



دانشگاه صنعتی سیرجان

روسازی راه

کارشناسی مهندسی عمران

دکتر علیرضا غنی زاده

استادیار دانشکده مهندسی عمران – دانشگاه صنعتی سیرجان

©A.R. Ghanizadeh

تأثیر عوامل جوی بر طراحی روسازی

©A.R. Ghanizadeh

انواع کارخانه های آسفالت

❖ کارخانه آسفالت منقطع

❖ کارخانه آسفالت پیوسته

❖ کارخانه آسفالت که دو عمل گرم کردن و خشک کردن مصالح سنگی را به صورت همزمان انجام می دهد.

تأثیرات منفی یخبندان

یخبندان دو اثر منفی بر روسازی دارد که عبارتند از:

❖ تورم روسازی در اثر یخبندان، که ممکن است منجر به شکستگی و خرابی روسازی شود.

❖ کاهش قدرت باربری روسازی در موقع ذوب یخ ها افزایش رطوبت مصالح روسازی و به خصوص خاک بستر آن نیز ممکن است منجر به خرابی روسازی شود.

تورم در اثر یخبندان

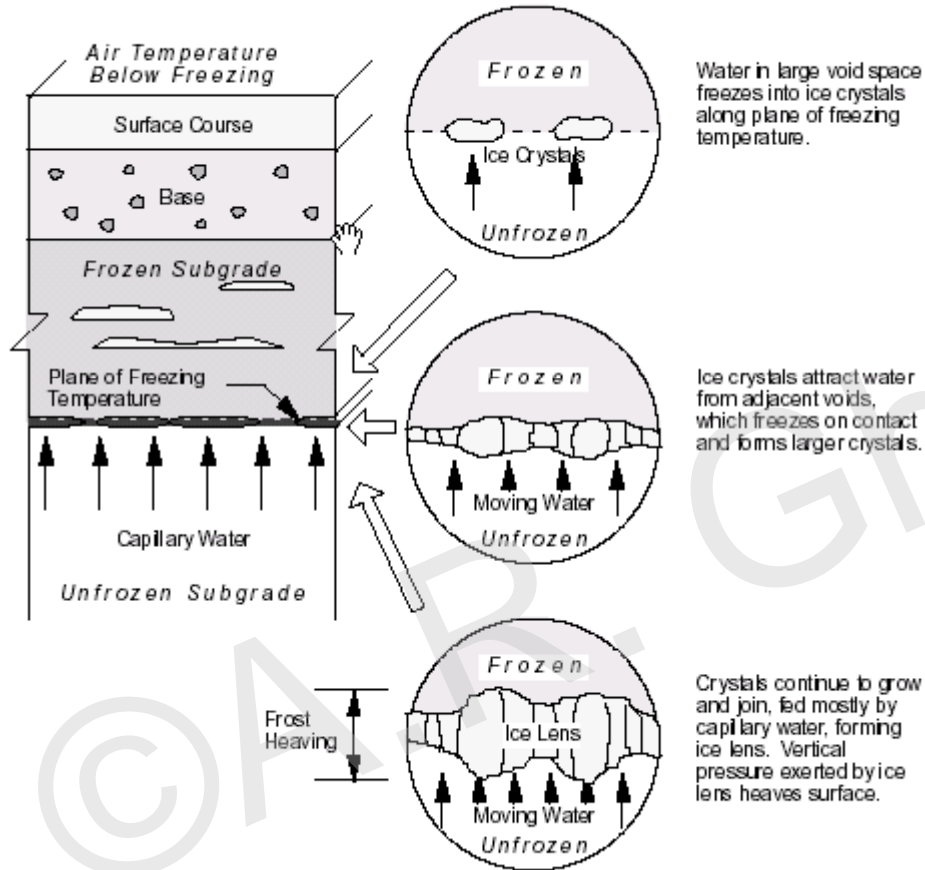
تورم در اثر یخبندان، به بالا آمدن سطح روسازی در اثر یخ زدن ذرات آب و تشکیل عدسی های یخ در خاک بستر و یا در لایه های اساس و زیراساس اطلاق می شود. برای متورم شدن روسازی در اثر یخبندان باید سه عامل زیر حتماً موجود باشند در غیر اینصورت تورم واقعی به وقوع نخواهد پیوست:

✓ هوای سرد (دمای زیر صفر)

✓ خاک نسبتاً ریزدانه ،

✓ منبع آب زیرزمینی به علت خاصیت موینگی خاک نسبتاً ریزدانه، بالا آمده و پس از رسیدن به قسمت های سرد، یخ زده دچار افزایش حجم و در نتیجه تورم می شود.

تورم در اثر یخبندان



خاک‌های حساس به یخبندان

خاک‌های حساس در برابر یخبندان عبارتند از:

✓ ماسه خیلی ریزدانه

✓ لای

✓ خاک رس با دامنه خمیری کمتر از ۱۲.

حفرات این خاک‌ها به اندازه‌ی کوچک هستند که خاصیت مویینه در آنها برقرار می‌شود و از طرف دیگر آن قدر ریزدانه نیستند که نفوذ ناپذیر باشند. شن و ماسه تمیز در برابر یخبندان غیرحساس می‌باشند و لای‌ها خطرناکترین مصالح از نظر تورم یخبندان هستند، براساس مطالعات کاساگرانده، تمام خاک‌های غیرآلی که دارای بیش از ۳٪ دانه‌های به قطر کوچک‌تر از $0.2/0$ میلیمتر هستند کم و بیش در برابر یخبندان حساس می‌باشند.

روش‌های حفاظت روسازی در برابر یخبندان

همانطور که ذکر شد، تورم یخبندان به علت هوای سرد زیر صفر، خاک نسبتاً ریزدانه و آب زیرزمینی در عمق رخ می‌دهد. لذا برای محافظت باید یکی از سه عامل موثر را حذف کنیم:

- ✓ برای حذف تاثیر برودت هوا کافی است ضخامت کل روسازی را افزایش دهیم تا از عمق یخبندان بیشتر شود.
- ✓ برای حذف تاثیر خاک ریزدانه، باید قسمتی از خاک بستر که در برابر یخبندان حساس است با مصالح غیر حساس تعویض شود.
- ✓ برای حذف آب زیرزمینی، می‌توانیم از زهکشی استفاده کنیم یا راه را در خاکریز اجرا کنیم.

تعیین عمق یخبندان

در حالت کلی هرچه از زمین به مرکز آن نزدیکتر شویم دما افزایش می یابد. منظور از عمق یخبندان به طور خلاصه عمقی از سطح روسازی است که وقتی دمای محیط کوچکتر مساوی صفر است (دمای یخبندان) دمای کوچک تر مساوی از آن تا آن عمق ادامه پیدا می کند (پس از این عمق دما بالاتر می رود).

برای تعیین عمق یخبندان دو روش وجود دارد:

❖ روش تجربی

❖ روش نظری

روش‌های تجربی تعیین عمق یخبندان

روشهای تجربی:

❖ لوله حاوی مایع فلورسین

❖ لوله حباب دار

در حالت اول در محل یخبندان از تغییر رنگ مایع فلورسین متوجه عمق یخبندان می شوند و در حالت دوم لوله حباب دار، حباب ها بر اثر یخبندان شکسته می شوند و از روی آن عمق یخبندان به دست می آید.

روش‌های نظری تعیین عمق یخبندان

روش نظری:

هرگاه به علی عمق یخبندان یک منطقه معلوم نبوده ولی اطلاعات کافی در مورد تغییرات درجه حرارت آن منطقه و خصوصیات خاک و مصالح روسازی موجود باشد، می‌توان عمق یخبندان را تعیین کرد. عمق یخبندان برای مصالح با جنس یکنواخت متناسب با شدت و دوام برودت هوا و خصوصیات حرارتی هوا از رابطه زیر به دست می‌آید:

Z: عمق یخبندان بر حسب سانتی‌متر

FI: شاخص برودت که تابع شدت و برودن هواست

A: عدد ثابتی که بستگی به خصوصیات حرارتی مصالح دارد.

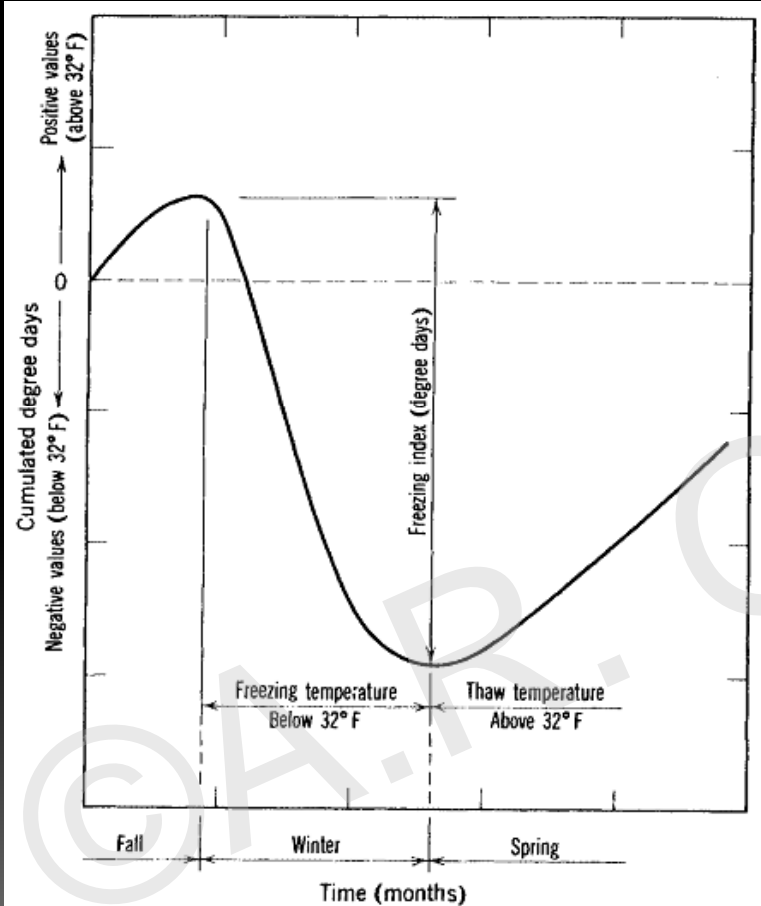
برای شن خوب دانه‌بندی شده $A=4.7$

$$Z = A\sqrt{FI}$$

شاخص یخبندان (Freezing Index)

طبق تعریف شاخص برودت، تفاوت بین رقوم نقاط حداکثر و حداقل منحنی برودت است. منحنی شاخص برودت، منحنی نمایش تغییرات جمع جبری (تجمعی) درجه حرارت متوسط روزانه برحسب زمان است که واحد آن "روز درجه" بوده و نشانگر شدت و دوام برودت هوا در یک منطقه می باشد. شیب منفی منحنی شاخص برودت، نشان دهنده روزهایی است که درجه حرارت متوسط هوا زیر صفر درجه است و فاصله زمانی بین نقاط حداکثر و حداقل منحنی نشان دهنده طول فصل سرما است.

منحنی برودت



برای رسم منحنی شاخص برودت متوسط دمای هر ماه را در تعداد روزهای آن ماه ضرب کرده و مقدار بدست آمده را در روی محور عمودی در انتهای آن ماه نشان می‌دهیم و برای ماه‌های بعد به صورت تجمعی این کار را انجام می‌دهیم. دمای هوا در این نمودار باید با علامت آن در نظر گرفته و ترسیم شود.

مثال: تعیین شاخص برودت

در جدول زیر متوسط دمای ماهیانه منطقه‌ای از مهر تا اردیبهشت ماه داده شده است. مطلوبست تعیین شاخص برودت منطقه و عمق یخبندان با فرض اینکه نوع خاک منطقه از جنس شن خوب دانه‌بندی شده باشد.

| ماه | مهر | آبان | آذر | دی | بهمن | اسفند | فروردین | اردیبهشت |
|------------|-----|------|-----|----|------|-------|---------|----------|
| درجه حرارت | ۲۷ | ۱۳ | ۸ | -۸ | -۲۰ | -۷ | ۱۸ | ۲۴ |

$$FI = 30(8 + 20 + 7) = 1050$$

$$Z = A\sqrt{FI} = 4.7\sqrt{1050} = 152.29\text{cm}$$

تعیین عمق یخبندان روسازی با استفاده از روش استفان-آلردیچ

برای محاسبه عمق دقیق یخبندان در یک سیستم روسازی می توان از رابطه زیر که توسط آلردیچ ارائه شده، استفاده نمود:

$$Z = \lambda \sqrt{\frac{48FI}{L/K}}$$

Z: عمق یخبندان بر حسب سانتی متر

λ : ضریب تصحیح

FI: شاخص برودت هوا

L/K: نسبت حرارت تغییر حالت به ضریب هدایت حرارتی برای کل مقطع روسازی

تعیین پارامتر L/K برای روسازی

$$L / K = \frac{2}{(Z^*)^2} \left[\frac{h_1}{K_1} \left(\frac{L_1 h_1}{2} + L_2 h_2 + \dots + L_n h_n \right) + \frac{h_2}{K_2} \left(\frac{L_2 h_2}{2} + L_3 h_3 + \dots + L_n h_n \right) + \dots + \frac{h_n}{K_n} \left(\frac{L_n h_n}{2} \right) \right]$$

Z^* : عمق یخبندان تخمین زده شده بر حسب سانتی‌متر

h_i : ضخامت لایه i ام روسازی بر حسب سانتی‌متر

K_i : ضریب هدایت حرارتی لایه i ام روسازی بر حسب کالری بر درجه سانتی‌گراد بر ساعت

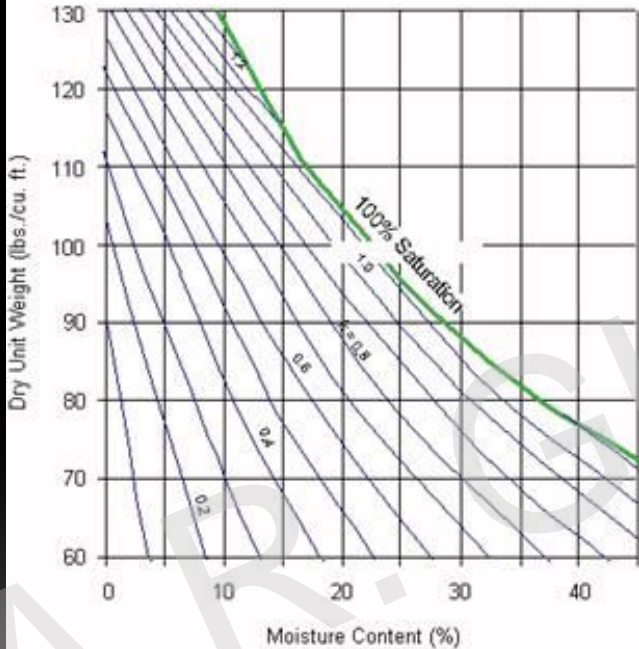
L_i : حرارت تغییر حالت از حالت غیر انجماد به انجماد لایه i ام روسازی بر حسب کالری بر

سانتیمتر مکعب

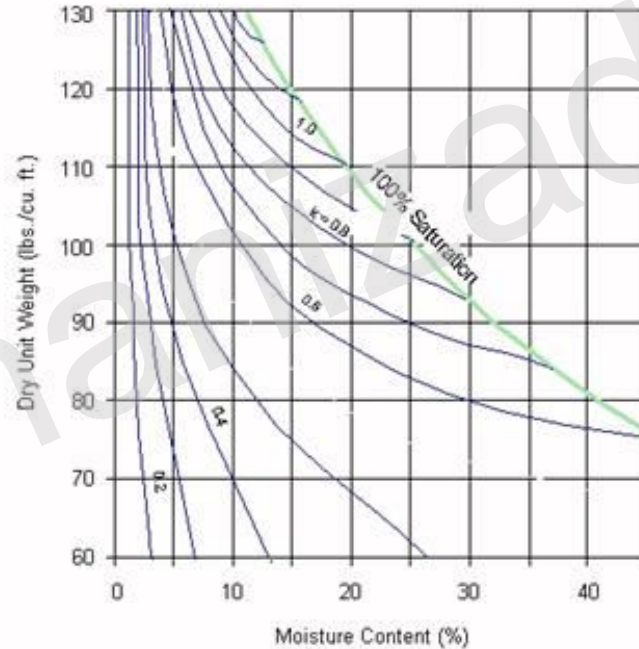
تعیین پارامتر k

NOTE

Thermal conductivity, k , is expressed in BTU per hour per sq. ft. per unit thermal gradient ($^{\circ}\text{F}/\text{ft.}$)



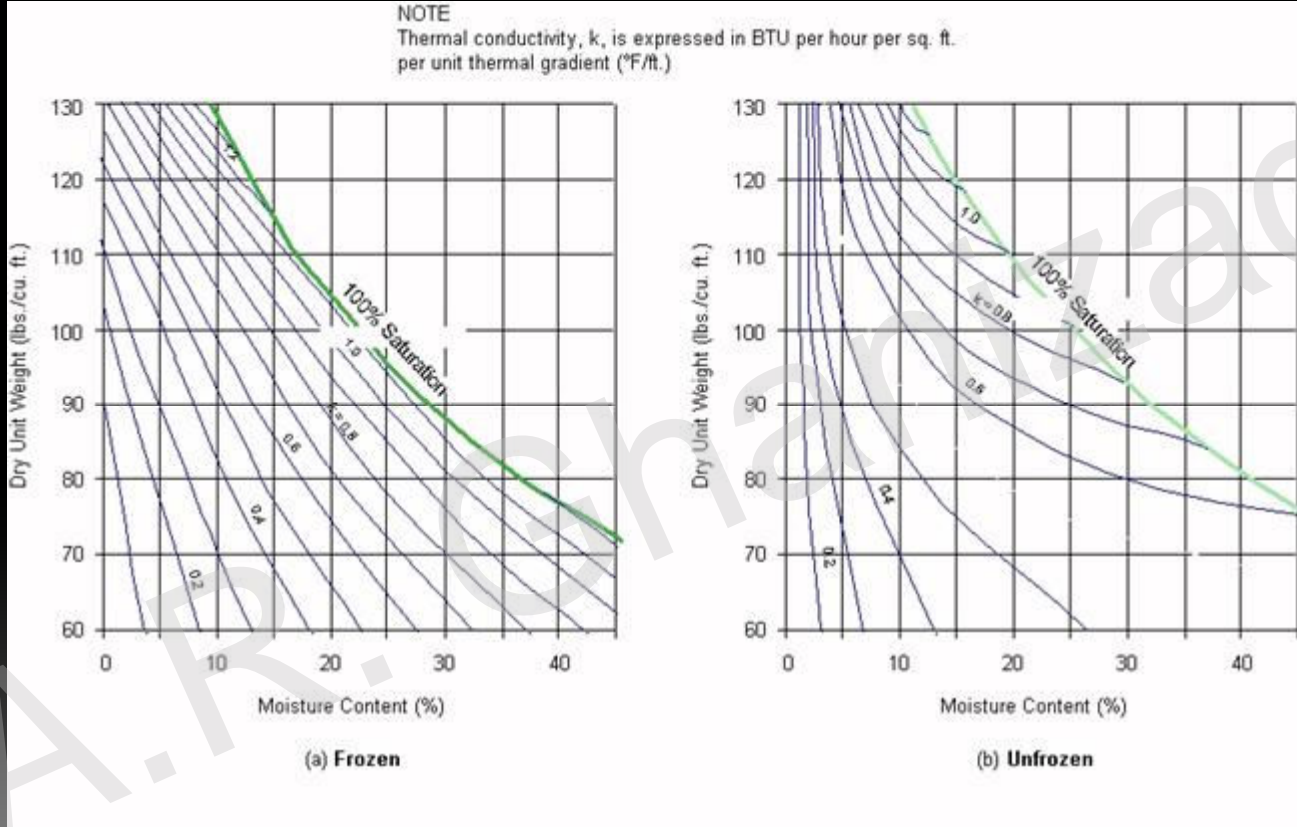
(a) Frozen



(b) Unfrozen

Average thermal conductivity for silt and clay soils, frozen and unfrozen

تعیین پارامتر k

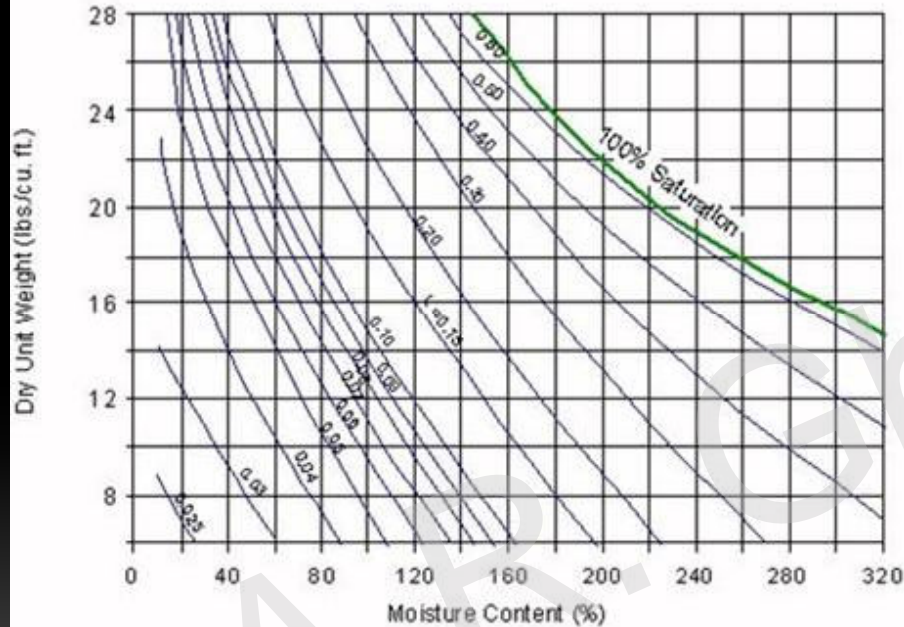


Average thermal conductivity for silt and clay soils, frozen and unfrozen

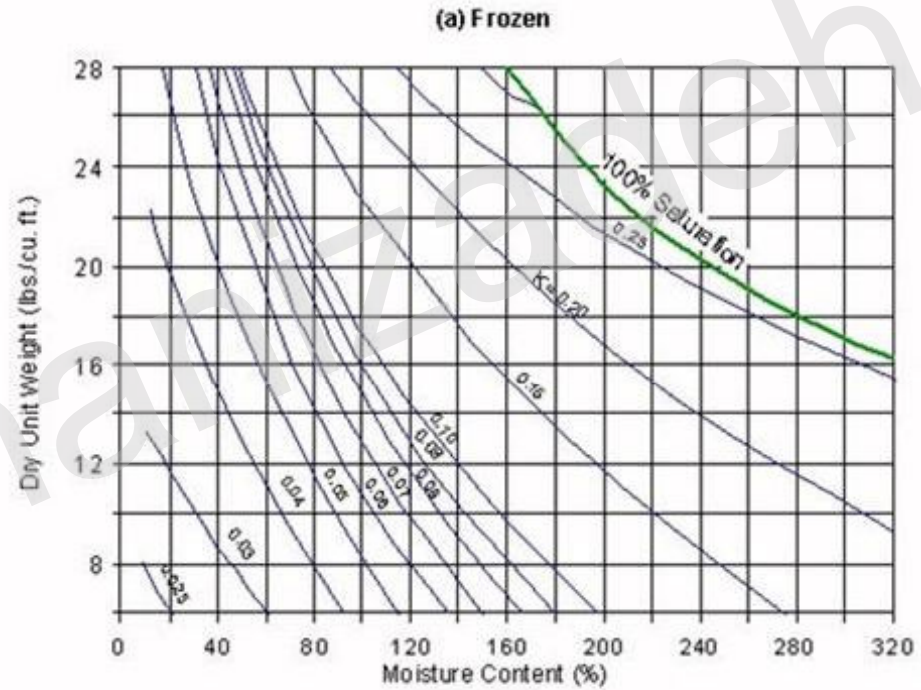
تعیین پارامتر k

NOTE

Thermal conductivity, k , is expressed in BTU per hour per sq. ft. per unit thermal gradient ($^{\circ}\text{F}/\text{ft.}$)



(a) Frozen



(b) Unfrozen

Average thermal conductivity for granular soils, frozen and

تعیین پارامتر k

- Unfrozen silt-clay soils

$$k = (0.0833)(0.9 \log w - 0.2)(10^{0.01\gamma_d})$$

- Frozen silt-clay soils

$$k = (0.0833)[(0.01(10^{0.022\gamma_d}) + 0.085(10^{0.008\gamma_d}))(w)]$$

- Unfrozen granular soils (sands and gravels)

$$k = (0.0833)(0.71 \log w + 0.4)(10^{0.01\gamma_d})$$

- Frozen granular soils (sands and gravels)

$$k = (0.0833)[(0.076(10^{0.013\gamma_d}) + 0.032(10^{0.0146\gamma_d}))(w)]$$

where:

| | | |
|------------|---|---|
| k | = | thermal conductivity (BTU/hr • ft ² • °F/ft) |
| w | = | soil moisture content (%) |
| γ_d | = | soil dry density (lb/ft ³) |

تعیین پارامتر L

$$L = \frac{\left(144 \frac{BTU}{lb}\right)(w)(\gamma_d)}{100}$$

An embankment material with $w = 5\%$ and $\gamma_d = 140 \text{ lb/ft}^3$,

$$L = \frac{\left(144 \frac{BTU}{lb}\right)(5)(140 \text{ lb/ft}^3)}{100} \cong 1000 \text{ BTU/ft}^3$$

تعیین پارامتر C

- Typical values of specific heat (c)
 - $c_{\text{water}} = 1.0 \text{ BTU/lb} \cdot ^\circ\text{F}$
 - $c_{\text{ice}} = 0.5 \text{ BTU/lb} \cdot ^\circ\text{F}$
 - $c_{\text{rock}} = 0.17 \text{ BTU/lb} \cdot ^\circ\text{F}$ (soil minerals)
- Volumetric specific heat relationship (C)

- Unfrozen soil

$$C_u = \gamma_d \left(0.17 + \frac{w}{100} \right)$$

- Frozen soil

$$C_u = \gamma_d \left(0.17 + \frac{0.5w}{100} \right)$$

Example

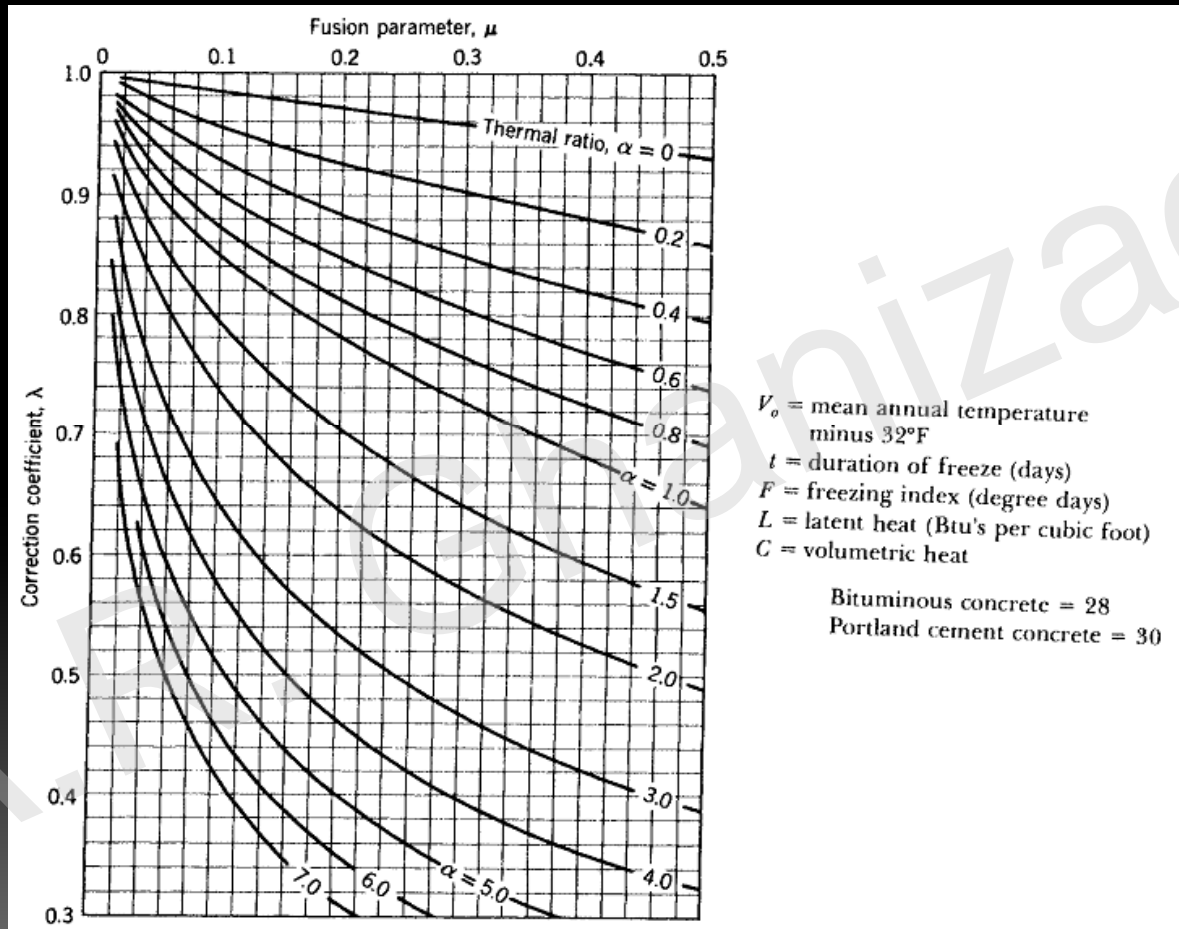
Calculated values for a gravel with $\gamma_d = 130 \text{ lb/ft}^3$ and $w = 5\%$:

$$C_u = 130 (0.17 + 5/100) = 28.6 \text{ BTU/ft}^3 \cdot ^\circ\text{F}$$

$$C_f = 130 (0.17 + (0.5) (5/100)) = 25.4 \text{ BTU/ft}^3 \cdot ^\circ\text{F}$$

$$C_{\text{avg}} = 130 (0.17 + (0.75) (5/100)) = 27.0 \text{ BTU/ft}^3 \cdot ^\circ\text{F}$$

تعیین پارامتر λ



پارامترهای α & β

$$\alpha = \frac{V \times t}{FI}$$

$$\beta = \frac{C \times FI}{L \times t}$$

V: درجه حرارت متوسط سالیانه

t: طول فصل سرما

C: ضریب حرارت حجمی مصالح روسازی

L: ضریب حرارت تغییر حالت از حالت غیر انجماد به انجماد

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_i \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}$$

$$L = \frac{\sum_{i=1}^n L_i \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}$$

مثال

❖ با استفاده از داده‌های زیر عمق یخبندان را محاسبه نمایید.

❖ درجه حرارت متوسط هوا (V) برابر با ۲/۸ درجه سانتی‌گراد

❖ شاخص برودت (FI) برابر با ۸۳۳ روز-درجه سانتی‌گراد

❖ طول دوره سرما (t) برابر با ۱۲۶ روز

| نوع لایه | ضخامت (cm) | ضریب هدایت حرارتی Cal/cm.°C.hr | ضریب حرارت حجمی Cal/cm ³ .°C | ضریب تغییر حالت Cal/cm ³ |
|-------------|------------|-----------------------------------|--|--|
| بتن آسفالتی | ۹ | ۱۲/۵ | ۰/۴۹ | ۰ |
| اساس | ۱۵ | ۲۶/۵ | ۰/۴۷ | ۱۰ |
| زیراساس | ۴۵ | ۲۸/۵ | ۰/۴۸ | ۱۳ |
| بستر | - | ۱۶ | ۰/۵۶ | ۲۹/۵ |

مثال

عمق یخبندان تقریبی:

$$Z = 4.7\sqrt{FI} = 4.7\sqrt{833} = 135.65 \cong 140\text{cm}$$

$$h_4 = 140 - (9 + 15 + 45) = 71\text{cm}$$

عمق یخبندان در لایه چهارم:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_i \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} = \frac{0.49 \times 9 + 0.47 \times 15 + 0.48 \times 45 + 0.56 \times 71}{140} = 0.52 \frac{\text{cal}}{\text{cm}^3 \text{C}}$$

$$L = \frac{\sum_{i=1}^n L_i \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} = \frac{0 \times 9 + 10 \times 15 + 13 \times 45 + 29.5 \times 71}{140} = 20.21 \frac{\text{cal}}{\text{cm}^3}$$

مثال

تعیین نسبت حرارتی و پارامتر ذوب:

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \frac{V \times t}{FI} = \frac{2.8 \times 126}{833} = 0.424 \\ \beta &= \frac{C \times FI}{L \times t} = \frac{0.52 \times 833}{20.21 \times 126} = 0.17 \end{aligned} \right\} \lambda = 0.89$$

تعیین نسبت L/K برای سیستم روسازی:

$$L/K = \frac{2}{(Z^*)^2} \left[\frac{h_1}{K_1} \left(\frac{L_1 h_1}{2} + L_2 h_2 + \dots + L_n h_n \right) + \frac{h_2}{K_2} \left(\frac{L_2 h_2}{2} + L_3 h_3 + \dots + L_n h_n \right) + \dots + \frac{h_n}{K_n} \left(\frac{L_n h_n}{2} \right) \right]$$

$$\Rightarrow L/K = 1.226 \text{ } ^\circ\text{C.hr/cm}^3$$

مثال

عمق یخبندان محاسبه شده:

$$Z = \lambda \sqrt{\frac{48FI}{L/K}} = 0.89 \sqrt{\frac{48 \times 833}{1.226}} = 160.73 \text{ cm} \cong 160 \text{ cm}$$

عمق یخبندان در لایه چهارم:

$$h_4 = 160 - (9 + 15 + 45) = 91 \text{ cm}$$

تکرار دوم محاسبات:

$$Z = \lambda \sqrt{\frac{48FI}{L/K}} = 0.9 \sqrt{\frac{48 \times 833}{1.3}} = 157.83 \text{ cm}$$

تغییرات رطوبت و مقاومت خاک در طول سال

براساس مطالعات، اگر میزان بارندگی سالانه در یک منطقه کمتر از ۵۰ سانتی متر بوده و یا سطح آب زیرزمین در آن محل بیش از ۶ متر از سطح خاک بستر روسازی فاصله داشته باشد، میزان رطوبت خاک بستر تحت تاثیر بارندگی در آن محل و یا وجود آب های زیرزمینی قرار نمی گیرد.

طبقه بندی مناطق بر اساس بارندگی سالیانه و احتمال یخبندان

❖ **مناطق با بارندگی زیاد:** میزان بارندگی بیش از ۵۰ سانتی متر در سال است. اگر سطح آب زیرزمینی بیشتر از ۶متر باشد و خطر یخبندان وجود نداشته باشد، میزان رطوبت خاک فقط به بارندگی بستگی دارد. در این حالت آزمایش CBR را روی خاک اشباع انجام می دهند.

❖ **مناطق سردسیر:** در این مناطق، نمونه گیری باید زمانی باشد تا درصد رطوبت را در زمان ذوب یخ اندازه گیری کنیم و اگر دسترسی به این نمونه وجود نداشته باشد باید از نمونه خاک اشباع برای آزمایش CBR استفاده شود.

طبقه بندی مناطق بر اساس بارندگی سالیانه و احتمال یخبندان

مناطق با آب زیرزمینی کم عمق: اگر سطح آب زیرزمینی کمتر از ۶m از سطح خاک بستر فاصله داشته باشد و خطر یخبندان وجود نداشته باشد، میزان رطوبت تابع ارتفاع آب بالا آمده و میزان تخلخل آن است و با استفاده از رابطه به دست می آید :

h : ارتفاع بالا آمدگی آب بر حسب سانتیمتر

e : تخلخل

d_{10} : اندازه مؤثر خاک

C : ضریبی ثابت بین ۰/۱ تا ۰/۵.

$$h = \frac{C}{e \times d_{10}}$$

طبقه بندی مناطق بر اساس بارندگی سالیانه و احتمال یخبندان

مناطق گرم و خشک: مناطقی که میزان بارندگی سالانه آنها کمتر از ۲۵ سانتیمتر بوده و سطح آب زیرزمینی در عمقی بیش از ۶m از سطح خاک بستر واقع باشد و ضمناً خطر یخبندان نیز وجود نداشته باشد. در این صورت، درصد رطوبت خاک معمولاً خیلی کمتر از درصد رطوبت بهینه بوده و میزان آن فقط تحت تاثیر رطوبت هوا است. بنابراین میزان رطوبت بهینه فرض شده و آزمایش CBR درصد رطوبت بهینه و بدون اشباع کردن نمونه های خاک انجام می شود.

تورم خاک در اثر رطوبت

برخی خاک ها در اثر جذب آب افزایش حجم قابل ملاحظه ای داشته و با از دست دادن رطوبت از حجمشان کم می شود. این گونه خاک ها معمولاً از نوع خاکهای رسی هستند. حتی الامکان باید از ساختن روسازی روی این خاک ها اجتناب کرد. ولیکن در صورتی که مجبور به احداث باشیم باید از روش های زیر برای جلوگیری از تورم استفاده کنیم:

✓ هرگاه خاکهای قابل تورم با رطوبت کمی بیشتر از درصد رطوبت بهینه کوبیده و متراکم شوند، معمولاً قابلیت تورم آنها حداقل خواهد بود.

✓ روش دیگرافزودن آهک به خاک های قابل تورم است که سبب کاهش میزان تورم این گونه خاک ها می شود. این روش در صورتی مناسب است که ضخامت لایه قابل تورم خیلی زیاد نباشد.

✓ روش دیگر غرقاب کردن خاک قبل از ساختن روسازی است.

عوامل مؤثر بر تورم خاک‌ها

✓ مقدار و نوع کانی رسی

✓ خاک‌هایی که دامنه خمیری بالاتری دارند، قابلیت تورم بیشتری دارند.

✓ هرچه وزن مخصوص خشک با کوبیدن افزوده شود در اثر رطوبت تورم بیشتری رخ می‌دهد.

✓ هرچه درصد رطوبت خاک در حین کوبیدن بیشتر شود در اثر جذب رطوبت، خاک کمتر متورم می‌شود.

✓ تر و خشک کردن متوالی باعث کاهش قابلیت تورم خاک می‌شود.

زهکشی و انواع آن

آب موجود در خاک بستر موجب کاهش مقاومت خاک و در نتیجه کاهش قدرت باربری سیستم روسازی می شود که باید این آب کنترل و دفع شود.

کنترل و دفع آبهای سطحی که از بارندگی و ذوب یخ ها ناشی می شود، **زهکشی سطحی** و کنترل و دفع آبهای زیرزمینی را **زهکشی عمقی** گویند.

نکاتی برای بهبود زهکشی

✓ روسازی باید شیب عرضی (۳-۵/۲)٪ داشته باشد.

✓ جوی ها و کانال ها در دو طرف روسازی با سطح مقطع کافی وجود داشته باشند.

✓ استفاده از لایه زهکشی برای جلوگیری از حرکت ذرات به طرف بالا

طراحی فیلتر

گاهی لازم است که سطح آب زیرزمینی موجود در طول راه و یا در دامنه تپه ها که راه بر روی آن واقع می شود، پایین آورده تا زمین بستر روسازی از حالت اشباع خارج شود. این عمل معمولاً با استفاده از کانال زهکشی و قراردادن لوله های زهکشی در آنها انجام می شود. لوله های زهکشی ممن است متخلخل، سوراخ دار، شیاردار و یا درزدار باشند که باید با استفاده از یک لایه مصالح زهکشی محافظت شوند تا شیار یا سوراخ های آن توسط ذرات ریز خاک مسدود نشوند. این مصالح زهکش، فیلتر نامیده می شوند که معمولاً شن یا ماسه می باشند.

طراحی فیلتر

دانه بندی فیلتر باید طوری انتخاب شود که از یک طرف نفوذ پذیری کافی برای عبور آب داشته و از طرف دیگر بتواند جلوی حرکت دانه های ریز خاک را بگیرد. طراحی فیلتر از روابط زیر انجام می شود:

$$\frac{(D_{15})_{\text{فیلتر}}}{(D_{85})_{\text{خاک}}} \leq 5$$

$$5 \leq \frac{(D_{15})_{\text{فیلتر}}}{(D_{15})_{\text{خاک}}} \leq 40$$

D_{15} و D_{85} : اندازه ای است که به ترتیب ۱۵ درصد و ۸۵ درصد وزن نمونه خاک یا مصالح فیلتر از آن کوچک تر هستند. ضمناً باید منحنی دانه بندی فیلتر پیوسته بوده و تقریباً موازی منحنی دانه بندی خاکی که از آن محافظت می کند، باشد.