طرح بهینه‌روسازی در روش آشتو با بهره‌گیری از مدل برنامه‌ریزی خطی

منصور فخری، استادیار، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران
علیرضا غنی‌زاده، دانشکدهٔ مهندسی سیرجان، دانشگاه شهید باهنرکرمان، کرمان، ایران
E-mail:fakhri@kntu.ac.ir

چکیده

ابزار برنامه‌ریزی خطی امروزه به عنوان یکی از ابزارهای بسیار توانا، این امکان را به مدیران و برنامه‌ریزان می‌دهد تا تصمیم‌گیری خود را در مورد نحوهٔ تخصیص منابع محدود و رقابتی به صورت علمی و مدلل اتخاذ کنند. از آنجا که یکی از روش های معروف و معتبر طراحی روسازی راه، روش آشتو است و استفاده از این روش منجر به ایجاد چندین نامعادلهٔ خطی می‌شود، نمی‌توان بر اساس یک حل بسته برای ضخامت هر یک از لایه‌های روسازی پاسخ منحصر به فردی به دست آورد. در مقالهٔ حاضر یک مدل برنامه‌ریزی خطی برای تعیین ضخامت بهینه هر یک از لایه‌ها در روش طراحی آشتو توسعه داده شده است. استفاده از این مدل برنامه‌ریزی خطی باعث به دست آمدن یک جواب منحصر به فرد برای ضخامت هر یک از لایه‌ها می‌شود که به کمترین سرمایه‌گذاری جهت ساخت روسازی نیاز دارد. نتایج حاصل از حل این مدل برنامه‌ریزی خطی نشان داده است که ضخامت و پیکره‌بندی بهینه روسازی رابطه مستقیمی با نسبت هزینه اجرا به ضریب قشر هر یک از لایه‌ها نسبت به یکدیگر دارند. هر چه این نسبت کمتر باشد، ضخامت این لایه در سیستم روسازی را بایدتا حد امکان افزایش داد تا روسازی از نظر اقتصادی مقرون به صرفه‌تر شود.

واژه‌های کلیدی: طراحی روسازی، روش آشتو، برنامه‌ریزی خطی، بهینه‌سازی

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۱. مقدمه

طرح روسازی های آسفالتی با استفاده از روش آشتو بر اساس آزمایشها و بررسی‌هایی که آشتو بین سالهای ۱۹۵۸ تا ۱۹۶۰ بر روی راههای ساخته شده در ایالت ایلینویز انجام داد، استوار است. نخستین راهنمای طراحی روسازی آشتو در سال ۱۹۶۱ منتشر گردید. در سالهای ۱۹۷۲ و ۱۹۸۱ این راهنما مورد بازبینی قرار گرفت. مجدداً در خلال سالهای ۱۹۸٤ تا ۱۹۸۵ یک کمیته تخصصی متشکل از آشتو و گروهی از مشاوران، آیین‌نامه اخیر را تحت پروژه NCHRP 20-7/24 مورد بازبینی قرار دادند و با اعمال تصحیحاتی در آن آیین‌نامه طراحی روسازی آشتو ۱۹۸۶ را ارایه کردند[4]. روش آشتو یکی از جامع ترین روشهای تجربی طراحی روسازی است که در ایران نیز از این روش برای طرح روسازی های آسفالتی بهره‌گیری می‌شود[1].

لازم به ذکر است که مؤسسه آشتو اخیرا یک روش جدید مبتنی بر روش مکانیکی- تجربی را برای طرح روسازی های آسفالتی پیشنهاد نموده است. روش اخیر با استفاده از برنامه کامپیوتری DARWIN قابل انجام است[5].

روش طرح روسازی در آیین‌نامه طراحی روسازی های آسفالتی ایران مبتنی بر روش آشتو ۱۹۸۶ است[3]. طرح روسازی با استفاده از این روش در نهایت منجر به ایجاد چندین نامعادلهٔ خطی شده که تمامی آنها باید به طور همزمان برقرار باشند.در مقاله حاضر یک مدل برنامه‌ریزی خطی برای به دست آوردن پاسخ بهینه ضخامت هر یک از لایه‌ها بر اساس کمینه کردن هزینهٔ ساخت روسازی توسعه داده شده است.

۲. روش طراحی آشتو

معادلهٔ (۱) نشان دهندهٔ معادلهٔ اساسی طرح روسازی های آسفالتی با استفاده از روش آشتو است[1].

(۱)

$$\log W_{8.2} = Z_R S_0 + 9.36\log(SN+1) - 0.2 + \frac{\log(\frac{P_t - P_i}{4.2-1.5})}{0.4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.3\log(\frac{M_R}{0.069}) - 8.07$$

که در این معادله:

$W_{8.2}$:تعداد کل محورهای سادهٔ ۸٫۲ تنی هم‌ارز پیش‌بینی شده در عمر روسازی.

Z_R :انحراف معیار نرمال که با توجه به جدول(۱) قابل محاسبه است.

S_0 :انحراف معیار کلی پیش‌بینی متغیرهای طراحی که معمولاً برای روسازیهای آسفالتی برابر با ۰٫۳۵ در نظر گرفته می‌شود.

SN :عدد ضخامت کل روسازی.

p_i :نشانه خدمت دهی اولیه روسازی که معمولاً برابر با ۴٫۲ فرض می‌شود.

P_t :نشانه خدمت‌دهی نهایی روسازی که در راه‌های اصلی برابر با ۲٫۵ و برای راه‌های فرعی برابر با ۲ اختیار می‌شود.

M_R :مدول ارتجاعی خاک بستر روسازی (kg/cm^2).

در معادله اخیر تمام پارامترها بجز عدد ضخامت روسازی معلوم اند. بنابراین با حل معادله بالا می‌توان مقدار SN را به دست آورد. این معادله را می‌توان با استفاده از نمودارهایی که در این زمینه وجود دارند، حل کرد. با استفاده از برنامه کامپیوتری DNPS 86 که توسط آشتو توسعه یافته است نیز می‌توان معادله فوق را حل نمود[4].

جدول۱. انحراف معیار نرمال در سطوح اطمینان مختلف[1].

قابلیت اطمینان(٪)	انحراف معیار نرمال (Z_R)	قابلیت اطمینان(٪)	انحراف معیار نرمال (Z_R)
۵۰	۰٫۰۰۰	۹۳	-۱٫۴۷۶
۶۰	-۰٫۲۵۳	۹۴	-۱٫۵۵۵
۷۰	-۰٫۵۲۴	۹۵	-۱٫۶۴۵
۷۵	-۰٫۶۷۴	۹۶	-۱٫۷۵۱
۸۰	-۰٫۸۴۱	۹۷	-۱٫۸۸۱
۸۵	-۱٫۰۳۷	۹۸	-۲٫۰۵۴
۹۰	-۱٫۲۸۲	۹۹	-۲٫۳۲۷
۹۱	-۱٫۳۴۰	۹۹٫۹۰	-۳٫۰۹۰
۹۲	-۱٫۴۰۵	۹۹٫۹۹	-۳٫۷۵۰

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

پس از تعیین عدد ضخامت روسازی، با تبدیل عدد ضخامت روسازی به ضخامت واقعی هر یک از لایه‌های تشکیل دهنده، ضخامت هر یک از لایه‌ها را می‌توان به دست آورد. ضخامت هر یک از لایه‌ها باید طوری تعیین شود که در مجموع، معادله زیر برقرار باشد.

(۲)

$$SN = \frac{1}{2.5}(a_1d_1 + m_2a_2d_2 + m_3a_3d_3 + \ldots + m_na_nd_n) = \frac{1}{2.5}\sum_{i=1}^{n} a_id_i$$

در این رابطه:

d_i: ضخامت لایهٔ i ام (cm).

a_i: ضریب قشر لایهٔ i ام.

m_i: ضریب زهکشی لایهٔ iام(ضریب زهکشی لایه رویه، با فرض استفاده از بتن آسفالتی، برابر با یک است).

تا زمانی که آزمایش ASTM D1423 به منظور تعیین ضریب ارتجاعی بتن آسفالتی قابل انجام نباشد، ضریب قشر بتن آسفالتی برابر با ۰/۴۲ در نظر گرفته می‌شود[۱].

برای تعیین ضریب قشر مصالح اساس تثبیت شده یا اساس دانه‌ای می‌توان از رابطه (۳) و برای تعیین ضریب قشر مصالح زیراساس دانه‌ای نیز می‌توان از رابطه (٤) استفاده نمود.در صورت نداشتن ضریب ارتجاعی می‌توان از نمودارهایی که سی بی آر مصالح را به ضریب قشر مصالح مربوط می‌کنند، استفاده کرد[۱].

$$a_{Base} = 0.3356\log E_{base} - 0.977 \qquad (۳)$$

$$a_{SubBase} = 0.314\log E_{subbase} - 0.839 \qquad (۴)$$

در رابطه بالا E_{Base} و $E_{Subbase}$ بر حسب کیلو گرم بر سانتی متر مربع می باشد

ضریب زهکشی هر یک از مصالح را می‌توان با استفاده از مقادیر توصیه شده در جدول(۲) بدست آورد.

علاوه بر برقراری معادله (۲)، باید ضخامت هر لایه حداقل به اندازه‌ای باشد که در مجموع تنش فشاری وارد بر لایه‌های تحتانی به اندازه تنش قابل تحمل این لایه‌ها کاهش یابد.برای این منظور باید معادلات زیر برقرار باشند.

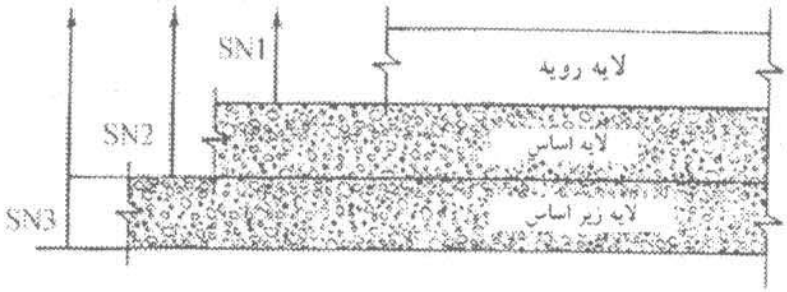
(۵)

$$\begin{cases} a_1.d_1 \geq 2.5SN_1 \\ a_1.d_1 + m_2.a_2.d_2 \geq 2.5SN_2 \\ a_1.d_1 + m_2.a_2.d_2 + m_3.a_3.d_3 \geq 2.5SN_3 \end{cases}$$

در این معادله مقادیر SN_3, SN_2, SN_1 به ترتیب عبارتند از: عدد ضخامت لایه اساس، عدد ضخامت لایه زیراساس و عدد ضخامت خاک بستر . هر یک از این مقادیر با حل معادلهٔ(۱) به‌دست می‌آیند، با این تفاوت که به جای مدول ارتجاعی خاک بستر از مدول ارتجاعی مصالح اساس(برای تعیین SN_1) و مدول ارتجاعی مصالح زیر اساس(برای تعیین SN_2) استفاده می‌شود.

جدول۲. مقادیر پیشنهادی ضریب زهکشی برای مصالح اساس و زیراساس تثبیت نشده[۱].

کیفیت زهکشی	مدت تخلیه آب	درصد زمانی که رطوبت مصالح در حد اشباع است			
		کمتر از ۱٪	۱٪-۵٪	۵٪-۲۵٪	بیشتر از ۲۵٪
عالی	۲ ساعت	۱٫۳۵-۱٫٤۰	۱٫۳۰-۱٫۳۵	۱٫۲۰-۱٫۳۰	۱٫۲۰
خوب	۱ روز	۱٫۲۵-۱٫۳۵	۱٫۱۵-۱٫۲۵	۱٫۰۰-۱٫۱۵	۱٫۰۰
قابل قبول	۱ هفته	۱٫۱۵-۱٫۲۵	۱٫۰۵-۱٫۱۵	۰٫۸۰-۱٫۰۰	۰٫۸۰
ضعیف	۱ ماه	۱٫۰۵-۱٫۱۵	۰٫۸۰-۱٫۰۵	۰٫٦۰-۰٫۸۰	۰٫٦۰
بسیار ضعیف	غیر قابل زهکشی	۱٫۰۵-۰٫۹۵	۰٫۷۵-۰٫۹۵	۰٫٤۰-۰٫۷۵	۰٫٤۰



شکل ۱. تعیین حداقل ضخامت هر یک از لایه‌ها

همچنین ضخامت لایه‌های بتن آسفالتی و اساس دانه‌ای نیز باید با توجه به ترافیک دوره طراحی، کمتر از مقادیر جدول(۳) انتخاب نشود. در مورد لایهٔ زیراساس نیز حداقل ضخامت برابر با ۱۵ سانتیمتر در نظر گرفته می‌شود.

در ادامه به شرح مدل برنامه‌ریزی خطی این مسئله برای یافتن یک جواب منحصر به فرد برای ضخامت هر یک از لایه‌ها که پاسخ بهینه نیز باشد، پرداخته می‌شود.

۳. مدل برنامه‌ریزی خطی مسئله

با در نظر گرفتن یک سیستم سه لایه مانند شکل(۱)، می‌توان مدل برنامه‌ریزی خطی مسئله را به صورت زیر نوشت:

$$MinZ = LW[c_1 d_1 + c_2 d_2 + c_3 d_3]$$

$$S.T:$$

$$\begin{cases} a_1.d_1 \geq 0.025 SN_1.y_2 \\ a_1.d_1 + m_2 a_2 d_2 \geq 0.025 SN_2.y_3 \\ a_1.d_1 \geq 0.025 SN_3(1-y_2) \\ a_1.d_1 + m_2.a_2.d_2 + m_3.a_3.d_3 \geq 0.025 SN_3 \\ a_1.d_1 + m_2.a_2.d_2 \geq 0.025 SN_3(1-y_3) \\ d_1 \geq \min T_{AC} \\ d_2 \geq y_2.\min T_{Base} \\ d_3 \geq y_3.\min T_{SubBase} \\ y_2 \geq y_3 \\ d_1, d_2, d_3 \geq 0 \\ y_2, y_3 = binary \end{cases}$$

که در این معادله:

Z :هزینه ساخت روسازی.

L :طول مسیر بر حسب متر

w :عرض روسازی بر حسب متر.

d_i :ضخامت لایهٔ i ام بر حسب متر.

c_i :هزینهٔ تهیه و اجرای یک مترمکعب مصالح لایهٔi ام

$\min T_{AC}$:حداقل ضخامت لایهٔ بتن آسفالتی با توجه به جدول (۳) بر حسب متر.

$\min T_{Base}$:حداقل ضخامت اجرایی لایه اساس بر حسب متر. این مقدار برای اساس سنگدانه‌ای برابر با ۰٫۱۵ متر و برای اساس تثبیت شده برابر با صفر است.

$\min T_{SubBase}$:حداقل ضخامت اجرایی لایهٔ زیراساس بر حسب متر.این مقدار در عمل معمولاً برابر با ۰٫۱۵ متر در نظر گرفته می‌شود.

y_2 :پارامتر معرف استفاده یا عدم استفاده از لایهٔ اساس در طرح بهینه روسازی. این پارامتر می‌تواند دارای مقدار صفر یا یک باشد و به عنوان یکی از مجهولات تعیین می‌شود. اگر پس از حل مدل مقدار این متغیر برابر با یک شد، معرف این است که طرح بهینهٔ روسازی متشکل از لایهٔ اساس است و در غیر این صورت پیکره‌بندی روسازی فاقد لایهٔ اساس می‌باشد.

y_3 :پارامتر معرف استفاده یا عدم استفاده از لایهٔ زیراساس در طرح بهینهٔ روسازی. این متغیر می‌تواند دارای مقدار صفر یا یک باشد و به عنوان یکی از مجهولات تعیین می‌شود. اگر پس از حل مدل مقدار این متغیر برابر با یک باشد، طرح بهینهٔ روسازی متشکل از لایهٔ زیر اساس است و در غیر این صورت پیکره‌بندی روسازی فاقد لایهٔ زیراساس خواهد بود.

در مدل فوق محدودیت $y_2 \geq y_3$ به این نکته اشاره دارد که روسازی نمی‌تواند بدون داشتن قشر اساس دارای قشر زیراساس باشد. همچنین در صورت استفاده از لایهٔ اساس $(y_2 = 1)$، محدودیت سوم حذف و محدودیت اول فعال و ضخامت لایهٔ آسفالتی طوری تعیین می‌شود که تنشهای ایجاد شده از حد

تنشهای مجاز لایهٔ اساس تجاوز نکنند و در غیر این صورت ($y_2 = 0$) با حذف محدودیت اول و فعال شدن محدودیت سوم ضخامت لایهٔ آسفالتی طوری تعیین می‌شود که تنشهای ایجاد شده از حد تنشهای مجاز لایهٔ خاک بستر تجاوز نکنند. در این مدل در صورتی که تنها به دست‌آوردن مقادیر بهینهٔ ضخامت لایه‌ها مورد نظر باشد، می‌توان ضریب Lw را در تابع هدف حذف نمود. همچنین واحد پولی هزینه‌ها تأثیری بر روی جواب بهینه ندارد.

۴. حل مدل برنامه‌ریزی خطی

مدل ذکر شده یک مدل برنامه‌ریزی خطی آمیخته است؛ زیرا برخی از مجهولات این مدل به صورت اعداد حقیقی و برخی دیگر بصورت اعداد صفر و یک می‌باشند. برای حل این مدل برنامه‌ریزی خطی به این ترتیب عمل شد که ابتدا مقادیر y_2 و y_3 فرض می‌شوند و سپس با توجه به این دو مقدار نامعادلات تشکیل و مدل برنامه‌ریزی خطی به دست آمده با استفاده از روش سیمپلکس حل می‌شود[2]. بنابراین با توجه به هر y_2 و y_3 مقادیر مجهولات با همان ضخامت بهینه لایه‌ها تعیین می‌شود. سپس با مقایسهٔ مقدار تابع هدف در هر یک از مجموعه جوابها می‌توان پاسخ بهینه را مشخص نمود. مراحل حل مدل و تعیین جواب بهینه در دیاگرام شکل (۲) نشان داده شده است.

به منظور حل و بررسی نتایج حاصل از این مدل بهینه سازی ،کدی در محیط MATLAB [6] نوشته شد و ضخامت هر یک از لایه‌ها با تغییر نسبت c/a (نسبت هزینه اجرای به ضریب قشر لایه) لایه‌ها به دست آمد. کد نوشته شده شامل سه بخش اصلی است. بخش اول برای اخذ داده‌های ورودی، بخش دوم برای محاسبهٔ عدد ضخامت هر یک از لایه‌ها و بخش سوم برای اجرای آلگوریتم بهینه‌سازی و محاسبهٔ ضخامت بهینهٔ هر یک از لایه‌های روسازی در نظر گرفته شده است. نمونه‌ای از نتایج این محاسبات برای شرایط یک روسازی نمونه مطابق جدول (۴) در اشکال(۴) الی (۶) آورده شده است. در همه این نمودارها نسبت c_3/a_3 ثابت و برابر با یک شده و فقط نسبت c_1/a_1 و c_2/a_2 متغیر فرض شده است.

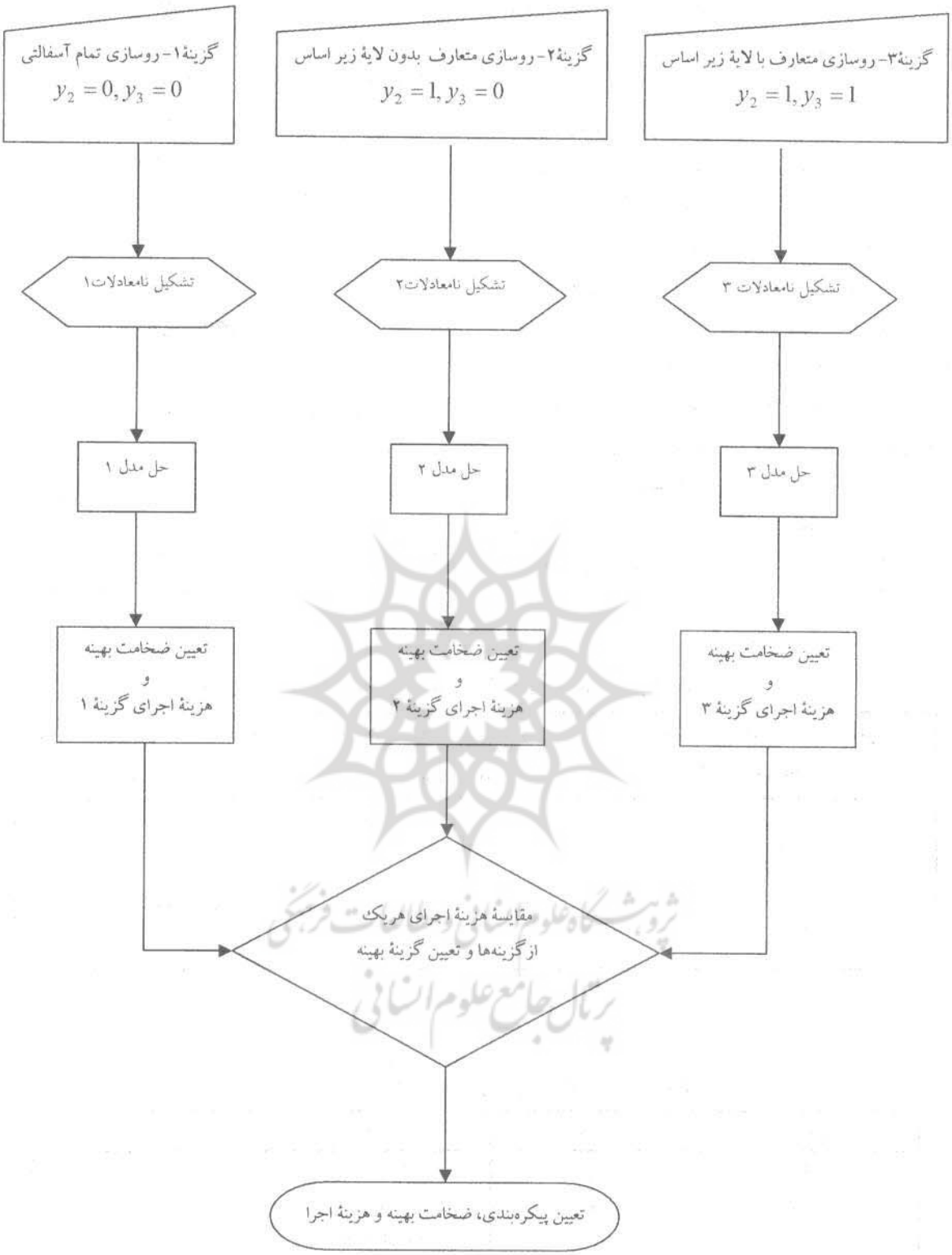
جدول۳. حداقل ضخامت اجرایی لایه‌های اساس و رویه[۱]

تعداد محورهای عبوری ۸/۲ تنی	حداقل ضخامت لایهٔ بتن آسفالتی(cm)	حداقل ضخامت لایهٔ اساس دانه‌ای(cm)
کمتر از ۱۵۰۰۰۰	آسفالت سطحی دو لایه	۱۵
۱۵۰۰۰۰-۵۰۰۰۰۰	۸	۱۵
۵۰۰۰۰۰-۱۰۰۰۰۰۰	۱۰	۱۵
بیشتر از ۱۰۰۰۰۰۰	۱۲	۱۵

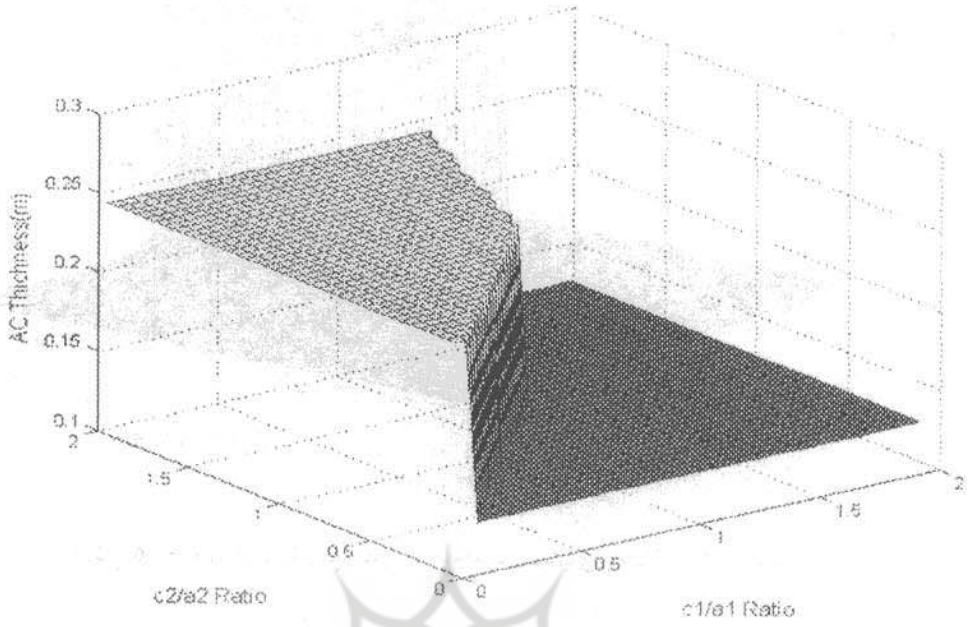
پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

جدول٤. مشخصات روسازی نمونه برای آزمایش مدل

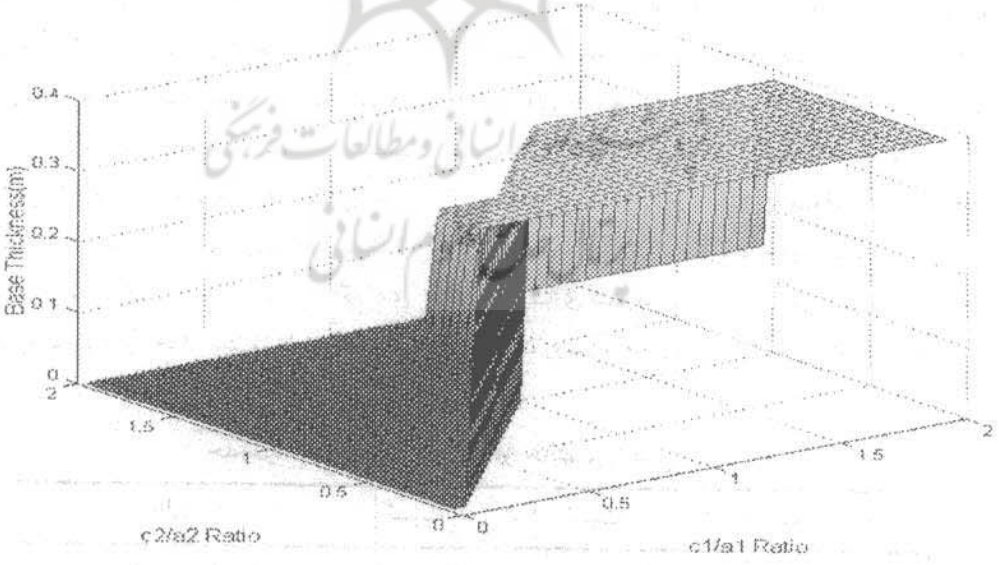
مشخصات	مقدار	مشخصات	مقدار
$W_{8.2}$	۱۰۰۰۰۰۰	p_t	۲٫۵
a_1	۰/٤۲	MI	-۱٫٦٤٥
E_{Base}	۱۹۲۵kg/cm^2	S_0	۰٫۳۵
$E_{Subbase}$	۹۸۰kg/cm^2	$minT_{AC}$	۱۰cm
$E_{Subgrade}$	۳۵۰ kg/cm^2	$minT_{Base}$	۱۵cm
p_i	٤٫۲	$minT_{SubBase}$	۱۵cm
ضریب زهکشی کلیهٔ لایه‌ها برابر با ۱ فرض می‌شود.			



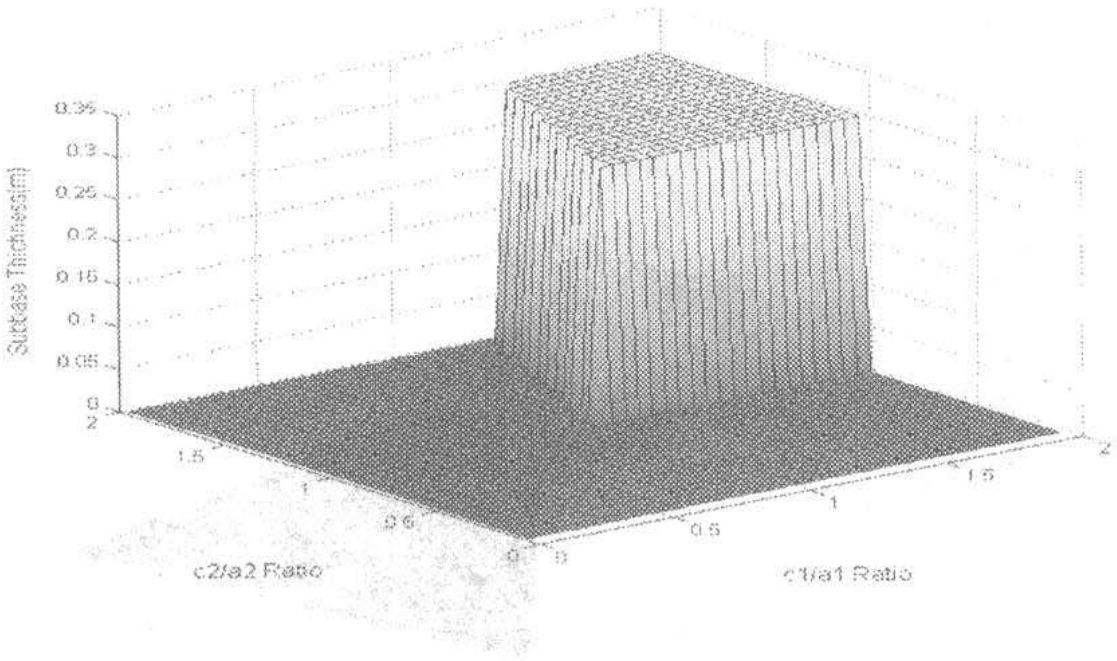
شکل ۲. مراحل حل مدل برنامه ریزی خطی و تعیین جواب بهینه



شکل ۳. ضخامت لایهٔ رویه با توجه به نسبتهای مختلف c_1/a_1 و c_2/a_2



شکل ٤. ضخامت لایهٔ اساس با توجه به نسبتهای مختلف c_1/a_1 و c_2/a_2

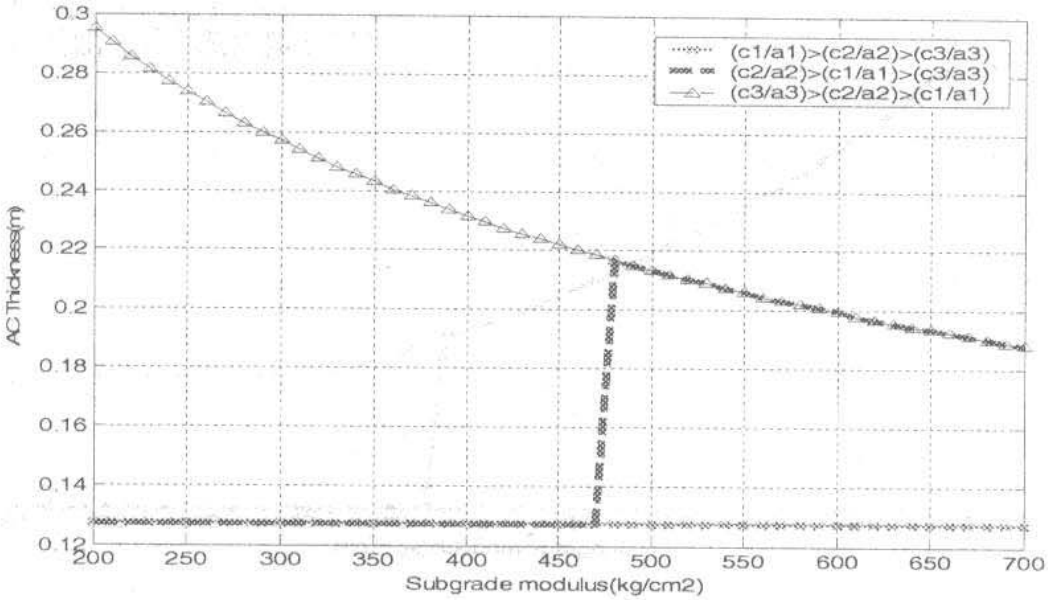


شکل ۵. ضخامت لایهٔ زیراساس با توجه به نسبتهای مختلف c_1/a_1 و c_2/a_2

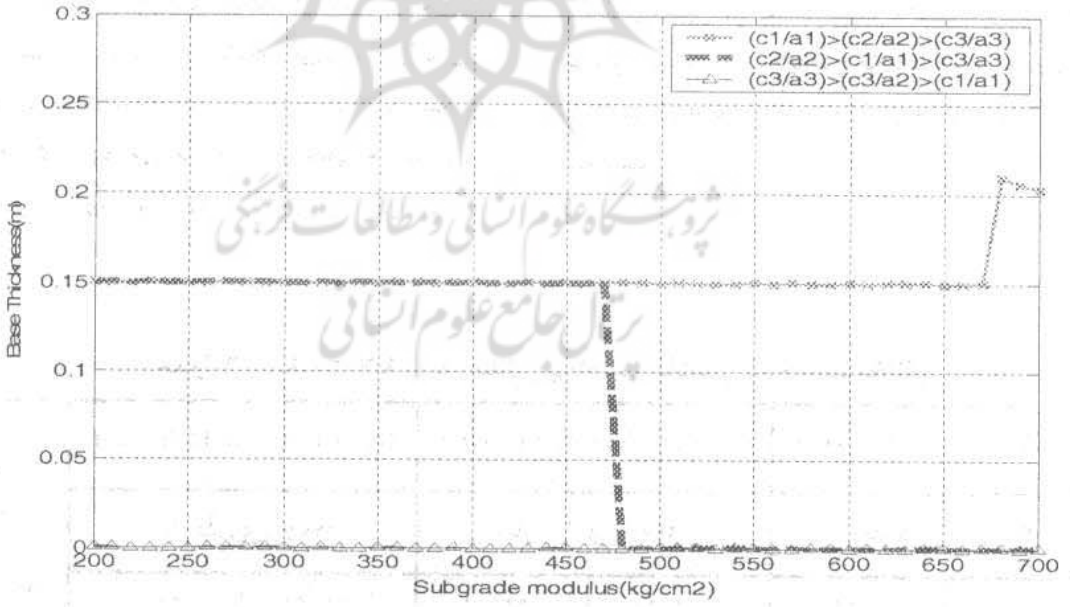
همان گونه که شکل های بالا و مدل برنامه‌ریزی خطی ارایه شده نشان می‌دهند، ضخامت بهینه و پیکره‌بندی بهینه روسازی رابطهٔ مستقیمی با نسبت هزینه اجرا به ضریب قشر هر یک از لایه‌ها (c/a)دارد. هر چه نسبت c/a (هزینهٔ اجرا به ضریب قشر) یک لایه کمتر باشد، باید تا حد امکان ضخامت این لایه در سیستم روسازی افزایش داده شود. همچنین می‌توان دید که در حالتی که هزینهٔ اجرا به ضریب قشر لایهٔ رویه کمتر از لایه‌های اساس و زیر اساس باشد، روسازی بهینه روسازی تمام آسفالتی است و تنها در حالتی استفاده از لایهٔ زیر اساس مقرون به صرفه است که نسبت هزینه به ضریب قشر این لایه کمتر از دو لایه رویه و اساس باشد. شکلهای (۶)، (۷) و (۸) به ترتیب ضخامت بهینهٔ هر یک از لایه‌های رویهٔ آسفالتی، اساس سنگدانه‌ای و زیر اساس سنگدانه‌ای را با توجه به تغییر مدول برجهندگی خاک بستر نشان می‌دهند. این نمودارها برای سه حالت مختلف ترسیم شده‌اند که این سه حالت در جدول (۵) نشان داده شده‌اند. تمام مشخصات روسازی همانند مشخصات داده شده در جدول (۴) می‌باشند، به جز مدول ارتجاعی خاک بستر که متغیر فرض شده است. همان گونه که دیده می‌شود بدون توجه به مقاومت خاک بستر در صورتی که $(c_3/a_3)>(c_2/a_2)>(c_1/a_1)$ باشد، روسازی بهینه از نوع روسازی تمام آسفالتی است. در صورتی که خاک بستر ضعیف و $(c_1/a_1)>(c_2/a_2)>(c_3/a_3)$ باشد، روسازی بهینه از نوع روسازی متعارف با لایهٔ زیر اساس است. به تدریج با نزدیک شدن مدول ارتجاعی لایهٔ خاک بستر به مدول ارتجاعی لایهٔ زیراساس و با توجه به حداقل ضخامت لایهٔ زیر اساس(۱۵cm) دیگر استفاده از روسازی متعارف با لایهٔ زیر اساس بهینه نمی‌باشد، بلکه در این حالت روسازی متعارف بدون لایهٔ زیر اساس، بهینه‌تر است.

جدول۵. مشخصات هر یک از حالتهای تحلیل

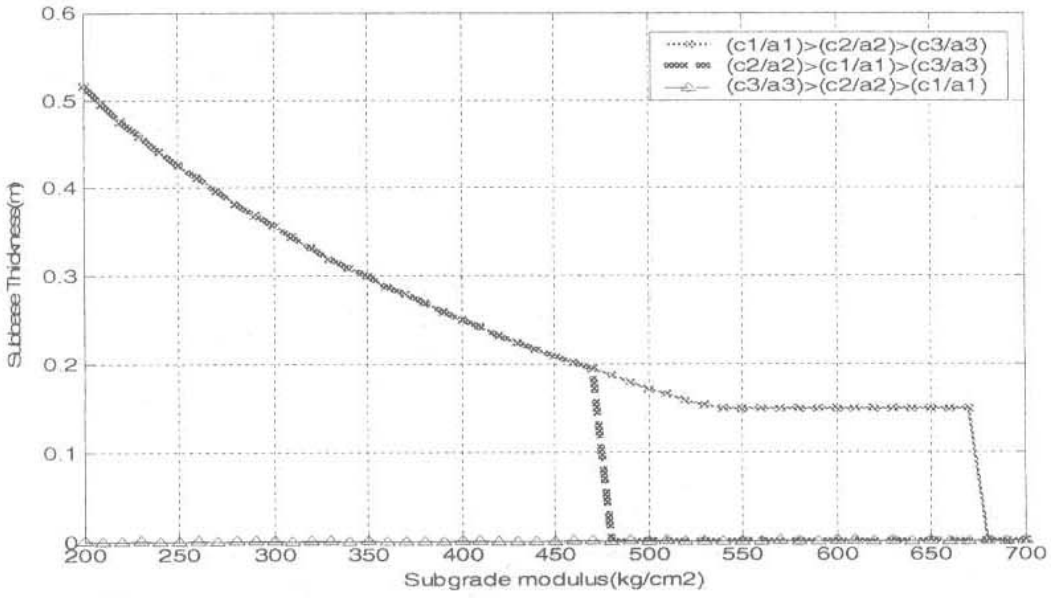
حالت	نسبت c_1/a_1	نسبت c_2/a_2	نسبت c_3/a_3
$(c_1/a_1)>(c_2/a_2)>(c_3/a_3)$	۳	۰۲	۱
$(c_2/a_2)>(c_1/a_1)>(c_3/a_3)$	۲	۳	۱
$(c_3/a_3)>(c_2/a_2)>(c_1/a_1)$	۱	۲	۳



شکل ٦. ضخامت لایهٔ رویهٔ آسفالتی با توجه به مدول ارتجاعی خاک بستر در سه حالت مختلف از نظر نسبت c/a لایه‌های روسازی.



شکل ۷. ضخامت لایهٔ اساس سنگدانه‌ای با توجه به مدول ارتجاعی خاک بستر در سه حالت مختلف از نظر نسبت c/a لایه‌های روسازی.



شکل ۸ ضخامت لایهٔ زیراساس سنگدانه‌ای با توجه به مدول ارتجاعی خاک بستر در سه حالت مختلف از نظر نسبت c/a لایه‌های روسازی

به منظور ارزیابی نتایج حاصل از مدل پیشنهادی با توجه به اثر ترکیبی بارگذاری، مقاومت خاک بستر و نسبت c/a لایه‌ها، طرح بهینهٔ روسازی در ۱۲ حالت مختلف از نظر بارگذاری، مقاومت خاک بستر و نسبت c/a لایه‌ها تعیین شد. بارگذاری شامل دو بارگذاری سبک معادل با $W_{8.2} = ۱۰۰۰۰۰$ و سنگین معادل با $W_{8.2} = ۵۰۰۰۰۰۰$ می‌شد و مدول ارتجاعی خاک بستر نیز به ترتیب برابر با $۲۰۰\ kg/cm^2$ برای خاک بستر ضعیف و $۷۰۰\ kg/cm^2$ برای خاک بستر مقاوم در نظر گرفته شد. در بارگذاری سبک حداقل ضخامت لایهٔ رویه ۶ سانتیمتر و در بارگذاری سنگین این مقدار برابر با ۱۲ سانتیمتر فرض شده است. همچنین نسبت c/a لایه‌های مختلف همانند جدول (۵) فرض شده است. نتایج عددی این تحلیل در جداول (۶)، (۷) و (۸) داده شده است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

جدول٦. ضخامت لایهٔ رویهٔ آسفالتی بر حسب سانتیمتر در حالات مختلف

مدول ارتجاعی (kg/cm^2)	$(c_1/a_1)>(c_2/a_2)>(c_3/a_3)$		$(c_2/a_2)>(c_1/a_1)>(c_3/a_3)$		$(c_3/a_3)>(c_2/a_2)>(c_1/a_1)$	
	بارگذاری، W8.2		بارگذاری، W8.2		بارگذاری، W8.2	
	۱۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰۰
۲۰۰	۸٫۵	۱۶٫۸	۸٫۵	۱۷	۲۰٫۶	۳۶٫۸
۷۰۰	۸٫۵	۱۶٫۸	۱۲٫۸	۲۴٫۴	۱۲٫۷	۲۴٫۴

جدول ۷. ضخامت لایهٔ اساس سنگدانه‌ای بر حسب سانتیمتر در حالات مختلف

مدول ارتجاعی (kg/cm^2)	$(c_1/a_1)>(c_2/a_2)>(c_3/a_3)$		$(c_2/a_2)>(c_1/a_1)>(c_3/a_3)$		$(c_3/a_3)>(c_2/a_2)>(c_1/a_1)$	
	بارگذاری، W8.2		بارگذاری، W8.2		بارگذاری، W8.2	
	۱۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰۰
۲۰۰	۱۵	۱۶٫۴	۱۵	۱۵	۰	۰
۷۰۰	۱۵	۱۶٫۴	۰	۰	۰	۰

جدول ۸ ضخامت لایهٔ زیراساس سنگدانه‌ای بر حسب سانتیمتر در حالات مختلف

مدول ارتجاعی (kg/cm^2)	$(c_1/a_1)>(c_2/a_2)>(c_3/a_3)$		$(c_2/a_2)>(c_1/a_1)>(c_3/a_3)$		$(c_3/a_3)>(c_2/a_2)>(c_1/a_1)$	
	بارگذاری، W8.2		بارگذاری، W8.2		بارگذاری، W8.2	
	۱۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰۰
۲۰۰	۳۲٫۱	۶۳٫۸	۳۲٫۱	۶۳٫۸	۰	۰
۷۰۰	۰	۱۵	۰	۰	۰	۰

در این جا نیز می‌توان تأثیر نسبت c/a لایه‌های مختلف را بر روی طرح بهینهٔ روسازی دید. همان گونه که این جداول نشان می‌دهند، استفاده از لایهٔ زیر اساس تنها در حالتی توجیه اقتصادی دارد که خاک بستر ضعیف و نسبت هزینهٔ اجرا به ضریب قشر لایهٔ زیر اساس از دو لایهٔ دیگر کمتر باشد. افزون بر این در حالتی که نسبت هزینهٔ اجرا به ضریب قشر لایهٔ رویهٔ آسفالتی از دو لایهٔ دیگر کمتر باشد، تنها روسازی بهینه، روسازی تمام آسفالتی است. به عبارت دیگر با افزایش مقاومت خاک بستر، رفته استفاده از لایه‌های زیر اساس و اساس، دیگر توجیه اقتصادی ندارد.

۵. نتیجه‌گیری

در مقالهٔ حاضر یک مدل برنامه‌ریزی خطی برای تعیین ضخامت بهینه هر یک از لایه‌ها در روش طراحی آشتو توسعه داده شده است. استفاده از این مدل برنامه‌ریزی خطی باعث به دست آمدن یک پاسخ منحصر به فرد برای ضخامت هر یک از لایه‌ها می‌شود که به کمترین سرمایه‌گذاری جهت ساخت روسازی نیاز دارد. این مدل قادر است تا هم پیکره‌بندی بهینه روسازی (نوع لایه‌هایی که باید به کار روند) و هم ضخامت های بهینه مصالح این پیکره بندی بهینه را محاسبه کند. ضخامت بهینه و پیکره‌بندی بهینه روسازی رابطه مستقیمی با نسبت هزینه اجرا به ضریب قشر هر یک از لایه‌ها (c/a)دارد. هر چه نسبت c/a یک لایه کمتر باشد، تا حد امکان باید ضخامت این لایه در سیستم روسازی افزایش داده شود. استفاده از لایهٔ زیر اساس تنها در حالتی توجیه اقتصادی دارد که خاک بستر ضعیف و نسبت c/a لایهٔ زیر اساس از دو لایهٔ دیگر کمتر باشد. در حالتی که نسبت c/a رویهٔ آسفالتی از دو لایهٔ دیگر کمتر باشد، تنها روسازی بهینه، روسازی تمام آسفالتی است، به عبارت دیگر با افزایش مقاومت خاک بستر، رفته رفته استفاده از لایه‌های زیر اساس و اساس دیگر توجیه اقتصادی ندارد.

۶. مراجع

۱- سازمان مدیریت و برنامه ریزی . دفتر امور فنی و تدوین معیارها. "آیین نامهٔ روسازی آسفالتی راه‌های ایران" ، نشریه شماره ۲۳۴، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، چاپ اول،۱۳۸۱.

۲- رائو، اس.اس. "*بهینه سازی، تئوری و کاربرد*"، مترجم: شهیدی پور، محمدمهدی ، مشهد، انتشارات دانشگاه فردوسی، چاپ اول، ۱۳۷۳

3- AASHTO (1986) "Guide for design of pavement structures", American Association of State Highway and Transportation Officials

4- Huang, Yang, H. (1993) "Pavement analysis and design", Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

5- Witczak, Matthew W. (2003) "Guide for mechanistic pavement design", International Conference on Highway Pavement Data, Analysis and Mechanistic Design Applications.

6- The Math Works Inc. (2000) "Optimization toolbox user's guide".

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی