

جزوه درس

# روش‌های اجرای گود و سازه‌های نگهبان

ویرایش دوم

گردآورنده و مدرس:

دکتر مسعود نصیری

دکتر مسعود نصیری

دکتری مهندسی عمران - ژئوتکنیک  
مدرس دانشگاه و مدیر فنی آزمایشگاه مکانیک خاک

## روشهای اجراء گود و سازه نگهبان

تعداد واحد: ۲

نوع واحد: نظری و اختیاری

پیشنیاز: مهندسی پی

هدف: آشنایی دانشجویان با نحوه گودبرداری و اجراء سازه نگهبان

### سرفصل درس (۳۲ ساعت)

- ۱- مقدمه ای بر کاربرد گودبرداری و سازه نگهبان در مهندسی عمران
- ۲- روشهای گودبرداری و ماشین آلات مورد استفاده در آن
- ۳- روشهای تحلیل پایداری گودها
- ۴- روشهای مختلف مهاربندی گود
- ۵- جدارهای مهاربندی شده توسط المانهای افقی و مایل
- ۶- جدارهای مهاربندی شده توسط المانهای کششی
- ۷- جدارهای مهاربندی شده توسط سیر کوبی
- ۸- جدارهای مهاربندی شده توسط شمع های درجا
- ۹- جدارهای مهاربندی شده توسط دیوارهای دیافراگمی
- ۱۰- جدارهای مهاربندی شده توسط دیوارهای میخ کوبی
- ۱۱- آشنایی با آیین نامه های گودبرداری ( مقررات ملی ساختمان ، مرکز تحقیقات مسکن و ساختمان و ...)
- ۱۲- بازدید از گودبرداری ساختمانها و پایدار سازی آنها با روشهای ذکر شده



۱۰۵

## سر فصل مطالب:

فصل نخست: مقدمه‌ای بر گودبرداری

فصل دوم: آشنایی با مقررات، آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های اجرایی گودبرداری

فصل سوم: ارزیابی‌های اولیه گودبرداری

فصل چهارم: روش‌های گودبردای و انواع سازه‌های نگهبان

فصل پنجم: ملاحظات اجرایی گودبرداری

فصل ششم: روش‌های تحلیل پایداری گودها و طراحی سازه‌های نگهبان

## فصل نخست

### مقدمه‌ای بر گودبرداری

#### ۱-۱- مقدمه

در سالیان اخیر، گودبرداری در پروژه‌های عمرانی و به‌ویژه، در ساخت و سازه‌های شهری برای دستیابی به فضای بیشتر جهت تأمین پارکینگ و موارد این چنینی، امری اجتناب‌ناپذیر شده است. در مناطق شهری به‌علت وجود همسایه و تاسیسات شهری در مجاورت گود، خاکبرداری اغلب باید با حداقل شیب ممکن و در اکثر موارد به‌صورت قائم انجام شود. همین موضوع دقت و تمهیدات مهندسی بیشتری را می‌طلبد.

در اثر گودبرداری و به‌علت خارج کردن توده خاک از داخل گود و ایجاد ناپیوستگی و همچنین به‌دلیل آزادسازی تنش‌های محصور کننده موجود در توده خاک، تغییر شکل‌هایی در محدوده داخلی گود ایجاد می‌شود که می‌تواند سبب ایجاد ناپایداری در سازه‌های موجود در اطراف ناحیه گودبرداری شده گردد. این تغییر شکل‌ها را می‌توان به سه دسته کلی تقسیم کرد که عبارتند از: نشست رقوم فوقانی سطح زمین مجاور ناحیه گودبرداری شده؛ تغییر مکان جانبی دیواره‌های گودبرداری شده؛ برآمدگی یا تورم کف گود.

از آنجایی که روش‌های متنوع و گوناگونی برای گودبرداری و سیستم‌های نگهبان وجود دارد، برای دستیابی به مناسب‌ترین طراحی باید ترکیبی از عوامل مختلفی که شامل شرایط زمین‌شناسی، شرایط زیست‌محیطی، دوره زمانی مجاز ساخت و ساز، مسائل مالی و تجهیزات در دسترس است را مد نظر قرار داد؛ و متناسب با این عوامل یک طرح کلی را پیشنهاد و ارائه کرد.

اغلب خاک‌ها بلافاصله پس از گودبرداری تا مدت زمان مشخصی (بسته به شرایط خاک موجود از چند ساعت تا چندین ماه) پایدار هستند و به تدریج از میزان پایداری‌شان کاسته می‌شود. اما این پایداری ظاهری نباید سبب غفلت از سیستم‌های نگهدارنده شود، چرا که خطرات بلقوهای پایداری حفاری‌ها را تهدید می‌کند.

## ۱-۲- تعریف گودبرداری

در بسیاری از پروژه‌های عمرانی لازم است که زمین را به گونه‌ای خاکبرداری کنند که دیواره‌ها یا جداره‌های خاکی ایجاد شده، قائم یا نزدیک به قائم، و یا گاهی مایل باشند. به این عمل گودبرداری<sup>۱</sup> گفته می‌شود. مطابق فصل سوم فهرست بهای ابنیه، گود به محلی اطلاق می‌شود که پس از خاکبرداری و رسیدن به رقوم نهایی از همه جهت پایین‌تر از زمین طبیعی قرار بگیرد و عمق متوسط آن کمتر از ۶۰ سانتی‌متر نباشد. مطابق تعریف مبحث دوازدهم مقررات ملی ساختمان (ایمنی و حفاظت کار در حین اجرا)، به هر گونه حفاری و خاکبرداری در تراز پایین‌تر از سطح طبیعی زمین یا تراز زیر پی ساختمان مجاور، گودبرداری اطلاق می‌گردد. طبق تعریف سازمان ملی ایمنی و سلامت حرفه‌ای ایالات متحده آمریکا<sup>۲</sup> (OSHA)؛ گودبرداری عبارتست: از هر گونه خاکبرداری، ایجاد حفره یا فضای خالی در خاک و حفر ترانشه در سطح خاک، که ناشی از برداشتن و جابجایی توسط انسان باشد. طبق تعریف OSHA، ترانشه آن دسته از گودبرداری‌هایی است که دارای دو دیوار در طرفین بوده و عمق آن بیش از عرض آن است. عمده‌ترین مثال‌های گودبرداری عبارتند از: خاکبرداری به منظور احداث زیرزمین‌ها، حفر ترانشه‌ها با هدف لوله‌گذاری و موارد مشابه و خاکبرداری به منظور احداث راه و بزرگراه.

در یک تعریف ساده، عملیات گودبرداری شامل فعالیت‌های ساختمانی از قبیل حفاری و خاکبرداری و پی‌کنی و عملیات زیرزمینی است. اما طبق تعریف جامع آن، گودبرداری در واقع نوعی عملیات خاکبرداری است که در نتیجه اجرای آن، دیواره (ترانشه) خاکی شکل می‌گیرد که در آن تنش رانشی محرک وجود دارد. پیش از اجرای گود، تنش رانشی خاک از نوع در حال سکون است که پس از انجام عملیات حفاری به حالت محرک تبدیل می‌شود. در شکل ۱-۱ محل گودبرداری در یک پروژه نشان داده شده است. شکل ۱-۲ ریزش جداره گود را نشان می‌دهد.

1- Excavation

2- Occupational Safety and Health Administration (OSHA)



شکل ۱-۱- محل گود در یک پروژه ساختمانی



شکل ۱-۲- ریش جداره گود به علت ناپایداری

بر اثر گودبرداری و به دلیل آزادسازی تنش‌ها، تغییر شکل‌هایی در گود ایجاد می‌شود. وجود سربار در اطراف یک گود میزان این تغییر شکل‌ها را افزایش می‌دهد و می‌تواند منجر به ناپایداری در سیستم شود. در مواردی که گودبرداری در مجاورت یک سازه یا ابنه فنی صورت می‌گیرد، سازه مزبور همانند یک سربار عمل می‌کند. اثر این سازه در دیوار گودبرداری به صورت یک نیروی گسترده در راستای افقی است که با نیروی جانبی وارده از طرف خاک به دیواره گود تلفیق می‌گردد. از طرف دیگر وزن این سازه باعث تشدید تورم کف گود و جابجایی جانبی دیواره گود به سمت داخل گود خواهد شد. مجموعه این آثار در نهایت باعث ایجاد معضل در پایداری خود سازه اعم از کج‌شدگی، ترک و شکاف در دیوارها و سقف‌ها و کاهش سرویس‌دهی می‌گردد. بر همین اساس، بررسی اثر گودبرداری‌ها در سازه‌های مجاور جهت حفظ و تقویت فونداسیون سازه‌های مجاور بسیار ضروری است.

### ۱-۳- تعریف سازه نگهبان

به منظور جلوگیری از ریزش دیواره‌های گودها و ترانشه‌ها و مقابله با تبعات منفی احتمالی گودبرداری، سازه‌های موقتی را برای مهار دیواره‌های گودها و ترانشه‌ها اجرا می‌کنند که به آن‌ها سازه‌های نگهبان<sup>۱</sup> می‌گویند. در حقیقت می‌توان گفت که سازه‌های نگهبان در واقع ایفا کننده و جبران کننده نقش سازه‌ای خاک برداشته شده هستند. مطابق تعریف مبحث هفتم مقررات ملی ساختمان (پی و پی سازی)، سازه‌های نگهبان به سازه‌هایی اطلاق می‌شود که برای نگهداری خاک به کار برده می‌شوند و این سازه‌ها شامل انواع دیوارها و سیستم‌های نگهبان هستند، که در آن‌ها عناصر سازه‌ای ممکن است با خاک یا سنگ ترکیب شده و یا اینکه از تسلیح خاک استفاده شود. بر اساس این تعریف، می‌توان گفت که سازه‌های نگهبان هم شامل سازه‌های نگهبان موقت گودبرداری هستند و هم شامل دیوارهای حایل دائمی زیرزمین ساختمان‌ها و نظایر آن‌ها می‌شوند.

چنانچه در مجاورت و اطراف محوطه گود، ساختمان همسایه یا تأسیسات شهری قابل توجهی وجود نداشته باشد. سازه نگهبان در صورت لزوم باید از سطح زمین به پایین اجرا شود. اما اگر در اطراف محل گودبرداری ساختمان همسایه باشد، سیستم پایدارسازی گود باید از تراز پی ساختمان همسایه به پایین تا کف گود اجرا شود. اجرای سازه نگهبان صرفاً برای مهار ساختمان خوب است اما کافی نیست، چرا که امکان فرار خاک از زیر پی ساختمان مجاور به داخل گود وجود دارد، که وقوع این مسئله منجر به آسیب جدی به ساختمان مجاور خواهد شد. علی‌رغم هشدارهای متعدد در این زمینه؛ همچنان مهندسانی هستند که به جای مهار خاک زیر پی ساختمان مجاور در دیواره گود، ساختمان مجاور را نگه می‌دارند که البته تلاشی نافرجام محسوب می‌شود.

### ۱-۴- انواع گودها

گودها از جنبه‌های متنوع و بر اساس دیدگاه‌های مختلفی دسته‌بندی می‌شوند که در ادامه به شرح‌شان پرداخته می‌شود.

#### ۱-۴-۱- دسته‌بندی گود بر اساس عمق

در گودهایی که ساختمان یا تأسیساتی در مجاورت خود ندارند، عمق گود از سطح زمین تا زیر پی ساختمان در دست احداث داخل گود در نظر گرفته می‌شود. در گودهایی که ساختمان در مجاورت خود دارند، عمق گود از زیر پی ساختمان مجاور تا زیر پی ساختمان در دست احداث داخل گود در نظر گرفته می‌شود. مطابق تعریف **مبحث هفتم مقررات ملی ساختمان (پی و پی‌سازی)**، گودها از نظر عمق به سه دسته تقسیم می‌شوند: کم عمق (عمق کمتر از ۶ متر)؛ با عمق متوسط (عمق بین ۶ تا ۲۰ متر) و عمیق (عمق بیش از ۲۰ متر).

#### ۱-۴-۲- دسته بندی گود بر اساس ابعاد

گودها از نظر ابعاد به گودهای وسیع، گودهای محدود و گودهای کانالی (شیاری)، گودهای باز (عرض از عمق بیشتر باشد) و گودهای ترانشه‌ای (عمق از عرض کف گود بیشتر باشد) تقسیم‌بندی می‌شوند.

#### ۱-۴-۳- دسته بندی گود بر اساس سازه‌های مجاور

گودها با توجه به ابنیه و تأسیسات مجاور به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند: گودبرداری در زمین‌های محدود و گودبرداری در زمین‌های نامحدود. در زمین‌های کوچکی که اطراف آن ساختمان باشد (زمین محدود)، کار گودبرداری حساس‌تر است و پایداری بناهای مجاور در معرض خطر خواهد بود. در چنین شرایطی برای برطرف کردن خطرات احتمالی، باید گودبرداری به همراه مهاربندی (سازه نگهبان موقت) اجرا شود. اما در زمین‌های نسبتاً بزرگ که اطراف آن هیچ ساختمانی نباشد، گودبرداری توسط لودر و بیل مکانیکی با شیب مناسب انجام می‌شود.

#### ۱-۴-۴- دسته بندی گود بر اساس عملکرد

گودها با توجه به نوع عملکردشان به دو دسته موقتی و دائمی تقسیم‌بندی می‌شوند. عموماً گودبرداری در مناطق شهری برای ساختمان‌سازی از نوع موقت محسوب می‌شود.

#### ۱-۴-۵- دسته بندی گود بر اساس سیستم نگهداری

گودها به دو دسته گودبرداری با دیوار مهار نشده و گودبرداری با دیوار مهار شده (محافظت شده با سازه نگهبان) تقسیم می‌شوند.

#### ۱-۴-۶- دسته بندی گود بر اساس باز و بسته بودن فضا

حفاری ممکن است به صورت باز یا بسته (حالت اجرای تونل) انجام شود. در عملیات ساختمانی و برای پی‌کشی سازه‌ها، گودبرداری الزاماً به روش باز انجام می‌شود.

#### **۱-۴-۷- دسته بندی گود بر اساس شیب دیواره**

بر این اساس، گودها به سه دسته تقسیم می‌شوند: گودهای با دیواره قائم، گودهای با دیواره پله‌ای (تراس‌بندی شده) و گودبرداری با دیواره شیب‌دار (ترانشه‌وار). دو مورد آخر صرفاً در زمین‌های نامحدود اجرایی هستند.

## فصل دوم

# آشنایی با مقررات، آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های اجرایی گودبرداری

### ۱-۲- مقدمه

به منظور آشنایی با دستورالعمل‌های اجرایی و آیین‌نامه‌ها در رابطه با موضوع گودبرداری، در این فصل به بررسی ضوابط و مقررات ارائه شده توسط دستگاه‌های نظارتی و اجرایی در کشور پرداخته می‌شود.

### ۲-۲- نشریه ۱۰۱ (مشخصات فنی عمومی راه‌ها)

بند ۲۴-۱۰-۴ با عنوان "عملیات خاکی" در نشریه ۱۰۱ به بررسی وضعیت و شرایط گودها پرداخته است. در ادامه این بخش به شرح بند اشاره شده در این نشریه پرداخته خواهد شد.

قبل از شروع کار، محل اجرای عملیات باید به طور کامل و دقیق بازرسی شود. مسیر حرکت ماشین آلات، وضعیت ترافیک، جنس خاک، احتمال ریزش، خطوط لوله تأسیسات باید بررسی شود. کلیه کارکنان باید به وسایل حفاظت فردی، مجهز بوده و به وظایف خود به خوبی آشنا باشند. در صورت لزوم برای تعیین موقعیت‌های خطرناک و حفظ هوشیاری کارکنان باید از علائم هشدار دهنده و برچسب‌های ایمنی استفاده شود.

در صورت نیاز برای جلوگیری از ریزش‌های احتمالی، محل دیواره حفاری‌ها، ترانشه‌ها و شیب‌ها باید با قرار دادن و بستن حایل‌های موقت محافظت شوند. در زمین‌های ریزشی، باید دقت کافی در مهاربندی و سپری‌ها به کار رود.

در صورتی که قرار باشد کارکنان درون ترانشه یا محل حفاری کار کنند، باید بازرسی‌های زیر از نظر ریزش کنترل شود.

(۱) حداقل روزی یک بار، اگر کارگران به طور مرتب درون ترانشه باشند.

(۲) پس از هر ریزش غیر منتظره مصالح درون ترانشه.

با مشاهده ترک در جبهه خاک یا سنگ، کار باید متوقف شود. در صورت کاهش سطح اکسیژن، بلافاصله کار را باید تعطیل کرد.

## ۲-۳- نشریه ۵۵ (مشخصات فنی عمومی ساختمانی)

بند ۲۶-۸ با عنوان "ایمنی در انجام عملیات خاکی" در نشریه ۵۵ به بررسی وضعیت و شرایط گودها پرداخته است. در ادامه، به شرح بند اشاره شده در این نشریه پرداخته خواهد شد.

در انجام کارهای خاکی باید ضوابط ایمنی و دستورالعمل‌های مربوط به دقت رعایت شوند. هنگام اجرای عملیات خاکی در نزدیکی ایستگاه‌های اصلی خدمات عمومی از قبیل آتش‌نشانی، باید مراتب قبلاً به اطلاع آن دستگاه برسد تا در ارائه خدمات عمومی وقفه‌ای رخ ندهد. در صورت برخورد با کابل‌های برق، تلفن و یا خطوط لوله آب، گاز و غیره، باید کار متوقف شده و مراتب به اطلاع مسئولین مربوط برسد. قطع و ریشه‌کنی درختان، باید چنان صورت گیرد که باعث خرابی ساختمان‌های مجاور و یا صدمه به اشخاص نشود. درختان باید طوری قطع شوند که هنگام سقوط در جهت پیش‌بینی شده، که حفاظت‌های لازم در آن صورت گرفته، بیافتند.

قبل از شروع گودبرداری، باید درخت یا تخته سنگ و موانع مشابه را که ممکن است موجب وقوع حادثه شوند، از محل کار خارج کرد. اگر با گودبرداری، پایداری ساختمان‌های مجاور دچار مخاطره

می‌شود، باید ایمنی آن‌ها به وسیله شمع، سپر و مهار کردن ساختمان‌ها و شمع‌بندی زیر پایه‌ها به‌طور مطمئنی تأمین گردد و این عوامل حفاظتی باید تا رفع خطر مرتباً به وسیله اشخاص ذی صلاح بازدید شوند تا موجبات حفاظت مؤثر ساختمان‌های مجاور تأمین باشد. مشخصات چوب‌هایی که برای شمع، سپر و مهار به کار می‌رود، باید با مشخصات ذکر شده در فصل دوم مطابقت نمایند، ابعاد این چوب‌ها باید متناسب با فشار وارده انتخاب شوند. پیمانکار موظف است تجهیزات ایمنی لازم برای حفاظت کارگران را در اختیار آنان قرار دهد. در حفاری با بیل و کلنگ، باید کارگران فاصله کافی از یکدیگر داشته باشند. در گودال‌ها و شیارهای عمیق که عمق آن‌ها از یک متر بیشتر باشد، نباید کارگران را به تنهایی به کار گمارد.

در زمین‌های با رطوبت طبیعی می‌توان گودبرداری تا عمق ۱ متر برای ماسه، ۱/۲۵ متر برای ماسه رس دار، ۱/۵ متر برای خاک رس و ۲ متر برای خاک بسیار متراکم را بدون پایه‌های ایمنی، سپر و حایل انجام داد. در سایر موارد، توصیه می‌شود با توجه به مسائلی نظیر جنس خاک، عمق گودبرداری و شرایط ترافیکی اطراف، تدابیر ایمنی لازم اتخاذ گردند. در زمین‌های ریزشی، هنگام عملیات حفاری، پیمانکار مسئول ایمنی کارگران بوده و باید در مهاربندی نهایت دقت را به عمل آورد، در مواردی که کارگران درون ترانشه یا گود کار می‌کنند، باید مرتباً بازرسی انجام پذیرد و در صورت احتمال خطر ریزش یا مشاهده ترک و بازشدگی، کار متوقف شده و با نظر دستگاه نظارت، حفاظت‌های لازم انجام پذیرد.

هنگامی که گودبرداری در مجاورت خطوط راه آهن و بزرگراه‌ها یا مراکزی که تولید ارتعاش می‌کند، انجام می‌گیرد، باید تدابیر احتیاطی برای جلوگیری از ریزش اتخاذ گردد. خاک برداشته شده را نباید در فاصله‌ای نزدیکتر از ۰/۵ متر به لبه گود ریخت. در نقاطی که امکان ریزش خاک وجود دارد، نباید ماشین آلات را در نزدیکی گود مستقر نموده و یا از آن عبور داد، همچنین در زمان عملکرد ماشین خاکبرداری، ایستادن اشخاص در زیر جام و یا بازوی دستگاه و نیز مشغول به کار بودن کارگران در قسمتی که ماشین کار می‌کند، ممنوع است. همه افرادی که مستقیماً مشغول انجام عملیات خاکبرداری نیستند، باید حداقل در فاصله ۵ متری دایره عملکرد دستگاه قرار گیرند، برای پُر کردن کامیون باید جام دستگاه خاکبرداری از پشت کامیون عبور کند و از روی اتاقک راننده نگذرد.

در جایی که از بالابر برای حمل مصالح حاصل از گودبرداری استفاده می‌شود، باید پایه‌های بالابر به نحوی مطمئن در محل قرار گیرد و این مصالح با محفظه مطمئن بالا برده شوند. در استفاده از جک‌ها باید دقت شود که جک بیش از ظرفیت مجاز بارگذاری نشود، جک‌ها باید مجهز به ضامن باشند و به‌طور مداوم توسط اشخاص ذیصلاح مورد بازدید قرار گیرند راه‌های شیب‌داری که برای عبور کارگران و افراد به کار می‌روند، باید دارای نرده‌های حفاظتی لازم باشند. در صورتی که راه‌های شیب‌دار برای عبور وسایل نقلیه به کار می‌روند، باید عرض راه کمتر از ۴ متر نباشد و توسط نرده‌های مناسب محافظت گردد. چنانچه این حفاظ‌ها از چوب ساخته می‌شوند، قطر چوب‌ها نباید از ۲۰ سانتیمتر کمتر باشد. برای ورود و خروج کارگران در محل گودهایی که عمق آن بیش از ۶ متر باشد، باید در هر ۶ متر یک سکو یا پاگرد در نردبان‌ها، پله‌ها و یا راه‌های شیب‌دار پیش‌بینی گردد، این سکوها باید به وسیله جان‌پناه محصور شوند.

بعد از وقوع بارندگی، طوفان، زلزله و یا سیل، باید دیواره‌های محل گودبرداری مورد بازدید قرار گیرند تا در محل‌هایی که احتمال ریزش افزایش یافته، تدابیر لازم برای تقویت اتخاذ گردند. مصالح حاصل از گودبرداری نباید در پیاده‌روها و معابر انباشته شوند. معابر عمومی مجاور محل گودبرداری، باید دارای نرده و حفاظ مطمئنی باشند. در محل‌هایی که احتمال سقوط اشیاء به داخل گود وجود دارد، نیز باید حفاظ لازم برای جلوگیری از وارد شدن آسیب به کارگران پیش‌بینی گردد. در حفاری‌های عمیق باید هنگام روز با استفاده از پرچم قرمز و شب‌ها به وسیله چراغ‌های خطر، کارگران و عابرین را متوجه ساخت. تعبیه نرده‌های حفاظتی در امتداد کانال‌ها و حفاری‌ها الزامی است. در مواردی که حفاری در زیر پیاده‌روها ضروری باشد، باید در زیر معبر از شمع و سپری که قادر به تحمل حداقل ۶۰۰ کیلوگرم بر مترمربع فشار باشد، استفاده شود.

در محوطه خاکبرداری، به‌ویژه در محل‌هایی که بیل مکانیکی، جرثقیل و وسایل مشابه کار می‌کنند، باید از عبور و مرور افراد متفرقه جلوگیری به عمل آید. همچنین باید یک نفر مسئول ورود و خروج کامیون‌ها باشد و برای آگاهی عابرین علامت خطر در معبر ورود و خروج کامیون‌ها نصب شود. شیب معبر نباید از ۲۰٪ تجاوز نماید، اگر اجباراً شیب معبر از این حد تجاوز نماید، باید برای عبور کارگران به فاصله هر ۴۰ سانتیمتر جابایی در طول راه ایجاد شود.

## ۲-۴- فصل نهم از مبحث دوازدهم مقررات ملی ساختمان

۹-۱۲ عملیات خاکی

### ۹-۱۲ عملیات خاکی

#### ۹-۱۲-۱ کلیات

۹-۱۲-۱-۱ منظور از عملیات خاکی عبارت است از: خاکبرداری، خاکریزی، تسطیح زمین، گودبرداری، پی کتی ساختمان‌ها، حفر شیارها، شمع‌ها، کنال‌ها، چاه‌ها و مجاری آب و فاضلاب با وسایل دستی یا مکانیکی.

#### ۹-۱۲-۲ گود برداری

به هرگونه حفاری و خاکبرداری در تراز پایین‌تر از سطح طبیعی زمین یا تراز زیر پی ساختمان مجاور گودبرداری اطلاق می‌شود.

#### ۹-۱۲-۳ سطح خطر گودبرداری

سطح خطر گودبرداری‌ها با توجه به عمق گود، نوع خاک، وجود آب، وجود منبع ارتعاش در مجاورت گود و حساسیت ساختمان‌های مجاور آن به صورت گودبرداری با خطر معمولی، زیاد و بسیار زیاد تعیین می‌گردد. ارزیابی سطح خطر گودبرداری بر اساس ضوابط و مقررات مبحث "پی و پی سازی (مبحث هفتم مقررات ملی ساختمان)" انجام می‌شود.

#### ۹-۱۲-۴ قبل از شروع عملیات خاکی باید اقدامات زیر توسط سازنده انجام شود:

الف: زمین مورد نظر توسط شخص و یا اشخاص ذیصلاح از لحاظ استحکام و جنس خاک و همچنین پایداری این‌ها مجاور به دقت مورد بررسی قرار گیرد. به علاوه نقشه گودبرداری و پایدارسازی جداره‌های گود و برنامه گودبرداری باید توسط این اشخاص تهیه و به تأیید مرجع رسمی ساختمان برسد.

ب: روش، برنامه اجرایی گودبرداری و همچنین زمان شروع آن به همراه مجوز صادره توسط مرجع رسمی ساختمان در اختیار مهندس ناظر قرار گیرد.

ب: موقعیت تأسیسات زیرزمینی از قبیل چاه‌ها، کانال‌های فاضلاب، چشمه‌ها و قنوت قدیمی، لوله‌کشی آب و گاز، کابل‌های برق و تلفن که ممکن است در حین عملیات گودبرداری و خاکبرداری موجب بروز خطر و حادثه گردند و یا خود دچار خسارت شوند، مورد بررسی و شناسایی قرار گرفته و با همکاری سازمان‌های ذیربط، نسبت به تغییر مسیر دائم یا موقت و یا قطع جریان و همچنین ایمن‌سازی آنها اقدام گردد.

ت: در صورتی که تغییر مسیر یا قطع جریان برخی از تاسیسات مندرج در مفاد بند ۱۲-۹-۴-۴ "پ" امکان‌پذیر نباشد، باید با همکاری سازمان‌های مربوط و به طرق مقتضی نسبت به حفاظت آنها اقدام شود.

ت: چنانچه محل گودبرداری در نزدیکی و یا مجاورت یکی از ایستگاههای خدمات عمومی از قبیل آتش‌نشانی و اورژانس بوده و یا در مسیر خودروهای آنها باشد، باید قبلاً مراتب به اطلاع مسئولین ذربط رسانده شود تا احیاناً در سرویس رستگ عمومی و وقفه‌ای ایجاد نگردد.

ج : کلیه اشیاء زائد از قبیل تخته سنگ، ضایعات ساختمانی و یا بقایای درختان که ممکن است مانع از انجام کار شده و یا موجب بروز حوادث شوند، باید از زمین مورد نظر خارج گردند.

ج : در استفاده از روش‌های پایدارسازی دیواره‌های گودبرداری از قییل میخ‌کوبی و میل مهار ورود به محدوده مالکیت املاک مجاور و همچنین معابر عمومی ممنوع می‌باشد مگر با موافقت ذینفع و مرجع رسمی ساختمان.

۱۲-۹-۵ در صورتی که در عملیات خاکی از دستگاه‌های برقی مانند الکتروموتور برای هوادهی، تخلیه آب و نظایر آن استفاده شود، این گونه دستگاه‌ها باید با رعایت مفاد بخش ۱۲-۶-۶ به کار گرفته شده و به وسایل حفاظتی مناسب مجهز باشند.

۱۲-۹-۶- چنانچه محل مورد نظر برای عملیات خاکی، نظیر حفر چاه در معبر عمومی یا محل‌هایی باشد که احتمال رفت و آمد افراد متفرقه وجود داشته باشد، باید با اقدامات احتیاطی از قبیل محصور کردن محوطه حفاری، نصب علائم هشدار دهنده و وسایل کنترل مسیر، از ورود افراد به منطقه حفاری جلوگیری به عمل آمده و دهانه این گونه محل‌ها در پایان کار روزانه مسدود گردند.

#### ۹-۱۲-۲ گودبرداری (حفر طبقات زیرزمین و پی کتی ساختمان‌ها)

۹-۱۲-۱ در صورتی که در عملیات گودبرداری و خاکبرداری احتمال خطری برای پایداری و سرویس‌دهی دیوارهای گود، دیوارها و ساختمان‌های مجاور و یا مهارها وجود داشته باشد، باید قبل از گودبرداری و خاکبرداری، ایمنی و پایداری آنها با استفاده از روشهایی نظیر نصب شمع، سپر و مهارهای مناسب و رعایت فاصله لازم و ایمن گودبرداری و در صورت لزوم با اجرای سازه‌های نگهبان تأمین گردد.

۹-۱۲-۲ سازنده موظف است در عملیات گودبرداری و پایدارسازی جدارهای گود مفاد مبحث "پی و پی سازی (مبحث هفتم مقررات ملی ساختمان)" و دستورالعمل اجرایی گودبرداری‌های ساختمانی ابلاغی وزارت راه و شهرسازی را رعایت نماید.

۹-۱۲-۳ در مواردی که عملیات گودبرداری در مجاورت بزرگراه‌ها، خطوط راه آهن یا مراکز و تاسیسات دارای ارتعاش انجام می‌شود، باید اقدامات لازم برای جلوگیری از لغزش یا ریزش جدارها صورت گیرد.

۹-۱۲-۴ در موارد زیر باید دیواره‌های محل گودبرداری، همچنین دیوارها و ساختمان‌های مجاور، دقیقاً توسط شخص ذیصلاح مورد بررسی و بازدید قرار گرفته و در نقاطی که خطر ریزش، لغزش یا تغییر شکل‌های غیرمجاز به وجود آمده است، مهارها و وسایل ایمنی لازم از قبیل شمع و سپر نصب و یا مهارهای موجود تقویت گردند:

الف: قبل از پایدارسازی کامل، به صورت روزانه و بعد از پایدارسازی، حداقل هفته‌ای یک بار

ب: بعد از وقوع بارندگی، طوفان، سیل، زلزله و یخبندان

پ: بعد از هرگونه عملیات انفجاری

ت: بعد از ریزش ناگهانی

ث: بعد از وارد آمدن صدمات اساسی به مهارها

۹-۱۲-۵ برای جلوگیری از بروز خطرهایی نظیر پرتاب سنگ، سقوط افراد، حیوانات، مصالح ساختمانی و ماشین‌آلات، سرازیر شدن آب به داخل گود و نیز برخورد افراد و وسایل نقلیه با کارگران

مبحث دوازدهم

و وسایل و ماشین‌آلات حفاری و خاکبرداری، باید اطراف محل گودبرداری و خاکبرداری با رعایت مفاد بخش ۱۲-۵-۲ به نحو مناسب محصور و محافظت شود. در صورتی که گودبرداری و خاکبرداری در مجاورت معابر و فضاهای عمومی صورت گیرد، باید این حصار با رعایت مفاد بخش‌های ۱۲-۵-۲ و ۱۲-۵-۹ و در فاصله حداقل ۱/۵ متر از لبه گود احداث و با علائم هشدار دهنده که در شب و روز و از فاصله دور قابل رؤیت باشند مجهز گردد.

۱۲-۹-۲-۶ در گودبرداری‌هایی که عملیات اجرایی به علت محدودیت ابعاد آن با مشکل نور و تهویه هوا مواجه می‌گردد، لازم است نسبت به تأمین وسایل روشنایی و تهویه هوا اقدام لازم به عمل آید.

۱۲-۹-۲-۷ مواد حاصل از گودبرداری نباید به فاصله کمتر از ۱ متر از لبه گود ریخته شوند. همچنین این مواد نباید در پیاده‌روها و معابر عمومی به نحوی انباشته شوند که مانع عبور و مرور گردیده یا موجب بروز حادثه گردند.

۱۲-۹-۲-۸ محل استقرار ماشین‌آلات و وسایل مکانیکی از قبیل جرثقیل، بیل مکانیکی، لودر، کامیون یا انباشتن خاک‌های حاصل از گودبرداری و یا مصالح ساختمانی در مجاورت گود، باید توسط شخص ذیصلاح بررسی و حداقل فاصله مناسب تعیین گردد، این فاصله باید دقیقاً از لبه گود رعایت شود.

۱۲-۹-۲-۹ در گودهایی که عمق آنها بیش از ۱ متر می‌باشد، نباید کارگر در محل کار به تنهایی به کار گمارده شود.

۱۲-۹-۲-۱۰ در گودبرداری‌ها، عرض معابر و راههای شیب‌دار (رمپ) احداثی ویژه وسایل نقلیه نباید کمتر از ۴ متر باشد.

۱۲-۹-۲-۱۱ در محل گودبرداری‌های عمیق و وسیع، باید یک نفر نگهبان مسئولیت نظارت بر ورود و خروج کامیون‌ها و ماشین‌آلات سنگین را عهده‌دار باشد. برای آگاهی کارگران و سایر افراد، باید علائم هشدار دهنده در معبر و محل ورود و خروج کامیون‌ها و ماشین‌آلات مذکور نصب گردد.

## ۲-۵- دستورالعمل اجرایی گودبرداری‌های ساختمانی وزارت راه و شهرسازی

### دستورالعمل اجرایی گودبرداری‌های ساختمانی

وزارت راه و شهرسازی به استناد آیین‌نامه اجرایی ماده ۳۳ قانون نظام مهندسی و کنترل ساختمان مصوب ۱۳۸۳ هیات وزیران، دستورالعمل اجرایی گودبرداری‌های ساختمانی را به منظور انتظام روند انجام گودبرداری‌های ساختمانی و تعیین وظایف و مسئولیت‌های عوامل دست‌اندرکار، به شرح ذیل در سطح کشور ابلاغ می‌نماید.

#### فصل اول - کلیات

##### ماده ۱- هدف

این دستورالعمل به منظور تعیین مراحل کار و مسئولیت اشخاص مختلف دست‌اندرکار در گودبرداری‌های ساختمانی شامل صاحب‌کار، سازنده (مجری)، مهندسین ناظر و طراح، سازمان نظام مهندسی ساختمان استان، شهرداری‌ها یا سایر مراجع صدور پروانه و شرکت‌های خدمات فنی آزمایشگاهی ژئوتکنیک، با توجه به ضوابط مندرج در مباحث دوم، هفتم و دوازدهم مقررات ملی ساختمان تهیه شده است.

##### ماده ۲- دامنه کاربرد

دامنه کاربرد این دستورالعمل کلیه گودبرداری‌های ساختمانی در تمامی نقاط واقع در حوزه شمول قانون نظام مهندسی و کنترل ساختمان می‌باشد.

##### ماده ۳- تعاریف

اصطلاحات زیر در این دستورالعمل با این معانی به کار رفته است:

گودبرداری: گودبرداری به هر گونه حفاری و خاکبرداری در تراز پایین‌تر از سطح طبیعی زمین یا در تراز پایین‌تر از زیر بی ساختمان مجاور اطلاق می‌شود.

سازنده: سازنده (مجری) شخص حقیقی یا حقوقی دارای پروانه اشتغال به کار اجرایی ساختمان از وزارت راه و شهرسازی است که به عنوان پیمانکار کل، اجرای عملیات ساختمانی را بر عهده دارد.

صاحب‌کار: صاحب‌کار شخص حقیقی یا حقوقی مالک یا قائم مقام قانونی مالک کارگاه ساختمانی است که انجام عملیات گودبرداری را طبق قرارداد کتبی به سازنده واگذار می‌نماید. در صورتی که صاحب‌کار دارای پروانه اشتغال به کار اجرایی ساختمان باشد، می‌تواند خود به عنوان سازنده فعالیت نماید.



**طراح:** طراح یا محاسب سازه ساختمان شخص حقیقی شاغل به کار در دفتر مهندسی یا شخص حقوقی طراحی ساختمان است که بر اساس پروانه اشتغال به کار مهندسی معتبر در زمینه طراحی در رشته عمران از وزارت راه و شهرسازی، انجام طراحی و محاسبات ساختمان را در حدود صلاحیت و ظرفیت مندرج در پروانه اشتغال به کار مهندسی بر عهده دارد.

**ناظر:** ناظر شخص حقیقی یا حقوقی دارای پروانه اشتغال به کار معتبر در زمینه نظارت از وزارت راه و شهرسازی است که در حدود صلاحیت و ظرفیت مندرج در پروانه اشتغال به کار بر اجرای صحیح عملیات ساختمانی نظارت می‌کند.

**شرکت خدمات فنی آزمایشگاهی ژئوتکنیک:** شرکت خدمات فنی آزمایشگاهی ژئوتکنیک، شرکتی است که توانایی انجام مطالعات و همچنین طراحی‌های ذکر شده در این دستورالعمل را داشته و بر اساس دستورالعمل تشخیص صلاحیت وزارت راه و شهرسازی احراز صلاحیت شده باشد.

**سطح خطر گودبرداری:** سطح خطر گودبرداری‌ها با توجه به عمق گود، نوع خاک، وجود آب، وجود منبع ارتعاش در مجاورت گود و حساسیت ساختمان‌های مجاور آن به صورت گودبرداری با خطر معمولی، زیاد و بسیار زیاد تعیین می‌شود. ارزیابی سطح خطر گودبرداری بر اساس ضوابط مندرج در مبحث هفتم مقررات ملی ساختمان (پی و پی‌سازی) انجام خواهد شد.

**جلسه مشترک:** جلسه مشترک، جلسه‌ای است که در گودهای با خطر زیاد و بسیار زیاد پیش از انجام عملیات گودبرداری به منظور مرور و کنترل نقشه‌های اجرایی، توجیه و هماهنگی انجام عملیات و با حضور صاحب‌کار، ناظر، طراح، سازنده و نماینده فنی شهرداری در محل احداث ساختمان تشکیل خواهد شد.

**مسئول ایمنی کارگاه گودبرداری:** مسئول ایمنی کارگاه گودبرداری شخص حقیقی دارای حداقل پروانه اشتغال به کار کاردانی در رشته عمران یا معماری است که در گودهای با خطر زیاد و بسیار زیاد جهت مراقبت از رعایت ایمنی در کارگاه به کار گرفته می‌شود.

## **فصل دوم - وظایف و مسئولیت‌های اشخاص دست‌اندرکار پروژه‌های گودبرداری ساختمانی**

### **ماده ۴ - صاحب‌کار**

در پروژه‌های گودبرداری ساختمانی اهم مسئولیت‌های صاحب‌کار شامل موارد زیر می‌باشد:

۴-۱- صاحب‌کار موظف است مشخصات فنی املاک مجاور ملک خود را از شهرداری اخذ و در اختیار طراح پروژه قرار دهد.

۴-۲- صاحب‌کار موظف است در تمامی مراحل کار کلیه تجهیزات و منابع مالی را که برای تامین ایمنی گودبرداری توسط طراح، شرکت خدمات فنی آزمایشگاهی ژئوتکنیک یا ناظر ضروری تشخیص داده می‌شود در اختیار سازنده قرار دهد.

۴-۳- صاحب‌کار در صورت پیشنهاد و درخواست کتبی طراح موظف است برای انجام روشهایی از بایدارسازی گود که مستلزم خارج شدن از محدوده مالکیت می‌گردد (از قبیل تیلینگ و انکراژ) نسبت به مطلع نمودن کلیه همجوارهای ذینفع اقدام نماید.

### **ماده ۵ - طراح**

در پروژه‌های گودبرداری ساختمانی، اهم مسئولیت‌های طراح شامل موارد زیر است:



- ۵-۱- بررسی صحت اطلاعات املاک مجاور اخذ شده توسط صاحب‌کار از شهرداری
- ۵-۲- انجام ارزیابی اولیه خطر گود و تکمیل چک لیست ارزیابی خطر گودبرداری
- ۵-۳- ارائه گزارش طراحی و نقشه‌های اجرایی ایمنی گودبرداری و ارائه دستورالعمل‌های اجرایی
- ۵-۴- ارائه "گزارش بررسی وضعیت ساختمان‌های مجاور"، تحلیل اثرات ایجاد گود بر آنها و در صورت نیاز طراحی عملیات اجرایی محافظت از ساختمان‌های مجاور و یا ارائه روشهای مقاوم ساختن آنها در برابر اثرات ناشی از تخریب و گودبرداری مورد نظر، ارائه نقشه‌های اجرایی مربوطه و ارائه دستورالعمل‌های اجرایی

تبصره ۱- در گودهای با خطر زیاد یا بسیار زیاد طراح باید تهیه گزارش و نقشه‌های موضوع بندهای ۵-۳ و ۵-۴ و مسئولیت‌های طراحی را طی یک قرارداد کتبی به شرکت خدمات فنی آزمایشگاهی ژئوتکنیک دارای صلاحیت محول نماید.

تبصره ۲- در گودهای با سطح خطر معمولی طراح می‌تواند در صورت نیاز از نظرات مهندس متخصص ژئوتکنیک استفاده نماید.

- ۵-۵- تکمیل قسمت مربوط در فرم درخواست صدور مجوز شروع عملیات ساختمانی
- ۵-۶- حضور در جلسه مشترک در محل احداث ساختمان برای گودهای با خطر زیاد یا بسیار زیاد

#### ماده ۶- سازنده

در گودهای با خطر زیاد یا بسیار زیاد فقط باید از سازنده حقوقی استفاده شود. در پروژه‌های گودبرداری ساختمانی اهم مسئولیت‌های سازنده شامل موارد زیر می‌باشد:

- ۶-۱- تکمیل قسمت مربوط فرم درخواست صدور مجوز شروع عملیات ساختمانی
- ۶-۲- کنترل و بررسی گزارش طراحی، نقشه‌های اجرایی ایمنی گودبرداری و دستورالعمل‌های اجرایی تهیه شده توسط طراح از نظر مطابقت با یکدیگر و با وضعیت محلی و اصول فنی
- ۶-۳- کنترل "گزارش بررسی وضعیت ساختمان‌های مجاور" (تهیه شده توسط طراح)
- ۶-۴- نصب تابلوهای اعلام مشخصات گودبرداری و هشدارهای ایمنی یک هفته پیش از شروع عملیات گودبرداری
- ۶-۵- حضور در جلسه مشترک در محل احداث ساختمان برای گودهای با خطر زیاد یا بسیار زیاد
- ۶-۶- انتخاب جزئیات روش گودبرداری، استفاده از ماشین آلات مناسب، رعایت اصول ایمنی و پایش (مونیتورینگ) ساختمان‌های مجاور بر اساس نظر طراح یا شرکت خدمات فنی آزمایشگاهی ژئوتکنیک
- ۶-۷- به کارگیری مسئول ایمنی کارگاه گودبرداری در گودهای با خطر زیاد یا بسیار زیاد
- ۶-۸- سازنده موظف است با توجه به شرایط پروژه و خطرات احتمالی نسبت به اخذ پوشش بیمه‌ای همجواری‌ها و اشخاص ثالث در خصوص حوادث ناشی از گودبرداری، متناسب با خطر احتمالی اقدام نماید و هزینه اخذ بیمه نامه‌های مذکور باید در قرارداد اجرای ساختمان منظور گردد.
- ۶-۹- سازنده موظف به فراهم کردن شرایط لازم برای تخلیه ساختمان‌های مجاور با رعایت قوانین و مقررات و شرایط و قراردادهای موجود در صورت تشخیص ضرورت تخلیه اضطراری ناشی از عملیات گودبرداری توسط ناظر، شرکت خدمات فنی آزمایشگاهی ژئوتکنیک، شهرداری یا سازمان آتش نشانی می‌باشد.
- ۶-۱۰- سازنده موظف به انجام هرگونه همکاری و هماهنگی لازم جهت بازدید بازرسین نهادهای نظارتی شامل وزارت راه و شهرسازی، وزارت تعاون، کار و رفاه اجتماعی، شهرداری و سازمان نظام مهندسی ساختمان می‌باشد.
- ۶-۱۱- در گودهای با خطر بسیار زیاد و یا در صورت وجود ساختمان بسیار حساس در مجاورت گود استفاده از پیمانکار تخصصی گودبرداری ذیصلاح ضروری است.



تبصره ۳- در صورت معرفی شرکت‌های پیمانکار تخصصی تشخیص صلاحیت شده در زمینه اجرای گود از طرف وزارت راه و شهرسازی از این شرکت‌ها استفاده خواهد شد. در غیر این صورت می‌توان از پیمانکار تشخیص صلاحیت شده از معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور در رشته ساختمان با رتبه مناسب استفاده کرد.

تبصره ۴- حساسیت ساختمان مجاور گود بر اساس ضوابط می‌بایست هفتم مقررات ملی ساختمان تعیین می‌گردد.

#### ماده ۷- ناظر

اهم مسئولیت‌های ناظر در پروژه‌های گودبرداری ساختمانی شامل موارد زیر است:

۱-۷- تکمیل فرم درخواست صدور مجوز شروع عملیات ساختمانی

۲-۷- حضور در جلسه مشترک در محل احداث ساختمان برای گودهای با خطر زیاد یا بسیار زیاد

۳-۷- نظارت بر عملیات اجرای گودبرداری شامل تدابیر مقاوم‌سازی و رفع خطر ناشی از گودبرداری بر ساختمان‌ها و تأسیسات مجاور و ارائه گزارش‌های وضعیت گودبرداری به شهرداری به ازای هر مرحله گودبرداری یا حداکثر هر ۳ متر عمق گودبرداری

۴-۷- تهیه گزارش ارزیابی خطر گود در حین اجرا و ارائه آن همراه با گزارش وضعیت گودبرداری به شهرداری

۵-۷- در محل‌هایی که سازنده دارای صلاحیت موجود نباشد (صرفاً در خصوص گودهای با سطح خطر معمولی):

۱-۵-۷- کنترل و بررسی گزارش طراحی، نقشه‌های اجرایی ایمنی گودبرداری و دستورالعمل‌های اجرایی تهیه شده توسط طراح از نظر مطابقت با یکدیگر و با وضعیت محلی و اصول فنی

۲-۵-۷- کنترل "گزارش بررسی وضعیت ساختمان‌های مجاور" (تهیه شده توسط طراح)

#### ماده ۸- شرکت خدمات فنی آزمایشگاهی ژئوتکنیک

در مواردی که از خدمات شرکت خدمات فنی آزمایشگاهی ژئوتکنیک صاحب صلاحیت در گودبرداری استفاده می‌شود، اهم مسئولیت‌های این شرکت‌ها شامل موارد زیر است:

۱-۸- انجام بررسی‌های ژئوتکنیکی و ارزیابی مجدد خطر گود (قبل از صدور پروانه)

۲-۸- تهیه گزارش طراحی و نقشه‌های اجرایی ایمنی گودبرداری و ارائه دستورالعمل‌های اجرایی

تبصره ۵- در مواردی که سازه نگهدارنده و سازه اصلی با یکدیگر تداخل داشته و یا ادغام می‌گردند، طراح و شرکت خدمات فنی آزمایشگاهی ژئوتکنیک موظف به ایجاد هماهنگی‌های مورد نیاز در تهیه گزارشات و نقشه‌های مذکور می‌باشند.

۳-۸- تهیه گزارش بررسی وضعیت ایمنی تأسیسات و معابر مجاور و پیش‌بینی تمهیدات لازم برای تامین ایمنی یا هماهنگی طراح

۴-۸- انجام ارزیابی خطر گود در حین اجرا در صورت اعلام نیاز ناظر

#### ماده ۹- مرجع کنترل مضاعف طراحی‌ها

مرجع کنترل مضاعف طراحی‌ها سازمان نظام مهندسی ساختمان استان است. اهم مسئولیت‌های سازمان نظام مهندسی ساختمان استان در پروژه‌های گودبرداری ساختمانی شامل موارد زیر است:



۹-۱- کنترل گزارش طراحی، نقشه‌ها و دستورالعمل‌های اجرایی گودبرداری

۹-۲- کنترل گزارش بررسی وضعیت ساختمان‌های مجاور، طرح و نقشه‌های اجرایی محافظت و مقاوم‌سازی (ناشی از گودبرداری) ساختمان‌های مجاور

۹-۳- نظارت کلی بر حسن اجرای مراحل مختلف کار و مسئولیت‌های افراد دست‌اندرکار از قبیل طراح، سازنده، ناظر و شرکت خدمات فنی آزمایشگاهی ژئوتکنیک

تبصره ۶- مسئولیت‌های ذکر شده برای مرجع کنترل کننده رافع یا محدود کننده مسئولیت‌های حرفه‌ای صاحب کار و عوامل فنی استخدام شده توسط وی در انجام صحیح امور نمی‌باشند. به عنوان نمونه چنانچه در گزارش‌ها یا طراحی‌های تسلیم شده جهت صدور پروانه اشکالی وجود داشته باشد، حتی اگر این مدارک توسط عوامل مربوطه کنترل و تأیید شده باشند، مسئولیت‌های حرفه‌ای صاحب‌کار و عوامل فنی وی به صورت کامل به قوت خود باقی بوده و این افراد باید در قبال مراجع مربوطه و افراد ذینفع و یا زبان‌دیده پاسخگو باشند.

#### ماده ۱۰- شهرداری

اهم مسئولیت‌های شهرداری‌ها در پروژه‌های گودبرداری ساختمانی شامل موارد زیر است:

۱۰-۱- شهرداری‌ها مکلفند مشخصاتی از املاک مجاور را که در سامانه آرشو الکترونیک اسناد موجود است، در اختیار صاحب‌کار قرار دهد.

۱۰-۲- الزام صاحب‌کار و سازنده برای خرید بیمه مسئولیت و کیفیت در کلیه گودبرداری‌ها

۱۰-۳- انجام تمهیدات لازم در گودبرداری‌های رها شده به هر طریق لازم جهت رفع خطر و اخذ هزینه‌های مربوطه از صاحب‌کار

۱۰-۴- کنترل گزارش‌های گودبرداری تهیه شده توسط ناظر

۱۰-۵- در گودهای با خطر زیاد یا بسیار زیاد حضور نماینده فنی شهرداری در جلسه مشترک و تحویل و تأیید فرم درخواست صدور مجوز شروع عملیات ساختمانی

۱۰-۶- انجام بازرسی از گودبرداری‌های در حال انجام، کنترل نحوه انجام عملیات اجرایی گودبرداری و رعایت برنامه زمان‌بندی اعلام شده

۱۰-۷- با توجه به مفاد تبصره ۷ ماده ۱۰۰ قانون شهرداری‌ها، ماموران شهرداری مکلفند بر عملیات گودبرداری ساختمان‌ها نظارت نمایند و هرگاه از موارد تخلف به موقع جلوگیری نکنند، طبق مقررات قانونی به تخلف آنها رسیدگی شده و در صورتیکه عمل ارتكابی آنها واجد جنبه جزایی هم باشد از این جهت نیز قابل تعقیب خواهند بود.

۱۰-۸- مطابق تبصره ماده ۱۰ آیین نامه اجرایی ماده ۳۳ قانون نظام مهندسی و کنترل ساختمان شهرداری‌ها موظفند نام و مشخصات سازنده ذیصلاح معرفی شده توسط مالک و قرارداد منعقد شده با وی را، مگر در خصوص مالکان دارای پروانه اشتغال به کار اجرا، در پروانه ساختمان قید نمایند؛ در غیر این صورت کلیه مسئولیت‌های ذکر شده برای سازنده در این دستورالعمل بر عهده شهرداری خواهد بود.

تبصره ۷- در نقاط خارج از محدوده شهرها که مرجعی به غیر از شهرداری عهده دار صدور پروانه ساختمان است، مرجع صدور پروانه جایگزین شهرداری در این دستورالعمل بوده و کلیه وظایف و مسئولیت‌های ذکر شده برای شهرداری در این دستورالعمل، بر عهده مرجع صدور پروانه، مانند بخشدار، دهیار، فرمانداری‌ها، شرکت‌های عمران شهرهای جدید، بنیاد مسکن انقلاب اسلامی و ... خواهد بود.



#### ماده ۱۱- مسئول ایمنی کارگاه گودبرداری

در گودهای با خطر زیاد یا بسیار زیاد، از زمان شروع گودبرداری تا ایمن‌سازی دائم گود، حضور مستمر یک نفر آشنا به مسایل ایمنی گود و حداقل دارای پروانه اشتغال کاردانی (در رشته‌های عمران یا معماری) تحت عنوان مسئول ایمنی کارگاه گودبرداری، جهت مراقبت از رعایت ایمنی برای کارگاه و کارگران ضروری است. بررسی و تأیید قابلیت‌های فنی، تعیین وظایف و کنترل نحوه انجام وظایف این فرد توسط ناظر و استخدام وی توسط سازنده انجام می‌شود. شرح وظایف و مسئولیت‌های مسئول ایمنی کارگاه گودبرداری مطابق با ضوابط مندرج در مبحث دوازدهم مقررات ملی ساختمان (ایمنی و حفاظت کار در حین اجرا) می‌باشد.

تبصره ۸- حضور مسئول ایمنی در کارگاه صرفاً به منظور نظارت بر رعایت موارد ایمنی مندرج در مبحث دوازدهم مقررات ملی ساختمان در کارگاه بوده و به هیچ وجه رافع مسئولیت‌های سازنده، صاحب‌کار، ناظر، طراح، شرکت خدمات فنی آزمایشگاهی ژئوتکنیک و شهرداری در ایمن‌سازی گود و همجواری‌ها نمی‌باشد.

#### فصل سوم- فرم‌ها، گزارش‌ها و مدارک فنی

ماده ۱۲- برای انجام این دستورالعمل در مراحل مختلف کار، حسب مورد نیاز به نقشه‌ها، گزارش‌ها، فرم‌ها و چک‌لیست‌هایی است که در زیر فهرست شده‌اند. یک نسخه از اصل آخرین ویرایش معتبر و دارای مهر و امضای لازم مدارک زیر (به جز گزارش بازرسی گودبرداری، ماده ۱۶) همواره (تا ایمن‌سازی دائم گود) باید در کارگاه موجود بوده و برای کنترل بازرسی در دسترس ایشان قرار گیرد. مدارک فوق می‌بایست مطابق با ضوابط مبحث هفتم مقررات ملی ساختمان (پی و پی‌سازی) تهیه و در اختیار مراجع ذیصلاح قرار گیرند.

#### ماده ۱۳- چک‌لیست ارزیابی خطر گودبرداری

این فرم شامل اطلاعات لازم برای ارزیابی خطر گود در مراحل ارزیابی اولیه و ارزیابی در حین اجرا است که در مراحل مختلف و توسط طراح، شرکت خدمات فنی آزمایشگاهی ژئوتکنیک و یا ناظر تکمیل گردیده و به مرجع کنترل مضاعف طراحی و شهرداری یا مرجع صدور پروانه ارائه می‌شود.

#### ماده ۱۴- فرم درخواست صدور مجوز شروع عملیات ساختمانی

این فرم شامل اطلاعات عمومی و فنی پروژه، هشدارهای ایمنی گودبرداری و تعهدات سازنده و ناظر است که باید در کلیه ساختمان‌ها، پیش از شروع عملیات ساختمانی، توسط ناظر و سازنده تکمیل شده و جهت صدور مجوز عملیات ساختمانی به شهرداری ارائه شود.

#### ماده ۱۵- گزارش وضعیت گودبرداری

گزارشی است که در طول مدتی که از شروع عملیات گودبرداری تا زمان رفع دائم خطر گود ادامه می‌یابد، در مقاطع مشخص شده توسط ناظر تهیه و به شهرداری ارائه می‌شود.

#### ماده ۱۶- گزارش بازرسی گودبرداری

گزارشی است که حین اجرای عملیات گودبرداری توسط عوامل فنی شهرداری تاحیه تهیه می‌شود و شامل اطلاعاتی از فیل وضعیت گود و ایمنی آن و کنترل انجام عملیات مطابق نقشه‌ها، زمان‌بندی و اصول ایمنی می‌باشد که در صورت مشاهده تخلفات یا اشکالات عمده منجر به صدور اخطار لازم خواهد شد.



ماده ۱۷- نامه ابلاغ اخطار ایمنی

این نامه در صورت مشاهده هر گونه اشکال عمده یا تخلف در انجام عملیات گودبرداری از سوی شهرداری تهیه شده و در آن موارد اشکال مشاهده شده در جریان بازدید عوامل فنی، به ناظر پروژه ابلاغ می‌شود.

ماده ۱۸- گزارش طراحی و نقشه‌های اجرایی ایمنی گودبرداری

این مدارک بسته به سطح خطر گودبرداری توسط طراح یا شرکت خدمات فنی آزمایشگاهی ژئوتکنیک تهیه و همراه با مدارک دیگر جهت صدور پروانه به مرجع کنترل طراحی و شهرداری تحویل می‌شود.

ماده ۱۹- گزارش بررسی وضعیت ساختمان‌های مجاور و نقشه‌ها و مدارک طراحی اقدامات تأمین ایمنی آن‌ها

این مدارک بسته به سطح خطر گودبرداری توسط طراح یا شرکت خدمات فنی آزمایشگاهی ژئوتکنیک تهیه و همراه با مدارک دیگر جهت صدور پروانه به مرجع کنترل طراحی و شهرداری تحویل می‌شود.

ماده ۲۰- گزارش بررسی وضعیت ایمنی تأسیسات و معابر مجاور و مدارک طراحی اقدامات تأمین ایمنی آن‌ها

این مدارک تنها در گودهای با خطر زیاد یا بسیار زیاد ضروری است که توسط شرکت خدمات فنی آزمایشگاهی ژئوتکنیک تهیه و همراه با مدارک دیگر جهت صدور پروانه به شهرداری تحویل می‌شود.

فصل چهارم- ضوابط و مقررات

ماده ۲۱- ضوابط فنی لازم‌الاجرا در پروژه‌های گودبرداری ساختمانی

کلیه اشخاص دست‌اندرکار پروژه‌های گودبرداری برای انجام ارزیابی‌های گود، تهیه گزارش‌ها و نقشه‌های اجرایی گودبرداری و انجام عملیات گودبرداری ملزم به رعایت ضوابط مندرج در مبحث هفتم مقررات ملی ساختمان (پی و پی‌بازی) می‌باشند.

ماده ۲۲- ضوابط ایمنی و حفاظت کار در پروژه‌های گودبرداری ساختمانی

کلیه اشخاص دست‌اندرکار پروژه‌های گودبرداری ساختمانی در کلیه مراحل اجرای کار ملزم به رعایت ضوابط ایمنی و حفاظت کار مندرج در مبحث دوازدهم مقررات ملی ساختمان می‌باشند.

ماده ۲۳- این دستورالعمل دارای ۲۳ ماده و ۸ تبصره در تاریخ ۹۱/۱۱/۱۶ در نود و چهارمین جلسه شورای تدوین مقررات ملی ساختمان کشور به تصویب رسیده و از تاریخ ۹۲/۳/۱ در کل کشور لازم‌الاجرا است.

علی نیکزاد

وزیر راه و شهرسازی



## ۲-۶- فصل‌های سوم و پنجم از مبحث هفتم مقررات ملی ساختمان

گودبرداری و پایش

مبحث هفتم

### ۷-۳ گودبرداری و پایش

#### ۷-۳-۱ هدف

هدف این فصل ارائه حداقل الزامات موردنیاز در طراحی، اجرا، نظارت و پایش گودبرداری برای احداث پروژه‌های شهری می‌باشد.

#### ۷-۳-۲ تعاریف

۷-۳-۲-۱ گودبرداری‌ها به شرح زیر به دو گروه کلی: حفاظت‌نشده و حفاظت‌شده تقسیم می‌شوند:

گروه اول گودهایی هستند که در کلیه شرایط دوران عملکرد، پایداری و تغییرشکل مجاز در آن بدون هیچ‌گونه حفاظتی تأمین شده باشد.

گروه دوم گودهایی هستند که در کلیه شرایط دوران عملکرد، پایداری و تغییرشکل مجاز در آن با دو مکانیزم مختلف زیر تأمین شده باشد:

- با استفاده از بسیج نیروهای داخلی خاک و عناصر مسلح کننده خاک

- با استفاده از سازه نگهبان

۷-۳-۲-۲ گودها یا دائمی‌اند یا موقت. گود موقت گودی است که برای زمانی کوتاه تعریف‌شده طبق بند

۷-۳-۲-۲-۲ به منظور اجرای عملیات ساختمانی احداث می‌شود.

در طراحی گودهای موقت یا دائم، بارگذاری‌ها و جزئیات روش‌ها و مشخصات مصالح باید منطبق با شرایط پایدارسازی موقت یا دائم در نظر گرفته شود.

۷-۳-۲-۳ پایدارسازی موقت: نوعی پایدارسازی است که پایداری گود را در دوران احداث بنا تأمین می‌کند و برای آن نقشی در کاهش نیروهای رانش خاک بر سازه اصلی در شرایط بهره‌برداری در نظر گرفته نمی‌شود.

۷-۳-۲-۴ پایدارسازی موقت می‌تواند در هنگام طراحی به صورت کوتاه مدت (کمتر از یکسال پس از

اتمام یا توقف عملیات گودبرداری) یا بلندمدت در نظر گرفته شود. در پایدارسازی موقت بلندمدت باید

ملاحظات بارگذاری متناسب با زمان، شرایط دوام مصالح و جزئیات روش‌های مناسب منطبق با شرایط بلندمدت در نظر گرفته شود.

۳-۲-۳-۷ در پایدارسازی دائم باید الزامات بارگذاری لرزه‌ای، تأمین دوام مصالح و جزئیات روش‌های مناسب در نظر گرفته شود.

### ۳-۳-۷ ملاحظات کلی

۱-۳-۳-۷ الزامات و مبانی در طراحی و اجرای گودها در این مبحث برای گودبرداری‌های کمتر از ۲۰ متر است و اکیداً توصیه می‌شود از احداث گود با عمق بیشتر از ۲۰ متر احتراز شود. در صورت ضرورت احداث گودهای عمیق‌تر موارد زیر باید انجام پذیرد:

- ضرورت احداث توسط شورای عالی شهرسازی به تصویب برسد.
  - مقادیر مجاز تغییر شکل‌ها ۲۰٪ کاهش و ضرایب اطمینان پایداری و مقاومتی ۲۰٪ افزایش پیدا کنند.
  - تعداد گمانه‌ها نسبت به جدول ۱-۲-۷ پنجاه درصد افزایش پیدا کنند.
  - مطالعه جامع جریان‌های آب زیرزمینی در محدوده‌ای که شامل ساختگاه می‌شود، در طول دوران گودبرداری، ساخت و بهره برداری از ساختمان انجام پذیرد و گزارش آن ارائه گردد.
  - مطالعه اثرات زیست محیطی احداث این گودها انجام پذیرد.
  - مطالعه کامل بررسی اثر اندرکنش خاک و سازه در شرایط استاتیکی و دینامیکی انجام شود.
  - پایش گود با روش‌های پیشرفته و تجهیزات کامل در دوران ساخت انجام پذیرد و گزارش آن هر دو هفته یکبار ارائه شود.
- ۲-۳-۳-۷ بر اثر گودبرداری در خاک وضعیت تنش در آن تغییر می‌کند و ممکن است تغییر شکل‌ها و ناپایداری‌های زیر در آن به وجود آید:

- برآمدگی و تورم کف گود، که می‌تواند در شرایطی به جوشش و ناپایداری کف بینجامد.
  - تغییر مکان جانبی دیواره‌های گود یا ناپایداری دیواره‌ها
  - نشست زمین در نواحی مجاور گود
- تراز سطح آب زیرزمینی و تغییرات آن در هر سه مورد بالا می‌تواند تأثیرگذار باشد و باید کنترل شود.

۳-۳-۷ در بررسی ناپایداری گودبرداریه‌ها، انتخاب و طراحی سیستم‌های نگهدار آن‌ها، موارد زیر باید مدنظر قرار گیرند:

- نوع ساختار و بافت لایه‌های خاک
- پارامترهای مقاومت برشی خاک
- پارامترهای تغییرشکلی خاک
- عمق و عرض گودبرداری
- شرایط آب زیرزمینی و آب‌های سطحی
- وجود یا عدم وجود سازه در نواحی مجاور گود و نحوه ساخت و ساز آن‌ها
- وضعیت سربارهای موجود در کناره گود از قبیل ترافیک خیابان‌ها و غیره
- کوتاه‌مدت یا بلندمدت بودن دوران استفاده از گود

۳-۳-۷-۴ به منظور پایدارسازی دیواره گودها باید از روش‌های مناسب مانند موارد زیر استفاده کرد:

- الف- ایجاد شیب پایدار
- ب- میخ‌گذاری یا اجرای میل مهار
- پ- دیوارهای مهارشده با تیرک از جلو
- ت- دیوارهای مهارشده با میل مهار از پشت
- ث- استفاده از سیستم‌های نگهبان خربایی
- ج- استفاده از سیستم شمع‌ها و دیوارک‌های طره‌ای
- چ- استفاده از سیستم شمع‌های به هم پیوسته با یا بدون مهار
- ح- سایر روش‌ها

۳-۳-۷-۵ در گودبرداری‌ها باید گسیختگی‌ها و تغییرشکل‌های متداول به شرح زیر کنترل شود:

- الف- ناپایداری دیواره گود
- ب- نشست و تغییر مکان محیط اطراف و ساختمان‌های مجاور گود
- پ- ریزش
- ت- بالاردگی کف گود بر حسب مورد
- ث- جوشش ماسه از کف گود (در صورت بالا بودن سطح آب زیرزمینی در خاکهای ماسه ای) بر حسب مورد
- ج- مشکلات ناشی از لرزش حاصل از عملیات گودبرداری در سازه‌های اطراف گود

۶-۳-۳-۷ به منظور واگذاری طراحی، اجرا و نظارت گودبرداری و تفویض مسئولیت‌ها به مرجع ذیصلاح، ارزیابی خطر گودبرداری باید طبق الزامات بندهای ۱-۶-۳-۳-۷ تا ۱۱-۶-۳-۳-۷ صورت گیرد.

۱-۶-۳-۳-۷ جهت ارزیابی خطر گود قائم لازم است هر سه شرط تعیین شده برای هر دسته در جدول ۱-۳-۷ برقرار باشد. در صورتی که هر سه شرط مذکور به طور همزمان برقرار نباشد، خطر گود با توجه به شرطی که بحرانی است تعیین می‌شود. در صورت وجود اختلاف در ارزیابی خطر گود در وجوه مختلف آن، بحرانی‌ترین وجه به عنوان شاخص انتخاب می‌گردد.

عمق  $h_c$  از رابطه ۱-۳-۷ محاسبه می‌شود.

$$h_c = \frac{2c}{\gamma\sqrt{k_a}} - \frac{q}{\gamma} \quad (۱-۳-۷)$$

که در آن:

$h_c$  بر حسب متر، عمقی است که از نظر تئوری، به دلیل وجود چسبندگی در خاک، دیواره جدار گودبرداری می‌تواند بدون استفاده از سیستم نگهبان پایدار بماند که به آن عمق بحرانی گودبرداری گفته شده است،  $c$  چسبندگی خاک بر حسب کیلوپاسکال،  $\gamma$  وزن مخصوص خاک بر حسب کیلونیوتن بر مترمکعب،  $k_a$  ضریب فشار افقی زمین در حالت محرک و  $q$  تنش ناشی از سربار کناره گود بر حسب کیلوپاسکال می‌باشد. مقادیر منفی  $h_c$  معادل صفر در نظر گرفته شود.

۲-۶-۳-۳-۷ اگر فاصله ساختمان مجاور از لبه گود کمتر از عمق گود باشد، باید تنش حاصل از کل بار ساختمان ( $q$ ) در محاسبات پایداری گود در نظر گرفته شود.

۳-۶-۳-۳-۷ در صورت حضور آب یا رطوبت قابل توجه، به کاهش  $h_c$  با توجه به اثر آب بر خواص خاک در رابطه ۱-۳-۷ توجه شود.

جدول ۷-۳-۱ ارزیابی خطر گود با دیوار قائم

| مقدار $\frac{h}{h_c}$ | عمق گود از تراز صفر | عمق گود از زیر پی ساختمان موجود در محدوده ناپایداری دیواره گود | خطر گود    |
|-----------------------|---------------------|----------------------------------------------------------------|------------|
| کمتر از ۰/۵           | کمتر از ۴ متر       | صفر                                                            | معمولی     |
| بین ۰/۵ تا ۲          | بین ۴ تا ۱۰ متر     | بین صفر تا ۶ متر                                               | زیاد       |
| بیشتر از ۲            | بیشتر از ۱۰ متر     | بیشتر از ۶ متر                                                 | بسیار زیاد |

$h$  عمق گود مورد نظر است و  $h_c$  عمق بحرانی بر اساس رابطه ۷-۳-۱ به دست می‌آید.

۷-۳-۳-۶-۴ اگر تراوش آب در گود موجود باشد همواره خطر گود زیاد یا بسیار زیاد است.

۷-۳-۳-۶-۵ اگر خاکی که در آن گودبرداری انجام می‌شود دستی یا فاقد چسبندگی قابل اعتماد باشد، خطر گود با توجه به معیارهای دیگر زیاد یا بسیار زیاد است.

۷-۳-۳-۶-۶ چنانچه ساختمان موجود در حوزه تأثیر ناپایداری گود دارای یکی از مشخصات در بندهای زیر باشد، خطر گود همواره بسیار زیاد در نظر گرفته می‌شود.

الف- ساختمان فاقد انسجام و یکپارچگی کافی برای تحمل نشست‌های افقی و قائم نظیر ساختمان بدون اسکلت یا بدون پی پیوسته بتنی مسلح (پی‌های نواری و گسترده) یا هرگونه ساختمانی که در آن نشانه آشکار فرسودگی و ضعف در باربری مشاهده گردد.

ب- ساختمان با ارزش فرهنگی و تاریخی

ج- ساختمان با اهمیت بسیار زیاد در استاندارد ۲۸۰۰

د- ساختمان ۸ طبقه یا بیشتر

۷-۳-۳-۶-۷ در صورت وجود تأسیسات شهری عمده (مانند خطوط اصلی آب، گاز و مخابرات) در مجاورت گود، خطر گود زیاد یا بسیار زیاد ارزیابی می‌شود.

۷-۳-۳-۸ در صورتی که خطر گود مطابق با جدول ۷-۳-۱ معمولی باشد، مسئولیت طراحی گودبرداری بر عهده مهندس طراح ساختمان خواهد بود. البته توصیه می‌شود کارفرما در کنار مهندس طراح در پایدارسازی گود از یک مهندس ذیصلاح استفاده نماید.

۷-۳-۳-۶-۹ در صورتی که خطر گود مطابق با جدول ۷-۳-۱ زیاد باشد، مسئولیت طراحی گودبرداری باید بر عهده یک شرکت مهندسی ژئوتکنیک ذیصلاح واگذار شود. نظارت بر اجرای عملیات بر عهده ناظر ذیصلاح ژئوتکنیک است.

۷-۳-۳-۶-۱۰ در صورتی که خطر گود مطابق با جدول ۷-۳-۱ بسیار زیاد باشد، مسئولیت طراحی گودبرداری باید توسط یک شرکت مهندسی ژئوتکنیک ذیصلاح، عملیات پایدارسازی گود توسط پیمانکار ذیصلاح و نظارت بر اجرای عملیات توسط ناظر ذیصلاح ژئوتکنیک انجام گردد.

۷-۳-۳-۶-۱۱ حضور ناظر ژئوتکنیک در گودهای با خطر زیاد و بسیار زیاد در طول مدت اجرای عملیات گودبرداری و پایدارسازی گود به صورت تمام وقت و پیوسته در کارگاه ضروری است.

#### ۷-۳-۳-۷ تحلیل پایداری و تغییرشکل گود

۷-۳-۳-۷-۱ در صورت وجود بنا در حوزه تأثیر ناپایداری گود، طراحی‌ها باید با در نظر گرفتن تغییرشکل‌ها انجام پذیرد. در این موارد تنها تأمین پایداری جداره‌های گود کافی نیست. در این موارد تغییر مکان افقی و قائم مجاز باید با توجه به شرایط و ویژگی‌های ذکر شده مطابق بند ۷-۳-۵ تعیین شود.

۷-۳-۳-۷-۲ در خاک‌های بسیار سست، سیستم‌های نگهدارنده باید قبل از شروع عملیات گودبرداری احداث شوند. شمع‌ها و چاه‌های نگهدارنده بتنی در جداره بیرونی گود، دیواره‌های جداکننده، سپرهای فلزی (در صورت امکان استفاده) از این نوع سیستم‌ها هستند.

۷-۳-۳-۷-۳ در خاک‌های با پایداری نسبی خوب می‌توان سیستم‌های نگهدارنده را همراه با انجام گودبرداری، به صورت گام‌به‌گام، احداث نمود. در این حالت باید به تغییرشکل گود و تغییرشکل‌های القایی زیر پی ساختمان مجاور توجه ویژه داشت و چنانچه این تغییرشکل‌ها از مقادیر مجاز تجاوز کنند باید از روش ساخت سیستم‌های نگهدارنده قبل از شروع عملیات گودبرداری استفاده نمود.

۷-۳-۳-۷-۴ تحلیل پایداری با روش‌های تعادل حدی و بر اساس روش تنش مجاز انجام می‌گیرد. در این روش، حداقل ضرایب اطمینان به شرط موقت بودن گود (کمتر از یک سال) به شرح جدول ۷-۳-۳ می‌باشد. استفاده از روش ضرایب بار و مقاومت نیز مجاز است.

۷-۳-۳-۵ برای تحلیل پایداری گود لازم است بار مرده و زنده ساختمان‌ها و ابنیه مجاور به طور کامل در نظر گرفته شود.

۷-۳-۳-۶ برای تحلیل گود در شرایط موقت در نظر گرفتن بار زلزله الزامی نیست.

جدول ۷-۳-۳ حداقل ضریب اطمینان برای پایداری کلی گود موقت

| نوع                 | حداقل ضریب اطمینان پیشنهادی برای پایداری کلی |
|---------------------|----------------------------------------------|
|                     | موقت                                         |
| شیب‌های خاکبرداری   | ۱/۳                                          |
| پایداری کلی شیروانی | ۱/۳                                          |
| بالا آمدن کف گود    | ۱/۵                                          |

۷-۳-۳-۷ در صورتی که گود موقت نباشد باید نیروی زلزله لحاظ شود و در انتخاب ضریب اطمینان مناسب، دوام مصالح نیز مورد توجه قرار گیرد.

۷-۳-۳-۸ در صورت وجود ساختمان در حوزه تأثیر ناپایداری، ضرایب اطمینان در جدول ۷-۳-۳-۳ باید ۱/۵ در نظر گرفته شود.

۷-۳-۳-۹ باید توجه داشت که در بسیاری از خاک‌ها بر حسب شرایط نوع و بافت خاک و کانی‌های تشکیل‌دهنده آن، امکان کاهش ضریب اطمینان در طول زمان موجود است. در چنین شرایطی ضریب اطمینان باید متناسباً افزایش یابد.

#### ۷-۳-۴ تحلیل تغییر شکل گود و سازه‌های مجاور

۷-۳-۴-۱ تعیین تغییر شکل گود و سازه‌های مجاور آن باید از روابط معتبر یا مدل‌سازی‌های عددی صحت‌سنجی شده، به دست آید. باید از صحت پارامترهای ورودی به مدل‌سازی عددی نیز اطمینان حاصل کرد. تغییر شکل‌های افقی و قائم پیش‌بینی شده ابنیه مجاور گود باید در حد مجاز باشد. گودبرداری نباید بهره‌برداری از ساختمان مجاور گود را مختل کند.

۷-۳-۴ تغییر مکان‌های افقی و قائم ساختمان مجاور گود اعم از تغییر مکان یکنواخت یا غیر یکنواخت باید کمتر از حدود مجاز باشد.

### ۷-۳-۵ تغییر شکل‌های مجاز

حدود مجاز تغییر شکل‌ها و تغییر مکان‌های قائم و افقی در هر گودبرداری با توجه به شرایط تحت‌الارضی و نوع خاک محل گودبرداری و خاک زیر ساختمان‌های مجاور گود، نوع و پیوستگی پی، نوع سازه، اهمیت ساختمان، میزان انسجام و یکپارچگی ساختمان مجاور و نوع سیستم سازه‌ای آن توسط طراح ژئوتکنیکی تعیین می‌شود.

### ۷-۳-۶ زهکشی

چنانچه برای تأمین فضایی جهت انجام پروژه، عملیات گودبرداری در محیط آبدار نیاز به زهکشی داشته باشد باید به تغییر شکل‌های زمین اطراف گود زهکشی شده توجه ویژه مبذول گردد. استفاده از زهکشی به جای آب‌بندی ساختمان در دوران بهره‌برداری منوط به کنترل و بررسی تاثیر آن بر محیط ژئوتکنیکی پیرامون آن با رعایت ملاحظات زیست‌محیطی می‌باشد. در این صورت باید مطالعه کامل انجام پذیرد و اثرات زهکشی طولانی مدت به طور جامع بررسی و گزارش شود.

### ۷-۳-۷ پایش و کنترل

در گودهای با خطر زیاد و بسیار زیاد لازم است رفتار سازه‌های مجاور و دیواره گود مورد پایش دقیق قرار گیرد و نتایج آن به طور منظم تفسیر شود.

### ۷-۳-۷-۱ اهداف ابزارگذاری و پایش

پایش به منظور تأمین اهداف زیر انجام می‌گیرد:

- تأمین ایمنی گود در حین عملیات اجرایی و پس از گودبرداری
- ارزیابی پاسخ سازه‌های موجود به وضعیت جدید در حین و پس از گودبرداری
- کنترل روش و پارامترهای طراحی انتخاب شده و بازنگری آن در صورت نیاز

#### ۷-۳-۷ برنامه پایش

ابزارگذاری و پایش گودها و ساختمان‌های مجاور مستلزم برنامه‌ریزی دقیق و تخصصی است که شامل نوع، تعداد، محل نصب، فواصل اندازه‌گیری و دیگر مواردی است که باید توسط مهندس ذیصلاح انجام گیرد.

به طور معمول این ابزارها شامل نشست سنج، کشش سنج، انحراف سنج، سلول‌های بارگذاری، پیزومتر و غیره می‌باشند. در گودهای با خطر بسیار زیاد استفاده از پایش توسط حسگرهای مناسب علاوه بر عملیات نقشه‌برداری یا میکروژئودزی اجباری است.

بخشی از ابزار پایش باید قبل از شروع عملیات گودبرداری نصب و قرائت شوند به همین دلیل لازم است انتخاب مهندس ذیصلاح انجام‌دهنده این امر و تنظیم برنامه پایش قبل از شروع عملیات سامان یابد.

#### ۷-۳-۷-۴ مسئولیت طراحی، اجرا و نظارت پایش

طراح گودبرداری مسئولیت تهیه برنامه پایش را به عهده دارد. مسئولیت اجرای روزمره برنامه پایش شامل تأمین، نصب، قرائت، پردازش، اعلام خطر به عهده پیمانکار پایش می‌باشد. اطلاع‌رسانی به موقع به کلیه دست‌اندرکاران پروژه از وظایف پیمانکار پایش است. ناظر پروژه مسئولیت نظارت بر حسن اجرای انجام مراحل پایش را به عهده دارد. در گودهای با خطر معمولی در صورتی که شرایطی موجود باشد که انجام پایش را ضروری سازد، باید این عملیات انجام پذیرد.

## ۵-۷ سازه‌های نگهبان

### ۵-۷-۱: دامنه کاربرد و هدف

سازه‌های نگهبان به سازه‌هایی گفته می‌شود که برای نگهداری دائم یا موقت فشار جانبی خاک، مصالح مشابه یا آب به کار برده می‌شوند. این سازه‌ها شامل انواع سازه‌های نگهبان صلب و انعطاف‌پذیر هستند.

### ۵-۷-۲: انواع سازه‌های نگهبان

سازه‌های نگهبان از نظر عملکرد و طراحی به دو دسته صلب و انعطاف‌پذیر تقسیم می‌شوند:

الف: سازه‌های نگهبان صلب:

سازه‌هایی هستند که بر اثر فشار جانبی خاک، در آن‌ها حرکت صلب جابجایی یا چرخش اتفاق می‌افتد. دیوارهای حائل وزنی و پشت‌بنددار از انواع سازه‌های نگهبان صلب هستند.

ب: سازه‌های نگهبان انعطاف‌پذیر:

سازه‌های هستند که بر اثر فشار جانبی خاک دچار تغییرشکل می‌شوند. سپری‌ها اعم از پشت‌بنددار، مهارشده یا بدون مهار و پشت‌بند، انواع خاک مسلح، میخ‌کوبی، بلوک و مهار، شمع‌های فولادی یا بتنی پشت‌بنددار، مهارشده یا نشده، دیوار برلنی، شمع‌های فولادی با مهار متقابل، مهارشده از جلایا توسط خرابا و نظایر آن از انواع سازه‌های نگهبان انعطاف‌پذیر هستند که به آنها دیوارهای تثبیت‌شده مکانیکی نیز اطلاق می‌شود.

### ۵-۷-۳: پایداری انواع سازه‌های نگهبان

#### ۵-۷-۳-۱: حالت‌های حدی دیوارهای صلب وزنی

برای طراحی دیوارهای صلب باید حالت‌های حدی زیر کنترل شوند:

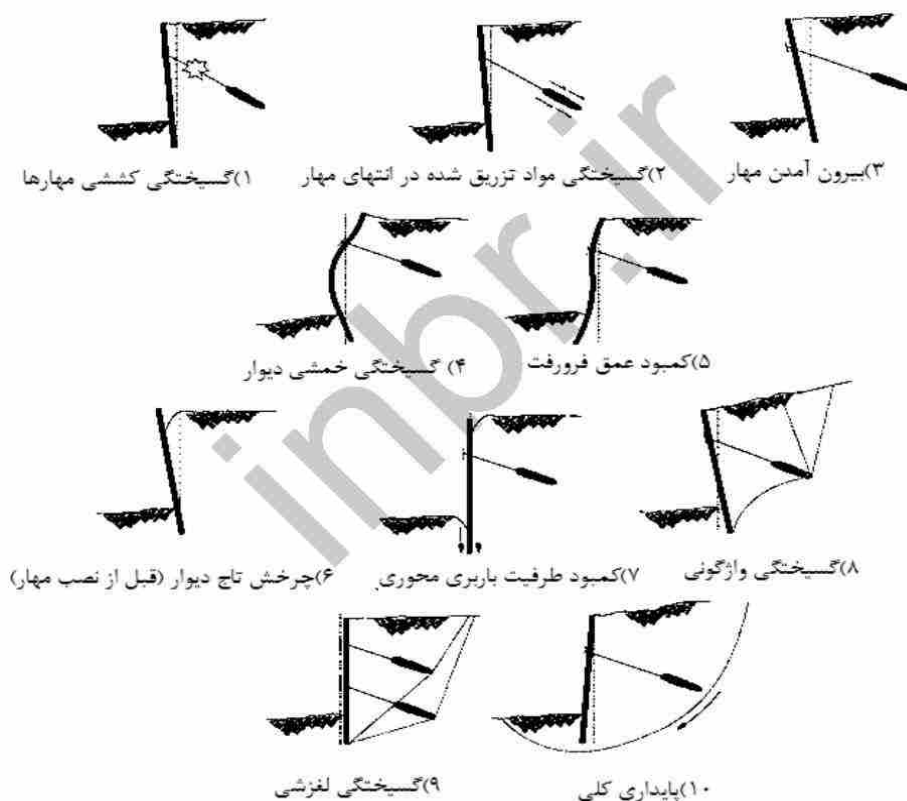
- مقابله با لغزش
- مقابله با واژگونی
- تأمین ظرفیت باربری پی زیر دیوار
- بررسی پایداری کلی دیوار

- کنترل سازه‌ای دیوار در برابر خمش و برش

- کنترل نشست پی زیر دیوار

۵-۳-۲: حالت‌های حدی دیوارهای انعطاف‌پذیر مهار شده

۵-۳-۱: برای طراحی دیوارهای مهارشده از پشت باید حالت‌های حدی شکل (۵-۱-۷) کنترل شود.



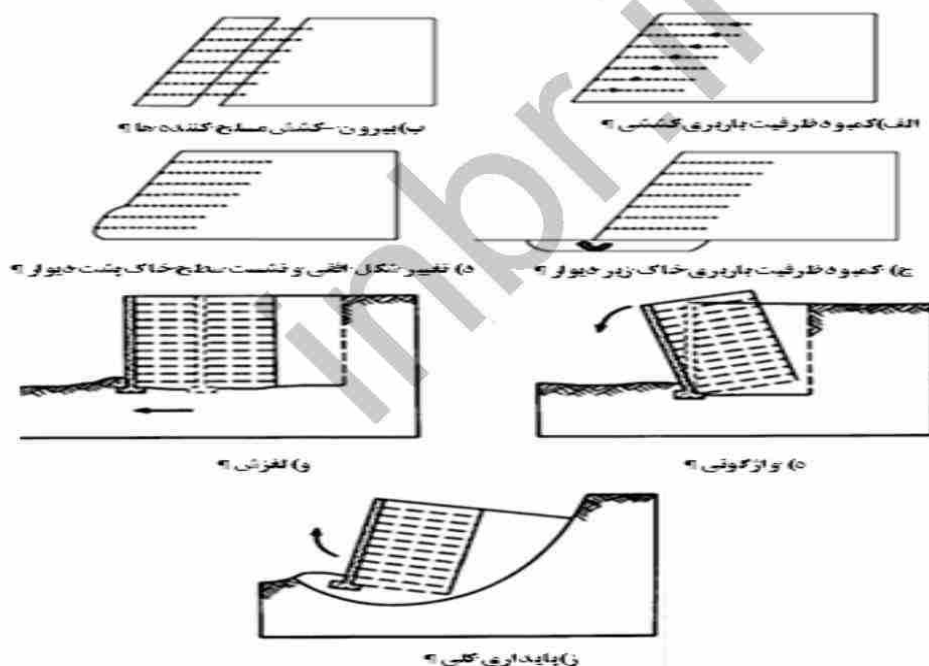
شکل شماره (۵-۳-۱): حالت‌های حدی دیوارهای مهارشده

۲-۲-۳-۵-۷: جهت تحلیل دیوارهای مهارشده باید تمام حالت‌های حدی ۴ تا ۱۰ نشان داده شده در شکل (۱-۵-۷) بدون در نظر گرفتن مهارها کنترل گردند.

۳-۲-۳-۵-۷: دیوار مهارشده از جلو می‌تواند با مهارهای مایل یا متقابل باشد. در دیوار با مهار متقابل یا مایل، حالت‌های حدی علاوه بر موارد فوق باید کمانش مهارها، بالآمدگی کف گود و جوشش ماسه در کف گود نیز بررسی شود.

۳-۳-۵-۷: حالت‌های حدی دیوارهای خاک مسلح

برای طراحی دیوارهای خاک مسلح باید حالت‌های حدی نشان داده در شکل (۲-۵-۷) کنترل شود.



شکل شماره (۲-۵-۷): حالت‌های حدی دیوارهای خاک مسلح

#### ۷-۵-۴ ملاحظات طراحی و ساخت

۷-۵-۴-۱ در ساخت و طراحی سازه‌های نگهبان، نکات زیر (در صورت کاربرد) باید مورد توجه قرار گیرند:

- تمهیدات و اثرات ساخت دیوار شامل:

- الزامات مربوط به نگهداری موقت خاک برجا
- تغییرات در تنش‌های برجای خاک و حرکت‌های ناشی از ساخت و نصب دیوار در زمین
- دست‌خوردگی زمین بر اثر شمع‌کوبی یا گمانه‌زنی
- الزامات مربوط به دسترسی‌ها برای عملیات ساخت
- الزامات مربوط به زهکشی خاک
- الزامات مربوط به زهکشی دیوار
- توجه به زهکشی سطحی در جلوی دیوار
- میزان آب‌بندی مورد نیاز برای دیوار تمام شده
- عملی بودن ساخت دیوار برای رسیدن به لایه‌ای با تراوایی اندک و تشکیل یک دیوار آب‌بند و ارزیابی تعادل جریان آب زیرزمینی که به این ترتیب حاصل می‌شود.
- عملی بودن ایجاد مهارهای پشت بند در زمین مجاور
- عملی بودن حفاری بین دیرک‌های دیوارهای نگهبان
- توان دیوار برای تحمل بارهای قائم
- انعطاف‌پذیری سازه‌ای دیوار برای جلوگیری از گسیختگی‌های ترد و واژگونی ناگهانی بدون تغییر شکل‌های مقدماتی
- ایجاد امکان دسترسی برای تعمیر و نگهداری دیوار و هرگونه زهکشی مرتبط با آن
- شکل ظاهری و دوام دیوار و مهارها
- طراحی مقطعی به قدر کافی سخت برای سپرکوبی‌ها به‌منظور رسیدن به عمق نفوذ پیش‌بینی شده بدون از دست رفتن اتصال سپرها به یکدیگر
- پایداری گمانه‌ها یا جداره ترانشه‌ها در حالت روباز

- توجه به نوع مصالح قابل دسترس و وسایل مورد نیاز برای کوبیدن خاکریزی‌های پشت دیوار و در مجاورت دیوار

۷-۴-۵-۲ در طراحی سازه‌های نگهبان، وضعیت طرح باید به شرح زیر مدنظر قرار گیرد:

- تغییرات در خواص خاک در طول زمان و با توجه به شرایط محل
  - تغییرات در سطوح آب و فشار آب حفره‌ای در طول زمان
  - تغییرات در بارگذاری‌ها و چگونگی ترکیب آن‌ها
  - حفاری، آب‌شستگی یا فرسایش در خاک جلوی سازه نگهبان و منظورکردن فعالیت‌های احتمالی انسانی که منجر به برداشتن خاک در جلوی سازه نگهبان می‌گردد.
  - خاکریزی در پشت سازه نگهبان
  - تأثیر سازه‌ها و سربارهای آبی (در صورت پیش‌بینی)
  - حرکات زمین بر اثر نشست و آماس
- ۷-۴-۵-۳ در مواردی که ایمنی و قابلیت بهره‌برداری طرح بستگی به عملکرد موفقیت‌آمیز زهکشی دارد، پیامد عدم کارایی آن باید با توجه به صدمات مالی و جانی و هزینه‌های تعمیرات، مورد بررسی قرار گیرد. در این موارد یک یا ترکیبی از اقدامات زیر باید به کار گرفته شود:
- الف- یک برنامه تعمیر و نگهداری برای شبکه زهکشی باید مشخص شده و در جریان طراحی تدابیر لازم برای دسترسی‌های لازم پیش‌بینی شود. در این رابطه ایجاد فیلتر مناسب زهکشی‌ها و تعمیر و نگهداری آن‌ها با استفاده از تزریق آب با فشار بالا می‌تواند کارساز باشد.

ب- با استفاده از تجربیات مشابه و ارزیابی آبی که ظاهر خواهد شد، نشان داده شود که شبکه زهکشی، بدون تعمیر و نگهداری، عملکرد مناسب کافی خواهد داشت. در این راستا مقادیر آب نشئی، فشارها و میزان مواد شیمیایی موجود در آبی که ظاهر می‌شود، باید بررسی شود.

۷-۴-۵-۴ مقادیر داده‌های هندسی مربوط به رژیم آب آزاد و رژیم آب زیرزمینی باید بر اساس داده‌های موجود در محل و برای شرایط هیدرولیکی و هیدروژئولوژیکی ساختگاه سازه نگهبان در مدت زمان عملکرد و بهره‌برداری در نظر گرفته شود.

۷-۵-۴-۵ در تعیین سطوح آب زیرزمینی باید به تأثیر تغییرات تراوایی بر روی رژیم این آب‌ها توجه داشت و احتمال وجود شرایط برعکس برای فشار آب را به دلیل وجود سفره آب بالا آمده یا چاه‌های آرتزین بررسی نمود.

#### ۷-۵-۵-۵ فشار خاک

#### ۷-۵-۵-۱ کلیات

در تعیین فشارهای جانبی طراحی، باید مقدار حرکت و کرنش قابل‌قبولی که ممکن است در سازه‌های نگهبان در حالت حادی مورد نظر پیش آید، در نظر گرفته شود.

در محاسبه مقادیر و جهت‌های فشارهای طراحی خاک، موارد زیر نیز باید مورد توجه قرار گیرند:

- سربار روی سطح زمین
- شیب زمین
- زاویه دیوار نسبت به خط قائم
- سفره‌های آب و نیروهای تراوش آب در زمین
- مقدار و جهت حرکت دیوار نسبت به خاک
- تعادل افقی و قائم برای کل سازه نگهبان
- مقاومت برشی و وزن مخصوص خاک
- زبری دیوار

#### ۷-۵-۵-۲ تعیین فشار خاک در حالات مختلف

#### ۷-۵-۵-۱-۲ فشار خاک در حالت سکون

این فشار در حالتی ایجاد می‌شود که دیوار نسبت به خاک پشت دیوار تقریباً هیچ حرکتی ندارد و خاک در این وضعیت در حالت تنش سکون قرار دارد. فشار در حالت سکون معمولاً در شرایطی که حداکثر حرکت جانبی دیوار نسبت به زمین کمتر از  $0.1 \times 10^{-6}$  برابر ارتفاع آن است، ایجاد می‌گردد.

#### ۷-۵-۲-۲ فشار محرک و مقاوم خاک

در شرایطی که حرکت دیوار نسبت به خاک بزرگتر یا مساوی مقادیر جدول ۷-۵-۱ باشد، میزان فشار وارده از خاک در حالت محرک یا مقاوم می‌باشد. با احتساب تغییر مکان دیوار معادل مقادیر زیر، برای محاسبه فشارهای فوق می‌توان از روابط رانکین یا کولمب استفاده نمود.

جدول ۷-۵-۱ تغییر شکل افقی ( $\Delta x$ ) مرتبط با فشار محرک و مقاوم خاک برای دیوار به ارتفاع  $H$

| نوع خاک             | $\Delta x / H$ |       |
|---------------------|----------------|-------|
|                     | محرک           | مقاوم |
| ماسه متراکم         | ۰/۰۰۱          | ۰/۰۱  |
| ماسه با تراکم متوسط | ۰/۰۰۲          | ۰/۰۲  |
| ماسه سست            | ۰/۰۰۴          | ۰/۰۴  |
| لای متراکم          | ۰/۰۰۲          | ۰/۰۲  |
| رس متراکم           | ۰/۰۱           | ۰/۰۵  |
| رس نرم              | ۰/۰۲           | ۰/۰۶  |

#### ۷-۵-۲-۳ فشار خاک در خاکریز متراکم شده

در مواردی که خاک پشت دیوار به صورت لایه‌لایه خاکریزی و متراکم می‌شود، فشار افزوده‌ای در خاک به وجود می‌آید. برای تعیین این فشار افزوده باید مراحل تراکم خاک در نظر گرفته شود و در محاسبه فشار خاک، اثر ناشی از وزن غلتک به حساب آورده شود.

#### ۷-۵-۲-۴ فشار حالت محرک و مقاوم در شرایط دینامیکی

۷-۵-۲-۴-۱ در صورت وجود زلزله، فشار جانبی خاک را می‌توان از روش‌های شبه‌استاتیکی مانند روابط مونیونا-اکابه محاسبه و این مقادیر در محاسبات پایداری و سازه‌ای دیوار منظور شود. همچنین نقطه اثر اضافه فشار دینامیکی را می‌توان بین ۰/۴۵ تا ۰/۶ ارتفاع دیوار از پای دیوار در نظر گرفت. هر چه صلبیت دیوار کمتر باشد مقادیر بزرگتری برای نقطه اثر اختیار می‌شود.

۷-۵-۲-۴-۲ در شرایط بارگذاری زلزله اضافه فشار مقاوم با اثر مساعد در پایداری دیوار، نادیده گرفته شود.

۷-۵-۲-۴-۳ فشار آب در شرایط زلزله باید بر اساس نوع خاک و میزان نفوذپذیری در محاسبات در نظر گرفته شود.

#### ۷-۵-۲-۵ تعیین فشار خاک در پشت دیوار

۷-۵-۲-۵-۱ در دیوارهایی که به دلایل انعطاف‌پذیری سازه‌ای<sup>\*</sup> لغزش افقی یا چرخش، می‌تواند به اندازه کافی تغییرشکل یا تغییر مکان افقی (طبق جدول ۷-۵-۱) اتفاق افتد، باید از فشار خاک در حالت محرک استفاده شود.

۷-۵-۲-۵-۲ در دیوارهایی که به دلایل انعطاف‌پذیری سازه‌ای<sup>\*</sup> لغزش افقی یا چرخش، تغییرشکل یا تغییر مکان افقی رخ داده اما به اندازه کافی جهت بسیج شدن نیروی محرک نباشد باید از فشار خاک در حالت سکون استفاده شود.

۷-۵-۲-۵-۳ در دیوارهای طره‌ای یا دیوارهای سپری بدون مهار یا مهارشده با یک میل‌مهار از پشت باید از فشار خاک در حالت محرک با توزیع مثلی استفاده شود. چنانچه مهارهای پشت زیاد باشد (دیوار پشت‌بنددار)، می‌توان توزیع فشار خاک را با تحلیل‌های عددی یا روش‌های تجربی به دست آورد.

۷-۵-۲-۵-۴ در دیوارهای سپری مهارشده با چند تیرک افقی یا مایل از جلو، باید از توزیع فشار دوزنقه‌ای یا مستطیلی استفاده شود.

۷-۵-۲-۵-۵ در دیوارهای زیرزمین که انتهای آن‌ها به سقف متصل هستند در شرایط بارگذاری استاتیکی باید از فشار خاک در حالت سکون استفاده شود.

۷-۵-۲-۵-۶ در دیوارهای زیرزمین که انتهای آن‌ها به سقف متصل هستند در شرایط بارگذاری لرزه‌ای باید از جدول ۷-۵-۲ استفاده شود. سختی یا نرمی خاک، با توجه به خصوصیات خاک، ارتفاع دیوار و ارتفاع ساختمان بر اساس قضاوت مهندسی انتخاب گردد.

جدول ۷-۵-۲ تعیین فشار دینامیکی خاک

| خاک پشت دیوار | روش محاسبه فشار جانبی خاک در هنگام زلزله                                                                     |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| متراکم یا سخت | فشار دینامیکی خاک با فرض حالت سکون و بکارگیری روابطی مانند وود                                               |
| متوسط و مست   | فشار دینامیکی خاک با فرض حالت محکم و بکارگیری روابطی مانند مونتونابه-اکابه یا فشار استاتیکی با فرض حالت سکون |

۷-۵-۲-۵-۵-۷ فشار جانبی خاک در هنگام زلزله، با دو مولفه در ترکیبات بارگذاری در نظر گرفته می‌شود.

فشار خاک در حالت استاتیکی + اضافه فشار خاک هنگام زلزله = فشار خاک در هنگام زلزله

۷-۵-۲-۵-۵-۸ طراح می‌تواند جهت تعیین فشار خاک ناشی از زلزله بر روی دیوار پروژه مورد نظر، از مدل‌سازی عددی توسط نرم افزارهای معتبر صحت‌سنجی شده استفاده نماید.

۷-۵-۲-۵-۵-۹ فشار خاک تحت شرایط خاص

فشار آب، فشار ریشه گیاهان، فشار ناشی از تورم خاک، فشار ناشی از یخبندان و فشار برکنش نیز در صورتی که وجود داشته باشد باید در نظر گرفته شود. همچنین چنانچه احتمال بروز ترک کششی وجود داشته باشد باید در محاسبه فشار مد نظر قرار گیرد.

۷-۵-۶ فشار آب

۷-۵-۶-۱ در تعیین فشار طراحی آب باید سطح آب آزاد یا سطح آب زیرزمینی در نظر گرفته شوند. در شرایطی که تراز آب آزاد یا زیرزمینی متغیر باشد بالاترین تراز ممکن در محاسبات فشار آب لحاظ شود.

۷-۵-۶-۲ برای سازه‌های نگهبان خاک با تراوایی متوسط یا پایین، نظیر سیلت‌ها و رس‌ها، در صورت وجود آب فشارهای آب باید با فرض آنکه تراز سفره آب زیرزمینی حداقل در سطح فوقانی لایه‌ای که

تراوایی آن کم است قرار دارد، تعیین شود، مگر آنکه یک شبکه زهکشی مطمئن نصب شده یا از نفوذ آب جلوگیری شده باشد.

۷-۶-۵-۳ در مواردی که تغییرات ناگهانی در سطح سفره آزاد آب ایجاد می‌شود، هم وضعیت ناپایا که بلافاصله پس از تغییر در سفره آب رخ می‌دهد، و هم وضعیت پایا باید بررسی شود.

۷-۶-۵-۴ در مواردی که هیچ‌گونه تمهیدات خاصی برای زهکشی یا جلوگیری از جریان آب پیش‌بینی نشده باشد، باید اثرات احتمالی ترک‌های کششی یا ترک‌های انقباضی پر شده از آب در نظر گرفته شوند. در این موارد، در خاک‌های چسبنده نگهداری‌شده، فشار کلی طراحی معمولاً نباید از فشار هیدروستاتیکی آبی که از سطح زمین شروع می‌شود کمتر در نظر گرفته شود.

#### ۷-۵-۷ روش‌های طراحی سازه‌های نگهبان

طراح می‌تواند هر یک از دو روش تنش مجاز یا روش ضرایب بار و مقاومت را انتخاب کند و جهت طراحی دیوار استفاده نماید.

#### ۷-۵-۷-۱ روش تنش مجاز

در کلیه دیوارها ترکیب بار و ضرایب بارگذاری باید منطبق با مبحث ششم مقررات ملی ساختمان باشد در ترکیبهای بارگذاری در شرایط استاتیکی با حضور وزن خاک،  $H$  همان فشار خاک استاتیکی است. در ترکیبهای بارگذاری، مجموع فشار استاتیکی و اضافه فشار دینامیکی خاک به عنوان فشار خاک ( $H$ ) در نظر گرفته می‌شود. در زیر حداقل ضرایب اطمینان برای انواع سازه‌های نگهبان در این روش ارائه شده است.

#### ۷-۵-۷-۱-۱ حداقل ضرایب اطمینان دیوارهای صلب

مقادیر حداقل ضریب اطمینان برای این گونه دیوارها در طراحی به روش تنش مجاز در جدول ۷-۵-۳ آمده است.

جدول ۷-۵-۳ حداقل ضرایب اطمینان دیوارهای وزنی در طراحی به روش تنش مجاز

| شرایط    | واژگونی | لغزش | ظرفیت<br>باربری پی<br>دیوار | پایداری کلی<br>(شیروانی) |
|----------|---------|------|-----------------------------|--------------------------|
| استاتیکی | ۱/۷۵    | ۱/۵  | ۳                           | ۱/۵                      |
| لرزه‌ای  | ۱/۲     | ۱/۲  | ۲                           | ۱/۳                      |

در این دیوارها برآیند بار قائم در تراز پی باید در ثلث میانی پی باشد یعنی حداکثر خروج از مرکزیت در تراز کف پی باید مقدار  $B/6$  باشد (هیچ قسمت از پی به کشش نیفتد) خروج از مرکزیت در سایر ترازها برای دیوارهای وزنی متشکل از قطعات وزنی ناپیوسته (نظیر بلوک بتنی) کافی است از  $0.25$  بیشتر نشود، یعنی اگر بخش کوچکی از پی به کشش بیفتد مجاز است. در صورتی که در پایداری در برابر لغزش نیروی مقاوم خاک جلوی دیوار لحاظ گردد باید از ضریب اطمینان ۲ استفاده شود.

#### ۷-۵-۷-۱-۲ حداقل ضرایب اطمینان دیوارهای انعطاف‌پذیر سپری

در بررسی پایداری دیوار سپری می‌توان ضرایب اطمینان زیر را استفاده کرد:

الف- واژگونی: ضرایب اطمینان مشابه جدول ۷-۵-۳ می‌باشد.

ب- لغزش افقی: ضریب اطمینان ۲ بر فشار جانبی مقاوم جلوی سپر اعمال می‌شود تا مقدار نیروی مقاوم جلوی سپر کاهش یابد. این مقدار ضریب اطمینان برای خاک‌های تحکیم‌یافته باید بزرگتر از ۲ باشد.

ج- افزایش عمق گیرداری سپر: در روش تنش مجاز، طول مورد نیاز نفوذ سپر در خاک، در ضریب  $1/5$  ضرب شود.

#### ۷-۵-۷-۱-۲-۱ ضریب اطمینان مهار

الف- در صورتی که دیوار سپری مهارشده باشد، جهت محاسبه باربری مجاز مهارهای تزریقی در سنگ و خاک به ترتیب از ضرایب اطمینان ۴ و ۳ استفاده شود. اگر میل مهار به شمع متصل باشد، ضریب اطمینان شمع به کار می‌رود و اگر به سپر متصل باشد، ضریب اطمینان مشابه سپرها انتخاب می‌گردد.

ب- طراحی تیرهای متقابل و مایل باید مطابق با مباحث نهم و دهم مقررات ملی ساختمان برای اجزای بتنی یا فولادی باشد.

۷-۵-۱-۲-۲ ضریب اطمینان در برابر بالا زدگی کف

بالا زدگی کف گود باید کنترل شود و ترجیحاً  $\frac{vH}{c} < 6$  باشد.

۷-۵-۱-۳ حداقل ضرایب اطمینان دیوارهای خاک مسلح

الف) ضریب اطمینان کلی دیوار

ضرایب اطمینان مرتبط با پایداری خارجی این دیوارها مشابه ضرایب اطمینان دیوارهای صلب (جدول ۳-۵) می‌باشد بجز ضریب اطمینان مربوط به ظرفیت باربری پی دیوار که برابر ۲ می‌باشد.

ب) ضریب اطمینان مسلح کننده

ضرایب اطمینان مصالح مسلح کننده به دو قسمت تقسیم می‌شود. یکی مربوط به تنش کششی مجاز مسلح کننده و دیگری در ارتباط با نیروی بیرون کشیدن مهار می‌باشد:

ب-۱ ضریب اطمینان مقاومت کششی مجاز مسلح کننده‌ها

برای فلزات از ضریب اطمینان  $1/5$  تا  $1/7$  (با توجه به خوردنگی محیط) استفاده می‌شود. برای ژئوسینتتیک‌ها می‌توان ضریب اطمینان را بر اساس ضرایب اطمینان جزئی به صورت زیر محاسبه کرد:

$$T_a = T_{ult} \left( \frac{1}{FS_{id} \times FS_{cr} \times FS_{cd} \times FS_{bd}} \right) \quad (1-5)$$

$FS_{id}$  = ضریب اطمینان احتمال آسیب دیدگی ناشی از نصب ( $1/1$  تا  $1/5$  با توجه به روش اجرا)

$FS_{cr}$  = ضریب اطمینان خزش ( $1$  تا  $3$ ) با توجه به نوع مصالح

$FS_{cd}$  = ضریب اطمینان خوردگی یا شیمیایی (حدود  $1$  تا  $1/5$  با توجه به محیط)

$FS_{bd}$  = ضریب اطمینان فساد بیولوژیکی (حدود  $1$  تا  $1/3$ )

$T_a$  = مقاومت کششی مجاز

$T_{ult}$  = مقاومت کششی نهایی

باید دقت کرد که ضریب اطمینان‌های فوق برای اعمال بر مقاومت تضمین شده کارخانه سازنده یا مقاومت اندازه گیری شده تعریف شده است.

در هر حال ضریب اطمینان مقاومت کششی مسلح کننده‌ها باید بین  $1/5$  تا  $2/5$  انتخاب شوند.

ب-۲) ضریب اطمینان بیرون کشیدن مهار مسلح کننده‌ها برابر  $1/5$  باشد.

ب-۳) ضریب اطمینان اتصال بین مهار و نمای خاک مسلح برابر  $1/5$  باشد.

#### ۴-۱-۷-۵-۷ کنترل تغییر شکل

الف- در طراحی سازه‌های نگهبان در روش تنش مجاز علاوه بر کنترل ضرایب اطمینان به شرح بالا باید تغییر شکل‌ها نیز کنترل شوند. در شرایط استاتیکی جهت محاسبه تغییر مکان ایجاد شده در سازه‌های نگهبان و خاکریز پشت دیوار و کنترل سایر شرایط بهره‌برداری (مانند لرزش‌ها و نظایر آن) باید تغییر مکان ایجاد شده محاسبه و سپس با توجه به تاسیسات و نوع سازه مورد استفاده، تغییر مکان به دست آمده از مقدار مجاز کمتر باشد.

ب) تغییر شکل‌های دیوار باید در شرایط لرزه‌ای نیز کنترل شود. در شرایط لرزه‌ای با استفاده از روش‌هایی مانند بلوک لغزان نیومارک یا مدل‌سازی عددی میتوان تغییر شکل‌های دیوار را محاسبه نمود.

#### ۲-۷-۵-۷ روش ضرایب بار و مقاومت

۱-۲-۷-۵-۷ در کلیه دیوارها، ترکیب بار و ضرایب بارگذاری باید منطبق با مبحث ششم مقررات ملی ساختمان باشد. ضرایب تقلیل مقاومت در انواع سازه‌های نگهبان در جدول ۵-۵-۷ تا ۸-۵-۷ آمده است.

۲-۲-۷-۵-۷ در ترکیب‌های بارگذاری در شرایط زلزله، فقط اضافه فشار خاک هنگام زلزله به عنوان بخشی از نیروهای زلزله (E) لحاظ می‌گردد. در این حالت ترکیب بارگذاری، فشار خاک در شرایط استاتیکی به عنوان بار مرده (D) محسوب می‌گردد.

۳-۲-۷-۵-۷ در ترکیب‌های بارگذاری در شرایط استاتیکی با حضور وزن خاک، کفایت فشار خاک در شرایط استاتیکی به عنوان فشار خاک (H) لحاظ گردد.

#### ۴-۲-۷-۵-۷ ضرایب کاهش مقاومت در دیوارهای صلب

در دیوارهای صلب جهت کاهش مقاومت از ضرایب جدول ۵-۵-۷ استفاده می‌شود.

جدول ۵-۵-۷ ضرایب مقاومت دیوارهای صلب

| تعریف مقاومت                        | ضرایب کاهش نیرو یا لنگر<br>مقاوم در شرایط لرزه‌ای | ضرایب کاهش نیرو یا لنگر<br>مقاوم در شرایط استاتیکی | کنترل‌ها     |
|-------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------|
| ممان یا نیروهای مقاوم در برابر لغزش | ۱/۱۵                                              | ۱                                                  | پایداری کلی  |
| ظرفیت باربری نهایی ( $q_u$ )        | ۰/۷۵                                              | ۰/۵                                                | ظرفیت باربری |
| لنگرهای مقاوم در برابر واژگونی      | ۱/۲۵                                              | ۰/۸۵                                               | واژگونی      |
| نیروهای مقاوم در برابر لغزش افقی    | ۱/۲۵                                              | ۱                                                  | لغزش         |

۵-۲-۷-۵-۷ ضرایب نیروی مقاوم در دیوارهای انعطاف پذیر

در دیوارهای انعطاف پذیر جهت نیروی مقاوم از ضرایب جدول ۶-۵-۷ استفاده می‌شود.

جدول ۶-۵-۷ ضرایب کاهش مقاومت دیوارهای انعطاف پذیر

| ضرایب مقاومت در شرایط<br>لرزه‌ای | ضرایب مقاومت در شرایط<br>استاتیکی | کنترل‌ها                   |
|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| ۱/۱۵                             | ۱                                 | پایداری کلی                |
| ۱/۲۵                             | ۰/۸۵                              | واژگونی                    |
| ۱/۲۵                             | ۱                                 | لغزش                       |
| ۰/۸۵                             | ۰/۷۵                              | دیوار مهاري یا المان مقاوم |
| ۰/۸                              | ۰/۸                               | مقاومت کششی                |
| ۰/۹ برای خاک و ۱ برای سنگ        | ۰/۶۵ برای خاک و ۰/۵ برای سنگ      | مقاومت در برابر بیرون کشش  |

۶-۲-۷-۵-۷ ضرایب کاهش نیروی مقاوم در خاکریزها و شیروانی‌ها

در ترانشه‌ها جهت کاهش نیروی مقاوم از ضرایب جدول ۷-۵-۷ استفاده می‌شود.

جدول ۷-۵-۷ ضرایب کاهش مقاومت شیروانی

| ضرایب کاهش مقاومت در شرایط لرزه‌ای | ضرایب کاهش مقاومت در شرایط استاتیکی | کنترل‌ها     |
|------------------------------------|-------------------------------------|--------------|
| ۱/۱۵                               | ۱                                   | پایداری کلی  |
| ۰/۷۵                               | ۰/۵                                 | ظرفیت باربری |
| ۰/۹۵                               | ۰/۹                                 | لغزش         |

#### ۷-۵-۷-۲ ضرایب کاهش نیروی مقاوم در دیوارهای خاک مسلح

در دیوارهای خاک مسلح جهت بررسی پایداری خارجی از ضرایب ارائه شده در جدول ۷-۵-۵ استفاده شود و جهت کاهش نیروی مقاوم در بررسی مسلح‌کننده‌ها از ضرایب جدول ۷-۵-۸ استفاده می‌شود.

جدول ۷-۵-۸ ضرایب کاهش مقاومت در پایداری داخلی دیوارهای خاک مسلح (مسلح‌کننده‌ها)

| نوع پایداری | کنترل‌ها                        | ضرایب کاهش مقاومت در شرایط استاتیکی | ضرایب کاهش مقاومت در شرایط لرزه‌ای |
|-------------|---------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| مسلح‌کننده  | مقاومت کششی تسمه فلزی           | ۰/۷۵                                | ۰/۹۵                               |
|             | مقاومت کششی مسلح‌کننده ژئوستتیک | ۰/۹                                 | ۱/۲                                |
|             | مقاومت بیرون کشیدن مسلح‌کننده   | ۰/۹                                 | ۰/۹۵                               |
|             | لغزش بین مسلح‌کننده و خاک       | ۰/۸                                 | ۰/۹۵                               |

#### ۷-۵-۸ مهاربندی

##### ۷-۵-۸-۱ کلیات

مهاربندی‌ها به عناصر سازه‌ای اطلاق می‌شوند که برای نگهداری سازه‌های نگهبان و انتقال نیروی کششی از آن‌ها به یک تشکیلات باربر خاکی یا سنگی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

مهاربندی‌ها شامل انواع زیر می‌باشند:

الف- سیستم‌های متشکل از یک سر مهاری، یک طول آزاد مهاری و یک طول ثابت مهاری که با عمل تزریق در زمین تثبیت می‌شوند.

در این مهارها می‌توان از رزین، سیمان یا بتن جهت تزریق استفاده کرد. در صورتی که از مهارهای رزین‌دار استفاده شود می‌توان ۲ ساعت پس از اجرا، آزمایش‌های مربوطه را انجام داد. همچنین تزریق بتن باید در مهارهای با قطر زیاد (بیشتر از ۲۵۰ میلی‌متر) انجام شود.

ب- سیستم‌های متشکل از یک سر مهاری، یک طول ثابت مهاری ولی طول آزاد مهاری ندارد. این سیستم به نام میخ مهاری معروف هستند.

پ- سیستم‌های متشکل از یک سر مهاری، یک طول آزاد مهاری و یک بلوک بتنی یا صفحه فولادی در انتهای مهار.

ت- سیستم‌های متشکل از یک مهار پیچ و یک کلاهک مهاربندی.

از مهاربندی‌ها می‌توان به عنوان عناصر موقتی یا دائمی سازه نگهبان استفاده کرد. مهاربندی‌هایی که بیشتر از دو سال مورد استفاده قرار می‌گیرند باید به عنوان مهاربندی‌های دائمی طراحی شوند.

#### ۷-۸-۲ طراحی مهارها

۷-۸-۲-۱ برای طراحی مهارها در حالات حدی نهایی سازوکار گسیختگی باید تحلیل و بررسی شود:

الف- شکست سازه‌ای مهار یا سر مهارها

ب- اعوجاج یا خوردگی سر مهار

پ- در مهارهای تزریق‌شده، گسیختگی در ناحیه بین خاک و مصالح تزریق شده

ت- در مهارهای تزریق‌شده، گسیختگی در ناحیه بین میله مهار و مصالح تزریق‌شده پیرامون آن

ث- در مهارهایی که با سیستم بار مرده کار می‌کنند، گسیختگی به جهت عدم مقاومت کافی بار مرده

ج- از دست دادن باربری مهار به جهت تغییر شکل زیاد، چرخش سر مهار یا خزش

۷-۸-۲-۲ مشخصات کابل‌های پیش‌تیدگی و میلگردهایی که برای مهاربندی به کار گرفته می‌شوند،

باید براساس آیین‌نامه‌های سازه‌ای مربوطه تعیین شوند. طول آزاد مهاربندی‌ها نباید کمتر از ۵ متر انتخاب گردد.

۳-۲-۸-۵-۷ در مهاربندی‌هایی که تمام یا قسمتی از آن‌ها در خارج از زمین ساختگاه قرار می‌گیرند باید به احتمال قطع آن‌ها در طول عمر سازه نگهبان توجه ویژه داشت و تمهیدات لازم برای چنین شرایطی را پیش‌بینی کرد.

۴-۲-۸-۵-۷ برای جلوگیری از خوردگی قسمت آزاد، سر مهاربندی‌ها باید آن قسمت با لاستیک‌های گریس‌دار و پوشش مناسب حفظ گردد و اطراف آن با مواد تزریق پر شود.

۵-۲-۸-۵-۷ طراحی اولیه مهارها باید بر اساس روش‌های تئوری انجام شود و طراحی نهایی بر اساس آزمایش‌های حین نصب صورت پذیرد.

#### ۳-۸-۵-۷ آزمایش مهارها

پس از نصب مهارها باید از رسیدن میزان باربری آن‌ها به حد موردنظر اطمینان حاصل شود. برخی از مهارها به میزان باربری موردنظر می‌رسند اما پس از مدتی باربری خود را از دست می‌دهند. لذا برای کنترل کارایی مهارها باید آزمایش‌های عملکرد، باربری و خزش بر روی آن‌ها انجام شود.

#### ۱-۳-۸-۵-۷ آزمایش باربری و خزش

باید مطابق با جدول ۹-۵-۷ آزمایش باربری مهارها در محل انجام شود.

جدول ۷-۵-۹ آزمایش باربری مهارها

| حالت | شرایط کارگاه و خاک                                                   | بار آزمایش     | حداقل تعداد آزمایش‌ها                                                                      |
|------|----------------------------------------------------------------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۱    | وجود تجربه در خاک و مهار مورد نظر در نزدیکی کارگاه وجود داشته باشد   | ۱۵۰٪ بار طراحی | ۵٪ از تعداد کل مهارها باید آزمایش شوند.                                                    |
| ۲    | تجربه در خاک و مهار مورد نظر وجود داشته باشد اما نه در نزدیکی کارگاه | ۱۵۰٪ بار طراحی | ۵٪ از تعداد کل مهارها باید آزمایش شوند. همچنین ۲ الی ۳ مهار تا ۲۰۰٪ بار طراحی آزمایش شود.  |
| ۳    | تجربه در خاک و مهار مورد نظر وجود نداشته باشد                        | ۱۵۰٪ بار طراحی | ۱۰٪ از تعداد کل مهارها باید آزمایش شوند. همچنین ۲ الی ۳ مهار تا ۲۵۰٪ بار طراحی آزمایش شود. |

در انتهای کلیه آزمایش‌های فوق آزمایش خزش انجام گیرد.

اگر در آزمایش‌های فوق، مهاری زیر ۲۰۰٪ بار طراحی گسیخته شود باید طراحی مجدداً انجام شود. در صورتی که مهارها به صورت موقت استفاده شوند می‌توان به جای ۱۵۰٪ در ۱۲۵٪ بار طراحی آزمایش‌ها انجام شود.

آزمون‌های فوق باید با بارگذاری - باربرداری جهت تعیین عملکرد مهارها انجام شود. هر پله بارگذاری و باربرداری حداقل ۲۵٪ بار طراحی باشد.

آزمایش خزش باید مطابق با جدول ۷-۵-۱۰ انجام شود.

جدول ۷-۵-۱۰ آزمایش خزش مهارها

| خاک  | مقدار بار         | مدت نگهداری بار<br>حداکثر در آزمایش<br>خزش | نرخ قابل قبول                                                           |
|------|-------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| ماسه | ۱۵۰٪<br>بار طراحی | ۱ الی ۲ ساعت                               | در نمودار تغییر مکان -<br>لگاریتم زمان باید خزش<br>در بازه‌های ۲۰ دقیقه |
| رس   | ۱۵۰٪<br>بار طراحی | ۲۴ ساعت                                    | کمتر از ۲ میلی‌متر باشد.                                                |

در صورتی که مهارها به صورت موقت استفاده شوند آزمایش‌ها می‌تواند به جای ۱۵۰٪ در ۱۲۵٪ بار طراحی انجام شود.

#### ۷-۵-۹ خاکریز پشت دیوار

بهترین نوع مصالح برای خاکریزی، خاک‌های GW، GP، SW و SP می‌باشند. در صورتی می‌توان از خاک‌های GM، GC، SM و SC استفاده کرد که بتوان از سیستم‌های زهکشی مناسب استفاده و خاک را همواره در شرایط غیراشباع و رطوبت کم نگه داشت. انواع دیگر خاک‌ها جهت استفاده به عنوان خاکریز مناسب نمی‌باشند، مگر آنکه تمهیدات لازم با نظر مشاور ذیصلاح (مانند روش‌های تثبیت با آهک، سیمان و غیره و تامین زهکشی) دیده شده باشد.

#### ۷-۵-۱۰ زهکشی و آب‌بندی دیوارها

۷-۵-۱۰-۱ اگر دیوار برای فشار هیدرواستاتیکی آب و یخ طراحی نشده است ضروری است از سیستم زهکش و فیلتر مناسب در پشت دیوار استفاده شود. ۷-۵-۱۰-۲ دیوارهای زیرزمین باید به صورت آب‌بندی شده طراحی شوند و فشار احتمالی آب در طراحی لحاظ شود.

## فصل سوم

### ارزیابی‌های اولیه گودبردای

#### ۱-۳- مقدمه

بر اثر گودبرداری در زمین، وضعیت تنش در آن تغییر می‌کند و لازم است که تغییر شکل‌ها و ناپایداری‌های ناشی از گودبرداری از جمله برآمدگی و تورم کف گود و نشست زمین در نواحی مجاور گود بررسی شوند. به‌طور کلی، در گودبرداری‌ها باید مشکلات متداول زیر حتماً کنترل شوند: لغزش خاک، نشست، تورم خاک، تغییر مکان ساختمان‌های مجاور، ریزش، بالازدگی کف گود، جوشش و مشکلات ناشی از لرزش در حین گودبرداری در سازه‌های اطراف. به‌طور کلی، از دو دیدگاه می‌توان مسئله گودبرداری را بررسی کرد: از لحاظ گسیختگی گود (معیار پایداری)<sup>۱</sup> و دیگری از لحاظ نشست زمین اطراف گود (معیار تغییر شکل<sup>۲</sup>). اگر حفاری خارج از مناطق شهری صورت بگیرد، عمدتاً دیدگاه دوم مطرح نیست و پایداری گود در حین حفاری و تأمین امنیت جانی کارگران مهم و مطرح است. اما در مورد گودبرداری‌های مناطق شهری و با تراکم بالا، توجه به هر دو مساله ضروری و مهم است.

در ایران معمولاً به‌علت بالا بودن نسبی مقاومت خاک و پایین بودن سطح آب زیر زمینی، گودبرداری‌ها عموماً با زاویه قائم انجام می‌شوند و برای محافظت از ساختمان کنار گود از دیرک‌های مایل استفاده می‌کنند که یک سر آن متکی به ساختمان مجاور است و سر دیگر آن در کف گود قرار می‌گیرد. اتصال آن‌ها هم به وسیله گچ بوده که کاملاً غیر اصولی محسوب می‌شود. در این حالت توده خاک در دیواره گود بدون محافظ رها می‌شود؛ که بسیار خطرناک است. به‌طور کلی، اگر گودبرداری فاصله زیادی از ساختمان مجاور داشته باشد، اثری بر هم ندارند. اما زمانی که گودبرداری در نزدیکی ابنیه موجود اجرا شود، حفاظت از ابنیه مجاور گود به مساله اصلی طراحی تبدیل خواهد شد.

1- Stability

2- Displacement

نکته مهمی که باید به آن توجه ویژه‌ای داشت این است حتی آیین‌نامه‌های معتبر بین‌المللی هم نمی‌توانند راهکاری صد درصدی باشند، چرا که شرایط بستر و ساختگاه‌های هر منطقه باهم تفاوت‌های چشمگیری دارد. به عنوان مثال، آیین‌نامه آمریکا بر اساس ساختگاه و موقعیت‌های ویژه آن کشور تدوین شده است و تبعیت کورکورانه از آن برای سایر مناطق کاملاً اشتباه است، هر چند که اهمیت کاربردی آن‌ها به هیچ وجه قابل کتمان نیست. در کشور ما، شهرهای مختلف دارای شرایط خاص خود هستند و نمی‌توان به صورت قطعی برای تمامی نواحی برنامه‌ریزی مشترکی داشت. برای مثال در شهر شیراز، خاک وضعیت بسیار ناپایداری دارد و حتی با ۳۰ سانتی متر گودبرداری در برخی مناطق آن احتمال ریزش دیواره گود وجود دارد و باید حتماً تمهیدات لازم را در این زمینه اندیشید. در حالی که خاک شهری همانند کرمانشاه از وضعیت بسیار مطلوب‌تری برخوردار است و بنا بر شرایط شیمیایی خاک، می‌توان تا چندین متر هم بدون محافظ گودبرداری انجام گیرد (مطالعه موردی پروژه گودبرداری خیابان مدرس شهر کرمانشاه). همین موضوع ضرورت اهمیت به ساختگاه منطقه را به خوبی روشن می‌کند و نشان می‌دهد که همان شرایطی که برای یک شهر حکم‌فرما است، الزاماً برای منطقه دیگر صادق نیست.

به طور کلی، پیش‌بینی پتانسیل آسیب دیدگی و یا ایجاد خسارات ناشی از اجرای گودبرداری دشوار است. بر همین اساس است که انجام مطالعات در خصوص بهبود روش‌ها و نیز بررسی پیش‌بینی خسارات احتمالی برای تحلیل بهینه سیستم‌های مهاري گودها امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است.

مشکل اصلی در گودبرداری مجاور ساختمان همسایه، تغییر شکل ساختمان همسایه در اثر گودبرداری است. طراحی گود و روش حفاظت از آن، باید افزون بر کنترل گسیختگی‌ها، بر اساس محدودیت تغییر شکل مجاز ساختمان همسایه صورت گیرد. البته گودبرداری سبب کاهش ظرفیت باربری زمین برای پی همسایه می‌شود، اما اغلب کنترل تغییر شکل‌ها بحرانی‌تر کنترل ظرفیت باربری است. بر همین اساس، تخمین سختی خاک ( $E$ ) در گودبرداری مجاور ساختمان همسایه بیش از مقاومت برشی خاک ( $C$  و  $\phi$ ) اهمیت دارد. در ضمن باید توجه کنید که زمین زیر ساختمان همسایه، اغلب به دلیل نفوذ فاضلاب به مرور زمان سست شده و بسیار ضعیف‌تر از خاک وسط گود است.

گودبرداری در مجاور یک ساختمان باعث تغییر مکان قائم یا نشست ساختمان و همچنین حرکت افقی پی‌ها به طرف گود می‌شود. ایجاد کرنش افقی در اثر گودبرداری، به معنی فاصله گرفتن دو پی از هم یا به بیان بهتر به معنی تغییر فاصله اولیه دو پی بوده که بسیار مخرب است. اگر پی ستون مجاور گود به طرف گود حرکت افقی داشته باشد،

ولی پی ستون دیگر حرکتی نداشته باشد، حتی در حالتی که نشست قائم نداریم، احتمال خرابی بسیار زیاد است. پی گسترده می‌تواند کرنش‌های افقی را تا حد زیادی حذف کند. شناژ (کلاف) بین پی‌های منفرد نیز در کاهش کرنش افقی مؤثر است.

### **۳-۲- ارزیابی‌های اولیه**

قبل از هر کاری باید حتماً بررسی‌های مکانیک خاک و آزمون‌های لازم برای آن انجام گیرد، تا تحلیل و طراحی‌های مربوطه بر اساس اطلاعات دقیق و گزارش‌های ژئوتکنیکی انجام شود. در نقشه‌های اجرایی، نحوه گودبرداری، حفاظت از گود و یا سازه‌های نگهبان باید به‌خوبی و روشنی مشخص باشند و زمان‌بندی مشخص شده در هر محله نیز باید به‌دقت اجرا شود.

### **۳-۲-۱- بازرسی**

گود، محل‌های اطراف آن و سیستم‌های حفاظتی باید هر روز توسط افراد مجرب و آگاه بررسی و بازرسی شود. همچنین ضروری است که پس از هر بارندگی یا سایر موارد مشابه، بازرسی به‌دقت انجام گیرد. نکته قابل توجه آن است که حتماً باید تأسیسات، خطوط لوله، معابر و سیستم‌های فاضلاب به‌خوبی بررسی و ارزیابی شوند و از ایمنی آن‌ها در حین کار نیز اطمینان حاصل گردد.

### **۳-۲-۲- نشانه‌های خطرناک بودن گود**

عملیات گودبرداری از جنبه‌های مختلفی می‌تواند خطرناک باشد. مهم‌ترین عوامل حادثه‌ساز در ارتباط با گودبرداری و تخریب عبارتند از:

- نامناسب بودن فونداسیون
- وجود قنات‌های قدیمی
- ریزش دیواره‌های جانبی ساختمان همسایه هنگام تخریب بافت‌های فرسوده
- ریزش چاه‌های قدیمی
- برداشتن دیوارهای باربر

- ریزش باران
- فرسودگی ساختمان و عدم تحمل باربری کافی
- وجود دیوارهای مشترک
- گودبرداری‌های غیر اصولی و غیر فنی
- نشت آب از سیستم آب‌رسانی شهری و فاضلاب و یا ترکیدن لوله‌ها
- عدم تعبیه سازه نگهبان مناسب در زمان گودبرداری

### ۳-۳- اقدامات، مطالعات و بررسی‌های لازم پیش از عملیات گودبرداری

پیش از آغاز عملیات حفاری و گودبرداری باید عوامل زیر را در نظر گرفت:

- اخذ مجوزهای لازم از ادارات و سازمان‌های مربوطه، همانند شهرداری‌ها، شرکت گاز، آب و برق
- اعلام مراتب اجرای کار به نزدیک‌ترین ایستگاه آتشنشانی و ایمنی
- انجام مطالعات ژئوتکنیکی کافی و لازم
- بررسی و مطالعات تأسیسات زیر زمینی احتمالی در محل
- بررسی و مطالعات چاه‌های آب و فاضلاب در محل
- بررسی ساختمان‌های مجاور گود
- آماده‌سازی کلیه تجهیزات و دستگاه‌های مورد نیاز برای عملیات گودبرداری
- آموزش نیروهای انسانی و به کار گیری افراد معجب
- برنامه‌ریزی و زمان‌بندی کارهای اجرایی متناسب با شرایط کار و اوضاع جوی فصل
- نصب موانع حفاظتی در محل‌هایی که احتمال سقوط وجود دارد
- تأمین روشنایی کافی در محل گود
- نصب علائم خطر و هشدار در محل گود
- تهویه گازها و گرد و غبارِ دورن چاه‌ها با وسایل و تجهیزات کافی
- نصب وسایل بالابرِ مورد نیاز

- اجتناب از احداث محل‌های استراحت کارگران و دفاتر کارگاه در پای گود
- مطالعه نقشه‌های ساختمان‌های مجاور گود
- بررسی وجود باغچه در مجاورت گود
- بیمه اموال، ساختمان و کارکنان و کارگران
- عدم تخلیه مصالح و نخاله‌ها در لبه‌های گود
- انتخاب مجری و ناظر
- پایش سازه مجاور گود حین، پیش و پس از گودبرداری
- اقدامات لازم برای جلوگیری از ورود آب به دورن گود

### ۳-۴- نکات کلی نوع سازه نگهبان

الف) برخی از دیواره‌های نگهبان، همانند دیوارها وزنی پس از گودبرداری احداث شده و سپس، پشت آن‌ها خاکریزی می‌شود. زمین در این روش پیش از احداث دیوار، تغییر شکل زیادی می‌دهد. بنابراین، این نوع دیوارها در گودبرداری مجاور ساختمان همسایه کاربرد چندانی ندارد، مگر آنکه خاک خیلی محکم و منظور طراح این باشد که دیوار نه در زمان گودبرداری، بلکه فقط در زمان بهره‌برداری به عنوان نگهبان خاک عمل کند.

ب) اگر ساختمان مجاور گود نسبت به نشست بر اثر گودبرداری حساس باشد، به این معنی است که باید گودبرداری با ساخت دیوارهایی قبل از خاکبرداری و تعدادی میل‌مهار در هنگام گودبرداری اجرا شود. به جای استفاده از میل‌مهار در پشت دیوارها، می‌توان از تیرک‌های افقی یا مایل در جلو دیوار استفاده کرد. اگر دیوار خیلی نازک باشد، باید تعداد زیادتری میل‌مهار، تیرک مایل یا مورب به کار گرفته شود.

ج) میل‌مهارها یا تیرک‌های مورد استفاده در نگهداری دیواره گود باید پیش از تغییر شکل زیاد، نیروی لازم را بر دیواره اعمال کنند. در غیر این صورت، نیروهای آن‌ها وقتی بسیج می‌شود که گود و ساختمان مجاور آن تغییر شکل زیادی داده است.

## فصل چهارم

### روش‌های گودبردای و انواع سازه‌های نگهبان

#### ۴-۱- مقدمه

عملیات گودبرداری از جنبه‌های گوناگونی می‌تواند خطرناک و دردسر آفرین باشد. بر همین اساس، باید حتماً تمهیدات لازم برای فراهم کردن شرایط ایمن برای پروژه‌ها اندیشیده شود. روش‌های متعدد و متنوعی برای اجرای گودبرداری و سیستم‌های پایدارسازی جانبی وجود دارد. برای دستیابی به مناسب‌ترین طراحی، باید ترکیبی از عوامل مختلفی شامل شرایط زمین‌شناسی، زیست‌محیطی، دوره‌ی زمانی اجرا، شرایط مالی و تجهیزات در دسترس را در نظر گرفت و متناسب با این عوامل یک طرح کلی در نظر گرفته شده و پیشنهاد گردد. روش‌های گودبرداری به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند؛ گودبرداری با دیواره مهار نشده و گودبرداری با دیواره مهار شده. در حالت اول، صرفاً از پارامترهای مقاومت برشی خاک برای پایدار ماندن در حین حفاری و پس از عملیات گودبرداری استفاده می‌شود. در حالی که برای گودبرداری با دیواره مهار شده، تنها به مقاومت خاک بسنده نشده و به سه روش پایدارسازی تأمین می‌گردد. روش اول شامل گودبرداری با سازه نگهبان و سیستم پشتیبان؛ روش دوم گودبرداری با استفاده از تکنیک‌های ویژه ساخت و روش سوم گودبرداری با تسلیح خاک مجاور است.

در انتخاب یک روش مناسب برای گودبرداری، عوامل بسیار زیادی را باید در نظر گرفت. این عوامل شامل بودجه مالی پروژه، دوره زمانی مجاز برای ساخت، وجود گودبرداری‌های مجاور، در دسترس بودن مصالح و تجهیزات، مساحت محل احداث پروژه، فضای در دسترس، وضعیت ساختمان‌های مجاور، نوع سیستم ساختمان‌های کناری و غیره هستند.

## ۴-۲- گودبرداری با دیواره مهار نشده

### ۴-۲-۱- گودبرداری با ترانشه باز ساده<sup>۱</sup>

در روش حفاری با گود قائم از دیواره‌های نگهدارنده یا قیدهای فشاری استفاده نمی‌شود. در این روش تنها بر اساس مشخصات خاک، عمق پایدار گود قائم محاسبه و به گونه‌ای اجرا می‌شود که خاک بدون اضافه کردن هرگونه قید فشاری پایدار بماند. از آنجایی که از هیچ قید فشاری استفاده نمی‌شود، فضای داخل گود اشغال نشده و در جبهه‌های کاری درون گود محدودیت فضا ایجاد نخواهد شد.

### ۴-۲-۲- گودبرداری با مقطع شیب‌دار و پلکانی شده<sup>۲</sup>

در صورتی که فضای کناری محوطه گودبرداری باز باشد و امکان اجرای گودبرداری به صورت باز فراهم باشد، می‌توان با روش شیب‌دار کردن دیواره‌های گود یا پلکانی کردن آن گودبرداری را انجام داد. در صورت امکان انجام این عملیات، چنین روشی مناسب و ارزان خواهد بود. انتخاب شیب ایمن در این روش، بر اساس تئوری‌های تعادل حدی در مکانیک خاک و تحلیل پایداری شیب‌های خاکی انجام می‌گیرد.

## ۴-۳- گودبرداری با دیواره مهار شده

در گودبرداری به روش مهار شده، خاک را به کمک روش‌های ویژه‌ای مهار کرده تا پایداری دیواره گود در زمان ساخت تضمین گردد. گودبرداری‌های مهار شده از نظر زمان اجرای سیستم‌های محافظ به سه دسته تقسیم می‌شوند:

الف) ایجاد سیستم محافظ پیش از گودبرداری: که در خاک‌های بسیار سست مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این حالت، پیش از آغاز عملیات گودبرداری اقدام به سپر کوبی، ساخت شمع‌ها یا دیوارهای جدا کننده می‌گردد و پس از تأمین پایداری خاک مهار شده، عملیات گودبرداری انجام می‌شود.

ب) ایجاد سیستم محافظ پس از گودبرداری: در خاک‌هایی مورد استفاده قرار می‌گیرد که دارای پایداری نسبی بوده و برای مدتی پس از گودبرداری می‌تواند پایدار بمانند. باید به این نکته توجه داشت که در گودبرداری‌ها برخلاف خاکریزی‌ها در کوتاه‌مدت، ضریب اطمینان در برابر رانش بزرگ بوده و با گذشت زمان از مقدار آن کاسته می‌شود.

1- Simple Open Cut Method

2- Excavation by Sloping and Benching

ج) **مهاربندی همزمان با گودبرداری:** در این روش، همزمان با عملیات گودبرداری، سیستم نگهدارنده جداره گود اجرا می‌شود. روش میخ‌کوبی جز این دسته از روش‌ها محسوب می‌شود.

برای تحلیل و طراحی یک گودبرداری مهار شده در مرحله اول، باید یک برنامه شناسایی برای تعیین شرایط خاک و آب زیر زمینی و همچنین هندسه حفاری اعم از ارتفاع، شیب و دهانه در کل ناحیه‌ای که گودبرداری انجام می‌شود صورت گیرد تا طراحی سیستم محافظ، با توجه به تمام شرایط حاکم بر محل پروژه انجام گردد. عوامل اصلی که بر پایداری گودها تأثیر گذار هستند، عبارتند از:

- ۱- فشارهای جانبی ناشی از خاک بر دیوارهای محافظ.
- ۲- بار سطحی؛ کاربرد هر بار اضافی واقع در حد فاصل بین لبه گود و محل تلاقی با صفحه گسیختگی (با امتداد  $45 + \frac{\varphi}{2}$ ) باید در تحلیل پایداری گود بررسی شود.
- ۳- بارهای لرزه‌ای؛ اثر ماشین‌های لرزاننده، انفجار یا دیگر بارهای دینامیکی در گودبرداری باید مورد بررسی قرار گیرد. اثر لرزش‌ها به‌ویژه در خاک‌هایی همانند ماسه‌های رسی و شن‌ها می‌تواند خطرناک باشد.
- ۴- تراوش آب زیر زمینی و فرسایش آبی؛ در مواردی که سطح آب زیر زمینی در گودهای ایجاد شده در خاک‌های دانه‌ای، مثل ماسه‌ها، بالا باشد، احتمال وقوع روانگرایی و جوشش مطرح خواهد بود. که این موضوع می‌تواند منجر به از بین رفتن مقاومت کامل خاک و وقوع ناپایداری گردد.
- ۵- تورم کف گود؛ تورم کف گود در خاک‌های رسی اشباع به دو دلیل رخ می‌دهد. دلیل اول، ایجاد فشار آب حفره‌ای منفی ناشی از باربرداری است و دلیل دیگر آن ناشی از باربرداری کف گود و ایجاد ناحیه گسیختگی ناشی از بار وزنی دیواره گود است.
- ۶- جریان آب سطحی؛ این عامل باعث افزایش بار وارده بر سیستم محافظ دیواره گود می‌گردد و از طرف دیگر، سبب کاهش مقاومت خاک می‌شود. بنابراین با ایجاد زهکشی در محل پروژه باید این جریان‌ها را از مسیر گودبرداری‌ها منحرف کرد.

در ادامه با انواع روش‌های گودبرداری و احداث سازه‌های نگهدارنده آشنا خواهیم شد.

#### ۴-۳-۱- گودبرداری با روش مهارسازی

در روش مهارسازی، برای مهار حرکت و رانش خاک با تمهیدات خاصی، از خودِ خاکِ دیواره کمک گرفته می‌شود. ابتدا در حاشیه زمینی که قرار است گودبرداری شود، در فواصل معین چاه‌هایی حفاری می‌شود. این عمق چاه‌ها برابر با عمق گود به اضافه مقداری اضافه برای شمع بتنی انتهای این چاه‌ها است. این مقدار اضافی به اندازه ۰/۲۵ تا ۰/۳۵ برابر عمق گود است که پایین‌تر از تراز رقوم کف گود این چاه را باید حفاری کرد. پس از حفر چاه‌ها، درون آن‌ها پروفیل I یا H شکل قرار می‌دهیم و سپس پروفیل‌های فولادی را درون ناحیه شمع حفاری شده به خوبی مهار می‌کنیم. پس از اجرای مراحل پیش، عملیات گودبرداری به صورت مرحله به مرحله اجرا می‌شود. در هر مرحله پس از برداشت خاک، برای جلوگیری از ریزش خاک، با دستگاه حفار ویژه، در بدنه گود چاهک‌های افقی و مایل را به قطر ۱۰ تا ۱۵ سانتیمتر در جداره گود حفاری می‌کنیم. آنگاه درون چاهک‌ها را میلگرد گذاری کرده و آن‌ها را تزریق می‌کنیم. طول این چاهک‌ها بین ۵ تا ۱۰ متر است.

#### **۴-۳-۲- گودبرداری با روش دوخت به پشت<sup>۱</sup>**

این روش همانند روش مهارسازی است، اما درون چاهک‌ها را کابل پیش‌تنیده قرار می‌دهیم و با تزریق بتن در انتهای چاهک، این کابل‌ها را مهار می‌کنیم. سپس کابل‌ها را می‌کشیم و درون آن را بتن‌ریزی می‌کنیم. پس از سخت شدن بتن و کسب مقاومت، کابل‌ها را از جک کشنده آزاد می‌کنیم تا پیش‌تندگی ایجاد شود.

#### **۴-۳-۳- گودبرداری با سازه نگهبان خرابایی<sup>۲</sup>**

این روش، یکی از مناسب‌ترین و متداول‌ترین روش‌های اجرای سازه نگهبان و پایدارسازی دیواره گود در مناطق شهری محسوب می‌شود. علت محبوبیت آن هم اجرای ساده و عدم نیاز به تجهیزات و تخصص‌های بالا است. در شکل ۴-۱ سیستم سازه نگهبان خرابایی نشان داده شده است. در این شکل H عمق گود،  $L_p$  طول شمع،  $B_f$  بعد پی سازه نگهبان، B ضخامت پی سازه نگهبان و L فاصله بین خرپاها است.

این روش در اجرا انعطاف‌پذیری بالایی دارد و مزایای آن عبارتند از:

- از این روش برای گودبرداری با هر عرضی می‌توان استفاده کرد.
- از نظر اجرا در شرایط مختلف قابلیت انعطاف زیادی دارد.

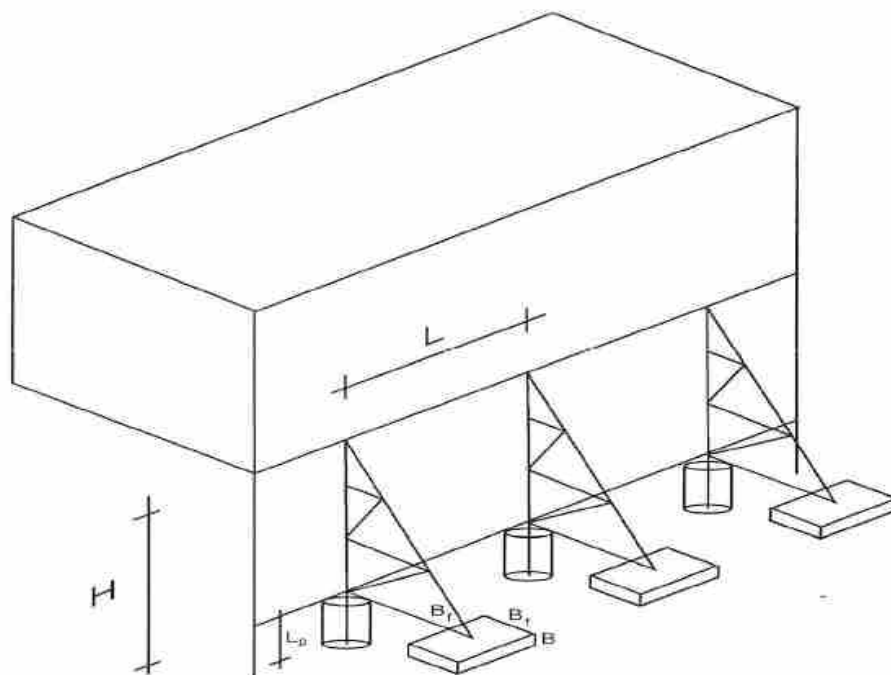
1- Tie-Back

2- Excavation by Truss Structures

- بخش عمده‌ای از پروفیل‌های مورد استفاده در خریا، مجدداً قابل استفاده هستند.
- اجرای آن ساده است و به تخصص خاصی نیاز ندارد.

معایب این روش عبارتند از:

- سرعت اجرای آن در مقایسه با روش‌های پیشرفته‌تر، نسبتاً کمتر است.
- خریاها جاگیر بوده و بخش عمده‌ای از فضای داخل گود را اشغال می‌کنند.
- برای اجرای این سیستم در زیر سفره آب زیرزمینی، ایجاد زهکشی و خشک کردن محیط الزامی است.
- در خاک‌های ریزشی و نرم، تغییر شکل‌های زیادی تجربه خواهد شد.

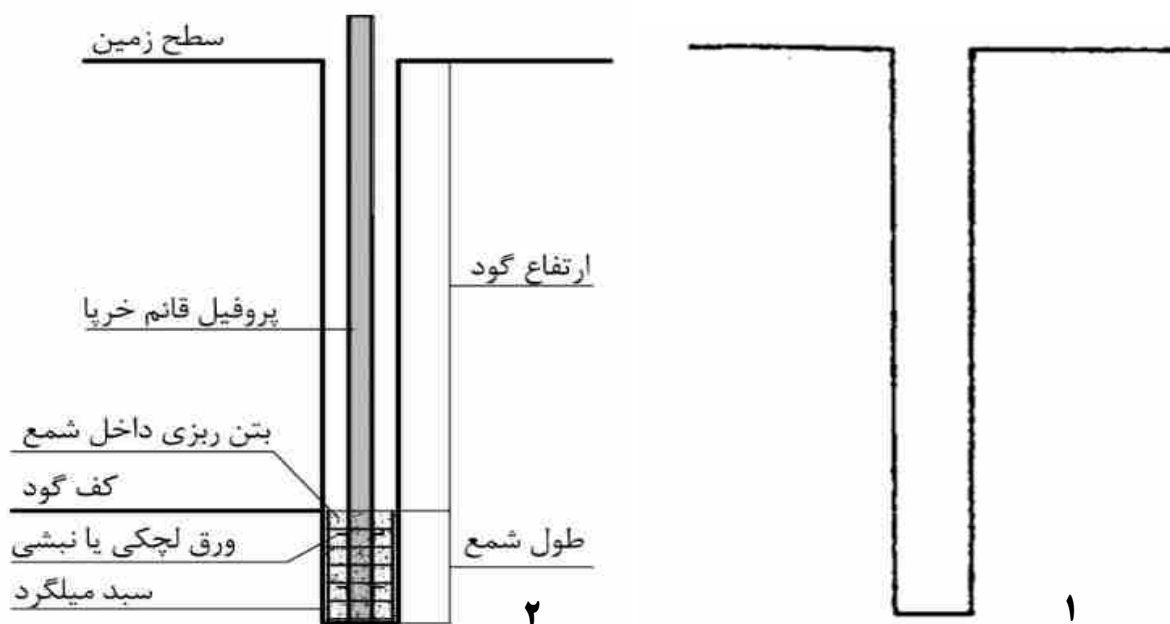


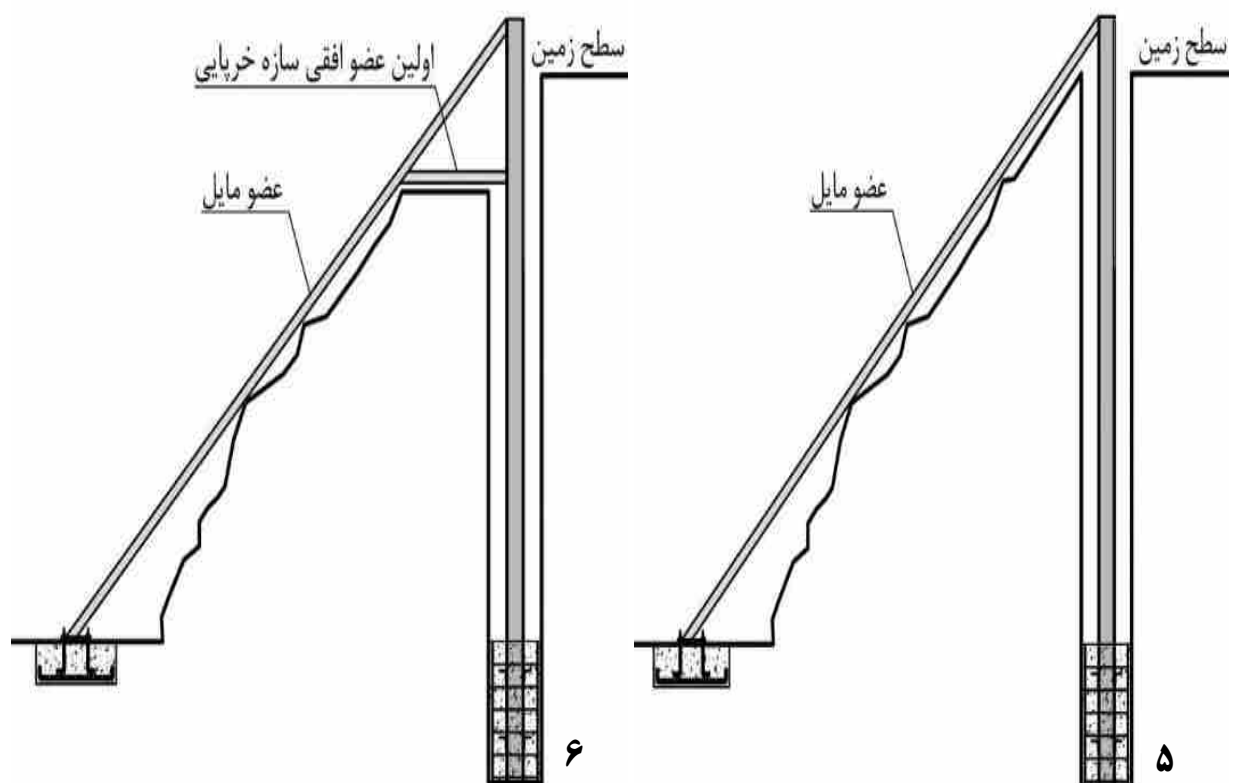
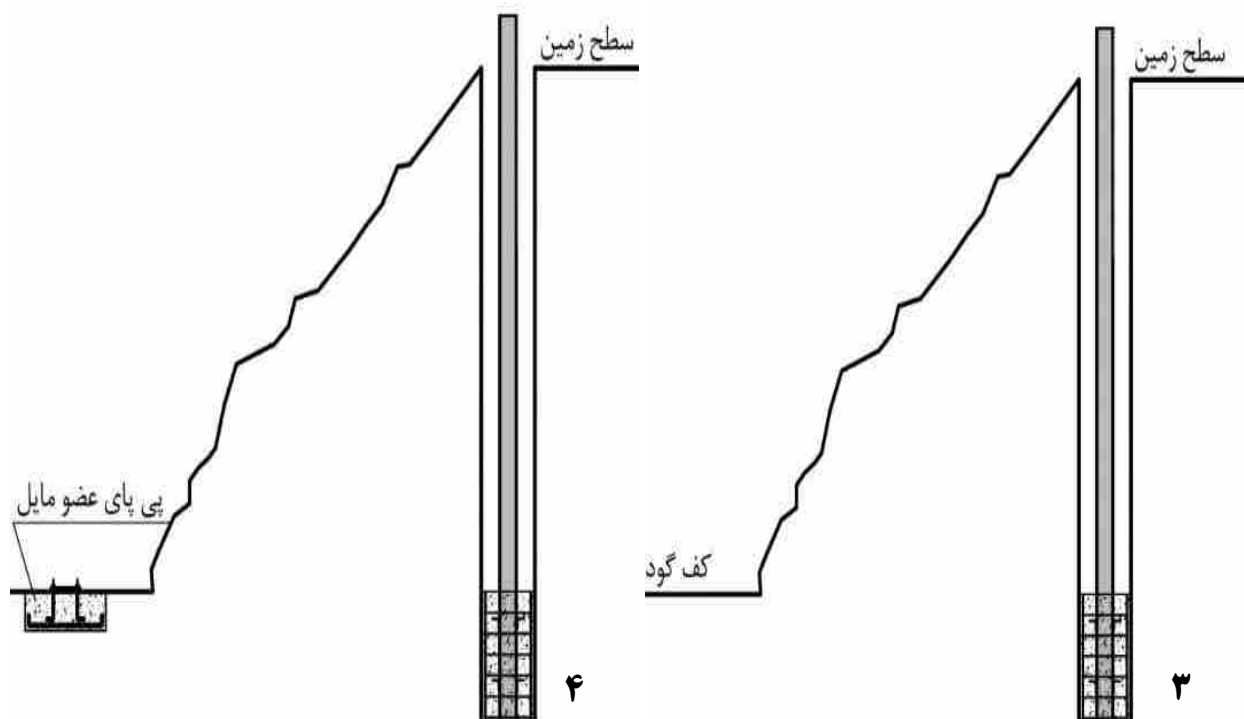
شکل ۴-۱- سیستم سازه نگهدارنده خریایی

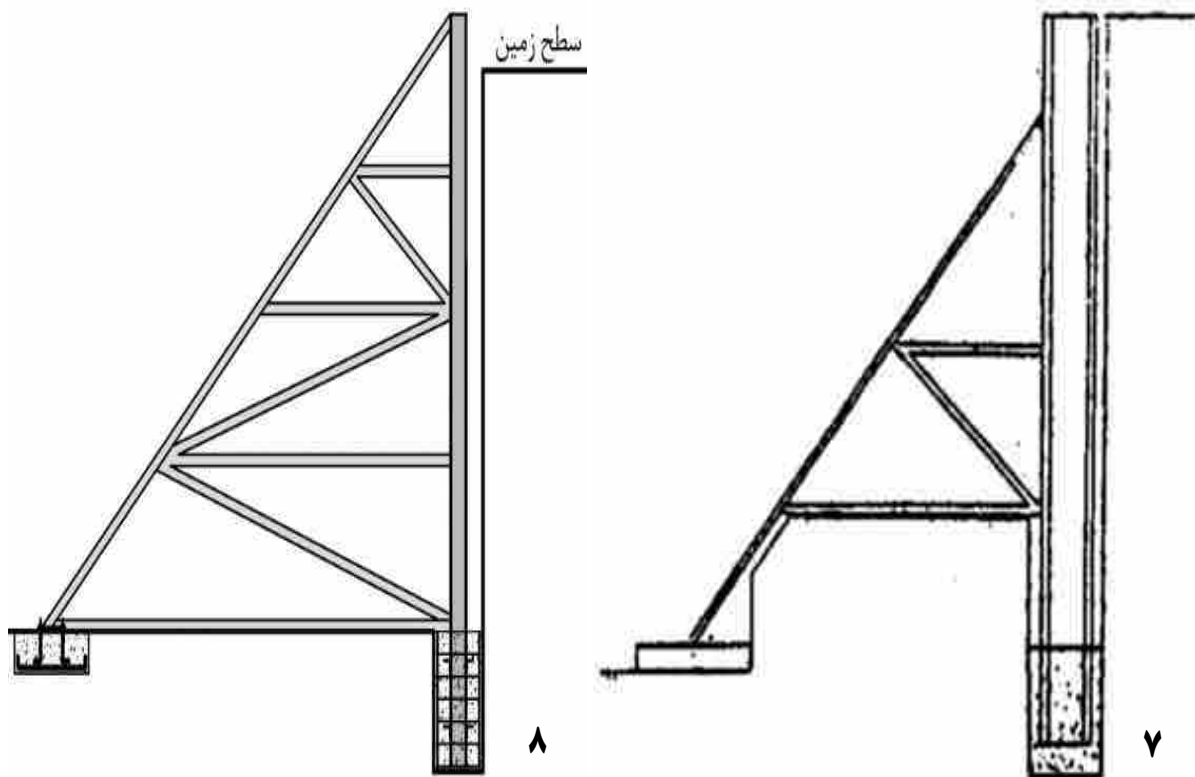
#### ۴-۳-۳-۱- مراحل اجرای سازه نگهدارنده خریایی

الف) در محل اعضای قائم خریا (مجاورت دیواره گود و منتهی الیه زمین و در مرز همسایه)، چاه‌هایی حفر می‌شود که دارای عمق  $H+L_p$  است ( $H$  ارتفاع گود و  $L_p$  طول شمع نگهدارنده). شایان ذکر است به صورت متداول طول چاه، حدوداً به اندازه  $1/25$  تا  $1/35$  برابر عمق گود است؛ اما انجام محاسبات برای تعیین آن ضروری است.

- ب) انتهای چاه حفر شده آرماتوربندی می‌شود و سپس عضو قائم خریا درون چاه قرار داده می‌شود.
- ج) قسمت انتهایی چاه تا تراز کف گود با بتن پُر می‌شود.
- د) پس از نصب عضو قائم، درون گود با شیب ایمن و مطمئن حفاری می‌شود تا به کف گود برسیم. سپس تکیه‌گاه عضو مایل اجرا می‌گردد (فونداسیون به ابعاد  $B_f$  و ارتفاع  $B$ ).
- ه) عضو مایل اصلی خریا از یک طرف به تکیه‌گاه مناسب در کف گود و از طرف دیگر به عضو قائم جوش داده می‌شود (تکیه‌گاه مناسب برای عضو مایل، عموماً شالوده منفرد و مربعی شکل است).
- و) خاک محصور بین عضو قائم و مایل خریا در سرتاسر امتداد دیواره گود به صورت مرحله‌ای برداشت می‌شود. پس از هر مرحله خاکبرداری، اعضای افقی و قطری خریا به صورت تدریجی نصب می‌شوند.
- ز) عملیات خاکبرداری و نصب اعضای فرعی خریا در مراحل بعد تکرار می‌گردد.
- در شکل ۲-۴ گام به گام اجرای سازه نگهدارنده خریایی نشان داده شده است.







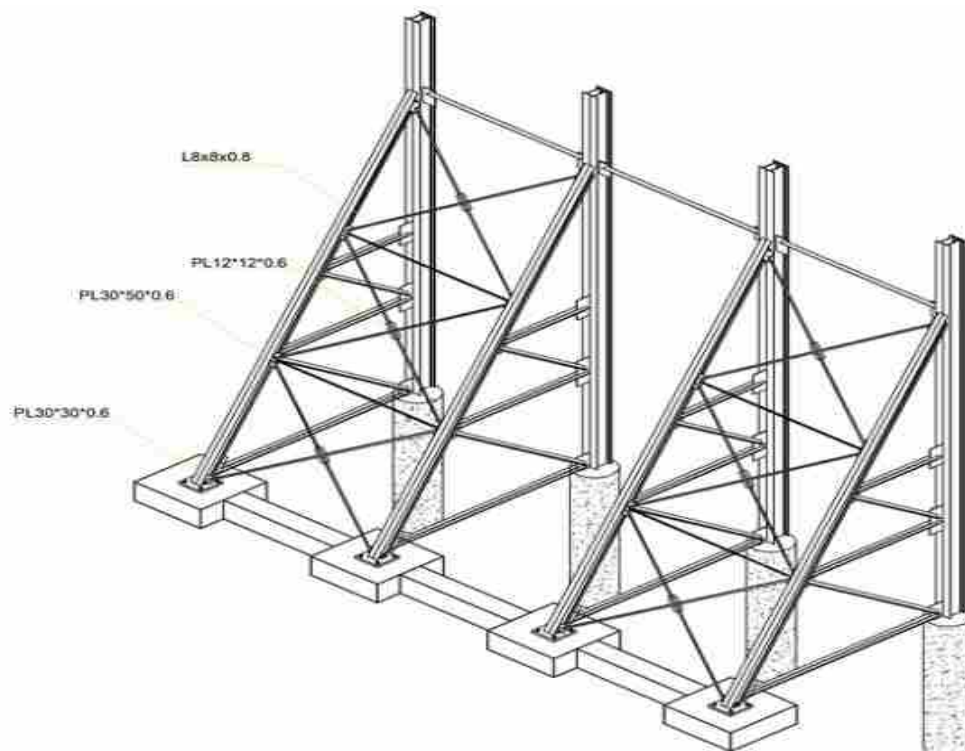
شکل ۴-۲- مراحل اجرای سیستم نگهدارنده خرابایی: (۱) حفر چاه، (۲) نصب عضو قائم و اجرای شمع، (۳) گودبرداری با شیب پایدار، (۴) اجرای فونداسیون عضو مایل خرابا، (۵) نصب عضو مایل، (۶) نصب اولین عضو افقی، (۷) نصب ردیف بعدی عضوهای افقی و قطری، (۸) تکمیل اجرای خرابا

#### ۴-۳-۳- نکات اجرایی سازه نگهدارنده خرابایی

الف) بین شمع و فونداسیون هر یک از خراباها، بین شمع‌های مجاور هم و بین فونداسیون‌های مجاور از شناژهای افقی استفاده می‌شود (شکل ۴-۳).

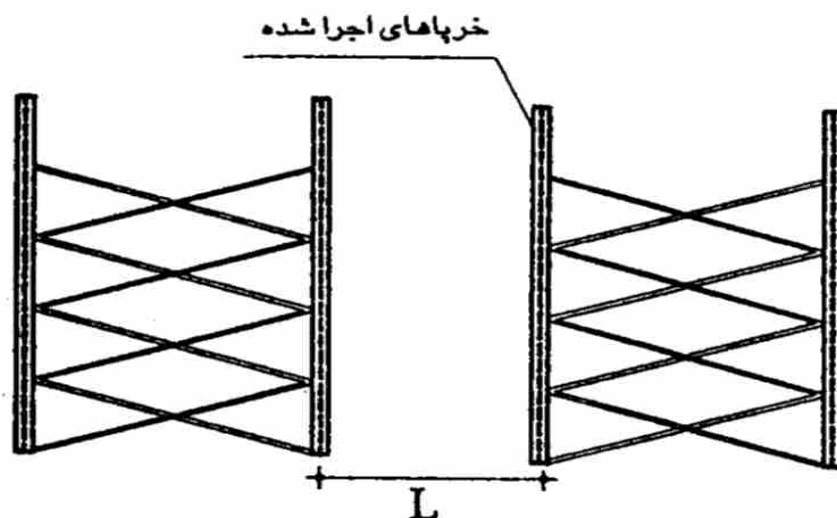
ب) رقوم بالای فونداسیون و بالای شمع خراباها باهم یکسان بوده و برابر با رقوم کف فونداسیون سازه اصلی ساختمان در دست احداث است.

ج) در صورت لزوم، به منظور جلوگیری از ریزش خاک، به موازات پیشرفت عملیات گودبرداری، بین هر دو خرابای مجاور و روبه روی خاک دیواره، از الوار چوبی، تیرهای چوبی، پانل‌های پیش ساخته بتنی، ورق‌های فلزی یا نظایر آن استفاده می‌شود. استفاده از این اجزاء، به ویژه در خاک‌های سست اکیداً توصیه می‌شود.



شکل ۴-۳- اجرای شناژ بین فونداسیون‌های سازه نگهدارنده خرابی

(د) برای تأمین صلبیت جانبی سیستم سازه‌ای متشکل از کل خرابی‌ها و به منظور به حداقل رساندن طول کمناش اعضای قائم و مایل خرابی‌ها، بین هر دو خرابی مجاور مهاربندی می‌شود (شکل ۴-۴). این مهارها به صورت یک دهانه در میان اجرا می‌شوند.



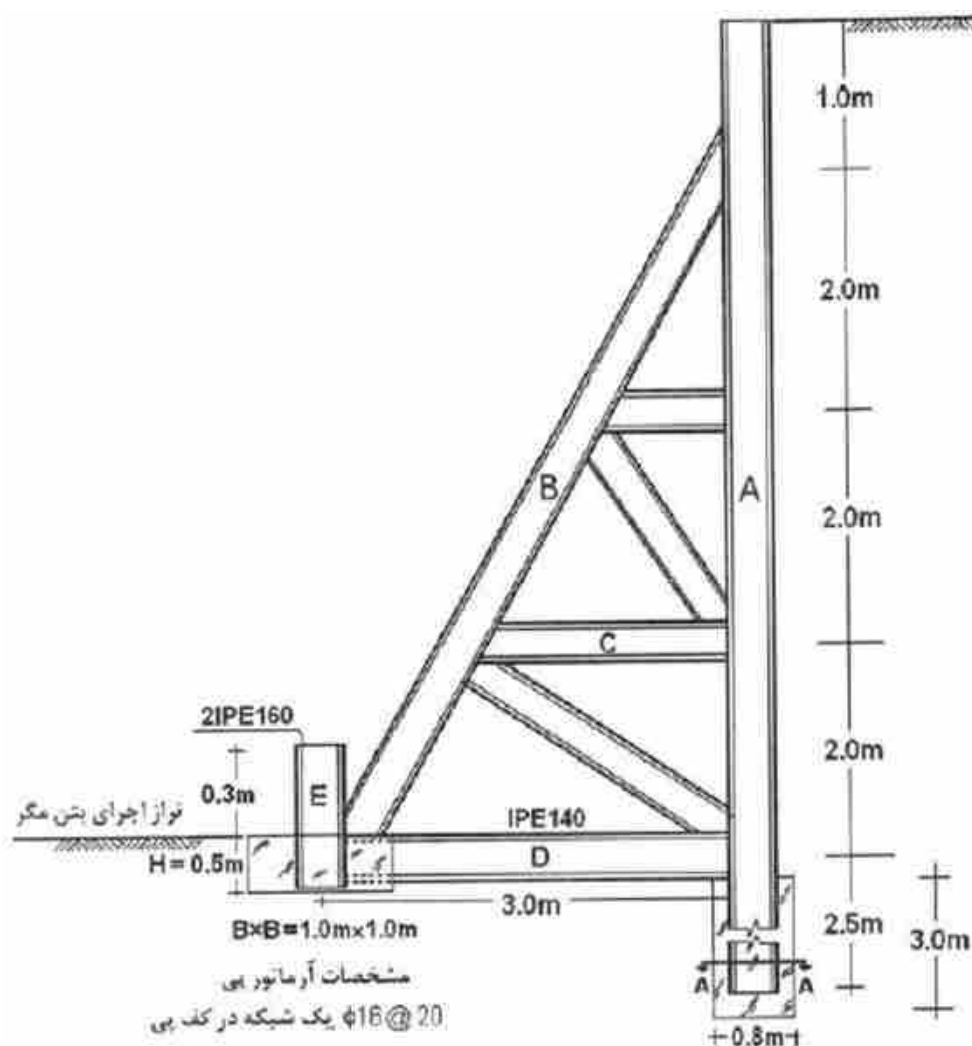
شکل ۴-۴- مهاربندی اعضای قائم و مایل خرابی‌ها

ه) در صورت لزوم می‌توان برای جلوگیری از ریزش خاکِ درون چاه، پس از نصب عضو قائم، داخل چاه را با ملات ضعیف پُر کرد.

و) عملیات حفر چاه باید بر اساس اصول فنی و ضوابط ایمنی انجام شود.

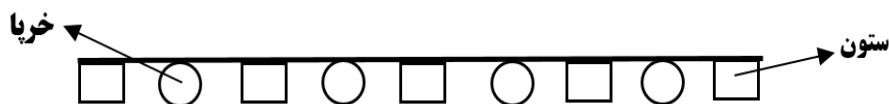
ز) بین عضو قائم و دیوارهٔ گود را باید با ملات پُر کرد، یا اینکه از المان‌های سازه‌ای مناسبی در آنجا استفاده کرد. به گونه‌ای که بار ناشی از رانش دیواره به صورت مناسبی به خرپا منتقل شود.

در شکل ۴-۵ نمونه‌ای از دیتل اجرایی یک سازهٔ نگهبان خرابایی نشان داده شده است.



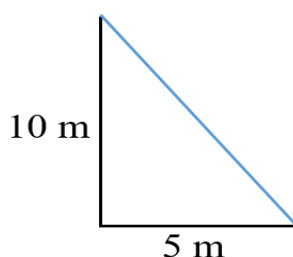
شکل ۴-۵- نمونه دیتل اجرایی یک سازهٔ نگهبان به روش خرابایی

**نکته ۱-** در اجرای خرپا در گود، باید محل ستون را کنترل کرد تا روی خرپا نیفتد.



**نکته ۲-** اگر ساختمان همسایه مجاور ضعیف و قدیمی باشد، باید طول اعضای قائم خرپا بیشتر باشد تا به خوبی سازه را در بر بگیرد. این طول باید ۲ تا ۳ متر زیر پی ساختمان کناری را در بر بگیرد.

**نکته ۳-** در طراحی عضو مایل، عموماً شیب ۲ (قائم) به ۱ (افقی) مناسب است.



**نکته ۴-** عناصر بادبند (حتی با پروفیل کم) نیز در سیستم سازه نگهدارنده خرپایی اجرا شوند. همچنین در صورتی که خاک محل پروژه ریزشی باشد، شاتکریت هم باید اجرا شود. اعضای مایل چون در فشار کار می‌کنند، مستعد کمانش هستند (تنها در جهت عرضی مستعدند). استفاده از اعضای افقی برای جلوگیری از کمانش است و اجرای بادبند نیز برای جلوگیری از وقوع پیچش در سازه نگهدارنده به کار می‌رود.

**نکته ۴-** در فرآیند طراحی، اگر تغییر شکل بیش از  $\frac{2}{5}$  سانتی‌متر باشد، یا باید اعضا را تقویت کرد و یا عمق را افزایش داد.

**نکته ۵-** طراحی خرپا در نرم افزاری مانند SAP صحیح نیست، چرا که اعداد حاصل از آن اشتباه است. علت این موضوع آن است که فرض ساده شده خیلی اشتباهی در نرم افزار SAP برای خاک در نظر گرفته شده که نادرست است. بر همین اساس، طراحی باید با استفاده از نرم افزارهای اجزای محدود (F.E.M) انجام شود.

**نکته ۶-** راه تشخیص ترک در دیوار همسایه آن است که در محل مورد نظر گچ ریخته شود (چون گچ مقاومت کششی ندارد). اگر ترک بزرگتر شد، مشخص است که تغییر شکل زیاد است.

### ۴-۳-۴- گودبرداری با روش مهار متقابل<sup>۱</sup>

از این روش ساده عموماً برای نگهداری و حفاظت جداره‌های ناشی از گودبرداری و کنترل تغییر شکل‌های جانبی در گودهایی با عرض کم در محیط‌های شهری استفاده می‌شود. مهاربندی جداره‌ها توسط پشت‌بندهای افقی و قیدهای فشاری انجام می‌شود. این روش شباهت زیادی به روش خرپایی دارد. عیب عمده این روش آن است که سبب اشغال فضای قابل ملاحظه محیط داخل گود می‌شود، که در نتیجه برای تردد و استفاده ماشین آلات و تجهیزات محدودیت‌هایی ایجاد خواهد شد.

در این روش، ابتدا در حاشیه زمینی که قرار است گودبرداری در آن انجام شود، در فواصل معین چاه‌هایی روبه‌روی هم در دو طرف حفاری می‌شوند. طول این چاه‌ها معمولاً  $1/25$  تا  $1/35$  برابر عمق گود است. پس از حفر چاه‌ها، همانند روش خرپایی پروفیل‌های مناسب (معمولاً I شکل)، بسته به عمق گود و مشخصات خاک در آن‌ها قرار داده می‌شود. سپس قسمت‌های فوقانی هر دو پروفیل‌های قائم مقابل هم را به کمک تیرها یا خرپاهایی به هم متصل می‌کنند. پس از اجرای مراحل اشاره شده، عملیات گودبرداری به صورت مرحله به مرحله اجرا می‌گردد. پس از اولین مرحله گودبرداری با قرار دادن یک عضو افقی به صورت مهار، خاک دیواره مهار می‌شود. در نهایت برای جلوگیری از ریزش خاک بین پروفیل‌های قائم، این نواحی توسط پانل‌های پیش ساخته مهار می‌شوند (شکل ۴-۶).

با افزایش عرض گودبرداری، تیرهای مهار متقابل باید از نظر مقاومت خمشی پایداری مناسبی داشته باشند تا در اثر نیروی فشار خاک کمانش نکنند. به همین دلیل است که در گودبرداری‌های با عرض زیاد، این روش توجیه اقتصادی ندارد. نکته دیگر آن است که در گودبرداری‌های عمیق نیز مهارهای متقابل در این روش، می‌توانند دست و پا گیر باشند.

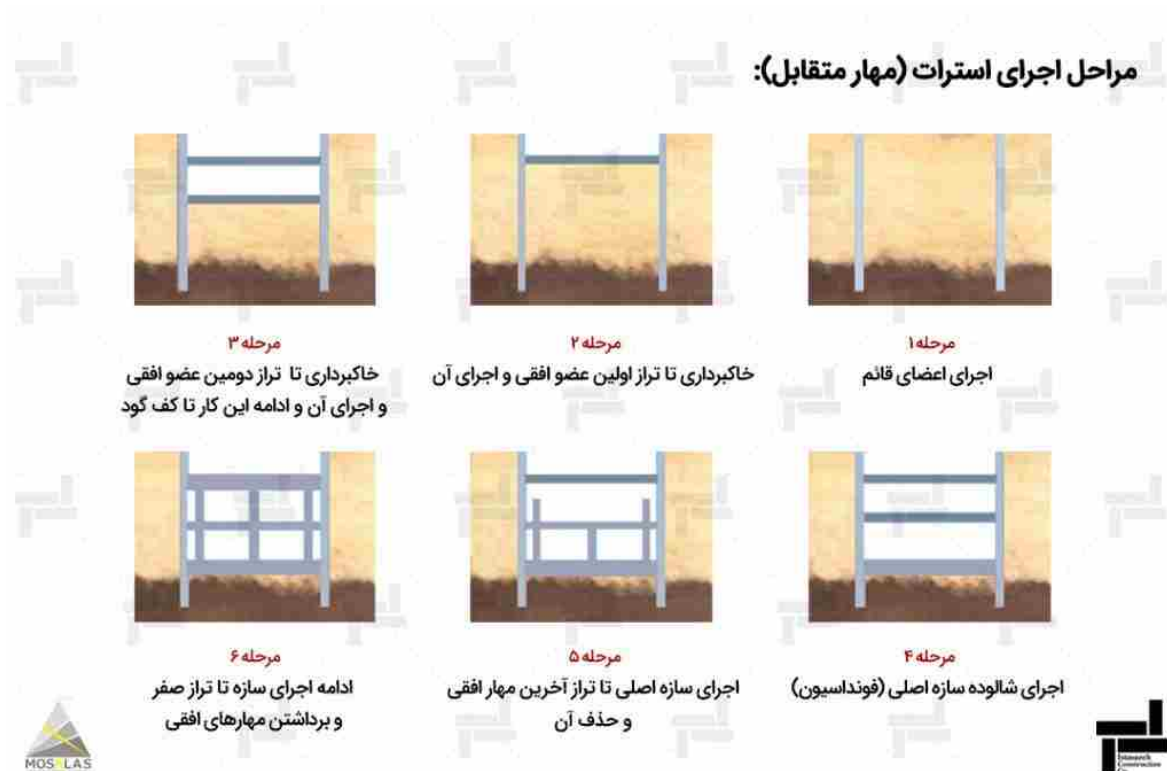
مزایای روش مهار متقابل عبارتند از:

- در گودبرداری‌های با عرض کم، به علت سرعت زیادتر و هزینه کمتر، بسیار کارآمد هستند.

- این شیوه، روشی بسیار مؤثر در اجرای کانال‌ها است.

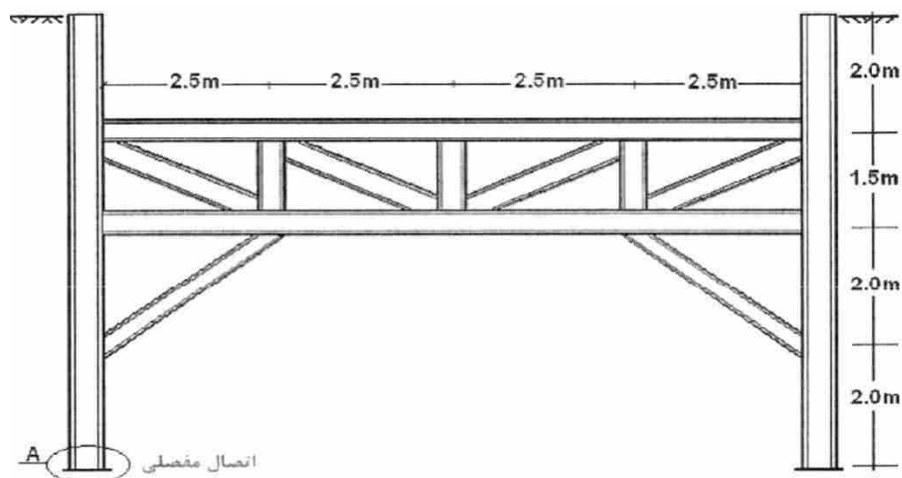
عیب روش مهار متقابل عبارت است از:

- اگر عرض گودبرداری زیاد شود، استفاده از این روش از نظر اقتصادی توجیه‌ناپذیر خواهد بود.



شکل ۴-۶- مراحل اجرای سازه نگهدارنده به روش مهار متقابل

در شکل ۴-۷ نمونه دیتل اجرایی یک سازه نگهدارنده به روش مهار متقابل نشان داده شده است.



شکل ۴-۷- نمونه دیتل اجرایی یک سازه نگهدارنده به روش مهار متقابل

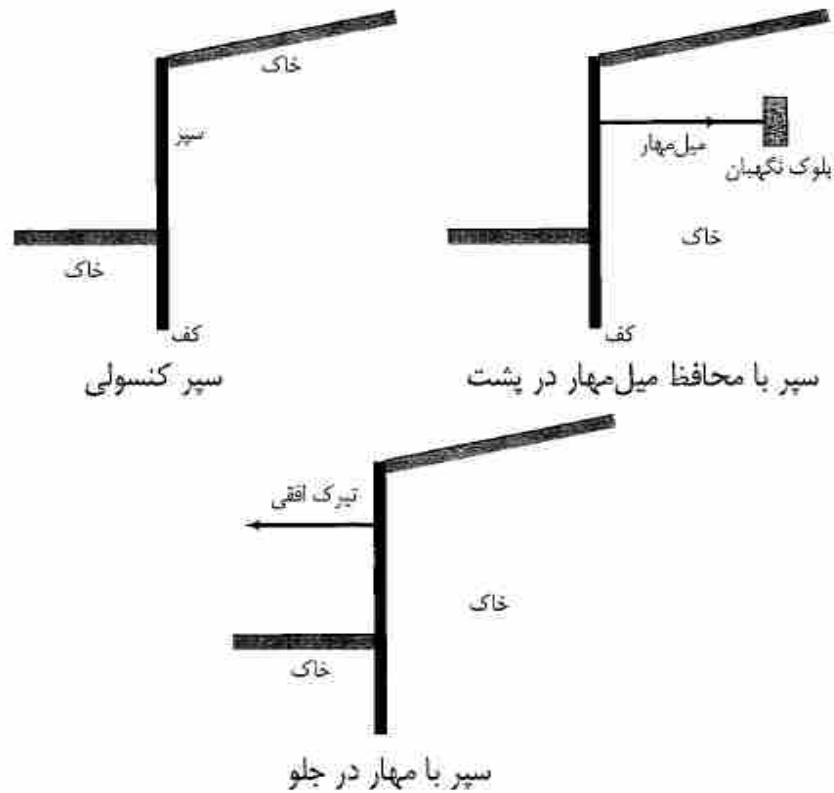
#### ۴-۳-۵- گودبرداری با روش سپرکوبی<sup>۱</sup>

سپر‌ها در واقع المان‌های صفحه‌ای هستند که با روش ضربه زدن یا ارتعاش استاتیکی به صورت قفل و بست با یکدیگر اجرا و در زمین نصب می‌شوند. این روش جزء دیوارهای جدا کننده محسوب شده و برای تقسیم و جدا کردن بخش‌های مختلف زمین از یکدیگر به کار می‌روند. متداول‌ترین مقاطع این روش U و Z هستند. سپر‌ها همچنین می‌توانند به صورت مؤثری عملیات آب‌بندی را نیز انجام دهند. به طور کلی، سپر‌ها به سه دسته تقسیم می‌شوند: سپر طره‌ای، سپر با مهار در جلو و سپر با مهار در پشت (شکل ۴-۸).

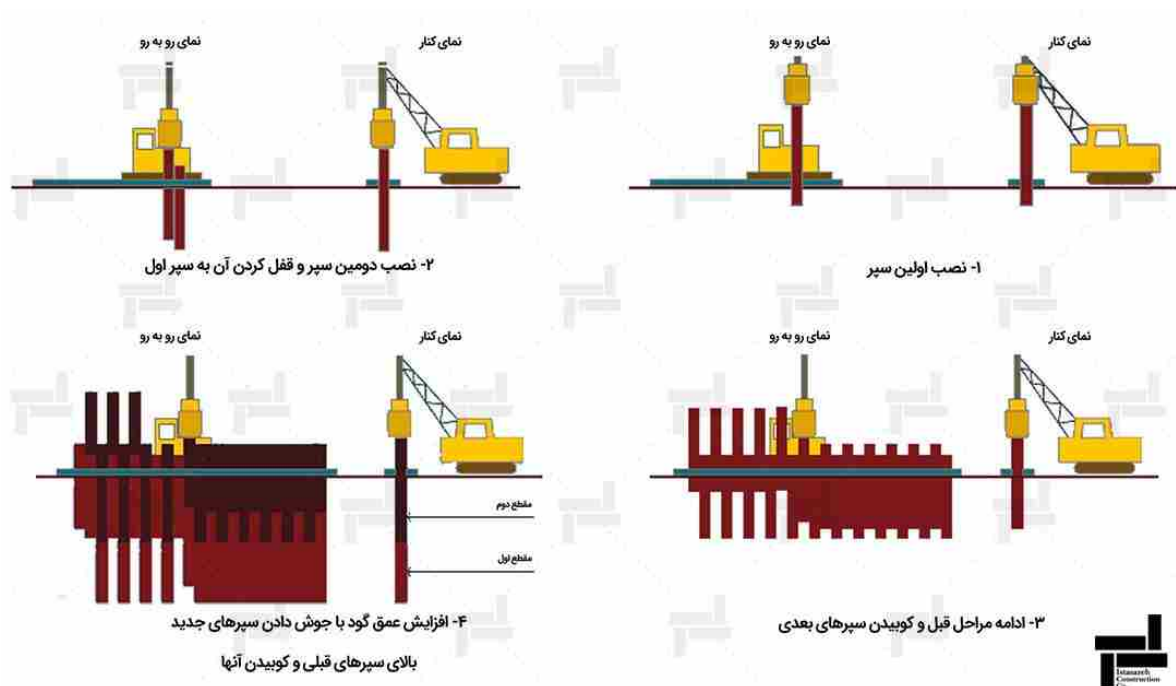
اجرای این روش بدین شرح است: پس از مشخص کردن منطقه مورد نظر، سپر‌ها به داخل خاک کوبیده می‌شوند. سپس عملیات گودبرداری (به عمق ۲ تا ۳ متر) انجام شده و پشت‌بندهای فرعی و قیدهای فشاری به صورت افقی نصب می‌شوند. مراحل برای گام بعدی گودبرداری تکرار می‌شود تا به عمق مورد نظر برسیم (شکل ۴-۹).

مزایای روش سپرکوبی عبارتند از:

- قابلیت آب‌بندی مناسبی دارند.
  - قابلیت استفاده مجدد از سپرهای فلزی وجود دارد.
  - امکان به کارگیری در انواع خاک‌های سست و ناپایدار را دارند.
  - سرعت عملیات اجرایی نسبتاً بالا دارند.
  - ایمنی بسیار بالایی نسبت به سایر روش‌های مهاربندی دارند.
- معایب روش سپرکوبی عبارتند از:
- سختی خمشی آن نسبت به روش دیوار دیافراگمی و شمع‌های نگهبان کمتر است.
  - احتمال ایجاد نشست در خاک مجاور در اثر عملیات کوبیدن یا برچیدن سپر‌ها وجود دارد.
  - سختی کوبش در زمین‌های سفت یا خاک‌های دارای قلوه سنگ وجود دارد.
  - صدای زیاد در حین عملیات کوبش عامل آلودگی صوتی خواهد بود.



شکل ۴-۸- انواع سپرها



شکل ۴-۹- مراحل اجرای سازه نگهدارنده به روش سپرکوبی

#### ۴-۳-۶- گودبرداری به روش دیوارهای دیافراگمی<sup>۱</sup>

از دیوار دیافراگمی برای ایجاد پرده آب‌بند و در پروژه‌های گودبرداری‌ها به‌ویژه در ساخت ایستگاه‌های زیرزمینی استفاده می‌شود. مرحله اول ساخت دیوار دیافراگمی شامل تقسیم کردن تمام طول به تعدادی پانل‌های متناسب با شرایط ساخت است. هر قسمت باید به کمک دستگاه‌های حفار، خاکبرداری شود و در گام بعد قفسه‌های آرماتور در محل نصب و بتن‌ریزی انجام شود. در زمان بتن‌ریزی داخل ترانشه حفاری شده، باید از لوله ترمی استفاده کرد. مراحل اجرای دیوار دیافراگمی به‌صورت مرحله‌ای و فازبندی شده است. در دیوارهای دیافراگمی باید اتصال بین پانل‌ها به‌خوبی برقرار باشد تا بتوانند به‌صورت آب‌بند عمل کنند و همچنین لنگر خمشی و نیروی برشی را به‌خوبی انتقال دهند. در شکل ۴-۱۰ روش ساخت دیوار دیافراگمی نشان داده شده است.

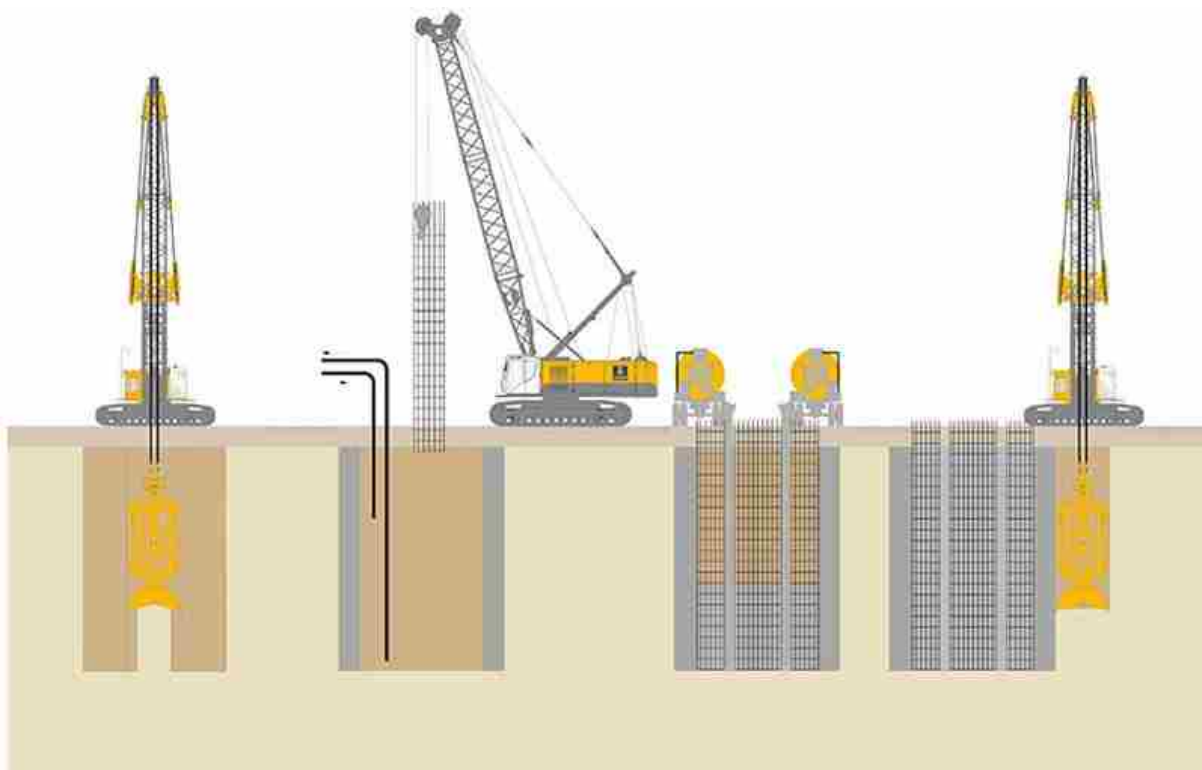
مزایای روش دیوار دیافراگمی عبارتند از:

- ارتعاش کم، صدای کم، صلبیت بالا و تغییر شکل نسبی کم.
- قابلیت تنظیم ضخامت و عمق دیوار در آن وجود دارد.
- قابلیت آب‌بند کردن مناسب را دارد.
- امکان استفاده به‌عنوان سازه دائمی برای آن‌ها وجود دارد.

معایب روش دیوار دیافراگمی عبارتند از:

- به تجهیزات بسیار بزرگ و زمان ساخت طولانی نیاز دارد.
- هزینه اجرای آن بالا است.
- فضای زیاد برای تجهیزات جانبی لازم دارد.
- امکان استفاده از آن در خاک‌های شنی و درشت‌دانه وجود ندارد.

در شکل ۴-۱۱ مراحل اجرای سازه نگهبان به‌روش دیوار دیافراگمی نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۰- روش ساخت دیوار دیافراگمی به صورت پانل‌های یک در میان

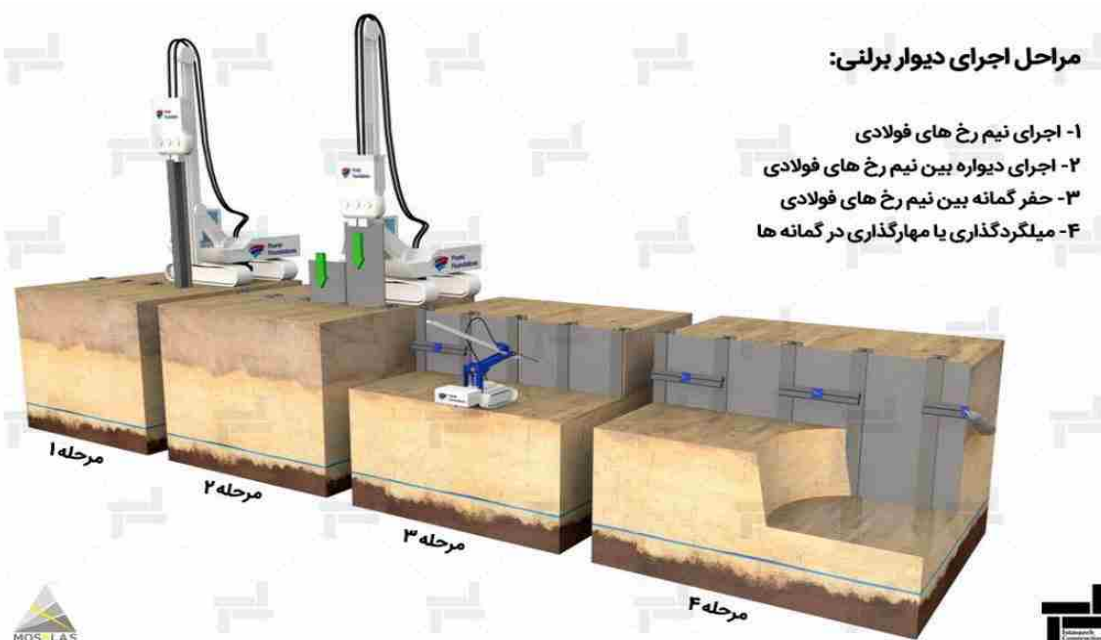


شکل ۴-۱۱- مراحل اجرای دیوار دیافراگمی

#### ۴-۳-۷- گودبرداری با روش دیوار برلنی<sup>۱</sup>

روش دیوار برلنی یا سولجر پایل<sup>۲</sup> یکی از قدیمی‌ترین روش‌های پایدارسازی گود است. از قرن هجدهم در شهرهای بزرگی مثل نیویورک، برلین و لندن به‌طور موفق اجرا گردیده است. علت نام‌گذاری این روش به دیوار برلنی به استفاده آن در دهه ۱۹۳۰ در قطار زیرزمینی شهر برلین بر می‌گردد. غالباً دیواره سولجر پایل با دیوار برلنی به یک معنا به کار می‌رود.

دیوار برلنی در واقع ترکیبی از شمع‌های بتنی یا فولادی و رویه بتنی (شاتکریت) است. جهت گیرداری شمع‌های فولادی و بتنی حدود ۲۵ درصد از طول آن‌ها به عنوان ریشه شمع در نظر گرفته می‌شود. جهت جلوگیری از ریزش‌های موضعی بین شمع‌ها از رویه‌های بتنی درجا یا پیش‌ساخته استفاده می‌گردد. جهت اجرای رویه‌های بتنی درجا، پس از خاکبرداری شبکه میلگرد فولادی (مش) بین شمع‌ها قرار داده شده و سپس به وسیله بتن‌پاشی (شاتکریت) یک رویه بتنی بین شمع‌ها ایجاد می‌گردد. جهت پایدارسازی گودهای عمیق از ترکیب دیوار برلنی با میخ‌کوبی (نیلینگ) و یا مهارگذاری (انکراژ) نیز استفاده می‌شود. در شکل ۴-۱۲ نحوه اجرای گودبرداری به شیوه دیوار برلنی نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۲- مراحل اجرای دیوار برلنی

- 1- Excavation by Berlin Wall
- 2- Soldier Pile Wall

در صورت استفاده از شمع‌های بتنی می‌بایست طبق نقشه‌های اجرایی شمع‌های بتنی درجا اجرا گردد. در صورت استفاده از شمع‌های فلزی که غالباً زوج نیم‌رخ بال پهن، IPE و یا لوله هستند، ابتدا محل شمع‌ها حفاری شده و سپس ریشه شمع‌ها بتن‌ریزی می‌گردد. سپس شمع‌های فولادی در محل‌های حفاری شده قرار داده می‌شوند. البته شمع‌های فولادی ممکن است به صورت کوبیدنی نیز اجرا گردند. نوع شمع و قطر شمع بستگی به بار مجاور گود و مشخصات خاک دارد. پس از اجرای شمع‌ها، خاکبرداری آغاز می‌گردد و تا تراز مناسب جهت اجرای شبکه فولادی (مش) و یا الوار چوبی خاکبرداری می‌گردد و سپس جهت جلوگیری از ریزش‌های موضعی، شبکه فولادی (مش) اجرا شده و سپس بتن‌پاشی (شاتکریت) می‌گردد و یا الوارهای چوبی قرار داده می‌شود. این روند تا انتهای گود ادامه می‌یابد. در شرایطی که تغییر مکان مجاور گود نسبتاً حساس باشد، پشت الوارهای چوبی می‌بایست با مصالح متراکم پر گردد. نیروها توسط رویه بتنی یا الوارهای چوبی به شمع‌های بتنی یا فولادی (سولجر پایل‌ها) منتقل می‌شود و سپس توسط شمع‌های بتنی یا فولادی به صورت طره تحمل می‌گردد و باعث ایستایی گود می‌شود. در صورتی که شمع‌های بتنی یا فولادی به تنهایی قادر به تحمل این نیروها نباشند، با استفاده از ترکیب این روش با روش‌های دیگر پایدارسازی مانند میخ‌کوبی دیواره‌ها (نیلینگ)، مهارگذاری (انکراژ) و یا مهار متقابل (استرات)، فشار خاک وارده به شمع‌ها تحمل می‌گردد.

مزایای روش دیوار برلنی عبارتند از:

- قیمت مناسب نسبت به روش‌های دیگر پایدارسازی گود.

- اجرای آسان و با سرعت اجرای بالا.

- عدم نیاز به تجهیزات ویژه و خاص.

معایب روش دیوار برلنی عبارتند از:

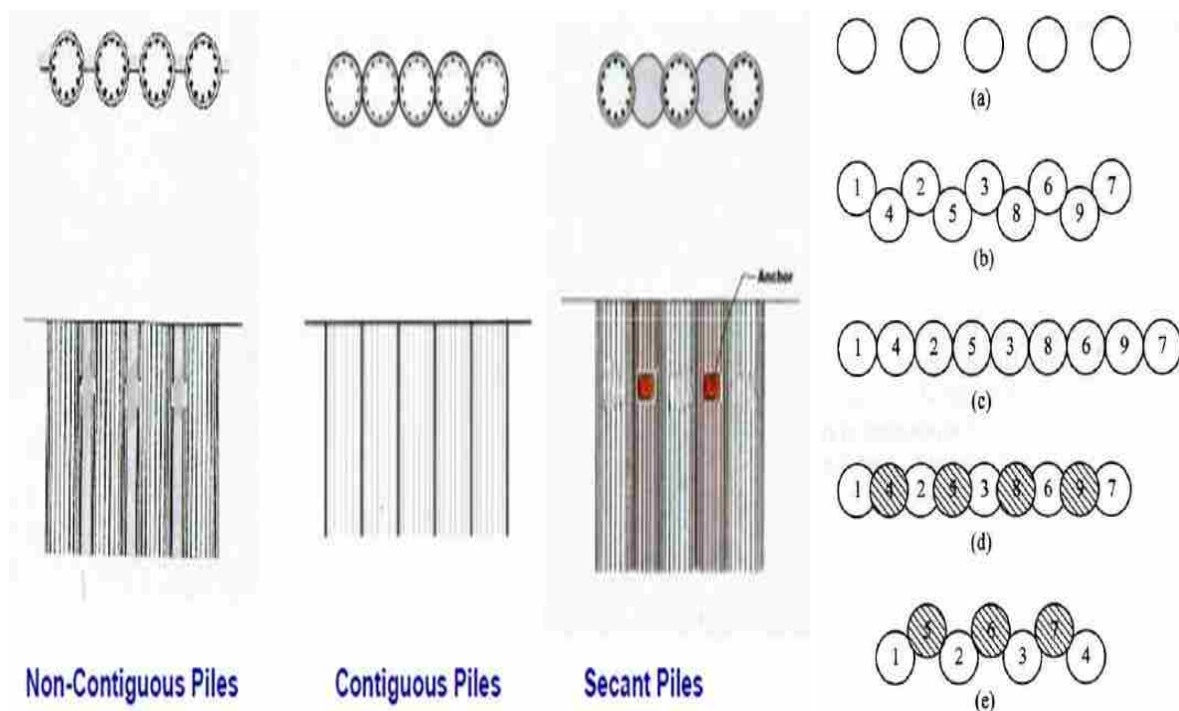
- عدم توصیه برای پایدارسازی دائم.

- عدم توصیه در شرایط تراز بالای آب.

- سختی کم نسبت به دیواره‌های پایدارسازی شده به روش‌های دیگر.

### ۴-۳-۸- گودبرداری به روش شمع<sup>۱</sup>

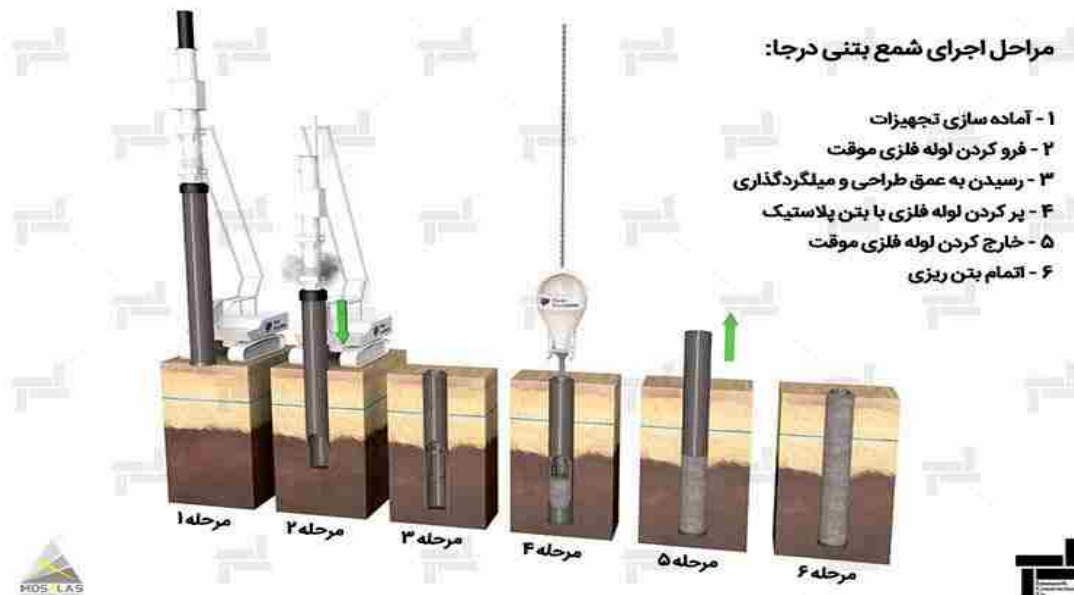
استفاده از شمع‌های نگهبان یکی دیگر از روش‌های کاربردی برای مهار گودبرداری‌ها است. شمع‌ها به دو روش آزاد در زمین<sup>۲</sup> و گیردار در زمین<sup>۳</sup> اجرا می‌شوند. در روش اول، فرض می‌شود که قسمتی از خاک اجازه حرکت به اندازه کافی دارد. در روش دوم، قسمت زیرین کاملاً مهار شده است. شمع‌ها در محدوده وسیعی از خاک‌های سست و نرم تا سخت قابلیت استفاده به عنوان سازه نگهبان را دارند. در صورتی که به صورت همپوشانی<sup>۴</sup> شده اجرا شوند، توانایی آب‌بندی را نیز پیدا خواهند کرد. به طور کلی، سیستم شمع به عنوان سازه نگهبان عموماً به دو شکل اجرا می‌شود: اجرای شمع با فاصله؛ اجرای شمع به صورت پیوسته و بدون فاصله (شکل ۴-۱۳). در حالت سیستم شمع‌های با فاصله، مقاومت خاک پشت شمع نسبتاً مناسب است و سطح آب زیر زمینی پایین‌تر از تراز کف گود قرار دارد. شمع‌های پیوسته علاوه بر تأمین پایداری، توان ایجاد شرایط آب‌بند را نیز دارند. از جمله عیب‌های عمده این روش می‌توان به پُر هزینه بودن (به‌ویژه در گودهای بیش از ۵ متر) و اشغال فضای زمین در تراز منفی اشاره کرد.



شکل ۴-۱۳- آرایش انواع شمع‌های نگهبان

- 1- Excavation by Pile
- 2- Free Earth Support Method
- 3- Fixed Earth Support Method
- 4- Overlapped

مراحل اجرای شمع‌ها بتنی درجا ریز و بتنی کوبشی به ترتیب در شکل‌های ۴-۱۴ و ۴-۱۵ نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۴ - مراحل اجرای شمع‌های بتنی درجاریز



شکل ۴-۱۵ - مراحل اجرای شمع‌های بتنی کوبشی

#### ۴-۳-۹- گودبرداری با روش اختلاط عمیق<sup>۱</sup>

اختلاط عمیق یعنی اصلاح خاک موجود در محل با افزایش مقاومت، کنترل تغییر شکل و کاهش نفوذپذیری. استفاده از این روش برای پایدارسازی گودبرداری‌ها از سال ۱۹۷۰ در ژاپن آغاز شد. در این روش، سیمان (یا به صورت خشک یا به صورت دوغاب) به خاک محل افزوده شده و عملیات اختلاط انجام می‌شود تا ستون‌های خاک-سیمان ایجاد شود. امکان استفاده از روش اختلاط عمیق برای مهار و پایدارسازی گودها به شرایط زمین و مسائل اقتصادی بستگی دارد. در محل‌هایی که زمین به نشست و ارتعاش حساس است و تراز آب زیرزمینی بالا باشد و یا خاک نرم باشد، یکی از مناسب‌ترین گزینه‌ها استفاده از روش اختلاط عمیق است.

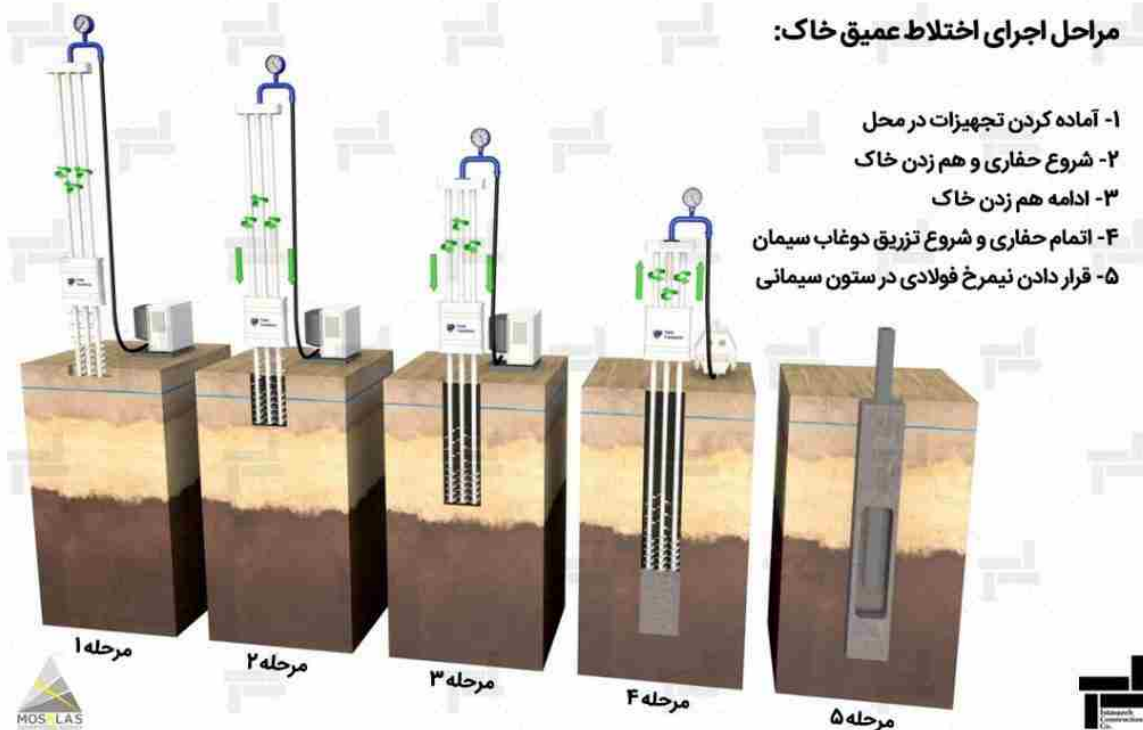
مزایای روش اختلاط عمیق عبارتند از:

- ستون‌های اختلاط عمیق سبب دست‌خوردگی کمتری در خاک اطراف می‌شوند؛ به همین دلیل می‌توان از این روش در کنار پی‌های ساختمان‌های مجاور به راحتی استفاده کرد.
- ستون‌های اختلاط عمیق ارتعاش و آلودگی صوتی کمتری دارند.
- اجرای این روش نسبت به سایر روش‌های سنتی سریع‌تر است.

معایب روش اختلاط عمیق عبارتند از:

- در زمین‌های دارای قلوه سنگ و یا محل‌های دارای تأسیسات زیر زمینی دچار محدودیت هستند.
- به تجهیزات و ماشین‌آلات خاص برای حفاری و اختلاط نیاز دارند.

در شکل ۴-۱۶ نحوه اجرا و ساخت ستون‌های اختلاط عمیق نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۶- مراحل اجرای ستون‌های اختلاط عمیق

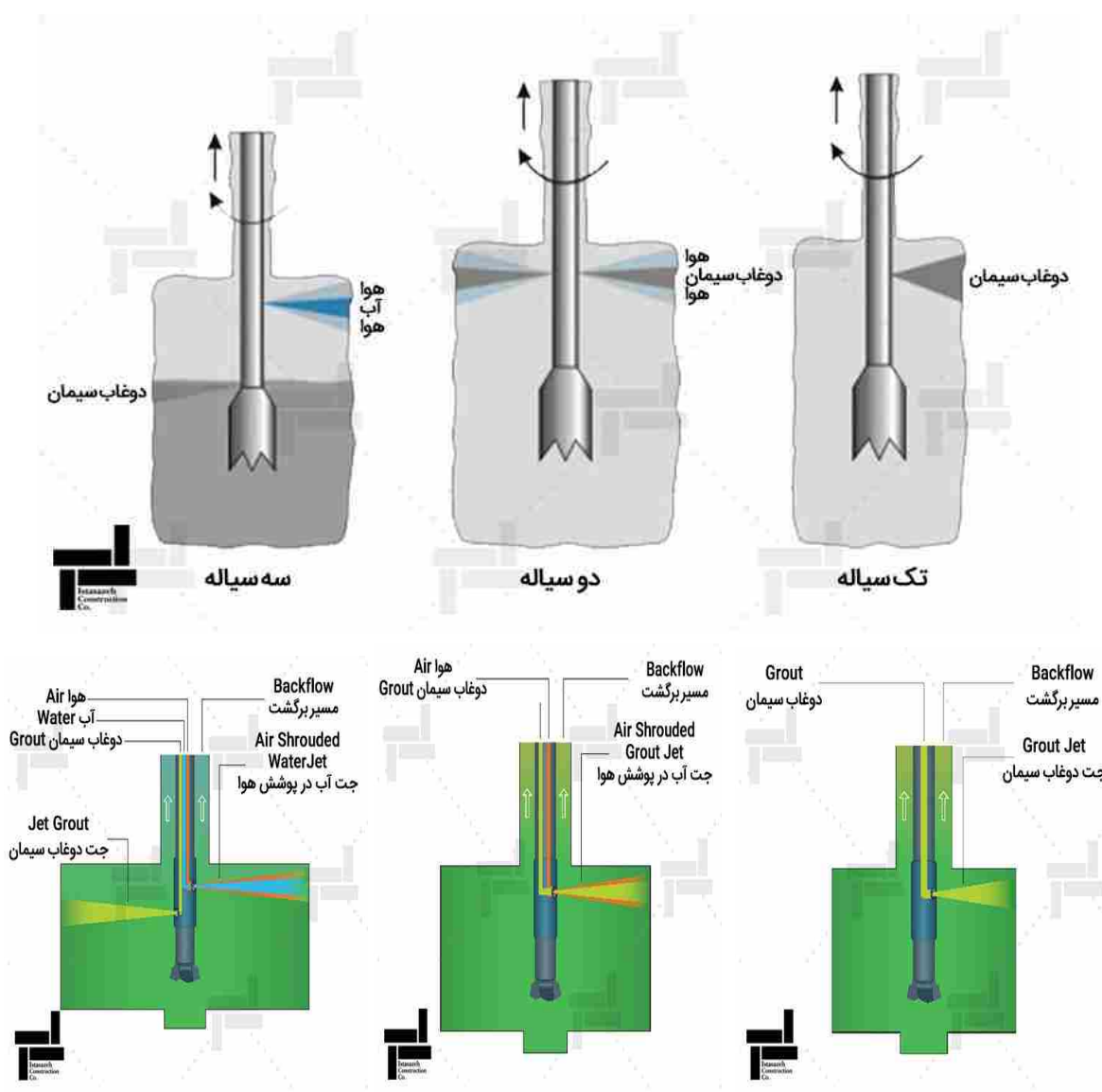
#### ۴-۳-۱۰- گودبرداری به روش تزریق با فشار بالا<sup>۱</sup>

تزریق با فشار بالا روشی است که در آن ساختمان خاک بعد از برخورد با مایع با فشار قوی دچار فروپاشی می‌شود و با اختلاط سیمان، توده خاک-سیمان در محل تشکیل می‌شود. به عبارت دیگر در این روش، از تکنیک تخریب هیدرولیکی برای ایجاد توده خاک-سیمان استفاده می‌شود. در این روش، دوغاب سیمان به درون خاک تزریق می‌شود. عمدتاً سه سیستم برای تزریق با فشار بالا وجود دارد: تزریق تک مرحله‌ای؛ تزریق دو مرحله‌ای و تزریق سه مرحله‌ای (شکل ۴-۱۷). انتخاب هر کدام از این روش‌ها به نوع خاک بستگی دارد.

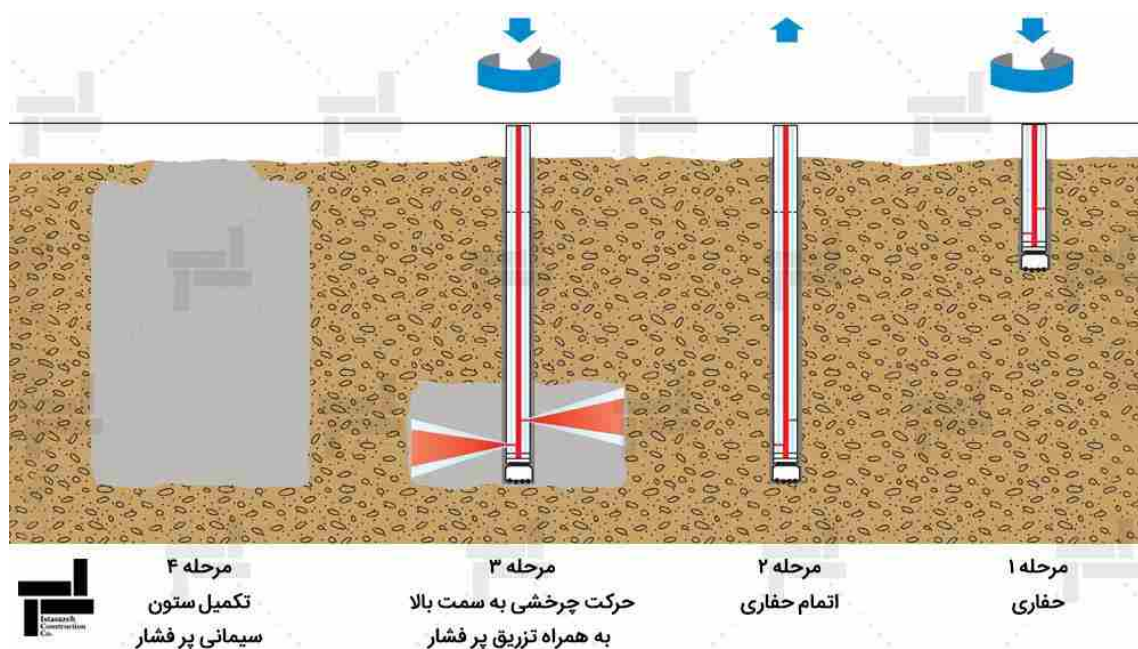
مزایای روش تزریق با فشار بالا عبارتند از:

- در انواع خاک‌ها قابل اجرا است.
- مقاومت و نفوذپذیری به دست آمده از این روش در حد قابل قبول و مناسبی است.

- محل‌های اصلاح شده، کنترل شدنی هستند.
  - ارتعاش در این روش وجود ندارد.
  - در فضاها محدود، قابل اجرا است.
  - از نظر شکل هندسی دارای انعطاف پذیری هستند.
  - در اطراف تأسیسات زیر زمینی موجود قابل اجرا هستند.
- در شکل ۴-۱۸ نحوه اجرای گودبرداری به روش تزریق با فشار بالا نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۷- انواع سیستم‌های متداول تزریق



شکل ۴-۱۸- مراحل اجرای تزریق با فشار بالا

#### ۴-۳-۱۱- گودبرداری با روش ساخت جزیره‌ای<sup>۱</sup>

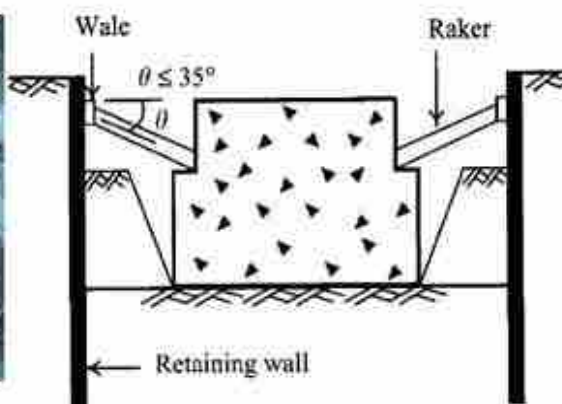
گودبرداری به روش جزیره‌ای، تکنیک ویژه‌ای است که در آن پایدارسازی دیواره گود به روش مهار متقابل و کمک گرفتن از بخش مرکزی ساختمان در دست اجرا انجام می‌شود. در این روش ابتدا المان‌های نگهدارنده قائم همانند روش مهار متقابل در پیرامون گود با فواصل مناسب نصب می‌شوند. سپس گودبرداری قسمت مرکزی محل پروژه با نگه داشتن خاک کنار دیواره گود به صورت شیب‌دار یا پله‌ای تا کف انجام می‌شود. پس از این مرحله، سازه اصلی در قسمت مرکزی گود اجرا می‌شود. در ادامه، پس از آنکه سازه اصلی در هسته مرکزی گود به اندازه کافی و در طبقات بالاتر از گود اجرا شد، خاکبرداری قسمت‌های باقی‌مانده گود در کناره‌ها و نصب قیدهای فشاری همانند سیستم مهار متقابل انجام می‌شود (شکل ۴-۱۹). در انتهای کار پس از اتمام پروژه، قیدهای فشاری (مهار متقابل) در سازه نگهدارنده جمع‌آوری می‌شوند.

مزایای روش ساخت جزیره‌ای عبارتند از:

- افزایش کارایی و کاهش مدت زمان اجرای پروژه.

1- Excavation by Island Construction

- نیاز کمتر به قیدهای فشاری و کاهش هزینه‌ها.
  - قابلیت اجرا در زمین‌های با مساحت گسترده.
- معایب روش ساخت جزیره‌ای عبارتند از:
- احتمال نشت آب در آن وجود دارد.
  - احتمال اتصال سازه‌ای ضعیف بین سازه اصلی در هسته مرکزی و سازه‌های جانبی وجود دارد.
  - احتمال وقوع تغییر شکل‌های جانبی در دیوار و حرکت زمین.



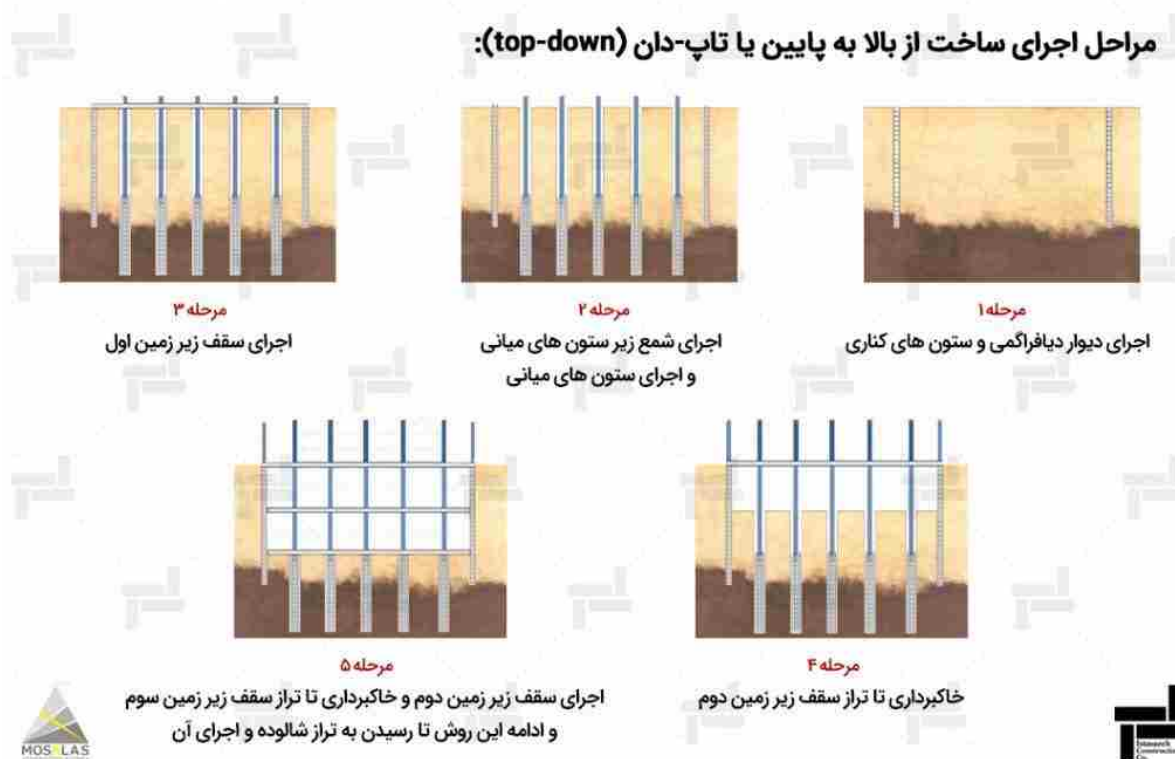
شکل ۴-۱۹- گودبرداری به روش ساخت جزیره‌ای

#### ۴-۳-۱۲- گودبرداری به روش ساخت از بالا به پایین<sup>۱</sup>

برای اولین بار در دهه ۷۰ میلادی، روش ساخت از بالا به پایین در ساخت ایستگاه‌های متروی شهرهای پاریس و میلان مورد استفاده قرار گرفت و به نام روش برش و پوشش<sup>۲</sup> معروف شد. در این روش ابتدا سازه تونل ساخته شده و سپس محیط خارجی تونل با مصالح خاکریزی پُر می‌گردد. جهت افزایش سرعت ساخت یک ساختمان، در سال ۱۹۳۵ در توکیو، از روش ساخت از بالا به پایین استفاده گردید. در سال ۱۹۵۰ در شهر میلان، ترکیب دیوار دیافراگمی و روش از بالا به پایین اجرا گردید. به مرور زمان این روش در کشورهای مختلفی از جمله ایران مورد استفاده قرار گرفته است.

1- Excavation by Top Down Construction Method  
2- Cut and Cover

در روش ساخت از بالا به پایین، ساخت سازه زیر زمینی با اتمام فرآیند گودبرداری تکمیل می‌شود و ساخت سازه زیر زمین از بالا به پایین خواهد بود که برعکس روش‌های متداول ساخت پی‌ها است. مراحل اجرای روش ساخت از بالا به پایین به شرح زیر است: (۱) ساخت دیوار نگهدارنده پیرامونی به روش دیوار دیافراگمی، سپر کوبی یا شمع نگهدارنده. (۲) حفر چاه‌هایی در محل ستون‌های سازه اصلی. (۳) اجرای شمع‌های پاشنه و گیردار کردن ستون‌های سازه اصلی در چاه‌های حفاری شده. (۴) خاکبرداری مرحله اول. (۵) استقرار دال کف برای اولین سقف زیر زمین. (۶) آغاز ساخت سازه اصلی. (۷) خاکبرداری مرحله دوم. (۸) تکرار مراحل قبل تا رسیدن به تراز مورد نظر (زیر پی ساختمان اصلی). در شکل ۴-۲۰ مراحل ساخت از بالا به پایین نشان داده شده است.



شکل ۴-۲۰ - مراحل اجرای روش از بالا به پایین

مزایای روش ساخت از بالا به پایین عبارتند از:

- ساخت همزمان سازه اصلی و سازه زیر زمینی سبب کاهش زمان ساخت می‌شود.
- ایجاد فضای کاری بیشتر با استفاده از تکنیک‌های پیشرفته ساخت دال در کف طبقات زیر زمین.

- سختی بیشتر دال‌های کف در مقایسه با قیده‌های فشاری فولادی سبب افزایش ایمنی در زمان گودبرداری می‌شود.

- برای ساختمان‌های بلند مرتبه با گودبرداری عمیق مناسب است.

- کنترل مناسب تغییر شکل‌های جانبی و نشست.

- حذف هزینه‌های اجرای سیستم‌های پایدار ساز موقت.

معایب روش ساخت از بالا به پایین عبارتند از:

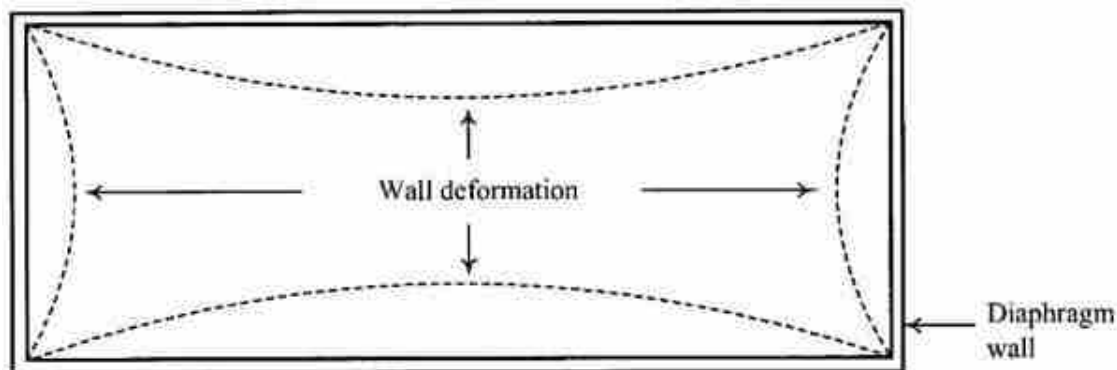
- اهمیت دقت و کیفیت ویژه در حین ساخت و ساز.

- خاکبرداری در طبقات زیرین به سیستم تهویه و روشنایی مناسب نیازمند است.

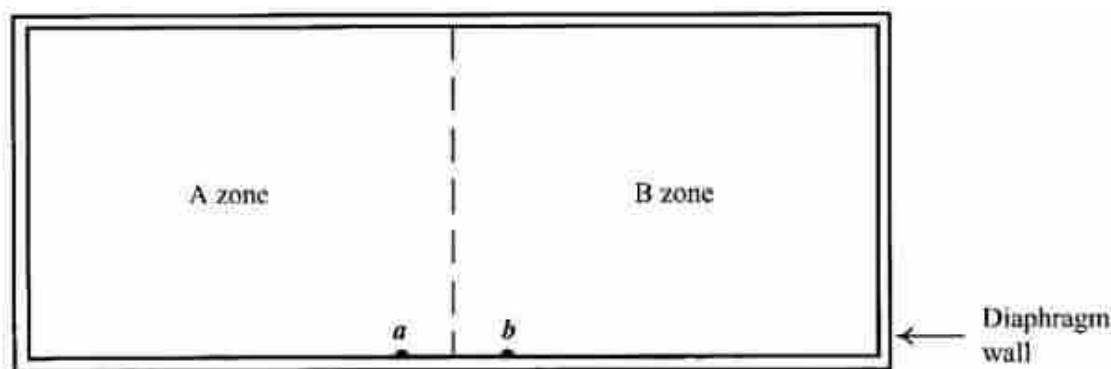
- اگر زمان ساخت سازه زیر زمینی بیشتر شود، احتمال جابجایی افقی دیوار نگهدارنده یا نشست زمین افزایش می‌یابد.

#### ۴-۳-۱۳- گودبرداری با روش ناحیه‌بندی شده<sup>۱</sup>

روش گودبرداری ناحیه‌بندی شده با در نظر گرفتن پدیده قوس زدگی<sup>۲</sup>، تغییر شکل دیوار را کاهش می‌دهد و نشست زمین را در طول دوره گودبرداری کم می‌کند. در این روش محل گودبرداری به نواحی کوچکتر تقسیم می‌شود و در هر مرحله یک قسمت گودبرداری می‌شود. در شکل ۴-۲۱ این روش نشان داده شده است.



1- Zoned Excavation  
2- Arching Effects



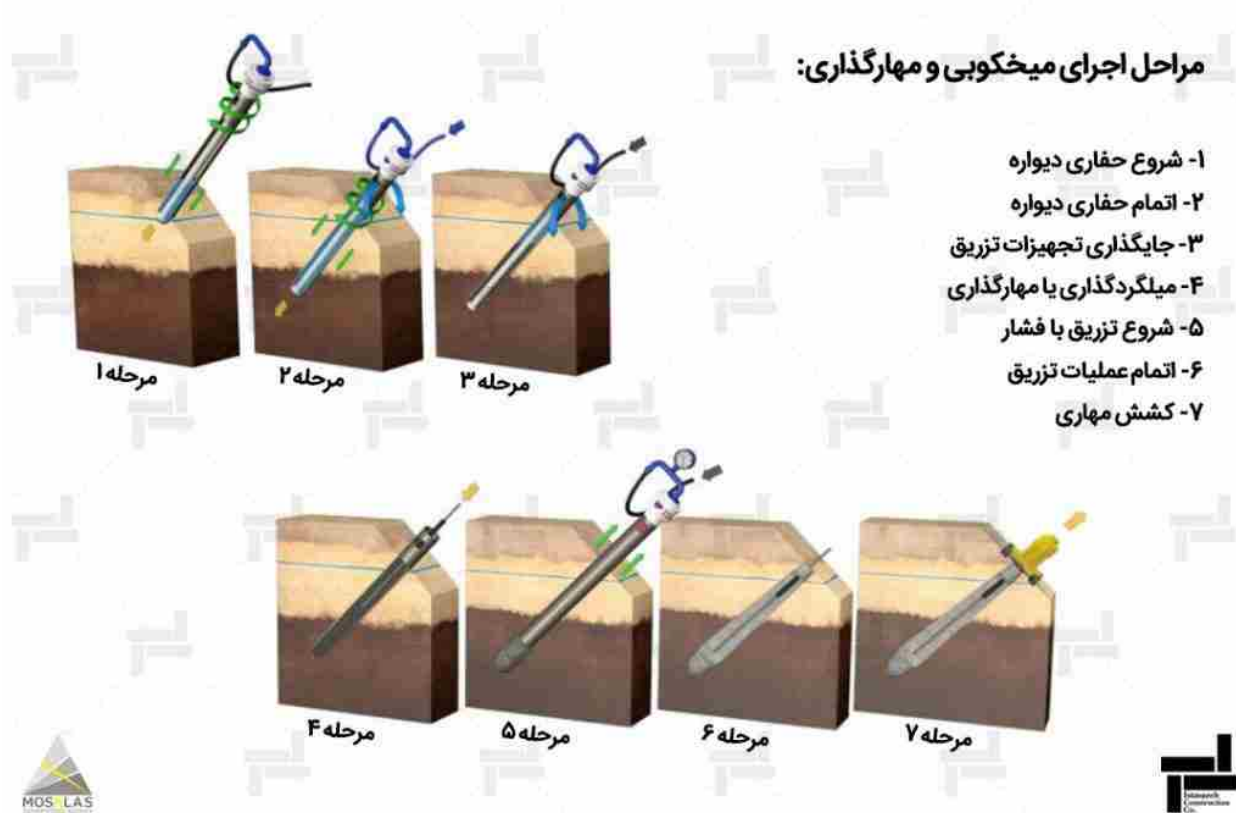
شکل ۴-۲۱- روش ناحیه‌بندی شده

#### ۴-۳-۱۴- گودبرداری به روش میخ‌گذاری<sup>۱</sup>

عملیات میخ‌کوبی خاک، یکی از روش‌های ابداعی برای پایدارسازی ترانشه‌ها و تأمین تکیه‌گاه افقی دیواره‌های خاک‌برداری شده، برای جلوگیری از لغزش و گسیختگی خاک است. تاریخچه آن به دهه ۶۰ میلادی در آمریکا بر می‌گردد؛ که در واقع نوعی سیستم خاک مسلح بوده است. سرانجام در سال ۱۹۸۶ برای اولین بار این روش مشابه تکنیک فعلی آن به دنیا معرفی شد. این روش در پایدارسازی شیب‌ها، جداره‌های گودبرداری، افزایش ظرفیت باربری خاک و محدود کردن تغییر شکل‌ها کاربرد دارد. مبنای این روش تسلیح درجای خاک است. تئوری این روش، بر مبنای مسلح کردن و مقاوم کردن توده خاک با استفاده از دوختن توده خاک توسط میخ با فواصل نزدیک به هم است. نکته مهمی که در این روش باید به آن توجه شود این است که نیروی کششی در میخ‌ها زمانی فعال می‌گردد که مقداری جابجایی در سیستم ایجاد شود. همین این موضوع ممکن است در ساختمان‌های مجاور با کاربری حساس اشکال ایجاد کند. به همین دلیل، در انتخاب این سیستم پایدار کننده باید به مقدار جابجایی مجاز سازه‌های مجاور توجه ویژه‌ای شود.

روش پیشنهادی برای اجرای سیستم میخ‌گذاری دیواره‌های گود معمولاً شامل شش مرحله است. این مراحل عبارتند از: ۱) گودبرداری مقطعی ۲) حفاری گمانه‌ها ۳) نصب میلگرد تسلیح ۴) تزریق دوغاب سیمان ۵) بتن‌پاشی ۶) نصب صفحه سر میخ و مهره. پس از اجرای گام اول حفاری بر اساس شش مرحله ذکر شده در بالا؛ مراحل بعدی گودبرداری تا رسیدن به تراز کف گود انجام می‌گردد. در شکل ۴-۲۲ روش اجرای میخ‌کوبی نشان داده شده است.

1- Excavation by Soil Nailing



شکل ۴-۲۲- مراحل اجرای روش میخکوبی

خاک‌های مناسب برای اجرای سیستم میخ گذاری عبارتند از:

- خاک‌های ریزدانه سخت تا خیلی سخت
- خاک‌های دانه‌ای متراکم تا خیلی متراکم با مقداری چسبندگی ظاهری
- سنگ‌های هوازده بدون صفحات ضعیف
- خاک‌های یخرفتی (رسوبات یخچالی)

خاک‌های نامناسب برای اجرای سیستم میخ گذاری عبارتند از:

- خاک‌های غیر چسبنده خشک و بد دانه‌بندی شده
- خاک‌های با سطح آب زیرزمینی بالا

- خاک‌های دارای تخته سنگ و قلوه سنگ
- خاک‌های ریزدانه نرم تا خیلی نرم
- خاک‌های آلی
- خاک‌های خورنده
- سنگ‌های هوازده و دارای صفحات ضعیف و آهکی
- گل و لای رسی

مزایای روش سیستم میخ گذاری عبارتند از:

- بهبود مشخصات مکانیکی خاک بر اثر تزریق دوغاب داخل خاک.
- مناسب بودن هزینه اجرای آن برای گودهای با عمق متوسط به بالا.
- انطباق سریع و آسان با شرایط سایت‌های مختلف و شرایط خاک‌های مرطوب.
- کاهش تجهیزات و مصالح نسبت به سایر روش‌ها.
- عدم نیاز به گودبرداری اضافی.
- عدم تداخل سازه‌های پایدار شده با عملیات ساخت و ساز ساختمان.
- عدم جاگیر بودن و اشغال فضا در این روش.

معایب روش سیستم میخ گذاری عبارتند از:

- ورود به محدوده ملک همسایه.
- احتمال ایجاد تغییر مکان‌های افقی و عمودی در زمین مجاور گود و احتمال ایجاد ترک (در صورت عدم دقت کافی در حین اجرای این سیستم).
- عدم امکان اجرا در ۳ تا ۴ متر اول گودبرداری در زمین‌های مجاور خیابان، به علت امکان برخورد با تأسیسات شهری.

- محدودیت اجرا در زمین‌های لجنی.
- محدودیت اجرا در زمین‌های دارای چاه و قنات و سیستم‌های دفع فاضلاب.
- محدودیت اجرا در خاک‌های دارای استعداد خوردگی.
- نیاز به مهارت اجرای بالا و نیروی کار متخصص.
- محدودیت در سایت‌های کوچک به علت عدم توجه اقتصادی.
- نیاز به تجهیزات ویژه.

#### ۴-۳-۱- نکات اجرایی گودبرداری به روش میخ‌گذاری

**نکته ۱-** برای میخ‌گذاری از آرماتورهای آجدار به قطرهای ۲۵، ۲۸ و ۳۲ میلی‌متر استفاده می‌شود. قطر حفاری بین ۷ تا ۱۰ سانتی‌متر است. همچنین در ساخت مش‌های فولادی از آرماتورهای ساده به قطر ۶، ۸ یا ۱۰ میلی‌متر و با چشمه‌های ۱۰ یا ۱۵ سانتی‌متری استفاده می‌شود.

**نکته ۲-** حداکثر فاصله قائم و افقی بین میخ‌ها، ۲ متر است.

**نکته ۳-** در صورت رضایت همسایه، ارزان‌ترین روش پایدسازی گود ابتدا روش میخ‌گذاری، سپس انکراژ (میل مهار) و در نهایت روش خرابایی است.

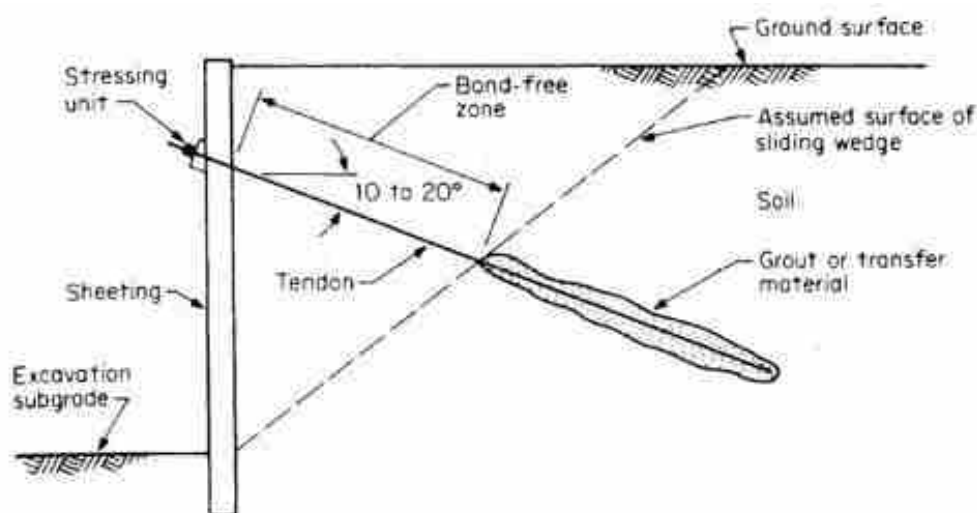
**نکته ۴-** فرق میخ‌های دائم و موقت در مد نظر قرار دادن اثر خوردگی است. در میخ‌های دائم باید اثرات خوردگی را در نظر گرفت و یا اینکه از پوشش اپوکسی برای آن‌ها استفاده کرد. در حالت میخ‌های دائم، ضخامت شاتکریت دو برابر حالت مقاوم است (۲۰ سانتی‌متر شاتکریت).

#### ۴-۳-۱۵- گودبرداری با استفاده از میل مهار<sup>۱</sup>

استفاده از میل مهارها به عنوان المان‌های تسلیح بر جای خاک در شرایطی جایگزین سیستم میخ‌گذاری می‌شود که حساسیت جابجایی در سازه‌های اطراف بالا باشد. به‌طور خلاصه یعنی، میل مهارها سبب می‌شوند که جابجایی‌های

1- Excavation by Anchor

کمتری در خاک دیواره‌های گود و سازه‌های مجاور گود ایجاد شود. استفاده از میل مهارها یک روش متداول به عنوان المان‌های نگهدارنده برای دیوارهای حائل و رویه‌های بتن پاشی<sup>۱</sup> شده است. با نصب میل مهار امکان انتقال بار کششی به لایه‌های خاک یا سنگ میسر می‌شود. در شکل ۴-۲۳ نمونه یک میل مهار نشان داده شده است.

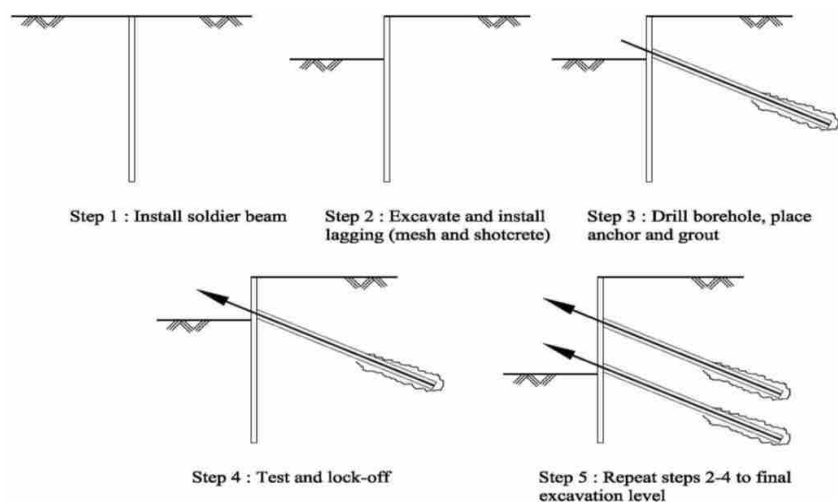


شکل ۴-۲۳ - نمونه‌ای از یک میل مهار

بر اساس کاربرد، میل مهارها به دو گروه با کاربرد موقت و کاربرد دائمی تقسیم می‌شوند. میل مهارهای دائمی دارای عمر مفید ۷۵ تا ۱۰۰ سال هستند. در حالی که کاربرد میل مهارهای موقت بسته به نوع پروژه بین ۱۸ تا ۳۶ ماه است. از نظر ساختمان، میل مهار دارای سه قسمت عمده است: سر میل مهار؛ طول آزاد؛ طول گیرداری. مزایای روش گودبرداری با میل مهار عبارتند از:

- نیاز به فضای کاری کم.
- توانایی تحمل نیروهای افقی نسبتاً زیاد، بدون افزایش قابل ملاحظه در ضخامت دیوار.
- حذف نگهدارنده‌های موقت (در صورت لزوم).
- کاهش حجم عملیات حفاری و گمانه‌زنی روی دیواره گود.
- کنترل تغییر شکل‌های جانبی دیواره گود نسبت به روش‌های مشابه، همانند میخ گذاری.

در شکل ۴-۲۴ مراحل ساخت سازه نگهبان به کمک میل مهار نشان داده شده است.



شکل ۴-۲۴ - مراحل گودبرداری به روش نصب میل مهار

اجزای اصلی در پایدارسازی با استفاده از مهار (انکر) به قرار زیر هستند:

**استرندها:** استرندها، کابل تنیده شده از چند رشته مفتول فولادی است. این مفتول‌های فولادی دارای مقاومت بالا (حدود ۱۸۶۰ مگاپاسکال) هستند. می‌توان به جای استرندها از فولاد نیز استفاده کرد که در این حالت نیروی پیش‌تنیدگی قابل اعمال با توجه به مقاومت پایین‌تر فولاد (حدود ۴۰۰ مگاپاسکال) نسبت به انکر کمتر است. استفاده از استرندها یا فولاد با توجه به شرایط پروژه تعیین می‌شود.

**فاصله نگهدار:** برای دسته کردن چند رشته استرندها در یک مهار و ثابت نگهداشتن آنها نسبت به یکدیگر و رعایت حداقل فاصله مجاز بین رشته‌های استرندها از فاصله نگهدارها استفاده می‌شود.

**شیلنگ‌های تزریق:** برای اطمینان از پُر شدن گمانه با دوغاب در حین تزریق گمانه از یک یا چند شیلنگ با طولی حداقل برابر با طول مهار استفاده می‌شود.

**پکر<sup>۱</sup>:** برای تزریق تحت فشار از پکر استفاده می‌شود. دوخت‌های پکر باید به گونه‌ای باشد که تحمل فشارهای تزریق را داشته باشد. آب‌بندی ابتدا و انتهای پکر باید به صورت مناسبی انجام گیرد تا در هنگام پُر کردن پکر توسط دوغاب و یا تزریق تحت فشار طول گیردار مهار، نشت اتفاق نیفتد.

**غلاف استرند:** به منظور جلوگیری از چسبیدن و درگیر شدن استرندها به دوغاب و اطمینان از عدم انتقال نیروی مهار به خاک در طول آزاد، استرندها در طول آزادِ مهار در داخل غلاف نگهداشته می‌شوند.

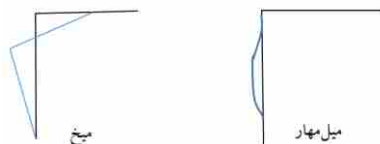
**سر انکر:** سر انکر یک استوانه دارای چند سوراخ مخروطی شکل در قاعده آن است که به منظور انتقال نیروی کششی مهار از استرندها بر روی مهار در سر گمانه نصب می‌شود.

**گوه:** قطعات فولادی مخروطی شکل توخالی که در اطراف هر رشته استرندها در داخل سوراخ سر انکر استفاده می‌شوند. هدف از استفاده از این قطعات قفل کردن استرندها است. لازم به ذکر است که در صورت استفاده از میلگرد به جای استرندها در انکر، نیازی به برخی از اجزای اشاره شده در بالا نیست.

#### ۴-۳-۱- نکات اجرایی گودبرداری با استفاده از میل مهار

**نکته ۱-** کابل‌ها یا استرندهایی<sup>۱</sup> که در میل مهار استفاده می‌شود، مقاومت خیلی بالایی دارد.

**نکته ۲-** جابجایی ایجاد شده در بالای ساختمان که بسیار خطرناک است، در روش استفاده از میل مهار خیلی کمتر از روش استفاده از میخ گذاری است.



#### ۴-۳-۱۶- گودبرداری با روش بلوک و مهاری<sup>۲</sup>

اساس این روش مشابه میخ کوبی است، با این تفاوت که به جای میخ از مهار کابل (استرندها) استفاده می‌شود. روش بلوک مهاری برای زمین‌های بدون آب یا دارای مقدار کمی آب برای زهکشی مناسب است. در این روش از المان‌های پیوسته مانند شمع، دیوار دیافراگمی، ستون‌های اختلاط عمیق و غیره استفاده نمی‌شود؛ بر همین اساس برای خاک‌های سمنته شده مناسب هستند. سیستم نگهدارنده دیواره گود شامل میل مهارها، بلوک‌های بتنی و شاکریت است (شکل ۴-۲۵). نیروهای جانبی از طریق پدیده قوس زدگی خاک، به بلوک بتنی و مهارهای آن انتقال می‌یابد. بلوک مهاری به دو روش اجرا می‌شود:

1- Strand

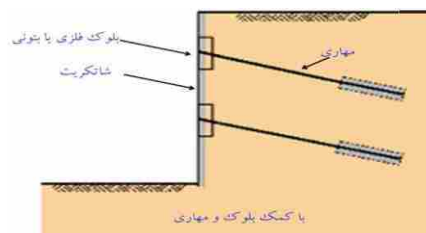
2- Excavation by Anchored Pad Support

(۱) نصب بلوک (بتنی یا فلزی) بر روی شاتکریت.

(۲) اجرای بلوک بتنی به صورت درجا و همزمان با عملیات بتن‌پاشی در دیواره گود.

مزایای روش بلوک مهارى عبارتست از:

- ایمنی بیشتر نسبت به میخ‌گذاری.
- با کشش مهارها تغییر شکل خاک در اثر خاکبرداری جبران می‌شود و این تغییر شکل‌ها قابل اغماض است.
- مهارها به محض کشیده شدن، فعال می‌شوند.
- به علت حجم کمتر حفاری، سرعت اجرا در آن بیشتر است.
- در صورت جواب ندادن هر مهار، مهار جبرانی را سریع می‌توان اجرا کرد.



شکل ۴-۲۵- گودبرداری به روش بلوک مهارى

#### ۴-۳-۱۶-۱- نکات اجرایی گودبرداری با استفاده از روش بلوک و مهارى

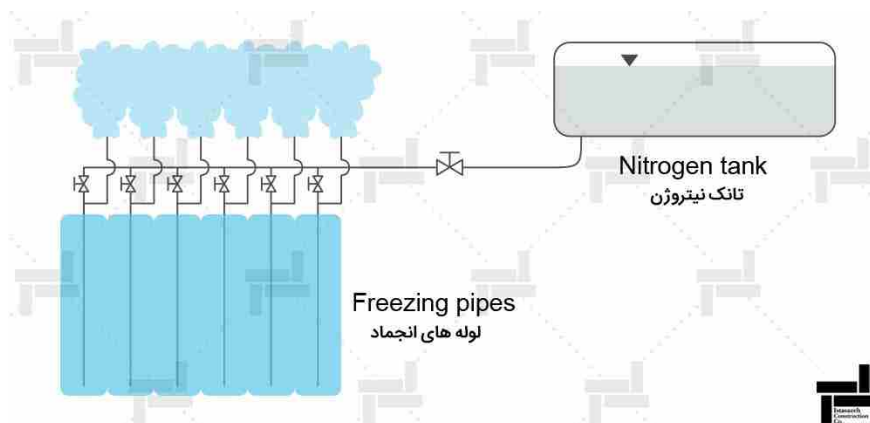
**نکته ۱-** در روش بلوک و مهارى، قسمت‌هایی که قرار است با دوغاب درگیر نشوند را شیلنگ کشیده تا مصون بماند و راحت حرکت کند. سپس، یک هفته پس از دوغاب‌ریزی مهارها کشیده می‌شوند.

**نکته ۲-** در اجرای مهار دائم و موقت باید به این موضوع توجه کرد که اگر قرار بر اجرای مهار دائم است، باید بررسی شود که آیا خاک قدرت خوردگی استرند را دارد، یا خیر؛ در صورت مثبت بودن پاسخ به این سوال، باید روی آن را غلاف کشید تا دوغاب بیرون و داخل آن را پُر کند. همچنین پوشش روی استرند باید کاملاً به گریس آغشته شود تا آب خوردگی در آن ایجاد نگردد.

**نکته ۳-** به طور کلی، باید توجه داشت که هزینه اجرای مهار دائم در حدود ۱/۵ برابر هزینه اجرای مهار موقت است.

#### ۴-۳-۱۷- گودبرداری با روش انجماد<sup>۱</sup>

اولین گزارش استفاده از روش اصلاح خاک به روش انجماد به حفاری معدنی در سوئول<sup>۲</sup> در سال ۱۶۸۲ بر می‌گردد. استفاده از روش انجماد خاک به عنوان سازه نگهبان در طول دوره ساخت پروژه‌های گودبرداری در زمین‌های با سطح ایستایی بالا اجرا می‌شود. دیواره یخ‌زده خاکی علاوه بر اینکه پایداری گود را (بدون استفاده از مهار) تأمین می‌کند، مانع نفوذ آب به داخل محدوده گودبرداری نیز می‌شود. به علاوه این روش، مانع افت سطح آب زیر زمینی می‌گردد؛ که می‌تواند عامل نشست در سازه‌های مجاور گود باشد. در این روش، نیتروژن مایع را با دمای ۱۸۳- درجه سانتی‌گراد مستقیماً درون لوله‌های انجماد تزریق می‌کنند. این نیتروژن مایع در خاک با فشار پخش می‌شود و نهایتاً از سطح زمین خارج می‌گردد. نیتروژن در هنگام خروج از سطح زمین به صورت گاز متصاعد می‌شود، در این حالت دمای گاز متصاعد شده ۶۰- درجه است. انرژی حاصل از تغییر دمای مذکور سبب انجماد آب موجود در خاک می‌گردد. آب زیر زمینی یخ‌زده به عنوان یک عامل پیوند دهنده بین ذرات خاک و سنگ است که جهت افزایش چشمگیر مقاومت فشاری و جلوگیری از نفوذ آب برای اجرای عملیات حفاری زیر سطحی به کار می‌رود. در استفاده از این روش باید اثرات نیتروژن روی محیط‌زیست منطقه در نظر گرفته شود. در شکل ۴-۲۶ اصول روش انجماد خاک نمایش داده شده است.

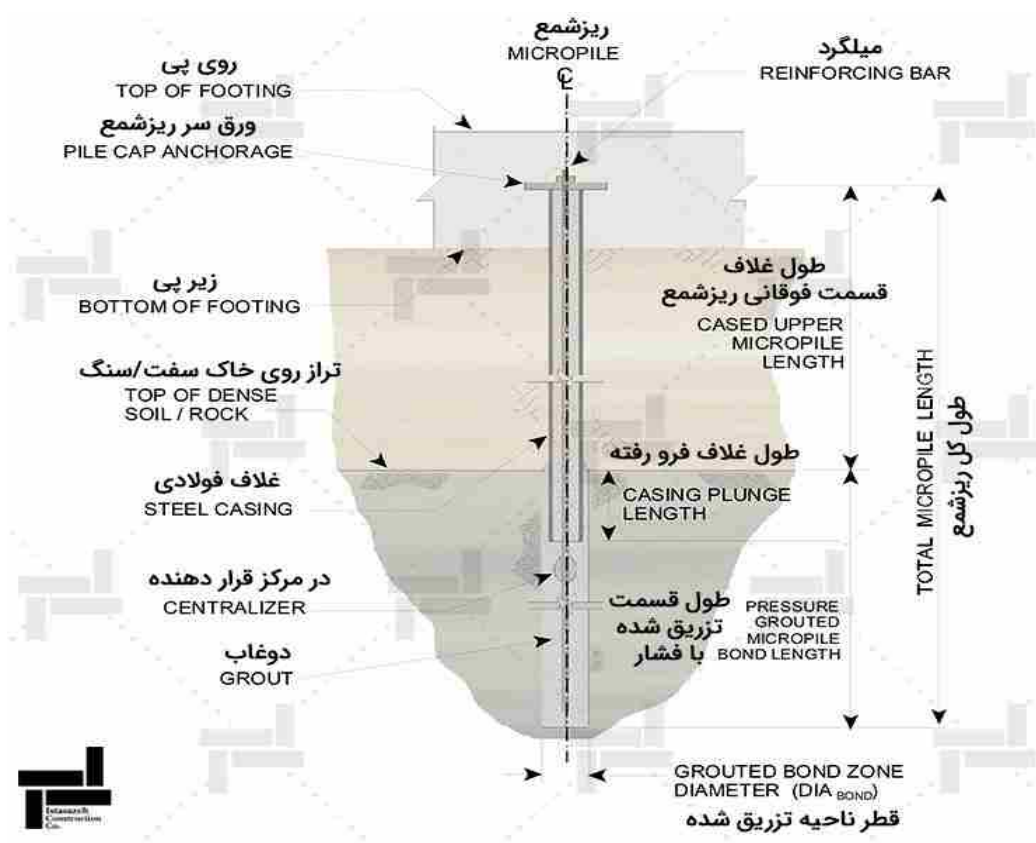


شکل ۴-۲۶- اصول روش انجماد

#### ۴-۳-۱۸- گودبرداری با استفاده از ریز شمع<sup>۳</sup>

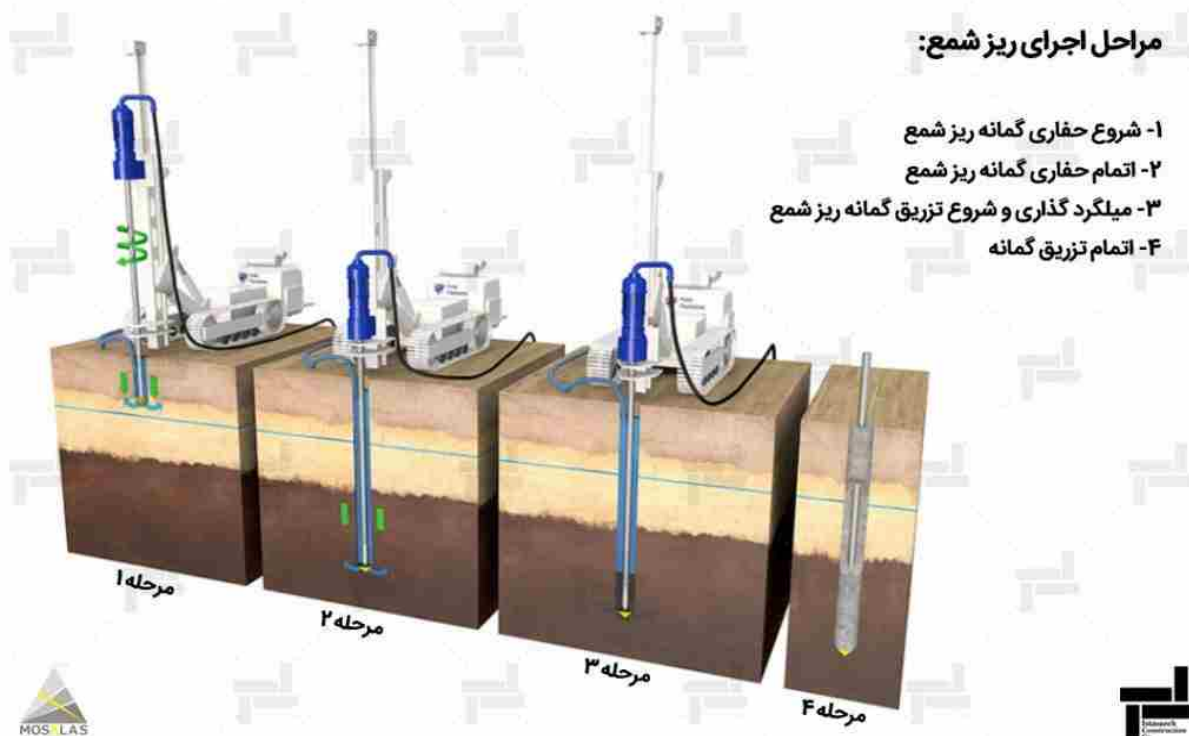
- 1- Excavation by Soil Freezing
- 2- South Wales
- 3- Excavation by Micropile

به شمع‌های با قطر کمتر از ۳۰ سانتیمتر که با میلگردگذاری و تزریق همراه است، ریزشمع یا میکروپایل گفته می‌شود. در اوایل دهه ۱۹۵۰ که نیاز به ترمیم سازه‌های آسیب دیده از جنگ جهانی دوم در اروپا احساس می‌شد، ریز شمع در ایتالیا ابداع شد. با توجه به سرعت اجرا، قابلیت اجرا در ساختمان‌های آسیب‌دیده و کارایی مناسب، این روش به سرعت در ایتالیا گسترش یافت. در سال ۱۹۷۳ با اصلاح سازه‌هایی در نیویورک و بوستون، این روش به آمریکای شمالی نیز معرفی گردید. پس از گسترش ریز شمع، کشورهای مختلف آیین‌نامه‌هایی برای طراحی و اجرای ریز شمع تنظیم کردند. جزئیات ریز شمع در شکل ۴-۲۷ نشان داده شده است. استفاده از ریز شمع در پایدارسازی شیب‌ها و گودها یکی دیگر از تکنیک‌های کاربردی است.



شکل ۴-۲۷- جزئیات ریز شمع

روش اجرای ریز شمع معمولاً شامل حفاری گمانه، لوله کوبی و قرارگیری آرماتور و سپس تزریق آن است (شکل ۴-۲۸). ریز شمع می‌تواند نیروهای قابل توجه محوری و تا حدودی نیروهای جانبی را تحمل کند. امکان اجرای ریز شمع در پروژه‌هایی که محدودیت دسترسی دارند و در هر نوع خاک و شرایط زمینی وجود دارد.



شکل ۴-۲۸- مراحل اجرای ریز شمع

به‌طور کلی، لوله‌های ریز شمع از طریق کوبش یا حفاری جایگذاری می‌شوند. جایگذاری از طریق کوبش به دلیل اصطکاکی که بین لوله‌ها و جدار خاک پیرامون آن‌ها ایجاد می‌شود و تأثیر آن در افزایش فشار تزریق دوغاب سیمان، باعث ارتقای قابل ملاحظه در عملکرد باربری ریز شمع‌ها می‌شود. جایگذاری از طریق حفاری باعث ایجاد دست‌خوردگی در لایه‌های مختلف خاک می‌شود و می‌بایست در عمل قطر بیشتری نسبت به قطر خارجی لوله‌ها حفاری کرد. به‌همین دلیل، صرفاً در شرایطی که کوبش لوله میسر نباشد (عمدتاً در عمق‌های زیاد و خاک‌های سفت) از عملیات حفاری استفاده می‌شود. عملیات حفاری به‌روش‌های مختلفی نظیر حفاری دورانی و یا دورانی-ضربه‌ای صورت می‌پذیرد.

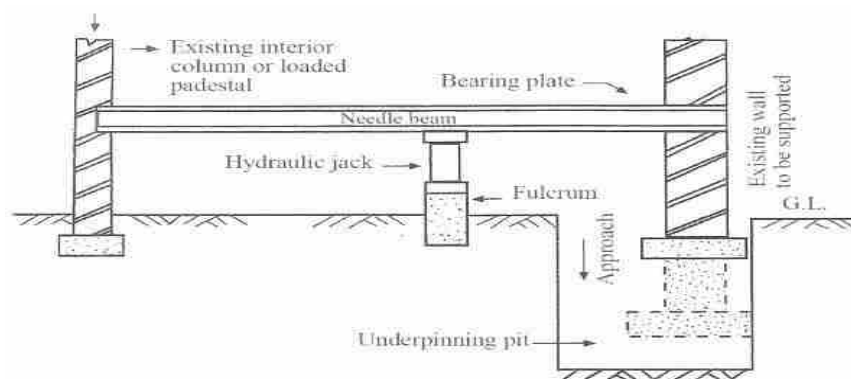
پس از حفاری، لوله‌های ریز شمع توسط دستگاه‌های لوله‌کوب در محل‌های مشخص شده کوبیده می‌شوند. اولین قطعه به‌صورت سرنیزه بوده و قطعات بعدی به‌ترتیب کاملاً به یکدیگر متصل می‌شوند. عملیات کوبش تا زمانی که امکان کوبیدن لوله‌ها میسر باشد ادامه می‌یابد و اگر در ازای ۳۰ ضربه متوالی لوله‌کوب، لوله بیشتر از ۱۰ سانتیمتر فرو نرود، عملیات کوبش لوله ریز شمع متوقف می‌گردد. در این حالت تا تحقق عمق طراحی، حفاری انجام شده و سپس

لوله‌های مربوط به ریز شمع در درون گمانه نصب می‌گردد. لوله‌های ریز شمع معمولاً در قطعات دو متری و به قطر خارجی ۷۶ میلیمتر و قطر داخلی ۶۸ میلیمتر هستند که به یکدیگر متصل می‌شوند. هر ریز شمع دارای ۸۰ سوراخ به قطر ۸ میلیمتر، در هر متر طول است.

دستگاه‌های تزریق از سه بخش میکسر اولیه، میکسر ثانویه و پمپ تزریق تشکیل می‌گردند. اختلاط در میکسر اولیه از نوع سیستم چرخش سریع آب<sup>۱</sup> بوده و میکسر ثانویه از نوع پره‌ای است. ساخت دوغاب تزریق در میکسر اولیه صورت می‌گیرد، بدین صورت که ابتدا آب به میزان مورد نظر در میکسر ریخته شده و سپس متناسب با نسبت آب به سیمان مورد نیاز، سیمان به آن افزوده می‌شود. جهت نگهداری دوغاب آماده شده در میکسر اولیه، دوغاب در داخل میکسر ثانویه ریخته شده و سپس به وسیله پمپ تزریق می‌گردد. جهت تزریق دوغاب در لوله‌های ریز شمع از لوله‌هایی به نام پکر استفاده می‌گردد. هنگام تزریق، پکر به جداره لوله می‌چسبد و مانع از خروج دوغاب می‌شود.

#### ۴-۳-۱۹- گودبرداری با روش پی‌بندی<sup>۲</sup>

پی‌بندی به معنی انتقال بار پی ساختمان موجود به لایه‌های عمیق‌تر و بستر محکم‌تر است. پی‌بندی با حفاری خاک زیر پی موجود و با نصب عناصر جدید مثل تیرک‌های قائم در زیر پی‌ها، یکی پس از دیگری انجام می‌شود. از همین رو عملیاتی سخت و زمان‌بر است. اگر گودبرداری در پایین‌تر از پی ساختمان همسایه انجام شود، لازم است که بار پی ساختمان همسایه را با پی‌بندی به زمین زیر گود منتقل کرد. در شکل ۴-۲۹ نحوه عملکرد سیستم پی‌بندی نشان داده شده است.



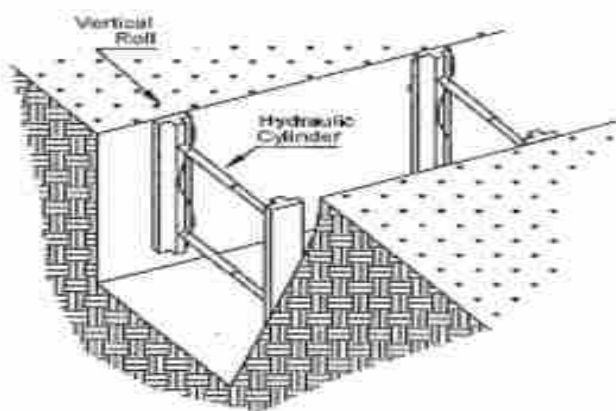
شکل ۴-۲۹- روش پی‌بندی

- 1- Circulation
- 2- Excavation by Underpinning

اگر گودبرداری در پایین‌تر از پی ساختمان همسایه انجام شود، مطابق مراجع بین‌المللی تخصصی، باید بار پی ساختمان همسایه را با پی‌بندی به زمین زیر گود منتقل کرد. نکته قابل توجه آن است که روش پی‌بندی روشی برای نگهداری مستقیم ساختمان مجاور گود است و نه شیوه‌ای برای نگهداری دیواره خاکی گود. در اغلب موارد، پی‌بندی همراه با روش روبندی اجرا می‌شود.

#### ۴-۳-۲۰- گودبرداری با روش روبندی<sup>۱</sup>

روبندی نوعی تکیه‌گاه خارجی برای ساختمان به وجود می‌آورد (شکل ۴-۳۰). روبندی با استفاده از تیرک‌های مایل<sup>۲</sup> یا تیرک‌های آویزان<sup>۳</sup> که اغلب افقی هستند، انجام می‌شود. در واقع روبندی نوعی تکیه‌گاه خارجی برای ساختمان به وجود می‌آورد. مطابق مراجع تخصصی بین‌المللی، روبندی باید همراه با پی‌بندی اجرا شود. همانند روش پی‌بندی، روبندی نیز روشی برای نگهداری مستقیم ساختمان مجاور گود است و نه روشی برای نگهداری دیواره خاکی گود.

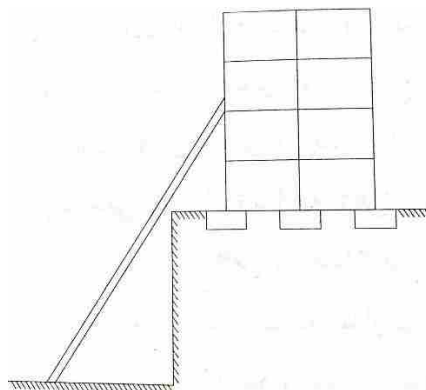


شکل ۴-۳۰- روش روبندی

#### ۴-۳-۲۱- گودبرداری با روش سنتی نگهداری ساختمان همسایه مجاور گود

یکی از روش‌های رایج گودبرداری در ایران که دارای خاک مستحکم هستند، به کارگیری تیرک‌های مایل (شکل ۴-۳۱) یا تیرک‌های افقی است. تیرک‌ها در این روش سنتی، به ساختمان همسایه وصل می‌شوند و سازوکار عملکرد آن‌ها متفاوت با تیرک‌هایی است که به دیوارهای نگهدارنده خاک یا دیواره گود وصل می‌شود.

- 1- Excavation by Shoring
- 2- Raking Shores
- 3- Flying Shores



شکل ۴-۳۱- روش سنتی گودبرداری در ایران

هرجا که خاک مقاومت برشی خوب و مقداری چسبندگی داشته باشد، روش سنتی به کار می‌رود. در این روش، نخست یک حاشیه خاکی به عرض ۱ تا ۲ متر تا دور گود در مجاور ساختمان همسایه باقی گذاشته شده و بقیه گود به صورت قائم یا شیب‌دار حفاری می‌شود. سپس، تیرک‌هایی مطابق شکل ۴-۳۱ به دیوار یا ستون ساختمان همسایه وصل می‌شود و بعد حاشیه خاکی دور تا دور گود حفاری می‌شود. دیواره گود، پس از نصب تیرک‌ها به صورت قائم خواهد بود (مطابق شکل ۴-۳۱). بنابراین، خاک باید دارای چسبندگی باشد.

در این روش، تیرک‌های مایل از یک طرف به ساختمان و از طرف دیگر به کف گود وصل هستند. همه روش‌های رایج سازه‌های نگهبان، خاک دیواره گود را نگه می‌دارند. اما تیرک در روش سنتی گودبرداری در ایران، به ساختمان مجاور گود (و نه خاک دیواره گود) وصل است. تیرک‌ها وقتی برداشته می‌شوند که دیوار نگهبان دائمی زیر زمین احداث شده یا باری دیواره خاکی به اسکلت سازه منتقل شود. نصب تیرک‌های مایل در گودبرداری‌های سنتی متداول در ایران را جدا از جزئیات اجرایی آن‌ها، شاید بتوان نوعی روبندی دانست. اما روبندی مطابق مراجع بین‌المللی باید همراه با پی‌بندی اجرا شود، در حالی که در ایران به تنهایی اجرا می‌شود. اما نکته آن است که روش سنتی در ایران نوعی پی‌بندی نیز هست.

مطابق تحقیقات انجام شده در ایران، عملکرد تیرک مایل در گودبرداری مجاور ساختمان همسایه شامل دو سازوکار مهم به شرح زیر است:

الف) انتقال بخشی از بار قائم ساختمان همسایه به کف گود.

ب) ایجاد محدودیت جانبی برای کاهش کرنش افقی ساختمان همسایه.

سازوکار (الف)، به معنی انتقال مستقیم بخشی از بار ساختمان مجاور گود به زمین کف گودبرداری است. این سازوکار همانند سازوکار پی‌بندی در مراجع تخصصی است. تیرک‌های مایل نشان داده شده در شکل ۴-۳۱ بخشی از بار ساختمان را در محل اتصال به آن دریافت کرده و به کف گود منتقل می‌کند.

سازوکار (ب)، نیز سبب کاهش کرنش افقی ساختمان همسایه می‌شود. ایجاد محدودیت جانبی ناشی از تیرک‌ها باعث می‌شود که پی مجاور گود، کمتر به طرف گود حرکت کند و در نتیجه، کرنش افقی کاهش می‌یابد. نکته مهم در این زمینه آن است که اگر فقط به نشست‌های قائم توجه شود، آن‌گاه فقط سازوکار (الف) وجود دارد و سازوکاری (ب) نامفهوم می‌شود.

#### **۴-۳-۲۱-۱- نکات اجرایی گودبرداری با روش سنتی در ایران**

۱) از آنجایی که تیرک‌های مایل بخشی از بار ساختمان همسایه را به کف گود منتقل می‌کنند، باید تیرک به اعضای باربر ساختمان همسایه همانند ستون و پی متصل شود. به گونه‌ای که آن عضو باربر نیز به صورت مناسبی به دیگر اعضای باربر متصل باشد.

۲) از آنجا که اتصال تیرک به ساختمان همسایه باید قادر به تحمل انتقال بار باشد، برخی اتصالات ساده که در عمل با استفاده از گچ و گوه‌های چوبی استفاده می‌شوند، کارایی لازم را ندارند.

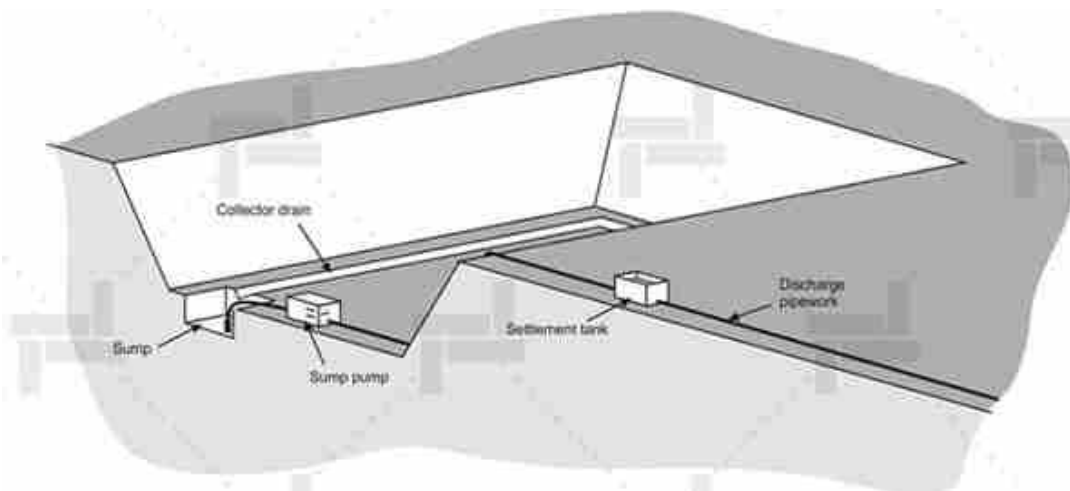
۳) اتصال تیرک مایل به پی ساختمان همسایه بیش از اتصال به ستون و دیوار باربر مؤثر است. زیرا هر دو سازوکار (الف) و (ب) در صورت اتصال تیرک مایل به پی، بهتر به وجود می‌آیند. علاوه بر این موضوع، اتصال تیرک مایل به پی منجر به بهبود عملکرد تیرک‌ها می‌شود و طول آن‌ها را کاهش داده و از خطر کمانش نیز خواهد کاست.

۴) خاک محل اتصال تیرک مایل به کف گود باید ظرفیت باربری کافی داشته باشد و نشست آن ناچیز باشد. بنابراین باید پی مناسب برای آن در نظر گرفته شود. بی توجهی به این موضوع و همچنین عدم دقت در اتصال تیرک به عناصر باربر (بند ۲) منجر به وقوع خسارات جبران‌ناپذیر و ریزش گود شود.

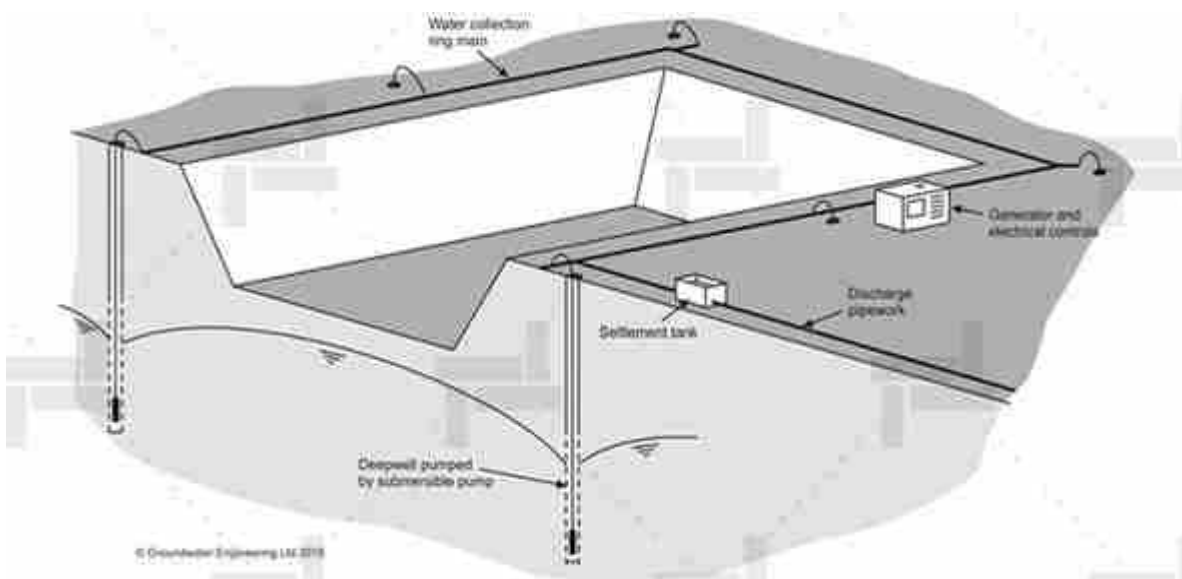
۵) توصیه می‌شود که گودبرداری به صورت مرحله‌ای انجام شود. یعنی ابتدا حاشیه خاکی در دور تا دور گود باقی گذاشته شود و گودبرداری تا نیمی از عمق انجام شود. نصب تیرک‌ها در مرحله دوم خاکبرداری سبب می‌شود که تورم کف گود در خاکبرداری مرحله اول به تیرک و ساختمان همسایه منتقل نشود.

#### ۴-۳-۲۲- گودبرداری به روش زهکشی<sup>۱</sup>

اهداف آب‌زدایی گودها عبارتند از: خشک نگه‌داشتن کف گود؛ جلوگیری از نشست آب زیرزمینی؛ جلوگیری از جوشش ماسه؛ جلوگیری از گسیختگی ناشی از تورم و بالازدگی و جلوگیری از شناور شدن زیرزمین. روش‌های متداولی که در این زمینه استفاده می‌شوند شامل چاه‌های پمپاژ یا ترانشه‌های روباز (شکل ۴-۳۲)، چاه‌های عمیق (شکل ۴-۳۳) و چاه‌های تک (نقطه‌ای) است.



شکل ۴-۳۲- استفاده از چاه پمپاژ در گودبرداری



شکل ۴-۳۳- استفاده از چاه عمیق در گودبرداری

ملاک و معیارهای مورد توجه در انتخاب روش مهار آب در گودبرداری عبارتند از:

- نوع توزیع دانه‌بندی خاک چگونه است؟
- اثر پمپاژ دائمی آب بر روی سازه‌های مجاور (بحث نشست) به چه صورتی است؟
- نمی‌توان در شن‌های درشت‌دانه از چاه زهکش استفاده کرد.
- زهکشی معمولی در خاک‌های رسی به علت ماهیت خاک بسیار دشوار است.

## فصل پنجم

### ملاحظات اجرایی گودبرداری

#### ۵-۱- مقدمه

انتخاب روش مناسب گودبرداری نیازمند تجربه کافی و تخصص مناسب است. شرایط محیطی، وضعیت سازه‌های مجاور، مصالح و تجهیزات در دسترس، شرایط آب زیرزمینی، شرایط جوی، نیروی انسانی، زمان و غیره از جمله پارامترهای تأثیرگذار در یک پروژه هستند. روش‌های پایدارسازی دیواره‌های گود با توجه به شرایط و جنس خاک و عوامل متعدد دیگری انتخاب می‌شوند. در انتخاب مناسب‌ترین روش گودبرداری، باید الزامات و معیارهای طراحی به دقت در نظر گرفته شوند.

#### ۵-۲- انتخاب سازه نگهبان مناسب

به صورت کلی، می‌توان بیان کرد که در شرایط بدون حضور آب زیرزمینی و یا با آب کم قابل زهکشی؛ روش‌های خرپا، مهار متقابل، میخ کوبی، بلوک مهاری و شمع مجزا سازه‌های نگهبان مناسبی تلقی می‌شوند. در حالی که برای شرایط با سطح آب بالا؛ روش‌های اختلاط عمیق، ستون‌های تزریق با فشار بالا، دیوار دیافراگمی، شمع‌های با همپوشانی و سپر کوبی توصیه می‌شوند.

در انتخاب یک سازه نگهبان مناسب باید موارد زیر مورد توجه قرار بگیرد:

- طبیعت زمین
- آب موجود در خاک

- تأسیسات موجود
- مخاطرات شناسایی شده
- بارهای استاتیکی اضافی
- بارهای ترافیکی موجود

### ۵-۳- مشکلات اجرایی رایج در پروژه‌های گودبرداری

تجربیات و مطالعات گذشته نشان می‌دهد که اشکالات اجرایی و ضعف‌های متعددی در پروژه‌های عمرانی در زمینه گودبرداری و سازه‌های نگهدارنده وجود دارد که در ادامه به مهمترین آن‌ها اشاره خواهد شد.

- ریزش دیواره گود به علت تغییر شکل‌های زیاد و شکستگی لوله‌های آب
- عدم توجه به ترک‌های ایجاد شده در سطح زمین گود و در دیوارهای همسایه در هنگام گودبرداری
- عدم توجه به نشست آب در دیواره گود
- برخورد با چاه‌ها و قنات‌های قدیمی
- برخورد سیستم‌های میخ‌گذاری و انکراژ با قنات‌ها و حفرات داخل زمین
- وجود ساختمان‌های فرسوده و در معرض خطر در همسایگی پروژه
- استفاده از مقاطع ضعیف و حتی پوسیده به عنوان سیستم نگهدارنده
- اتصالات و تکیه‌گاه‌های نامناسب و ضعیف در اجرای سازه نگهدارنده
- عدم درک صحیح و شناخت کافی از رفتار خاک-سازه نگهدارنده
- ایجاد تغییرات خودسرانه در سیستم نگهدارنده (توسط عوامل اجرایی)
- عدم توجه و شناخت تأسیسات قدیمی و مدفون در مجاورت گود
- عدم توجه به تراز آب زیر زمینی و عدم تخلیه به موقع آب موجود در گود

- عدم توجه به لایه‌بندی و تغییرات احتمالی پروفیل خاک در عمق
- عدم توجه کافی به سربارهای موجود یا ایجاد شده در لبه گود
- وجود فاصله بین سازه نگهبان و دیواره گود
- تصور غلط در مورد خطرناک نبودن گودبرداری‌های کم عمق
- عدم مهاربندی مناسب و رعایت فاصله ایمن بین سازه‌های نگهبان در دیواره گود
- وجود پی‌های مشترک

#### ۵-۴- دلایل ریزش گودها

ریزش دیواره‌های گود، علاوه بر نوع و خصوصیات خاک (تراکم پایین و چسبندگی کم)، می‌تواند ناشی از عوامل خارجی همانند ارتعاشات ناشی از بارهای ترافیکی و زلزله، بارندگی‌های شدید و رطوبت بیش از حد دیواره گود نیز باشد.

#### ۵-۴-۱- دلایل ریزش گودهای مهار نشده

- کمبود مطالعات ژئوتکنیکی، انتخاب نامناسب پارامترهای خاک و سنگ و شرایط آب زیرزمینی
- بی توجهی به اثرات نشست زمین بر سازه‌های مجاور
- عدم دقت به اثرات زمان بر هوازدگی و مقاومت برشی خاک
- عدم توجه به نشست‌های احتمالی به علت تحکیم ناشی از زهکشی آب
- عدم توجه به تأسیسات زیر زمینی و مدفون در زمین‌های مجاور
- ضعف‌های فنی و اجرایی در عملیات گودبرداری

#### ۵-۴-۲- دلایل ریزش گودهای مهار شده

- کمبود مطالعات ژئوتکنیکی، انتخاب نامناسب پارامترهای خاک و سنگ و شرایط آب زیرزمینی
- کیفیت نامناسب جزئیات سازه‌ای و گسیختگی المان‌های سازه‌ای
- ناآگاهی از محدودیت‌ها و جزئیات روش‌های مهاربندی
- بی‌توجهی به موضوع تغییر شکل در سیستم‌های سازه‌ای
- بارگذاری‌های غیر متعارف موقتی بر سیستم نگهدارنده
- کیفیت پایین عملیات اجرایی
- عدم توجه به نشست‌های احتمالی ناشی از تحکیم خاک
- عدم رعایت فاصله مناسب سیستم‌های نگهدارنده در دیواره گود
- کافی نبودن دوام سازه نگهدارنده در طول دوره ساخت

## ۵-۵- پایش گودها

پیش‌بینی تغییر مکان‌ها یکی از مهمترین مباحث در پایدارسازی گودها است. این پیش‌بینی توسط نرم‌افزارهای عددی مختلفی از جمله نرم‌افزارهای اجزای محدود  $PLAXIS^{2D}$  و  $PLAXIS^{3D}$  قابل انجام است. در این نرم‌افزارها تخمین اولیه تغییر مکان‌ها در هر مرحله خاکبرداری با استفاده از مشخصات خاک، عمق گودبرداری و غیره محاسبه می‌گردد. جهت اطمینان از صحت فرضیات طراحی نظیر مقدار چسبندگی، زاویه اصطکاک، وزن مخصوص و مدول الاستیسیته خاک، نتایج پایش (مانیتورینگ) در هر مرحله از خاکبرداری، با نتایج خروجی نرم‌افزارها مقایسه می‌گردد. در صورت همخوانی نتایج پایش گود و محاسبات نرم‌افزاری، از فرضیات طراحی اطمینان حاصل می‌گردد و نیازی به تقویت پایدارسازی وجود ندارد. در صورتی که در هر مرحله از خاکبرداری مشخص شود که نتایج پایش گود از نتیجه تغییر مکان‌های نرم افزار بیشتر است، نیاز به بررسی مشخصات خاک و اصلاح طرح وجود دارد. بنابراین می‌بایست عملیات متوقف گردد و با طراح مذاکره شود تا طرح تقویتی مناسبی تهیه شده و به پیمانکار ابلاغ گردد.

روش‌های پایش گود به سه دسته تقسیم می‌شوند:

الف) چشمی

ب) ابزار دقیق

ج) ژئودتیک

الف) پایش چشمی: بررسی منظم جهت شناسایی هر گونه ترک، جابجایی و نشست در سطح زمین، دیوار ساختمان و غیره را پایش چشمی می‌نامند. بنابراین به صورت دوره‌ای نواحی اطراف گود شامل خیابان، ساختمان، حیاط و دیواره‌های مجاور بازرسی گردیده و ایجاد ترک و تغییر وضعیت ترک‌ها گزارش داده می‌شود. تهیه عکس و فیلم از نواحی مورد بررسی در امر پایش چشمی می‌تواند مفید باشد و روند تغییرات را نشان دهد.

ب) پایش با استفاده از ابزار دقیق: در این روش، تغییر مکان و جابه‌جایی عوارض مجاور گود به کمک نصب تجهیزات و ابزار دقیق انجام می‌گردد. از جمله ابزار دقیق‌های مورد استفاده در پایش گودها به کرنش‌سنج<sup>۱</sup> و انحراف‌سنج<sup>۲</sup> می‌توان اشاره کرد. این ابزارها بر روی نقاط مناسبی از سازه نصب شده و به صورت پیوسته داده‌برداری انجام می‌دهند. نتایج حاصل از این داده‌ها، مقدار جابه‌جایی افقی (به سمت گود) و جابه‌جایی قائم گود (نشست) را نشان می‌دهند.

ج) پایش با استفاده از روش ژئودتیک: جهت پایش گود و محاسبه تغییر مکان دیواره‌های گود، با فرض عدم امکان ایجاد ایستگاه‌های دائمی ثابت نقشه‌برداری بر روی سطح زمین، سه روش پیشنهاد شده که در همه آن‌ها تعدادی نقاط نشانه (تارگت) بر روی دیواره گود نصب می‌گردد. این سه روش به شرح زیر هستند:

- استفاده از ایستگاه مرجع: انتخاب تعدادی ایستگاه مرجع که جابجایی ندارند و سپس تعیین مختصات ایستگاه‌های زمینی و نقاط نشانه گود و در مراحل بعدی ابتدا ایستگاه‌های زمینی ثابت شناسایی شده و سپس توسط آنها نقاط نشانه دیوارها برداشت می‌شود.

- استفاده از نقاط ثابت: در این روش داشتن ایستگاه زمینی اجباری نیست. در ابتدا همه نقاط نشانه دیواره‌های گود، برداشت شده و در مراحل بعد، این کار توسط نقاط نشانه‌ای که حرکت نداشته‌اند، انجام می‌گیرد و مابقی نقاط نشانه برداشت می‌شوند.

1- Strain Gage  
2- Inclinometer

- استفاده از قیود داخلی: در این روش نیز، نیازی به ایستگاه‌های زمینی نیست و تمام نقاط نشانه برداشت می‌گردند. در مراحل بعدی فاصله افقی و اختلاف ارتفاع بین نقاط نشانه انجام گردیده و با در نظر گرفتن قیود داخلی<sup>۱</sup> که ثابت فرض می‌گردد و مختصات مرکز ثقل آزیموت<sup>۲</sup>، نقاط نشانه ثابت دیواره گود را شناسایی کرده و سپس با توجه محاسباتی توسط نقاط مذکور اقدام به محاسبه مختصات جدید بقیه نقاط می‌شود.

## ۵-۶- تأثیر آب در گودها

سطح آب در اکثر پروژه‌ها و بیشتر شهرها، پایین است. اما در صورت وجود، آب اثر قابل ملاحظه‌ای بر گودبرداری و سازه نگهبان خواهد داشت. در صورت وجود آب، نمونه‌ها در آزمایشگاه باید در شرایط اشباع و به صورت تند آزمایش شوند.

در صورتی که بخشی از عمق گود در شرایط اشباع قرار گیرد، فشار هیدرواستاتیکی ناشی از تراوش آب را نیز باید در نظر گرفت و در محاسبات لحاظ کرد. در صورت برخورد با آب، از آنجایی که عملیات گودبرداری را به صورت مرحله‌ای انجام می‌دهیم و همچنین در جداره گود از الوار استفاده می‌کنیم، در بسیاری از موارد می‌توان خاک را به صورت زهکشی شده در نظر گرفت و فرض را بر این اساس گذاشت و در نتیجه، فشار هیدرواستاتیکی ناشی از تراوش آب را در نظر نگیریم. به هر حال، در چنین شرایطی لازم است که از روش‌های زهکشی مناسب از جمله حفر چاهک‌های زهکشی برای جمع‌آوری و تخلیه سریع آب محیط استفاده کنیم.

## ۵-۷- بتن‌ریزی شمع و فونداسیون سازه نگهبان خرابایی

مقاومت مشخصه بتن مصرفی برای شمع‌ها و فونداسیون‌های سازه نگهبان خرابایی، حداقل از نوع C25 است (یعنی مقاومت فشاری نمونه استوانه‌ای ۲۸ روزه آن باید حداقل ۲۵ مگاپاسکال باشد). نکات اجرایی بتن‌ریزی نیز به شرح زیر است.

1- Inner Constraints  
2- Azimuth

۳- آزیموت یک امتداد، یعنی زاویه شمال با آن امتداد در جهت حرکت عقربه‌های ساعت است.

- ۱- بتن‌ریزی باید طوری باشد که جداشدگی اجزای بتن رخ ندهد (استفاده از لوله ترمی و قیف).
- ۲- اسلامپ بتن مصرفی باید حدود ۱۵۰ میلیمتر باشد و استفاده از روان‌کننده‌ها در این بتن‌ها مطلوب است.
- ۳- حداقل عیار مصرفی ۴۰۰ کیلوگرم سیمان در هر متر مکعب بتن است؛ مگر آنکه مطالعات، استفاده از بتن با عیار کمتر را توصیه کرده باشد.

## ۵-۸- برچیدن سازه‌های نگهبان

سازه نگهبان را زمانی می‌توان برچید که بخشی از سازه در دست احداث، که بتواند رانش خاک را تحمل کند، ساخته شده باشد. این سازه می‌تواند دیوار حایل سازه و یا بخشی یا تمام قاب ساختمان باشد. در صورتی که قرار باشد تمام یا بخشی از قاب ساختمان جایگزین سازه نگهبان شود، باید در هنگام طراحی ساختمان، این موضوع مد نظر قرار گیرد و قاب را برای بارهای اشاره شده نیز طراحی کرد.

## فصل ششم

# روش‌های تحلیل پایداری گودها و طراحی سازه‌های نگهبان

### ۶-۱- مقدمه

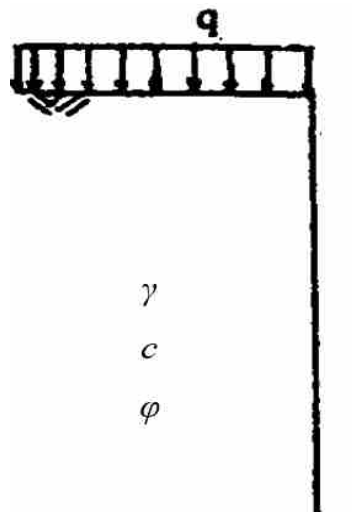
بار وارد بر سازه‌های نگهبان در واقع همان نیروی ناشی از رانش خاک است که ممکن است همراه با بار ناشی از سربارِ کنار گود نیز باشد. رانش خاک به‌طور کلی در سه حالت محاسبه می‌شود: حالت سکون<sup>۱</sup>، حالت محرک<sup>۲</sup> و حالت مقاوم<sup>۳</sup>. برای طراحی سازه‌های نگهبان، همانند دیوارهای حایل، معمولاً نیروی رانشی خاک را بر مبنای رانش محرک محاسبه می‌کنند. در این جزوه برای محاسبهٔ نیروی رانش محرک خاک از نظریهٔ رانکین استفاده می‌شود.

به‌طور کلی، سازه‌های حایلِ خاک مانند دیوارهای حایل، دیوارهای زیر زمین و دیوارهای ساحلی که در مهندسی پی برای حفاظتِ جداره‌های شیروانی‌های خاکی استفاده می‌شوند، تحت تأثیر فشارهای رانشی خاک قرار دارند. دیوار حایل، دیواری است که برای جداره‌های قائم یا نزدیک به قائم خاک، تکیه‌گاه جانبی فراهم می‌کند. از دیوار حایل در بسیاری از پروژه‌های عمرانی نظیر راهسازی، پل‌سازی، ساختمان‌سازی و به‌طور کلی هر جایی که به تکیه‌گاه جانبی برای جدار قائم نیاز باشد استفاده می‌شود. در راستای احداث پروژه‌های عمرانی، اقداماتی از قبیل گودبرداری، حفاری، ترانشه‌زنی و خاکریزی انجام می‌شود که شرایط پایداری آن‌ها به کمک سازه‌های حایل و نگهبان فراهم خواهد شد.

### ۶-۲- نظریه رانکین

- 
- 1- At Rest
  - 2- Active
  - 3- Passive

در شکل ۱-۶ دیواره قائم خاکی یک گود نشان داده شده است. سربار گسترده  $q$  بر واحد سطح زمین کناره گود وارد می‌شود. به‌طور کلی،  $q$  سربار ساختمان مجاور گود است که به ازای هر طبقه برای آن مقدار ۱ تن بر متر مربع را در نظر می‌گیریم. مثلاً برای ساختمان چهار طبقه مجاور گود، مقدار  $q$  برابر است با ۴ تن بر متر مربع. تنش فشاری افقی ( $\sigma_h$ ) وارد بر هر المان خاک در کناره گود از رابطه رانش محرک رانکین به‌صورت زیر محاسبه می‌شود.



$$\sigma_h = (\gamma H + q)k_a - 2c\sqrt{k_a}$$

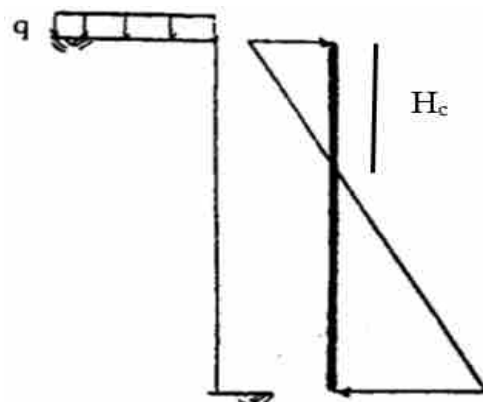
$$k_a = \tan^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right)$$

شکل ۱-۶ - دیواره خاکی قائم به‌همراه سربار کنار گود

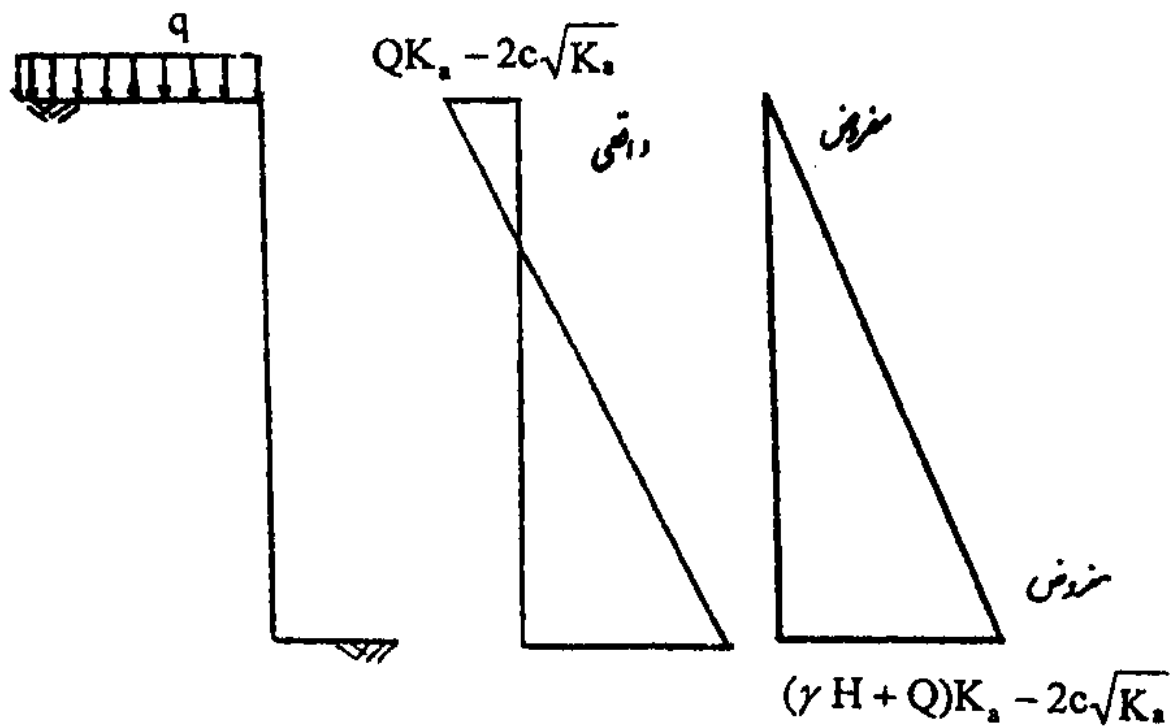
اگر منحنی توزیع تنش بر حسب عمق ترسیم شود، دو حالت ممکن است رخ دهد:

الف)  $2c > q\sqrt{k_a}$

در این حالت، تنش افقی تا یک عمق مشخصی منفی بوده و سپس مثبت خواهد شد. این عمق را با  $H_c$  نشان می‌دهند که به آن عمق ترک کششی گفته می‌شود (شکل ۲-۶). در جهت اطمینان، ناحیه کششی را صفر فرض می‌کنند.



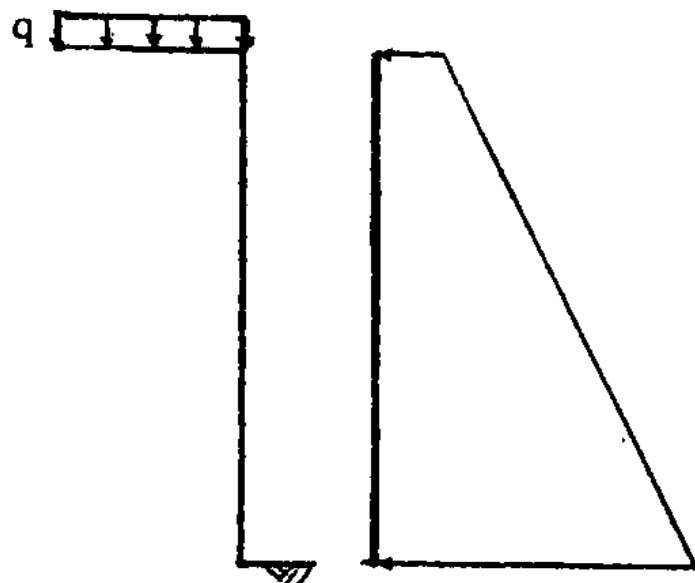
$$H_c = \frac{2c}{\gamma\sqrt{k_a}} - \frac{q}{\gamma}$$



شکل ۶-۲- منحنی واقعی و مفروض در توزیع تنش افقی در شرایط  $2c > q\sqrt{k_a}$

ب)  $2c < q\sqrt{k_a}$

در این حالت، تنش افقی در تمامی عمق گودبرداری مثبت (فشاری) خواهد بود (شکل ۶-۳).



شکل ۶-۳- منحنی تغییرات توزیع تنش افقی در شرایط  $2c < q\sqrt{k_a}$

## ۶-۲-۱- عمق پایدار گود

عمق پایدار گود، دو برابر عمق ترک کششی است.

$$h_{critical} = 2H_c \quad \rightarrow \quad h_{critical} = h_c = \frac{4c}{\gamma\sqrt{k_a}} - \frac{2q}{\gamma}$$

عمق مجاز گودبرداری از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$h_{allowable} = \frac{h_{critical}}{F.S.} \quad \rightarrow \quad h_{allowable} = \left[ \frac{4c}{\gamma\sqrt{k_a}} - \frac{2q}{\gamma} \right] \cdot \frac{1}{F.S.}$$

اگر عمق حفاری کوچکتر از عمق مجاز باشد ( $H_{excavation} < h_{allowable}$ )، نیازی به اجرای سازه نگهبان نیست.

## ۶-۳- پایداری ترانشه‌ها

یکی از راه‌های بررسی پایداری ترانشه‌ها، استفاده از عدد پایداری ترانشه است، که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$N_s = \frac{c}{\gamma \cdot H}$$

در صورت اعمال ضریب اطمینان خواهیم داشت:

$$N_s = \frac{c}{F.S. \cdot \gamma \cdot H}$$

ترانشه پایدار است  $if: N_s \text{ (مجاز)} \geq N_s \text{ (موجود)}$

ترانشه ناپایدار است  $if: N_s \text{ (موجود)} < N_s \text{ (مجاز)}$

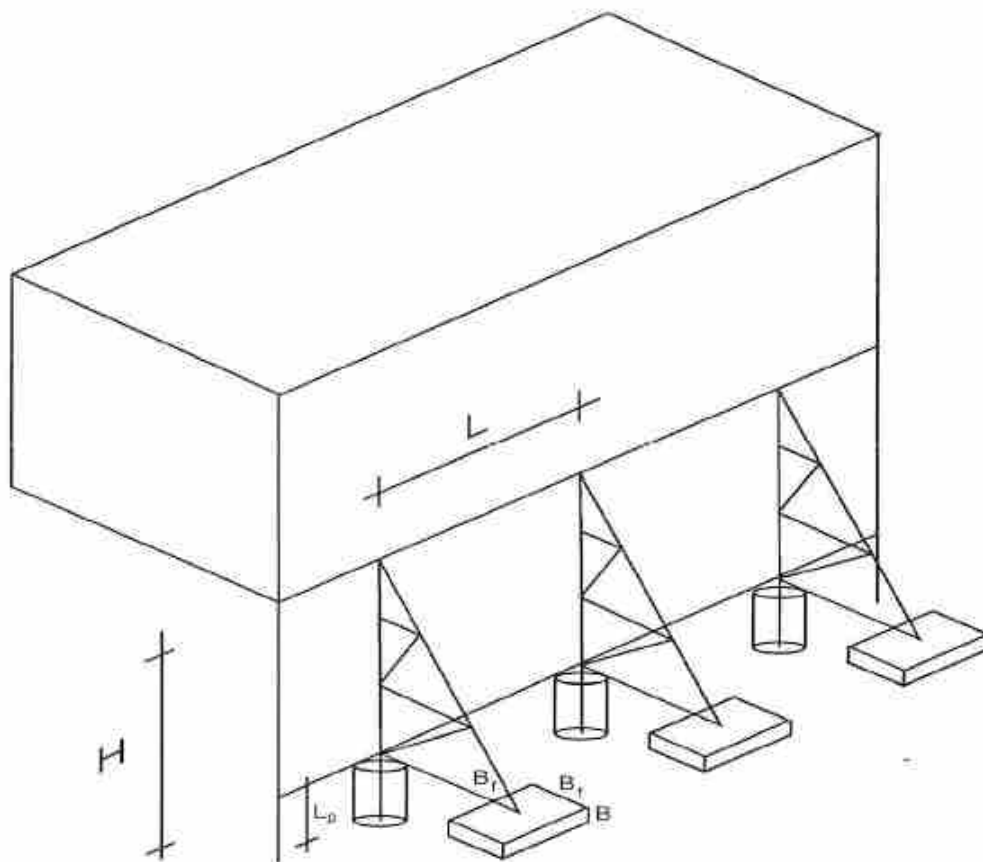
## ۶-۴- طراحی سازه نگهبان خریایی

### ۶-۴-۱- نیروی وارد بر هر یک از خریاها

اگر فاصله بین خراباهای مجاور هم را  $L$  بنامیم و  $\sigma_h$  تنش افقی خاک در تراز  $H$  باشد، نیروی وارد بر طول خرابا، در عمق  $H$  یعنی بار گسترده‌ای به شدت  $w_x$  از رابطه زیر محاسبه خواهد شد. در شکل ۴-۶ مشخصات پارامترهای سازه نگهدارنده خرابایی نشان داده شده است.

$$w_x = \sigma_h \cdot L$$

$$w_x = [(\gamma H + q)k_a - 2c\sqrt{k_a}] \cdot L$$



شکل ۴-۶- پارامترهای سازه نگهدارنده خرابایی

#### ۴-۶-۲- طراحی شمع برای تحمل نیروی کششی در سازه نگهدارنده خرابایی

حداکثر نیرویی که یک شمع به صورت کششی می‌تواند تحمل کند، از رابطه زیر محاسبه می‌شود. در این رابطه؛  $T_u$  مقدار نیروی کششی که یک شمع می‌تواند تحمل کند،  $P_s$  نیروی اصطکاک در شمع و  $W$  وزن شمع است.

$$T_u = P_s + W$$

### محاسبه نیروی اصطکاک در شمع ( $P_s$ ):

برای محاسبه نیروی اصطکاک در شمع از  $\alpha$  روش استفاده می‌کنیم.

$$P_s = f_s \cdot A$$

$$f_s = \alpha \cdot c + k \cdot \sigma_v \cdot \tan \delta$$

$$A = (\pi \cdot D_p) \cdot L_p$$

$$\sigma_v = \gamma \cdot L_p$$

در این روابط پارامترها به شرح زیر هستند:

$A$ : مساحت جانبی شمع

$f_s$ : تنش چسبندگی بین خاک و شمع

$L_p$ : طول شمع

$D_p$ : قطر شمع

$\alpha$ : ضریبی است که در جهت اطمینان برابر با یک در نظر گرفته می‌شود ( $\alpha = 1.0$ )

$\sigma_v$ : تنش قائم مؤثر بر جداری شمع

$k$ : ضریب فشار جانبی خاک است که به دلیل موقتی بودن سازه نگهبان، برابر با  $1/75$  فرض می‌شود ( $k = 1.75$ )

$\delta$ : زاویه اصطکاک بین خاک و بتن ( $\delta = \varphi$ )

$$P_s = (c + 1.75 \gamma \cdot L_p \cdot \tan \varphi) \cdot (\pi \cdot D_p \cdot L_p)$$

### محاسبه وزن شمع ( $W$ ):

برای محاسبه وزن شمع از رابطه زیر استفاده می‌شود. در این رابطه،  $D_p$  قطر شمع بوده که معمولاً برابر با ۸۰ سانتیمتر

فرض می‌شود ( $D_p = 0.8 \text{ m}$ ) و  $\gamma_c$  وزن مخصوص بتن است.

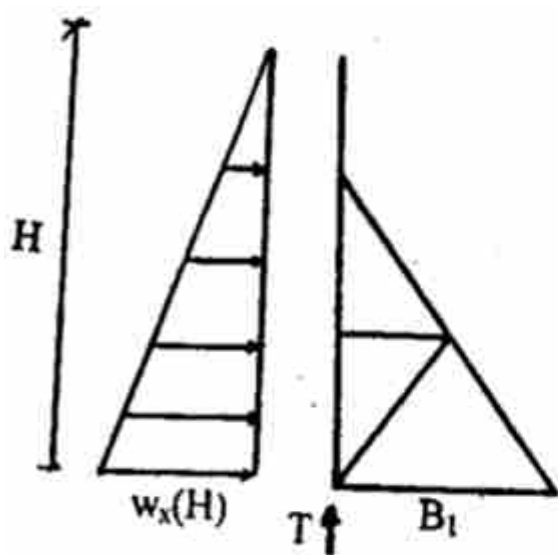
$$W = \gamma_c \cdot \frac{\pi D_p^2}{4} \cdot L_p$$

بنابراین، مقدار نیروی کششی که یک شمع می‌تواند تحمل کند مطابق فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$T_u = [(c + 1.75 \gamma \cdot L_p \cdot \tan \varphi) \cdot (\pi \cdot D_p \cdot L_p)] + [\gamma_c \cdot \frac{\pi D_p^2}{4} \cdot L_p]$$

### ۶-۴-۳- محاسبه نیروی کششی عضو قائم خریا

نیروی وارد بر واحد طول خریا ( $w_x$ ) که در بخش ۶-۴-۱ به دست آمد، دارای توزیعی به صورت شکل ۶-۵ است.



$T$ : نیروی مقاوم

$B_1$ : بازوی مقاوم

نیروی محرک:  $\frac{w_x(H) \cdot H}{2}$

بازوی محرک:  $\frac{H}{3}$

شکل ۶-۵- نیروی کششی وارد بر عضو قائم خریا

$$\frac{w_x(H) \cdot H}{2} \times \frac{H}{3} = T \times B_1$$

$$T = [(\gamma H + q)k_a - 2c\sqrt{k_a}] \cdot \frac{L \cdot H^2}{6B_1}$$

### ۶-۴-۴- محاسبه حداقل طول لازم برای شمع در سازه نگهبان خریایی

با جایگذاری مقدار  $T$  محاسبه شده در بند ۶-۴-۳ در رابطه  $T_u$  در بند ۶-۴-۲، می‌توان مقدار طول شمع ( $L_p$ ) را به دست آورد. این حالات با فرض ضریب اطمینان ۳ محاسبه می‌شود، یعنی  $(3T = P_s + W)$ . بنابراین خواهیم داشت:

$$3[(\gamma H + q)k_a - 2c\sqrt{k_a}] \cdot \frac{L \cdot H^2}{6B_1} = [(c + 1.75 \gamma \cdot L_p \cdot \tan \varphi) \cdot (\pi \cdot D_p \cdot L_p)] + [\gamma c \cdot \frac{\pi D_p^2}{4} \cdot L_p]$$

با حل معادله بالا می‌توان مقدار حداقل برای طول شمع ( $L_p$ ) را محاسبه کرد.

#### ۶-۴-۵- طراحی ابعاد و مشخصات پی سازه نگهدارنده خرابایی

#### ۶-۴-۵-۱- محاسبه ظرفیت باربری مجاز خاک زیر پی سازه نگهدارنده

از روش ترزاقی برای تعیین ظرفیت باربری مجاز خاک استفاده می‌شود. مقدار ضریب اطمینان مورد استفاده در این حالت برابر با عدد ۳ است. همچنین پی سازه نگهدارنده خرابایی به صورت مربعی طراحی و اجرا خواهد شد. نکته قابل توجه آن است که پی سازه نگهدارنده خرابایی در سطح اجرا می‌شود ( $q = \gamma \cdot B$ ).

#### نظریه ظرفیت باربری ترزاقی

با استفاده از اصول تعادل، ترزاقی بار نهایی واحد سطح فونداسیون مربعی را برای خاکی با چسبندگی و اصطکاک به صورت زیر پیشنهاد کرد.

$$q_u = 1.3 c N_c + q N_q + 0.4 \gamma B N_\gamma$$

$$q = \gamma \cdot D_f$$

در این رابطه  $N_c$   $N_q$   $N_\gamma$  ضرایب ظرفیت باربری هستند و  $D_f$  نیز عمق مدفون پی است (در سیستم نگهدارنده خرابایی عمق مدفون صفر است، چرا که پی سازه نگهدارنده در سطح زمین اجرا می‌شود). این ضرایب هم طبق روابط زیر قابل محاسبه هستند و هم طبق جدول ۶-۱ می‌توانند به دست آیند.

$$N_q = \frac{e^{2(\frac{3\pi}{4} - \frac{\phi}{2})\tan\phi}}{2 \cos^2(45 + \frac{\phi}{2})}$$

$$N_c = \cot \phi (N_q - 1)$$

$$N_\gamma = \frac{1}{2} K_{p\gamma} \tan^2 \phi - \frac{\tan \phi}{2}$$

$$q_a = \frac{1}{3} [1.3 c \cdot N_c + \gamma \cdot B \cdot N_q + 0.4 \gamma \cdot B_f \cdot N_\gamma]$$

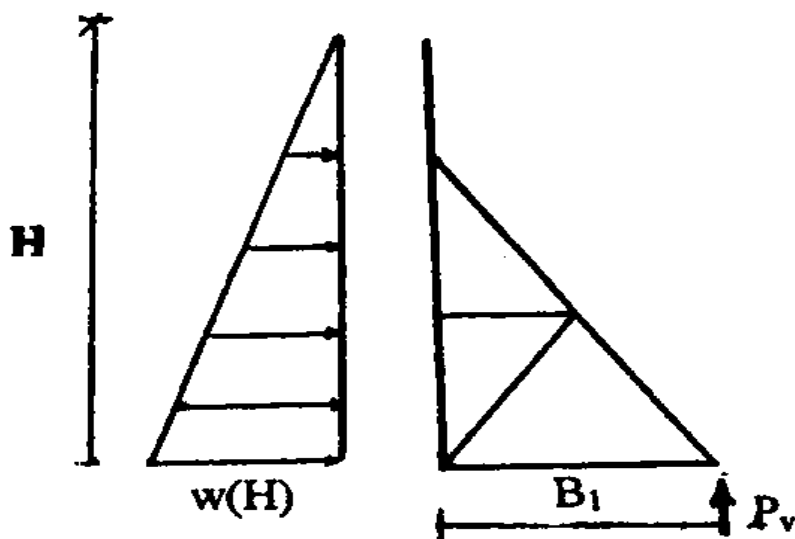
در این رابطه،  $B$  ضخامت پی و  $B_f$  ابعاد پی مربعی سازه نگهبان خرابایی است.

جدول ۶-۱- ضرایب ظرفیت باربری ترزاقی

| $\phi$ | $N_c$ | $N_q$ | $N_\gamma$ | $\phi$ | $N_c$ | $N_q$ | $N_\gamma$ | $\phi$ | $N_c$  | $N_q$  | $N_\gamma$ |
|--------|-------|-------|------------|--------|-------|-------|------------|--------|--------|--------|------------|
| 0      | 5.70  | 1.00  | 0.00       | 17     | 14.60 | 5.45  | 2.18       | 34     | 52.64  | 36.50  | 38.04      |
| 1      | 6.00  | 1.10  | 0.01       | 18     | 15.12 | 6.04  | 2.59       | 35     | 57.75  | 41.44  | 45.41      |
| 2      | 6.30  | 1.22  | 0.04       | 19     | 16.57 | 6.70  | 3.07       | 36     | 63.53  | 47.16  | 54.36      |
| 3      | 6.62  | 1.35  | 0.06       | 20     | 17.69 | 7.44  | 3.64       | 37     | 70.01  | 53.80  | 65.27      |
| 4      | 6.97  | 1.49  | 0.10       | 21     | 18.92 | 8.26  | 4.31       | 38     | 77.50  | 61.55  | 78.61      |
| 5      | 7.34  | 1.64  | 0.14       | 22     | 20.27 | 9.19  | 5.09       | 39     | 85.97  | 70.61  | 95.03      |
| 6      | 7.73  | 1.81  | 0.20       | 23     | 21.75 | 10.23 | 6.00       | 40     | 95.66  | 81.27  | 115.31     |
| 7      | 8.15  | 2.00  | 0.27       | 24     | 23.36 | 11.40 | 7.08       | 41     | 106.81 | 93.85  | 140.51     |
| 8      | 8.60  | 2.21  | 0.35       | 25     | 25.13 | 12.72 | 8.34       | 42     | 119.67 | 108.75 | 171.99     |
| 9      | 9.09  | 2.44  | 0.44       | 26     | 27.09 | 14.21 | 9.84       | 43     | 134.58 | 126.50 | 211.56     |
| 10     | 9.61  | 2.69  | 0.56       | 27     | 29.24 | 15.90 | 11.60      | 44     | 151.95 | 147.74 | 261.60     |
| 11     | 10.16 | 2.98  | 0.69       | 28     | 31.61 | 17.81 | 13.70      | 45     | 172.28 | 173.28 | 325.34     |
| 12     | 10.76 | 3.29  | 0.85       | 29     | 34.24 | 19.98 | 16.18      | 46     | 196.22 | 204.19 | 407.11     |
| 13     | 11.41 | 3.63  | 1.04       | 30     | 37.16 | 22.46 | 19.13      | 47     | 224.55 | 241.80 | 512.84     |
| 14     | 12.11 | 4.02  | 1.26       | 31     | 40.41 | 25.28 | 22.65      | 48     | 258.28 | 287.85 | 650.87     |
| 15     | 12.86 | 4.45  | 1.52       | 32     | 44.04 | 28.52 | 26.87      | 49     | 298.71 | 344.63 | 831.99     |
| 16     | 13.68 | 4.92  | 1.82       | 33     | 48.09 | 32.23 | 31.94      | 50     | 347.50 | 415.14 | 1072.80    |

#### ۶-۴-۵-۲- محاسبه حداقل عرض پی سازه نگهبان

در شکل ۶-۶ نیروی فشاری وارد بر پی سازه نگهبان ( $P_v$ ) نشان داده شده است.



شکل ۶-۶- نیروی وارد از فونداسیون به خرابا

$$\frac{P_v}{B_f^2} \leq q_a$$

$$P_v = \frac{[(\gamma H + q)k_a - 2c\sqrt{k_a}] \times L \cdot H^2}{6B_1}$$

$$(B_f)_{min} = \sqrt{\frac{P_v}{q_a}}$$

$$(B_f)_{min} = \sqrt{\frac{[(\gamma H + q)k_a - 2c\sqrt{k_a}] \times L \cdot H^2}{B_1(2.6 c \cdot N_c + 2\gamma \cdot B \cdot N_q + 0.8 \gamma \cdot B_f \cdot N_\gamma)}}$$

#### ۶-۴-۶- کنترل سازه نگهبان خرابایی در برابر لغزش

در سازه‌های نگهبان خرابایی، عامل محرک نیروی رانشی خاک است. عامل مقاوم نیز شامل نیروهای ناشی از شمع و فونداسیون، مقاومت برشی و اصطکاک خاک است.

محاسبه نیروی محرک  $(F_a)$ :

$$F_a = [(\gamma H + q)k_a - 2c\sqrt{k_a}] \cdot \frac{L \cdot H^2}{2}$$

محاسبه نیروی مقاوم  $(F_p)$ :

$$F_p = [(c + \tan\varphi) \left( \sum A \right)] + \left[ k_p \cdot \gamma \cdot \frac{L_p}{2} D_p \right] + \left[ k_p \cdot \gamma \cdot \frac{B_f \cdot B^2}{2} \right]$$

$$k_p = \tan^2(45 + \frac{\varphi}{2})$$

در این رابطه،  $k_p$  ضریب فشار جانبی خاک در حالت مقاوم و  $\sum A$  مجموع سطوح در تماس با خاک (مساحت سطح) است. به دلیل موقتی بودن سازه نگهبان، مقدار ضریب اطمینان در برابر لغزش برابر با ۱/۲۵ در نظر گرفته می‌شود.

$$\frac{F_p}{F_a} \geq 1.25$$

$$\frac{[(c + \tan\varphi)(\sum A)] + \left[k_p \cdot \gamma \cdot \frac{L_p}{2} D_p\right] + \left[k_p \cdot \gamma \cdot \frac{B_f \cdot B^2}{2}\right]}{[(\gamma H + q)k_a - 2c\sqrt{k_a}] \cdot \frac{L \cdot H^2}{2}} \geq 1.25$$

#### ۶-۴-۷- طراحی تخته چوبی حفاظ خاک در سازه نگهبان خرابایی

برای جلوگیری از ریزش خاک و به موازات پیشرفت عملیات گودبرداری، بین دو خرابای مجاور و روبه روی خاک دیواره، از تخته‌های چوبی استفاده می‌شود. در صورت استفاده از تخته‌های چوبی، باید با اتصال پروفیل‌های نبشی یا ناودانی به عضو قائم، محل مناسبی برای نصب تخته‌ها در نظر بگیریم. این تخته‌ها به تدریج با پیشرفت کار از بالا، در محل مناسب قرار می‌گیرند و به تدریج به پایین تر فرستاده می‌شوند و تخته‌های بعدی مجدداً از بالا در مسیر ذکر شده وارد می‌شوند.

$$t_{min} = \frac{L}{30.55} \sqrt{(\gamma h + q) \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2}\right) - 2c \cdot \tan \left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)}$$

در این رابطه،  $t_{min}$  حداقل ضخامت لازم برای تخته در عمق  $h$  است،  $h$  نیز عمق مورد نظر برای نصب تخته است.

#### ۶-۴-۸- استفاده از نمودارهای طراحی سازه نگهبان خرابایی

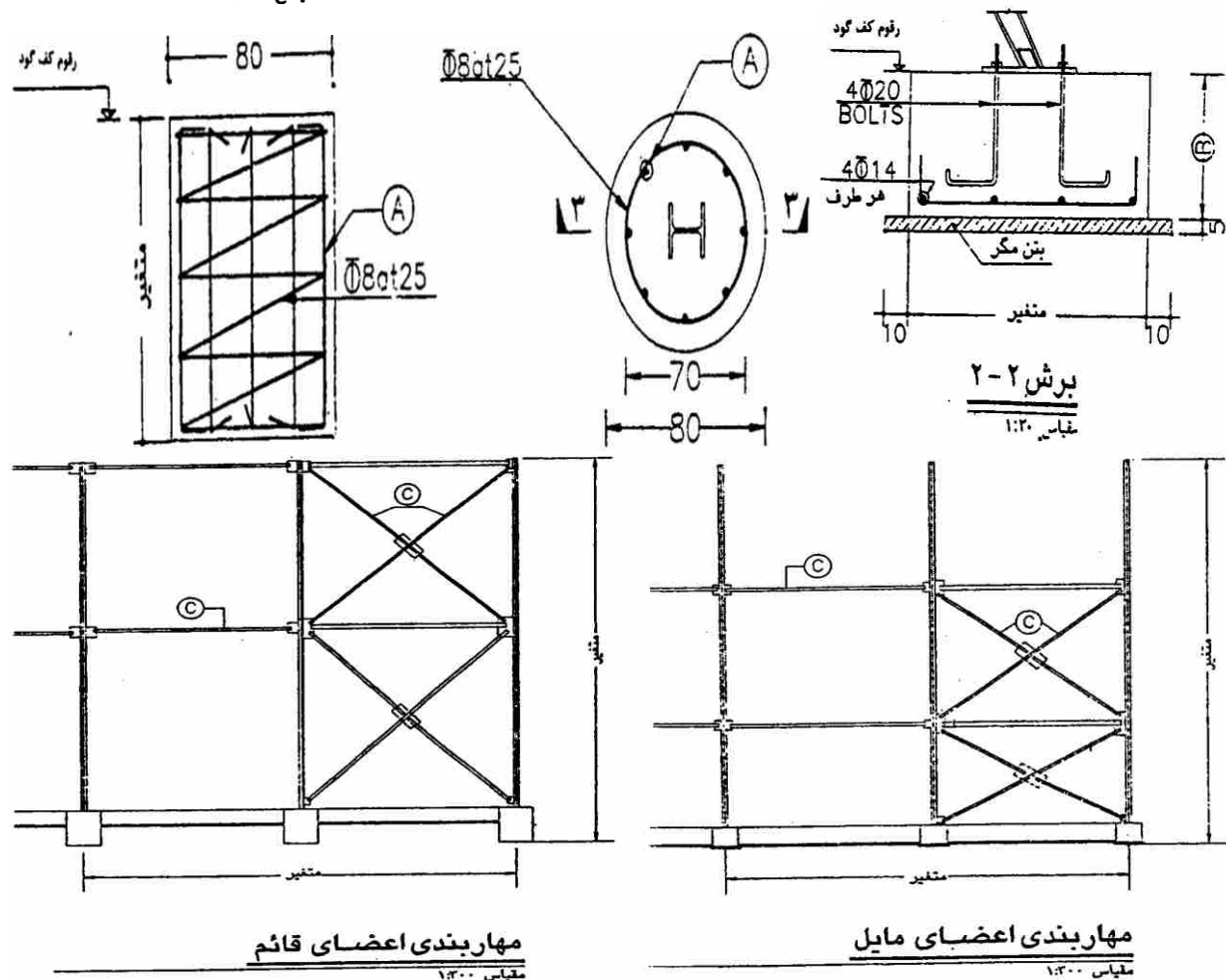
برای تعیین نوع، ابعاد پی و طول شمع سازه نگهبان می‌توان از یک سری نمودارهای طراحی استفاده کرد. نمودارهای کامل در پیوست ۱ ارائه شده است. به‌طور کلی، برای یک گود به عمق معین، نوع سازه نگهبان به جنس خاک، سربار وارد بر کناره گود و فاصله خراباها بستگی دارد. نمودارهای پیوست برای هر یک از اعماق گود  $H$  برابر با ۴، ۷، ۱۰، ۱۳ و ۱۶ متر در سه نوع I، II و III ارائه شده است. مشخصات این سه نوع سازه نگهبان در جدول ۶-۲ ارائه شده است. در این نمودارها چسبندگی بر حسب  $\text{t/m}^2$  بر متر مربع است، در صورتی که اگر مقدار چسبندگی بر حسب  $\text{kg/m}^2$  بر سانتی‌متر مربع ارائه شده باشد، عدد مورد نظر را با ضرب در ۱۰ می‌توان به  $\text{t/m}^2$  بر متر مربع تبدیل کرد.

به عنوان مثال، مراحل استفاده از نمودارهای نوع سازه نگهبان به شرح زیر است:

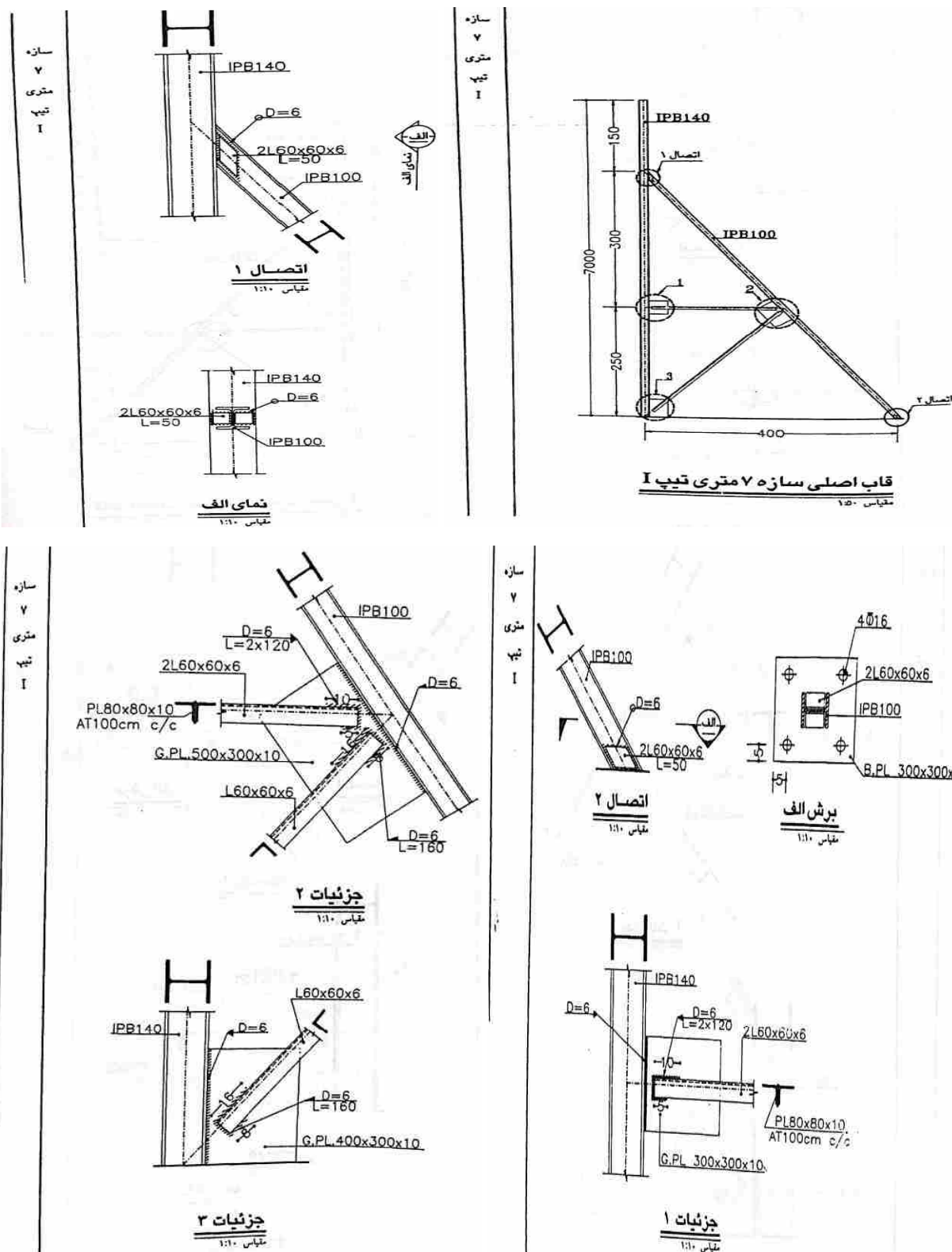
- ۱- بسته به مقدار هر پارامتر ( $H$ ،  $L$  و  $q$ )، نمودار مربوط به آن را انتخاب می‌کنیم.
- ۲- مقادیر محورهای افقی ( $\phi$ ) و قائم ( $c$ ) را مشخص کرده و محل تلاقی آن را مشخص می‌کنیم.
- ۳- اگر نقطه تلاقی در یکی از نواحی I، II و III قرار گرفت، آن را انتخاب می‌کنیم.
- ۴- اگر نقطه تلاقی در ناحیه "عدم نیاز" قرار گرفت، یعنی نیازی به سازه نگهبان نیست و اگر در ناحیه IV قرار گرفت، یعنی خاک بسیار ضعیف است و منحنی‌های ارائه شده کافی نیست و باید طراحی بر اساس مطالعات ژئوتکنیک انجام شود.

جدول ۶-۲- مشخصات تکمیلی سازه نگهبان خرابایی

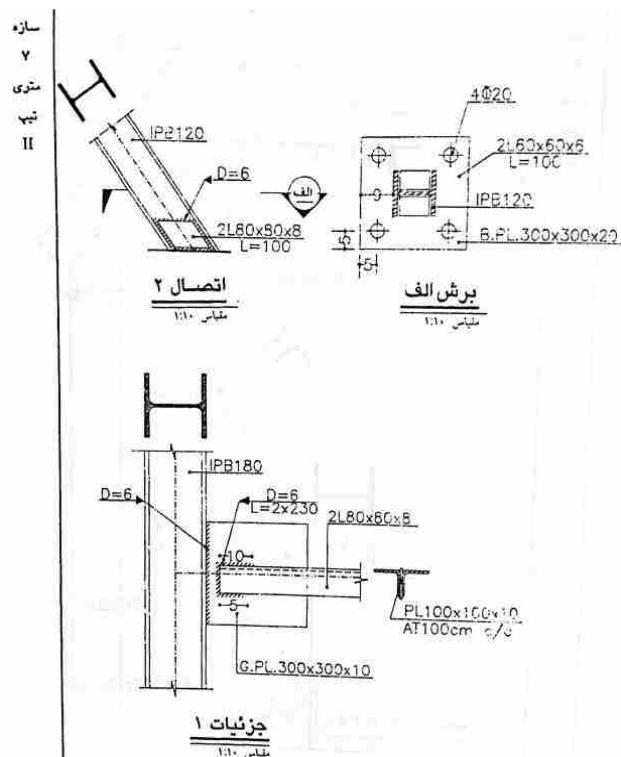
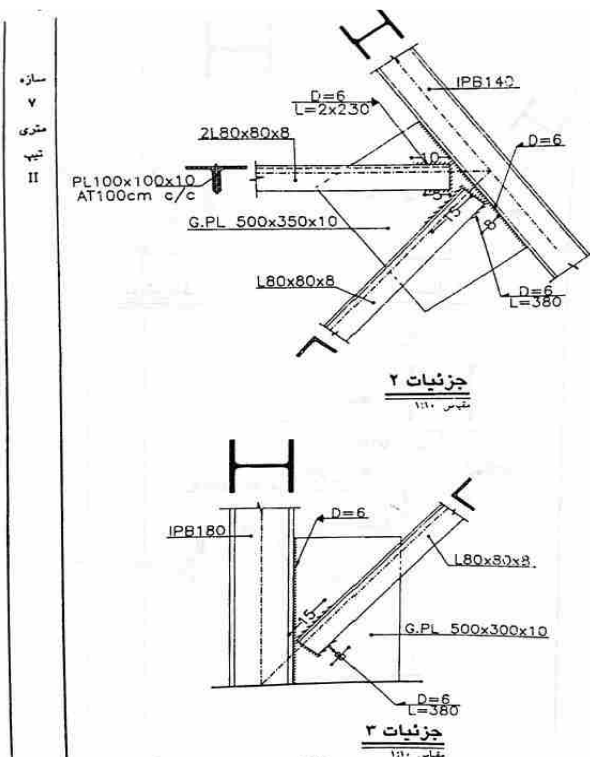
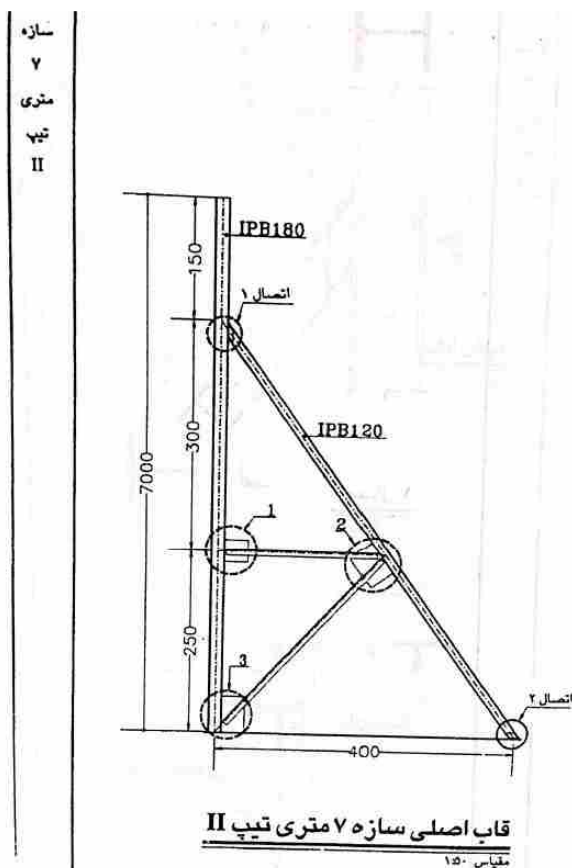
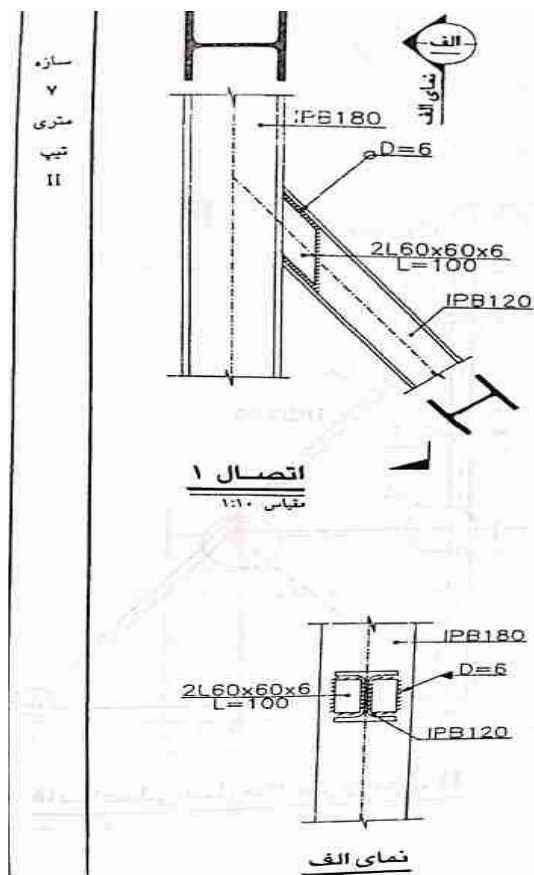
| ردیف | نوع سازه نگهبان      |             | میلگرد<br>طولی<br>شمع | ضخامت<br>بی | اطلاعات مهاربندی<br>اعضای مایل و قائم | اطلاعات مهاربندی<br>عضو مایل در<br>داخل شمع | حداقل<br>طول<br>میلگرد<br>عضو قائم |
|------|----------------------|-------------|-----------------------|-------------|---------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------|
|      | ارتفاع<br>گود<br>(m) | نوع<br>سازه |                       |             |                                       |                                             |                                    |
| ۱    | ۴                    | I           | 8Φ16                  | 40          | 60×60×6                               | 2L60×60×6<br>(L=10)                         | 60                                 |
| ۲    |                      | II          | 8Φ16                  | 40          | 60×60×6                               | 2L60×60×6<br>(L=10)                         | 60                                 |
| ۳    |                      | III         | 8Φ16                  | 40          | 60×60×6                               | 2L60×60×6<br>(L=12)                         | 60                                 |
| ۴    | ۷                    | I           | 8Φ16                  | 40          | 80×80×8                               | 2L60×60×6<br>(L=10)                         | 80                                 |
| ۵    |                      | II          | 8Φ16                  | 40          | 80×80×8                               | 2L80×80×8<br>(L=10)                         | 80                                 |
| ۶    |                      | III         | 8Φ16                  | 40          | 80×80×8                               | 2×2L100×100×10<br>(L=10)                    | 100                                |
| ۷    | ۱۰                   | I           | 8Φ16                  | 40          | 100×100×10                            | 2L80×80×8<br>(L=10)                         | 100                                |
| ۸    |                      | II          | 12Φ25                 | 40          | 100×100×10                            | 2L100×100×10<br>(L=16)                      | 100                                |
| ۹    |                      | III         | 12Φ25                 | 40          | 100×100×10                            | 2×2L80×80×8<br>(L=24)                       | 120                                |
| ۱۰   | ۱۳                   | I           | 12Φ25                 | 50          | 120×120×12                            | 2L80×80×8<br>(L=10)                         | 120                                |
| ۱۱   |                      | II          | 12Φ25                 | 50          | 120×120×12                            | 2×2L100×100×10<br>(L=15)                    | 120                                |
| ۱۲   |                      | III         | 12Φ25                 | 50          | 120×120×12                            | 2×2L120×120×12<br>(L=24)                    | 120                                |
| ۱۳   | ۱۶                   | I           | 12Φ32                 | 50          | 120×120×12                            | 2×2L80×80×8<br>(L=16)                       | 150                                |
| ۱۴   |                      | II          | 12Φ32                 | 50          | 120×120×12                            | 2×2L120×120×12<br>(L=20)                    | 150                                |
| ۱۵   |                      | III         | 12Φ32                 | 50          | 120×120×12                            | 3×2L120×120×12<br>(L=15)                    | 200                                |



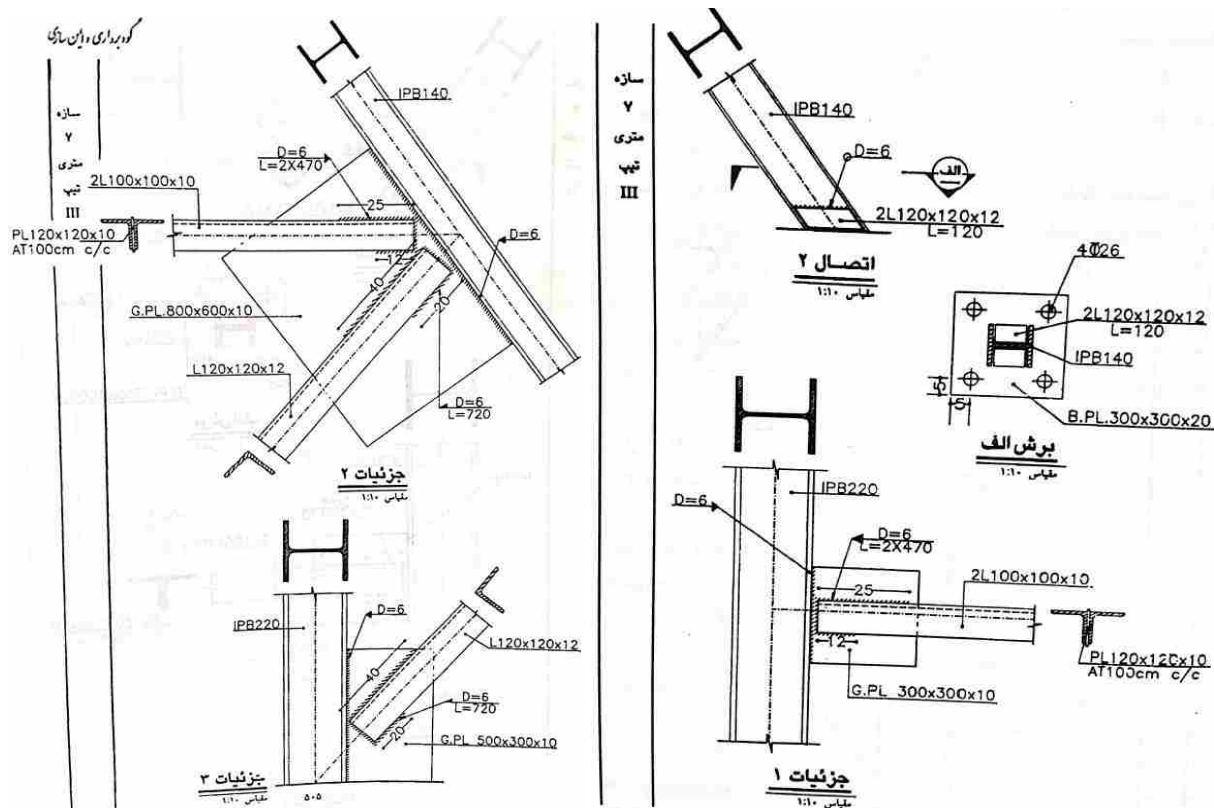
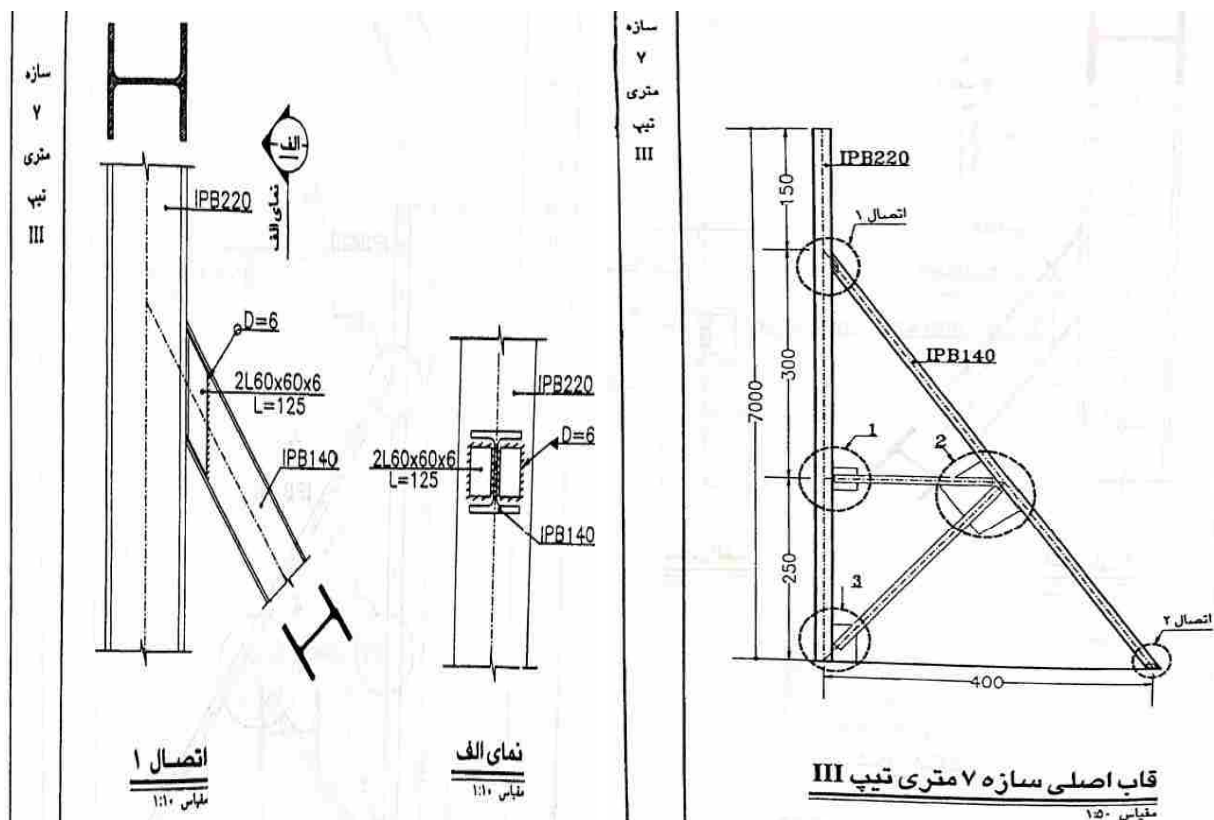
شکل ۶-۷- جزئیات اجرایی سازه نگهبان خربایی



شکل ۶-۷- ادامه



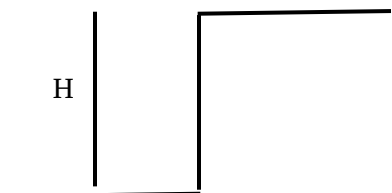
شکل ۶-۷ - ادامه



شکل ۶-۷- ادامه

## مثال‌ها

مثال ۱- در شکل زیر، حداکثر عمق مجاز گودبرداری با در نظر گرفتن ضریب اطمینان برابر با ۲ چند متر است؟



$$k_a = \frac{1}{9}$$

$$c = 20 \text{ kPa}$$

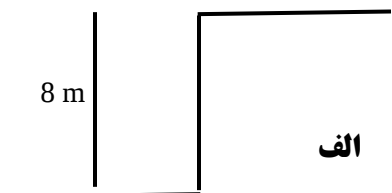
$$\gamma = 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

(حل)

$$h_{allowable} = \left[ \frac{4c}{\gamma \sqrt{k_a}} - \frac{2q}{\gamma} \right] \cdot \frac{1}{F.S.} \quad \rightarrow \quad h_{allowable} = \left[ \frac{4c}{\gamma \sqrt{k_a}} \right] \cdot \frac{1}{F.S.} \quad \rightarrow$$

$$h_{allowable} = \left[ \frac{4(20)}{20 \sqrt{\frac{1}{9}}} \right] \cdot \frac{1}{2} \quad \rightarrow \quad h_{allowable} = 6 \text{ m}$$

مثال ۲- در شکل‌های زیر پایداری یا ناپایداری ترانشه‌ها را با فرض ضریب اطمینان ۱/۲۵ مشخص کنید. مقدار  $N_s$  مجاز برابر با ۰/۲ است.

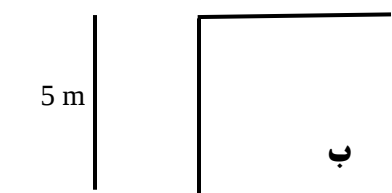


$$c = 15 \text{ kPa}$$

$$\gamma = 18 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

(حل)

$$N_s = \frac{c}{F.S. \cdot \gamma \cdot H} \quad \rightarrow \quad N_s = \frac{15}{1.25(18) \cdot (8)} = 0.08 < N_{s(allow)} = 0.2 \quad \rightarrow \quad Unstable$$



$$c = 20 \text{ kPa}$$

$$\gamma = 16 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

ب

(حل)

$$N_s = \frac{c}{F.S. \cdot \gamma \cdot H} \rightarrow N_s = \frac{20}{1.25(16) \cdot (5)} = 0.2 = N_{s(allow)} = 0.2 \rightarrow \text{Stable}$$

**مثال ۳-** می‌خواهیم در زمینی که در کنار یک ساختمان ۴ طبقه واقع است، گودبرداری کنیم. عمق این گود ۱۰ متر است. خاک منطقه دارای چسبندگی ۰/۲ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع و زاویه اصطکاک ۳۴ درجه است. سازه نگهدارنده این گود را طراحی کنید. از روش نمودارهای طراحی استفاده کنید.

(حل)

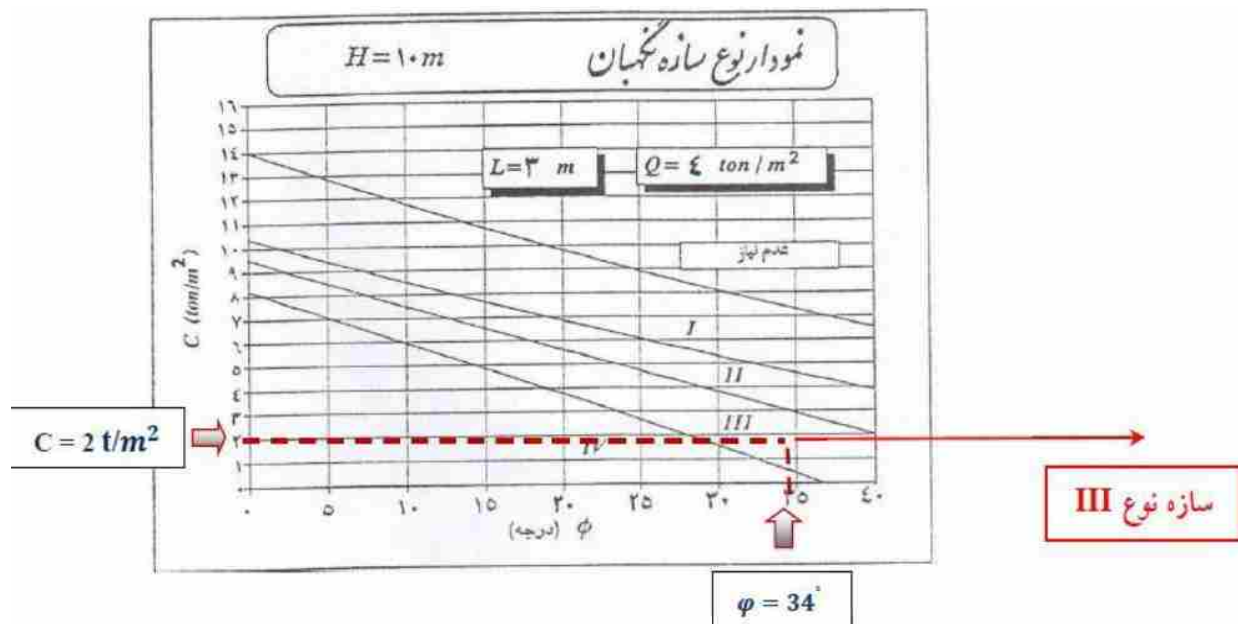
به ازای هر طبقه وزن معادل ۱ تن بر متر مربع را برای سربار اطراف گود در نظر می‌گیریم. از آنجایی که ساختمان ۴ طبقه است، پس سربار اطراف گود برابر است با ۴ تن بر متر مربع.

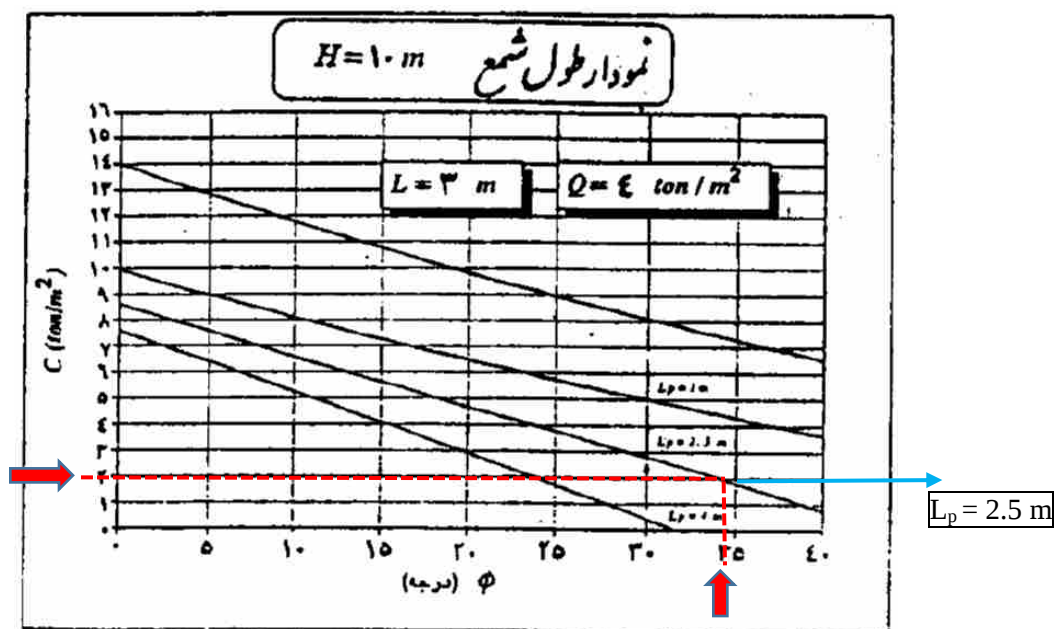
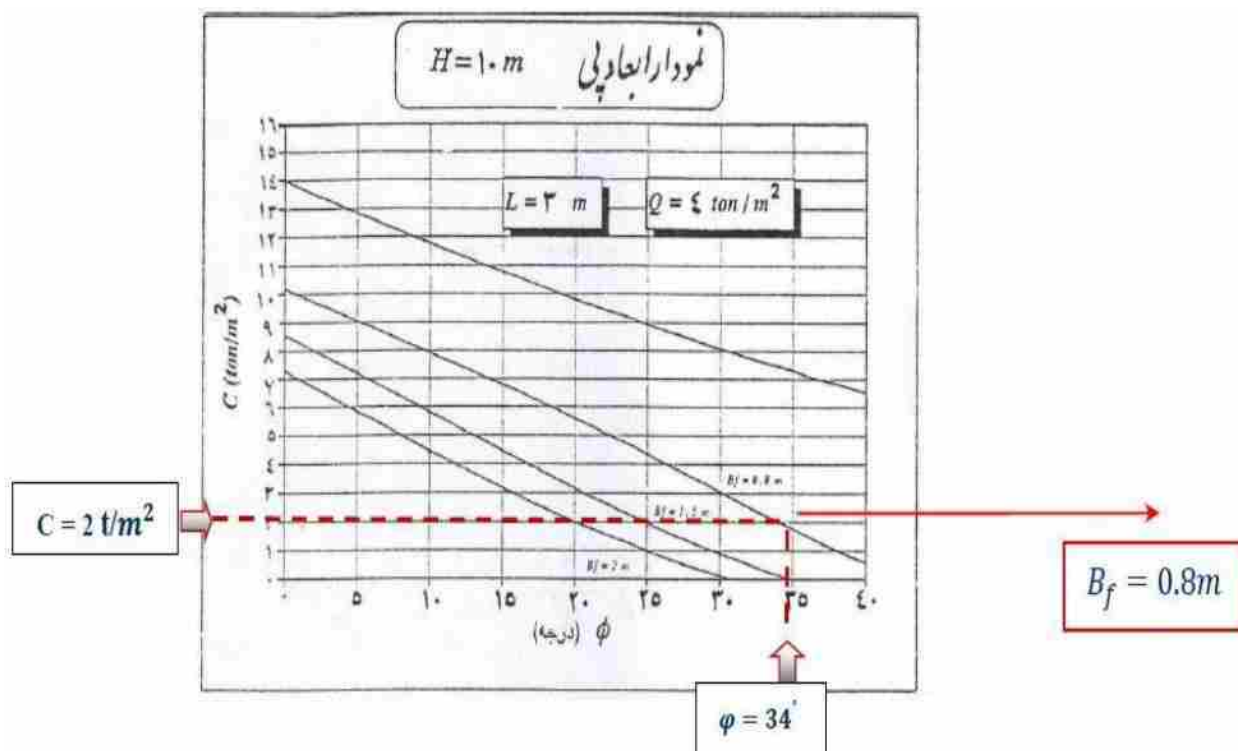
$$Q = 4 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

چون به فاصله بین خرپاها در این پرسش اشاره‌ای نشده است، مقدار  $L$  را ۳ در نظر می‌گیریم.

$$L = 3 \text{ m}, \quad c = 0.2 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 2 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}, \quad \varphi = 34^\circ$$

با توجه به نمودارهای طراحی به صورت زیر عمل می‌کنیم.





با توجه به نمودارهای طراحی؛ نوع سازه نگهدارنده III است، طول شمع  $2/5$  متر است و ارتفاع پی نیز  $0/8$  متر است. بر اساس این اطلاعات و به کمک جدول ۶-۲ جزئیات سازه‌ای این سیستم نگهدارنده خرابایی برای گودی به عمق  $10$  متر و نوع III به شرح زیر است.

میلگرد طولی شمع :  $25 \bar{\phi} 12$

نوع اعضای مهاري :  $10 \times 100 \times 100 L$

ضخامت پی :  $40 \text{ cm}$

نوع قطعات مهاري عضو قائم در شمع :  $(L = 24 \text{ cm}) 8 \times 80 \times 2 \times 2 L$

حداقل طول گیرایی عضو قائم در شمع :  $120 \text{ cm}$

**مثال ۴-** برای گود مثال سوم، نیروی وارد بر هریک از خرپاها، نیروی کششی عضو قائم خرپا و طول شمع نگهبان را محاسبه کنید. وزن مخصوص خاک را  $17$  کیلونیوتن بر متر مکعب و فاصله بین خرپاها را نیز  $3$  متر در نظر بگیرید.

(حل)

برای تبدیل کیلونیوتن به تُن باید عدد تقسیم بر  $10$  شود. محاسبه نیروی وارد بر هریک از خرپاها:

$$w_x = [(\gamma H + q)k_a - 2c\sqrt{k_a}] \cdot L$$

$$k_a = \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) \rightarrow k_a = \tan^2 \left( 45 - \frac{34}{2} \right) \rightarrow k_a = 0.28$$

$$w_x = [1.7(10) + 4](0.28) - 2(2)\sqrt{0.28} \times 3 \rightarrow w_x = 11.29 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

محاسبه نیروی کششی عضو قائم خرپاها:

بازوی مقاوم ( $B_1$ ) را برابر با  $3$  متر فرض می‌کنیم.

$$T = [(\gamma H + q)k_a - 2c\sqrt{k_a}] \cdot \frac{L \cdot H^2}{6B_1}$$

$$T = [1.7(10) + 4](0.28) - 2(2)\sqrt{0.28} \times \frac{3(10)^2}{6(3)} \rightarrow T = 62.72 \text{ ton}$$

محاسبه طول شمع نگهبان:

قطر شمع نگهبان را برابر با  $0/8$  متر و وزن مخصوص بتن را برابر با  $2/4$  تُن بر متر مکعب در نظر می‌گیریم.

$$3T_u = P_s + W$$

$$3\left[(\gamma H + q)k_a - 2c\sqrt{k_a}\right] \cdot \frac{L \cdot H^2}{6B_1} = [(c + 1.75 \gamma \cdot L_p \cdot \tan \varphi) \cdot (\pi \cdot D_p \cdot L_p)] + [\gamma_c \cdot \frac{\pi D_p^2}{4} \cdot L_p]$$

$$3(62.72) = [(2 + 1.75(1.7)(L_p) \tan 34) \cdot (\pi(0.8)(L_p))] + [2.4 \left(\frac{\pi 0.8^2}{4}\right) (L_p)]$$

$$L_p \approx 5.5 \text{ m}$$

**نکته:** قابل ذکر است که علت اختلاف طول شمع در این دو مثال فرضیات انجام شده در حل این مسئله است که در صورت مسئله بدان اشاره‌ای نشده است و فرض شده‌اند.

**مثال ۵-** مطلوب است طراحی سازه نگهبان لازم برای حفاظت از یک گود به عمق ۱۶ متر که یک ساختمان ۶ طبقه در مجاورت آن قرار دارد. خاک منطقه دارای چسبندگی ۰/۴ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع و زاویه اصطکاک ۳۰ درجه است.

**(حل)**

بر اساس مشخصات، نقطه تلاقی روی نمودار در محدوده‌ی ناحیه IV قرار می‌گیرد. این مسئله نشان می‌دهد که با توجه به شرایط ویژه این گود، سازه نگهبان باید با مطالعات ژئوتکنیک و بر اساس بررسی‌های بیشتر محلی انجام شود.

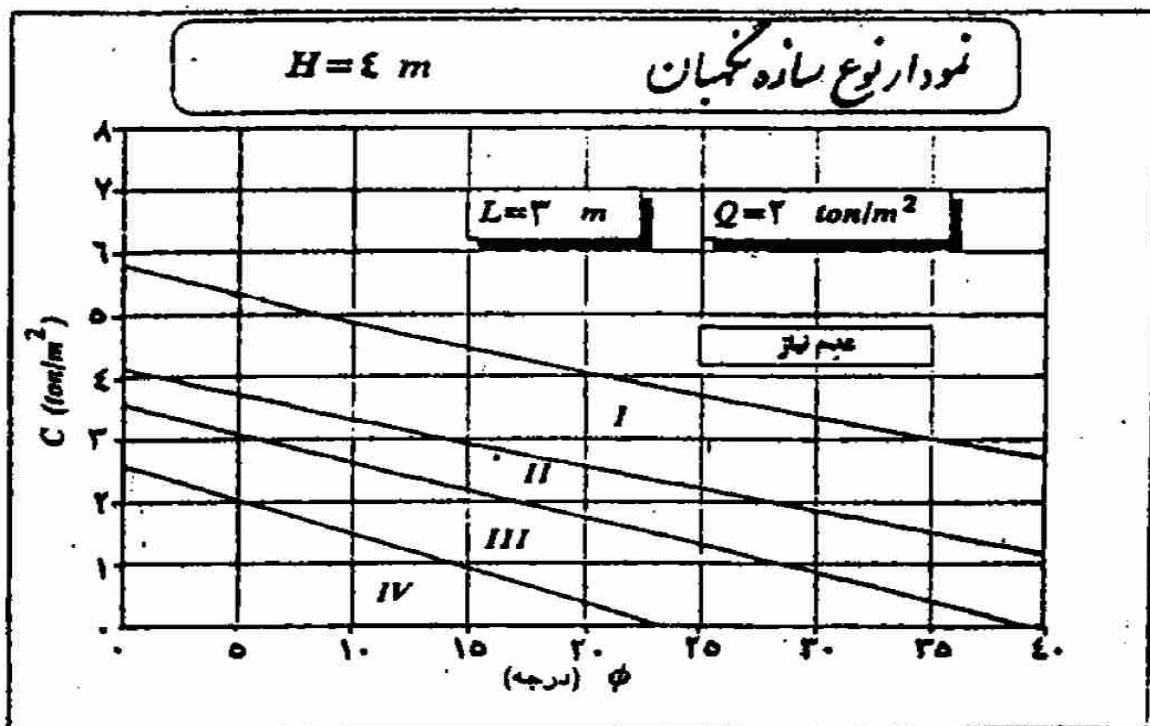
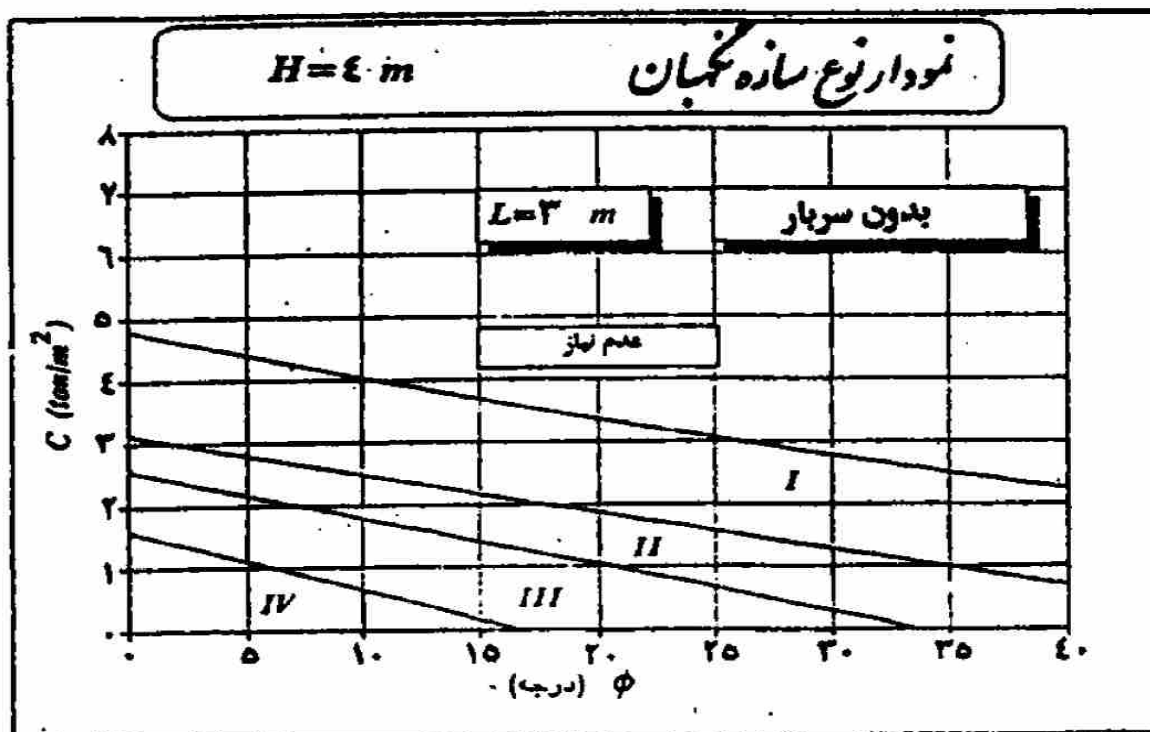
**مثال ۶-** مطلوب است طراحی سازه نگهبان لازم برای حفاظت از یک گود به عمق ۴ متر که یک ساختمان ۲ طبقه در کنار آن قرار دارد. خاک منطقه دارای چسبندگی ۰/۴ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع و زاویه اصطکاک ۲۵ درجه است. فاصله بین خرپاها را برابر با ۳ متر در نظر بگیرید.

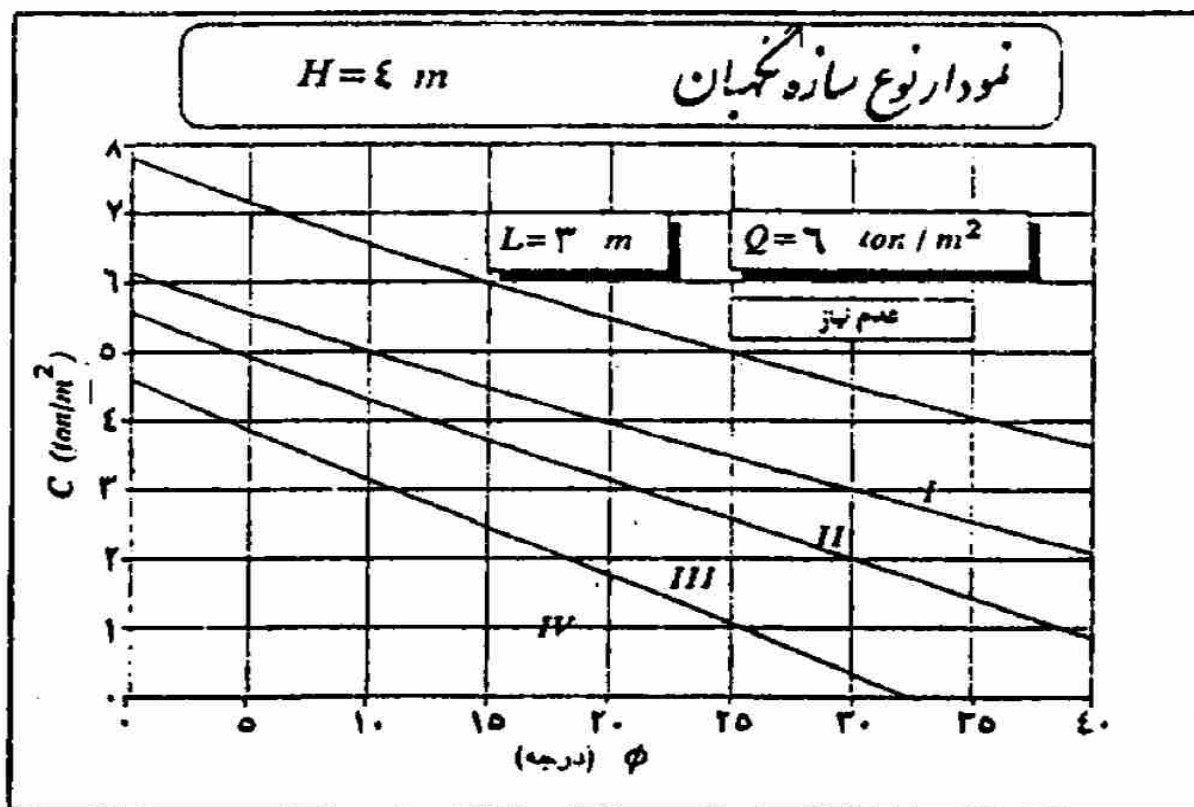
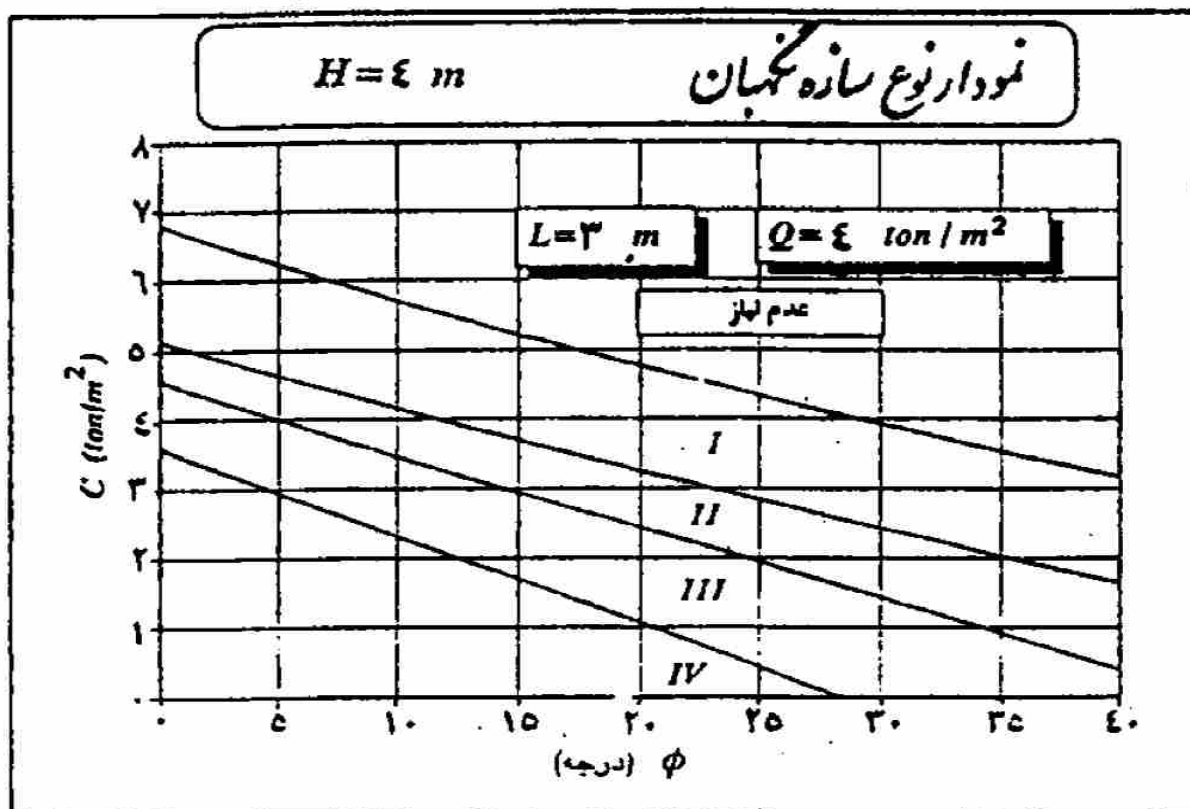
**(حل)**

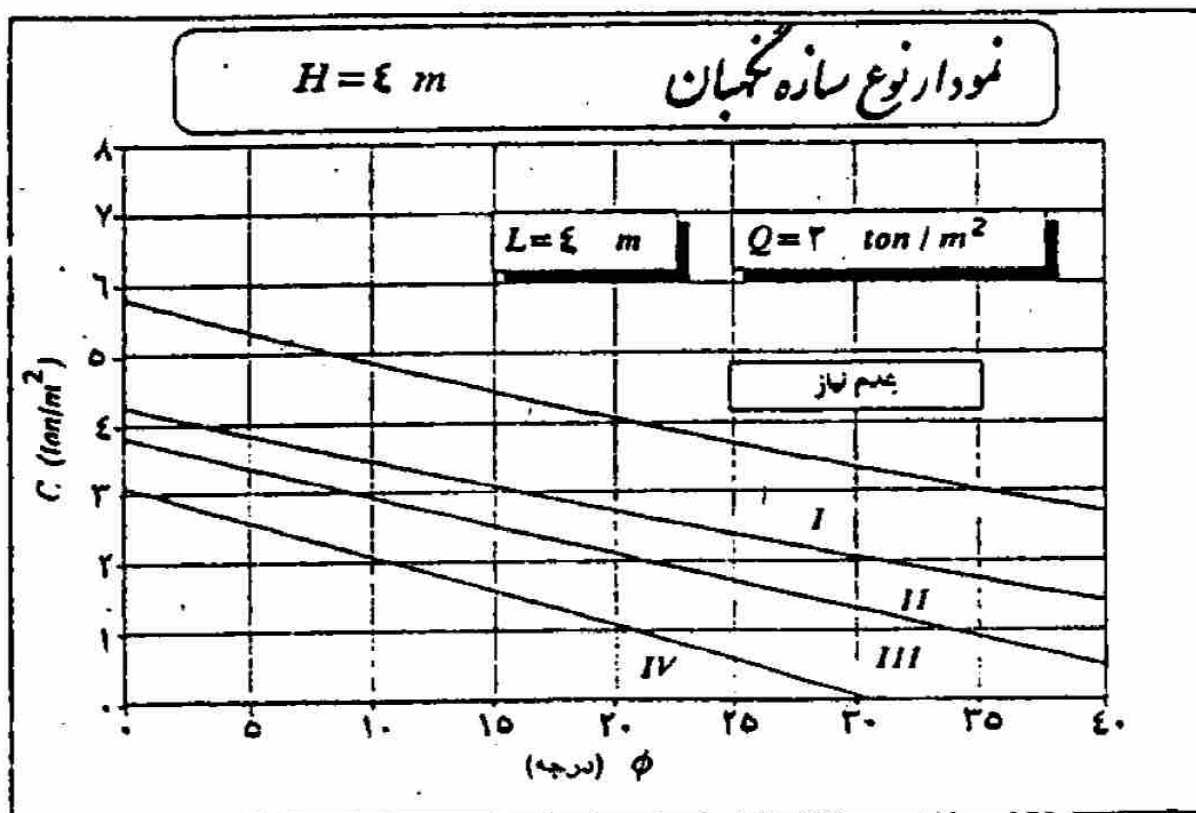
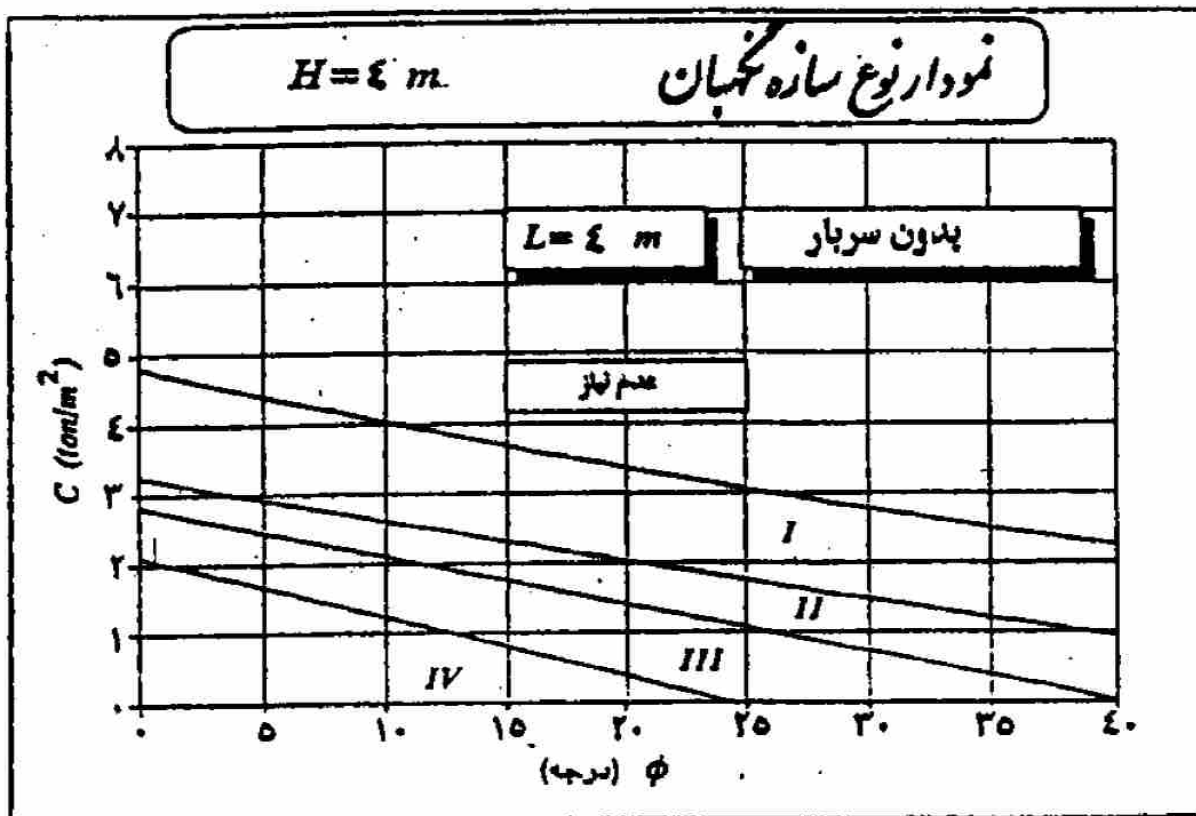
بر اساس مشخصات، نقطه تلاقی روی نمودار در محدوده‌ی "عدم نیاز" قرار می‌گیرد. پس در این پروژه نیازی به احداث سازه نگهبان نیست.

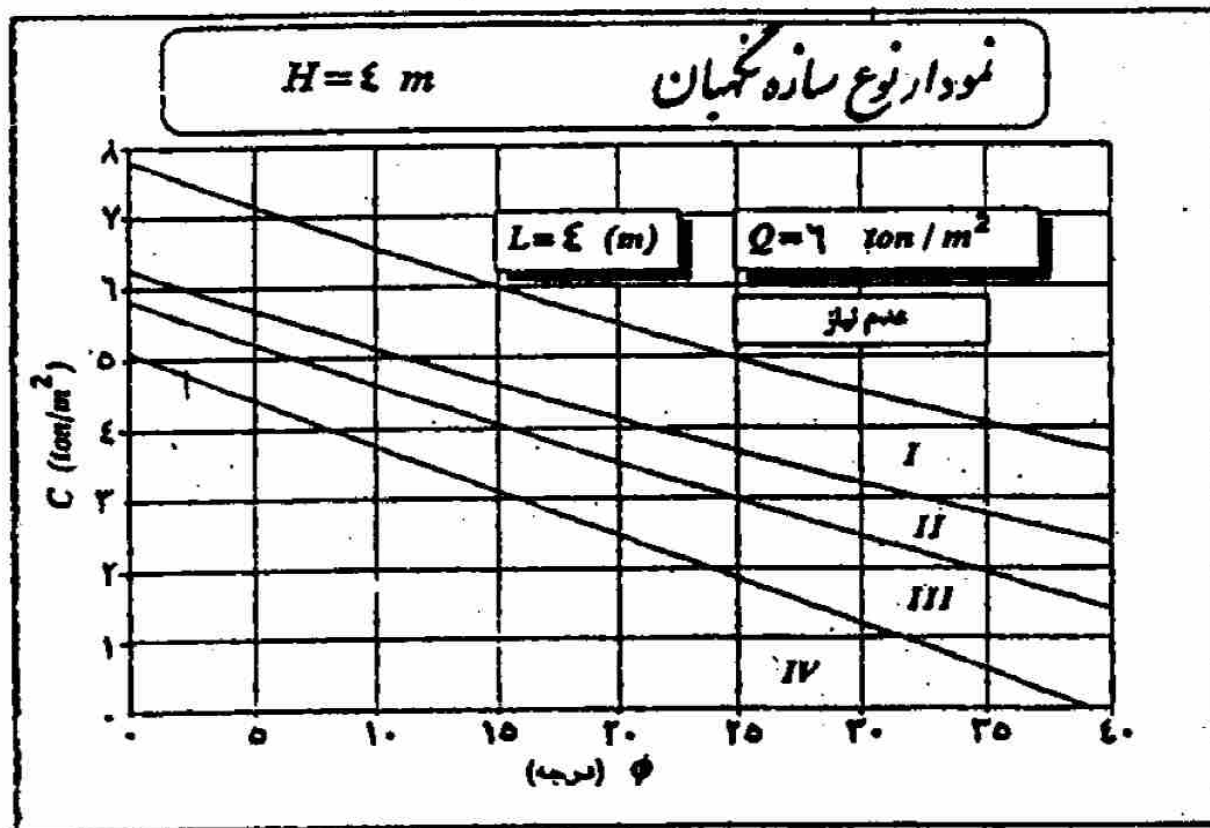
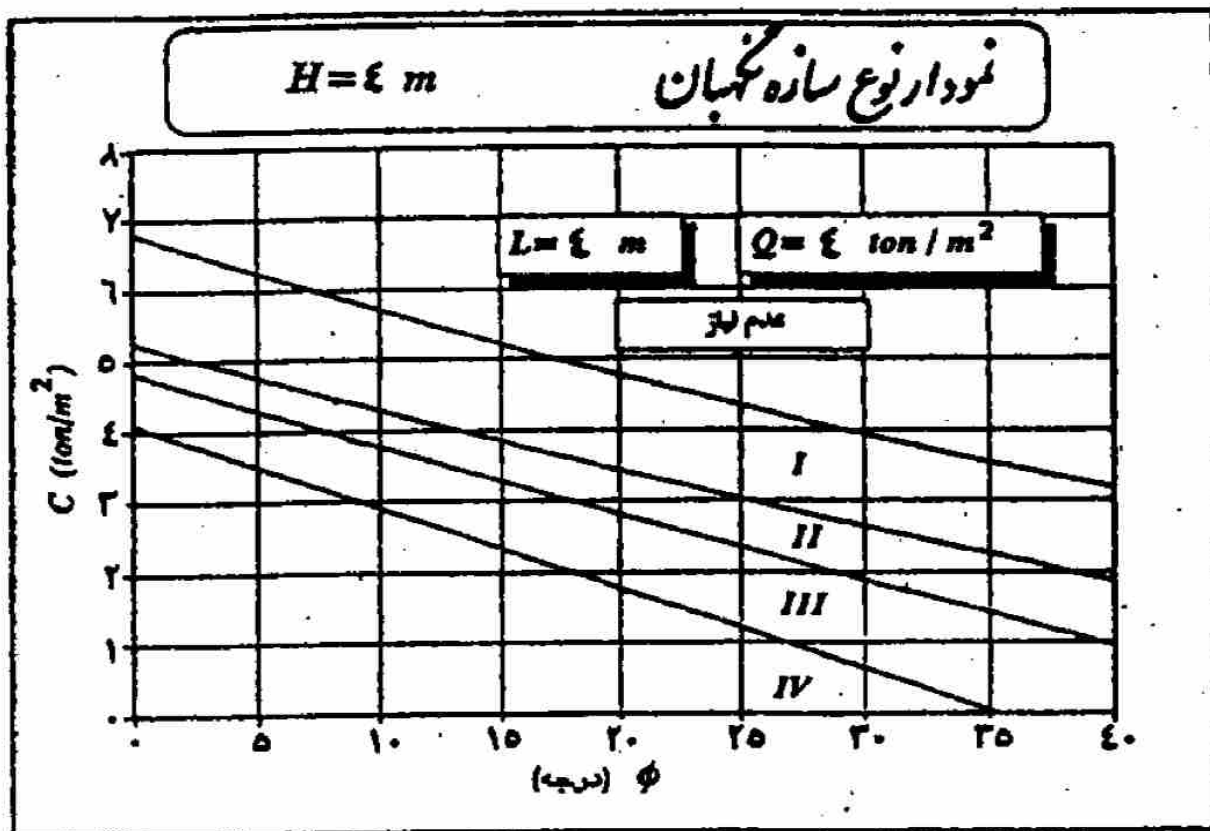
# پیوست‌ها

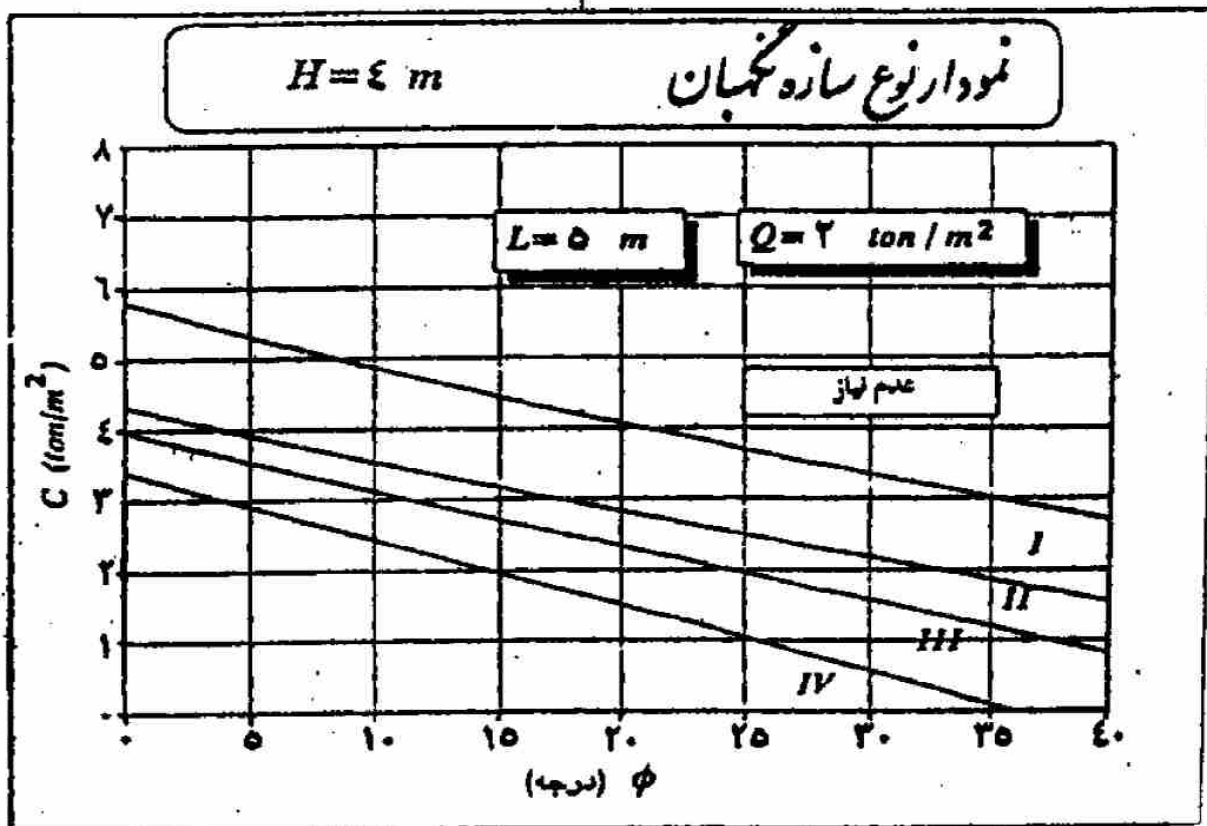
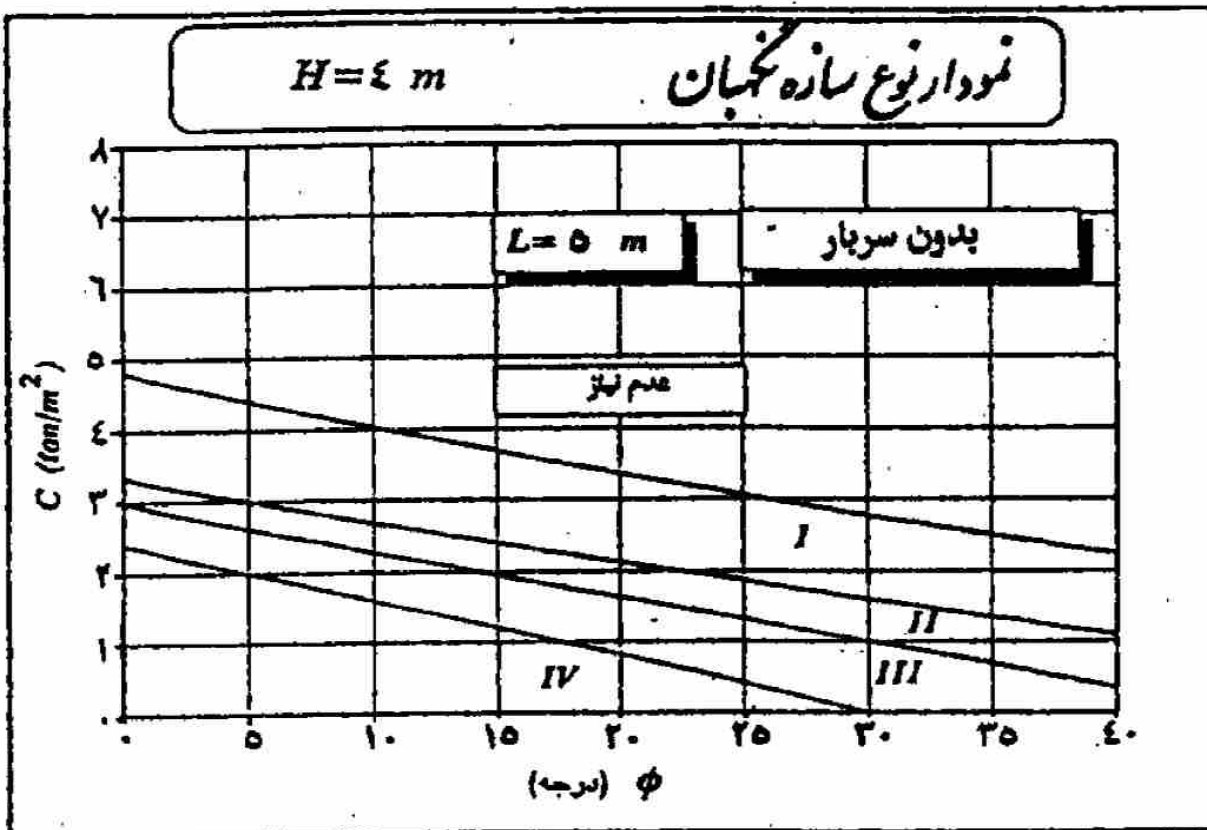
## پیوست ۱ - نمودارهای تعیین نوع سازه نگهبان

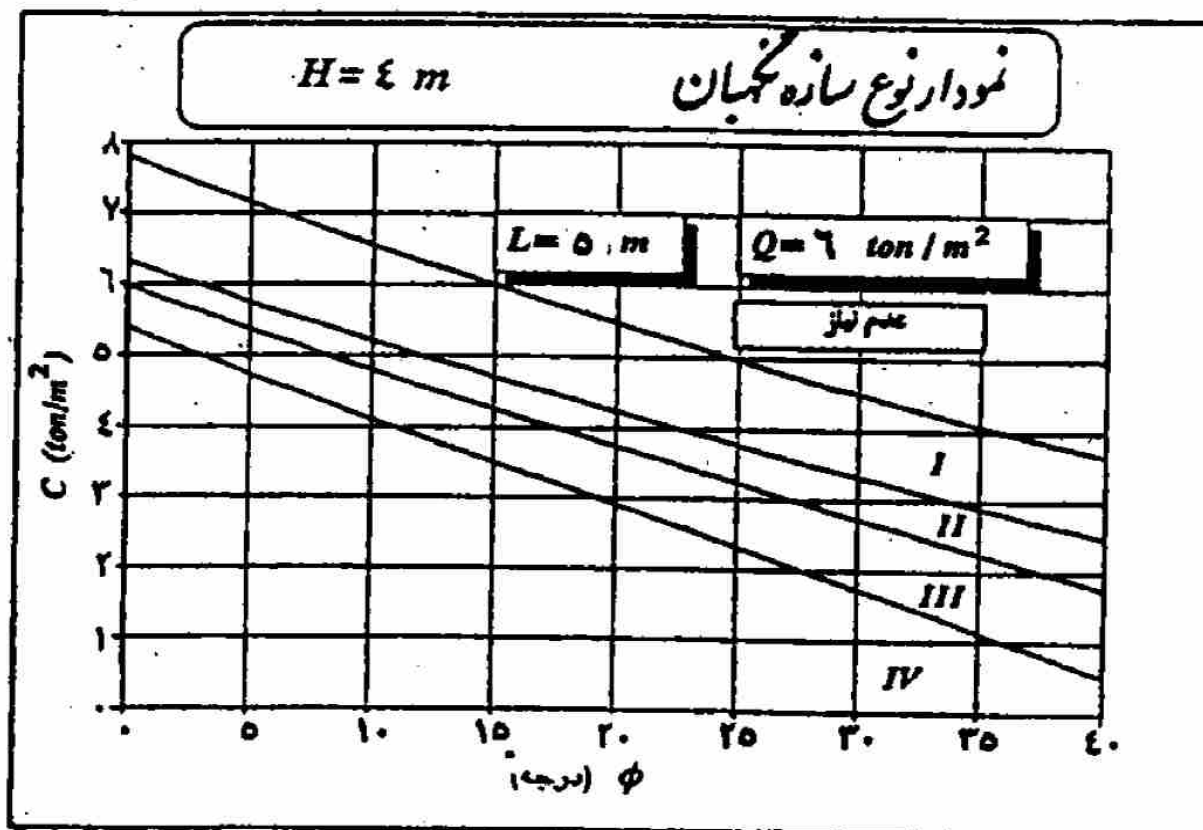
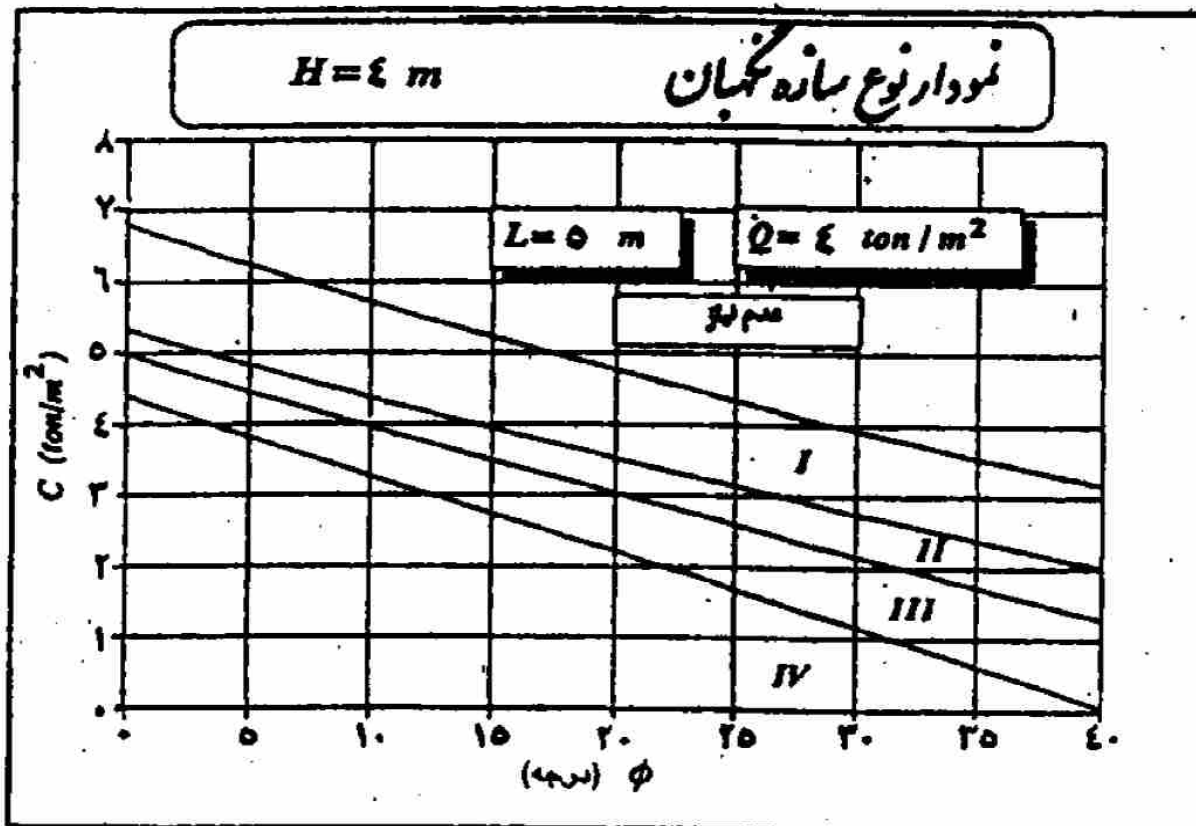


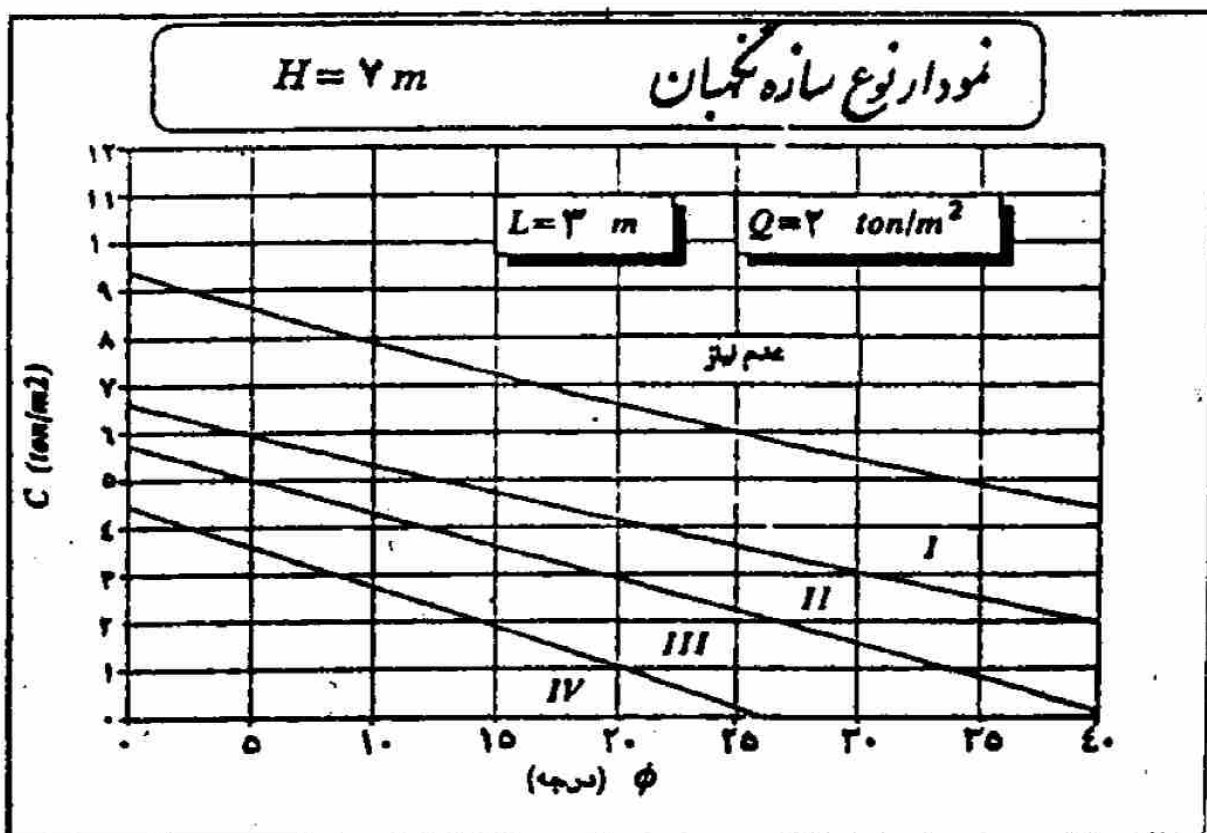
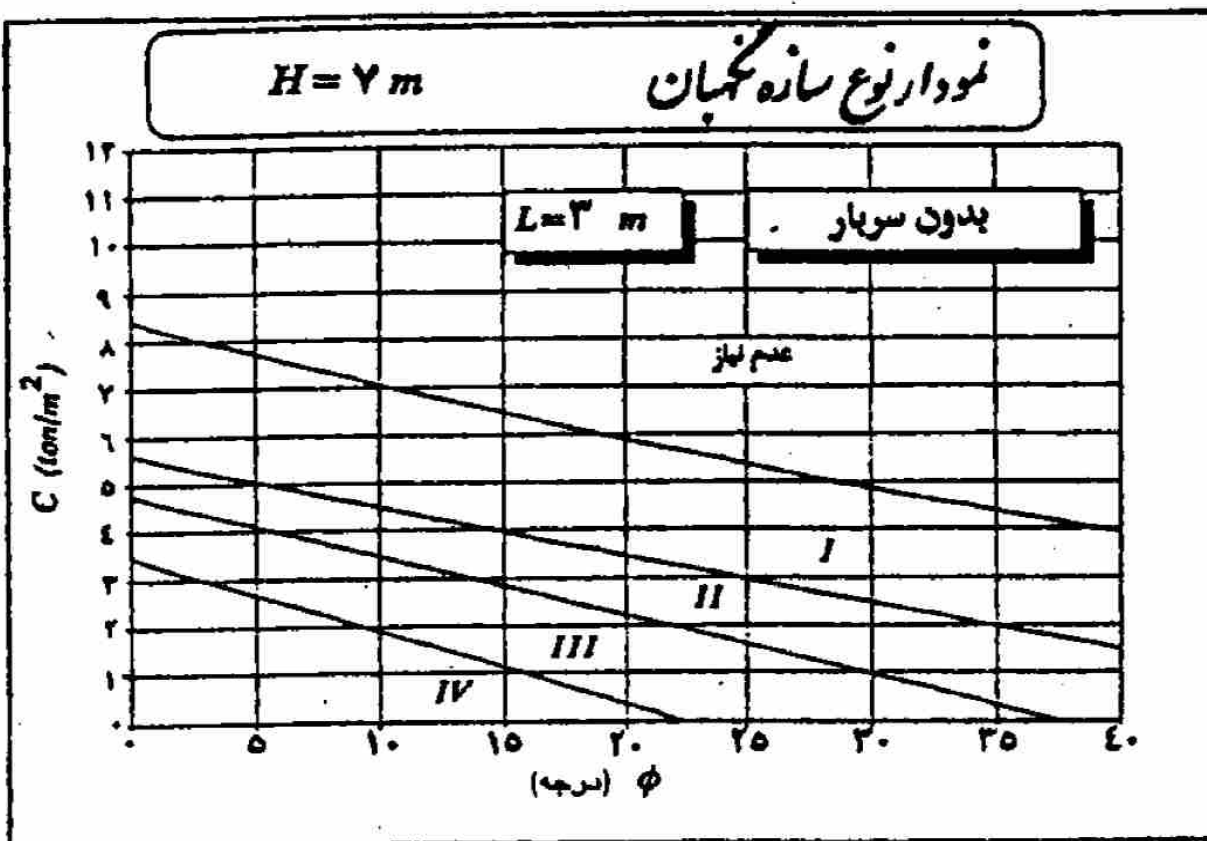


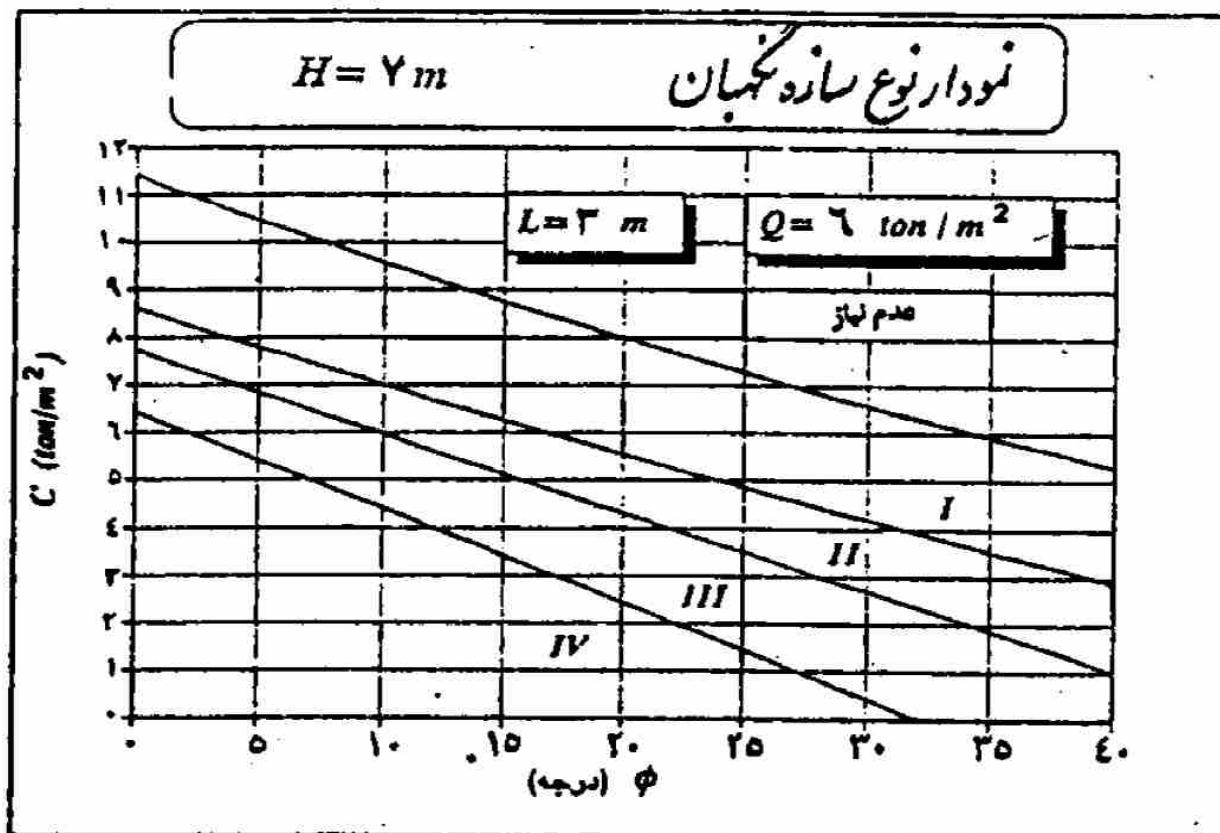
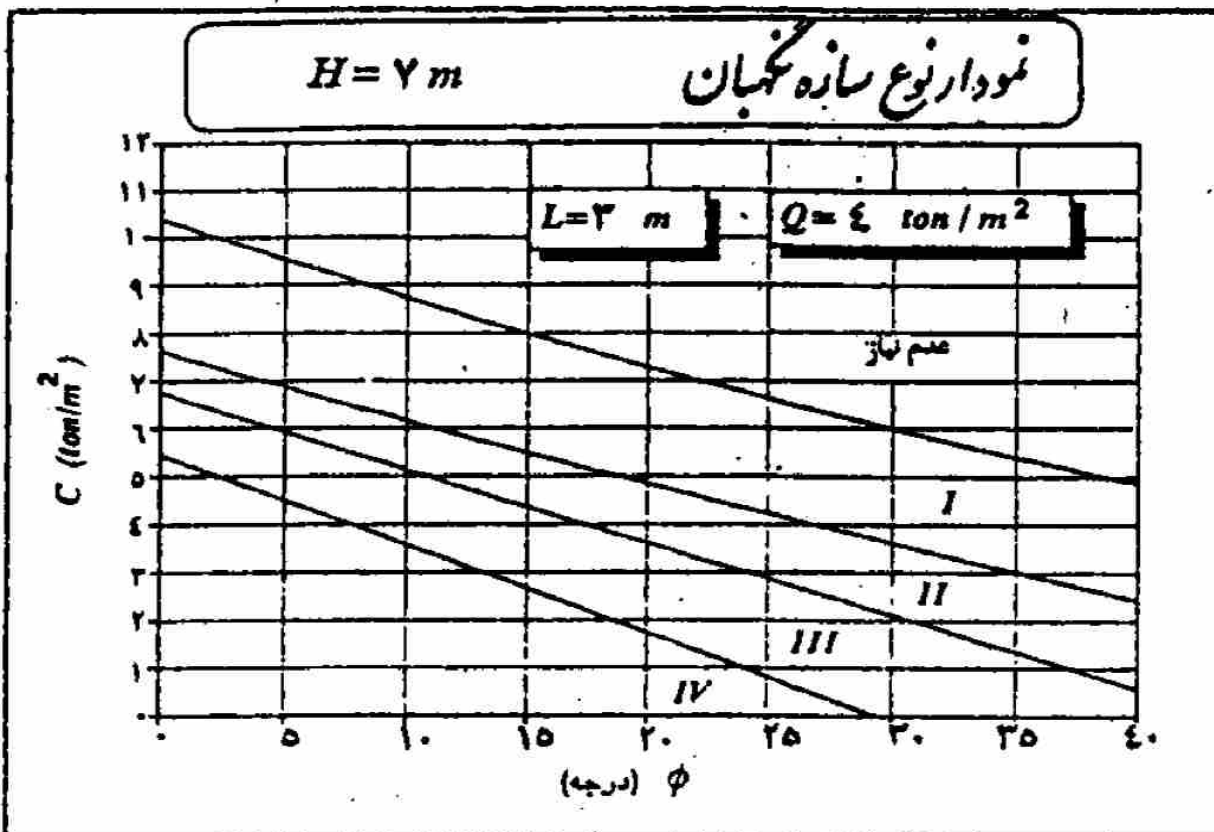


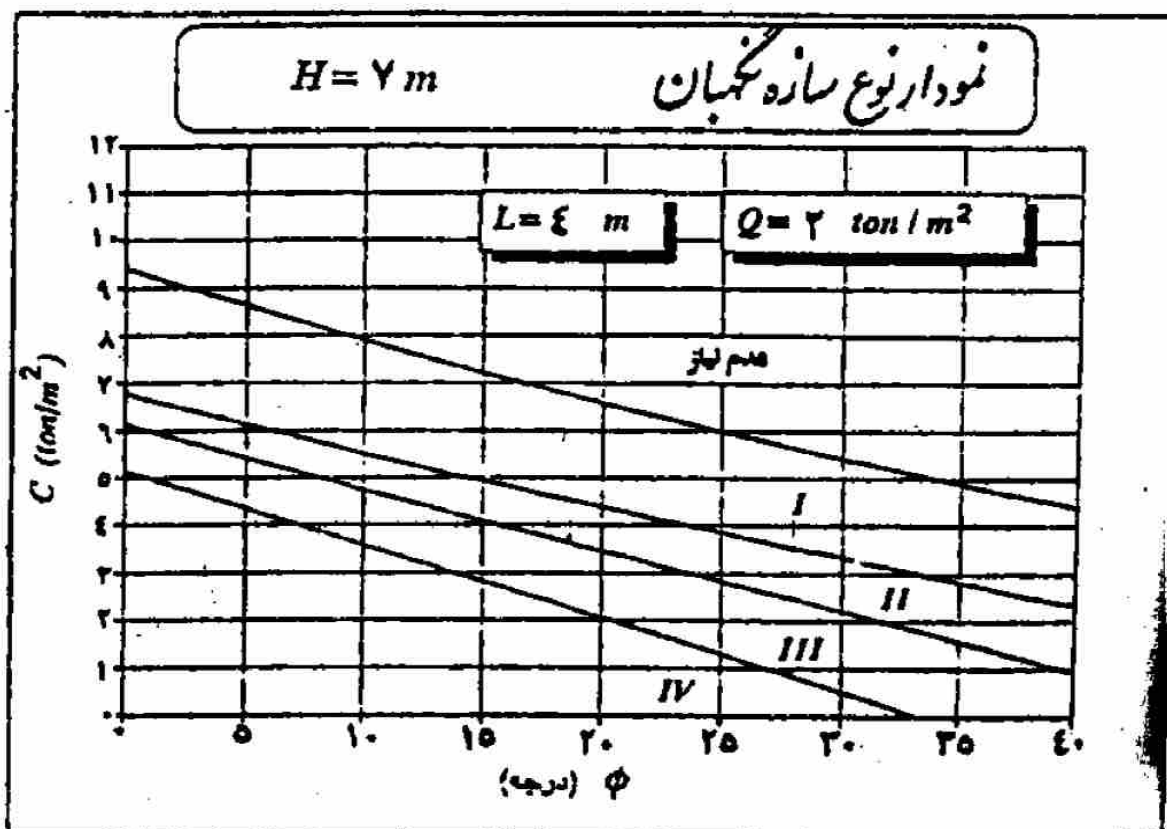
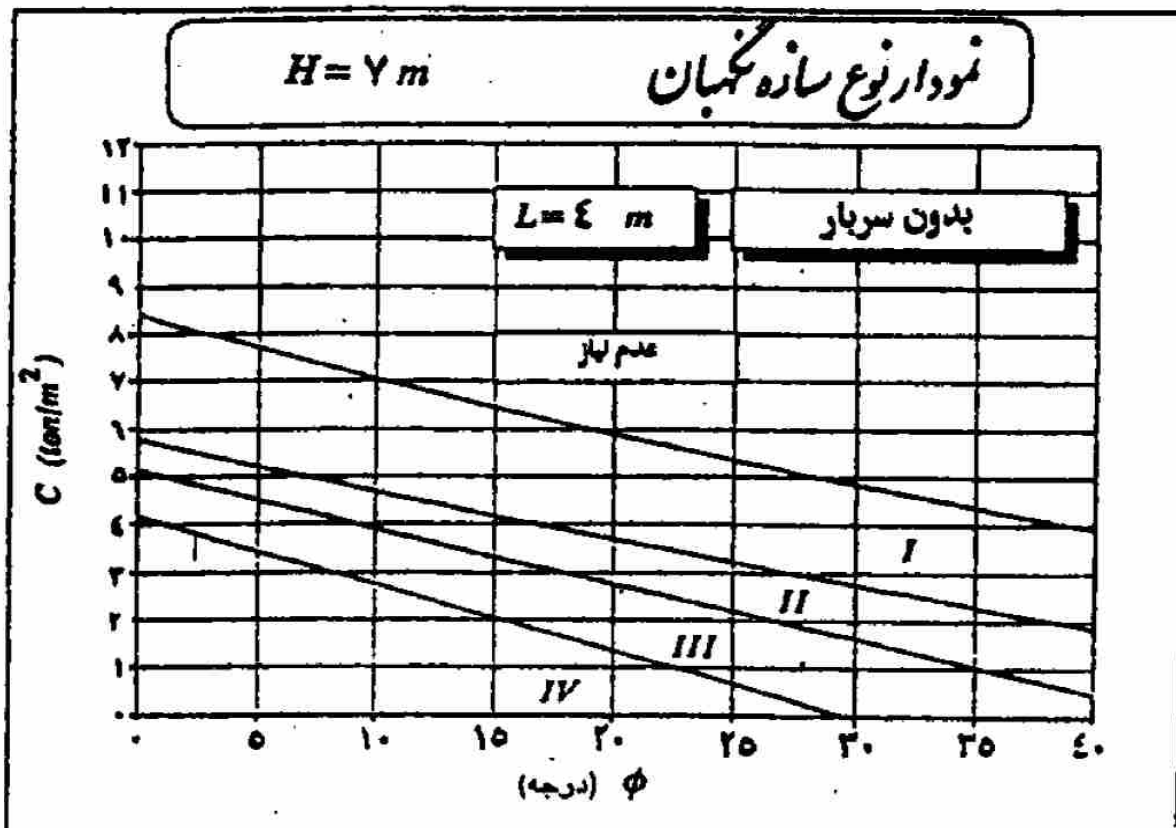


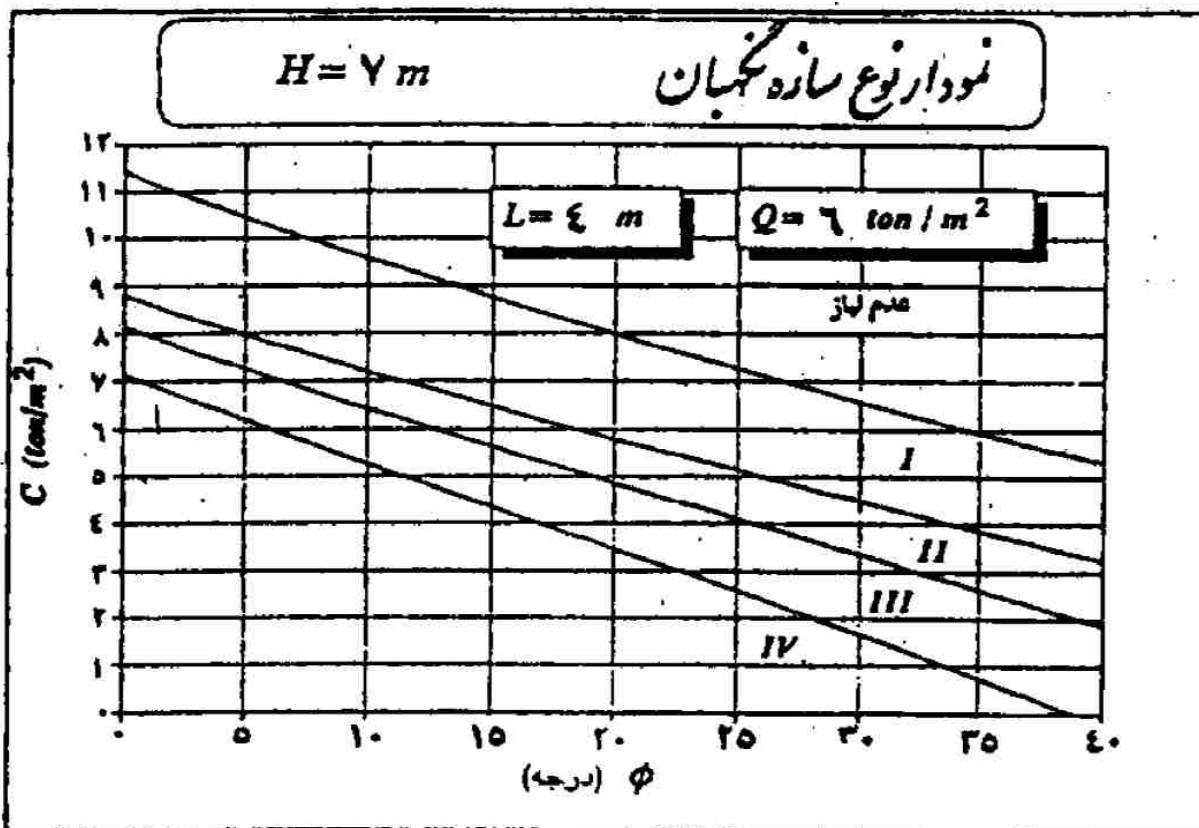
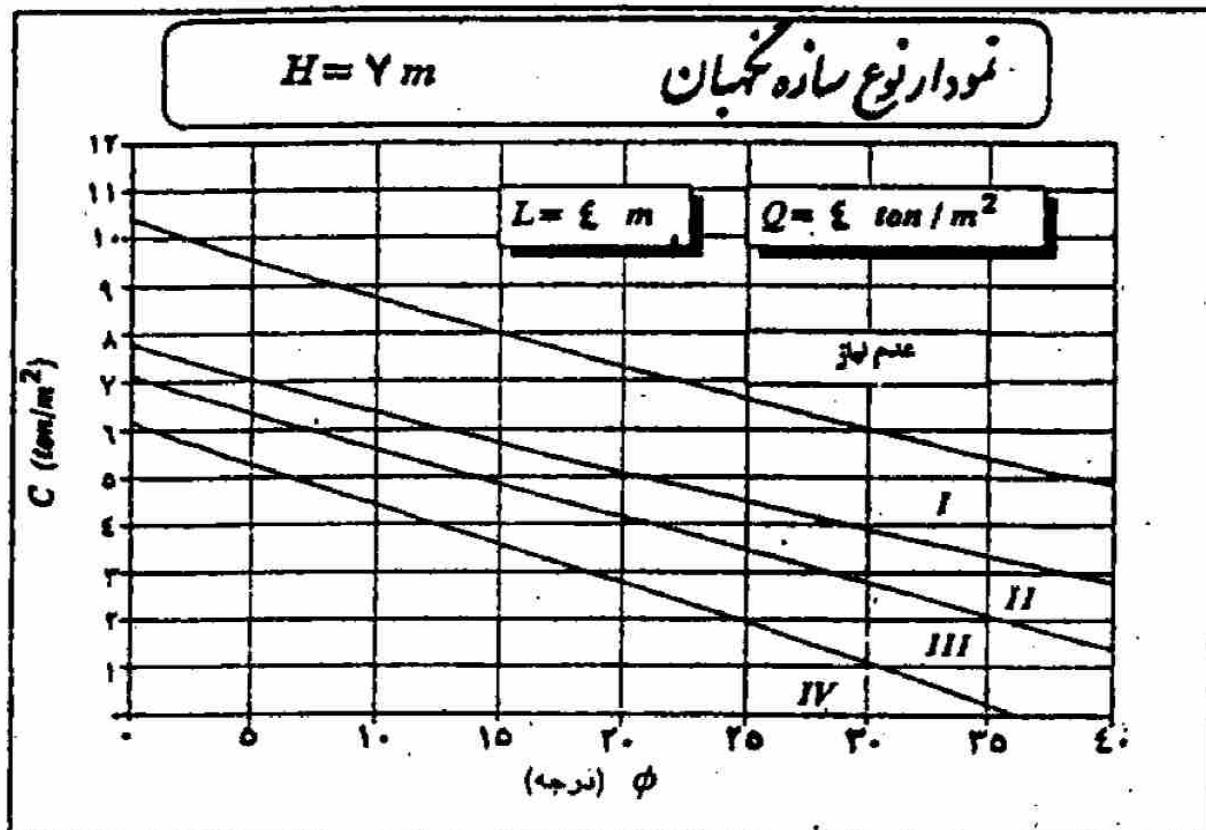


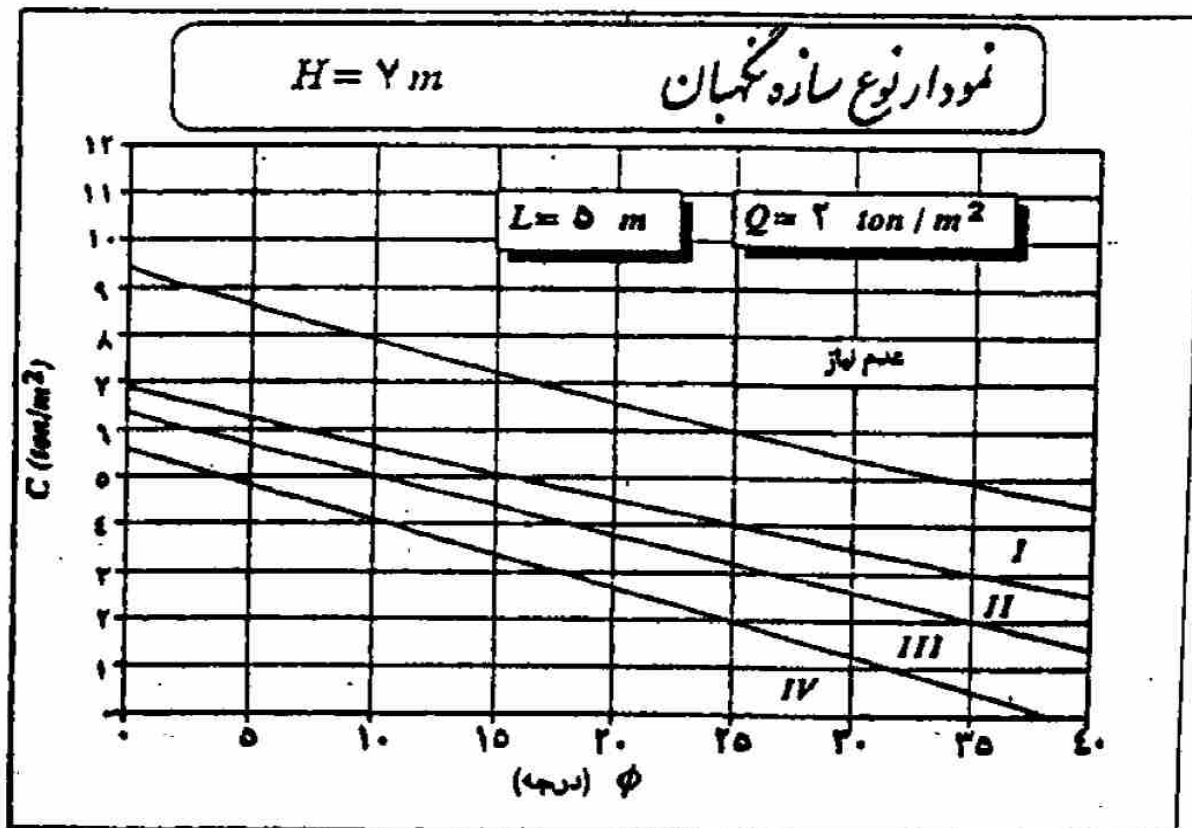
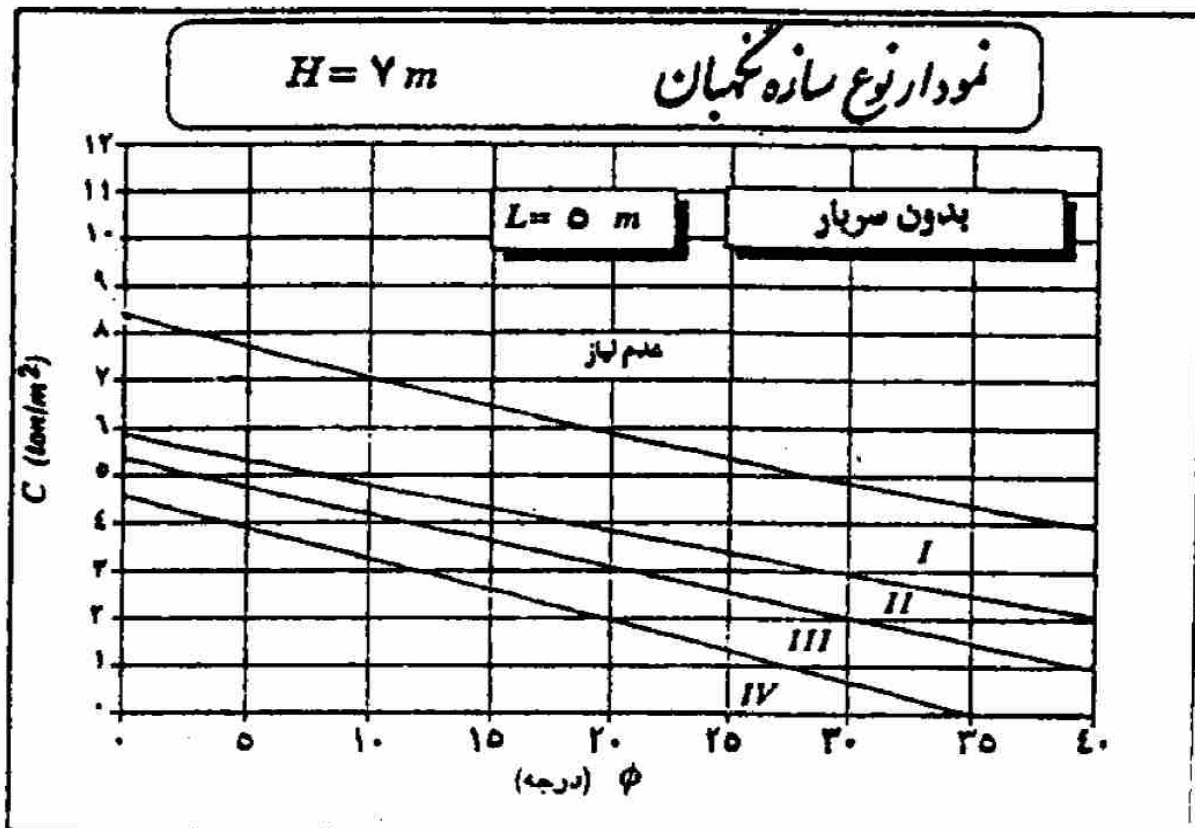


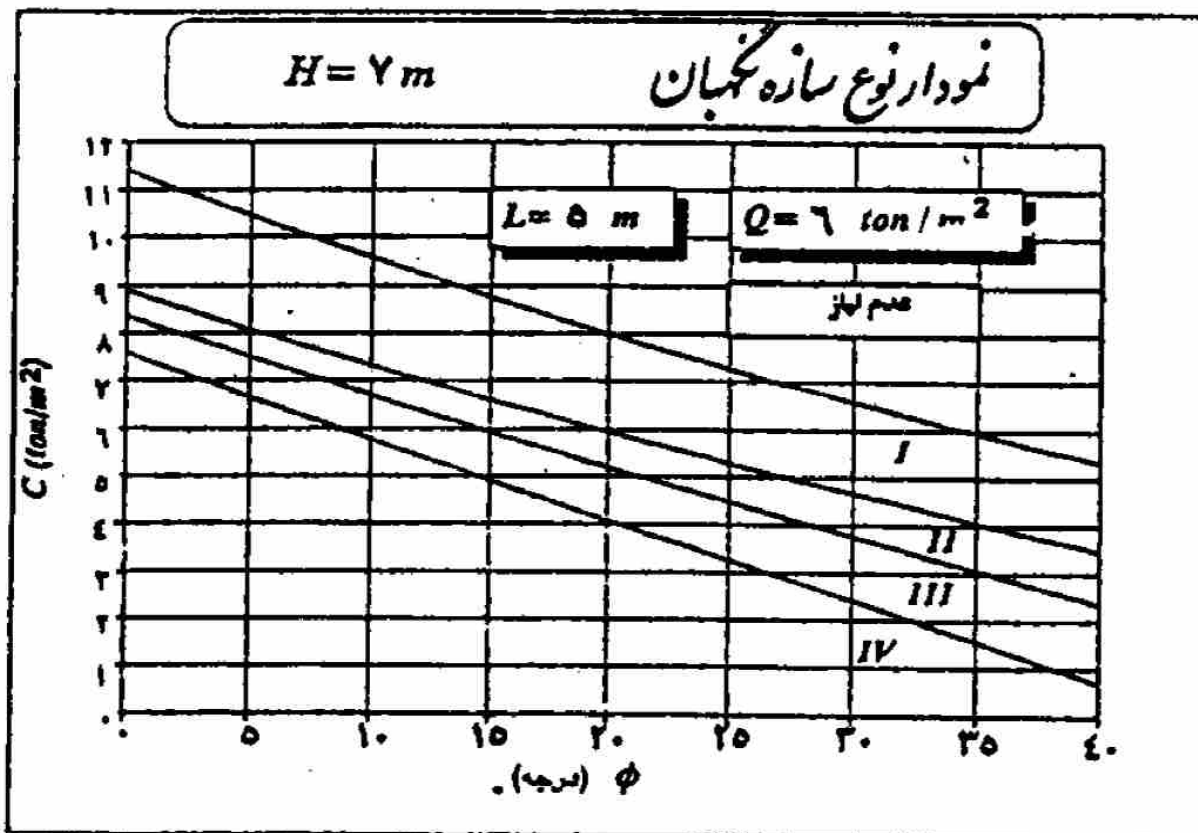
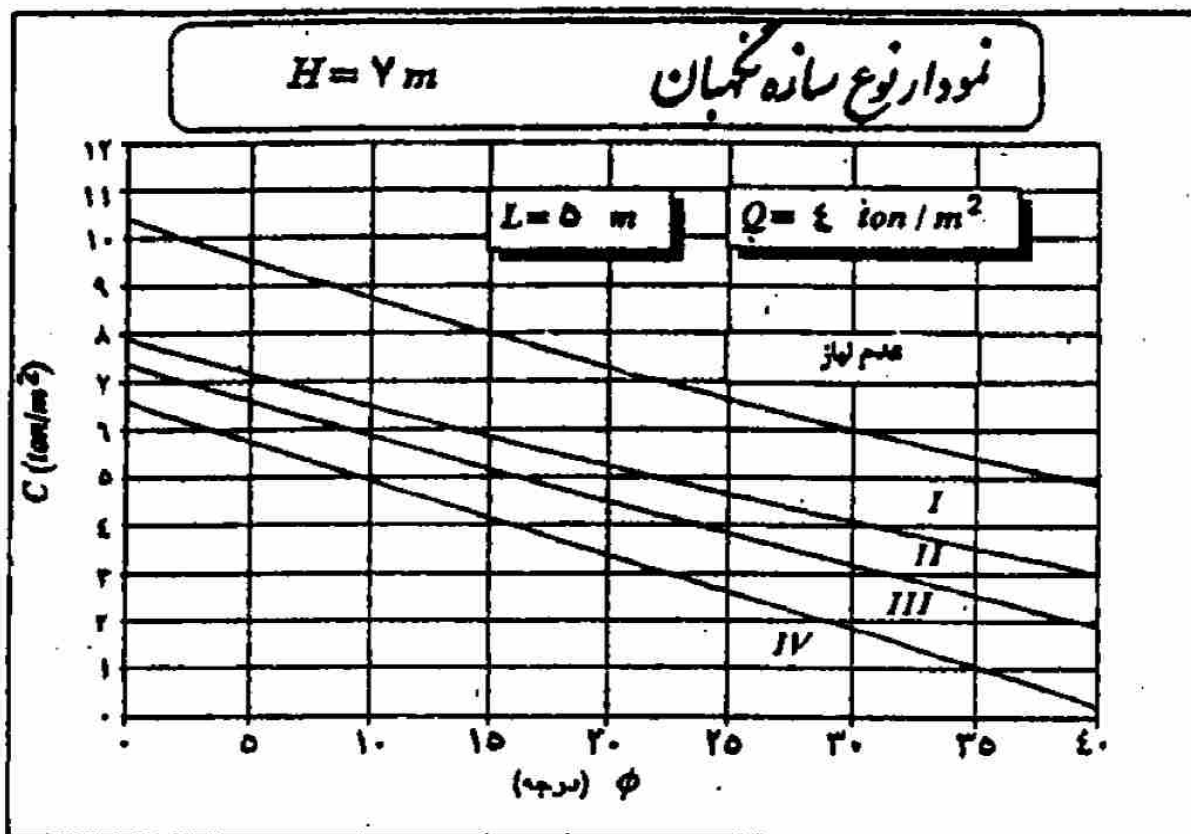


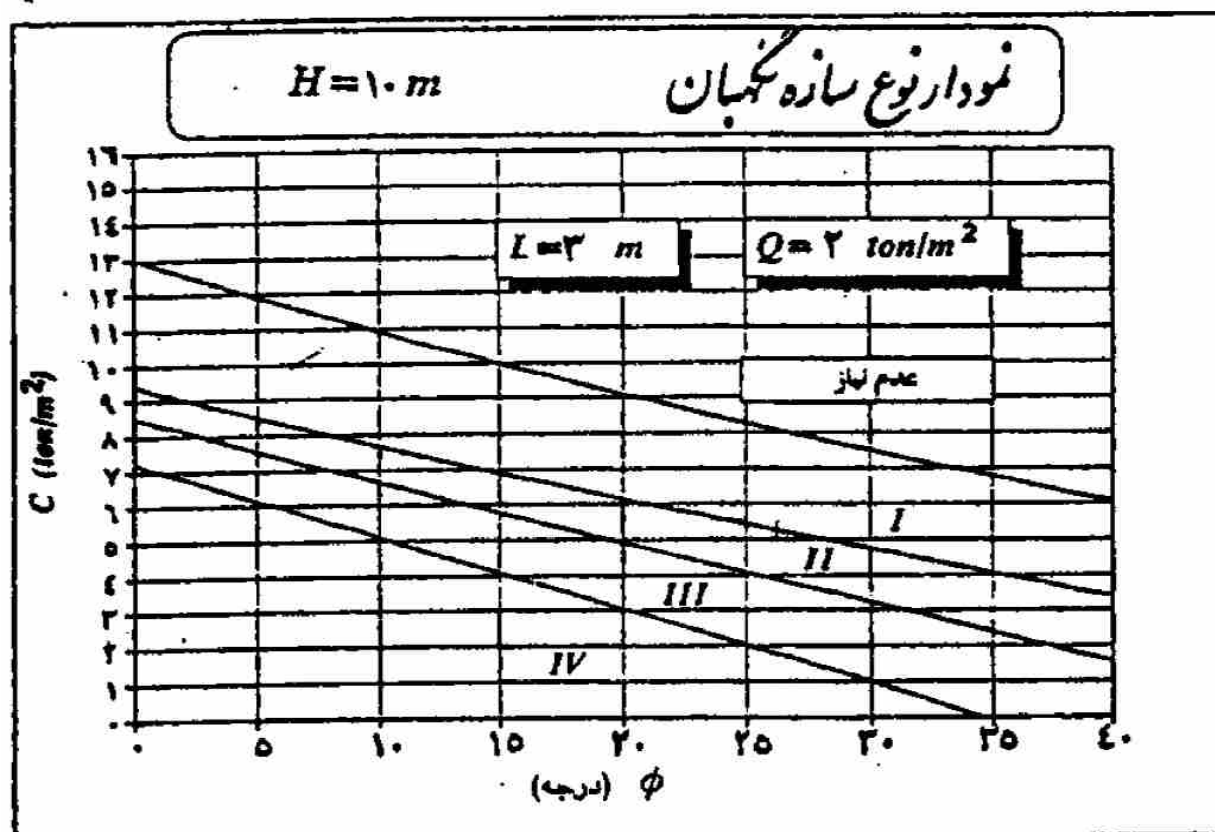
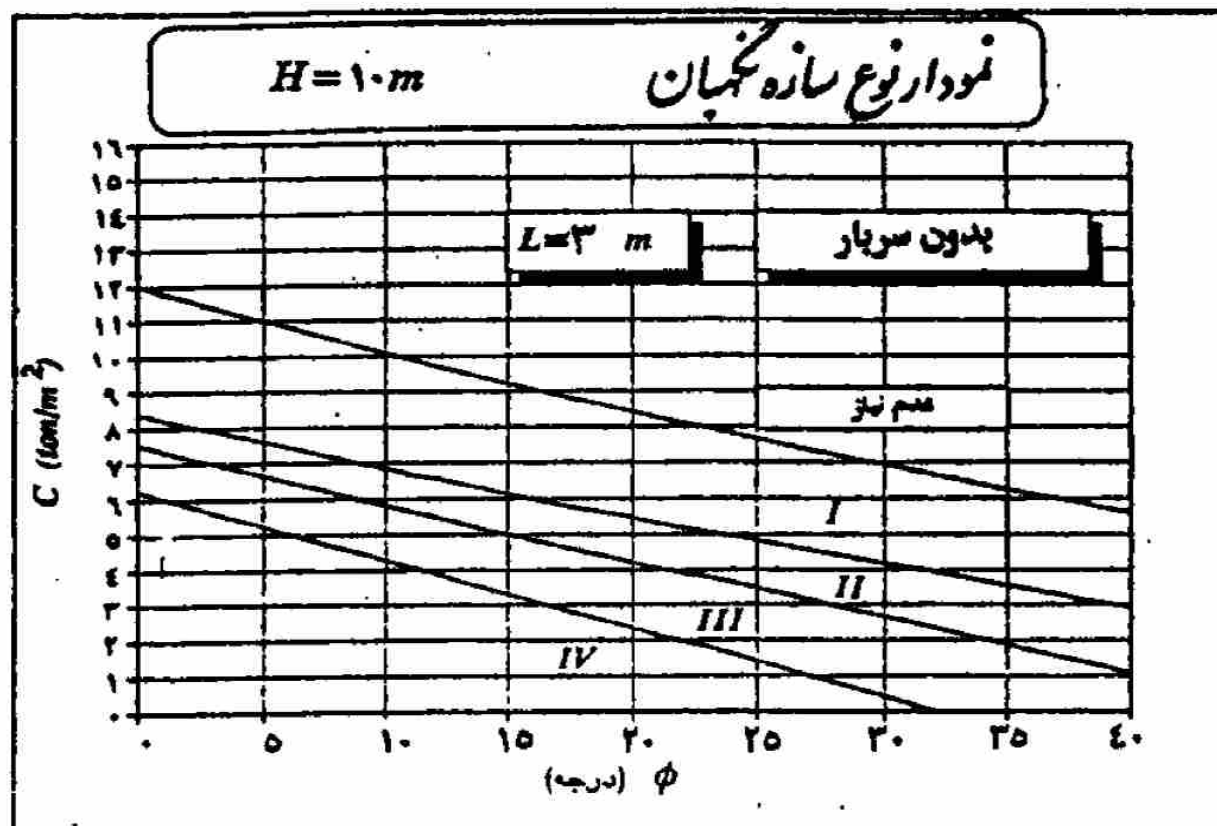


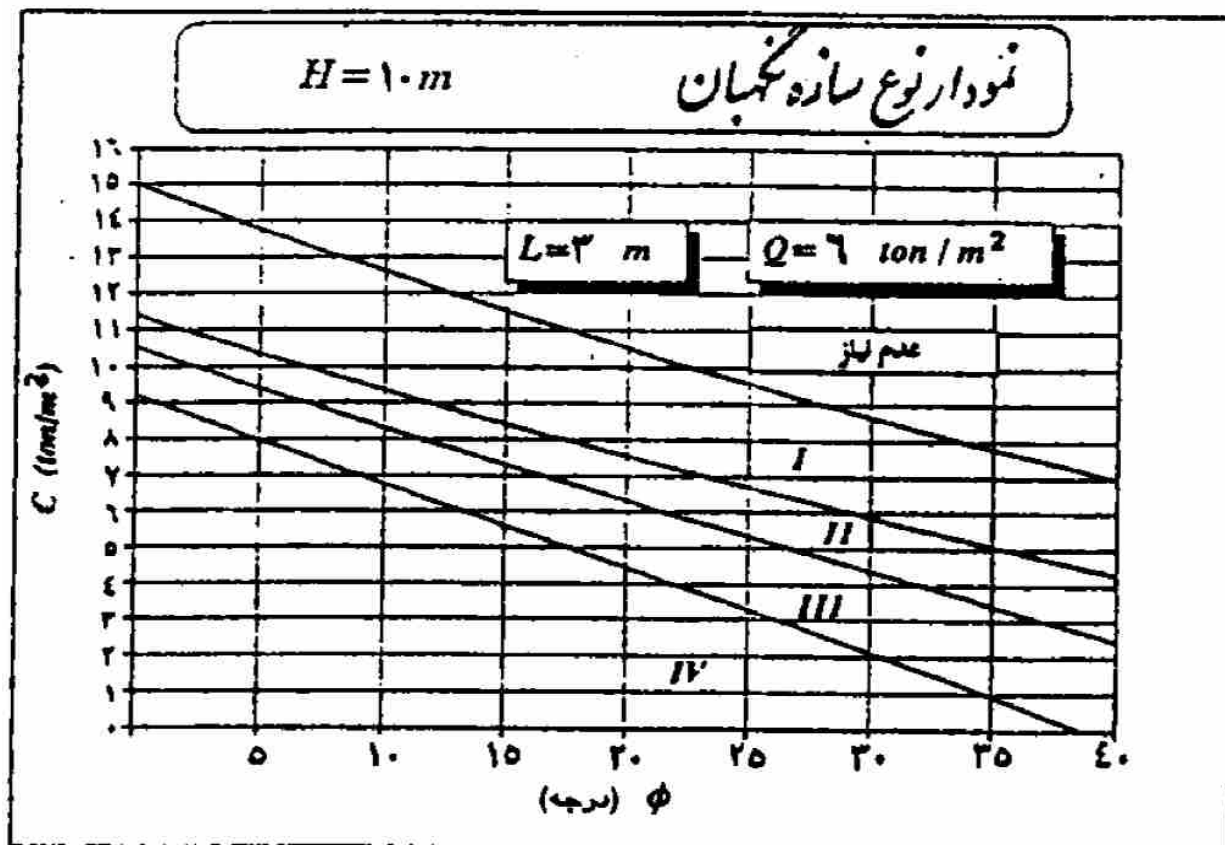
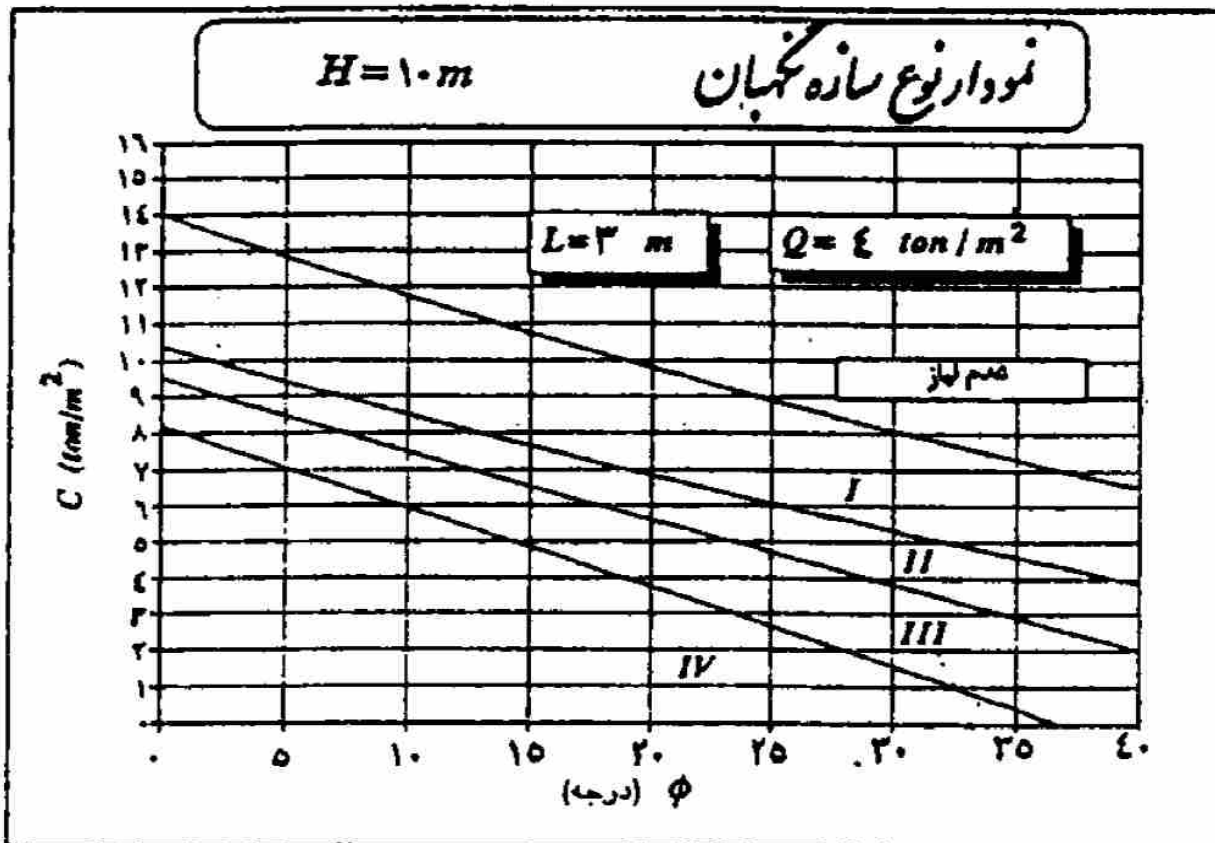


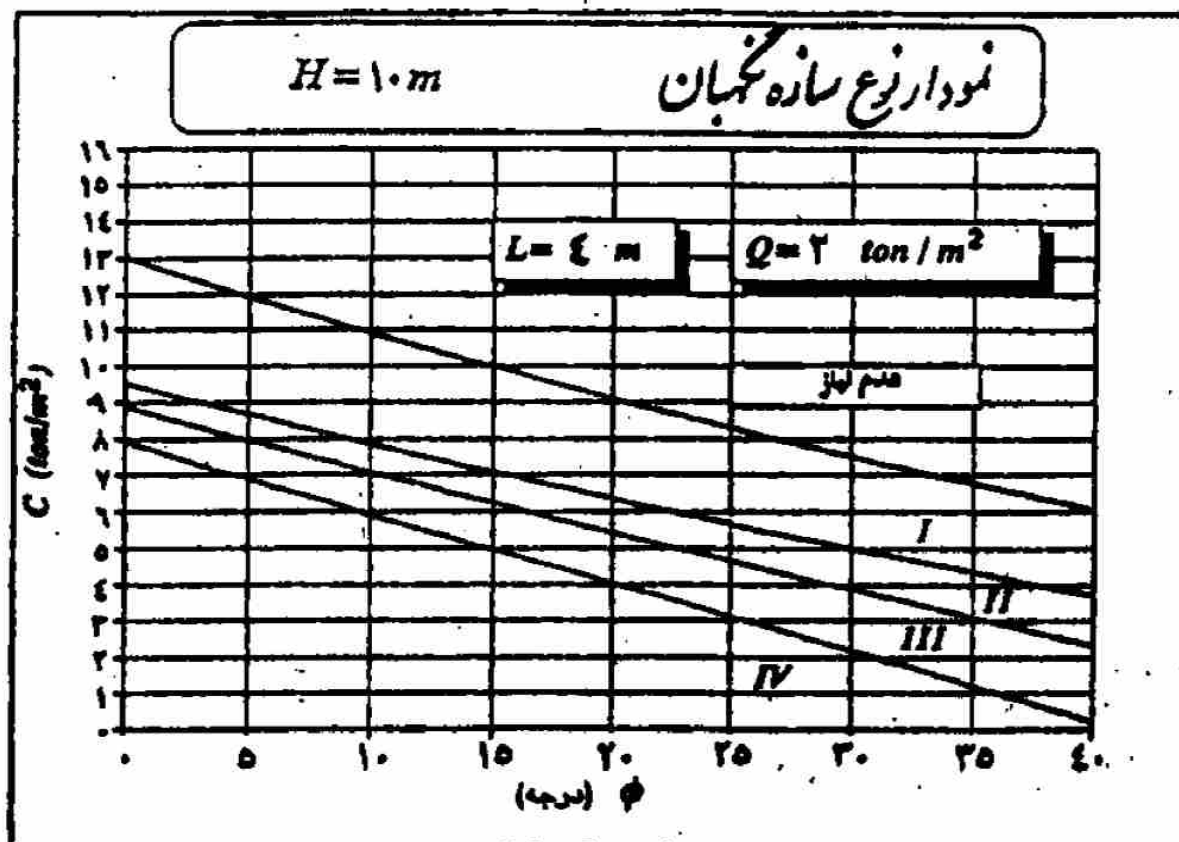
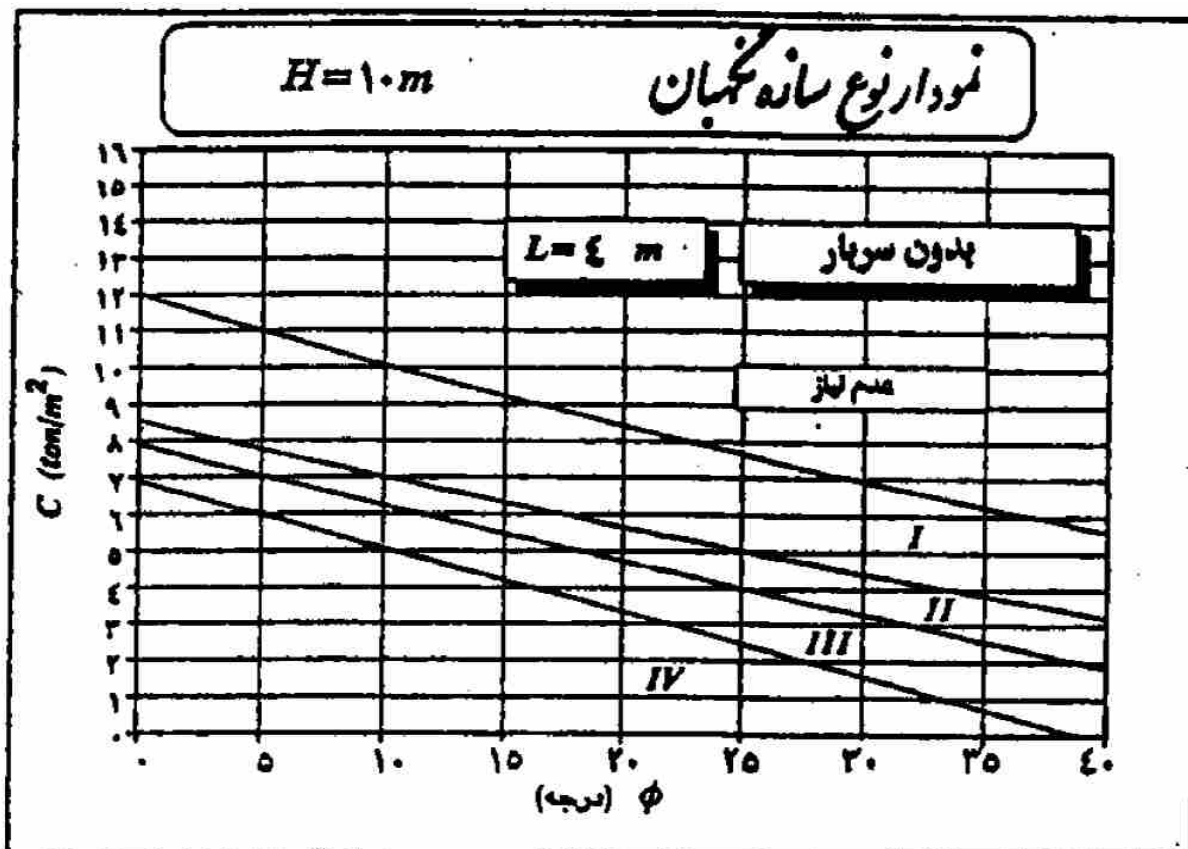


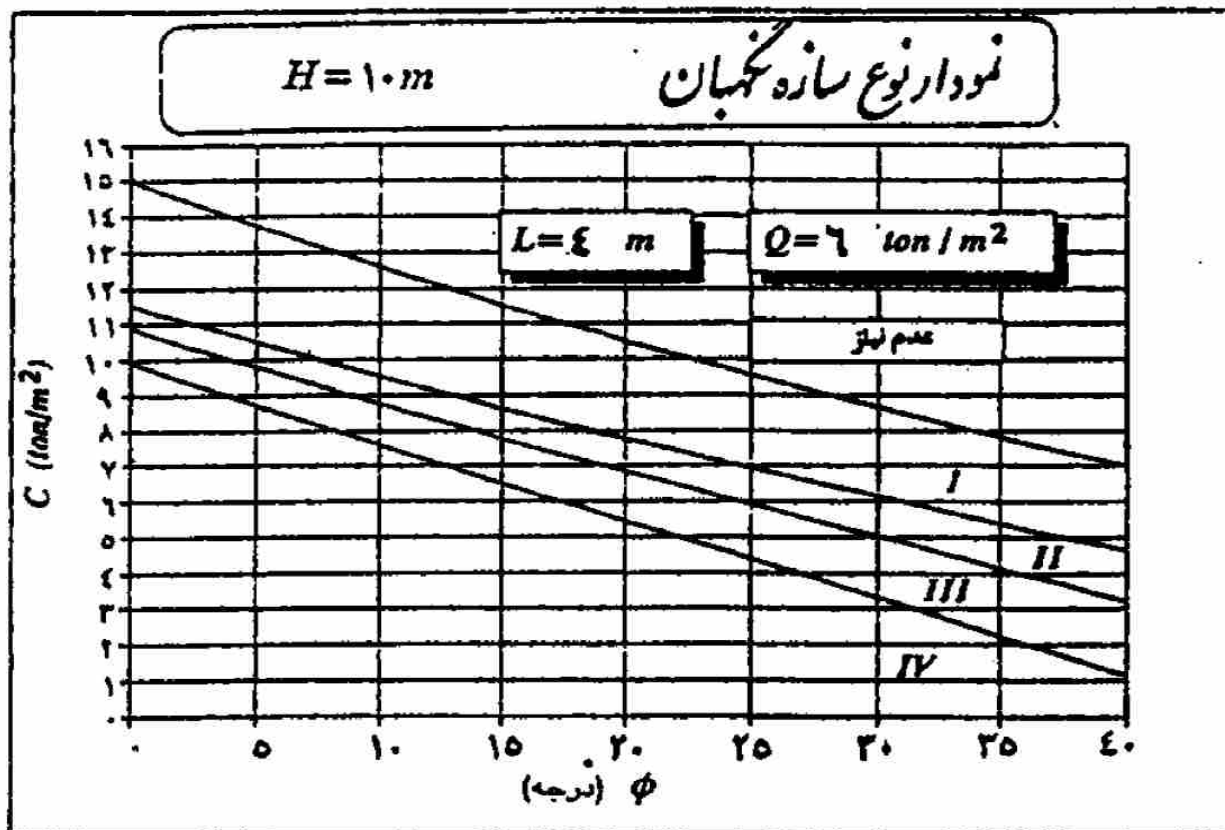
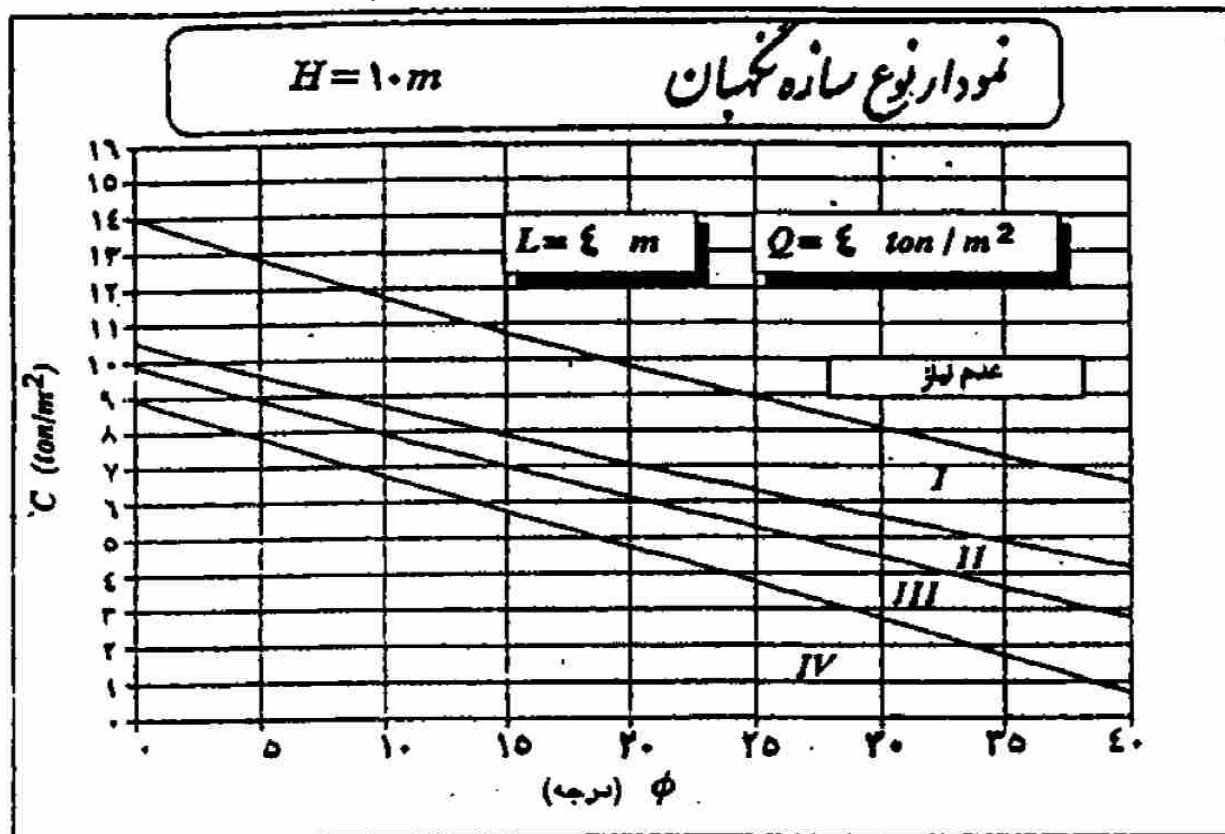


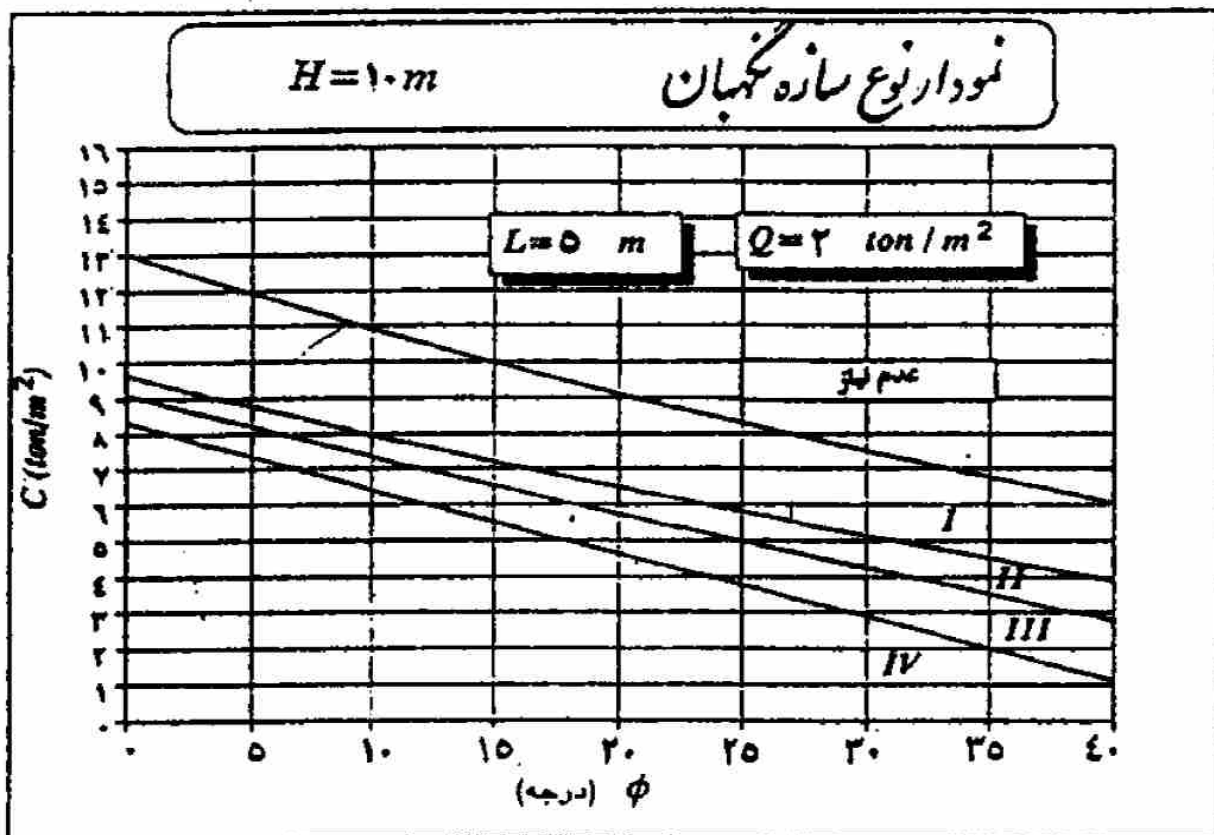
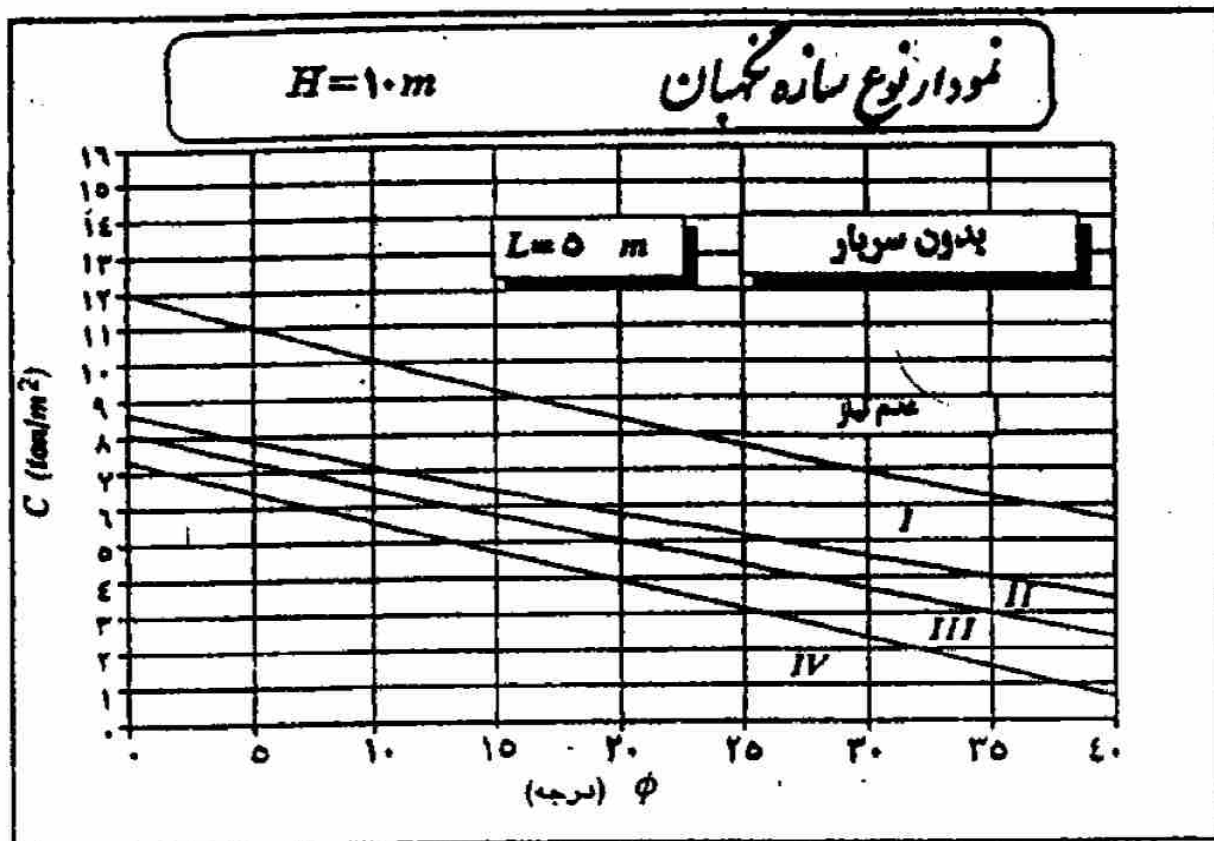


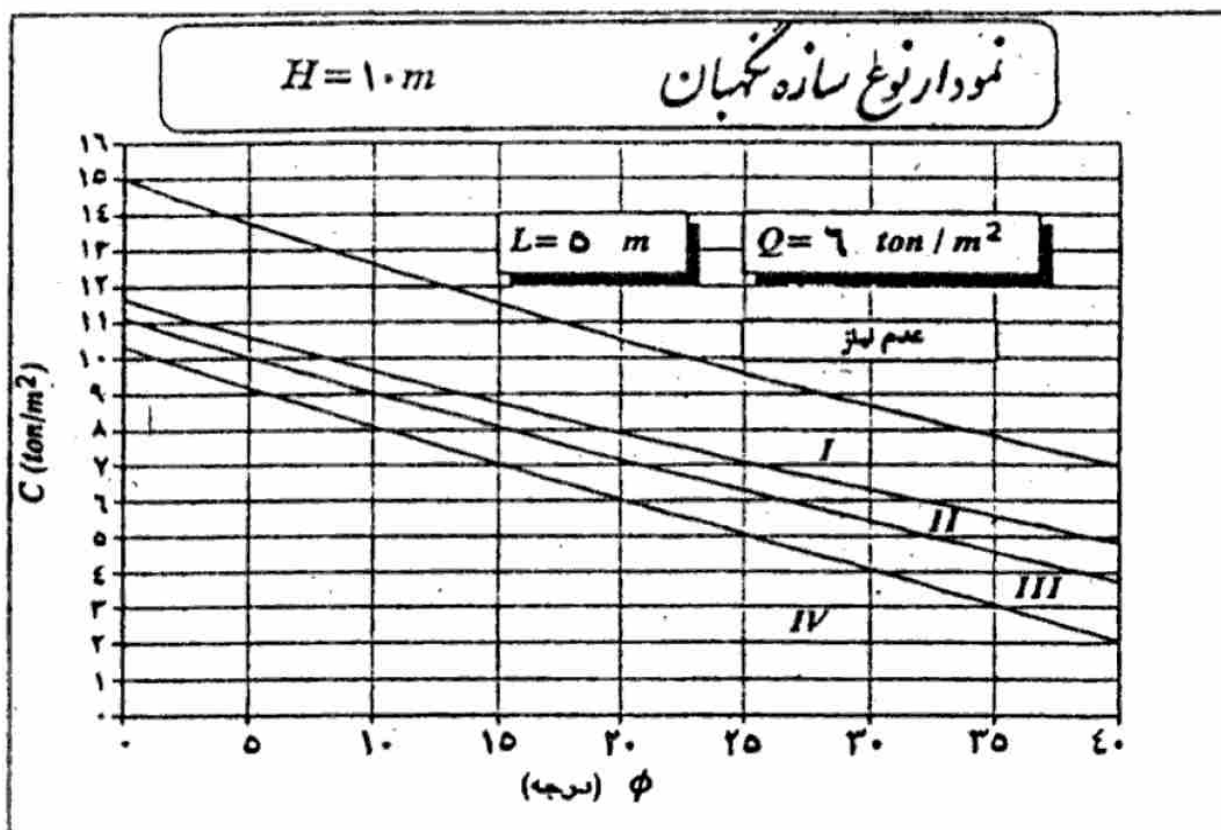
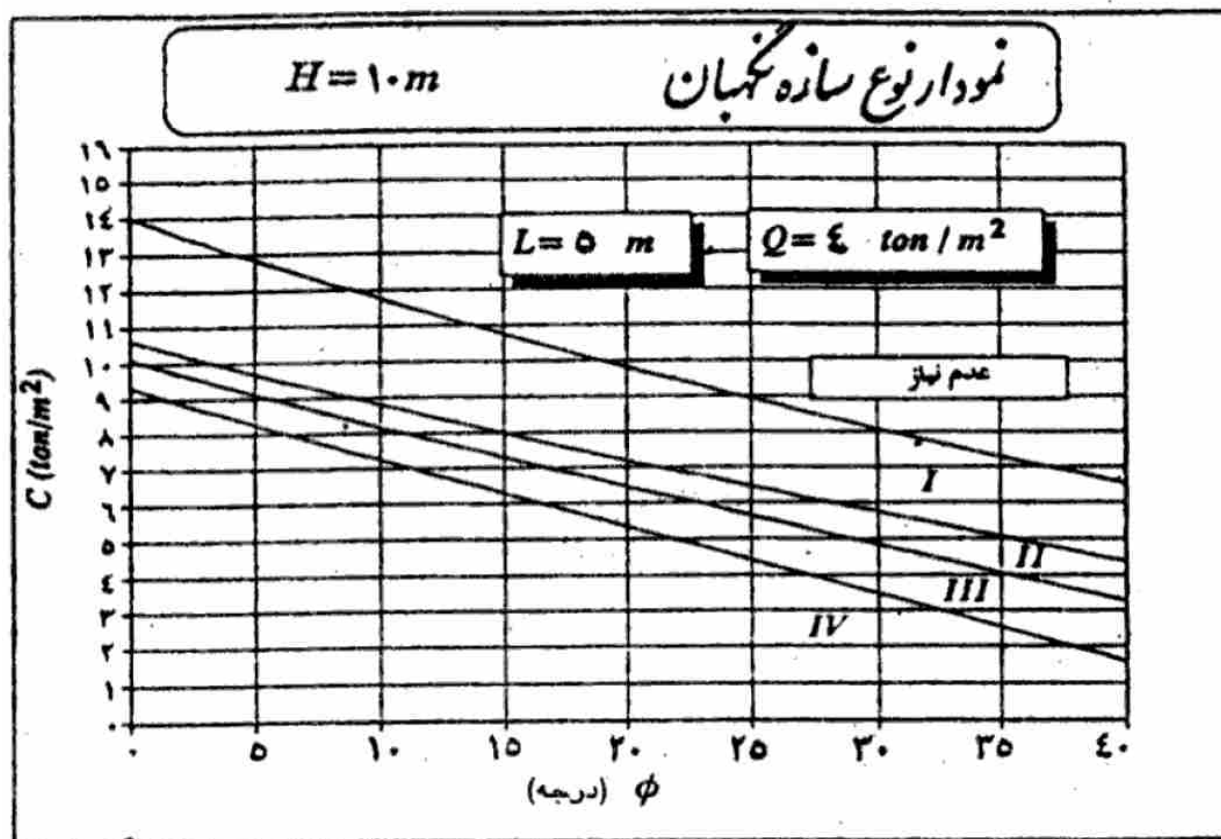


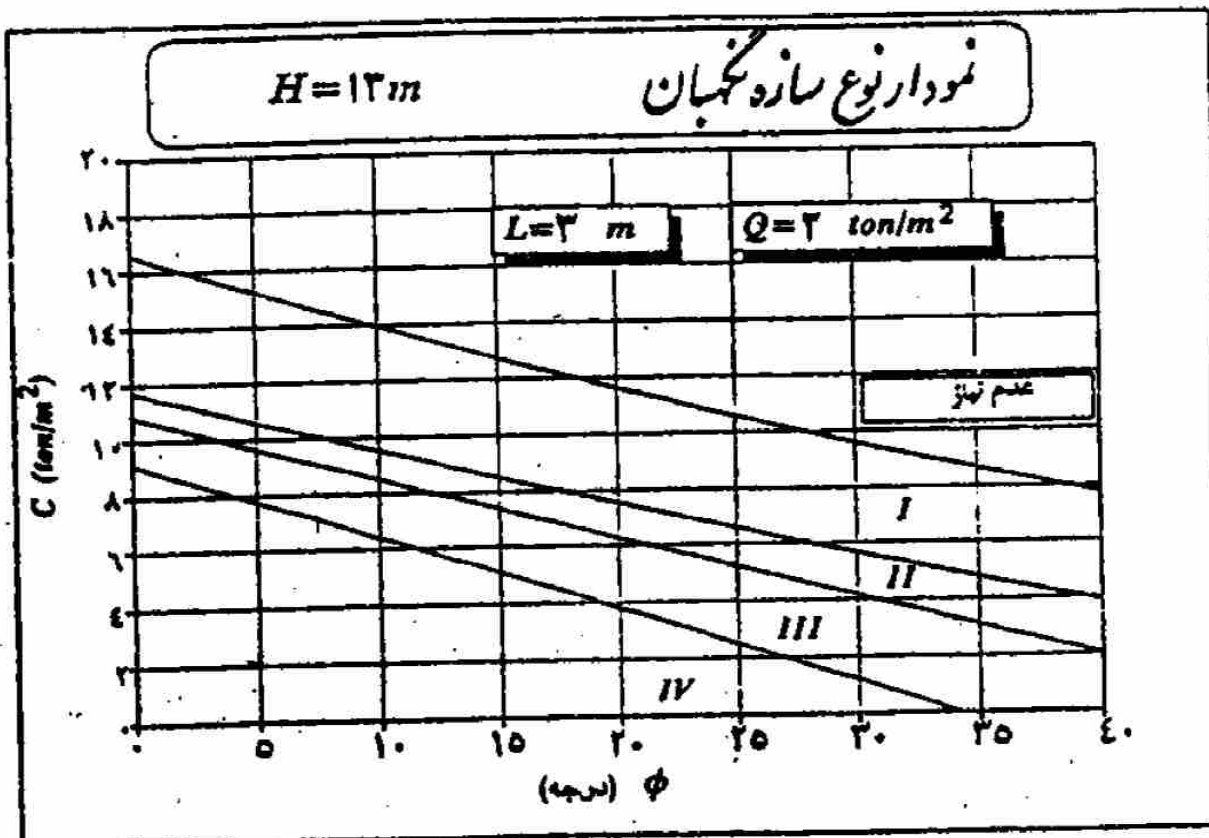
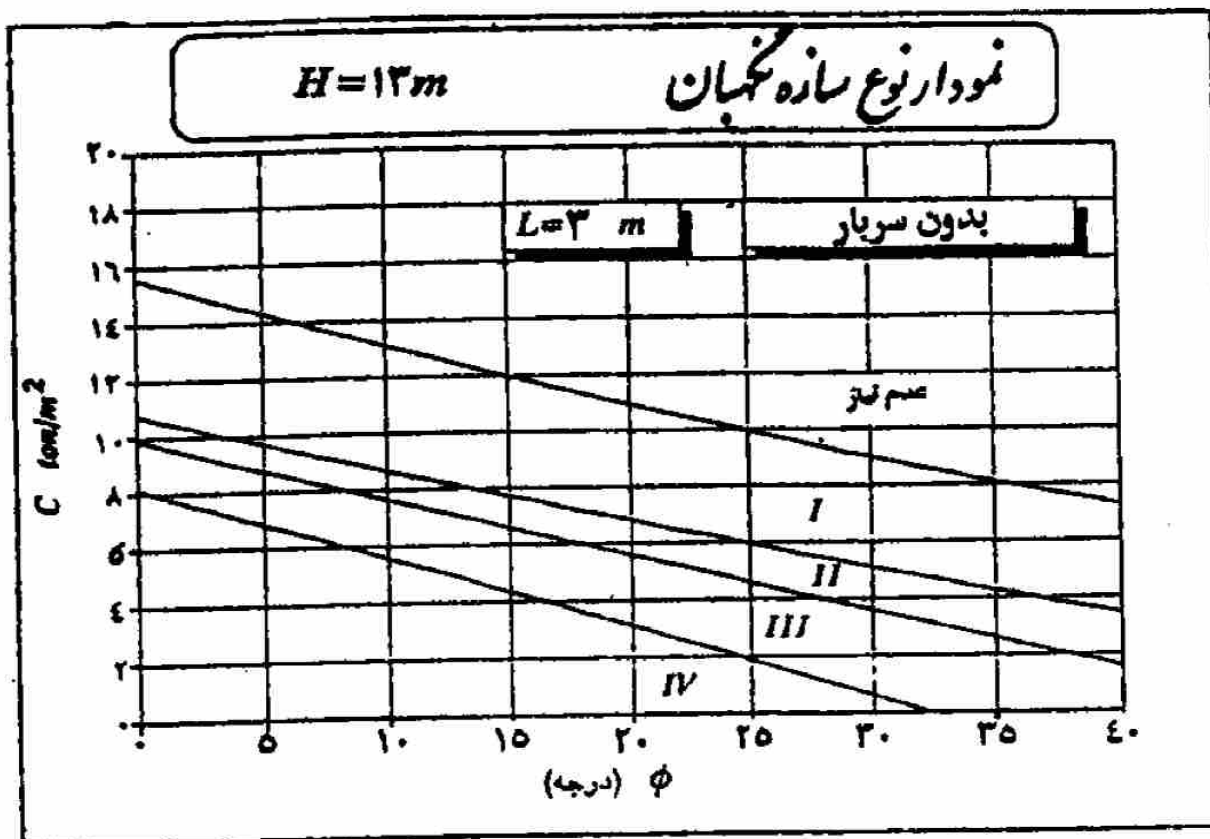


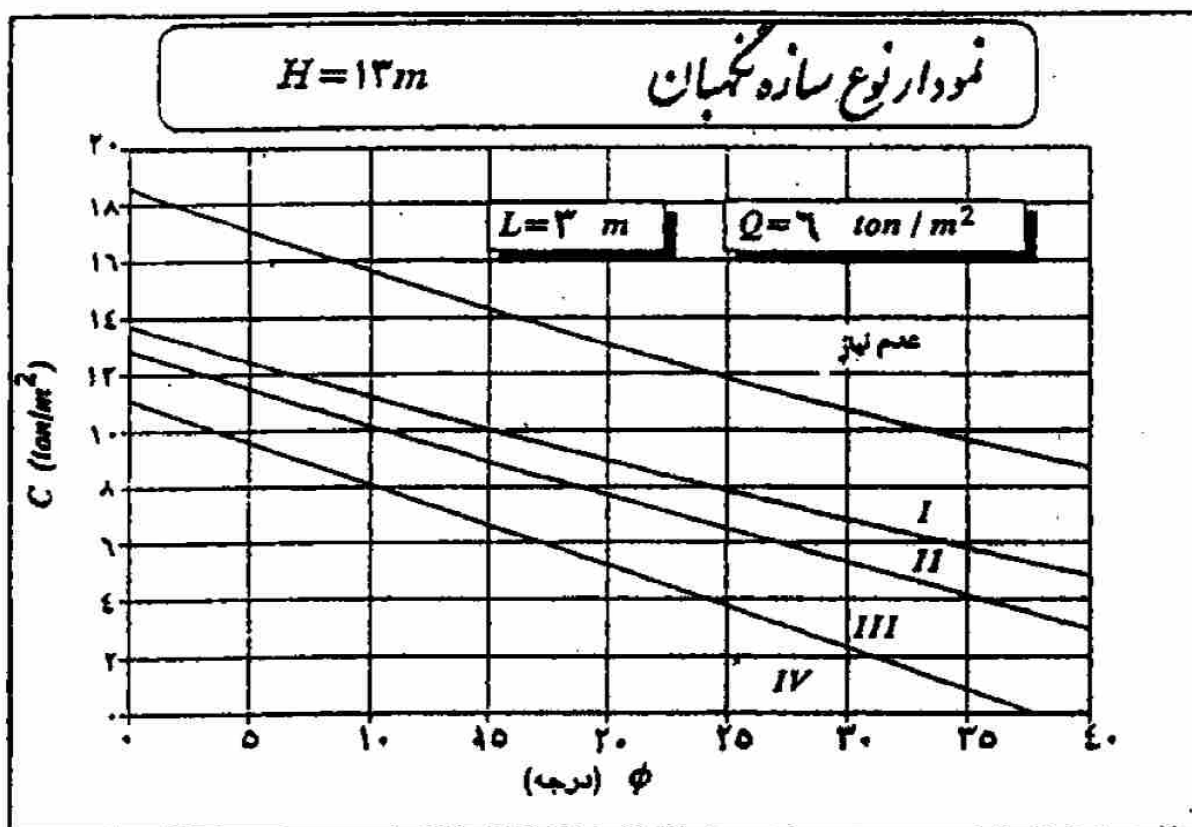
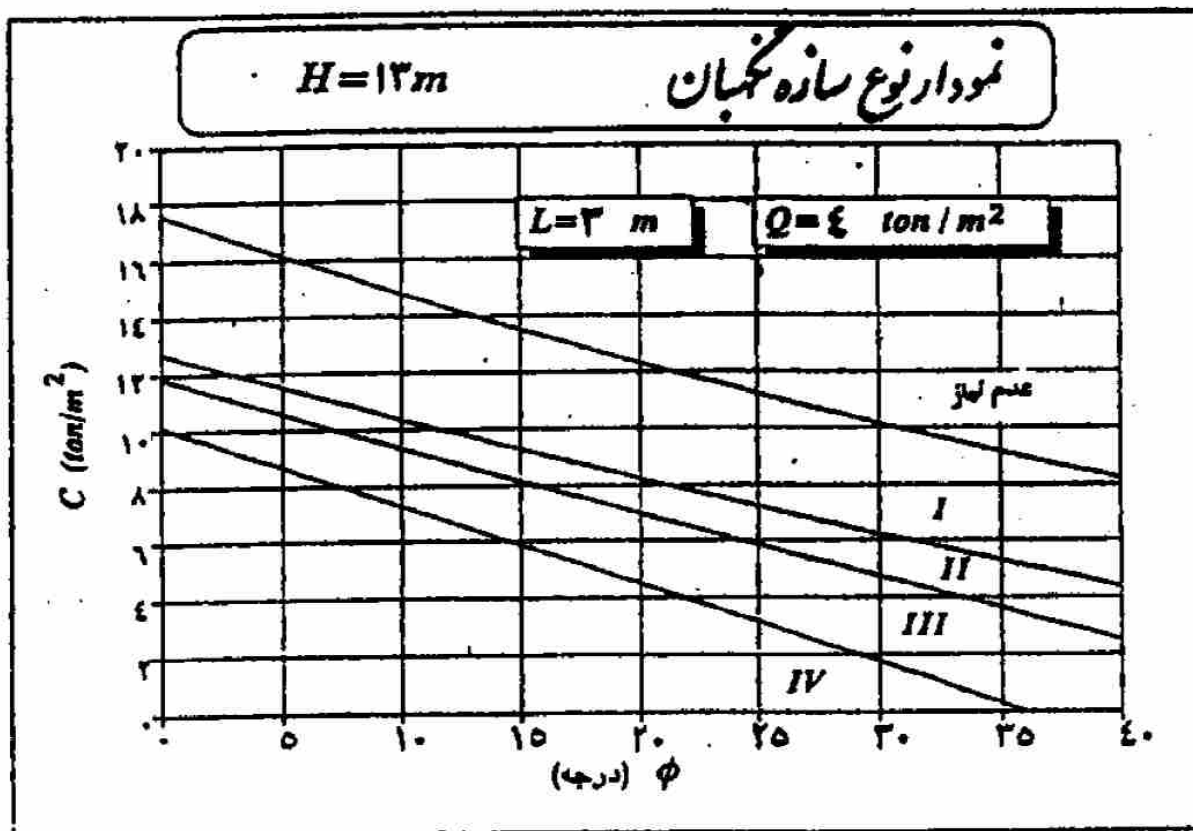


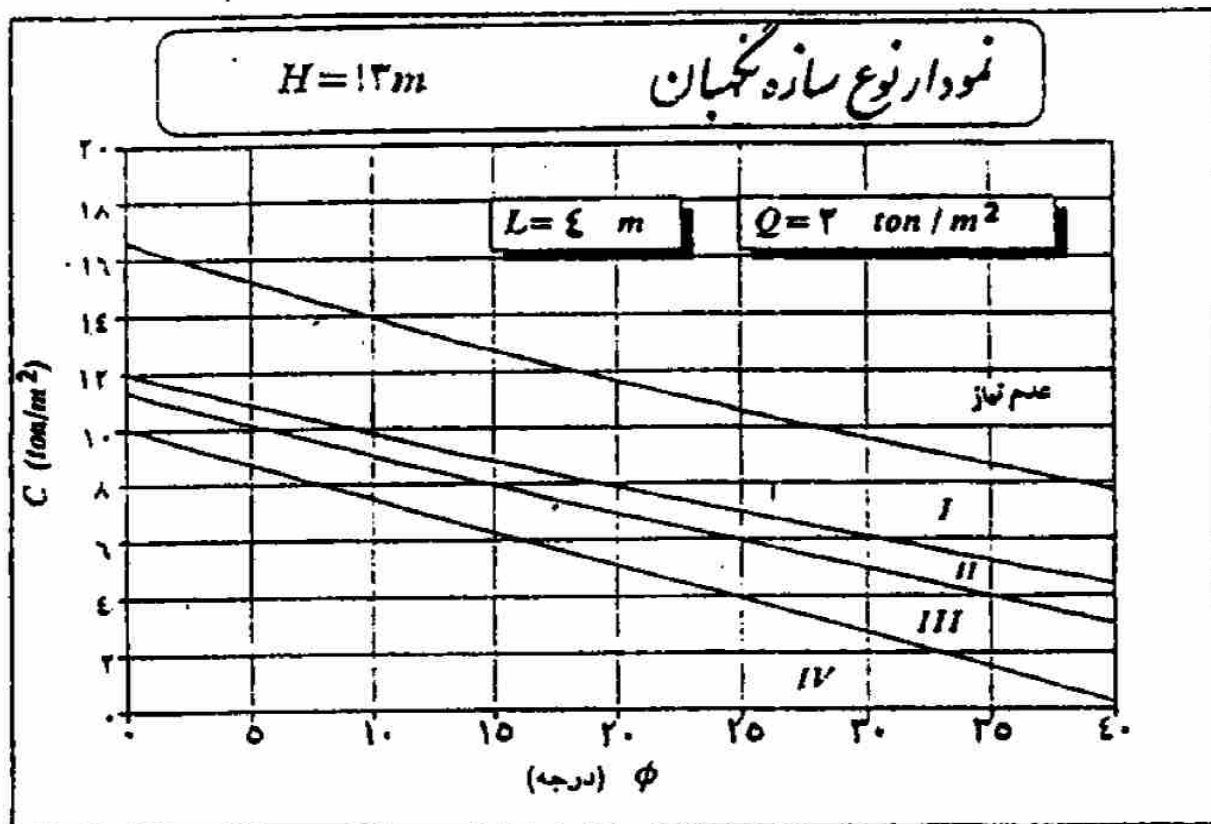
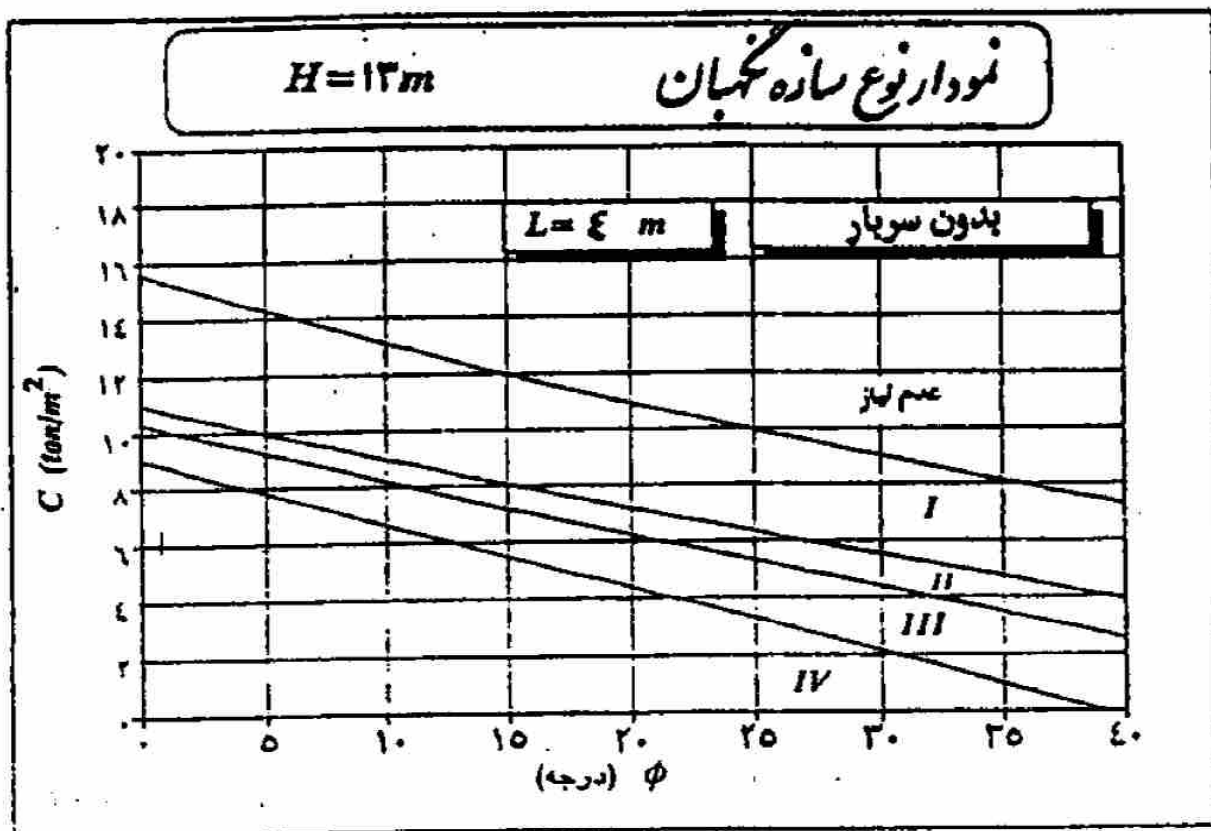


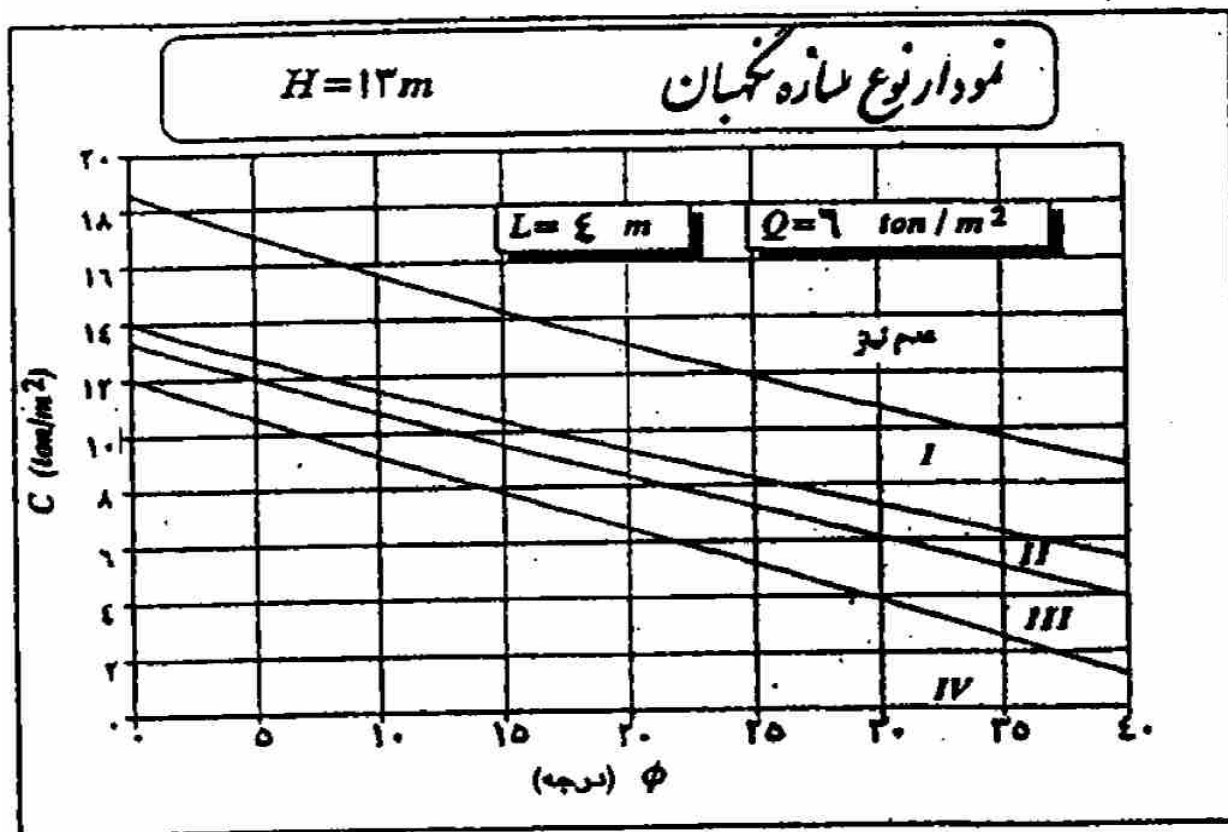
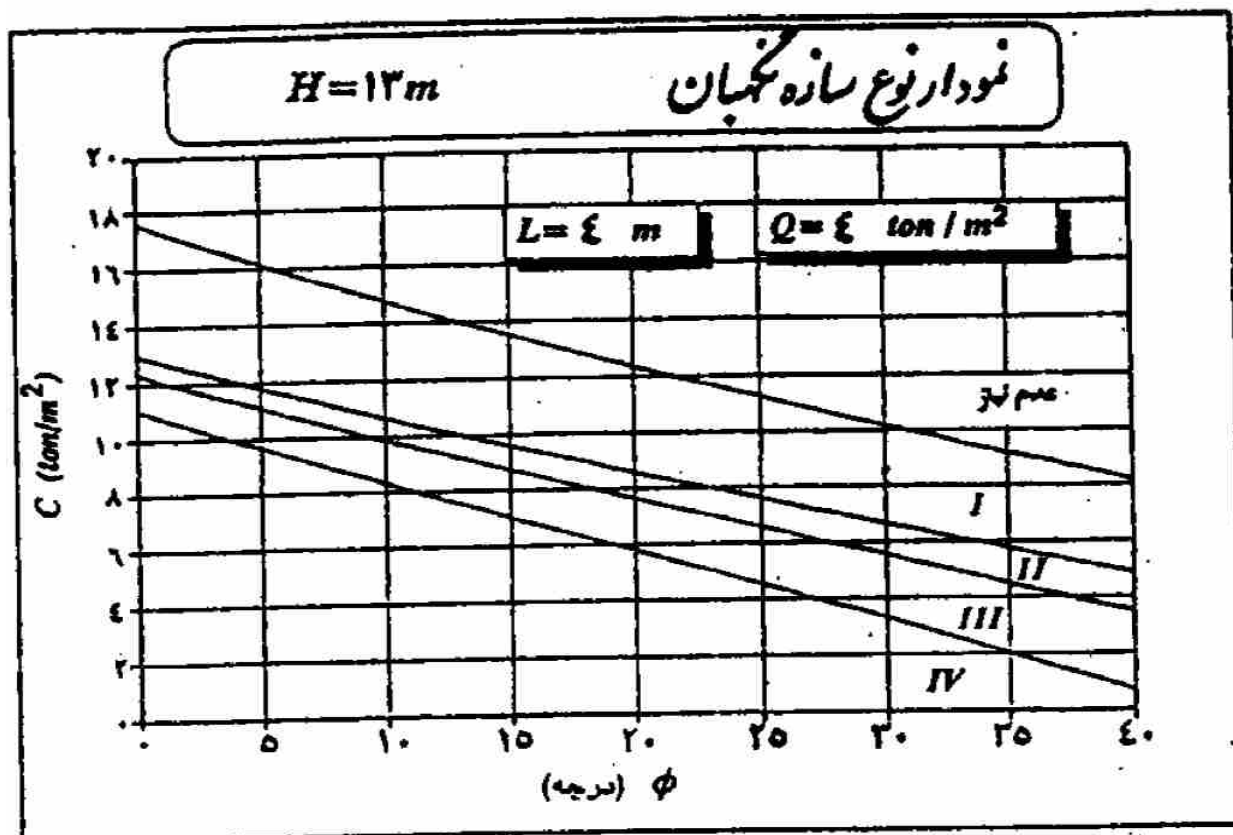


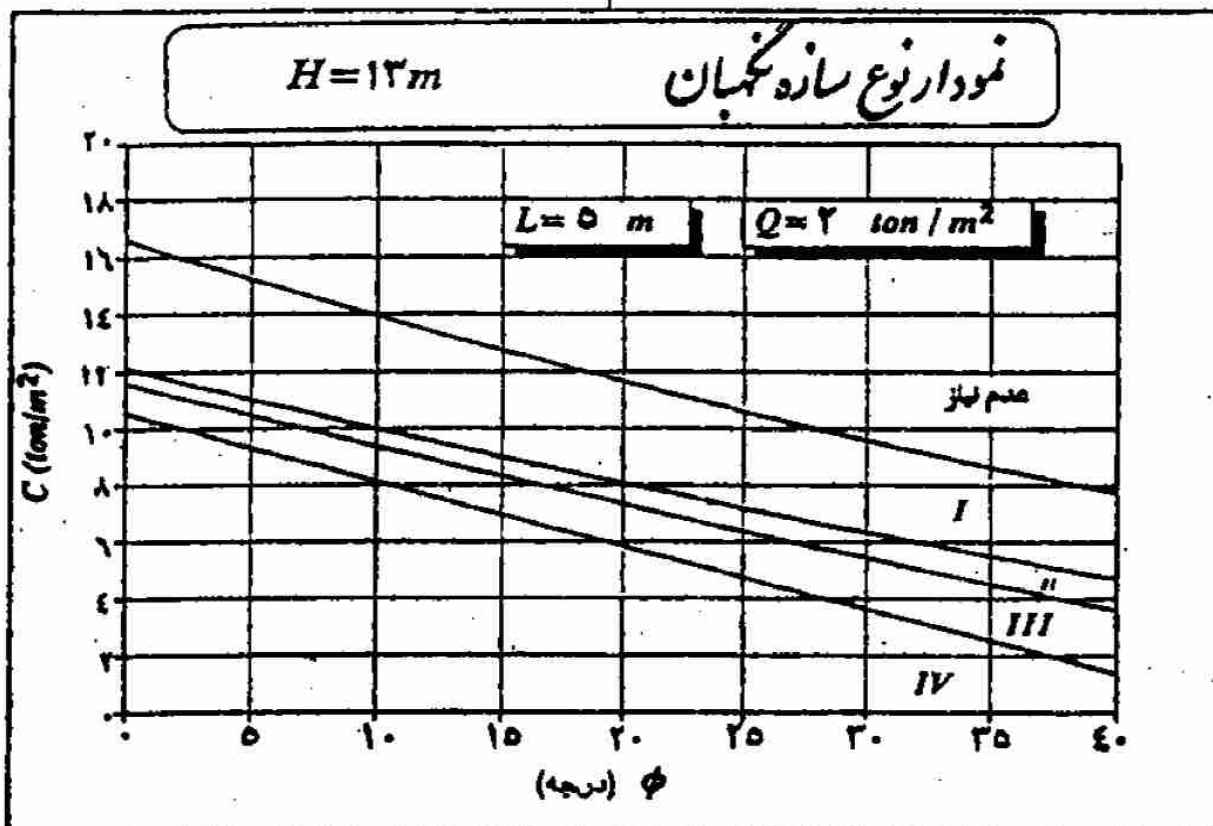
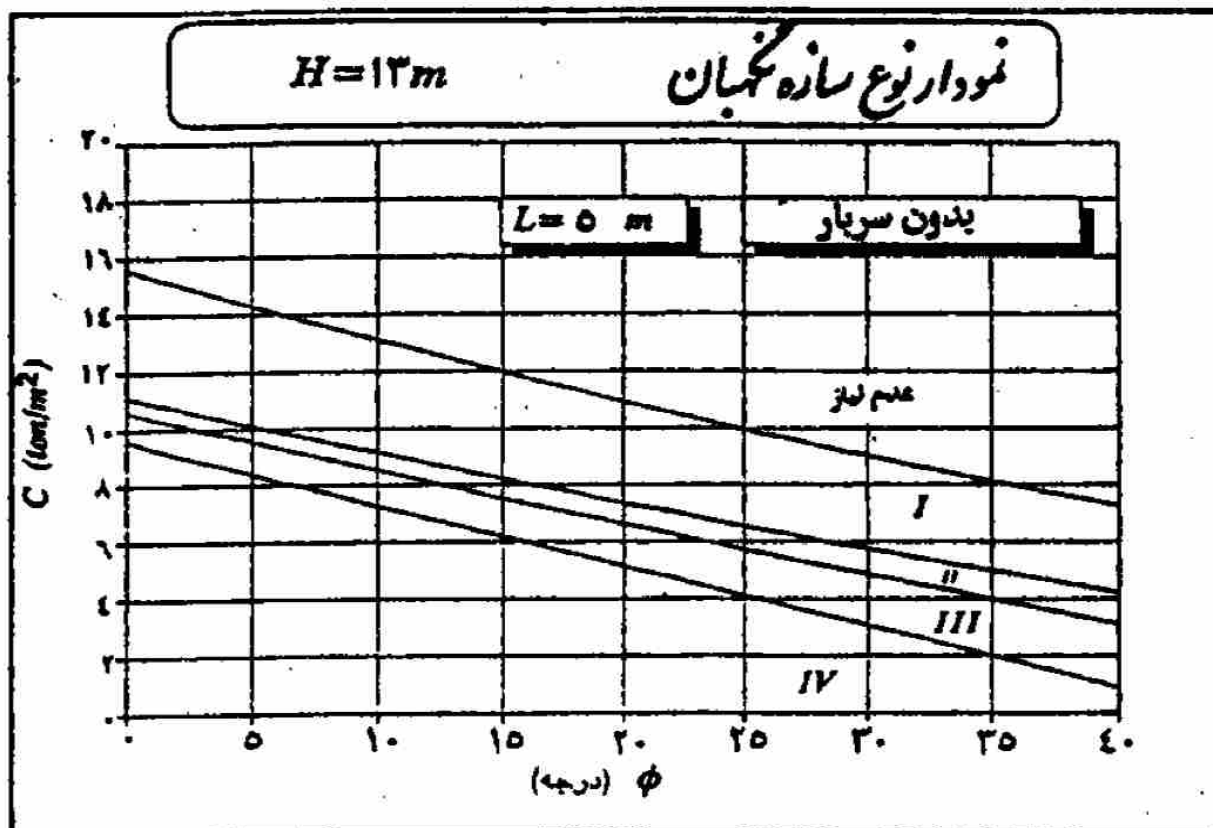


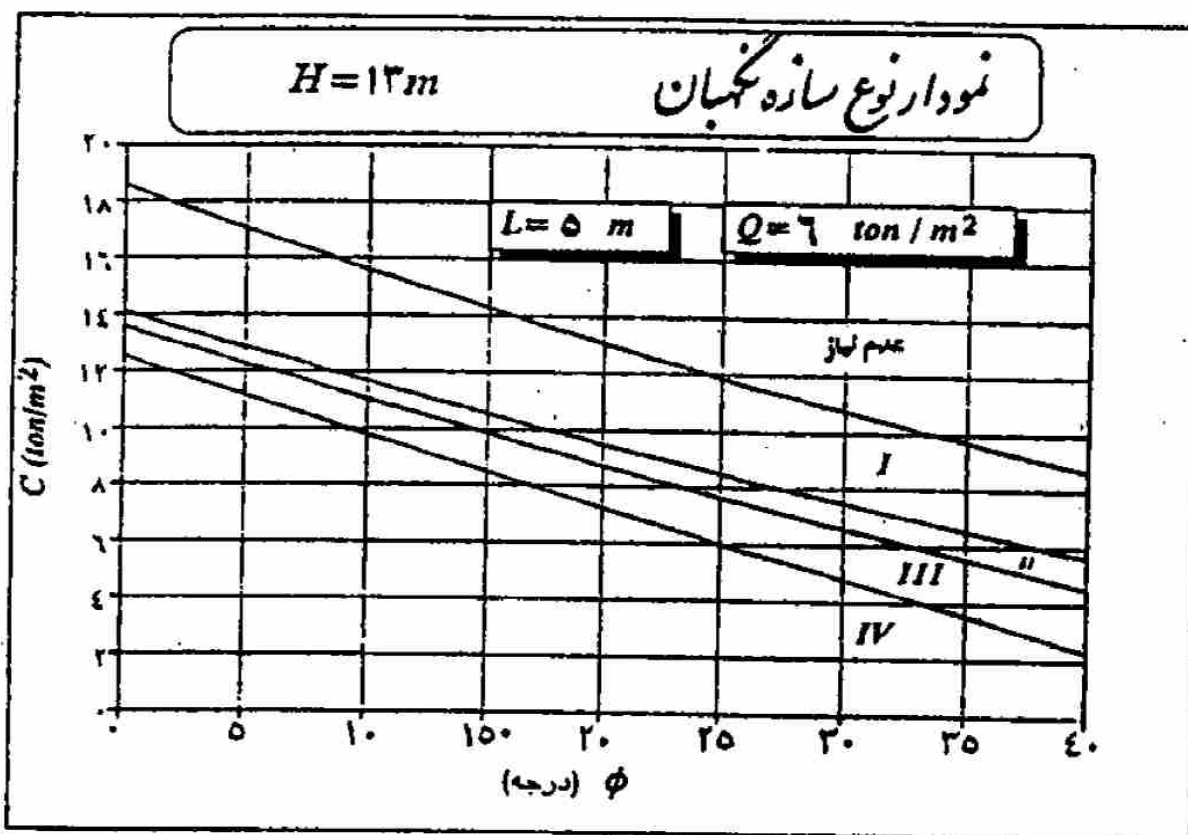
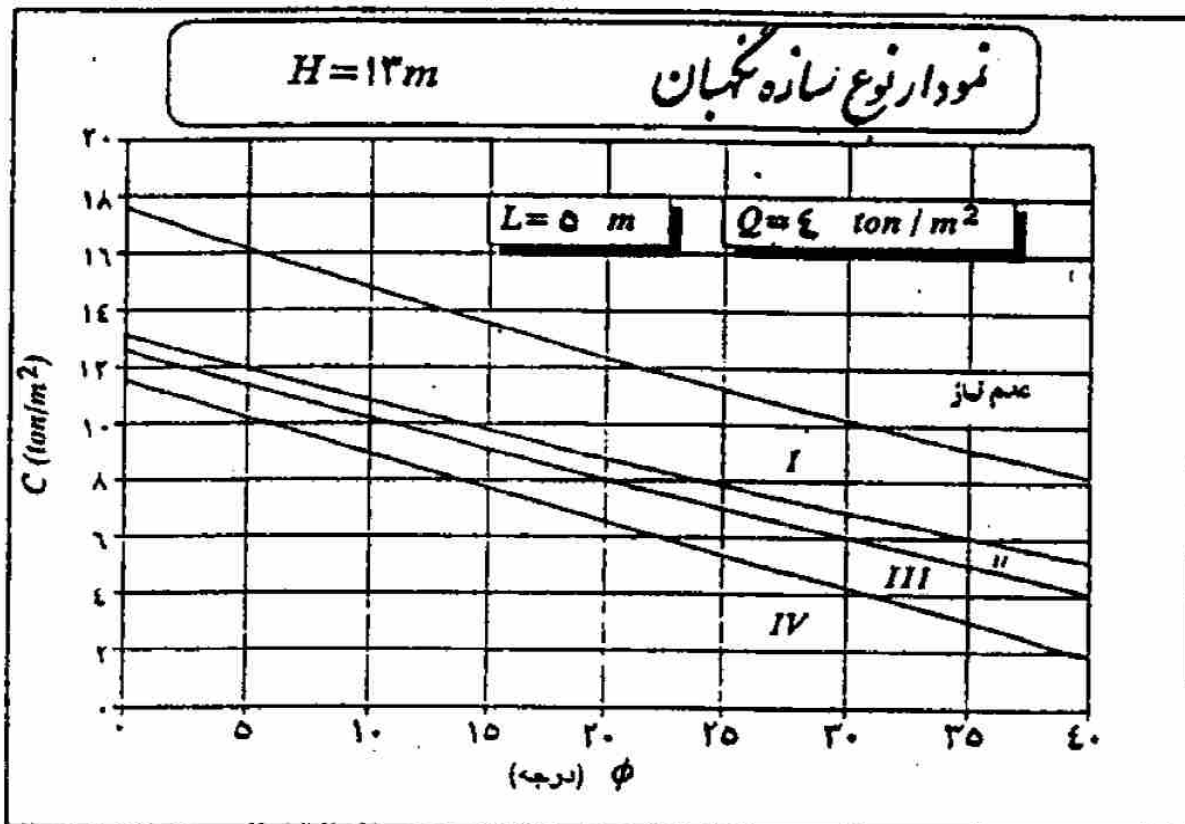


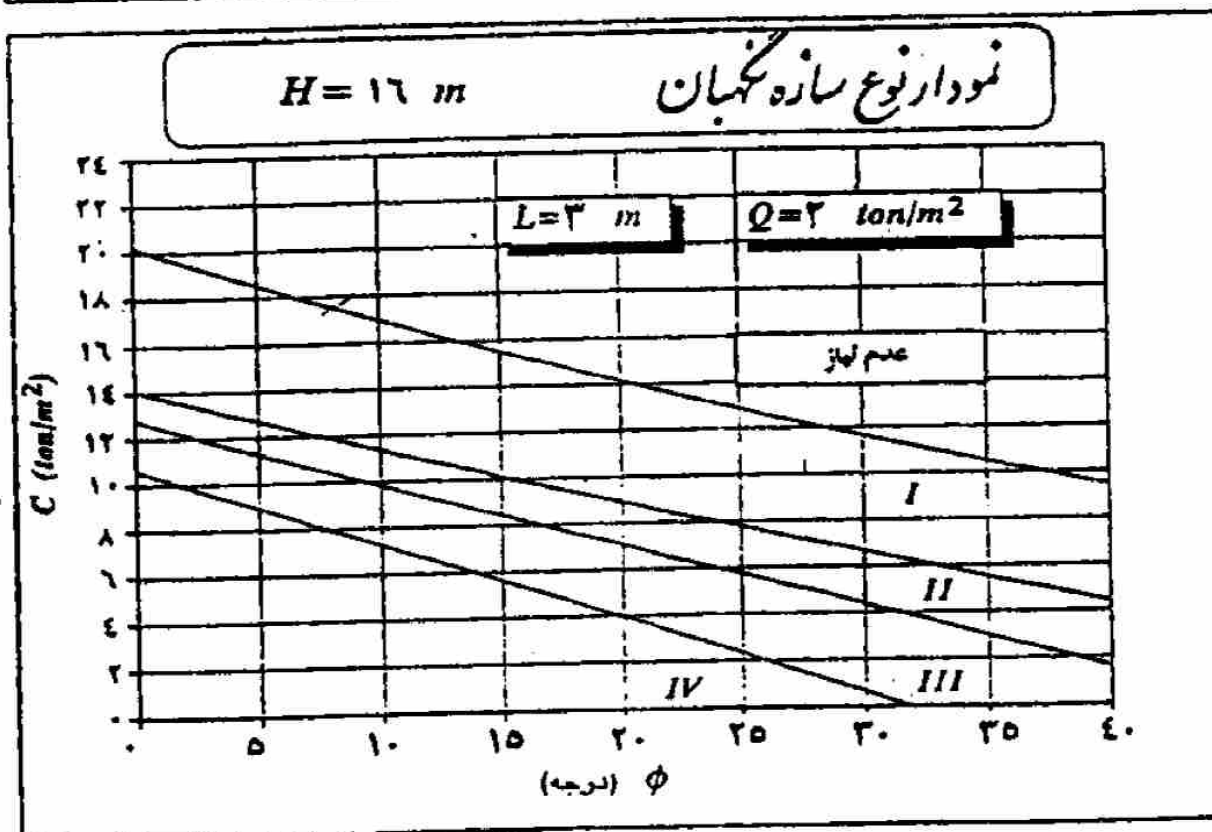
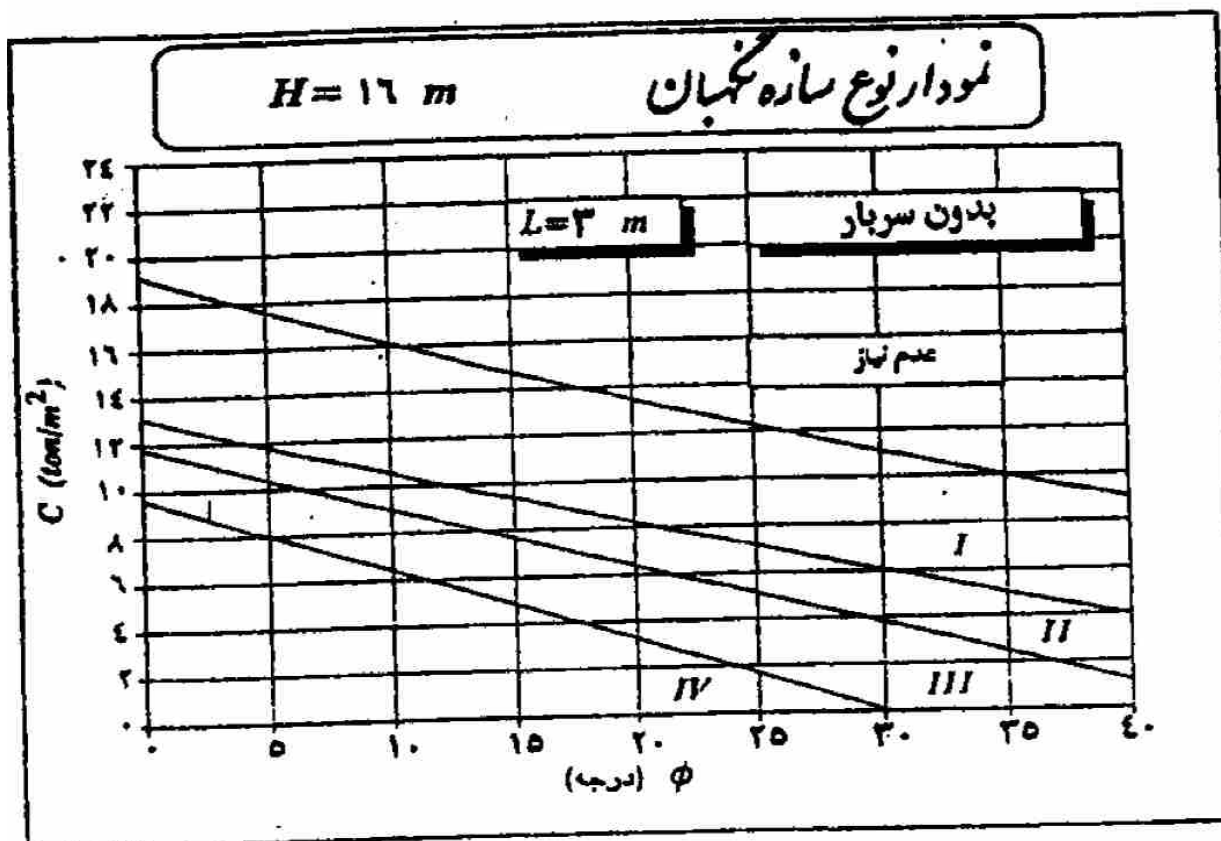


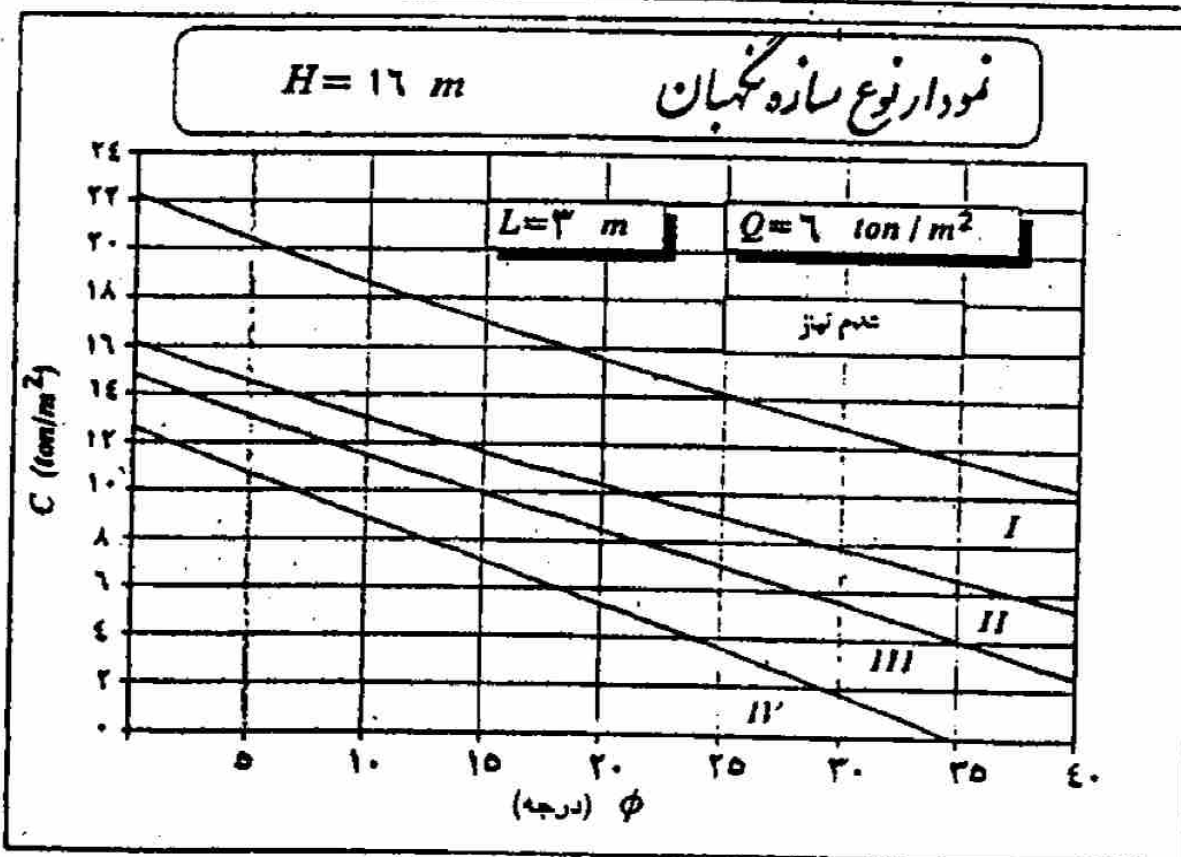
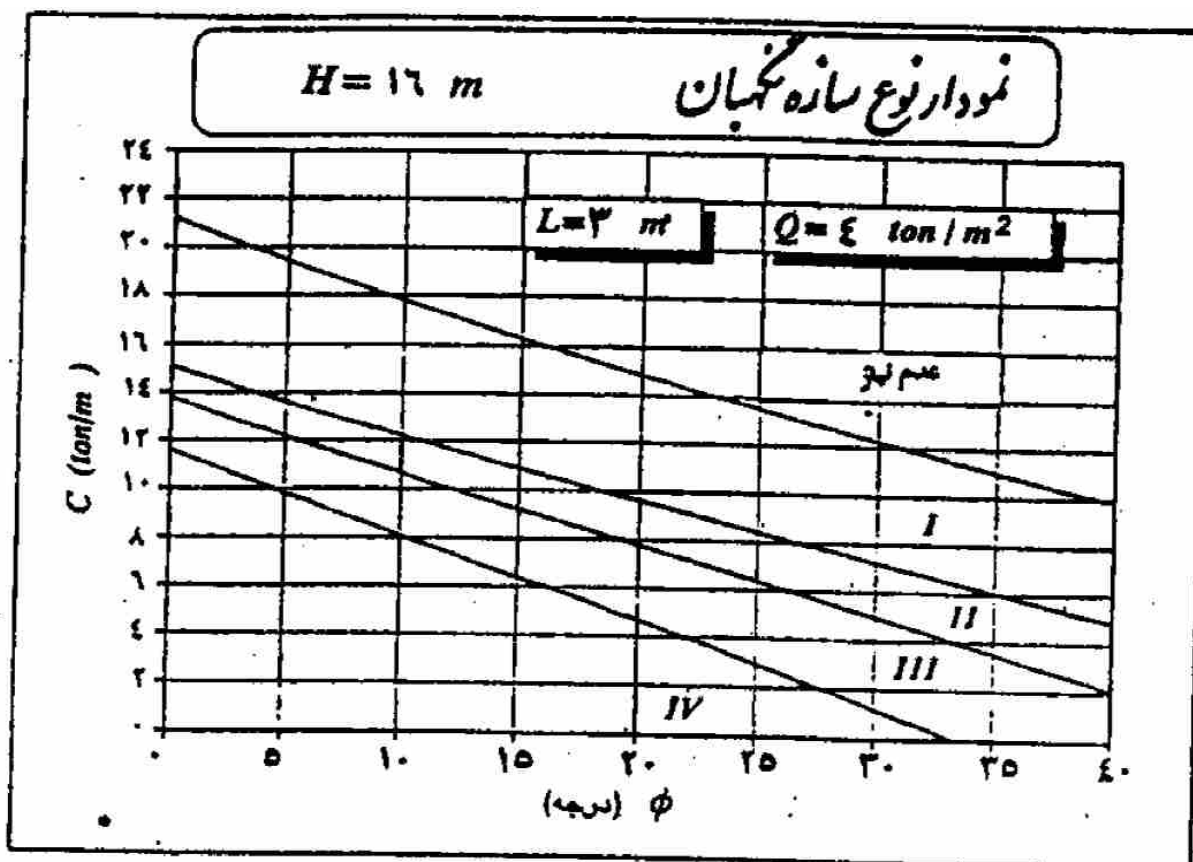


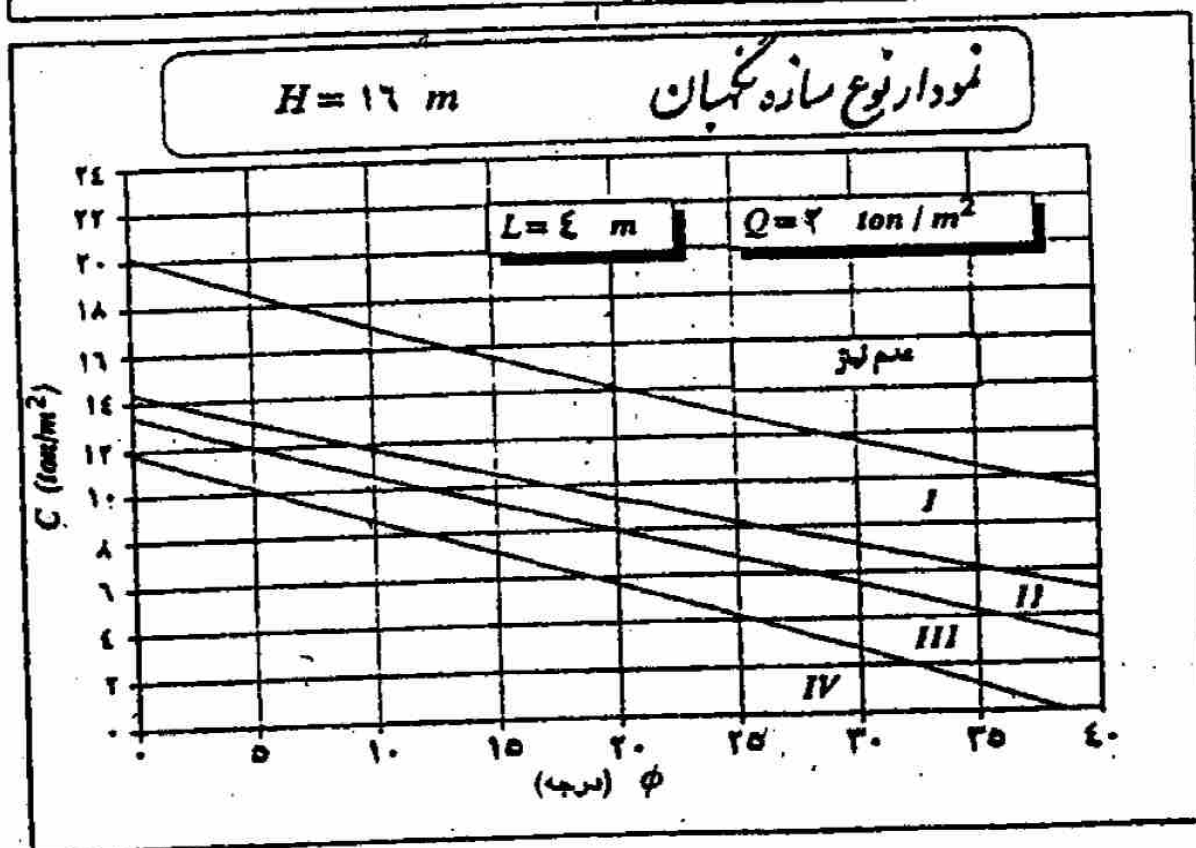
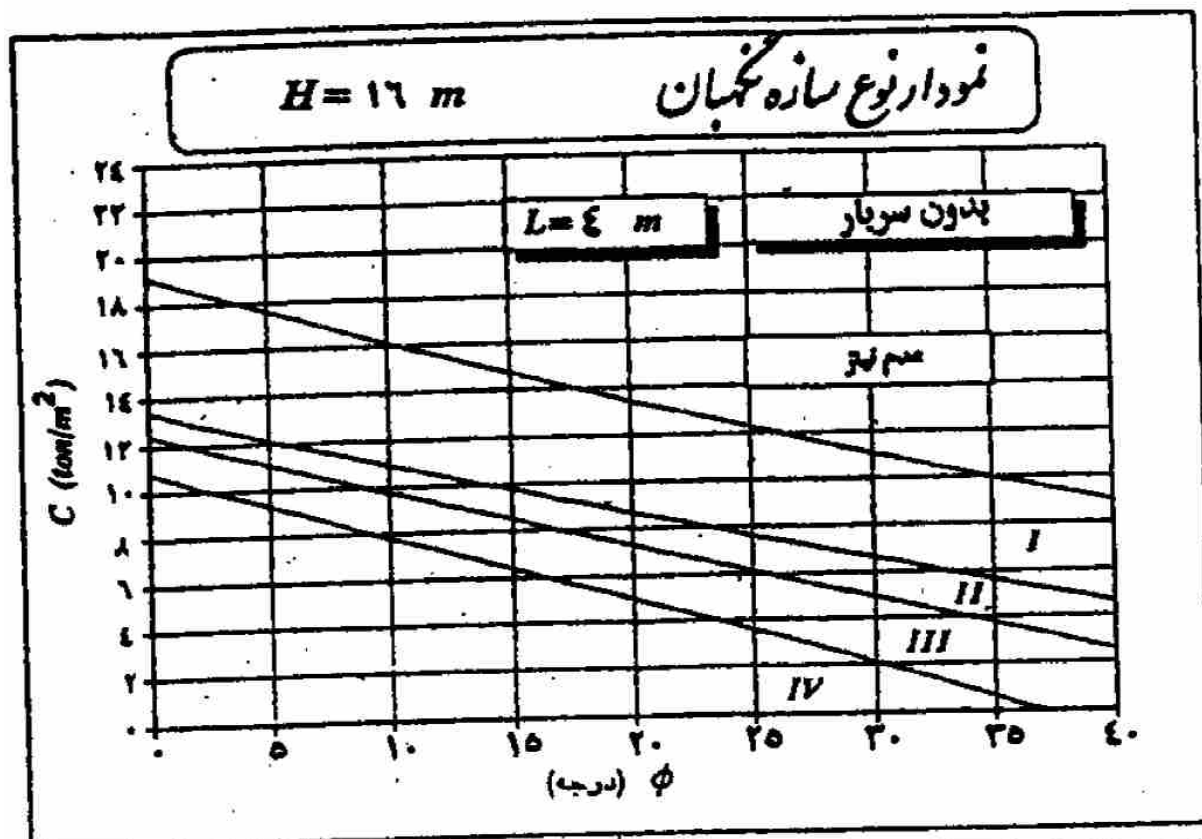


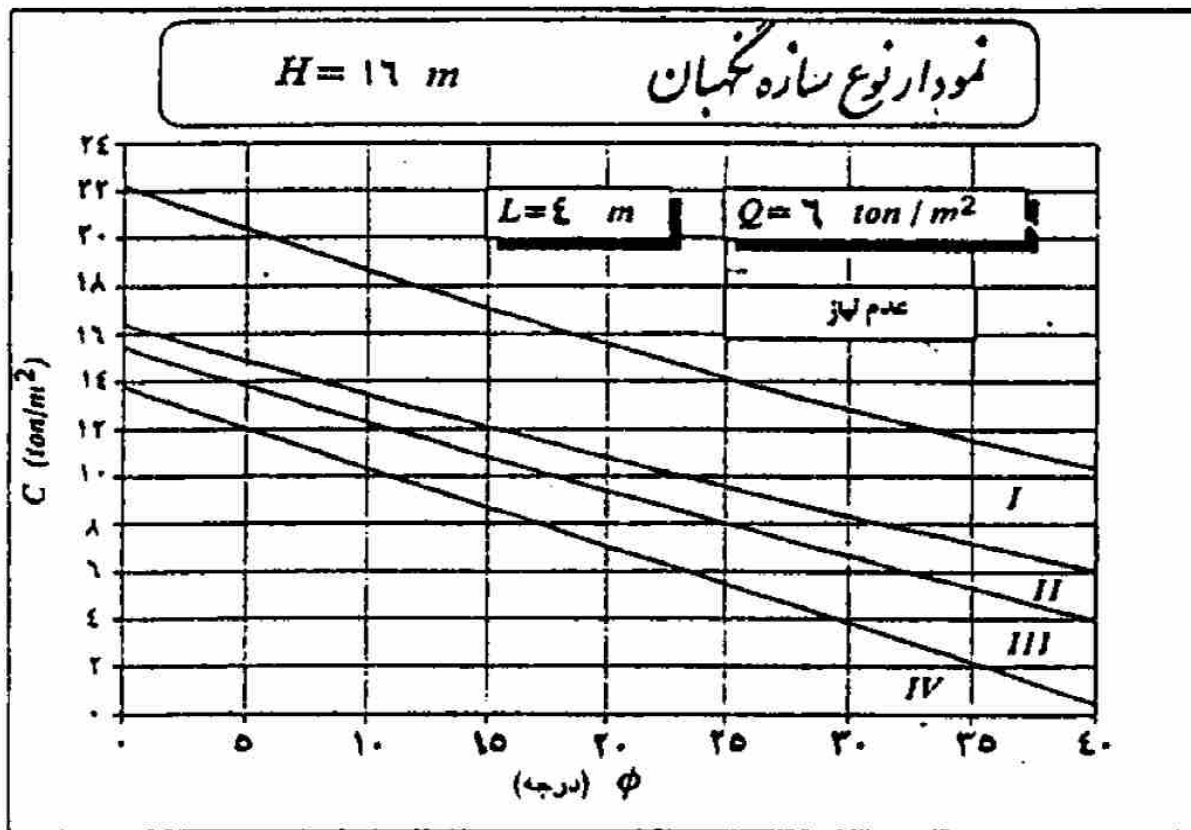
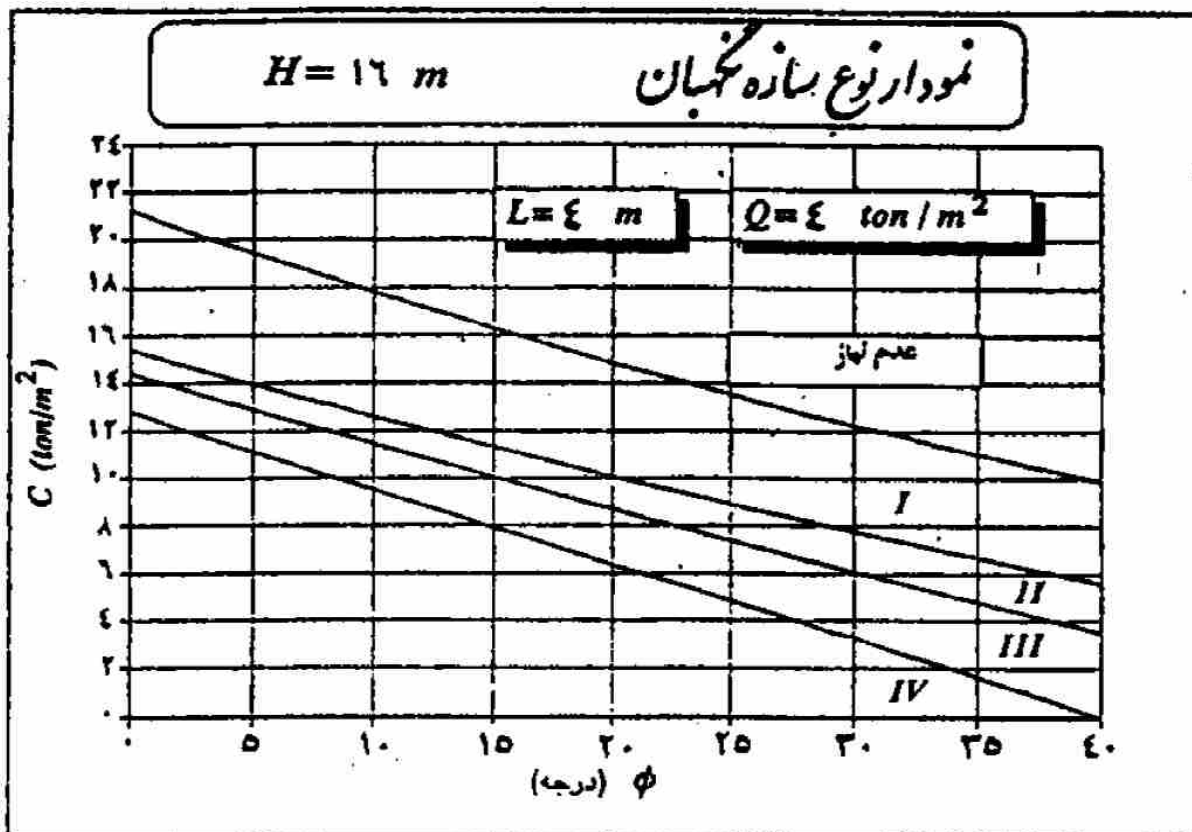


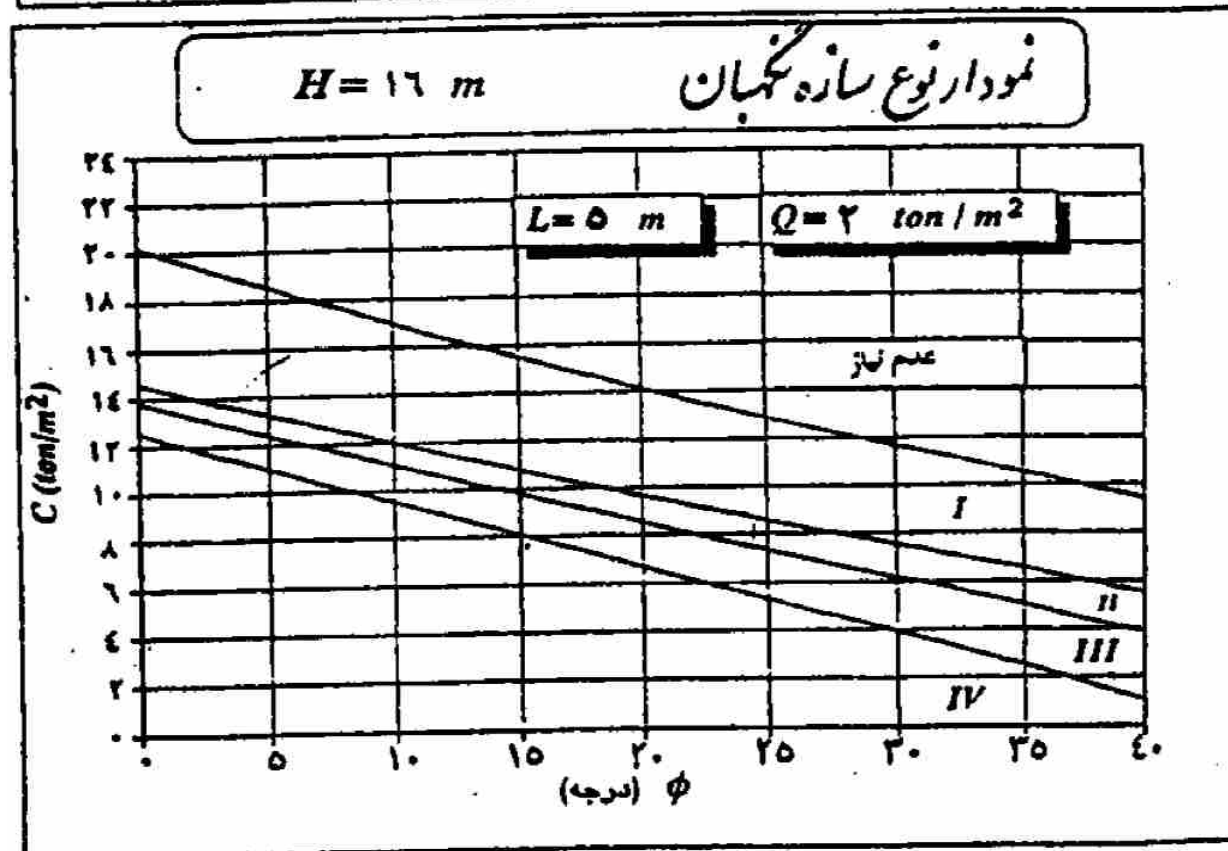
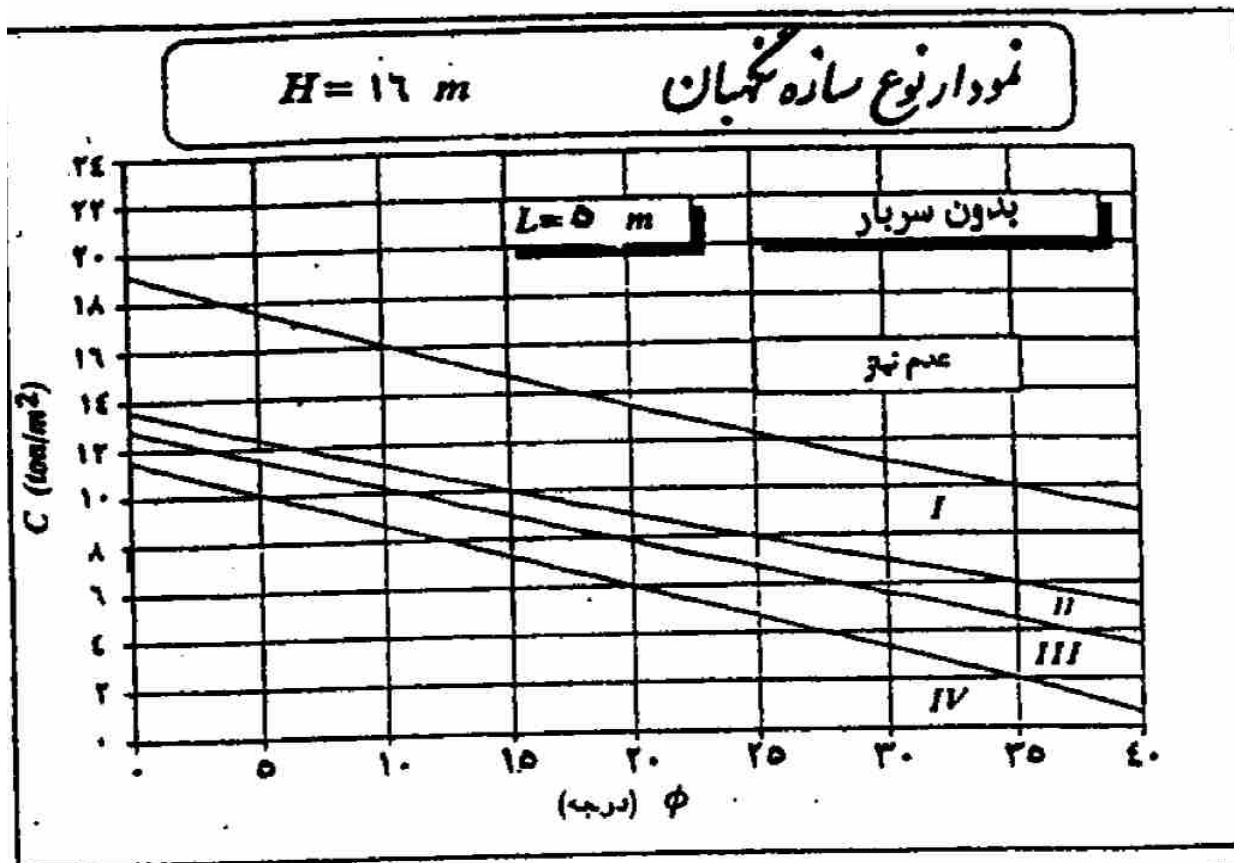


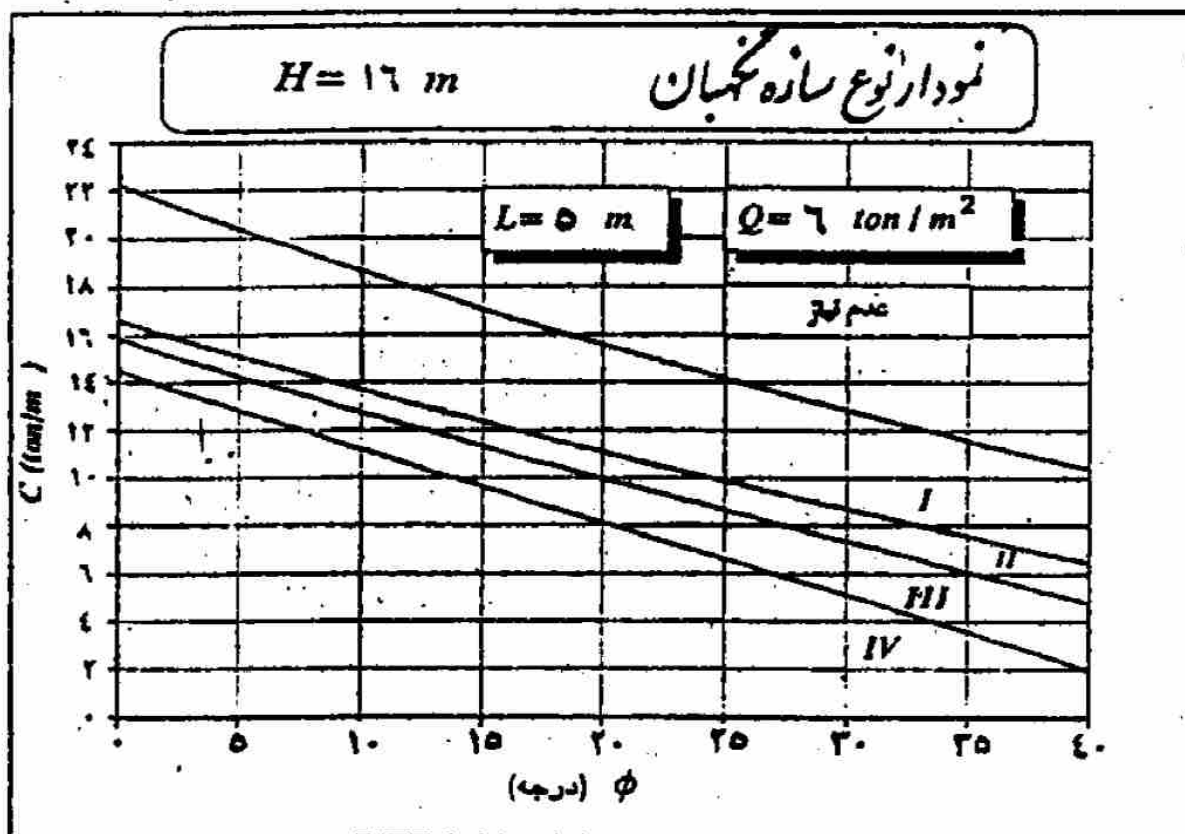
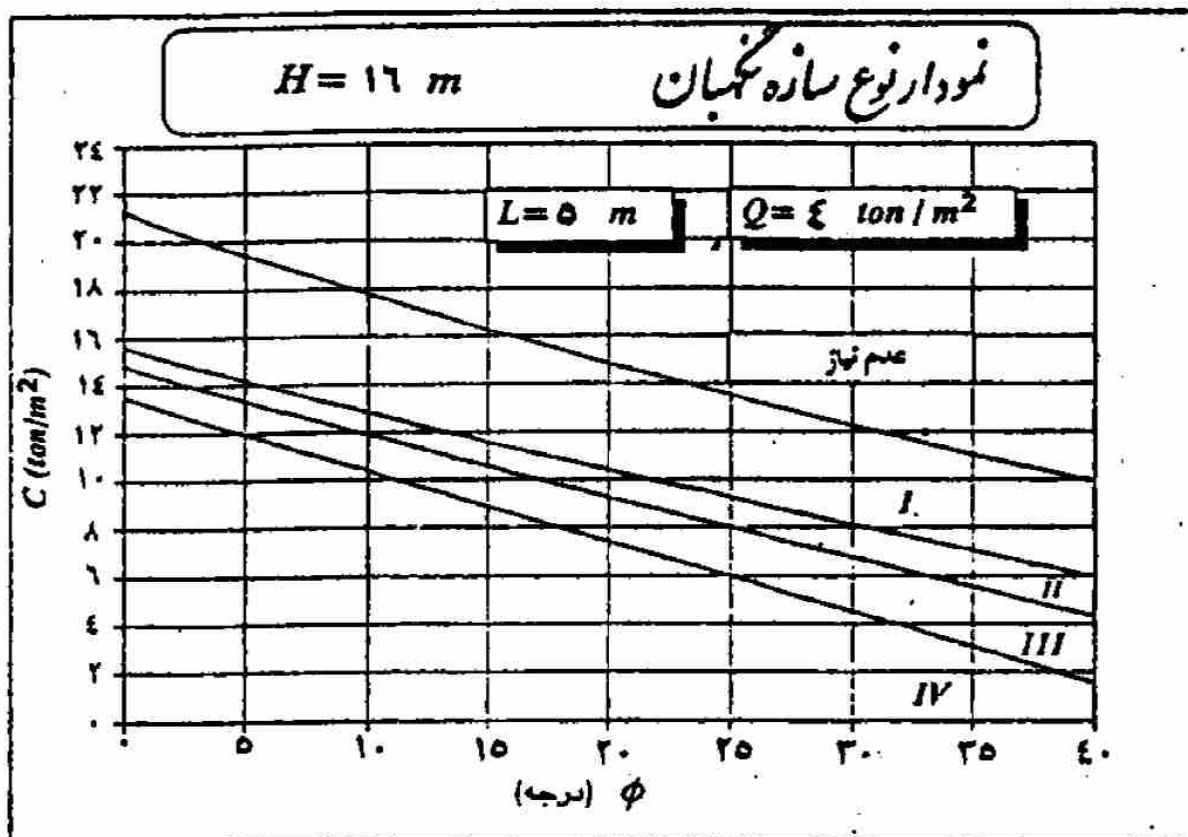




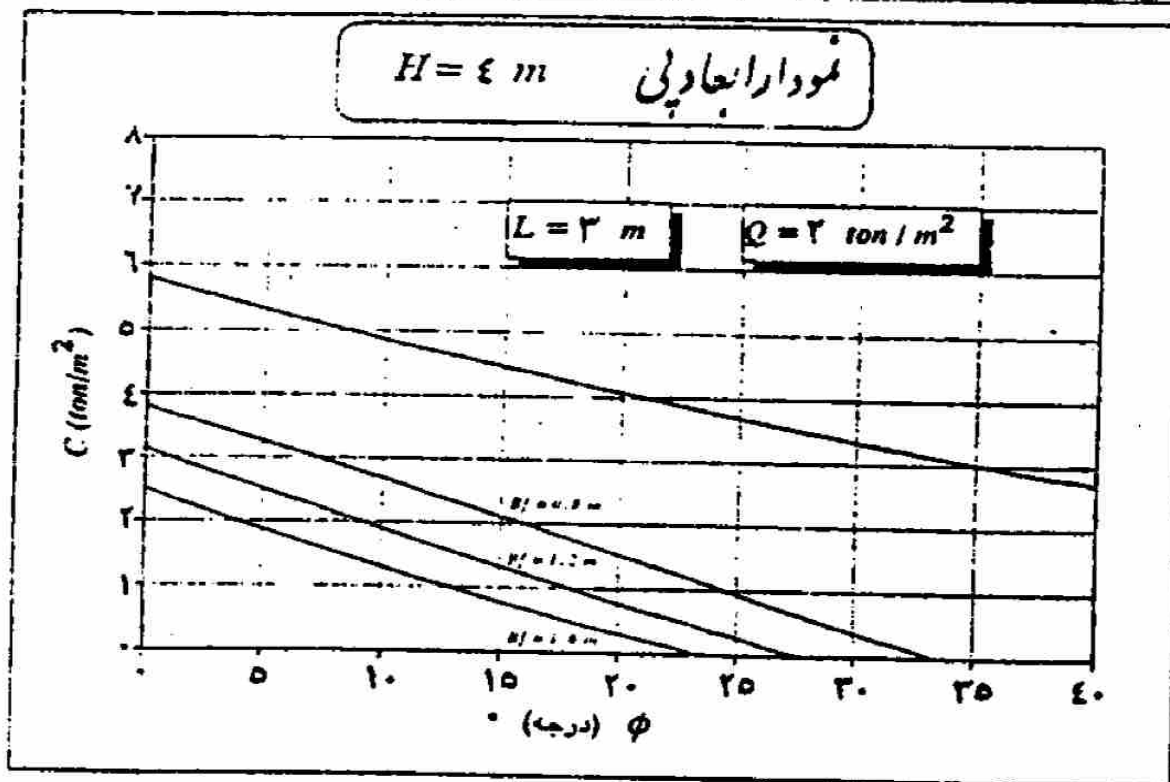
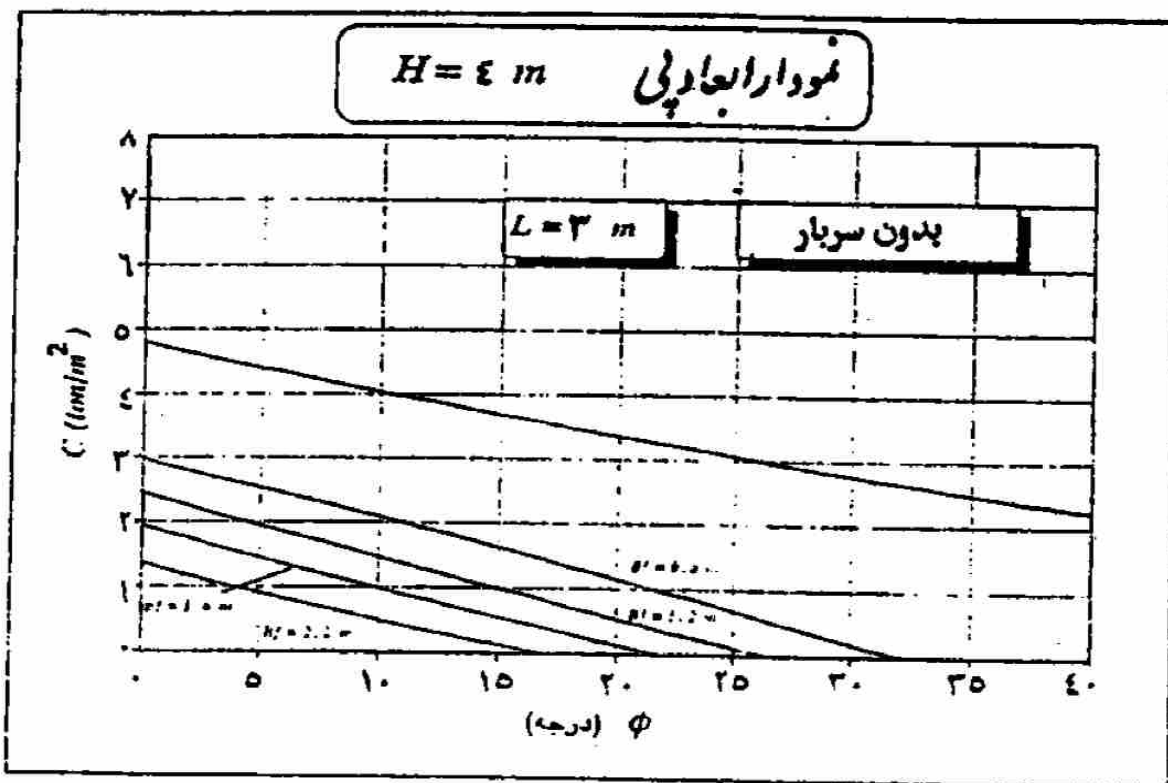


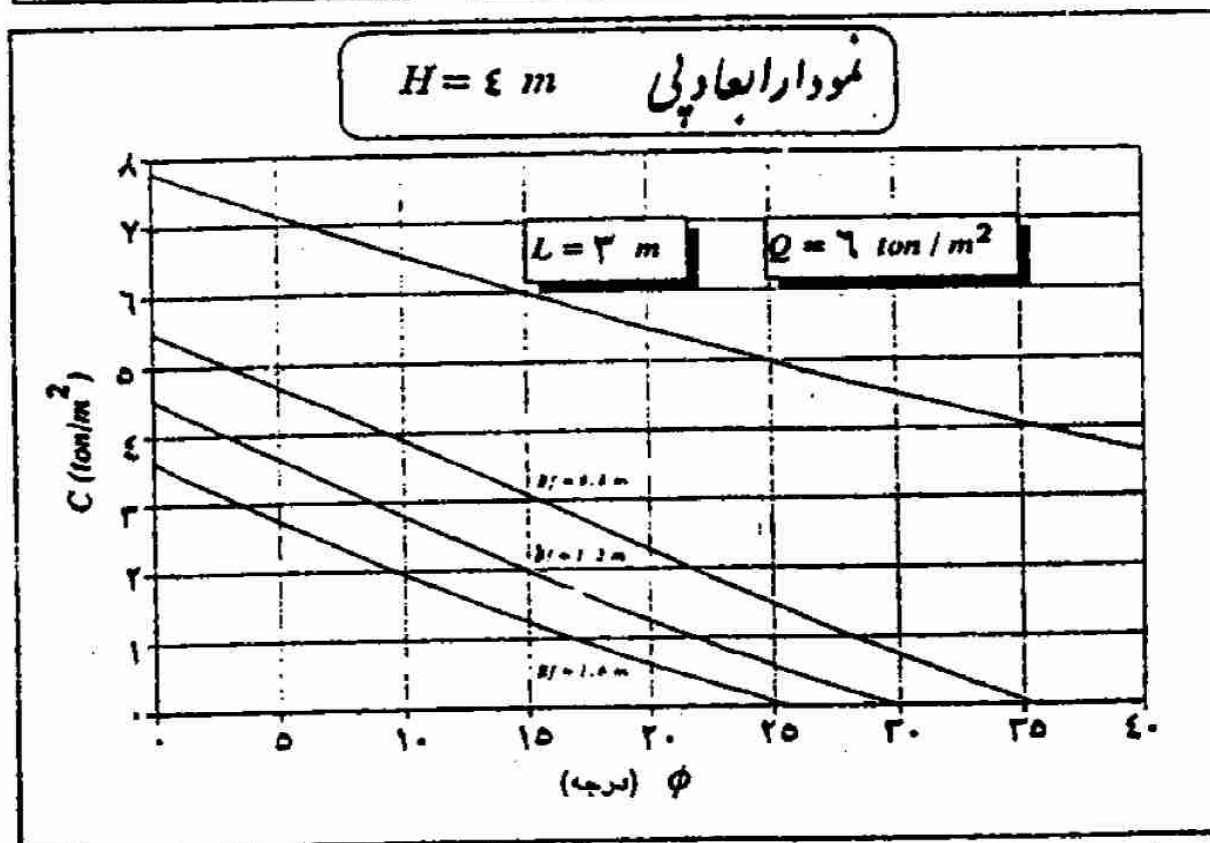
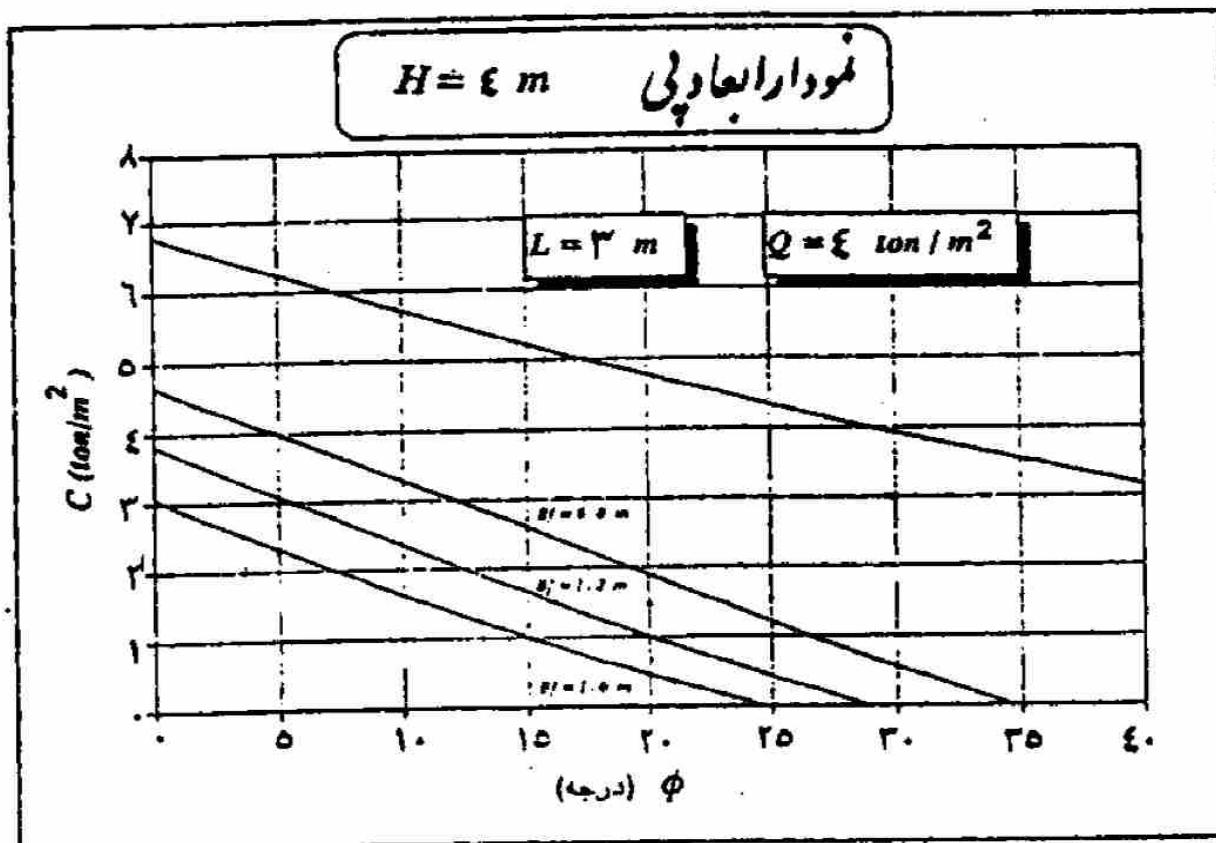


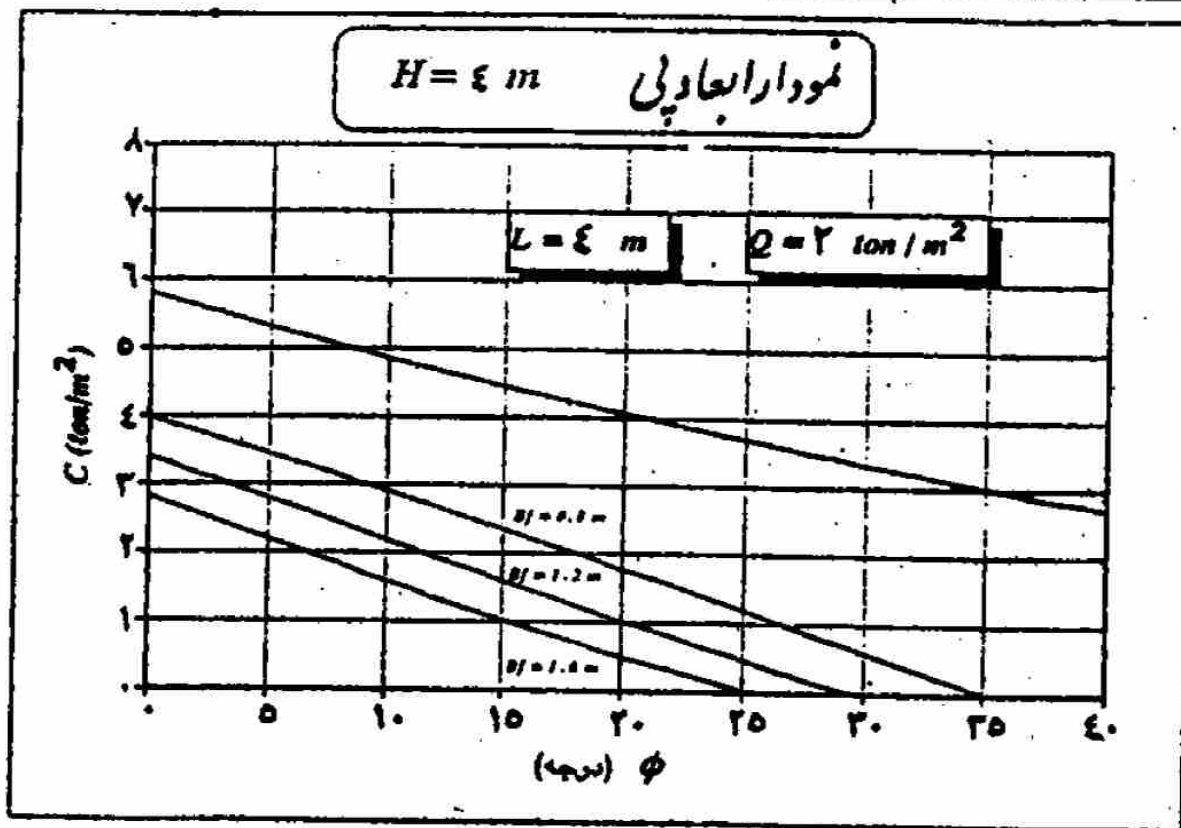
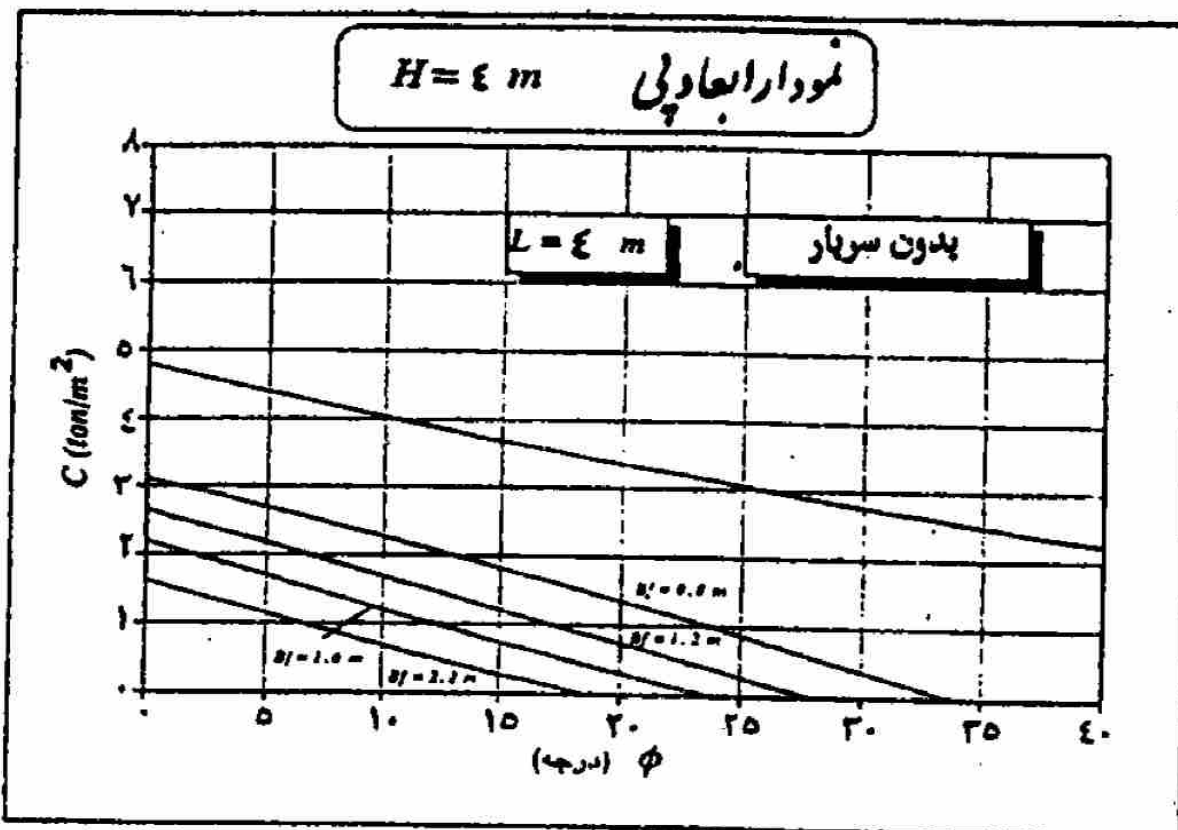


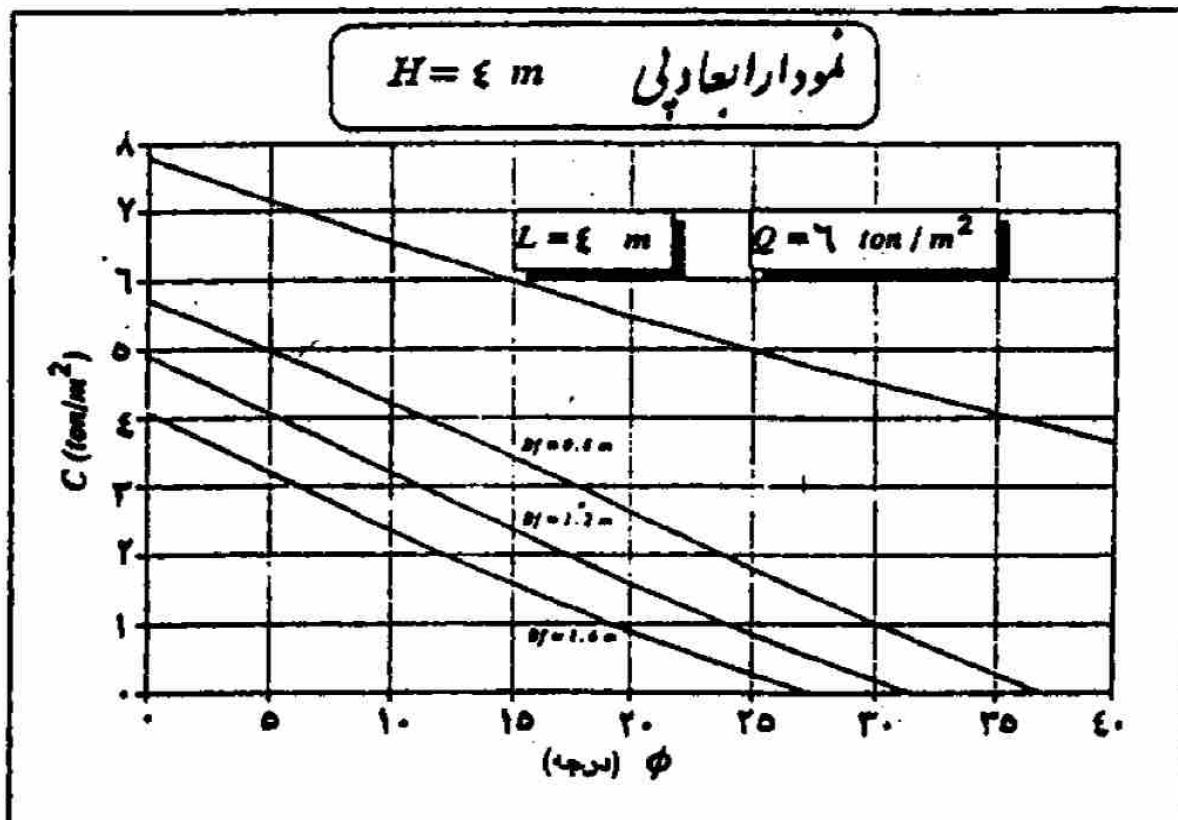
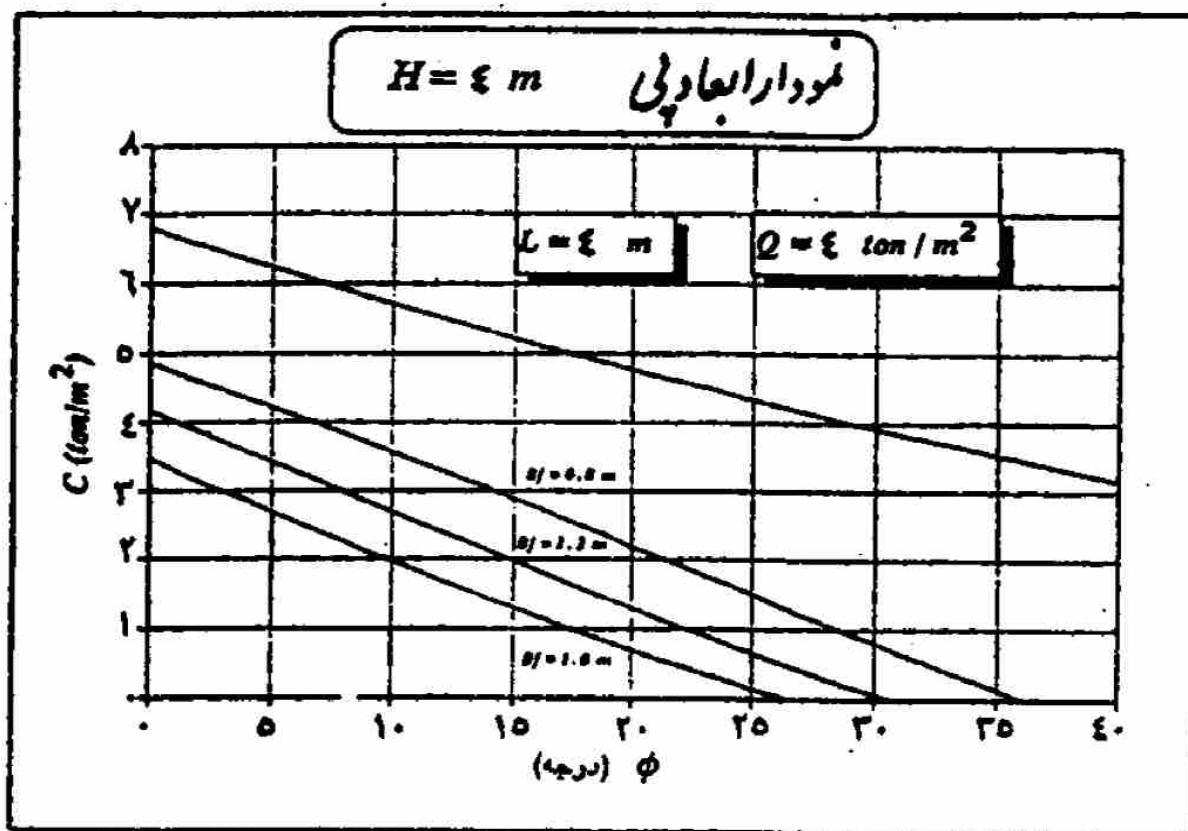


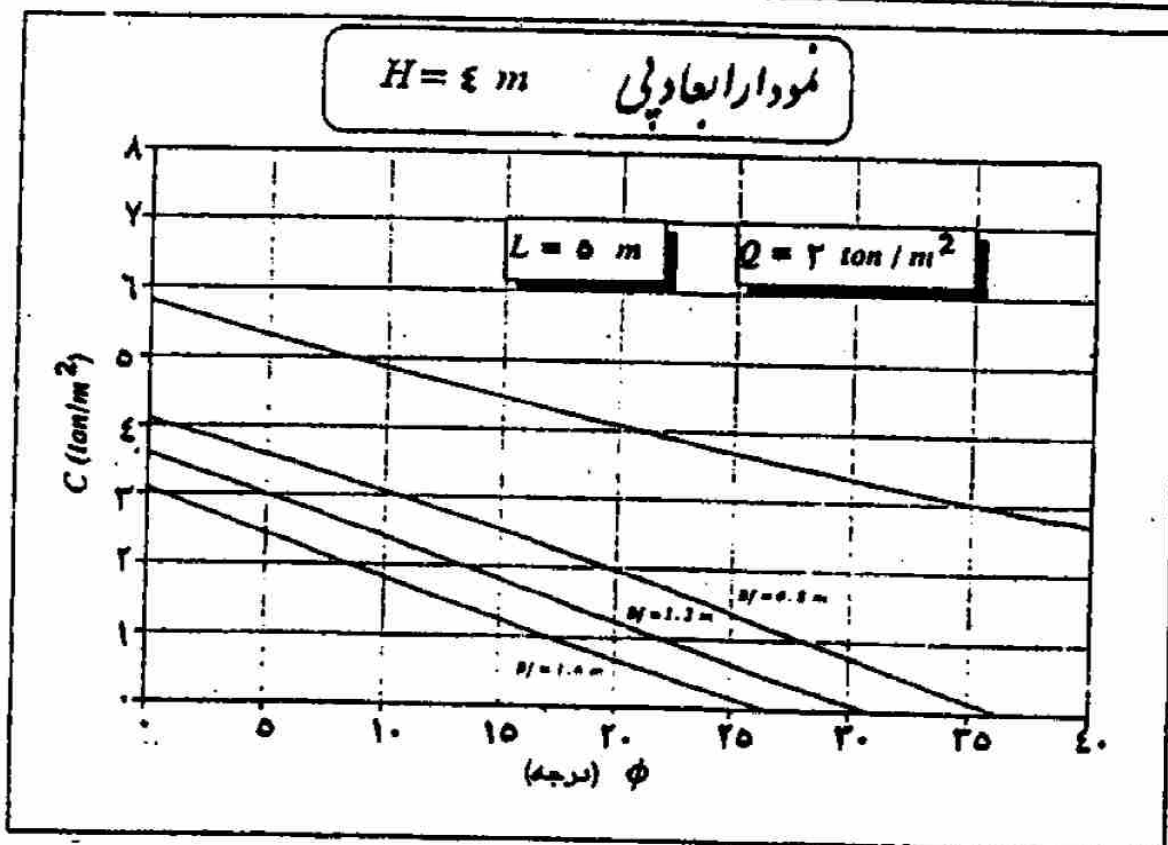
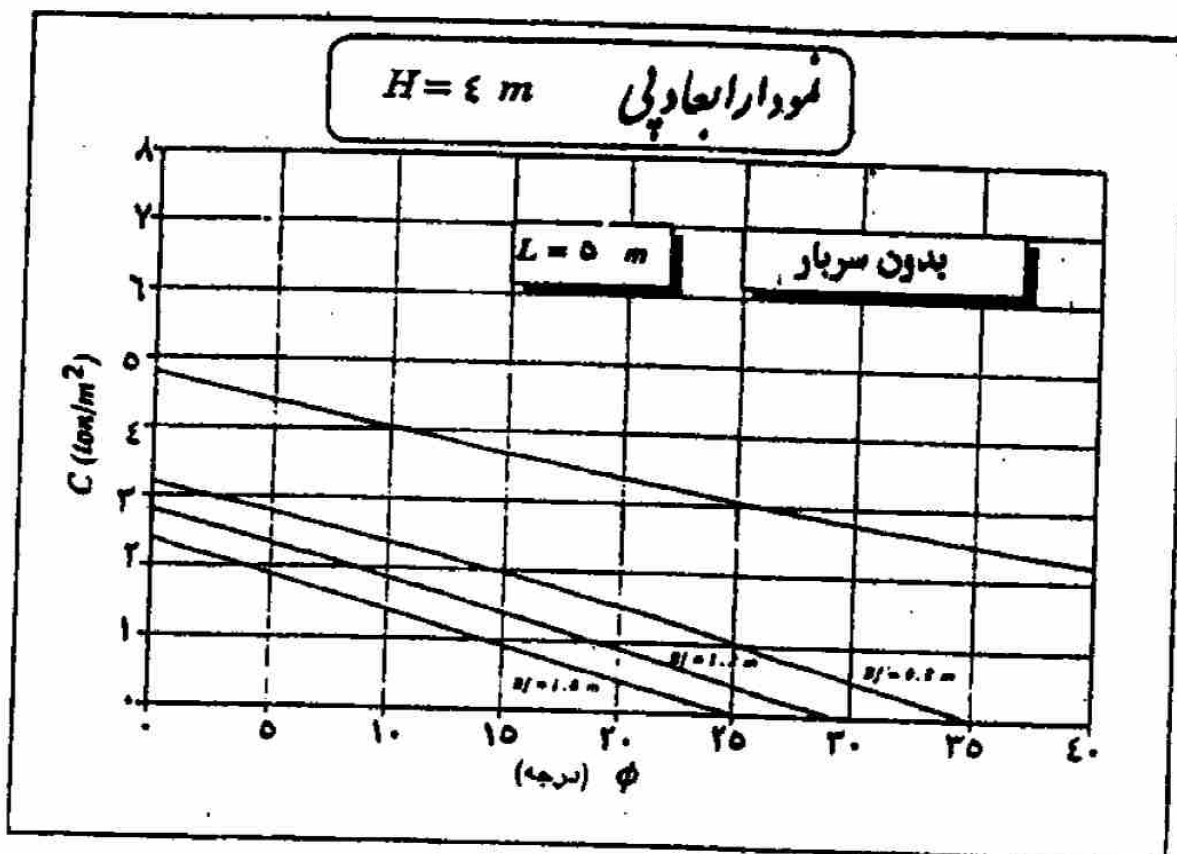
## پیوست ۲ - نمودارهای تعیین ابعاد پی در پلان

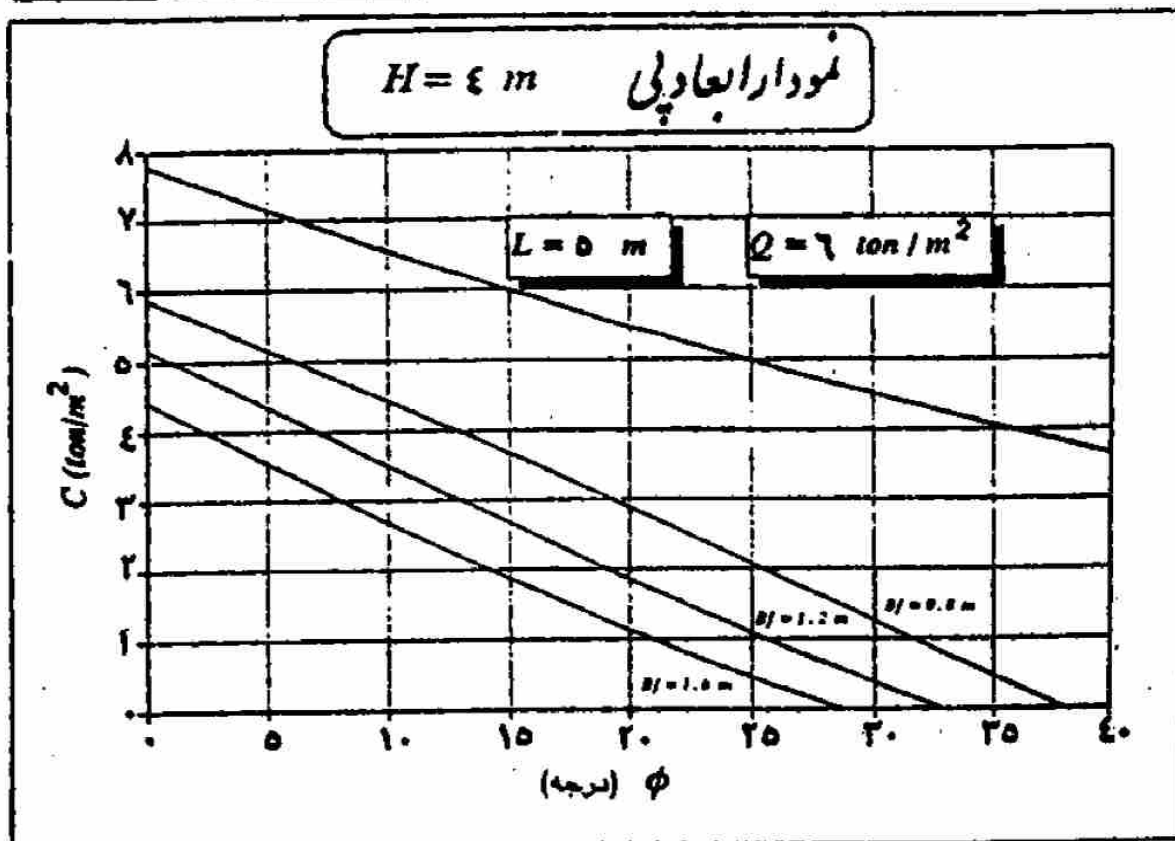
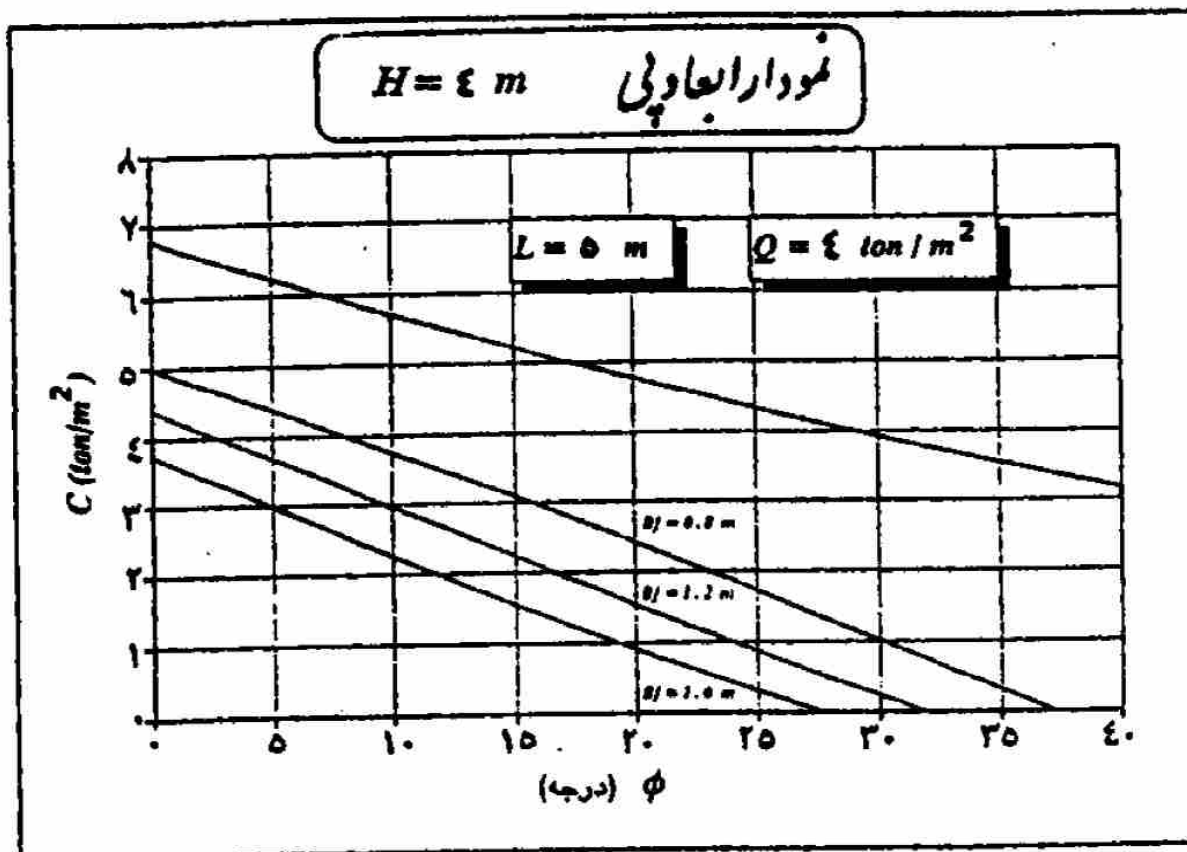


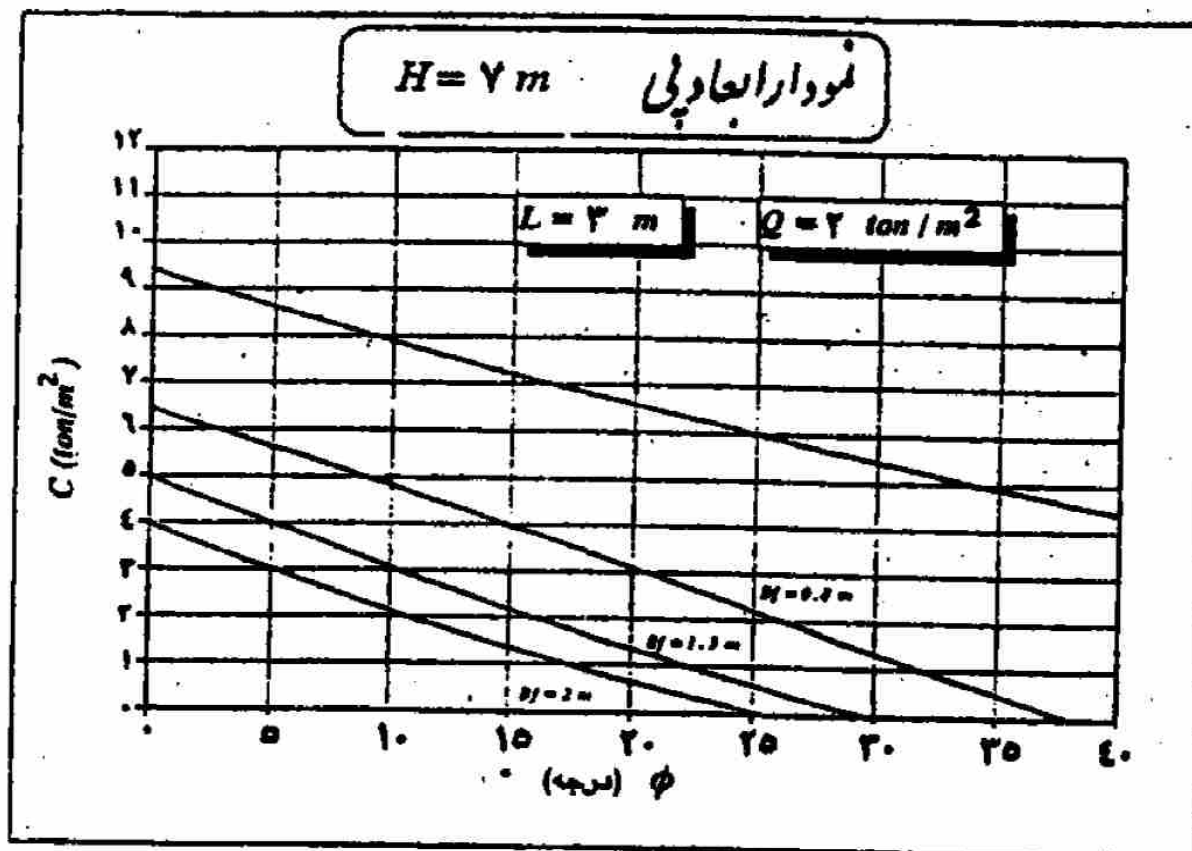
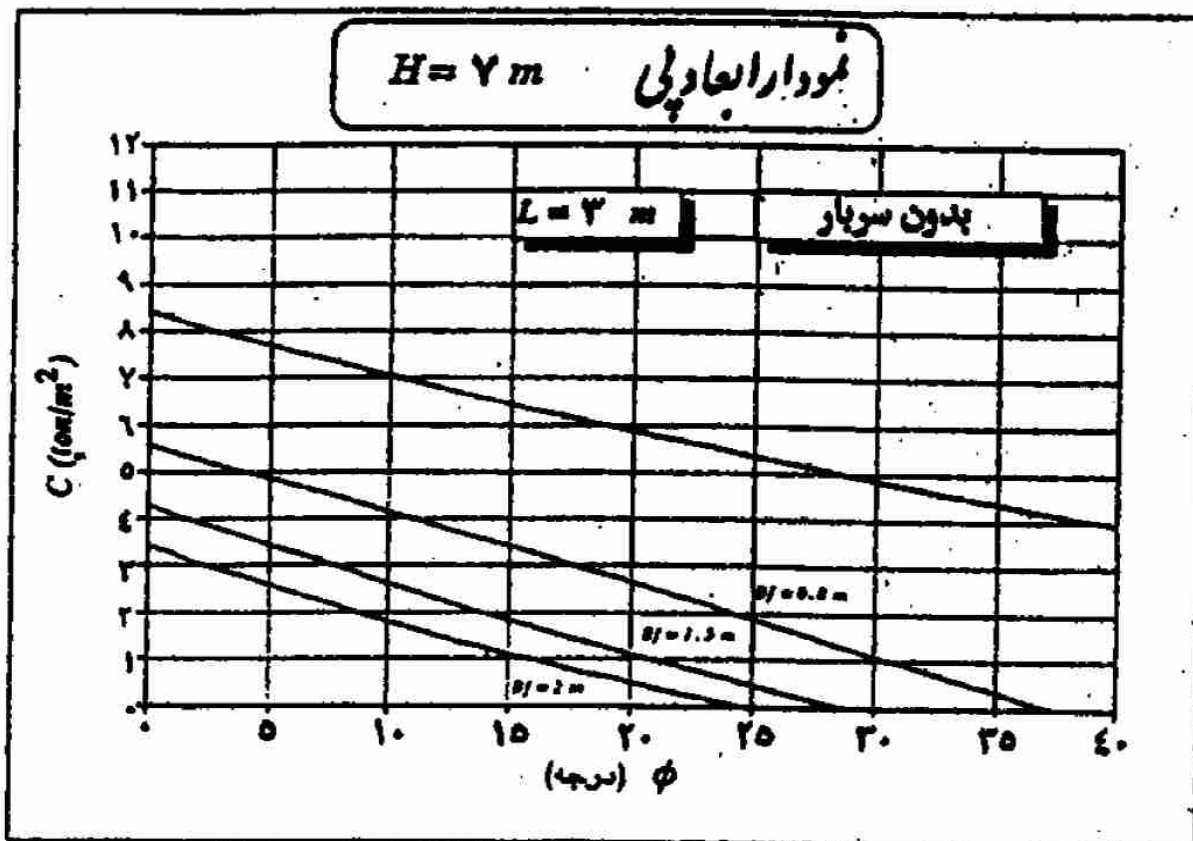


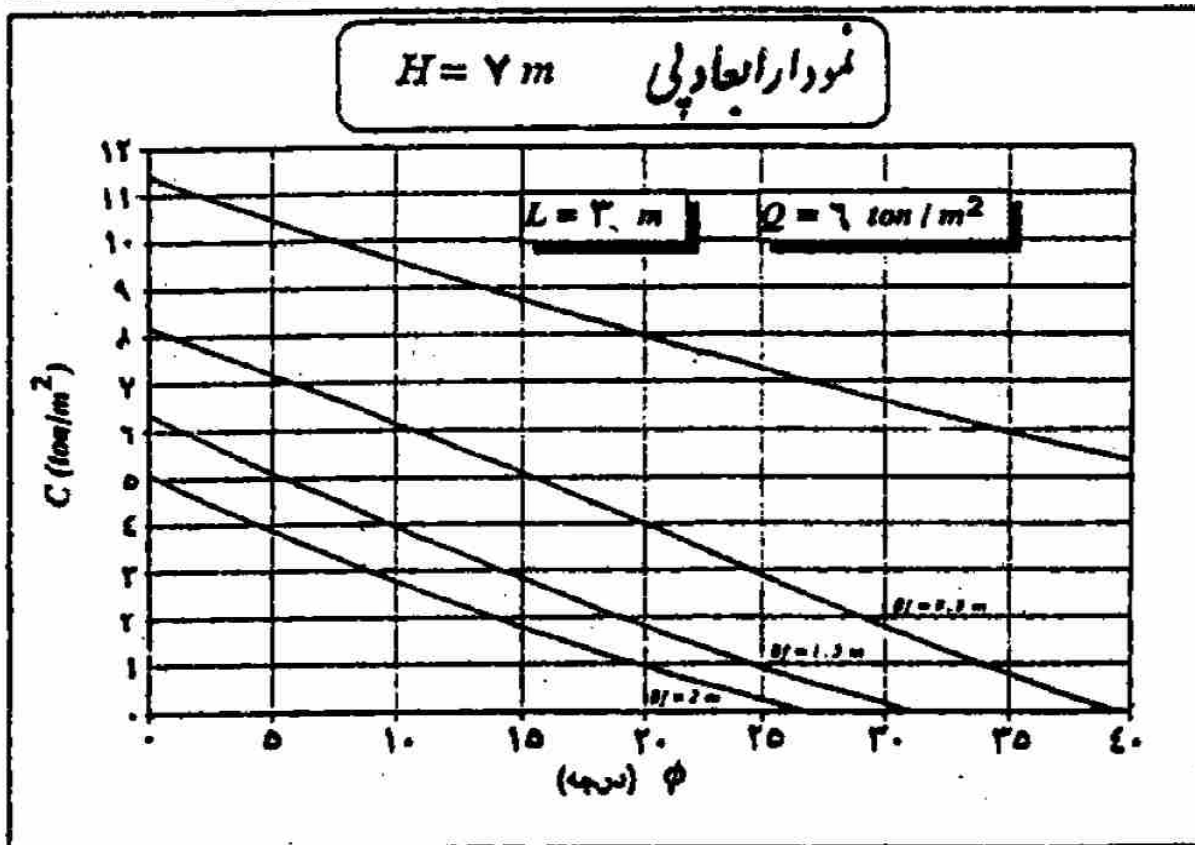
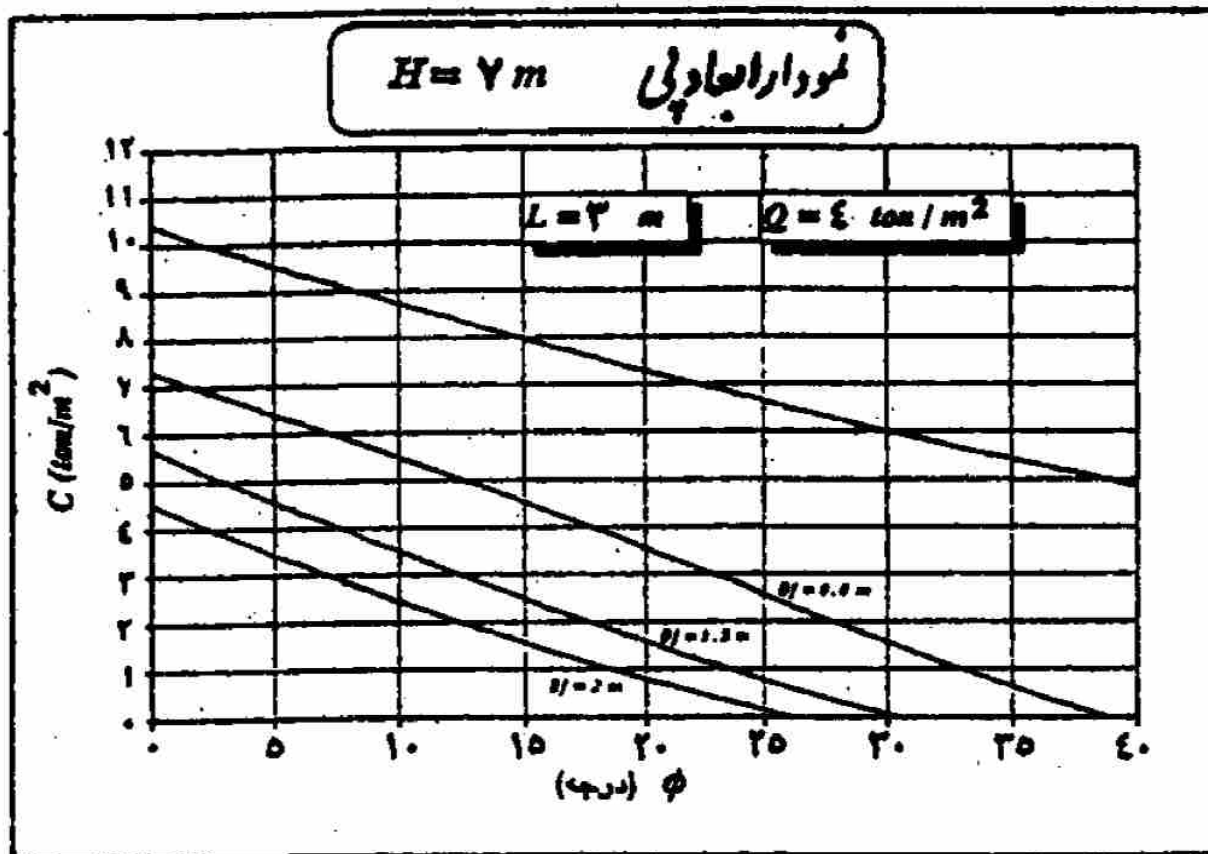


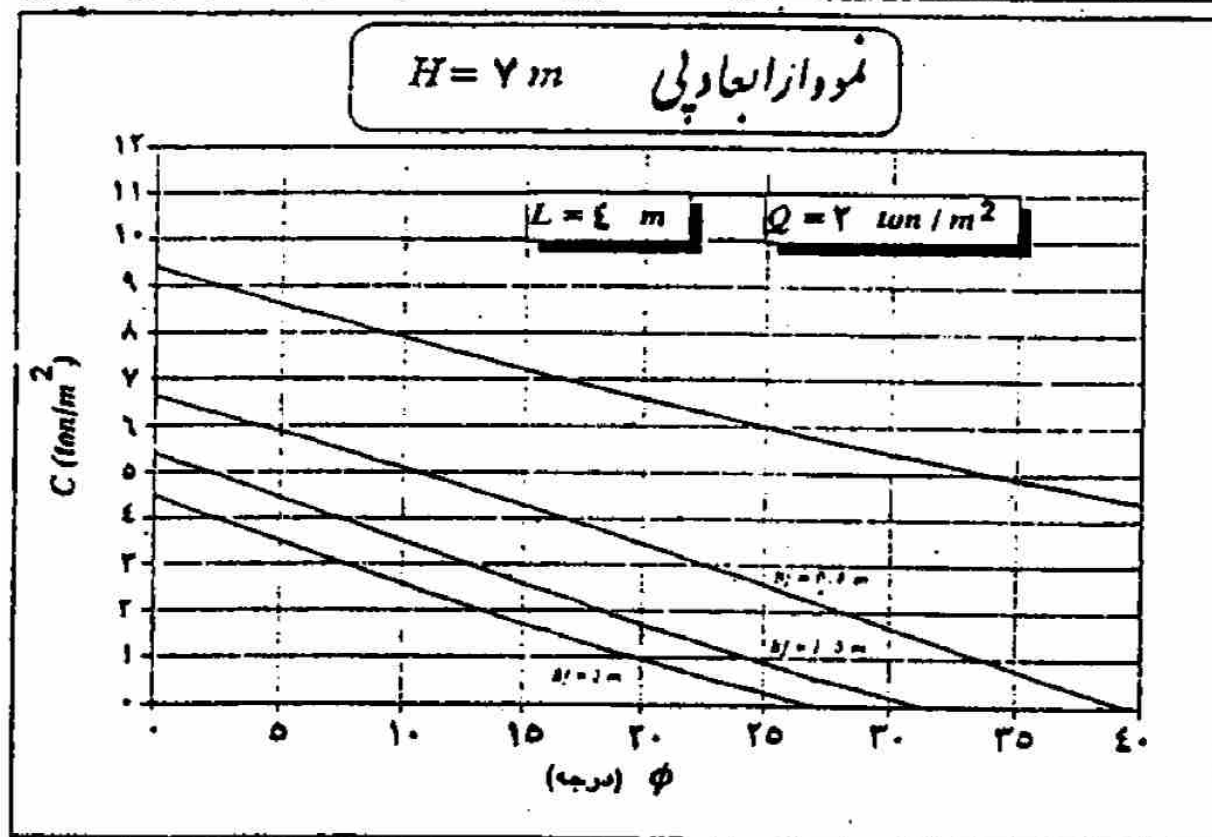
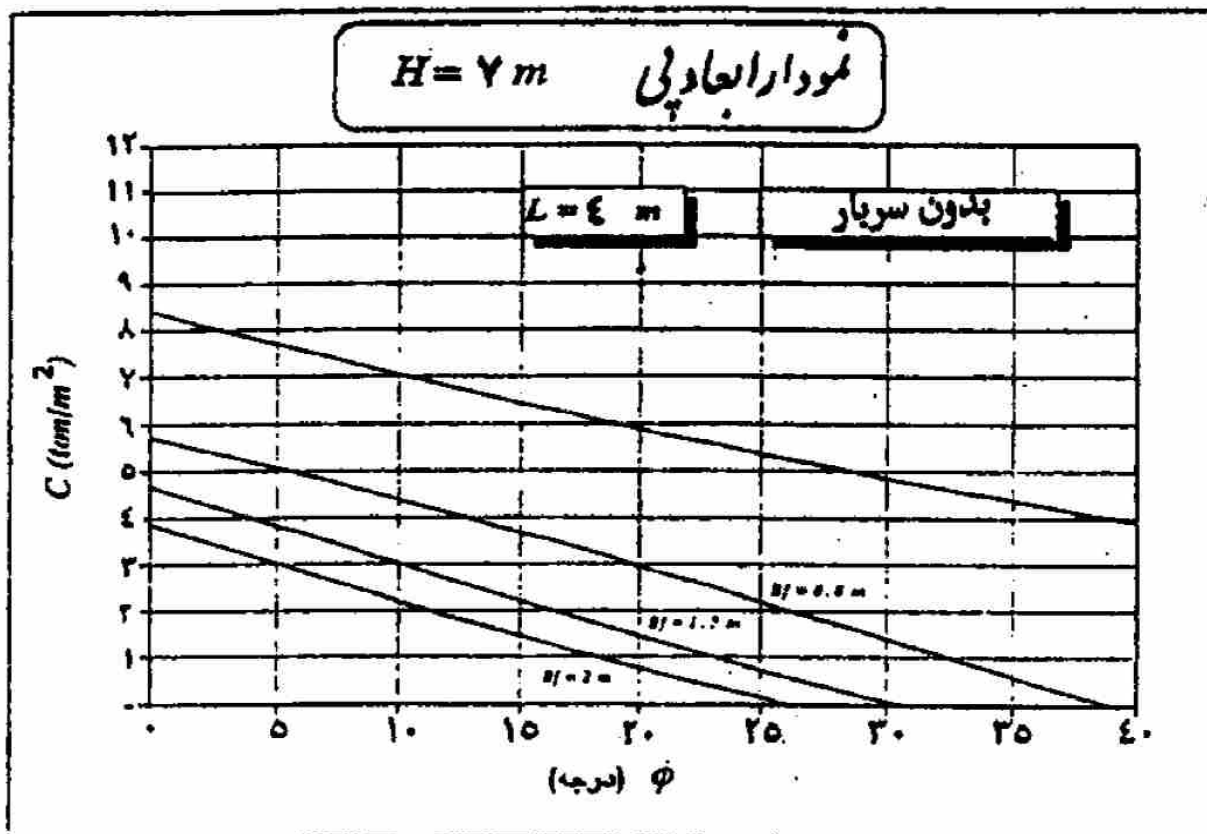


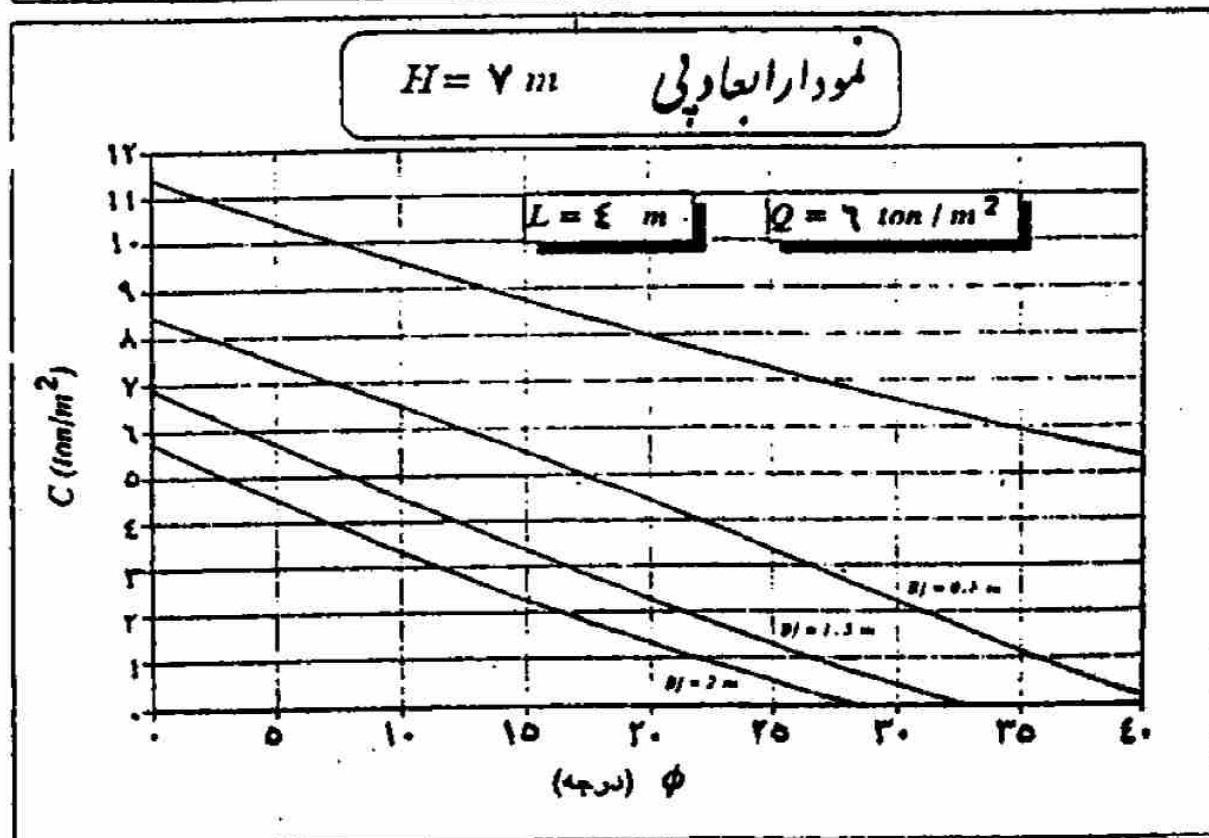
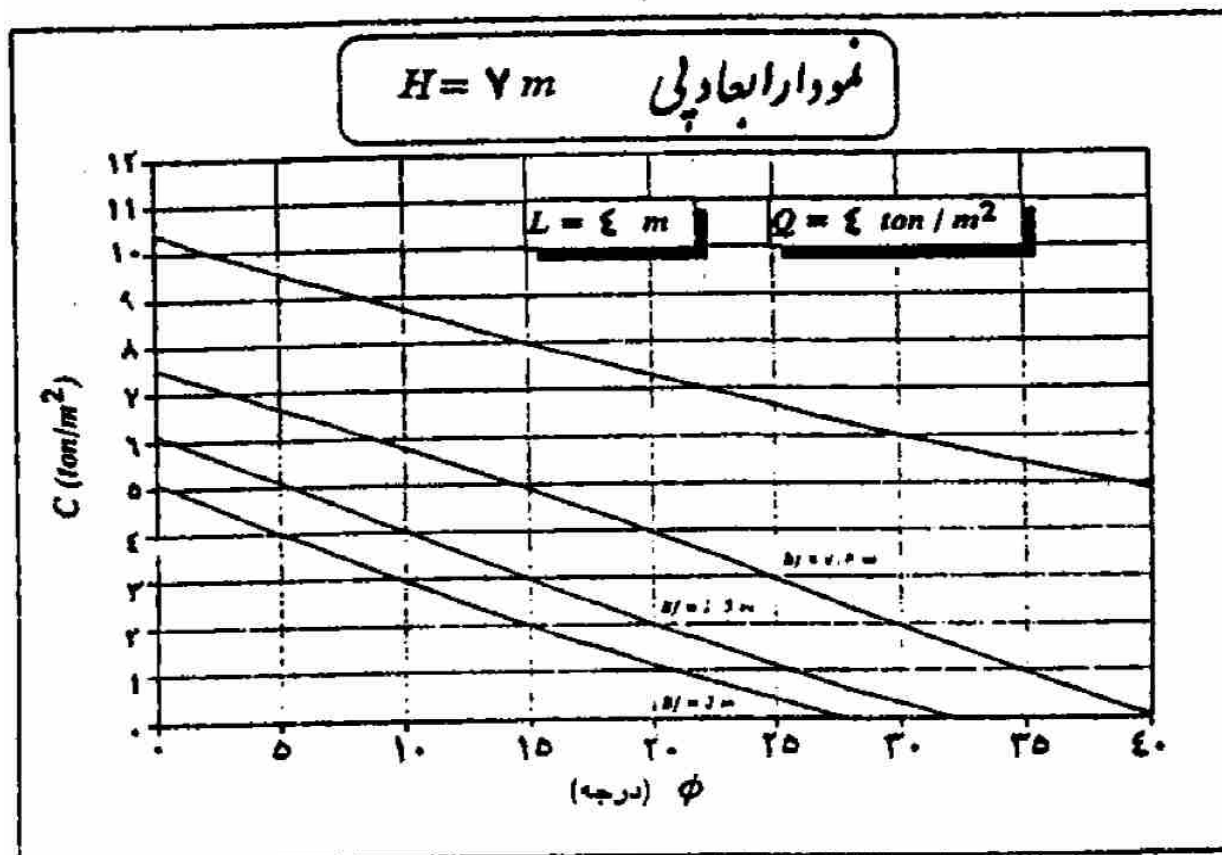


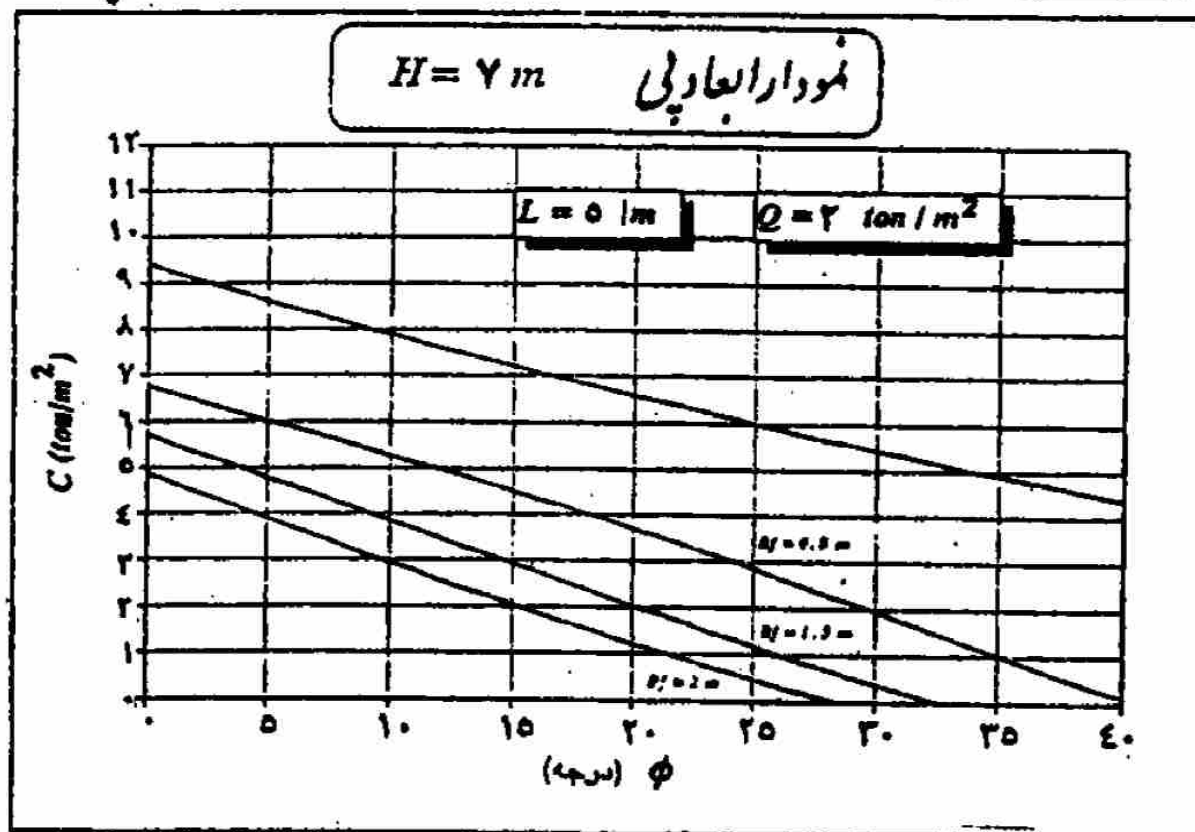
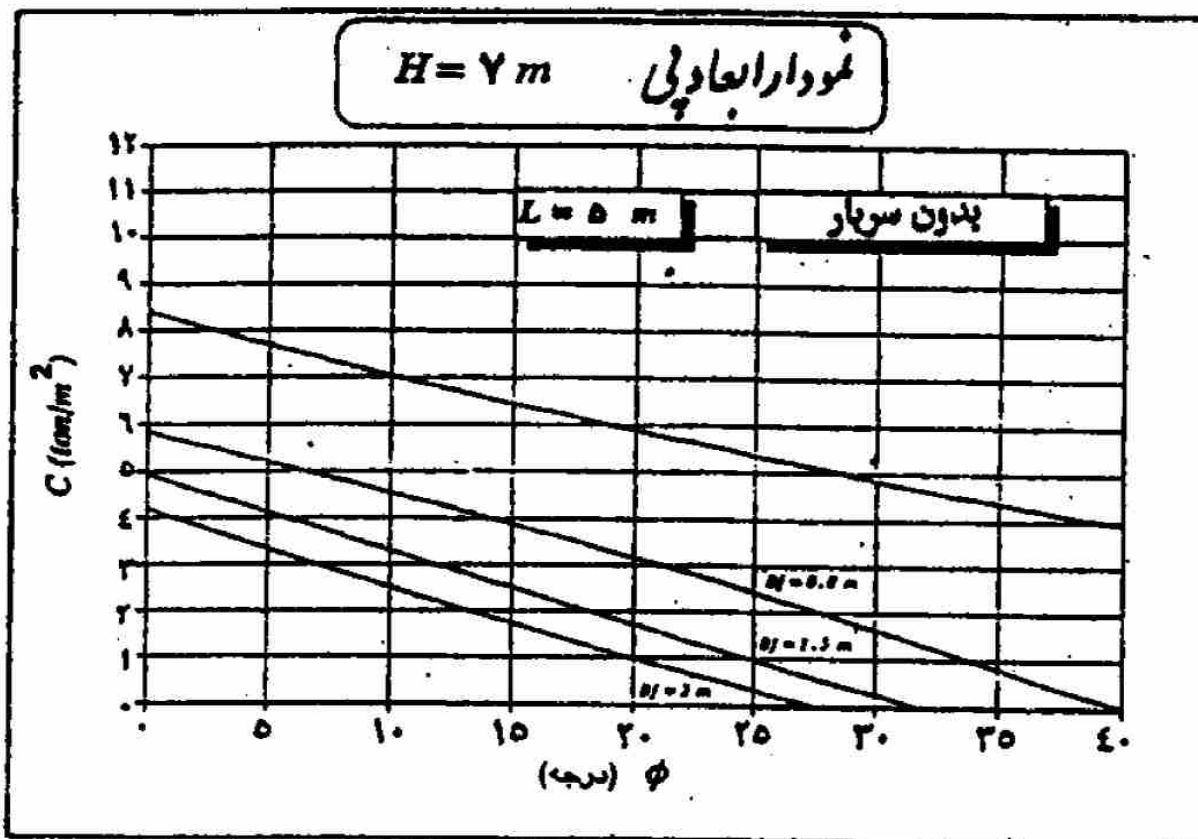


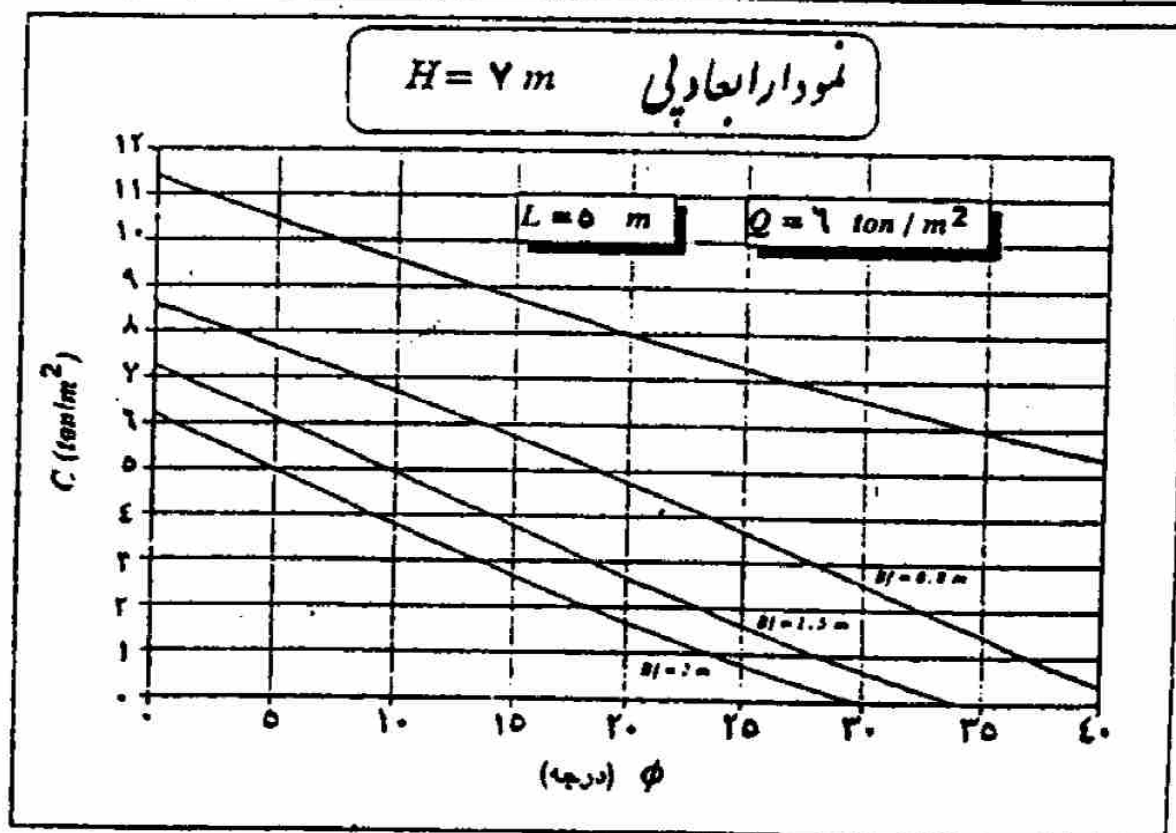
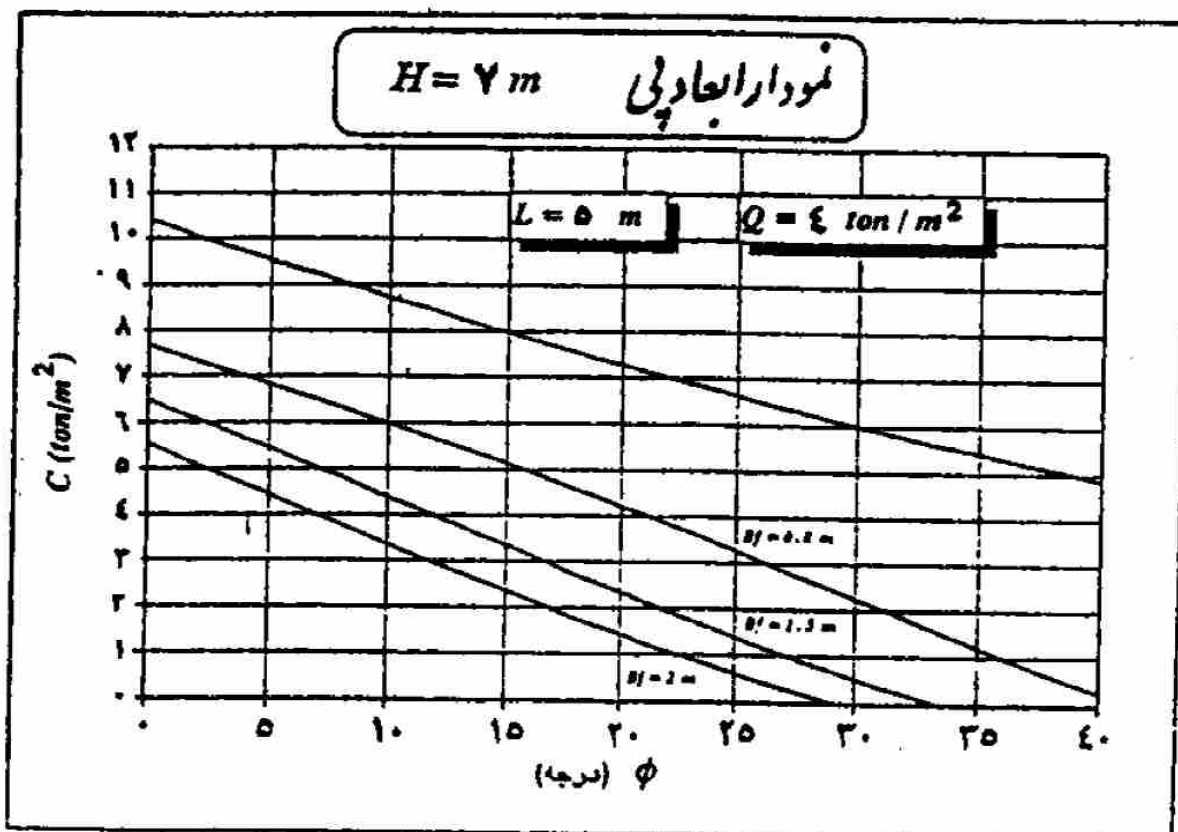


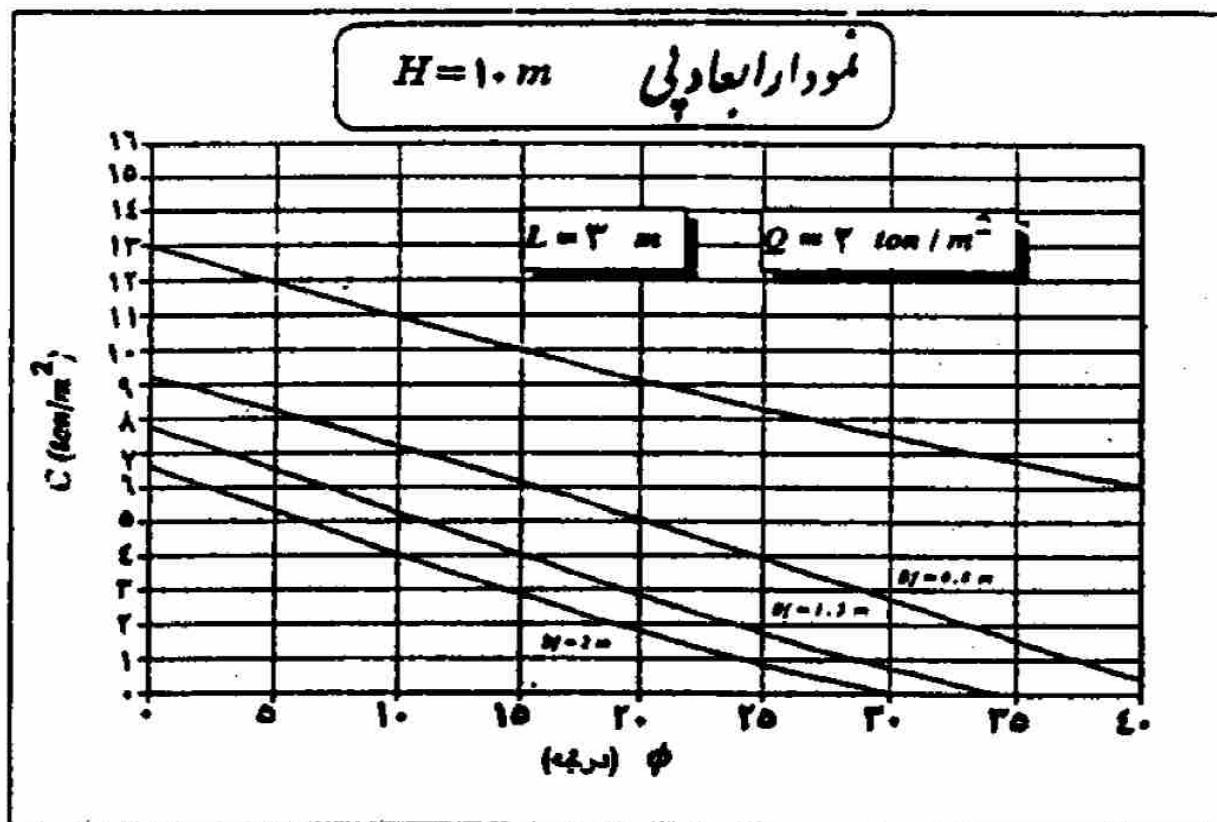
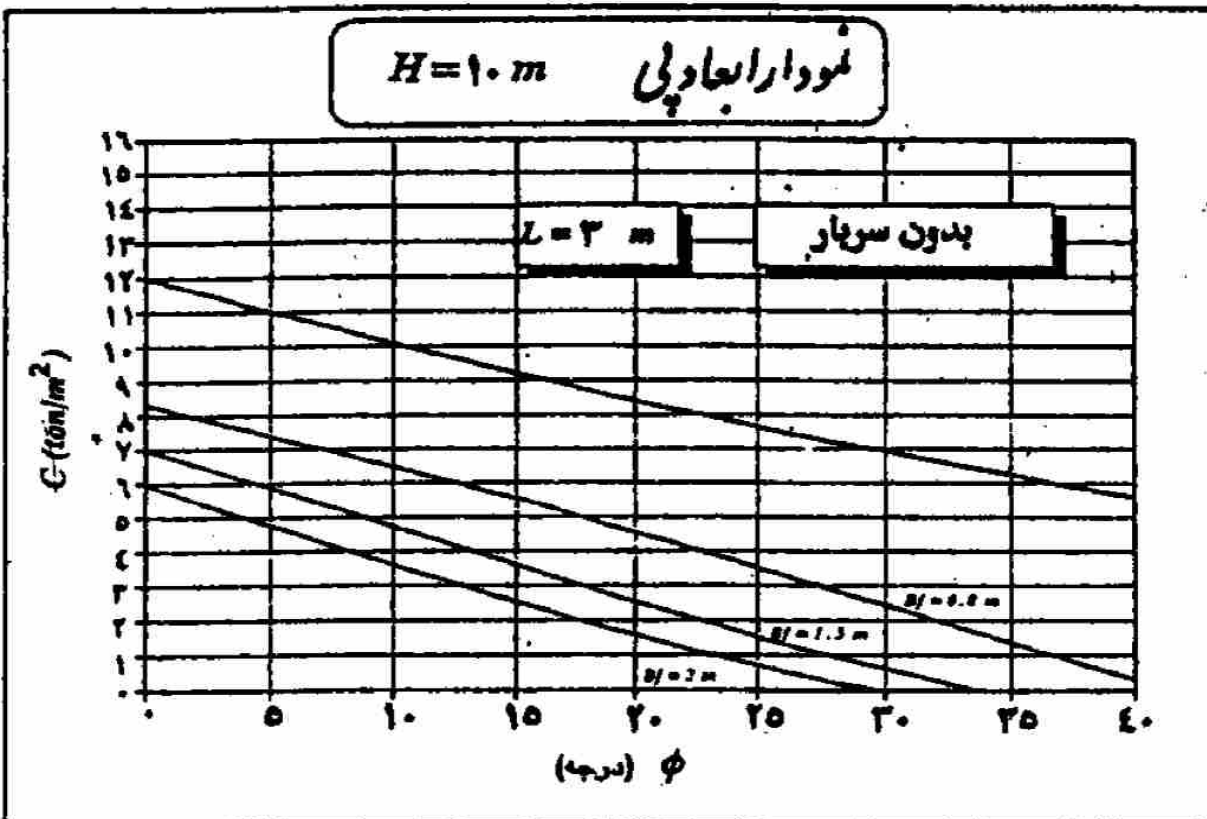


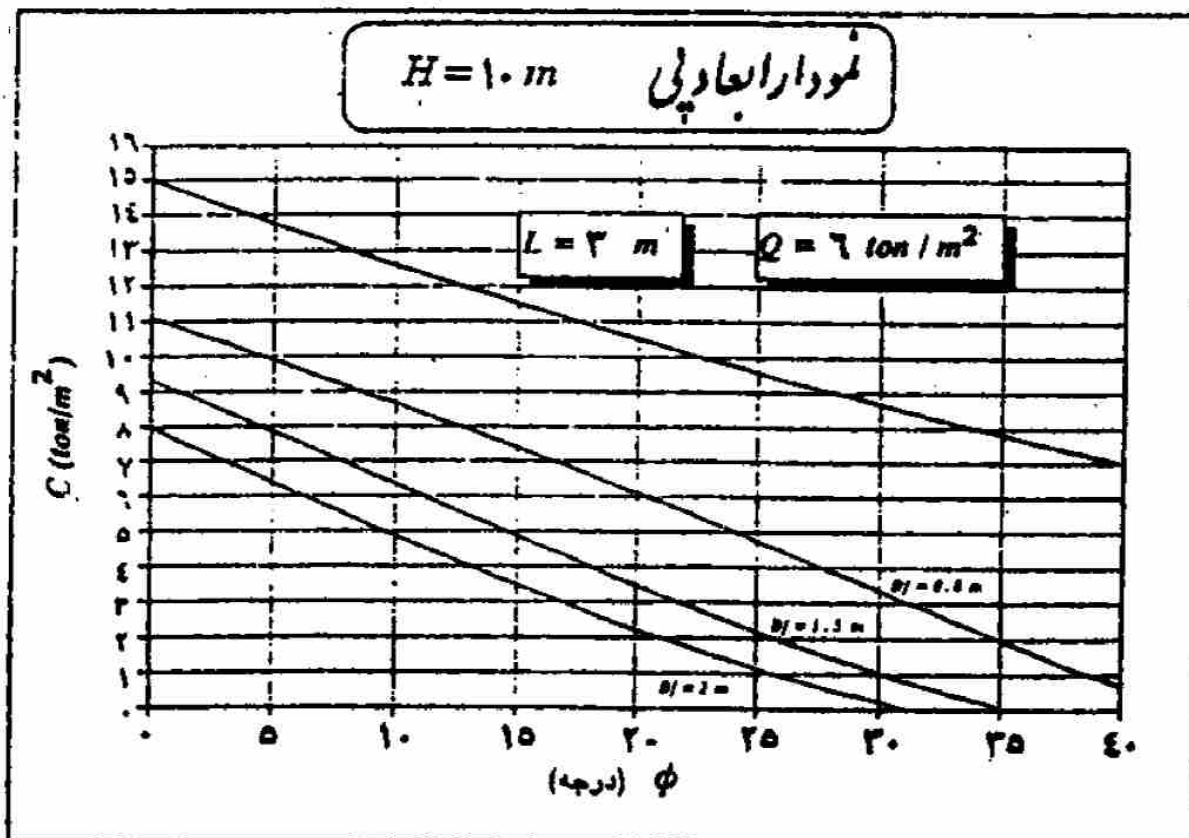
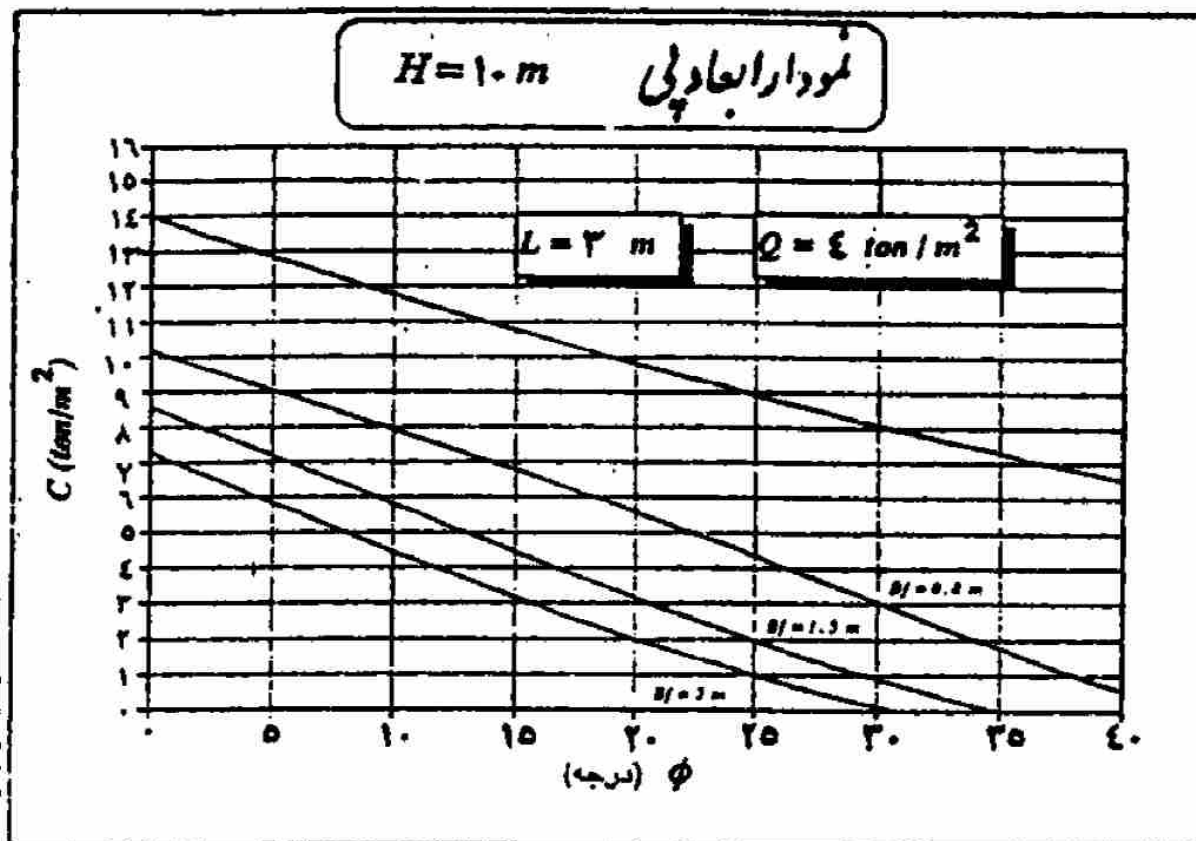


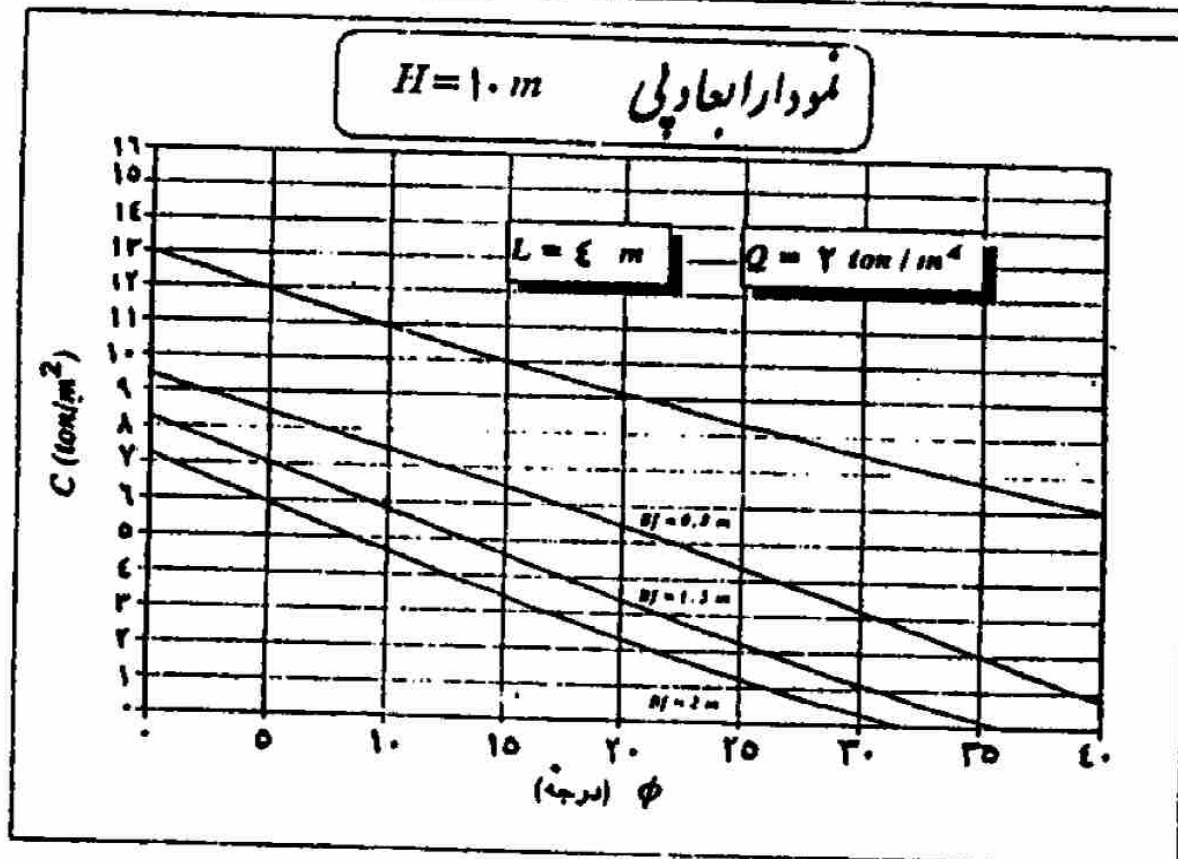
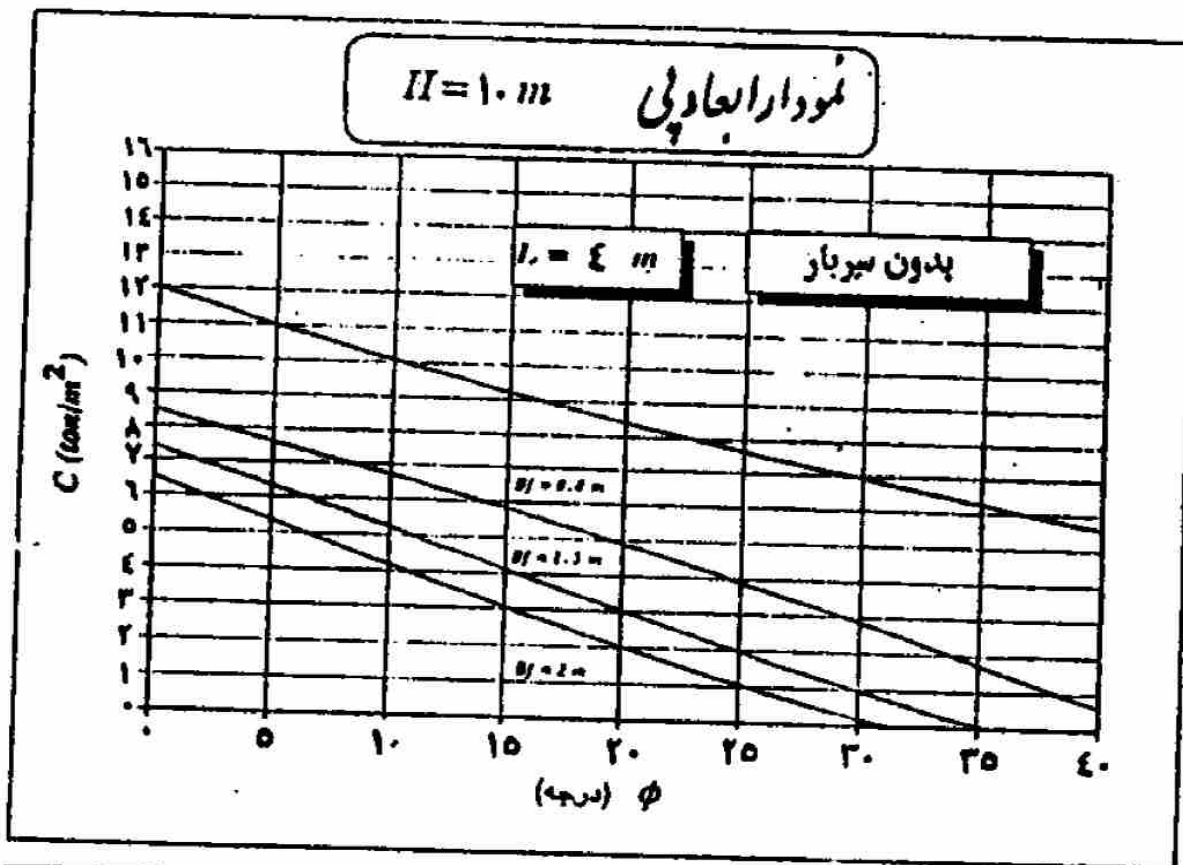


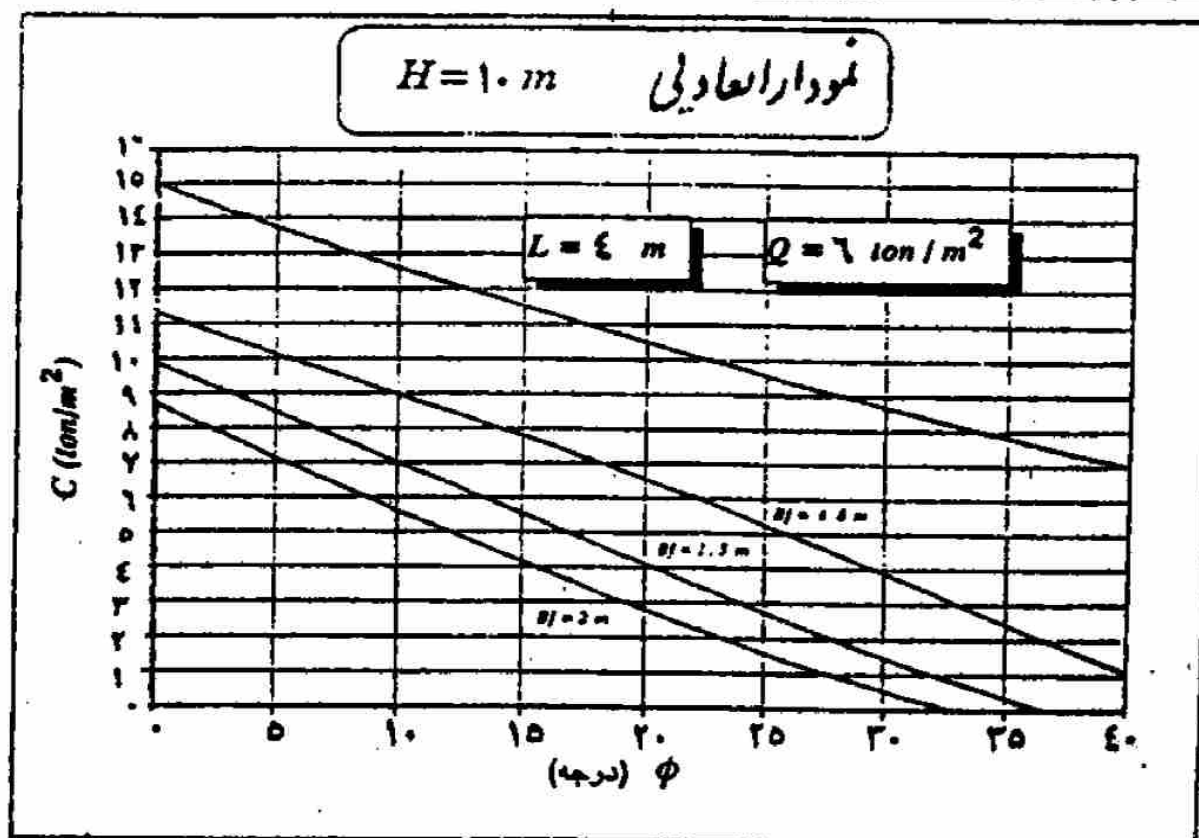
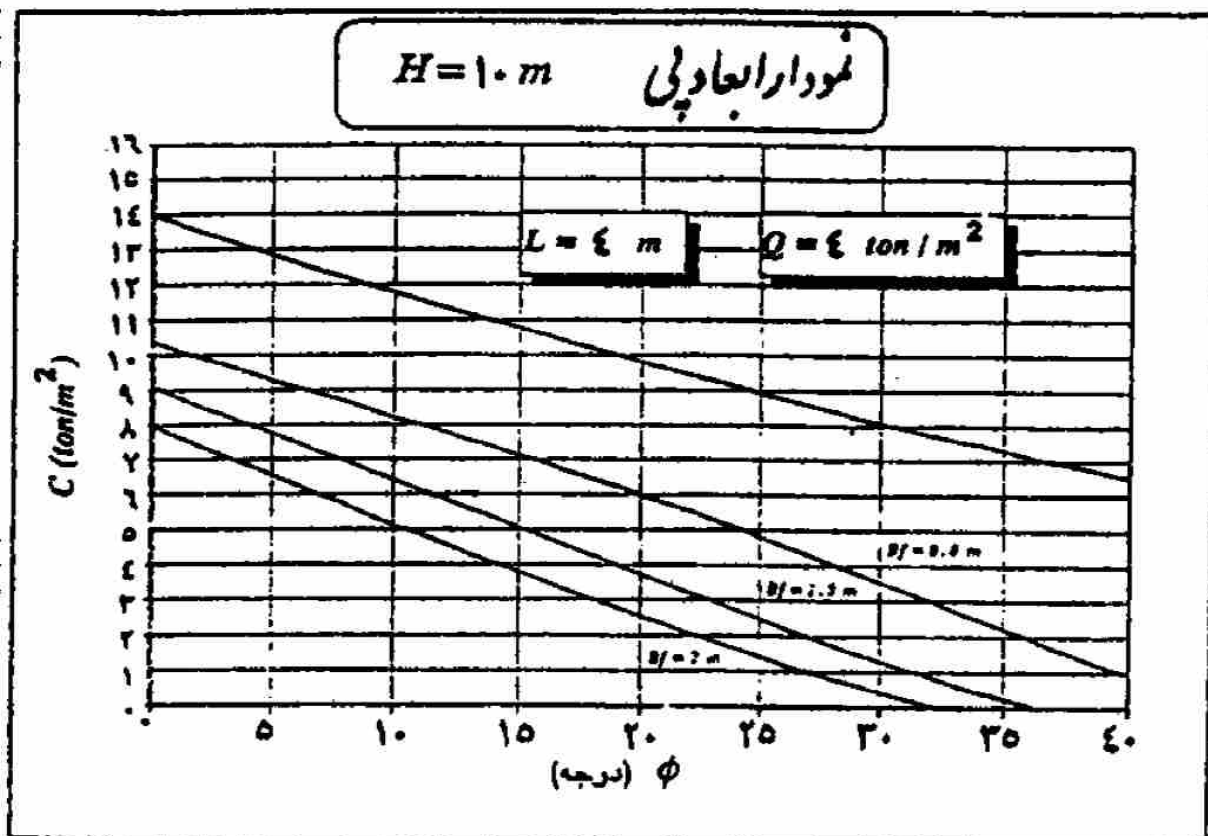


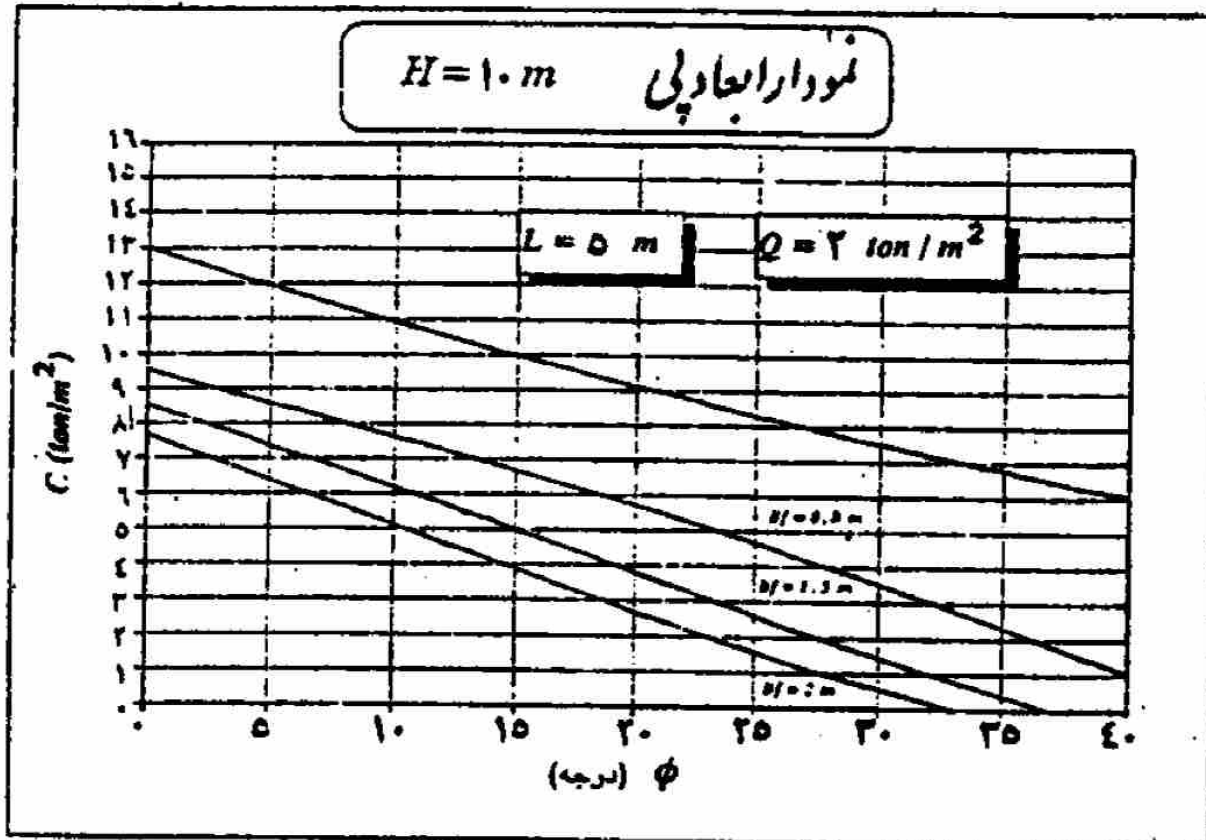
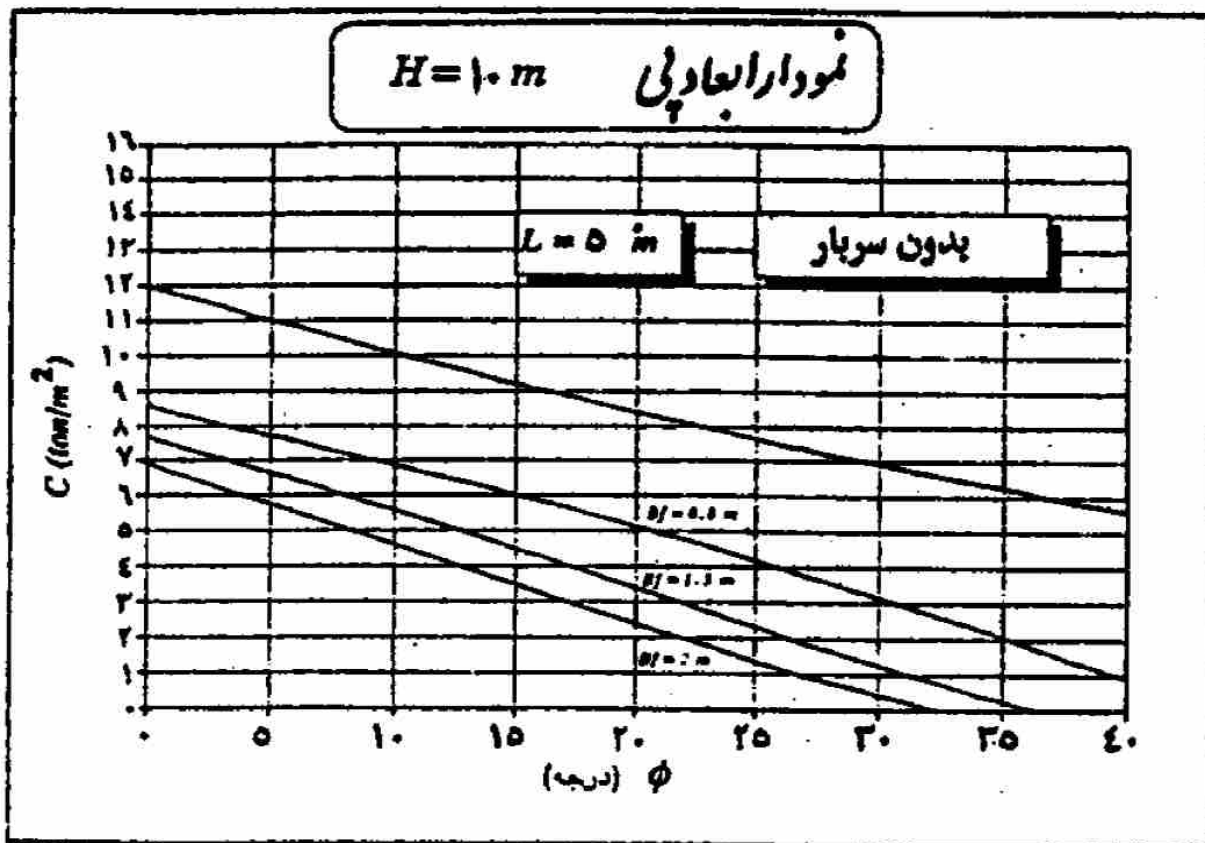


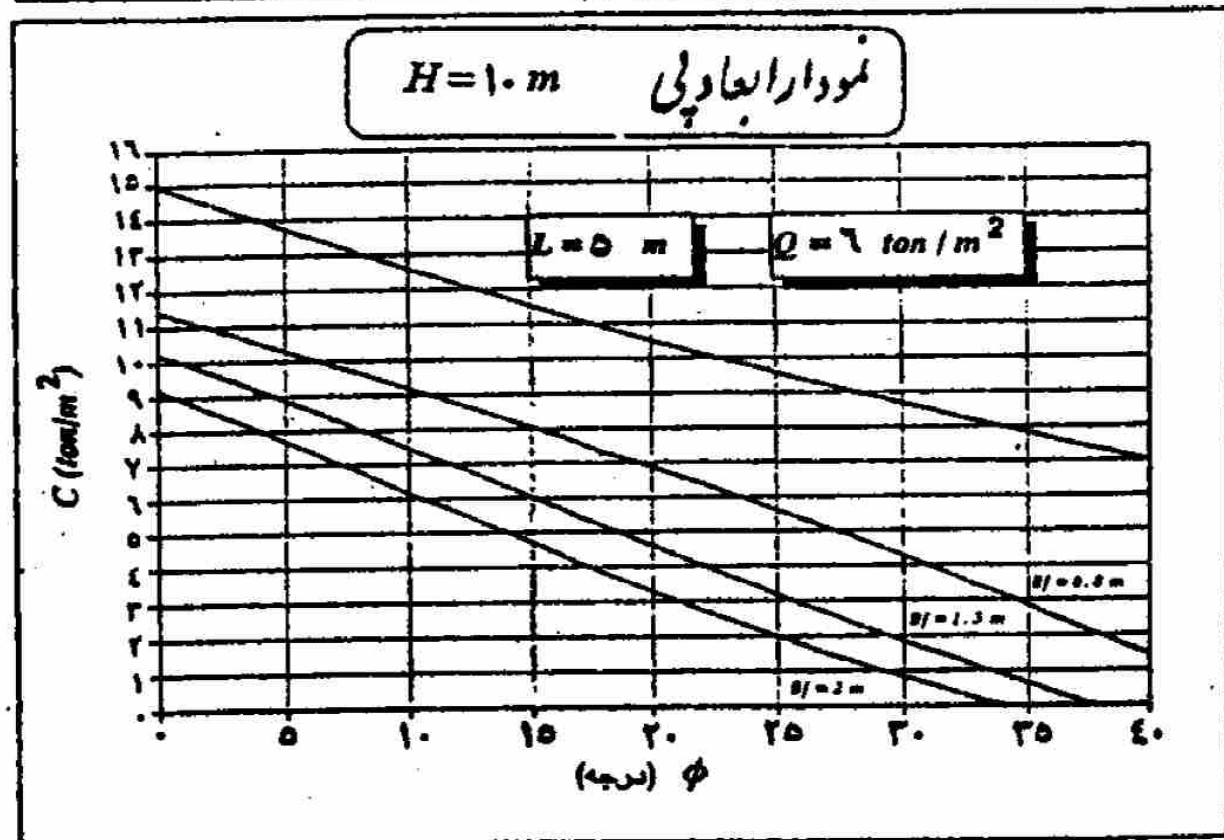
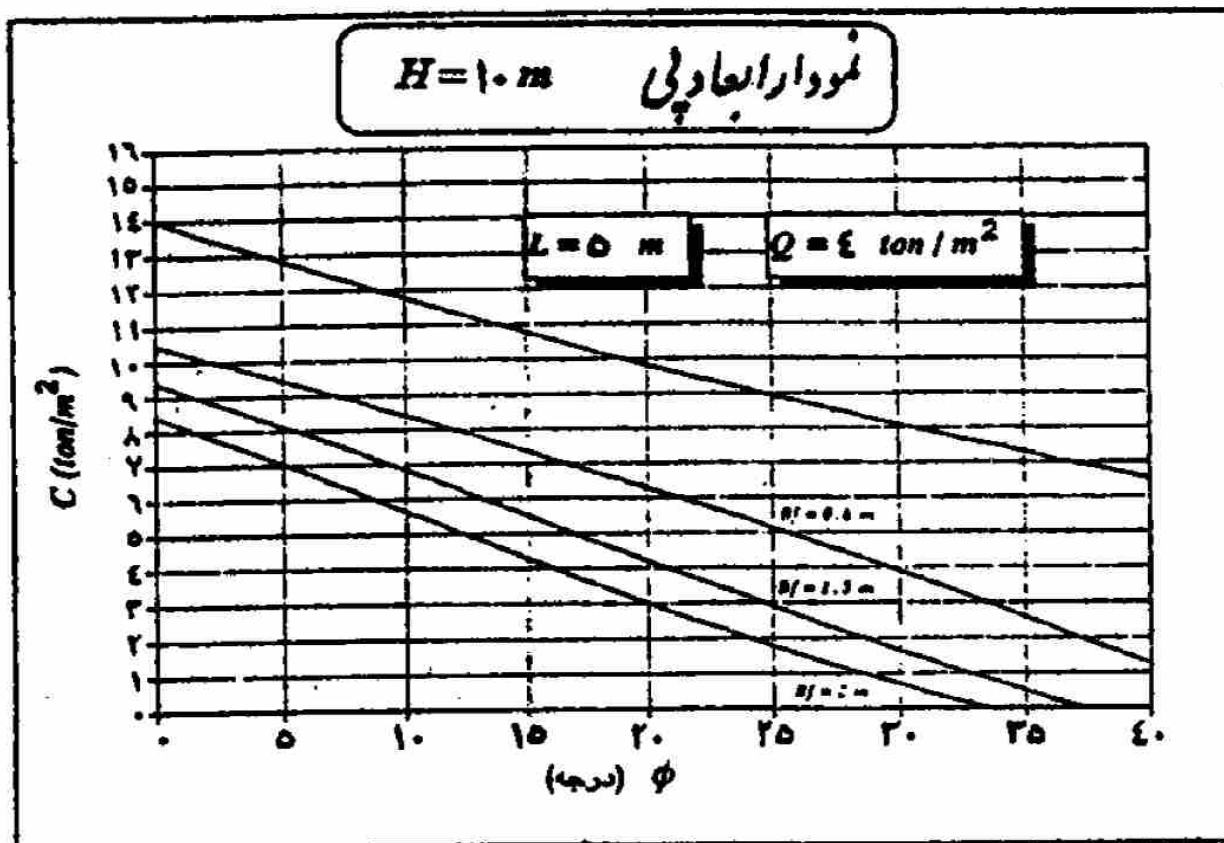


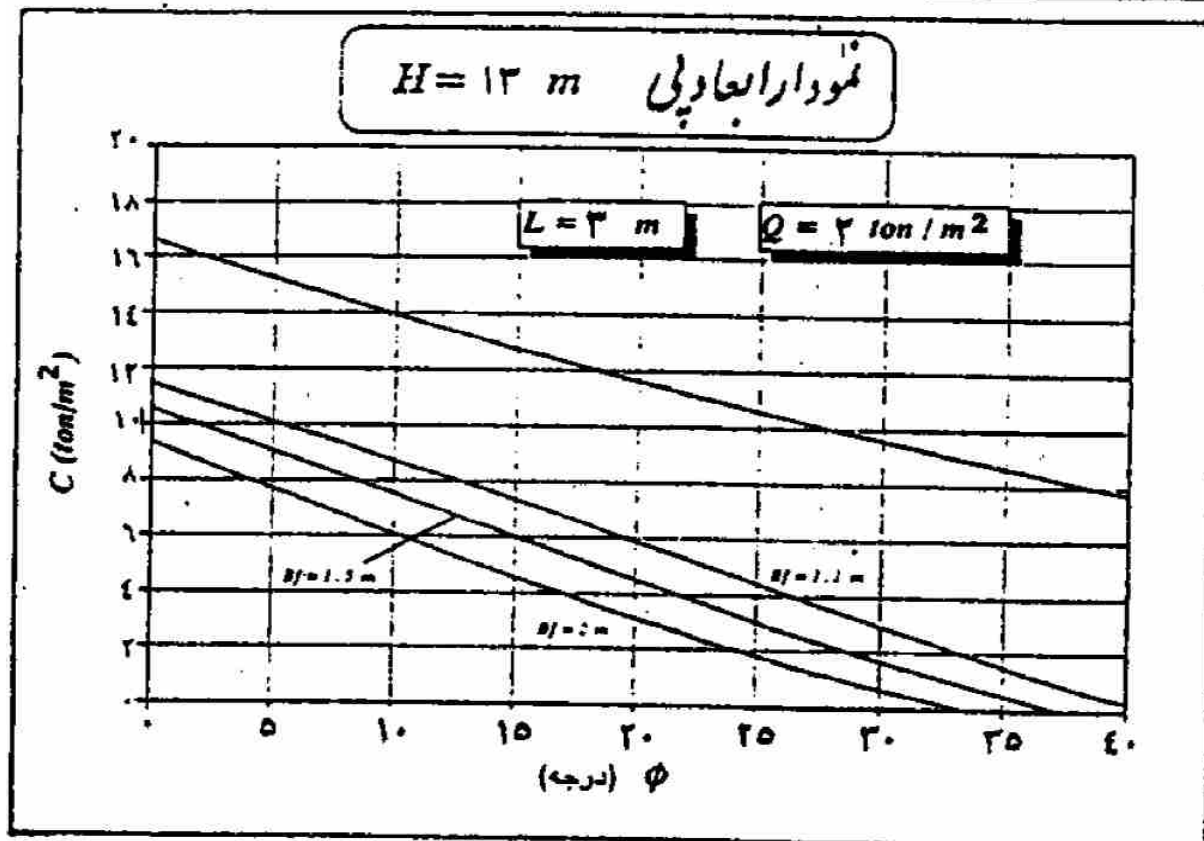
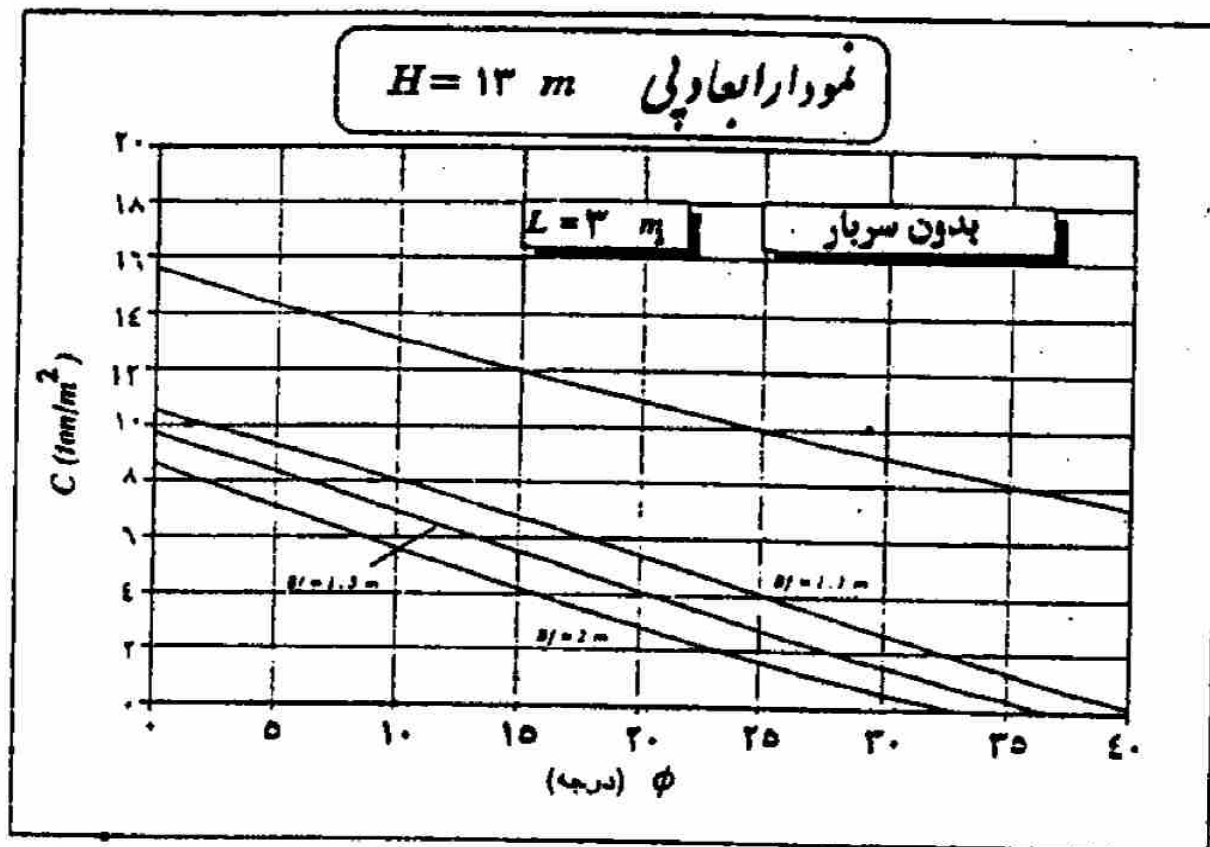


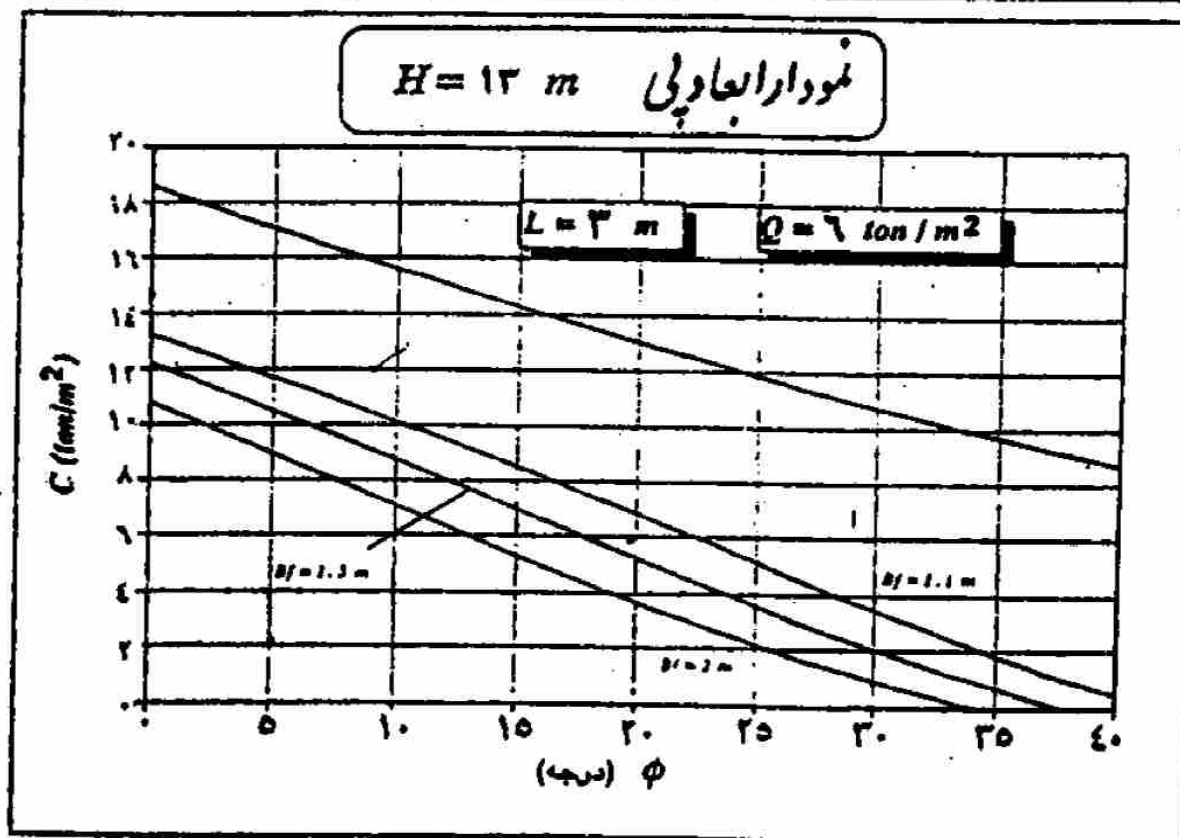
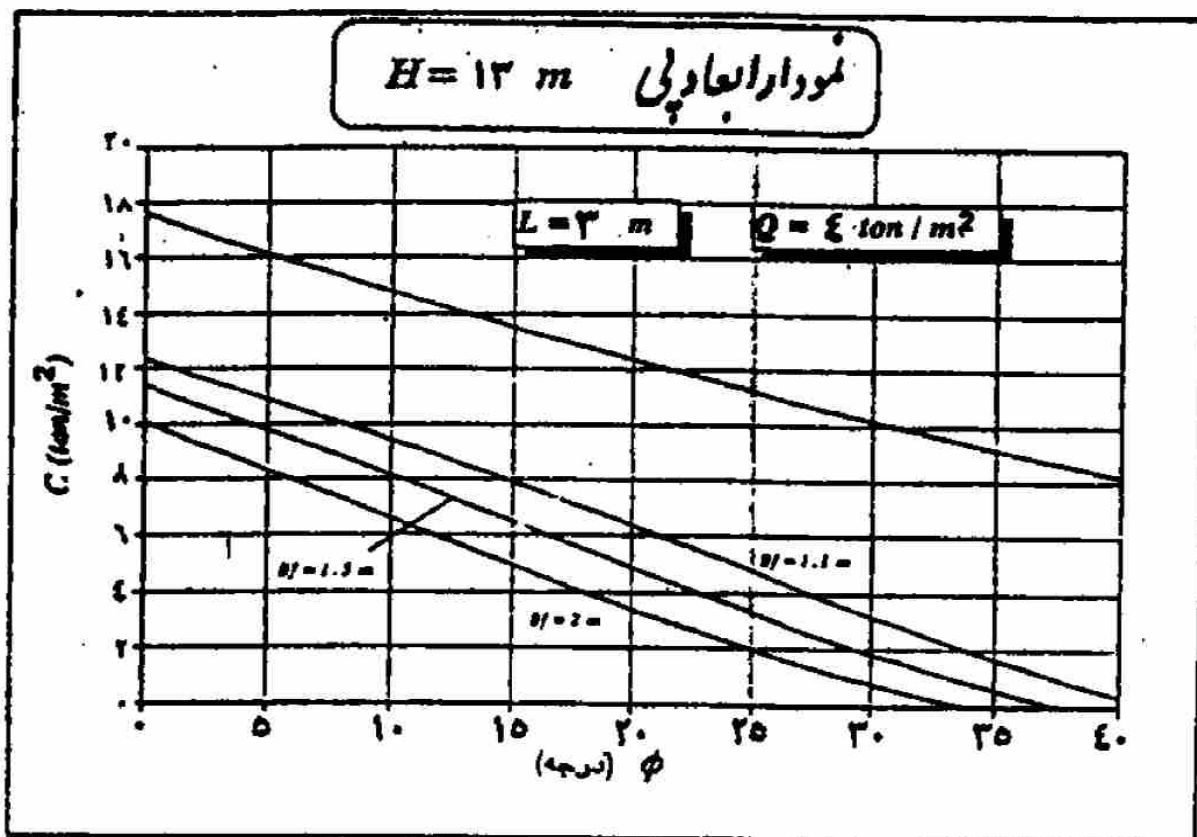


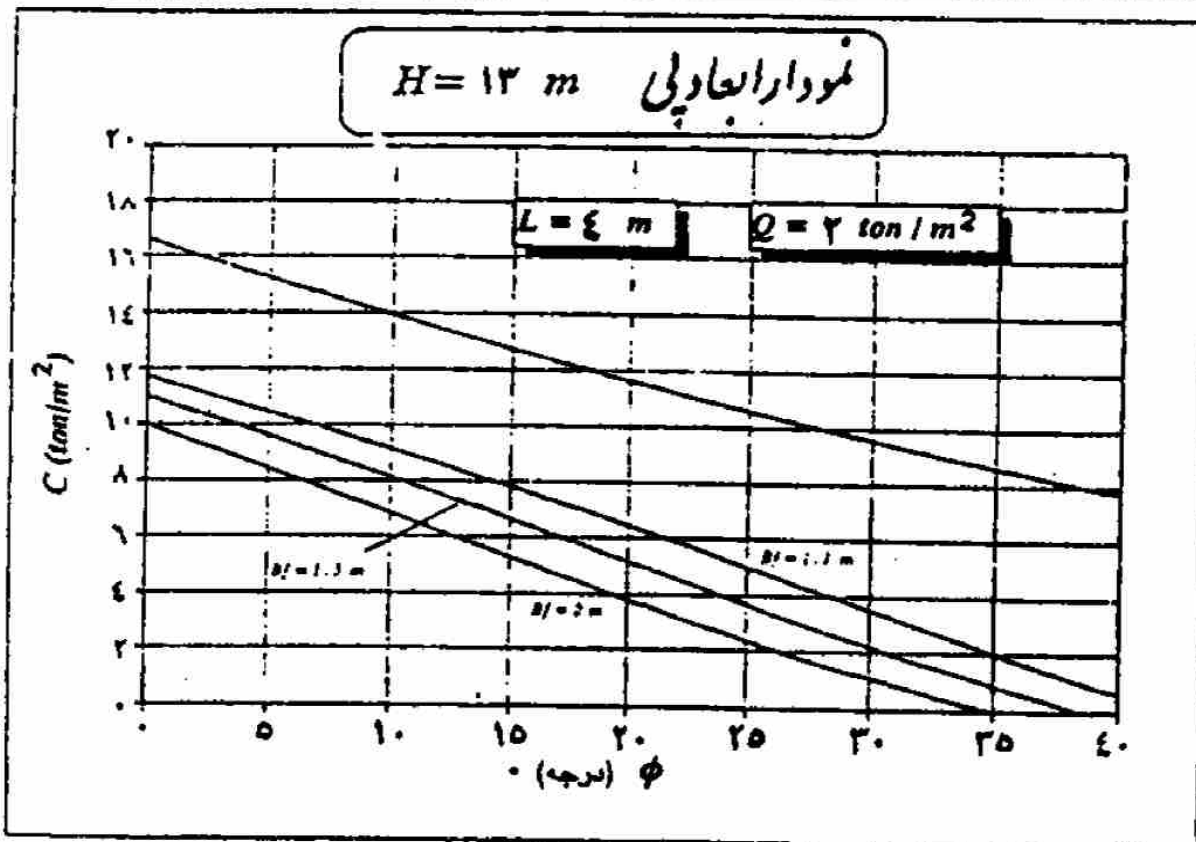
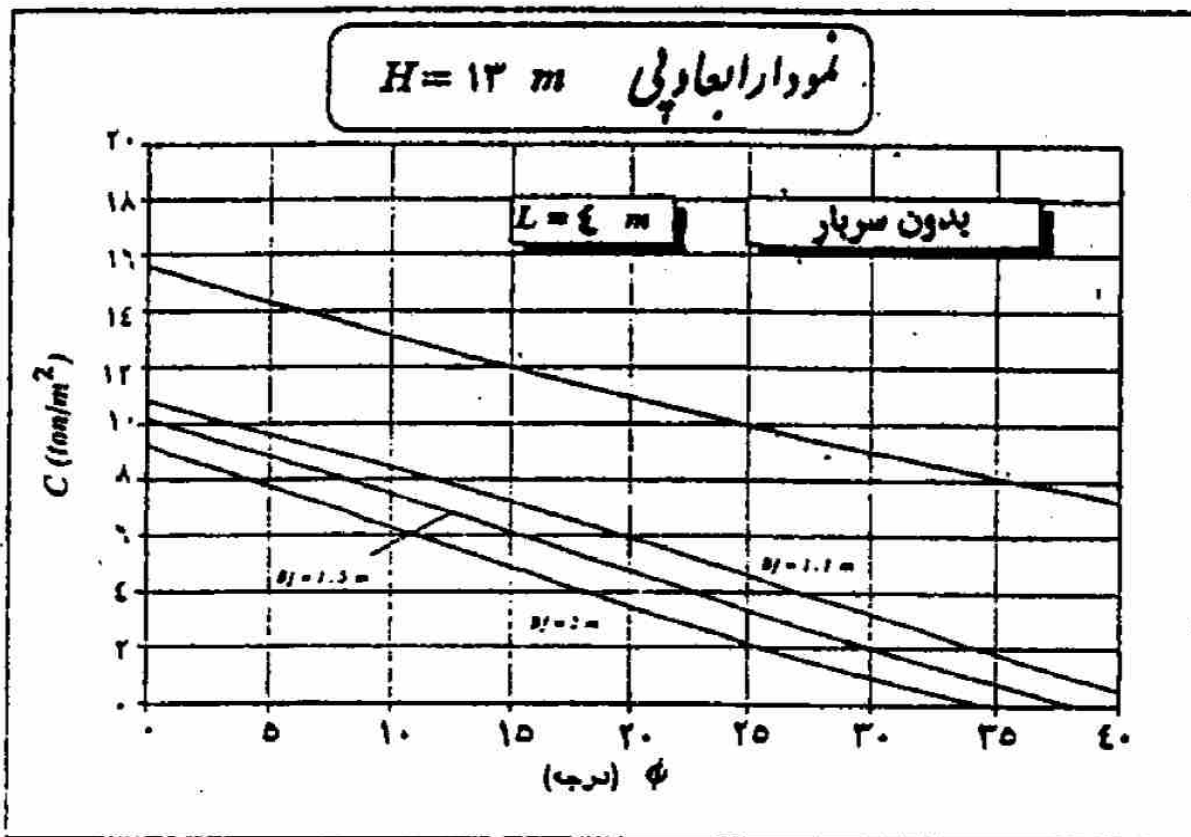


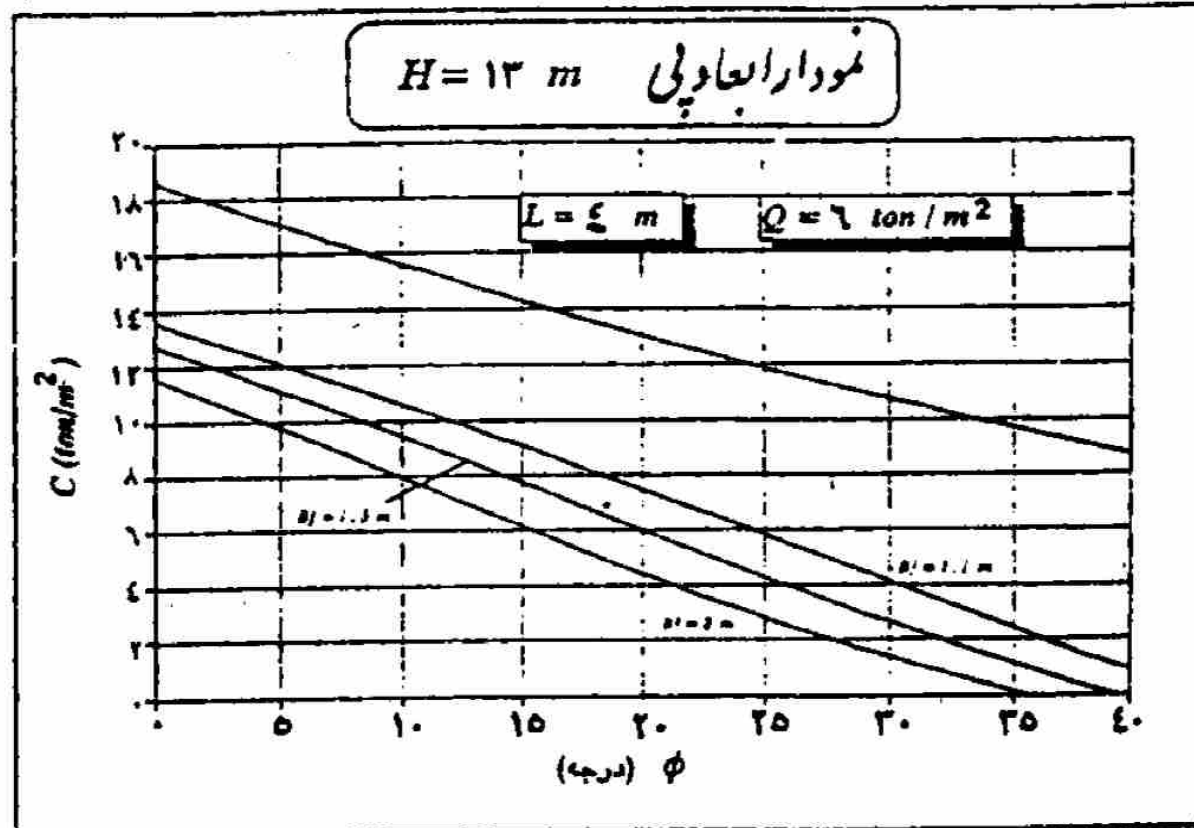
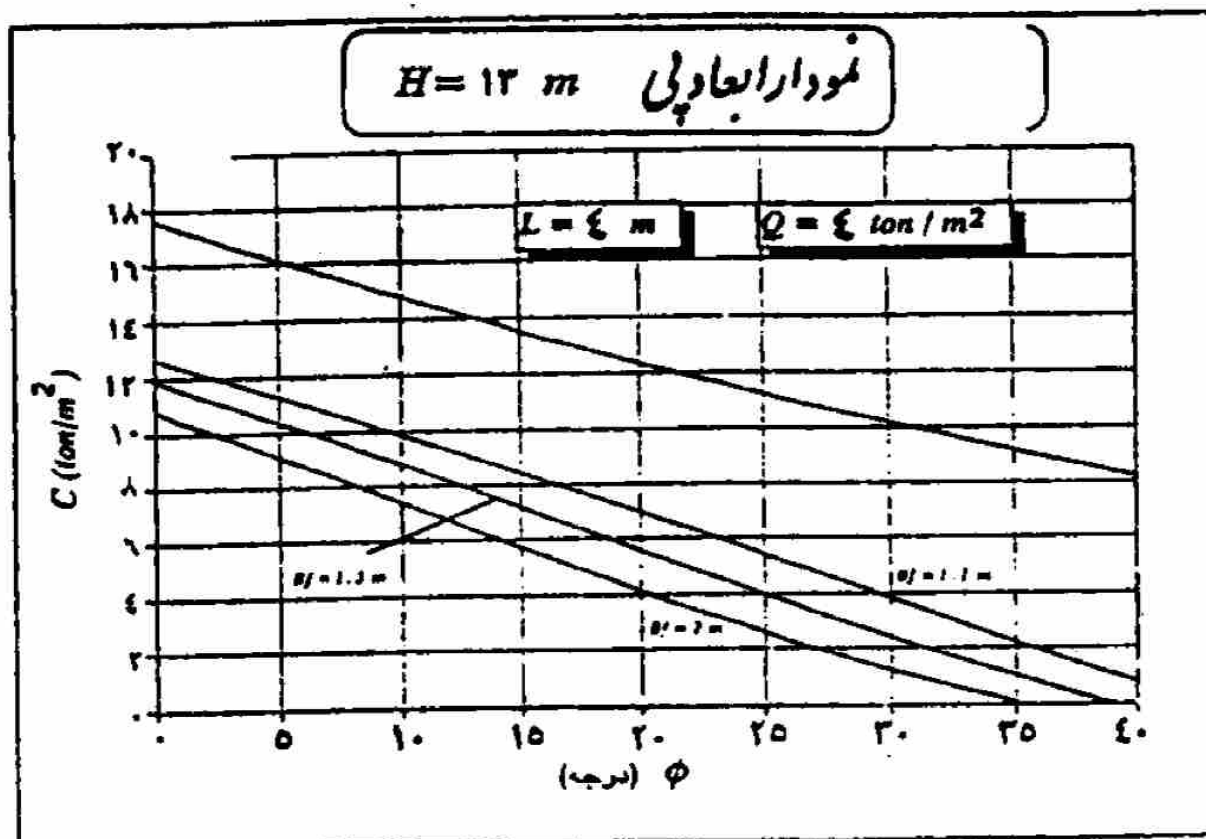


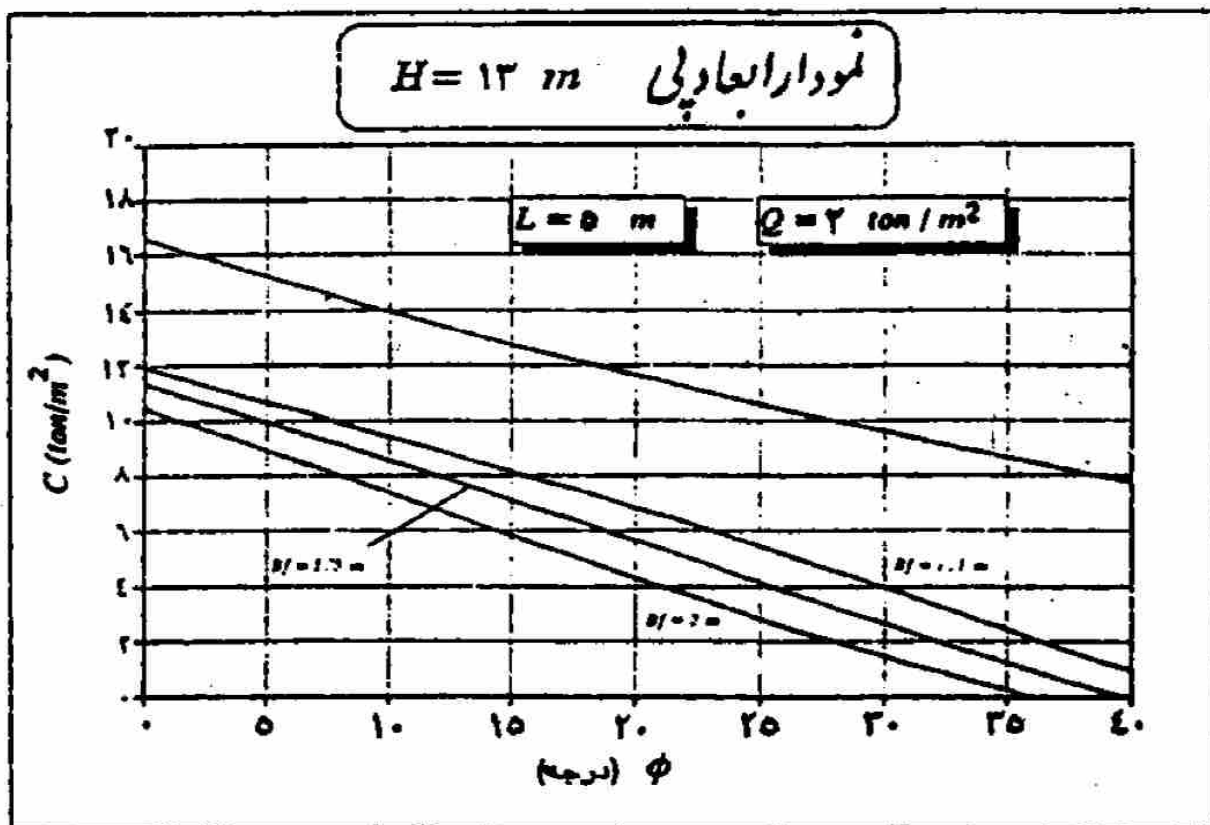
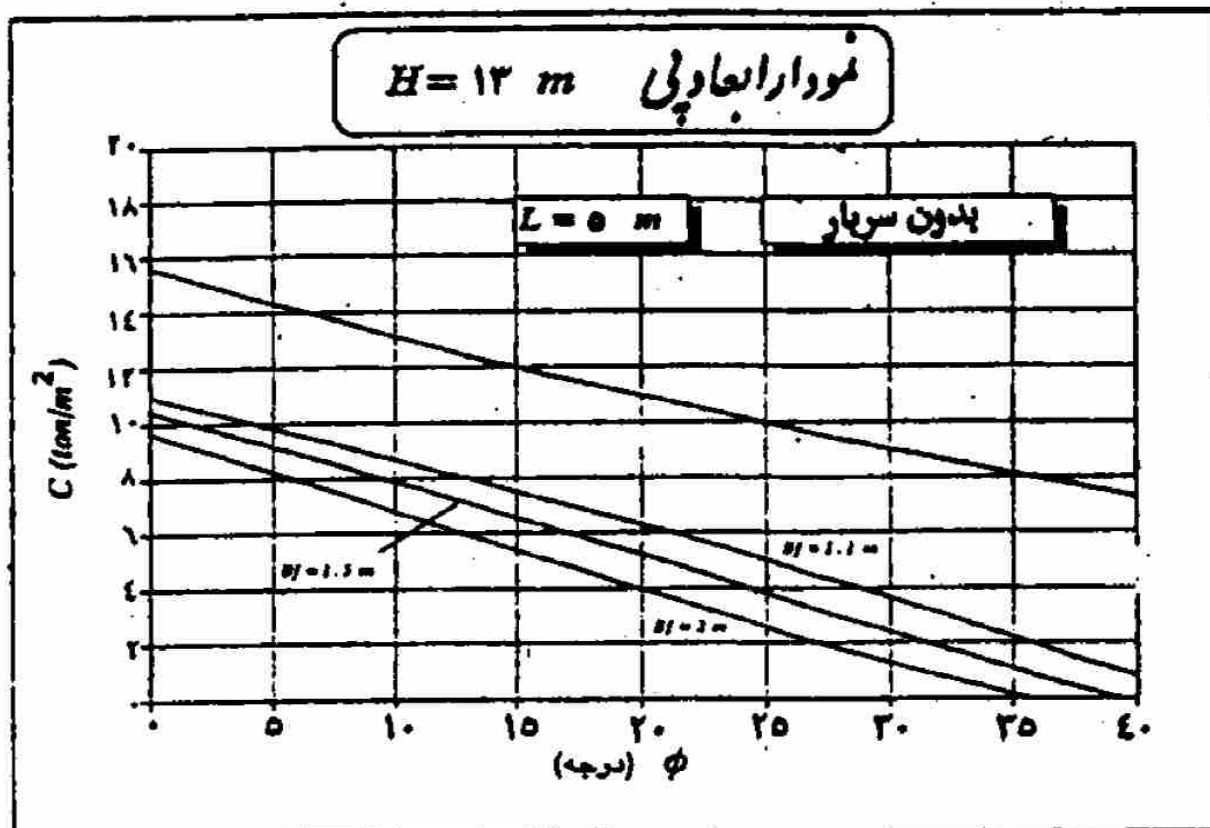


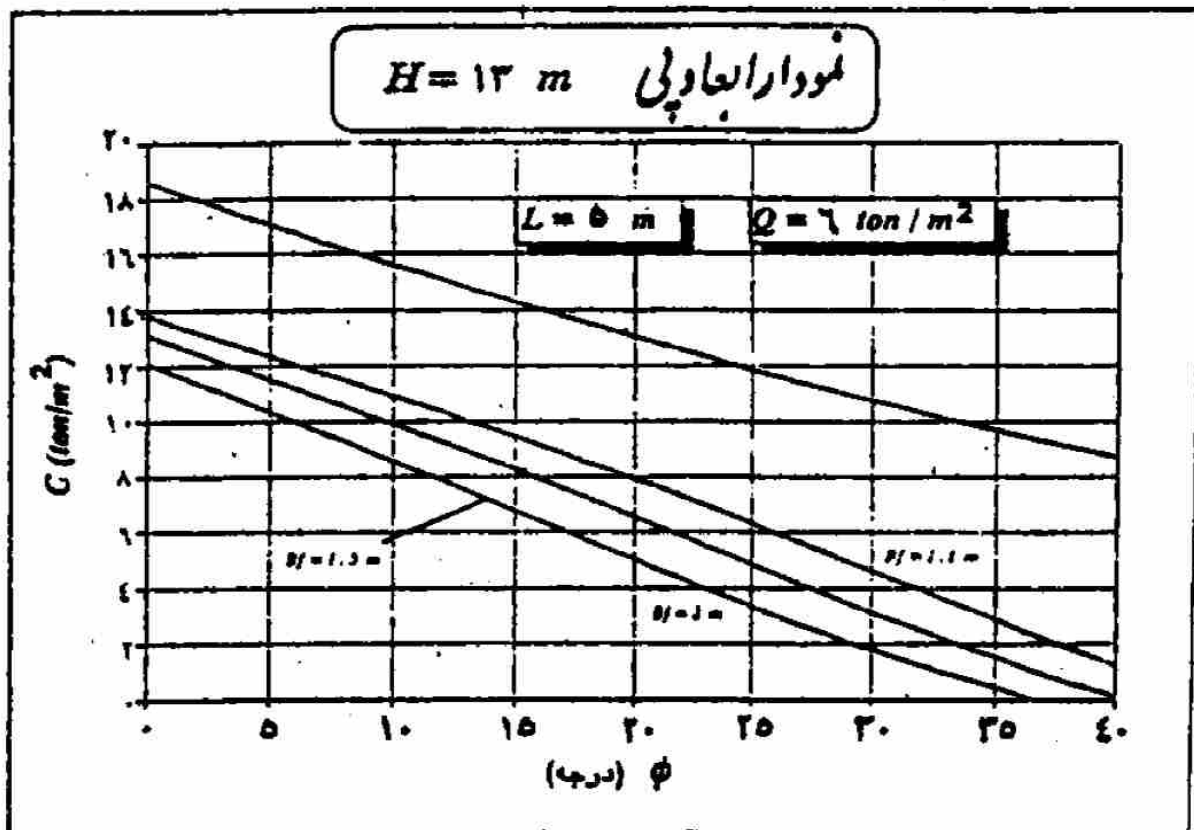
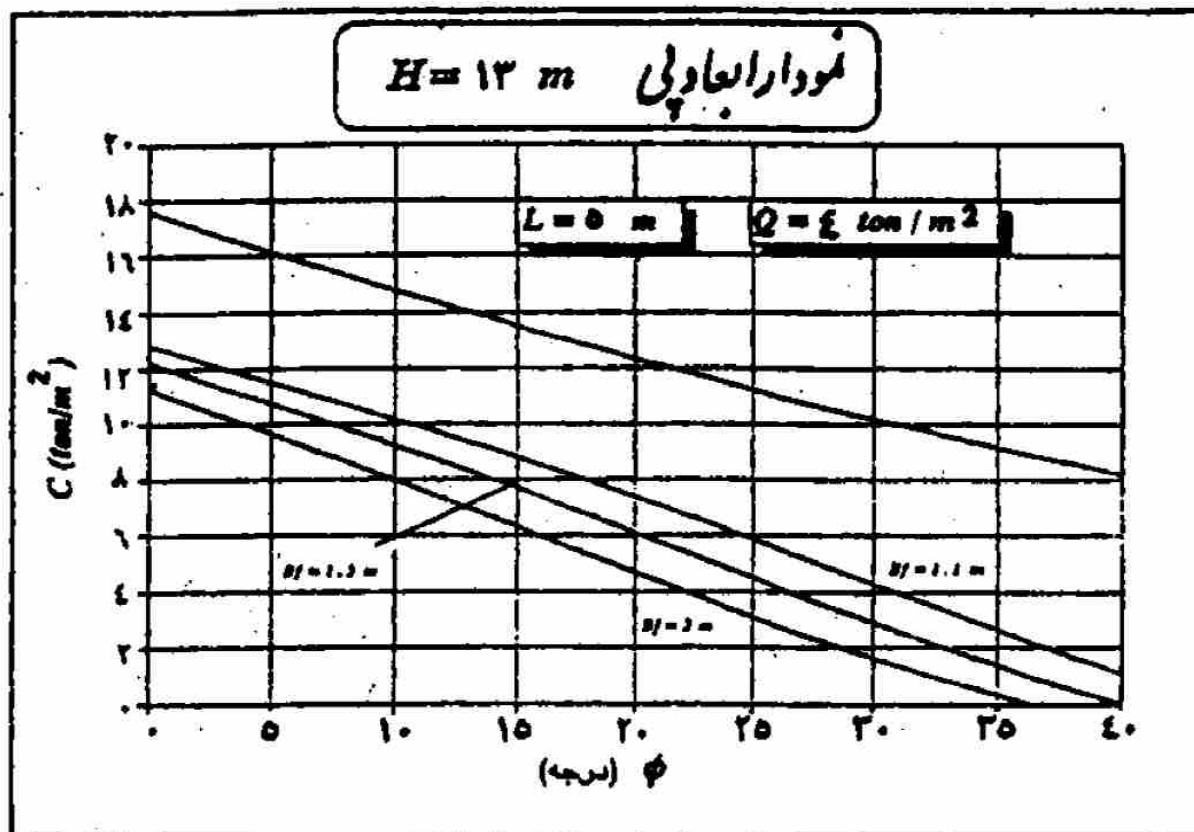


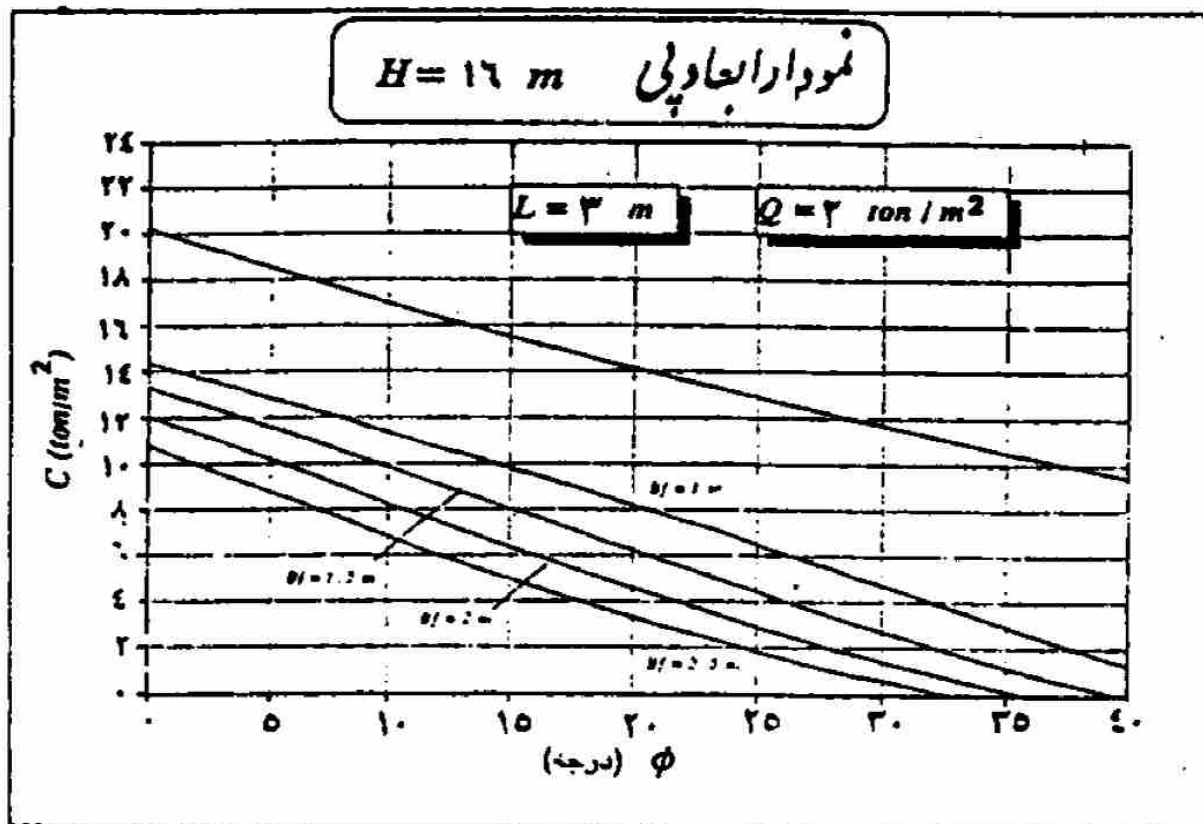
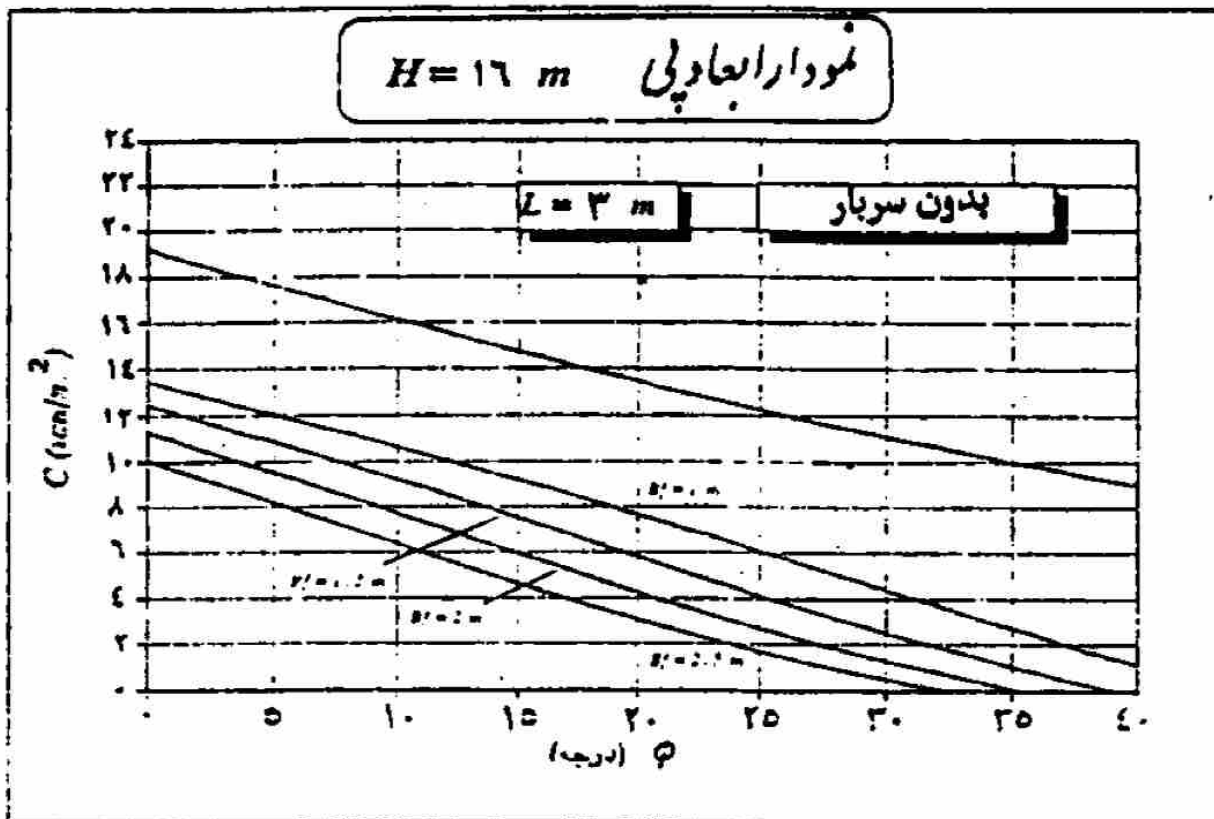


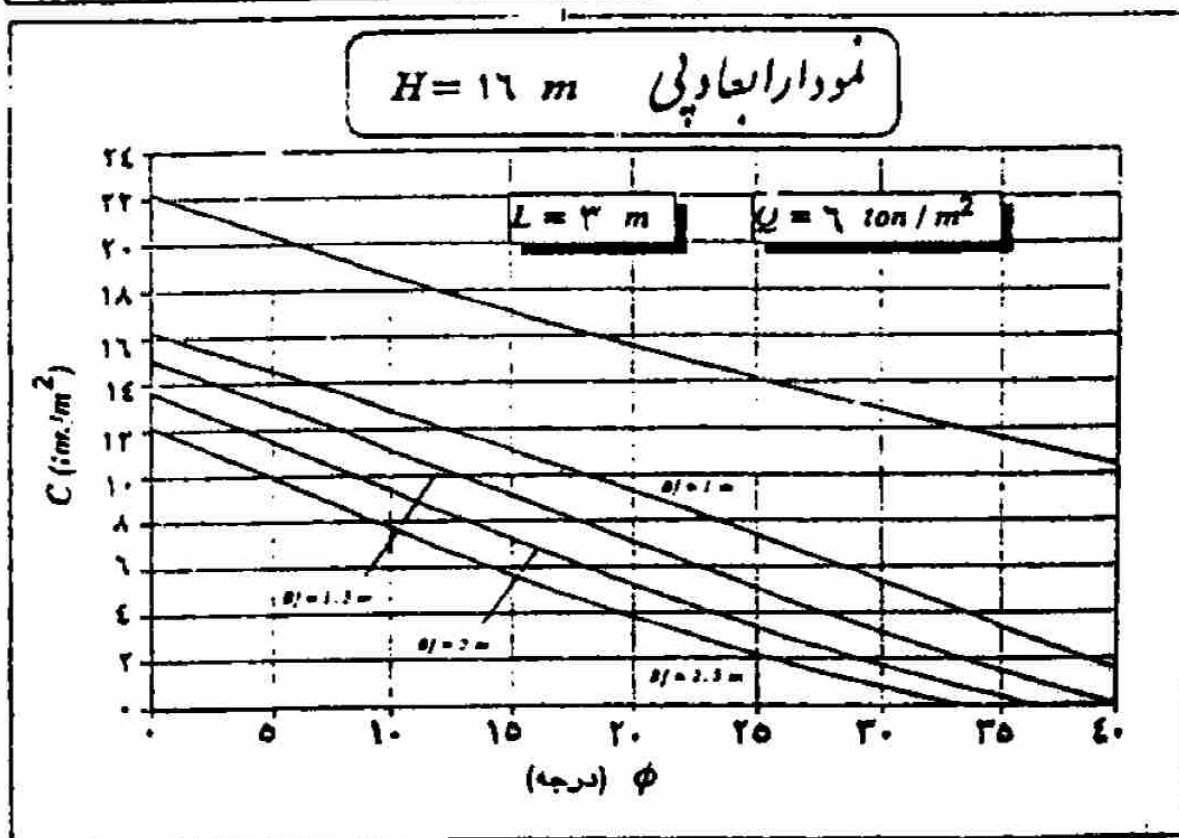
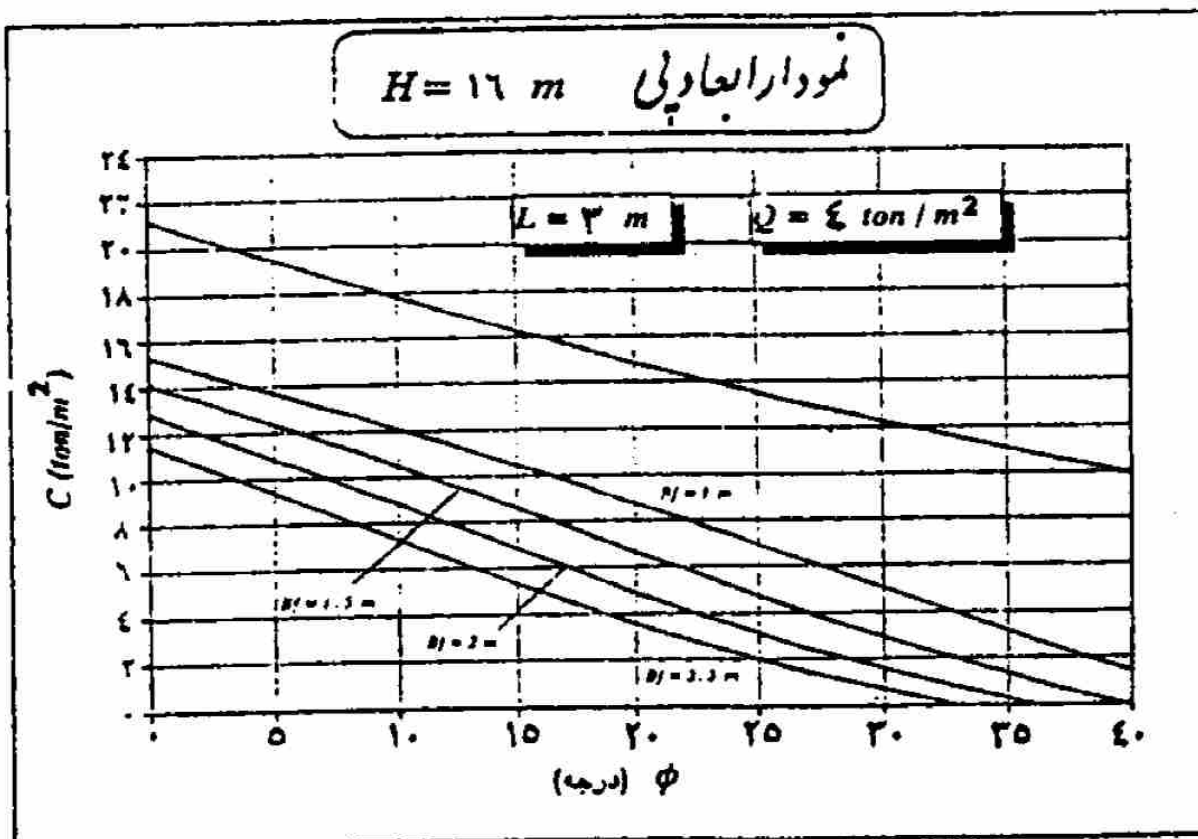


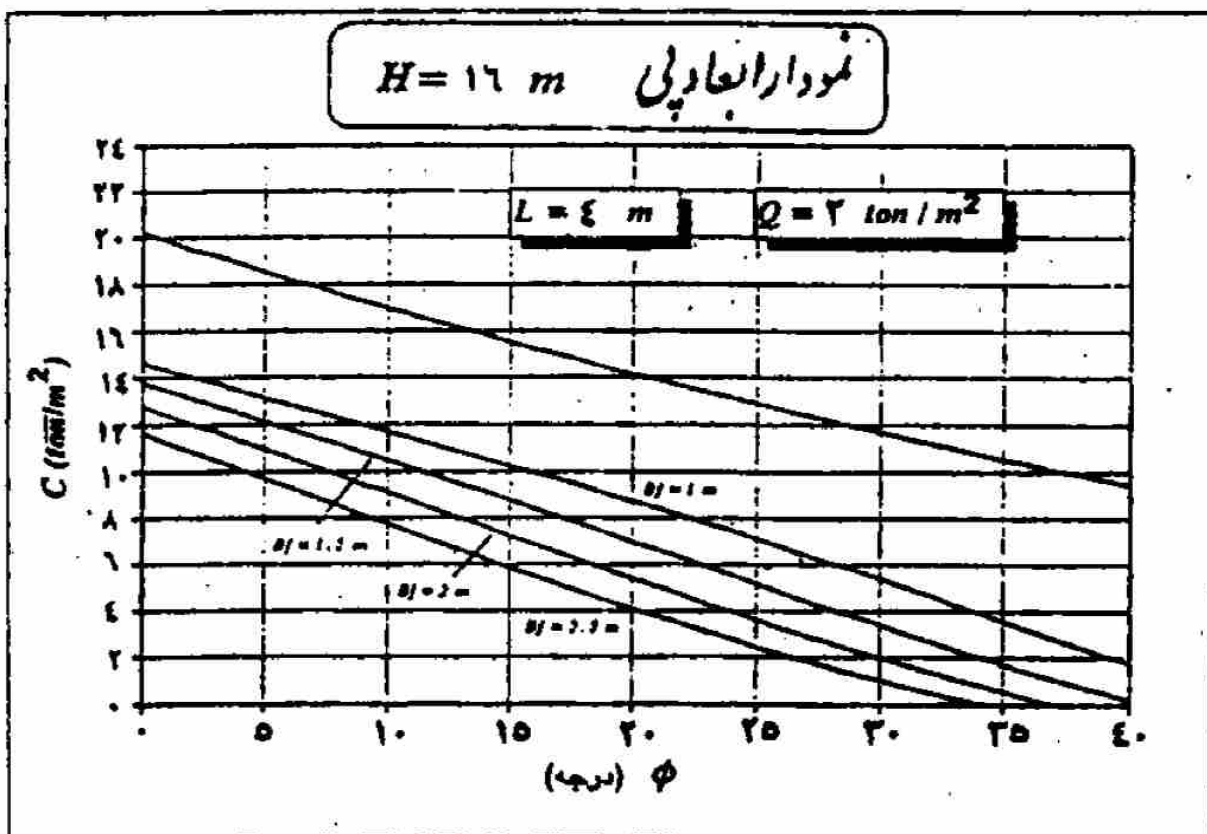
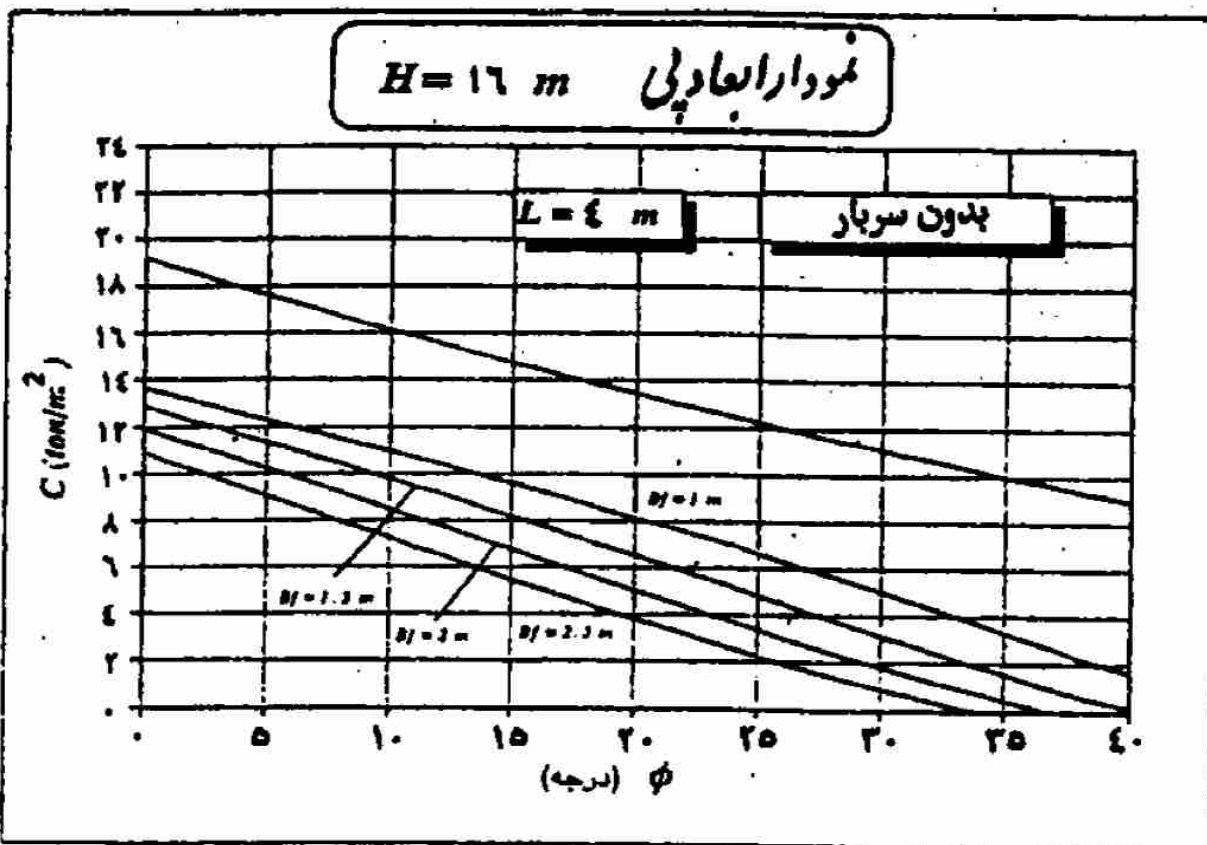


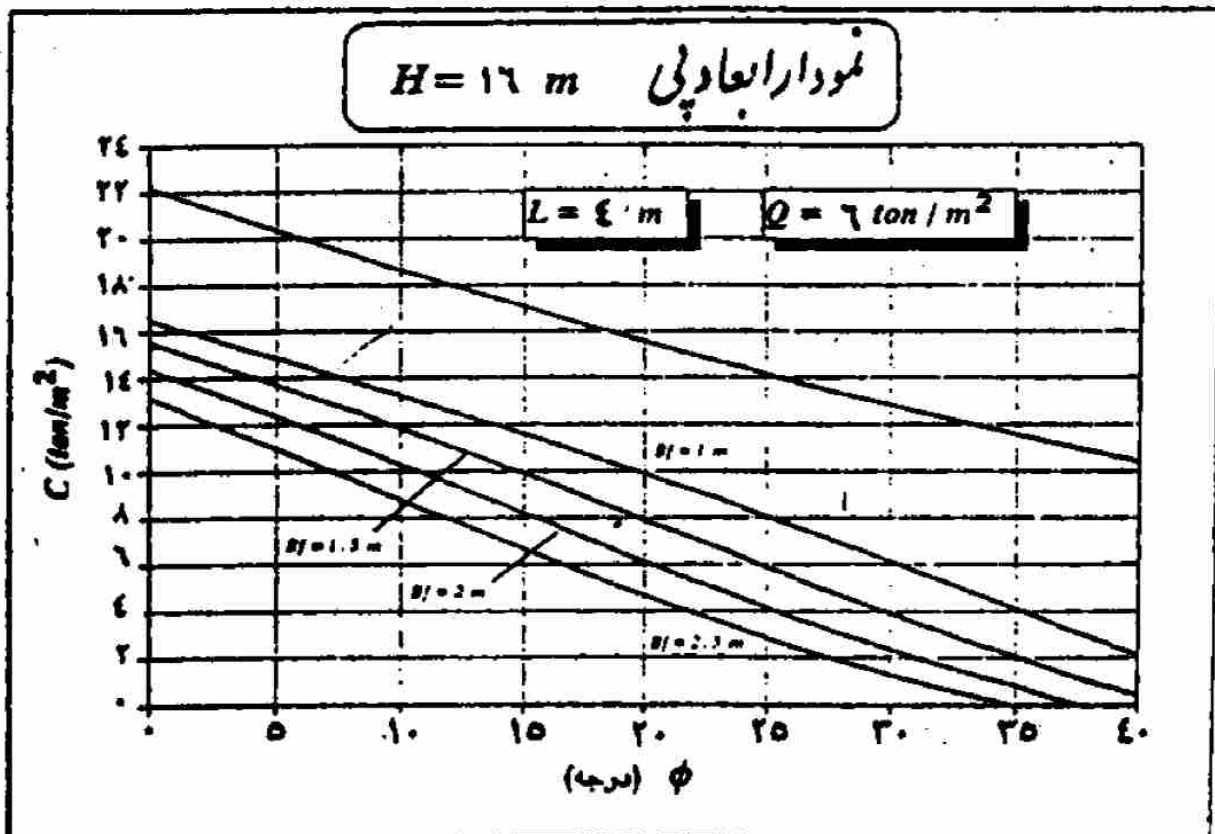
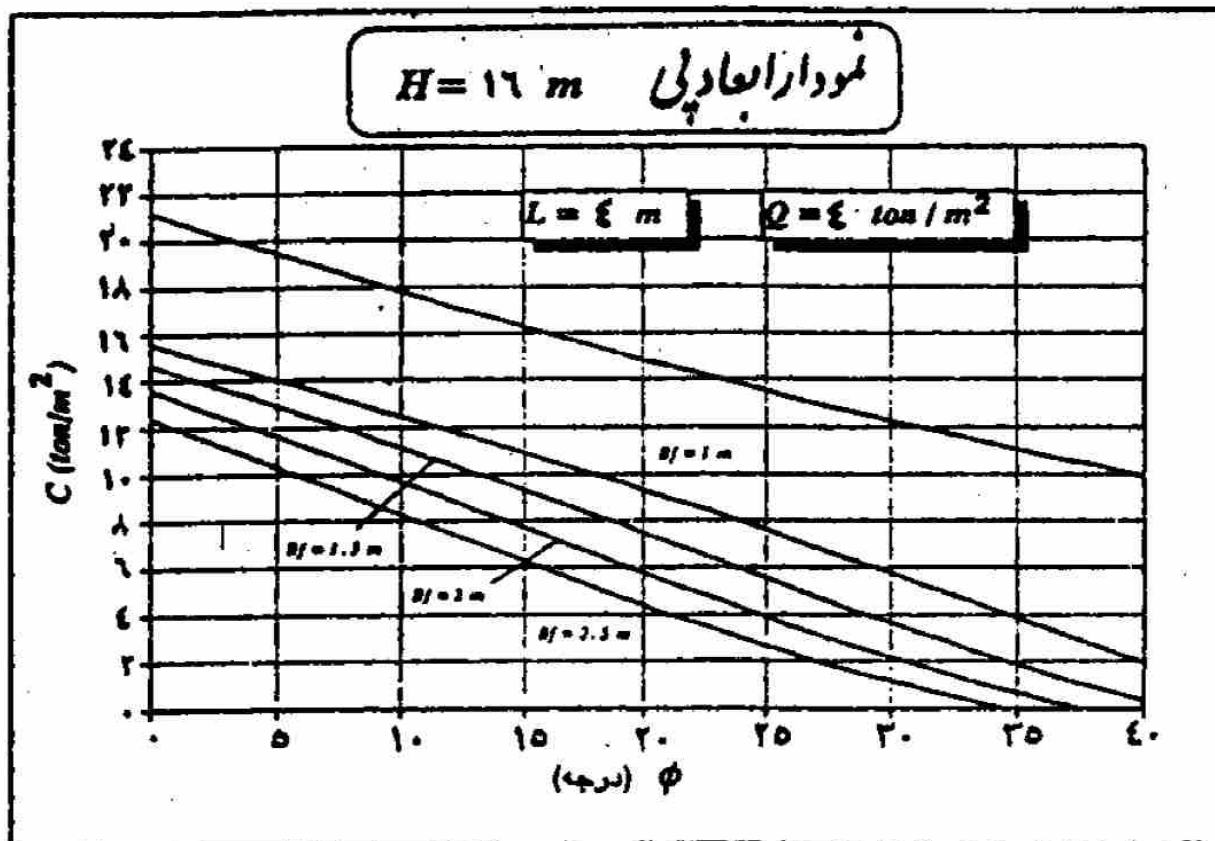


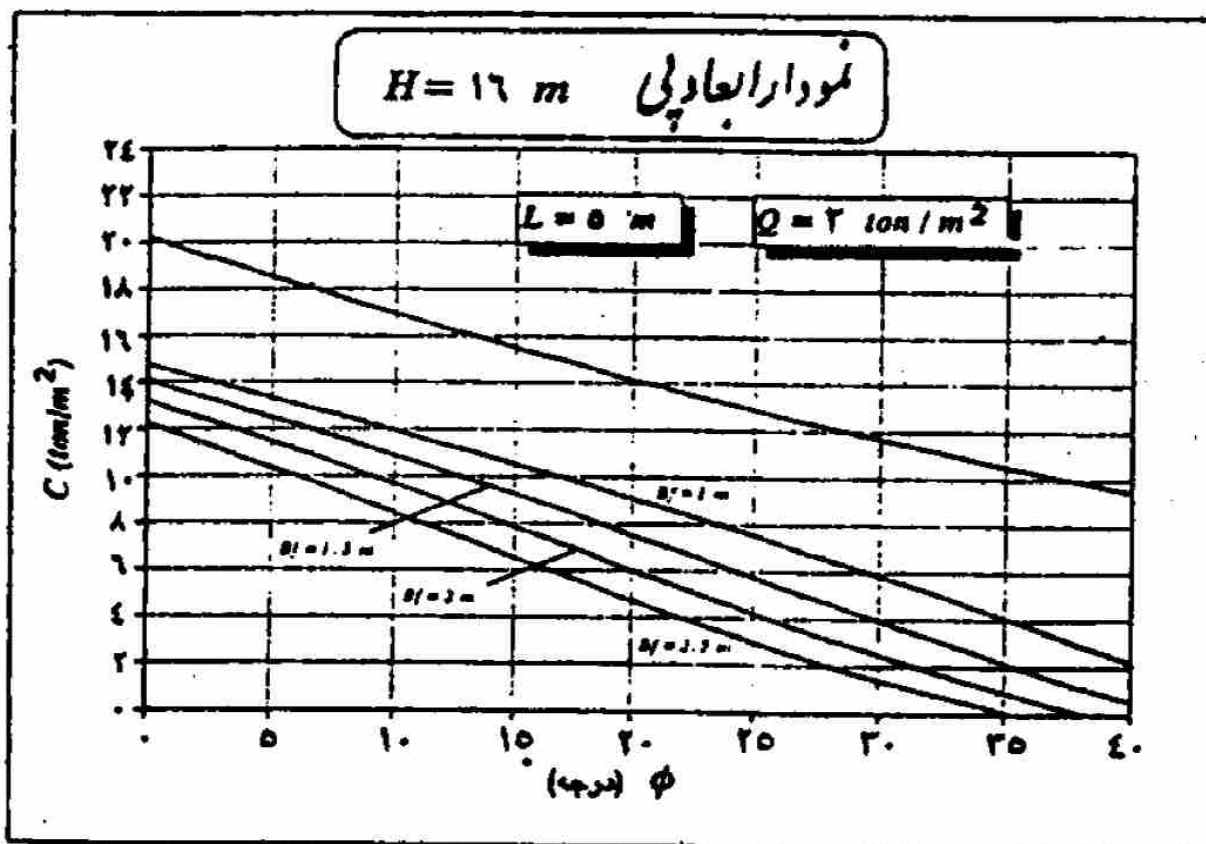
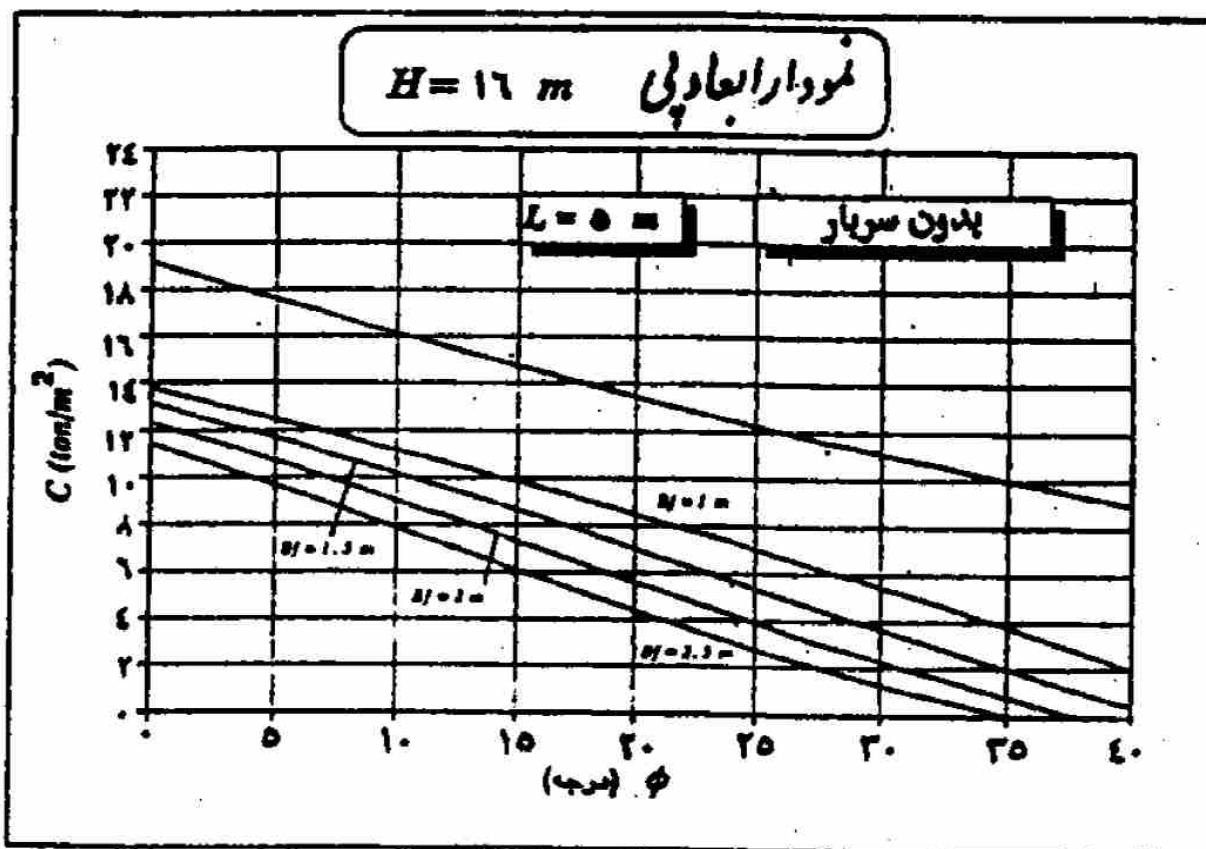


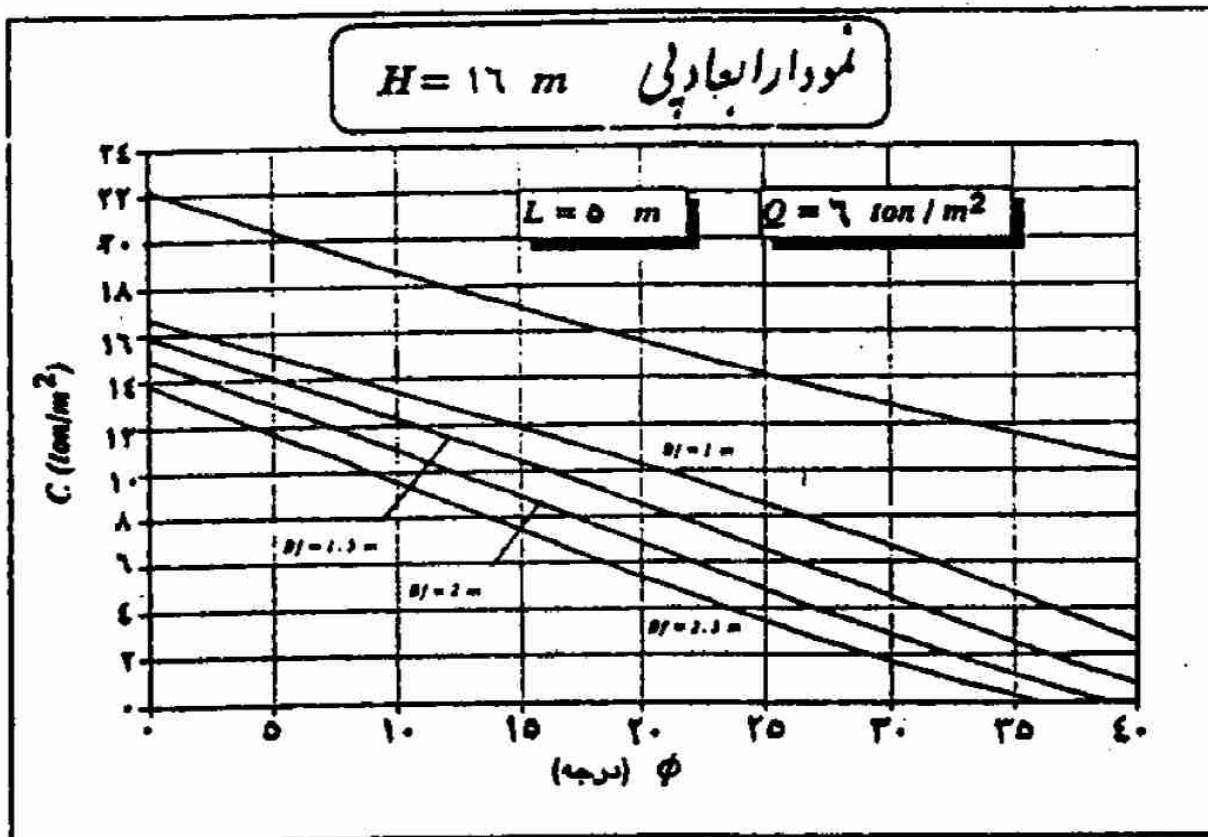
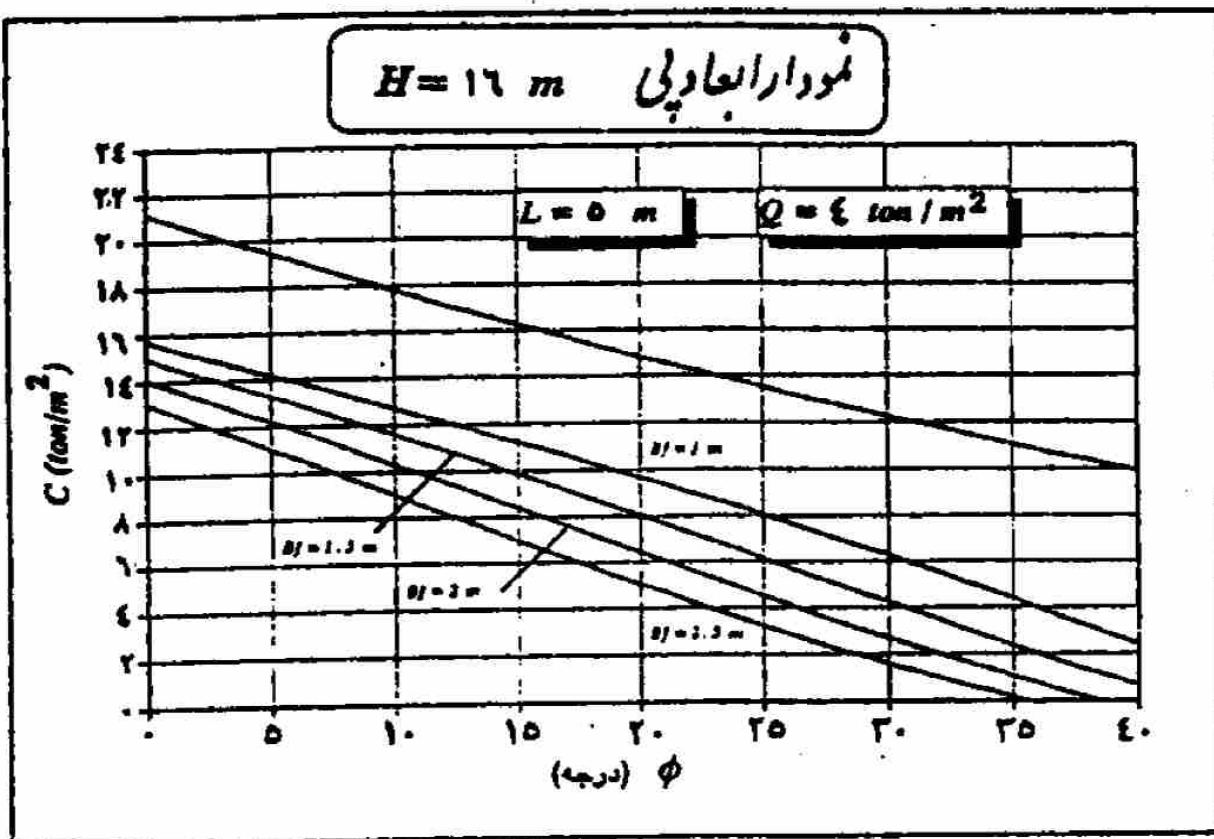




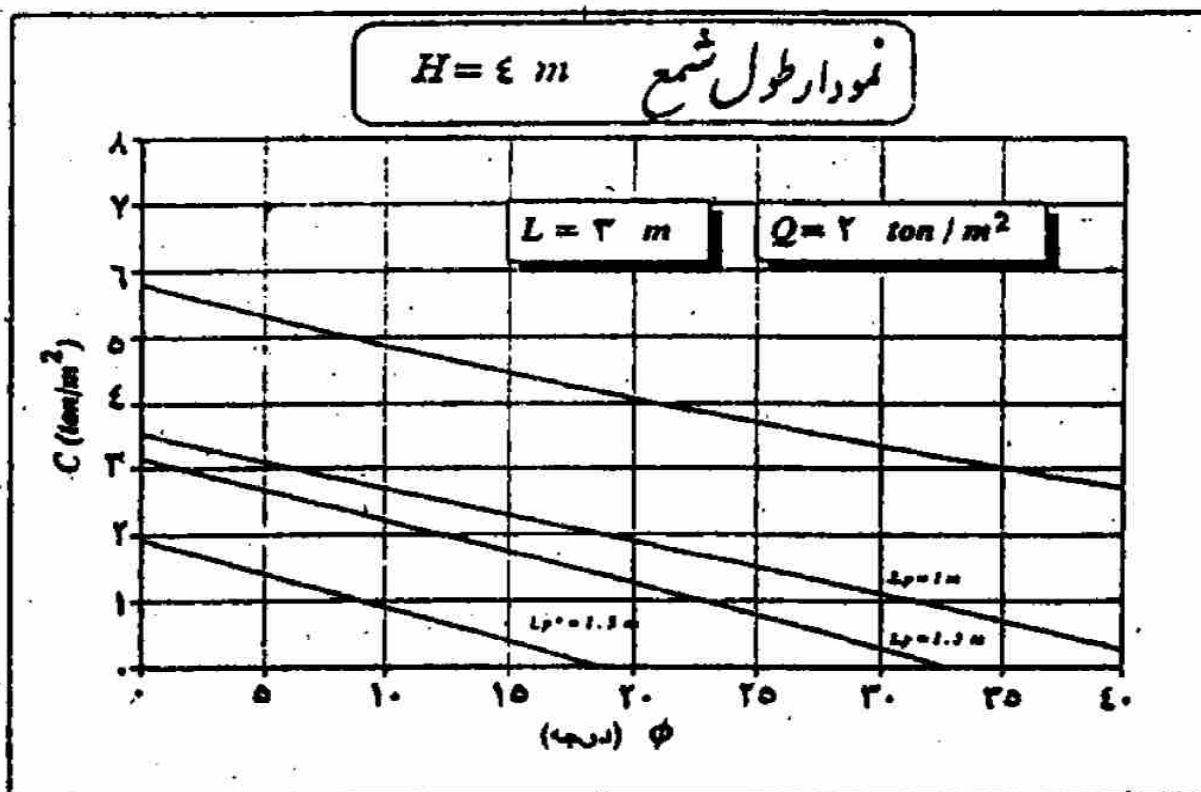
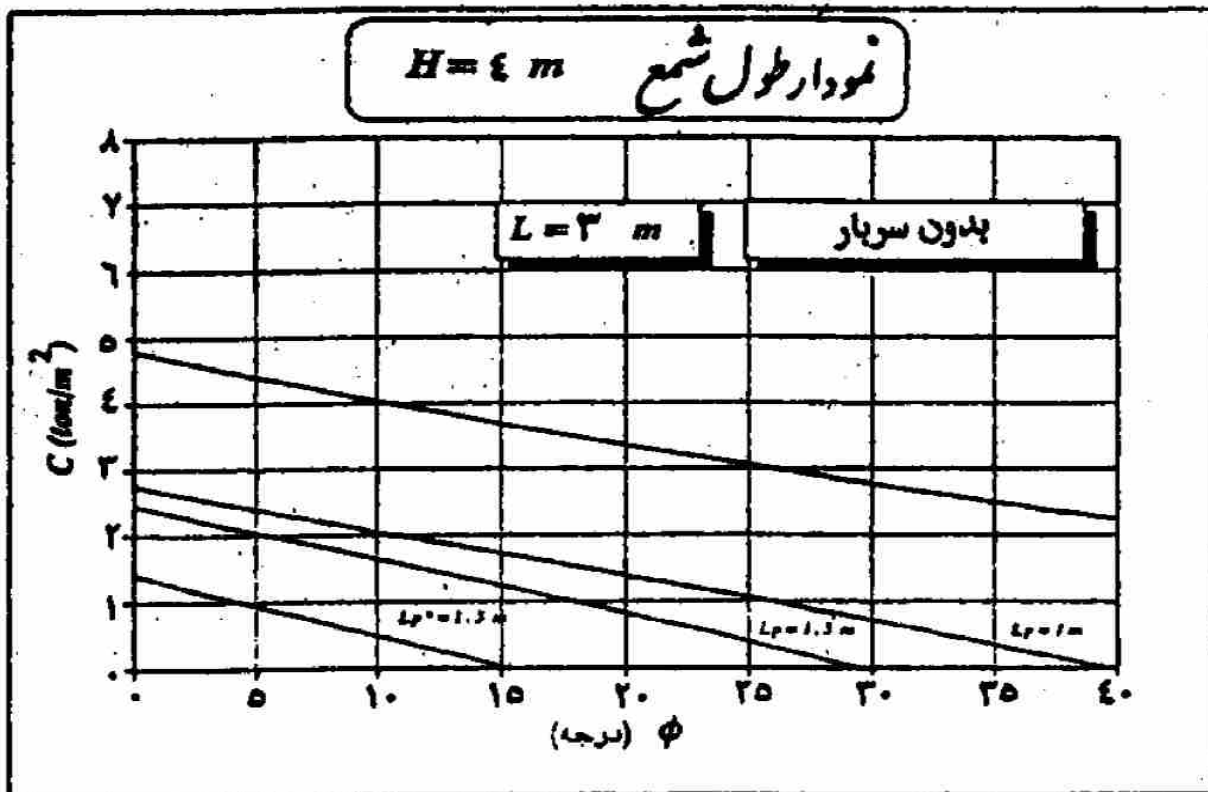


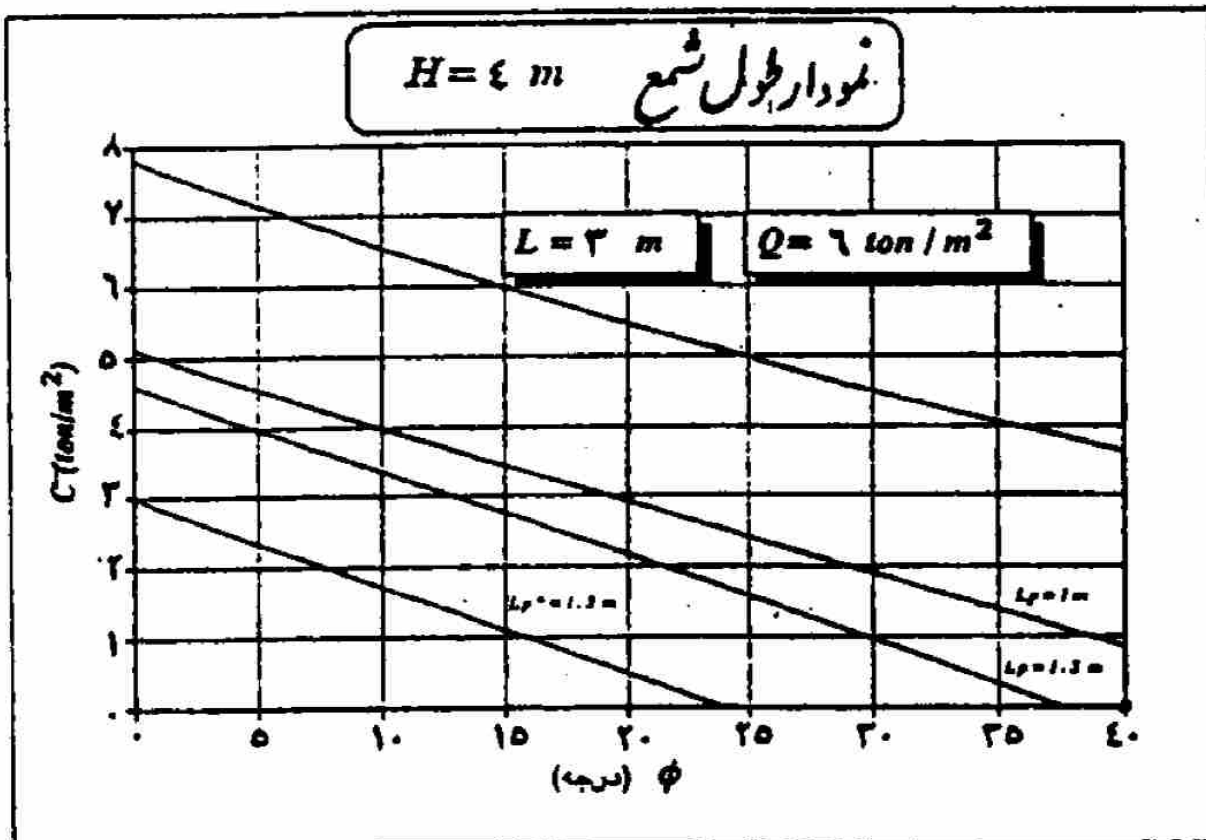
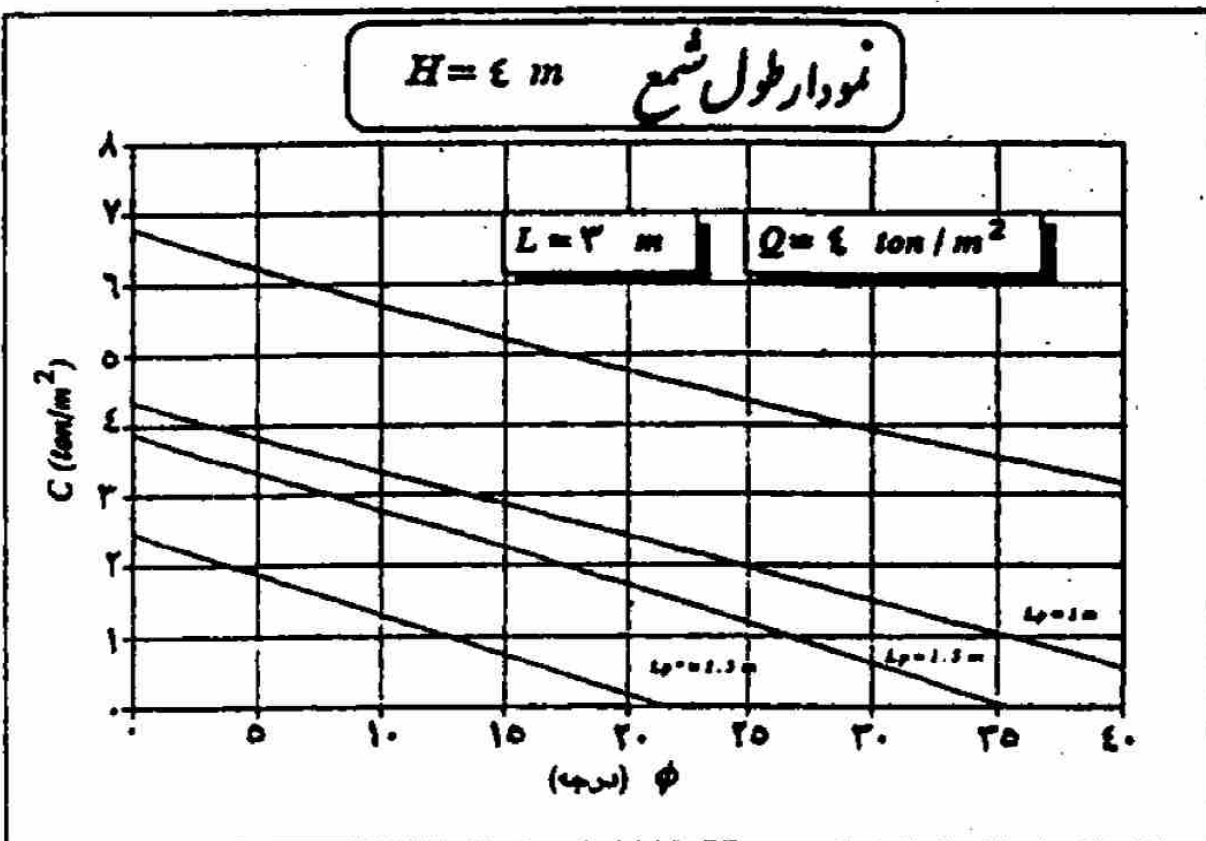


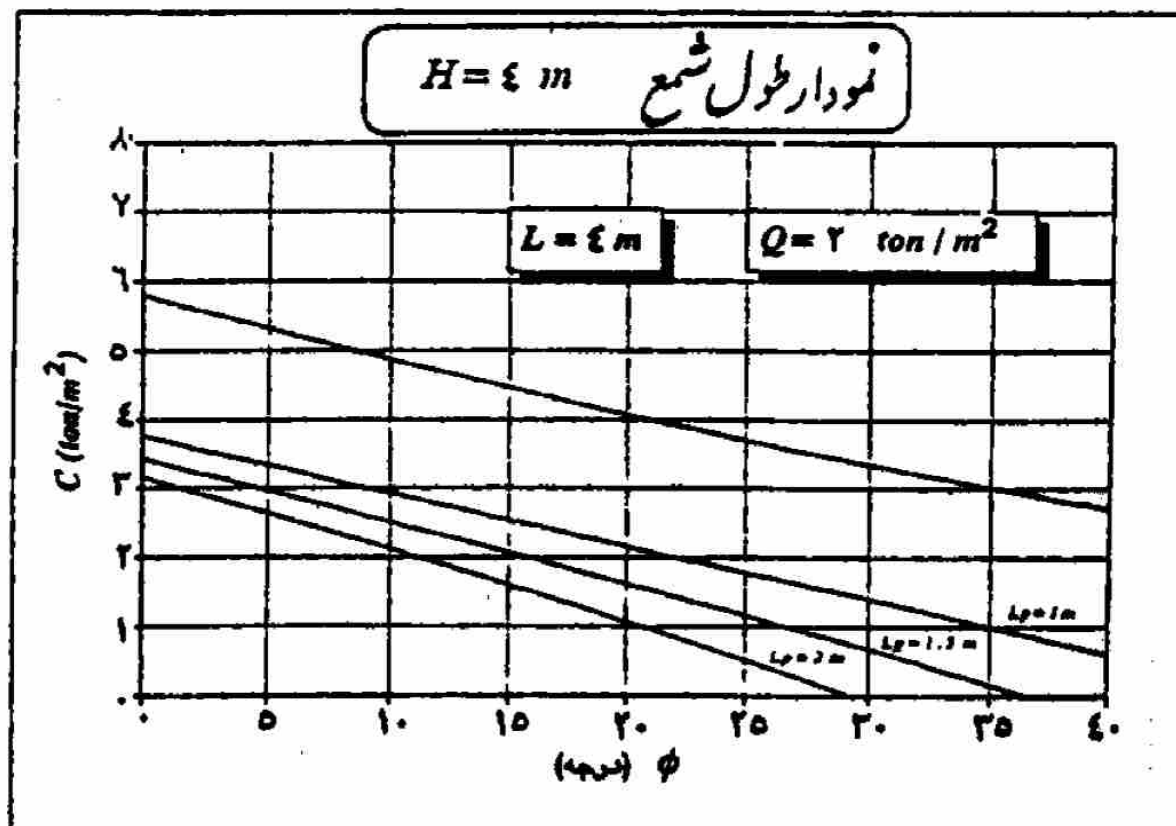
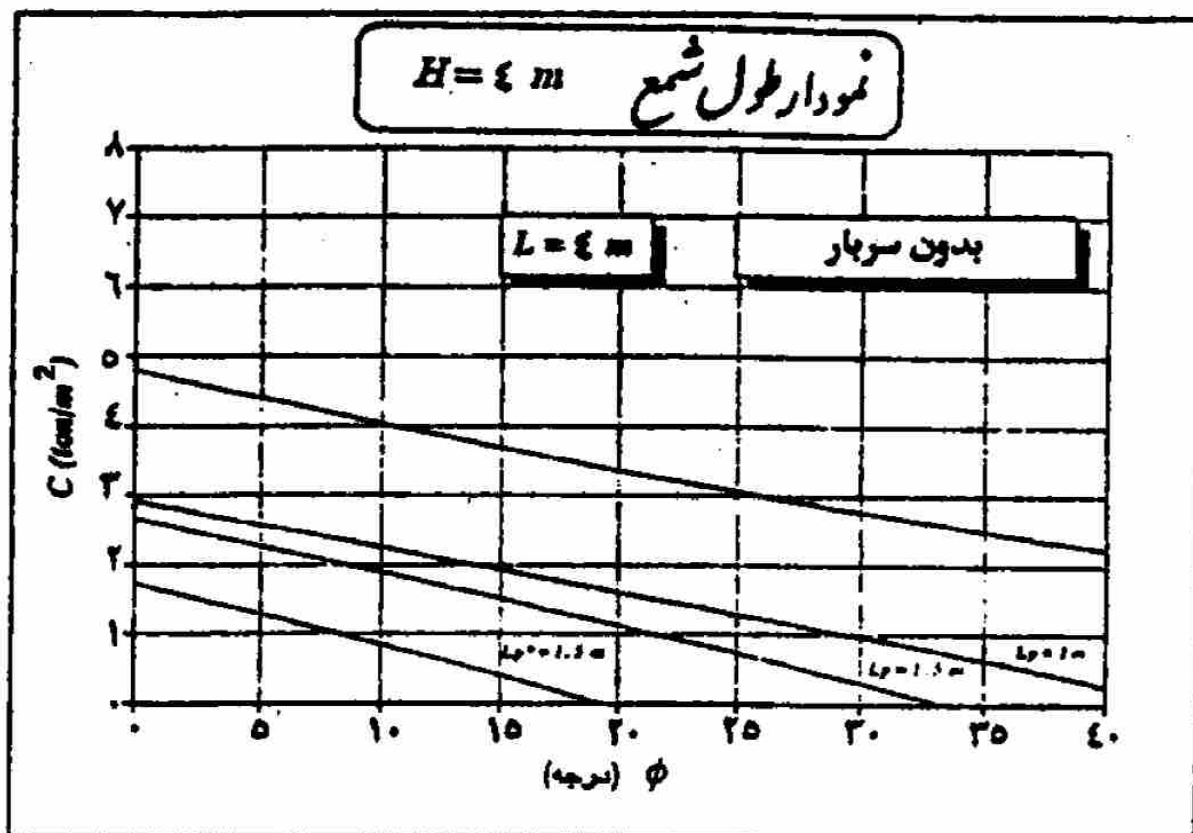


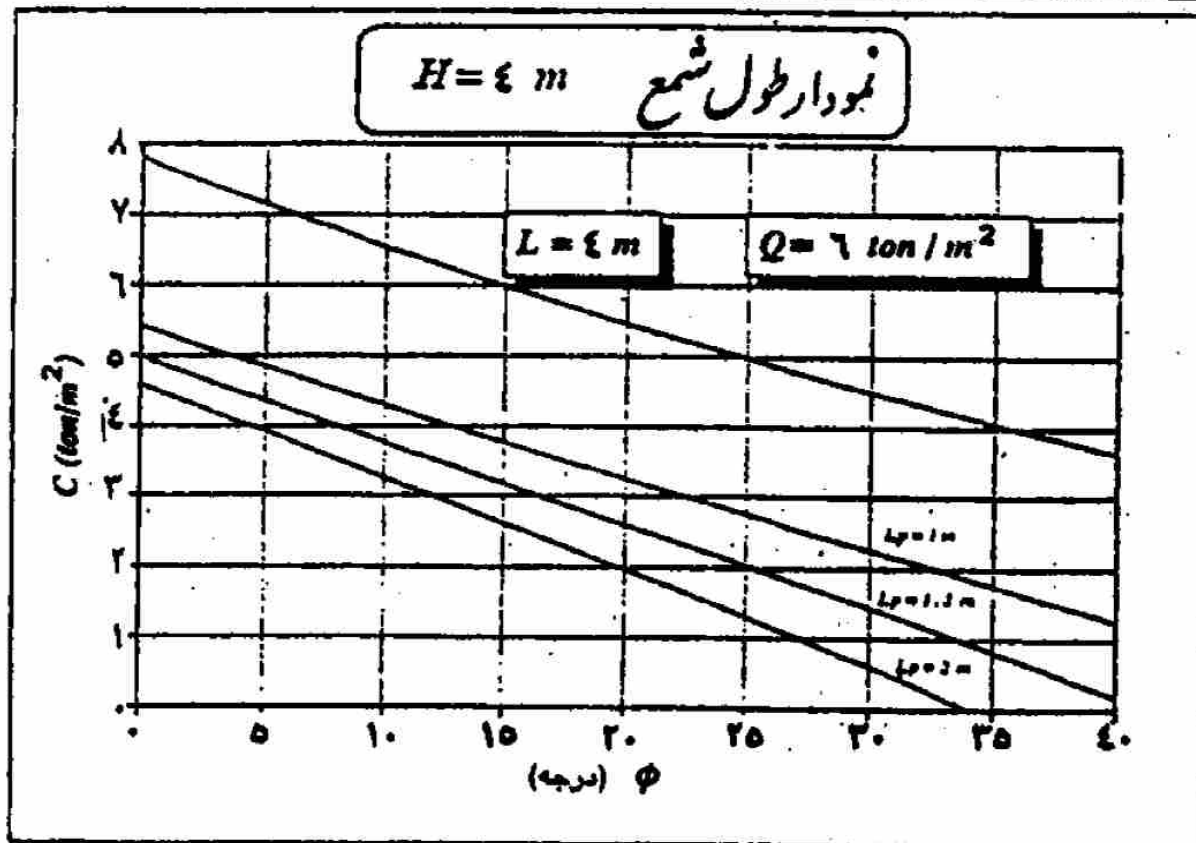
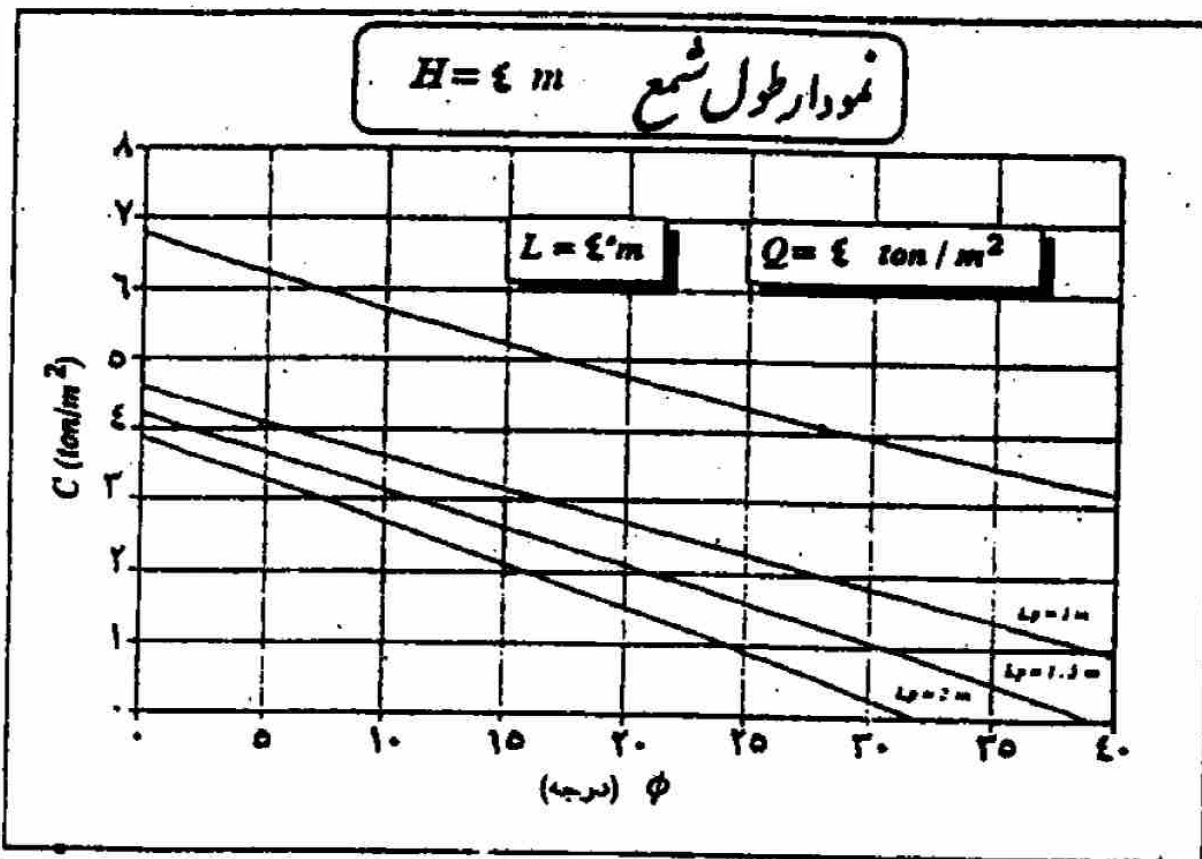


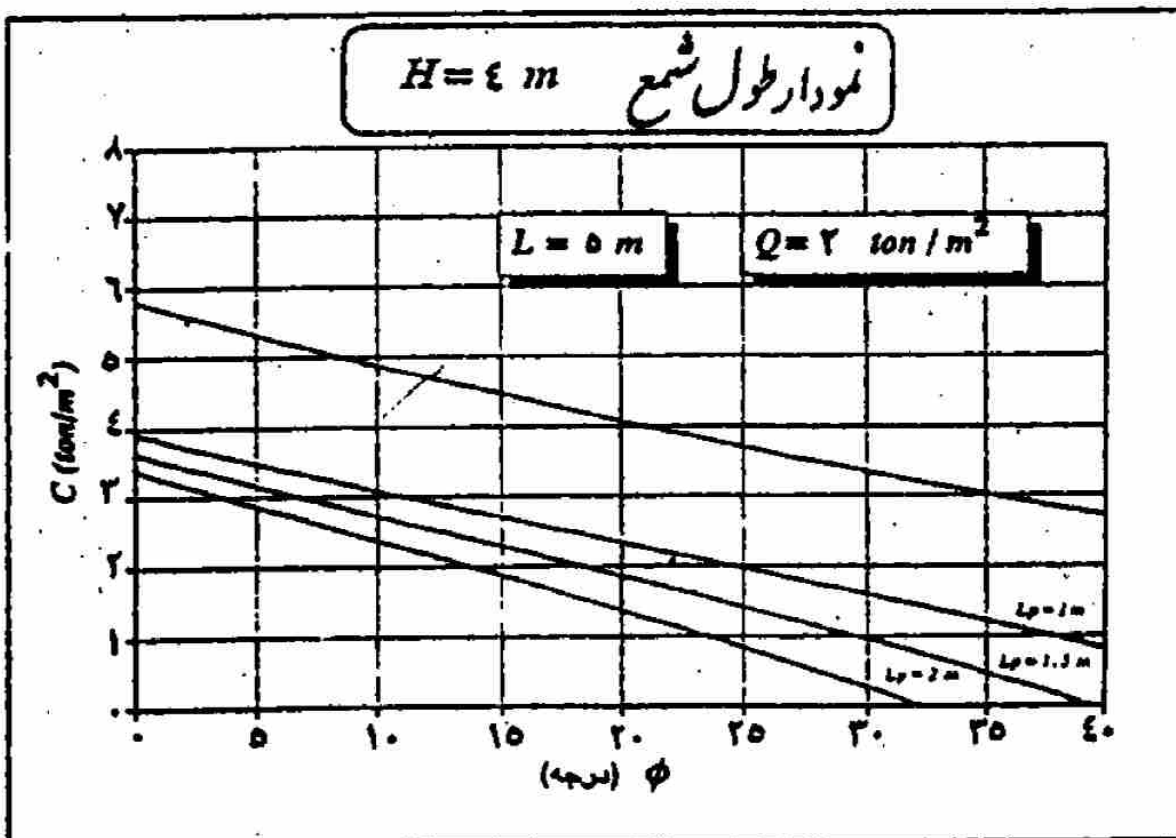
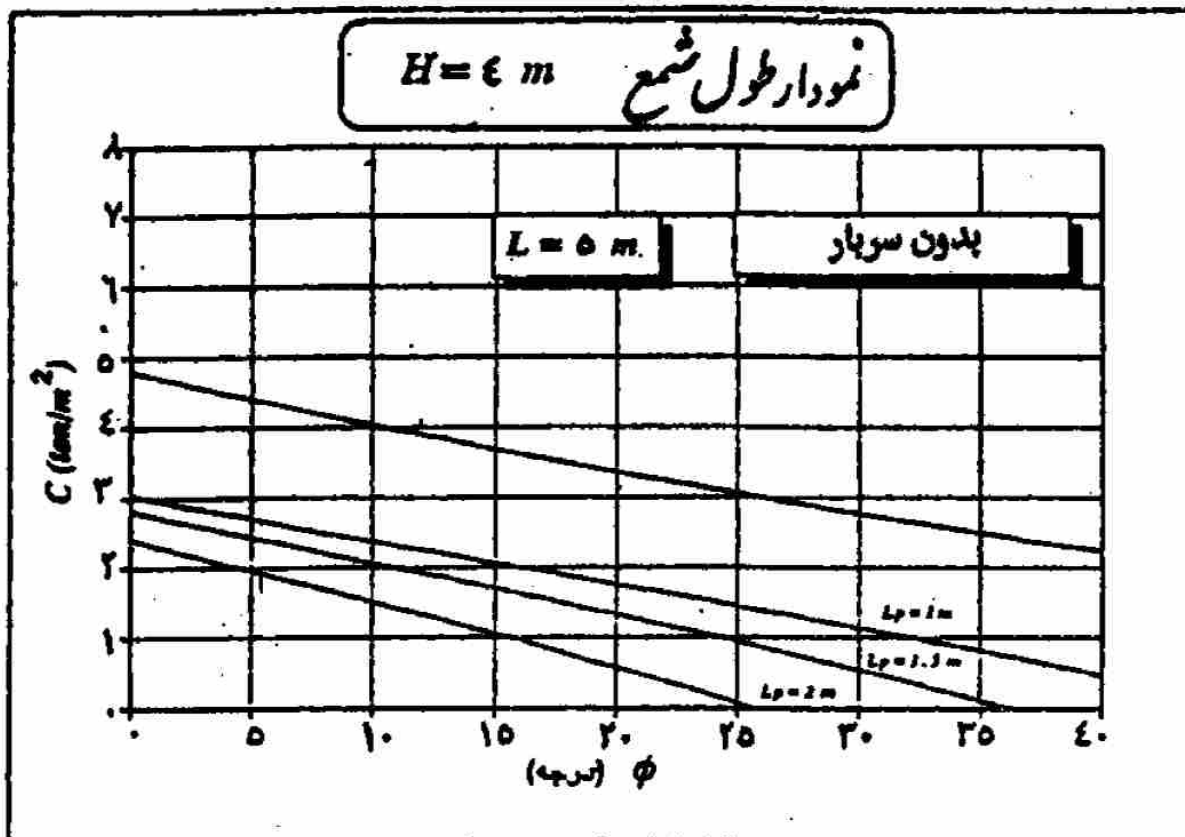
### پیوست ۳ - نمودارهای تعیین طول شمع

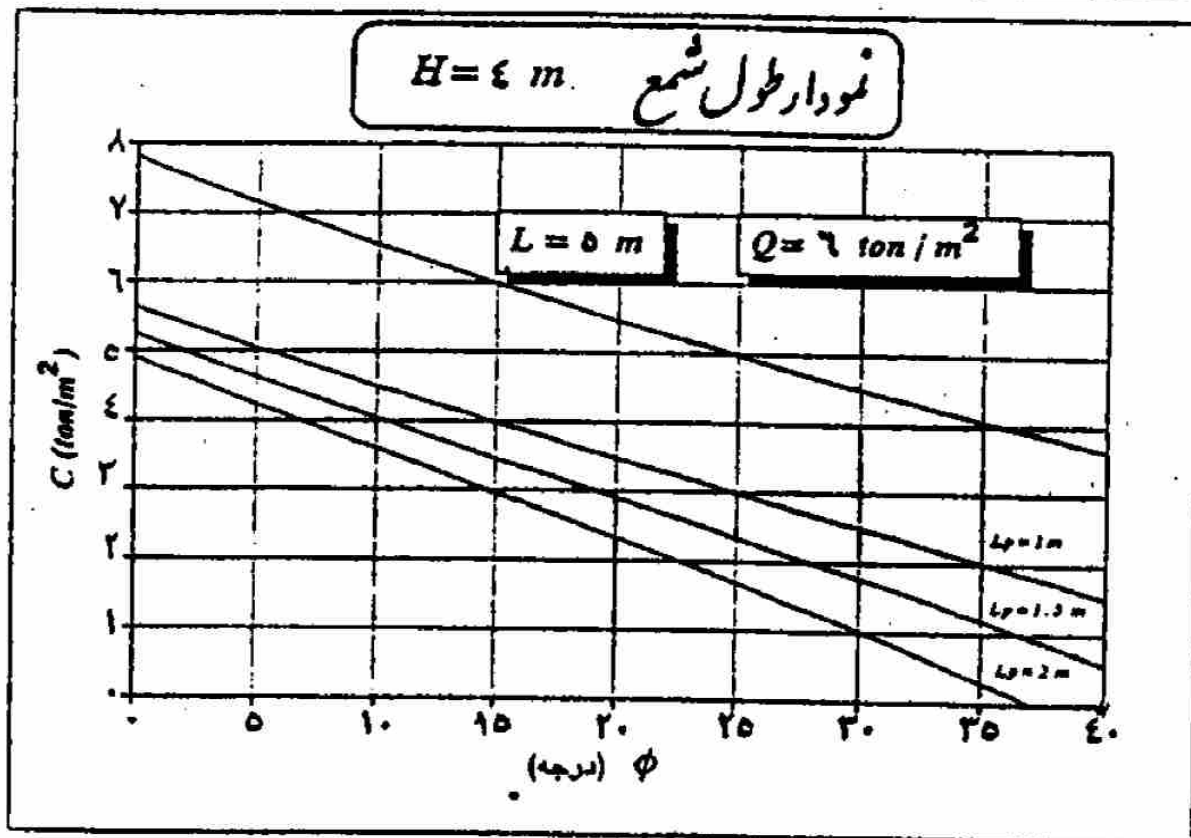
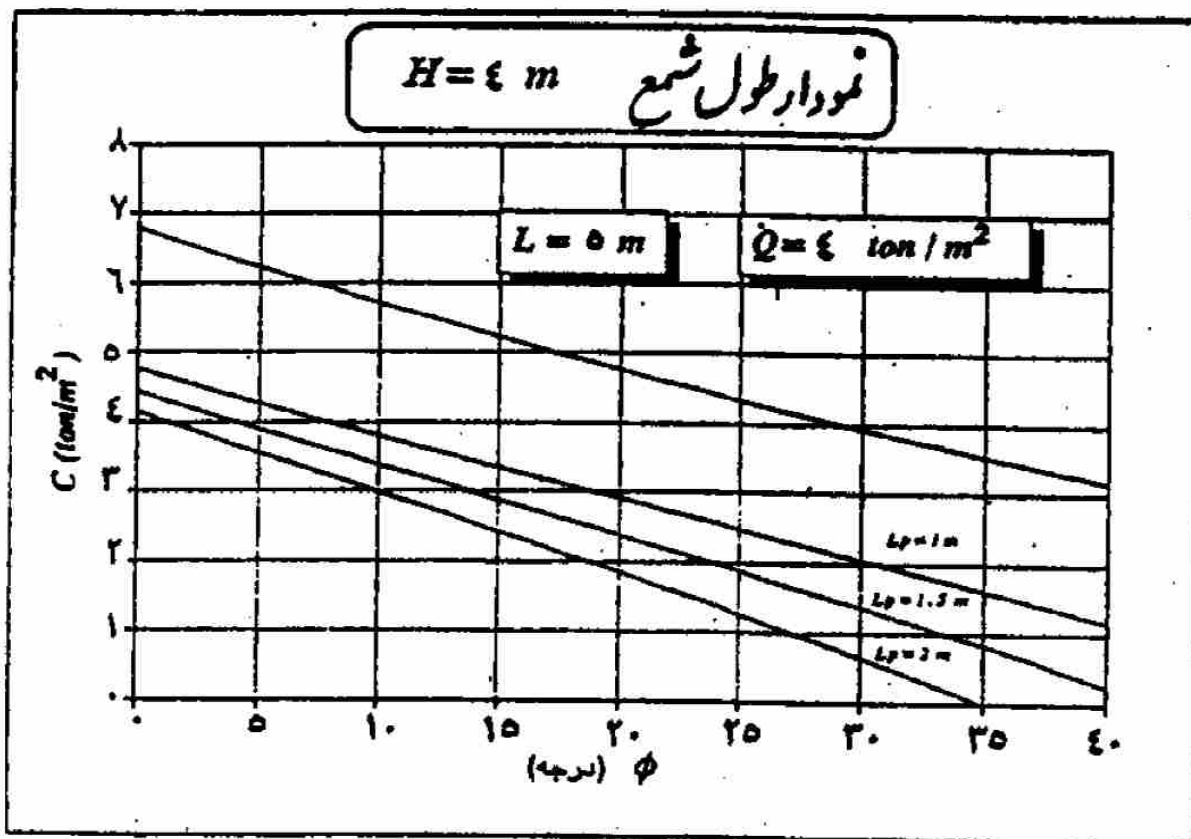


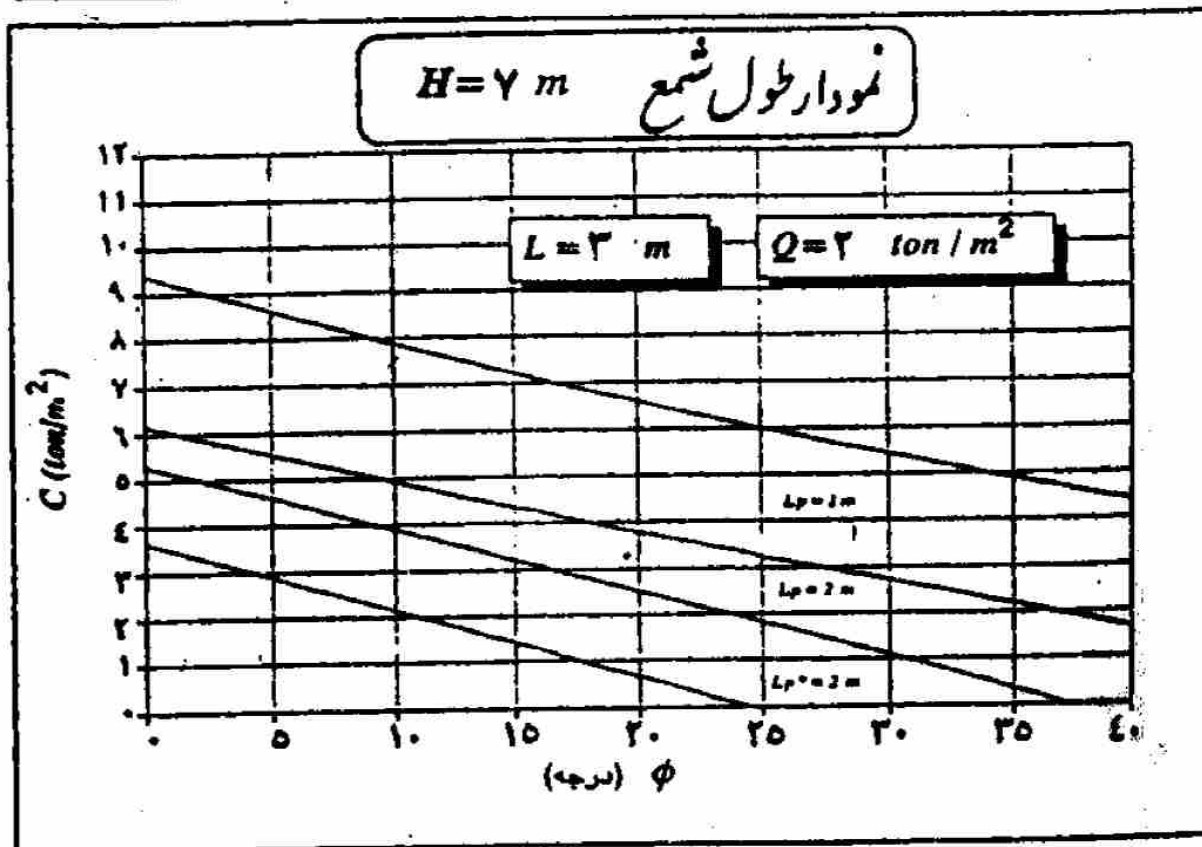
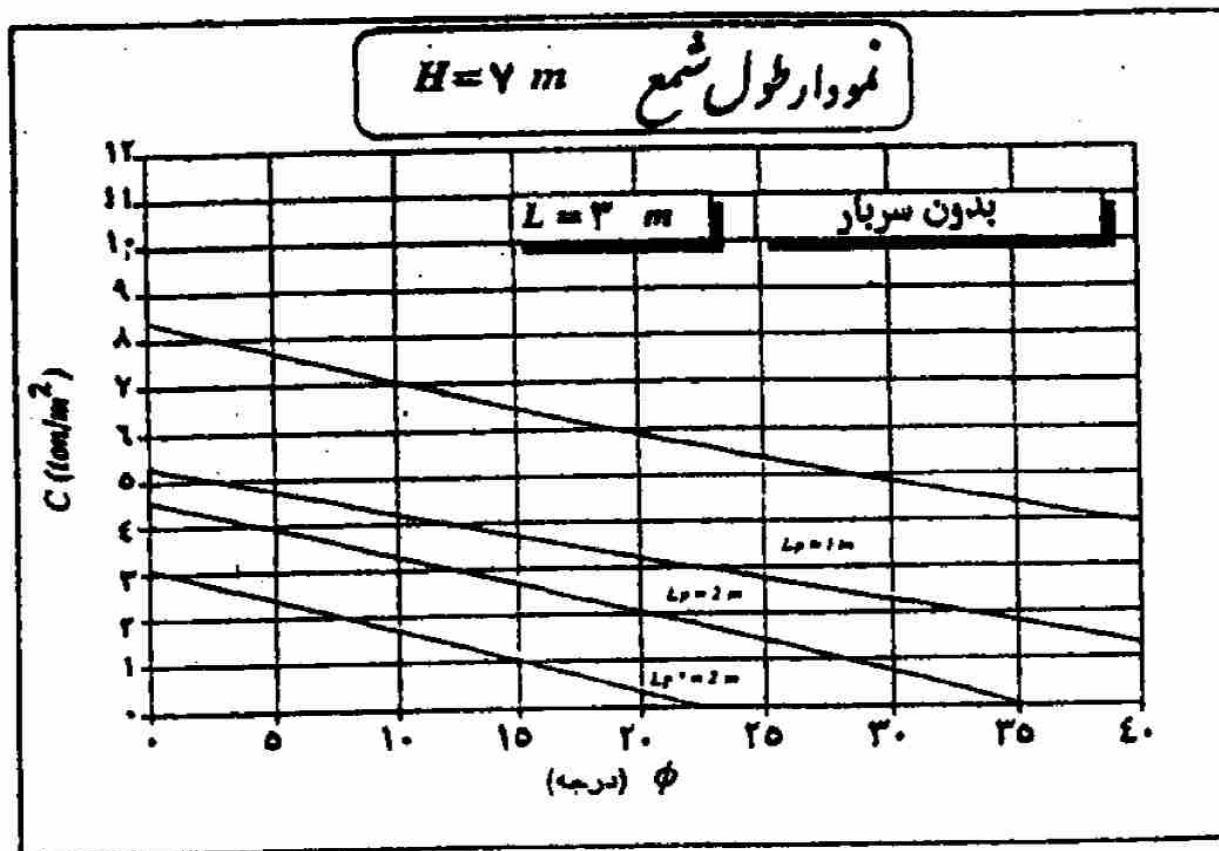


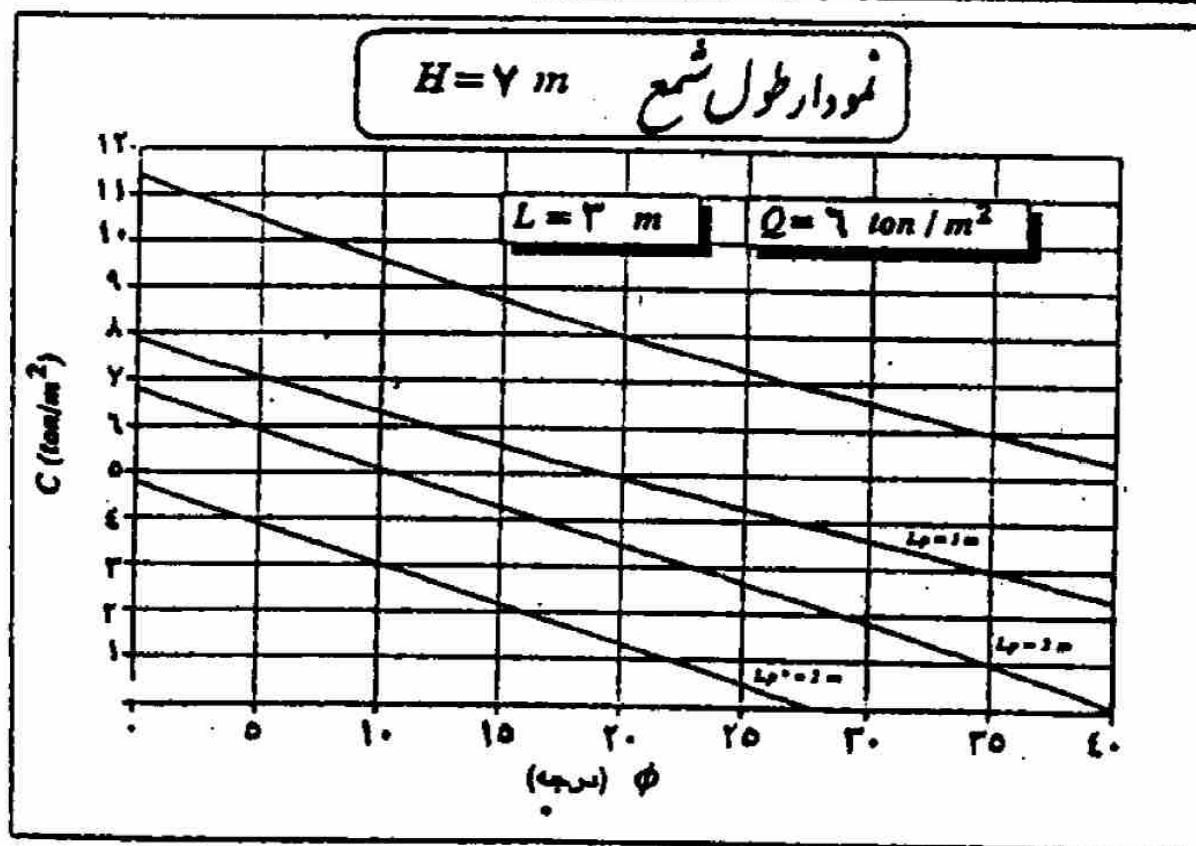
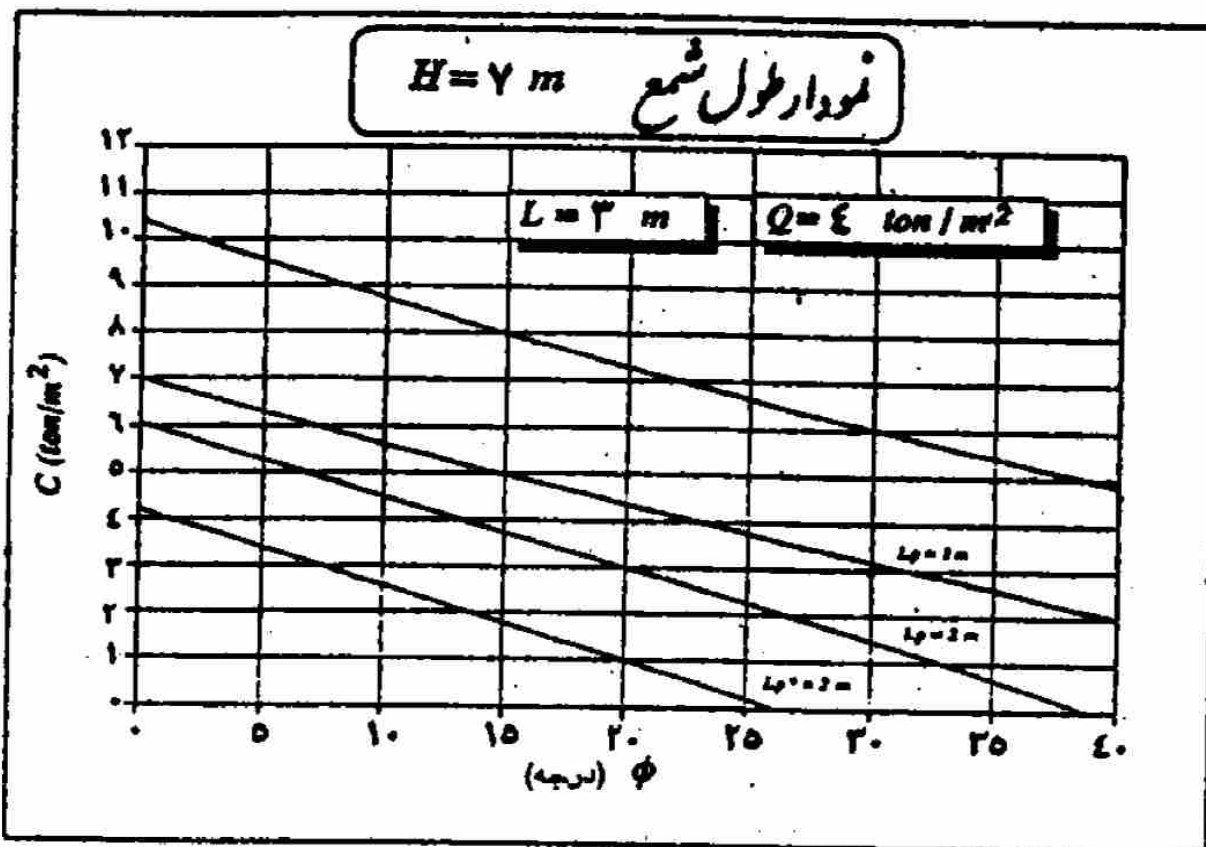


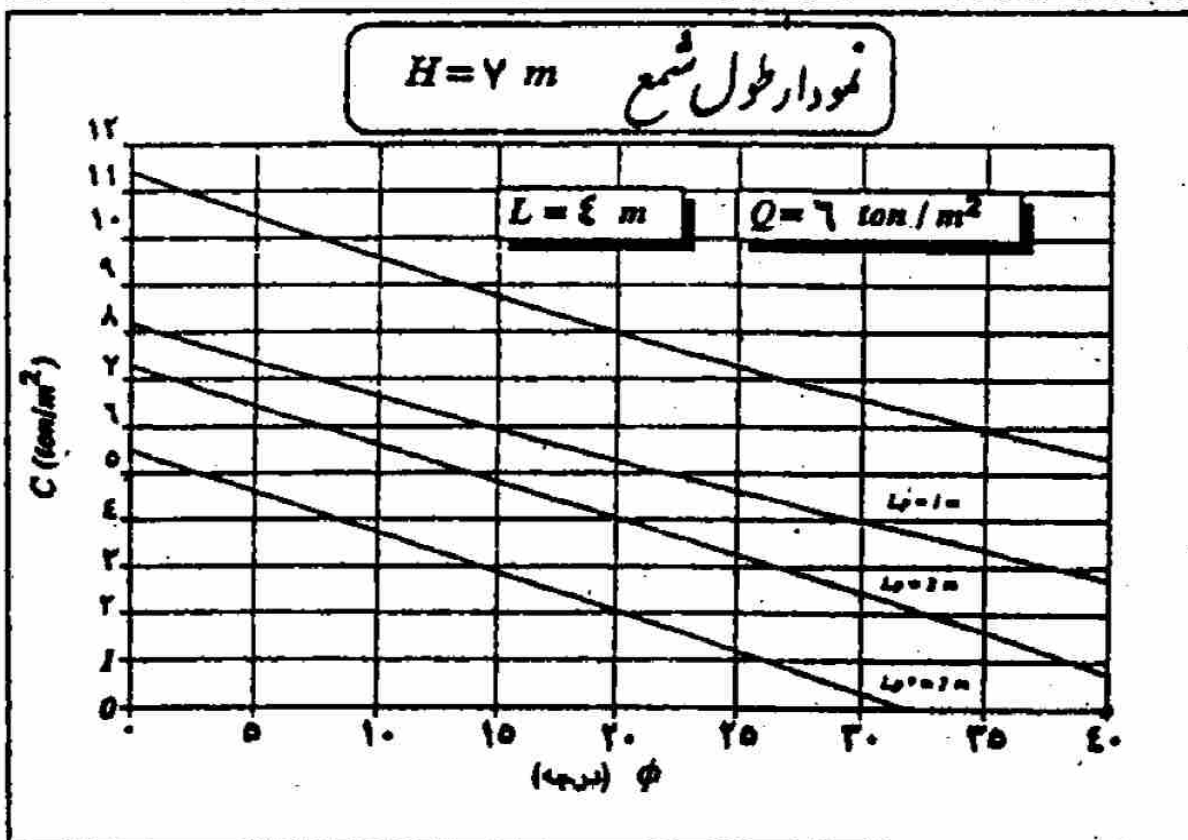
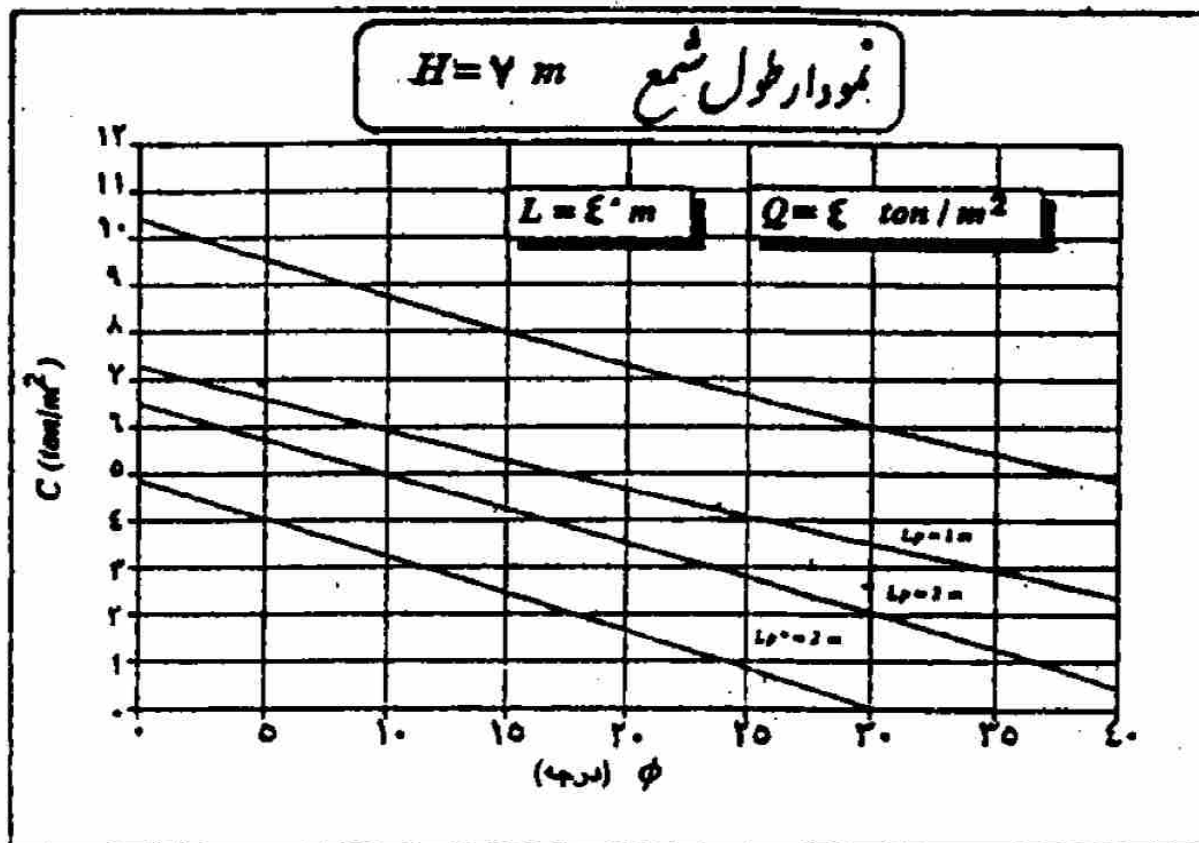


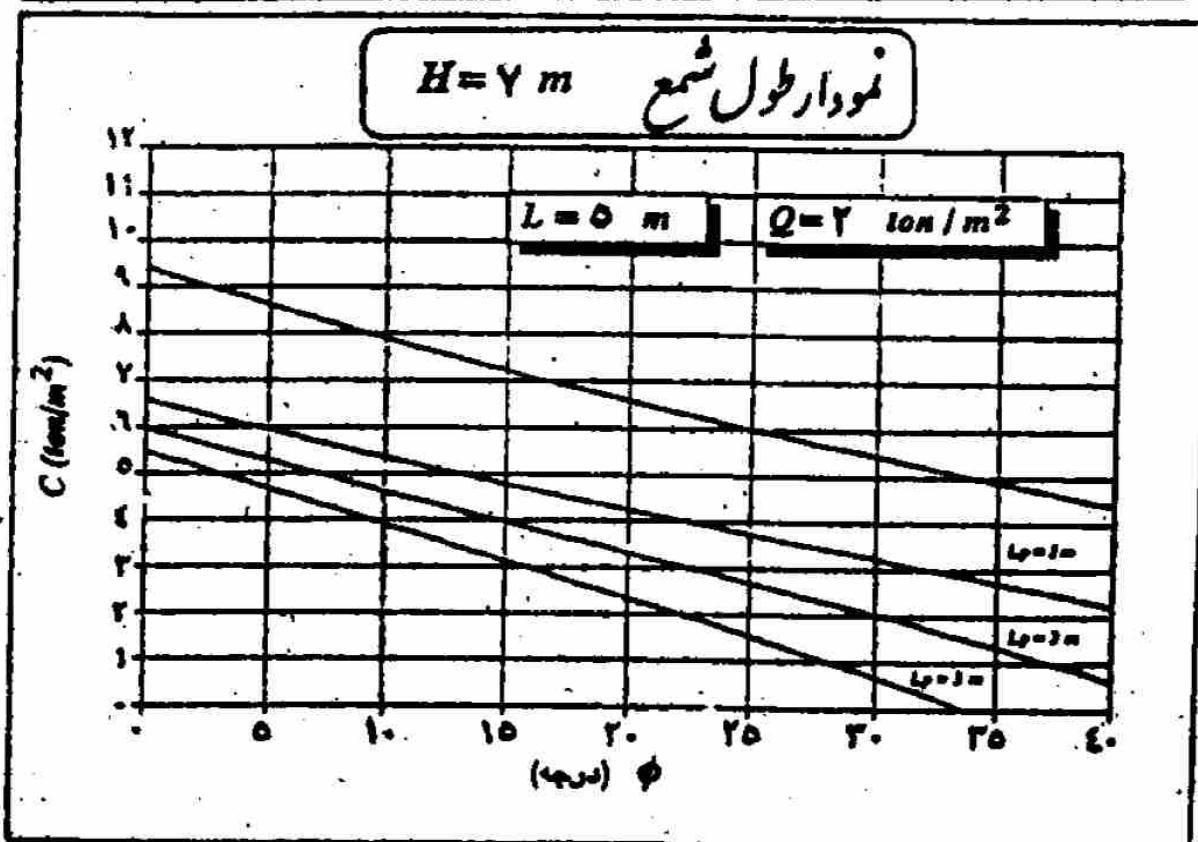
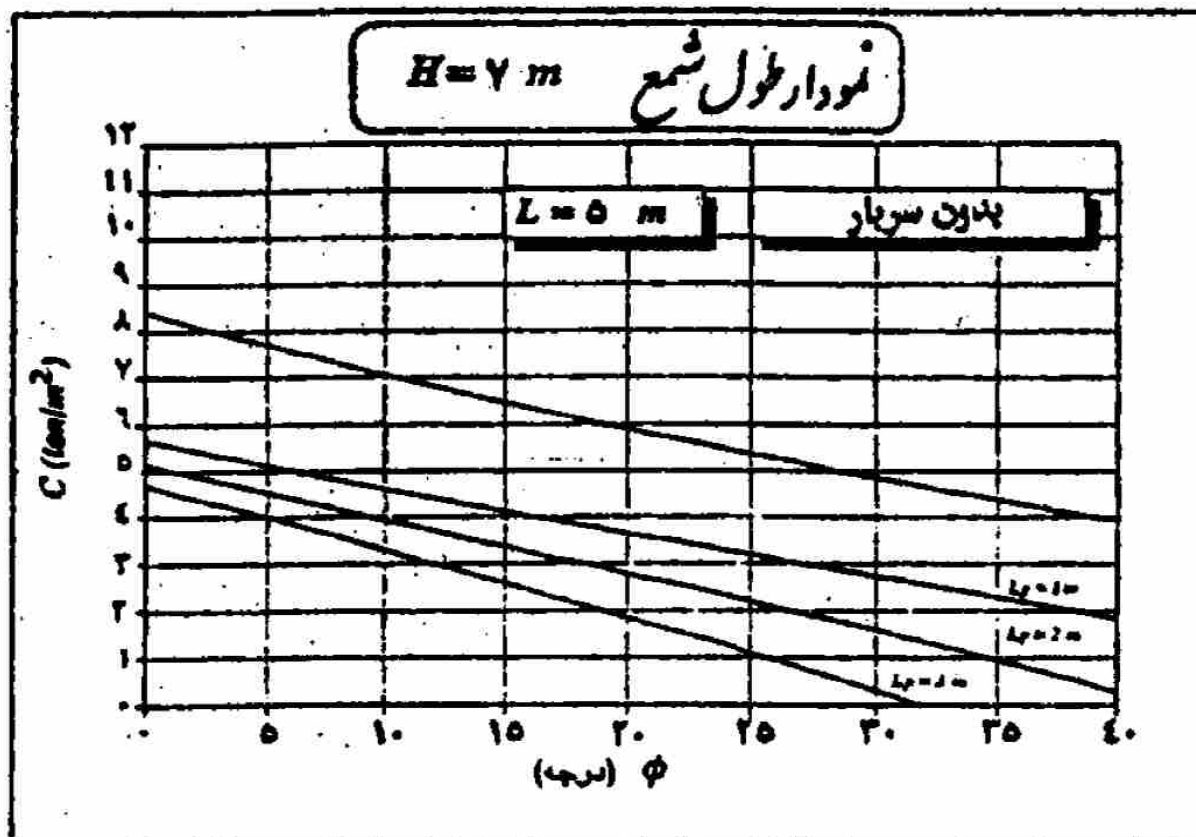


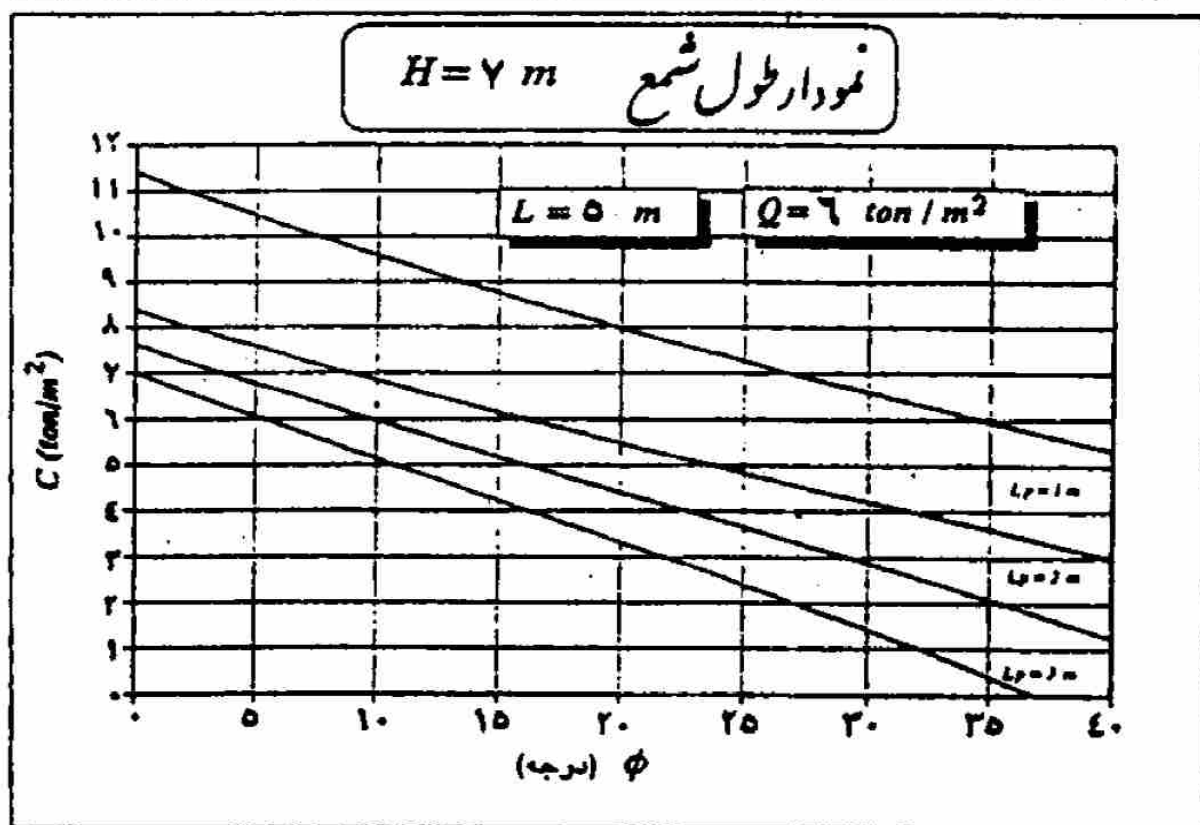
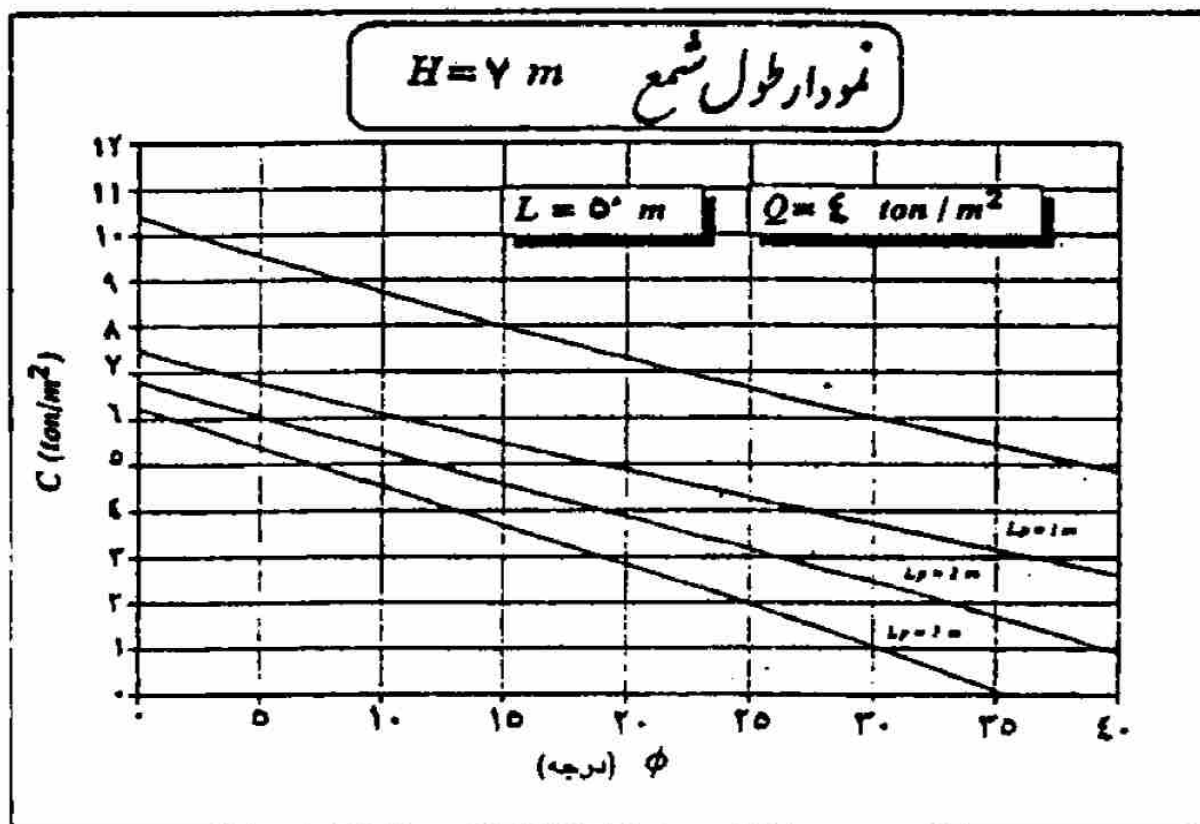


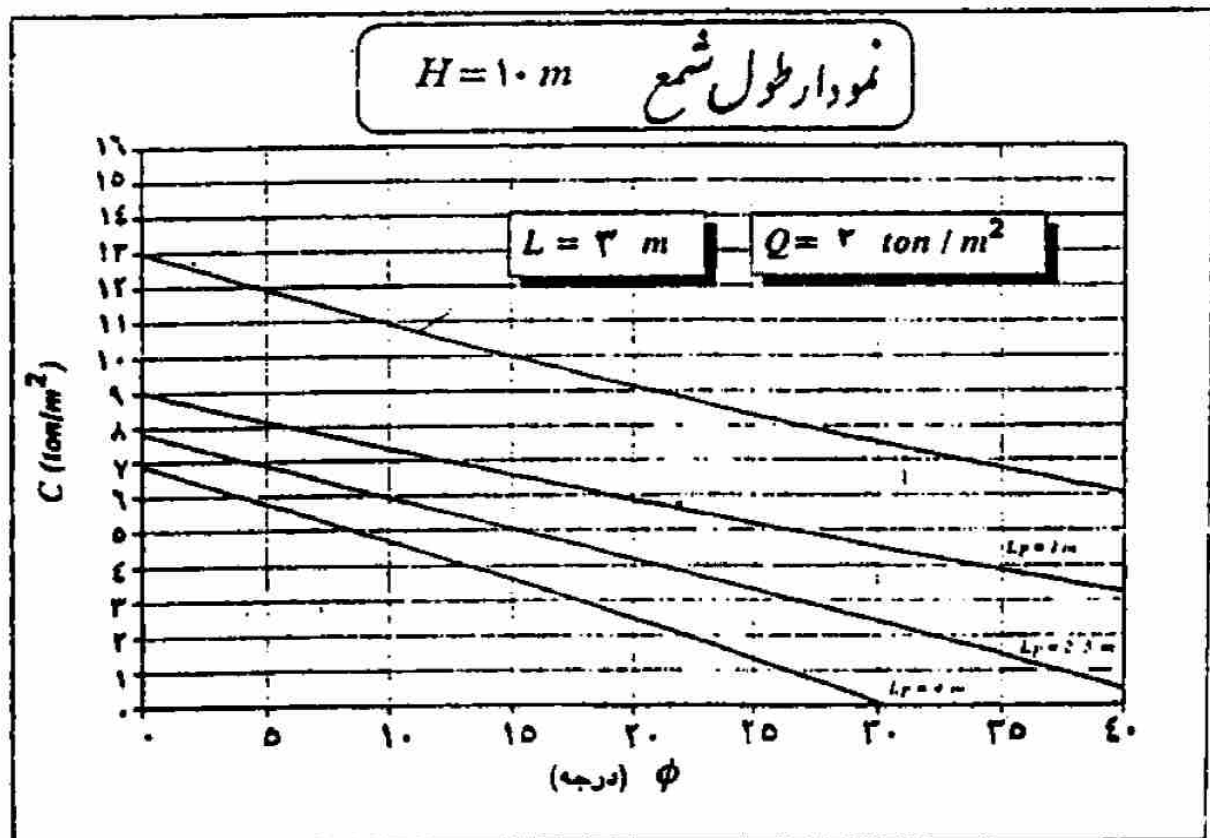
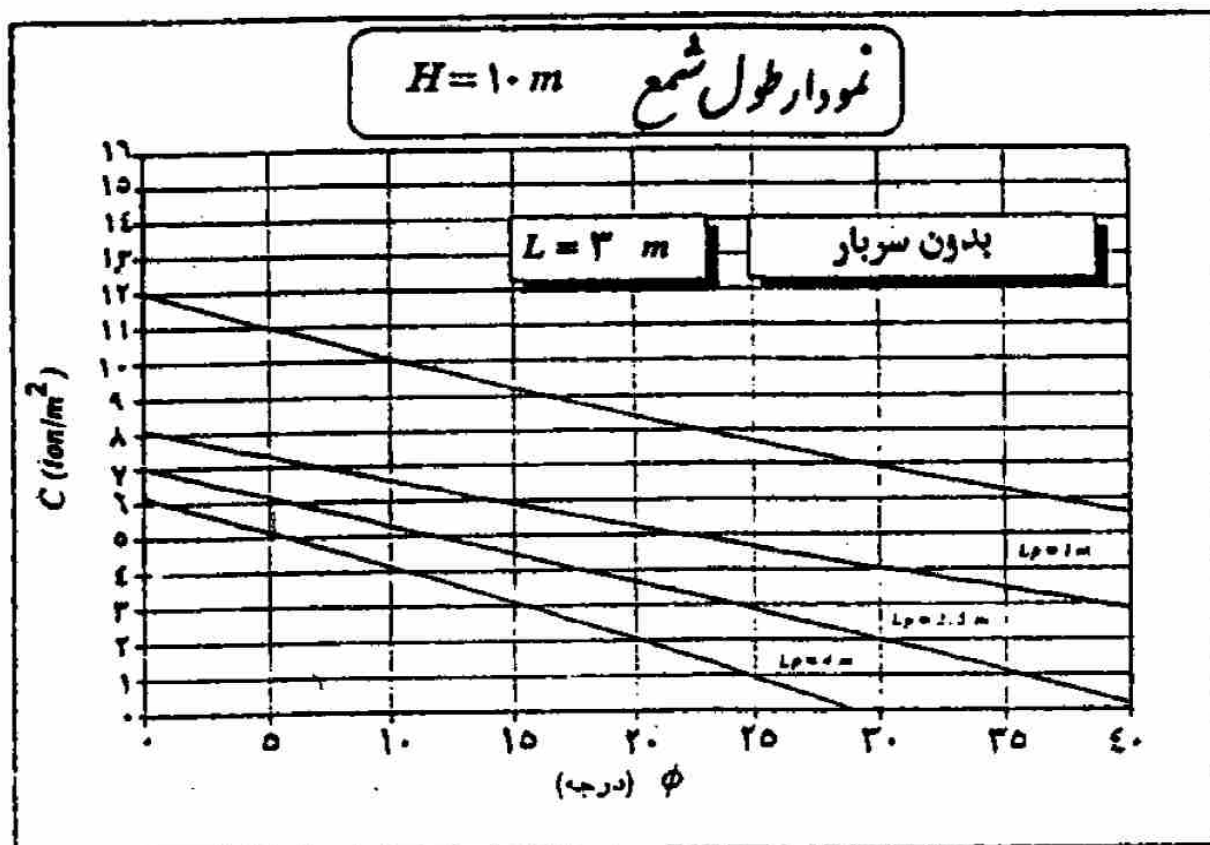


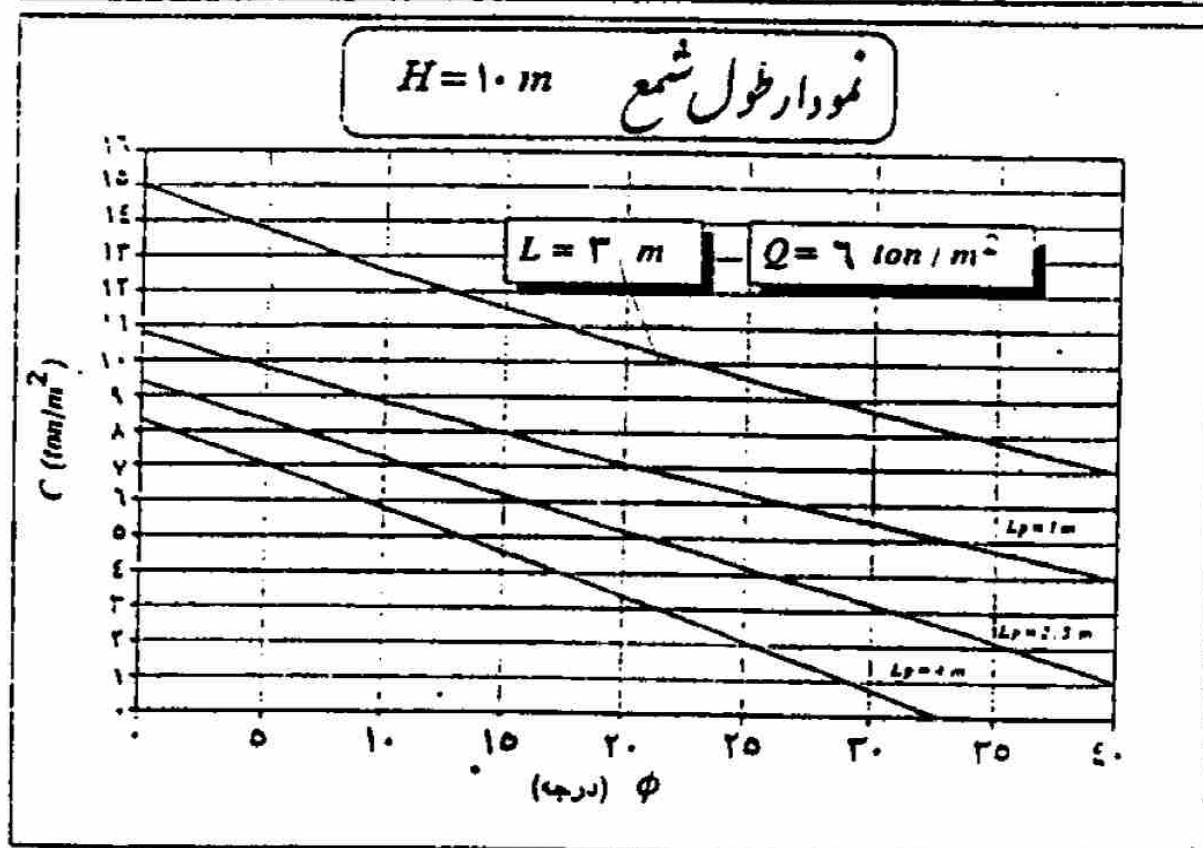
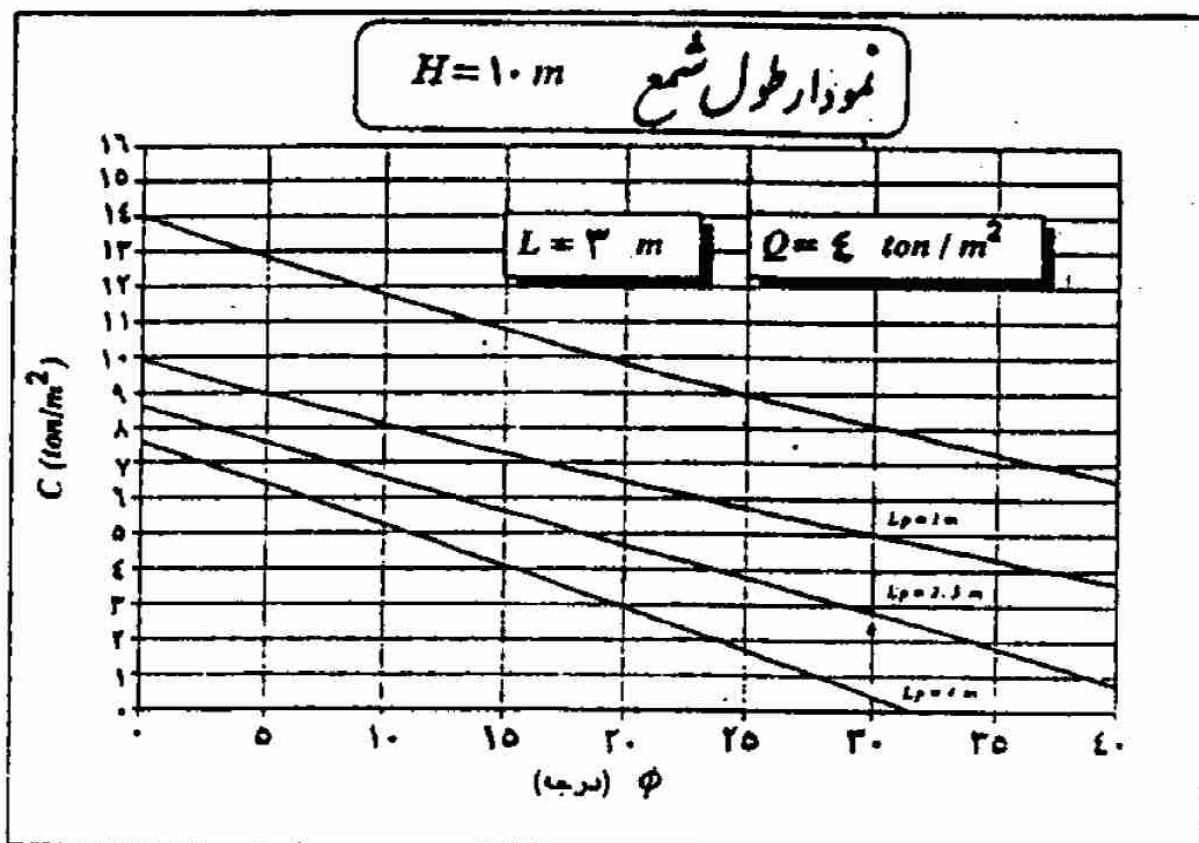


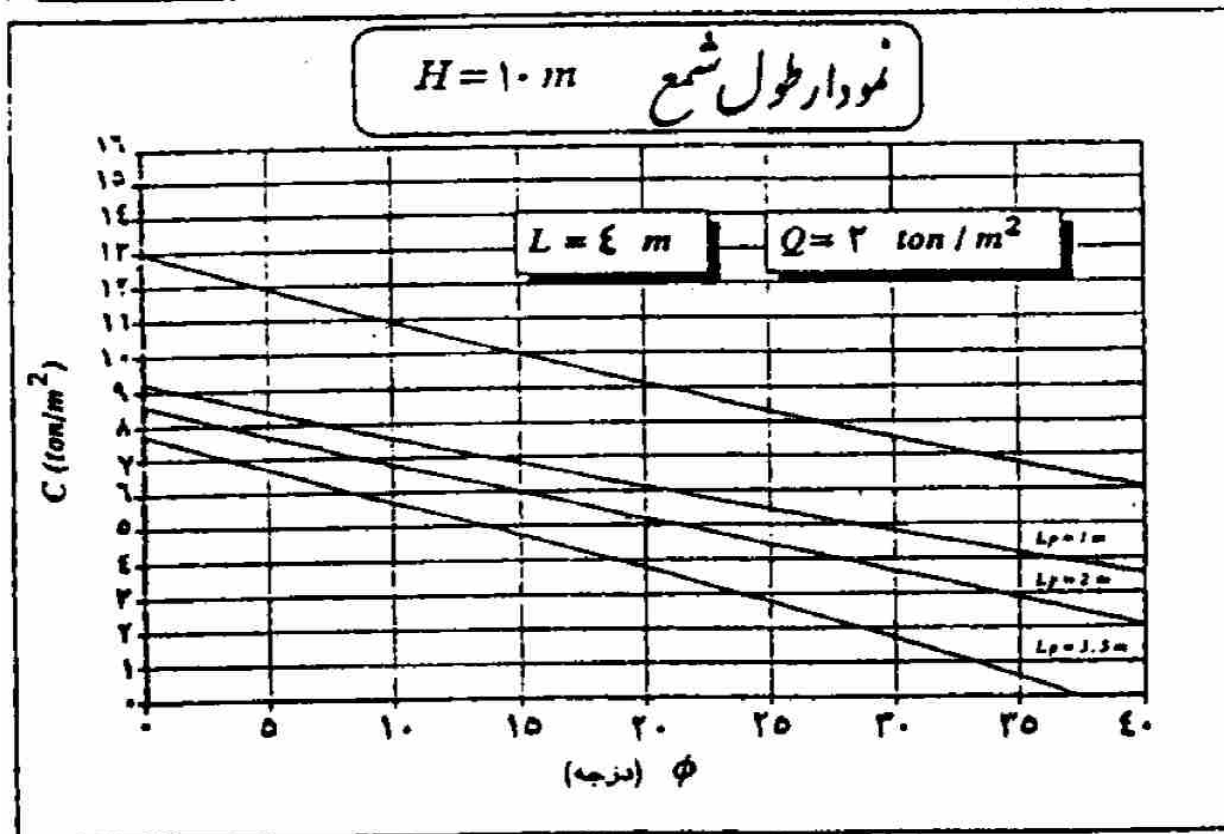
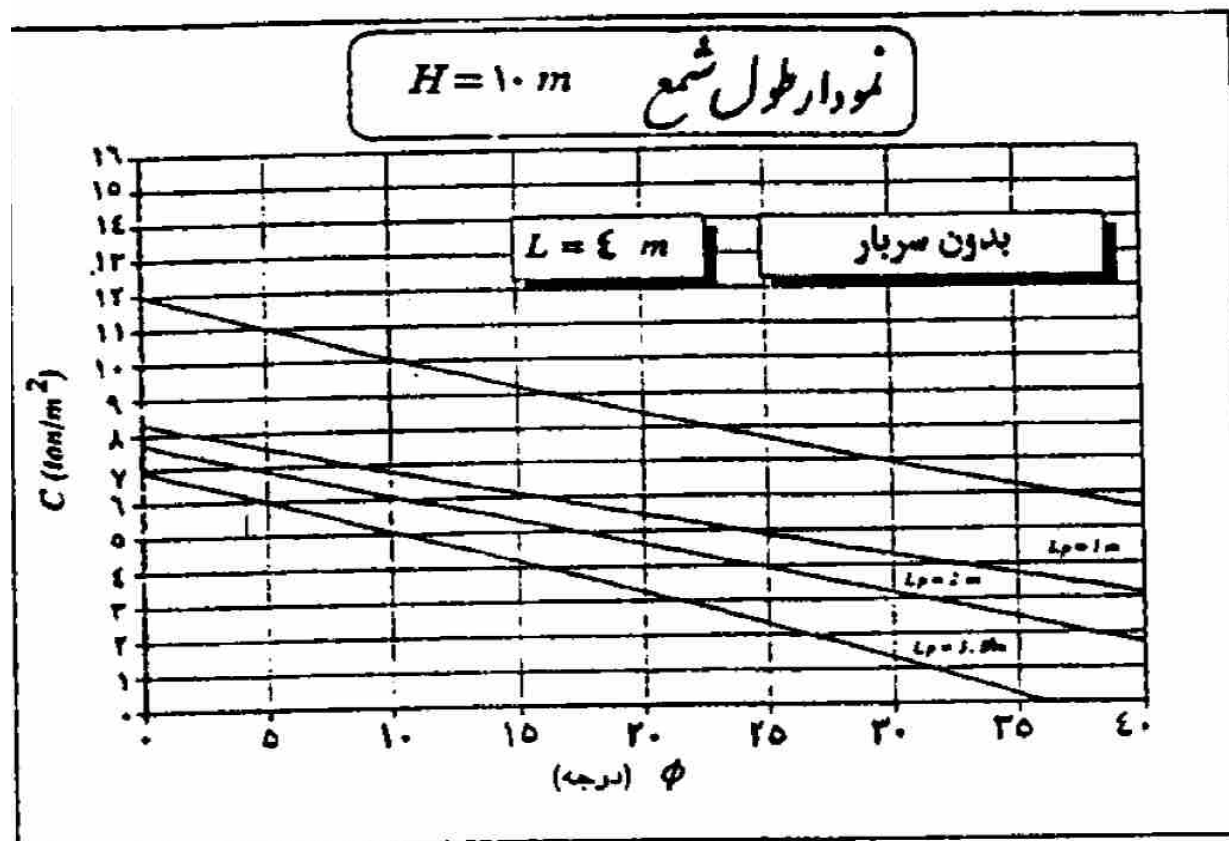


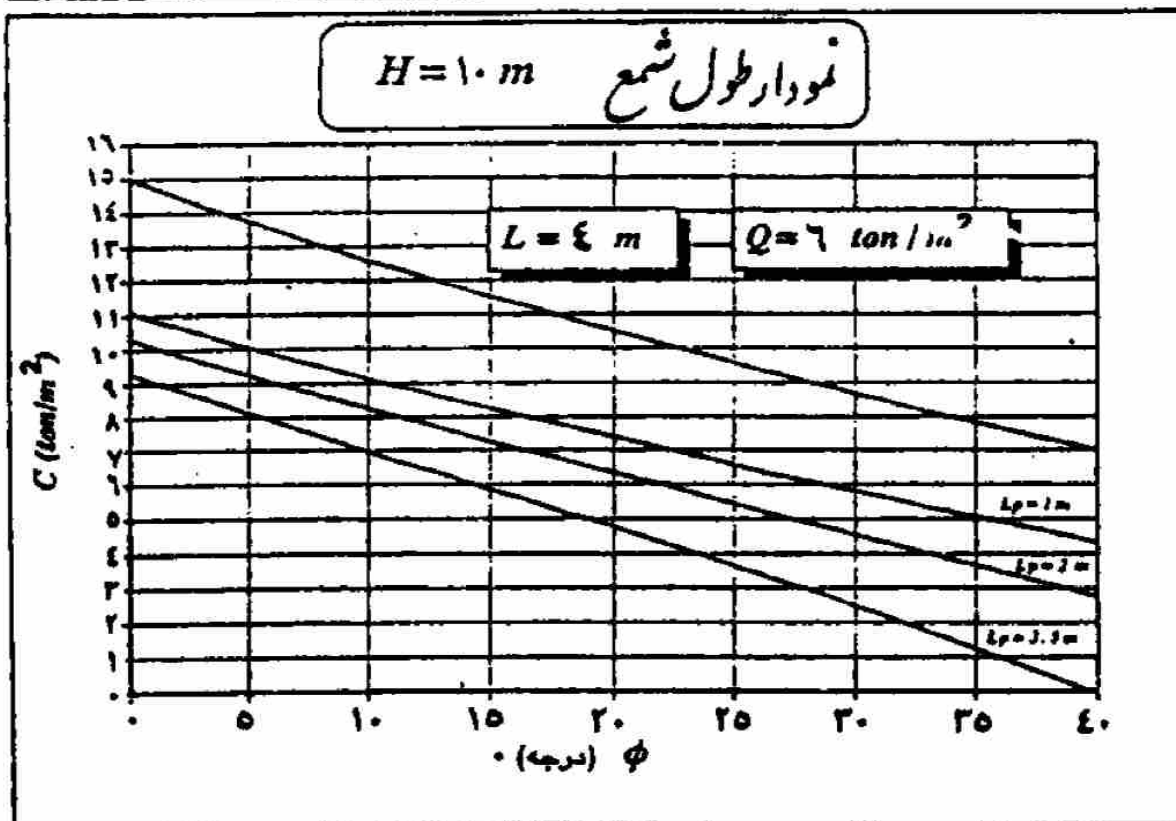
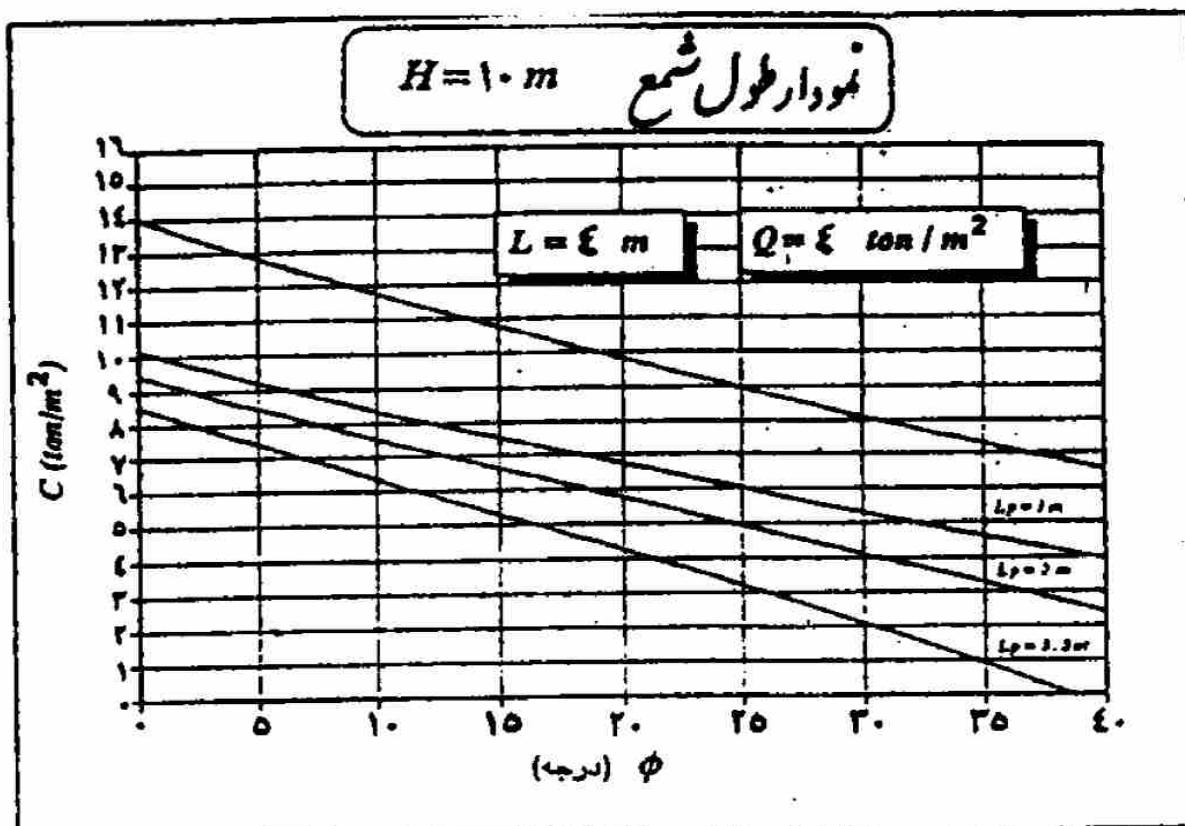


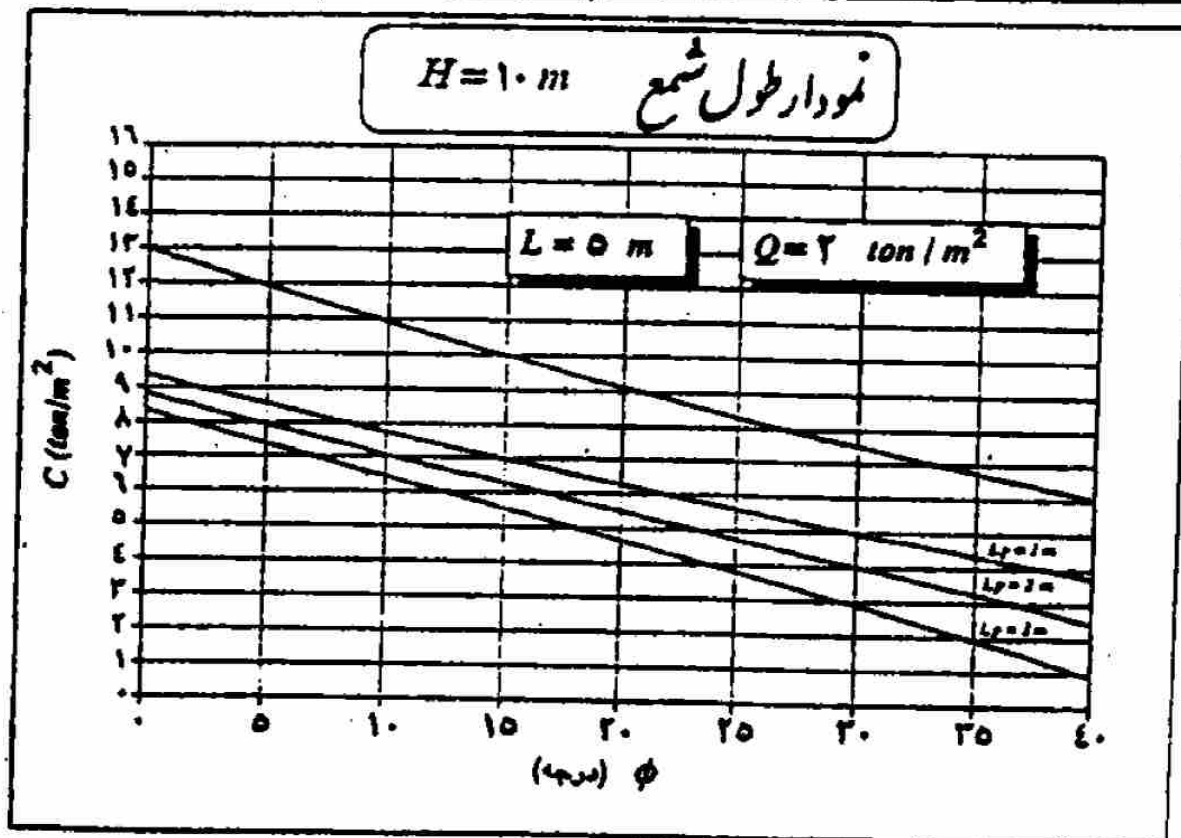
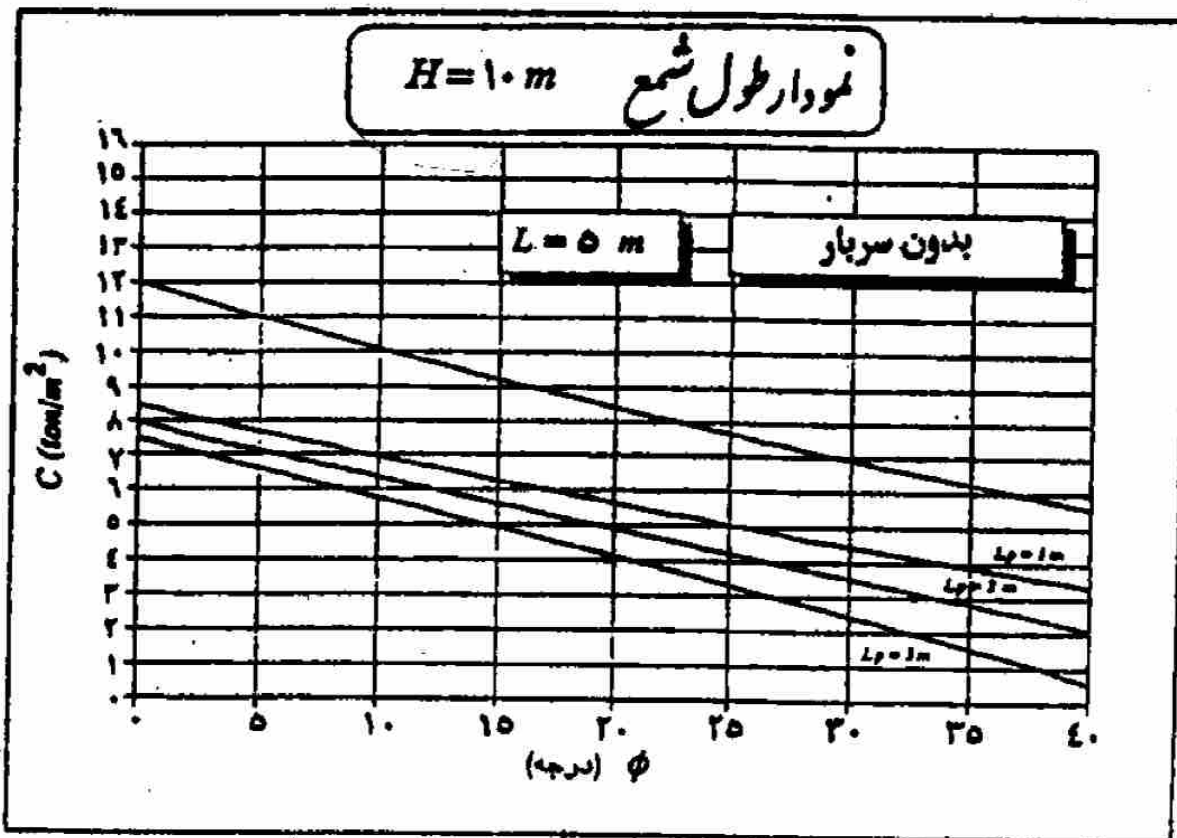


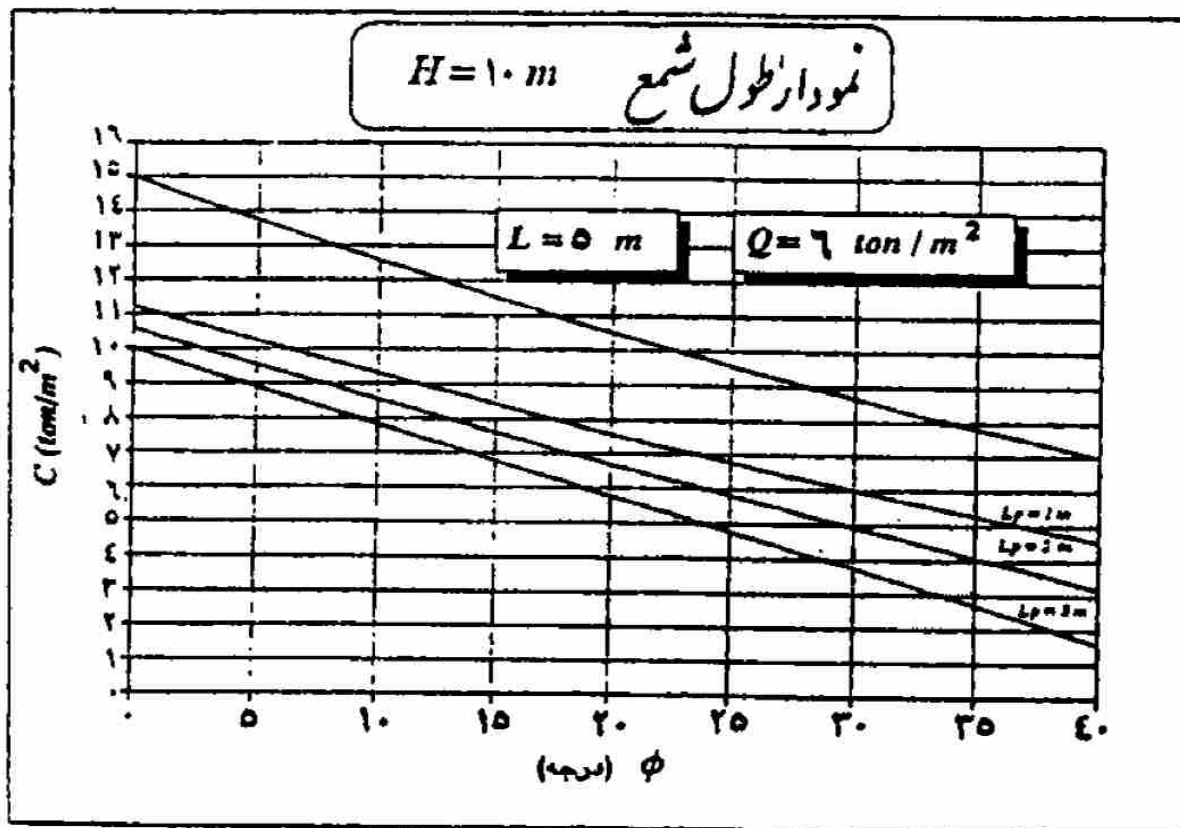
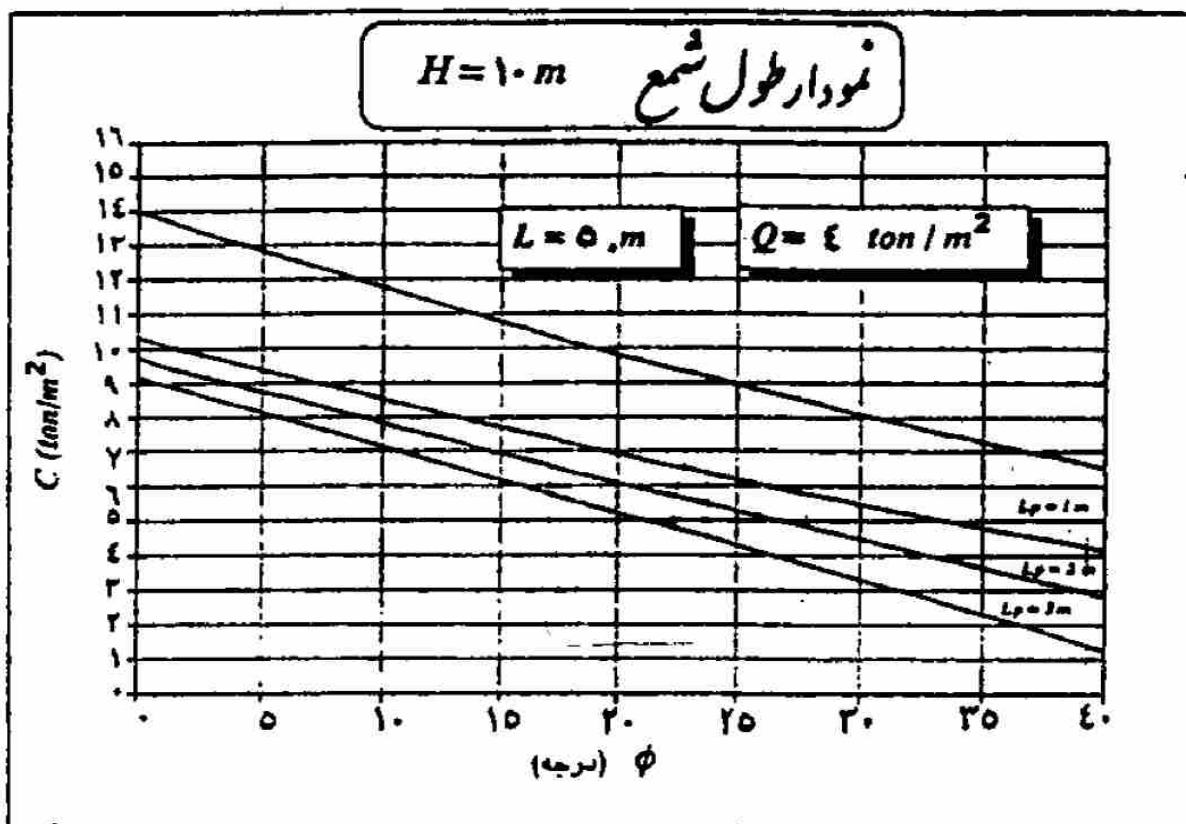


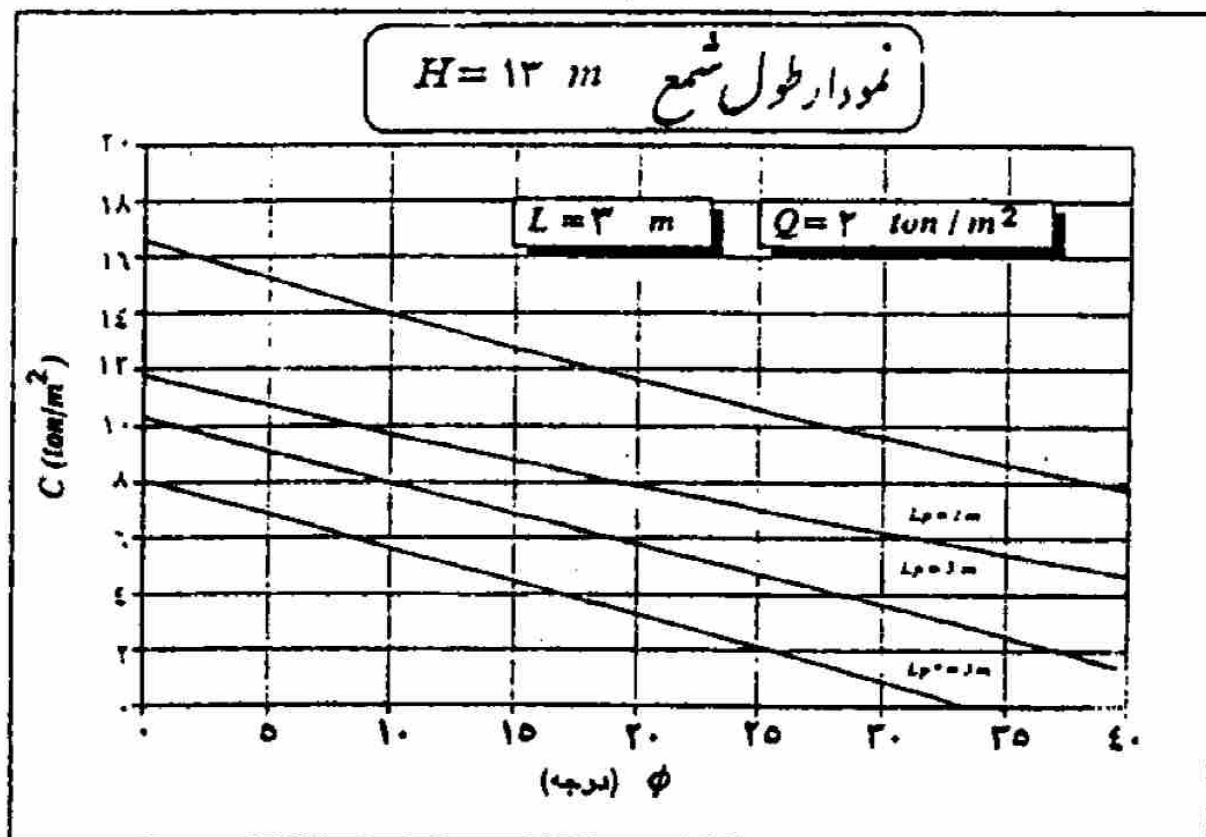
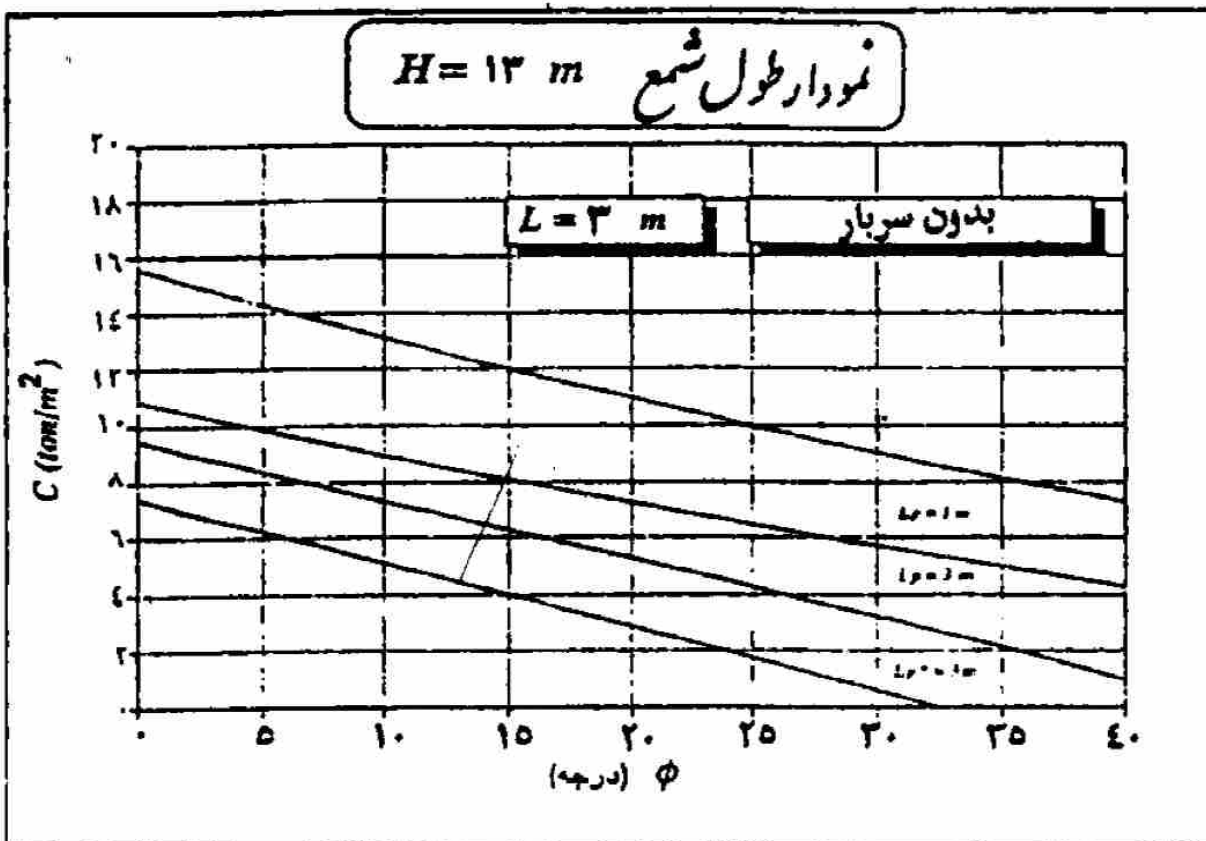


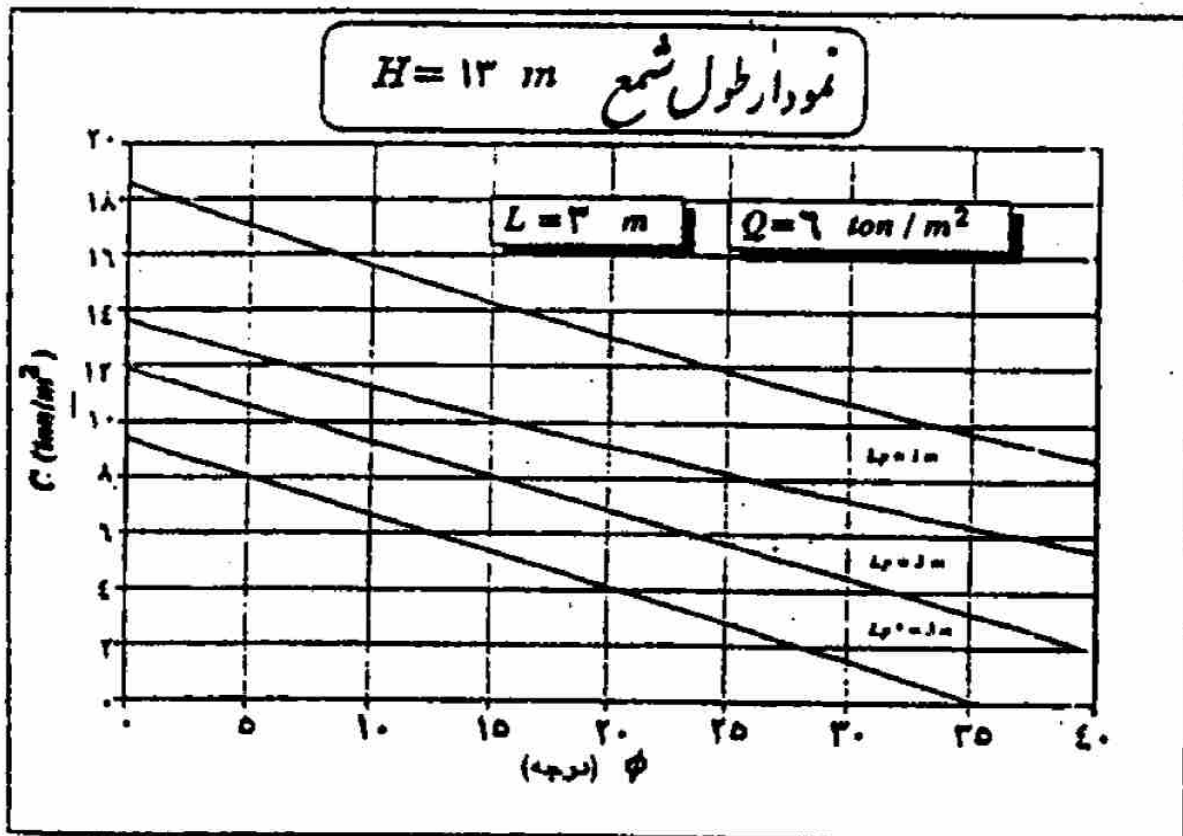
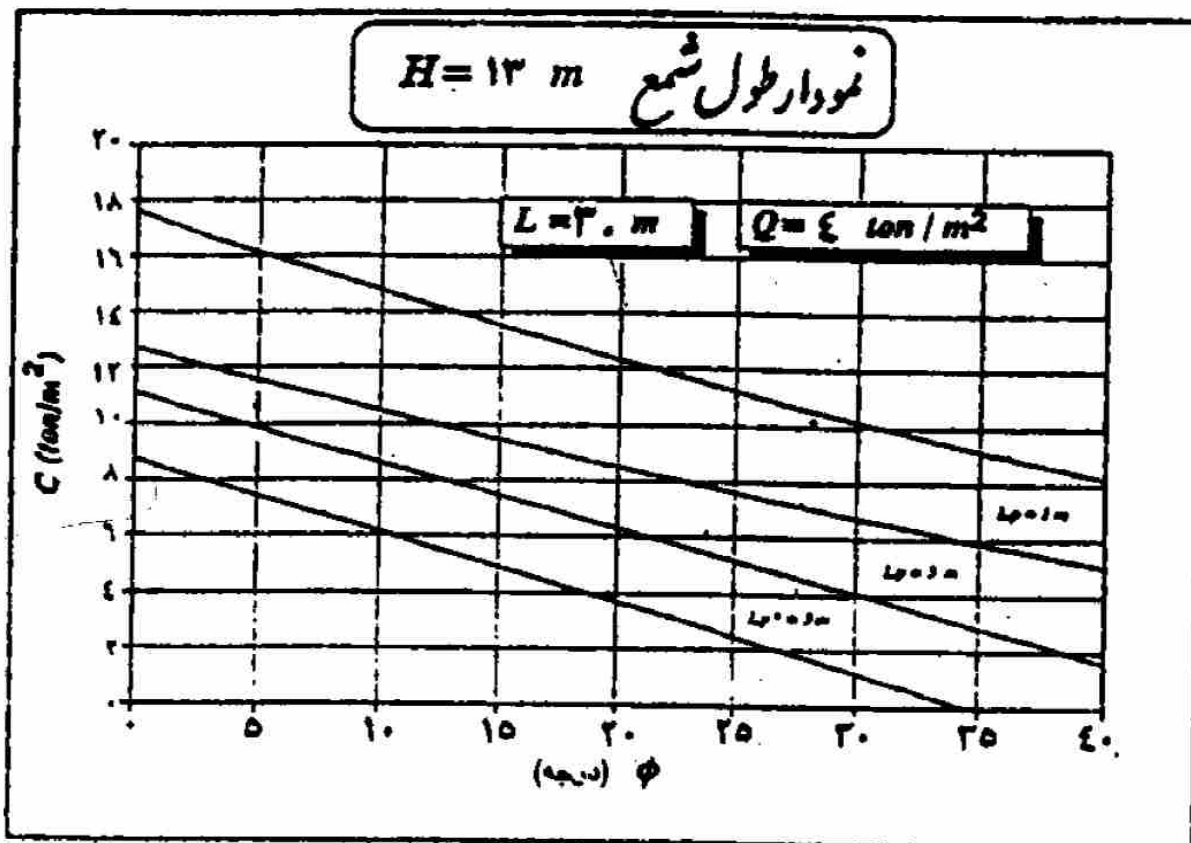


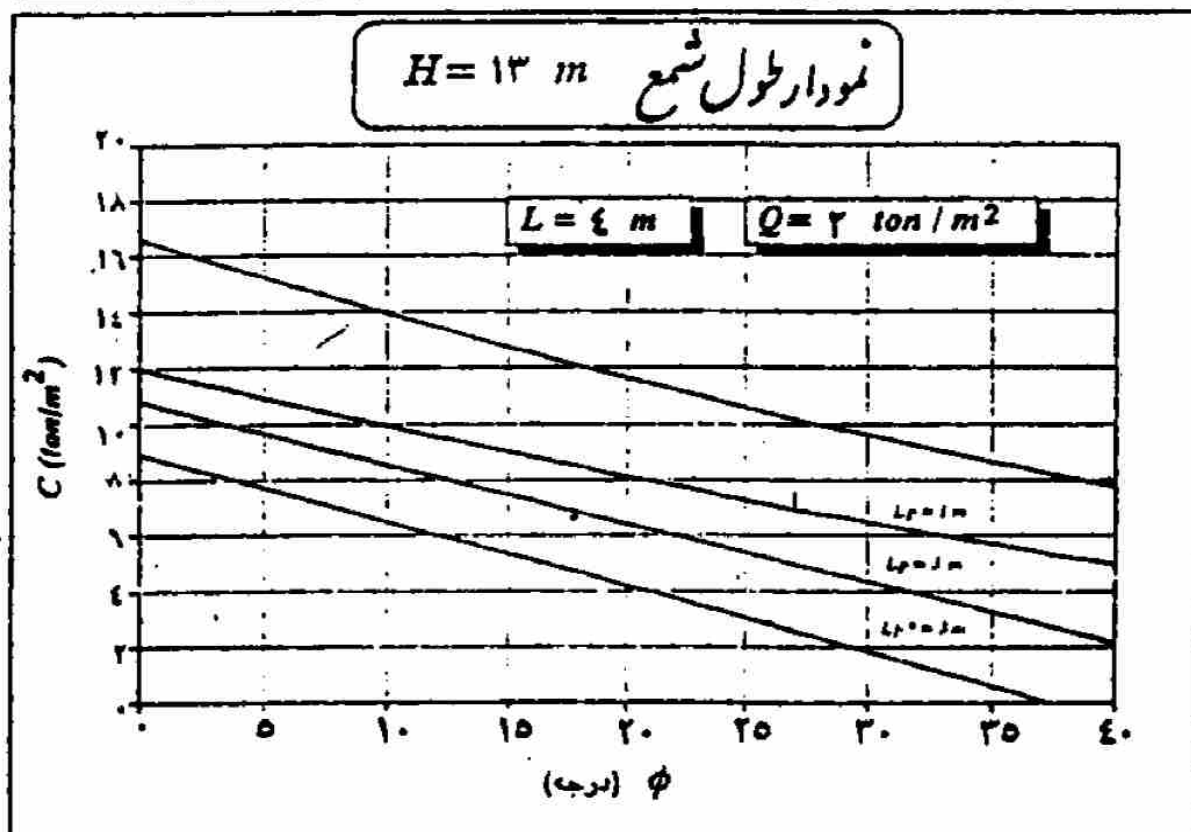
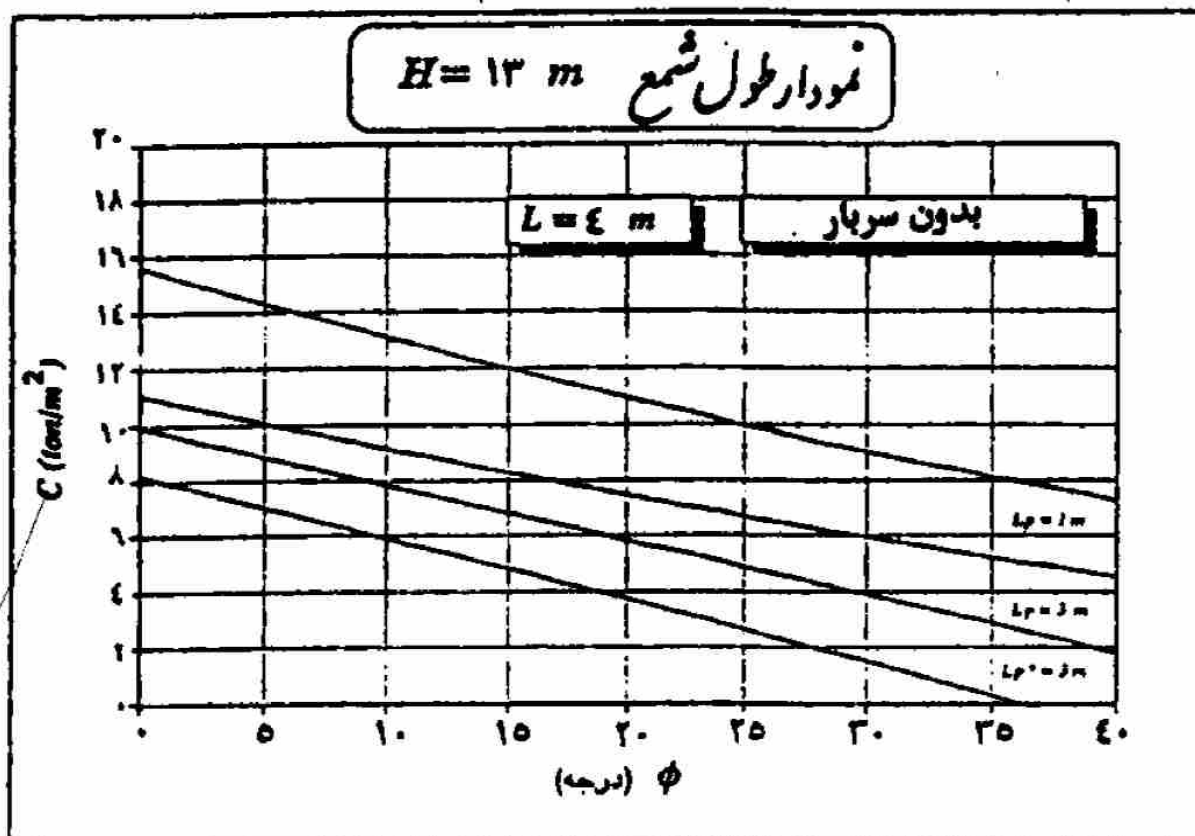


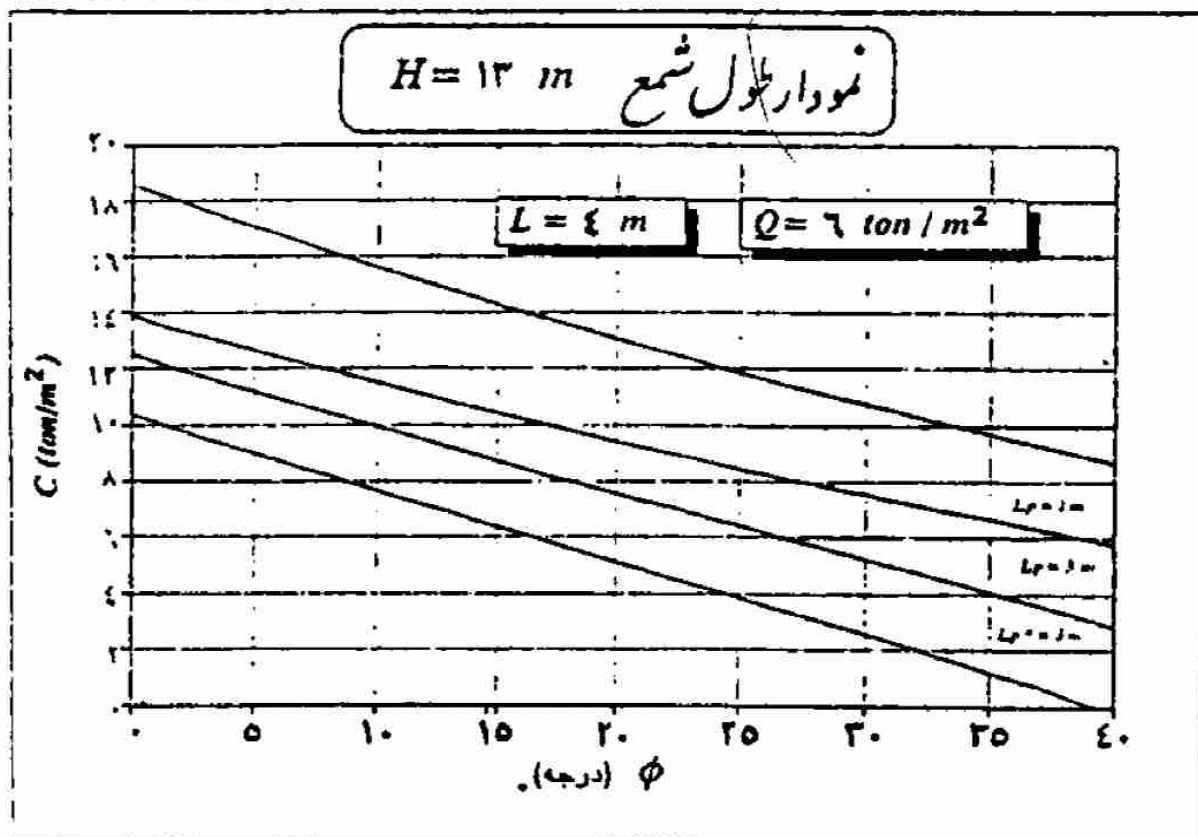
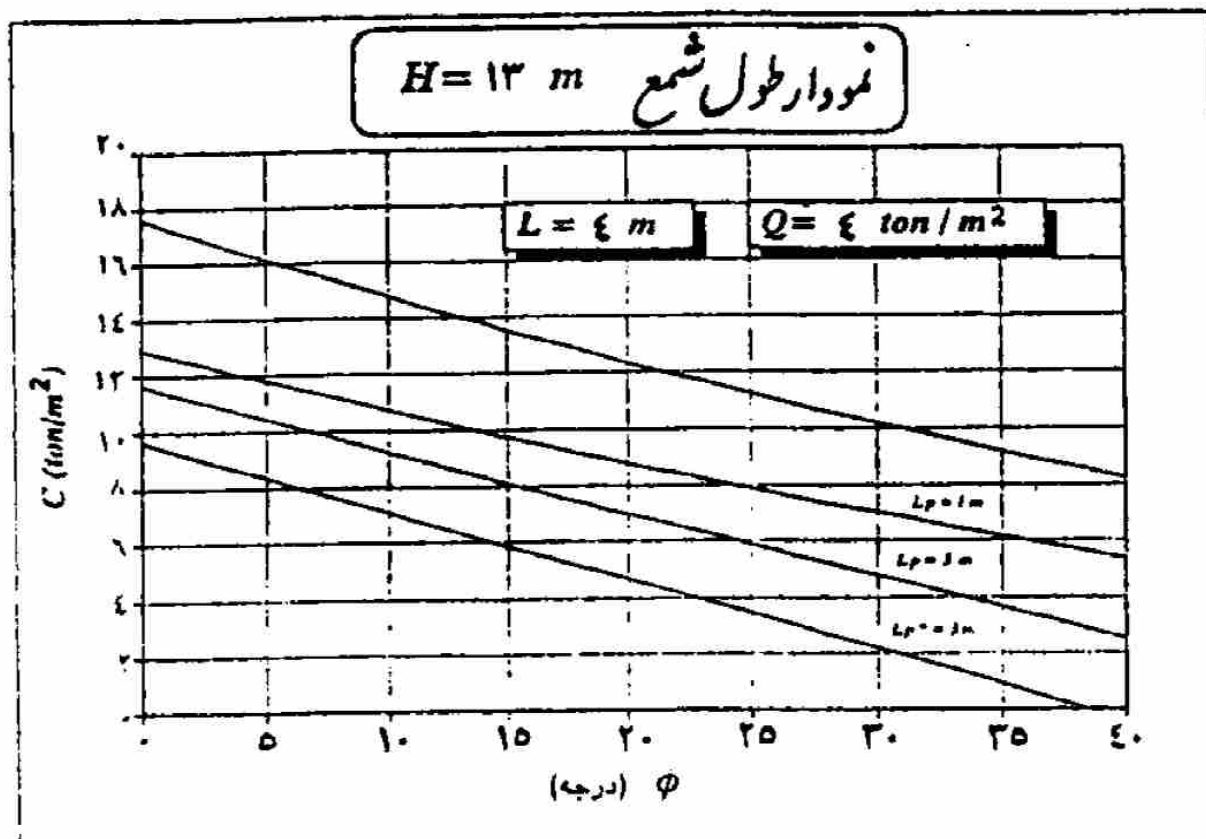


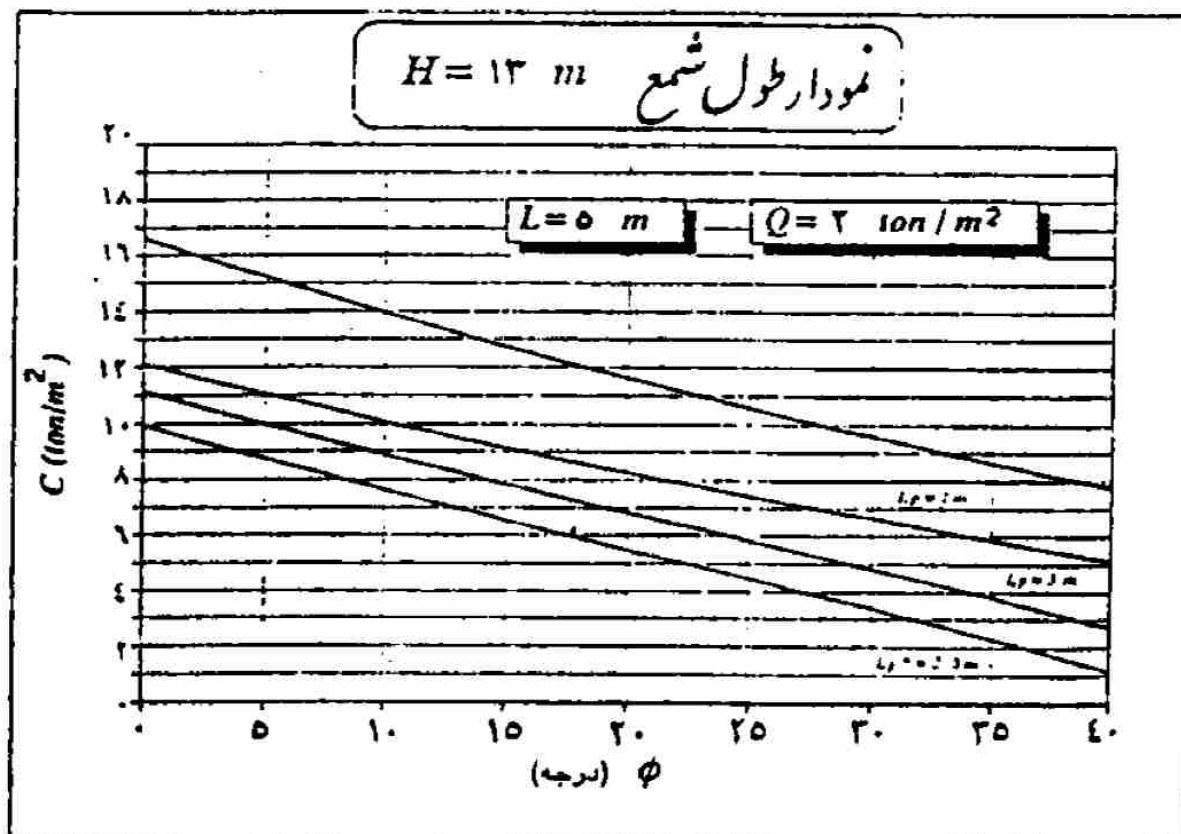
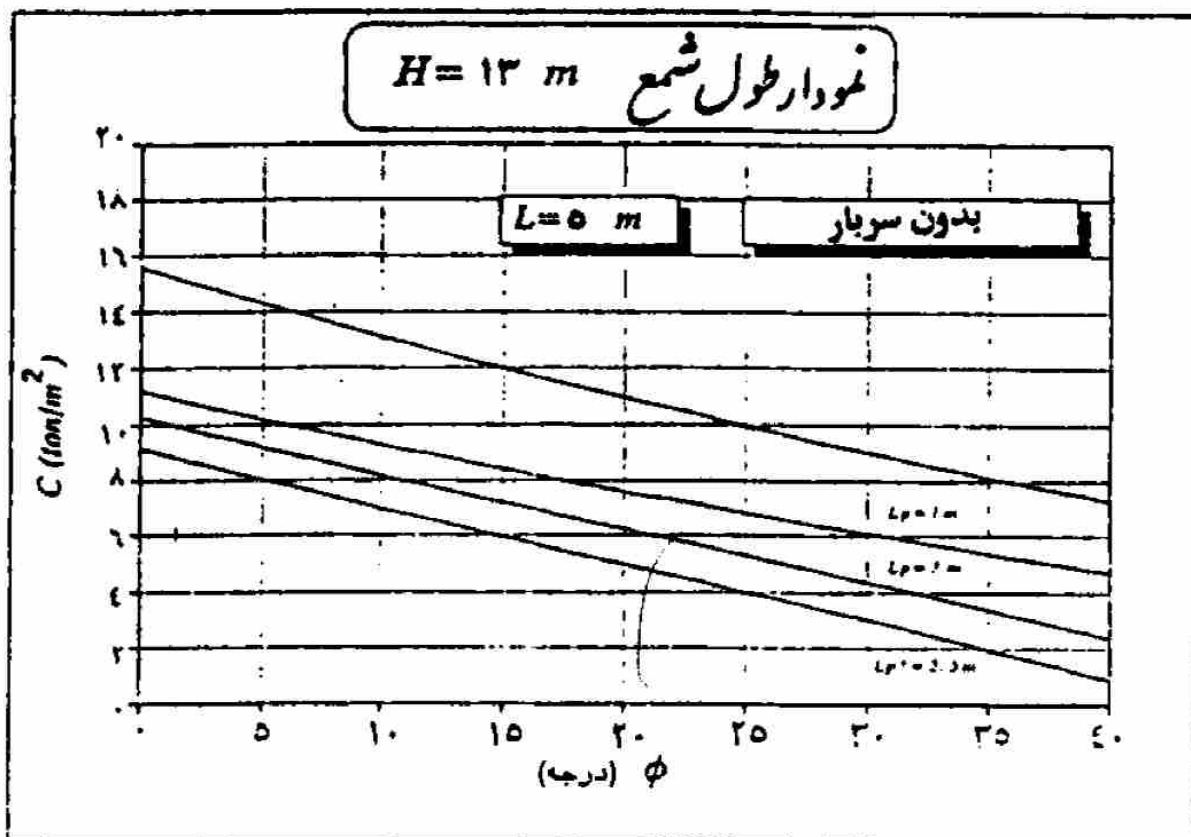


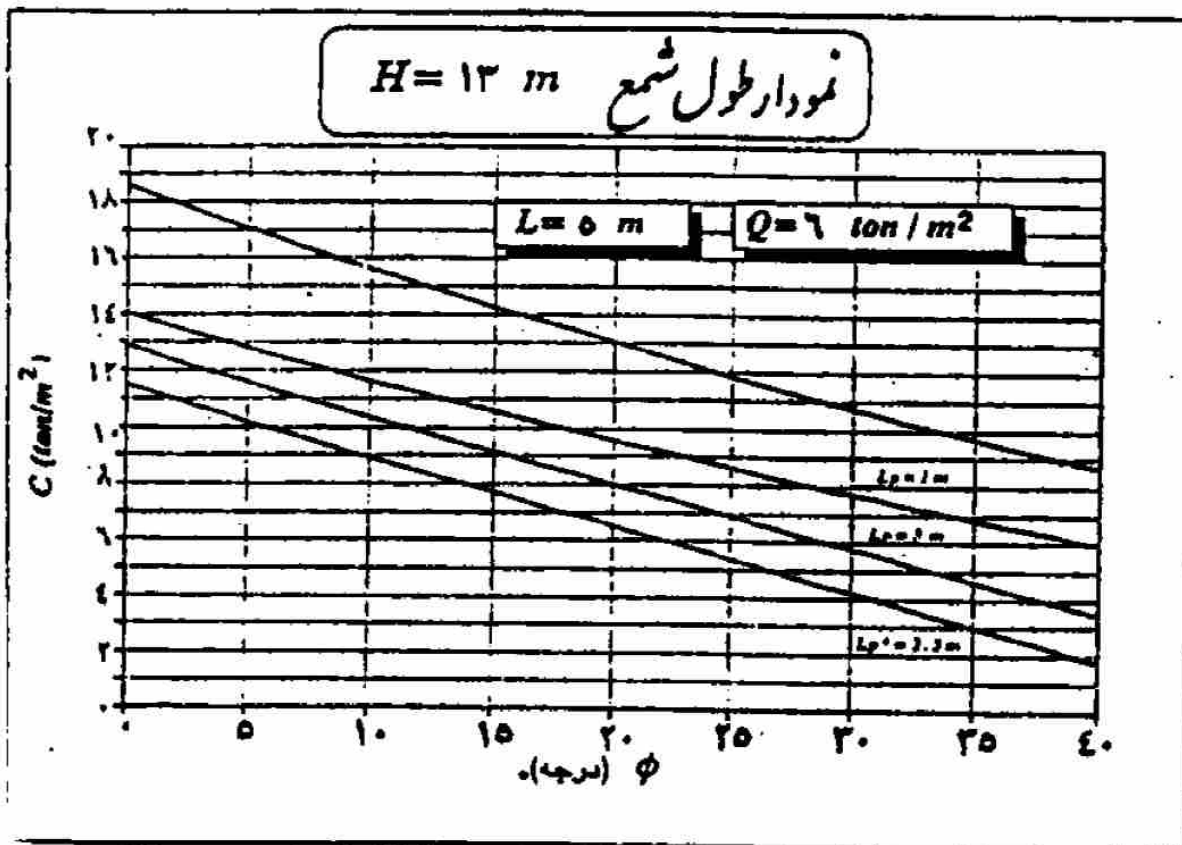
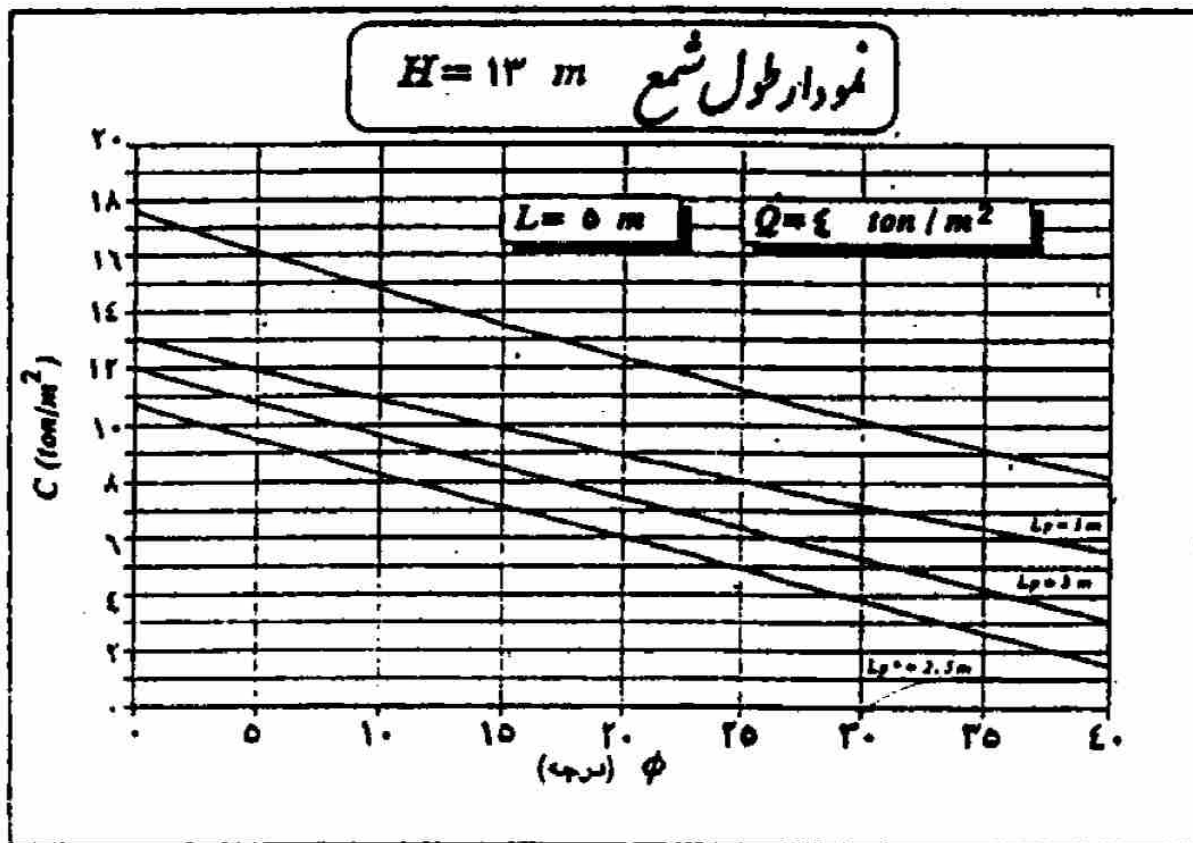


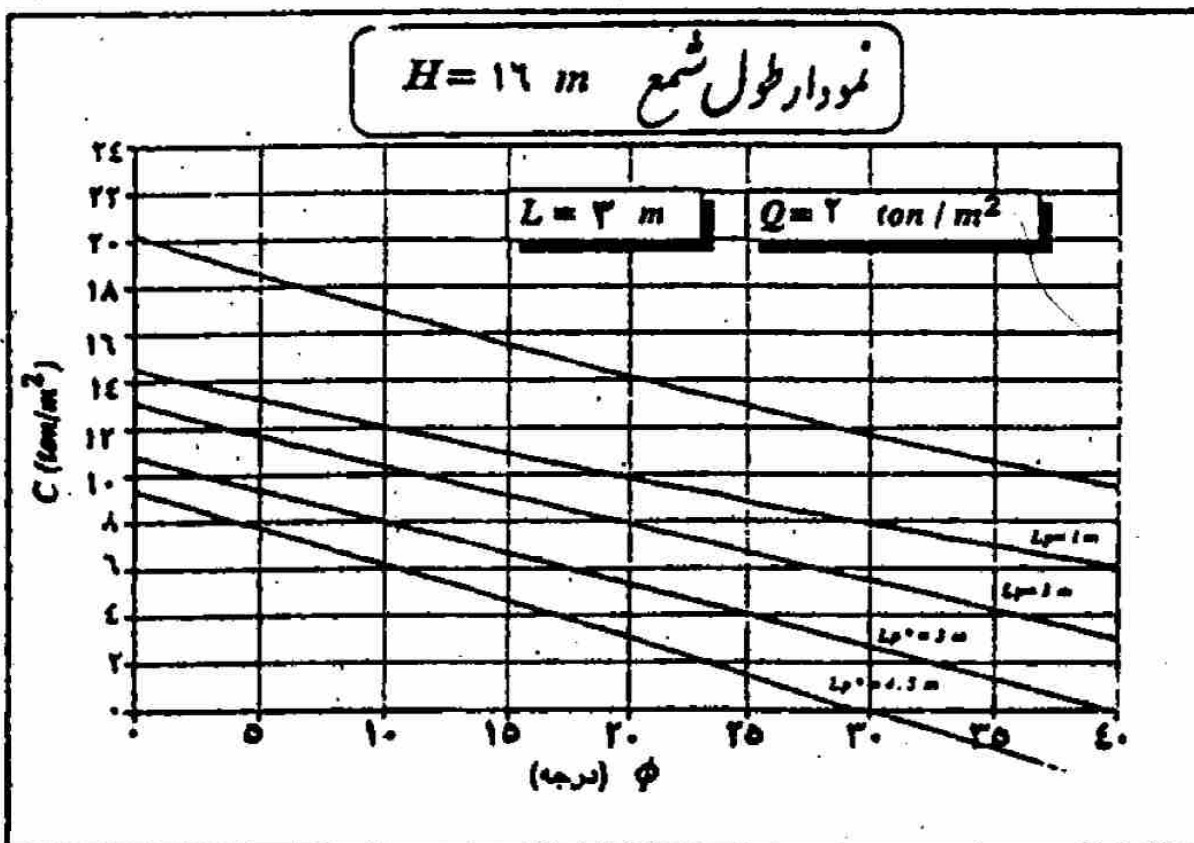
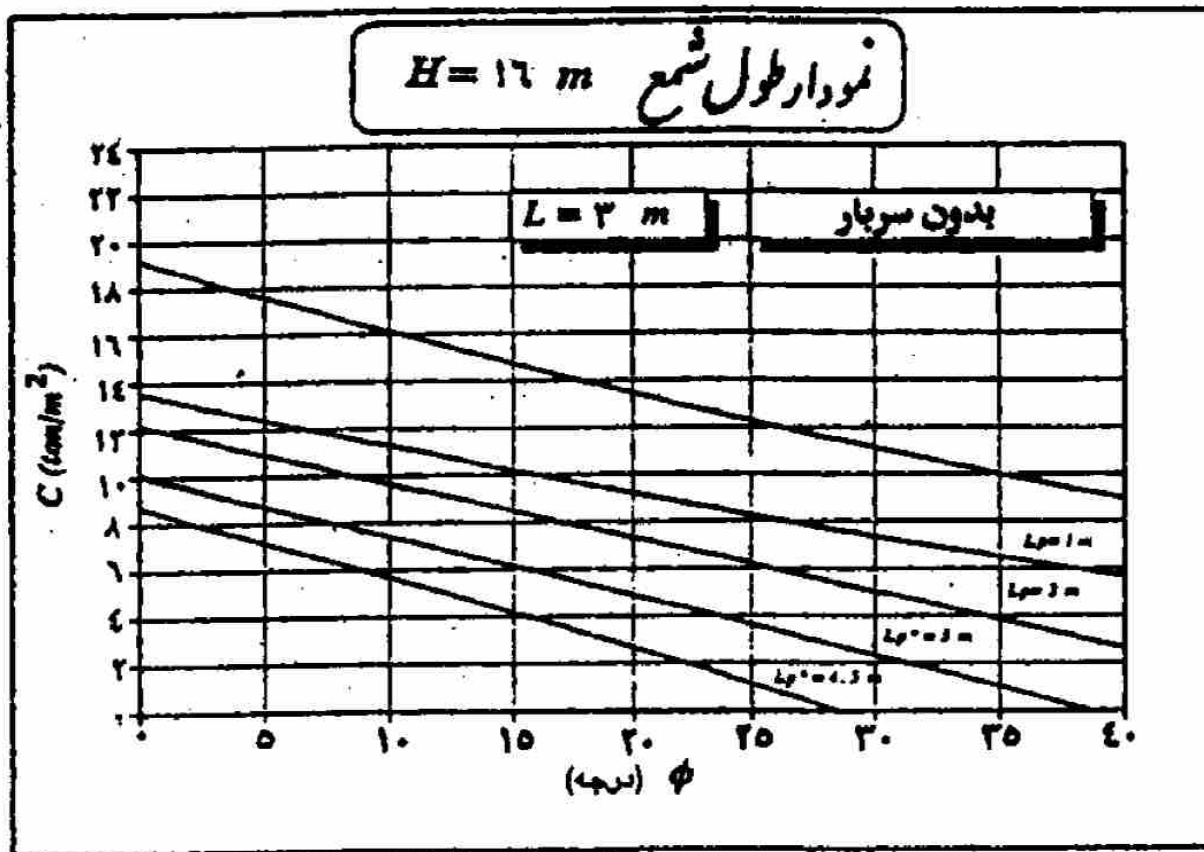


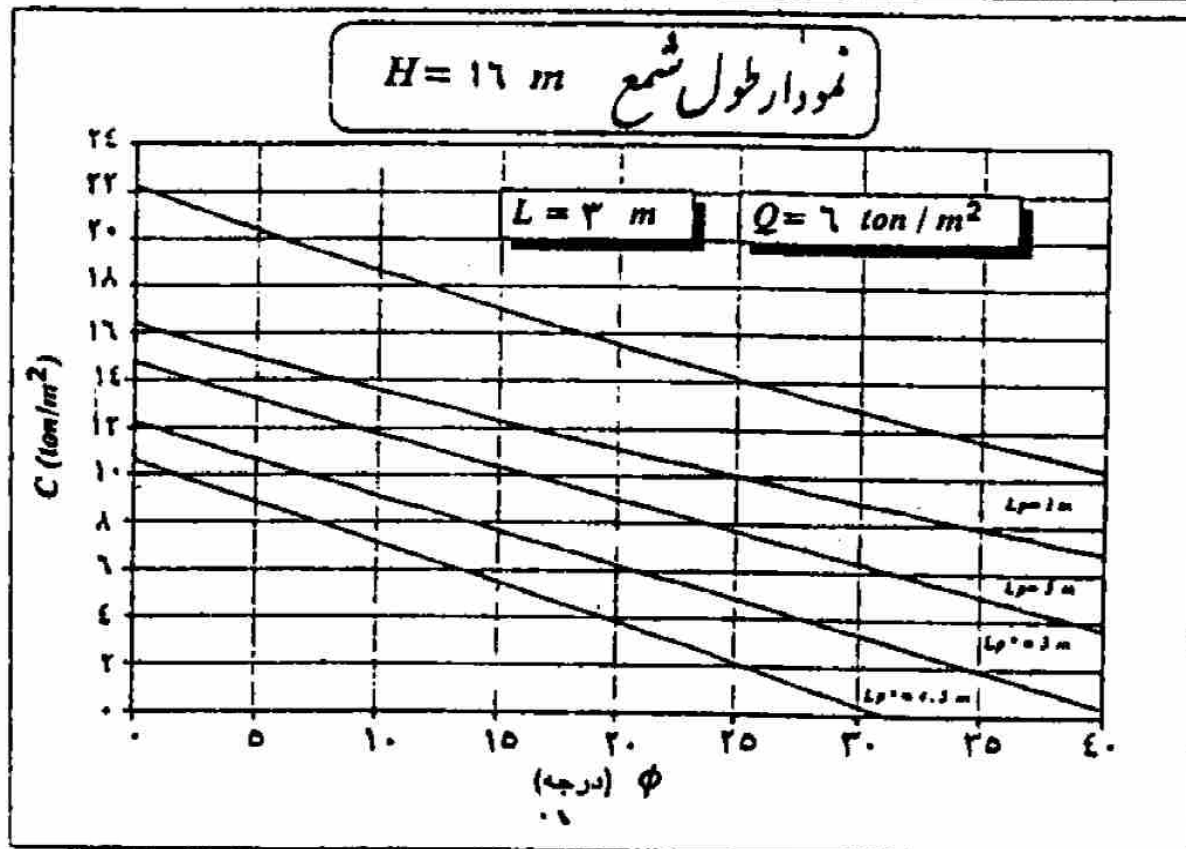
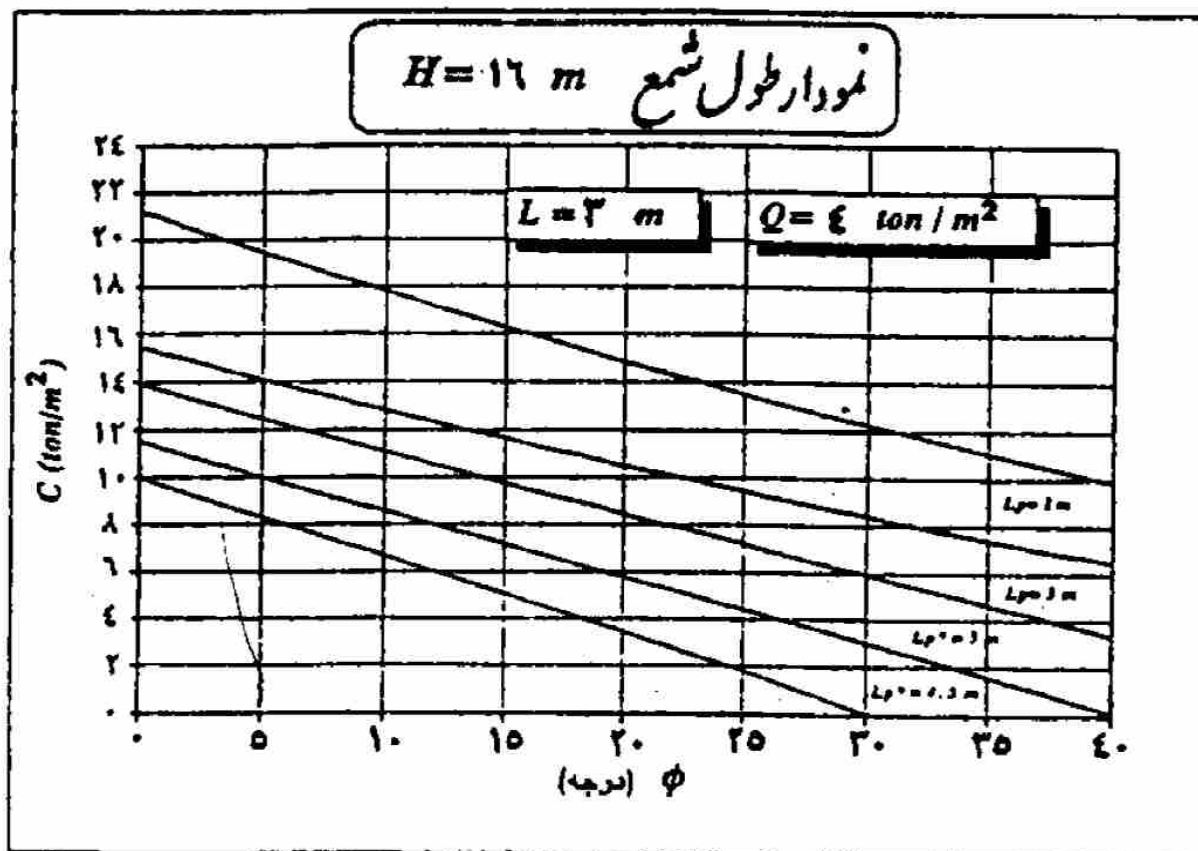


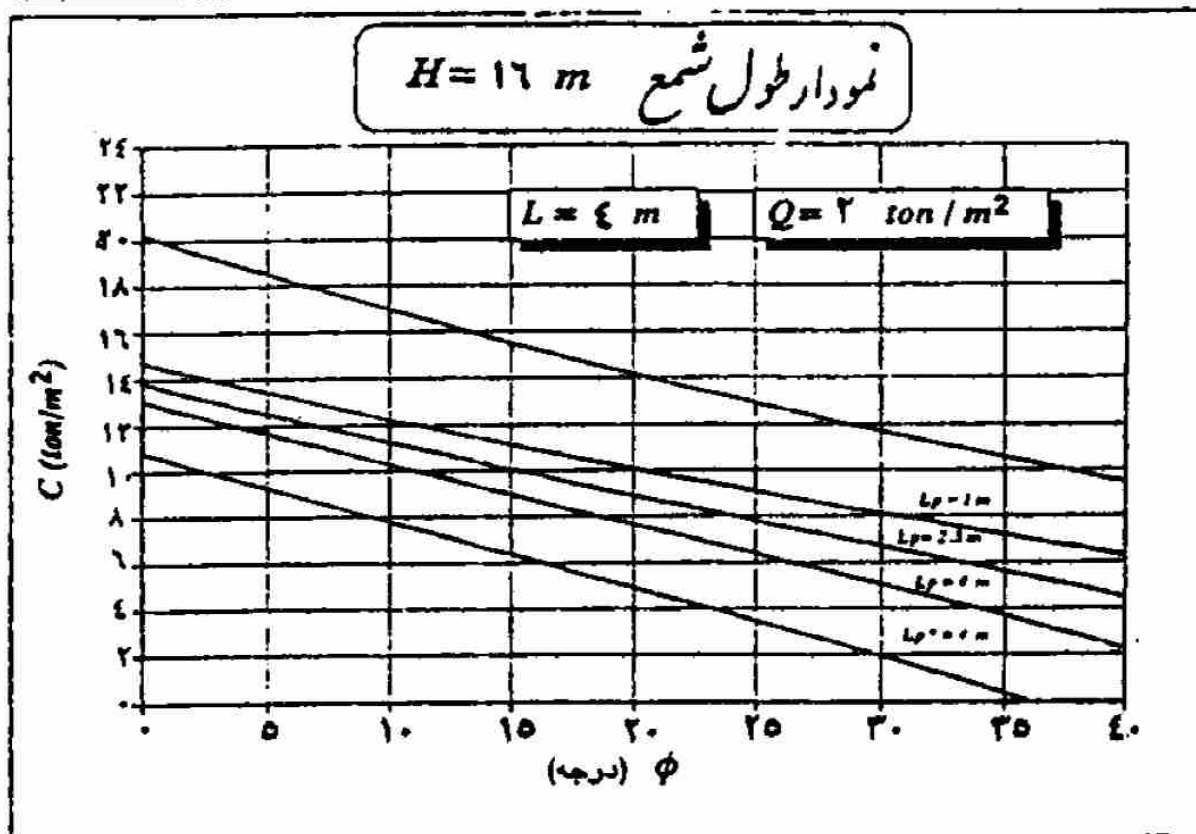
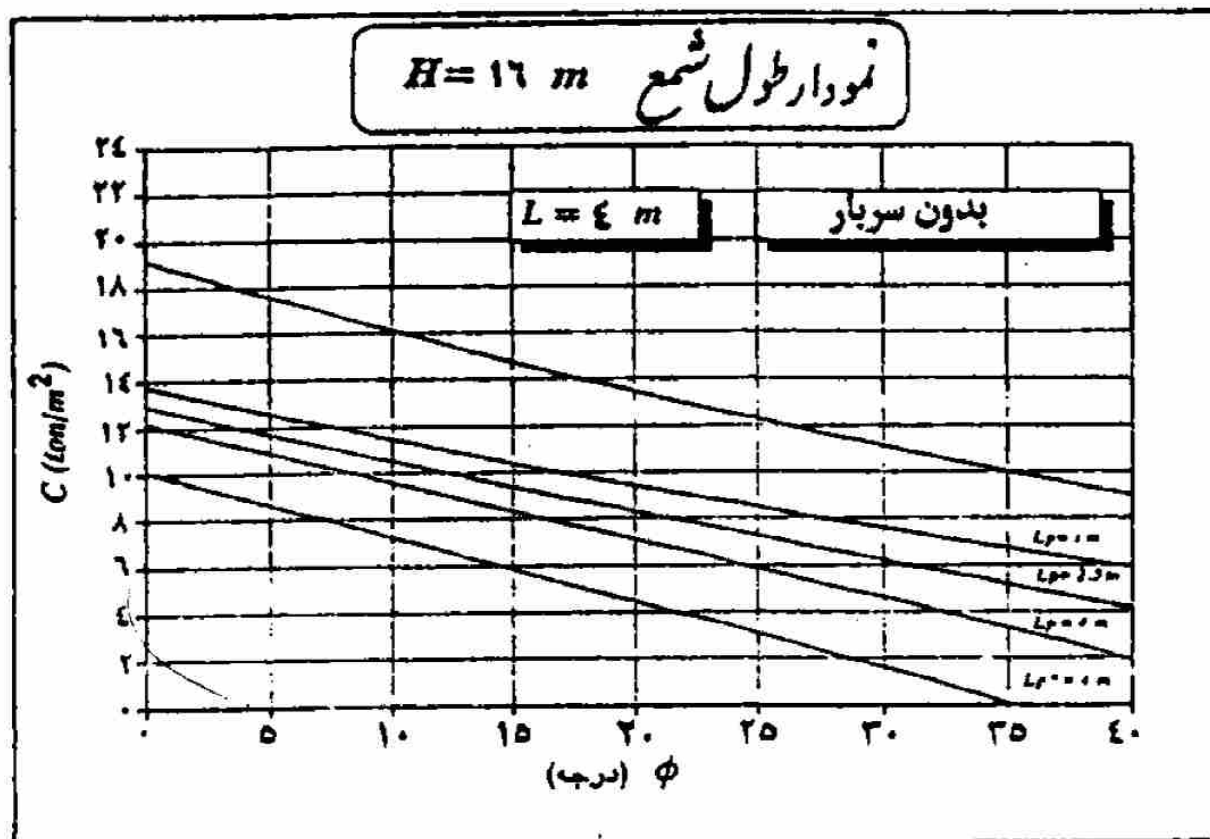


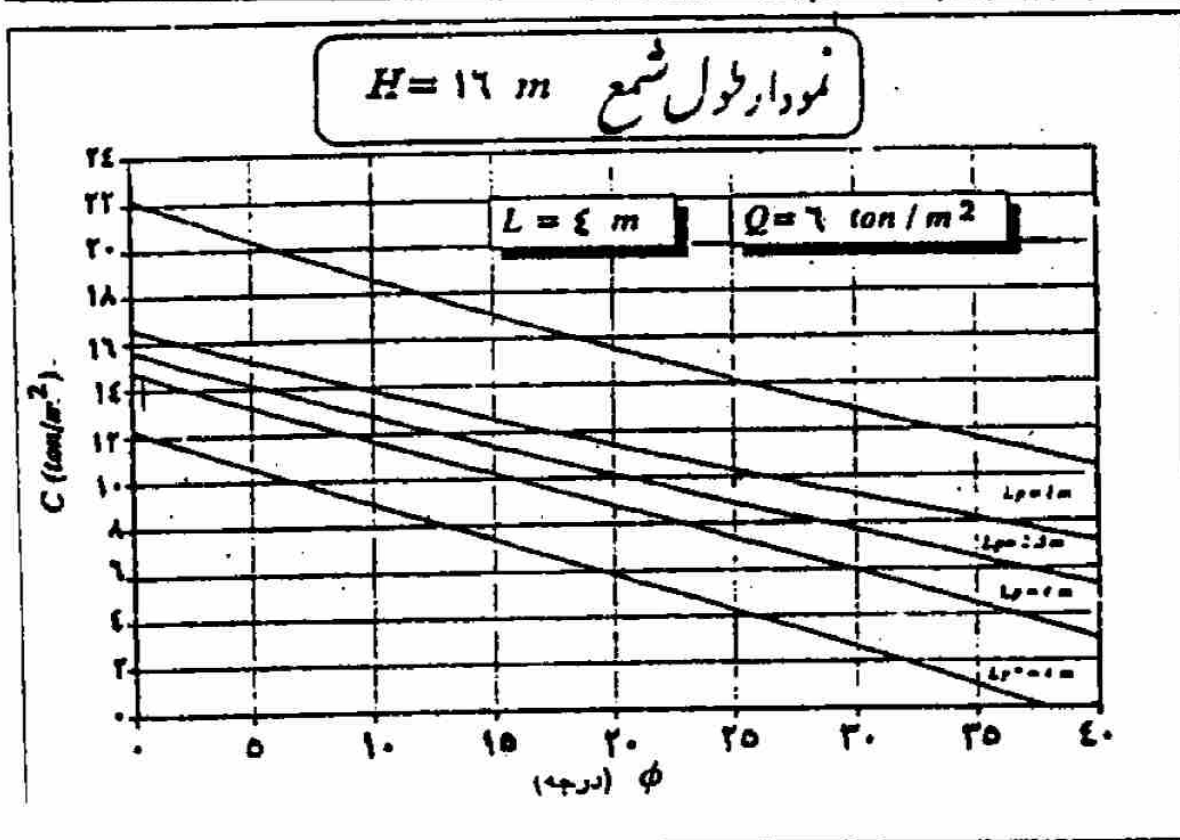
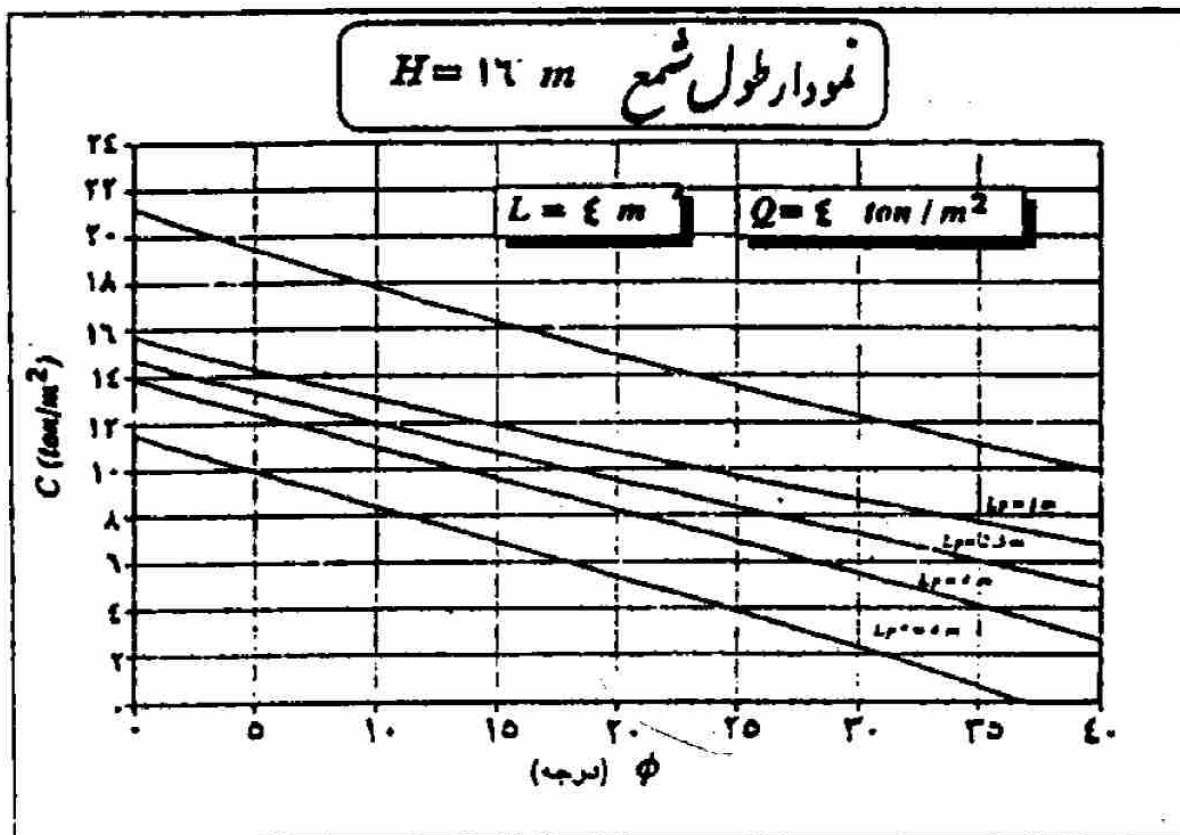


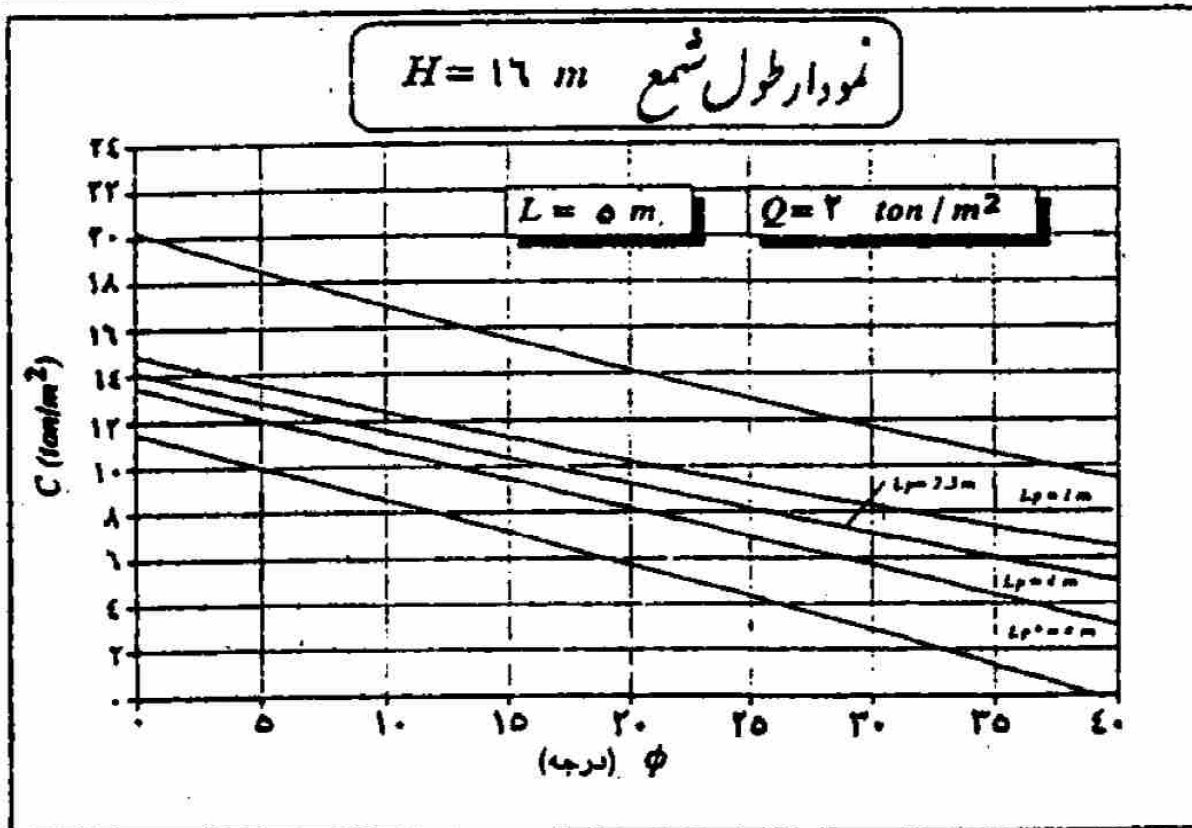
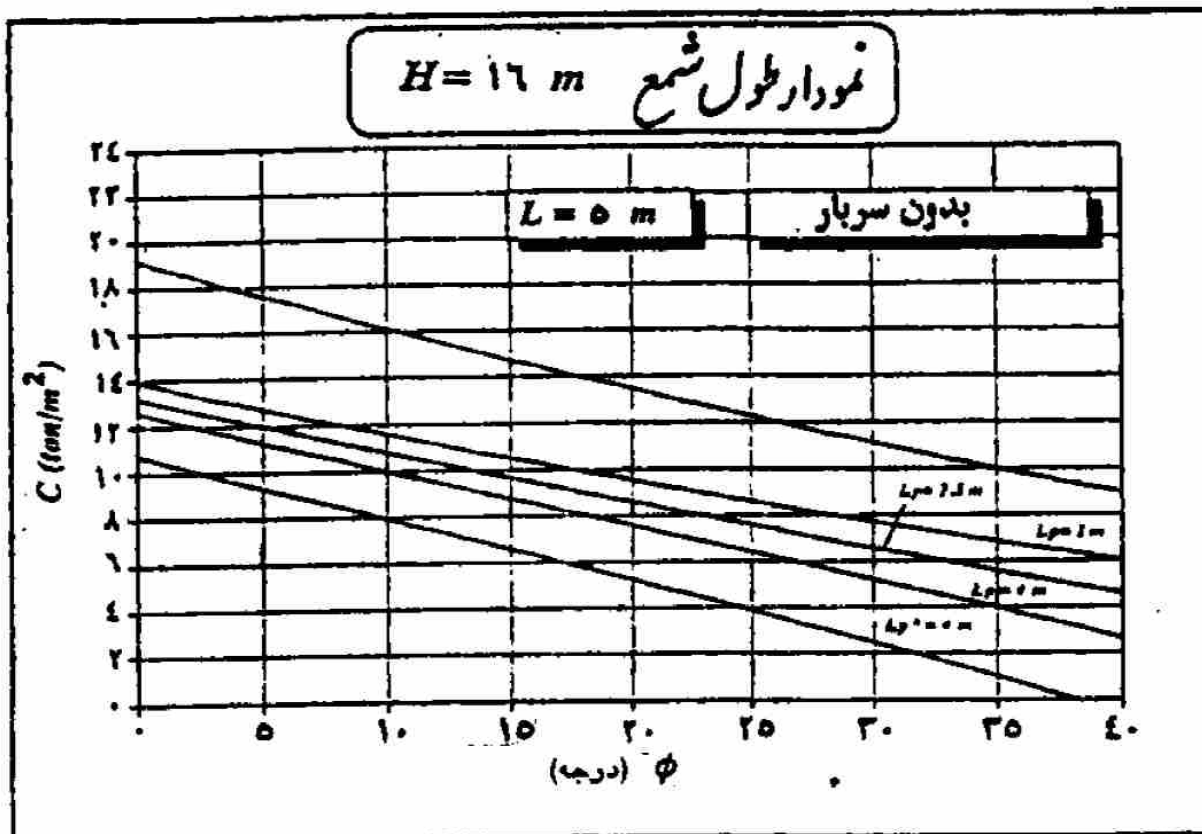


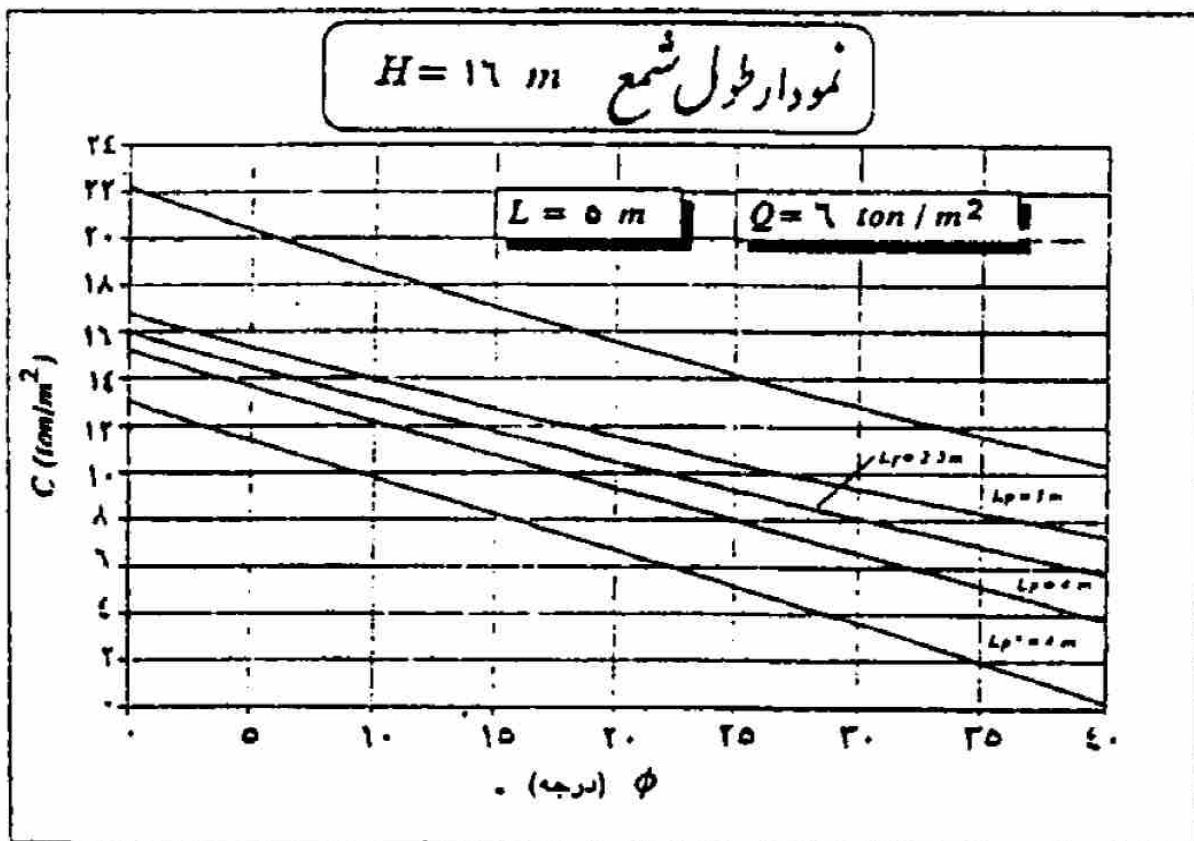
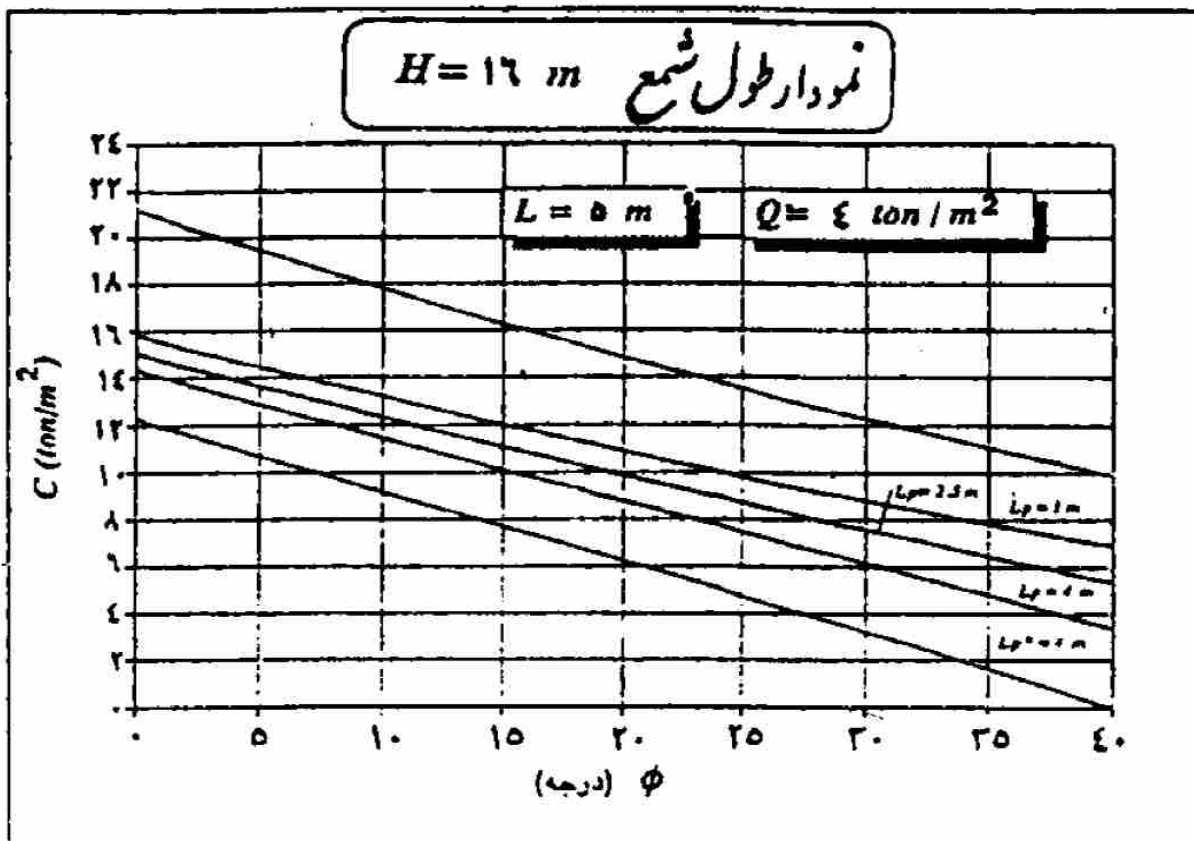












## منابع و مراجع

- ۱- گودبرداری و پایش در محیط‌های شهری، جلد اول: اصول پایه و روش‌های اجرایی، ویرایش دوم، تألیف دکتر جهانگیر خزایی، دکتر رسول عالی‌پور و دکتر احمد رضا مظاهری، انتشارات دانشگاه رازی.
- ۲- گودبرداری و سازه‌های نگهبان (ویژه آزمون‌های نظام مهندسی)، تألیف دکتر حمیدرضا اشرفی، انتشارات نوآور.
- ۳- اصول و مبانی گودبرداری و سازه‌های نگهبان، دکتر حمیدرضا اشرفی، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، ۱۳۸۵.
- ۴- مبحث هفتم مقررات ملی ساختمان، پی و پی‌سازی، ویرایش سوم (۱۳۹۲)، دفتر مقررات ملی ساختمان.
- ۵- مبحث هفتم مقررات ملی ساختمان، ژئوتکنیک و مهندسی پی، ویرایش چهارم (۱۴۰۰)، دفتر مقررات ملی ساختمان.
- ۶- مبحث دوازدهم مقررات ملی ساختمان، ایمنی و حفاظت کار در حین اجرا، ویرایش چهارم (۱۳۹۲)، دفتر مقررات ملی ساختمان.
- ۷- مشخصات فنی عمومی کارهای ساختمانی (نشریه شماره ۵۵)، ویرایش دوم (۱۳۹۰)، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور.
- ۸- مشخصات فنی عمومی راه‌ها (نشریه شماره ۱۰۱)، ویرایش دوم (۱۳۹۲)، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور.
- ۹- مهندسی پی طراحی و اجرا، دکتر ابوالفضل اسلامی، ویرایش دوم (۱۳۹۰)، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، وزارت مسکن و شهرسازی.
- ۱۰- مهندسی پی پیشرفته، دکتر علی فاخر (۱۳۹۰)، انتشارات دانشگاه تهران.
- ۱۱- اصول مهندسی پی، دکتر علیرضا رهایی، ویرایش دوم (۱۳۸۶)، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.