

بررسی خصوصیات مزایا و معایب مخلوط آسفالتی نیمه گرم

مقاله علمی - مروری

یاسین حسنونند*، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشگاه رازی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران
محسن زاهدی، استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه رازی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Yasinhasanvand1324@gmail.com

دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۰۲ - پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۲۰

صفحه ۳۸۵-۳۹۶

چکیده

مخلوط آسفالتی گرم به طور سنتی در دماهای بین ۱۴۰ تا ۱۶۰ درجه سلسیوس تولید می‌شود که موجب هزینه بالای انرژی (سوخت) و تولید گازهای گلخانه‌ای می‌شود. صنعت آسفالت به دنبال صرفه‌جویی در مصرف انرژی و مزایای زیست محیطی در فرآیند تولید آسفالت‌های گرم و سرد است. با افزایش آگاهی‌های زیست محیطی در طول سال‌های اخیر در کشورهای مختلف به خصوص در اتحادیه اروپا و ایالات متحده آمریکا بر مبنای پروتکل‌های زیست محیطی مختلف به منظور کاهش تولید و انتشار گازهای گلخانه‌ای در هوا تلاش‌های به این منظور انجام شد. صنعت مخلوط آسفالتی گرم به طور پیوسته توسعه‌های تکنولوژیکی به منظور کاهش مصرف انرژی کاهش انتشار گازهای آلاینده، افزایش کارایی مصالح و ساخت مخلوط آسفالتی را بررسی می‌کند. مخلوط آسفالتی نیمه گرم تکنولوژی جدیدی است که در اروپا ابداع شد، یکی از این تلاش‌هاست. مخلوط آسفالتی نیمه گرم در محدوده دمایی ۳۰ تا ۱۰۰ درجه فارنهایت کمتر از مخلوط آسفالتی گرم تولید می‌شود هدف از این پژوهش بررسی خصوصیات مزایا و معایب مخلوط آسفالتی نیمه گرم است. نتایج بررسی‌ها نشان داد استفاده از مخلوط آسفالتی نیمه گرم باعث کاهش مصرف انرژی، کاهش انتشار گازهای آلاینده، کاهش شدت اکسید شدن قیر، بازگشایی سریع ترافیک و کاهش آلاینده‌های مضر برای کارگران می‌شود و همچنین از مهم‌ترین معایب این نوع مخلوط آسفالتی بالا بود حساسیت رطوبتی به دلیل پایین بودن دمایی تولید و اختلاط می‌توان عنوان کرد.

واژه‌های کلیدی: آسفالت گرم، آسفالتی نیمه گرم، حساسیت رطوبتی، کاهش انتشار آلاینده‌ها، کاهش مصرف انرژی

۱- مقدمه

کیفیت مخلوط‌های آسفالتی گرم، با بکارگیری روش‌های برای کاهش کند روانی قیر، امکان تولید آسفالت در درجه حرارت‌های پایین‌تر از آسفالت گرم را فراهم می‌سازند. این امر صرفه‌جویی قابل توجهی در مصرف انرژی و کاهش آلاینده‌ها را نسبت به مخلوط‌های آسفالتی گرم را به دنبال دارد این مخلوط‌ها در دمای ۱۰۰ الی ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد تولید و متراکم می‌شوند، ضمن اینکه انتظار می‌رود که دارای ویژگی‌های مشابه بتن آسفالتی گرم داشته باشند و بنابراین به لحاظ کاربردی در جایگاه یکسان قرار گیرند (Norell, 2016).

مخلوط آسفالتی نیمه گرم مخلوط آسفالتی است که تفاوت چندانی با مخلوط آسفالتی گرم ندارد و تنها تفاوت در دمایی تولید است که مخلوط آسفالتی نیمه گرم در دمایی ۳۰ تا ۱۰۰ درجه فارنهایت کمتر تولید می‌شود که این کاهش دمایی تولید باعث ایجاد مزایا و معایب مختلفی در این نوع مخلوط آسفالتی می‌گردد. این نوع مخلوط آسفالتی توسط پروفیسور سانی در سال ۱۹۵۶ ابداع شد هدف از بکارگیری مخلوط آسفالتی نیمه گرم استفاده از کارخانه‌ها و استانداردهای تولید آسفالت گرم متداول برای تولید مخلوط‌های با دانه‌بندی پیوسته با کیفیت، در دماهای پایین‌تر است. این گروه از مخلوط‌های آسفالتی، ضمن حفظ

۲- پیشینه تحقیق

مزایای آسفالت نیمه گرم، توجه بسیاری اقصی نقاط جهان به آن‌ها معطوف گشت و تحقیقات برای روش‌های نوین گسترش یافت. جهت تولید آسفالت نیمه گرم، فناوری‌های مختلفی به کار گرفته می‌شود که در میان آن‌ها می‌توان به فناوری کف قیر، استفاده از افزودنی‌های ارگانیک و یا استفاده از افزودنی‌های شیمیایی اشاره کرد (اندرسون، ۲۰۰۸). هدف تمامی این روش‌ها، کاهش دمای اختلاط از حدود ۱۵۵ درجه سلسیوس برای آسفالت گرم به بازه‌ای در حدود ۱۰۰ تا ۱۴۰ درجه سلسیوس برای آسفالت نیمه گرم است (هرلی و پروول، ۲۰۰۵) (Norell, 2016).

آسفالت نیمه گرم برای اولین بار در اتحادیه اروپا ساخته شد و در سال ۱۹۹۵ نوع تولید شده با استفاده از افزودنی‌های کف‌زا ارائه شد. در سال ۱۹۹۶ آسفالت نیمه گرم امولسیون در نروژ و در سال ۱۹۹۷ آسفالت نیمه گرم موم در آلمان اجرا شده و در سال ۱۹۹۹ برای اولین بار در نروژ مخلوط آسفالتی نیمه گرم کف قیری با استفاده از ترکیب دو نوع قیر به اجرا درآمد و در سال ۲۰۰۲ برای اولین بار مخلوط‌های آسفالتی نیمه گرم در دست بررسی و تحقیق قرار گرفت و نتایج این تکنولوژی به آمریکا نیز منتقل شد از این پس در این کشور نیز روش‌های جدیدی نظیر استفاده از قیر مخلوط به صورت کف قیر برای تولید مخلوط آسفالتی نیمه گرم ارائه شد پس از شناخته شدن

۳- روش تحقیق

گازهای گلخانه‌ای به ازای تولید مخلوط آسفالتی گرم و نیمه گرم با هم مقایسه و تاثیر آلاینده‌های ناشی از تولید هر کدام از این دو نوع مخلوط بر سلامت شغلی و ایمنی کارگران بررسی می‌شود.

در این پژوهش ماهیت ویژگی‌ها و انواع مخلوط‌های آسفالتی نیمه گرم مورد بررسی قرار می‌گیرد و سپس مهم‌ترین مزایای و معایب استفاده از مخلوط آسفالتی نیمه گرم بیان می‌شود سپس در بخش‌های بعدی پژوهش بر اساس محاسبات صورت گرفته میزان انرژی مصرفی به منظور تولید هر تن مخلوط‌های آسفالتی گرم و نیمه گرم مورد مقایسه قرار می‌گیرند و میزان انتشار

۴- انواع مخلوط‌های آسفالتی نیمه گرم

می‌گیرد در این روش از انواع مختلفی مواد افزودنی شیمیایی استفاده می‌شود که این افزودنی‌های شیمیایی منجر به استفاده از انواع مختلفی از افزودنی‌های شیمیایی شده است این افزودنی‌های شیمیایی معمولاً شامل مواد ضد عریان شدگی و روان سازها می‌باشد، همچنین باعث ارتقای اندود پذیری، چسبندگی و کارایی مخلوط‌های آسفالتی می‌گردد (آنجلو، ۲۰۰۸) (Graham, 2010)

امروزه به طور کلی مخلوط‌های آسفالتی نیمه گرم را می‌توان به سه بخش تقسیم نمود:

-تکنولوژی افزودنی‌های کف‌زا

-افزودنی‌های آلی

-مواد افزودنی شیمیایی

استفاده از افزودنی‌های شیمیایی برای تولید مخلوط‌های آسفالتی نیمه گرم نسبت به دیگر روش‌ها بیشتر مورد استفاده قرار

۴-۱-۱- کف قیر

قادر باشد در دمای کمتر از ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد مصالح سنگی را به طور کامل پوشاند نتیجه این فرایند امکان تولید مخلوط آسفالتی در دمای ۱۰۰ تا ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد و در دمای تراکم به میزان ۸۰-۱۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. (Graham, 2010)

منطق این روش استفاده از دو نوع قیر نرم و سخت جهت ترکیب با مصالح سنگی می‌باشد در فرایند به کار گرفته شده ابتدا مصالح را به منظور ایجاد پوشش اولیه با قیر نوع نرم مخلوط نموده و در مرحله بعدی قیر سخت به عنوان کف به مخلوط اضافه می‌گردد. ویسکوزیته قیر نرم به گونه‌ای است که

۴-۱-۲- افزودنی‌های آلی (ارگانیک)

از افزودنی‌های ارگانیک در قیر استفاده می‌شود تا ویسکوزیته قیر در دمای‌های بالای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد کاهش یافته و در دماهای زیر ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد تغییر در کاهش ویسکوزیته تا افزایش آن در نزدیکی نقطه دلمه شدن موم رخ می‌دهد. متداول‌ترین افزودنی آلی در تولید مخلوط آسفالتی نیمه‌گرم ساسوبیت می‌باشد که با فرمول شیمیایی $CnHm$ ثبت شده است. ساسوبیت از واکس ساسول در آفریقای جنوبی تولید شده و دارای یک زنجیره طولانی از هیدروکربن‌های آلیفاتیک می‌باشد که از طریق تبدیل گاز زغال سنگ تولید می‌شود و فرآیند تولید آن از زغال سنگ سخت و یا کک با انفجار بخار از طریق روش فیشر تراپ واکس می‌باشد. نقطه ذوب ساسوبیت در حدود ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد بوده و در دمای بالاتر از ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد به طور کامل در قیر حل می‌گردد این محصول به دلیل قابلیتی که در کاهش ویسکوزیته قیر دارد، سبب کاهش دمای اختلاط و اجرا به میزان ۱۸-۵۴ درجه سانتی‌گراد می‌گردد. (Graham, 2010)

۴-۱-۳- مواد افزودنی شیمیایی

در این روش از ترکیبی از مصالح جهت افزایش کارایی و سرعت بخشیدن به فرایند چسبندگی و عامل امولسیون ساز استفاده می‌شود آب موجود در امولسیون قیری در اختلاط با مصالح سنگی داغ شده به صورت بخار آزاد می‌شود امولسیون شکسته موجب پیدایش یک کشش کف‌کنندگی می‌شود. در این حالت دمای مخلوط آسفالت در حالت خروج از کارخانه پخت آسفالت به ۸۵-۱۱۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسند. در میان انواع افزودنی‌های شیمیایی مورد استفاده از نانو ماده زایکوترم جهت بهبود کارایی و کاهش کند روانی و افزایش چسبندگی بین قیر و مصالح سنگی استفاده می‌شود (Jones, 2010)

۴-۲- مزایای استفاده از مخلوط آسفالتی نیمه‌گرم

به طور کلی هدف از تولید مخلوط آسفالتی نیمه‌گرم تهیه مخلوطی با مشخصات برابر و یا حتی بالاتر از مخلوط آسفالتی گرم می‌باشد مزایایی استفاده از مخلوط‌های آسفالتی نیمه‌گرم نسبت به مخلوط آسفالتی گرم را می‌توان در موارد به شرح ادامه خلاصه کرد.

۴-۲-۱- کاهش مصرف انرژی

در بین روسازی‌های بتن آسفالتی مخلوط بتن آسفالتی نیمه‌گرم مقرون به صرفه‌تر می‌باشد. در تولید مخلوط آسفالتی نیمه‌گرم نسبت به مخلوط آسفالتی گرم معمولاً بین ۱۱ تا ۳۵ درصد در مصرف سوخت صرفه جویی می‌شود و در برخی روش‌ها تولید آسفالت نیمه‌گرم به ازای ۳۸ درصد سلسیوس کاهش دمایی تولید، مصرف سوخت برای تولید این نوع مخلوط بتن آسفالتی ۵۰ درصد کاهش می‌یابد. که این صرفه جویی در مصرف سوخت باعث کاهش هزینه تولید مخلوط آسفالتی نیمه‌گرم می‌شود. (G. F. A. Ball Opus International Consultants 2017)

تحقیقات موسسه مدیریت بزرگراه‌های فدرال ایالات متحده امریکا اگر به جای آسفالتی گرم از آسفالتی نیمه‌گرم در احداث و مرمت جاده‌ها و پروژه‌های راهسازی در کشور امریکا استفاده گردد سالیانه در حدود ۳/۶ میلیارد دلار صرفه جویی می‌شود اگر هزینه افزودنی‌های مختلف برای اصلاح برخی از خواص مخلوط آسفالتی نیمه‌گرم را حداکثر ۲۰۰ میلیون دلار در سال فرض کنیم سالیانه حداقل ۳/۴ میلیارد دلار در این بخش صرفه جویی می‌شود. برای دستیابی به بالاترین سطح کیفیت در مخلوط آسفالتی نیمه‌گرم از برخی افزودنی‌های مختلف برای اصلاح خواص این نوع مخلوط آسفالتی استفاده می‌شود. در سال ۲۰۱۳ هزینه روکش آسفالتی نیمه‌گرم در کشور امریکا در یک جاده دو خطه شهری در هر مایل در هر دو خط ۸۷۸۵۱۳ دلار است که در همان جاده اگر از آسفالت نیمه‌گرم استفاده شود هزینه روکش ۷۶۹۲۶۹ دلار است که این اعداد نشان می‌دهند استفاده از آسفالت نیمه‌گرم در این پروژه حدود ۲۶۰۰۰ دلار صرفه جویی در پی خواهد داشت انتظار می‌رود در سال ۲۰۲۰ در هزینه اجرای این پروژه حدود ۳۲۰۰ دلار به ازای استفاده از آسفالت نیمه‌گرم به جای آسفالت گرم در این پروژه صرفه جویی در هزینه‌ها صورت گیرد. طبق تحقیقات دیگری که اداره FHWA در سال ۲۰۱۳ در یک پروژه راهسازی در کشور امریکا انجام داد نشان داد که به ازای استفاده از مخلوط آسفالتی گرم به ازای هر تن ۲۰ گالن گازوئیل مصرف می‌شود در صورتی که اگر از مخلوط آسفالتی نیمه‌گرم استفاده شود حدود ۲۰ درصد معادل ۰/۴ گالن سوخت گازوئیل به ازای هر تن آسفالت صرفه جویی می‌شود. میزان مصرف سوخت در تولید مخلوط بتن آسفالتی نیمه‌گرم به روش تولید این نوع بتن آسفالتی مرتبط است. امروزه سه

مقدار گرمایی که لازم است تا دمایی یک کیلوگرم قیر را از دمای T_1 به دمای T_2 برساند از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

(۱)

$$Q_{bit}(T_1, T_2) = \int_{T_1}^{T_2} C_{bit}(T_1) dT = 1.799(T_2 - T_1) + 9.835 \times 10^{-4}(T_2^2 - T_1^2)$$

برای داده‌های فوق نیاز به رطوبت سنگ‌دانه که در دمای بالای ۱۰۰ درجه سلسیوس گرم می‌شود یا گرمای نهان بخار آب داریم.

$$L_{vap} = 2270 \text{ kJ kg}^{-1} \quad (۲)$$

در مواردی که از واکس پارافین استفاده می‌شود. و در بالاتر از محدوده همجو شنی آن گرم می‌شود، نیاز به گرمای همجو شنی داریم.

$$L_{fus} = 220 \text{ kJ kg}^{-1} \quad (۳)$$

روش برای تولید مخلوط بتن آسفالتی نیمه گرم استفاده می‌شود. بر اساس تحقیقات FHWA استفاده از هر نوع افزودنی به ازای هر تن مخلوط آسفالتی نیمه گرم ۲ تا ۳/۵ دلار نیاز است که در مقابل میزان صرفه جویی در مصرف سوخت در این نوع مخلوط آسفالتی کاملاً مقرون به صرفه است (Sampath, 2010)

مزیت‌های مخلوط بتن آسفالتی نیمه گرم باعث شد که در سال ۲۰۱۲ میزان استفاده از این نوع مخلوط بتن آسفالتی به ۸۷ میلیون تن برسد. به ازای استفاده از این روش افزودن مواد آلی به مخلوط بتن آسفالتی نیمه گرم تا ۵۰ درصد نسبت به تولید مخلوط بتن آسفالتی گرم صرفه جویی در انرژی صورت گیرد. در این قسمت از ارزیابی اقتصادی ابتدا میزان انرژی برای تولید یک تن مخلوط‌های آسفالتی گرم و نیمه گرم را محاسبه و با یکدیگر مقایسه می‌شود.

ابتدا گرمای ویژه مولفه‌های مورد استفاده در مخلوط آسفالتی گرم لازم است؛ سنگ‌دانه‌های مختلف و قیرها گرمای ویژه متفاوتی دارند و گرمایی ویژه قیر و آب با تغییر دما تغییر می‌کند. این مقادیر در جدول زیر آمده است.

جدول ۱. گرمای ویژه مصالح مختلف بکار رفته در مخلوط‌های آسفالتی

نوع مصالح	نماد	گرمای ویژه (kJ kg^{-1})
سنگ دانه	C_{agg}	۰/۸۵۰
آب ۱۰ تا ۱۰۰ درجه سلسیوس	C_{H_2O}	۴/۱۹۱
بخار	C_{vap}	۱/۸۵
قیر در T °C	$C_{bit}(T)$	$1.779 + (1.967 \times 10^{-3} \times T)$
آهک شکفته $(Ca(OH)_2)$	C_{lime}	۲/۹
واکس پارافین	C_W	۱/۲

آب+ وزن سنگ دانه‌ها) می‌باشد. پس مقدار کل آب در یک تن مخلوط آسفالتی برابر با:

$$\left(\frac{1000}{99} \times 0.7\right) + \left(\frac{1000}{24} \times 3.0\right) = 19/57$$

گرم کردن یک تن سنگ‌دانه از دمای ۲۰ تا ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد نیازمند.

$$1000 \times C_{agg} \times (160 - 20) = 119 \text{ MJ}$$

$$19.75 \times \left((C_{H_2O} \times 80^\circ\text{C}) + L_{vap} + (C_{vap} \times 60) \right) =$$

$$19.75 \times \left((4.191 \times 80) + 2270 + (1.85 \times 60) \right) =$$

$$19.57 \times 2716.28 = 53.158 \text{ MJ}$$

مخلوط داغ استاندارد در مخلوط داغ استاندارد تولید شده شامل ۷۰ درصد درشت‌دانه (باقی مانده بر روی الک ۲ میلی‌متری) با مقدار ۱در صد آب و مصالح ریزدانه با ۴ در صد آب موجود است. دمای محیط ۲۰ درجه سلسیوس و دمای اختلاط ۱۶۰ درجه سلسیوس می‌باشد. برای محاسبه‌ی میزان انرژی لازم برای یک تن (۱۰۰۰ کیلوگرم) مخلوط داریم.

در یک تن مخلوط آسفالتی ۳۰۰ کیلوگرم آن ریزدانه ۷۰۰ کیلوگرم درشت‌دانه و است، مقدار آب موجود در مصالح ریزدانه برابر $\left(\frac{1000}{24} \times 4\right)$ درصد وزن آب + وزن سنگ دانه‌ها) مقدار آب موجود بین مصالح درشت دانه برابر $\left(\frac{1000}{99} \times 1\right)$ درصد از وزن

بنابر محاسبات بالا برای گرم کردن یک تن سنگدانه+آب انرژی زیر لازم می‌باشد.

$$(93.5 + 52.071) = 145.571 \text{ MJ}$$

با توجه به میزان انرژی محاسبه شده برای گرم کردن سنگدانه‌ها در دو نوع مخلوط ۱۵/۴ در صد در مقدار انرژی در این مرحله صرفه‌جویی می‌شود. برای محاسبه‌ی مقدار انرژی مصرفی برای گرم کردن قیر تا دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد برای مخلوط‌های گرم داریم:

$$Q_{bit} = \int_{20}^{130} 1.779 + (1.967 \times 10^{-3}T) dT =$$

$$Q_{bit} = (1.779 \times 110) + (0.5 \times 1.967 \times 10^{-3} \times (130^2 - 20^2)) =$$

$$Q_{bit} = 211.92 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

بنابر محاسبات انجام شده در قسمت بالا برای افزایش دادن دمای ۴۷ کیلوگرم قیر مقدار زیر انرژی لازم است.

$$211.92 \times 47 = 9.960 \text{ MJ}$$

با توجه به مقدار انرژی محاسبه شده برای گرم کردن قیر در دو مخلوط به اندازه‌ی ۲۲/۶ درصد در مقدار انرژی مصرفی صرفه‌جویی می‌شود. مقدار کل انرژی لازم برای یک تن مخلوط آسفالتی نیمه‌گرم برابر است با.

$$9.960 + (0.946 \times 145.571) = 147.670 \text{ MJ}$$

پس کل صرفه‌جویی در انرژی به ازای استفاده از آسفالت نیمه‌گرم به جای آسفالت گرم برابر است با:

$$\left(\frac{175.731 - 147.670}{175.731} \right) = 15.97 \%$$

پس تقریباً ۱۶ درصد در مصرف انرژی صرفه‌جویی می‌شود.

۴-۲-۲- کاهش تولید آلاینده‌ها

بر اساس پروتکل‌های زیست محیطی تصویب شده در شهر توکیو کشور ژاپن و قانون هوای پاک در ایالات متحده آمریکا در سال ۱۹۹۰ مبنی بر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای توسط تمام کشورهای مختلف باعث گردید که اروپا و آمریکا را مجاب سازد که با توجه به کاهش مصرف سوخت مورد نیاز برای تولید آسفالت نیمه‌گرم به منظور کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در حوزه حمل و نقل و راهسازی از مخلوط آسفالتی نیمه‌گرم به جای مخلوط آسفالتی گرم استفاده شود. تولید آسفالت باعث انتشار حجم بالای از گازهای گلخانه‌ای از جمله

تبخیر آب در دمای ۱۰۰ سانتی‌گراد نیازمند $83.5 = \left(100 \times \frac{2270}{2716.28} \right)$ درصد از کل انرژی را برای گرم کردن آب لازم می‌شود پس اگر روش ساخت آسفالت بگونه‌ای باشد که نیاز به گرم کردن آب تا دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد نباشد مقدار زیادی از انرژی صرفه‌جویی می‌گردد.

پس کل گرمایی لازم برای گرم کردن یک تن سنگدانه+آب برابر است با:

$$(119 + 53.158) = 172.158 \text{ MJ}$$

مخلوط استاندارد در این تحقیق حاوی ۴/۵ درصد قیر می‌باشد که در یک تن مخلوط به اندازه ۹۵۳ کیلوگرم سنگدانه و ۴۷ کیلوگرم قیر خواهیم داشت اگر قیر از دمای محیط ۲۰ درجه سانتی‌گراد به ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد گرم کنیم.

طبق معادله گرمایی لازم که برای بالا بردن دمای قیر از رابطه $Q_{bit} \times 47$ بدست می‌آید.

که در آن:

$$Q_{bit} = \int_{25}^{160} 1.779 + (1.967 \times 10^{-3}T) dT =$$

$$Q_{bit} = (1.779 \times 140) + (0.5 \times 1.967 \times 10^{-3} \times (160^2 - 20^2)) =$$

$$Q_{bit} = 273.84 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

می‌باشد. بنابراین مقدار انرژی لازم برای بالا بردن دمای قیر برابر است با.

$$273.84 \times 47 = 12.870 \text{ MJ}$$

کل انرژی لازم برای تولید یک تن بتن آسفالتی گرم برابر است با:

$$12.870 + (0.946 \times 172.158) = 175.731 \text{ MJ}$$

اکنون محاسبات مربوط به مصرف انرژی را برای آسفالت نیمه‌گرم که در دمای ۱۳۰ درجه سلسیوس مخلوط می‌شود انجام می‌دهیم:

$$1000 \times C_{agg} \times (130 - 20) = 93.5 \text{ MJ}$$

$$19.57 \times \left((C_{H_2O} \times 80^\circ\text{C}) + L_{vap} + (L_{vap} \times 30) \right) =$$

$$19.57 \times \left((4.191 \times 80) + 2270 + (1.85 \times 30) \right) =$$

$$19.57 \times 2660.78 = 52.071 \text{ MJ}$$

براساس داده‌های انجمن قیر و آسفالت آمریکا استفاده از مخلوط‌های آسفالتی با دمای پایین تر از ۸۰ درجه سلسیوس هیچ آلاینده و گاز گلخانه‌ای در هوا منتشر نمی‌کند ولی اگر دمای مخلوط آسفالتی ۱۵۰ درجه سلسیوس باشد تولید آلاینده‌ها گازهای گلخانه‌ای از حد مجاز تعیین شده عبور می‌کنند ولی اگر دمای تولید مخلوط آسفالتی ۱۸۰ درجه سلسیوس باشد به ازای هر تن آسفالت تولید شده ۱ میلی‌گرم در ساعت گازهای گلخانه‌ای در هوا منتشر می‌شود. انتشار گازهای گلخانه‌ای به خصوص CO₂، CO و VOC در تولید مخلوط آسفالتی مشکلات بالقوه‌ای در آمریکا و اروپا ایجاد می‌کند. پس به منظور کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای توجه به استفاده از مخلوط آسفالتی نیمه‌گرم افزایش یافت. در برنامه هدف گذاری شده توسط وزارت حمل و نقل آمریکا و در وب سایت www.Asphalt pavement.com یک ماشین حساب برای محاسبه میزان تولید گاز در اکسید کربن به ازای تولید ۱ تن مخلوط آسفالتی ارائه شده است. که می‌توان از طریق آن میزان انتشار گاز گلخانه‌ای دی اکسید کربن به ازای تولید آسفالت سالیانه را محاسبه کرد (Allen, 2010)

تحقیقات محققین دیگر نشان می‌دهد گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌های که در هنگام تولید-پخش و تراکم مخلوط آسفالتی منتشر می‌شود. از طریق تنفس سلامت کارگران این صنعت را به خطر می‌اندازد و مشکل آفرین خواهد بود. اولین داده‌ها در مورد انتشار گازهای گلخانه‌ای و ارتباط آن با سلامت کارگران با همکاری وزارت حمل و نقل و اداره بزرگراه‌های فدرال آمریکا و موسسه ملی ایمنی و بهداشت شغلی آمریکا در سال ۲۰۰۶ بدست آمد. این داده‌ها از دو پروژه اجرا شده در کشور آمریکا و کشور هندوستان به دست آمده است. آن‌ها در هنگام اختلاط و پخش و تراکم مخلوط‌های آسفالتی ۵۰۴۲ نمونه گیر برای کنترل انتشار گازهای گلخانه‌ای دی اکسید کربن در محیط کار نصب کردند و برخی از کارگران را از طریق دستگاه‌های نمونه گیر شخصی کنترل گاز گلخانه‌ای دی اکسید کربن مجهز کردند. در هر دو پروژه میزان انتشار گاز دی اکسید کربن به ازای تولید مخلوط آسفالتی گرم را با مخلوط‌های آسفالتی نیمه‌گرم ساخته شده با ۶ فناوری مختلف زیر مقایسه کردند. فناوری‌های مختلف تولید مخلوط آسفالتی نیمه‌گرم در این

پروژه عبارتند از:

Bitu Tech per
Ultrafoam

ترکیب‌های آلی فرار (VOC)، اکسیدهای نیتروژن (NO_x)، منواکسید کربن (CO)، دی اکسید کربن (CO₂)، دی اکسید گوگرد (SO₂)، ذرات ریز (PM) و دیگر آلاینده‌های خطرناک می‌شود. با توجه به آنکه تولید مخلوط آسفالتی نیمه‌گرم سوخت کمتری نیاز دارد پس باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای خطرناک در هوا می‌شود. این انتشار گازهای گلخانه‌ای در حوزه تولید مخلوط آسفالتی از طریق تولید و اختلاط، حمل و نقل، پخش و تراکم مخلوط آسفالتی باعث ایجاد خطرات تنفسی و مشکلاتی برای کارگران مشغول کار در آن پروژه و همسایگان آن پروژه می‌گردد. کاهش مصرف سوخت باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای بخصوص دی اکسید کربن می‌شود که این موضوع به سلامت و ایمنی در تنفس کارگران و همسایگان پروژه کمک می‌کند. بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده توسط وزارت حمل و نقل و اداره بزرگراه‌های فدرال در سال ۲۰۰۹ بر روی ۱۷ پروژه انجام شده با آسفالت نیمه‌گرم به نتایج زیر رسیدند:

استفاده از آسفالت نیمه‌گرم به جای آسفالت گرم باعث:

انتشار CO₂ به طور کلی کاهش می‌یابد.

انتشار NO_x در همه موارد کاهش می‌یابد.

انتشار VOC و SO₂ در سطح مجاز انتشار قرار می‌گیرند (Sampath, 2010)

بر اساس داده‌های که از کشور نروژ، کانادا، ایتالیا، هلند و فرانسه توسط آنجلو و همکاران در سال ۲۰۰۷ بدست آوردند نشان استفاده از آسفالت نیمه‌گرم به جای آسفالت گرم در طول یک سال میزان انتشار انواع مختلف گازهای گلخانه‌ای در حوزه روسازی طبق جدول ۲ کاهش می‌دهد.

جدول ۲. کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای بر حسب درصد

گازهای گلخانه‌ای	نروژ	ایتالیا	هلند	فرانسه	کانادا
CO ₂	۳۱/۵	۳۰-۴۰	۱۵-۳۰	۲۳	۴۵/۸
SO ₂	-	۳۵	-	۱۸	۴۱/۲
VOC	-	۵۰	-	۱۹	-
CO	۲۸/۵	۱۰-۳۰	-	-	۶۳/۱
NO _x	۶۲/۵	۶۰-۷۰	-	۱۸	۵۸
گرد و خاک	۵۴	۲۵-۵۵	-	-	-

Sinne War mix
Evotherm DAT
Ceca base RTGX2

موم

افزایش می‌دهد با توجه به اینکه مخلوط‌های آسفالتی نیمه‌گرم در دمای حداکثر ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد تولید می‌شوند، به این لحاظ نسبت به آسفالت‌های داغ مزیت دارند.

از جمله موارد با اهمیتی که در مورد کاهش آلاینده‌های متصاعد شده از یک کارخانه تولید آسفالت نیمه‌گرم می‌توان به آن اشاره از جمله موارد با اهمیتی که در مورد کاهش آلاینده‌های متصاعد شده از یک کارخانه تولید آسفالت نیمه‌گرم می‌توان به آن اشاره نمود، امکان قرار دادن این کارخانه‌ها در مناطقی است که قبلاً به دلیل ممانعت محیط زیست به لحاظ ایجاد آلودگی نصب کارخانه آسفالت در آنجا ممنوع بوده است. با احداث کارخانه‌های تولید آسفالت نیمه‌گرم در نزدیکی شهرهای بزرگ، فواصل حمل آسفالت تا حد زیادی کاهش یافته و این امر ضمن صرفه اقتصادی، از مشکلات ترافیکی اجرای آسفالت نیز تا حد زیادی می‌کاهد. نتایج جدول بالا نشان دهنده این امر است که میزان آلاینده‌ها تا حد قابل توجهی با کاهش درجه حرارت تولید آسفالت کاسته شده و تا حد غیر مضر برای محیط زیست پایین آمده است. کاهش تولید آلاینده‌ها به عوامل متعددی بستگی دارد، همچون: دمای تولید مخلوط، نوع سوخت مصرفی، نوع کارخانه آسفالت، میزان رطوبت مصالح سنگدانه‌ی و تراشه‌های آسفالتی مورد مصرف در مخلوط. به طور کلی می‌توان گفت که مصرف سوخت کمتر در کارخانه آسفالت باعث تولید آلاینده‌های کمتر می‌شود چرا که تولید عمده آلاینده‌های حاصل از مصرف سوخت، حین فرآیند خشک کردن سنگدانه‌ها و داغ کردن مخلوط صورت می‌گیرد (Barthel, 2010).

برای هر نوع مخلوط آسفالتی اعم از آسفالت گرم و یا نیمه‌گرم دو دستگاه نمونه‌گیر توسط دو نفر میزان آلاینده‌ها را مورد بررسی قرار دادند در جدول زیر میزان گازهای گلخانه‌ای منتشر شده در هر دو پروژه برای آسفالت گرم و آسفالت نیمه‌گرم با ۶ نوع فناوری متفاوت و همچنین میزان حد مجاز گازهای گلخانه مورد تماس با کارگران توسط موسسه بهداشت ملی آمریکا ارائه شده دیده می‌شود. مقدار حد مجاز ۰/۵ میلی‌گرم به ازای هر متر مکعب آسفالت به عنوان حد مجاز متناسب با سلامت کارگران تعیین شده است. اگر چه استفاده از آسفالت گرم معمولاً میزان انتشار آلاینده‌ها به ازای هر متر مکعب آسفالت گرم ۰/۴۲ میلی‌گرم بر متر مکعب است در پاره‌ای از اوقات از حد مجاز ۰/۵ میلی‌گرم بر متر مکعب عبور می‌کند. اگر چه استفاده از مخلوط آسفالتی نیمه‌گرم به طور میانگین با توجه به فراوانی روش‌های مورد استفاده تقریباً ۰/۳۵ میلی‌گرم به ازای هر متر مکعب گازهای گلخانه‌ای در هوا منتشر می‌کند. نتایج بررسی‌های انجام شده در این دو پروژه نشان داد که استفاده از آسفالت نیمه‌گرم نسبت به آسفالت گرم حدود ۳۳ درصد گازهای گلخانه‌ای منتشر شده در هوا را کاهش می‌دهد (Allen, 2010)

موسسه ملی ایمنی و سلامت کار آمریکا گزارشی از خطرات ناشی از آلاینده‌های ناشی از تولید آسفالت ارائه داد که براساس آن، مقدار این آلاینده‌ها در دمای تولید آسفالت بالاتر از ۱۵۱ درجه سانتی‌گراد، احتمال ابتلا به سرطان ریه را در انسان

جدول ۳. مقایسه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای بین مخلوط آسفالتی گرم با مخلوط آسفالتی نیمه‌گرم

نوع مخلوط	PCA2(mg/m3)	BMS1(mg/m3)	دمای اختلاط (سانتی‌گراد)	TPM3(mg/m3)
آسفالت گرم	۳۸	۰/۵	۱۶۵	۱/۲
آسفالت نیمه‌گرم	۹/۴	۰/۰۵	۱۱۵	۰/۰۹

۴-۲-۳- کاهش کندروانی

است پایین آوردن کندروانی مخلوط مزایای زیر را بدنبال خواهد داشت.

تکنولوژی ساخت آسفالت‌های نیمه‌گرم بر اساس پایین آوردن کندروانی مخلوط در دمای پایین نسبت به آسفالت‌های گرم

تسهیل در تراکم مخلوط

تراکم برخی مخلوط‌های آسفالتی داغ و بخصوص انواع حاوی قیرهای اصلاح شده بسیار دشوار می‌باشد. این مسئله می‌تواند در حین اجرای مخلوط باعث بروز مشکلاتی برای پیمانکار شود. استفاده از مخلوط‌های آسفالتی گرم با کندروانی کمتر امکان اجرای آسان‌تر را فراهم می‌آورد. این مورد برای انواع مخلوط‌هایی همانند آسفالت ماستیکی و گاس آسفالت بسیار حائز اهمیت است چرا که دمای تولید و پخش این نوع آسفالت‌ها نسبت به دیگر انواع مخلوط‌ها بسیار بالاتر است (خاکی و حسامی، ۱۳۸۱) و این مسئله باعث به وجود آمدن مشکلات عدیده در حین تولید و اجرا می‌شود. با افزایش کارایی و امکان تراکم آسان‌تر این نوع مخلوط‌ها تاکنون امکان کاهش دمای تولید و تراکم آنها تا حد ۳۱ درجه سانتی‌گراد فراهم آمده است که این میزان کاهش دما تا حد زیادی از مشکلات فوق می‌کاهد (Asnderson, 2008).

امکان اجرا در هوای سرد

کاهش کندروانی مخلوط امکان اجرای آن در فصول سرد را میسر می‌سازد. این امر به دو دلیل محقق می‌شود: اولاً قابلیت تراکم پذیری مخلوط بیشتر است و ثانياً به دلیل اینکه اختلاف درجه حرارت مخلوط آسفالت گرم با محیط کمتر از اختلاف دمای مخلوط آسفالت داغ با محیط اجرا است، نرخ کاهش دمای مخلوط پایین‌تر بوده و در نتیجه زمان بیشتری برای اجرا وجود خواهد داشت. البته باید توجه داشت که با کاهش دمای تراکم، به مدت زمان بیشتری برای متراکم کردن مخلوط تا رسیدن به تراکم مورد نظر نیاز است پس لازم است که حتماً با در نظر گرفتن شرایط اجرایی، دمایی برای تراکم مخلوط آسفالت گرم انتخاب شود که زمان لازم برای تراکم مطلوب وجود داشته باشد (Sampath, 2010).

افزایش فواصل حمل آسفالت

کاهش کندروانی مخلوط به همراه کاهش نرخ سرد شدن آن امکان افزایش فواصل حمل آسفالت را میسر می‌سازد. در پروژه‌های اجرا شده این مسئله عملاً نیز به اثبات رسیده است (Barthel, 2010).

جدول ۴. میزان آلاینده‌های انتشار یافته در کارخانه‌های آسفالت گرم

مکان پروژه	مخلوط آسفالتی	میانگین دمای مخلوط به هنگام تخلیه (درجه سانتی‌گراد)	میانگین انتشار گازهای گلخانه‌ای (mg/m ³)	حداکثر انتشار گازهای گلخانه‌ای (mg/m ³)	حداقل انتشار گازهای گلخانه‌ای (mg/m ³)	استاندارد تعیین شده انتشار گازهای گلخانه‌ای (mg/m ³)
هندوستان	HMA	۲۵۹	۰/۳۲	۰/۵۳	۰/۱۷	۰/۱۴
	WMA A	۲۳۷	۰/۱۲	۰/۲۵	۰/۰۵	۰/۰۷
	WMA B	۲۳۲	۰/۳۴	۰/۵۸	۰/۲۷	۰/۱۱
	WMA C	۲۴۱	۰/۱۵	۰/۳۰	۰/۰۴	۰/۰۹
آمریکا (نیویورک)	HMA	۳۲۲	۲/۲۱	۲/۹۷	۱/۶۲	۰/۴۶
	WMA D	۲۲۳	۱/۱۷	۱/۷۸	۰/۵۸	۰/۳۷
	WMA E	۲۲۸	۱/۴۰	۱/۷۹	۰/۷۸	۰/۲۹
	WMA F	۲۴۳	۱/۴۸	۲/۱۴	۱/۳۳	۰/۲۴

۴-۲-۴- کاهش شدت اکسید شدن قیر

منجر به سخت و شکننده شدن آن پس از سرد شدن مخلوط و کاهش خواص چسبندگی قیر شده و در نتیجه ایجاد ترک‌های

با کاهش دمای اختلاط، تا حد زیادی از اکسید شدن قیر جلوگیری می‌شود. اکسید شدن قیر در حین عملیات ساخت،

نهایت، این دو عامل سبب بروز خرابی‌های ناشی از حساسیت رطوبتی می‌شوند. پدیده شکستن اتصال بین سنگدانه‌ها با قیر به عنوان عریان‌شدگی شناخته می‌شود که عوامل مختلف شیمیایی-فیزیکی مانند جدا شدن، جابه‌جایی فشار منفذی، قیر، فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی قیر و سنگدانه به عنوان علت این خرابی شناسایی شده‌اند. عریان‌شدگی معمولاً با کاهش پیوستگی قیر، و یا با کاهش چسبندگی بین قیر و سنگدانه‌ها آزاد می‌شود که نه تنها می‌تواند به عنوان یک خرابی مستقل محسوب شود، بلکه می‌تواند مقدمه و عاملی برای سایر خرابی‌های روسازی از جمله ترک‌ها، جدا شدن دانه‌های سنگی که و به سبب آن ایجاد چاله‌ها و سایر خرابی‌های روسازی می‌گردد پدیده عریان‌شدگی به مرور در طول چند سال، مقاومت مصالح رو کاهش می‌دهد (Mohammad Rezaei, 1998).

اولین عامل در جلوگیری از خرابی عریان‌شدگی، طرح اختلاط مناسب می‌باشد تحقیقات انجام شده در این زمینه نشان می‌دهد که استفاده از آهک هیدراته و مواد ضد عریان‌کننده مایع، تأثیر بسیار خوبی در بهبود حساسیت رطوبتی مخلوط آسفالتی دارد همچنین استفاده از برخی از این مواد باعث بهبود خرابی‌های خستگی و شیارافتادگی سطح مخلوط آسفالتی می‌گردد (Prowell, 2008).

۵- نتیجه‌گیری

- استفاده از مخلوط آسفالتی نیمه‌گرم به نسبت مخلوط آسفالتی نیمه‌گرم میزان مصرف انرژی را کاهش می‌دهد که معمولاً این میزان کاهش مصرف انرژی بین ۱۱ تا ۳۵ درصد خواهد بود و برحسب محاسبات انجام شده برای تولید مخلوط آسفالتی نیمه‌گرم در دمای ۱۳۰ درجه سلسیوس نسبت به تولید مخلوط آسفالتی گرم در دمای ۱۶۰ درجه سلسیوس به مقدار ۱۶ درصد در مصرف انرژی صرفه جویی می‌شود.

- استفاده از مخلوط آسفالتی نیمه‌گرم به جای مخلوط آسفالتی گرم باعث کاهش ۳۳ درصدی انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود که این موضوع به سلامت محیط زیست و بالا رفتن ایمنی و سلامت شغلی کارگران مشغول در پروژه کمک زیادی می‌کند.

- استفاده از مخلوط آسفالتی نیمه‌گرم باعث تسهیل در تراکم در هنگام اجرا، امکان اجرای بهتر مخلوط آسفالتی در فصول سرد

خستگی، تغییر شکل دائم لایه و پدیده جداشدگی سنگدانه‌ها از قیر پدید خواهد آمد. بر اساس مطالعات انجام شده با بالا رفتن دمای اختلاط از ۱۱۱ درجه در ازای هر ۱۱ درجه سانتی‌گراد افزایش، سرعت پیرشدگی قیر دو برابر می‌شود.

با بکار بردن مخلوط‌های آسفالتی گرم و کاهش دمای اختلاط، تا حد زیادی از این پدیده کاسته می‌شود. کاهش پدیده پیرشدگی قیر افزایش عمر و دوام روسازی را به دنبال خواهد داشت (Mohammad Rezaei, 1998).

۴-۲-۵- امکان استفاده بیشتر از تراشه‌های آسفالتی در مخلوط

کاهش شدت اکسید شدن قیر به همراه کاهش کندروانی آن، امکان استفاده از میزان بیشتری از تراشه‌های آسفالتی در مخلوط را ممکن می‌سازد. استفاده از تراشه‌های آسفالتی در مخلوط غیر از مزایای زیست محیطی باعث صرفه جویی‌های شایان اقتصادی نیز می‌شود. به طوری که در یک پروژه آزمایشی در مریلند آمریکا نشان داده شد که وقتی مقدار تراشه‌های آسفالتی مورد استفاده در مخلوط از میزان ۲۵ درصد به ۴۵ درصد افزایش دلار صرفه‌جویی حاصل می‌شود می‌یابد، به ازای هر تن آسفالت تولید شده. افزودن تراشه به مخلوط آسفالت گرم دو مزیت عمده را نیز دارا می‌باشد که عبارتند از:

الف: کاهش حساسیت رطوبتی مخلوط: به دلیل کاهش دمای تولید مخلوط گرم، همواره این نگرانی وجود دارد که سنگ‌دانه‌های موجود در آن کاملاً خشک نشده باشند اما در مورد تراشه‌ها این اطمینان وجود دارد که سنگدانه‌ها کاملاً خشک هستند و این امر می‌تواند تا حد زیادی از حساسیت رطوبتی مخلوط بکاهد.

ب: افزایش سختی مخلوط: با توجه به عدم داغ شدن قیر مخلوط گرم تا دماهای تولید مخلوط داغ، میزان اکسیداسیون قیر مخلوط گرم کمتر است و اختلاط آن با قیر کهنه تراشه‌ها باعث افزایش سختی مخلوط می‌شود [۸].

۴-۳- معایب استفاده از مخلوط آسفالتی نیمه‌گرم

کاهش دمای اختلاط سبب می‌شود آب محبوس در بین مصالح سنگی به خوبی تبخیر نشود. این عامل باعث کاهش چسبندگی بین قیر و مصالح سنگی می‌شود؛ از طرفی کاهش دمای اختلاط قیر با مصالح سنگی باعث افزایش ویسکوزیته قیر شده و سبب می‌شود قیر به درستی سطح مصالح سنگی را اندود نکند در

-در تولید آسفالت نیمه گرم با توجه به کاهش دمای تولید رطوبت موجود در میان سنگ‌دانه‌ها ممکن است کاملاً خشک نگردد و همچنین این کاهش دمای تولید میتواند منجر به این موضوع شود که قیر به خوبی مصالح سنگی را اندود نکند که این امر باعث افزایش حساسیت رطوبتی مخلوط آسفالتی نیمه گرم شود، پس به منظور بر طرف کردن این مشکل از مواد شیمیایی‌های مختلفی و روش‌های متفاوتی می‌توان استفاده نمود.

سال و باعث افزایش فواصل حمل آسفالت نیمه گرم نسبت به آسفالت گرم می‌شود.

-در هنگام تولید مخلوط‌های آسفالتی نیمه گرم امکان استفاده بیشتر از تراشه‌های آسفالتی (به میزان ۴۵ درصد) نسبت به مخلوط آسفالتی گرم افزایش می‌یابد.

-با توجه به کاهش دمای تولید به میزان حداکثر ۶۰ درجه سانتی‌گراد شدت اکسید شدن قیر و پیر شدگی قیر را کاهش می‌دهد که این امر باعث کاهش احتمال وقوع ترک‌های خستگی، تغییر شکل‌های دائم و پدیده جداشدگی قیر می‌شود.

۶-مراجع

-Jones, D. Tsai, B. Signore, J. (2010). Warm-Mix Asphalt Study: Laboratory Test Results for Rediset™ WMX. *Akzo Nobel Contract Report: UCPRC-CR-2010-01*.

-Mohammad Rezaei Abbas (1998). Road and Asphalt Application Collection. *Adana Publications*.

-Norell, M. James, A. Logaraj, S. (2016). Rediset WMX® Development of new warm mix technology offering enhanced asphalt properties. *Akzo Nobel Surface Chemistry Pte*.

-Prowell, P. (2018). Warm Mix Asphalt: Best Practices Nova Scotia Asphalt User/Producer Association Brian D. Brian Prowell Advanced Materials Services. LLC 2515 E. Glenn Ave., Suite 107 Auburn, AL 36830 (334) 408-4855 Brian.

- Sampath, A. (2010). Comprehensive evaluation of four warm asphalt mixture regarding viscosity, tensile strength, moisture sensitivity, dynamic modulus and flow number. University of Iowa.

-Zaumanis, M., Haritonovs, V. Brencis, G. Smirnovs, J. (2012). Assessing the Potential and Possibilities for the Use of Warm Mix Asphalt in Latvia, *Riga Technical University*.

-Allen, R. (2010). Warm Mix Asphalt Investigation. Master of Science Thesis Revised after presentation Technical University of Denmark Department of Civil Engineering.

-Anderson, M. (2008). Asphalt Institute Gaylon Baumgartner, Paragon Technical Services Richard May, Consultant Gerald Reinke, Mathy Technology and Engineering Services. Engineering Properties, Emissions, and Field Performance of Warm Mix Asphalt Technologies, *Interim Report Prepared for National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Transportation Research Board of the National Academies*.

-Barthel, W. (2011). Warm Asphalt Mixes By Adding Aspha-Min A Synthetic Zeolite. Hanau, Germany, J. P. Marchand Eurovia Sa, Rueil-Malmaison, France .

-G. F. A. Ball Opus (2017). International Consultants. Environmental and financial costs and benefits of warm asphalts. *NZ Transport Agency Research Report 404*.

-Graham, C. Hurley and Brian, D. Prowell, M. (2010). Evaluation of Potential Processes for Use in Warm Mix Asphalt.

Investigation of the Advantages and Disadvantages of Warm Mix Asphalt

Yasin Hasanvand, M.Sc., Grad., Faculty of Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran.

Mohsen Zahedi, Assistant Professor, Faculty of Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran.

E-mail: Yasinhasanvand1324@gmail.com

Received: April 2025- Accepted: November 2025

ABSTRACT

Hot Asphalt Mixture 1 is traditionally produced at temperatures between 140 and 160 °C, which results in high energy (fuel) and greenhouse gas emissions. The asphalt industry seeks to save energy and environmental benefits in the process of producing hot and cold asphalt. Efforts have been made to increase environmental awareness in recent years in various countries, especially in the European Union and the United States, based on various environmental protocols, to reduce the production and emission of greenhouse gases into the air. The hot mixing asphalt industry is constantly reviewing technological developments to reduce energy consumption, reduce emissions, increase material efficiency, and manufacture asphalt mixes. Warm mix asphalt 2 two new recycling technologies developed in Europe, one of these efforts, Warm mix asphalt is produced in the temperature range of 30 to 100 degrees Fahrenheit less than hot mix asphalt. The results showed that the use of Warm mix asphalt mixture reduces energy consumption, reduces emissions, reduces the intensity of bitumen oxidation, rapid reopening of traffic and reduces harmful pollutants for workers and also the most important disadvantages of this type of asphalt was high moisture sensitivity due to The low temperature of production and mixing can be mentioned.

Keywords: Hot Mix Asphalt, Warm Mix Asphalt, Moisture Sensitivity, Reduction of Pollutants, Reduction of Energy Consumption