

# بررسی آزمایش DCP و روابط موجود بین نتایج آن با CBR

احسان خانزاده علیشاهی<sup>1</sup>، سامان سالاری<sup>2</sup>

1- دانشجوی دکتری راه و ترابری، دانشگاه صنعتی شریف، تهران

2- دانشجوی کارشناسی ارشد راه و ترابری، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران

[Ehsan.Khanzadeh@yahoo.com](mailto:Ehsan.Khanzadeh@yahoo.com)

[Saman\\_Salari2002@yahoo.com](mailto:Saman_Salari2002@yahoo.com)

## خلاصه

به طور کلی پایه و اساس هر نوع سیستم تصمیم گیری مدیریتی، ارزیابی صحیح از وضعیت موجود، پیش بینی آینده و در نهایت تصمیم گیری بهینه می باشد. روشهای مختلفی برای ارزیابی روسازی راهها وجود دارد که می توان به روشهای مخرب و غیر مخرب اشاره کرد. یکی از این روشها استفاده از DCP در ارزیابی سازه های لایه های مختلف روسازی ها می باشد. در این مقاله پس از معرفی DCP و نحوه انجام آن، به معرفی کاربرد این آزمایش پرداخته شده و در نهایت به ارائه مدلی کاربردی و با سطح اطمینان زیاد برای ارتباط دادن نتایج آزمایش DCP و CBR خاکها پرداخته می شود.

## کلمات کلیدی: CBR - DCP

### مقدمه

با افزایش جمعیت و احساس کمبود منابع مورد نیاز بشر، برنامه ریزان توجه خود را به روشهایی جلب کرده اند که بتواند برای تصمیم گیری بهتر و صحیح تر در انتخاب محورهای توسعه و بهسازی طرحهای اجرایی در مقیاس های خرد و کلان به آنها کمک نماید. در حالی که منابع طبیعی و ذخایر زندگی نسلهای آینده بشر از طریق افزایش جمعیت، تخریب محیط زیست و تصمیم گیریهای غیر بهینه در حال کاهش و زوال است، برای تقلیل مشکلات به نظر می رسد راهی جز تکیه بر روشهای تصمیم گیری وجود ندارد. به عبارت دیگر اتخاذ تصمیمهای صحیح و علمی در مورد چگونگی مصرف منابع محدود در انتخاب پروژه ها در کنار رعایت ضوابط فنی و استانداردها بسیار مهم می باشد و این مهم هنگامی حاصل می گردد که بتوان ارزیابی صحیح از وضعیت امکانات موجود در اختیار داشت. برنامه ریزی برای نگهداری موثر از تسهیلات و امکانات حمل و نقلی ایجاد شده، به ویژه شبکه راهها به عنوان سیاست ویژه مدیران کشوری و شهری در چند دهه اخیر قرار گرفته است. حفظ وضعیت روبه راهی در حد مطلوب و قابل قبول به علت جایگاه شبکه راهها در سیستم حمل و نقل کشور از اهمیت ویژه ای برخوردار است. برای ایجاد چنین مجموعه ای نیاز به سیستم مناسب مدیریت و نگهداری راه است. به طور کلی پایه و اساس هر نوع سیستم تصمیم گیری مدیریتی، ارزیابی صحیح از وضعیت موجود، پیش بینی آینده و در نهایت تصمیم گیری بهینه می باشد. روشهای مختلفی برای ارزیابی روسازی راهها وجود دارد که می توان به روشهای مخرب و غیر مخرب اشاره کرد. یکی از این روشهای مخرب، آزمایش DCP است.

### 1. تعریف

DCP وسیله ای است دست ساز، که برای اندازه گیری سریع مقاومت و اندازه گیری مدول الاستیسیته لایه های مختلف روسازی و سابگرید طراحی شده است.

اسکالا<sup>3</sup> استفاده از DCP را در سال 1956 برای تخمین CBR خاکهای چسبنده در محل، بنیان نهاد. استفاده از DCP با طراحی کلین<sup>1</sup> در 1975 افزایش یافت، از آن زمان تحقیقات بسیاری برای بهینه سازی آن انجام شده است. ثابت گردیده که DCP وسیله ای موثر برای ارزیابی مقاومت در محل

<sup>1</sup> دانشجوی دکتری راه و ترابری، دانشگاه صنعتی شریف، تهران  
<sup>2</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد راه و ترابری، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران

<sup>3</sup> Scala

لایه‌های روسازی و ساب‌گرید است. آزمایش مذکور، بسیار ساده، اقتصادی و سریع بوده که از این لحاظ بر بسیاری آزمایش‌های رایج ارجحیت پیدا می‌کند.

DCP از یک چکش 8 Kg تشکیل یافته که از فاصله 575 mm بر یک کفشک متصل به میله فرو رونده می‌افتد. یک مخروط فولادی فشرده با زاویه‌ی 60 درجه در انتهای این میله‌ی فولادی قرار دارد. قطر هسته 20 mm و قطر میله 16 mm است. تعداد دفعات افتادن چکش در برابر نفوذ هسته برای هر آزمایش ثبت می‌شود تا نرخ نفوذ<sup>2</sup> (mm/blow) محاسبه گردد. انجام این آزمایش نیاز به دو نفر دارد، یکی برای بلند کردن و انداختن چکش DCP و دیگری برای اندازه‌گیری و ثبت عمق نفوذ.

## 2. روش انجام آزمایش DCP

دستگاه DCP سرهم شده را روی سطح راه قرار دهید. چکش را تا جای ممکن بالا برده و سپس رها کنید، دقت کنید که آن را به سمت پایین شتاب نداده و فقط آن را رها کنید. عمق نفوذ را برای هر 5 ضربه بدست آورید. این روند را برای نفوذ 800mm زیر سطح ادامه دهید. برخورد با لایه سنگی برای 5 تا 25 ضربه ممکن است به صورت خط افقی نشان داده شود. با ادامه ضربات نفوذ ادامه می‌یابد.

## 3. تناوب آزمایش DCP

آزمایش DCP بایستی مطابق استاندارد که ذکر می‌گردد باشد. اگر راه بسیار یکنواخت است تناوب‌ها می‌تواند کاهش بیابد:

- تکرار 2 تا 4 عدد تست در هر کیلومتر، به طوری که تست‌ها در خارج و داخل مسیر چرخ در دو طرف و بر روی محور راه و سایر قسمتها انجام شود. حداقل 8 آزمایش DCP برای یک مقطع یکنواخت لازم است تا اطلاعات کافی برای آنالیز بدست آید.
- برای نقاطی که در آنها خرابی مشاهده شده است، 2 تا 4 آزمایش برای خود ناحیه خرابی و همین مقدار برای مقطع بدون خرابی نزدیک آن ناحیه انجام شود.
- اطمینان حاصل گردد که در هر ناحیه یکنواخت حداقل 8 تست DCP انجام شده تا اطلاعات کافی برای تحلیل وجود داشته باشد.
- برای جاده‌های جدید الاحداث، برداشت حداقل 2 نمونه در هر کیلومتر و یا دو نمونه در هر مقطع برای جستجوی خرابی، کنترل تست آزمایشگاهی CBR، اشباع، حدود آتربرگ و رطوبت هر لایه در محل لازم و ضروری است.
- برای باند فرودگاه‌ها ضخامت روسازی بسیار بیشتر است. در این موارد مقاومت ساب‌گرید نیز مقادیر متفاوتی خواهد بود. در یک عرض مشخص مقاومت نواحی محور با 15 متر خارج از محور با وجود ضخامت لایه آسفالتی برابر بسیار متفاوت است که دلیل آن تراکمی است که بر اثر ترافیک ایجاد می‌شود. در این موارد DCP فقط می‌تواند نقاط ضعیف را شناسایی کند تا بهبود یابند.

## 4. کاربرد

**تشخیص نقاط ضعیف لایه‌های متراکم شده:** بسیاری مطالعات با هدف یافتن روابط مستدل بین نرخ نفوذ DCP و چگالی تراکمی<sup>3</sup> در محل با شکست روبرو شده‌اند. بیشتر نتایج مربوط به مصالح چسبنده و سنگدانه تغییرات زیادی را نشان دادند که امکان برقراری یک رابطه تجربی را ناممکن می‌ساخت. با این وجود مقاطع مناسب تراکم یافته مقادیر PR بسیار یکنواختی را از خود نشان می‌دهند، پس استفاده از DCP برای معین نمودن نقاط ضعیف در مصالح فرض شده با تراکم یکنواخت پیشنهاد می‌شود.

**تشخیص لایه‌ها در سازه‌های روسازی:** DCP یک وسیله موثر برای ارزیابی لایه‌های اساس، زیراساس و ساب‌گرید روسازی است. تشخیص نرخ نفوذ در برابر عمق به مهندسان این اختیار را می‌دهد تا لایه‌های متفاوت روسازی را با عمق آنالیز کنند.

وقتی DCP برای تخمین مقاومت لایه‌های سطحی بدون محصورشدگی استفاده شود، نرخ نفوذ بایستی پس از مقداری نفوذ مخروط در عمق مورد نیاز آن خاک محاسبه گردد تا مقاومت عملی لایه خاک بدست آید. [1]

وبستر<sup>4</sup> (1992) میانگین عمق‌های مورد نیاز را برای انواع مختلف خاک بر اساس آزمایشات محلی U.S Army Waterways Experiment Station گزارش کرده است.

<sup>1</sup> Kleyn

<sup>2</sup> Penetration Rate

<sup>3</sup> compaction density

<sup>4</sup> Webster

جدول 1- عمق‌های مورد نیاز انواع خاک محصور نشده

| Soil Type | Average Required Penetration Depth (in) |
|-----------|---|
| CH        | 1                                       |
| CL        | 3                                       |
| SC        | 4                                       |
| SW – SM   | 4                                       |
| SM        | 5                                       |
| GP        | 5                                       |
| SP        | 11                                      |

برای اینکه بتوان از DCP موثرتر و در مطالعات معتبرتر و ارزیابی تراکم استفاده نمود، اداره حمل و نقل مینسوتا<sup>1</sup> پیشنهاد کرد برای مقدار نرخ نفوذ هر نوع اساس و ساب‌گرید، حد تعریف شود. بعد از انجام بیش از 700 آزمایش DCP، آنها توانستند لیست مقادیر PR را برای استفاده آنالیز نتایج DCP پیشنهاد دهند. این مقادیر پیشنهادی با فرض محدودیت کافی در محدوده سطح تست است. این مقادیر تمام انواع خاک را پوشش نمی‌دهند، تحقیقات مشابه بایستی برای سایر انواع لایه‌های اساس انجام پذیرد.

جدول 2- حدود نرخ نفوذ DCP پیشنهادیه اداره حمل و نقل مینسوتا

| Material Type                                     | Limiting PR (mm/blow) |
|---|-----------------------|
| Silty/clay subgrade                               | < 25                  |
| Select Granular Subgrade                          | < 7                   |
| Class 3 Special gradation granular base materials | < 5                   |

تعیین میزان تاثیر تثبیت کردن مصالح: اندازه‌گیری چگالی روش موثر برای یافتن مقاومت بدست آمده با تثبیت بوسیله افزودنی‌ها نیست. چگالی‌های این مواد همراه با افزایش مقاومت افزایش نمی‌یابند. چون اصل استفاده از DCP بر پایه‌ی میزان مقاومت مصالح در برابر نفوذ هسته است، با افزایش مقاومت، مقادیر PR کاهش می‌یابد و می‌توان از آن برای نشان دادن تاثیر تثبیت با زمان استفاده نمود. [2]

استفاده به عنوان ابزار آزمایش قابل قبول بودن کیفیت: DCP یک وسیله کارا برای آزمایش کیفیت بر پایه‌ی خصوصیات اجرایی است. این وسیله هم‌اکنون جای خود را در اداره حمل و نقل مینسوتا یافته است. به طور مثال نرخ نفوذ DCP مساوی و یا کمتر از 3 اینچ در هر ضربه تراکم قابل قبولی را بر اساس استاندارد زهکشی زیرسطح ایالت مینسوتا ایجاد می‌نماید. [3]

استفاده از نتایج DCP در تعیین قطعات مدیریتی: با استفاده از نتایج DCP می‌توان مقطع راه را به قطعات یکنواخت قابل مدیریت تقسیم بندی نمود. حداقل طول یک مقطع بایستی 100 متر باشد، و طول 1000 متر طول مطلوب است. برای راه‌های طولانی با شرایط یکنواخت، طول 10000 متر نیز قابل قبول است. ساخت مقاطع یکنواخت با طول کمتر از 500 متر غیر استاندارد است. در برخی نقاط جداکننده ممکن است DCP پایینی مشاهده شود که بایستی این نقاط بهبود یابند و استفاده از نتایج آنها به عنوان نماینده یک مقطع نادرست است. [5]

## 5. مطالعات و روابط پیشین بین DCP و CBR

به علت سالها آزمایش و پایگاه داده‌های فراوان برای CBR خاکهای مختلف با تراکمهای متفاوت و روابط حاصله بین ضخامت لایه‌های مختلف روسازی بر اساس مقاومت لایه‌های آن، ارتباط بین آزمایش CBR و DCP، لازم و ضروری است. DCP، یک آزمایش معمول برای تخمین California

<sup>1</sup> MnDOT

Bearing Ratio در محل است، و به دلیل سادگی، ارزانی و قابلیت اندازه‌گیری سریع مقاومت لایه‌های روسازی و ساب‌گرید در محل مورد توجه می‌باشد. تحقیقات وسیعی برای یافتن رابطه CBR و DCP انجام شده است. مدل‌های لگاریتمی زیر مورد قبول‌ترین رابطه بین CBR و DCP (mm/blow) است: [3,2,1]

- Kleyn (1975):  $\text{Log CBR} = 2.62 - 1.27 \log \text{PR}$
- Smith and Pratt (1983):  $\text{Log CBR} = 2.56 - 1.15 \log \text{PR}$
- Harison (1984, 1986):  $\text{Log CBR} = 2.55 - 1.14 \log \text{PR}$
- Livneh (1987, 1991):  $\text{Log CBR} = 2.20 - 0.71 (\log \text{PR})^{1.5}$

همان طور که مشاهده می‌شود رابطه هاریسون مشابه رابطه اسمیت و پرت است که سطح اطمینان بیشتری را برای روابط پیشنهاد می‌کند. گونه دیگر روابط DCP در برابر CBR، که اینجا آمده است روابطی هستند که توسط مهندسان ارتش آمریکا پیشنهاد شده‌اند:

- $\text{CBR} = 292 / \text{PR}^{1.12}$

PR به mm/blow است.

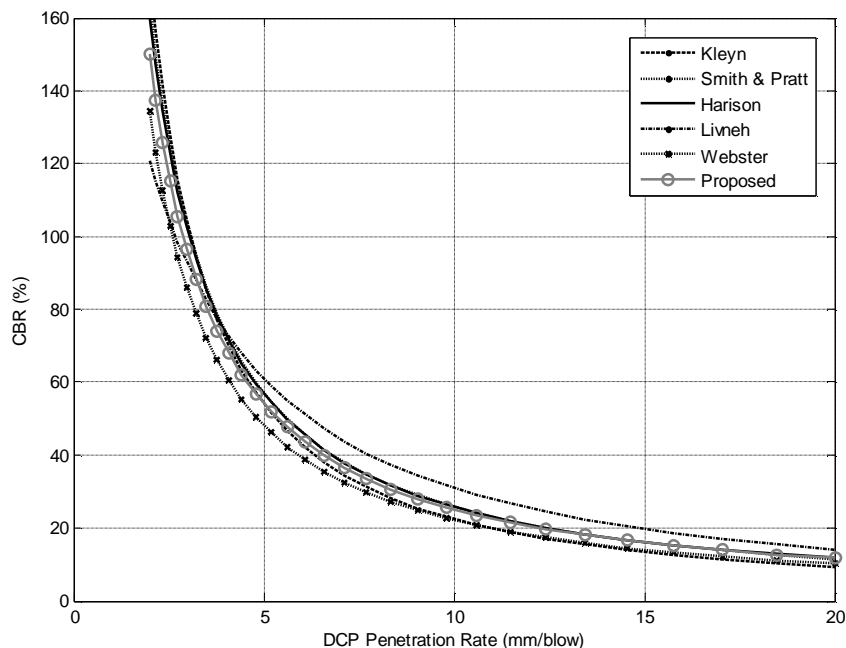
پس از آزمایش‌های بیشتر در Waterways Experiment Station (WES)، مشخص شد که مقادیر CBR کمتر از 10% و اطلاعات خاک‌های با رس زیاد (CH) با معادله ارتش آمریکا همخوانی ندارند در نتیجه روابط زیر برای خاک‌های با مقادیر CBR زیر 10% و CH تدوین گردید:

- $\text{CBR} = 1 / (0.017019 * \text{PR})^2$  If  $\text{CBR} < 10\%$
- $\text{CBR} = 1 / (0.002871 * \text{PR})$  (CH)

در نهایت به منظور ایجاد سطح اطمینان بیشتر در دامنه تغییرات CBR بر اساس DCP، و ارائه یک فرمول جامع برای برقراری ارتباط بین DCP و CBR خط حداقل مربعات و فرمول مربوطه برای برازش آنها پیشنهاد گردید:

$$\log \text{CBR} = 2.51 - 1.11 \times \log(\text{PR})$$

CBR بدست آمده از این رابطه با تقریب  $\pm 7\%$  تمامی روابط گفته شده را پوشش می‌دهد. برای مقایسه بین روابط بیان شده و هماهنگی آنها با هم شکل 1 تهیه شده که در ازای نرخ‌های نفوذ (mm/blow) درصد‌های CBR را نشان داده است. این نمودار تطابق این روابط گوناگون با هم را نشان می‌دهد.



شکل 1- نمودار روابط پیشین و پیشنهاد شده بین DCP و CBR

## 6. رابطه بین DCP و مدول برجستگی:

هنگامی که CBR خاک با آزمایش DCP بدست آمد، عده‌ای تصمیم گرفتند که مدول ساگرید را نیز از روابط موجود بدست آورند، روابطی که در راهنمای AASHTO در 1993 برای طرح سازه‌ی روسازی آمده است:

- $MR = 10 \text{ CBR}$

که مدول برجستگی به MPa هست. با این وجود تخمین مدول برجستگی از CBR که خود از DCP بدست آمده بود، موجب خطای انباشته از دو معادله رگرسیون می‌شود. در کانزاس در 1999 تحقیقی آغاز شد تا یک رابطه مستقیم برای یافتن مدول برجستگی از DCP با استفاده از دستگاه FWD و استفاده از محاسبات معکوس بدست آورند. [5]

مقادیر CBR با رابطه لیونه<sup>1</sup> از DCP بدست آمد. اطلاعات FWD و DCP از 5 قطعه برای بدست آوردن رابطه مستقیم بین مدول برجستگی و DCP استفاده شد و با این رابطه قطعه ششم را مشخص نمودند. برای تمام 6 قطعه MR از روی CBR بدست آمده از DCP تعیین گردید. نتایج آزمایش‌های میدانی 5 قطعه نشان داد، که یک رابطه قوی بین مقادیر DCP و مدول ساگرید محاسبه شده از FWD وجود دارد، که در زیر آمده است:

- $MR = 338 (PR) - 0.39$   
( $R^2 = 0.42, N=140, MSE=930.3$ )

که مدول برجستگی به MPa و نرخ نفوذ به mm/blow است. [2]

رابطه فوق برای نرخ نفوذهای DCP بین 10 تا 60 mm/blow بدست آمده است. مقایسه بین مقادیر مدول برجستگی که غیر مستقیم از معادلات CBR بدست آمده بودند و مدول برجستگی‌های مستقیم از DCP با رابطه فوق، برای قطعه 6، گروه دوم بسیار سازگارتر و با تطابق بیشتری با مدول محاسبه شده با FWD بودند.

روابط دیگر بین نرخ نفوذ DCP و مدول‌های الاستیک (E) نیز در اینجا آمده‌اند:

- Pen -1 (1990):  $\log E = 3.250 - 0.89 \log PR$   
(E: Subgrade's elastic modulus in MPa back-calculated by system PHONIX,  $R^2 = 0.56$ )
- Pen -2 (1990):  $\log E = 3.653 - 1.17 \log PR$   
(E: Subgrade's elastic modulus in MPa back-calculated by system PEACH,  $R^2 = 0.81$ )
- De Beer (1991):  $\log E = 3.048 - 1.062 \log PR$   
( $n = 86, R^2 = 76\%$ )

آخرین رابطه بر پایه محاسبه مدول با شبیه‌سازی وسایل نقلیه سنگین است.

## 7. اثر رطوبت بر نتایج CBR و DCP

اکثر مصالح راه هنگامی که در آب اشباع می‌شوند ضعیف‌تر می‌شوند. در محیط، مصالح راه معمولاً خشک‌تر از حالت اشباع هستند. با DCP، مقادیر CBR در محیط بدست می‌آید که تقریباً بیشتر از مقادیر CBR نمونه اشباع آزمایشگاهی هستند. بنابراین یک خاک شنی با رس خشک DCP-CBR خوبی خواهد داشت (بالای 80)، در حالی که نمونه اشباع CBR حدود 45 خواهد بود. این اثر بخصوص در لایه‌های اساس و زیر آن دیده می‌شود زیرا لایه‌های بالایی رطوبت کمتری دارند. [3]

تاثیر این رطوبت فقط در شرایطی است که لایه رویه خراب (ترک‌خورده) آب را به روسازی وارد سازد یا از زیر بدلیل زهکشی نامناسب آب وارد شود. در مناطق سرسبز و جنگلی نیز مصالح رطوبت بیشتری دارند. آزمایش‌های DCP بایستی در فصل بارانی زمانی که مصالح کمترین مقاومت را دارند انجام شود. سپس مقادیر DCP-CBR بایستی با CBR آزمایشگاهی اشباع مقایسه شوند تا نتیجه اشباع مشخص شود. در کشورهای خشک مثل ایران، اهمیت این موضوع کم است.

## 8. نتیجه گیری

با توجه به مطالب ذکر شده با اطمینان می‌توان بیان نمود که DCP یک روش بسیار موثر برای آزمایش خاک در محل است و استفاده از آن در سطح وسیع، کاهش زمان، افزایش دقت و صحت را به دنبال خواهد داشت. پس از گردآوری روابط ارائه شده مختلف بین DCP و CBR برای خاک‌های مختلف، به منظور ایجاد مدلی و رابطه‌ای کاربردی و با سطح اطمینان بالا برای برقراری این ارتباط، مدل مربوطه پیشنهاد گردید، که توانست به بهترین شیوه مدل‌های مذکور را برآزش نماید.

<sup>1</sup> Livneh

- [1]- Seyman E. "Laboratory Evaluation of In-situ Tests as Potential Quality Control/Quality Assurance Tools", Bozici University, Istanbul, Turkey, 2001.
- [2]- Kleyn, E. G. "The Use of the Dynamic Cone Penetrometer (DCP)", Report 2/74, Transvaal Roads Department, Pretoria, South Africa, July 1975, p. 35.
- [3]- Ayers, M. E., "Rapid Shear Strength of in Situ Granular Materials Utilizing the Dynamic Cone Penetrometer", Ph.D. Theses, University of Illinois, Urbana, IL, 1990.
- [4]- Livneh, M., "The Relationship Between In Situ CBR Test and Various Penetration Test", Proceedings of the First Symposium on Penetration Testing, Orlando, Florida, A.A. Balkema Publishers, Rotterdam, Netherland, 1988.
- [5]- Kleyn, E. G., Van Van Zyl, G. D., "Application of the Dynamic Cone Penetrometer (DCP) to Light Pavement Design", Proceedings of the First Symposium on Penetration Testing, Orlando, Florida, A.A. Balkema Publishers, Rotterdam, Netherland, 1988, pp. 435-444.