

## ارزیابی زیست‌محیطی و توسعه‌ی پایدار چهار روش‌سازی در ایران

### به کمک چهار روش تحلیل چندمعیاره

علی‌رضا چراغی\*<sup>۱</sup>، فائزه برهانی<sup>۲</sup>

۱. کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، a.r.cheraghi@ut.ac.ir

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، fborhani78@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۵/۵/۱۶ تاریخ پذیرش: ۹۵/۶/۲۶

### چکیده

محیط‌زیست شهری یکی از پایه‌های زندگی انسان در شهرها است و توسعه‌ی شهرها همراه با نادیده گرفتن محیط‌زیست شهری، سبب گسترش مخاطرات زیستی شده است. توسعه و پیشرفت پایدار راه حل جامع برای حفظ منابع زیستی شهرها می‌باشد. روش‌سازی یکی از موارد اساسی در شهرسازی به‌شمار می‌رود که اگر در راستای پیشرفت پایدار انجام نپذیرد سبب بروز مشکلات زیست‌محیطی خواهد شد. این پژوهش تلاش می‌کند تا روش‌های مختلف روش‌سازی را با استفاده از برخی شیوه‌های تحلیل چند معیاره مورد ارزیابی توسعه‌ی پایدار و زیست‌محیطی قرار دهد. از جمله مواردی که جهت ارزیابی در ساخت‌وساز رویه‌ها در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است، کاهش آلودگی هوا در طول تولید و بهره‌برداری از رویه، کاهش اتلاف منابع آبی و مدیریت آن، کاهش اتلاف منابع انرژی و بازیابی پسماندها در رویه‌ها می‌باشد. نتایج پژوهش بر روی انتخاب روش مطلوب روش‌سازی از میان روش‌های متداول روش‌سازی در عرصه‌ی جهانی (آسفالت قیری، آسفالت متخلخل، بتن غلتکی، بتن اسفنجی) متمرکز شده است. شیوه‌های به‌کار رفته جهت تحلیل چند معیاره، جمع وزنی ساده، برنامه‌ریزی‌سازی، تاپسیس و عملگر میانگین وزنی مرتب می‌باشد. نتایج پژوهش بیانگر این است که از نظر پیشرفت پایدار و محیط‌زیست شهری، بتن اسفنجی، راهی سبز و مناسب‌ترین روش از میان روش‌های مطرح شده است.

### کلمات کلیدی

"محیط‌زیست شهری"، "پیشرفت پایدار شهری"، "تحلیل چند معیاره"، "روش‌سازی سبز".

### ۳- مقدمه

استوار باشد (Munn and Clark, 1986). توجه به مواردی همچون گازهای گلخانه‌ای، تغییرات آب و هوایی، نابودی لایه‌ی ازن، تخریب زمین، کاهش منابع تجدیدناپذیر و آلودگی هوای شهرها در گستره‌ی پیشرفت پایدار می‌گنجد (Rao, 2000). روش‌سازی از عوامل ایجاد توسعه‌ی شهری محسوب می‌گردد که بایستی دارای کارکردهای همچون ایجاد شرایط لازم برای حمل و نقل، ارتقای سطح ایمنی حمل و نقل و بهبود راحتی حمل و نقل باشد. این کارکردها باید با کم‌ترین هزینه در طراحی و ساخت، نگهداری، اجرای روکش جدید، تعمیر و بازسازی، تأثیر بر محیط‌زیست همراه باشند (PIARC, 2007). تا کنون در ایران، تحقیقات جامعی پیرامون ارزیابی رویه‌های متناسب با پیشرفت پایدار شهری انجام نگرفته است و تنها پژوهشی که در این زمینه جهت ارزیابی انجام پذیرفته است مربوط به پژوهش

توسعه، روندی بود که گرچه امیدهایی در دهه‌های گذشته به آن می‌رفت اما غیر از افزایش فقر و نابرابری، نتیجه‌ای برای کشورهای پس‌افتاده دربرنداشت. بنابراین، توسعه‌ی پایدار، رهیافتی برای معمای توسعه در شرایط دگرگون سال‌های پایانی سده‌ی بیستم بود (Arnold, 1993). توسعه‌ی پایدار، رابطه‌ی متقابل انسان‌ها و طبیعت در سراسر جهان است و یا فرآیند دگرگونی در بهره‌گیری از منابع، هدایت سرمایه‌گذاری‌ها و سمت‌گیری توسعه‌ی فناوری می‌باشد و تحولی اساسی است که با نیازهای اکنون و آینده‌ی انسان سازگار باشد یعنی توانایی نسل‌های آتی را در رفع نیازهای خود به خطر نیفتد (UNESCO, 1997). از دیدگاه زیست‌محیطی، پیشرفت پایدار، هنگامی تحقق می‌یابد که بر پایه‌ی اصول بوم‌شناسی،

مسئله‌ی تصمیم‌گیری دارند. در این حالت، هدف از تصمیم‌گیری گروهی، رسیدن به گزینه‌ی بهینه از میان مجموعه‌ای از گزینه‌ها است به‌گونه‌ای که بیش‌ترین توافق میان تصمیم‌گیران برقرار شود. دو گام مهم، جهت پالایش اولیه‌ی داده‌های ورودی عبارتند از:

الف) تبدیل ورودی‌های بیانی به عددی: در پژوهش حال حاضر از مقیاس خطی که توسط مؤلفین متعددی به کار بسته شده استفاده می‌شود.

ب) به‌هنجارسازی داده‌ها: این کار، تأثیر بسیار زیادی روی نتایج استفاده از روش‌های تحلیل چندمعیاره دارد. در این مطالعه از روش زیر استفاده می‌شود (ضرغامی و همکاران، ۱۳۹۰):

$$(1) \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{x_{ij}}{Maxx_{ij}} \\ \frac{Minx_{ij}}{x_{ij}} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{برای معیار مثبت} \\ \text{برای معیار منفی} \end{array}$$

مقادیر معادل عددی وزن‌دهی کیفی به‌صورت زیر است:  
 معیارهای مثبت: بسیار کم: (۱)، کم: (۲)، نسبتاً کم: (۳)، متوسط: (۴)، نسبتاً زیاد: (۵)، زیاد: (۶)، بسیار زیاد: (۷).  
 معیارهای منفی: بسیار کم: (۷)، کم: (۶)، نسبتاً کم: (۵)، متوسط: (۴)، نسبتاً زیاد: (۳)، زیاد: (۲)، بسیار زیاد: (۱).  
 جدول وزن‌دهی کیفی (جدول ۱) با برآوردی از داده‌های دریافت شده از دفتر مطالعات فناوری و ایمنی دبیرخانه‌ی مجمع جهانی راه در ایران و مقایسه‌ی ویژگی‌های رویه‌ها به‌دست می‌آید.  
 در این پژوهش از چهار روش مرسوم تحلیل بهره گرفته شد:

- روش جمع وزنی ساده:  
 این روش ساده‌ترین و پرکاربردترین روش تحلیل چندمعیاره است. در این روش، همه‌ی معیارها به یک مقیاس متعارف تبدیل می‌شوند. این مقیاس، معمولاً بین صفر و یک اختیار می‌شود که عدد یک، نمایان‌گر بهترین عملکرد است. انتخاب گزینه‌ها بر اساس مقدار  $Z_k$  است که به‌صورت رابطه‌ی ۱ تعریف می‌شود:

ارزیابی زیست‌محیطی آسفالت متخلخل، بتن غلتکی و بتن اسفنجی به کمک دو شیوه‌ی تاپسیس و برنامه‌ریزی سازشی (چراغی، ۱۳۹۴) است. در این مطالعه، چهار روش روسازی، مورد توجه قرار گرفته است که عبارتند از آسفالت قیری، آسفالت متخلخل، بتن غلتکی و بتن اسفنجی. در این پژوهش به‌دلیل وجود گزینه‌های زیست‌محیطی با دامنه‌ی گسترده نمی‌توان از روش کمی‌سنجی شبیه‌سازی بهره برد چرا که هیچ نوع روش شبیه‌سازی قادر به مقایسه‌ی تمامی معیارهای مطرح شده را ندارد و همچنین از آن‌جایی که اجرای آزمایشی این نوع رویه‌ها نیازمند مدت‌زمان طولانی و هزینه‌ی بالا می‌باشد ضرورت بهره‌گیری از روشی که بتواند به نتیجه‌گیری اولیه‌ی آسان و کیفی از میان روش‌های روسازی منجر شود وجود دارد. از این رو بایستی از نتیجه‌ی آزمایش‌های علمی موجود در عرصه‌ی بین‌المللی جهت تعمیم آن به داخل کشور استفاده نمود. روش پیش‌روی این پژوهش، تحلیل یا تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌باشد که از مزایای آن، بررسی ابعاد مختلف احتمالات گزینه‌های یک تصمیم‌گیری به‌صورت کیفی است.

## ۲- روش انجام تحقیق

### • روش‌های تحلیل چندمعیاره

در این پژوهش به‌دلیل وجود گزینه‌های زیست‌محیطی با دامنه‌ی گسترده نمی‌توان از روش کمی‌سنجی شبیه‌سازی بهره برد چرا که هیچ نوع روش شبیه‌سازی قادر به مقایسه‌ی تمامی معیارهای مطرح شده را ندارد و همچنین از آن‌جایی که اجرای آزمایشی این نوع رویه‌ها نیازمند مدت‌زمان طولانی و هزینه‌ی بالا می‌باشد ضرورت بهره‌گیری از روشی که بتواند به نتیجه‌گیری اولیه‌ی آسان و کیفی از میان روش‌های روسازی منجر شود وجود دارد. از این رو بایستی از نتیجه‌ی آزمایش‌های علمی موجود در عرصه‌ی بین‌المللی جهت تعمیم آن به داخل کشور استفاده نمود. روش پیش‌روی این پژوهش، تحلیل یا تصمیم‌گیری چندمعیاره<sup>۹</sup> می‌باشد که از مزایای آن، بررسی ابعاد مختلف احتمالات گزینه‌های یک تصمیم‌گیری به‌صورت کیفی است (ضرغامی و همکاران، ۱۳۹۰).

فرآیند تحلیل چندمعیاره در حالت گروهی دارای دو یا چند تصمیم‌گیر است که هر یک اولویت‌ها و نگرش‌های متفاوتی به

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2}, i=1,2,\dots,m$$

(۷)

۵- رتبه‌بندی گزینه‌ها با استفاده از محاسبه‌ی نزدیکی نسبی  $C_i^+$  هر گزینه به جواب آرمانی (ضرغامی و همکاران، ۱۳۹۰):

$$C_i^+ = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+}, i=1,2,\dots,m$$

(۸)

• روش برنامه ریزی سازشی:

مبنای این روش بر اساس مفهوم جابه‌جایی میزان آرمانی است. در این روش، اولویت‌بندی و امتیازدهی به گزینه‌ها بر اساس فاصله‌ی آن‌ها از نقطه‌ی نامطلوب انجام می‌گیرد. مطلوبیت هر گزینه با  $L_i$  نشان داده می‌شود که بر اساس رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$L_i = \left[ \sum_{j=1}^m W_j^p \left( \frac{x_{ij} - f_j^w}{f_j^* - f_j^w} \right)^p \right]^{1/p}$$

(۹)

که در آن:

$f_j^*$ : مقدار مطلوب برای معیار  $J$  در بین تمام مقادیر ممکن برای گزینه‌ها

$f_j^w$ : مقدار نامطلوب برای معیار  $J$  در بین تمام مقادیر ممکن برای گزینه‌ها است که قبلاً در تعریف معادله‌ی ۱ معرفی شدند.  $p$ : عاملی است که حساسیت تصمیم‌گیر به فاصله از نقطه‌ی آرمانی را از دید هر یک از معیارها بیان می‌دارد.

با  $p=1$  همه‌ی فاصله‌ها به اندازه‌ی وزن خود در نظر گرفته می‌شود و بر اساس  $p=2$  فاصله‌ی بزرگ‌تر، اثر بیش‌تر دارد. برای  $p=\infty$  بزرگ‌ترین اختلاف مدنظر است و تنها این اختلاف کمینه می‌شود (ضرغامی و همکاران، ۱۳۹۰).

• روش میانگین وزنی مرتب:

این عملگر نگاشتی از فضای  $n$  بعدی به فضای یک بعدی است:  $F: R^n \rightarrow R$ . این عملگر برای محاسبه‌ی هوشمند در تحلیل چندمعیاره به کار می‌رود که وابسته به یک بردار وزنی  $n$  بعدی،  $u$  است و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$S_i = \frac{\sum_{j=1}^n W_j \cdot r_{ij}}{\sum_{j=1}^n W_j} \quad (۱)$$

که در آن:

$W_j$ : وزن معیار  $J$  ام

$r_{ij}$ : امتیاز به‌هنگار گزینه‌ی  $i$  ام از دید معیار  $J$  ام است که توسط معادله‌ی ۱ قابل محاسبه است (ضرغامی و همکاران، ۱۳۹۰).

• روش تاپسیس:

این روش از روش‌های فاصله محور است. در این روش، گزینه‌ی انتخابی باید کوتاه‌ترین فاصله از جواب آرمانی و دورترین فاصله از جواب غیرآرمانی را داشته باشد.

مراحل حل مسئله به‌صورت زیر است:

۱- به‌هنگارسازی داده‌های تصمیم: برای این کار از معادله‌ی ۱ استفاده می‌شود که در آن مقدار به‌هنگار شده است.

۲- وزن‌دار کردن داده‌های به‌هنگار شده در مرحله‌ی قبل:

$$v = [W_j r_{ij}] \quad (۳)$$

۳- تعیین جواب‌های آرمانی  $A^+$  و غیرآرمانی  $A^-$  برای هر معیار:

$$A^+ = \left\{ \left( \text{Max}_{v_{ij}, j \in J} \right) \left( \text{Min}_{v_{ij}, j \in J} \right); i=1,2,\dots,m \right\} = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_j^+, \dots, v_n^+\} \quad (۴)$$

$$A^- = \left\{ \left( \text{Min}_{v_{ij}, j \in J} \right) \left( \text{Max}_{v_{ij}, j \in J} \right); i=1,2,\dots,m \right\} = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_j^-, \dots, v_n^-\} \quad (۵)$$

به‌طوری‌که  $J$  مربوط به معیارهای مثبت و  $J'$  مربوط به معیارهای منفی است.

۴- برآورد مقدار فاصله‌ی هر گزینه تا جواب‌های آرمانی و غیرآرمانی که به ترتیب زیر نشان داده می‌شوند:

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2}, i=1,2,\dots,m \quad (۶)$$

$$\theta = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (n-j) u_j \quad (11)$$

$$u_j = Q\left(\frac{j}{n}\right) - Q\left(\frac{j-1}{n}\right), \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (12)$$

در این مطالعه، کمیت سنج نوع  $Q(r) = r^\alpha$  به کار می‌رود که وقتی  $n$  به سمت بی‌نهایت میل می‌کند به کمک دو معادله‌ی ۱۱ و ۱۲،  $\theta$  برابر خواهد بود با:

$$\theta = \int_0^1 Q(r) dr = \int_0^1 r^\alpha dr = \frac{1}{\alpha+1} \quad (13)$$

مقدار  $\alpha$  به ازای درجات خوش‌بینی مختلف که هر کدام متناظر با یک کمیت سنج کیفی است از جدول ۱ به دست می‌آید. در حالتی که معیارها خود دارای اهمیت نسبی  $w$  باشند، پس از ضرب کردن هر ورودی در وزن نسبی آن، مطابق معادله‌ی ۳، عمل می‌شود (ضرغامی و همکاران، ۱۳۹۰).

$$F_i(r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im}) = \sum_{j=1}^n u_j b_{ij} = u_1 b_{i1} + u_2 b_{i2} + \dots + u_n b_{im} \quad (10)$$

که در آن:

$b$ : مجموعه‌ی مقادیر نزولی مرتب شده‌ی بردار  $X$

$u$ : وزن رتبه‌ها با وزن نسبی هر معیار تفاوت دارد و تنها ناظر بر رتبه‌ی هر ورودی است به طوری که  $u_j \geq 0$  و

$$\sum_{j=1}^n u_j = 1$$

خصوصیت مهم وزن رتبه‌ها در این عملگر، انعکاس درجه‌ی خوش‌بینی تصمیم‌گیر است. منظور از خوش‌بینی تصمیم‌گیر، میزان و درجه‌ی پذیرش زیان‌پذیری در تصمیم‌گیری است. برای این منظور هر چه بردار وزن رتبه‌ها، عددهای بزرگ‌تری را در ابتدای خود داشته باشد تصمیم‌گیر میزان خوش‌بینی بیش‌تری دارد.

روش‌های مختلفی برای به دست آوردن بردار وزن رتبه‌ها وجود دارد که در این مقاله از روش کمیت‌سنج‌های بخشی استفاده می‌شود. برای انتخاب کمیت‌سنج مناسب بایستی از تصمیم‌گیر سؤال شود که چه تعداد معیار را قصد دارد در تصمیم‌گیری در نظر بگیرد. سپس از رابطه‌ی توسعه یافته‌ی زیر، بردار وزن رتبه‌ی  $u$  متناظر با هر درجه‌ی خوش‌بینی را به دست می‌آید:

جدول ۱- میزان خوش‌بینی متناظر با هر کمیت‌سنج کیفی (ضرغامی و همکاران، ۱۳۹۰)

$\alpha$	درجه‌ی خوش‌بینی ( $\theta$ )	نوع نگرش	کمیت‌سنج
$\alpha \rightarrow \infty$	۰/۰۰۱	بدبینانه	همه‌ی معیارها
۱۰	۰/۰۹۱	بدبینانه	اکثر معیارها
۲	۰/۳۳۳	بدبینانه	بیش‌تر معیارها
۱	۰/۵۰۰	خنثی	نیمی از معیارها
۰/۵	۰/۶۶۷	خوش‌بینانه	برخی از معیارها
۰/۱	۰/۹۰۹	خوش‌بینانه	کمی از معیارها
$\alpha \rightarrow ۰$	۰/۹۹۹	خوش‌بینانه	کمینه یکی از معیارها

### • مشخصات فنی رویه‌ها

حال به بررسی مشخصات روش‌های روسازی مطرح شده نسبت به آسفالت قیری پرداخته می‌شود:

#### • آسفالت متخلخل (ماکادام نفوذپذیر)

آسفالت متخلخل علی‌رغم داشتن تخلخل بیش‌تر و مقدار قیر نسبتاً زیادتر خود، مقاومت زیادی در برابر تغییر شکل دایمی از خود نشان می‌دهد که این رویه اغلب به‌عنوان لایه‌ی ضدشیارشدگی شناخته می‌شود. در هوای بارانی، پدیده‌ی سر خوردن روی آب (کاهش شدید مقاومت لغزشی) در آسفالت متخلخل، حتی زمانی که مجاری توسط گرد و خاک انباشته می‌شوند در سرعت‌های معمول رخ نمی‌دهد.

آسفالت متخلخل میزان آب موجود بر روی راه را کاهش می‌دهد و با استفاده از علامت‌گذاری‌های مقطعی راه‌ها انعکاس نور را کاهش می‌دهد.

در نهایت، سطح راهی که باعث پخش نور می‌شود با تضمین روشنایی و وضوح بیش‌تر سطح راه و یک‌نواختی بهتر آن، نصب روشنایی راه‌ها را مقرون به‌صرفه‌تر می‌سازد. در تولید آسفالت‌های متخلخل در کارخانجات مداوم در مقایسه با تولید این مخلوط‌ها در کارخانجات سنتی ناپیوسته هیچ تفاوتی مشاهده نشده است. در آسفالت متخلخل تنها باید به پایش دما نسبت به مخلوط‌های متراکم، دمای قیر و مصالح سنگی و نیز انتخاب اولیه مصالح سنگی توجه بیشتری معطوف داشت. به‌طور کلی، بالاترین قیمت مخلوط‌های متخلخل، دو برابر قیمت مخلوط‌های متراکم تهیه شده از قیر معمولی است. دوام کم‌تر خصوصیت نفوذپذیری مصالح می‌تواند منجر به افزایش هزینه تا ۴ یا ۵ برابر مخلوط‌های سنتی شود. بنابراین با توجه به موقعیت و دیدگاه، هزینه‌های افزایش یافته آسفالت متخلخل می‌تواند در محدوده‌ای وسیع و از ۵۰ تا ۴۰۰ درصد متغیر باشد. امکان مقایسه‌ی دقیق تصادفات این نوع روسازی با تعداد تصادفات واقع شده در آسفالت سنتی وجود ندارد اما مطابق با گزارشی از کشور هلند (طی سال‌های ۱۹۸۳ تا ۱۹۸۹) ۱۵ درصد تصادفات در هوای بارانی رخ داده است که انتظار می‌رود که استفاده از آسفالت متخلخل در تأمین ایمنی راه‌ها، تأثیر مفید و چشمگیری داشته باشد.

به‌طور متوسط، میزان سروصدای ناشی از آمدوشد پرحجم یا متراکم بر روی آسفالت متخلخل حدود ۳ دسی‌بل پایین‌تر از میزان سروصدای تولید شده در آسفالت سنتی است و در بسیاری از راه‌های با روکش بتن سیمانی، میزان سروصدا ۵ تا ۷ دسی‌بل بالاتر از میزان سروصدای تولید شده بر روی آسفالت معمولی است. از مزایای آسفالت متخلخل، کاهش مقاومت غلتشی سطح راه است. به نظر می‌رسد تحت شرایط خاص، صرفه‌جویی در میزان سوخت می‌تواند کاملاً چشم‌گیر باشد. در این رابطه، مقادیر حدوداً ۱ تا ۲ درصد گزارش شده است. کاهش نیروی پسار آسفالت متخلخل در مقایسه با آسفالت گرم کوبیده شده تا حدی بیش‌تر است. ضایعات لاستیکی حاصل از لاستیک‌های فرسوده‌ی خودروها از مشکلات بزرگ زیست‌محیطی به‌شمار می‌رود. با استفاده از خرده لاستیک در آسفالت متخلخل، افزایش طول عمر و کاهش بیش‌تر سروصدا حاصل می‌شود. افزایش طول عمر روسازی تا رسیدن به‌گسیختگی از حدود ۹ سال تا ۱۲ سال گزارش شده است. تعمیر آسفالت متخلخل اغلب گران‌تر است زیرا در تعمیر، رویه ضرورتاً باید با مخلوط رویه‌ی اصلی انطباق بیش‌تری داشته باشد تا از ویژگی‌های زهکشی آن کاسته نشود و به‌جهت حفظ زیبایی سطح راه با ایجاد وصله‌های زیاد بر روی آسفالت متخلخل روکش مجدد سطح راه پیش از موعد مقرر انجام می‌شود. در فصل زمستان نمک بیش‌تری برای پاشیدن روی آسفالت متخلخل مورد نیاز است. آسفالت متخلخل مانع از پراکنش مناسب نمک به‌وسیله‌ی آمدوشد می‌شود و نمک کافی بر روی خط عبوری خودروها باقی نمی‌ماند. این امر، هزینه‌ی نگهداری این نوع آسفالت را در طول زمستان افزایش می‌دهد. نمک پاشیده شده روی سطح راه در شانه‌های آن جمع می‌شود و تأثیر منفی روی محیط‌زیست می‌گذارد. عمر مفید آسفالت متخلخل در مقایسه با آسفالت سنتی کوتاه‌تر است. در کشور هلند، اغلب این نکته که آسفالت متخلخل باید بعد از حدود ۹ سال نوسازی شود یک قاعده‌ی کلی محسوب می‌گردد. برحسب حجم آمدوشد و شرایط زیست‌محیطی، میزان تخلخل آسفالت متخلخل در یک دوره‌ی ۳ تا ۱۰ ساله در مجموع، ۵ تا ۱۰ درصد کاهش خواهد یافت (PIARC, 2007).

#### • بتن غلتکی

مناسب است اما جدیداً برای بهبود عملکرد رویه، شمشه‌های پیش‌تراکم به کار رفته‌اند. برای آموشد‌های کم سرعت، بتن غلتکی می‌تواند یک انتخاب مناسب در بسیاری از کشورها باشد که به نسبت روسازی‌های بتن معمولی موجب صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در هزینه‌های اجرا می‌گردد. به خصوص زمانی که دستگاه‌های خاصی برای فرآیند ساخت لازم نباشند. (PIARC, 2005). اطلاعات جمع‌آوری شده از چندین کشور مانند آلمان، استرالیا، اسپانیا، آمریکا و کانادا نشان می‌دهد که امکان صرفه‌جویی بین ۱۰ تا ۴۰ درصد در هزینه‌های ساخت روسازی‌های بتن غلتکی در مقایسه با روسازی‌های بتن لیزان تحت آموشد مشابه وجود دارد (Bourgeois and HERSEL, 1990; Brett, Petrie and Mathews, 1990; Jofre, Josa, Fernandez and Kraemer, 1989, Pottkamper, 1990, Piggot, 1986, PIARC, 2005).

#### • بتن اسفنجی

بتن اسفنجی (متخلخل یا حبابی) یکی از انواع بتن‌های سبک محسوب می‌گردد که شامل خمیر سیمان پرتلند یا ملات سیمانی و ساختار توزیعی یکسانی از حباب‌های کوچک هوا است (دارای سه قسمت خمیر سیمانی، حفرات هوا و سنگ‌دانه‌ها). هوا به روش مکانیکی در مخلوط ایجاد می‌شود و حداقل حجم هوای بتن ۲۰٪ است (Mydin, Md and Wang, Gelim, 2011).

بتن تازه بایستی دارای شرایط مطلوبی از لحاظ کارایی، استحکام و انسجام باشد (Ramamurthy, Kunhanandan and Ranjani, 2008). میزان نشست، تابع عوامل مختلفی چون نسبت آب به سیمان، نوع و میزان مصالح به کار رفته در بتن اسفنجی دارد. بتن‌های اسفنجی نسبت به بتن‌های معمولی سفت‌تر هستند و نشست آن‌ها کم‌تر از مقدار ۲۰ میلی‌متر نیز گزارش شده است. زمان گیرش این نوع بتن‌ها معمولاً پایین است. معمولاً مدت زمان یک ساعت بین مراحل اختلاط و بتن‌ریزی پیشنهاد شده است. چگالی این نوع بتن‌ها در حدود ۷۰ درصد بتن‌های معمولی است و در محدوده‌ی ۱۶۰۰ تا ۲۰۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب قرار دارد. محدوده تخلخل لایه‌ی رویه ۱۵ تا ۲۵ درصد

مزیت این روش، هزینه‌ی کم‌تر از انواع دیگر بتن و سرعت اجرایی بسیار زیاد آن است و در عین حال، دارای خواص مکانیکی مورد نیاز بتن معمولی نیز می‌باشد (ACI 210R-93, 2008). روسازی‌های بتن غلتکی می‌توانند مستقیماً بارهای وارد بر روی سطح تمام شده را تحمل کنند که چنین امکانی در اساس‌های اصلاح شده با سیمان وجود ندارد. بتن غلتکی را می‌توان با دستگاه‌هایی که معمولاً در دسترس هستند و برای مقاصد دیگر نیز به کار می‌روند اجرا نمود. ساده بودن عملیات ساخت، نیاز کم‌تر به نیروی انسانی و نرخ تولید بالا، منجر به صرفه‌جویی قابل توجهی در مقایسه با سایر انواع روسازی‌ها می‌گردد. (PIARC, 2005) در ارتباط با مقاومت در برابر یخبندان لازم است که حداکثر پوسته شدن بعد از ۵۶ دوره‌ی یخ زدن کم‌تر از یک کیلوگرم بر مترمربع باشد. در خصوص مقاومت در برابر یخبندان، رفتار روسازی بتن غلتکی در نواحی با زمستان‌های سخت (کشورهای اسکاندیناوی، کانادا، قسمت‌های شمالی آمریکا) بسیار رضایت‌بخش بوده است (Andersson and Carlsson, 1990; Inoue and Sawa, 1990; PIARC, 2005).

استفاده از دوده‌ی سیلیس، تا ۱۰ درصد وزن قیر، باعث بهبود خصوصیتی مانند مقاومت و دوام می‌گردد. همچنین با به کار بردن خاکستر بادی در بتن غلتکی، قیمت تمام شده کاهش می‌یابد و روانی بتن بهبود می‌یابد و رفتار مربوط به ترک‌خوردگی را به‌طور مطلوبی تحت تأثیر قرار می‌دهد (Andersson and Carlsson, 1990; Naimak, 1990; Bager, 1992; Brett, Petrie and Mathews, 1990). مزیت زیست‌محیطی این نوع مواد معدنی، عدم انتشار دو اکسید کربن از تجزیه و ترکیب سیمان می‌باشد (ساریچی اوغلو، ۱۳۹۱).

مقاومت این نوع رویه در برابر ساییدگی رضایت‌بخش عنوان شده است. در روسازی‌هایی که به‌درستی اجرا شده‌اند معمولاً نمونه‌های گرفته شده‌ی از راه، مقاومت بالایی را نشان داده‌اند. برای نمونه، به مقاومت‌های شکاف خوردگی ۲۸ روزه‌ی بین ۲/۵ تا ۴ مگا پاسکال می‌توان اشاره کرد (PIARC, 2005). نتایج به‌دست آمده از بعضی از آزمایش‌های آلمانی بیانگر این مطلب است که این روسازی‌ها برای بارهای متوسط تا سنگین وارد بر روی سطح، مناسب هستند (Kern, 1990). این رویه برای سرعت‌های متوسط در راه‌های معمول و با حجم آموشد پایین

ناشی از تابش آفتاب را به سرعت جذب و دوباره به صورت منابع بازتابش انرژی گرمایی رفتار می‌نمایند. چنین رفتاری را پدیده‌ی جزیره‌ی حرارتی شهری می‌نامند. در این حالت، اختلاف فراوانی میان نواحی شهری که سطح‌های آن‌ها با آسفالت، قیر و گونی و مناطقی با پوشش گیاهی وجود دارد (Lockett, 2009). جزیره‌ی حرارتی با تغییر الگوی بادهای محلی، افزایش رشد ابرها و مه، افزایش میزان رعد و برق و اثر بر روی میزان بارش، شرایط هوا و اقلیم محلی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. هم‌چنین افزایش مصرف انرژی برای خنک‌سازی، کیفیت هوای شهری را کاهش می‌دهد و سبب ناراحتی و نبود آسایش در شهرنشینان می‌گردد و با تأثیر بر سلامت شهری، احتمال بروز آسم و بیماری‌های تنفسی دیگر را بالا می‌برد (Liu and Zhang., 2011).

#### • اتلاف منابع آب

مدیریت منابع آب هم‌چون مدیریت سیلاب‌ها و رواناب‌های سطحی در این معیار مورد اهمیت است به نحوی که گزینه‌ی بهتر، مدیریت مطلوب‌تری در این زمینه دارد و با زهکشی مسیر تردد، آب را در جهت مورد نظر هدایت می‌کند تا برای بهره‌برداری در اماکنی هم‌چون فضای سبز نواحی استفاده گردد. به این ترتیب، فضای سبز بیش‌تر و کم‌هزینه‌تری ایجاد می‌شود و از مشکلات کم‌آبی در زمینه‌ی آب شرب می‌کاهد. این معیار، شامل ذخیره‌ی آب قابل تبخیر نیز می‌باشد. معیار دیگری که در این بخش در نظر گرفته شده خیس بودن جاده است که در گزینه‌های مختلف، میزان آلوده شدن خودروها و نیاز به شست‌وشو متفاوت خواهد بود

اتلاف منابع انرژی و پسماند

در این معیار، نیاز به نصب وسایل روشنایی در مسیر رانندگی در شب هنگام و میزان صرفه‌جویی انرژی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. این معیار در هنگام خشکی جاده در نظر گرفته شده است به طوری که گزینه‌ی مناسب‌تر با دارا بودن معیاری هم‌چون رنگ روشن‌تر و به دنبال آن، میزان بازتابش بیش‌تر نور، سبب صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌شود. هم‌چنین در این بخش، میزان سوخت مصرفی در تولید مواد نخست‌روسازی، آمدوشد خودروها و بهره‌گیری از منابع پسماند در روسازی مورد بررسی قرار گرفته است.

و برای لایه‌ی اساس ۲۰ تا ۴۰ درصد می‌تواند باشد. محدوده‌ی معمول نفوذپذیری بتن اسفنجی ۰/۲ تا ۰/۵۴ سانتی‌متر در ثانیه می‌باشد (Tennis, Paul, Leming, Michael and Akers, 2004). بتن اسفنجی با داشتن ویژگی‌هایی چون کاهش هدایت و انتشار حرارتی می‌توانند مقاومت بیش‌تری در برابر آتش داشته باشد. آزمایش‌های ضدحریق نشان داد که با کاهش چگالی، مقاومت در برابر حریق افزایش می‌یابد. بتن اسفنجی با دارا بودن ویژگی‌های لازم می‌تواند در جذب صدا تأثیرات مطلوبی ایجاد نماید (Ramamurthy, Kunhanandan and Ranjani, 2008). افت بتن اسفنجی بسیار زودتر از بتن‌های معمول رخ می‌دهد اما مقدار آن بسیار کم‌تر می‌باشد. مقداری که عنوان شده  $10^{-6} \times 200$  متر می‌باشد. شواهد نشانگر آن است که برف روی بتن با وجود حفرات، زودتر آب خواهد شد و نیاز مبرم به دستگاه‌های برف‌روب نمی‌باشد (Tennis, Paul, Leming, Michael and Akers, 2004). تحقیقات نشان داده که با گذشت ۸۰ دوره‌ی (یک روزه) یخ‌زدگی و ذوب‌شدگی، ضریب پویایی تا بالای ۹۵ درصد حفظ شده است (Neithalath, 2003). نتایج تحقیقات نشان داده است که بتن اسفنجی نسبت به تهاجم مواد شیمیایی (خصوصاً سولفات‌ها) مقاومت خوبی دارد (Jones and McCarthy, 2005). مقاومت فشاری این بتن در گستره‌ی زیادی قرار گرفته است (۳/۵ تا ۲۸ مگاپاسکال در سن ۲۸ روزگی) که به‌طور معمول ۱۷ مگاپاسکال می‌باشد (Tennis, Paul, Leming, Michael and Akers, 2004).

#### • معیارهای زیست‌محیطی

معیارهای مطرح در تحلیل عبارتند از:

##### • آلودگی هوا

گزینه‌ی مناسب در فرآیند تولید، اجرا و بهره‌برداری، آلودگی کم‌تری را به محیط‌زیست تحمیل می‌کند. در این معیار، مقاومت غلظتی، ناهمواری کم‌تر در جهت کاهش مصرف سوخت و جزایر حرارتی لحاظ شده است. تحقیقات نشانگر این است که نواحی شهری گرم‌تر از نواحی روستایی اطراف هستند (Rose and Devadas, 2009). شهرهای بزرگ با دارا بودن سطح‌های گسترده‌ی سخت غیرقابل نفوذ و بدون پوشش گیاهی، حرارت

به آموشدی که از آن استفاده می‌کند تعریف می‌شود. این نشانه با اندازه‌گیری ناهمواری و خرابی (ترک، لکه‌گیری و شیار) بیان می‌شود. این خدمت‌دهی برحسب نشانه‌ی خدمت‌دهی فعلی در یک زمان معین در طی عمر طراحی و بهره‌برداری روسازی تعیین می‌شود. اولیه‌ی بهره‌برداری از راه، حداکثر است و بعد از مدتی که راه مورد استفاده قرار می‌گیرد کاهش می‌یابد. اساسی‌ترین عواملی که در کاهش خدمت‌دهی روسازی تاثیر می‌گذارد آموشد و شرایط محیطی است (آیین‌نامه‌ی روسازی، ۱۳۹۰). این معیار، مواردی مانند مقاومت در برابر یخ‌زدگی و ذوب‌شدگی، تهاجم مواد شیمیایی و نفتی و مقاومت‌های فشاری، کششی و خمشی روسازی را در بر می‌گیرد.

- هزینه‌ی تعمیر و نگهداری سالیانه هزینه‌هایی هم‌چون درزگیری، لکه‌گیری، تعمیر شیارشده‌گی، هموارسازی روی جاده، بازسازی حفره‌ها در روسازی‌های متخلخل در این معیار لحاظ شده است.

- هزینه تولید و اجرای روسازی هزینه‌هایی مانند مصالح، تجهیزات و نیروی انسانی کارگر در این معیار مؤثر است. به دلیل نوین بودن روش ساخت رویه‌های آسفالت متخلخل، بتن غلتکی و بتن اسفنجی، ضریب اطمینان بیش‌تری برای این رویه‌ها در این معیار منظور شده است.

- فناوری اجرا و تعمیر روسازی در این بخش، فناوری در دو شاخه‌ی اجرا و تعمیر رویه‌ها مورد توجه قرار گرفته است. از آن‌جا که آسفالت متخلخل و بتن اسفنجی دارای فناوری پیشرفته تری هستند برای این دو رویه در این معیار، ضریب اطمینان بیش‌تری در نظر گرفته شده است.

### ۳- نتایج

مقادیر معادل عددی وزن‌دهی کیفی به صورت زیر می‌باشد:  
 بسیار کم: (۱)، کم: (۲)، نسبتاً کم: (۳)، متوسط: (۴)، نسبتاً زیاد:  
 (۵)، زیاد (۶)، بسیار زیاد (۷)

- ضریب ایمنی جاده‌ها

در این معیار، به شاخص‌هایی مانند کاهش لغزندگی و بازتابش نور در جاده‌های خیس در هنگام رانندگی توجه فراوانی شده است. افزایش مقاومت لغزشی یا اصطکاک (در هنگام معمول و یخ بستن جاده) و همچنین دارا بودن سطح صاف و هموار از موردهای مهمی است که در این معیار، بررسی شده است.

- عملکرد وظیفه‌ای رویه

عملکرد کلی روسازی، شامل دو نوع عملکرد وظیفه‌ای و سازه‌ای است. عملکرد وظیفه‌ای، چگونگی خدمت‌دهی روسازی به استفاده‌کنندگان از راه، از نظر راحتی رانندگی و کیفیت کاربری است. عملکرد سازه‌ای روسازی به شرایط فیزیکی آن، مانند بروز ترک و گسیختگی مربوط می‌شود که می‌تواند بر توانایی باربری سازه اثر بگذارد (آیین‌نامه‌ی روسازی، ۱۳۹۰). در این بخش عملکرد وظیفه‌ای روسازی بررسی می‌گردد. روسازی مناسب‌تر، سبب افزایش کیفیت کاربری از راه مانند کاهش آلودگی صوتی، خستگی (ناشی از آلودگی صوتی و ناهمواری راه) و استهلاک اجزای خودرو مانند لاستیک و کمک فنر می‌شود و در باز بودن معابر در هنگام ایجاد سیلاب، نقش مثبتی دارد.

- خسارات سالیانه ناشی از سیلاب بر ابنیه

در این شاخص، روسازی که باعث کاهش خسارت‌های ناشی از سیلاب‌ها می‌شود از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. رویه‌ای این قابلیت را خواهد داشت که با داشتن حفره‌های بیش‌تر، بتواند بارش جاری شده بر روی رویه را کاهش دهد.

- هزینه‌های خدمات‌دهی سالیانه

این شاخص، مشمول هزینه‌های جدول‌گذاری و رنگ‌آمیزی آن‌ها، زهکشی مسیر، برف‌روبی، نمک‌پاشی روی جاده‌ها، نیروی انسانی کارگر، تجهیزات مربوط به کار و نصب صداگیرها است.

- عملکرد سازه‌ای رویه

عمر یا دوره‌ی بهره‌برداری شامل مدت زمانی است که روسازی از میزان خدمت‌دهی اولیه به‌میزان خدمت‌دهی نهایی برسد. خدمت‌دهی یک روسازی به‌عنوان توانایی آن برای اراییه‌ی خدمت



#### ۴- نتیجه گیری

در این پژوهش سعی شد تا با استفاده از چهار روش تحلیل چندمعیاره و با تأکید بر محیط‌زیست و پیشرفت پایدار شهری ضمن در نظر گرفتن میانگین شرایط جغرافیایی کشور، انتخاب بهینه‌ای از بین روش‌های موجود روسازی در کشور و خارج از کشور به دست آید. با انجام محاسبات و تحلیل نتایج به روش جمع وزنی ساده، تاپسیس، برنامه‌ریزی سازشی و عملگر میانگین وزنی مرتب روشن گردید که بتن اسفنجی، بهترین روش و

وزن دهی کیفی جدول ۲ با برآورد داده‌های دریافتی از دفتر مطالعات فناوری و ایمنی دبیرخانه‌ی مجمع جهانی راه در ایران و مقایسه‌ی مشخصات عنوان شده از گزینه‌ها به دست آمده است. مطابق با جدول ۳، با تحلیل بر روی جدول وزن دهی، بتن اسفنجی به عنوان مناسب‌ترین و آسفالت قیری به عنوان نامناسب‌ترین گزینه مشخص می‌شوند. این نتیجه از برآیند روش‌های جمع وزنی ساده، تاپسیس، برنامه‌ریزی سازشی و بیش تر حالت‌های میانگین وزنی مرتب به دست آمد.

جدول ۲- وزن دهی کیفی معیارها

وزن گزینه‌های مورد نظر				وزن معیارها	امتیاز	معیارها
بتن اسفنجی	بتن غلتکی	آسفالت متخلخل	آسفالت قیری			
کم	متوسط	نسبتاً زیاد	بسیار زیاد	بسیار زیاد	منفی	افزایش آلودگی هوا در حین تولید و اجرا
بسیار کم	نسبتاً کم	کم	بسیار زیاد	بسیار زیاد	منفی	افزایش آلودگی هوا در طول عمر مفید
بسیار کم	بسیار زیاد	بسیار کم	بسیار زیاد	بسیار زیاد	منفی	اتلاف منابع آب
بسیار کم	کم	نسبتاً زیاد	بسیار زیاد	بسیار زیاد	منفی	اتلاف منابع انرژی، سوخت و پسماند
بسیار زیاد	نسبتاً کم	بسیار زیاد	بسیار کم	بسیار زیاد	مثبت	افزایش ضربه ایمنی جاده‌ها
بسیار زیاد	نسبتاً کم	بسیار زیاد	بسیار کم	بسیار زیاد	مثبت	عملکرد وظیفه‌های رویه
بسیار کم	بسیار زیاد	بسیار کم	بسیار زیاد	زیاد	منفی	خسارات سالیانه ناشی از سیلاب بر آبپه
بسیار زیاد	بسیار کم	زیاد	بسیار کم	زیاد	مثبت	کاهش هزینه‌های خدمات‌دهی سالیانه
بسیار زیاد	زیاد	نسبتاً کم	بسیار کم	زیاد	مثبت	عملکرد سازهای رویه
بسیار زیاد	کم	بسیار زیاد	متوسط	نسبتاً زیاد	منفی	هزینه‌ی تعمیر و نگهداری سالیانه
بسیار زیاد	کم	بسیار زیاد	متوسط	متوسط	منفی	هزینه‌ی تولید و اجرای روسازی
بسیار زیاد	نسبتاً کم	بسیار زیاد	بسیار کم	نسبتاً کم	منفی	پیچیدگی فناوری اجرا و تعمیر روسازی

بنابراین بتن اسفنجی با دارا بودن تطبیق بیش تر با روسازی سبز و در نظر گرفتن مسایلی هم چون مدیریت آلودگی هوا، منابع آب، منابع انرژی و منابع انسانی روشی بهینه جهت روسازی شهری در کشور است.

با توجه به نو بودن و اجرایی نشدن بیش تر این رویه ها در کشور، ضرورت انجام آن ها به صورت شبیه سازی رایانه ای، آزمایشگاهی و آزمایشی وجود دارد به نحوی که بتوان با در دست داشتن نتایج تجربی بومی بیش تر، به این سمت حرکت نمود.

آسفالت قیری، روش متداول در کشور، نامناسب ترین روش برای روسازی شهری از دیدگاه معیارهای مطرح شده می باشد. همچنین، اولویت به کارگیری روش های روسازی در کشور، بتن اسفنجی، آسفالت متخلخل، بتن غلتکی و آسفالت قیری است. همچنین نتایج نشان داد که درصد مزیت بتن اسفنجی بسیار فراتر از سایر روش های روسازی شهری است به گونه ای که این درصد با در نظر گرفتن میانگینی از شیوه های تحلیل چند معیاره به کار رفته به این ترتیب می باشد: نسبت به بتن غلتکی ۱۷۳/۱۸ درصد، نسبت به آسفالت متخلخل ۱۳۰/۵۹ درصد و نسبت به آسفالت قیری ۳۳۷/۷۲ درصد.

جدول ۳- رتبه بندی گزینه ها با استفاده از روش های تحلیل چند معیاره

جمع وزنی ساده	برنامه ریزی سازشی			تأپسیس	میانگین وزنی مرتب (با کمیت سنج بخشی)							شیوه های روسازی
	$p=۱۰$	$p=۲$	$p=۱$		حناقل یکی	کمی از معیارها	برخی از معیارها	نیمی از معیارها	بیش تر معیارها	اکثر معیارها	همه ی معیارها	
۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۲	آسفالت قیری
۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۴	۳	آسفالت متخلخل
۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۲	۲	بتن غلتکی
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	بتن اسفنجی

۵- منابع

- آیین نامه‌ی روسازی آسفالتی راه‌های ایران، نشریه‌ی شماره‌ی ۲۴۳، تجدید نظر اول، ۱۳۹۰.
- چراغی، علی‌رضا، ۱۳۹۴. ارزیابی توسعه‌ی پایدار محیط‌زیست شهری سه روش روسازی آسفالت متخلخل، بتن غلتکی و بتن اسفنجی به کمک دو روش برنامه‌ریزی‌سازی و تاپسیس، نخستین کنگره‌ی بین‌المللی جامع محیط‌زیست؛ مرکز همایش‌های بین‌المللی توسعه‌ی ایران، تهران، آذرماه، ۱۳۹۴.
- ساریچی اوغلو، خلیل، ۱۳۹۱. کاربرد سیمان با افزودنی معدنی پر حجم در بتن روسازی جاده، ماهنامه تخصصی سیمان، بتن و بنا، خرداد و تیر ۱۳۹۱، شماره ۳.
- ضرغامی، مهدی؛ عنبری، محمدجواد و چراغی، رضا، ۱۳۹۱. مقایسه‌ی روش‌های باروری ابرها در ایران به کمک تصمیم‌گیری چندمعیاره، نهمین کنگره‌ی بین‌المللی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، اردیبهشت‌ماه.
- ACI Committee Report 210R-93, 2008. Erosion of concrete in hydraulic structures.
- Andersson, R. & Carlsson, V., 1990. Interaction between mix design, construction and properties for RCCP, 6th international symposium on concrete roads, Madrid, Cembureau, Brussels.
- Arnold, Steven H., 1993. Sustainable: A solution to the development puzzle, Development journal of SID Vol.2, NO.3.
- Azree Othuman Mydin, Md & Wang, Y. C., 2010. Mechanical properties of foamed concrete exposed to high temperatures, Elsevier Ltd.
- Bager, D. H., 1992. Paver compacted concrete for roads, Technical presentation at bauma, Munich.
- Bourgeois, M. M. & HERSEL, O.: "Roller compacted concrete for pavements in military areas within the Federal Republic of Germany". 6th international symposium on concrete roads, Madrid, Cembureau, Brussels.
- Brett, D. M.; Petrie, R. E. & Mathews, S., 1990. Development in Australian RCC, 6th international symposium on concrete roads, Madrid, Cembureau, Brussels.
- D. Tennis, Paul; L. Leming, Michael & J. Akers, David, 2004. Pervious concrete pavements, Portland Cement Association.
- Gelim, Khalid Ali M., 2011. Mechanical and physical properties of fly ash foamed concrete, Degree of master thesis, University Tun Hussein Onn Malaysia (UTHM).
- Inoue, T. & Sawa, T., 1990. Structure analysis of roller compacted concrete pavement, 6th international symposium on concrete roads, Madrid, Cembureau, Brussels.
- Jofre, C.; Josa, A.; Fernandez, R. & Kraemer, C., 1989. RCC pavements in Spain, 4th international conference on concrete pavement design and rehabilitation, Purdue University, Indiana.
- Jones MR & McCarthy A., 2005. Utilising unprocessed low-lime coal ash in foamed concrete.
- Kern, E., 1990. Experience with roller concrete for traffic areas in the Federal Republic of Germany, 6th international symposium on concrete roads, Madrid, Cembureau, Brussels.
- Liu, L. & Zhang, Y., 2011. Urban heat island analysis using the landsat TM data and ASTER data, Remote sens, Vol. 3.
- Luckett, K., 2009. Green roof construction and maintenance, New York, McGraw-Hill.
- Munn, R. E.; Clark, W. C. et al., 1986. Sustainable development of the biosphere, Cambridge University press.
- Naimak, T., 1990. Use of roller compacted concrete (RCC) in Norway, 6th international symposium on concrete roads, Madrid, Cembureau, Brussels.
- Neithalath, N., 2003. Development and characterization of acoustically efficient cementitious materials, Ph.D. thesis, Purdue University, West Lafayette, Indiana.
- PIARC, 2007. Porous asphalt, Report of the TC4-3 committee, Department of Secretariat of the World Assembly (PIARC), Assistance of Education, Research and Technology, Transportation Ministry, IRAN.
- PIARC, 2005. The use of roller compacted concrete for roads, Report of the TC4-3 committee, Department of Secretariat of the World Assembly (PIARC), Assistance of Education, Research and Technology, Transportation Ministry, IRAN.
- Piggot, R. W., 1986. Roller compacted concrete for heavy duty pavements: past performance, recent projects, recommended construction methods, ACI Special Publication SP-93 "Concrete in Transportation". American Concrete Institute, Detroit.

- Pottkamper, M. L., 1990. Various construction techniques in North America, Asia and Europe, Economic construction with roller-compacted concrete, 6th international symposium on concrete roads, Madrid, Cembureau, Brussels.
- Preston, J. N. & Eng, B., 1991. The Design of Bituminous Concrete Mixses, Ph.D thesis, Nottingham Univesity, Department of civil engineering.
- Rao, p.k, 2000. Sustainable Development: economics and policy, oxford, UK.
- Ramamurthy, K.; Kunhanandan Nambiar, E.K. & Indu Siva Ranjani, G., 2008. A classification of studies on properties of foam concret, Elsevier Ltd.
- Rose, A.L. & Devadas, M. D., 2009. Analysis of land surface temperature and land use/land cover types using remote sensing imagary a case inchennal city, india. The seventh international conference on urban climate, Yokohama, Japan.
- UNESCO, 1997. Education for a sustanable future, Thessaloniki: UNESCO, The government of GREECE.