

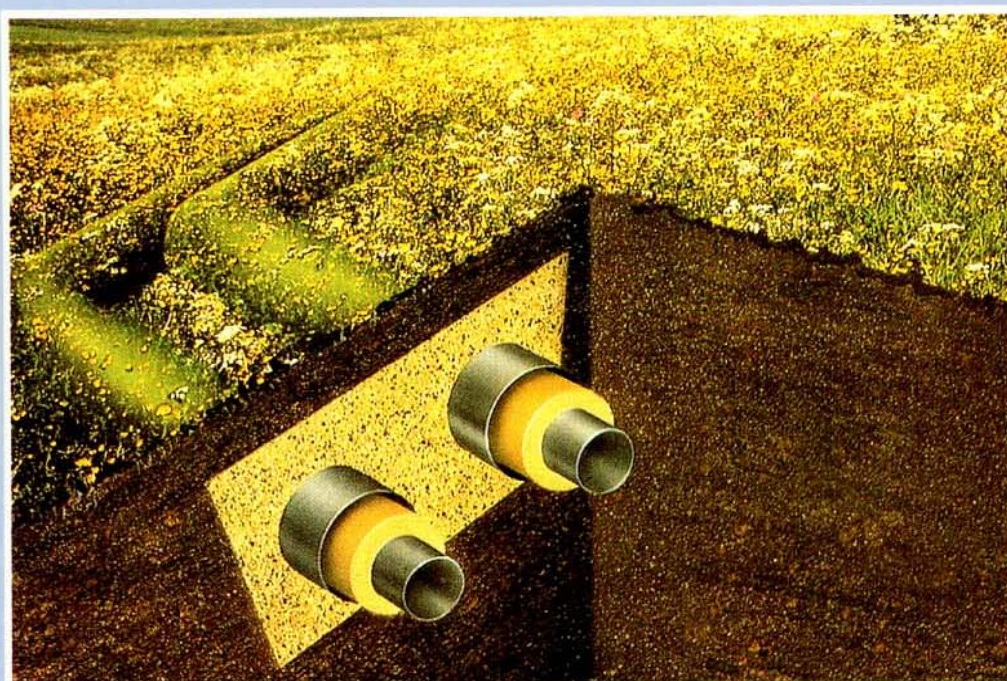


جمهوری اسلامی ایران

وزارت نیرو

اسمرانرژی

## راهنماهای فنی مدیریت انرژی



# ضخامت اقتصادی عایق‌سازی برای لوله‌های آب داغ

۱۲

دفتر بهینه سازی مصرف انرژی

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## پیشگفتار

در طی دهه آینده، هزینه انرژی الکتریکی چه برای گرمایش و سرمایش، چه برای روشنایی و چه بعنوان نیروی محرکه در فرآیند تولید صنعتی، ادارات، مدارس، منازل، ... رشد چشمگیری پیدا خواهد کرد که البته دلایل این رشد، خارج از بحث این نوشتار است.

در عرصه رقابت جهانی در راستای مصرف کمتر (مصرف بهینه) و تولید هرچه بیشتر، کشورها، جوامع و صنایعی موفقتر خواهند بود که در این رقابت که شاید از دیدگاهی بتوان آن را مبارزه برای تنوع بقا و ادامه فعالیت نامید، با تحقیقات و مطالعات موفق به یافتن و پس از آن بکار بردن راههای جلوگیری از اتلاف انرژی شوند.

انرژی بطور عام و انرژی الکتریکی بطور خاص که امروز در اختیار و خدمت هم میهنان عزیز، قرار می گیرد، با هزینه‌ای به مراتب گزافتر تهیه می‌شود ولیکن دولت جمهوری اسلامی ایران با تأمین بخشی از هزینه‌های تولید آن از محل درآمدهای عمومی خود و یا به قیمت عدم انجام بسیاری از پروژه‌های زیربنایی ملی، آنرا بدینگونه در اختیار وا می‌گذارد.

اتلاف این انرژی الکتریکی و اصولاً هر نوع انرژی تولید شده از منابع فسیلی، علاوه بر خسارات مالی جبران‌ناپذیری که دارد، زیانهای غیرقابل انکاری نیز بر محیط زیست ملی ما و جهان وارد خواهد آورد. اکنون سالیان متمادی از زمانی می‌گذرد که کشورهای پیشرفته که حتی برخی از آنها از حداکثر امکانات طبیعی و صنعتی برای تولید انرژی برخوردارند، در کنار تلاش در جهت استفاده از انرژی‌های نو (خورشید، باد، امواج، ...)، استفاده صحیح از انرژی را در رأس اهم اهداف خود قرار داده و صاحبان صنایع، صنعتگران، مدیران سازمانها، ..... و حتی سازندگان ساختمانهای مسکونی و بالاخره استفاده‌کنندگان این بناها را مخاطب قرار داده و با وضع دستورالعملها و در مواردی ضوابط و قوانین بازدارنده، آنها را تشویق، راهنمایی و حتی راهبری در جهت جلوگیری از اتلاف انرژی می‌نمایند.

انجام پاره‌ای از این اقدامات، اگر در زمان مناسب نسبت به اعمال آنها اقدام گردد، حتی هیچگونه هزینه اضافی را نیز تحمیل نخواهد نمود و جهت همه‌گیر شدن جنبش جلوگیری از اتلاف انرژی، دائماً جلسات توجیهی و سمینارهایی برای تصمیم‌گیرندگان برگزار می‌گردد تا از پی‌آمدها و بهتر بگوئیم عواقب مختلف آن آگاه گردند. در کنار اقدامات فوق، تلاش متخصصین و دانشمندان در جهت اختراع، ابداع و تولید وسایل و تجهیزات کارآمد نیز جبهه دیگری است که برای مبارزه با اتلاف انرژی گشوده شده است که از جمله آنها می‌توان به تولید صنعتی تجهیزات و لامپهای پرنرژی، کم مصرف و بادوام اشاره کرد.

با توجه به روند افزایش جمعیت و تبعات آن و هرچه بیشتر مستهلک شدن منابع تولید انرژی، چندان دور نخواهد بود که نه تنها افراد، بلکه جوامع نیز در موقعیتی قرار نداشته باشند که بتوانند به میزان مورد علاقه خود انرژی مصرف نمایند بلکه با هرچه فشرده‌تر شدن جوامع، حتماً اهرمهای ملی و جهانی و خود

محدودکننده‌ای وارد عمل خواهند گردید که ابتکار عمل در زمینه تولید و مصرف انرژی را بعهدہ خواهند گرفت.

علیرغم اینکه کاربرد بعضی از اقدامات صرفه‌جویانه (یا بهتر است گفته شود استفاده صحیح و جلوگیری کننده از اتلاف بیهوده)، نیاز به مقداری سرمایه‌گذاری اولیه دارند که البته میزان آن بستگی به دامنه و وسعت اقدامات بعمل آمده دارد، ولی نکته‌ای که مبرهن و غیرقابل انکار می‌باشد آن است که این سرمایه‌گذاری اولیه در مدت کوتاهی خودبخود مستهلک می‌گردد.

علاوه بر نشست‌ها و سمینارهایی که به آنها اشاره گردید تشکیلات گوناگونی که در کشورهای مختلف جهان جهت سامان دادن به مشکل انرژی و آگاه کردن قشرهای مختلف جامعه ایجاد شده‌اند، اقدام به نشر جزوات، بروشورها و اطلاعیه‌هایی نموده و آنها را در دسترس کلیه افرادی که به نوعی با مصرف و صرفه‌جویی انرژی ارتباط دارند قرار می‌دهند.

در همین راستا، معاونت انرژی وزارت نیرو نیز اقدام به ترجمه و چاپ جزوه‌ای که ملاحظه می‌فرمائید نموده است که در کشور انگلستان و بتوسط "مرکز تحقیقات ساختمان" (Building Research Establishment) "واحد صرفه‌جویی انرژی مرکز تحقیقات ساختمان" (Building Research Energy Conservation Support Unit) "واحد پشتیبانی تکنولوژی انرژی" (Energy Technology Support Unit) "اداره کارائی انرژی" (Energy Efficiency Office) تهیه گردیده‌اند که این معاونت به لحاظ ضرورت تسریع در نشر و ارائه راهنماها و دستورالعملهای فنی، هیچگونه تغییری در ارقام، آمار، نمودارها، جداول و اشکال آن نداده است ولیکن امیدوار است که انشاء... چاپ‌های بعدی این جزوه و همچنین جزوات دیگری که در دست ترجمه و چاپ قرار دارند، براساس آمار و اطلاعات کشور ایران تهیه شده و در اختیار شما قرار داده شوند.

۱ - مقدمه	۶
۲ - تأثیر عایق کاری	۶
۳ - ضخامت اقتصادی عایق	۸
۱ - ۳ - ملاحظات اساسی برای تخمین ضخامت اقتصادی	۱۰
۴ - انواع عایق	۱۱
۵ - تخمین ضخامت اقتصادی	۱۳
۱ - ۵ - استفاده از جداول خاص	۱۴
۲ - ۵ - استفاده از جداول خاص هر مورد	۱۶
۶ - تطابق با شرایط محیطی	۲۱
ضمیمه ۱:	۲۲
ضمیمه ۲:	۲۳
ضمیمه ۳:	۳۵
قطعات عایقی شکل داده شده فیبری سخت	۳۶
قطعات عایقی شکل داده شده سیلیکات کلسیم سخت یا قطعاتی با ۸۵٪ اکسید منیزیم	۴۰
قطعات عایقی شکل داده شده پلی ایزوسیانات سخت یا قطعات پلی اورتان سخت	۴۵
قطعات عایقی شکل داده شده لاستیک نیتریل گسترده و فوم پلی اتیلن	۴۷
ضمیمه ۴:	۴۸

## ۱ - مقدمه

این کتابچه اطلاعاتی را در زمینه ضخامت اقتصادی عایق برای لوله‌های آب داغ ارائه می‌دهد. اطلاعات و توصیه‌های عملی قابل توجهی در این کتابچه ارائه می‌شود تا هم مورد استفاده پرسنل ماهر قرارگیرد و هم بصورت مفاد آموزشی بکار گرفته شود.

هزینه عایق‌بندی از طریق صرفه‌جوئیهای عمده‌ای که به علت کاهش هزینه‌های سوخت ایجاد می‌شود، جبران می‌گردد. این جزوه تشریح می‌کند که چگونه ضخامت عایق را تعیین کنیم تا بهترین نتیجه را باعث گردد. اگرچه مسئله عایق‌بندی لوله‌هایی که تحت دمای محیط کار می‌کنند نیز اهمیت دارد این جزوه تنها در زمینه عایق‌بندی لوله‌های داغ بحث می‌نماید. بویژه مباحث مربوط به لوله‌های سیستمهای آب داغ و گرمایش خانگی و غیرخانگی و لوله‌کشی فرآیند را بیان می‌نماید. اطلاعات و تکنیکها برای تعیین اقتصادی‌ترین ضخامت عایق مطابق با BS 5422:1990 می‌باشد.

هدف این کتابچه آن است که به عنوان راهنمای مفید و خلاصه‌ای برای تعیین ضخامت اقتصادی عایق لوله‌های داغ استفاده گردد. لذا مراجع در این جزوه از همه مدارک گسترده موجود در صنعت عایق‌بندی و موسسه استانداردهای بریتانیا (BSI)<sup>۱</sup> می‌باشند.

کتابچه‌ای تحت عنوان «عایق‌کاری تجهیزات فرآیند و بهره‌وری سوخت» تصویر گسترده‌ای از کاربرد عایق‌کاری برای تجهیزات فرآیند را ارائه می‌دهد و باید توأم با این جزوه مطالعه شود.

## ۲ - تأثیر عایق‌کاری

هر سطحی که داغ‌تر از محیط اطرافش باشد، حرارت از دست می‌دهد نرخ تلفات حرارتی وابسته به عوامل متعددی است اما دما و سطح بیشترین تأثیر را دارند. دمای بیشتر و سطح بزرگتر موجب اتلاف حرارتی بیشتری شوند. افزودن یک لایه عایق به یک سطح داغ دمای سطح خارجی را کاهش می‌دهد. اگرچه هنگامیکه عایق به یک لوله مدور اضافه می‌شود ممکن است مساحت سطح خارجی افزایش یابد اما تأثیر نسبی کاهش دما خیلی بیشتر است و تلفات حرارتی کاهش می‌یابد. بطور مثال یک لوله بدون عایق ۱۵ میلیمتری را در نظر بگیرید که حامل یک سیال گرم بوده و از داخل هوایی با دمای  $20^{\circ}\text{C}$  عبور می‌کند بطوریکه دمای سطح خارجی آن به  $75^{\circ}\text{C}$  می‌رسد. تلفات حرارتی در حدود ۶۰ وات در هر متر طول لوله است. افزودن یک لایه عایق استاندارد با ضخامت ۲۵ میلیمتر مساحت سطح خارجی را تقریباً  $3/5$  برابر افزایش می‌دهد اما دمای سطح خارجی از  $75^{\circ}\text{C}$  حدود  $23^{\circ}\text{C}$  افت می‌کند، تأثیر کلی این کار کاهش تلفات حرارتی از ۶۰ وات به ۱۲ وات در هر متر طول لوله است.

<sup>1</sup> British Standard Institution

تلفات حرارتی باعث صرف هزینه می‌شود. تلفات حرارتی حاصل از یک لوله بدون عایق ۵۰ میلیمتری به طول ۱۰۰ متر، حامل بخار فرآیند با دمای  $100^{\circ}\text{C}$  هزینه‌ای در حدود ۳۰۰۰ پوند در سال خواهد داشت، اگر این بخار توسط یک دیگ بخار گازسوز با هزینه گاز در حدود ۱ پنس بر کیلووات ساعت (یا تقریباً ۳۰ پنس بر واحد حرارتی) تولید شود. اگر یک لایه نازک ۵۰ میلیمتری از عایق مناسب روی آن کشیده شود، این هزینه به ۲۵۰ پوند در سال کاهش می‌یابد. بنابراین سالیانه ۲۷۵۰ پوند صرفه جویی می‌شود.

هنگامیکه دمای سیال فرآیند افزایش می‌یابد هزینه (قابل اجتناب) به شدت افزایش می‌یابد. اگر سیال داغ دارای دمای  $200^{\circ}\text{C}$  باشد، لوله بدون عایق هزینه‌ای حدود ۱۰۰۰۰ پوند در سال خواهد داشت این میزان از تلفات حرارتی معادل تولید ۱kw برق بطور شبانه‌روزی برای بیش از ۲۵ سال می‌باشد. اگر یک لایه عایق با ضخامت ۷۵ میلیمتر روی لوله کشیده شود، این میزان تلفات می‌تواند به ۵۶۰ پوند در سال هم برسد (جهت اطمینان از وجود یک دمای مناسب برای سطح خارجی باید هنگامیکه دمای لوله افزایش می‌یابد ضخامت عایق هم افزایش یابد). بدین ترتیب یک هزینه «قابل اجتناب» ۹۴۴۰ پوند در سال وجود دارد.

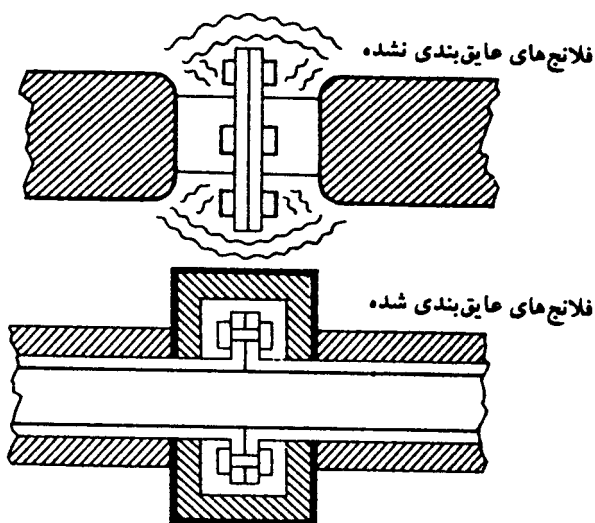
استفاده از عایق بر روی لوله‌های حامل سیال دما بالا، روشی معمول و پذیرفته شده است. نمی‌بایست تصور شود که هر عایق موجود مؤثرترین ترکیب برای کاهش هزینه «قابل اجتناب» است. در بسیاری حالات، لایه‌های ضخیم‌تر عایق به خوبی توجه می‌شوند. تمام سطوح داغ تلفات حرارتی دارند و همانطور که در شکل (۱) نشان داده شده است، بایستی شیرها، فلنچ‌ها<sup>۱</sup> و غیره که اغلب به دلایل مسائل تعمیر و نگهداری، فاقد عایق هستند مورد توجه قرار گیرند. یک شیر فاقد عایق حدوداً برابر با یک متر لوله فاقد عایق با همان قطر، تلفات حرارتی دارد. فلنچ‌های فاقد عایق که دارای سطح کمتری هستند حدوداً نصف این مقدار تلفات دارند. بنابراین یک شیر ۵۰ میلیمتری فاقد عایق حامل بخار فرآیند با دمای  $200^{\circ}\text{C}$  سالانه حدود ۱۰۰ پوند و با عایق مناسب حدود ۶ پوند در سال هزینه صرف می‌کند. عایق‌کاری، تأثیری بر عملکرد شیرها نمی‌گذارد و عایق مربوطه می‌تواند جهت سهولت تعمیر و نگهداری بصورت قطعات ساده قابل جابجائی مورد استفاده قرار گیرد. فایده دیگر عایق‌کاری، دمای یکنواخت‌تر فلز است که باعث کاهش تنش‌های حرارتی القاء شده در سیستم لوله‌کشی می‌شود که این تنش‌ها می‌توانند باعث نشتی در اتصالات شوند.

اگر چه در لوله‌های دمای بالا نوعی عایق‌کاری استفاده می‌شود، در لوله‌های کم دما با قطر داخلی کم یا لوله‌هایی که تنها متناوباً استفاده می‌شوند، عایق‌کاری غالباً صرفنظر می‌شود. با وجود این همانند شیرها و فلنچ‌ها، برای این موارد نیز میزان قابل توجهی صرفه جویی در هزینه «قابل اجتناب» قابل کسب است. بطور مثال، زمان بازگشت سرمایه<sup>۲</sup> برای عایقی با ضخامت ۲۵ میلیمتر روی لوله ۱۵ میلیمتری در یک تأسیسات حرارتی گازی خانگی که دمای کار آن حدوداً ۶۰ - ۷۰ درجه سانتیگراد می‌باشد در جدول ۱ نشان داده شده است. زمان

<sup>1</sup> Flanges

<sup>2</sup> Payback Periods

بازگشت سرمایه عبارت از تعداد سالهایی است که سرمایه‌گذاری اولیه جهت صرفه‌جویی در هزینه، از طریق سوددهی حاصل از این صرفه‌جویی در آن تعداد سالها جبران می‌گردد.



شکل ۱: تلفات حرارتی از طریق فلانچ‌های فاقد حرارت

جدول ۱ زمان بازگشت سرمایه برای عایق‌بندی روی لوله‌کشی حرارت مرکزی خانگی	
تعداد ساعات کار (ساعت)	زمان بازگشت سرمایه (سال)
۱۰۰۰	۲
۲۰۰۰	۱
۳۰۰۰	۰/۷
۴۰۰۰	۰/۵
(در محاسبه زمان بازگشت سرمایه فرض می‌شود که کل هزینه نصب عایق معادل ۲ پوند در هر متر می‌باشد)	

### ۳ - ضخامت اقتصادی عایق

مثالهای ارائه شده در بخش قبل، اشاره‌ای به صرفه‌جویی در هزینه دارد که این کار می‌تواند با استفاده از عایق‌بندی مناسب برای جلوگیری از تلفات حرارتی نامطلوب در لوله‌کشی انجام گیرد. برای یک لوله و شرایط فرآیند خاصی، نرخ تلفات بستگی به ضخامت لایه عایق و عملکرد حرارتی آن دارد.



در اکثر حالات، مهمترین جنبه عملکرد حرارتی عایق، هدایت حرارتی آن است. هدایت حرارتی بعنوان یک خاصیت فیزیکی، رابطه بین نرخ انتقال حرارت از طریق یک ماده و اختلاف درجه حرارت دو سر مسیر انتقال حرارت را بیان می‌نماید. برای ضخامت معینی از یک عایق با کاهش هدایت حرارتی، تلفات حرارتی در آن نیز کاهش می‌یابد. هدایت حرارتی مؤثر یک لایه عایق بستگی به نحوه کار گذاشتن آن نیز دارد زیرا نحوه کارگذاری عایق ممکن است مثلاً بر تعداد فضاهای خالی یا مواد نگهدارنده اثر گذارد. دمای کار بر میزان هدایت حرارتی بسیاری از مواد عایقی نیز تأثیر می‌گذارد (به بخش ۴ «انوع عایق» مراجعه کنید).

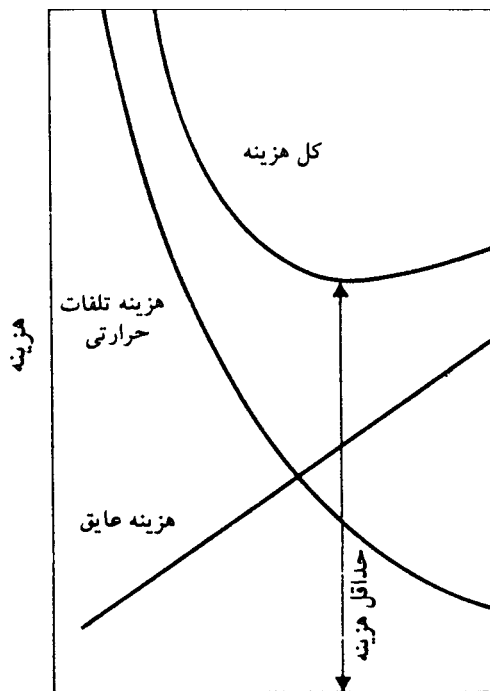
از عوامل دیگری که بر عملکرد حرارتی عایق تأثیر می‌گذارد ویژگیهای سطح خارجی عایق می‌باشد که بر تلفات تشعشعی تأثیر می‌گذارد. بطور مثال تلفات تشعشعی می‌تواند با افزودن یک پوسته فلزی براق به لایه عایق کاهش داده شود. فواید چنین کاری به شرایط واقعی کار بستگی دارد اما میزان ۱۰٪ کاهش در کل تلفات حرارتی غیر عملی نخواهد بود.

معمولاً سازندگان عایقها اطلاعاتی از عملکرد حرارتی آنها فراهم می‌آورند تا از محاسبات پیچیده انتقال حرارت اجتناب شود. اطلاعاتی که معمولاً بعنوان مقادیر «U» شناخته می‌شوند تلفات حرارتی در واحد طول لوله را برای مقادیر مختلفی از قطر لوله، دمای بخار فرآیند و ضخامت عایق ارائه می‌دهند. در حالیکه این اطلاعات جهت تخمین مفید هستند. مهم است که توجه شود که مقادیر، براساس شرایط خارجی ویژه‌ای (اغلب هوای ساکن با دمای ۲۰°C) می‌باشند. هنگامیکه شرایط واقعی کار بطور قابل توجهی با شرایط در نظر گرفته شده برای مقادیر «U» متفاوت باشد باید به این تفاوت توجه کرد.

با انتخاب مناسب نوع و ضخامت عایق می‌توان تلفات حرارتی سیستم‌های لوله‌کشی را به طور مؤثر به صفر رساند. هزینه بهره‌برداری از یک لوله داغ برابر با هزینه تلفات حرارتی به علاوه هزینه هر نوع عایق‌کاری می‌باشد. بطور کلی، با افزایش ضخامت عایق و بهبود عملکرد حرارتی آن هزینه‌ای بعنوان جریمه وجود دارد. اگرچه صرف هزینه بیشتر باعث صرفه‌جویی بیشتر در هزینه می‌شود اما بیش از حد بخصوصی، افزایش هزینه عایق‌بندی در مقابل صرفه‌جویی حاصل قابل توجه نیست.

تأثیر ترکیبی افزایش هزینه به دلیل افزایش ضخامت لایه عایقی و افزایش صرفه‌جویی در هزینه در شرایط خاص بهره‌برداری در شکل ۲ نمایش داده شده است.

حداقل هزینه نشان داده شده در شکل ۲، عبارتست از حداقل مقدار مجموع هزینه‌های عایق‌بندی و تلفات حرارتی که در یک مدت زمان بخصوصی محاسبه می‌گردد (دوره ارزیابی). حداقل هزینه، متناظر با یک ضخامت معین عایق خواهد بود که این ضخامت بعنوان ضخامت اقتصادی عایق‌کاری شناخته می‌شود. در عمل، چون بسیاری از انواع عایقها تنها در ضخامتهای خاصی وجود دارند لذا منحنی‌های نشان داده شده بدین صورت هموار و صاف نیستند. با این وجود، اصول کلی قابل اعمال است.



شکل ۲: ضخامت اقتصادی عایق کاری

### ۱ - ۳ - ملاحظات اساسی برای تخمین ضخامت اقتصادی

اکثر اطلاعاتی که جهت تخمین ضخامت اقتصادی عایق مورد نیاز است از شکل ۲ نتیجه می‌شود. بویژه، اطلاعاتی مربوط به محاسبه هزینه تلفات حرارتی سیستم لوله‌کشی در دوره ارزیابی و هزینه نصب عایق کاری مورد نیاز هستند. هر دو مورد باید برای مقادیر مختلفی از ضخامت عایق محاسبه گردند. در مرجع اصلی این کتابچه، BS 5422:1990 در دوره ارزیابی تعداد کل ساعات کاری است که در این مدت قرار است سرمایه‌گذاری مورد ارزیابی قرارگیرد. بنابراین دوره مزبور مساوی حاصلضرب ساعات کار سالانه و عمر سرمایه‌گذاری برحسب سال است. هزینه‌های سالانه با معنی‌تر از هزینه‌های دوره ارزیابی هستند. در نتیجه، در هر بررسی مربوط به ضخامت اقتصادی، تعیین هزینه‌های سالانه توصیه می‌شود و هزینه‌های دوره ارزیابی بسادگی از اطلاعات سالانه تعیین می‌شوند. بطور ایده‌آل، عمر سرمایه‌گذاری وابسته به عمر مفید عایق است اما اغلب، سیاست شرکتها در خصوص سرمایه‌گذاری، طول زمان کوتاهتری را دیکته می‌نماید. اطلاعات لازم برای بررسی کامل ضخامت اقتصادی می‌تواند بدین صورت خلاصه شود:

۱ - تعیین هزینه سالانه تلفات حرارتی در هر متر از طول لوله

اطلاعات لازم:

- هزینه سوخت (بر حسب واحدهای معمولی خرید بطور مثال پنس بر واحد حرارتی)

- بازده دیگ بخار (برحسب درصد)
- دوره سالانه بهره برداری (برحسب ساعت)
- تلفات حرارتی در هر متر از طول لوله (برحسب وات بر متر) که وابسته است به:

اندازه لوله

دمای بهره برداری

نوع و ضخامت عایق

شرایط محیطی

(روشهای تخمین تلفات حرارتی از روی این اطلاعات در بخش ۵ بیان می شود)

## ۲ - تعیین هزینه عایق کاری

اطلاعات لازم:

- هزینه ماده عایق (برحسب پوند بر هر متر لوله)

- هزینه های فرعی<sup>۱</sup> (برحسب پوند بر هر متر لوله)

- هزینه های نیروی انسانی (برحسب پوند بر هر متر لوله)

## ۳ - تعیین دوره ارزیابی

- عمر سرمایه گذاری (برحسب سال)

- مدت زمان بهره برداری سالانه (برحسب ساعت)

بررسی تعیین ضخامت اقتصادی عایق می تواند با توجه به اصول اولیه و با استفاده از اطلاعات پایه انجام گیرد. این روش می تواند هم جزئیات دقیق یک کاربرد خاص و هم روش استاندارد شرکت را برای ارزیابی بالقوه سرمایه گذاری بصورت توأم بکار گیرد. بطور مثال، تکنیکهای تنزل پول (DCF)<sup>۲</sup> توسط بعضی از سازمانها بکار گرفته می شوند. در طرف مقابل، جداول ضخامتهای اقتصادی براساس مقادیر نمونه هزینه ها و غیره آماده شده اند. استفاده از این جداول ممکن است برای یک حالت خاص جواب بهینه را فراهم نکند اما معمولاً پاسخ بهتری را نسبت به انتخاب دلخواه تأمین می نماید.

قبل از اینکه روشهای دستیابی به مقدار ضخامت اقتصادی را مورد توجه قرار دهیم، بررسی خلاصه ای از انواع عایقهای موجود امری مفید می باشد. انتخاب نوع عایق بر عملکرد حرارتی و هزینه های نصب تأثیر می گذارد.

## ۴ - انواع عایق

مواد عایقی بصورت زیر دسته بندی می شوند:

- غیرآلی: ساخته شده از مواد بدون شکل یا بلوری سیلیکونی/آلومینیمی/کلسیمی

<sup>1</sup> Ancillary

<sup>2</sup> Discounted

- آلی: ساخته شده از پلیمرهای هیدروکربنی بصورت رزین‌های ترموستینگ/ترموپلاستیک<sup>۱</sup> یا پلاستیک‌ها. ماده عایقی می‌تواند بصورت انعطاف‌پذیر یا صلب باشد که هر دو نوع آنها بصورت قطعات لوله‌ای شکل وجود دارند. جدول ۲ فهرستی از انواع عایق‌های عمده را همراه با جزئیات مربوطه ارائه می‌دهد. انواع خاصی از عایق‌ها می‌توانند به صورت اسپری اعمال شوند که این روش بخصوص برای لوله‌های بزرگ مناسب است. از بین مواد عایق فهرست شده در جدول ۲، پشم معدنی و فوم سخت پلی‌اورتان می‌توانند بدین روش بکار گرفته شوند. مواد عایق دیگری که بصورت اسپری بکار گرفته می‌شوند عبارتند از ورمیکولایت<sup>۲</sup> (با حداکثر دمای ۱۱۰۰°C) و سیلیکات آلومینیوم (با حداکثر دمای ۱۲۶۰°C). یک نگهدارنده ممکن است در این موارد لازم باشد. هدایت حرارتی عایق‌ها بطور قابل توجهی با نوع ماده، چگالی و دمای کار آن تغییر می‌کند. جدول ۳ نمونه‌ای از یک مجموعه مواد را ارائه می‌دهد.

جدول ۲: مواد عایقی موجود بصورت قطعات لوله‌ای شکل		
چگالی حجمی معمولی بر حسب $kg/m^3$	حداکثر دمای تقریبی بر حسب $^{\circ}C$	ماده عایقی
۱۵-۱۰۰	۲۳۰	پشم معدنی (شیشه)
۸۰-۱۵۰	۸۵۰	پشم معدنی (سنگی)
۱۸۰-۲۲۰	۳۱۵	اکسید منیزیم
۱۹۰-۲۶۰	۸۰۰	سیلیکات کلسیم
۳۰-۱۶۰	۱۱۰	فوم سخت پلی‌اورتان
۳۰-۶۰	۱۴۰	فوم سخت پلی‌ایزوسیانورات
۳۵-۲۰۰	۱۲۰	فوم سخت فنولیک
۳۰-۴۰	۸۰	پلیتن
۶۰-۱۰۰	۱۱۶	لاستیک مصنوعی

<sup>1</sup> Thermosetting/Thermoplastic Resin

<sup>2</sup> Vermiculite

جدول ۳: هدایت حرارتی مواد عایقی				
هدایت حرارتی W/m.k درجه حرارت °C			چگالی kg/m <sup>3</sup>	مواد عایقی
۳۰۰	۱۰۰	۵۰		
۰/۰۸۳	۰/۰۵۸	۰/۰۵۵	۲۱۰	سیلیکات کلسیم
-	-	۰/۰۳۹	۶۵-۹۰	لاستیک نیتریل گسترده
-	۰/۰۶۵	۰/۰۲۷	۱۶	پشم معدنی (شیشه)
-	۰/۰۲۲	۰/۰۳۵	۴۸	
۰/۰۸۸	۰/۰۲۳	۰/۰۳۷	۱۰۰	پشم معدنی (سنگی)
۰/۰۸۲	۰/۰۵۸	۰/۰۵۵	۱۹۰	اکسید منیزیم
-	۰/۰۲۶	۰/۰۲۳	۵۰	فوم پلی ایزوسیانورات

دمای کار ملاک خوبی برای انتخاب یک ماده عایقی خاص است اما عوامل دیگر مربوط به محیط کار نیز باید به حساب آورده شوند. این عوامل شامل کاربرد داخلی یا خارجی ماده، سطح نهایی مورد نیاز، قيود مقاومتی سازه و قابلیت دسترسی می باشد. اگرچه مواد موجود همگی نیازهای مشترکی را برآورده می سازند اما توجه به این نکته مهم است که ضخامت اقتصادی، با نوع عایق تغییر می کند زیرا که خصوصیات و هزینه های انواع عایقها با یکدیگر متفاوت است.

توضیحات بیشتر در مورد مواد عایقی می تواند در BS 5422:1990 یافت شود. در کتابچه ای تحت عنوان «عایق کاری تجهیزات فرآیند و بهره وری سوخت» اطلاعات عمده ای درباره عایق کاری تعدادی از تجهیزات فرآیندها به همراه توضیحات بیشتری در مورد نتایج نهائی، همراه با تجارب مفید ارائه می شود.

## ۵ - تخمین ضخامت اقتصادی

سه روش مختلف برای تخمین ضخامت اقتصادی وجود دارد. اولین روش به شکل خاصی از جداول آماده شده ای استفاده می کند که این جداول براساس فرضیاتی برای هر قسمت از اطلاعات مورد نیاز جهت تخمین ضخامت اقتصادی پایه گذاری شده است. فرضیات مورد نظر در مورد تعداد زیادی از کاربردها معتبر هستند و استفاده از این جداول بسیار ساده است. بهر حال این روش مقداری خطا دارد چرا که جزئیات خاص مسئله را نمی توان وارد محاسبات نمود. روش دوم و روش صحیح تر تنظیم جداول خاص هر مورد است که جزئیات بخصوص مسئله را بحساب می آورد و لذا ضریب اطمینان بیشتری را فراهم می سازد. این دو روش به تفصیل در این بخش توضیح داده می شوند.

سومین روش تخمین ضخامت اقتصادی، روش حل جبری است که نیاز به مهارت در عملیات ریاضی دارد اما کمترین تعداد مفروضات و بیشترین انعطاف پذیری را در بین سه روش گفته شده دارد این روش تنها باید هنگامی بکاربرده شود که مقدار خیلی دقیق ضخامت مورد نیاز است و حال آنکه اغلب، این کار لزومی ندارد زیرا بسیاری از انواع عایقها تنها در اندازه‌های معینی وجود دارند. به همین دلیل، روش جبری در اینجا توضیح داده نمی‌شود.

## ۱ - ۵ - استفاده از جداول خاص

جداول ضخامت اقتصادی عایقها برای انواع مختلف کاربردها در BS 5422:1990 بیان شده است. ضخامتهای اقتصادی برای مقادیر مختلفی از اندازه لوله، دمای سطح لوله (معمولاً دمای سیال فرآیند) و هدایت حرارتی عایق دسته‌بندی شده است. این جداول در ضمیمه ۲ بصورت زیر آورده شده‌اند:

### • سرویسهای گرمایش و آب داغ غیر خانگی:

سرویسهای گرمایش

جدول ۸	- دیگ بخار با سوخت جامد
جدول ۹	- دیگ بخار گاز سوز
جدول ۱۰	- دیگ بخار نفت سوز
جدول ۱۱	سرویسهای آب داغ

### • سرویسهای گرمایش و آب داغ خانگی:

سرویسهای گرمایش

جدول ۱۲	- نواحی دارای گرمایش
جدول ۱۳	- نواحی بدون گرمایش

### • سرویسهای آب داغ

### • لوله‌کشی فرآیند

جدول ۱۴	- نواحی دارای گرمایش
جدول ۱۵	- نواحی بدون گرمایش

### • لوله‌کشی فرآیند

این جداول ساده‌ترین روش را برای تعیین مقدار ضخامت اقتصادی لازم فراهم می‌کنند اما شرایط کاری تحت مطالعه باید بطور معقولی فرضیات بکار رفته جهت محاسبه مقادیر جدول را برآورده سازد. هنگامیکه اطلاعات مربوط به کاربرد مورد نظر در دسترس نباشد از جداول استفاده می‌کنیم اما اگر اطلاعات در دسترس باشند آنگاه باید توافق مسئله با فرضیات جدول را بررسی کنیم و در صورت توافق از جدول استفاده کنیم. شرایط محیطی در خصوص جداول ۸ تا ۱۶ هوای ساکن با دمای  $20^{\circ}\text{C}$  است مگر آنکه بر خلاف آن بیان شده باشد.

جدول ۴ هزینه‌های سوخت و دوره ارزیابی بکار رفته برای محاسبه مقادیر جدول را برای سه‌گونه کاربرد شامل سرویسهای آب داغ و حرارت مرکزی غیرخانگی، سرویسهای آب داغ و حرارت مرکزی خانگی و لوله‌کشی فرآیند نشان می‌دهد. هزینه‌های سوخت بر حسب پنس بر مگاژول مفید بیان می‌شود که عبارتست از هزینه سوخت بر حسب پنس بر مگاژول تقسیم بر بازده دیگ بخار.

جدول ۴: هزینه‌های سوخت و دوره ارزیابی برای محاسبه ضخامت اقتصادی جداول ۸ تا ۱۶	
دوره ارزیابی ساعت <sup>۱</sup>	هزینه سوخت پنس بر مگاژول مفید
۲۰۰۰۰	سرویسهای آب داغ و حرارت مرکزی غیر خانگی
	سوخت: سوخت جامد ۰/۳۸
	گاز ۰/۵۷
۴۰۰۰۰	نفت ۰/۶۷
	کاربرد: حرارت مرکزی
۱۷۰۰۰	سرویسهای آب داغ و حرارت مرکزی خانگی
	سوخت: گاز ۰/۷۶
	کاربرد: حرارت مرکزی
۹۰۰۰	سرویسهای آب داغ
۴۰۰۰۰	لوله‌کشی فرآیند ۲/۰۶

نکات:

(۱) دوره ارزیابی بر اساس یک کار متناوب نمونه برای تعداد ساعات نشان داده در یک دوره پنج ساله محاسبه شده است (به عنوان مثال برای کاربرد پیوسته غیرخانگی برای ۵ سال = ۴۰۰۰۰ ساعت)

(۲) استنتاج شده از BS 5422:1990

جدول ۱۷ هزینه مفید حرارت را برای سوختهای عمده به ازای مقادیر مختلفی از بهای سوخت که بر حسب واحدهای معمول خرید و بر پایه بازده نمونه دیگهای بخار است، ارائه می‌دهد. برای یک بهای معین خرید، هزینه مفید حرارت می‌تواند مستقیماً از جدول ۱۷ بدست آید. هزینه‌های عایق‌کاری به روش ویژه‌ای که در زیر توصیف می‌گردد بیان می‌شود. بطورکلی، ضخامتهای اقتصادی براساس تخمین هزینه‌های سوخت، عایق‌بندی و نصب بر پایه قیمت‌های سال ۱۹۹۵ میلادی محاسبه شده‌اند.

هزینه‌های عایق‌کاری و نصب با هم ترکیب شده و بعنوان هزینه افزایشی<sup>۱</sup> عایق‌کاری تعریف می‌شود. مقادیر هزینه افزایشی در جداول ۱۸، ۱۹، ۲۰ و ۲۱ ارائه شده‌اند. جداول ۱۸ و ۱۹ به ترتیب مربوط به سرویس‌های آب داغ و حرارت مرکزی غیرخانگی و خانگی هستند. جداول ۲۰ و ۲۱ بر ضخامت تک لایه و دو لایه عایق بر روی لوله‌کشی فرآیند دلالت دارند.

## ۲- ۵- استفاده از جداول خاص هر مورد

هنگامیکه اطلاعات مربوط به یک کاربرد خاص بطور قابل توجهی با فرضیات استفاده شده در محاسبه مقادیر جداول ضخامت اقتصادی (جداول ۸ تا ۱۶) تفاوت داشته باشد، باید محاسبات ویژه‌ای را در باره آن کاربرد خاص انجام داد. ساده‌ترین روش محاسبه، تهیه جدولی است که هزینه کل یعنی هزینه تلفات حرارتی بعلاوه هزینه‌های عایق‌کاری را در دوره ارزیابی برای مقادیر مختلف ضخامت‌های عایق نشان دهد. بنابراین ضخامتی که حداقل هزینه کل را نتیجه دهد بعنوان ضخامت اقتصادی انتخاب می‌گردد.

جدولی بصورت شکل ۳ مورد نیاز و اطلاعات مندرج در بخش ۳ «ضخامت اقتصادی عایق» برای تکمیل کردن این جدول لازم است. مفهوم عناوین در جدول و روش محاسبه مقادیر مربوطه بصورت زیر می‌باشد. جهت وضوح مثال انجام شده در صفحه ۲۵ هر عنوان یا یک شماره مرحله مشخص شده است.

### ضخامت عایق (مرحله ۱)

جدول برای یک دسته مقادیر ممکن ضخامت‌ها تکمیل می‌شود. اگر لازم باشد، لوله بدون عایق یعنی ضخامت عایق برابر با صفر میلیمتر، را می‌توان بعنوان عنصر اول جدول قرار داده و هر یک از ضخامت‌های موجود عایق انتخاب شده را، بعنوان عناصر بعدی در جدول قرار داد. راه دیگر اینست که ضخامت اقتصادی در جدول بعنوان یک راهنما برای مقدار تقریبی ضخامت و مقادیری از ضخامت، نزدیک به این مقدار موجود، استفاده گردد.

ضخامت عایق	تلفات حرارتی	ضرب هزینه	هزینه حرارت تلف شده دوره ارزیابی	هزینه نصب عایق	هزینه کل
میلی‌متر	وات بر متر	هوند بر وات	(هوند بر یک متر از طول لوله)	(هوند بر یک متر از طول لوله)	(هوند بر یک متر از طول لوله)

شکل ۳: نمونه جدول موردنیاز برای جداول خاص هر مورد

<sup>1</sup> Incremental cost



## تلفات حرارتی (مرحله ۲)

نرخ تلفات حرارتی بر حسب وات در هر متر از طول لوله است، این تلفات وابسته به دمای جریان فرآیند، قطر لوله، ضخامت عایق و شرایط محیطی است. تلفات حرارتی می‌تواند براحتی توسط نمودارهای از قبل آماده شده (نمودارهای ۱ الی ۲۵) که تلفات حرارتی را برای انواع عایقها و مقادیری از ضخامت عایقها، قطر لوله‌ها و دما نشان می‌دهد، تعیین گردد. جهت سهولت، این نمودارها در ضمیمه ۳ مجدداً آورده شده‌اند. جدول ۵ بطور مناسبی اطلاعات هر نمودار را خلاصه می‌کند. در هر مورد خاص تحت مطالعه، با توجه به نوع عایق و دمای لوله، نمودار لازم را از جدول ۵ تعیین نمایند. استفاده از این نمودارها در نمودار ۳ که برای یک نوع عایق خاص با قطعات فیبری سخت<sup>۱</sup> و دمای تا ۱۰۰°C است، نشان داده شده است. به‌طور مثال خطوط نقطه‌چین نشان می‌دهند که یک لوله ۵۰ میلیمتری با عایقی به ضخامت ۵۰ میلیمتر دارای نوع تلفات حرارتی برابر با ۲۰ W/m می‌باشد، حال آنکه همان لوله بدون عایق دارای تلفات حرارتی برابر با ۲۴۰ W/m می‌باشد. به روشی مشابه می‌توان مقدار تلفات حرارتی را برای هر ترکیبی از قطر لوله و ضخامت عایق بدست آورد. اگر شرایط محیطی همراه با باد باشد آنگاه باید به بخش ۶ مراجعه کرد.

## ضریب هزینه (مرحله ۳)

ضریب هزینه عبارتست از هزینه یک وات تلفات حرارتی در هر متر از طول لوله در دوره ارزیابی، برحسب پوند. ضریب هزینه وابسته به دوره ارزیابی و هزینه حرارت مفید می‌باشد. مراحل تعیین ضریب هزینه عبارتند از:

۱) تعیین میزان مگاژول حرارتی که در واحد طول لوله در دوره ارزیابی تلف می‌شود با این شرط که نرخ تلفات حرارتی یک وات بر متر باشد. یک وات برابر با یک ژول بر ثانیه است. بنابراین اگر دوره ارزیابی برحسب ساعت بیان شود میزان ژولی که همراه با یک وات تلفات حرارتی تلف می‌شود عبارتست از:

دوره ارزیابی  $\times ۳۶۰۰$

یک مگاژول برابر با یک میلیون ژول (۱۰<sup>۶</sup> ژول) می‌باشد بنابراین میزان مگاژولی که با یک وات تلفات حرارتی تلف می‌شود عبارتست از:

$(۳۶۰۰ \times \text{دوره ارزیابی}) / ۱۰^۶$

۲) تعیین ضریب هزینه که عبارتست از حاصلضرب هزینه حرارت مفید بر حسب پنس بر مگاژول در میزان مگاژول تلف شده یعنی:

$(\text{هزینه} / \text{دوره ارزیابی} \times ۳۶۰۰)$

حاصل را باید بر ۱۰۰ تقسیم کنیم تا ضریب هزینه بر حسب پوند بر وات بیان شود.

<sup>۱</sup> Performed Rigid Fibrous Sections

این دو مرحله می‌توانند بصورت یک فرمول خلاصه شوند:

$$\text{ضریب هزینه} = \frac{\text{پنس}}{\text{مگاژول}} \times \text{دوره ارزیابی} \times \frac{36}{10^6}$$

هزینه حرارت تلف شده در دوره ارزیابی (مرحله ۴)

این هزینه عبارتست از هزینه کل حرارت تلف شده بر واحد طول لوله برای ضخامت خاصی از عایق در دوره ارزیابی. ستون مربوط به تلفات حرارتی، تلفات را بر حسب وات بر متر و ستون ضریب هزینه، هزینه را بر حسب پوند بر وات برای دوره ارزیابی نشان می‌دهند. بنابراین هزینه تلفات حرارتی بصورت زیر محاسبه می‌شود:

ضریب هزینه × تلفات حرارتی

جدول ۵: خلاصه‌ای از نمودارهای تلفات حرارتی (ضمیمه ۳)				
شماره نمودار				دمای سطح لوله (°C)
نوع عایق				
D	C	B	A	
۲۴		۱۱	۱	۵۰
	۲۱			۷۰
۲۵		۱۲	۲	۷۵
	۲۲	۱۳	۳	۱۰۰
	۲۳			۱۲۵
		۱۴	۴	۱۵۰
		۱۵	۵	۲۰۰
		۱۶	۶	۳۰۰
		۱۷	۷	۴۰۰
		۱۸	۸	۵۰۰
		۱۹	۹	۶۰۰
		۲۰	۱۰	۷۰۰

A: قطعات عایقی شکل داده شده فیبری سخت

B: قطعات عایقی شکل داده شده سیلیکات کلسیم یا ۸۵٪ اکسید منیزیم (قطعات عایقی اکسید منیزیم تنها تا ۳۰۰°C)

C: قطعات عایقی شکل داده شده پلی‌ایزوسیانورات یا پلی‌اورتان (قطعات عایقی پلی‌اورتان تنها تا ۱۰۰°C)

D: قطعات عایقی شکل داده شده لاستیک نیتریل گسترده و فوم پلی‌اتیلن

## هزینه نصب عایق (مرحله ۵)

عبارتست از کل هزینه عایق‌کاری در هر متر از طول لوله شامل هزینه مواد عایقی، هزینه نصب، سطح نهایی تمام شده، مواد نگهدارنده و غیره. این هزینه باید برای هر ضخامتی از عایق مورد نظر محاسبه شود.

## هزینه کل (مرحله ۶)

این هزینه عبارتست از مجموع هزینه تلفات حرارتی در دوره ارزیابی و هزینه نصب عایق‌کاری.

مثال:

مثال زیر کاربرد روش جدول‌بندی در هر مورد خاص را برای محاسبه ضخامت اقتصادی نشان می‌دهد. یک سیستم گرمایشی غیرخانگی، بخار را در دمای  $100^{\circ}\text{C}$  از طریق لوله‌های ۵۰ میلیمتری استفاده می‌نماید. بخار توسط یک دیگ بخارگازی که دارای بازده ۷۰٪ است تأمین می‌شود و هزینه گاز ۲۸ پنس بر واحد حرارتی است. قرار است از ماده عایق فیبری شکل داده شده‌ای (با هدایت حرارتی  $0.050\text{ W/(m.k)}$ ) استفاده شود. هزینه کل عایق نصب شده با ضخامتهای گوناگون موجود از طرف سازنده بصورت زیر می‌باشد:

ضخامت ۱۹ میلیمتر	۱/۴ پوند بر متر
۲۵ میلیتر	۲ پوند بر متر
۳۲ میلیتر	۲/۳ پوند بر متر
۳۸ میلیتر	۲/۹ پوند بر متر
۵۰ میلیتر	۸/۴ پوند بر متر

دوره ارزیابی ۲۲۰۰۰ ساعت است (عمر سرمایه‌گذاری ۵ سال با  $4400$  ساعت بهره‌برداری سالانه) و می‌توان فرض نمود که لوله‌کشی در محیطی با هوای ساکن و دمای  $20^{\circ}\text{C}$  است.

## مرحله ۱: ضخامت عایق

برای این مسئله، جدول ۹ نشان می‌دهد که ضخامت اقتصادی عایق تا ۳ میلیمتر است (نتیجه حاصل از جدول‌بندی برای یک لوله با قطر خارجی  $60/3$  میلیمتر که نزدیکترین مقدار به مسئله مورد نظر ما می‌باشد). در نتیجه، محاسبات پیرامون این ضخامت مورد نیاز است و اولین تخمین برای ضخامت اقتصادی باید ۲۵ میلیمتر باشد. حال می‌توان مقادیر هر ستون از جدول تخمین را محاسبه نمود.

## مرحله ۲: تلفات حرارتی

نمودار ۳، نمودار تلفات حرارتی مناسب برای این مسئله است که نشان می‌دهد یک لوله ۵۰ میلیمتری با عایق فیبری شکل داده شده با ضخامت ۲۵ میلیمتر دارای نرخ تلفات حرارتی برابر با  $30\text{ W/m}$  می‌باشد.

مرحله ۳: ضریب هزینه

جدول ۱۷ نشان می‌دهد که هزینه مفید حرارت برای یک دیگ بخار گازی با بازده ۷۰٪ و هزینه سوخت ۲۲/۱۶ پنس بر واحد حرارتی، ۰/۳ پنس بر مگاژول و برای سوختی با هزینه ۲۹/۵۴ پنس بر واحد حرارتی، ۰/۴ پنس بر مگاژول است. در این مسئله خاص هزینه گاز ۲۸ پنس بر واحد حرارتی بوده و باید هزینه مفید حرارت محاسبه شود. برای این کار با یک تناسب ساده می‌توان هزینه مفید را بصورت زیر محاسبه کرد:

$$\text{مگاژول/پنس} = 0/38 = \left[ \frac{0/3}{22/16} \right] = \text{هزینه مفید}$$

مدت زمان محاسبه ۲۲۰۰۰ ساعت است و لذا ضریب هزینه عبارتست از:

$$\text{وات/پوند} = 0/3 = 22000 \times 0/38 \times \frac{36}{100}$$

توجه کنید که ضریب هزینه برای ضخامتهای مختلف عایق یکسان است.

#### مرحله ۴: هزینه حرارت تلف شده در دوره ارزیابی

حاصلضرب ضریب هزینه در حرارت تلف شده برابر با هزینه حرارت تلف شده است. بنابراین:

$$\text{متر/پوند} = 9 = 30 \times 0/3 = \text{هزینه حرارت}$$

#### مرحله ۵: هزینه نصب عایق

در این مسئله این هزینه برابر با ۲ پوند بر متر داده شده است.

#### مرحله ۶: هزینه کل

مجموع هزینه حرارت و هزینه نصب عایق (مرحله ۴ + مرحله ۵) هزینه کل می‌باشد.

$$\text{متر/پوند} = 11 = 9 + 2 = \text{هزینه کل}$$

برای مقادیر دیگر ضخامت نیز محاسبات مشابهی انجام گرفته و نتایج در جدول ۶ درج شده‌اند. این جدول نشان می‌دهد که حداقل هزینه، جهت عایقی با ضخامت ۳۸ میلیمتر می‌باشد و بایستی ضخامت عایق این مقدار انتخاب گردد. توجه کنید که در این مثال ضخامت اقتصادی حاصل از روش جدول بندی تقریباً برابر با مقدار حاصل از جداول از قبل آماده می‌باشد. این مطلب برای هر کاربرد صادق نیست. همچنین باید بخاطر داشته باشیم که مقادیر هزینه کل به شدت وابسته به معیارهای سرمایه‌گذاری سازمان می‌باشد.

جدول ۶: مثال تعیین ضخامت اقتصادی توسط جدول بندی					
ضخامت عایق	تلفات حرارتی	ضریب هزینه	هزینه تلفات	هزینه نصب عایق	هزینه کل
(mm)	(w/m)	(£/w)	(£/m)	(£/m)	(£/m)
۲۵	۳۰	۰/۳	۹	۲	۱۱
۳۲	۲۶	۰/۳	۷/۸	۲/۳	۱۰/۱۰
۳۸	۲۳	۰/۳	۶/۹	۲/۹	۹/۸
۵۰	۲۰	۰/۳	۶	۸/۴	۱۴/۴

## ۶- تطابق با شرایط محیطی

تمام روشهایی که در بالا اشاره شد بر اساس شرایط محیطی با هوای ساکن و دمای  $20^{\circ}C$  محاسبه شده‌اند. حرکت هوا که در اکثر حالات عملی از باد ناشی می‌شود و دماهای مختلف محیط می‌تواند تأثیر بسزایی روی میزان تلفات حرارتی و در نتیجه روی ضخامت اقتصادی عایق داشته باشد. به عنوان مثال، بادی با سرعت  $30$  کیلومتر بر ساعت تلفات حرارتی را تقریباً بین  $4$  تا  $6$  برابر افزایش می‌دهد.

احتساب دقیق این آثار نیازمند بکاربردن معادلات اساسی انتقال حرارت است که در ضمیمه ۴ بیان شده است. بهرحال مقادیر تلفات حرارتی بیان شده در نمودارهای ۱ تا ۲۵ در ضمیمه ۳ که در روش جدول‌بندی برای ارزیابی ضخامت اقتصادی استفاده می‌شوند می‌توانند براحتی برای در نظر گرفتن آثار باد تصحیح شوند.

جدول ۷ ضرایب تصحیح سرعت باد را ارائه می‌دهد. مقدار تلفات حرارتی حاصل از نمودارهای ۱ تا ۲۵ باید در ضرایب نشان داده شده در جدول ۷ ضرب شوند.

ضرایب بیان شده در جدول ۷ مربوط به سطوح با شدت انتشار زیاد، متوسط و کم دلالت بر طبیعت سطح خارجی عایق دارند. بعنوان یک راهنمایی، سطح رنگ شده معمولاً دارای خاصیت انتشار باد، فولاد اکسید شده دارای خاصیت انتشار متوسط و آلومینیم صیقلی دارای خاصیت انتشار کم می‌باشند. اگر اطلاعاتی از سرعت باد در دسترس نباشد آنگاه مقادیر زیر توصیه می‌شوند:

سرعت باد برای مکانهای سرپوشیده	۱ متر بر ثانیه
سرعت باد برای مکانهای عادی	۳ متر بر ثانیه
سرعت باد برای مکانهای روباز	۱۰ متر بر ثانیه

جدول ۷: ضرایب تصحیح سرعت باد			
ضرایب			سرعت باد
سطح با خاصیت انتشار کم	سطح با خاصیت انتشار متوسط	سطح با خاصیت انتشار زیاد	(متر بر ثانیه)
۱	۱	۱	هوای ساکن
۱/۵۸	۱/۴۴	۱/۳۵	۱
۲/۱۱	۱/۸۱	۱/۶۵	۲
۲/۷۲	۲/۲۵	۲	۳
۳/۸۶	۳	۲/۶	۵
۶/۳۲	۴/۷۵	۴	۱۰

## ضمیمه ۱:

برخی از تبدیلات مفید

تبدیل ضرایب برای واحدهایی که در این کتابچه استفاده شده‌اند:

انگلیسی		SI		
°F	=	$32 + 1/8 \times$	°C	دما
in		$0.0254 \times$	mm	طول
ft	=	$3/2808 \times$	W	
gal	=	$0.22 \times$	liters	حجم
ton	=	$0.9842 \times$	tonne	وزن
therm	=	$9/4782 \times$	GJ	انرژی
Btu/ft.h	=	$1/04 \times$	W/Linear m	نرخ جریان حرارتی
Btu in/ft <sup>2</sup> h°F	=	$6/9335 \times$	W/mk	هدایت حرارتی
Btu /ft <sup>2</sup> h°F	=	$0.176 \times$	W/m <sup>2</sup> k	ثابت هدایت حرارتی
				برای سوخت نفت سنگین مقدار لیتر در تن = ۱۰۲۰
				برای سوخت نفت متوسط مقدار لیتر در تن = ۱۰۴۰
				برای گازوئیل مقدار لیتر در تن = ۱۱۸۰

ضمیمه ۲:

جدول اقتباس شده از BS 5422:1990

جدول ۸: ضخامت اقتصادی عایق برای تأسیسات حرارتی غیر خانگی تغذیه شده بوسیله دیگ بخار یا سوخت جامد												قطر خارجی لوله نولادی که روی آن ضخامت عایق افزوده می شود.
دمای سطح داغ (°C) (با محیطی با هوای ساکن در دمای ۲۰°C)												
+۱۵۰				+۱۰۰				+۷۵				برحسب (mm) <sup>۱</sup>
هدایت حرارتی در دمای متوسط (W/m.k)												
۰/۰۷	۰/۰۵۵	۰/۰۴	۰/۰۲۵	۰/۰۷	۰/۰۵۵	۰/۰۴	۰/۰۲۵	۰/۰۷	۰/۰۵۵	۰/۰۴	۰/۰۲۵	
ضخامت عایق (mm)												
۲۲	۲۸	۳۵	۲۲	۲۶	۲۲	۲۱	۱۷	۲۳	۲۰	۱۷	۱۴	۱۷/۲
۲۴	۳۰	۳۶	۲۳	۲۷	۲۵	۲۲	۱۷	۲۴	۲۲	۱۸	۱۵	۲۱/۳
۲۵	۳۲	۳۸	۲۴	۲۸	۲۶	۲۴	۲۰	۲۵	۲۳	۲۰	۱۷	۲۶/۹
۲۷	۳۴	۳۹	۲۵	۳۱	۲۷	۲۵	۲۰	۲۶	۲۴	۲۱	۱۷	۳۳/۷
۲۹	۳۵	۴۱	۲۵	۳۲	۲۸	۲۵	۲۱	۲۷	۲۵	۲۲	۱۸	۳۲/۲
۴۱	۳۶	۴۲	۲۶	۳۳	۲۹	۲۶	۲۲	۲۸	۲۵	۲۳	۱۸	۳۸/۳
۴۳	۳۸	۴۳	۲۷	۳۵	۳۱	۲۷	۲۳	۲۹	۲۶	۲۴	۱۹	۶۰/۳
۴۵	۴۰	۴۵	۲۸	۳۶	۳۳	۲۸	۲۳	۳۱	۲۷	۲۴	۲۰	۷۶/۱
۴۶	۴۲	۴۶	۲۹	۳۷	۳۳	۲۸	۲۴	۳۲	۲۸	۲۴	۲۰	۸۸/۹
۴۸	۴۴	۴۷	۳۱	۳۹	۳۵	۳۰	۲۵	۳۳	۲۹	۲۵	۲۱	۱۱۴/۳
۵۰	۴۵	۴۸	۳۱	۴۱	۳۶	۳۱	۲۵	۳۴	۳۰	۲۶	۲۲	۱۳۹/۷
۵۲	۴۶	۴۰	۳۲	۴۲	۳۷	۳۲	۲۵	۳۵	۳۱	۲۶	۲۲	۱۶۸/۳
۵۴	۴۸	۴۲	۳۳	۴۳	۳۸	۳۳	۲۶	۳۶	۳۲	۲۷	۲۲	۲۱۹/۱
۵۵	۴۹	۴۳	۳۴	۴۴	۳۹	۳۴	۲۶	۳۶	۳۳	۲۷	۲۳	۲۷۳
۶۰	۵۳	۴۵	۳۵	۴۷	۴۲	۳۵	۲۷	۳۸	۳۴	۲۸	۲۳	بیش از ۳۲۳/۹ و از جمله سطح مسطح

(۱) قطرهای خارجی مطابق BS 3600 هستند. برای لوله کشی مسی با قطرهای خارجی مشابه با

بالا، همین ضخامت عایق استفاده می شود.

جدول ۹: ضخامت اقتصادی عایق برای تأسیسات حرارتی غیرخانگی تغذیه شده بوسیله دیگ بخار با سوخت گاز												
دمای سطح داغ (°C) (با محیطی با هوای ساکن در دمای ۲۰°C)											قطر خارجی لوله	
+۱۵۰			+۱۰۰			+۷۵						فولادی که ضخامت
هدایت حرارتی در دمای متوسط (W/m.k)											عایق روی آن	
۰/۰۷	۰/۰۵۵	۰/۰۴	۰/۰۲۵	۰/۰۷	۰/۰۵۵	۰/۰۴	۰/۰۲۵	۰/۰۷	۰/۰۵۵	۰/۰۴	۰/۰۲۵	افزوده می شود.
ضخامت عایق (mm)											بر حسب (mm) <sup>۱</sup>	
۳۷	۳۴	۲۹	۲۴	۳۱	۲۷	۲۴	۲۰	۲۶	۲۴	۲۲	۱۷	۱۷/۲
۳۹	۳۶	۳۲	۲۶	۳۳	۲۹	۲۵	۲۲	۲۷	۲۵	۲۳	۱۸	۲۱/۳
۴۲	۳۸	۳۳	۲۷	۳۴	۳۱	۲۷	۲۳	۲۹	۲۶	۲۴	۲۰	۲۶/۹
۴۴	۴۰	۳۵	۲۸	۳۶	۳۳	۲۸	۲۴	۳۱	۲۷	۲۵	۲۱	۳۳/۷
۴۷	۴۲	۳۷	۳۰	۳۸	۳۴	۳۰	۲۵	۳۲	۲۹	۲۵	۲۲	۴۲/۴
۴۸	۴۴	۳۸	۳۱	۳۹	۳۵	۳۱	۲۵	۳۳	۳۰	۲۶	۲۲	۴۸/۳
۵۰	۴۶	۳۹	۳۳	۴۱	۳۷	۳۲	۲۶	۳۵	۳۲	۲۷	۲۳	۶۰/۳
۵۲	۴۸	۴۲	۳۴	۴۳	۳۹	۳۴	۲۷	۳۶	۳۳	۲۸	۲۴	۷۶/۱
۵۳	۴۹	۴۳	۳۵	۴۵	۴۰	۳۵	۲۸	۳۷	۳۴	۲۹	۲۴	۸۸/۹
۵۶	۵۱	۴۵	۳۶	۴۷	۴۲	۳۶	۲۹	۳۹	۳۵	۳۱	۲۵	۱۱۴/۳
۵۹	۵۳	۴۷	۳۷	۴۸	۴۳	۳۷	۳۰	۴۱	۳۶	۳۲	۲۵	۱۳۹/۷
۶۱	۵۶	۴۸	۳۸	۵۰	۴۵	۳۸	۳۱	۴۲	۳۷	۳۲	۲۵	۱۶۸/۳
۶۵	۵۸	۵۱	۴۰	۵۲	۴۶	۴۰	۳۲	۴۴	۳۸	۳۳	۲۶	۲۱۹/۱
۶۸	۵۹	۵۲	۴۱	۵۳	۴۷	۴۱	۳۳	۴۵	۴۰	۳۴	۲۷	۲۷۳
۷۲	۶۳	۵۴	۴۲	۵۸	۵۱	۴۳	۳۴	۴۷	۴۲	۳۶	۲۷	بیش از ۳۲۳/۹ و از جمله سطوح مسطح

(۱) قطرهای خارجی مطابق BS 3600 هستند. برای لوله کشی مسی با قطرهای خارجی مشابه با

بالا، همین ضخامت عایق استفاده می شود.



جدول ۱۰: ضخامت اقتصادی عایق برای تأسیسات حرارتی غیرخانگی تغذیه شده بوسیله دیگ بخار با سوخت نفت												
دمای سطح داغ (°C) (با محیطی با هوای ساکن در دمای ۲۰°C)												قطر خارجی لوله فولادی که ضخامت عایق روی آن افزوده می شود.
+۷۵				+۱۰۰				+۱۵۰				
هدایت حرارتی در دمای متوسط (W/m.k)												بر حسب (mm) <sup>۱</sup>
۰/۰۷	۰/۰۵۵	۰/۰۴	۰/۰۲۵	۰/۰۷	۰/۰۵۵	۰/۰۴	۰/۰۲۵	۰/۰۷	۰/۰۵۵	۰/۰۴	۰/۰۲۵	
ضخامت عایق (mm)												
۲۰	۲۶	۳۲	۲۶	۳۳	۲۹	۲۶	۲۲	۲۸	۲۵	۲۳	۱۸	۱۷/۲
۲۳	۳۸	۳۴	۲۷	۳۵	۳۲	۲۷	۲۳	۲۹	۲۷	۲۴	۱۹	۲۱/۳
۲۵	۴۱	۳۵	۲۹	۳۶	۳۳	۲۹	۲۴	۳۲	۲۸	۲۵	۲۱	۲۶/۹
۲۷	۴۳	۳۷	۳۱	۳۸	۳۵	۳۱	۲۶	۳۳	۲۹	۲۶	۲۲	۳۳/۷
۵۰	۴۵	۳۹	۳۲	۴۱	۳۷	۳۲	۲۶	۳۵	۳۲	۲۷	۲۳	۴۲/۴
۵۱	۴۶	۴۱	۳۳	۴۲	۳۸	۳۳	۲۷	۳۶	۳۳	۲۸	۲۴	۴۸/۳
۵۲	۴۹	۴۳	۳۵	۴۴	۳۹	۳۵	۲۸	۳۷	۳۴	۲۹	۲۵	۶۰/۳
۵۵	۵۰	۴۵	۳۶	۴۶	۴۲	۳۶	۲۹	۳۹	۳۵	۳۱	۲۵	۷۶/۱
۵۷	۵۱	۴۶	۳۷	۴۸	۴۳	۳۷	۳۰	۴۱	۳۶	۳۲	۲۵	۸۸/۹
۶۰	۵۲	۴۸	۳۹	۴۹	۴۴	۳۸	۳۱	۴۳	۳۸	۳۳	۲۶	۱۱۴/۳
۶۳	۵۷	۵۰	۴۱	۵۱	۴۷	۴۱	۳۳	۴۴	۳۹	۳۴	۲۷	۱۳۹/۷
۶۶	۵۹	۵۲	۴۲	۵۲	۴۸	۴۲	۳۳	۴۵	۴۱	۳۵	۲۷	۱۶۸/۳
۶۹	۶۲	۵۴	۴۳	۵۶	۵۱	۴۳	۳۴	۴۷	۴۲	۳۶	۲۸	۲۱۹/۱
۷۱	۶۴	۵۵	۴۵	۵۷	۵۲	۴۴	۳۵	۴۸	۴۳	۳۷	۲۹	۲۷۳
۷۷	۶۹	۶۰	۴۷	۶۲	۵۵	۴۷	۳۷	۵۲	۴۵	۳۸	۳۱	بیش از ۳۲۳/۹ و از جمله سطوح مسطح

(۱) قطرهای خارجی مطابق BS 3600 هستند. برای لوله کشی مسی با قطرهای خارجی مشابه با بالا، همین ضخامت عایق استفاده می شود.

جدول ۱۱: ضخامت اقتصادی عایق برای سرویسهای آب داغ غیرخانگی

دمای آب +۶۰°C												قطر خارجی لوله لوله‌ای که ضخامت عایق روی آن الزوده می‌شود. بر حسب (mm)
سخت جامد				گاز				نفت				
هدایت حرارتی در دمای متوسط (W/m.k)												
۰/۰۷	۰/۰۵۵	۰/۰۴	۰/۰۲۵	۰/۰۷	۰/۰۵۵	۰/۰۴	۰/۰۲۵	۰/۰۷	۰/۰۵۵	۰/۰۴	۰/۰۲۵	
ضخامت عایق (mm)												
۲۴	۳۱	۳۷	۲۲	۳۲	۲۸	۲۴	۲۰	۲۷	۲۲	۲۱	۱۷	۱۷/۲
۳۶	۳۲	۳۸	۲۳	۳۲	۳۰	۲۶	۲۲	۲۸	۲۵	۲۲	۱۸	۲۱/۳
۳۸	۳۴	۳۹	۲۴	۳۵	۳۲	۲۸	۲۳	۲۹	۲۷	۲۳	۲۰	۲۶/۹
۴۰	۳۶	۴۱	۲۶	۳۷	۳۳	۲۹	۲۴	۳۱	۲۸	۲۴	۲۰	۳۳/۷
۴۲	۳۸	۴۳	۲۸	۳۹	۳۴	۳۱	۲۵	۳۳	۳۰	۲۶	۲۱	۴۲/۴
۴۳	۳۹	۴۴	۲۹	۴۰	۳۶	۳۲	۲۶	۳۴	۳۱	۲۷	۲۲	۴۸/۳
۴۵	۴۱	۴۶	۳۰	۴۲	۳۸	۳۳	۲۷	۳۶	۳۲	۲۸	۲۳	۶۰/۳
۴۷	۴۲	۴۷	۳۱	۴۴	۴۰	۳۵	۲۸	۳۷	۳۴	۲۹	۲۳	۷۶/۱
۴۸	۴۴	۴۸	۳۲	۴۵	۴۱	۳۶	۲۹	۳۸	۳۵	۳۰	۲۴	۸۸/۹
۵۱	۴۶	۵۰	۳۳	۴۷	۴۳	۳۷	۳۰	۴۰	۳۶	۳۱	۲۵	۱۱۴/۳
۵۴	۴۷	۵۱	۳۴	۵۰	۴۴	۳۸	۳۱	۴۱	۳۷	۳۲	۲۵	۱۳۹/۷
۵۶	۵۱	۵۲	۳۴	۵۲	۴۵	۳۹	۳۲	۴۲	۳۸	۳۳	۲۶	۱۶۸/۳
۵۹	۵۳	۵۴	۳۵	۵۵	۴۷	۴۱	۳۳	۴۴	۳۹	۳۴	۲۶	۲۱۹/۱
۶۱	۵۵	۵۵	۳۶	۵۷	۵۱	۴۲	۳۴	۴۵	۴۰	۳۵	۲۷	۲۷۳
۶۵	۵۹	۵۱	۴۰	۶۱	۵۴	۴۴	۳۵	۵۰	۴۲	۳۶	۲۹	بیش از ۳۳۳/۹ و از جمله سطوح مسطح

(۱) قطرهای خارجی مطابق BS 3600 هستند. برای لوله‌کشی مسی با قطرهای خارجی مشابه با

بالا، همین ضخامت عایق استفاده می‌شود.

جدول ۱۲: ضخامت اقتصادی عایق برای تأسیسات حرارت مرکزی خانگی در نواحی دارای گرمایش					
آب با دمای +۷۵°C همراه با محیطی با هوای ساکن و دمای +۲۰°C					قطر خارجی لوله مسی (mm)
هدایت حرارتی در دمای +۲۰°C (W/m.k)					
۰/۰۴۵	۰/۰۴	۰/۰۳۵	۰/۰۳	۰/۰۲۵	
ضخامت عایق (mm)					
۲۷	۲۰	۱۹	۱۸	۱۷	۱۰
۲۹	۲۱	۲۰	۱۹	۱۸	۱۲
۳۱	۲۹	۲۱	۱۹	۱۸	۱۵
۳۳	۳۲	۲۰	۲۹	۲۰	۲۲
۳۵	۳۴	۳۲	۳۰	۲۱	۲۸
۳۷	۳۵	۳۲	۳۲	۲۲	۳۵
۳۹	۳۷	۳۵	۳۳	۲۲	۴۲
۴۰	۳۹	۳۷	۳۵	۲۳	۵۴
۳۸	۳۶	۳۴	۳۱	۲۹	سطوح مسطح

جدول ۱۳: ضخامت اقتصادی عایق برای تأسیسات حرارت مرکزی خانگی در نواحی بدون گرمایش					
آب با دمای +۷۵°C همراه با محیطی با هوای ساکن و دمای -۱°C					قطر خارجی لوله مسی (mm)
هدایت حرارتی در دمای +۲۰°C (W/m.k)					
۰/۰۴۵	۰/۰۴	۰/۰۳۵	۰/۰۳	۰/۰۲۵	
ضخامت عایق (mm)					
۳۲	۳۲	۲۱	۲۰	۱۹	۱۰
۳۴	۳۲	۲۲	۲۱	۲۰	۱۲
۳۵	۳۳	۳۲	۲۲	۲۱	۱۵
۳۶	۳۵	۳۴	۳۲	۲۲	۲۲
۳۶	۳۶	۳۶	۳۴	۲۳	۲۸
۳۹	۳۸	۳۷	۳۵	۲۴	۳۵
۴۰	۳۹	۳۸	۳۷	۲۵	۴۲
۴۰	۳۹	۳۸	۳۷	۲۶	۵۴
۴۵	۴۳	۴۰	۳۷	۳۴	سطوح مسطح

جدول ۱۴: ضخامت اقتصادی عایق برای سیستمهای آب گرم خانگی در نواحی دارای گرمایش					
آب با دمای +۶۰°C همراه با محیطی با هوای ساکن و دمای +۲۰°C					قطر خارجی لوله مسی (mm)
هدایت حرارتی در دمای +۲۰°C (W/m.k)					
۰/۰۲۵	۰/۰۴	۰/۰۳۵	۰/۰۳	۰/۰۲۵	
ضخامت عایق (mm)					
۱۵	۱۲	۱۲	۱۲	۱۳	۱۰
۱۶	۱۵	۱۲	۱۲	۱۳	۱۲
۱۷	۱۶	۱۴	۱۲	۱۳	۱۵
۱۸	۱۷	۱۶	۱۵	۱۴	۲۲
۱۹	۱۸	۱۶	۱۵	۱۴	۲۸
۱۹	۱۹	۱۷	۱۷	۱۵	۳۵
۲۰	۱۹	۱۸	۱۷	۱۵	۲۲
۲۱	۲۰	۱۹	۱۸	۱۶	۵۴
۲۵	۲۴	۲۴	۲۲	۲۰	سطوح مسطح

جدول ۱۵: ضخامت اقتصادی عایق برای سیستمهای آب گرم خانگی در نواحی بدون گرمایش					
آب با دمای +۶۰°C همراه با محیطی با هوای ساکن و دمای -۱°C					قطر خارجی لوله مسی (mm)
هدایت حرارتی در دمای +۲۰°C (W/m.k)					
۰/۰۴۵	۰/۰۴	۰/۰۳۵	۰/۰۳	۰/۰۲۵	
ضخامت عایق (mm)					
۱۸	۱۷	۱۶	۱۵	۱۲	۱۰
۱۹	۱۸	۱۷	۱۶	۱۵	۱۲
۱۹	۱۹	۱۷	۱۷	۱۵	۱۵
۲۱	۲۰	۲۰	۱۸	۱۶	۲۲
۳۰	۲۱	۲۰	۱۹	۱۷	۲۸
۳۱	۲۲	۲۱	۲۰	۱۸	۳۵
۳۲	۲۳	۲۲	۲۰	۱۹	۲۲
۳۳	۲۳	۲۳	۲۱	۲۰	۵۴
۳۱	۲۹	۲۵	۲۵	۲۳	سطوح مسطح

جدول ۱۶: ضخامت اقتصادی عایق برای لوله کشی فرآیند و تجهیزات مربوطه

دمای سطح داغ در دمای متوسط (°C) (با محیطی با هوای ساکن و دمای +۲۰°C)

															قطر خارجی لوله فولادی (mm)
+۳۰۰					+۲۰۰					+۱۰۰					
هدایت حرارتی در دمای متوسط (W/m.K)															
۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۲	
ضخامت عایق (mm)															
۷۰	۶۶	۶۱	۵۷	۵۲	۵۹	۵۶	۵۲	۴۹	۴۵	۴۱	۳۸	۳۵	۳۱	۲۸	۱۷/۲
۷۳	۷۰	۶۵	۶۰	۵۵	۶۲	۵۸	۵۴	۵۰	۴۶	۴۳	۴۰	۳۷	۳۷	۳۹	۲۱/۳
۷۸	۷۳	۶۹	۶۴	۵۹	۶۷	۶۳	۵۹	۵۴	۵۰	۴۶	۴۳	۳۹	۳۵	۳۱	۲۶/۹
۸۲	۷۷	۷۲	۶۶	۶۱	۶۹	۶۵	۶۱	۵۶	۵۲	۴۸	۴۴	۴۰	۳۶	۳۳	۳۳/۷
۹۰	۸۴	۷۹	۷۳	۶۷	۷۷	۷۲	۶۷	۶۱	۵۶	۵۳	۴۹	۴۵	۴۰	۳۶	۳۲/۴
۹۵	۸۸	۸۲	۷۷	۷۰	۸۰	۷۵	۷۰	۶۴	۵۹	۵۵	۵۱	۴۷	۴۲	۳۸	۳۸/۳
۱۰۲	۹۶	۸۹	۸۲	۷۶	۸۶	۸۱	۷۵	۶۹	۶۳	۵۹	۵۵	۵۰	۴۵	۴۱	۶۰/۳
۱۰۷	۱۰۱	۹۴	۸۶	۷۸	۹۰	۸۵	۷۹	۷۳	۶۷	۶۲	۵۷	۵۲	۴۷	۴۲	۷۶/۱
۱۱۲	۱۰۵	۹۸	۹۰	۸۳	۹۴	۸۹	۸۲	۷۶	۷۰	۶۴	۵۹	۵۴	۴۹	۴۴	۸۸/۹
۱۱۶	۱۰۹	۱۰۱	۹۳	۸۵	۹۷	۹۱	۸۵	۷۹	۷۳	۶۶	۶۲	۵۶	۵۰	۴۵	۱۰۱/۶
۱۱۸	۱۱۱	۱۰۳	۹۵	۸۷	۹۹	۹۳	۸۷	۸۰	۷۶	۶۸	۶۳	۵۷	۵۲	۴۶	۱۱۴/۳
۱۲۵	۱۱۸	۱۱۰	۱۰۲	۹۴	۱۰۵	۹۹	۹۲	۸۴	۷۸	۷۱	۶۶	۶۰	۵۴	۴۹	۱۳۹/۷
۱۳۳	۱۲۶	۱۱۷	۱۰۷	۱۰۱	۱۱۱	۱۰۵	۹۸	۹۰	۸۳	۷۶	۷۰	۶۴	۵۸	۵۲	۱۶۸/۳
۱۴۲	۱۳۳	۱۲۲	۱۱۴	۱۰۵	۱۱۹	۱۱۲	۱۰۴	۹۵	۸۷	۸۰	۷۴	۶۷	۶۰	۵۴	۲۱۹/۱
۱۴۶	۱۳۷	۱۲۷	۱۱۷	۱۰۸	۱۲۲	۱۱۵	۱۰۶	۹۸	۸۹	۸۲	۷۶	۶۹	۶۲	۵۵	۲۲۲/۵
۱۵۱	۱۴۲	۱۳۲	۱۲۰	۱۱۳	۱۲۶	۱۱۸	۱۱۰	۱۰۰	۹۴	۸۴	۷۸	۷۱	۶۴	۵۶	۲۷۳
۱۵۳	۱۴۵	۱۳۵	۱۲۳	۱۱۵	۱۳۲	۱۲۳	۱۱۴	۱۰۴	۹۴	۸۶	۸۰	۷۳	۶۶	۵۸	۲۲۳/۹
۱۵۶	۱۴۷	۱۳۷	۱۲۵	۱۱۶	۱۳۴	۱۲۵	۱۱۶	۱۰۷	۹۷	۸۸	۸۱	۷۴	۶۷	۵۹	۳۵۵/۶
۱۵۹	۱۵۰	۱۴۰	۱۲۸	۱۱۸	۱۳۶	۱۲۷	۱۱۸	۱۰۹	۱۰۰	۹۰	۸۳	۷۶	۶۹	۶۲	۴۰۶/۲
۱۶۳	۱۵۳	۱۴۳	۱۳۲	۱۲۱	۱۳۸	۱۲۹	۱۲۰	۱۱۱	۱۰۲	۹۱	۸۴	۷۷	۷۰	۶۳	۴۵۷
۱۶۵	۱۵۶	۱۴۶	۱۳۴	۱۲۴	۱۴۱	۱۳۲	۱۲۳	۱۱۴	۱۰۵	۹۳	۸۶	۷۹	۷۲	۶۵	۵۰۸
۱۷۰	۱۶۱	۱۵۱	۱۳۷	۱۲۷	۱۵۱	۱۴۲	۱۳۳	۱۲۴	۱۱۳	۱۰۵	۹۸	۸۷	۷۸	۷۲	بیش از ۵۰۸ و از جمله سطوح مسطح

ادامه جدول ۱۶

دمای سطح داغ در دمای متوسط (°C) (با محیطی با هوای ساکن و دمای +۲۰°C)																				قطر خارجی لوله فولادی (mm)
+۷۰۰					+۶۰۰					+۵۰۰					+۴۰۰					
هدایت حرارتی در دمای متوسط (W/m.k)																				
۰/۱۱	۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۴	
ضخامت عایق (mm) (نگاه کنید به نکته)																				
۱۱۹	۱۱۷	۱۰۹	۱۰۴	۹۹	۱۰۷	۱۰۳	۹۸	۹۳	۸۹	۹۵	۹۱	۸۶	۸۱	۷۶	۸۳	۷۹	۷۴	۶۹	۶۴	۱۷/۲
۱۲۵	۱۲۰	۱۱۵	۱۱۰	۱۰۵	۱۱۳	۱۰۸	۱۰۳	۹۸	۹۳	۱۰۱	۹۶	۹۱	۸۶	۸۱	۸۸	۸۳	۷۸	۷۳	۶۸	۲۱/۳
۱۳۳	۱۲۸	۱۲۳	۱۱۸	۱۱۳	۱۲۰	۱۱۵	۱۱۰	۱۰۵	۱۰۰	۱۰۷	۱۰۳	۹۸	۹۳	۸۷	۹۴	۸۹	۸۳	۷۸	۷۳	۲۶/۹
۱۳۷	۱۳۲	۱۲۷	۱۲۱	۱۱۶	۱۲۲	۱۱۹	۱۱۲	۱۰۸	۱۰۳	۱۱۱	۱۰۶	۱۰۰	۹۵	۸۹	۹۷	۹۲	۸۷	۸۱	۷۶	۳۳/۷
۱۵۲	۱۴۷	۱۴۰	۱۳۴	۱۲۸	۱۳۷	۱۳۲	۱۲۶	۱۲۰	۱۱۳	۱۲۳	۱۱۷	۱۱۱	۱۰۵	۹۹	۱۰۷	۱۰۲	۹۶	۸۹	۸۳	۳۲/۴
۱۵۸	۱۵۲	۱۴۶	۱۴۰	۱۳۴	۱۴۳	۱۳۸	۱۳۲	۱۲۵	۱۱۹	۱۲۸	۱۲۲	۱۱۶	۱۰۹	۱۰۳	۱۱۲	۱۰۶	۱۰۰	۹۳	۸۷	۳۸/۳
۱۷۲	۱۶۵	۱۵۸	۱۵۱	۱۴۴	۱۵۳	۱۴۹	۱۴۲	۱۳۵	۱۲۸	۱۳۸	۱۳۲	۱۲۵	۱۱۸	۱۱۱	۱۲۱	۱۱۵	۱۰۸	۱۰۱	۹۴	۶۰/۳
۱۸۰	۱۷۳	۱۶۶	۱۵۹	۱۵۲	۱۶۳	۱۵۶	۱۴۹	۱۴۲	۱۳۵	۱۴۶	۱۳۹	۱۳۲	۱۲۴	۱۱۷	۱۲۷	۱۲۱	۱۱۴	۱۰۶	۹۹	۷۶/۱
۱۸۹	۱۸۱	۱۷۲	۱۶۶	۱۵۹	۱۷۰	۱۶۳	۱۵۶	۱۴۸	۱۴۱	۱۵۲	۱۴۵	۱۳۸	۱۳۰	۱۲۳	۱۳۳	۱۲۶	۱۱۸	۱۱۰	۱۰۳	۸۸/۹
۱۹۵	۱۸۷	۱۸۰	۱۷۲	۱۶۴	۱۷۷	۱۶۹	۱۶۱	۱۵۳	۱۴۵	۱۵۷	۱۵۰	۱۴۲	۱۳۳	۱۲۶	۱۳۸	۱۳۰	۱۲۳	۱۱۴	۱۰۶	۱۰۱/۶
۱۹۸	۱۹۱	۱۸۳	۱۷۵	۱۶۷	۱۸۱	۱۷۳	۱۶۵	۱۵۷	۱۴۹	۱۶۰	۱۵۳	۱۴۵	۱۳۷	۱۲۹	۱۴۰	۱۳۳	۱۲۵	۱۱۶	۱۰۹	۱۱۴/۳
۲۱۱	۲۰۲	۱۹۵	۱۸۷	۱۷۹	۱۹۰	۱۸۲	۱۷۵	۱۶۷	۱۵۸	۱۷۱	۱۶۳	۱۵۵	۱۴۶	۱۳۸	۱۴۹	۱۴۱	۱۳۳	۱۲۴	۱۱۶	۱۳۹/۷
۲۲۷	۲۱۸	۲۰۹	۲۰۰	۱۹۱	۲۰۵	۱۹۶	۱۸۸	۱۷۸	۱۷۰	۱۸۲	۱۷۳	۱۶۵	۱۵۶	۱۴۷	۱۵۹	۱۵۱	۱۴۲	۱۳۲	۱۲۳	۱۶۸/۳
۲۳۳	۲۲۳	۲۱۳	۲۰۳	۱۹۰	۲۰۰	۱۹۰	۱۸۰	۱۷۰	۱۶۰	۱۷۶	۱۶۶	۱۵۶	۱۴۶	۱۳۶	۱۴۷	۱۳۷	۱۲۷	۱۱۷	۱۰۷	۲۱۹/۱
۲۵۰	۲۴۰	۲۳۰	۲۲۰	۲۱۰	۲۲۶	۲۱۶	۲۰۶	۱۹۶	۱۸۶	۲۰۱	۱۹۲	۱۸۲	۱۷۱	۱۶۱	۱۷۵	۱۶۵	۱۵۶	۱۴۵	۱۳۵	۲۲۴/۵
۲۵۸	۲۴۸	۲۳۸	۲۲۷	۲۱۷	۲۳۵	۲۲۴	۲۱۳	۲۰۲	۱۹۱	۲۰۷	۱۹۸	۱۸۸	۱۷۶	۱۶۶	۱۸۰	۱۷۰	۱۶۰	۱۴۹	۱۳۹	۲۷۳
۲۶۲	۲۵۲	۲۴۲	۲۳۲	۲۲۲	۲۴۰	۲۲۹	۲۱۸	۲۰۷	۱۹۶	۲۱۲	۲۰۲	۱۹۳	۱۸۱	۱۷۱	۱۸۴	۱۷۳	۱۶۳	۱۵۳	۱۴۲	۳۲۳/۹
۲۷۱	۲۶۱	۲۵۱	۲۴۰	۲۳۰	۲۴۵	۲۳۵	۲۲۴	۲۱۲	۲۰۱	۲۱۶	۲۰۶	۱۹۷	۱۸۵	۱۷۷	۱۸۸	۱۷۸	۱۶۸	۱۵۷	۱۴۶	۳۵۵/۶
۲۷۹	۲۶۹	۲۵۷	۲۴۵	۲۳۳	۲۵۲	۲۴۱	۲۳۰	۲۱۸	۲۰۷	۲۲۳	۲۱۳	۲۰۲	۱۸۹	۱۸۱	۱۹۲	۱۸۱	۱۷۱	۱۶۰	۱۴۹	۳۰۶/۳
۲۸۹	۲۷۸	۲۶۶	۲۵۴	۲۴۲	۲۶۱	۲۵۰	۲۳۸	۲۲۵	۲۱۳	۲۳۱	۲۲۰	۲۰۹	۱۹۶	۱۸۷	۱۹۸	۱۸۷	۱۷۶	۱۶۵	۱۵۳	۳۵۷
۲۹۶	۲۸۵	۲۷۳	۲۶۰	۲۴۸	۲۶۷	۲۵۶	۲۴۴	۲۳۱	۲۱۸	۲۳۷	۲۲۶	۲۱۳	۲۰۰	۱۹۱	۲۰۲	۱۹۱	۱۷۹	۱۶۸	۱۵۵	۵۰۸
۳۰۲	۲۹۳	۲۷۹	۲۷۱	۲۵۷	۲۷۰	۲۶۱	۲۵۰	۲۴۰	۲۲۸	۲۳۹	۲۳۰	۲۱۸	۲۰۷	۱۹۴	۲۰۵	۱۹۵	۱۸۲	۱۷۱	۱۵۸	بیش از ۵۰۸ و از جمله سطوح مسطح

نکته: برای ضخامت‌های تیره، دمای سطح خارجی هنگامی که از یک سطح با خاصیت انتشار کم استفاده می‌شود (مثلاً فلز براق)، از ۵۰°C هم تجاوز می‌کند.

جدول ۱۷: مقایسه هزینه سوختها: هزینه حرارت مربوط به بهای سوخت					
هزینه حرارت	سوخت نفت با بازده ۷۰٪	گاز طبیعی با بازده ۷۰٪	سوخت جامد با بازده ۵۵٪	سوخت جامد با بازده ۷۰٪	برق با بازده ۱۰۰٪
پنس بر مگاژول مفید	پنس بر لیتر	پنس بر واحد حرارتی	پوند بر تن	پوند بر تن	پنس بر کیلووات ساعت
۰/۳	۷/۸۹	۲۲/۱۶	۳۸/۴	۵۸/۶۱	۱/۰۸
۰/۴	۱۰/۵۲	۲۹/۵۴	۵۱/۲	۷۸/۱۵	۱/۴۴
۰/۵	۱۳/۱۵	۳۶/۹۳	۶۴/۰	۹۷/۶۸	۱/۸۰
۰/۵۶	۱۴/۷۳	۴۱/۳۶	۷۱/۷	۱۰۹/۴۰	۲/۰۲
۰/۶	۱۵/۷۸	۴۴/۳۱	۷۶/۸	۱۱۷/۲۲	۲/۱۶
۰/۶۴	۱۶/۸۳	۴۷/۲۷	۸۱/۹	۱۲۵/۰۳	۲/۳۰
۰/۶۸	۱۷/۸۸	۵۰/۲۲	۸۷/۰	۱۳۲/۸۵	۲/۴۹
۰/۷۲	۱۸/۹۴	۵۳/۱۸	۹۲/۱	۱۴۰/۶۶	۲/۵۹
۰/۷۶	۱۹/۹۹	۵۶/۱۳	۹۷/۲	۱۴۸/۴۸	۲/۷۴
۰/۸	۲۱/۰۴	۵۹/۰۸	۱۰۲/۴	۱۵۶/۲۹	۲/۸۸
۰/۸۴	۲۲/۰۹	۶۲/۰۴	۱۰۷/۵	۱۶۴/۱۱	۳/۰۲
۰/۸۸	۲۳/۱۴	۶۵/۰۰	۱۱۲/۶	۱۷۱/۹۲	۳/۱۷
۰/۹۲	۲۴/۲۰	۶۷/۹۶	۱۱۷/۷	۱۷۴/۷۴	۳/۳۱
۰/۹۶	۲۵/۲۵	۷۰/۹۱	۱۲۲/۸	۱۸۷/۵۵	۳/۴۶
۱	۲۶/۳۰	۷۳/۸۷	۱۲۸/۰	۱۹۵/۳۷	۳/۶۰
۱/۰۴	۲۷/۳۵	۷۶/۸۲	۱۳۳/۱	۲۰۳/۱۸	۳/۷۴
۱/۰۸	۲۸/۴۰	۷۹/۷۷	۱۳۳/۲	۲۰۳/۶۶	۳/۸۹
۱/۱۲	۲۹/۴۶	۸۲/۷۳	۱۴۳/۳	۲۱۸/۸۱	۴/۰۳
۱/۱۶	۳۰/۵۱	۸۵/۶۸	۱۴۸/۴	۲۲۶/۶۷	۴/۱۸
۱/۲	۳۱/۵۶	۸۸/۶۴	۱۵۳/۵	۲۳۴/۴۴	۴/۳۲

نکته ۱: اولین ستون جدول، هزینه‌های اساسی مورد نیاز برای محاسبه ضخامت اقتصادی را نشان می‌دهد. مقادیر، هم قیمت‌های گذشته و هم افزایش قیمت ممکن در آینده را می‌پوشانند.

نکته ۲: بازده‌های داده شده در عناوین ستونها اشاره به مقادیر فرض شده بازده در محاسبات دارد لذا آنها بازده در شرایط کار واقعی نیستند. در عمل، بازده سیستم برای یک مسئله خاص ممکن است بطور قابل توجهی کمتر از مقادیر داده شده باشد.

جدول ۱۷ بر اساس جدول ۳۶ در BS 5422:1990 می‌باشد. ستون مربوط به عنوان «سوخت نفت با بازده ۷۰٪» در اینجا دوباره محاسبه شده و از استاندارد انگلیسی برداشت نشده است.

جدول ۱۸: هزینه افزایشی عایق‌کاری برای سرویس‌های آب داغ و گرمایش غیرخانگی										
متوسط هزینه پوند بر مترمکعب	ضخامت (mm)									قطر خارجی لوله فولادی (mm)
	۹۰-۱۰۰	۸۰-۹۰	۷۰-۸۰	۶۰-۷۰	۵۰-۶۰	۴۰-۵۰	۳۰-۴۰	۲۵-۳۰	۲۰-۲۵	
هزینه پوند بر مترمکعب	هزینه افزایشی عایق‌کاری (£/m <sup>3</sup> ) پوند بر مترمکعب									
۶۴۷	-	-	-	-	۱۱۳۳	۶۴۵	۳۸۰	۷۶۰	۳۱۸	۱۷/۲
۶۲۵	-	-	-	-	۱۱۲۷	۶۲۵	۳۳۶	۷۳۷	۲۹۹	۲۱/۳
۵۴۸	-	-	۴۵۷	۲۶۲	۱۱۱۵	۶۱۵	۳۲۵	۷۲۵	۳۱۸	۲۶/۹
۵۳۱	-	-	۴۴۱	۲۵۶	۱۰۷۲	۵۹۰	۳۵۲	۶۰۸	۳۹۵	۳۳/۷
۴۱۷	۸۱	۳۱۲	۴۶۲	۲۳۵	۱۰۹۱	۵۵۷	۳۱۰	۶۱۰	۳۴۴	۴۲/۴
۴۳۵	۱۱۱	۳۰۷	۴۳۴	۲۱۵	۱۰۷۹	۵۶۳	۳۰۸	۵۶۲	۳۳۵	۴۸/۳
۴۵۳	۱۸۵	۴۲۸	۳۷۷	۳۳۰	۹۵۷	۵۶۷	۲۹۱	۵۹۲	۳۲۶	۶۰/۳
۴۸۶	۳۸۵	۵۰۳	۳۷۳	۳۴۰	۹۲۸	۵۱۸	۲۸۳	۵۵۴	-	۷۶/۱
۵۰۰	۶۲۱	۴۴۴	۳۷۵	۳۵۲	۹۱۷	۴۸۴	۲۸۶	۵۲۶	-	۸۸/۹
۵۱۴	۵۲۷	۴۷۱	۴۲۲	۴۹۷	۸۱۹	۵۳۴	۳۰۵	۵۳۹	-	۱۱۴/۳
۴۹۹	۵۱۲	۴۵۸	۴۲۷	۵۶۲	۷۲۴	۵۰۲	۲۹۴	۵۰۹	-	۱۳۹/۷
۴۸۶	۵۰۹	۵۵۵	۴۳۰	۴۴۱	۶۸۵	۵۰۱	۲۸۲	۴۸۶	-	۱۶۸/۳
۴۸۱	۵۰۰	۴۹۳	۴۴۸	۴۳۰	۶۸۳	۵۰۰	۲۸۲	۴۷۲	-	۲۱۹/۱
۴۶۴	۴۸۳	۵۵۰	۴۴۲	۴۰۹	۶۲۷	۴۶۶	۲۷۶	۴۳۸	-	۲۷۳
۴۶۵	۳۶۳	۲۸۷	۴۲۹	۳۰۷	۹۸۳	۴۲۰	-	-	-	بیش از ۳۲۳/۹ و از جمله سطوح مسطح



جدول ۱۹: هزینه افزایشی عایق‌کاری برای سرویسهای آب داغ و گرمایش خانگی						
متوسط هزینه پوند بر مترمکعب	ضخامت (mm)					قطر خارجی لوله مسی (mm)
	۲۵-۳۲	۱۹-۲۵	۱۳-۱۹	۹-۱۳	۶-۹	
هزینه افزایشی عایق‌کاری (پوند بر مترمکعب)						
۳۸۷	-	-	۵۲۳	۴۲۸	۱۶۹	۱۰
۶۷۲	-	۱۲۵۹	۶۹۹	۴۲۱	۱۱۸	۱۲
۶۵۶	۲۸۶	۱۲۴۸	۷۲۲	۵۱۶	۱۰۶	۱۵
۶۵۰	۲۸۹	۱۲۷۸	۷۵۷	۵۲۵	۲۰۱	۲۲
۷۰۵	۵۷۲	۹۸۰	۱۱۲۱	۶۴۸	۱۲۸	۲۸
۷۷۰	۳۲۱	۸۹۳	۱۲۵۹	۵۸۶	-	۳۵
۸۷۹	-	۶۴۱	۱۳۲۸	۶۴۷	-	۴۲
۸۱۵	-	۴۲۸	۱۳۵۷	۶۶۰	-	۵۲
۱۰۳۸	۱۲۲۹	۱۰۲۳	۹۲۳	۳۰۵	۱۶۷۰	سطوح مسطح

جدول ۲۰: هزینه افزایشی عایق‌کاری برای لوله‌کشی فرایند - تک لایه											
متوسط هزینه پوند بر مترمکعب	ضخامت (mm)										قطر خارجی لوله فولادی (mm)
	۱۰۰-۱۲	۹۰-۱۰۰	۸۰-۹۰	۷۰-۸۰	۶۰-۷۰	۵۰-۶۰	۴۰-۵۰	۳۰-۴۰	۲۵-۳۰	۲۰-۲۵	
هزینه افزایشی عایق‌کاری (پوند بر مترمکعب)											
۶۳۵	-	-	-	-	-	-	-	۵۰۱	۸۲۰	۵۶۲	۱۷/۲
۶۲۶	-	-	-	۲۷۸	۳۳۲	۱۰۷۱	۶۶۵	۴۶۵	۸۳۸	۵۲۱	۲۱/۳
۶۰۲	-	-	-	۲۷۵	۲۳۶	۹۲۷	۶۵۰	۴۲۰	۷۷۶	۵۱۳	۲۶/۹
۶۳۷	-	-	-	۲۵۲	۲۰۲	۱۰۱۲	۶۲۴	۴۴۶	۷۰۸	۹۱۱	۳۳/۷
۵۶۰	-	-	-	۲۵۹	۲۹۲	۱۰۱۹	۵۸۸	۲۰۳	۶۸۹	۴۶۸	۳۲/۳
۵۲۲	-	-	-	۴۲۲	۲۶۶	۱۰۰۹	۶۲۳	۳۲۲	۶۴۲	۲۵۶	۲۸/۳
۵۰۷	-	-	۳۸۹	۳۸۶	۳۵۸	۹۰۲	۵۷۵	۳۷۲	۶۳۰	۲۲۲	۶۰/۳
۵۱۰	-	-	۲۹۰	۳۷۶	۳۶۵	۸۶۲	۵۲۷	۳۳۹	۵۹۷	-	۷۶/۱
۳۹۹	-	۵۸۷	۳۳۲	۳۷۷	۳۶۰	۸۵۱	۲۹۶	۳۳۲	۵۳۳	-	۸۸/۹
۲۹۵	-	۳۷۸	۲۲۵	۲۱۳	۵۱۲	۷۶۷	۵۴۹	۳۴۶	۵۶۷	-	۱۰۱/۶
۵۰۲	-	۲۹۶	۲۵۰	۲۰۹	۳۸۲	۷۵۶	۵۲۷	۳۳۸	۵۲۶	-	۱۱۲/۳
۲۸۰	-	۳۸۵	۳۳۲	۲۰۲	۳۵۹	۷۲۶	۲۹۸	۳۲۱	۲۹۲	-	۱۳۹/۷
۲۲۹	۳۵۶	۲۵۸	۵۱۸	۲۰۰	۲۲۲	۶۲۴	۲۸۲	۳۰۸	۳۷۲	-	۱۶۸/۳
۲۲۹	۳۶۱	۲۵۸	۲۵۰	۲۱۸	۲۰۹	۶۲۲	۲۶۷	۳۲۴	۳۴۲	-	۲۱۹/۱
۳۳۱	۳۶۲	۳۷۶	۲۶۷	۲۰۹	۲۰۰	۵۹۱	۳۵۳	۲۸۳	۳۳۷	-	۲۳۲/۵
۲۲۰	۳۶۲	۳۳۲	۲۹۲	۲۰۶	۳۸۲	۵۸۰	۳۳۸	۳۷۷	۲۰۹	-	۲۷۳
۲۹۹	۳۳۸	۲۶۵	۵۱۰	۲۰۲	۳۵۹	۵۶۲	۲۱۲	۲۶۷	۳۸۲	-	۳۲۲/۹
۲۲۴	۳۷۲	۲۱۸	۲۳۲	۲۲۲	۳۱۸	۸۶۲	۲۲۰	-	-	-	۳۵۵/۶
۲۲۳	۳۷۲	۳۶۷	۲۰۱	۲۵۳	۲۹۵	۸۷۰	۲۰۵	-	-	-	۲۰۶/۲
۲۱۱	۳۵۸	۲۵۰	۱۷۰	۲۸۹	۲۸۸	۸۳۳	۳۸۹	-	-	-	۲۵۷
۲۰۶	۳۶۹	۳۲۹	۲۶۲	۳۸۲	۲۸۲	۸۳۷	۳۶۹	-	-	-	۵۰۸ و بیشتر از آن

جدول ۲۱: هزینه افزایشی عایق‌کاری برای لوله‌کشی فرایند - ضخامت دولایه

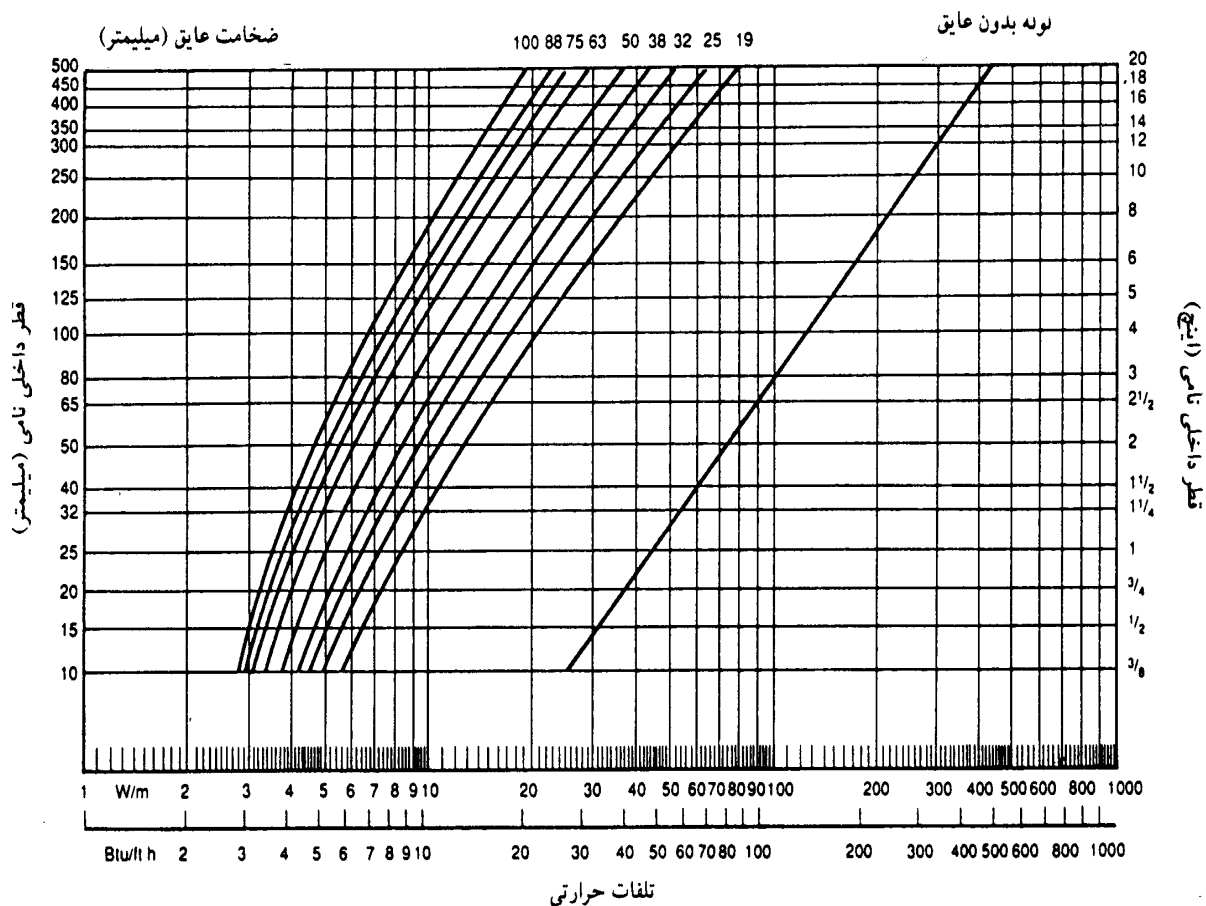
متوسط هزینه پوند بر مترمکعب	ضخامت (mm)									قطر خارجی لوله فولادی (mm)
	۲۸۰-۳۰۰	۲۶۰-۲۸۰	۲۴۰-۲۶۰	۲۲۰-۲۴۰	۲۰۰-۲۲۰	۱۸۰-۲۰۰	۱۶۰-۱۸۰	۱۴۰-۱۶۰	۱۲۰-۱۴۰	
	هزینه افزایشی عایق‌کاری (پوند بر مترمکعب)									
۶۳۲	-	-	-	-	-	-	-	-	۶۳۲	۱۷/۲
۶۳۱	-	-	-	-	-	-	-	-	۶۳۱	۲۱/۳
۶۱۸	-	-	-	-	-	-	-	-	۶۱۸	۲۶/۹
۵۵۲	-	-	-	-	-	-	-	۳۵۱	۶۵۲	۳۳/۷
۳۷۵	-	-	-	-	-	-	۲۸۳	۵۷۰	۵۷۳	۲۲/۳
۵۰۹	-	-	-	-	-	-	۲۱۶	۵۵۷	۵۵۳	۲۸/۳
۲۳۶	-	-	-	-	-	۲۰۲	۵۱۲	۵۱۲	۵۱۷	۶۰/۳
۳۷۶	-	-	-	-	-	۱۰۱	۵۲۳	۵۲۳	۳۵۸	۷۶/۱
۳۷۳	-	-	-	-	-	۵۰۸	۵۱۱	۵۱۰	۳۶۲	۸۸/۹
۳۸۷	-	-	-	-	۳۱۵	۵۰۷	۵۰۷	۵۱۰	۳۹۶	۱۰۱/۶
۳۹۲	-	-	-	-	۳۹۹	۵۱۳	۵۱۳	۵۱۳	۳۲۲	۱۱۳/۳
۳۷۳	-	-	-	-	۳۹۱	۳۹۳	۳۹۰	۳۸۹	۳۰۳	۱۳۹/۷
۳۵۰	-	-	-	۳۵۵	۳۵۹	۳۵۹	۳۵۸	۳۵۶	۳۱۰	۱۶۸/۳
۳۶۵	-	-	-	۳۳۹	۳۳۹	۳۵۰	۳۳۷	۳۳۵	۵۹۲	۲۱۹/۱
۳۳۰	-	-	۳۳۹	۳۳۲	۳۳۳	۳۳۹	۳۳۹	۳۳۹	۳۸۲	۲۳۳/۵
۳۵۲	-	-	۳۳۱	۳۲۹	۳۳۱	۳۲۹	۳۲۸	۳۳۲	۵۸۱	۲۷۳
۳۲۲	-	۳۳۵	۳۳۳	۳۳۹	۳۳۵	۳۳۸	۳۳۶	۳۲۸	۳۰۰	۳۲۲/۹
۳۳۹	-	۳۳۶	۳۱۶	۳۳۱	۳۳۹	۳۳۶	۳۲۶	۳۰۷	۵۹۹	۳۵۵/۶
۳۳۳	-	۳۳۳	۳۳۶	۳۰۰	۳۳۱	۳۳۳	۳۳۰	۳۰۸	۵۶۲	۳۰۶/۳
۳۳۳	۳۲۱	۳۲۲	۳۲۰	۳۲۳	۳۱۹	۳۲۰	۳۲۵	۳۰۱	۶۳۷	۳۵۷
۳۳۰	۳۱۸	۳۱۸	۳۱۵	۳۱۶	۳۲۰	۳۱۰	۳۲۳	۳۰۵	۵۳۸	۵۰۸
۵۵۲	-	-	-	-	-	-	-	-	۵۵۲	۵۰۸ و بیشتر از آن

### ضمیمه ۳:

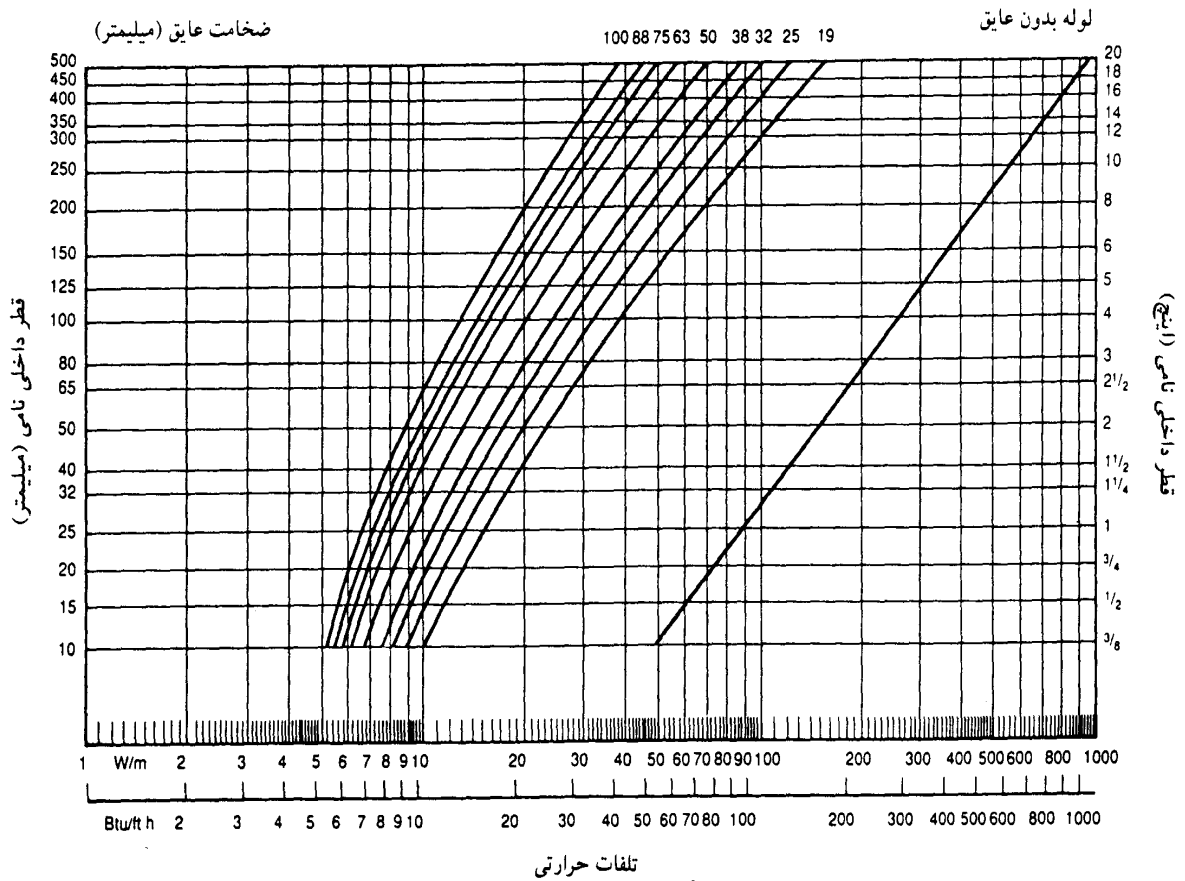
#### نمودارهای تلفات حرارتی برای مواد مختلف و دماهای مختلف سطوح

انواع فرآورده‌های عایقی لوله‌ها محصول شرکت‌های مختلف وجود دارند. نمودارهای تلفات حرارتی براساس چهار نوع عمده این فرآورده‌ها که در زیر بیان شده‌اند، می‌باشند.

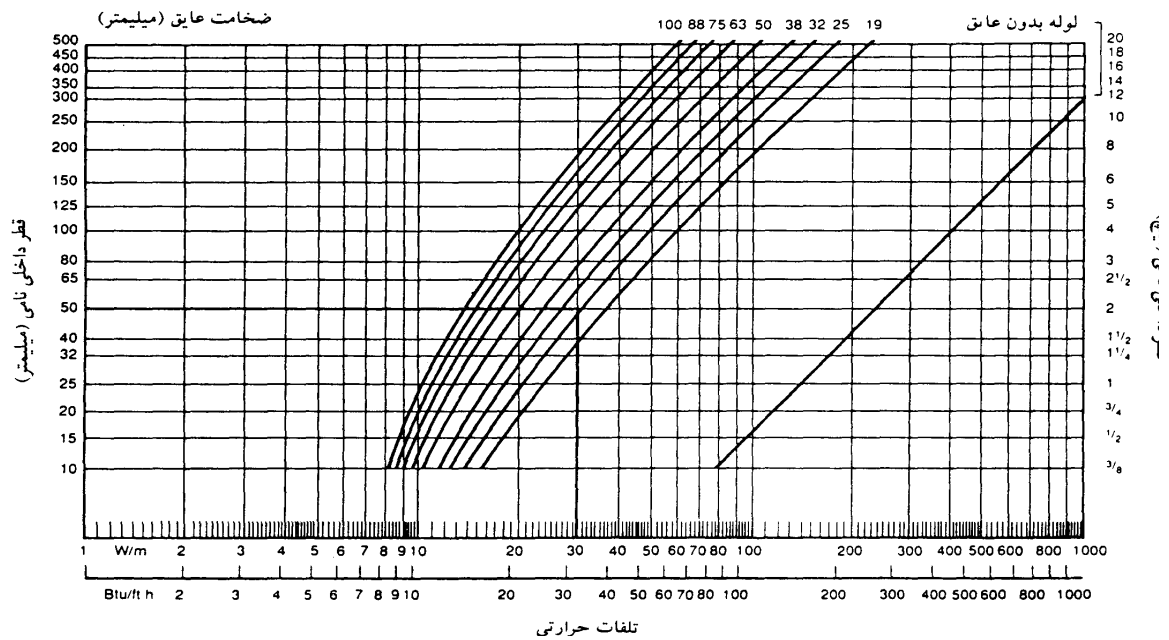
- قطعات عایقی شکل داده شده فیبری سخت (شامل رشته‌های شیشه‌ای و سنگی) (نمودارهای ۱ تا ۱۰)
- قطعات عایقی شکل داده شده سیلیکات کلسیم سخت یا قطعاتی با ۸۵٪ اکسید منیزیم (تا  $300^{\circ}\text{C}$ ) (نمودارهای ۱۱ تا ۲۰)
- قطعات عایقی شکل داده شده پلی‌ایزوسیانورات سخت یا قطعات پلی‌اورتان سخت (تا  $100^{\circ}\text{C}$ ) (نمودارهای ۲۱ تا ۲۳)
- قطعات عایقی شکل داده شده لاستیک نیتریل گسترده و فوم پلی‌اتیلن (نمودارهای ۲۴ تا ۲۵)



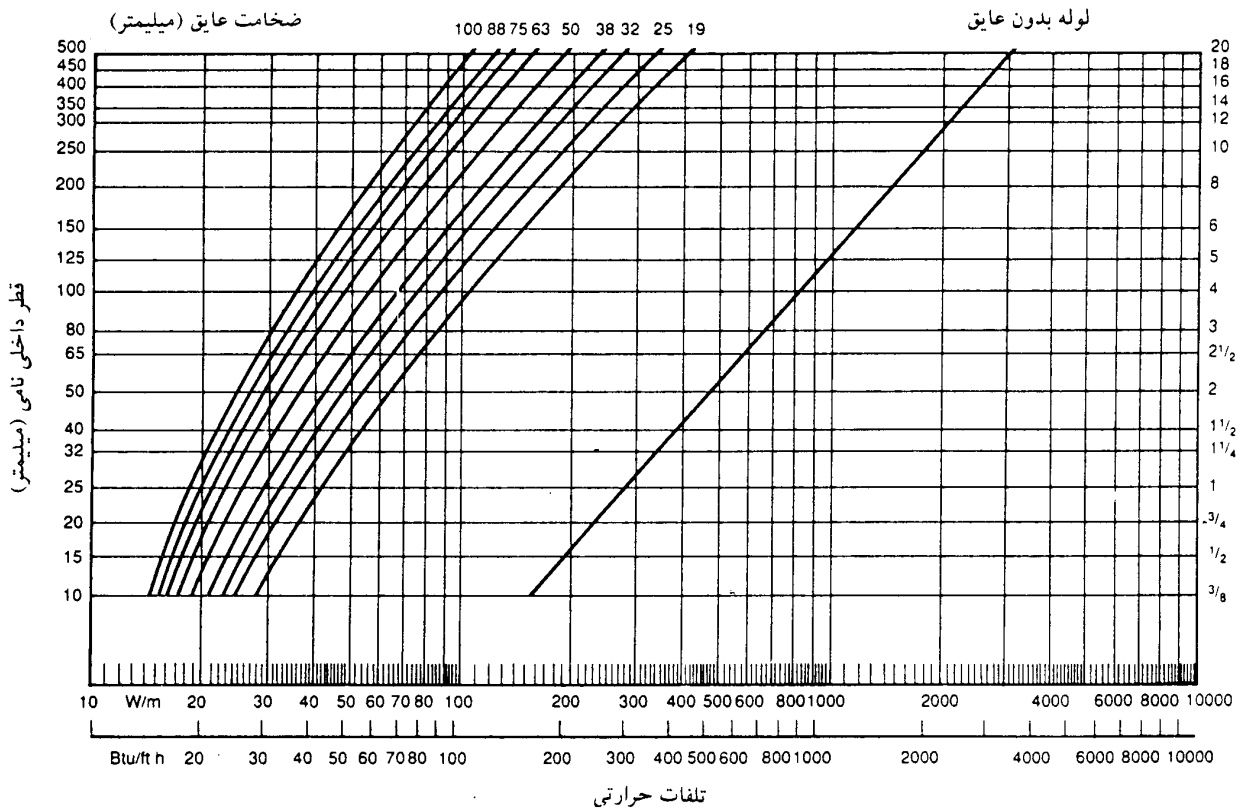
نمودار ۱: تلفات حرارتی برای لوله‌هایی بادمای سطح  $50^{\circ}\text{C}$  با ضخامتهای مختلف عایق (قطعات شکل داده شده فیبری سخت)



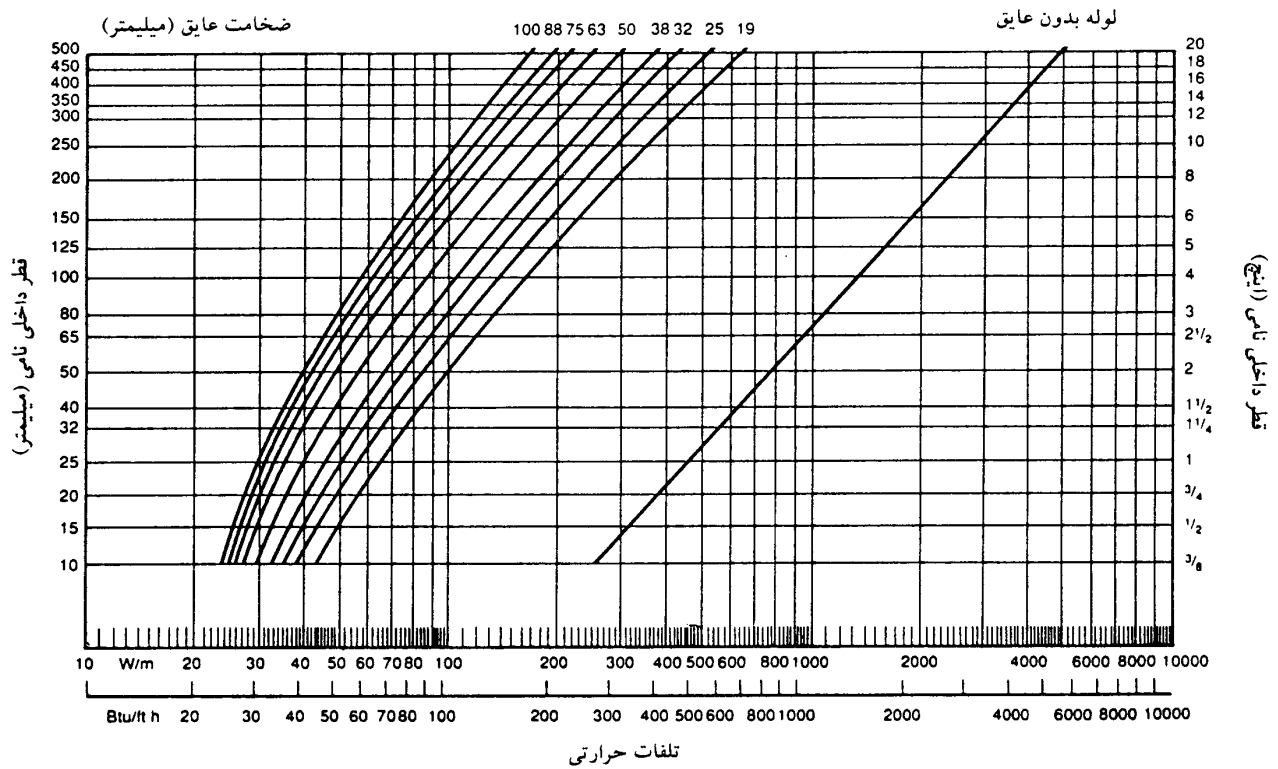
نمودار ۲: تلفات حرارتی برای لوله‌هایی بادمای سطح  $75^{\circ}\text{C}$  با ضخامتهای مختلف عایق (قطعات شکل داده شده فیبری سخت)



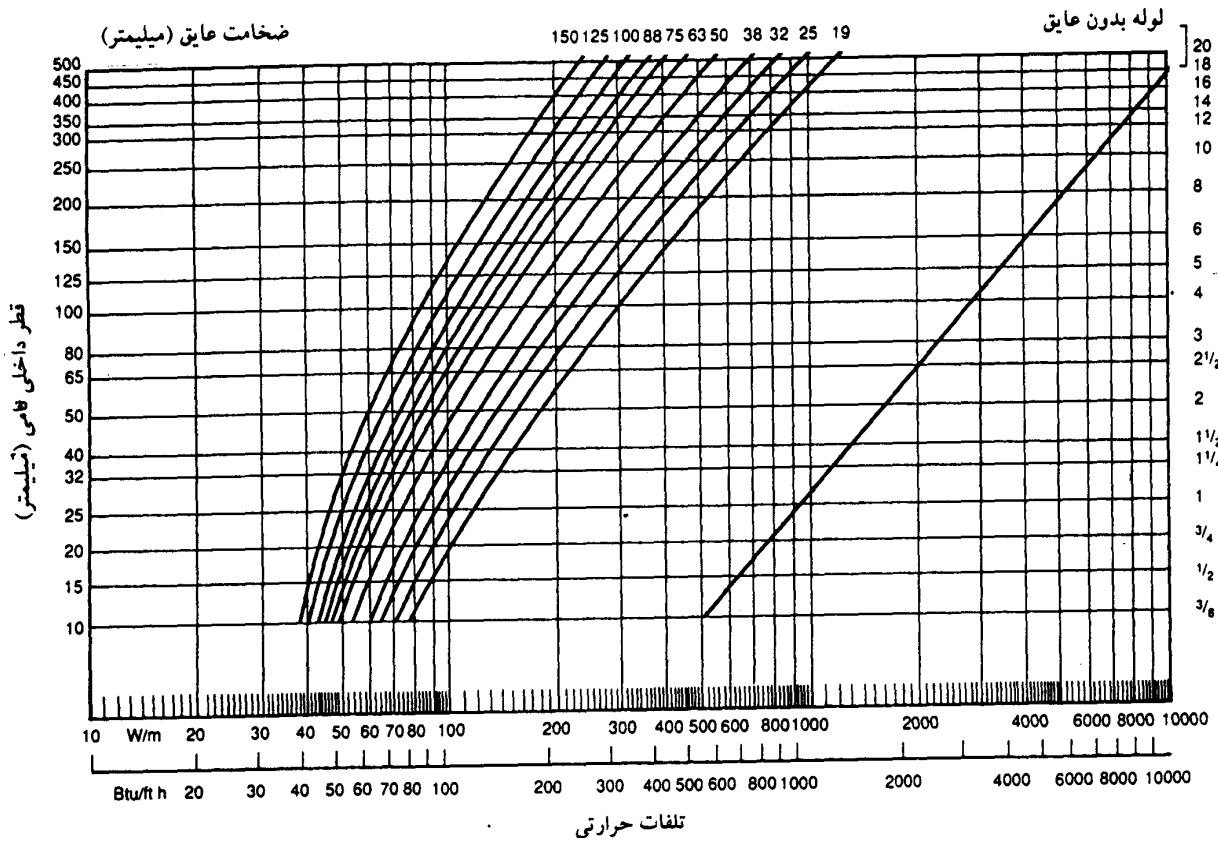
نمودار ۳: تلفات حرارتی برای لوله‌هایی بادمای سطح  $100^{\circ}\text{C}$  با ضخامتهای مختلف عایق (قطعات شکل داده شده فیبری سخت)



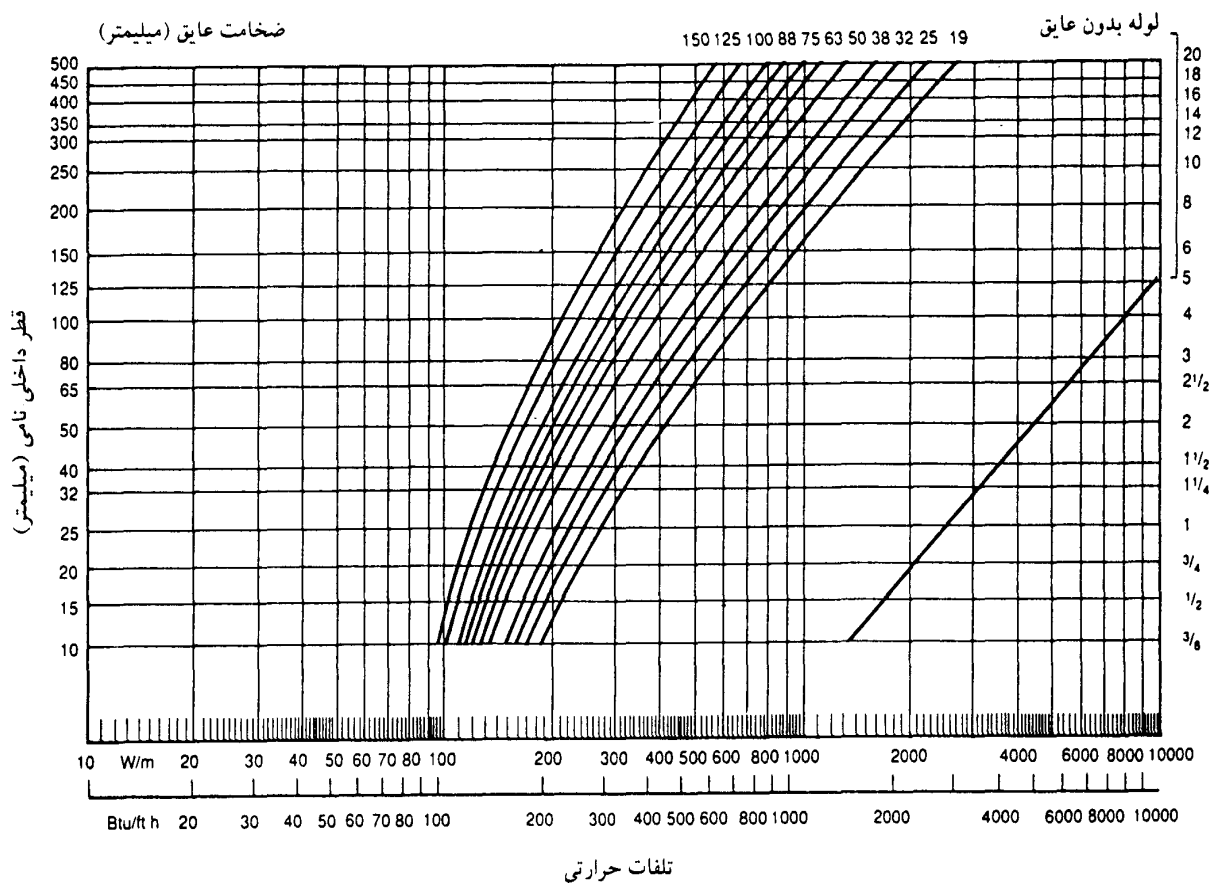
نمودار ۴: تلفات حرارتی برای لوله‌هایی بادمای سطح  $150^{\circ}\text{C}$  با ضخامتهای مختلف عایق (قطعات شکل داده شده فیبری سخت)



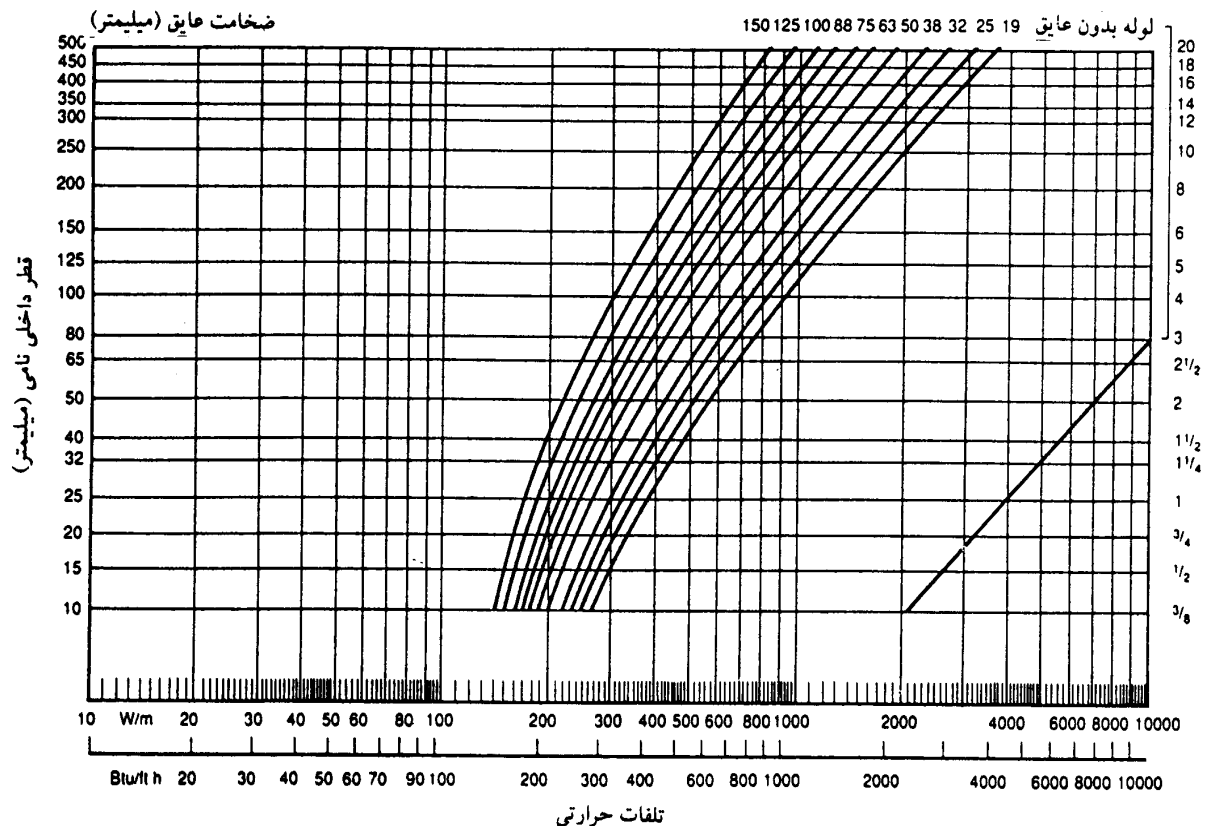
نمودار ۵: تلفات حرارتی برای لوله‌هایی بادمای سطح  $200^{\circ}\text{C}$  با ضخامتهای مختلف عایق (قطعات شکل داده شده فیبری سخت)



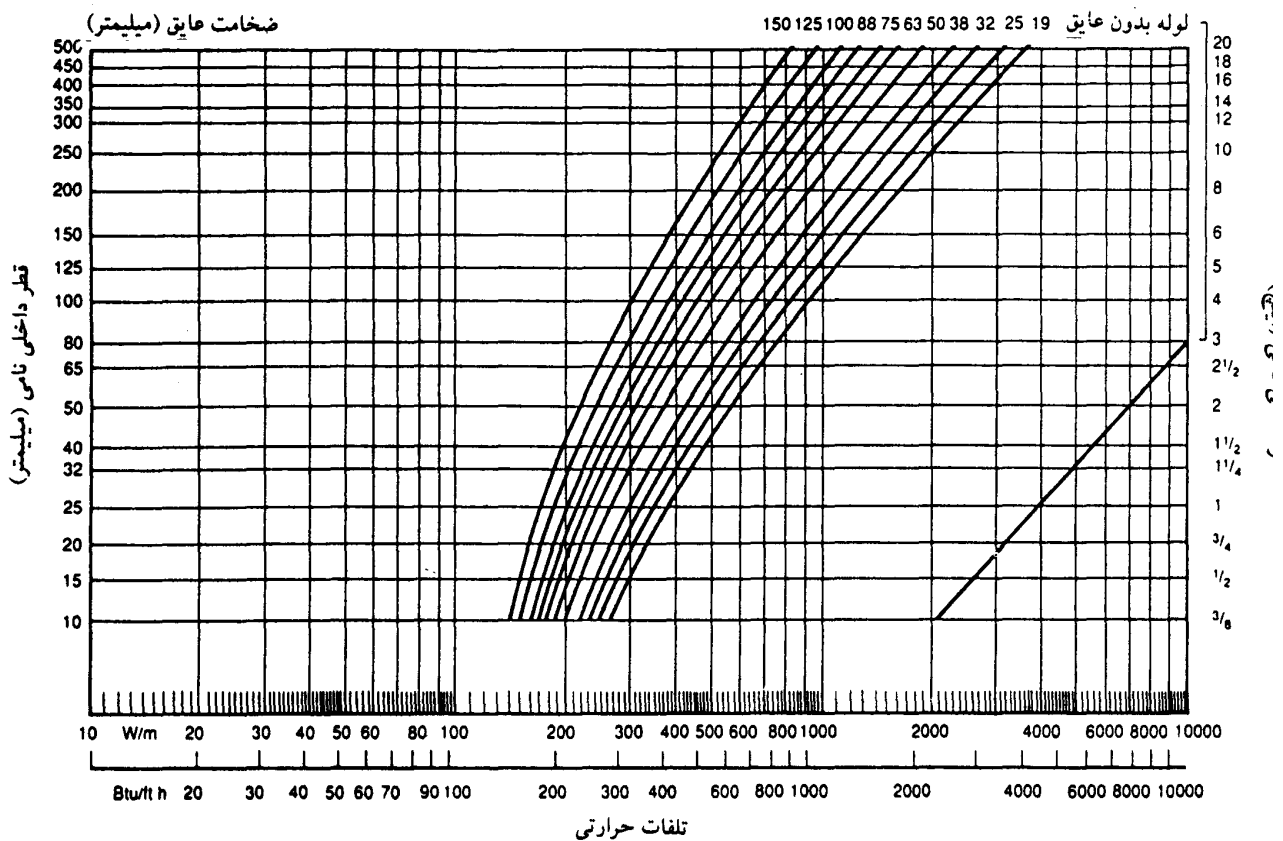
نمودار ۶: تلفات حرارتی برای لوله‌هایی بادمای سطح  $30^{\circ}\text{C}$  با ضخامت‌های مختلف عایق (قطعات شکل داده شده فیبری سخت)



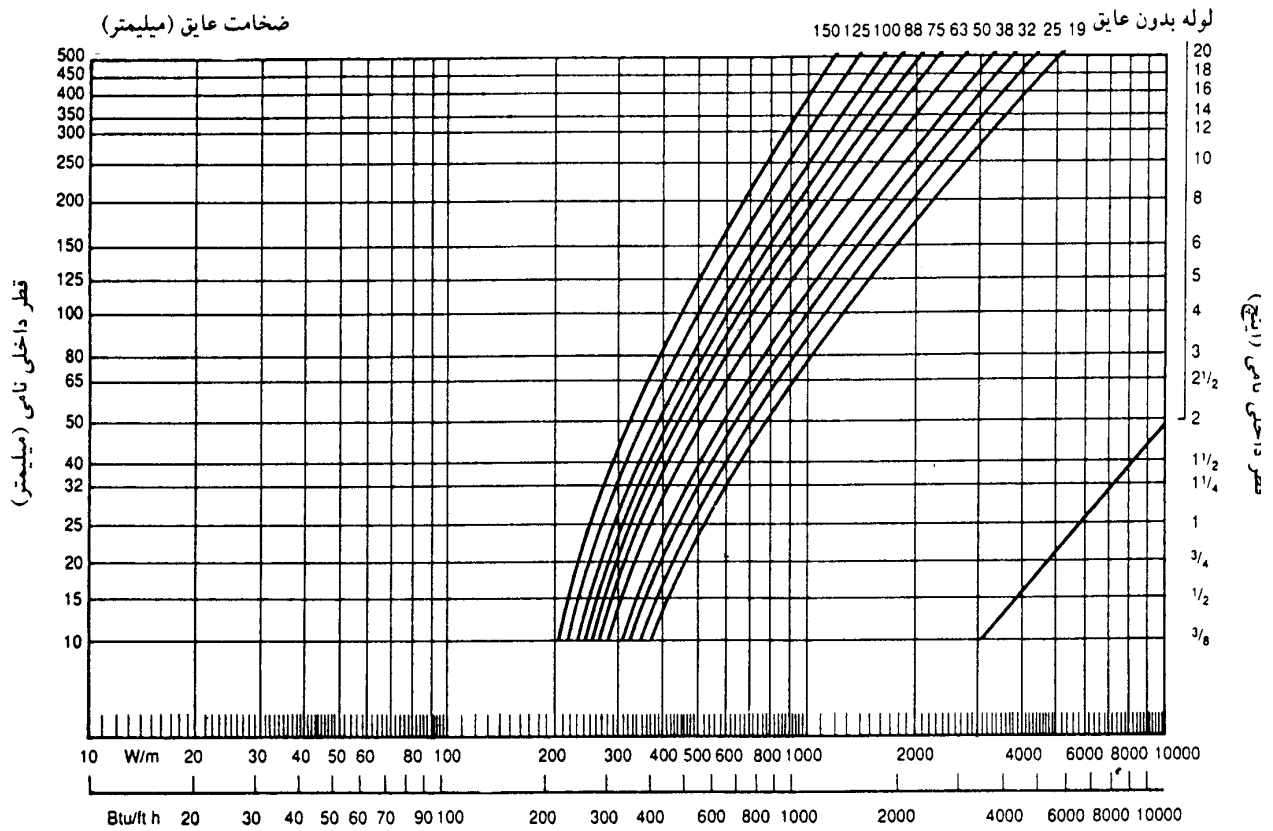
نمودار ۷: تلفات حرارتی برای لوله‌هایی بادمای سطح  $40^{\circ}\text{C}$  با ضخامت‌های مختلف عایق (قطعات شکل داده شده فیبری سخت)



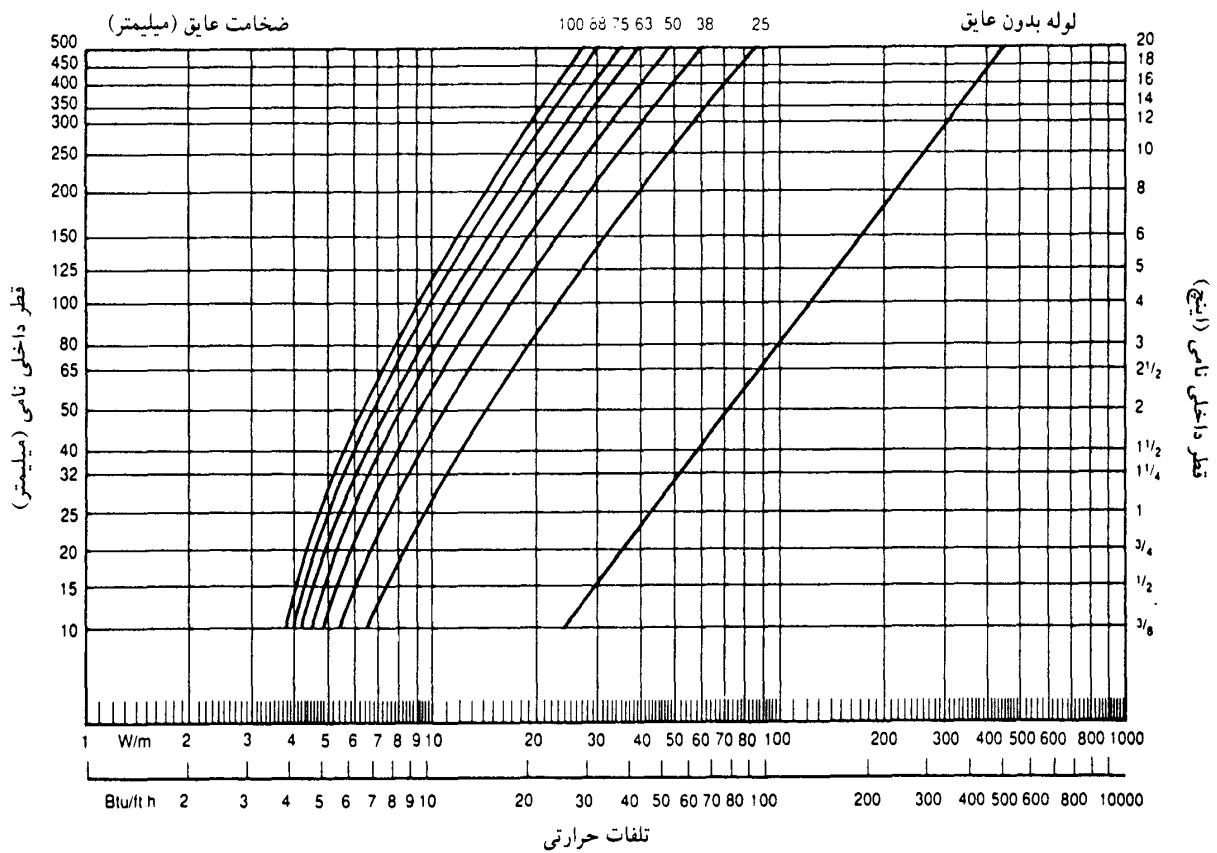
نمودار ۸: تلفات حرارتی برای لوله‌هایی بادمای سطح  $50.0^{\circ}\text{C}$  با ضخامتهای مختلف عایق (قطعات شکل داده شده فیبری سخت)



نمودار ۹: تلفات حرارتی برای لوله‌هایی بادمای سطح  $60.0^{\circ}\text{C}$  با ضخامتهای مختلف عایق (قطعات شکل داده شده فیبری سخت)

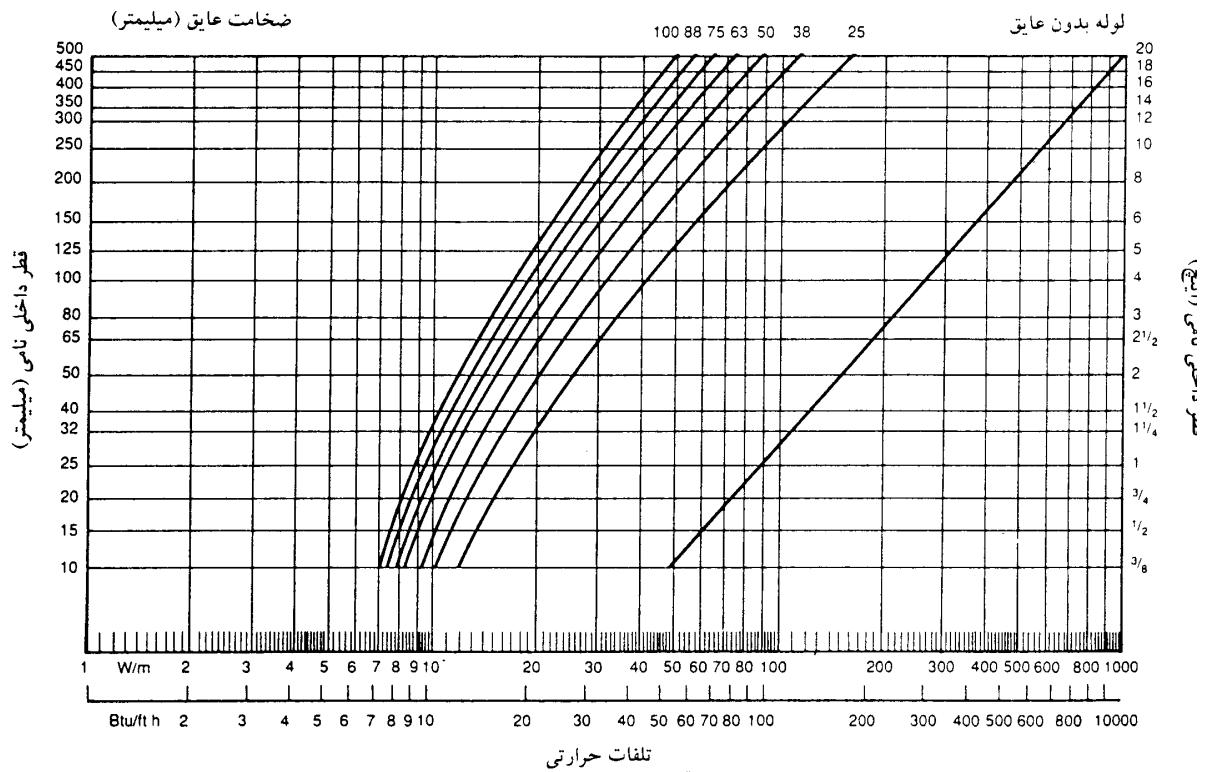


نمودار ۱۰: تلفات حرارتی برای لوله‌هایی بادمای سطح  $70^{\circ}C$  با ضخامتهای مختلف عایق (قطعات شکل داده شده فیبری سخت)

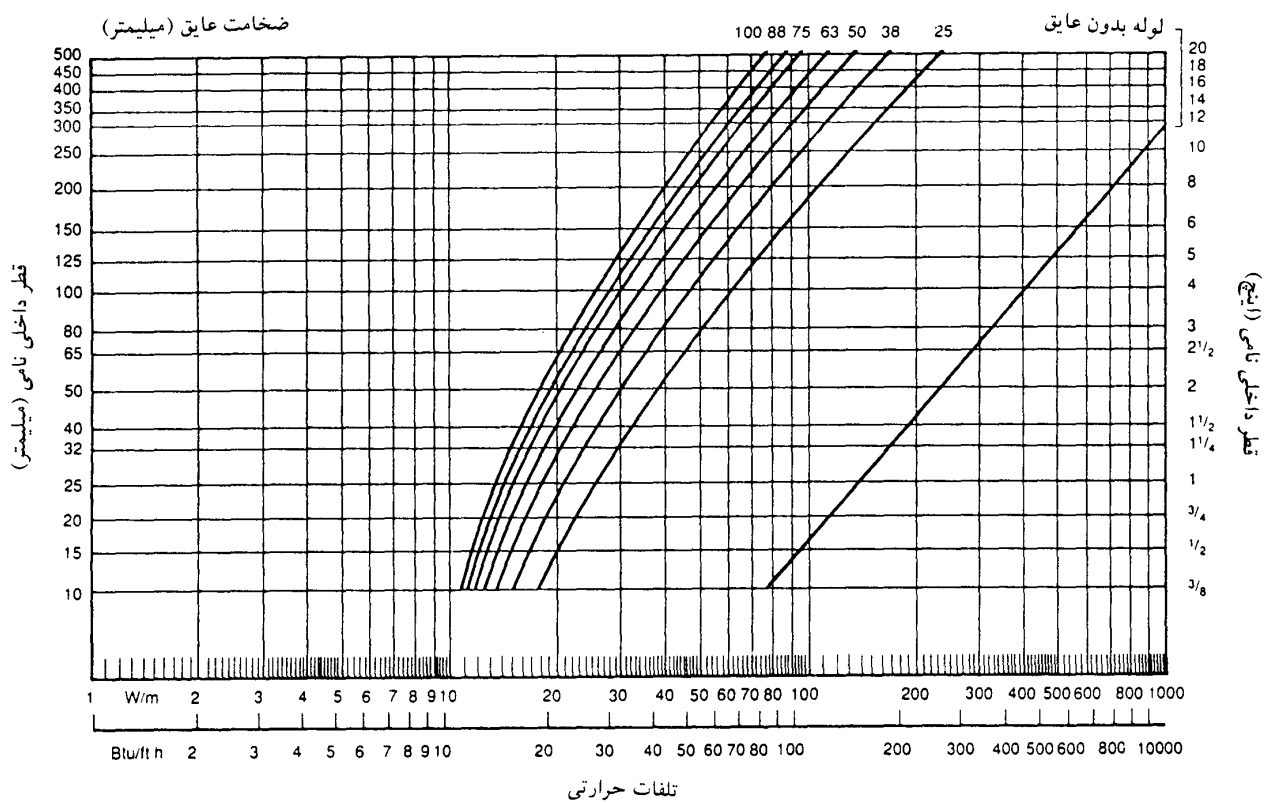


نمودار ۱۱: تلفات حرارتی برای لوله‌هایی بادمای سطح  $50^{\circ}C$  با ضخامتهای مختلف عایق (قطعات سخت شکل داده شده سیلیکات کلسیم یا ۸۵٪ اکسید منیزیم)

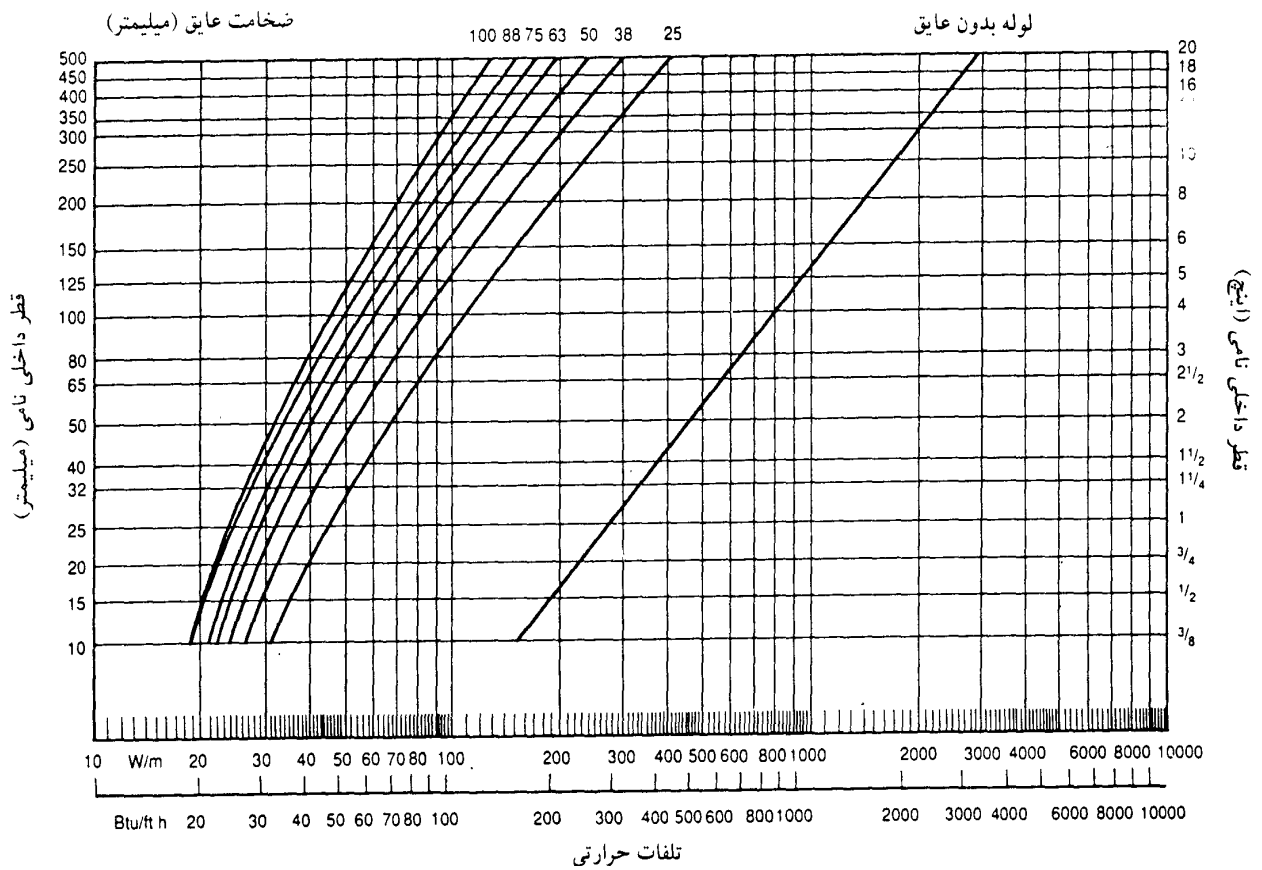




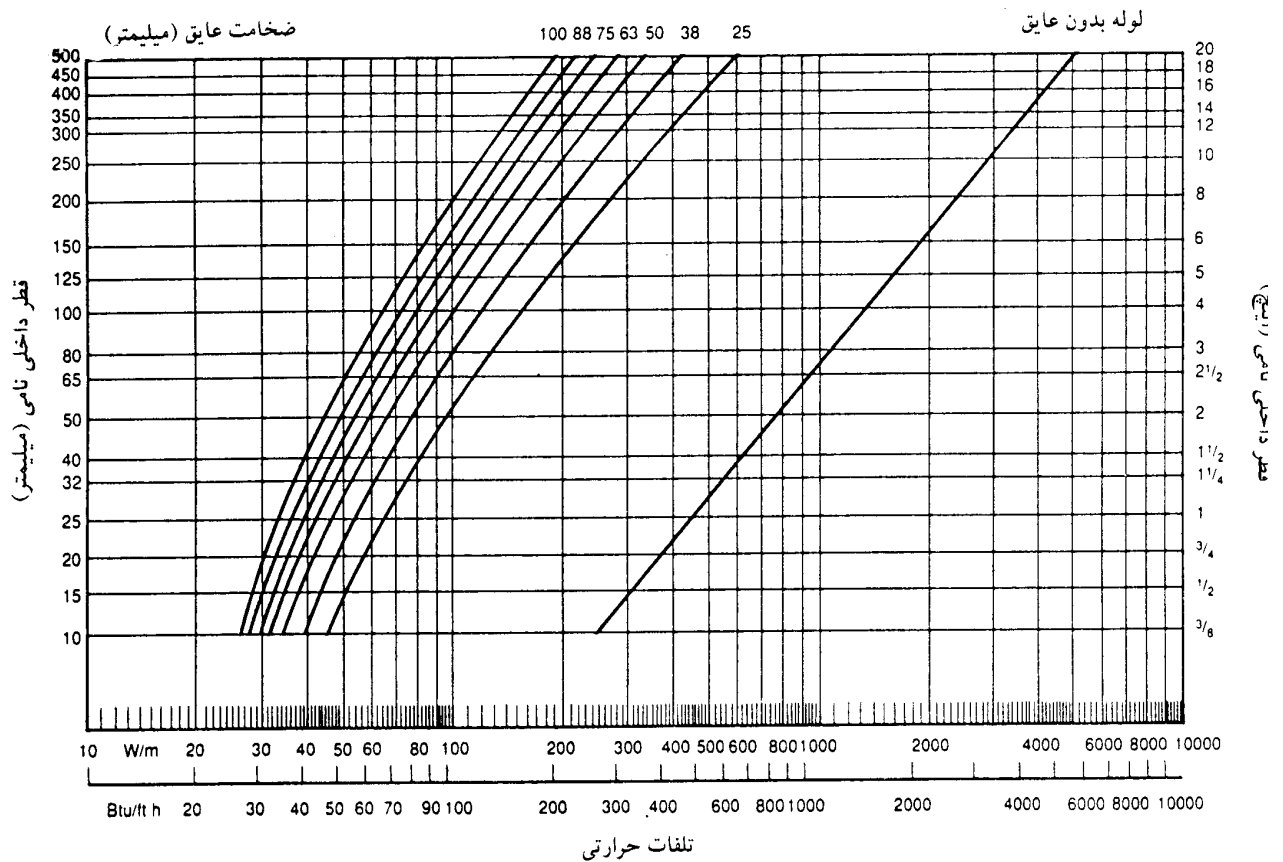
نمودار ۱۲: تلفات حرارتی برای لوله‌هایی بادمای سطح  $75^{\circ}C$  با ضخامت‌های مختلف عایق (قطعات سخت شکل داده شده سیلیکات کلسیم یا ۸۵٪ اکسید منیزیم)



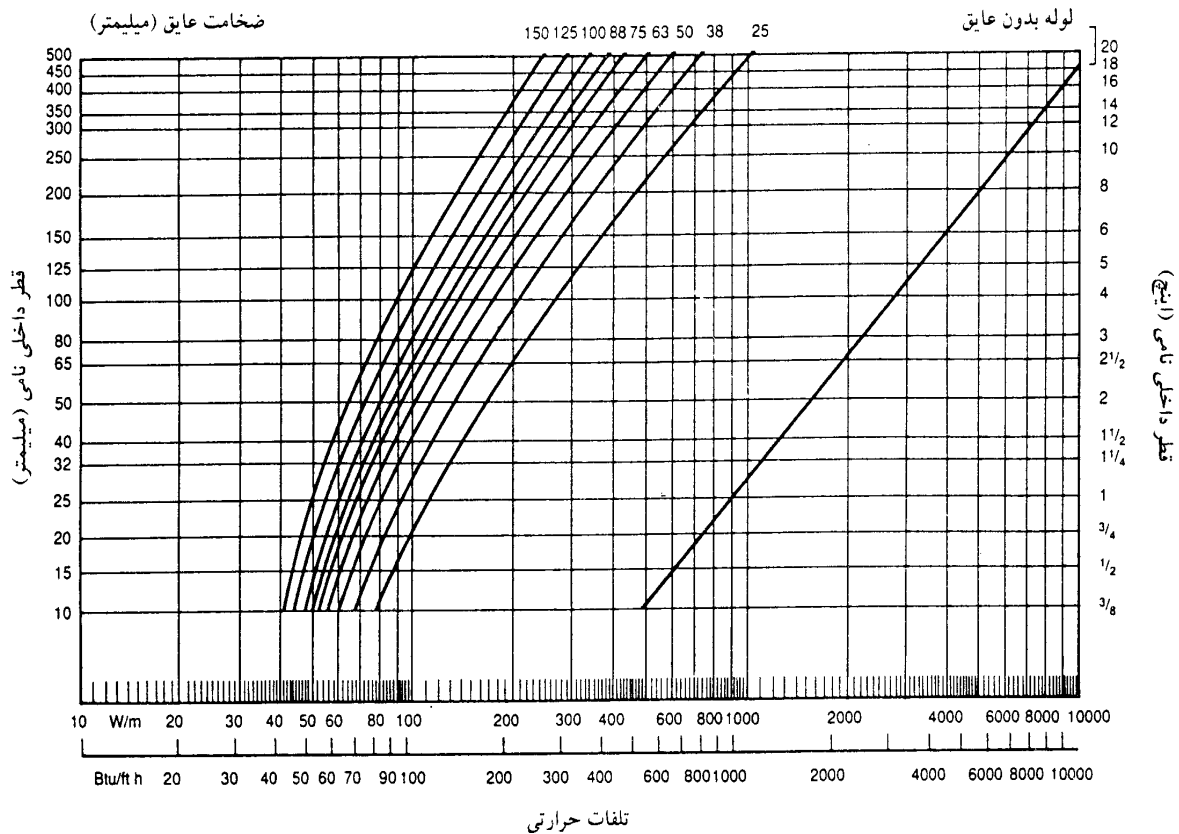
نمودار ۱۳: تلفات حرارتی برای لوله‌هایی بادمای سطح  $100^{\circ}C$  با ضخامت‌های مختلف عایق (قطعات سخت شکل داده شده سیلیکات کلسیم یا ۸۵٪ اکسید منیزیم)



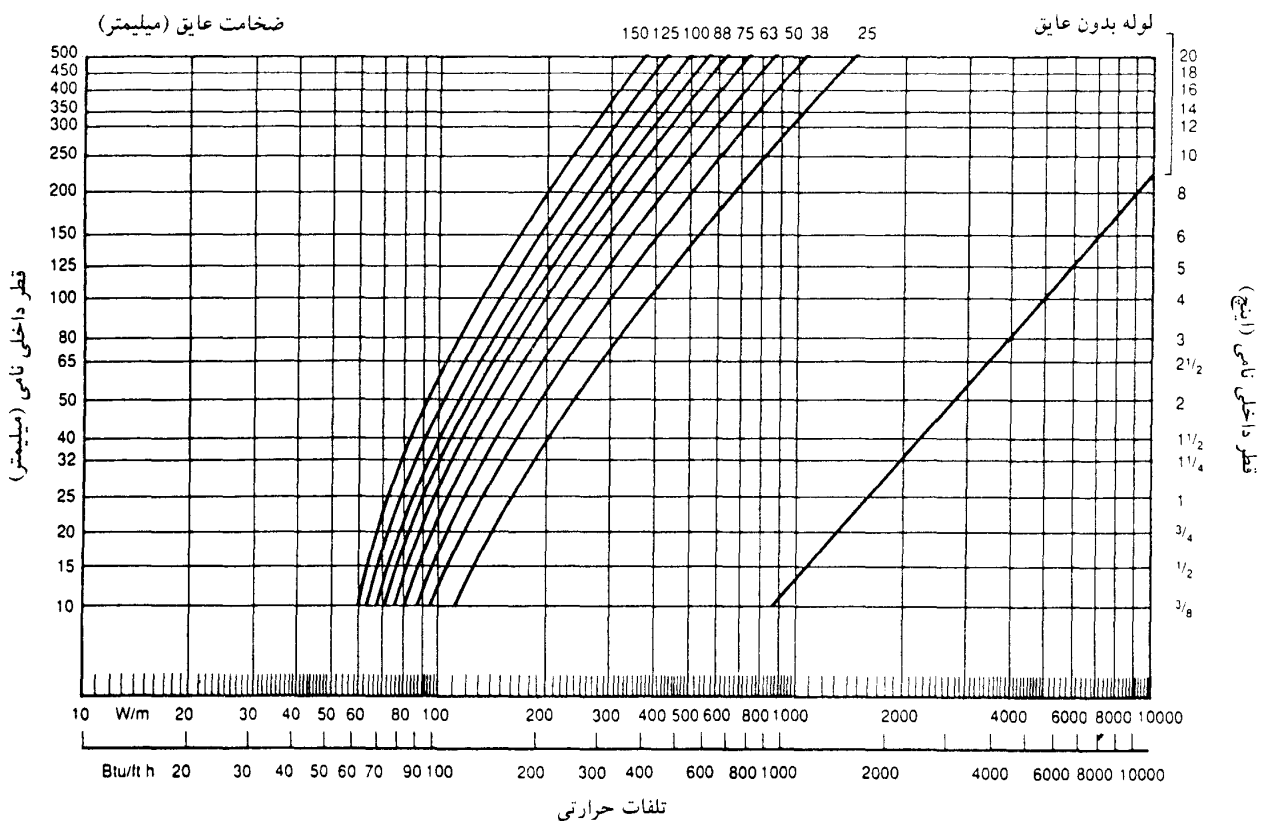
نمودار ۱۴: تلفات حرارتی برای لوله‌هایی بادمای سطح  $15^{\circ}\text{C}$  با ضخامتهای مختلف عایق (قطعات سخت شکل داده شده سیلیکات کلسیم یا ۸۵٪ اکسید منیزیم)



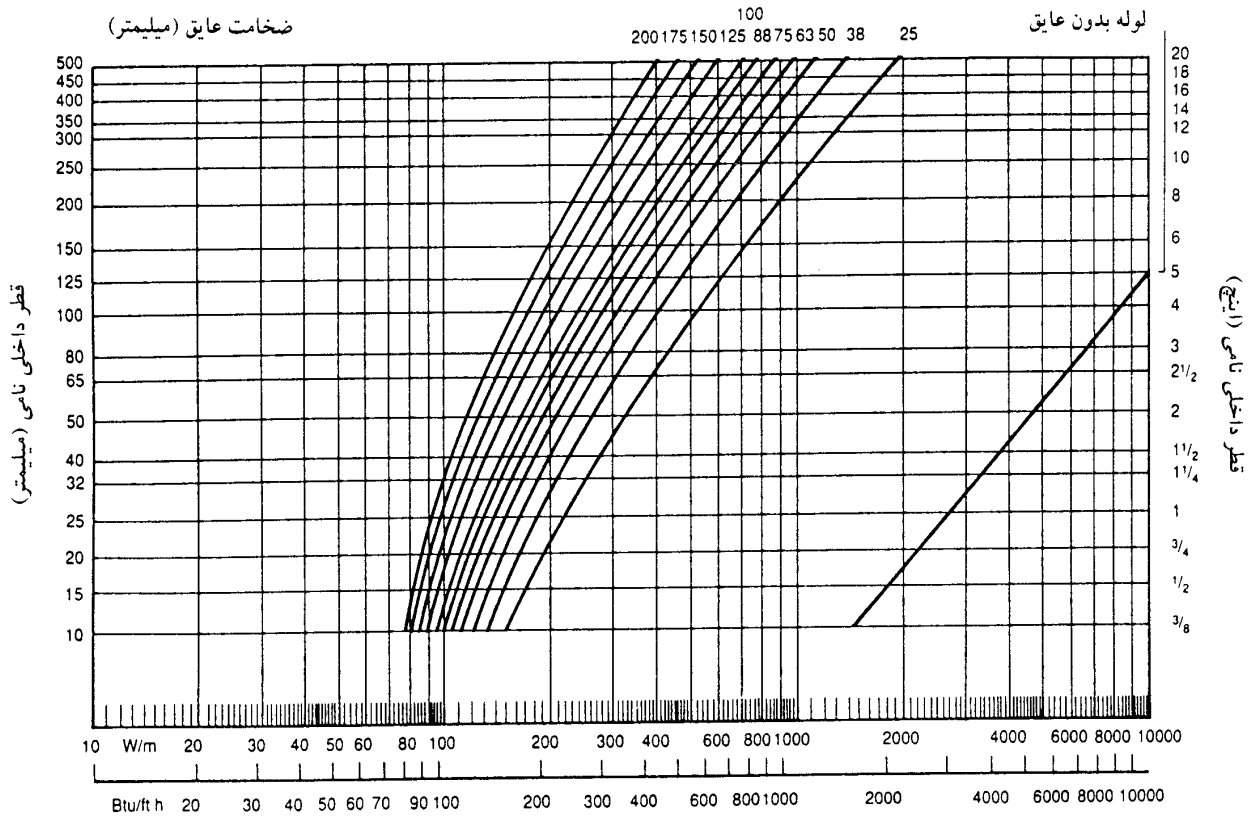
نمودار ۱۵: تلفات حرارتی برای لوله‌هایی بادمای سطح  $20^{\circ}\text{C}$  با ضخامتهای مختلف عایق (قطعات سخت شکل داده شده سیلیکات کلسیم یا ۸۵٪ اکسید منیزیم)



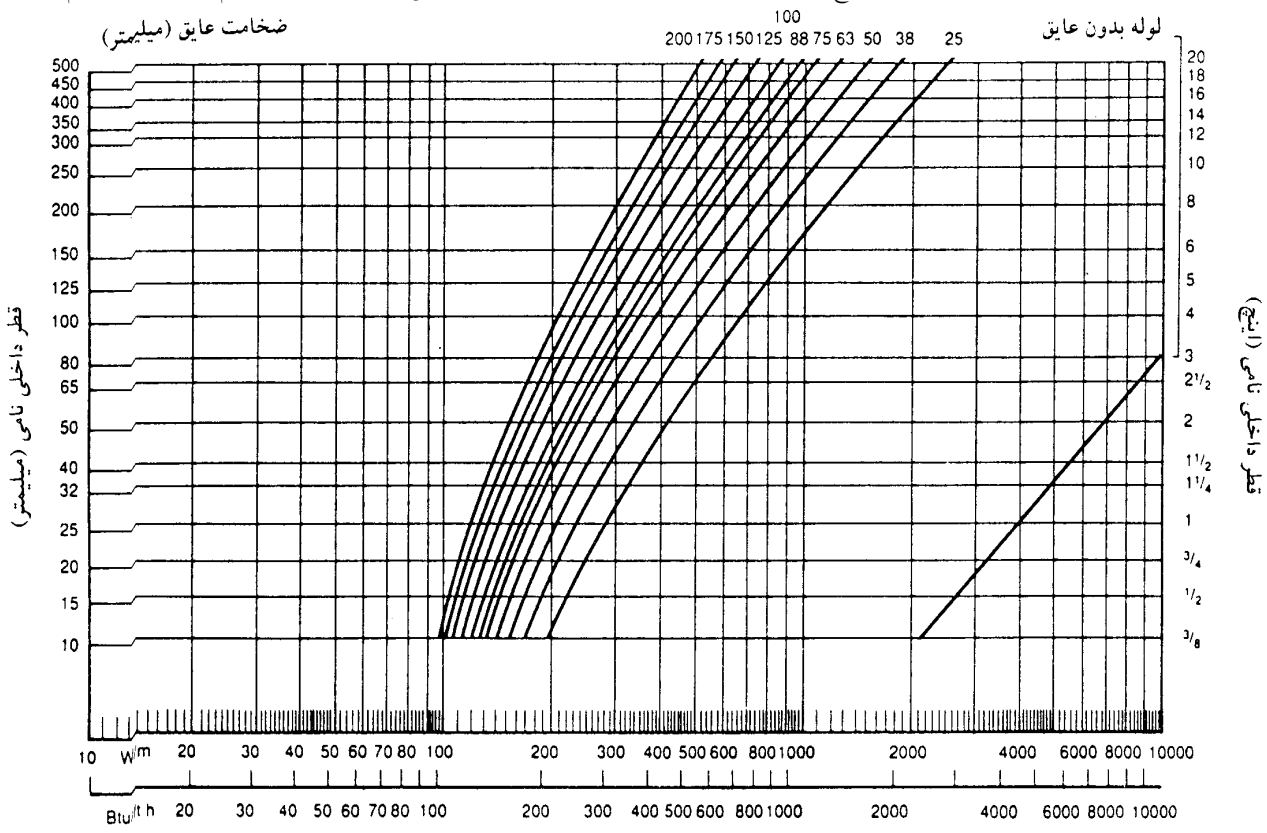
نمودار ۱۶: تلفات حرارتی برای لوله‌هایی بادمای سطح  $300^{\circ}C$  با ضخامتهای مختلف عایق (قطعات سخت شکل داده شده سیلیکات کلسیم یا ۸۵٪ اکسید منیزیم)



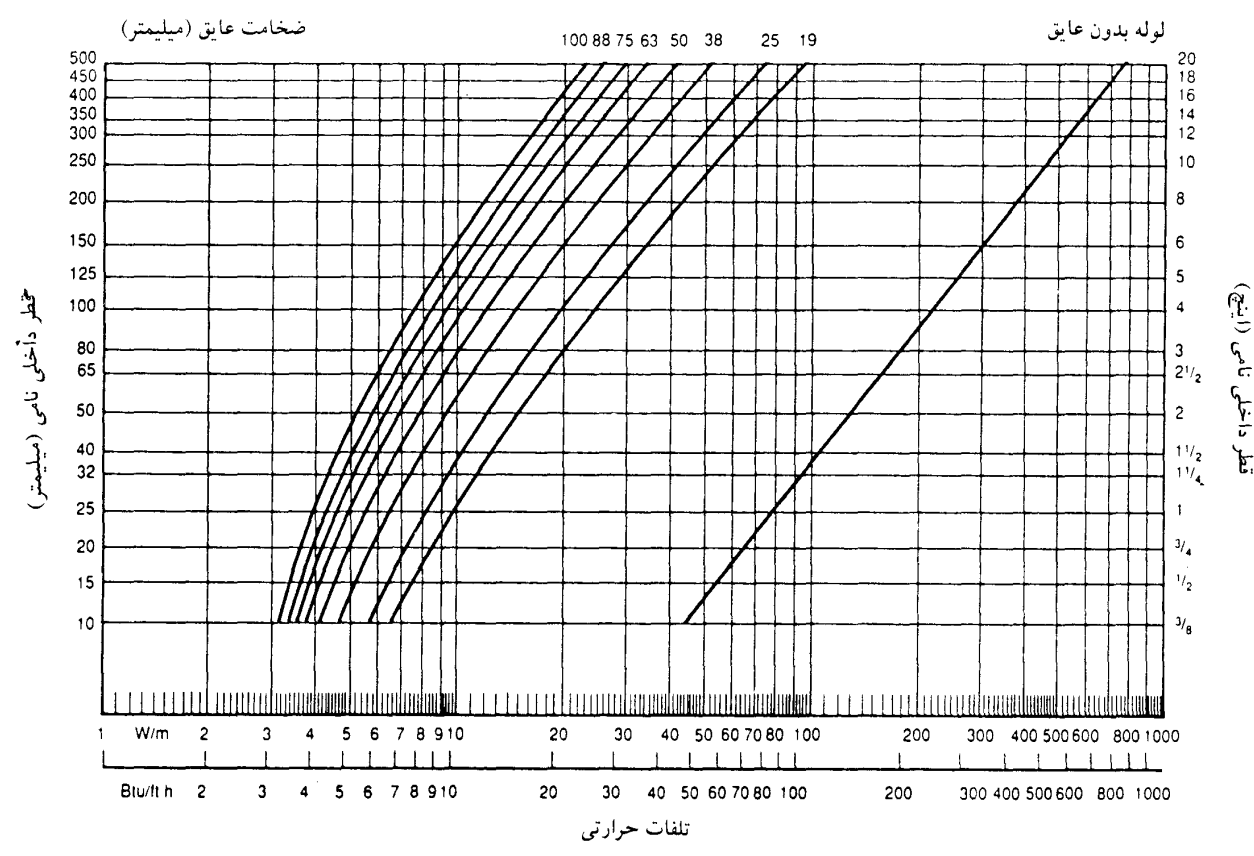
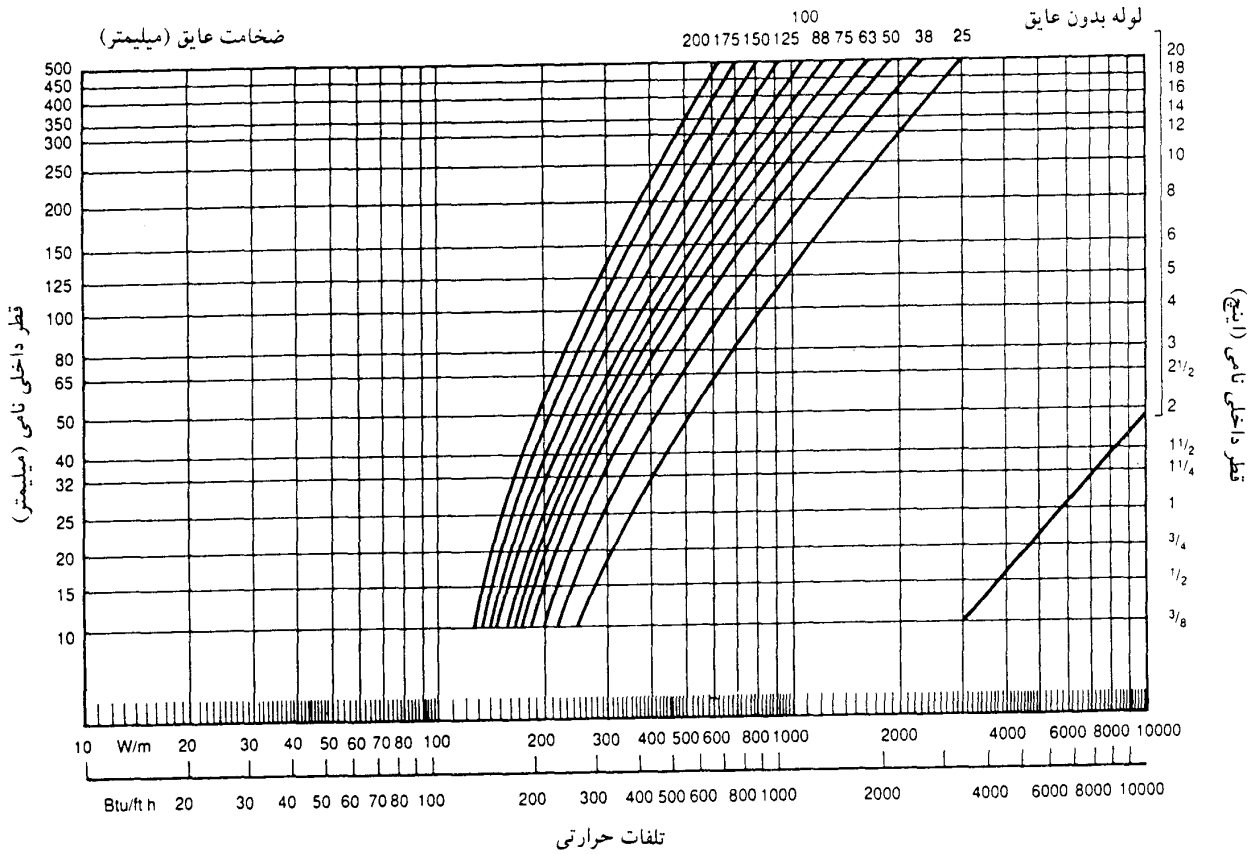
نمودار ۱۷: تلفات حرارتی برای لوله‌هایی بادمای سطح  $400^{\circ}C$  با ضخامتهای مختلف عایق (قطعات سخت شکل داده شده سیلیکات کلسیم یا ۸۵٪ اکسید منیزیم)

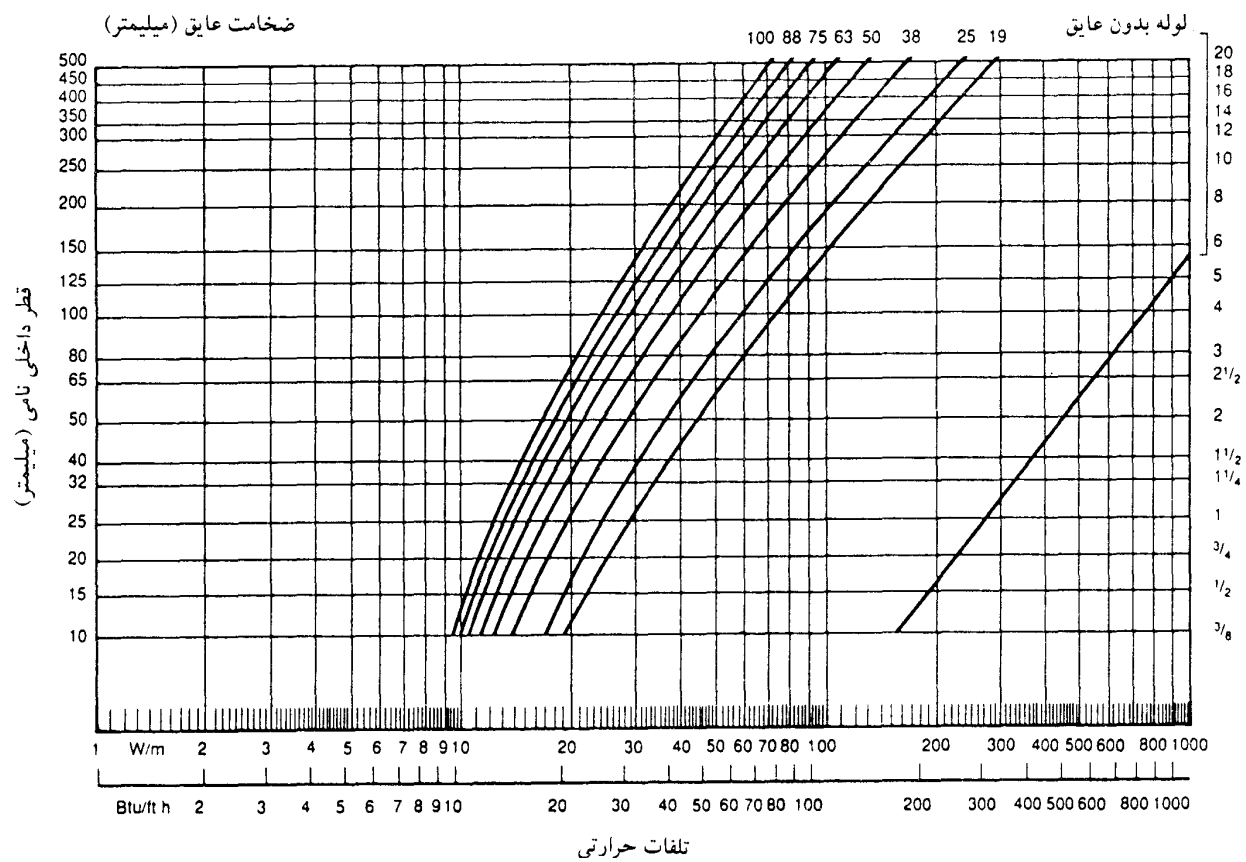
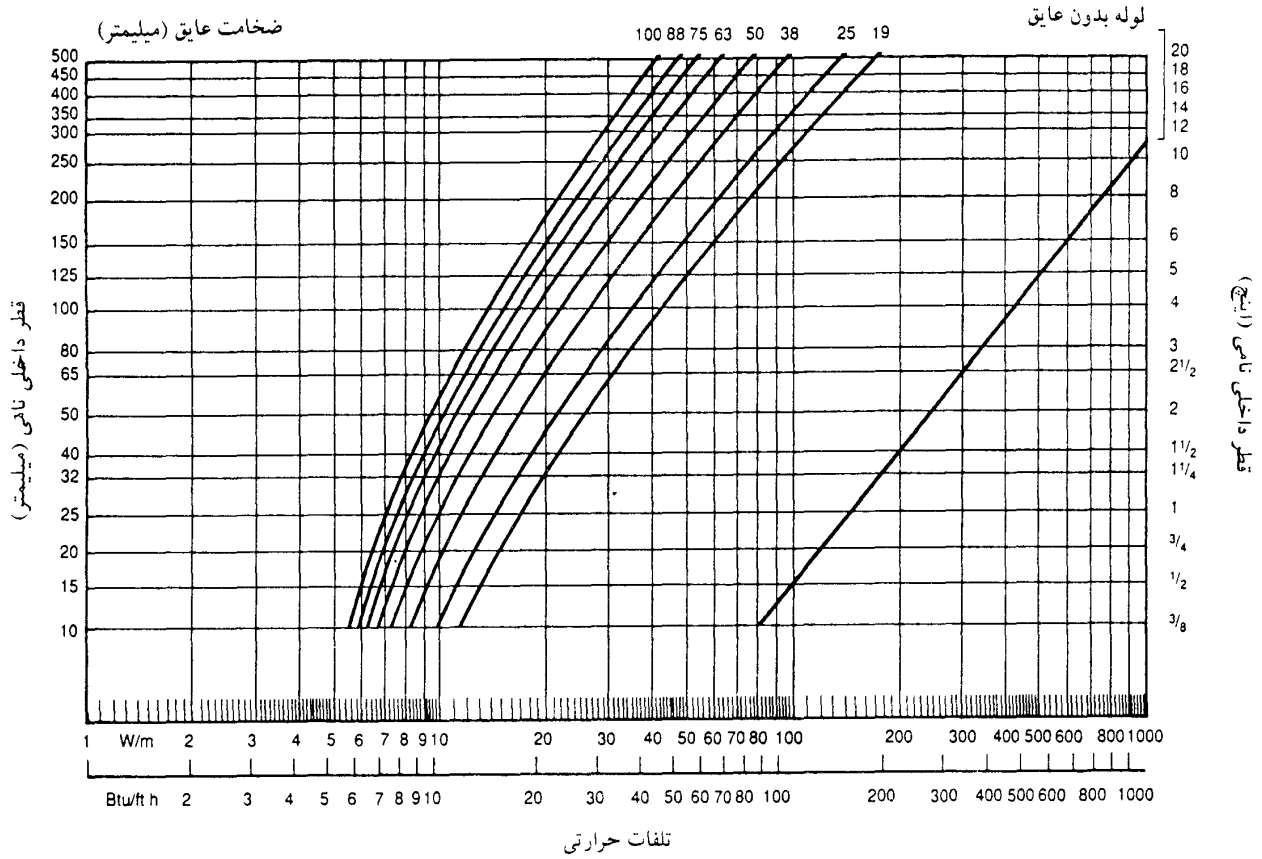


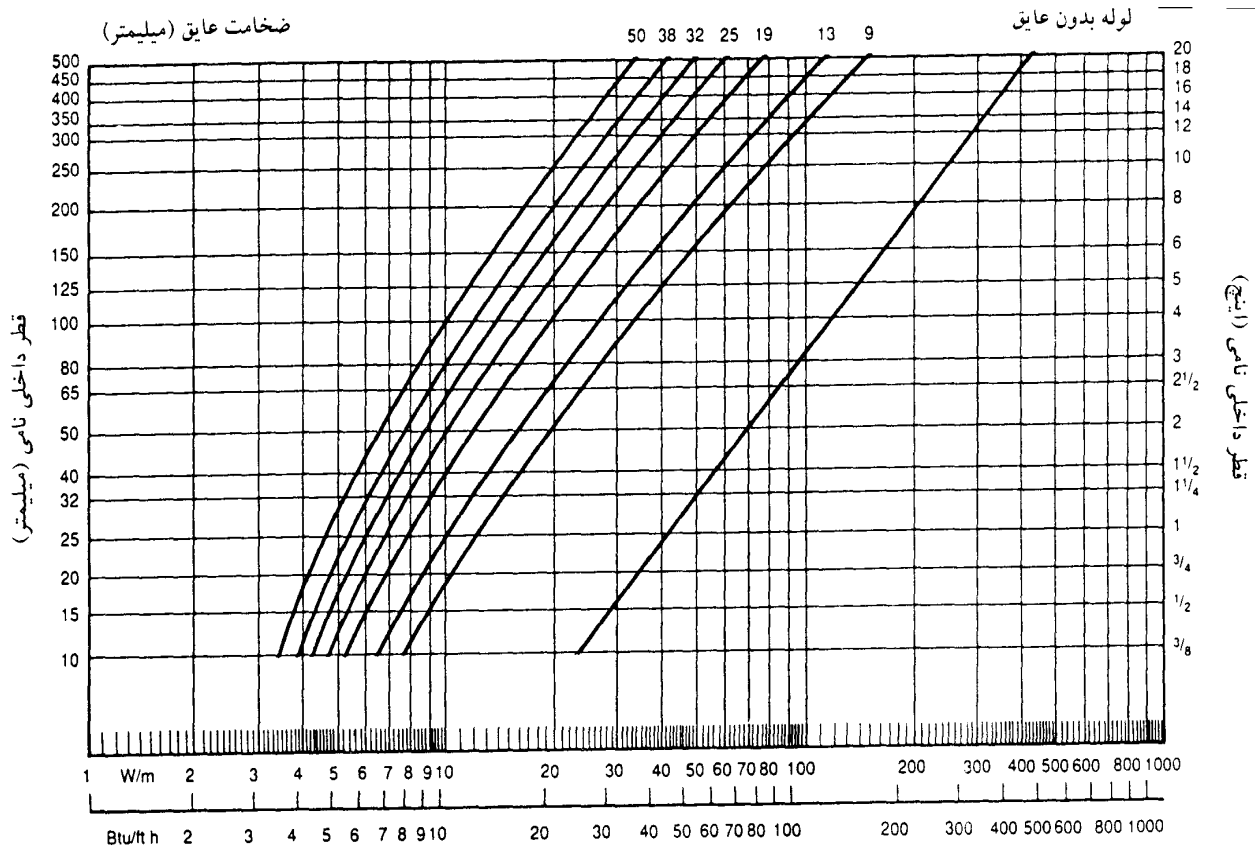
نمودار ۱۸: تلفات حرارتی برای لوله‌هایی بادمای سطح  $50.0^{\circ}\text{C}$  با ضخامتهای مختلف عایق (قطعات سخت شکل داده شده سیلیکات کلسیم یا ۸۵٪ اکسید منیزیم)



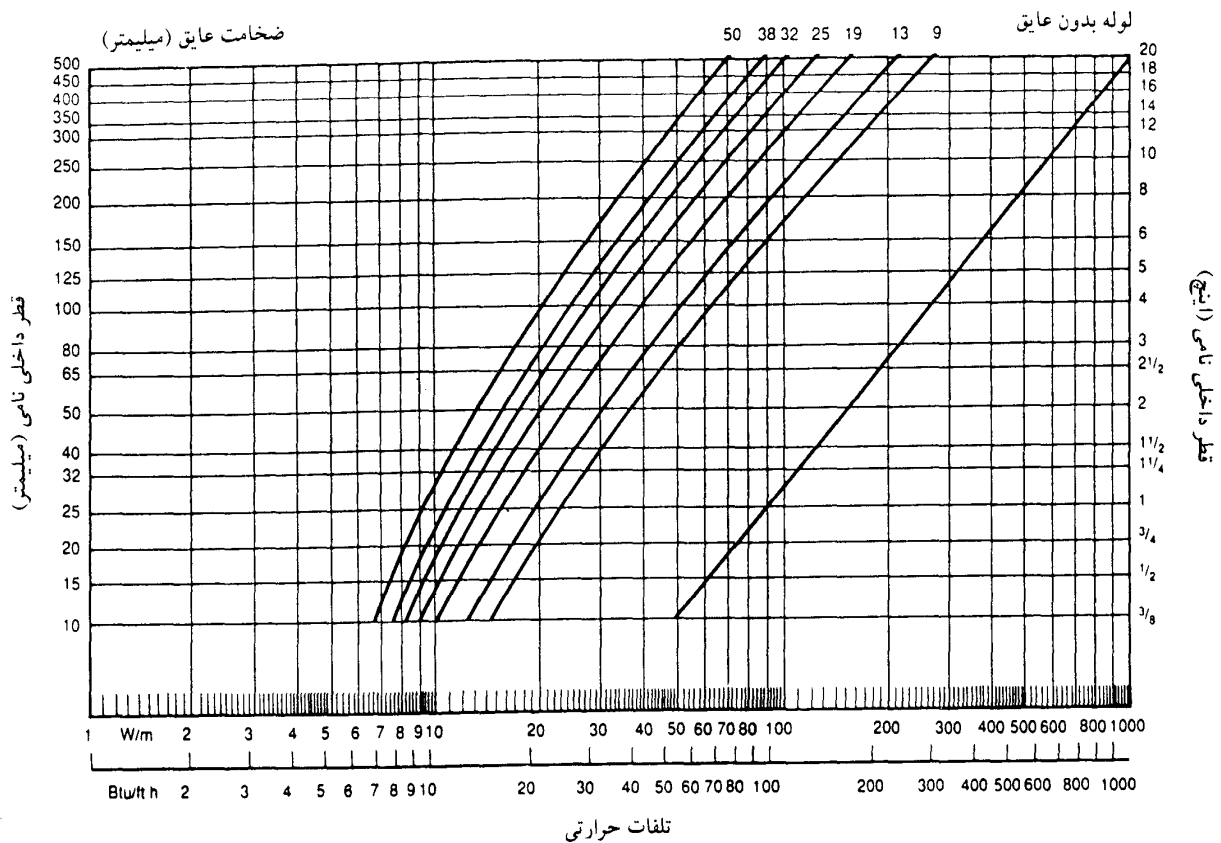
نمودار ۱۹: تلفات حرارتی برای لوله‌هایی بادمای سطح  $60.0^{\circ}\text{C}$  با ضخامتهای مختلف عایق (قطعات سخت شکل داده شده سیلیکات کلسیم یا ۸۵٪ اکسید منیزیم)







نمودار ۲۴: تلفات حرارتی برای لوله‌هایی بادمای سطح  $50^{\circ}C$  با ضخامتهای مختلف عایق (قطعات لاستیک نیتریل گسترده فوم پلی اتیلن)



نمودار ۲۵: تلفات حرارتی برای لوله‌هایی بادمای سطح  $75^{\circ}C$  با ضخامتهای مختلف عایق (قطعات لاستیک نیتریل گسترده فوم پلی اتیلن)

## ضمیمه ۴

### بعضی فرمولهای اساسی انتقال حرارت

روشهای مختلف محاسبه ضخامت اقتصادی عایق کاری براساس فرضیات مناسبی در خصوص شرایط محیطی انجام می گیرند. چون این فرضیات می توانند تأثیر قابل توجهی بر میزان تلفات حرارتی داشته باشند لذا هر تفاوت قابل توجه از این شرایط مفروض باید بصورت یک حالت خاص منفرد بررسی شود. این موضوع نیازمند استفاده از معادلات اساسی انتقال حرارت است. متون استاندارد زیادی درباره انتقال حرارت وجود دارند که جزئیات را بطور کامل ارائه می دهند ولی معادلات اساسی بصورت زیر هستند:

$$Q = U(t_1 - t_m) \dots A_1$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{3.142 d_i h} + \frac{\ln(r_i / r_o)}{6.286 k} \dots A_1$$

که:  $Q$  = تلفات حرارتی در هر متر از طول لوله (وات)

$U$  = ضریب عمومی انتقال حرارت (وات بر متر)

$t_1$  = دمای سطح لوله ( $^{\circ}C$ ) (تقریباً برابر با دمای جریان فرآیند)

$t_m$  = دمای محیط ( $^{\circ}C$ )

$r_i$  = شعاع سطح خارجی عایق (متر)

$r_o$  = شعاع خارجی لوله (متر)

$d_i$  = قطر سطح خارجی عایق (متر)

$h$  = ضریب انتقال حرارتی سطحی ( $W/m^2k$ )

$k$  = هدایت حرارتی عایق ( $W/m.k$ )

این معادلات جهت یافتن تلفات حرارتی در هر متر از طول لوله بکار می روند. ضریب عمومی انتقال حرارت  $U$  ابتدا توسط حل معادله  $A_2$  تعیین می شود سپس معادله  $A_1$  مقدار لازم را می دهد. مسئله عبارتست از تعیین یک مقدار مناسب برای ضریب انتقال حرارت سطح  $h$  است. این کار می تواند با استفاده از اصول اولیه انجام گیرد (به متون استاندارد مراجعه شود). یا جدول ۲۲ می تواند جهت ارائه یک مقدار تقریبی بکار گرفته شود.



جدول ۲۲: تغییرات ضریب سطح خارجی با اختلاف دمای بین سطح و هوای مقادیر مختلف ابعاد خارجی عایق								
سطح با خاصیت انتشار کم				سطح با خاصیت انتشار زیاد				قطر خارجی عایق (mm)
اختلاف دما (۱۲ - ۱m) (برحسب درجه کلوین)								
۱۰	۵	۲	۱	۱۰	۵	۲	۱	
ضریب سطح خارجی (W/m <sup>2</sup> k)								
۵/۴	۴/۷	۳/۹	۳/۴	۹/۷	۹/۱	۸/۲	۸	۴۰
۴/۹	۴/۲	۳/۵	۳/۱	۹/۳	۸/۷	۸	۷/۶	۶۰
۴/۴	۳/۸	۳/۱	۲/۷	۸/۸	۸/۳	۷/۷	۷/۳	۱۰۰
۴	۳/۴	۲/۸	۲/۴	۸/۴	۷/۹	۷/۴	۷	۲۰۰
۳/۶	۳	۲/۴	۲	۸	۷/۵	۷	۶/۶	سطح مسطح عمودی

نکته: اعداد بالا بر سطح خارجی عایق دلالت دارند.