعت در ۱۵ ماه مرداد را نشان می دهد. همانطور که مشخص است، نتایج مدل تحلیلی مطابقت خوبی با نتایج مدل عددی دارد.



شکل ۴-۲۵- مقایسه نتایج مدل تحلیلی و عددی برای رنگ آلومینیومی با دبی ۲۰۰۰ بشکه در ساعت

شکل (۴-۲۵) مقایسه نتایج مدل تحلیلی و عددی برای خط لوله مذکور با رنگ آلومینیومی با دبی ۲۰۰۰ بشکه در ساعت در ۱۵ ماه مرداد را نشان می دهد. همانطور که نشان داده شده، نتایج مدل تحلیلی مطابقت نسبتاً خوبی با نتایج مدل عددی دارد.



شکل ۴-۲۶- مقایسه نتایج مدل تحلیلی و عددی برای رنگ سیاه با دبی ۳۰۰۰ بشکه در ساعت

شکل (۴-۲۶) مقایسه نتایج مدل تحلیلی و عددی برای تعیین دمای نفت در انتهای خط لوله مذکور با رنگ سیاه با دبی ۳۰۰۰ بشکه در ساعت در ۱۵ ماه مرداد را نشان می دهد. همانطور که مشخص است، نتایج مدل تحلیلی سازگاری مناسبی با نتایج مدل عددی دارد و صحت محاسبات انجام گرفته را تصدیق می کند.

۴-۱۰) مقایسه نتایج تجربی و مدل تحلیلی

برای افزایش ضریب اطمینان در محاسبات مدل تحلیلی علاوه بر نتایج عددی حاصل از نرم افزار از داده های تجربی نیز استفاده شده است. بدین منظور از ترمومتر مادون قرمز برای محاسبه دمای سطح لوله در هر ساعت بکار برده شده است. در شکل زیر نمایی از ترمومتر مادون قرمز که برای اندازه گیری دما استفاده شده است، نشان داده شده است.

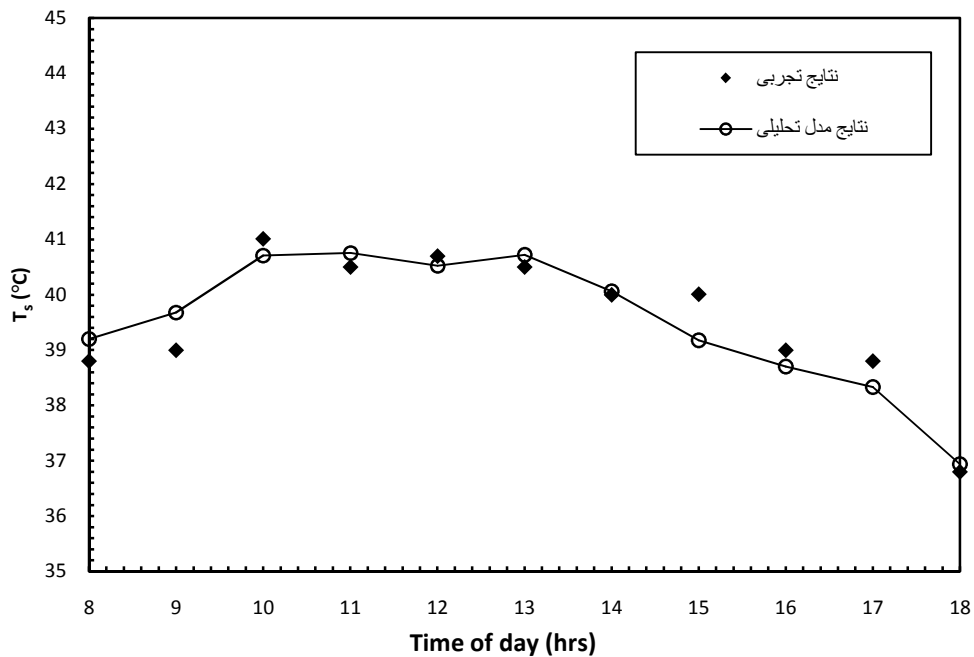


شکل ۴-۲۷- نمایی از ترمومتر مادون قرمز

شکل (۴-۲۸) خط لوله مورد بررسی واقع در جزیره خارک را نشان می دهد. رنگ سطح لوله سفید و دبی جریان ۱۰۰۰ بشکه در ساعت است. با استفاده از ترمومتر شکل (۴-۲۷) دمایی سطح لوله در چندین نقطه از خط لوله در هر ساعت محاسبه شده و میانگین داده ها در هر ساعت ثبت شده است.



شکل ۴-۲۸- نمایی از خطوط لوله جزیره خارک



شکل ۴-۲۹- مقایسه دمای متوسط سطح لوله در هر ساعت در طول روز

شکل (۴-۲۹) دمای متوسط سطح لوله در جزیره خارک در ۱۵ مرداد ماه سال ۸۶ در طول روز را نشان می دهد. همانگونه که در شکل مذکور نشان داده می شود، نتایج داده های تجربی و مدل تحلیل بر اساس معادله (۴-۳۰) مطابقت خوبی با هم دارند و درستی تحلیل مورد نظر را بیان می کند.

فصل پنجم

بررسی تاثیر دما بر عدم قطعیت سیستم های اندازه گیری

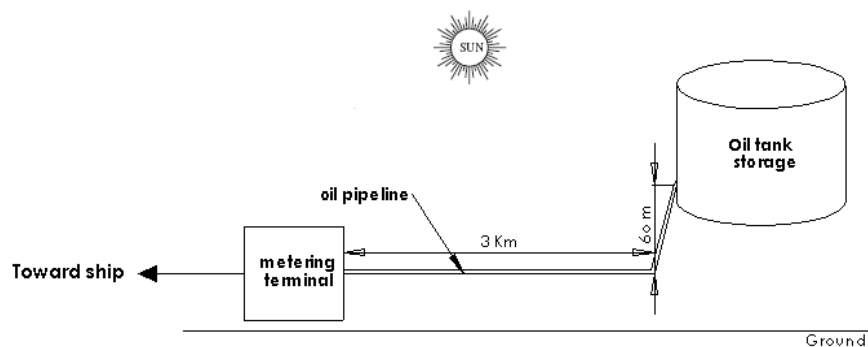
۵-۱) مقدمه

یکی از مهمترین اهداف پایانه های نفتی محاسبه دقیق میزان نفت جابجا شده است، که آنها را به سمت کاهش یا از بین بردن هر گونه خطا در این سیستم های اندازه گیری سوق می دهد. سه منبع اصلی خطا در سیستم اندازه گیری نفت خام شامل موارد زیر می باشد:

الف) دمای نفت ب) ذرات رسوب و آب ج) دبی لوله.

دمای نفت به هنگام فروش یکی از عوامل ایجاد خطا در این پایانه ها می باشد. نور خورشید تاثیر زیادی در جذب انرژی توسط سطح لوله و در نتیجه تغییرات دمایی نفت دارد. جریان نفت در حین عبور از لوله با جذب انرژی خورشید توسط سطح خارجیش و انتقال آن از طریق هدایت گرم می شود. این امر سبب افزایش دمای نفت در هنگام رسیدن به ایستگاه اندازه گیری و متعاقب آن افزایش عدم قطعیت در اندازه گیری می گردد. مقدار افزایش دما به رنگ سطح لوله و دبی جریان نفت وابسته است.

طبق شکل (۵-۱) در جزیره خارک، خط لوله ای به طول سه کیلومتر از مخازن نفت تا ایستگاه اندازه گیری برای صادرات محصولات نفتی وجود دارد. نفت خام از مخازن ذخیره که در ارتفاع ۶۰ متری نسبت به ایستگاه اندازه گیری نفت قرار دارد به دلیل فشار ثقل در خطوط انتقال نفت جریان می یابد. طول این خط لوله به سه کیلومتر می رسد. مقدار جریان توسط شیرهای مناسبی کنترل می شود. به دلیل اینکه پایانه نفتی جزیره خارک سهم عمده صادرات را به خود اختصاص می دهد، بحث دقت اندازه گیری اهمیت بیشتری می یابد. در بخش قبل، دمای نفت خام در انتهای خط لوله که وارد پایانه اندازه گیری می شود، بر مبنای شرایط جوی و جغرافیایی جزیره خارک محاسبه شد و تاثیرات رنگ سطح لوله و دبی جریان بر دمای نفت مورد بررسی قرار گرفته است. در این فصل عدم قطعیت سیستم اندازه گیری در اثر افزایش دما مورد مطالعه قرار گرفته است.



شکل ۵-۱- شماتیکی از خط لوله و مخزن ذخیره نفت در جزیره خارک

تعداد زیادی مطالعات در حوزه عدم قطعیت سیستم های اندازه گیری در پایانه های اندازه گیری می توان یافت. به طور مثال، هرشی^۱ [۵۶] عدم قطعیت وسایل اندازه گیری پر کاربرد را مطالعه کرد. او به این نتیجه رسید که عدم قطعیت به دلیل خطای انسانی در تجهیزات در هنگام کالیبراسیون و اندازه گیری یا خطای تصادفی به علت کمبود تجهیزات حساس در اندازه گیری است. میاو^۲ [۵۷] و همکارانش عدم قطعیت فلومتر ورتکس تی شکل^۳ در محدوده عدد رینولدز، $1.0 \times 10^5 - 2.0 \times 10^4$ که با جریان گاز کالیبره شد، را تخمین زدند. هرشی^۴ [۵۸] آنالیز عدم قطعیت در مرحله تخلیه در ایستگاه های جریان در مقیاس های بزرگ با کاربرد آب را بررسی کرد. چیزرایت و شاو^۵ [۵۹] عدم دقت فلومتر از نوع کریولیس در اندازه گیری جرم عبوری را مطالعه کردند. آنها با در نظر گرفتن نتایج عددی گوناگون و تجربی نشان دادند که عدم قطعیت به دلیل خطای ناشی از گرد کردن در محاسبات کامپیوتری و ضعف موجود در روش های المان محدود است.

۲-۵ جریان سنج توربینی^۶

در مبحث اندازه گیری جریان، دستگاه ها و روش های متعدد و بسیاری وجود دارد که بسته به فرآیند، خصوصیات سیال مورد استفاده، فشار و بخصوص دقت مورد نیاز و غیره یکی از آنها را می

¹ herschy

² Miau

³ T shape vortex flowmeter

⁴ herschy

⁵ Cheesewright and Shaw

⁶ Turbine flowmeter

توان جهت اندازه گیری استفاده نمود. ضمن اینکه برای انتخاب دستگاههای اندازه گیری نمی توان نسخه ای از قبل پیچیده شده را برای تمامی شرایط تجویز نمود. شرایط ویژه سیال پس از عبور از خطوط انتقال از نقطه نظر ذرات معلق موجود و آلودگی های احتمالی بخصوص روغن ها، گریس ها به همراه محصولات خوردگی همه و همه ایجاب می نماید که در انتخاب سیستم اندازه گیری برای هر شرایط تفاوت هایی را قائل شد. دستگاههایی که برای اندازه گیری سیالات به طریق دینامیک مورد استفاده قرار می گیرند، متر^۱ نامیده می شوند. مترها خود نیاز به آزمایش دارند که وضعیت عملکرد آنها در اندازه گیری، مشخص باشد. از این رو غالباً مترها با دستگاه آزمایش آنها در ارتباط می باشد و معمولاً کل مترها و متعلقات مربوطه به علاوه دستگاه آزمایش آنها را سیستم اندازه گیری^۲ می نامند. با پیشرفت تکنولوژی ساختمان مترها و دستگاه های آزمایش آنها تدریجاً کاملتر شده و در نتیجه انواع مختلفی از مترها ساخته شده است که با توجه به محدوده دقت و به عبارتی محدوده خطای اندازه گیری در تاسیسات نقل و انتقال و بارگیری مواد نفتی بکار گرفته می شوند.

عوامل موثر در انتخاب فلومترها عبارتند از دقت^۳ دستگاه که خود به خطی بودن^۴ و قابلیت تکرار^۵ تقسیم می شود و عبارتند از تفاوت مقدار واقعی با مقدار خوانده شده از دستگاه و ترکیبی از خطی بودن و تکرارپذیری در محدوده دبی مشخص است. خطی بودن، مقدار درصد صحیح خوانده شده از دستگاه در محدوده دبی مشخص است. قابلیت تکرار نیز توانایی دستگاه برای نشان دادن مقدار یکسان از شرایط یکسان جریان است و محدوده عمل^۶ نسبت ماکزیمم جریان به مینیمم جریان در محدوده دبی مشخص است. هر یک از این موارد تابعی از دبی و خواص سیال هستند.

در پایانه های بارگیری که مقدار شدت جریان نسبتاً زیادی مد نظر است و از طرفی دقت بالایی هم در اندازه گیری مطرح است؛ با توجه به نوع سیال (گرانروی، دما، فشار عملیاتی و فشار بخار سیال)

¹ Meter

² Metering system

³ accuracy

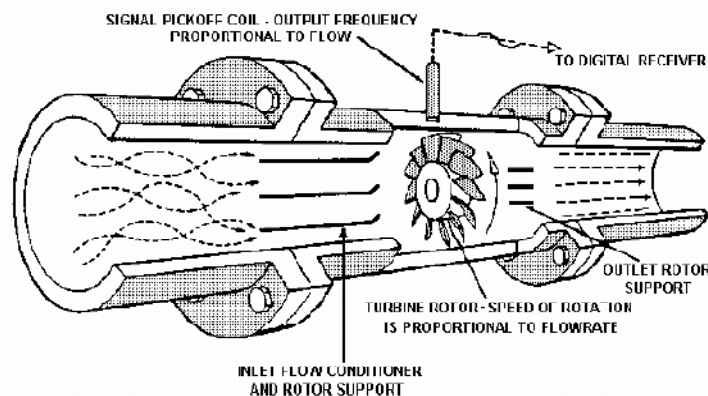
⁴ Linearity

⁵ Repeatability

⁶ Rangeability

معمولاً از میترهای توربینی استفاده می گردد. با توجه به استفاده از توربین میترها در صنایع نفت به ویژه در ایستگاه میترینگ جزیره خارک به بررسی این نوع دبی سنج می پردازیم.

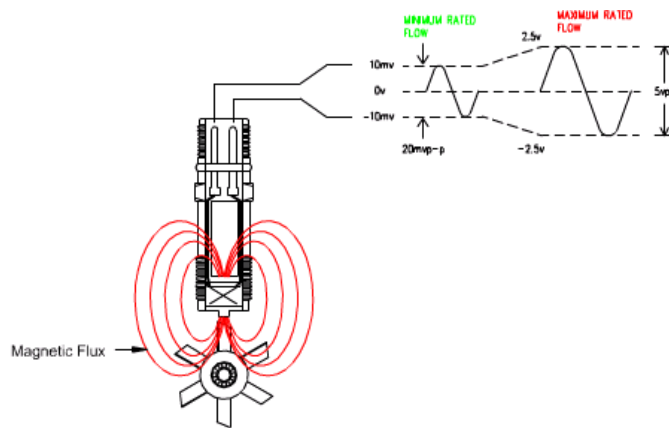
دبی سنج های نوع توربینی در حال جایگزین شدن به جای انواع دیگر اندازه گیرهای اریفیزی در صنعت نفت و گاز می باشند. دبی سنج های توربینی نام خود را از اصل کارکرد خود گرفته اند. چرخ توربین که روتور نامیده می شود، در مسیر عبور سیال قرار می گیرد. همانطوری که سیال وارد فضا های خالی بین پره های این چرخ می شود، به علت زاویه ای که این پره ها دارند، سیال از مسیر خود منحرف شده، نیرویی به پره ها وارد می کند که باعث چرخیدن روتور می شود. سرعتی که در آن روتور می چرخد، در یک محدوده معین، بطور خطی با نرخ دبی متناسب است. روش های مختلفی برای تبدیل این چرخش به سیگنال قابل قرائت وجود دارد. در بعضی از کاربردها بوسیله یک اهرم مکانیکی، چرخش روتور مستقیماً برای ثبت و یا نمایش به یک نمایشگر که به دبی سنج متصل شده منتقل می گردد. اما در اکثر مواقع از روش های الکتریکی برای این کار استفاده می شود. در شکل (۲-۵) برشی از یک دبی سنج توربینی نمایش داده شده است.



شکل ۲-۵- برشی از یک دبی سنج توربینی [۶۰]

یک روتور چند پره ای در مرکز لوله و در مسیر حرکت سیال نصب شده است. پره ها روی یک شفت با زاویه ثابت به صورت شعاعی قرار دارند. همچنین یک سیم پیچ با آهنربای دائمی روی قسمت بیرونی بدنه سوار شده است. روش کار به این صورت است که پره های چرخش توربین که فلزی

هستند، بر اثر فلوی سیال به حرکت در می آیند. عبور نوک هر پره از جلوی کویل همانطور که در شکل (۳-۵) نشان داده شده است، باعث تغییر فلوی مغناطیسی کویل شده، در نهایت یک پالس تولید می کند. از آنجا که سرعت چرخش توربین به سرعت سیال عبوری بستگی دارد و حجم سیال سرعت سیال را تحت تاثیر قرار می دهد؛ بدین طریق فلومتر توربینی حجم سیال عبوری را اندازه می گیرد.



شکل ۳-۵- پالس ایجاد شده بر اثر چرخش روتور [۶۰]

در صنعت از جریان سنج های نوع توربینی برای اندازه گیری حجم سیالات استفاده می شود. این در حالی است که بیشتر جریان سنج ها جرم سیال را اندازه گیری می کنند. در عمل برای حل این مشکل از فاکتور چگالی سیالات برای تبدیل حجم به جرم استفاده می شود.

در این دبی سنج ها تعداد کل پالس های تولید شده، بیانگر مجموع حجم سیال عبوری و نرخ تولید این پالس ها بیانگر دبی سیال می باشد. بعضی از دبی سنج های نوع توربینی که برای اندازه گیری جرم به کار می روند، مجهز به یک چگال سنج و یک میکرو کامپیوتر می باشند. با استفاده از مقدار قرائت چگالی سنج و جرم سیال عبوری، میکرو کامپیوتری حجم سیال عبوری را محاسبه می کند. در بعضی از نقاط دنیا نفت خام و بعضی از فراورده های آن براساس وزن فروخته می شوند. در این شرایط دبی سنج توربینی که مستقیماً دبی جرمی را اندازه گیری می کند، یک وسیله ایده آل برای این منظور می باشند. بیشتر فلومترهای توربینی، برای اندازه گیری مایعات به کار می روند و این مهم است که برای جلوگیری از آسیب دیدن پره های توربین، سیال بایستی کاملاً عاری از ذرات جامد

باشد. برای جلوگیری از ورود ذرات جامد احتمالی همراه سیال از یک فیلتر یا صافی در قسمت ورودی اندازه گیر توربینی استفاده می شود. نکته دیگری که باید به آن توجه شود این است که باید فشار مایع ورودی به دبی سنج، به اندازه کافی بالا باشد تا از تبخیر جلوگیری کند. در صورتی که همراه سیال، بخار و یا گاز باشد، عدد قرائت شده از دقت لازم برخوردار نیست.

۳-۵) تاثیر دما بر عدم قطعیت سیستم اندازه گیری در جزیره خارک

همانطور که اشاره شد، در پایانه نفتی خارک از توربین متر برای اندازه گیری حجم نفت صادر شده استفاده می شود. مبنای فروش نفت در بازار های جهانی بر اساس حجم نفت در شرایط استاندارد °F ۶۰ و فشار ۱ atm است. برای تبدیل حجم اندازه گیری شده به حجم در شرایط استاندارد، ضرایب تصحیح دمایی و فشاری بکار می رود که در بخش بعد به آن پرداخته شده است. واضح است که مقدار این ضرایب در شرایط استاندارد برابر یک خواهد بود.

۱-۳-۵) تعیین حجم خالص استاندارد

حجم خالص استاندارد^۱، GSV، حجم نفت در شرایط استاندارد است و مبنایی برای فروش نفت در نظر گرفته می شود. GSV به بیان فیزیکی به صورت زیر تعریف می شود [۶۱]:

$$GSV = \frac{mass}{\rho_b} \quad (1-5)$$

حجمی که بوسیله دبی سنج توربینی بدست می آید باید به شرایط استاندارد تبدیل شود. از اینرو ضریب تصحیح فشاری، CPL، و ضریب تصحیح دمایی، CTL، باید در حجم اندازه گیری شده اعمال گردد [۶۱].

$$GSV = CPL \times CTL \times IV \quad (2-5)$$

در واقع IV، در معادله (۲-۵)، حجم اندازه گیری شده بوسیله دبی سنج توربینی است.

¹ Gross Standard Volume

۵-۳-۲) ضریب تصحیح فشار سیال

ضریب تصحیح فشار سیال^۱، CPL، برای تاثیر تراکم پذیری بر دانسیته سیال است و حجم اندازه گیری شده در فشار کاری را به حجم در شرایط در فشار اتمسفر تبدیل می کند که از رابطه زیر بدست می آید [۶۱]:

$$CPL = \frac{1}{(1-[P-(P_e-P_b)] \times f)} \quad (۳-۵)$$

که P فشار اندازه گیری شده، P_b فشار جو، P_e فشار بخار تعادلی و f فاکتور تراکم پذیری سیال برای دمای اندازه گیری شده است. در این رابطه عبارت (P_b-P_e) برای سیالاتی که فشار بخار آنها کمتر از فشار اتمسفر است، صفر در نظر گرفته می شود. ضریب CPL تابع فشار سیال است و با تغییرات دما تغییر چندانی نمی کند.

۵-۳-۳) ضریب تصحیح دمایی سیال

ضریب تصحیح دمایی سیال^۲، CTL، نام دارد. این ضریب حجم اندازه گیری شده در دمای مشاهده شده را به حجم در شرایط استاندارد ۶۰ °F تبدیل می کند. مقدار دقیق این ضریب از جداول ای پی آی برای محصولات نفتی مختلف قابل محاسبه است. در صورتیکه در صنعت انتقال نفت و پایانه های نفتی ضریب CTL توسط دستگاههای میترینگ از رابطه تجربی (۳-۵) بر حسب محصولات نفتی مختلف بر اساس جدول (۱-۵) استفاده می شود [۶۲].

$$CTL' = e^{[-\alpha \Delta T(1+0.8\alpha \Delta T)]} \quad (۳-۵)$$

که

$$\Delta T = \text{observed Temperature} - 15.5, \quad \alpha = \frac{K_o}{\rho^2} + \frac{K_1}{\rho}$$

¹ coefficient pressure liquid

² coefficient temperature liquid

ضرایب k_0, k_1 طبق جدول (۵-۱) بدست می آیند.

جدول ۵-۱- ضرایب ثابت معادله CTL برای محصولات نفتی [۶۲]

نام محصول	K_0	K_1
نفت فیول	۱۸۶/۹۶۹۶	۰/۴۸۶۲
سوخت جت	۵۹۴/۵۴۱۱	۰
بنزین	۳۴۶/۴۲۲۸	۰/۴۳۸۸
نفت خام	۶۱۳/۹۷۲۳	۰

ضریب تصحیح دمایی بدست آمده توسط رابطه (۵-۳) برای استفاده، تا چهار رقم اعشار گرد می شود. عدم قطعیت در ضریب تصحیح دمایی از رابطه زیر بدست می آید.

$$error_{CTL} = |CTL_{API} - CTL'| \quad (۴-۵)$$

عبارت اول از جداول استاندارد امریکا ای پی آی و جمله دوم از رابطه تجربی استفاده شده در پایانه های نفتی که در بخش قبل به آن پرداخته شد، بدست می آید.

جدول ۵-۲ - تغییرات عدم قطعیت ضریب CTL با دما برای نفت سبک [۶۲]

T (°C)	CTL_{API}	CTL'$	|CTL_{API} - CTL'|$	T (°C)	CTL_{API}	CTL'$	|CTL_{API} - CTL'|$
۵	۱/۰۰۸۷	۱/۰۰۸۸	۰/۰۰۰۱	۳۰	۰/۹۸۸۱	۰/۹۸۷۹	۰/۰۰۰۲
۵/۷	۱/۰۰۶۶	۱/۰۰۶۷	۰/۰۰۰۱	۳۲/۲	۰/۹۸۶۰	۰/۹۸۵۸	۰/۰۰۰۲
۹/۵	۱/۰۰۵۰	۱/۰۰۵۱	۰/۰۰۰۱	۳۳/۸	۰/۹۸۴۹	۰/۹۸۴۶	۰/۰۰۰۳
۱۲/۵	۱/۰۰۲۷	۱/۰۰۲۸	۰/۰۰۰۱	۳۵	۰/۹۸۳۹	۰/۹۸۳۶	۰/۰۰۰۳
۱۵/۵	۱	۱	۰/۰۰۰۰	۳۷/۵	۰/۹۸۱۹	۰/۹۸۱۶	۰/۰۰۰۳
۱۷/۷	۰/۹۹۸۲	۰/۹۹۸۱	۰/۰۰۰۱	۴۰	۰/۹۷۹۸	۰/۹۷۹۵	۰/۰۰۰۳
۲۰/۵	۰/۹۹۵۹	۰/۹۹۵۸	۰/۰۰۰۱	۴۲/۵	۰/۹۷۷۷	۰/۹۷۷۴	۰/۰۰۰۳
۲۲/۵	۰/۹۹۴۳	۰/۹۹۴۲	۰/۰۰۰۱	۴۵	۰/۹۷۵۶	۰/۹۷۵۲	۰/۰۰۰۴
۲۵	۰/۹۹۲۲	۰/۹۹۲۱	۰/۰۰۰۱	۴۷/۵	۰/۹۷۳۶	۰/۹۷۳۲	۰/۰۰۰۴
۲۷/۵	۰/۹۹۰۲	۰/۹۹۰۰	۰/۰۰۰۲	۵۰	۰/۹۷۱۵	۰/۹۷۱۰	۰/۰۰۰۵

جدول (۵-۲) عدم قطعیت در انتخاب ضریب CTL بر حسب دماهای مختلف برای نفت سبک با مشخصات اشاره شده در فصل قبل را نشان می دهد. همانطور که انتظار داشتیم، مقدار این دو ضریب

در شرایط استاندارد (۶۰ °F) ۱۵.۵ °C برابر یک است. هرچه از شرایط استاندارد دورتر شویم و دما افزایش یابد، عدم قطعیت در محاسبه ضریب دمایی CTL بیشتر می شود. طبق جدول (۲-۵) عدم قطعیت در ضریب تصحیح دمایی در دمای مربوطه به دست می آید. با استفاده از روش های درونیابی و برونیابی عدم قطعیت در دماهایی که در جدول فوق وجود ندارد را می توان محاسبه کرد.

معادله زیر برای محاسبه عدم قطعیت در اندازه گیری بکار می رود.

$$uncertainty = |CTL_{API} - CTL'| \times CPL \times IV \quad (۴-۵)$$

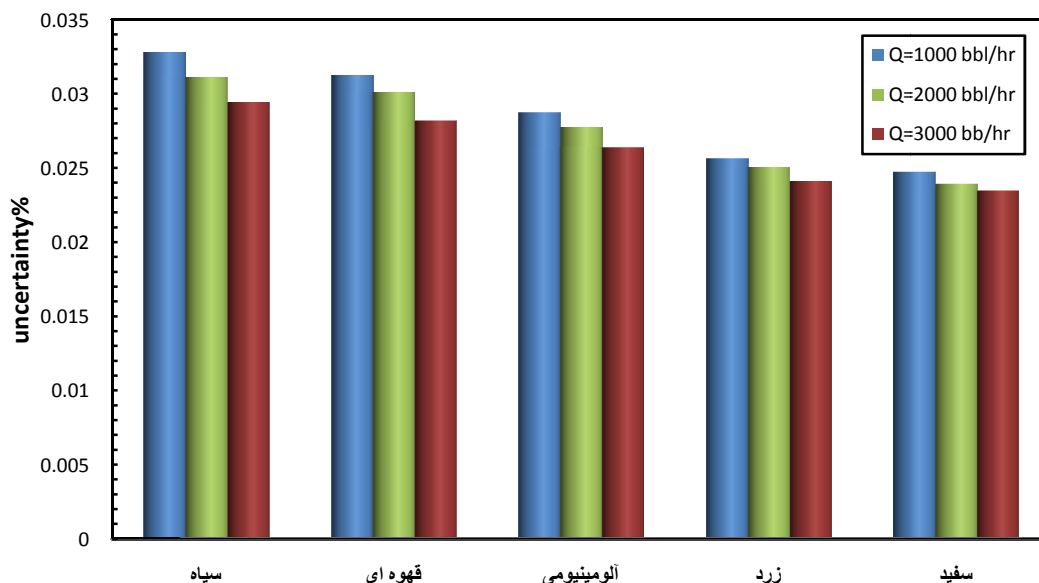
در رابطه بالا IV، حجم نفت اندازه گیری شده توسط توربین متر را نشان می دهد. در فصل قبل دمای نفت از خروجی خط لوله برای رنگ ها و دبی های مختلف در طول روز محاسبه شد. با استفاده از معادله (۴-۵) و دمای نفت خروجی در هر ساعت در طول روز، عدم قطعیت در سیستم اندازه گیری در هر ساعت و با جمع مقادیر آن در طول روز بدست می آید.

برای مقایسه بهتر برای بررسی اثر دبی لوله و رنگ لوله بر عدم قطعیت اندازه گیری از پارامتری به نام درصد خطا استفاده می کنیم، که از رابطه زیر بدست می آید.

$$\% \text{ عدم قطعیت} = \frac{\text{حجم عدم قطعیت}}{\text{کل حجم عبوری}} \times 100 \quad (۵-۵)$$

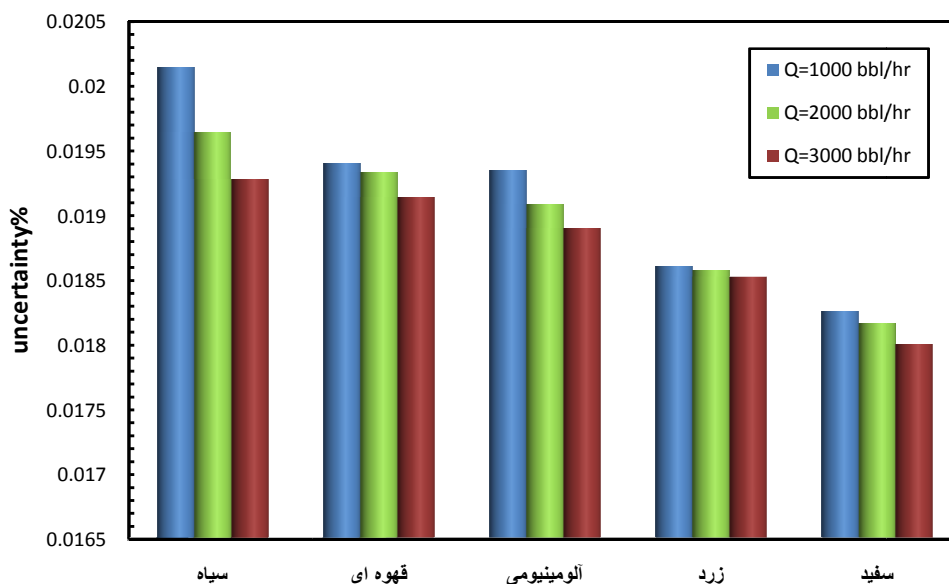
شکل (۴-۵) درصد روزانه عدم قطعیت سیستم اندازه گیری در پایانه صادرات خارک در ۱۵ مرداد سال ۸۶ را نشان می دهد. داده های شکل با استفاده از معادله (۵-۵) و شکل های (۴-۱۹)، (۴-۲۰) و (۴-۲۱) به دست آمده اند. همانطور که نشان داده شده، استفاده از رنگ سیاه عدم قطعیت بیشتری به دنبال خواهد داشت. طبق جدول (۲-۵)، اگر دمای نفت به هنگام اندازه گیری از شرایط استاندارد بیشتر باشد، عدم قطعیت اندازه گیری افزایش خواهد یافت. رنگ سیاه به دلیل افزایش دمای نفت نسبت به دیگر رنگ های مورد بررسی، عدم قطعیت اندازه گیری بیشتر را نیز به دنبال خواهد داشت.

نتیجه دیگر اینکه، افزایش دبی خطوط لوله درصد عدم قطعیت را کاهش می دهد.



شکل ۴-۵- درصد عدم قطعیت اندازه گیری روزانه در پانزدهم ماه مرداد

برای به دست آوردن درصد عدم قطعیت اندازه گیری سالیانه، نیاز به جمع داده های ماهیانه است. محاسبات ماهیانه در ۱۵ هر ماه در سال ۸۶ در قسمت ضمایم آورده شده است. با جمع مقادیر در هر ماه، درصد عدم قطعیت اندازه گیری سالیانه در شکل زیر آورده شده است.



شکل ۵-۵- درصد عدم قطعیت اندازه گیری سالیانه

شکل (۵-۵) درصد عدم قطعیت در اندازه گیری در سال ۸۶ را نشان می دهد. رنگ سفید با کمترین درصد خطا، به عنوان رنگ پیشنهادی انتخاب می شود.

فصل ششم

بررسی تاثیر تابش خورشید بر افت فشار خطوط لوله

۶-۱) مقدمه

در حالیکه راه های مختلفی برای انتقال نفت به بازار فروش صورت می پذیرد، خطوط لوله سریعترین، پر بازده ترین و با صرفه ترین راه برای انتقال این منبع با ارزش انرژی محسوب می شود. به دلیل اینکه نفت خام اغلب در نواحی به دور از بازار عمده که جمعیت و مراکز صنعتی در آن قرار دارد تولید می شود، خطوط لوله اهمیت بیشتری به خود می گیرد که قابلیت انتقال نفت و دیگر محصولات به مقدار زیاد حتی به جوامع دور را دارا هستند. خطوط لوله معمولاً روی سطح زمین و قطر داخلی ۶۱-۲۰ سانتی متر هستند. نفت با سرعت ۵/۵ تا ۱۴/۵ کیلومتر بر ساعت از آن عبور می کند. سرعت انتقال نفت به قطر لوله، فشاری جریان نفت و دیگر عوامل نظیر ویژگی سطح زمین و ویسکوزیته محصول نفتی بستگی دارد. افت فشار جریان از مشکلات مهم در انتقال محصولات نفتی و گاز است. هرگونه عامل در جهت کاهش در افت فشار مد نظر می باشد. هر جریانی همواره با اصطکاک همراه است. یکی از عوامل افت فشار جریان، کار مربوط به اصطکاک به صورت اتلافات ویسکوز در سیالات است. رنگ سطح لوله با جذب انرژی خورشید دمای نفت را تحت تاثیر قرار می دهد که در بخش های قبل به آن پرداخته شد. تغییرات دما، ویسکوزیته و کار لزجت را تغییر می دهد و در نهایت موجب تغییرات افت فشار در لوله می شود.

۶-۲) بررسی مسئله

معادله کلی افت فشار در لوله به سبب اصطکاک از رابطه زیر بدست می آید [۶۳]:

$$\Delta p = \frac{0.5 \rho f_m L V^2}{D} \quad (1-6)$$

در رابطه بالا ρ دانسیته سیال، L طول لوله، V سرعت متوسط جریان، D قطر لوله و f_m ضریب اصطکاک داری است. ضریب اصطکاک داری در معادله (۶-۱) به رژیم جریان بستگی دارد. در جریان آرام، ضریب اصطکاک تنها تابع عدد رینولدز است و مستقل از عدد زبری لوله می باشد.

رابطه زیر ضریب اصطکاک داری برای جریان آرام را نشان می دهد [۶۳].

$$f_m = \frac{64}{Re} \quad (۲-۶)$$

رنگ سطح لوله باعث تفاوت در میزان جذب انرژی خورشیدی در نتیجه تفاوت در تغییرات دمایی در طول لوله خواهد شد. سپس چگالی و لزجت در طول لوله تغییر خواهد کرد. با افزایش دما، چگالی سیال افزایش یافته در نتیجه طبق قانون پیوستگی سرعت جریان افزایش می یابد. لزجت سیال نیز کم شده و در نتیجه کار لزجت کاهش می یابد. در نهایت افزایش دما کاهش افت فشار را حاصل می شود و استفاده از رنگ هایی که دمای سیال را بیشتر افزایش می دهند، افت فشار کمتری را نیز به دنبال خواهند داشت.

البته افت فشار در اثر کار لزجت در جریان آرام بیشتر موثر است. بررسی موردی انجام گرفته مطابق جدول (۳-۴) و در نظر گرفتن تغییرات خواص ترمودینامیکی نفت در برابر تغییرات دما طبق شکل های (۴-۴) و (۶-۴) است. خطی بر هر یک از شکل ها فیت شده است و روابط زیر بدست آمده اند.

$$\mu = 10^{-8}T^4 - 10^{-6}T^3 + 7 \times 10^{-5}T^2 - 0.002T + 0.033 \quad (۴-۶)$$

$$\rho = -0.732T + 869.3 \quad (۳-۶)$$

در دو معادله بالا دما بر حسب درجه سانتی گراد می باشد.

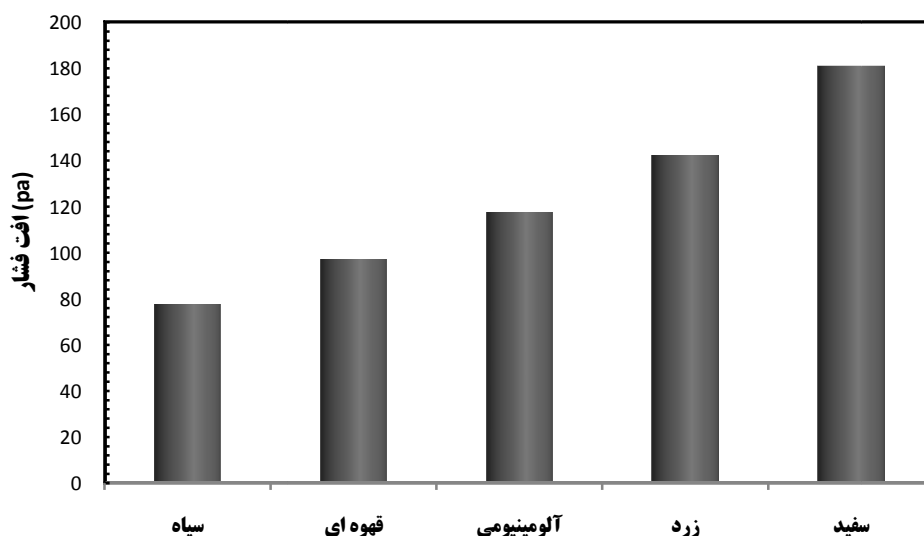
پروفیل دمایی سیال درون لوله و تاثیر تابش خورشید بر آن در بخش های قبل به طور مفصل توضیح داده شدند.

همانطور که نشان داده شد، دمای نفت درون لوله در اعداد رینولدز پایین بر حسب نوع رنگ (ضریب و نشر) به سمت مقدار مشخصی میل می کند و دمای نفت تقریباً ثابت می ماند. چگالی و ویسکوزیته با توجه به اینکه بیشتر تحت تاثیر دما قرار دارند، با ثابت بدون دما، بدون تغییر می مانند و به مقادیر معینی می رسند. جدول زیر دمای توسعه یافته و خواص نظیرش را برای لوله مورد بررسی نشان می دهد.

جدول ۱-۶- بررسی تاثیر رنگ بر خواص نفت در حالت توسعه یافتگی

رنگ لوله	سیاه	قهوه ای	آلومینیومی	زرد	سفید
دمای توسعه یافته (°C)	۵۷	۵۰	۴۵	۴۰	۳۵
چگالی (kg/m ³)	۸۲۷/۳۹	۸۳۲/۶۲	۸۳۶/۳۵	۸۵۸/۳۰	۸۴۳/۷۶
لزجت (pa.s)	۰/۰۰۲۶۴	۰/۰۰۳۳۳	۰/۰۰۴۰۵	۰/۰۰۵۰۳	۰/۰۰۶۳

با توجه به جدول (۱-۶) و معادله داری افت فشار در لوله را برای هر یک از رنگ های مورد نظر در شکل زیر آورده شده است.



شکل ۱-۶- تاثیر رنگ لوله بر افت فشار نفت در لوله

شکل (۱-۶) افت فشار در لوله به ازای رنگ های متفاوت طبق بررسی موردی در جدول (۳-۴) را نشان می دهد. رنگ سفید با کمترین جذب انرژی خورشید در بین رنگ های دیگر، بیشترین افت فشار را نتیجه می دهد. کاهش انرژی جذب شده، کاهش دمای نفت را در پی دارد. کاهش دما نیز، ویسکوزیته و کار لزجت را افزایش می دهد و در نهایت افت فشار بیشتر می شود.

فصل هفتم

بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق، مدلی عملی برای جریان نفت داخل خطوط انتقال بالای سطح زمین به عنوان سیال تراکم ناپذیر ارائه شده است. تغییرات دمایی سطح لوله و جریان نفت در حالتیکه سطح بیرونی لوله در معرض انرژی خورشیدی و جریان باد قرار دارد، مورد بررسی قرار گرفته است. مبادلات تشعشعی سطح لوله با محیط نیز مهم فرض شده و صرف نظر نگردید. تاثیرات رنگ سطح خارجی با ضریب جذب و نشر مورد نظرشان مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج بدست آمده از مدل نشان می دهد:

➤ درجه حرارت متوسط سیال بر خلاف حالت کلاسیک لوله که پروفیل دما به صورت خطی افزایش می یابد، به صورت تابع نمایی افزایش می یابد.

➤ درجه حرارت متوسط سیال در فاصله ای از ابتدای لوله به سمت مقدار معینی میل می کند. که این مقدار به ضریب نشر و جذب رنگ سطح لوله بستگی دارد.

➤ طول توسعه یافتگی به طور مشخص تابع عدد رینولدز می باشد، رابطه طول توسعه یافته با عدد رینولدز نیز ارائه گردید. در اعداد رینولدز پایین، دمای سیال در فاصله ای کمتر از ابتدای لوله به حالت توسعه یافته می رسد.

➤ ضرایب جذب و نشر رنگ سطح لوله به عنوان پارامتر اصلی در توسعه دمایی جریان داخل لوله معرفی شده که قادر به افزایش یا کاهش دمای سطح لوله و دمای سیال داخل لوله، به خصوص برای اعداد رینولدز پایین، می باشند. به طور کلی افزایش ضریب جذب، افزایش دمای سطوح و افزایش ضریب نشر، کاهش دمای سطوح را به همراه دارد.

در بخشی دیگر، تاثیر دما بر عدم قطعیت سیستم اندازه گیری مورد بررسی قرار گرفت. پایانه نفتی خارک به عنوان بررسی موردی انتخاب شد. سپس دمای نفت خام در هنگام اندازه گیری در پایانه های صادرات نفت، بر مبنای شرایط جوی و جغرافیایی جزیره خارک محاسبه شد و تاثیرات رنگ سطح لوله و دبی جریان بررسی گردید. در نهایت تاثیر شرایط رنگ سطح در دبی های مختلف بر عدم قطعیت سیستم اندازه گیری مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج به دست آمده، به شرح زیر می باشد:

- دمای نفت در انتهای لوله در دبی کم و استفاده از رنگ سیاه برای جدار لوله، حداکثر مقدار خود را در بین دیگر رنگ های مورد بررسی دارد.
- درصد عدم قطعیت در اندازه گیری حجم نفت جابجا شده، با استفاده از رنگ سفید به عنوان رنگ جدار لوله، کاهش می یابد و به طور کلی افزایش دما عدم قطعیت اندازه گیری را افزایش می دهد.
- درصد عدم قطعیت در اندازه گیری حجم نفت انتقال یافته، با افزایش دبی، زیاد می شود. در نتیجه حداکثر دبی مجاز در انتقال نفت پیشنهاد می شود.
- در ادامه نیز، تاثیر رنگ سطح لوله بر افت فشار نفت داخل خطوط لوله بررسی شد. استفاده از رنگ سیاه، افزایش دمای نفت، سپس کاهش ویسکوزیته را به همراه دارد. کاهش ویسکوزیته، کم شدن کار لزجت را موجب می شود که افت فشار جریان نفت را کاهش خواهد داد. در نتیجه استفاده از رنگ سیاه که انرژی خورشید بیشتری را جذب می کند، به عنوان رنگ جدار به منظور کاهش افت فشار پیشنهاد می شود.

ضمائم

ضمیمه (الف)

روش های آماری مقایسه نتایج مدل های تابش خورشیدی

روش های آماری مقایسه نتایج مدل های تابش خورشیدی در این بخش تشریح داده شده است. برای مقایسه مدل ها از سنجه های آماری شامل جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، درصد انحراف جذر میانگین مربعات خطا از میانگین داده های اندازه گیری شده (%RMSE)، میانگین خطای اربیبی (MBE)، درصد انحراف MBE از میانگین داده های اندازه گیری شده (%MBE) استفاده شده است. این پارامترها را به صورت زیر می توان بیان کرد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(C_i - M_i)^2}{n}} \quad (A-1)$$

$$\%RMSE = \frac{RMSE}{\bar{M}} \times 100 \quad (A-2)$$

$$MBE = \frac{\sum(C_i - M_i)}{n} \quad (A-3)$$

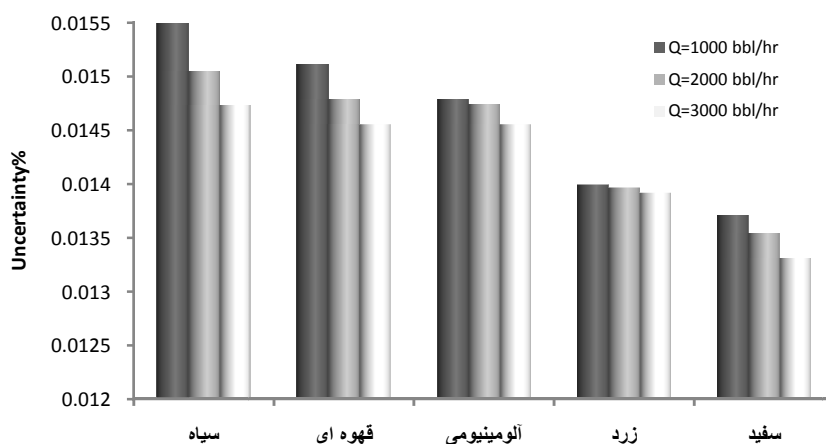
$$\%MBE = \frac{MBE}{\bar{M}} \times 100 \quad (A-4)$$

در این روابط C_i مقدار محاسبه شده به وسیله مدل، M_i مقدار اندازه گیری شده، M میانگین حسابی داده های اندازه گیری شده و n تعداد داده ها می باشد. مقدار RMSE نشان دهنده درستی و اعتبار مدل ها می باشد و هر چه مقدار آن کمتر باشد، دقت مدل بیشتر است. مقادیر مثبت MBE نشان دهنده بیش برآورد کردن مقادیر توسط مدل و مقادیر منفی آن نشان دهنده کم برآورد کردن مقادیر توسط مدل می باشند. برای بررسی صحت مدل ها نمی توان به MBE تکیه کرد، بلکه این متغیر فقط نشان دهنده میزان خطای ناشی از برآورد مقادیر توسط مدل در بلند مدت می باشد.

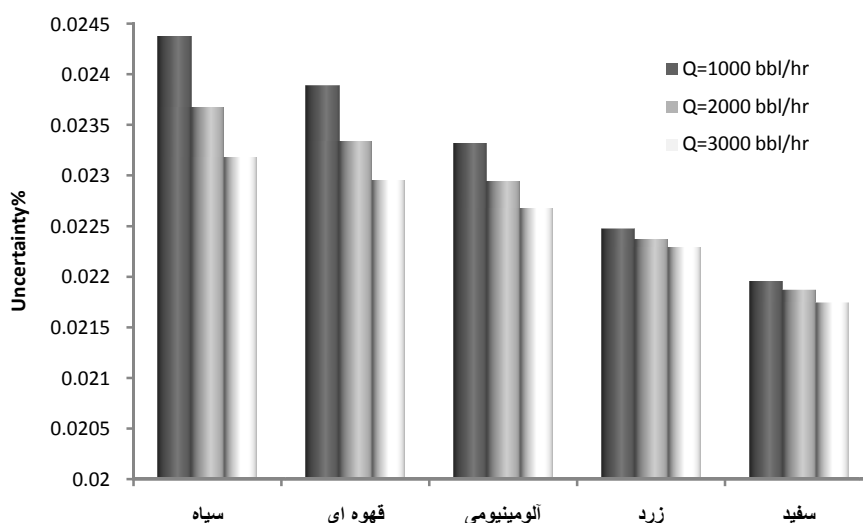
ضمیمه (ب)

درصد عدم قطعیت سیستم های اندازه گیری در ماه های مختلف سال

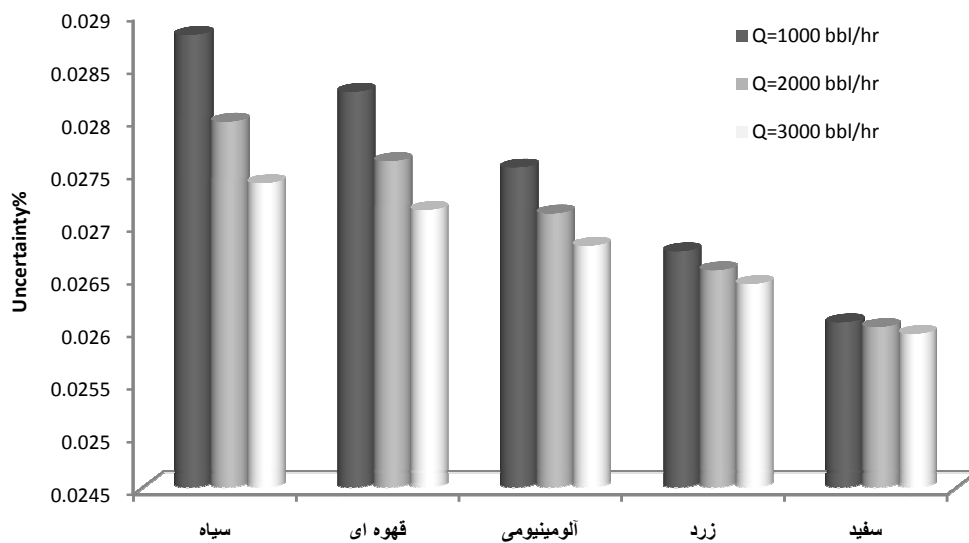
در این قسمت، درصد عدم قطعیت سیستم اندازه گیری جزیره خارک در پانزدهم هر ماه در سال ۸۶ بر اساس رنگ سطح لوله و دبی جریان تهیه شده است.



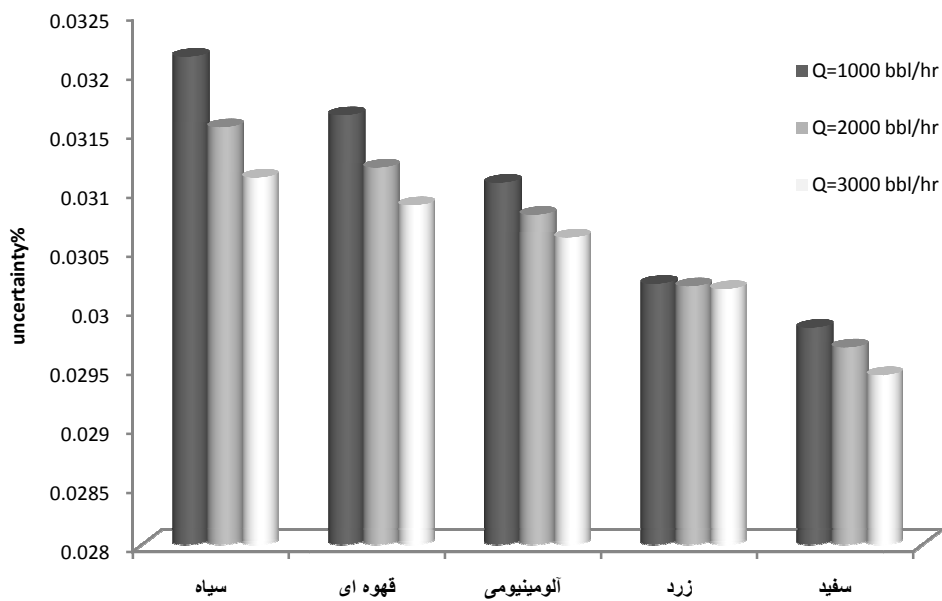
شکل ب- ۱- تاثیر رنگ لوله بر درصد عدم قطعیت سیستم اندازه گیری در پانزدهم فروردین



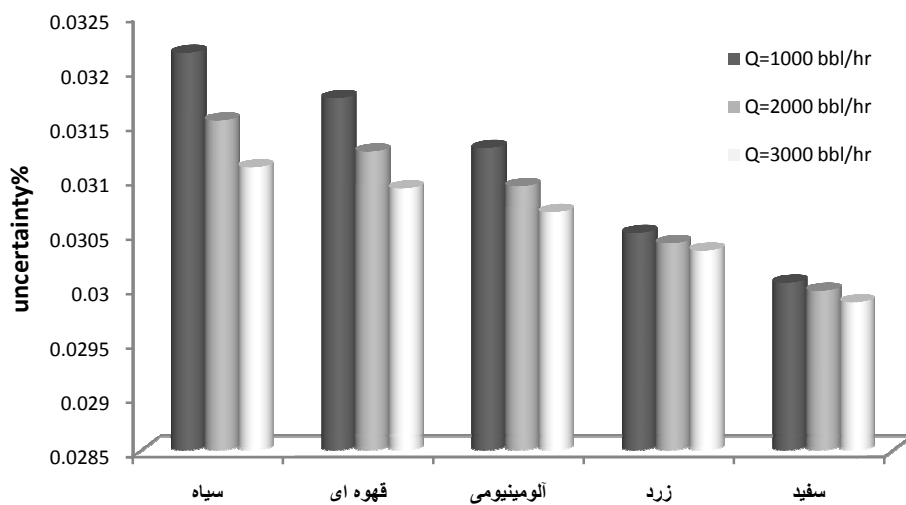
شکل ب- ۲- تاثیر رنگ لوله بر درصد عدم قطعیت سیستم اندازه گیری در پانزدهم اردیبهشت



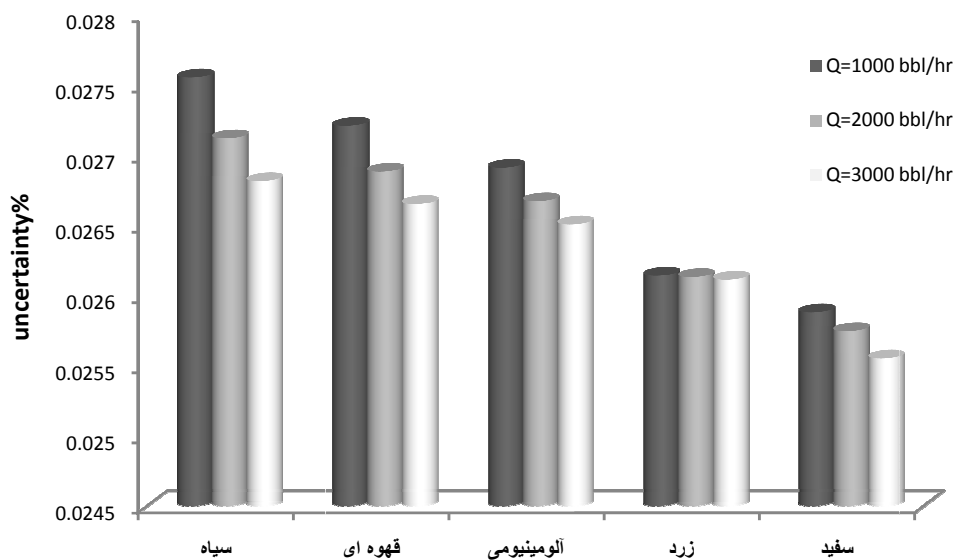
شکل ب- ۳- تاثیر رنگ لوله بر درصد عدم قطعیت سیستم اندازه گیری در پانزدهم خرداد



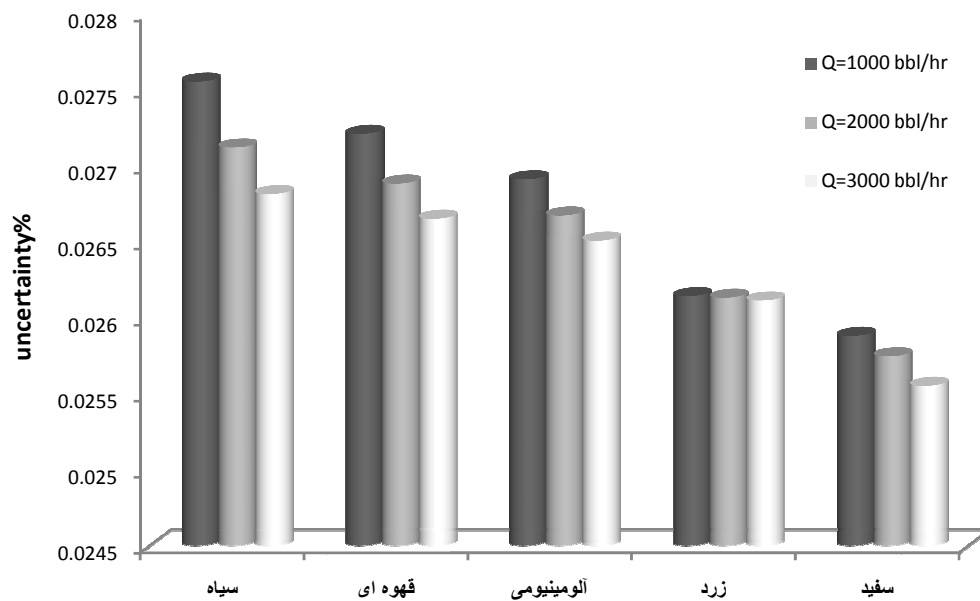
شکل ب- ۴- تاثیر رنگ لوله بر درصد عدم قطعیت سیستم اندازه گیری در پانزدهم تیر



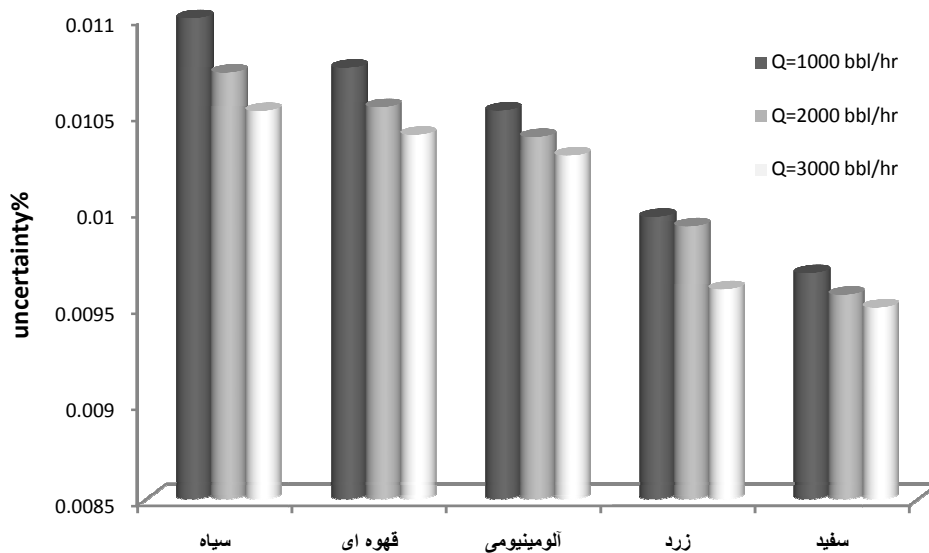
شکل ب- ۵- تاثیر رنگ لوله بر درصد عدم قطعیت سیستم اندازه گیری در پانزدهم شهریور



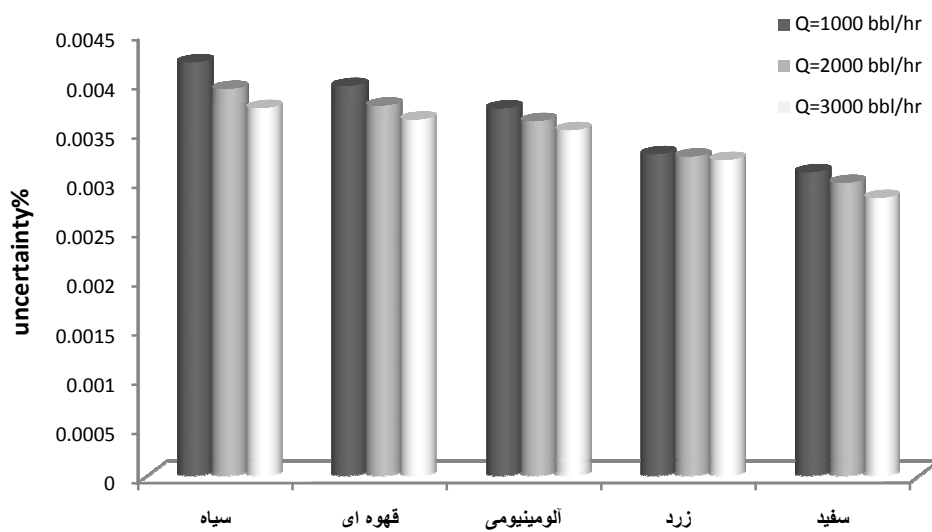
شکل ب- ۶- تاثیر رنگ لوله بر درصد عدم قطعیت سیستم اندازه گیری در پانزدهم مهر



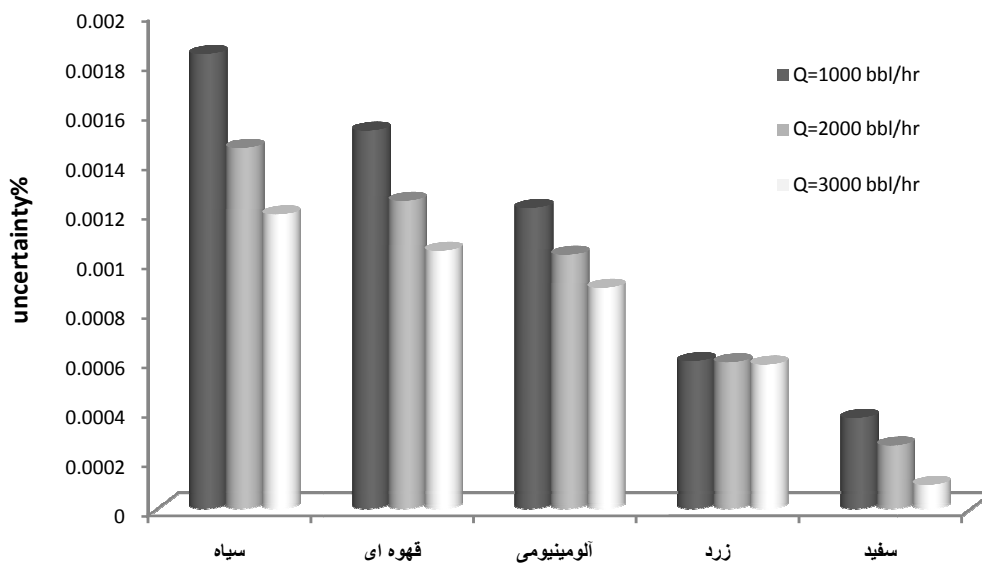
شکل ب- ۷- تاثیر رنگ لوله بر درصد عدم قطعیت سیستم اندازه گیری در پانزدهم آبان



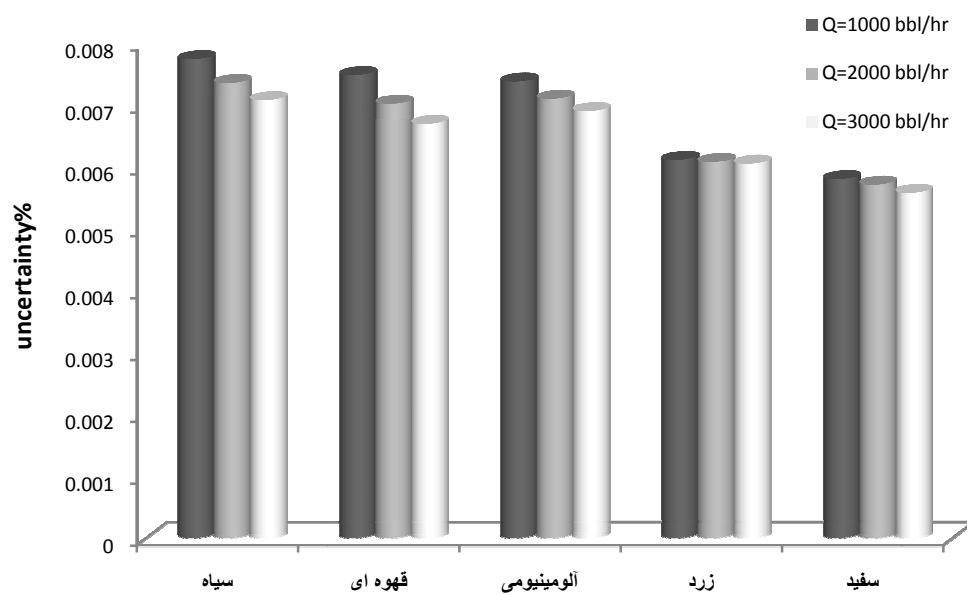
شکل ب- ۸- تاثیر رنگ لوله بر درصد عدم قطعیت سیستم اندازه گیری در پانزدهم آذر



شکل ب- ۹- تاثیر رنگ لوله بر درصد عدم قطعیت سیستم اندازه گیری در پانزدهم دی



شکل ب- ۱۰- تاثیر رنگ لوله بر درصد عدم قطعیت سیستم اندازه گیری در پانزدهم بهمن



شکل ب- ۱۱- تاثیر رنگ لوله بر درصد عدم قطعیت سیستم اندازه گیری در پانزدهم اسفند

مراجع:

- [1] Incropera F. P. and DeWitt D. P. (2002), “*Fundamentals of heat and mass transfer*”, Vol. 1, John Wiley, New York, pp.114.
- [2] Kays W. M. and Crawford M. E. (1993), “*Convective heat and mass transfer*”, Vol. 3, McGraw Hill. New York, pp.23.
- [3] Givoni B. and Hoffman M. E. (1968), “Effect of building materials on internal temperatures, Research Report”, *Building Research Station*, 122, pp 12.
- [4] Fathy H. (1973), “*Architecture for the Poor*”, Vol. 3, University of Chicago Press, Chicago, pp 5–12.
- [5] Whillier D. (1993), “Roof geometry as a determinant of thermal behavior: a comparative study of vaulted and flat surface in a hot-arid zone”, *Architectural Science Review*, 36, pp 75–86.
- [6] Bahadori M. and Haghghat F. (1986), “Performance of adobe structures with domed roofs and moist internal surfaces”, *Thermal Solar Energ*, 36, pp 365–375.
- [7] Runsheng T. and Meir I. A. (2002), “An analysis of absorbed radiation by domed and vaulted roofs as compared with flat roofs”, *Energy and Buildings*, 35, pp 539–548.
- [8] Tang M. F. (2002), “Solar control for buildings”, *Building and Environment*, 37, pp 659–664.
- [9] Bahadori M. (1986), “A simplification of weather data to evaluate daily and monthly energy needs of residential buildings”, *Solar Energ*, 36, pp 564-577.
- [10] Hadavand M. and Yaghoubi M. (2008), “Thermal behavior of curved roof buildings exposed to solar radiation and wind flow for various orientations”, *Applied Energy*, 85, pp 663–679.
- [11] Marwa M. and Beliveau Y. (2005), “*Modeling of an integrated solar system*”, Vol 7, John Wiley, New York, pp.14.
- [12] Wang Xiaoxin., Kendrick C., Ray O. and Maxted J. (2008), “Dynamic thermal simulation of a retail shed with solar reflective coatings”, *Applied Thermal Engineering*, 28, pp 1066–1073.

- [13] Takebayashi H. and Moriyama M. (2007), “Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island”, *Building and Environment*, 42, pp 2971–2979.
- [14] Mohelnikova J. (2007), “Materials for reflective coatings of window glass applications”, *Building and Environment*, 14, pp 191–205.
- [15] Hong L. and Yang H. (2009), “Potential application of solar thermal systems for hot water production in Hong Kong”, *Applied Energy*, 86, pp 175–180.
- [16] . Smitha G. B., Gentlea A., Swifta P., Earpa A. and Mronga N. (2003) , “Coloured paints based on iron oxide and silicon oxide coated flakes of aluminium as the pigment, for energy efficient paint: optical and thermal experiments”, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 79, pp 179–197.
- [17] Hyunjoo H. and Jeong T. K. (2008), “A three dimensional performance analysis of all-glass vacuum tubes with coaxial fluid conduit”, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 35, pp 589-604.
- [18] Koray U. (2009), “Diffuse solar radiation estimation models for Turkey’s big cities”, *Energy Conversion and Management*, 50, pp 149–156.
- [19] Kowsary F. and Pourshaghaghly A. (2007), “Temperature development in pipe flow with uniform surface heat flux condition considering thermal leakage to the ambient”, *Energy Conversion and Management*, 48, pp 2382–2385.
- [20] Yaghoubi M., Azizian K. and Kenary A. (2003), “Simulation of Shiraz solar power plant for optimal assessment”, *Renewable Energy*, 28, pp 1985–1998.
- [21] Kocifaj M. (2009), “Analytical solution for daylight transmission via hollow light pipes with a transparent glazing”, *Solar Energy*, 83, pp 186 –192.
- [22] Bourdoukan P., Wurtz E., Joubert P. and Sperandio M. (2008), “Potential of solar heat pipe vacuum collectors in the desiccant cooling process: Modelling and experimental results”, *Solar Energy*, 82, pp 1209 –1219.
- [23] Chirarattananon S., Chedsiri S. and Renshen L. (2000), “Daylighting through light pipes in the tropics”, *Solar Energy*, 69, pp 331–341.
- [24] Madani H. (2006), “The performance of a cylindrical solar water heater”, *Renewable Energy*, 31, pp 1751–1763.
- [25] Kim J. T., Ahn H. T., Han H., Kim H. T. and Chun W. (2007), “The performance simulation of all-glass vacuum tubes with coaxial fluid conduit”, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 34, pp 587–597.

- [26] Han H., Kim J. T., Ahn H. T. and Lee s. j. (2008), "A three-dimensional performance analysis of all-glass vacuum tubes with coaxial fluid conduit", *International Communications in Heat and Mass Transfer.*, 35, pp 589–596.
- [27] Damasceno M. (2006), "Influence of the Temperature, Pressure and Viscosity on the oil Measurement with Turbine Type Measurers", *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 49, pp 65-71.
- [28] Duffie J. A and Beckman W. A. (1991), "Solar Engineering of Thermal Processes", Vol. 2, Willy, New York.
- [29] Zekai S. (2008), "Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques", Vol. 3, Springer, London, pp.66.
- [30] کمالی غ، مرادی ن، (۱۳۸۴) "تابش خورشیدی (اصول و کاربرد آن در کشاورزی و انرژی های نو) " جلد اول، چاپ دوم، انتشارات پژوهشکده هواشناسی، تهران، ص ۶۷ - ۷۳.
- [31] آزاد ع، پناهنده ح، قائم مقامی ج، گئولا ف، (۱۳۶۶) "انرژی خورشیدی" جلد دوم، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ص ۱۲۹ - ۱۳۴.
- [32] سقطی ا، (۱۳۸۰) "اصول و کاربرد انرژی خورشیدی" جلد اول، چاپ اول، انتشارات دانشگاه علم و صنعت، تهران، ص ۴۰ - ۴۵.
- [33] Sharma V. B. and Mullick S. C. (1991), "Estimation of heat-transfer coefficients, the upward heat flow, and evaporation in a solar still", *ASME Journal of Solar Engineering.*, 113, pp 36–41.
- [34] Francis W. H., Yik T. M. and Chung K. T. (1995), "A method to estimate direct and diffuse radiation in Hong Kong and its accuracy", *Transactions of the Hong Kong Institution of Engineers.*, 2, pp 23–29.
- [35] McQuiston F. C. and Spitler J. D. (1997), "Cooling and Heating Load Calculation Manual", Vol. 2, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, New York, pp.344.
- [36] Holman J. P. (1995), "Heat transfer", Vol. 4, Wiley, New York. pp.265.
- [37] Dittus F. W and Boelter L. M. K. (1930). *Univ. Calif. (Berkeley) pub. Eng.*, Vol. 2, pp.443.
- [38] Lubarsky b. (1955), "review of experimental investigations of liquid-metal heat transfer", Naca Tech. pp. 3336.

- [39] Sieder e. n. and Tate c. e. (1936), “*heat transfer and pressure drop of liquid in tubes*”, Vol. 28, Ind, Eng, Chem, pp.1429.
- [40] Nusselt, w. (1931), “*der warmeaustausch zwischen wand under wasser im rohr*”, vol. 2, forsch. Geb. Ingenieurwes, pp.309.
- [41] Churchill s. w. and Chu h. h. s. (1975), “correlation equations for laminar and turbulent free convection from a horizontal cylinder”, *Int. j. heat mass transfer*, 18, 3, pp. 1049.
- [42] Morgan V. t. (1975), “*the overall convection heat transfer from smooth circular cylinders*,” in advances in heat transfer, t. f. Irvine and j. p. Hartnett., eds., Vol. 11, pp. 199-264, academic, new York.
- [43] Churchill s. w. and Bernstein M. (1997), “A correlating equation for forced convection from gases and liquids to a circular cylinder in crossflow”, *J. Heat transfer*, 99, 4, pp. 300-306.
- [44] Suehrcke H., Peterson E. and Selby N. (2008), “Effect of roof solar reflectance on the building heat gain in a hot climate”, *Energy and Buildings*, 40, 3, pp 2224–2235.
- [45] Sahin A., Kalyon M., (2005), “Maintaining uniform surface temperature along pipes by insulation”, *Energy*, 30, 4, pp 637–647.
- [46] Wang X., Kendrick C., Ogden R. and Maxted J. (2007), “Dynamic thermal simulation of a retail shed with solar reflective coatings”, *Energy*, 22, 3, pp. 637–643.
- [47] Goswami Y. (2007), “*Advances in solar energy*”, Vol. 17, Earthscan, USA, pp. 223.
- [48] Kamali G. A. and Moradi E. (2005), “*Solar radiation fundamentals and application in farms and new energy*”, vol.1, Tehran, pp.234.
- [49] Cooper P. (1969), “The absorption of solar radiation in solar stills”, *Solar Energy*, 12, 3, pp.333–345.
- [50] ASHRAE, Handbook of Fundamentals, American Society of Heating, Refrigeration, and Air-Conditioning Engineers, Inc; 1979.
- [51] Nayak S. K and Sandborn V. A. (1976), “Periodic heat transfer in directly opposed free and forced convection flow”, *Int J Heat Mass Transfer.*, 20, pp 89–94.
- [52] Zijnen B. (1963), “Heat transfer from horizontal cylinders to a turbulent air flow”, *Apply science Research*, 7, pp 205–223.

- [53] خسروی م، (۱۳۴۸)، "شیمی نفت" جلد اول، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ص ۲۸۰ - ۳۰۰.
- [54] Bejan A. and Kraus D. (2003), "*Heat Transfer Handbook*", Vol. 5, Wiley, New York.
- [55] WinTherm Incorporated, WinTherm 8.1.0, 2005.
- [56] Herschy R. (2002), "The uncertainty in a current meter measurement", *Flow Measurement and Instrumentation.*, 13, pp 281-284.
- [57] Miao J. J, Yeh C. f, Hu C. and Chou J. (2005), "On measurement uncertainty of a vortex flowmeter", *Flow Measurement and Instrumentation.*, 16, pp.397-404.
- [58] Herschy R. (1994), "The analysis of uncertainties in the stage-discharge relation", *Flow Measurement and Instrumentation.*, 5, pp 188-190.
- [59] Cheesewright R. and Shaw S. (2006), "Uncertainties associated with finite element modelling of Coriolis mass flow meters", *Flow Measurement and Instrumentation.*, 17, pp 335-347.
- [60] Harshman J. (1995), "*Turbine Meters for Liquid Measurement*", Engineer Primary Flow Signal, Inc.
- [61] Roger C. and Baker. (1993), "Turbine flowmeters: II. Theoretical and experimental published information", *Flow Measurement and Instrumentation.*, 4, pp123-144.
- [62] Ferry, R. (1995), "*Volume correction factor For the Manual of Petroleum Measurement Standards*", American Petroleum Institute, Washington D. C.
- [63] Steeter V., Wylie B. and Bedford K. (1959), "*Fluid Mechanics*", Vol. 9, Wiley, New York, pp.314,

Abstract

A practical analytical model for predicting temperature development of incompressible flow inside an aboveground pipeline has been constructed and presented in this research work. The outer surface of the pipeline is exposed to solar radiation and wind stream. The radiation heat exchange with ambient is also taken into account. The effects of exterior surface paint color which represented by emissivity and absorptivity have been studied. The model has been developed to study crude oil flow temperature development through a specific pipeline. The results obtained by the model show that the bulk temperature inclined to a limiting value in some distance which affected mainly by Reynolds numbers. It is found that emissivity and absorptivity of surface are predominant parameter in temperature development in an aboveground pipeline flow which can increase or decrease pipe surface and fluid temperature especially for low Reynolds number flow. Based on the results which indicated significantly of exterior surface paint color, one should choose the paint color by considering its effects on temperature development.

Accurate crude oil measurement at the metering station is one of main aims in an oil export terminal. The main objective is to decrease or remove any error at the metering station. It is found that crude oil temperature at metering station has big effects on measured volume and may cause big uncertainty at the metering point. As crude oil flows through the pipeline pick up the solar radiation and heat up. This causes the crude oil temperature at the metering point to rise and higher uncertainty to be created. The amount of temperature rise is depended on main pipeline flow rate and pipe paint color. In the Kharg Island, there is about 3 km distance between crude oil storage tanks and the metering point. The crude oil flows through the pipeline due to gravity effects as storage tanks are located 60m higher than metering point. The flow rate could be controlled by the appropriate valves. In this study, based on climate and geographical conditions of the Kharg Island, the temperature at the metering point has been calculated and the effects of main pipe line flow rate and exterior surface paint color have been investigated. Further, the uncertainty in the measurement system due to temperature rise has been studied.