Archive of SID



# بررسی آزمایشگاهی خصوصیات فیزیکی قیرهای خالص ایران و تطابق آنها با طبقه‌بندی SHRP

**امیر کاوسی**
استادیار گروه راه و ترابری - دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه تربیت مدرس
**شهرام شیخ سندیانی**
فارغ التحصیل کارشناسی‌ارشد راه و ترابری - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۷۹/۱/۲۹، تاریخ تصویب ۸۰/۸/۳۰)

## چکیده

نمونه‌های زیادی از قیرهای خالص ۶۰/۷۰ و ۸۵/۱۰۰ پالایشگاههای تهران، اصفهان، شیراز، تبریز و اراک و نیز برخی قیرهای مصرفی در سطح کارخانه‌های آسفالت استان تهران مورد بررسی آزمایشگاهی قرار گرفتند. با انجام آزمایشات متداول در طبقه‌بندی « درجه نفوذی » شامل آزمایشهای درجه نفوذ و نقطه نرمی و نیز محاسبه حساسیت حرارتی قیرها، خصوصیات نمونه‌ها تعیین و نتایج حاصله تجزیه، تحلیل و ارزیابی شدند. از نتیجه این پژوهش چنین برمی‌آید که قیرهای تولیدی در سطح کشور را با تقریب بسیار مناسبی می‌توان در رده‌بندی درجه نفوذی در داخل دو ردهٔ ۶۰/۷۰ و ۸۵/۱۰۰ قرار داد در حالیکه همین قیرها پس از حمل به کارخانه‌های آسفالت تحت تأثیر روشهای غیر استاندارد حمل و گرمایش، تا حدودی خواص فیزیکی اولیه خود را از دست داده و از محدودهٔ استاندارد خارج می‌شوند. از سوی دیگر بنابر نتایج حاصله، کنترل حساسیت حرارتی قیرها و محدودکردن فرآیند آسیب‌پذیری ناشی از استفاده از قیرهای با حساسیت حرارتی زیاد در عملکرد بهتر رویه‌های آسفالتی بسیار مؤثر می‌باشد. ضابطه انتخاب قیر براساس مشخصات فنی جاری و به روشی که فعلاً در کارهای اجرایی متداول و معمول می‌باشد، (فقط با کمیت درجه نفوذ) کافی نیست و بعنوان مثال عامل کندروانی قیر نیز می‌تواند در تعیین حساسیت حرارتی و کنترل خرابیهای ناشی از آن نقش تعیین‌کننده‌ای داشته باشد.

از بررسی نتایج حاصل از آزمایشات متداول روی قیرهای کشور و مقایسهٔ آنها با نتایج آزمایشات قیرهای مشابه در دو کار تحقیقاتی در نروژ که هر دو گروه آزمایشات استاندارد و آزمایشات SHRP را انجام داده و آنها را باهم مقایسه کرده‌اند، قیرهای ۶۰/۷۰ و ۸۵/۱۰۰ فوق‌الذکر به ترتیب مطابق قیرهای PG64-22 و PG58-22 در استاندارد شارپ رده‌بندی شدند.

**واژه‌های کلیدی :** طبقه بندی قیر، درجه نفوذ، آزمایشات شارپ، حساسیت حرارتی قیر

## مقدمه

قیر از جمله اجزای اصلی روسازی‌های آسفالتی و تنها بخشی از آنستکه خواص آن تحت تأثیر عوامل جوی تغییر می‌یابد. بگونه‌ای که عملاً دوام و پایایی روسازی آسفالتی تا حدود زیادی وابسته به خصوصیات قیر بکار رفته و همگونی آن با محیط است. حال اگر در کنار ضعف تکنولوژی و یا کمبود امکانات و مواد اولیه برای ساخت روسازی از قیر نامتناسب با شرایط محیطی نیز استفاده شود از عمر آسفالت بطور قابل ملاحظه‌ای کاسته شده و عملاً روسازی در معرض خرابیهای مختلف از جمله تغییر شکل‌های دایمی و ترکهای ناشی از دمای پائین قرار می‌گیرد.

درجه نفوذ و یا کندروانی قیر، صرفنظر از نوع، کیفیت و خواص ناهمگون فیزیکی و شیمیایی منابع مختلف نفت‌خام، و فرآیندهای متنوع پالایش، با کاهش یا افزایش درجه حرارت تغییر می‌کند. در درجه حرارت زیاد قیر مایع روانی است که بعد از سردشدن در دمای محیط، نیمه سخت[1]، کشسان[2] و در درجه حرارت خیلی پائین، سخت و شکننده می‌شود. بطور کلی تغییرات حاصله در غلظت قیر، که از تغییر وضعیت در شرایط حرارتی آن بوجود می‌آید، حساسیت حرارتی قیر نامیده می‌شود که برای قیرهای گوناگون متفاوت است.

دو پارامتر اساسی که در روشهای کنونی برای کنترل حساسیت حرارتی و تعیین خواص فیزیکی قیرها و نیز انتخاب آنها در بتن آسفالتی بکار گرفته می‌شود نتایج آزمایشات درجه نفوذ و نقطه نرمی است. این آزمایشات ضمن تعیین خصوصیات فیزیکی نمونه

www.SID.ir

Archive of SID



قیرهای مربوطه، با بکارگیری روابط موجود، پارامتر حساسیت حرارتی قیرها را نیز تعیین می‌کنند که با مجموع این داده‌ها می‌توان جایگاه قیر مربوطه را مشخص نمود.

## تأثیر خواص فیزیکی و شیمیایی بر دوام قیر

قیر ساختاری کلوئیدی دارد که اجزای عمدهٔ آنرا آسفالتین و مالتین تشکیل می‌دهد. فاز معلق و پراکنده[۳] سیستم کلوئیدی قیر را آسفالتین و فاز پیوسته[۴] آنرا مالتین می‌نامند [۱]. تفاوت در خواص فیزیکی قیرهای نفتی ناشی از اختلاف وزنی آسفالتین و مالتین است که مالتین نیز خود به دو جزء روغن و رزین تقسیم می‌شود. مواد و ترکیبات دیگری مانند کربن، کربوئید و اسیدهای آسفالتینیک نیز در ناهمگونی خواص فیزیکی قیرها سهیم می‌باشند.

پدیده سخت شدن قیر[۵] پدیده‌ای تدریجی است که موجب ظهور انواع آسیب دیدگیها در رویه آسفالتی می‌شود. علت اصلی پدیده سخت شدن قیر را می‌توان اکسیداسیون و فتواکسیداسیون ناشی از تابش مستقیم نور و بازتابهای آن، متصاعد شدن مواد فرار و سبک قیر، واکنشهای فتوشیمیایی بین ترکیبات قیر و اجزای معدنی مصالح سنگی و بالاخره دگرگونی بیولوژیک دانست [۲].

سخت شدن و تغییرات ناشی از آن عملاً در دو الگوریتم باشرایط کاملاً متفاوت در قیر ظاهر می‌شود که اولی در کوتاه مدت با سرعت و شدت زیاد و در فاصله زمانی کوتاه بین گرم کردن قیر و اختلاط قیر و سنگ در درجه حرارت زیاداست که حاصل آن اکسیداسیون قیر است و مرحله دوم شامل سخت شدن در طول سرویس دهی رویه آسفالتی در شرایط دمای نسبتاً کمتر و سرعت پایین‌تر ولی تدریجی و مداوم و در دراز مدت است که حاصل اکسیداسیون ناشی از واکنش بین قیر و اکسیژن محیط است.

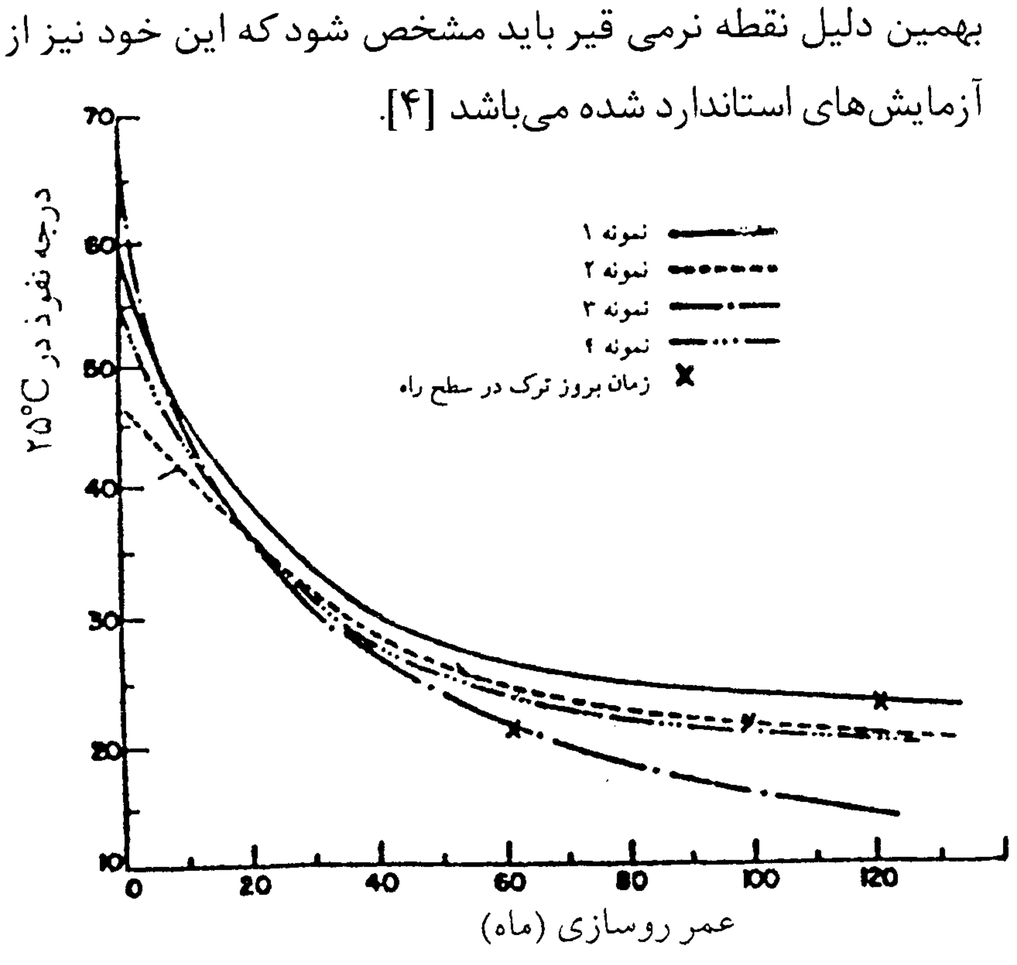
پیش‌بینی و نیز اندازه‌گیری پدیده سخت شدن قیر باید بر اساس مقایسه میان خصوصیات قیر خالص قبل و پس از طی مدتی در روسازی توسط پارامتر فیزیکی ثابتی صورت پذیرد. از پارامتر درجه نفوذ قیرها می‌توان برای تعیین میزان سخت شدن قیر پس از گذشت زمان استفاده کرد. شکل (۱) نتایج حاصل از سخت شدن چند نمونه قیر را در زمانهای مختلف نشان می‌دهد. در این شکل در چند مورد از نمونه‌ها، زمانی راکه ترک در سطح روسازی بروز کرده است نیز نشان داده شده است.

## طبقه‌بندی قیر

### براساس درجهٔ نفوذ

قیرهای خالص در استانداردهای موجود بر دو اساس ویسکوزیته و درجه نفوذ رده‌بندی می‌شوند. در رده‌بندی درجه نفوذی ( جدول ۱) انواع قیرهایی که می‌توانند برحسب شرایط در روسازی کاربرد داشته باشند شامل قیرهای 40-50,60-70,85-100,120-150,200-300 می‌باشند. این اعداد محدوده استانداردی‌اند که میزان نفوذ وزنه استاندارد ۱۰۰ گرمی را در طول مدت ۵ ثانیه و در دمای ۲۵°C بر حسب واحد ۰/۱ میلیمتر در آزمایش درجه نفوذ نشان می‌دهند. این نوع طبقه‌بندی بیشتر درکشورهای اروپایی و آسیایی متداول است؛ در حالیکه طبقه‌بندی بر اساس ویسکوزیته بیشتر در آمریکا رایج است. هر چند هر دو این روشها با بکار گیری روش شارپ بتدریج از استانداردها خارج می‌شوند [۳].

قیرها مواد ویسکوالاستیک و بدون یک نقطه ذوب یکسان هستند که با افزایش درجه حرارت بتدریج نرمتر و روانتر می‌شوند. بهمین دلیل نقطه نرمی قیر باید مشخص شود که این خود نیز از آزمایش‌های استاندارد شده می‌باشد [۴].




**شکل ۱ : تأثیر گذشت زمان بر ویسکوزیته قیرها در ۶۰°C [۸].**

### حساسیت حرارتی قیر به روش PI

معمولاً همراه با افزایش درجه حرارت نمونه آزمایش، درجه نفوذ قیر نیز بالا می‌رود. بر مبنای این آزمایش تجربی نخستین بار در سال ۱۹۳۶ دو نفر از متخصصین آسفالت بنامهای Pfeiffer و Van Doormal بوجود یک رابطه خطی بین لگاریتم درجه نفوذ و درجه حرارت پی بردند. [۵]

www.SID.ir

Archive of SID



**جدول ۱ : مشخصات قیرهای خالص مورد استفاده در روسازی بر اساس طبقه‌بندی درجه نفوذی.**

| محدودهٔ مشخصات / آزمایشات | قیرهای با درجه نفوذ متفاوت | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ۴۰-۵۰ | | ۶۰-۷۰ | | ۸۵-۱۰۰ | | ۱۲۰-۱۵۰ | | ۲۰۰-۳۰۰ | |
| | Min | Max | Min | Max | Min | Max | Min | Max | Min | Max |
| درجه نفوذ در ۵s،۱۰۰gr،۲۵°C | ۴۰ | ۵۰ | ۶۰ | ۷۰ | ۸۵ | ۱۰۰ | ۱۲۰ | ۱۵۰ | ۲۰۰ | ۳۰۰ |
| نقطه‌اشتعال(فنجان باز)(°F)،حداقل | ۴۵۰ | | ۴۵۰ | | ۴۵۰ | | ۴۲۵ | | ۳۵۰ | |
| داکتیلیته‌در۲۵°C،۵cm/min،حداقل | ۱۰۰* | | ۱۰۰ | | ۱۰۰ | | ۱۰۰ | | ۱۰۰ | |
| حلالیت‌در تری‌کلرو‌راتیلن، %،حداقل | ۹۹ | | ۹۹ | | ۹۹ | | ۹۹ | | ۹۹ | |
| درجه‌نفوذ‌پس‌ازآزمایش RTFOT، % | ۵۵+ | | ۵۲+ | | ۴۷+ | | ۴۲+ | | ۳۷+ | |
| داکتیلیته‌پس‌ازآزمایش TFOT در۲۵°C،۵cm/min،حداقل،cm | | | ۵۰ | | ۷۵ | | ۱۰۰ | | ۱۰۰* | |

** : اگر داکیلیته قیر پس از آزمایش TFOT کمتر از ۱۰۰cm باشد، قیر مورد نظر در صورتی قابل قبول خواهد بود که داکتلیته قیر اولیه در دمای ۱۵/۵°C با میزان کشش ۵cm/min حداقل برابر ۱۰۰ باشد.*

این دو نفر با انجام آزمایش‌های متعدد به این نتیجه رسیدند که: «برای اغلب قیرهای مصرفی در روسازی‌های آسفالتی، رابطه لگاریتم درجه نفوذ نسبت به درجه حرارت تا نزدیکی درجه حرارت نقطه نرمی قیر خطی است» و با توجه به اینکه درجه نفوذ این قیرها در نقطه نرمی معادل ۸۰۰ است رابطهٔ زیر را ارائه دادند:

$$A=\frac{\log 800-\log Pen\ (at\ 25^{\circ}C)}{T_{(R\ \&\ B)}-25}=\frac{1}{50}\left(\frac{20-PI}{10+PI}\right) \quad (1)$$

در این رابطه:

$T_{(R\ \&\ B)}$ = درجه حرارت نقطه نرمی ($^{\circ}C$) است.

از رابطه (۱) می‌توان برای تعیین شاخص درجه نفوذ قیر PI[۶] استفاده کرد. تعیین این پارامتر موجب شناخت بهتر خصوصیات فنی قیر می‌شود. گرچه حساسیت حرارتی قیر را می‌توان با پارامتر PVN (عدد درجهٔ نفوذ ـ ویسکوزیته) هم تعیین کرد، اما بدلیل سهولت کار و اینکه روند درجه‌بندی قیر در کشور در حال حاضر درجه نفوذ است لذا در این تحقیق مقادیر PI محاسبه شده است.

## براساس روش SHRP

آیین‌نامه جدید شارپ (SHRP)[۷] رده‌بندی رفتاری را معرفی کرده است. در این روش که توسط موسسهٔ آشتو[۸] بصورت استانداردهای موقت و غیرقطعی آورده شده است (جدول ۲) عملکرد قیر در شرایط دمایی محیط مورد مصرف ملاک قرار گرفته و در طراحی مخلوطهای آسفالتی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۶]. در روش شارپ دیگر برای هر آزمایش یک دمای ثابت در نظر گرفته نمی‌شود بلکه خصوصیات فیزیکی معینی تعریف که در دماهای محیط مورد نظر (میانگین، حداقل و متوسط دمای گرمترین هفت روز متوالی سال) آزمایش‌ها انجام شده و در این شرایط حداقل خصوصیات باید تأمین شود. در طبقه‌بندی رفتاری (PG)[۹] هر قیر با دو عدد حداقل و حداکثر که بترتیب مربوط به کمترین دمای محیط و میانگین حداکثر دمای هفت روزه سال است رده‌بندی می‌گردد. برای مثال قیر PG 58-22 قیری خواهد بود که در دمای حداکثر ۵۸°C و حداقل ۲۲°C- خصوصیات لازمه را باید داشته باشد. در جدول شمارهٔ ۲ مشخصات مربوط به نوع قیر بصورت نمونه آورده شده است.

## برنامه کار و آزمایشات

در این بررسی پژوهشی - آزمایشگاهی، که طی سالهای ۱۳۷۸ و ۱۳۷۹ انجام شد، قیرهای خالص پالایشگاههای تهران، اصفهان، تبریز، شیراز و اراک مورد آزمایش قرار گرفته و نتایج حاصله از نظر حساسیت حرارتی قیرها و سایر خواص مرتبط با این ویژگی ارزیابی شدند.

برای تهیه نمونه از پالایشگاهها، چون امکان نمونه‌گیری مستقیم فراهم نشد، بکمک مرکز پالایش و پخش شرکت ملی نفت ایران و نیز پالایشگاه تهران این کار صورت پذیرفت. اما در مورد نمونه قیرهای کارگاهی، با مراجعه مستقیم به اکثر کارخانه آسفالتهای سطح استان تهران نمونه‌های مربوطه جمع‌آوری شد

www.SID.ir

Archive of SID



مجموعاً ۶۱ نمونه قیر در طی این پروژه مورد آزمایش قرار گرفت که برخی از آنها بدلایل مختلف از جمله تشابه نمونه‌ها و یا غیر قابل اطمینان بودن روش نمونه‌گیری از ارزیابی کلی حذف شدند. نتایج مربوط به قیرهای با مشخصات استاندارد در جدول شمارهٔ ۳ آورده شده است. در این جدول نمونه‌های مربوط به قیرهای کارگاهی و پالایشگاهی بطور مجزا آورده شده‌اند.

**جدول ۲ : درجه‌بندی رفتاری قیر [۶].**

| آزمایش | روش آئین‌نامهٔ AASHTO | نوع درجه‌بندی شارپ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ۱ | ۴ | ۶a | ۶b | ۷ |
| درجهٔ نفوذ پس از آزمایش RTFO (25°C, 100g, 5sec) | T49 | ۲۵ | ۲۰ | — | — | — |
| ویسکوزیتهٔ مطلق ($Pas$ (×۱۰$^{-1}$) و ۶۰°C | T202 | | | | | |
| ● قیر اولیه (حداقل) | | ۸۰۰ | ۲۸۰۰ | ۲۰۰۰ | ۲۰۰۰ | ۱۱۰۰ |
| ● پس از آزمایش RTFO | | ۲۵۰۰-۵۰۰۰ | ۱۴۰۰۰(حداکثر) | ۵۰۰۰(حداقل) | ۵۰۰۰(حداقل) | ۳۰۰۰(حداقل) |
| ویسکوزیتهٔ سینماتیک ($\frac{m2}{sec}$ (×۱۰$^{-6}$) و ۱۳۵°C) | T201 | | | | | |
| ● قیر اولیه (حداکثر) | | — | — | ۲۰۰۰ | ۲۰۰۰ | ۲۰۰۰ |
| ● پس از آزمایش RTFO (حداقل) | | ۲۷۵ | ۲۷۵ | ۲۷۵ | ۳۵۰ | ۲۷۵ |
| نسبت ویسکوزیتهٔ مطلق در ۶۰°C (حداکثر) ویسکوزیته قیر اولیه / ویسکوزیته پس از RTFO | — | ۴ | ۴ | ۴ | ۴ | ۴ |
| نقطهٔ اشتعال (ظرف روباز) قیر اولیه (حداقل) برحسب °C | T48 | ۲۳۲ | ۲۳۲ | ۲۳۲ | ۲۳۲ | ۲۳۲ |
| افت‌وزنی پس از آزمایش RTFO (٪) | T240 | گزارش شود | گزارش شود | ۰/۶ | ۰/۶ | ۰/۶ |
| حلالیت در تری‌کلرو‌راتیلن (٪) | T44 | ۹۹ | ۹۹ | گزارش شود | گزارش شود | گزارش شود |
| ● قیر اولیه (حداقل) | | | | | | |
| داکتیلیته (25°C, 5cm/min) برحسب Cm | T51 | | | | | |
| ● پس از آزمایش RTFO (حداقل) | | ۷۵ | ۵۰ | ۶۰ | ۶۰ | ۷۵ |
| ضریب سختی: ۳۰۰ MPa (حداکثر) در درجه حرارت‌های مقابل | TP1 | -۶°C | -۶°C | -۲۴°C | -۳۰°C | -۶°C |

www.SID.ir

Archive of SID



**جدول ۳ : مشخصات قیرهای آزمایش شده در پروژه .**

| ردیف | نام پالایشگاه | نام‌کارخانه‌آسفالت | نوع‌نمونه‌قیر | نقطه نرمی | درجه نفوذ | PI | محل‌کارخانه |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | اصفهان | | ۶۰/۷۰ | ۵۱ | ۶۴ | -۰/۱ | |
| ۲ | اصفهان | | ۶۰/۷۰ | ۴۹ | ۶۰ | -۰/۱ | |
| ۳ | تهران | | ۶۰/۷۰ | ۵۰ | ۶۴ | -۰/۵ | |
| ۴ | تهران | | ۶۰/۷۰ | ۴۹ | ۶۶ | -۰/۶ | |
| ۵ | تهران | | ۶۰/۷۰ | ۴۸ | ۶۰ | -۰/۱ | |
| ۶ | تهران | | ۶۰/۷۰ | ۵۱ | ۶۱ | ۰/۰ | |
| ۷ | اراک | | ۶۰/۷۰ | ۴۹ | ۶۴ | ۰/۰۰ | |
| ۸ | اراک | | ۶۰/۷۰ | ۴۹ | ۶۶ | -۰/۶ | |
| ۹ | شیراز | | ۶۰/۷۰ | ۴۸ | ۶۹ | -۰/۶ | |
| ۱۰ | شیراز | | ۶۰/۷۰ | ۴۹ | ۷۰ | -۰/۵ | |
| ۱۱ | شیراز | | ۶۰/۷۰ | ۴۹ | ۶۸ | -۰/۷ | |
| ۱۲ | اصفهان | | ۸۵/۱۰۰ | ۴۹ | ۹۱ | ۰/۰ | |
| ۱۳ | اصفهان | | ۸۵/۱۰۰ | ۴۷ | ۹۴ | -۰/۴ | |
| ۱۴ | اصفهان | | ۸۵/۱۰۰ | ۴۸ | ۹۷ | -۰/۳ | |
| ۱۵ | تبریز | | ۸۵/۱۰۰ | ۴۸ | ۹۳ | -۰/۱ | |
| ۱۶ | تبریز | | ۸۵/۱۰۰ | ۴۹ | ۹۲ | ۰/۰۰ | |
| ۱۷ | تبریز | | ۸۵/۱۰۰ | ۴۷ | ۹۸ | ۰/۰۰ | |
| ۱۸ | تبریز | | ۸۵/۱۰۰ | ۴۶ | ۱۰۰ | -۰/۴ | |
| ۱۹ | تهران | ظفر | ۶۰/۷۰ | ۵۱ | ۷۰ | -۰/۱ | شهریار |
| ۲۰ | تهران | ظفر | ۶۰/۷۰ | ۴۹ | ۶۶ | -۰/۱ | شهریار |
| ۲۱ | تهران | شهدای‌شلمچه | ۶۰/۷۰ | ۴۸ | ۷۰ | -۰/۵ | ورامین |
| ۲۲ | تهران | ماهان‌راه | ۶۰/۷۰ | ۴۹ | ۶۹ | -۰/۶ | قم |
| ۲۳ | تهران | قدس | ۶۰/۷۰ | ۵۰ | ۶۴ | -۰/۵ | قم |
| ۲۴ | تهران | قدس | ۶۰/۷۰ | ۴۹ | ۶۴ | ۰/۰ | قم |
| ۲۵ | تهران | حسن‌آباد | ۶۰/۷۰ | ۴۹ | ۶۷ | -۰/۷ | تهران |

## تجزیه و تحلیل نتایج آزمایشگاهی

با توجه به داده‌های بدست آمده در طی آزمایشها (جدول ۳) و مقایسهٔ آنها با مشخصات قیرهای خالص شرکت نفت [۷] نتیجه حاصل شده از این قرار است که قیرهای تولیدی در پالایشگاههای کشور برآورنده مشخصات استاندارد مورد نیاز جهت قرارگیری در رده‌بندی درجه نفوذ می‌باشند و از این جهت می‌توان قیرهای ۶۰/۷۰ و ۸۵/۱۰۰ تولیدی در پالایشگاهها را در این دو رده مورد ارزیابی قرار داد. ذکر این نکته ضروری است که گرچه قیرهای تولیدی در پالایشگاهها تا حدود زیادی در محدوده مشخصات استاندارد قرار دارند اما همین قیرها در طی مراحل حمل و گرم کردن درکارخانه‌های آسفالت تا حدودی مشخصات استاندارد خود را از دست می‌دهند که با تاثیر داده‌های مربوط به قیرهای برداشت شده ازکارخانه‌های آسفالت نتایج زیر حاصل می‌شود:

**قیر ۶۰/۷۰**

**درجه نفوذ:** در مجموع درجه نفوذ میانگین برای قیرهای ۶۰/۷۰ تولیدی در پالایشگاههای کشور برابر ۶۴/۷ و انحراف معیار استاندارد نمونه‌ها نیز برابر ۴/۷ می‌باشد. این در حالی است که برای نمونه قیرهای مربوط به کارخانه‌های آسفالت درجه نفوذ میانگین برابر ۷۳/۵ و انحراف معیار استاندارد برابر ۴/۸ می‌باشد.

**نقطه نرمی :** نقطه نرمی میانگین قیرهای ۶۰/۷۰ تولیدی در

www.SID.ir

Archive of SID



پالایشگاهها برابر ۴۹/۳ و انحراف معیار استاندارد آنها نیز برابر ۲/۰ می‌باشد در حالیکه برای قیرهای کارگاهی نقطه نرمی میانگین و انحراف معیار استاندارد نمونه‌ها بترتیب برابر با ۴۸/۵ و ۱/۷ می‌باشد.

**شاخص درجه نفوذ** (PI): اگر برای پارامتر شاخص درجه نفوذ طبق استانداردهای موجود [۱] محدوده‌های کمتر از (۰/۵-)، (۰/۵- تا ۱/۰-) و (۱- تا ۱/۵-) را بترتیب معادل حساسیت حرارتی کم، متوسط و زیاد بدانیم در اینصورت برای قیرهای پالایشگاهی ۴۵ درصد نمونه‌ها دارای حساسیت حرارتی کم و ۵۵ درصد از آنها دارای حساسیت حرارتی متوسط می‌باشند.

**قیر ۸۵/۱۰۰**

**درجه نفوذ:** برای قیرهای ۸۵/۱۰۰ درجه نفوذ میانگین و انحراف از معیار استاندارد قیرهای پالایشگاهی بترتیب معادل ۹۵ و ۷/۹ می‌باشد.

**نقطه نرمی :** برای این دسته از قیرها میانگین نقطه نرمی برابر ۴۷/۷ و انحراف معیار استاندارد نمونه‌ها نیز معادل ۱/۳۳ می‌باشد.

**شاخص درجه نفوذ** (PI): در مورد پارامتر شاخص درجه نفوذ (PI)، نمونه قیرهای ۸۵/۱۰۰ در محدوده PI<-۰/۵ بوده و لذا در ردهٔ دارای حساسیت حرارتی کم قرار می‌گیرند.

## تطابق با درجه‌بندی شارپ

در حال حاضر فعالیتهای مختلفی در کشورهای صنعتی در زمینه آزمایشات مواد قیری و استانداردهای مربوط به آنها در جریان است. عمده این فعالیتها توسط برنامه تحقیقات استراتژیک راهها در آمریکا (SHRP) و استاندارد "CEN" در اروپا صورت می‌پذیرد. پس از خاتمه پروژه SHRP با توجه به دستاوردهای فراوان این پروژه و دگرگونی‌های ایجاد شده در آن در تعدادی از کشورها به ارزیابی و چگونگی بهره‌گیری از آن پرداخته شد [۸،۹و۱۰]. اما از آنجاکه امکانات انجام آزمایشهای شارپ محدود و در عین حال بسیار هزینه‌بر می‌باشد، عملاً امکان جایگزینی آنها در سطح تمام کارگاهها و آزمایشگاهها وجود ندارد. از اینرو بسیاری از کشورها پس از آنکه تحقیقات شارپ به ثمر رسید به این فکر افتادند تا با صرف کمترین هزینه رابطه میان مشخصات قیر براساس استانداردهای فعلی و آیین‌نامه شارپ را بیابند تا از اینطریق بدون نیاز به صرف هزینه‌های گزاف تجهیز آزمایشگاهها بتوانند از دستاوردهای شارپ استفاده کنند.

از جمله در گروه استاندارد اروپا (CEN) کمیته فنی TC19 در زمینه محصولات پتروشیمی کار ارزیابی را برعهده گرفت و یکی از کشورهایی که در انجام هدف فوق پیشگام شد کشور نروژ بود که با توجه به منابع و تولید و فروش نفت و قیر در سطح اروپا انجام این پروژه در این کشور مورد توجه خاص قرار گرفت [۸].

در طی این پروژه کار معادل‌یابی ۳۵ نمونه از قیرهای مختلف تولیدی در کشور نروژ و در سطح اروپا که براساس طبقه‌بندی‌های فعلی ارزیابی شده بودند صورت گرفت و آزمایشهای شارپ علاوه بر آزمایش‌های متداول استاندارد بر روی این قیرها انجام شد. قیرهای مورد آزمایش از میان منابع مختلف نفت خام و پالایشگاههای متفاوت انتخاب شدند. براین اساس ۲۶ نمونه قیر در رده‌بندی درجه نفوذی تحت آزمایشات متداول نظیر درجه نفوذ، نقطه نرمی و ویسکوزیته قرار گرفتند. از سوی دیگر همین قیرها در روش شارپ و براساس آزمایشات این روش نیز مورد بررسی آزمایشگاهی قرار گرفتند [۸].

در ابتدا با کمک درونیابی خطی در مقیاس‌های طبیعی محدوده‌های دمایی برای $m = 0.300$ در آزمایش DSR[10] بدست آمد. این محدوده‌ها برای $G^*/\sin\delta = 1.0$ KPa ؛ $G^*/\sin\delta = 2.2$ KPa ، $G^*/\sin\delta = 5.00$ KPa و $S = 300$ MPa تعیین شد. برای انجام آزمایش DSR از یک دستگاه "Bohlin CS-50" و برای آزمایش BBR[11] از یک دستگاه "Cannon" استفاده شد و ویسکوزیته دینامیکی[12] نمونه‌ها نیز بکمک دستگاه «ویسکومتر دورانی بروکفیلد» تعیین گردید. در اینحال آزمایش PAV[13] در دو دمای ۹۰°C و یا ۱۰۰°C (بسته به نتایج آزمایش DSR) و براساس روش استاندارد ASTMP-P248 انجام پذیرفت.

در طی انجام پروژه ابتدا میزان همگرایی میان پارامترهای فیزیکی روشهای متداول طبقه‌بندی قیرها نظیر پارامترهای درجه نفوذ در ۲۵° سانتیگراد، نقطه نرمی و ویسکوزیته دینامیکی در ۶۰° سانتیگراد با محدودهٔ دماهایی که در آن در مقیاس شارپ خرابیها روی می‌دهد، تعیین شد و براساس نتایج بدست آمده همگرایی بسیار خوبی میان آنها مشاهده شد ($0.959 \leq R^2 \leq 0.988$). در این بین بهترین همبستگی میان ویسکوزیته دینامیکی در ۶۰° سانتیگراد و «محدوده دمایی» مربوط به $G^*/\sin\delta = 2.2$ KPa

www.SID.ir

Archive of SID

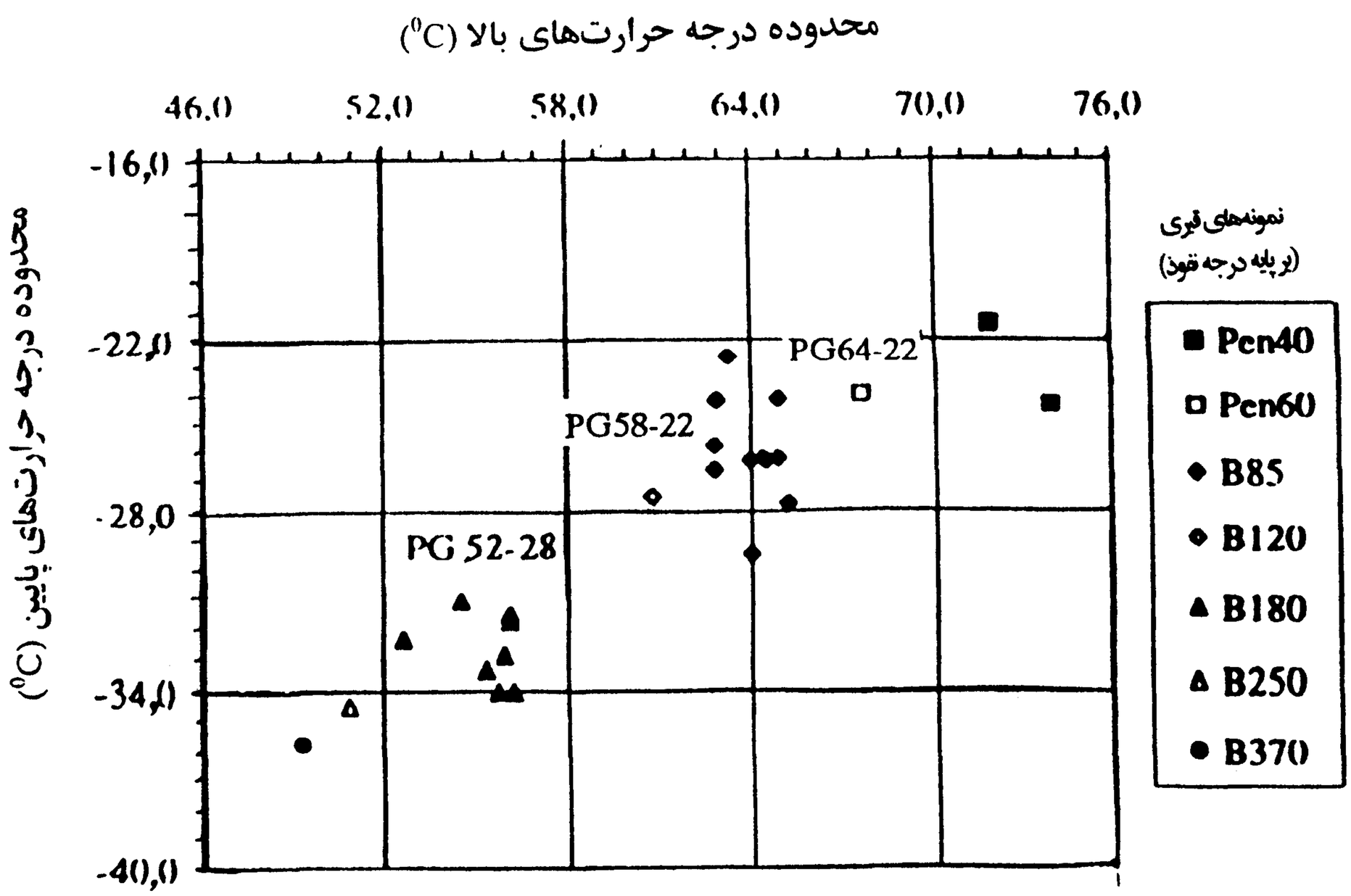


برای قیر باقیمانده از آزمایش (RTFOT)[۱۴] برقرار شد که برای آن $R^2$ برابر با ۰/۹۸۸ بود. این امر نشانگر اینستکه با تقریب بسیار خوبی می‌توان با داشتن مشخصات قیرها در روشهای متداول، مشخصات آنها را براساس طبقه‌بندی «شارپ» بدست آورد. البته لازم است تا از قیرهای موجود خود براساس آزمایشات متداول در استانداردهای موجود شناخت کافی داشته و موارد کاربرد آنرا مشخص نموده باشیم [۱۱،۱۲و۱۳].

**معادل‌یابی قیرها**

همانگونه که مطالعات و آزمایشات مختلف بر روی قیرهای تولیدی در کشور نشان داد می‌توان گفت که این قیرها نوسان و تغییرات غیرقابل قبولی در میزان پارامتر درجه نفوذ خود ندارند و عموماً این پارامتر برای قیرهای مزبور در داخل محدوده استاندارد قرار دارد. از اینرو قیرهای تولیدی در پالایشگاههای کشور را می‌توان در دو ردهٔ استاندارد ۶۰/۷۰ و ۸۵/۱۰۰ قرار داد. از سوی دیگر براساس مطالعات گروه نروژی [۸]، از شکل شماره ۲ می‌توان برای نشاندآدن رابطه میان رده‌بندی درجه نفوذی و طبقه‌بندی رفتاری استفاده نمود. در این شکل موقعیت ۲۵ نمونه قیر با رده‌بندی درجه نفوذی که در امور آسفالتی کاربرد متداول دارند در رده‌بندی SHRP دیده می‌شود.

به منظور بررسی چگونگی همخوانی فیزیکی قیرهای تولیدی درکشور با قیرهای نروژی نشان داد شده در شکل شمارهٔ ۲ نتایج حاصل از قیرهای کشور و قیرهای نروژی باهم در چارت داده‌های قیر مورد مقایسه قرارگرفتند (شکل ۳). در این چارت‌ها که در دههٔ گذشته توسط محققین عرضه شده است [۱] محور افقی درجه حرارت و محورهای عمودی درجهٔ نفوذ و ویسکوزیتهٔ قیر می‌باشند. با داشتن نتایج آزمایشات استاندارد قیر موقعیت هر قیر در چارت فوق مشخص و تغییرات فیزیکی آن در مقابل درجه حرارت ترسیم می‌شود. با مراجعه به این چارت و مقایسهٔ نتایج قیرهای تولیدی در کشور و قیرهای نروژی ملاحظه می‌شود که همخوانی قابل قبولی بین آنها وجود دارد. با توجه به این همخوانی شاید بتوان از شکل شمارهٔ (۲) نیز استفاده و برای قیرهای کشور در رده‌بندی SHRP معادل‌یابی نمود.

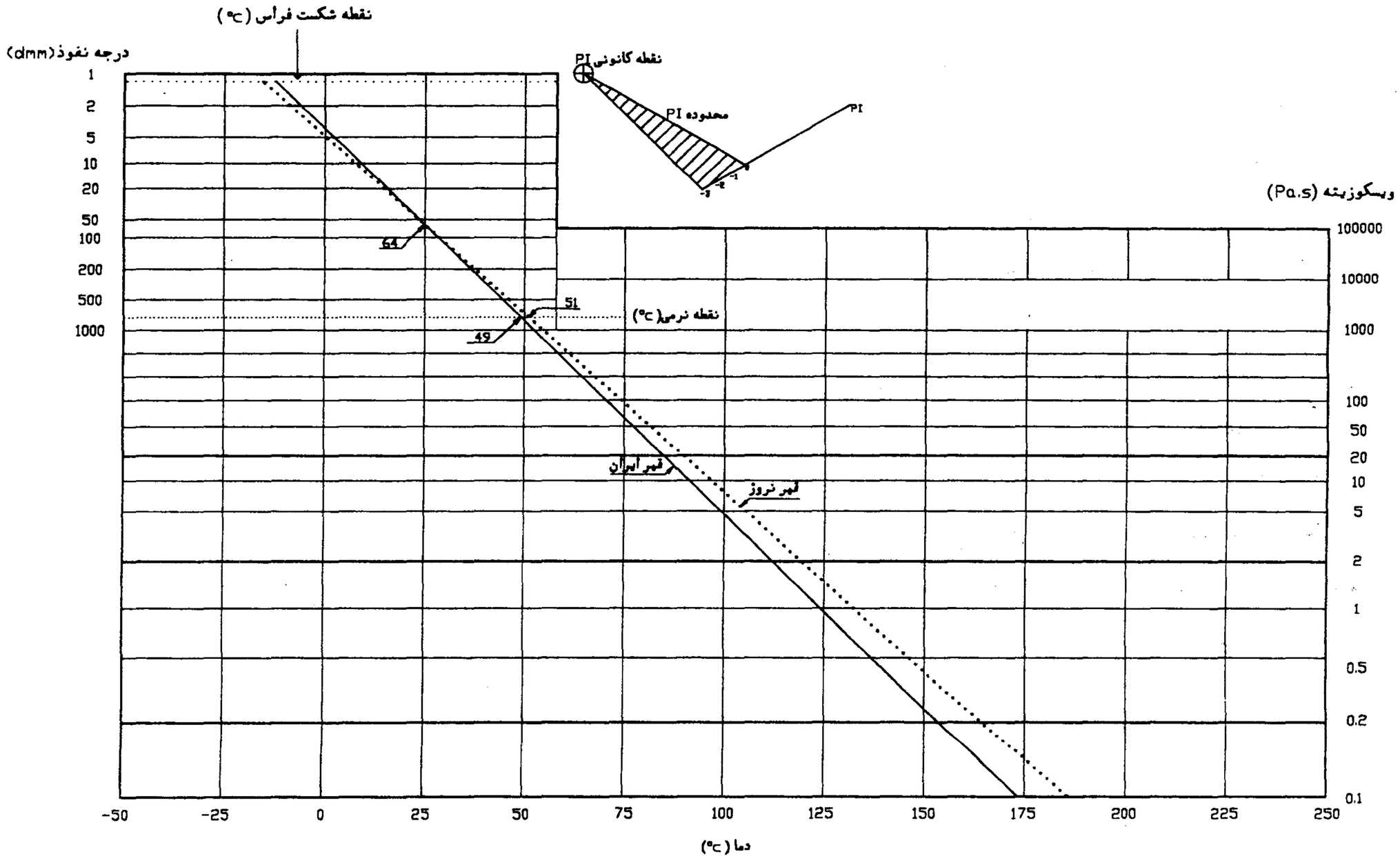



**شکل ۲ : رابطه میان طبقه‌بندی رفتاری و درجه نفوذی برای ۲۵ نمونه قیر فاقد مواد افزودنی [۸].**

www.SID.ir

Archive of SID






**شکل ۳ : چارت داده‌های قیر جهت مقایسه خصوصیات فیزیکی قیرهای ایران و نروژ [۱].**

براین اساس و در صورت مکان‌یابی در شکل (۲) نتیجه می‌شود که قیر ۶۰/۷۰ تولید شده در پالایشگاههای ایران با میانگین درجه نفوذ ۶۴/۷ در محدوده حداکثر دمای طبقه‌بندی رفتاری (PG) میان دو دمای ۶۴ و ۷۰ درجه سانتیگراد (بازای معیارهای $G^*/\sin\delta \geq 2.2$ KPa بعد از آزمایش TFOT $G^*/\sin\delta \geq$ و 1.0 KPa برای قیر اولیه) قرار می‌گیرد و برای حداقل دمای PG (بازای معیارهای $m \geq 0.30$ و $S \leq 300$ MPa) میان دو دمای ۲۲- و ۲۸- درجه سانتیگراد واقع می‌شود. یعنی براین اساس قیر ۶۰/۷۰ تولیدی در پالایشگاههای ایران معادل قیر PG 64-22 در رده‌بندی SHRP می‌باشد.

برهمین مبنا، قیر ۸۵/۱۰۰ تولیدی در پالایشگاههای ایران با میانگین درجه نفوذ معادل ۹۵ در محدوده حداکثر دمای طبقه‌بندی رفتاری PG (بازای معیارهای $G^*/\sin\delta \geq 2.2$Kpa و $G^*/\sin\delta \geq 1.0$ Kpa فوق‌الذکر) میان دو دمای ۵۸ و ۶۴ درجه سانتیگراد و در محدودهٔ حداقل دمای PG (بازای معیارهای $m \geq 0.300$ یا $S \leq 300$ MPa) میان دو دمای ۲۲- و ۲۸- درجه سانتیگراد قرار می‌گیرد. یعنی قیر ۸۵/۱۰۰ تولیدی در پالایشگاههای کشور معادل قیر PG 58-22 در رده‌بندی SHRP خواهد بود. البته شکل شمارهٔ (۲) بوضوح نمایانگر اینستکه تمایل قیر ۶۰/۷۰ بسمت حداقل دمای ۲۲- درجه و تمایل قیر ۸۵/۱۰۰ بسمت حداقل دمای ۲۸- درجه می‌باشد.

## نتیجه‌گیری و پیشنهادات

با توجه به نتایج آزمایشات روی نمونه‌های زیادی از قیرهای کشور می‌توان نتیجه گرفت که با تقریب نسبتاً بالایی قیرهای تولیدی در پالایشگاههای کشور براساس رده‌بندی درجه نفوذی در دو رده ۶۰/۷۰ و ۸۵/۱۰۰ قرار می‌گیرد. در حالیکه کیفیت قیرهای تولیدی در پالایشگاههای کشور تا حدود زیادی با مشخصات استانداردهای معمول و مربوط به آنها مطابقت دارد اما همین قیرها پس از حمل و نقل و قرار گرفتن در معرض سیستمهای غیر استاندارد حمل، نگهداری و بهره‌برداری در کارخانه‌های آسفالت تا حدودی از خواص اولیه خود را از دست می‌دهند و مشخصات اغلب

www.SID.ir

Archive of SID



قیرها خارج از محدوده استاندارد قرار می‌گیرد. برای کم کردن اثرات نامطلوب این مشکل پیشنهاد می‌شود که اولاً از وسایل مناسب برای حمل مواد قیری استفاده شود بگونه‌ای که تانکرهای حمل قیر فقط مخصوص حمل این مواد باشند و برای جابجایی سایر مواد نفتی استفاده نشوند و از سوی دیگر این کامیونها مجهز به وسایل مناسب گرمادهی به قیر برای روان کردن آن باشند و از شعله مستقیم برای اینکار استفاده نشود. ثانیاً نظارت مستقیم و مستمر بر کارخانه‌های تولید آسفالت انجام شده و بخصوص کنترل گردد تا سیستم گرمایش قیر بصورت اعمال شعلهٔ مستقیم نباشد و از سیستم‌هایی نظیر گردش روغن داغ برای گرم کردن مخازن قیر استفاده شود.

با توجه به اینکه تنها استاندارد جاری در کشور در حال حاضر آئین‌نامه (۱۰۱) سازمان برنامه و بودجه می‌باشد [۱۱]، اصلاح و تجدید نظر در این استاندارد الزامی بنظر می‌رسد چراکه با توجه به نقایص روشهای فعلی آزمایش، حتی استانداردهای در سطح جهانی نظیر (CEN, AASHTO, ASTM) نیز لزوم انجام تغییرات در روشهای فعلی را ضروری تشخیص داده و درصدد جایگزینی آزمایشات قبلی با روشهای جدید می‌باشند. در این راستا تدوین آئین‌نامه‌ای جدید برای روسازی راههای ایران می‌تواند قدم مثبتی باشد.

گرچه مطالعه در زمینه کاربرد این طبقه‌بندی خصوصاً بجهت مطالعه نقایص موجود در زمینه تولید قیرها و شناخت این نواقص و تعیین دقیق نیازهای کشور به منابع و نمونه‌های جدید قیر خود تلاش و تحقیق زیادی نیاز دارد اما بطور اجمال با توجه به نتایج فوق می‌توان نتیجه گرفت که چنانچه کلیه اصول فنی در طرح و اجرای روسازی راهها دقیقاً رعایت شود. قیرهای تولیدی پاسخگوی مناطقی است که حداقل دمای محیط در آنها در زمستان ۲۲- درجهٔ سانتیگراد باشد و در تابستان نیز دمای میانگین حداکثر هفت روز متوالی در عمق ۲۰ میلیمتری از روسازی از ۶۴ درجه سانتیگراد تجاوز نکند. که بدیهی است وضعیت آب و هوائی کشور بگونه‌ای است که در برخی از مقاطع زمانی و در پاره‌ای از نقاط تغییرات دما از این محدوده عدول کرده و موجبات بروز خرابی در روسازی راهها فراهم می‌شود.

از اینرو تغییر در کمیت و کیفیت قیرهای تولیدی در کشور نیز ضرورت دارد. نتایج حاصل در این تحقیق نمایانگر اینستکه قیر ۶۰/۷۰ در دماهای بالا بهتر از قیر ۸۵/۱۰۰ رفتار خواهد کرد. این در حالی است که در دماهای پایین بکارگیری قیر ۸۵/۱۰۰ برای طرح و اجرای روسازیهای آسفالتی توصیه می‌گردد. برای تکمیل کار و دستیابی به نتایج دقیقتر و نیز شناخت بهتر از منابع قیر کشور توصیه می‌شود تا با فراهم آوردن دستگاههای آزمایش SHRP برای طبقه‌بندی قیرها، و نیز گردآوری قیرهای کشور از پالایشگاههای مختلف و براساس نوع نفت خام پایه تولیدی، معادل‌یابی قیرهای کشور بطور مستقیم انجام پذیرد.

## مراجع

1 - Whiteoak, D. (1990). *The shell bitumen handbook.* Shell Bitumen U.K.

2 - Petersen, C. (1984). "Chemical composition of asphalt as related to asphalt durability: state of art." *TRR 999, Transportation Research Board,* PP. 13-30.

3 - "Bituminous binders and mixes, state of the art and interlaboratory tests on mechanical behaviour and mix design." *RILEM Report 17, E & FN Spon,* London, U.K., 1998.

4 - ASTM D 36; "Test for Softening Point of Asphalts", "Road & Paving Materials., Pavement Management Technologies"; *Annual Book of ASTM,* Vol. 04-03, 1998.

5 - Pfeiffer, P. and Van Doormaal, P. M. (1936). *Journal of Institute of Petroleum,* Vol. 22, P. 414.

6 - Asphalt Institute, (1995). *Superpave level 1 mix design*. Superpave Series No. 2 (SP-2).

۷ ـ "مشخصات قیرهای خالص." شرکت نفت جمهوری اسلامی ایران، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، (۱۳۷۹).

8 - Anderson, E. O. and Skoglund, R. (1997). "Experiences and results using superpave binder." *Mechanical Tests for Bituminous Materials,* Di Benedetto & Francken (Editors); RILEM, PP. 92-100.

9 - Kennedy, T. W., White, T. D. and Epps, J. A. (1983). "Use of material tests and pavement design

www.SID.ir

Archive of SID



procedures to evaluate new paving binder, properties of flexible pavement materials." *ASTM-STP 807,* J.J. Emery, Ed, PP. 5-47.

10 - George, B. Way. (1997). "Arizona's SHRP experience, Robert N. Jester, progress of superpave: evaluation and implementation." *ASTM STP 1322; American Society for Testing and Materials.*

۱۱ ـ "مشخصات فنی عمومی راه." نشریه ۱۰۱ سازمان برنامه و بودجه، دفتر تحقیقات و استانداردهای فنی، (۱۳۶۴)، (چاپ سوم ۱۳۷۵).

۱۲ ـ کاووسی، ا. و خدایی، ع. "روشهای پیشرفته طراحی روسازی راه." انتشارات دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، (۱۳۷۳).

۱۳ ـ احتشامی، م.، کاووسی، ا. و احتشامی، ج. ر. "راهسازی: روسازی راه و روشهای طراحی آن." جلد چهارم، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکزی، (۱۳۷۸).

## واژه‌های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

1 - Semi-Solid
2 - Flexible
3 - Dispersed Phase
4 - Continuous Phase
5 - Oxidative-Hardening
6 - Penetration Index
7 - Strategic Highway Research Program
8 - American Association of State Highways and Transportation Officials
9 - Performance Grade
10 - Dynamic Shear Rheometer
11 - Bending Beam Rheometer
12 - Dynamic Viscosity
13 - Pressurized Aging Vessel
14 - Rolling Thin Film Oven Test

www.SID.ir