



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۱

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

کارفرما:

سازمان ملی زمین و مسکن

عنوان پروژه:

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و
مطالعات موردی فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

عنوان مدرک:

گزارش مبنای طراحی اولیه و روش احداث پی و سازه
(تمهیدات مهندسی در خصوص مقابله با فرونشست در سایت‌های پروژه‌های
انبوه سازی مسکن)

مشاور:

مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

تاریخ انتشار: دی ماه ۱۴۰۴

۰۳	ارسال برای بررسی و اظهار نظر کارفرما	۱۴۰۴/۱۰/۸	ع. نیکخواه ر. رضانژاد ح. نوش کیا ر. وکیلی ا. ظاهری	م. محمدنیا م. مجلل	ع. فاخر	س. ط. طباطبایی عقدا	سازمان ملی زمین و مسکن	۱
۰۲	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	۱
۰۱	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	۱
۰۰	ارسال برای بررسی و اظهار نظر کارفرما	۱۴۰۳/۱۱/۰۷	ع. نیکخواه ر. رضانژاد ح. نوش کیا ر. وکیلی ا. ظاهری	م. محمدنیا م. مجلل	ع. فاخر	س. ط. طباطبایی عقدا	سازمان ملی زمین و مسکن	۱
نسخه	شرح	تاریخ	تهیه	بررسی	تایید	تصویب	توزیع نسخ	تعداد



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۲

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

سوابق بازنگری

شماره صفحه	بازنگری					شماره صفحه	بازنگری					شماره صفحه	بازنگری					شماره صفحه	بازنگری				
	۰	۱	۲	۳	۴		۰	۱	۲	۳	۴		۰	۱	۲	۳	۴		۰	۱	۲	۳	۴
۱	x	x	x	x		۳۱	x	x	x	x		۶۱		x		x		۹۱					
۲	x	x	x	x		۳۲	x	x	x	x		۶۲		x		x		۹۲					
۳	x	x	x	x		۳۳	x	x	x	x		۶۳		x		x		۹۳					
۴	x	x	x	x		۳۴	x	x	x	x		۶۴				x		۹۴					
۵	x	x	x	x		۳۵	x	x	x	x		۶۵						۹۵					
۶	x	x	x	x		۳۶	x	x	x	x		۶۶						۹۶					
۷	x	x	x	x		۳۷	x	x	x	x		۶۷						۹۷					
۸	x	x	x	x		۳۸	x	x	x	x		۶۸						۹۸					
۹	x	x	x	x		۳۹	x	x	x	x		۶۹						۹۹					
۱۰	x	x	x	x		۴۰	x	x	x	x		۷۰						۱۰۰					
۱۱	x	x	x	x		۴۱	x	x	x	x		۷۱						۱۰۱					
۱۲	x	x	x	x		۴۲		x	x	x		۷۲						۱۰۲					
۱۳	x	x	x	x		۴۳		x	x	x		۷۳						۱۰۳					
۱۴	x	x	x	x		۴۴		x	x	x		۷۴						۱۰۴					
۱۵	x	x	x	x		۴۵		x	x	x		۷۵						۱۰۵					
۱۶	x	x	x	x		۴۶		x	x	x		۷۶						۱۰۶					
۱۷	x	x	x	x		۴۷		x	x	x		۷۷						۱۰۷					
۱۸	x	x	x	x		۴۸		x	x	x		۷۸						۱۰۸					
۱۹	x	x	x	x		۴۹		x	x	x		۷۹						۱۰۹					
۲۰	x	x	x	x		۵۰		x	x	x		۸۰						۱۱۰					
۲۱	x	x	x	x		۵۱		x	x	x		۸۱						۱۱۱					
۲۲	x	x	x	x		۵۲		x	x	x		۸۲						۱۱۲					
۲۳	x	x	x	x		۵۳		x	x	x		۸۳						۱۱۳					
۲۴	x	x	x	x		۵۴		x		x		۸۴						۱۱۴					
۲۵	x	x	x	x		۵۵		x		x		۸۵						۱۱۵					
۲۶	x	x	x	x		۵۶		x		x		۸۶						۱۱۶					
۲۷	x	x	x	x		۵۷		x		x		۸۷						۱۱۷					
۲۸	x	x	x	x		۵۸		x		x		۸۸						۱۱۸					
۲۹	x	x	x	x		۵۹		x		x		۸۹						۱۱۹					
۳۰	x	x	x	x		۶۰		x		x		۹۰						۱۲۰					



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه - مسکن و شهرسازی

صفحه ۳

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبانی طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

پیش گفتار

با توجه به اهمیت فرونشست و گسترش خرابی‌های ناشی از آن در کشور، تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین در دستور کار قرار گرفت. این ضابطه با بهره‌گیری از مطالعات صورت گرفته و گزارش‌های پشتیبان آن در رابطه با فرونشست نگارش شده است. عناوین این گزارش‌ها مطابق ذیل است:

الف- گزارش تحلیل تجارب از تدوین ضوابط ساخت ساختمان در مناطق دارای فرونشست

ب- گزارش روش‌های اندازه‌گیری میدانی

ج- گزارش مدل‌سازی و پیش‌بینی فرونشست

د- گزارش مبانی طراحی اولیه و روش احداث پی و سازه (تمهیدات مهندسی در خصوص مقابله با فرونشست در سایت‌های پروژه‌های انبوه‌سازی مسکن)

ه- ارزیابی پیاده‌سازی و پیشنهادهای نهایی (سه مطالعه موردی)

و- گزارش تدابیر مدیریتی مقابله با فرونشست

توصیه می‌شود از بارگذاری جمعیتی حتی در نقاطی که فرونشست ندارند اما از منابع آب زیرزمینی دشت‌های ممنوعه و بحرانی استفاده می‌کنند، خودداری شود.

متن حاضر از جمله اولین تلاش‌های مدون در کشور برای تدوین ضابطه به منظور کاهش خسارت‌های فرونشست به ساختمان‌ها است. بنابراین این ضابطه نیاز به تکمیل و به روز رسانی بر اساس بازخوردهای جامعه مهندسی در سال‌های آینده دارد.



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه - مسکن و شهرسازی

صفحه ۴

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

فهرست مطالب

۱- کلیات و معرفی ضابطه.....	۱۰
۱-۱- مقدمه.....	۱۰
۱-۲- هدف و دامنه کاربرد.....	۱۰
۱-۳- تعاریف در این ضابطه.....	۱۲
۱-۴- محدوده مورد مطالعه.....	۱۵
۱-۵- نحوه استفاده.....	۱۵
۲- توصیف کلی مراحل کار.....	۱۶
۲-۱- الزام به کارگیری ضابطه.....	۱۶
۲-۲- مراحل مطالعات فرونشستی و طراحی پی.....	۱۶
۳- جمع‌آوری اطلاعات زمین موردنظر.....	۱۷
۳-۱- مقدمه.....	۱۷
۳-۲- تغییرات تراز زمین و تاریخچه فرونشست منطقه.....	۱۷
۳-۳- گرادیان فرونشست.....	۲۲
۳-۴- تغییرات تغییر مکان افقی زمین.....	۲۲
۳-۵- تهیه داده‌های عمق آب زیرزمینی و تغییرات آن.....	۲۳
۳-۶- اطلاعات ژئوتکنیکی و عمق سنگ بستر.....	۲۴
۳-۷- شواهد خرابی ناشی از فرونشست.....	۲۷
۴- پیش‌بینی فرونشست.....	۲۷
۴-۱- مدل‌های تجربی.....	۲۷



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۵

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

- ۴-۲- مدل‌های نظری ۲۹
- ۴-۳- توصیه‌هایی برای انتخاب روش پیش‌بینی فرونشست ۳۰
- ۴-۴- نرم‌افزارهای مدلسازی پیش‌بینی فرونشست ۳۱
- ۴-۵- کالیبره کردن مدل پیش‌بینی فرونشست ۳۲
- ۴-۶- به کارگیری روش‌های قابلیت اعتماد ۳۴
- ۵- تعیین معیارها و مبنای طراحی پی در مقابله با فرونشست ۳۶
- ۵-۱- فرونشست حداکثر مجاز ۳۶
- ۵-۲- نشست غیریکنواخت مجاز پی ۳۶
- ۵-۳- محاسبه نشست غیریکنواخت پی ناشی از فرونشست ۳۸
- ۵-۴- تعیین ضریب تاثیر نوع پی ($F1$) ۳۹
- ۵-۵- تعیین ضریب تبدیل فرونشست ($F2$) ۴۲
- ۵-۶- کرنش افقی ۴۵
- ۵-۷- کج‌شدگی ۴۹
- ۶- پی مناسب و تمهیدات لازم ۵۰
- ۶-۱- انتخاب اولیه گزینه‌های مختلف پی و تمهیدات سازه‌ای ۵۰
- ۶-۲- انتخاب گزینه برتر ۵۲
- ۷- ساخت یا عدم ساخت ساختمان در زمین مورد نظر ۵۷
- ۷-۱- مبنای تصمیم‌گیری ۵۷
- ۷-۲- روش احتمال مجاز در تصمیم‌گیری در خصوص ساخت یا عدم ساخت ۵۸
- ۷-۳- روش هزینه چرخه عمر در تصمیم‌گیری در خصوص ساخت یا عدم ساخت ۵۸



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۶

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

- ۷-۴- پیشنهاد تعداد طبقات مناسب..... ۵۹
- ۷-۵- ساخت و ساز در مناطق مستعد شکاف‌های فرونشستی زمین..... ۶۰
- ۸- نظام مسئولیت‌ها و صلاحیت‌ها..... ۶۲
- ۸-۱- مسئولیت شروع مطالعات فرونشستی در یک پروژه..... ۶۲
- ۸-۲- مشاور ذی صلاح..... ۶۳
- ۸-۳- صلاحیت ارائه خدمات جنبی..... ۶۴
- ۸-۴- اجرای ابنیه..... ۶۵
- ۸-۵- رفع اختلاف و ابهام..... ۶۵

پیوست‌ها

پیوست-۱: تعیین قابلیت اعتماد با استفاده از روش مجموعه‌های منتخب خبرگان

پیوست-۲: مثالی از انتخاب گزینه‌های مختلف طراحی در یک منطقه دارای فرونشست

پیوست-۳: مثالی از محاسبه‌ی کرنش کششی در یک شهر

پیوست-۴: نرم‌افزارهای مدلسازی فرونشست

پیوست-۵: مراجع



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۷

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

فهرست جداول

جدول ۱-۱ تعاریف اصلی.....	۱۴
جدول ۱-۵ نشست غیریکنواخت مجاز پی (برگرفته شده از Terzaghi & Peck (1967)، Skempton & Bjerrum (1957) و (Day (2009).....	۳۷
جدول ۲-۵ ضریب تبدیل $F1$ در پی‌های مختلف (برگرفته شده از Terzaghi & Peck (1967) و (ACI 336.2R (2002).....	۳۹
جدول ۳-۵ شدت خرابی ناشی از ترک‌ها و نشست غیریکنواخت متناظر آن (Day, 2009).....	۴۳
جدول ۴-۵ رابطه‌ی بین درجه خرابی ساختمان و محدوده‌های کرنش افقی در پی ساختمان (Boscardin & Cording, (1989).....	۴۸
جدول ۱-۶ نحوه محاسبه خسارت ناشی از فرونشست.....	۵۶
جدول ۲-۶ تخمین خسارت تعمیرات ساختمان (درصد از قیمت آن).....	۵۶
جدول ۳-۶ تخمین مدت زمان تعمیر ساختمان آسیب دیده (مدت زمان موردنیاز برای اجاره ساختمان جدید بر حسب ماه).....	۵۷
جدول پ-۱-۲ متغیرهای مثال.....	پ-۲-۳
جدول پ-۲-۲ مقادیر Kr و $F1$ برای انواع گزینه‌های پی گسترده.....	پ-۲-۴
جدول پ-۳-۲ مقادیر Kr و $F1$ برای انواع گزینه‌های پی گسترده به علاوه توده بهسازی.....	پ-۲-۵
جدول پ-۴-۲ مقادیر Kr و $F1$ برای انواع گزینه‌های پی گسترده بر روی گروه شمع.....	پ-۲-۶
جدول پ-۵-۲ محاسبه نشست غیریکنواخت و تعیین درجه خرابی هر یک از گزینه‌ها.....	پ-۲-۷
جدول پ-۶-۲ محاسبه هزینه ریسک هر یک از گزینه‌ها.....	پ-۲-۹
جدول پ-۷-۲ هزینه ریسک، هزینه اولیه پروژه و هزینه چرخه عمر مربوط به هر یک از گزینه‌ها.....	پ-۲-۱۰
جدول پ-۱-۳ مقادیر محاسبه شده گرادیان فرونشست و تغییر مکان افقی زمین برای مقطع انتخابی.....	پ-۳-۳
جدول پ-۲-۳ مقادیر محاسبه شده کرنش افقی (کششی) برای مقطع انتخابی.....	پ-۳-۴



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه - مسکن و شهرسازی

صفحه ۸

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

جدول پ-۴-۱ روش های مختلف پیش بینی فرونشست، محدوده کاربرد و نرم افزارهای قابل استفاده..... پ-۴-۳



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه - مسکن و شهرسازی

صفحه ۹

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

فهرست اشکال

- شکل ۴-۱ (الف) نیمرخ دو بعدی زمین مورد مطالعه (ب) نیمرخ یک بعدی مقاطع ۱ و ۲ ۳۳
- شکل ۵-۱ توزیع کرنش افقی با توجه به شکل سنگ بستر ۴۶
- شکل پ-۳-۱ خطوط هم میزان فرونشست یک شهر برای یک سال به عنوان مثال (میزان فرونشست بر حسب سانتی متر)
..... پ-۳-۱
- شکل پ-۳-۲ مقطع تعیین شده برای بدست آوردن منحنی فرونشست پ-۳-۲
- شکل پ-۳-۳ منحنی فرونشست شهر مثال برای مقطع انتخابی پ-۳-۲
- شکل پ-۳-۴ منحنی تغییر مکان افقی زمین برای مقطع انتخابی پ-۳-۳
- شکل پ-۳-۵ منحنی کرنش افقی برای مقطع انتخاب پ-۳-۵



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۱۰

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

۱- کلیات و معرفی ضابطه

۱-۱- مقدمه

۱-۱-۱ فرونشست^۱ زمین در دشت‌های مختلف کشور در حال گسترش است و موجب بروز نشست‌های غیریکنواخت در سازه‌ها و ایجاد شکاف‌های فرونشستی زمین می‌شود. بنابراین انجام مطالعات فرونشست قبل از احداث پروژه‌های انبوه‌سازی مسکن در مناطق دارای فرونشست ضروری است.

۱-۱-۲ در این ضابطه راهکارهایی در خصوص طراحی و ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست ارائه می‌گردد.

۱-۱-۳ کنترل مصرف آب زیرزمینی و جلوگیری از پایین رفتن سطح آب در آبخوان موضوع این ضابطه نمی‌باشد.

۱-۱-۴ این ضابطه شامل دو بخش کلی است. در بخش اول اطلاعات لازم برای طراحی و تصمیم‌گیری در مورد زمین مورد نظر تدوین می‌شود و در بخش دوم طراحی پی ارائه می‌گردد. هر یک از این بخش‌ها باید توسط متخصص ذی صلاح در یک پروژه به کار گرفته شود. اطلاعات لازم برای طراحی و تصمیم‌گیری در مورد زمین مورد نظر در فصل‌های ۳ و ۴ و طراحی پی در فصل‌های ۵ الی ۷ آمده است. در ضمن نظام مسئولیت‌ها در فصل ۸ آمده است.

۱-۲- هدف و دامنه کاربرد

۱-۲-۱ هدف از تدوین این ضابطه، ارائه حداقل الزامات مورد نیاز ساخت ساختمان در توسعه شهری، شهرک‌ها و مجتمع‌های ساختمانی در مناطق دارای فرونشست است.

۱-۲-۲ این ضابطه برای ساختمان‌های مسکونی جدید در سایت‌های انبوه‌سازی مسکن تهیه شده است به صورتی که مطالعات لازم برای زمین‌های جدید در رابطه با فرونشست انجام گیرد. اگر چه این ضابطه برای ساختمان‌هایی با کاربری مسکونی تدوین شده است لیکن می‌تواند برای ساختمان‌ها با کاربری ورزشی، درمانی، آموزشی، فرهنگی، هنری و مذهبی

^۱ Subsidence



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۱۱

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

استفاده شود.

۳-۲-۱ این ضابطه اثرات فرونشست بر تاسیسات و تجهیزات عمومی داخل ساختمان را در نظر گرفته است زیرا نشست‌های مجاز و نشست‌های غیریکنواخت در این ضابطه با توجه به تمام جنبه‌های ساختمان از جمله تاسیسات پیشنهاد شده‌اند.

۴-۲-۱ این ضابطه جهت شناسایی و جمع‌آوری اطلاعات و پیش‌بینی فرونشست با اهداف (الف) تصمیم‌گیری در خصوص ساخت یا عدم ساخت در زمین مورد مطالعه، (ب) پیشنهاد تعداد طبقات مناسب برای ساختمان‌های مورد نظر و (ج) تمهیدات طراحی برای مواجهه با فرونشست، تهیه شده است.

۵-۲-۱ موارد قید شده در این ضابطه در سازمان ملی زمین و مسکن لازم‌الاجرا بوده مگر زمانی که به عنوان راهنما قید صریح شده باشد.

۶-۲-۱ این ضابطه مواردی را بیان می‌کند که آسیب به پی و سازه ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست را به مقدار قابل قبول کاهش می‌دهد.

۷-۲-۱ ضابطه حاضر صرفاً محدود به ساخت ساختمان در مناطق دارای فرونشست است و در موارد غیر مرتبط مانند خطوط انتقال برق، خطوط اصلی انتقال آب و فاضلاب، راه‌ها، خطوط راه‌آهن، خطوط لوله نفت و گاز توصیه‌ای ندارد. در ضمن این ضابطه شامل تخریب ساختمان‌های موجود و بناهای تاریخی بر اثر فرونشست نمی‌شود. البته روش‌های ارائه شده در آن برای پیش‌بینی فرونشست و طراحی در مقابل فرونشست‌های آتی برای ساختمان‌های موجود و بناهای تاریخی قابل استفاده است.

۸-۲-۱ فرونشست بر اثر پایین رفتن سطح کلی آب در آبخوان در این ضابطه موردنظر است. پایین رفتن موضعی سطح آب زیرزمینی در مجاور یک چاه آب که موجب ایجاد مخروط افت سطح آب و نشست موضعی می‌شود، موضوع این ضابطه نیست. همچنین فرونشست بر اثر استخراج نفت و گاز، مواد معدنی و ژئوترمال در این ضابطه مورد بحث قرار نگرفته است.



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۱۲

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

۹-۲-۱ فروچاله^۱ به معنی فروریزش در یک محدوده‌ی کوچک در سطح زمین است و یکی از متداول‌ترین مخاطرات در زمین‌های مختلف از جمله مناطق کارستی می‌باشد. فروچاله می‌تواند به دلیل آبشستگی زیر سطحی یا گسیختگی حفرات زیرزمینی به وجود آید. فروچاله با فرونشست متفاوت است و موضوع این ضابطه نمی‌باشد.

۳-۱- تعاریف در این ضابطه

۱-۳-۱ فرونشست زمین (SUB): نشست‌های سطح زمین بر اثر پایین رفتن سطح آب در منطقه و بروز پدیده تحکیم که در این ضابطه با نمایه اختصاری SUB نمایش داده می‌شود.

۲-۳-۱ تغییر مکان قائم زمین (d): مقدار تغییر مکان قائم زمین شامل فرونشست (SUB) و نشست ناشی از بارگذاری سازه (S) است.

۳-۳-۱ نشست ناشی از بارگذاری سازه (S): این نشست ناشی از اعمال بارگذاری و وزن ساختمان بر زمین است که شامل نشست آبی یا الاستیک (S_e) و نشست تحکیمی (S_c) است.

۴-۳-۱ نشست غیریکنواخت پی ناشی از بارگذاری سازه (Δ_s): نشست غیریکنواخت پی که در اثر نشست ناشی از بارگذاری سازه بین دو نقطه اتفاق می‌افتد.

۵-۳-۱ نشست غیریکنواخت پی ناشی از فرونشست غیریکنواخت (Δ_{SUB}): نشست غیریکنواخت پی که بر اثر وقوع پدیده فرونشست بین دو نقطه رخ می‌دهد.

۶-۳-۱ نشست غیریکنواخت پی (Δ): نشست غیریکنواخت پی را نشست اختلافی یا نسبی نیز می‌خوانند که وقوع آن متأثر از فرونشست و نشست ناشی از بارگذاری سازه است.

^۱ Sinkhole



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۱۳

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

۱-۳-۲ دوران نسبی پی (β): دورانی که در اثر نشست غیریکنواخت (Δ) بین هر دو نقطه به فاصله L تعریف می‌شود و مطابق رابطه (۱-۱) است.

$$\tan \beta = \frac{\Delta}{L} \quad (1-1)$$

۱-۳-۸ کج شدگی: تعریف ساده کج شدگی در یک ساختمان برابر با حاصل تقسیم کل نشست غیریکنواخت ناشی از بارگذاری و فرونشست بر عرض ساختمان است.

۱-۳-۹ نسبت نشست غیریکنواخت پی ناشی از بارگذاری سازه به نشست حداکثر ناشی از بارگذاری سازه مطابق $\left(\frac{\Delta_s}{s}\right)$ است.

۱-۳-۱۰ نسبت نشست غیریکنواخت پی ناشی از فرونشست به فرونشست حداکثر در محل، مطابق $\left(\frac{\Delta_{SUB}}{SUB}\right)$ است.

۱-۳-۱۱ گرادیان فرونشست در محل (Θ): تغییرات فرونشست (SUB) در محل را در فاصله‌ی بین دو نقطه را گویند.

$$\Theta = \frac{(SUB)_2 - (SUB)_1}{L} \quad (2-1)$$

۱-۳-۱۲ کرنش افقی (ε_h): بر اثر تغییر فاصله افقی بین هر دو نقطه در سطح زمین یا سازه به وجود می‌آید و مطابق زیر تعریف می‌شود.

$$\varepsilon_h = \frac{(\delta h)_2 - (\delta h)_1}{L} \quad (3-1)$$

h در این روابط به معنی افقی بودن کرنش یا تغییر مکان است و متغیر مستقل نمی‌باشد.

۱-۳-۱۳ پارامترها و تعاریف اصلی مورد استفاده در این ضابطه در جدول ۱-۱ بیان شده است.



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۱۴

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

جدول ۱-۱ تعاریف اصلی

مفهوم	نماد اختصاری	تعریف	رابطه
فرونشست	SUB	نشست‌های سطح زمین بر اثر پایین رفتن سطح آب در منطقه و بروز پدیده تحکیم	-
تغییر مکان قائم زمین	d	مقدار تغییر مکان قائم زمین شامل فرونشست (SUB) و نشست ناشی از بارگذاری سازه (S) است.	$d = SUB + S$
نشست حداکثر ناشی از بارگذاری سازه	S	این نشست ناشی از اعمال بارگذاری و وزن ساختمان بر زمین است که شامل نشست آبی یا الاستیک (S_e) و نشست تحکیمی (S_c) است. اگر نشست ناشی از تراکم خاک بر اثر زلزله یا سایر ارتعاشات وجود داشته باشد به مقادیر بالا اضافه می‌شود.	$S = S_e + S_c$
نشست غیریکنواخت پی	Δ	نشست غیریکنواخت پی را نشست اختلافی یا نسبی نیز می‌خوانند که وقوع آن متأثر از فرونشست و نشست ناشی از بارگذاری سازه است.	$\Delta = \Delta_s + \Delta_{SUB}$
نشست غیریکنواخت پی ناشی از بارگذاری سازه	Δ_s	نشست غیریکنواخت پی که در اثر نشست ناشی از بارگذاری سازه بین دو نقطه اتفاق می‌افتد.	-
نشست غیریکنواخت پی ناشی از فرونشست غیریکنواخت	Δ_{SUB}	نشست غیریکنواخت پی که بر اثر وقوع پدیده فرونشست بین دو نقطه رخ می‌دهد.	-
دوران نسبی پی	β	دورانی که در اثر نشست غیریکنواخت (Δ) بین هر دو نقطه به فاصله L تعریف می‌شود.	$\tan \beta = \frac{\Delta}{L}$
ضریب تاثیر نوع پی	F_1	ناشی از اندرکنش خاک و سازه است و تابع صلیبت پی و سختی زمین می‌باشد.	$F_1 = \frac{\Delta_s}{S}$
ضریب تبدیل فرونشست	F_2	ضریب تبدیل فرونشست برای تخمین نشست غیریکنواخت ناشی از فرونشست به کار می‌رود.	$F_2 = \frac{\Delta - \Delta_s}{SUB \times F_1}$
گرادبان فرونشست در محل	Θ	تغییرات فرونشست (SUB) در محل را در فاصله ی بین دو نقطه گویند.	$\Theta = \frac{(SUB)_2 - (SUB)_1}{L}$
تغییر مکان افقی	δh	تغییر مکان افقی نقطه ۱ یا ۲ در محاسبه کرنش افقی	-
کرنش افقی (کششی)	ε_h	کرنش افقی ناشی از تفاوت در تغییر مکان افقی بین دو نقطه با فاصله اولیه L را گویند.	$\varepsilon_h = \frac{(\delta h)_2 - (\delta h)_1}{L}$



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۱۵

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

۴-۱- محدوده مورد مطالعه

۴-۱-۱ این ضابطه برای مناطقی است که با فرونشست زمین مواجه هستند. بررسی مشکل فرونشست در یک پروژه نیازمند مطالعه فرونشست در آن زمین و زمین‌های اطراف به شعاع حداقل یک کیلومتر است.

۴-۱-۲ هر یک از دو شرط زیر چنانچه برقرار باشد، آنگاه لازم است مطالعات فرونشست طبق این ضابطه انجام گیرد.

۴-۱-۲-۱ اگر نرخ فرونشست سالیانه در محدوده‌ای به شعاع یک کیلومتر از محل پروژه طبق نقشه‌های سازمان نقشه‌برداری یا سایر مراجع معتبر بیش از ۱ سانتی‌متر بر سال ثبت شده باشد، آنگاه باید مطالعات پیش‌بینی شده در این ضابطه انجام گیرد تا اطمینان حاصل شود فرونشست آتی در طول عمر مفید سازه موجب خسارت نمی‌شود.

۴-۱-۲-۲ اگر در دشت و ناحیه‌ای مقدار افت ده ساله سطح آب زیرزمینی، با توجه به اندازه‌گیری‌های آب منطقه‌ای یا سایر اندازه‌گیری‌های معتبر بیش از ۵ متر باشد، آنگاه می‌بایست مطالعات فرونشست انجام گیرد و مفاد این ضابطه مدنظر قرار گیرد.

۵-۱- نحوه استفاده

۵-۱-۱ مطالب ذکر شده در این ضابطه شامل (الف) شناسایی و جمع‌آوری اطلاعات مرتبط با فرونشست، (ب) نحوه‌ی پیش‌بینی فرونشست، (ج) اصول طراحی پی مناسب یا بهسازی در مناطق دارای فرونشست و (د) بررسی امکان ساخت یا عدم ساخت در یک زمین در مناطق دارای فرونشست می‌باشد. این نکات باید در مناطق دارای فرونشست مورد توجه باشد.

۵-۱-۲ نکات ارائه شده در این ضابطه بیانگر حداقل مقادیر، راهکارها و الزامات طراحی و اجرا در رابطه با فرونشست است. تعیین سایر معیارها و مبنای طراحی هر پروژه از جمله مبنای طراحی لرزه‌ای، میزان نشست مجاز و ظرفیت باربری باید با توجه به مراجع و دستورالعمل‌های معتبر مورد توجه باشد.

۵-۱-۳ توصیف کلی مراحل کار در فصل ۲ این ضابطه بیان می‌شود که رعایت ترتیب این توالی در انجام مطالعات و طراحی ضروری است. شایان ذکر است که در فرآیند طراحی، در موارد ضروری باید به سایر مراجع و استانداردهای ملی و بین‌المللی در رابطه با نکات غیر مرتبط با فرونشست مراجعه شود.



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۱۶

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

۲- توصیف کلی مراحل کار

۲-۱- الزام به کارگیری ضابطه

۲-۱-۱ در ابتدا به جهت مشخص شدن لزوم استفاده از این ضابطه مطابق شروط مندرج در بخش ۱-۴، ضروری است مقدار فرونشست در محدوده‌ی زمین مورد نظر با رجوع به آخرین ویرایش اطلس‌های فرونشست سازمان نقشه برداری کشور، سامانه زیرساخت داده‌های مکانی (SDI) سازمان نقشه‌برداری و یا استعلام از این سازمان و همچنین سایر اطلاعات معتبر مشخص گردد. سپس در صورت لزوم طبق بند ۱-۴-۲، ضروری است سایر مراحل طراحی مطابق مفاد این ضابطه در دستور کار قرار گیرد.

۲-۱-۲ چنانچه اطلس فرونشست سازمان نقشه‌برداری کشور یا سایر اطلاعات معتبر در یک منطقه موجود نباشد ولی شواهد فرونشست مثل شکاف‌های محتمل ناشی از فرونشست زمین، بیرون‌زدگی لوله جدار چاه و یا تغییر شیب کانال‌های آب در شعاع ۲۵ کیلومتری وجود دارد، آنگاه برای تصمیم‌گیری در خصوص لزوم به کارگیری این ضابطه لازم است تداخل‌سنجی راداری طبق بند ۳-۲-۱۰-۱ انجام گیرد.

۲-۲- مراحل مطالعات فرونشستی و طراحی پی

ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست، دارای مراحل کار مشخصی است که رعایت ترتیب این مراحل در طراحی ضروری است. توالی این مراحل و شرح مختصر آن‌ها مطابق زیر است:

۲-۲-۱ مرحله اول طراحی شامل شناسایی و جمع‌آوری اطلاعات مختلف از جمله اندازه‌گیری تغییرات سطح زمین، وضعیت زیرسطحی و عمق سنگ بستر، تاریخچه تغییرات سطح آب زیرزمینی و میزان فرونشست ثبت شده در مراجع مختلف است. به فصل سوم ضابطه مراجعه شود.

۲-۲-۲ در مرحله دوم طراحی، جهت پیش‌بینی فرونشست آتی، لازم است مدل فرونشست تهیه و این مدل با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده واسنجی (کالیبره) گردد. سپس باید فرونشست آتی با به کارگیری روش‌های قابلیت اعتماد تخمین زده شود. به فصل چهارم ضابطه مراجعه شود.



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه - مسکن و شهرسازی

صفحه ۱۷

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

۳-۲-۲ در مرحله سوم معیارها و مبنای طراحی پی مانند نشست غیریکنواخت و فرونشست مجاز تعیین می‌گردد. به فصل پنجم ضابطه مراجعه شود.

۴-۲-۲ در مرحله چهارم گزینه‌های مختلف پی و بهسازی زمین با توجه به شرایط ساختمان مورد نظر و فرونشست آتی مورد بررسی قرار می‌گیرند و با محاسبه ریسک گزینه‌های مختلف پی با توجه به هزینه چرخه عمر، پی مناسب انتخاب می‌شود (فصل ششم ضابطه).

۵-۲-۲ در مرحله پنجم با توجه به نوع پی منتخب و شرایط زمین دارای فرونشست امکان ساخت ساختمان و یا عدم ساخت در زمین مورد نظر بررسی می‌گردد (فصل هفتم ضابطه).

۳- جمع‌آوری اطلاعات زمین مورد نظر

۳-۱- مقدمه

۳-۱-۱ این فصل اولین مرحله طراحی ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست است و ضروری است جمع‌آوری اطلاعات مختلف در زمین پروژه یا منطقه مورد بررسی (در شعاع حداقل ۱ کیلومتر از زمین پروژه) انجام گیرد.

۳-۱-۲ اطلاعات جمع‌آوری شده در این مرحله باید شامل تغییرات تراز زمین و تاریخچه فرونشست منطقه، اطلاعات عمق آب زیرزمینی و تغییرات آن و وضعیت ژئوتکنیکی زیرسطحی در محدوده فعلی و پیشین آبخوان آبرفتی، عمق و جنس سنگ بستر باشد.

۳-۱-۳ جمع‌آوری اطلاعات توسط مشاور ذی صلاح انجام می‌شود که شرایط آن در فصل ۸ این ضابطه آمده است. مشاور ذی صلاح باید در مورد کافی بودن اطلاعات جمع‌بندی کند. در صورت نیاز به انجام شناسایی‌ها و اندازه‌گیری‌های جدید، شرح خدمات این نوع مطالعات جنبی توسط مشاور ذی صلاح ارائه می‌گردد.

۳-۲- تغییرات تراز زمین و تاریخچه فرونشست منطقه

۳-۲-۱ میزان افت تراز زمین و تاریخچه فرونشست در آن منطقه (در شعاع حداقل ۱ کیلومتر از زمین پروژه) لازم است مطابق مراحل ذکر شده در بندهای آتی گردآوری شوند.



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۱۸

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

۳-۲-۲ در ابتدا لازم است با مراجعه به اطلاعات عمومی در دسترس مانند اطلس‌های فرونشست، پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور (www.ngdir.ir) و ژئوپورتال اطلاعات مکانی سازمان نقشه برداری (iransdi.ncc.gov.ir) اطلاعات موجود در رابطه با فرونشست در منطقه و تغییرات تراز زمین جمع‌آوری گردد.

۳-۲-۳ در مرحله بعد جهت تکمیل داده‌های فرونشست و تغییرات تراز زمین ضروری است میزان فرونشست اندازه‌گیری و تدقیق گردد. اطلاعات فرونشست با استفاده از روش‌هایی مانند (الف) تداخل‌سنجی راداری، (ب) ترازبازی دقیق، (ج) سیستم‌های موقعیت‌یاب جهانی و (د) کشش‌سنج‌ها به دست می‌آید که لازم است حداقل از یکی از آن‌ها جهت اندازه‌گیری پهنه و میزان فرونشست در پروژه استفاده شود.

۳-۲-۴ شرایط استفاده از هریک از روش‌های اندازه‌گیری فرونشست باید مطابق بندهای بعدی مورد توجه باشد.

۳-۲-۵ تاریخچه فرونشست در منطقه بر اساس اندازه‌گیری با یکی از روش‌های مندرج در این بخش لازم است حداقل به مدت ۱۰ سال در دسترس باشد. البته تاریخچه طولانی مدت‌تر اولویت دارد.

۳-۲-۶ حداکثر فواصل زمانی مناسب و کل مدت برای اندازه‌گیری فرونشست به منظور استفاده در روش‌ها یا کالیبره کردن آن‌ها تعیین می‌شود و بستگی به روش پیش‌بینی فرونشست مطابق توضیحات فصل ۴ دارد.

۳-۲-۷ اگر از روش‌های تجربی برای پیش‌بینی فرونشست استفاده شود، داده‌های فرونشست باید به صورت سالانه و به مدت حداقل ۱۰ سال تهیه شود تا تعداد داده کافی برای برازش به دست آید.

۳-۲-۸ چنانچه از روش‌های نظری برای پیش‌بینی فرونشست استفاده گردد، آنگاه داده‌های فرونشست تجمعی به صورت حداکثر هر ۵ سال و برای دو ۵ سال متوالی (حداقل سه داده در مدت ۱۰ سال شامل شروع، میانه و انتهای ۱۰ سال) برای کالیبره کردن مدل ضروری است.

۳-۲-۹ چنانچه اندازه‌گیری ۱۰ ساله تاریخچه فرونشست حتی با تداخل‌سنجی راداری به دلایلی مثل عدم دسترسی به عکس‌های ماهواره‌ای یا هزینه بالا (به تشخیص مشاور و تایید کارفرما) در پروژه مورد نظر مقدور نبود، آنگاه به اطلاعات موجود برای کالیبره کردن مدل‌های نظری پیش‌بینی فرونشست که در فصل ۴ این ضابطه تشریح می‌شوند، بسنده شود.



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۱۹

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

۳-۲-۱۰ اگر مقدار فرونشست‌های رخ داده در گذشته بر اساس یکی از روش‌های اندازه‌گیری فرونشست مثل تراز یابی دقیق یا سیستم موقعیت‌یاب جهانی در دسترس نباشد و همچنین زمان کافی برای اندازه‌گیری‌های آتی فراهم نگردد، آنگاه فقط روش تداخل‌سنجی راداری به کار رود.

۳-۲-۱۰-۱ تداخل‌سنجی راداری

۳-۲-۱۰-۱-۱ چنانچه در زمین و منطقه مورد نظر (در شعاع حداقل ۱ کیلومتر از زمین پروژه) اطلاعاتی از تاریخچه فرونشست و تغییر تراز زمین در بازه زمانی مناسب در دسترس نباشد، لازم است از تداخل‌سنجی راداری بهره گرفته شود زیرا سایر روش‌ها نمی‌توانند تغییرات سطح زمین در گذشته را اندازه‌گیری کنند. روش تداخل‌سنجی راداری با مقایسه‌ی تصاویر راداری که اختلاف فاز دارند، امکان اندازه‌گیری تغییر مکان‌های کوچک در سطح زمین را فراهم می‌کند. روش تداخل‌سنجی راداری باید مطابق دستور العمل منتشر شده توسط سازمان نقشه برداری با عنوان "تهیه نقشه‌های فرونشست توسط تصاویر ماهواره‌ای راداری" صورت گیرد.

۳-۲-۱۰-۱-۲ در زمین‌های مربوط به پروژه‌های سازمان ملی زمین و مسکن ضروری است از روش تداخل‌سنجی راداری بهره گرفته شود.

۳-۲-۱۰-۱-۳ در تداخل‌سنجی راداری لازم است اندازه‌گیری فرونشست با دقت حداکثر ۱۰ میلیمتر انجام شود، بدین معنی که حداکثر خطا برابر با ۱۰ میلی‌متر در هر پیکسل از تصاویر راداری باشد. اگر به دلایل شرایط پروژه امکان رسیدن به این سطح دقت در پروژه مقدور نباشد، آنگاه لازم است دقت برداشت‌ها گزارش شود. سپس قابل قبول بودن آن به تشخیص مشاور با توجه به شرایط پروژه تعیین می‌گردد.

۳-۲-۱۰-۱-۴ در شرایطی که عواملی مثل پوشش گیاهی متراکم و شرایط جوی، تاثیرات منفی بر دقت نتایج داشته باشد، لازم است خطاهای تصاویر راداری با روش مناسب تا حد امکان تصحیح شود. در هر صورت ضروری است دقت برداشت‌ها و همچنین قابل قبول بودن نتایج با توجه به موانع موجود مثل پوشش گیاهی اعلام گردد. برای جزئیات بیشتر در خصوص روش‌های تصحیح به دستور العمل منتشر شده توسط سازمان نقشه برداری با عنوان "تهیه نقشه‌های فرونشست توسط تصاویر ماهواره‌ای راداری" مراجعه شود.



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۲۰

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

۳-۲-۱۰-۲ ترازیبی دقیق

۳-۲-۱۰-۲-۱ نقشه برداری و ترازیبی زمین پروژه می‌تواند برای تعیین مقدار فرونشست به کار رود اما باید اطلاعات قبلی در دسترس باشد یا زمان کافی برای برداشت‌های آتی وجود داشته باشد.

۳-۲-۱۰-۲-۲ الزامات مربوط به ایجاد یک شبکه ترازیبی و انجام عملیات ترازیبی دقیق نظیر طراحی مسیرهای اندازه‌گیری، روش‌های اندازه‌گیری و تصحیحات خطا باید مطابق نشریه شماره ۱-۱۱۹ (دستورالعمل‌های همسان نقشه برداری - جلد اول) انجام شود.

۳-۲-۱۰-۲-۳ جهت محاسبه مقدار فرونشست و نرخ آن لازم است مشاهدات ترازیبی در بازه‌های زمانی مختلف تکرار شود.

۳-۲-۱۰-۲-۴ شبکه ترازیبی باید به صورتی طراحی شود که تمام نقاط زمین‌های مستعد فرونشست را تحت پوشش قرار دهد و شامل نقاطی خارج از منطقه فرونشستی باشد که ارتفاع در این نقاط ثابت در نظر گرفته شود.

۳-۲-۱۰-۲-۵ ایستگاه‌های ترازیبی به عنوان نقاط مرجع باید به گونه‌ای ساخته شوند که نشست‌های ناخواسته در محل اتصال نقاط مرجع به زمین باعث ایجاد خطا در عملیات ترازیبی نگردد.

۳-۲-۱۰-۲-۶ اگر اطلاعات حاصل از این روش در گذشته موجود باشد، آنگاه نیازی به استفاده از تداخل سنجی راداری نیست.

۳-۲-۱۰-۳ سیستم‌های تعیین موقعیت جهانی

۳-۲-۱۰-۳-۱ این روش به‌طور عمومی GPS یا به صورت تخصصی GNSS نامیده می‌شود و از امواج رادیویی ارسالی توسط ماهواره‌های موجود در مدار زمین استفاده می‌کنند تا موقعیت‌های دقیق نقاط واقع در سطح زمین را تعیین کنند. موقعیت نقاط در فواصل زمانی مشخص برداشت شود و فرونشست با مقایسه مختصات تغییر مکان سطح زمین اندازه‌گیری گردد. در هر اندازه‌گیری برای حصول به دقت مطلوب توصیه می‌شود ۲۴ ساعت مشاهده انجام شود. در این روش نیازی به ایستگاه‌های دارای گیرنده GPS به صورت مستمر نیست. نقاط مورد مشاهده یا پیلارها باید به نحوی مناسبی به زمین بکر متصل گردد تا از اثرات ناخواسته مانند عوامل جوی و انسانی جلوگیری شود.



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۲۱

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

۲-۳-۱۰-۲-۳ اندازه‌گیری فرونشست توسط شبکه GPS باید با کالیبراسیون دقیق انجام شود و دقت اندازه‌گیری حداکثر ۱۰ میلی‌متر باشد.

۲-۳-۱۰-۳-۳ در این روش نیز باید اطلاعات قبلی در دسترس باشد یا زمان کافی برای اندازه‌گیری‌های آتی فراهم گردد. در این صورت نیازی به استفاده از تداخل‌سنجی راداری نیست.

۲-۳-۱۰-۴-۳ کشش‌سنج‌ها

۲-۳-۱۰-۴-۳-۱ کشش‌سنج‌ها ابزاری جهت محاسبه تغییر مکان نسبی دو نقطه می‌باشند. کشش‌سنج درون یک گمانه عمیق نصب شده و امکان ثبت پیوسته اندازه‌گیری تغییر مکان عمودی بین سطح زمین و یک نقطه مرجع در اعماق زمین میسر می‌شود. این تجهیزات باید در یک گمانه عمیق در زمین پروژه نصب شوند. عمق انتهای گمانه باید به نحوی انتخاب شود که تحت تاثیر فرونشست نباشد.

۲-۳-۱۰-۴-۳-۲ کشش‌سنج در این ضابطه برای اندازه‌گیری فرونشست و هرگونه تغییر مکان در راستای قائم پیشنهاد شده است. بنابراین کشش‌سنج باید در راستای قائم نصب شود.

۲-۳-۱۰-۴-۳-۳ اندازه‌گیری‌ها در این روش به صورت نقطه‌ای انجام می‌گیرد و هر واحد از این دستگاه امکان سنجش نسبی تغییر مکان در دو عمق مختلف (۱۰ الی ۳۰۰ متر) را دارد. بنابراین عمق مناسب برای اندازه‌گیری فرونشست باید متناسب با ضخامت لایه‌ها انتخاب گردد.

۲-۳-۱۰-۴-۳-۴ این روش امکان اندازه‌گیری مستمر تغییرات ضخامت آبخوان را به صورت مستقیم نیز فراهم می‌کند و توصیه می‌شود در صورت امکان به صورت توأمان با پایش تغییرات تراز زمین از آن استفاده شود.

۲-۳-۱۰-۴-۳-۵ در صورت نصب صحیح تجهیزات کشش‌سنج‌ها، به علت دقت بالای این روش (۰/۰۱-۰/۰۱ میلی‌متر) باید از نتایج آن‌ها جهت کالیبراسیون سایر روش‌های اندازه‌گیری استفاده شود.

۲-۳-۱۰-۴-۳-۶ چنانچه به تشخیص مشاور به دقت بالا (حدود ۱ میلی‌متر) برای اندازه‌گیری فرونشست یا تغییر ضخامت آبخوان نیاز باشد، استفاده از کشش‌سنج برای صحت‌سنجی سایر روش‌ها در پروژه‌هایی مثل زمین‌های مجاور دریا یا



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۲۲

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

آبخوان‌های خاص به کار رود.

۳-۳-۳- گرادیان فرونشست

۳-۳-۱- گرادیان فرونشست طبق رابطه (۲-۱) از روی مقدار فرونشست اندازه‌گیری شده به دست می‌آید. افزون بر اطلاعات فرونشست در جمع‌آوری اطلاعات لازم است مقادیر گرادیان فرونشست در محل زمین پروژه و منطقه مورد مطالعه (در شعاع حداقل ۱ کیلومتر از زمین پروژه) چنانچه در دسترس باشند، جمع‌آوری شود.

۳-۳-۲- در جمع‌آوری اطلاعات مربوط به گرادیان فرونشست، لازم است اطلاعات منتشر شده توسط سازمان نقشه‌برداری مورد توجه باشد.

۳-۳-۳- چنانچه برداشت‌های تداخل‌سنجی راداری در یک پروژه انجام شود یا در گذشته انجام شده است و داده‌های آن‌ها در دسترس است، توصیه می‌شود نقشه‌ی گرادیان فرونشست در منطقه مورد بررسی (در شعاع حداقل ۱ کیلومتر از زمین پروژه) تهیه گردد.

۳-۳-۴- توصیه می‌شود حداکثر گرادیان فرونشست زمین در منطقه مورد بررسی (در شعاع حداقل ۱ کیلومتر از زمین پروژه) مشخص شود.

۳-۴-۲- تغییرات تغییر مکان افقی زمین

۳-۴-۱- اندازه‌گیری تغییر مکان افقی زمین می‌تواند به بررسی کرنش افقی و بروز شکاف فرونشستی کمک کند. بنابراین اندازه‌گیری تغییر مکان افقی در منطقه مورد مطالعه (در شعاع حداقل ۱ کیلومتر از زمین پروژه) توصیه می‌گردد.

۳-۴-۲- روش اندازه‌گیری تغییر مکان افقی مشابه روش‌های پیشنهادی برای اندازه‌گیری تغییرات تراز زمین و تاریخچه فرونشست منطقه، مطابق بخش ۳-۲، توصیه می‌گردد.

۳-۴-۳- مدت زمان اندازه‌گیری تغییر مکان افقی زمین مشابه اندازه‌گیری تغییرات تراز زمین طبق بندهای ۳-۲-۵ الی ۳-۲-۸ صورت گیرد.



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۲۳

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

۳-۵- تهیه داده‌های عمق آب زیرزمینی و تغییرات آن

۳-۵-۱ فرونشست عموماً ناشی از برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی و افت سطح آب زیرزمینی است. بنابراین لازم است اطلاعات تراز آب زیرزمینی در منطقه‌ی مورد مطالعه (در شعاع حداقل ۱ کیلومتر از زمین پروژه) و تغییرات آن جمع‌آوری شود و جهت پیش‌بینی فرونشست آتی به کار رود.

۳-۵-۲ در ابتدا لازم است با مراجعه به گزارش‌های آبخوان تهیه شده توسط شرکت‌های آب منطقه‌ای، اطلاعات موجود در رابطه با نوسانات عمق آب زیرزمینی در منطقه جمع‌آوری گردد.

۳-۵-۳ از آنجا که مرسوم‌ترین روش اندازه‌گیری عمق آب زیرزمینی استفاده از چاه‌های مشاهده‌ای و پیزومتر می‌باشد، ضروری است که روند تغییرات عمق سطح آب زیرزمینی در سال‌های مختلف (حتی‌الامکان حداقل ۱۰ سال) با استفاده از نتایج حاصل از اندازه‌گیری بررسی گردد.

۳-۵-۴ با مطالعه داده‌های حاصل از لوگ چاه‌های اکتشافی، چاه‌های مشاهده‌ای آب زیرزمینی، نقشه‌های زمین شناسی و هیدروژئولوژی و همچنین داده‌های ژئوفیزیکی در یک دشت در صورت وجود، باید نوع و تعداد آبخوان‌ها مشخص شود.

۳-۵-۵ تغییرات ضخامت آبخوان در اعماق زمین را می‌توان توأم با اندازه‌گیری تغییرات سطح زمین توسط کشش سنج‌ها به صورت مستقیم اندازه‌گیری کرد. در صورتی که امکان اندازه‌گیری نسبی در اعماق مختلف زمین فراهم باشد میزان فشردگی ضخامت یک یا چند آبخوان، اندازه‌گیری گردد.

۳-۵-۶ شناسایی کامل آبخوان‌ها اعم از وجود چند آبخوان مستقل به روی یکدیگر باید موردنظر باشد.

۳-۵-۷ آبخوان‌های معلق که وسعت کمی دارند نقش زیادی در ایجاد نشست غیریکنواخت ایفا می‌کنند. بنابراین شناسایی این آبخوان‌ها باید افزون بر فرونشست عمومی در منطقه موردنظر باشند.

۳-۵-۸ چنانچه اندازه‌گیری‌های فرونشست در سطح زمین نشان دهد که بین فرونشست نقاط مختلف در یک دشت محدود تفاوت قابل توجه وجود دارد آنگاه احتمال وجود آبخوان معلق بیش‌تر است و باید شناسایی آبخوان‌های معلق حتی‌الامکان صورت گیرد.



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۲۴

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

۹-۵-۳ برای شناسایی آبخوان‌های معلق نیز مشابه سایر آبخوان‌ها برخورد شود، در این راستا به بندهای ۳-۵-۱ الی ۳-۵-۵ مراجعه گردد.

۳-۶- اطلاعات ژئوتکنیکی و عمق سنگ بستر

۳-۶-۱ در مطالعه فرونشست در زمین مورد نظر لازم است شناسایی پارامترهای ژئوتکنیکی لایه‌های زیر سطحی و عمق سنگ بستر مورد توجه قرار گیرد.

۳-۶-۲ لازم است شناسایی ژئوتکنیکی لایه‌های زیر سطحی شامل حفر گمانه‌های اکتشافی و اخذ نمونه از لایه‌های مختلف خاک و انجام آزمایش‌های آزمایشگاهی و برجا در زمین پروژه، مورد توجه قرار گیرد. البته استفاده از مطالعات پیشین ژئوتکنیکی در زمین مورد نظر و یا زمین‌های مجاور بلامانع است.

۳-۶-۳ در پروژه مورد مطالعه چنانچه اطلاعات ژئوتکنیکی کافی فراهم نباشد، آنگاه لازم است در کنار حفر گمانه‌ها و آزمایش‌های ژئوتکنیکی جدید، از آزمایش‌های ژئوفیزیک به صورت بهینه در ترکیب با شناسایی‌های ژئوتکنیکی بهره برد. نوع آزمایش ژئوفیزیکی مثل آزمایش لرزه‌ای یا ژئوالکتریک با توجه به شرایط زمین تعیین گردد. در این خصوص لازم است به مراجع معتبر مثل (ASTM- D6429 (2011 مراجعه شود.

۳-۶-۴ در مناطقی که دچار فرونشست زمین می‌شوند، حتی اگر این پدیده به صورت یکنواخت رخ دهد امکان سست‌شدگی لایه‌های زمین وجود دارد. این نکته باید در انجام شناسایی‌های جدید و مقایسه با شناسایی‌های قدیمی مورد توجه باشد.

۳-۶-۵ در مناطقی که خاک به رطوبت حساس است و خواصی مثل رمبندگی، تورم، واگرایی یا املاح انحلال پذیر وجود دارد، ترکیب این عوامل با فرونشست به خصوص در صورت بروز ترک یا شکاف‌های فرونشستی زمین می‌تواند مشکل آفرین باشد. بنابراین توصیه می‌شود در مطالعات فرونشست به خواص خاک‌های مشکل آفرین یا حساس به رطوبت نیز توجه شود.

۳-۶-۶ وجود قنات در مناطق دارای فرونشست می‌تواند موجب ترکیب پیچیده‌ی فرونشست غیریکنواخت و کرنش افقی ناشی از فرونشست با تنش‌های ناشی از گسیختگی قنات‌ها شود. بنابراین شناسایی قنات‌ها در این مناطق ضروری است. اگر



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۲۵

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

قنات از زیر ساختمان عبور می‌کند توصیه می‌شود قنات منحرف گردد یا با روش مناسب مقاوم‌سازی شود.

۳-۶-۷ در مواردی که عمق سنگ بستر زیاد (بیش از حدود ۸۰ متر) باشد و در محدوده عمق حفر گمانه‌ها یا حوزه تاثیر شناسایی‌های ژئوفیزیکی متداول قرار نگیرد، آنگاه به روش‌های زیر مراجعه شود.

۳-۶-۷-۱ استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی که توسط سازمان زمین‌شناسی (www.gsi.ir) تهیه شده است، برای تعیین عمق سنگ بستر مقدور می‌باشد. اگر نقشه‌های زمین‌شناسی سازمان زمین‌شناسی در نقطه مورد نظر دارای کمبودهایی در برآورد عمق سنگ کف باشد، آنگاه نقشه‌های آب زمین‌شناسی و نقشه‌های خطر فرونشست این سازمان نیز مورد توجه قرار گیرد.

۳-۶-۷-۲ اگر با توجه به ماهیت نقشه‌های سازمان زمین‌شناسی و گستره وسیع پهنه‌های آبخوان‌های آبرفتی کشور، اطلاعات لازم برای پروژه مورد مطالعه تحت پوشش قرار نگرفته باشد، آنگاه اطلاعات ژئوالکتریک وزارت نیرو می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

۳-۶-۷-۳ نقشه رستری عمق سنگ بستر برای شهرهای مختلف که با استفاده از داده‌های پایگاه‌های اطلاعاتی فائو (www.fao.org) تهیه گردیده است، در دسترس می‌باشد و می‌تواند برای تعیین عمق تقریبی سنگ بستر به کار رود. اضافه می‌شود که دقت این نقشه‌ها خیلی کمتر دقت نقشه‌های سازمان زمین‌شناسی است.

۳-۶-۷-۴ اطلاعات ژئوتکنیکی حاصل از حفر چاه‌های عمیق حتی‌الامکان جمع‌آوری گردد.

۳-۶-۸ وجود ناهمواری بزرگ و همچنین گسل خوردگی در سنگ بستر می‌تواند موجب فرونشست‌های غیریکنواخت شود. بنابراین شناخت این ناهمواری‌ها و گسل خوردگی ضروری است.

۳-۶-۹ توصیه‌هایی برای مشخصات گمانه‌ها و برداشت‌های ژئوفیزیک

۳-۶-۹-۱ توصیه‌های این بخش برای شرایطی است که امکان شناسایی کامل زمین برای پروژه مورد نظر در مطالعات اولیه برای انتخاب زمین وجود ندارد.

۳-۶-۹-۲ هدف از شناسایی‌های ژئوتکنیکی با حفر گمانه و همچنین برداشت‌های ژئوفیزیکی در یک پروژه باید شامل



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۲۶

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

شناخت لایه‌های زمین و عمق سنگ بستر باشد. این نوع مطالعات صرف نظر از وجود فرونشست باید با توجه به دستورالعمل‌های شناسایی زمین مثل مبحث هفتم مقررات ملی ساختمان انجام گیرد و در مطالعات فرونشست به کار رود.

۳-۹-۶-۳ توصیه می‌شود عمق گمانه‌ها تا سنگ بستر و فاصله‌ی گمانه‌ها ۳۰۰ الی ۵۰۰ متر باشد.

۳-۹-۶-۴ با توجه به ملاحظات اقتصادی عمق گمانه ژئوتکنیکی بیش از ۶۰ متر در شناسایی‌های مربوط به مطالعات فرونشستی توصیه نمی‌شود. از طرف دیگر عمق گمانه باید حداقل شامل محدوده‌ای که تراز آب در آبخوان افت نموده و همچنین تا عمقی که تا چند سال آینده افت خواهد نمود، باشد. چنانچه عمقی بیش از این مقادیر برای محاسبه نشست تحکیمی لازم تشخیص داده شد، آنگاه به انتخاب مشاور با توجه به ملاحظات اقتصادی تصمیم‌گیری می‌شود.

۳-۹-۶-۵ توصیه می‌شود با توجه به ملاحظات اقتصادی برداشت‌های ژئوفیزیکی با روش ژئوالکتریک انجام گیرد. مگر اینکه دسترسی به سایر روش‌ها در پروژه ساده‌تر باشد یا استفاده از ژئوالکتریک به دلیل موانع موجود عملی نباشد.

۳-۹-۶-۶ مقاطع در برداشت ژئوفیزیک در فواصل ۳۰۰ الی ۵۰۰ متر در جهت طولی و عرضی و عمق شناسایی‌های ژئوفیزیکی باید تا عمق رسیدن به سنگ بستر باشد.

۳-۹-۶-۷ اگر در شناسایی‌های ژئوفیزیکی، عمق سنگ بستر بیش از ۲۵۰ متر تخمین زده شد، آنگاه توصیه می‌شود که به تخمین عمق سنگ بستر با استفاده از اطلاعات زمین‌شناسی بسنده گردد.

۳-۹-۶-۸ برای تعیین شناسایی‌ها در مطالعات فرونشستی باید از ترکیب شناسایی‌های ژئوفیزیکی و ژئوتکنیکی به صورت بهینه استفاده کرد. همچنین کالیبره کردن نتایج ژئوفیزیکی با استفاده از نتایج گمانه‌های ژئوتکنیکی و سایر اطلاعات موجود مانند تراز آب‌های زیرزمینی و لوگ چاه‌های مشاهده‌ای شرکت‌های آب منطقه‌ای ضروری است.

۳-۹-۶-۹ مقدار شناسایی‌های زمین و دقت تعیین عمق سنگ بستر باید با توجه به شرایط پروژه و مراحل مطالعاتی و بودجه پروژه تعیین شود.



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۲۷

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

۷-۳- شواهد خرابی ناشی از فرونشست

۷-۳-۱ در منطقه مورد مطالعه (تا شعاع یک کیلومتری از زمین پروژه) لازم است شواهد تخریب ناشی از فرونشست به شرح زیر بررسی و مشخصات آن‌ها ثبت گردد.

۷-۳-۱-۱ ساختمان‌های آسیب دیده با مشاهده میدانی

۷-۳-۱-۲ بیرون زدگی لوله جدار چاه‌ها با مشاهده میدانی

۷-۳-۱-۳ ترک‌ها و شکاف‌های زمین با مشاهدات میدانی و عکس‌های هوایی یا ماهواره‌ای

۷-۳-۱-۴ ترک و شکاف و سایر شواهد مرتبط با رخداد فرونشست زمین در سازه‌های خطی مانند راه‌ها، کانال‌های آبرسانی و خطوط لوله

۴- پیش‌بینی فرونشست

جهت پیش‌بینی فرونشست لازم است ابتدا مدل مناسب مطابق توضیحات بندهای آتی انتخاب شوند. سپس یک یا چند مدل با توجه به داده‌های فرونشست کالیبره گردند و برای پیش‌بینی فرونشست به کار رود. اگر چه در این ضابطه استفاده از روش‌های یقینی (قطعی) برای پیش‌بینی فرونشست پیشنهاد شده است، لیکن تاکید گردیده است که با توجه به عدم اطمینان‌های موجود در پیش‌بینی فرونشست، از روش‌های قابلیت اعتماد برای پیش‌بینی استفاده شود.

۴-۱-۱ مدل‌های تجربی

۴-۱-۱-۱ مدل‌های تجربی بر اساس مقادیر نشست زمین در گذشته، روند تغییرات آن در آینده را پیش‌بینی می‌کنند. در واقع در این مدل‌ها مقدار فرونشست تنها تابعی از زمان در نظر گرفته می‌شود. بنابراین لازم است با استفاده از داده‌های به دست آمده از مقدار فرونشست، اقدام به استفاده از مدل‌های تجربی شود.

۴-۱-۲ فرونشست در آینده به وسیله‌ی مدل‌های تجربی با برونیابی از توابع خطی، توانی و نمایی برازش شده بر روند تغییرات فرونشست در گذشته، تخمین زده شود.

۴-۱-۳ لازم است هر سه منحنی برازش خطی، توانی و نمایی بر روند تغییرات فرونشست در گذشته رسم شود و منحنی با



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۲۸

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

برازش بهتر مبنای کار پیش‌بینی قرار گیرد. توابع خطی، توانی و نمایی به ترتیب مطابق روابط (۱-۴)، (۲-۴) و (۳-۴) بیان می‌شوند:

$$S = Bt \quad (۱-۴) \text{ رابطه خطی}$$

$$S = Bt^X \quad \text{یا} \quad \log S = \log B + X \log t \quad (۲-۴) \text{ رابطه توانی}$$

$$S = Be^{Xt} \quad \text{یا} \quad \log S = \log B + 0.43Xt \quad (۳-۴) \text{ رابطه نمایی}$$

که در این روابط B و X مقادیر ثابت بوده و S مقدار فرونشست و t زمان است (Poland, 1984).

۴-۱-۴ در برازش داده‌های فرونشست با تابع خطی ضروری است، عرض از مبدا معادله خطی برابر صفر باشد.

۴-۱-۵ اگر مقادیر فرونشست در شروع برداشت به دلایل مختلف منفی باشد، آنگاه در برازش با تابع توانی و تابع نمایی لازم است این داده‌های منفی حذف گردد و برازش برای سایر داده‌ها انجام شود.

۴-۱-۶ استفاده از مدل تجربی در صورتی مجاز است که حداقل داده‌های اندازه‌گیری شده در ۱۰ سال اخیر در دسترس باشد.

۴-۱-۷ به علت دقت کم مدل‌های تجربی، تخمین فرونشست آتی در فواصل زمانی طولانی (بیش از نصف مدت زمانی که داده‌های فرونشست قبلی موجود است) توصیه نمی‌شود.

۴-۱-۸ برای پیش‌بینی فرونشست به روش تجربی در پایان طول عمر مفید ساختمان (مثلاً ۵۰ سال) باید افزون بر داده‌های اندازه‌گیری شده در حداقل ۱۰ سال اخیر، زمان تقریبی شروع فرونشست در منطقه با کسب اطلاعات محلی مشخص باشد. سپس با توجه به شکل منحنی برازش شده باید قضاوت مهندسی برای پیش‌بینی مقدار فرونشست و دقت آن انجام شود.

۴-۱-۹ برخی روش‌های تجربی در ادبیات فنی گزارش شده است که در آن‌ها به برخی از متغیرهای تحکیم مثل مدل مبتنی بر افت سطح آبخوان (Poland, 1984) و مدل مبتنی بر دبی استخراج سیال (Poland, 1984) توجه می‌شود. این نوع روابط تجربی که نیمه نظری نیز خوانده می‌شوند، می‌تواند با مراجعه به ادبیات فنی (مثل Land Subsidence Task Committee, 2022) مورد استفاده قرار گیرد.



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۲۹

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

۲-۴-۲- مدل‌های نظری

۲-۴-۱ مدل‌های نظری، رویکردی جامع به مسئله تغییر شکل سیستم آبخوان و فرونشست زمین ناشی از پمپاژ آب زیرزمینی ارائه می‌دهند که خواص فیزیکی، هیدروژئولوژیکی و ژئومکانیکی زمین را توأمان در نظر می‌گیرند. در صورت استفاده از مدل‌های نظری لازم است مدل مورد استفاده قادر باشد نشست‌های آنی (الاستیک) بر اثر افزایش تنش و همچنین نشست ناشی از تحکیم خاک را مدل‌سازی نماید.

۲-۴-۲ برای تحلیل پدیده‌ی تحکیم و فرونشست، دو روش پایه وجود دارد. روش ترزاقی که با استفاده از نظریه محو فشار اضافی آب حفره‌ای به دست می‌آید و روش تئوری بیوت^۱ که با استفاده از تئوری الاستیسیته برای خاک‌های اشباع و غیراشباع حاصل می‌شود.

۲-۴-۳ استفاده از نظریه ترزاقی طبق این ضابطه برای تخمین نشست ناشی از تحکیم الزامی است. مدل‌سازی طبق نظریه بیوت برای خاک‌های اشباع و غیراشباع ضروری نیست. در یک پروژه با توجه به داده‌های در دسترس و همچنین در اختیار داشتن نرم افزار مناسب لازم است به توصیه‌های بخش ۴-۳ برای انتخاب روش پیش‌بینی فرونشست توجه شود.

۲-۴-۴ استفاده از روش نظری نیازمند داده‌های فرونشست تاکنون و تغییرات سطح آب زیرزمینی در گذشته برای کالیبره کردن مدل مورد استفاده جهت پیش‌بینی فرونشست آتی می‌باشد. در این ضابطه محدودیتی برای مدت زمان پیش‌بینی با این روش تعیین نمی‌شود.

۲-۴-۵ پس از این که مدل نظری بر اساس داده‌های گذشته کالیبره گردید، آنگاه تغییرات سطح آب زیرزمینی در آینده پیش‌بینی می‌شود و در مدل نظری برای تخمین فرونشست آتی به کار می‌رود. پیش‌بینی تغییرات سطح آب در آینده مشکل است و تابع سیاست‌های مختلف در منطقه می‌باشد. بنابراین پیش‌بینی تغییرات سطح آب زیرزمینی در جهت سادگی بر اساس روند تغییرات تاکنون و قضاوت مهندسی انجام گیرد.

۲-۴-۱۶ اگر داده‌های ۱۰ سال برای کالیبره کردن مدل تحلیلی در دسترس نبود، آنگاه استفاده از روش اعتمادپذیری به

^۱ Biot



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۳۰

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

شرح بخش ۴-۶ الزامی است. البته حتی اگر داده‌های لازم برای کالیبره کردن مدل نظری در دسترس بود، هنوز هم پیش‌بینی یک بازه برای سطح آب زیرزمینی در آینده منطقی‌تر از پیش‌بینی یک مقدار مشخص است، بنابراین حتی در این حالت هم توصیه می‌شود که از روش اعتماد پذیری برای پیش‌بینی فرونشست استفاده شود.

۴-۳- توصیه‌هایی برای انتخاب روش پیش‌بینی فرونشست

۴-۳-۱ روش‌های تجربی پیش‌بینی فرونشست که در بند ۴-۱ ذکر شد، بر اساس استفاده از داده‌های فرونشست در طول زمان هستند. این روش‌ها مقدار فرونشست و زمان را با روابط ریاضی به یکدیگر مرتبط می‌کنند. این روابط از برازش داده‌ها به دست می‌آیند و ممکن است خطی، توانی و نمایی باشند. توصیه می‌شود که همواره در پروژه‌ها با توجه به داده‌های موجود از این روش استفاده شود.

۴-۳-۲ اگر چه به دلیل سهولت روش‌های تجربی توصیه می‌شود که از آن‌ها در تمام پروژه‌ها استفاده شود، لیکن خطای این روش‌ها در پیش‌بینی‌های دراز مدت خیلی زیاد است. خطای این روش بستگی به مدت زمانی دارد که داده‌های آن موجود است. هرچه داده‌ها برای مدت زمان طولانی‌تر در گذشته در دسترس باشند، آنگاه می‌توان پیش‌بینی آتی را برای مدت بیش‌تر انجام داد.

۴-۳-۳ روش‌های نیمه نظری پیش‌بینی فرونشست که در بند ۴-۱-۹ ذکر شد، مشابه روش‌های تجربی هستند و باید با استفاده از داده‌های فرونشست در طول زمان کالیبره شوند. در این روش‌ها باید افزون بر فرونشست، داده‌های یک کمیت تاثیرگذار دیگر مانند سطح آب زیرزمینی و دبی پمپاژ در منطقه باید تهیه گردد.

۴-۳-۴ چنانچه تغییرات جنس و ضخامت لایه‌های آبرفتی در محدوده آبخوان‌ها قابل توجه باشد و محیط را نتوان همگن در نظر گرفت، آنگاه کاربرد مدل‌های تجربی عدم قطعیت بیش‌تری خواهد داشت و باید از روش نظری استفاده کرد.

۴-۳-۵ توصیه می‌شود که بر اساس داده‌های موجود در پروژه، حداقل از یک مدل تجربی استفاده شود. البته وقتی که داده‌ی کافی در مدت زمان مناسب برای استفاده از این دو روش وجود ندارد، لازم است مدل نظری برای پیش‌بینی فرونشست به کار رود. استفاده از مدل نظری در تمام پروژه‌ها الزامی نیست ولی برای افزایش دقت توصیه می‌گردد.

۴-۳-۶ تحلیل نشست تحکیم خاک اشباع بر مبنای نظریه ترزاقی در تمام پروژه‌ها قابل استفاده است ولی باید داده‌های



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۳۱

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

ورودی آن در دسترس باشد. تحلیل با نرم‌افزارهای المان محدود (مشابه پلکسیس) توصیه می‌شود.

۳-۴-۷ تحلیل تراوش همراه با تحلیل نشست تحکیم خاک اشباع بر مبنای نظریه ترزاقی، در مناطقی ضروری است که آبکشی از چاه‌های مختلف در یک سمت پروژه انجام می‌شود. به بیان دیگر وقتی که عامل فرونشست شامل آبکشی چاه‌ها در یک سمت زمین پروژه باشد آنگاه تحلیل تراوش همراه با نشست تحکیم خاک اشباع ضروری است. همچنین عواملی مثل مجاورت با دریا یا رودخانه‌ها، موجب ضروری شدن تحلیل تراوش می‌شود.

۳-۴-۸ برای وسعت‌های خیلی زیاد مثل مطالعات منابع آب‌های زیرزمینی در یک دشت و منطقه نیز می‌توان از تحلیل نشست تحکیم خاک اشباع بر مبنای نظریه ترزاقی استفاده کرد. توصیه می‌شود از نرم‌افزارهای تفاضل محدود (مشابه MODFLOW) در این شرایط استفاده شود. این نوع مدل‌ها و نرم‌افزارها در بخش ۴-۴ و پیوست ۴-۴ این ضابطه تشریح می‌شود.

۳-۴-۹ تحلیل خاک غیراشباع در شرایطی مطرح می‌شود که سطح آب زیرزمینی پایین رفته و یک منطقه غیراشباع با درصد ریزدانه قابل توجه در بالای سطح آب تشکیل می‌شود. این شرایط به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، مناطق ساحلی و مناطقی که تحت تأثیر نوسانات سطح آب زیرزمینی قرار دارند، رایج است. در این شرایط با تحلیل خاک غیراشباع می‌توان به دقت بالاتری مقدار نشست را محاسبه نمود. اما این نوع تحلیل‌ها نیازمند پارامترهای خاص مانند مقدار مکش، منحنی مشخصه آب و درصد رطوبت می‌باشند که تعیین دقیق آن‌ها در پروژه‌های حرفه‌ای شامل صرف هزینه و زمان زیاد است. این نوع تحلیل‌ها برای پروژه‌های حرفه‌ای توصیه نمی‌شود.

۴-۴-۲ نرم‌افزارهای مدلسازی پیش‌بینی فرونشست

۴-۴-۱ از آن جا که فرونشست به دنبال پایین رفتن سطح آب و پدیده تحکیم اتفاق می‌افتد، بنابراین مدلسازی فرونشست نیازمند مدلسازی پدیده تحکیم در خاک‌ها است.

۴-۴-۲ در پیوست ۴-۴ (نرم‌افزارهای مدلسازی فرونشست) نکات کلی درمورد چند نرم‌افزار رایج تجاری تشریح می‌گردد تا موجب سهولت انتخاب کاربران این ضابطه شود. مدلسازی عددی بر اساس نرم‌افزارهای نام برده شده در این پیوست ضروری نیست و استفاده کنندگان از این ضابطه می‌توانند از سایر نرم‌افزارهای مشابه بهره گیرند.



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۳۲

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

۴-۵- کالیبره کردن مدل پیش‌بینی فرونشست

۴-۵-۱ پس از این که روش یا روش‌های مناسب برای پیش‌بینی فرونشست انتخاب گردید، آنگاه لازم است این روش‌ها با استفاده از داده‌های موجود (تغییرات تراز سطح زمین، تغییرات تراز آب زیرزمینی) برای فرونشست کالیبره گردد.

۴-۵-۲ کالیبره کردن روش‌های تجربی مندرج در بخش ۴-۱، در واقع با انجام برازش و به دست آوردن رابطه ریاضی مناسب و ضرایب آن انجام می‌شود.

۴-۵-۳ کالیبره کردن روش‌های نظری مثل مدل‌سازی عددی باید با سعی و خطا و تغییر منطقی پارامترهای ورودی یا تحلیل برگشتی انجام گیرد. وقتی مدل قادر به پیش‌بینی فرونشست تا زمان حاضر شد، آنگاه این مدل برای پیش‌بینی فرونشست در سال‌های آتی به کار رود.

۴-۵-۴ کالیبره کردن روش‌های نظری نیازمند انتخاب نیمرخ ژئوتکنیکی زمین شامل مشخصات لایه‌ها و سطح آب زیرزمینی است. در اینجا توصیه‌های لازم برای انتخاب نیمرخ زمین ارائه می‌گردد.

۴-۵-۴-۱ اگر چه پیش‌بینی فرونشست با استفاده از مدل‌های نظری به صورت دو بعدی انجام می‌شود، اما نیمرخ ژئوتکنیکی زمین برای هر نقطه تهیه می‌گردد و تحلیل آن به صورت مستقل انجام می‌گیرد، بنابراین پیش‌بینی فرونشست در واقع به صورت یک بعدی در هر نقطه از زمین است.

۴-۵-۴-۲ محاسبات پیش‌بینی فرونشست بر اساس نیمرخ دو بعدی یا سه بعدی زمین در پروژه‌های حرفه‌ای توصیه نمی‌شود زیرا نیازمند مدل‌سازی یک دشت یا منطقه با وسعت زیاد است. چنانچه مطالعه‌ی یک منطقه وسیع موردنظر باشد، نیمرخ دوبعدی یا سه بعدی زمین به تعدادی نیمرخ یک بعدی برای محاسبه فرونشست تبدیل می‌شود (مثال شکل ۴-۱).



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۳۳

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

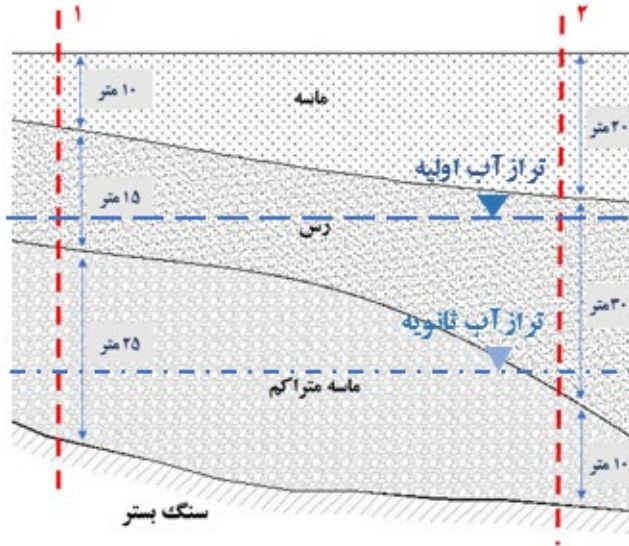
شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

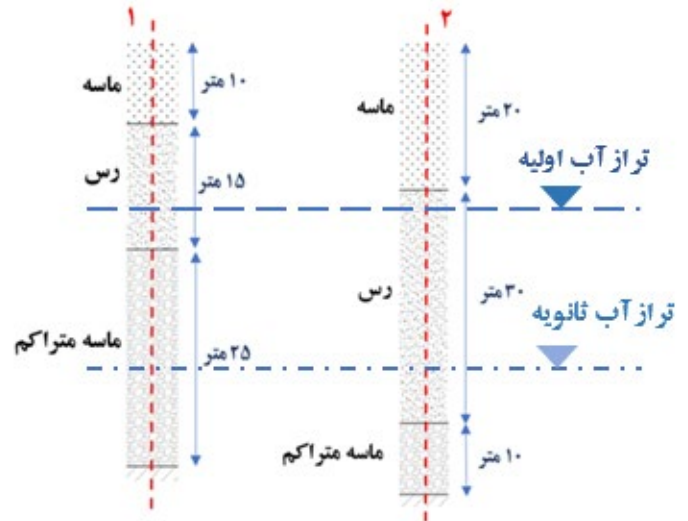
گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن



(الف)



(ب)

شکل ۴-۱ (الف) نیمرخ دو بعدی زمین مورد مطالعه (ب) نیمرخ یک بعدی مقاطع ۱ و ۲

۴-۵-۳ محاسبات نظری نیازمند انتخاب نیمرخ ژئوتکنیکی برای زمین است. این نیمرخ با توجه به اطلاعات حاصل از حفر گمانه‌ها و آزمایش‌های انجام شده به دست می‌آید. در صورت فقدان اطلاعات ژئوتکنیکی لازم است نیمرخ ژئوتکنیکی برای محاسبات فرونشست با استفاده از قضاوت مهندسی و مبتنی بر اطلاعات مناطق مجاور تعیین شود. شناسایی‌های ژئوتکنیکی باید در مراحل بعدی طراحی ساختمان طبق ضوابط و مقررات ملی و منطقه‌ای انجام شود.

۴-۵-۴ اگر گمانه‌های حفر شده در یک زمین کوچک (حدود ۳۰۰ متر مربع) نشان دهنده‌ی ناهمگنی لایه‌های زمین به فواصل کوچک باشد آنگاه یک نیمرخ به صورت محافظه کارانه چنان انتخاب می‌شود که موجب بیشترین نشست تحکیمی (فرونشست) در آینده شود.

۴-۵-۵ اگر زمین مورد مطالعه وسیع باشد آنگاه نیمرخ زمین در فواصل ۶۰ الی ۱۵۰ متر برای محاسبه‌ی فرونشست انتخاب می‌شود. البته ممکن است این نیمرخ‌های زمین بسیار مشابه باشند لذا در آن صورت پیش‌بینی فرونشست برای نیمرخ‌ها به فواصل دورتر انجام می‌شود.

۴-۵-۶ عمق نیمرخ‌های ژئوتکنیکی لازم است تا رسیدن به سنگ بستر باشد. اگر اطلاعات ژئوتکنیکی دقیق تا این عمق



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۳۴

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

در دسترس نیست، ضروری است انتخاب متغیرها بر اساس اطلاعات زمین شناسی و قضاوت مهندسی انجام گیرد. اضافه می‌شود که هر یک از این اطلاعات مفروض مثل عمق رسیدن به سنگ بستر می‌تواند به عنوان یک متغیر در تحلیل با روش‌های قابلیت اعتماد مورد توجه باشد و بازه‌ای برای آن در نظر گرفته شود.

۴-۶- به کارگیری روش‌های قابلیت اعتماد

۴-۶-۱ تعیین متغیرهای مورد نیاز جهت پیش‌بینی فرونشست در آینده خطاها و عدم قطعیت‌های زیادی دارد، بنابراین توصیه می‌شود از روش‌های قابلیت اعتماد استفاده شود.

۴-۶-۲ در روش‌های قابلیت اعتماد باید برای هر متغیر بازه‌ای مشخص شود و با توجه به آن پیش‌بینی فرونشست و بررسی‌های مربوط به آن صورت گیرد.

۴-۶-۳ بیش‌ترین عدم قطعیت در بین متغیرهای مورد نیاز برای پیش‌بینی فرونشست مربوط به مقدار پایین رفتن سطح آب زیرزمینی در آینده است، زیرا این متغیر تابع سیاست‌های مربوط به کشاورزی و مدیریت منابع آب در منطقه است. بنابراین لازم است از یک روش اعتمادپذیری جهت تعیین فرونشست در آینده استفاده شود.

۴-۶-۴ باید احتمال افزایش فرونشست به بیش از مقادیر در نظر گرفته شده در بخش معیارها و مبنای طراحی پی (فصل ۵) با استفاده از یک روش پیش‌بینی فرونشست تعیین گردد. به بیان دیگر باید مشخص شود که چقدر احتمال دارد که فرونشست یا نشست غیریکنواخت بیش از مقدار مجاز باشد.

۴-۶-۵ طراح می‌تواند برای پیش‌بینی فرونشست به صورت احتمالاتی از یک روش مناسب مثل مونت کارلو^۱ و تخمین نقطه‌ای^۲ و یا به صورت غیراحتمالاتی مانند مجموعه‌های تصادفی^۳ و مجموعه‌های منتخب خبرگان^۴ یا از هر روش اعتمادپذیری استفاده کند. جهت اطلاع از روش کار و جزئیات بیشتر به کتب و منابع مرتبط با روش‌های آمار و احتمالاتی

^۱ Monte Carlo Method

^۲ Point Estimate

^۳ Random Set

^۴ Expert Selected Set



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۳۵

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

و اعتمادپذیری در ژئوتکنیک برای مثال کتاب‌های Reliability and Statistics in Geotechnical Engineering (Baecher & Christian, 2005)، Geotechnical Reliability Analysis (Zhang and et al., 2023) و مطالعات (Arabaninezhad & Fakher (2021) مراجعه شود.

۶-۶-۴ تهیه داده‌های ورودی برای تحلیل‌های اعتمادپذیری در روش احتمالاتی مشکل است، بنابراین توصیه می‌گردد از یک روش غیراحتمالاتی مانند مجموعه‌های منتخب خبرگان استفاده گردد. توضیحات و شرح این روش در پیوست ۱ بیان شده است.

۶-۶-۴ روش مناسب برای پیش‌بینی فرونشست آتی با روش یقینی طبق توصیه‌های بخش ۴-۳ انتخاب گردد و سپس محدوده‌ی هر یک از متغیرهای مورد استفاده طبق نظر خبرگان تعیین شود. به بیان ساده، برای هر متغیر ورودی متناسب با شرایط پروژه و اطلاعات در دسترس، یک مقدار حدی کمینه و یک مقدار حدی بیشینه انتخاب گردد. آنگاه روش مجموعه‌های منتخب خبرگان طبق پیوست ۱ به کار رود.

۶-۶-۴ اگر پیش‌بینی فرونشست با روش‌های نظری و نرم‌افزارهای تخصصی انجام شود، توصیه می‌گردد تحلیل اعتمادپذیری با روش مجموعه‌های منتخب خبرگان انجام شود.

۶-۶-۴ جهت سادگی توصیه می‌شود که محاسبات طراحی و انتخاب گزینه مناسب بر اساس میزان فرونشست پیش‌بینی شده متناظر با احتمال تجمعی برابر با ۵۰ درصد (فرونشست با احتمال فراگذشت ۵۰ درصد) انجام شود. انتخاب ۵۰ درصد در جهت سادگی بوده و در واقع محتمل‌ترین احتمال وقوع است.

۶-۶-۴ طبق بند ۴-۶-۹، مقدار فرونشست پیش‌بینی شده که فرونشست به احتمال ۵۰ درصد بیش‌تر از آن است تعیین گردد تا مبنای تخمین تقریبی خسارت باشد. به بیان ساده مقداری که فرونشست به احتمال ۵۰ درصد بیش‌تر از آن است، برای محاسبه خسارت به کار می‌رود. به مثال مندرج در پیوست ۲ مراجعه شود.

۶-۶-۴ اگر فرونشست پیش‌بینی شده با روش‌های تجربی (مطابق بخش ۴-۱) به دست آید که مبتنی بر برازش می‌باشند، مشابه آنچه که در بند قبلی گفته شد مقدار حاصل از بهترین برازش را معادل فرونشست متناظر با ۵۰ درصد احتمال تجمعی در نظر گرفت. به زبان ساده در این روش‌ها نیازی به تحلیل اعتمادپذیری نمی‌باشد. اضافه می‌شود که روش‌های تجربی



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه - مسکن و شهرسازی

صفحه ۳۶

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

دارای محدودیت‌هایی در پیش‌بینی فرونشست هستند که در بخش ۴-۴ تشریح شد. بنابراین این روش‌ها نباید برای پیش‌بینی فرونشست طولانی‌تر از مدت مندرج در بندهای ۴-۱ تا ۶-۱-۴ به کار رود.

۵- تعیین معیارها و مبنای طراحی پی در مقابله با فرونشست

معیارها و مبنای طراحی پی الزاماتی هستند که باید در طراحی پی مورد استفاده قرار گیرند. در این ضابطه فقط به معیارها و مبنای مرتبط با فرونشست اشاره می‌شود و سایر معیارها و مبنای باید طبق استانداردها و ضوابط ملی و بین‌المللی لحاظ گردد. در مورد طراحی پی ساختمان‌ها، مبحث هفتم مقررات ملی ساختمان مرجع اصلی است.

۵-۱- فرونشست حداکثر مجاز

۵-۱-۱ برای تعیین فرونشست حداکثر مجاز (SUB_a) ابتدا لازم است نشست غیریکنواخت مجاز ساختمان تعیین شود.

۵-۱-۲ نشست غیریکنواخت ناشی از فرونشست برابر با درصدی از فرونشست حداکثر است. این درصد در بندهای آتی تعیین می‌شود. آنگاه فرونشست حداکثر مجاز بر حسب نشست غیریکنواخت مجاز به دست می‌آید.

۵-۱-۳ فرونشست حداکثر مجاز در این ضابطه برای ساختمان‌ها تعیین شده است و نمی‌تواند برای جاده‌ها و تاسیسات زیربنایی همچون لوله‌های آب و فاضلاب به کار رود.

۵-۲- نشست غیریکنواخت مجاز پی

۵-۲-۱ تغییر مکان‌های قائم زمین زیر پی (d) در مناطق فرونشستی شامل تغییر مکان ناشی از فرونشست (SUB) و نشست ناشی از بارگذاری (S) است. برای تعیین فرونشست مجاز (SUB_a) لازم است نشست غیریکنواخت مجاز پی به شرح زیر تعیین شود.

۵-۲-۲ مقدار مجاز S از مراجع و آیین‌نامه‌های متداول مانند مبحث هفتم مقررات ملی تعیین می‌شود. نشست غیریکنواخت مجاز پی (Δ_a) در مناطق دارای فرونشست مشابه سایر مناطق به مقادیر جدول این بند محدود می‌شود. در این صورت خرابی در ساختمان اتفاق نمی‌افتد.



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۳۷

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

جدول ۵-۱ نشست غیریکنواخت مجاز پی (برگرفته شده از (Terzaghi & Peck (1967)، Skempton & Bjerrum (1957) و (Day (2009)

خاک	نوع پی	نشست غیر یکنواخت مجاز پی (Δ_a) (میلی‌متر)
ماسه	منفرد و نواری	۲۰
	شبکه‌ای و گسترده	۲۰
رس	منفرد و نواری	۲۵
	شبکه‌ای و گسترده	۲۵

۵-۲-۳ مقدار نشست غیریکنواخت مجاز برای دیوارهای محوطه (Δ_a) در مناطق دارای فرونشست برابر با ۲۰ میلی‌متر انتخاب شود. البته فواصل درزهای انقطاع دیوارهای محوطه در مناطق فرونشستی نباید بیش‌تر از ۳۵ متر باشد.

۵-۲-۴ مقدار نشست غیریکنواخت پی (Δ) برابر با مجموع نشست غیریکنواخت ناشی از بارگذاری (Δ_s) و نشست غیریکنواخت پی بر اثر فرونشست (Δ_{SUB}) است و باید کمتر از مقادیر مندرج در جدول ۵-۱ باشد.

$$\Delta = (\Delta_s + \Delta_{SUB}) < \Delta_a \quad (۵-۱)$$

۵-۲-۵ پیش‌بینی فرونشست به صورت قطعی امکان ندارد، زیرا عدم قطعیت‌های زیادی در شناخت محیط رسوبی آبخوان و تعیین متغیرهای ژئوتکنیکی لایه‌های آبرفت وجود دارد و همچنین نمی‌توان مقدار پایین رفتن سطح آب زیرزمینی را در آینده به صورت دقیق پیش‌بینی کرد. بنابراین پیش‌بینی فرونشست مطابق توضیحات بخش ۴-۶ این دستورالعمل با روش‌های قابلیت اعتماد صورت می‌گیرد.

۵-۲-۶ اگر نشست غیریکنواخت ناشی از فرونشست به مقادیر مندرج در بندهای بالا محدود شود، آنگاه خرابی ناشی از فرونشست اتفاق نمی‌افتد. اما در طراحی با روش‌های قابلیت اعتماد باید تغییرشکل‌های غیریکنواخت بیش از مقادیر جدول ۵-۱ و ریسک ناشی از آن‌ها را پذیرفت. خرابی ناشی از تغییرشکل‌های بیش‌تر از جدول ۵-۱، به صورت کامل‌تر در جدول ۵-۳ آمده است.

۵-۲-۷ در استفاده از رابطه (۵-۱) پیشنهاد می‌شود که بدترین حالت در حاصل جمع نشست غیریکنواخت ناشی از



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۳۸

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

بارگذاری و نشست غیریکنواخت ناشی از فرونشست در نظر گرفته شود، یعنی قدر مطلق این دو نشست با یکدیگر جمع شوند.

۳-۵- محاسبه نشست غیریکنواخت پی ناشی از فرونشست

۳-۵-۱ نشست غیریکنواخت پی ناشی از فرونشست (Δ_{SUB}) با فرونشست غیریکنواخت زمین (ناشی از گرا دیان فرونشست یا θ) در منطقه که از اندازه گیری‌ها به دست می‌آید، به دلیل اندرکنش زمین و سازه و به خصوص با توجه به صلیت پی تفاوت دارد.

۳-۵-۲ گرا دیان فرونشست زمین (θ) از تفاوت مقدار فرونشست در دو نقطه زمین مطابق رابطه زیر حاصل می‌شود. این کمیت از اندازه گیری‌های بزرگ مقیاس نقشه برداری مثل استفاده از عکس‌های هوایی یا تداخل سنجی راداری به دست می‌آید و معمولاً با نشست غیریکنواخت ناشی از فرونشست در ساختمان یا پی (Δ_{SUB}) به دلیل اندرکنش خاک و پی تفاوت دارد. برای طراحی پی باید از نشست غیریکنواخت ناشی از فرونشست در ساختمان یا پی استفاده کرد.

$$\theta = \frac{(SUB)_2 - (SUB)_1}{L} \quad (۲-۵)$$

۳-۵-۳ برای محاسبه نشست غیریکنواخت پی (Δ) که برابر با مجموع نشست غیریکنواخت ناشی از بارگذاری (Δ_S) و نشست غیریکنواخت ناشی از فرونشست (Δ_{SUB}) است، مطابق روابط (۳-۵) الی (۶-۵) عمل شود:

$$\Delta = \Delta_S + \Delta_{SUB} \quad (۳-۵)$$

$$\Delta_S = S \times F_1 \quad (۴-۵)$$

$$\Delta_{SUB} = SUB \times F_1 \times F_2 \quad (۵-۵)$$

$$\Delta = S \times F_1 + SUB \times F_1 \times F_2 \quad (۶-۵)$$

ضرایب تجربی F_1 و F_2 به ترتیب ضریب تاثیر نوع پی و ضریب تبدیل فرونشست است. این ضرایب مطابق توضیحات بندهای آتی تعیین می‌شود. استفاده از این دو ضریب تجربی برای تخمین نشست غیریکنواخت از مقدار نشست و فرونشست ضروری است.



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۳۹

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

۴-۵- تعیین ضریب تاثیر نوع پی (F_1)

۴-۵-۱ ضریب تاثیر نوع پی یا F_1 ناشی از اندرکنش خاک و سازه است و تابع صلبیت پی و سختی زمین می باشد. ضریب تاثیر نوع پی باید برای تعیین نشست غیریکنواخت ناشی از بارگذاری (Δ_s) و نشست غیریکنواخت ناشی از فرونشست (Δ_{SUB}) مورد استفاده قرار گیرد.

۴-۵-۲ پی‌های شبکه‌ای و گسترده در دو راستای عمود بر هم دارای صلبیت خمشی هستند و هرچه صلب‌تر باشند بهتر می‌توانند از نشست‌های غیریکنواخت جلوگیری کنند. لذا مقدار F_1 با افزایش صلبیت پی، کاهش می‌یابد. برای محاسبه F_1 باید نسبت مجموع سختی پی و روسازه به سختی خاک را از رابطه زیر بدست آورد:

$$K_r = \frac{EI_b}{E_s B^3} \quad (۷-۵)$$

$$EI_b = \text{سختی خمشی روسازه} + \text{سختی خمشی پی} \quad (۸-۵)$$

که در آن EI_b مجموع سختی خمشی روسازه و پی برای واحد عرض، E_s مدول الاستیسیته خاک، E مدول الاستیسیته بتن و B عرض پی در امتداد عمود بر راستای مورد بررسی است. در سختی خمشی روسازه از سختی قاب سازه‌ای صرف نظر شود و فقط سختی ناشی از دیوارهای برشی وارد گردد. جدول ۲-۵ مقادیر ضریب F_1 بر حسب نوع پی و K_r ارائه می‌کند تا برای محاسبه نشست غیریکنواخت به کار رود.

جدول ۲-۵ ضریب تبدیل F_1 در پی‌های مختلف (برگرفته شده از Terzaghi & Peck (1967) و (ACI 336.2R (2002)

F_1	نوع پی
۰/۷۵	پی منفرد (تکی و نواری)
۰/۳۵	پی گسترده و شبکه‌ای انعطاف‌پذیر ($K_r = 0$)
۰/۱	پی گسترده و شبکه‌ای صلب ($K_r \geq 0.5$)



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۴۰

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

۳-۴-۵ در صورت انجام بهسازی و ایجاد توده بهسازی در زیر پی باید سختی پی را افزایش داد و به صورت رابطه (۹-۵) در نظر گرفت:

$$K_r = \frac{EI_b + \text{سختی توده بهسازی}}{E_s B^3} \quad (۹-۵)$$

سختی توده بهسازی برای واحد عرض با در نظرگیری سختی معادل ناحیه زیر فونداسیون به دست آورده شود که برابر است با:

$$E_{im} I_{im} = (E_{im} \frac{H^3}{12}) \times \frac{1}{H} \quad (۱۰-۵)$$

در این رابطه:

H : ارتفاع ناحیه بهسازی شده زیر پی

E_{im} : مدول الاستیسیته ناحیه بهسازی شده معادل

برای بدست آوردن مدول الاستیسیته معادل (E_{im}) برای زمین بهسازی شده به صورت رابطه (۱۱-۵) عمل شود:

$$E_{im} = a_s E_{improvement} + (1 - a_s) E_s \quad (۱۱-۵)$$

در این رابطه:

E_{im} : مدول الاستیسیته معادل ناحیه بهسازی شده

a_s : نسبت مساحت المان‌های بهسازی به مساحت پی

$E_{improvement}$: مدول الاستیسیته بهسازی ستونی

E_s : مدول الاستیسیته خاک زیر پی (یا خاک زیر ناحیه بهسازی)

تبصره ۱- اگر خاک با روش‌هایی مثل اختلاط عمیق یا ستون شنی به صورت ستونی بهسازی شده باشد، آنگاه رابطه‌ی

(۱۱-۵) به کار می‌رود. اگر خاک به صورت یکپارچه بهسازی شده باشد، آنگاه $E_{im} = E_{improvement}$ است.

۳-۴-۵ در صورت استفاده از شمع در زیر پی، سختی پی را باید افزایش داد و به صورت رابطه (۱۲-۵) در نظر گرفت:



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۴۱

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

$$K_r = \frac{EI_b + E_P I_P}{E_s B^3} \quad (۱۲-۵)$$

سختی گروه شمع برای واحد عرض با در نظرگیری سختی معادل ناحیه زیر فونداسیون به دست آورده شود که برابر است با:

$$E_P I_P = (E_P \frac{H^3}{12}) \times \frac{1}{H} \quad (۱۳-۵)$$

در این رابطه:

H : ارتفاع شمع‌ها

E_P : مدول الاستیسیته معادل گروه شمع

برای بدست آوردن مدول الاستیسیته معادل (E_P) برای گروه شمع به صورت رابطه (۱۴-۵) عمل شود:

$$E_P = a_s E_{Pile} + (1 - a_s) E_s \quad (۱۴-۵)$$

در این رابطه:

E_P : مدول الاستیسیته معادل گروه شمع

a_s : نسبت مساحت شمع‌ها به مساحت پی

E_{Pile} : مدول الاستیسیته شمع

E_s : مدول الاستیسه خاک زیر پی (یا خاک زیر گروه شمع)

۵-۴-۵ ضریب $\frac{1}{H}$ که در انتهای روابط (۱۰-۵) و (۱۳-۵) به کار رفته است، جنبه نظری ندارد و به صورت تجربی در جهت اطمینان ارائه شده است.

۵-۴-۶ روابط (۱۲-۵) الی (۱۴-۵) باید برای شرایطی استفاده شود که ضخامت پی بیش از یک متر است. از آنجا که عملکرد پی گسترده بتنی برای مناطق دارای فرونشست اطمینان‌بخش‌تر از گروه شمع می‌باشد، بنابراین برای ضخامت پی گسترده کم‌تر از یک متر نباید از شمع استفاده شود.



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۴۲

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

۴-۵-۷ ضریب F_1 برابر با نسبت نشست غیریکنواخت ناشی از بارگذاری سازه به نشست حداکثر ناشی از بارگذاری سازه است. روابط بالا در این بخش (۴-۵) جهت محاسبه ساده‌ی تجربی پیشنهاد شده است. طراح می‌تواند این نسبت را با مدلسازی عددی سازه، پی و توده‌ی بهسازی شده یا گروه شمع به دست آورد.

۵-۵- تعیین ضریب تبدیل فرونشست (F_2)

۵-۵-۱ ضریب تبدیل فرونشست به نشست غیریکنواخت (F_2) باید به صورت تجربی و با توجه به داده‌های محلی تعیین شود. رابطه (۵-۱۵) برای هر ساختمان دچار خسارت ناشی از فرونشست به کار رود.

$$F_2 = \frac{\Delta - \Delta_s}{SUB \times F_1} \quad (۵-۱۵)$$

۵-۵-۲ در مناطقی که فرونشست اتفاق افتاده و موجب آسیب‌هایی به ساختمان‌های موجود گردیده است ضروری است ساختمان‌های منطقه مورد بازدید و ارزیابی کلی قرار گیرد و نخست مقدار نشست غیریکنواخت آن‌ها با توجه به خرابی و ترک‌های ساختمان تخمین زده شود و سپس ضریب F_2 با استفاده از رابطه‌ی (۵-۱۵) محاسبه شود.

۵-۵-۳ در اغلب مناطقی که فرونشست موجب آسیب به ساختمان‌ها شده است، ساختمان‌ها سبک و با پی منفرد می‌باشند و همچنین لایه‌های زمین سخت است. بنابراین در بسیاری از شرایط، نشست غیریکنواخت ناشی از بارگذاری (Δ_s) ناچیز است. همچنین پی در ساختمان‌های سبک به طور نسبی نرم است و فرض F_1 برابر با یک قابل قبول است. در این شرایط رابطه (۵-۱۵) برای ضریب F_2 را جهت سادگی با فرض Δ_s برابر با صفر و F_1 برابر با یک، می‌توان به صورت رابطه (۵-۱۶) به کار برد.

$$F_2 = \frac{\Delta}{SUB} \quad (۵-۱۶)$$

۵-۵-۴ با استفاده از رابطه بند بالا می‌توان مقدار F_2 را برای ساختمان‌های آسیب‌دیده از فرونشست در منطقه تعیین کرد. جدول ۵-۳ برای تعیین نشست غیریکنواخت (Δ) بر اساس شرح خرابی و عرض ترک‌های مشاهده شده در ساختمان‌های آسیب دیده از فرونشست، به عنوان راهنما استفاده گردد.



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۴۳

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

جدول ۵-۳ شدت خرابی ناشی از ترک‌ها و نشست غیریکنواخت متناظر آن (Day, 2009)

درجه خرابی	شرح خرابی	عرض ترک (mm)	نشست غیریکنواخت (cm)
۰- قابل چشم‌پوشی	ترک‌های مویی	< ۰/۱	< ۳
۱- بسیار ناچیز	شامل ترک‌های ریزی که با نازک‌کاری رفع شده، شاید یک شکاف ناچیز در ساختمان، ترک‌هایی در دیوار خارجی	۱	۳-۴
۲- ناچیز	آسیب کمی شامل ترک‌هایی که به آسانی پر شده و احتمالاً نیاز به تعمیر داشته، چندین شکست جزئی که در داخل سازه قابل رویت است، ترک‌های قابل مشاهده از خارج ساختمان و نیازمند بازسازی و گیر کردن در و پنجره‌ها	۳	۴-۵
۳- متوسط	آسیب متوسط شامل ترک‌هایی که نیاز به شکافتن داشته و قابل پر شدن با مصالح بنایی بوده، ترک‌های زیادی که با یک پوشش و نازک‌کاری قابل اصلاح است، نیاز به بازسازی دیوارهای آجری بیرونی، اخلاص در بازشوها و شکست لوله‌ها و سیستم آب‌رسانی	۵-۱۵ و یا ۳ > تعدادی ترک	۵-۸
۴- شدید	آسیب شدید شامل ترک‌های بزرگی در دیوار که نیازمند تعمیرات اساسی در بخشی از دیوار یا کل آن بوده خصوصاً در دیوارهای اطراف بازشوها، تخریب پنجره‌ها و چارچوب در، از بین رفتن مقاومت برشی تیرها، اخلاص و شکست در سیستم لوله کشی	۱۵-۲۵ و تابع تعداد ترک	۸-۱۳
۵- بسیار شدید	آسیب بسیار شدید و اغلب نیاز به بازسازی کامل، از بین رفتن مقاومت برشی تیرها، شکستگی و کج‌شدگی در و پنجره‌ها و لوله‌ها و خطر کسب‌شدگی کامل سازه	> ۲۵	> ۱۳

۵-۵-۵ جدول ۵-۳ به منظور ساده‌سازی با صرف‌نظر از نوع پی یا نوع سازه پیشنهاد شده است و برای محاسبات مربوط به فرونشست قابل قبول است. البته چنانچه طراح دسترسی به روش‌های دقیق‌تر مانند نتایج اندازه‌گیری‌های میدانی نشست غیریکنواخت یا جداول تجربی کامل‌تر متناسب با پروژه دارد، می‌تواند از آن روش‌ها برای تخمین نشست غیریکنواخت استفاده کند.



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۴۴

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

۵-۵-۶ برای افزایش دقت می‌توان نشست غیریکنواخت آنی (الاستیک) و نشست غیریکنواخت تحکیمی ساختمان‌های مورد بررسی تحت بارهای وارد با روش‌های متداول را محاسبه کرد و از مقدار نشست‌های غیریکنواخت برآورد شده بر اساس جدول ۵-۳ کسر نمود تا نشست‌های غیریکنواخت ناشی از فرونشست (ناشی از پایین رفتن سطح آب) به دست آید. ۵-۵-۷ اگر خرابی‌های ناشی از فرونشست در منطقه وجود نداشته باشد یا ساختمانی در منطقه احداث نشده باشد که بتوان مقدار فرونشست غیریکنواخت را براساس خرابی‌ها تعیین کرد آنگاه ضریب F_2 برابر با عددی بین $\frac{1}{10}$ الی $\frac{1}{70}$ در نظر گرفته شود. توصیه‌های زیر برای انتخاب F_2 در یک پروژه پیشنهاد می‌گردد.

۵-۵-۷-۱ چنانچه منطقه مورد نظر در حاشیه‌ی کناری دشت (در نزدیکی دامنه‌ی کوه‌ها) قرار گرفته باشد، ضریب F_2 نزدیک به $\frac{1}{10}$ لحاظ گردد. با دور شدن از کوه‌ها این ضریب کاهش یافته و در مرکز دشت‌هایی که فاصله چند ده کیلومتری با کوه دارند نزدیک به $\frac{1}{70}$ در نظر گرفته شود.

۵-۵-۷-۲ اگر اطلاعات موجود از سنگ بستر نشان دهد که تراز سنگ بستر دارای قله مدفون است آنگاه مقادیر نزدیک به $\frac{1}{10}$ برای انتخاب ضریب به کار رود.

۵-۵-۷-۳ از آنجا که ضریب F_2 بستگی به گرادیان فرونشست زمین طبیعی دارد توصیه می‌شود که هرچه گرادیان فرونشست بزرگتر است (برای مثال حدود ۰/۰۰۷ درصد در سال) آنگاه مقادیر بزرگتر برای F_2 به کار رود.

۵-۵-۷-۴ اگر شکاف‌های فرونشستی زمین در منطقه پروژه مشاهده شده باشد، آنگاه توصیه می‌شود مقادیر بزرگتر برای ضریب F_2 به کار رود.

۵-۵-۷-۵ ضریب F_2 یک مقدار تجربی است که انتخاب دقیق آن با کامل شدن بانک اطلاعاتی داده‌های حاصل از عملکرد ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست میسر است. در صورت فقدان اطلاعات محلی و همچنین برای ساختمان‌های با اهمیت زیاد توصیه می‌شود که طراح مقادیر بزرگتر را به کار برد.



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۴۵

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

۵-۶- کرنش افقی

۵-۶-۱ کرنش افقی (ϵ_H) در این ضابطه مشابه مطالعات تاثیر گودبرداری یا تونل‌سازی بر ساختمان‌های مجاور، بر اثر تغییر فاصله افقی بین هر دو نقطه در سطح زمین یا سازه به وجود می‌آید و مطابق رابطه (۱-۳) تعریف می‌شود.

۵-۶-۲ در روابط مورد استفاده در این ضابطه، کرنش افقی از جنس کرنش کششی است و در برخی نقاط موجب ترک کششی می‌شود. لذا برای بدست آوردن مقدار کرنش افقی، تغییرات تغییر مکان افقی باید بر فاصله دو نقطه از هم تقسیم شود.

۵-۶-۳ با وجود اینکه فضای مورد مطالعه سه بعدی است، اما کنترل کرنش جهت سادگی در یک امتداد صورت گیرد. البته لازم است بحرانی‌ترین امتداد مورد نظر باشد.

۵-۶-۴ از آنجا که فرونشست غیریکنواخت می‌تواند موجب کرنش افقی نیز شود، ضروری است فرونشست غیریکنواخت نیز مورد بررسی قرار گیرد. در مطالعات فرونشستی لازم است وجود شکاف‌های فرونشستی زمین و بازشدگی آن‌ها در منطقه مورد مطالعه قرار گیرد.

۵-۶-۵ بازشدگی شکاف‌های فرونشستی زمین نه فقط به دلیل فرونشست غیریکنواخت و کرنش افقی، بلکه به سبب آبشستگی اتفاق می‌افتد. در بررسی ترک‌های فرونشستی در یک منطقه لازم است مقدار بازشدگی ناشی از آبشستگی با قضاوت مهندسی از بازشدگی به سبب کرنش افقی تفکیک شود.

۵-۶-۶ خشک شدن و کاهش رطوبت می‌تواند موجب ترک یا شکاف در زمین شود. این نوع ناپیوستگی‌ها معمولاً به صورت متقاطع یا موزائیکی بروز می‌کنند و باید از ترک‌های فرونشستی در بررسی‌های میدانی تفکیک شوند.

۵-۶-۷ چنانچه اندازه‌گیری تغییر مکان افقی مطابق بخش ۳-۴ مورد توجه باشد، طراح می‌تواند با برونمایی داده‌ها نسبت به پیش‌بینی کرنش افقی در آینده اقدام کند. افزون بر این روش تجربی، لازم است تخمین کرنش افقی ناشی از فرونشست آتی در یک پروژه حداقل با یک روش دیگر انجام شود: (اول) بر اساس گرا دیان فرونشست و (دوم) بر اساس مدل‌سازی

عددی



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۴۶

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



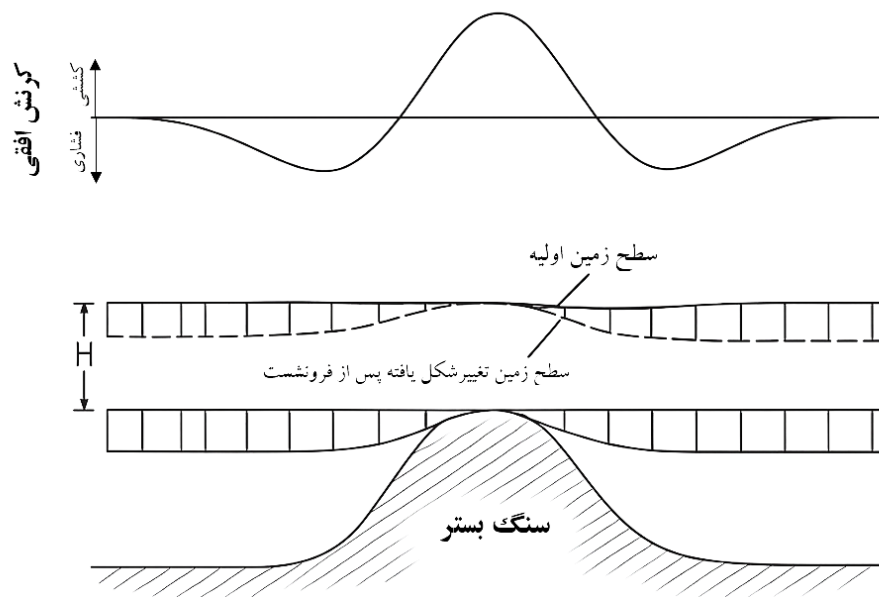
وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

۵-۶-۸ روش اول: تخمین کرنش افقی بر اساس گرادیان فرونشست

۵-۶-۸-۱ اگر عمق سنگ بستر در یک منطقه تغییر کند آنگاه $\delta h = kH\theta$ است (Jachens & Holzer (1982)). در این رابطه δh تغییر مکان افقی، k ضریب ثابت، H برابر عمق سنگ بستر در هر نقطه و θ گرادیان فرونشست در نقطه مورد بررسی بر حسب رادیان است.

۵-۶-۸-۲ مقدار فرونشست آتی در نقاط مختلف در امتداد یک مقطع عرضی باید مشخص شود آنگاه رابطه بند قبل برای نقاط مختلف به کار رود تا δh به دست آید و مقدار کرنش افقی بین دو نقطه از تفاضل تغییر مکان افقی آن دو نقطه طبق رابطه (۱-۳) تعیین شود.

۵-۶-۸-۳ در مناطقی که تغییرات عمق سنگ بستر به دلیل برآمدگی یا نزدیکی به کوه زیاد است، کرنش افقی مطابق شکل ۵-۱ در نقاطی که سنگ بستر به سطح زمین نزدیک‌تر است به صورت کششی و در فواصل دور به صورت فشاری می‌باشد. بنابراین احتمال بروز ترک افقی در نقاطی که عمق سنگ بستر یکنواخت می‌باشد وجود ندارد و نیازی به بررسی کرنش افقی در این نواحی نمی‌باشد.



شکل ۵-۱ توزیع کرنش افقی با توجه به شکل سنگ بستر



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۴۷

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

۵-۶-۸-۴ پارامتر k برای در نظرگیری اثر تنش برشی و تغییرات مدول الاستیسته خاک با عمق معرفی شده است که حداکثر مقدار آن یک و حداقل آن صفر می‌باشد ($0 \leq k \leq 1$). این پارامتر به مشخصات زمین پروژه بستگی دارد. اگر لایه آبرفت یک رفتار خمشی غالب داشته باشد (مشابه تیر برنولی) آنگاه تقریباً $k = 1$ و اگر رفتار برشی غالب داشته باشد (مشابه تیر تیموشنکو)، تقریباً $k = 0$ انتخاب گردد.

۵-۶-۸-۵ اگر تغییر عمق سنگ بستر (H) در طول $10H$ قابل توجه باشد، آنگاه رفتار لایه‌های خاک یا کل آبرفت به رفتار خمشی و در غیر این صورت به رفتار برشی نزدیک است. این معیار نیز می‌تواند برای قضاوت مهندسی و انتخاب مقدار k به کار رود.

۵-۶-۸-۶ اگر قضاوت در مورد رفتار برشی یا خمشی لایه‌های خاک با توجه به دو بند قبل با اطمینان کافی قابل انجام نباشد، آنگاه توصیه می‌شود مقدار پارامتر k برابر $\frac{2}{3}$ فرض گردد.

۵-۶-۹ روش دوم: تخمین کرنش افقی بر اساس مدل‌سازی عددی

۵-۶-۹-۱ مقطع دو بعدی زمین مدل‌سازی عددی شود و اثر پایین رفتن سطح آب و تحکیم لایه‌های رسی محاسبه گردد.

۵-۶-۹-۲ برای مدل‌سازی عددی به نکات مندرج در فصل ۴ این ضابطه توجه شود.

۵-۶-۹-۳ کرنش افقی در هر نقطه از سطح زمین طبق مدل عددی به دست آید.

۵-۶-۱۰ مقدار مجاز کرنش افقی

۵-۶-۱۰-۱ مقدار مجاز کرنش افقی در ساختمان بستگی به نوع پی، جنس ساختمان دارد و همچنین تابع نشست گیریکنواخت و کرنش افقی در زمین است. جدول ۴-۵ برای تخمین خرابی ساختمان بر اثر کرنش افقی در پی مورد استفاده قرار گیرد.



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۴۸

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

جدول ۴-۵ رابطه‌ی بین درجه خرابی ساختمان و محدوده‌های کرنش افقی در پی ساختمان (Boscardin & Cording, 1989)

دسته‌بندی آسیب	درجه خرابی	محدوده کرنش افقی $(\epsilon_x)(\%)$
۰	قابل چشم پوشی	۰ - ۰/۰۵
۱	بسیار ناچیز	۰/۰۵ - ۰/۰۷۵
۲	ناچیز	۰/۰۷۵ - ۰/۱۵
۳	متوسط	۰/۱۵ - ۰/۳
۴ تا ۵	شدید تا بسیار شدید	> ۰/۳

۵-۶-۱۰-۲ ترجیح دارد از داده‌های محلی ساختمان‌های موجود در مناطق دارای فرونشست برای انتخاب کرنش افقی مجاز استفاده شود، از آنجا که داده‌های کافی از مقادیر کرنش افقی ساختمان در مناطق دارای فرونشست در کشور در دسترس نمی‌باشند لذا فعلا استفاده از جدول ۴-۵ برای ساختمان توصیه می‌گردد.

۵-۶-۱۰-۳ برای این که درجه خرابی قابل چشم‌پوشی باشد، لازم است کرنش افقی مجاز ساختمان کمتر از ۰/۰۵ درصد در محاسبات کنترل کرنش افقی به کار رود.

۵-۶-۱۰-۴ کرنش افقی در زمین با مقدار آن در ساختمان فرق دارد. اگر ساختمان و پی صلب باشد آنگاه کرنش افقی آن ناچیز خواهد بود. در پی‌های منفرد در جهت اطمینان توصیه می‌شود کرنش افقی زمین برابر با کرنش افقی پی در نظر گرفته شود. برای پی‌های گسترده لازم است قضاوت در مورد کرنش افقی ساختمان بر اساس کرنش افقی زمین با توجه به تجربیات محلی از سازه‌های تخریب شده یا مدل‌سازی‌های تحلیلی انجام شود.

۵-۶-۱۰-۵ مقدار حدی کرنش افقی زمین برای شروع تشکیل ترک و شکاف‌های فرونشستی زمین برابر با ۰/۲ تا ۰/۷ درصد در نظر گرفته شود. چنانچه کرنش افقی بیش از مقدار در نظر گرفته شده برای مقدار حدی کرنش افقی در این بازه باشد آنگاه استفاده از پی گسترده ضروری است.

۵-۶-۱۰-۶ اگر کرنش افقی زمین بیش از ۰/۳ درصد باشد، ضمن استفاده از پی گسترده لازم است بررسی‌هایی مثل امکان



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۴۹

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

خالی شدن بخشی از زیر پی بر اثر شکاف صورت گیرد. از آنجا که روش‌های دقیق کمی برای این بررسی‌ها در دسترس است، لازم است مشاور پروژه این بررسی‌ها را بر اساس هندسه ساختمان و هندسه‌ی احتمالی شکاف‌ها با قضاوت مهندسی انجام دهد.

۵-۶-۱۰-۷ استفاده از معیارهای خرابی بر اساس ترکیب کرنش افقی و نشست غیریکنواخت با توجه به خطاهای موجود در تعیین کرنش افقی ضرورت ندارد.

۵-۶-۱۰-۸ مقدار نشست غیریکنواخت مجاز طبق بخش ۵-۲ و کرنش افقی مجاز طبق بخش ۵-۶ به صورت مستقل مورد استفاده قرار گیرد. هر کدام که بحرانی‌تر بود به عنوان معیار خرابی استفاده شود.

۵-۶-۱۰-۹ برای توصیه‌های کلی در خصوص نوع پی در مناطقی که کرنش افقی بیش از مقدار مجاز پیش‌بینی می‌شود به بخش ۷-۵ این ضابطه مراجعه شود.

۵-۷- کج‌شدگی

۵-۷-۱ چنانچه فرونشست غیریکنواخت موجب کج‌شدگی ساختمان شود آنگاه مقدار کج‌شدگی طبق مراجع مهندسی پی باید کنترل گردد.

۵-۷-۲ به عنوان راهنما توصیه می‌شود که مقدار کج‌شدگی به $\frac{1}{250}$ محدود گردد ((Navy, U. S., 1982 و Wahls, 1981)).

۵-۷-۳ برای محاسبه ساده کج‌شدگی در یک ساختمان لازم است کل نشست غیریکنواخت ناشی از بارگذاری و فرونشست محاسبه شود و در جهت اطمینان تقسیم بر عرض ساختمان شود. به بیان ساده دوران ساختمان مشابه یک پی صلب فرض می‌شود.

۵-۷-۴ ارتباط دادن فرونشست به دوران نسبی اجزای سازه‌ای مشکل است، زیرا مستلزم دانستن نحوه تغییر شکل فونداسیون در اثر فرونشست است. بنابراین به جای کنترل دوران نسبی بر اثر فرونشست کافی است کنترل نشست غیریکنواخت، کرنش افقی و همچنین کج‌شدگی انجام گیرد.



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۵۰

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

۶- پی مناسب و تمهیدات لازم

در این مرحله با توجه به فرونشست پیش‌بینی شده طبق فصل ۴ و نشست غیریکنواخت مجاز تعیین شده برای ساختمان در فصل ۵، لازم است پی مناسب طراحی شود یا تمهیدات لازم در سازه پیش‌بینی گردد.

۶-۱- انتخاب اولیه گزینه‌های مختلف پی و تمهیدات سازه‌ای

در این بخش لازم است گزینه‌های مختلف پی و تمهیدات سازه‌ای به شرح زیر مورد توجه باشد:

۶-۱-۱- پرهیز از پی منفرد در مناطق دارای فرونشست

توصیه می‌شود در مناطق دارای فرونشست (طبق تعریف بند ۱-۴-۲) از اجرای پی منفرد به صورت تکی یا نواری خودداری شود. ولی چنانچه تمایل به استفاده از پی منفرد وجود دارد، لازم است تاب‌آوری پی منفرد در برابر نشست و فرونشست غیریکنواخت طبق توصیه‌های این ضابطه در نظر گرفته شود.

۶-۱-۲- استفاده از پی شبکه‌ای و پی گسترده انعطاف‌پذیر و صلب

پی‌های شبکه‌ای و گسترده در دو راستای عمود بر هم صلبیت خمشی دارند و هرچه صلب‌تر باشند بهتر می‌توانند از نشست‌های غیریکنواخت جلوگیری کنند. لذا توصیه می‌شود در مناطق دارای فرونشست پی شبکه‌ای یا گسترده صلب به کار گرفته شود. در جدول ۵-۲ ضرایبی بر اساس نسبت K_r برای تبدیل نشست پی به نشست غیریکنواخت ارائه شده است. هر چه این نسبت بزرگتر باشد میزان نشست غیریکنواخت کم‌تر می‌شود و در صورتی که این نسبت سختی بیش‌تر از ۰/۵ باشد، پی گسترده صلب محسوب می‌شود. در انتخاب گزینه‌های پی، مناسب است چند پی شبکه‌ای یا گسترده با صلبیت مختلف مورد توجه باشد.

۶-۱-۳- استفاده از پی عمیق در مناطق مستعد شکاف فرونشست

۶-۱-۳-۱- استفاده از پی عمیق یا شمع می‌تواند گزینه مناسب برای مناطق دارای فرونشست باشد. با توجه به طول شمع می‌توان مشخص کرد که شمع چه تاثیری در کاهش فرونشست وارد بر سازه یا کاهش فرونشست غیریکنواخت دارد. بنابراین توصیه می‌شود شمع با طول‌های مختلف به عنوان گزینه‌های طراحی مورد توجه باشد.



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۵۱

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

۱-۳-۲ اگر نوک شمع در ترازای پایین‌تر از تراز سطح آب زیرزمینی قرار گیرد، می‌تواند به کاهش فرونشست کمک کند. اگر نوک شمع در ترازای بالاتر از تراز سطح آب زیرزمینی باشد، تاثیر شمع فقط در افزایش صلبیت پی و خاک زیر آن است. این کنترل باید در طول عمر مفید سازه و با توجه به تغییرات سطح آب زیرزمینی انجام شود.

۱-۳-۳ در نواحی که شکاف فرونشستی اتفاق افتاده و احتمال عمیق‌تر شدن آن وجود دارد و در نواحی که احتمال بروز شکاف وجود دارد، گزینه شمع می‌تواند گزینه‌ی مطلوبی باشد، البته در هر صورت عمق شمع باید به گونه‌ای انتخاب شود که نشست غیریکنواخت در حد مجاز (مطابق مقادیر مندرج در فصل ۵) باشد.

۱-۳-۴ برای محاسبه‌ی فرونشست در زیر گروه شمع لازم است توزیع تنش ناشی از فرونشست در نظر گرفته شود. روش پی معادل که برای نشست گروه شمع به کار می‌رود تخمین قابل قبول ارائه می‌کند. این روش در مراجع مهندسی پی آمده است و توزیع تنش را برای یک پی گسترده در عمق $\frac{2}{3}$ طول شمع در نظر می‌گیرد.

۱-۳-۵ برای تخمین نشست غیریکنواخت گروه شمع لازم است صلبیت آن در نظر گرفته شود و با صلبیت سر شمع جمع شود. روش معادل‌سازی در بند ۴-۴-۵ آمده است.

۱-۴-۴ استفاده از پی گسترده به علاوه‌ی توده بهسازی شده

۱-۴-۱ در این روش با استفاده از روش‌های بهسازی مانند اختلاط عمیق، جت گروتینگ و ستون بتنی غیرمسلح یک توده با مقاومت زیاد در زیر پی ایجاد می‌شود.

۱-۴-۲ به عنوان یکی از گزینه‌های طراحی پی مناسب است که پی گسترده به علاوه توده بهسازی با عمق‌های مختلف در نظر گرفته شود.

۱-۴-۳ برای تخمین صلبیت پی گسترده به علاوه توده بهسازی شده در زیر آن به بند ۴-۴-۳ مراجعه شود.

۱-۵-۵ توصیه به استفاده از درز جدایی در سازه

۱-۵-۱ مناسب است در مناطق دارای فرونشست جهت کم کردن حساسیت ساختمان به نشست غیریکنواخت، اجرای درز انقطاع در سازه و پی مورد توجه قرار گیرد. این درز باید در کل ارتفاع سازه و پی ادامه یابد.



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۵۲

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

۱-۵-۱۲ اگر مجموع نشست غیریکنواخت ناشی از بارگذاری و نشست غیریکنواخت ناشی از فرونشست نزدیک به مقادیر مجاز طبق جدول ۱-۵ ضابطه باشد، آن منطقه بحرانی محسوب می‌شود. طراح با توجه به نتایج حاصل از روش‌های مختلف پیش‌بینی فرونشست در پروژه مورد نظر و دقت آن‌ها قضاوت می‌کنند که مقدار نشست غیریکنواخت نزدیک به مقادیر مجاز و بحرانی است. در مناطق بحرانی از نظر فرونشست، توصیه می‌شود که اگر از پی صلب سطحی بدون بهسازی زمین یا شمع استفاده می‌شود، فاصله درزها در ساختمان‌ها تا حد امکان در حدود ۲۰ متر انتخاب شود.

۱-۵-۱۳ اگر از گزینه پی صلب استفاده گردد، توصیه می‌شود هر بخشی از ساختمان که با درز انقطاع از بخش‌های دیگر تفکیک می‌شود، دارای یک پی گسترده یا شبکه‌ای مستقل از سایر بخش‌ها باشد. اگر از درز انقطاع در ساختمان استفاده نشود، آنگاه یک پی صلب سراسری با ضخامت زیاد مورد نیاز است که می‌تواند بسیار پرهزینه باشد. بنابراین طراح باید گزینه پی صلب را با تعداد و چینش بهینه درز انقطاع ترکیب کند.

۱-۵-۱۴ استفاده از درز انقطاع برای شرایطی که بهسازی عمیق یا شمع در زیر پی سطحی به کار می‌رود توصیه نمی‌گردد. البته طراح باید ترکیب تمامی این ایده‌ها به منظور رسیدن به طرح بهینه را بررسی کند.

۱-۶-۱ انتخاب سیستم سازه‌ای

۱-۶-۱-۱ با توجه به این که انتخاب سیستم سازه در ارتباط با فرونشست بسیار پیچیده است، پیشنهاد می‌شود که بخشی از صلیب سازه به شرح بند بعد با صلیب پی جمع شود.

۱-۶-۱-۲ در این ضابطه توصیه می‌شود که در جهت اطمینان از صلیب قاب سازه‌ای صرف نظر شود و فقط صلیب خمشی دیوارهای برشی لحاظ گردد.

۱-۶-۲ انتخاب گزینه برتر

۱-۶-۲-۱ انتخاب گزینه برتر برای نوع پی و تمهیدات مناسب بهسازی با سه روش (الف) روش قطعی، (ب) روش احتمال مجاز و (ج) روش هزینه چرخه عمر قابل انجام است و روش مناسب باید با توجه به مقدار فرونشست در طول عمر مفید ساختمان انجام شود.



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۵۳

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

۲-۲-۶ چنانچه پیش‌بینی فرونشست با روش نظری به صورت قطعی مطابق توضیحات بخش ۴-۲ انجام گیرد، آنگاه لازم است انتخاب متغیرها برای پیش‌بینی فرونشست در روش قطعی با بررسی‌های کافی و اندازه‌گیری‌های میدانی چنان باشد که اطمینان کافی را برای طراح فراهم آورد. تصمیم‌گیری در این مورد به عهده طراح است که باید با توجه به شرایط پروژه و قضاوت مهندسی انجام گیرد.

۳-۲-۶ روش قطعی در شرایط مختلف قابل استفاده است. البته این روش در این ضابطه برای مقادیر فرونشست خیلی کم (کمتر از یک متر) در طول عمر مفید ساختمان توصیه می‌شود. در ضمن توصیه می‌گردد که این روش در صورتی به کار رود که پیش‌بینی فرونشست با روش تجربی مطابق توضیحات بخش ۴-۱ انجام می‌گردد.

۴-۲-۶ روش احتمال مجاز (با مقدار مجاز ۰/۱ یا ۱۰ درصد) در ادامه پیشنهاد شده است. این روش محافظه کارانه است و توصیه می‌شود در مناطق با فرونشست کمتر از ۱/۵ متر در عمر مفید ساختمان به کار رود. البته تصمیم‌گیری در خصوص به کارگیری این روش نیز به عهده طراح است.

۵-۲-۶ روش هزینه چرخه عمر امکان توجه به ریسک‌های خرابی ناشی از فرونشست را فراهم می‌آورد. این روش در هر شرایط توصیه می‌شود. البته به کارگیری این روش برای فرونشست‌های زیاد (بیش از ۲ متر در طول عمر مفید ساختمان) ضروری است.

۶-۲-۶ اگر چه به کارگیری روش مناسب برای انتخاب گزینه برتر به عهده طراح است لیکن توصیه می‌گردد که در هر پروژه حداقل از دو روش استفاده شود و نتایج با یکدیگر مقایسه شود. نتیجه نهایی با قضاوت مهندسی طراح با توجه به شرایط پروژه و اطمینان متغیرهای ورودی روش‌های مختلف انتخاب گردد.

۷-۲-۶ انتخاب گزینه برتر با روش قطعی (یقینی)

۱-۷-۲-۶ پس از پیش‌بینی فرونشست آتی در طول عمر مفید ساختمان و تعیین نشست غیریکنواخت، به انتخاب گزینه برتر با توجه به معیارها و مبنای طراحی مثل نشست غیریکنواخت مجاز پرداخته شود. فرونشست آتی در این روش یک مقدار قطعی فرض گردد.

۲-۷-۲-۶ تمام گزینه‌ها چنان در نظر گرفته شود که نشست غیریکنواخت آتی کمتر از مقدار مجاز طبق فصل ۵ باشد.



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۵۴

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

۳-۷-۲-۶ مقایسه‌ی گزینه‌ها از نظر اقتصادی و همچنین با توجه به سایر عوامل فنی و اجرایی انجام گیرد و گزینه برتر پیشنهاد شود.

۸-۲-۶ انتخاب گزینه برتر با روش احتمال مجاز

۱-۸-۲-۶ روش احتمال مجاز برای انتخاب گزینه برتر به صورت زیر استفاده شود.

۲-۸-۲-۶ در گام اول، پیش‌بینی فرونشست آتی با یکی از روش‌های قابلیت اعتماد طبق توضیحات فصل ۴ این ضابطه انجام شود و احتمال وقوع فرونشست با مقادیر مختلف تعیین گردد. سپس نشست غیریکنواخت برای هر احتمال وقوع فرونشست، مطابق توضیحات فصل ۵ با انتخاب مقادیر مناسب برای F_1 و F_2 برای هر گزینه پی محاسبه گردد.

۳-۸-۲-۶ در گام دوم، مقدار مجاز نشست غیریکنواخت طبق بخش ۵-۲ تعیین شود. این مقدار چنان است که هیچ‌گونه خرابی در ساختمان بر اثر فرونشست به وجود نیاید.

۴-۸-۲-۶ هر گزینه اعم از نوع پی یا روش بهسازی باید چنان در نظر گرفته شود که احتمال بیش‌تر شدن نشست غیریکنواخت از مقدار مجاز بیش‌تر از ۰/۱ (۱۰ درصد) نباشد. نشست غیریکنواخت بر اساس فرونشست با توجه به رابطه (۵-۶) تعیین می‌شود. بنابراین احتمال بیش‌تر شدن نشست غیریکنواخت از مقدار مجاز نشست غیریکنواخت معادل با احتمال بیش‌تر شدن فرونشست از مقدار مجاز فرونشست است.

۵-۸-۲-۶ وقتی برای رسیدن به احتمال مجاز ۱۰ درصد، چند گزینه از نظر نوع پی و بهسازی مناسب در نظر گرفته می‌شود. آنگاه باید هزینه‌های مربوط به گزینه‌های مختلف برای مقایسه اقتصادی و انتخاب گزینه برتر مورد توجه باشد.

۹-۲-۶ انتخاب گزینه برتر با روش هزینه چرخه عمر

۱-۹-۲-۶ برای هر گزینه مطرح جهت مواجهه با فرونشست لازم است هزینه چرخه عمر محاسبه گردد و گزینه برتر بر اساس حداقل هزینه چرخه عمر انتخاب شود.

۲-۹-۲-۶ هزینه چرخه عمر یک پروژه برابر با مجموع هزینه اولیه پروژه، هزینه ریسک و هزینه‌های تعمیر و نگهداری است و به صورت رابطه (۶-۱) محاسبه می‌شود:



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۵۵

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

$$LCC = C_i + C_r + C_m \quad (۱-۶)$$

که در این رابطه LCC هزینه کل چرخه عمر پروژه، C_i هزینه اولیه پروژه، C_r هزینه ریسک و C_m هزینه تعمیر و نگهداری است. هزینه ریسک (C_r) برابر با حاصل ضرب احتمال وقوع حادثه یا خسارت در تبعات مالی ناشی از حادثه است. بهینه ترین طرح طبق این روش آن است که مقدار هزینه چرخه عمر (LCC) را حداقل نماید.

۳-۹-۲-۶ وقتی گزینه‌های سازه‌ای یا ژئوتکنیکی به کار می‌روند، هزینه‌ی تعمیر و نگهداری در گزینه‌ها مشابه است و در مقایسه‌ی گزینه‌ها می‌توان از آن صرف نظر کرد. لذا خواهیم داشت:

$$LCC = C_i + C_r \quad (۲-۶)$$

۴-۹-۲-۶ برای پروژه‌ای که در منطقه فرونشستی احداث می‌شود لازم است گزینه‌های: (الف) پی منفرد یا نواری (ب) پی گسترده انعطاف‌پذیر و صلب (ج) گزینه‌های شمع با طول‌های مختلف (د) گزینه‌های بهسازی خاک زیر ساختمان به عمق‌های متفاوت، در نظر گرفته شود و سپس LCC برای تمام گزینه‌ها محاسبه گردد.

۵-۹-۲-۶ محاسبه‌ی هزینه اولیه (C_i) طبق روش‌های متداول متره و برآورد انجام می‌شود.

۶-۹-۲-۶ هزینه ریسک (C_r) برابر با حاصل ضرب احتمال وقوع حادثه یا خسارت در تبعات مالی ناشی از حادثه است.

۷-۹-۲-۶ برای محاسبه ریسک باید تابع توزیع احتمالاتی فرونشست تهیه شود و سپس بر اساس آن تابع توزیع احتمالاتی خسارت تهیه گردد. حاصل ضرب این دو تابع برابر با ریسک خواهد بود. محاسبه ریسک با این روش مشکل است لذا جهت سادگی توصیه می‌شود محتمل‌ترین احتمال وقوع یعنی ۵۰ درصد برای تخمین تقریبی خسارت به کار می‌رود. توجه شود که ۵۰ درصد در اینجا نشان‌دهنده‌ی احتمال گسیختگی سازه نیست بلکه بیانگر محتمل‌ترین احتمال وقوع فرونشست است.

۸-۹-۲-۶ با توجه به بند قبل، مقدار فرونشست آتی چنان تعیین شود که احتمال وقوع فرونشست بیش از آن برابر با ۵۰ درصد باشد. احتمال وقوع فرونشست کم‌تر از این مقدار برای محاسبه خسارت توصیه نمی‌شود زیرا مقدار فرونشست و نشست غیریکنواخت مجاز که در این ضابطه برای مقایسه و محاسبه‌ی خسارت پیشنهاد شده، به صورت محافظه‌کارانه



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۵۶

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

انتخاب شده است.

۹-۹-۲-۶ پس از آن که فرونشست آتی با احتمال وقوع حداقل ۵۰ درصد تعیین شد، آنگاه خرابی ناشی از آن طبق جدول ۳-۵ و خسارت ناشی از آن طبق جداول ۱-۶ الی ۳-۶ محاسبه گردد.

۹-۹-۲-۶ مقدار خسارت باید در احتمال وقوع فرونشست برای محاسبه ریسک ضرب شود لیکن وقتی که از روش ساده شده طبق بندهای ۷-۹-۲-۶ الی ۹-۹-۲-۶ برای محاسبه هزینه ریسک استفاده می‌شود، لازم نیست مقدار خسارت در ۵۰ درصد ضرب شود زیرا ۵۰ درصد نشان‌دهنده‌ی محتمل‌ترین احتمال وقوع در بازه‌ی صفر تا ۱۰۰ درصد و به نحوی نماینده کل بازه است. به مثال حل شده در پیوست ۲ مراجعه شود.

۹-۹-۲-۶ خسارت یا تبعات مالی ناشی از خرابی می‌تواند بر اساس جداول ۱-۶ الی ۳-۶ انجام گیرد. البته لازم است هزینه‌ی احداث ساختمان و همچنین اجاره‌ی ماهانه در محل پروژه به صورت روز اعلام شود و در محاسبات به کار رود.

جدول ۱-۶ نحوه محاسبه خسارت ناشی از فرونشست

ردیف	رئوس خسارات ناشی از وقوع فرونشست	روش محاسبه خسارت / مرجع خسارت	جدول مربوطه
۱	خسارت تعمیر ساختمان‌ها	خسارت: ارزش هزینه احداث کل ساختمان $\times$ درصد هزینه تعمیرات نسبت به ارزش کل ساختمان	جدول ۲-۶
۲	خسارت جابجایی و نقل مکان ساکنین ساختمان‌ها	خسارت: هزینه اجاره ساختمان جدید $\times$ مدت زمان تعمیر ساختمان آسیب‌دیده	جدول ۳-۶

جدول ۲-۶ تخمین خسارت تعمیرات ساختمان (درصد از قیمت آن)

خرابی ساختمان طبق تعریف بند ۵-۵-۶ این دستورالعمل				نوع ساختمان
ناچیز	متوسط	شدید	بسیار شدید	
۱/۵	۷/۳	۳۶/۷	۷۳/۴	مسکونی اقامت تک خانواده
۱/۲	۵/۷	۲۸/۲	۵۶/۳	مسکونی چند خانوادگی



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۵۷

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

جدول ۶-۳ تخمین مدت زمان تعمیر ساختمان آسیب دیده (مدت زمان مورد نیاز برای اجاره ساختمان جدید بر حسب ماه)

خرابی ساختمان طبق تعریف بند ۵-۵-۱۶ این دستورالعمل				نوع ساختمان
بسیار شدید	شدید	متوسط	ناچیز	
۲۴	۱۲	۴	۱	مسکونی اقامت تک خانواده
۳۲	۱۶	۴	۱	مسکونی چند خانوادگی

۶-۲-۹-۱۲ اگر تخریب یا آسیب برخی ساختمان‌ها مثل آتش‌نشانی یا بیمارستان موجب وقفه در بهره‌برداری و خسارت‌های جنبی شود، آنگاه طراح به تشخیص خود می‌تواند هزینه‌های مربوطه را در هزینه ریسک در نظر بگیرد.

۷- ساخت یا عدم ساخت ساختمان در زمین مورد نظر

۷-۱- مبنای تصمیم‌گیری

۷-۱-۱ تصمیم‌گیری در مورد بارگذاری یا ساخت بنای جدید در یک منطقه باید بر اساس فرونشست‌های آتی صورت گیرد و فرونشست‌های رخ داده در گذشته نباید مبنای تصمیم‌گیری باشد. البته فرونشست‌های قبلی باید به عنوان داده‌های ورودی برای پیش‌بینی فرونشست در آینده مورد استفاده قرار گیرد.

۷-۱-۲ توصیه می‌شود تصمیم‌گیری در مورد ساخت یا عدم ساخت ساختمان جدید در زمین مورد نظر فقط بر اساس پیش‌بینی قطعی فرونشست نباشد، بلکه از روش‌های اعتمادپذیری نیز مطابق توضیحات این ضابطه استفاده شود.

۷-۱-۳ از نظر فنی امکان ساخت ساختمان در هر زمینی با هر مقدار فرونشست وجود دارد، لیکن تمهیدات مواجهه با فرونشست مثل احداث پی گسترده و بهسازی زمین می‌تواند شامل هزینه‌های بسیار زیاد باشد که اجرای پروژه را از نظر اقتصادی مردود کند. بنابراین باید هزینه‌های اضافی ناشی از فرونشست تخمین زده شود و با هزینه احداث ساختمان در زمین‌های بدون فرونشست مقایسه گردد. در نهایت مشاور تحلیل لازم را بر اساس این بند انجام می‌دهد تا در تصمیم‌گیری و تایید نهایی مورد توجه کارفرما باشد.

۷-۱-۴ هنگام تصمیم‌گیری در مورد ساخت بناهای جدید در یک منطقه، افزون بر فرونشست باید به آمایش سرزمین توجه کرد. برای مثال اگر امکان تامین آب برای افزایش جمعیت در یک شهر وجود ندارد، بدیهی است که ساخت و ساز جدید



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۵۸

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

منتفی است. این موضوع خارج از چارچوب این ضابطه است و باید جداگانه مورد توجه قرار گیرد.

۱-۵ اگر زمین مورد نظر در مناطق ساحلی یا مجاور رودخانه قرار دارد، لازم است خط تراز پروژه برای جلوگیری از خطرات سیل و غرقاب شدن سایت مشخص گردد. آنگاه تراز پروژه باید به قدری باشد که فرونشست آتی موجب نشود که تراز پروژه پایین‌تر از تراز غرقاب شدن قرار گیرد. برای تعیین تراز پروژه با توجه به سیل یا در مناطق مجاور دریا و رودخانه به مراجع معتبر مربوط به این موضوع مراجعه شود.

۱-۶ افزون بر موارد کلی بیان شده در بخش ۷-۱، لازم است دو روش زیر برای تصمیم‌گیری در مورد ساخت یا عدم ساخت در یک پروژه به کار رود و سپس تصمیم‌گیری نهایی با مقایسه نتایج و قضاوت مهندسی توسط مشاور ذیصلاح با مشورت کارفرما صورت گیرد.

۲-۲-۲ روش احتمال مجاز در تصمیم‌گیری در خصوص ساخت یا عدم ساخت

۲-۲-۱ روش احتمال مجاز برای تصمیم‌گیری در مورد ساخت یا عدم ساخت در زمین مورد نظر قابل استفاده است.

۲-۲-۲ در این روش باید پیش‌بینی فرونشست آتی و نشست غیریکنواخت ناشی از فرونشست و همچنین مقدار مجاز نشست غیریکنواخت تعیین شود.

۲-۲-۳ اگر احتمال بیش‌تر شدن نشست غیریکنواخت از مقدار مجاز بیش‌تر از ۱/۱۰ (۱۰ درصد) باشد، آنگاه نباید ساخت و ساز در زمین مورد نظر انجام شود یا اینکه تمهیدات مناسب در نظر گرفته شود.

۲-۲-۴ برای رسیدن به احتمال مجاز ۱/۱۰ لازم است نوع پی و بهسازی مناسب در نظر گرفته شود. در این صورت باید هزینه‌های اضافی مربوط به آن برای تحلیل اقتصادی و مقایسه‌ی ساخت یا عدم ساخت مورد توجه باشد.

۳-۲-۲ روش هزینه چرخه عمر در تصمیم‌گیری در خصوص ساخت یا عدم ساخت

۳-۲-۱ روش هزینه چرخه عمر در بند ۶-۲-۹ این ضابطه مورد اشاره قرار گرفت. این روش می‌تواند برای انتخاب گزینه مناسب نوع پی و بهسازی زمین به کار رود.

۳-۲-۲ برای تصمیم‌گیری در مورد ساخت یا عدم ساخت ساختمان در زمین مورد نظر پیشنهاد می‌گردد، نوع مناسب پی



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۵۹

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

با توجه به پیش‌بینی مقدار فرونشست با روش هزینه چرخه عمر انتخاب شود. سپس هزینه‌های اضافی ناشی از قرارگیری زمین در منطقه فرونشستی تعیین گردد.

۳-۳-۷ تصمیم‌گیری نهایی در مورد ساخت یا عدم ساخت ساختمان در زمین موردنظر با مقایسه اقتصادی احداث پروژه در این زمین با سایر مناطق صورت می‌گیرد.

۴-۷-۲ پیشنهاد تعداد طبقات مناسب

۴-۷-۱ برای تصمیم‌گیری در مورد انتخاب تعداد طبقات ساختمان با توجه به فرونشست در منطقه باید مقایسه بین ساختمان‌هایی با تعداد طبقات مختلف (برای مثال ۱ طبقه الی ۶ طبقه) انجام شود تا تعداد طبقات بهینه به منظور حداقل سازی هزینه هر مترمربع به دست آید. البته ضوابط شهرسازی در یک منطقه یا نیازهای پروژه باید در تعیین تعداد طبقات ساختمان جدید مورد توجه باشد.

۴-۷-۲ برای انتخاب تعداد طبقات مناسب با توجه به فرونشست لازم است در ابتدا نوع پی یا بهسازی مناسب با روش یقینی (بند ۶-۲-۷) یا روش احتمال مجاز (بند ۶-۲-۸) و روش مبتنی بر تحلیل ریسک و هزینه چرخه عمر (بند ۶-۲-۹) برای تعداد طبقات مختلف (مثل ۱ الی ۶ طبقه) تعیین شود.

۴-۷-۳ تعداد طبقات ساختمان ارتباط چندانی با مقدار فرونشست ندارد زیرا وزن سازه‌ها در مقابل وزن لایه‌های خاک ناچیز است. به زبان ساده نمی‌توان حداکثر طبقات مجاز در یک ساختمانی را بر اساس حداکثر فرونشست تعیین کرد. لازم است تعداد طبقات بهینه با توجه به بررسی‌های اقتصادی به شرح زیر و ملاحظات ریسک به دست آید.

۴-۷-۳-۱ همانطور که در بندهای قبلی ذکر شد، برای انتخاب تعداد طبقات ساختمان باید مقایسه بین ساختمان‌هایی با تعداد طبقات مختلف انجام شود تا تعداد طبقات بهینه از نظر اقتصادی به دست آید. برای انتخاب تعداد طبقات مناسب با توجه به فرونشست لازم است در ابتدا نوع پی یا بهسازی مناسب برای تعداد طبقات مختلف انتخاب شود و سپس مقایسه اقتصادی صورت گیرد. هزینه‌ی احداث پی یا بهسازی مناسب با توجه به فرونشست باید بر روی هزینه احداث هر طبقه سرشکن شود و تعداد طبقه بهینه از نظر مواجهه با فرونشست مشخص گردد.

۴-۷-۳-۲ با افزایش تعداد طبقات، هزینه‌های احداث و همچنین هزینه‌های ریسک ناشی از خرابی افزایش می‌یابد و باید در



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۶۰

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

تحلیل‌ها مورد نظر باشد. نحوه‌ی محاسبه‌ی هزینه چرخه عمر یک ساختمان در بخش ۶-۲-۹ و مثال پیوست ۲- ارائه شده است. در محاسبه‌ی هزینه هر متر مربع ساختمان باید کل هزینه چرخه عمر مورد نظر باشد. تعداد طبقات بهینه برابر با تعداد طبقاتی است که حداقل هزینه چرخه عمر برای هر متر مربع ساختمان به دست آید.

۷-۴-۳ هزینه‌ی احداث پی یا بهسازی مناسب با توجه به فرونشست باید بر روی هزینه احداث هر طبقه در نظر گرفته شود و تعداد طبقات بهینه از نظر مواجهه با فرونشست مشخص گردد. همچنین لازم است ملاحظات دیگر مثل امکان تامین آب و نکات مربوط به شهرسازی و آمایش سرزمین در جمع‌بندی نهایی مورد توجه باشد.

۷-۴-۴ این ضابطه محدودیتی برای تعداد حداکثر طبقات مجاز ندارد.

۷-۵- ساخت و ساز در مناطق مستعد شکاف‌های فرونشستی زمین

۷-۵-۱ شکاف‌های فرونشستی زمین بر اثر (الف) فرونشست غیریکنواخت یا (ب) کرنش افقی به وجود می‌آید. اگر زمین دارای شکاف باشد، لازم است بررسی‌های لازم انجام شود تا اطمینان حاصل گردد که این شکاف‌ها بر اثر فرونشست به وجود آمده است. این بررسی شامل مطالعه‌ی مقدار فرونشست در گذشته، گرادیان فرونشست و همچنین تخمین کرنش افقی است.

۷-۵-۲ در مناطقی که کرنش افقی بیش از مقدار مجاز پیش‌بینی می‌شود، ضروری است از پی گسترده استفاده شود. کرنش افقی در پی‌های گسترده بتنی معمولاً نمی‌تواند موجب خرابی شود.

۷-۵-۳ احداث بنا در مناطق دارای شکاف فرونشستی یا مستعد شکاف (طبق بخش ۵-۶-۱۰) به شرطی قابل قبول است که نکات اصلی زیر مورد توجه باشد:

۷-۵-۳-۱ فرونشست آتی با روش‌های مندرج در فصل ۴ این ضابطه پیش‌بینی گردد و پی مناسب یا بهسازی زمین طبق فصل‌های ۵ و ۶ این ضابطه انتخاب شود. در ضمن نکات مندرج در بخش ۵-۶-۱۰ مورد توجه باشد.

۷-۵-۳-۲ اگر کرنش افقی برآورد شده برای زمین پروژه بیش از $\frac{1}{3}$ درصد باشد، ضمن استفاده از پی گسترده لازم است بررسی‌های ویژه مثل (الف) خالی شدن بخشی از زیر پی بر اثر شکاف و تاثیر آن بر پی گسترده، (ب) احتمال آبشستگی



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۶۱

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

در شکاف‌های ایجاد شده در زمین و پیش‌بینی تمهیدات ویژه، (ج) نشست غیریکنواخت و تاثیر آن بر پی، (د) اجرای یک لایه‌ی ماسه‌ای به ضخامت مناسب در زیر پی و (ه) پیش‌بینی ترانشه نرم (کانال پر شده با ماسه) در مجاورت ساختمان صورت گیرد.

۳-۳-۵-۷ همانطور که در بند ۲-۳-۵-۷ بیان شد، راه‌حل‌های مکمل پی گسترده برای مواجهه با شکاف‌های فرونشستی زمین آن است که پی بر روی یک لایه‌ی ماسه بادی قرار گیرد تا از انتقال کرنش افقی زمین به ساختمان جلوگیری شود. همچنین استفاده از ترانشه نرم می‌تواند از آسیب ساختمان در صورت بروز شکاف‌های فرونشستی زمین جلوگیری نماید. با توجه به تجربیات کم از این روش‌ها و عدم اطمینان‌ها مربوط به آن‌ها باید بررسی‌های تخصصی در صورت استفاده از آن‌ها انجام شود.

۴-۳-۵-۷ شکاف‌های فرونشستی زمین با دوغاب مناسب پر شود و سطح آن تسطیح گردد. دوغاب مناسب می‌تواند ترکیبی از سیمان، بتنویت و خاک ریزدانه محل باشد. لازم است مقاومت تک محوری دوغاب پس از گیرش مشابه زمین طبیعی باشد.

۵-۳-۵-۷ از آنجا که فرونشست و شکاف‌های زمین می‌توانند موجب سستی آن شده باشند، لازم است شناسایی‌های زمین با روش‌های متداول مثل حفر گمانه و چاهک انجام شود تا (الف) از پر شدن شکاف‌ها اطمینان حاصل گردد و (ب) طراحی پی در این زمین متناسب با مشخصات مکانیکی خاک پس از بروز شکاف و پر شدن آن انجام شود.

۶-۳-۵-۷ پر کردن شکاف‌های ناشی از فرونشست در زمین مورد نظر تا عمق نهایی شکاف و همچنین زمین اطراف تا شعاع برابر با عمق شکاف الزامی است. هزینه‌های این کار باید در تخمین هزینه‌های آماده‌سازی زمین مورد توجه باشد.

۴-۵-۷ پایین رفتن موضعی سطح آب زیرزمینی در مجاور یک چاه آب موجب نشست موضعی و گاهی ترک‌هایی در اطراف چاه می‌شود. این پدیده موضوع این ضابطه نیست ولی به دلیل ارتباط آن با سطح آب زیرزمینی، در این بند اشاره می‌شود که اگر زمین مورد مطالعه در نزدیکی چاه است، باید نشست ناشی از آبکشی چاه مورد مطالعه قرار گیرد. در صورت نیاز میزان افت آب در چاه با کنترل آبکشی یا تمهیدات دیگر محدود شود.

۵-۵-۷ در مناطقی که خاک به رطوبت حساس است یا در مناطقی که قنات وجود دارد، ضمن شناسایی خواص خاک و



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه - مسکن و شهرسازی

صفحه ۶۲

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

احتمال آبشستگی، همچنین شناسایی قنات‌ها لازم است تصمیم‌گیری در مورد نوع پی یا تصمیم‌گیری در مورد ساخت یا عدم ساخت با توجه به این عوامل و با احتیاط لازم صورت گیرد.

۸- نظام مسئولیت‌ها و صلاحیت‌ها

نظام مسئولیت‌ها در رابطه با مطالعات فرونشستی و اقدامات اجرایی و همچنین حداقل صلاحیت‌های لازم برای انجام کارهای مورد اشاره در این ضابطه در این فصل تشریح می‌شود.

۸-۱- مسئولیت شروع مطالعات فرونشستی در یک پروژه

۸-۱-۱ این مدرک با عنوان "ضوابط ساخت ساختمان در مناطق دارای فرونشست برای پروژه‌های انبوه سازی مسکن - سازمان ملی زمین و مسکن" انتشار یافته است و باید برای ساختمان‌های مسکونی جدید در سایت‌های انبوه‌سازی مسکن به کار رود تا سازمان ملی زمین و مسکن بتواند مطالعات لازم را برای زمین‌های جدید، انجام دهد.

۸-۱-۲ این ضابطه برای ساختمان‌های مسکونی معتبر می‌باشد. البته روش ارائه شده در مورد ساختمان‌های خاص مثل آتش‌نشانی و بیمارستان نیز قابل استفاده است.

۸-۱-۳ این ضابطه به عنوان حداقل الزامات مورد نیاز ساخت ساختمان در توسعه شهری، شهرک‌ها و مجتمع‌های ساختمانی در مناطق دارای فرونشست باید در پروژه‌های سازمان ملی زمین و مسکن مورد استفاده قرار بگیرد.

۸-۱-۴ این ضابطه برای ساختمان‌های مسکونی معتبر است. البته روش ارائه شده در این ضابطه می‌تواند برای سایر انواع ساختمان‌ها در صورت برآورد منطقی خسارت و ریسک استفاده شود.

۸-۱-۵ این ضابطه با اهداف تصمیم‌گیری در خصوص ساخت یا عدم ساخت در زمین مورد مطالعه، پیشنهاد تعداد طبقات مناسب برای ساختمان‌های مورد نظر و ملاحظات طراحی برای مواجهه با فرونشست، تهیه شده است. بنابراین بندهای این ضابطه در پروژه‌های سازمان ملی زمین و مسکن لازم‌الاجرا است.

۸-۱-۶ ضابطه حاضر صرفاً محدود به ساخت ساختمان در مناطق دارای فرونشست است و توصیه‌ای برای سایر ابنیه مانند راه‌ها، خطوط راه‌آهن و خطوط لوله ندارد. در ضمن این ضابطه شامل ساختمان‌های موجود نمی‌شود.



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۶۳

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

۸-۱-۲ در ابتدای پروژه و در مرحله بررسی زمین مورد نظر لازم است با توجه به نکات مندرج در بخش ۲-۱ با عنوان الزام به کارگیری ضابطه در خصوص لزوم انجام مطالعات فرونشست تصمیم‌گیری شود.

۸-۱-۸ در این مرحله باید کنترل شود که آیا فرونشست سالیانه در محدوده‌ای به شعاع یک کیلومتر از محل پروژه بیش از ۱ سانتی‌متر بر سال ثبت شده است یا افت ده ساله سطح آب زیرزمینی بیش از میزان ۵ متر است. این مطالعات مقدماتی می‌تواند به کارشناسان سازمان ملی زمین و مسکن یا شرکت مشاور ذی‌صلاح (طبق تعریف بخش ۸-۲) سپرده شود. تصمیم‌گیری در این خصوص و همچنین تصویب مطالعات بر عهده‌ی سازمان ملی زمین و مسکن است.

۸-۲- مشاور ذی‌صلاح

۸-۲-۱ اگر در یک پروژه فقط مطالعات فرونشستی و طراحی پی به منظور بررسی مناسب بودن زمین برای توسعه انجام شود (مراحل اول تا پنجم در بخش ۲-۲)، آنگاه مشاور ذی‌صلاح باید دارای رتبه حداقل ۳ از سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی در رشته‌ی ژئوتکنیک باشد.

۸-۲-۲ اگر مطالعات فرونشستی همراه با طراحی پروژه به صورت توأم به مشاور ذی‌صلاح واگذار شود، آنگاه مشاور باید دارای رتبه حداقل ۳ از سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی در رشته‌ی ژئوتکنیک و همچنین حداقل رتبه ۳ در یکی از رشته‌های ساختمان برای پروژه‌های توسعه مسکن باشد.

۸-۲-۳ سازمان ملی زمین و مسکن با توجه به اهمیت پروژه می‌تواند در خصوص استفاده از مشاور با رتبه‌های ۲ یا ۱ تصمیم‌گیری کند.

۸-۲-۴ برای "زمین‌های بزرگتر از ۱۰۰ هکتار" یا "فرونشست سالانه بیش از ۲ سانتی‌متر" یا "افت سطح آب زیرزمینی بیش از ۱۰ متر در ده سال" لازم است که مشاور ژئوتکنیک دارای حداقل رتبه ۱ باشد.

۸-۲-۵ اگر احیاناً مطالعات فرونشستی در زمینه‌ی سایر پروژه‌های عمرانی و صنعتی مورد نظر باشد، آنگاه افرون بر رتبه ژئوتکنیک لازم است مشاور دارای رتبه مربوط به آن تخصص هم باشد.

۸-۲-۶ مطالعات مرحله اول الی پنجم طبق فصل‌های سوم الی هفتم این ضابطه باید توسط مشاور ذی‌صلاح انجام شود.



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۶۴

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

بدیهی است که تصویب مطالعات به عهده‌ی سازمان ملی زمین و مسکن می‌باشد.

۸-۳- صلاحیت ارائه خدمات جنبی

۸-۳-۱ در مطالعات فرونشست برای یک پروژه که توسط مشاور ذی‌صلاح انجام می‌گیرد، با توجه به تشخیص مشاور و توصیه‌های اشاره شده در این ضابطه ممکن است نیاز به انجام برخی اندازه‌گیری‌های میدانی یا خدمات تخصصی به شرح زیر باشد. شرح خدمات این کارها توسط مشاور ذی‌صلاح ارائه می‌گردد و تحت نظارت او انجام می‌شود. تعیین صلاحیت مربوط به هریک از این خدمات در زیر آمده است.

۸-۳-۲ مسئول جمع‌آوری اطلاعات موجود در ارتباط با مطالعات فرونشستی به عهده مشاور ذی‌صلاح است، این کار باید قبل تدوین شرح خدمات برای خدمات جنبی انجام گیرد.

۸-۳-۳ انجام خدمات نقشه برداری و ترازیابی با روش‌های ترازیابی دقیق با دوربین و سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS) باید توسط شرکت‌هایی با حداقل رتبه ۳ نقشه برداری از سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی صورت گیرد.

۸-۳-۴ تداخل سنجی راداری باید توسط شرکت‌های نقشه‌برداری یا مراکز دانشگاهی و سازمان‌های تخصصی انجام گیرد که دسترسی به تصاویر ماهواره‌ای مورد نیاز داشته باشند و حداقل سه پروژه تداخل سنجی راداری در کارنامه آن‌ها موجود باشد.

۸-۳-۵ گرادیان فرونشست و تغییرات تغییر مکان افقی زمین باید افزون بر مقدار فرونشست توسط گروه‌های مندرج در بندهای ۸-۳-۳ و ۸-۳-۴، ارائه گردد.

۸-۳-۶ پایش فرونشست با ابزارهایی مثل کشش‌سنج‌ها یا سایر اندازه‌گیری‌ها مثل پایش عمق آب زیرزمینی باید توسط مجموعه‌هایی انجام شود که سابقه حداقل سه پایش در هر نوع پروژه عمرانی را داشته باشند.

۸-۳-۷ شناسایی‌های ژئوتکنیکی از جمله حفر گمانه و انجام آزمایش‌های صحرایی یا آزمایشگاهی باید توسط شرکت‌هایی با حداقل رتبه ۳ ژئوتکنیک از سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی انجام شود.

۸-۳-۸ برداشت‌های ژئوفیزیکی با هر روشی که مشاور ذی‌صلاح پیشنهاد می‌کند باید توسط شرکت‌هایی با حداقل رتبه



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه ۶۵

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-03

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

۳ ژئوفیزیک از سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی انجام شود.

۸-۴- اجرای ابنیه

۸-۴-۱ صلاحیت اجرای ابنیه در مناطق دارای فرونشست مشابه سایر مناطق است.

۸-۴-۲ اگر پیمانکار ابنیه دارای سوابق بهسازی خاک باشد، به عنوان امتیاز مثبت در هنگام واگذاری کار در نظر گرفته شود.

۸-۵- رفع اختلاف و ابهام

۸-۵-۱ چنانچه در هنگام استفاده از این ضابطه در پروژه‌های سازمان ملی زمین و مسکن، اختلاف نظر یا ابهامی به وجود آید، اختلاف مورد نظر توسط حداقل یکی از طرفین اختلاف به ریاست سازمان ملی زمین و مسکن گزارش می‌شود.

۸-۵-۲ ریاست سازمان ملی زمین و مسکن، هیئت سه نفره متشکل از اعضای سازمان ملی زمین و مسکن، اعضای مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی یا کارشناسان مستعد برای اظهار نظر تعیین می‌کند. این هیئت می‌تواند برای هر مورد تشکیل شود یا به مدت مشخص تعیین گردد.



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه پ-۱-۱

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-01

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

پیوست ۱: تعیین قابلیت اعتماد با استفاده از روش مجموعه‌های منتخب خبرگان

در متن ضابطه آمده است که تحلیل قابلیت اعتماد با روش‌های مختلف قابل قبول است. در اینجا تحلیل قابلیت اطمینان با استفاده از روش مجموعه‌های منتخب خبرگان (ESS) ارائه می‌شود که بسیار ساده و کاربردی است. در این روش حد بالا و حد پایین برای هر متغیر ورودی تعریف می‌شود و نیازی به تخصیص سهم احتمالی به مجموعه‌ها نیست. همچنین، در این روش بر خلاف روش مونت کارلو، هیچ توزیع احتمالاتی برای متغیرهای ورودی فرض نمی‌شود و تنها حدود پایین و بالا از مجموعه‌های ورودی به عنوان مقادیر تصادفی در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین، تعداد اجرای لازم تحلیل عددی FEM یا هر نوع تحلیل دیگر برابر با 2^N خواهد بود (که N تعداد متغیرهای پایه است).

روش تحلیل فرونشست در روش مجموعه‌های منتخب خبرگان می‌تواند هر یک از روش‌های تحلیلی برای محاسبه‌ی نشست تحکیم باشد. در اینجا محاسبه‌ی نشست تحکیم با روش اجزای محدود FEM مورد توجه قرار دارد. روند تحلیل قابلیت اطمینان در روش مجموعه‌های منتخب خبرگان به صورت زیر خلاصه می‌شود:

- مرحله ۱: هندسه مسئله را تعریف کرده و خواص و ساختار مناسب برای لایه‌های خاک و سایر اجزا تعریف گردد. در این راستا، یک مدل المان محدود به عنوان فایل اصلی تهیه شود.
- مرحله ۲: برای هر متغیر ژئوتکنیکی تنها یک دامنه منطقی و مورد انتظار ارائه شود. قضاوت مهندسی بر اساس اطلاعات موجود و داده‌های جمع‌آوری شده، منبع اصلی جهت انتخاب دامنه مورد انتظار برای متغیرها است. با این حال، دانش آماری و مقادیر پیشنهادی برای خواص مختلف ژئوتکنیکی می‌تواند به پیشنهاد دامنه‌های قابل اعتمادتر برای متغیرهای ژئوتکنیکی کمک کند. در روش مجموعه‌های منتخب خبرگان تنها یک مجموعه انتخاب می‌شود.
- مرحله ۳: تعداد اجراهای مورد نیاز در محاسبه به روش المان‌های محدود برابر با ۲ به توان N است (که N تعداد متغیرهای پایه است). تحلیل حساسیت می‌تواند برای تعیین متغیرهای تأثیرگذارتر به منظور کاهش N و کاهش محاسبات انجام شود.
- مرحله ۴: یک ماتریس از ترکیب‌های مختلف متغیرهای ورودی ارائه شود. سپس، هر ترکیب در یک مدل المان محدود وارد شود و پاسخ مورد نظر سیستم ثبت گردد.



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه پ-۱-۲

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-01

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

- مرحله ۵: میانگین و انحراف معیار خروجی‌های مدل ثبت شده که در مرحله ۴ به دست آمده‌اند، محاسبه شود. همچنین، با استفاده از نرم‌افزارهای آماری مانند EasyFit بهترین تابع توزیع بر اساس مقادیر ثبت شده پاسخ سیستم برازش داده شود. نتایج تحلیل قابلیت اعتماد به صورت منحنی‌های تابع توزیع احتمال (PDF) و تابع توزیع تجمعی (CDF) به دست می‌آید.
- مرحله ۶: یک مقدار آستانه برای پاسخ اصلی سیستم تعریف شود تا احتمال عملکرد نامطلوب سیستم تعیین گردد. در این مطالعه، یک مقدار قابل قبول برای فرونشست به عنوان مقدار هدف تعریف شود. احتمال مقادیر بالاتر فرونشست، که نشان‌دهنده احتمال عملکرد نامطلوب سیستم است، تعیین می‌شود.



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه پ-۲-۱

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-01

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

پیوست-۲: مثالی از انتخاب گزینه‌های مختلف طراحی در یک منطقه دارای فرونشست

فرض می‌شود فرونشست آتی در یک منطقه مطابق جدول زیر برای یک ساختمان آجری ۲ طبقه (برای سکونت چند خانوار) به مساحت 15×10 متر مربع است. گزینه‌های مختلف پی منفرد بدون تمهیدات خاص، پی گسترده، پی گسترده به علاوه توده بهسازی، پی گسترده مستقر بر گروه شمع مورد توجه قرار گیرد. مدول الاستیسیته خاک ۳۰ مگاپاسکال فرض می‌گردد. نسبت نشست غیریکنواخت ناشی از فرونشست به فرونشست در منطقه با بررسی‌های میدانی برابر با $\frac{1}{10}$ در نظر گرفته شود. همچنین فرض شود نشست ساختمان بر اثر بار خود ناچیز بوده و صفر در نظر گرفته شود.

احتمال وقوع (درصد)	فرونشست آتی بیش از (سانتی‌متر)
۲۵	۳۳۰
۵۰	۲۴۰
۷۵	۱۵۰
۱۰۰	۶۰

- پی منفرد بدون تمهیدات خاص
 - پی گسترده با ضخامت ۴۰، ۹۰ و ۱۵۰ سانتی متر
 - پی گسترده با ضخامت ۴۰ سانتی متر و توده بهسازی به عمق ۳ متر و ۶ متر و ۱۲ متر
 - پی گسترده با ضخامت ۴۰ سانتی متر بر روی گروه شمع شامل ۲۴ شمع به طول ۵ متر و ۱۰ متر و ۲۰ متر
- توضیح: در متن ضابطه توصیه شده است که چنانچه ضخامت پی گسترده کمتر از یک متر باشد، از شمع در مناطق فرونشستی استفاده نشود، اما در این مثال ضخامت ۴۰ سانتی متر برای پی گسترده به کار رفته است تا روش مقایسه‌ی هزینه‌ها



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه پ-۲-۲

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-01

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

نشان داده شود. در ضمن اضافه می‌شود که ضخامت پی گسترده باید با توجه به سایر ملاحظات سازه‌ای مثل برش سوراخ
کننده کنترل شود که در این مثال مورد توجه نبوده است.

حل مثال :

پ ۱-۲- تعیین فرونشست طرح

جهت انتخاب گزینه برتر و محاسبه‌ی ریسک ناشی از خرابی هر یک از آن‌ها لازم است فرونشست طرح تعیین گردد.
بنابراین مطابق بند ۴-۶-۹ مقدار فرونشست آتی متناظر با احتمال تجمعی برابر با ۵۰ درصد انتخاب می‌شود و مطابق جدول
این مثال در محاسبات در ادامه میزان فرونشست ۲۴۰ سانتی‌متر لحاظ می‌گردد.

پ ۲-۲- محاسبه هزینه ریسک گزینه‌های مختلف طراحی

مطابق بخش ۶-۲ این ضابطه، محاسبه‌ی هزینه‌ی ریسک هر گزینه برای محاسبه هزینه چرخه عمر آن‌ها و انتخاب
گزینه برتر صورت می‌گیرد. برای بدست آوردن هزینه ریسک هر گزینه در ابتدا لازم است نشست غیریکنواخت ساختمان
و خرابی محتمل برای هر کدام از آن‌ها به دست آید.

پ ۲-۲-۱- محاسبه نشست غیریکنواخت

مطابق بخش ۵-۳ ضابطه، نشست غیریکنواخت پی (Δ) که برابر با مجموع نشست غیریکنواخت ناشی از بارگذاری
(Δ_S) و نشست غیریکنواخت ناشی از فرونشست (Δ_{SUB}) است، مطابق زیر محاسبه می‌شود:

$$\Delta = \Delta_S + \Delta_{SUB}$$

در این مثال، فرض بر آن است که نشست غیریکنواخت ناشی از بارگذاری (Δ_S) صفر است و نشست غیریکنواخت
پی (Δ) تنها شامل نشست غیریکنواخت ناشی از فرونشست (Δ_{SUB}) است.

$$\Delta_{SUB} = SUB \times F_1 \times F_2$$

$$\Delta = 0 + \Delta_{SUB} = SUB \times F_1 \times F_2$$

ضرایب F_1 و F_2 به ترتیب ضریب تاثیر نوع پی و ضریب تبدیل فرونشست است که طبق بخش‌های ۵-۴ و ۵-۵ ضابطه

در ادامه محاسبه و تعیین می‌شود.



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه پ-۲-۳

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-01

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

پ-۲-۱-۱- محاسبه ضریب تاثیر نوع پی (F_1)

الف) پی منفرد بدون تمهیدات خاص

مقدار F_1 برای پی منفرد طبق جدول ۵-۲ برابر ۰/۷۵ در نظر گرفته می‌شود.

ب) پی گسترده با ضخامت ۴۰، ۸۰ و ۱۵۰ سانتی متر

در پی‌های گسترده برای محاسبه F_1 باید ابتدا پارامتر K_r را برای گزینه‌های مختلف بدست آورد. محاسبه K_r برای

پی‌های گسترده مطابق بند ۵-۴-۲ صورت می‌گیرد:

$$K_r = \frac{EI_b}{E_s B^3}$$

EI_b = سختی خمشی روسازه + سختی خمشی پی

که در آن EI_b مجموع سختی خمشی روسازه و پی برای واحد عرض، E_s مدول الاستیسیته خاک، E مدول الاستیسیته

بتن و B عرض پی در امتداد عمود بر راستای مورد بررسی است. در این مثال در جهت اطمینان از سختی خمشی روسازه

صرف نظر گردید و سایر متغیرها مطابق جدول زیر در نظر گرفته شد.

جدول پ-۲-۱ متغیرهای مثال

پارامتر	علامت اختصاری	مقدار	واحد
عرض پی	B	10	m
طول پی	L	15	m
مدول الاستیسیته بتن	E	20000	MPa
مدول الاستیسیته خاک	Es	30	MPa

بنابراین K_r در واحد عرض برای پی گسترده با ضخامت ۴۰ سانتی متر به صورت زیر به دست می‌آید:

$$K_r = \frac{EI_b}{E_s B^3} = \frac{20000 \times \frac{1}{12} \times 1 \times 0.4^3}{30 \times 10^3} = 0.004$$



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه پ-۲-۴

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-01

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

به همین ترتیب مقدار K_r برای پی‌های گسترده با ضخامت ۸۰ و ۱۵۰ سانتی‌متر به ترتیب برابر ۰/۰۲۸ و ۰/۱۸۸ به دست می‌آید. سپس مقادیر F_1 از طریق درونیابی از مقادیر موجود در جدول ۵-۲ برای پی‌های گسترده به دست می‌آید که مطابق جدول زیر است:

جدول پ-۲-۲ مقادیر K_r و F_1 برای انواع گزینه‌های پی گسترده

ضخامت پی گسترده (m)	K_r	F_1
0.4	0.004	0.35
0.9	0.041	0.33
1.5	0.188	0.26

ج) پی گسترده با ضخامت ۴۰ سانتی‌متر و توده بهسازی به عمق ۳ متر، ۶ متر و ۱۲ متر در این حالت نیز باید ابتدا مقدار K_r برای هر گزینه مطابق بند ۵-۴-۳ به دست آید:

$$K_r = \frac{E_b I_b + E_{im} I_{im}}{E_s B^3}$$

در این رابطه E_{im} مدول الاستیسیته معادل ناحیه بهسازی شده است که مطابق رابطه زیر به دست می‌آید:

$$E_{im} = a_s E_{improvement} + (1 - a_s) E_s$$

بهسازی مدنظر ستون‌های اختلاط عمیق (DSM) به قطر ۸۰ سانتی‌متر است که در آرایش شبکه‌ای ۲×۲ اجرا می‌شود و مدول الاستیسیته آن‌ها برابر ۴۵۰ مگاپاسکال ($E_{improvement} = 450 \text{ MPa}$) در نظر گرفته شد. همچنین نسبت مساحت المان‌های بهسازی به مساحت پی (a_s) مطابق زیر به دست می‌آید:

$$a_s = \frac{\pi \frac{0.8^2}{4}}{2 \times 2} = 0.126$$

در نتیجه مدول الاستیسیته معادل ناحیه بهسازی برابر است با:

$$E_{im} = 0.126 \times 450 + (1 - 0.126) \times 30 = 82.78 \text{ MPa}$$

بنابراین مقدار K_r به دست خواهد آمد:

$$K_r = \frac{E_b I_b + E_{im} I_{im}}{E_s B^3} = \frac{20000 \times \frac{1}{12} \times 1 \times 0.4^3 + (82.75 \times \frac{1}{12} \times 1 \times 3^3) \times \frac{1}{3}}{30 \times 10^3} = 0.0056$$



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه پ-۲-۵

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-01

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

به همین ترتیب مقدار K_r برای گزینه‌های بهسازی به عمق ۶ و ۱۲ متر نیز به ترتیب برابر ۰/۰۱۱۸ و ۰/۰۳۶۷ به دست می‌آید.

در نهایت مقادیر F_1 از طریق درونیابی از مقادیر موجود در جدول ۵-۲ مطابق زیر به دست می‌آید:

جدول پ-۲-۳ مقادیر K_r و F_1 برای انواع گزینه‌های پی گسترده به علاوه توده بهسازی

ضخامت توده بهسازی (m)	K_r	F_1
3	0.0056	0.35
6	0.0118	0.34
12	0.0367	0.33

(د) پی گسترده با ضخامت ۴۰ سانتی متر بر روی گروه شمع شامل ۲۴ شمع به طول ۵ متر، ۱۰ متر و ۲۰ متر

ابتدا مقدار K_r برای هر گزینه مطابق بند ۵-۴-۴ به دست آید:

$$K_r = \frac{E_b I_b + E_p I_p}{E_s B^3}$$

در این رابطه E_p مدول الاستیسیته معادل گروه شمع است که مطابق رابطه زیر به دست می‌آید:

$$E_p = a_s E_{pile} + (1 - a_s) E_s$$

شمع‌ها به قطر ۸۰ سانتی متر است و گروه شمع شامل ۲۴ عدد شمع در زیر پی گسترده است. مدول الاستیسیته شمع‌ها برابر ۲۰۰۰۰ مگاپاسکال ($E_{pile} = 20000 \text{ MPa}$) در نظر گرفته شد. همچنین نسبت مساحت مقاطع شمع به مساحت پی (a_s) مطابق زیر به دست می‌آید:

$$a_s = \frac{24 \times \pi \frac{0.8^2}{4}}{15 \times 10} = 0.080$$

در نتیجه مدول الاستیسیته معادل گروه شمع برابر است با:

$$E_p = 0.080 \times 20000 + (1 - 0.080) \times 30 = 1636.08$$

بنابراین مقدار K_r به دست خواهد آمد:



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه پ-۲-۶

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-01

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

$$K_r = \frac{E_b I_b + E_p I_p}{E_s B^3} = \frac{20000 \times \frac{1}{12} \times 1 \times 0.4^3 + (1636.08 \times \frac{1}{12} \times 1 \times 5^3) \times \frac{1}{5}}{30 \times 10^3} = 0.117$$

بدین ترتیب مقدار K_r برای گزینه‌های گروه شمع به عمق ۱۰ و ۲۰ متر نیز به ترتیب برابر ۰/۴۵۸ و ۱/۸۲۱ به دست می‌آید و در نهایت مقادیر F_1 از طریق درونیابی از مقادیر موجود در جدول ۵-۲ مطابق زیر به دست می‌آید:

جدول پ-۲-۴ مقادیر K_r و F_1 برای انواع گزینه‌های پی گسترده بر روی گروه شمع

طول شمع (m)	K_r	F_1
5	0.117	0.29
10	0.458	0.12
20	1.821	0.10

پ-۲-۲-۱-۲- تعیین ضریب تبدیل فرونشست (F_2)

مطابق صورت مثال نسبت نشست غیریکنواخت ناشی از فرونشست به فرونشست در منطقه با بررسی‌های میدانی برابر با $\frac{1}{10}$ در نظر گرفته می‌شود که این مقدار برابر ضریب F_2 است.

$$F_2 = 0.1$$

پ-۲-۲-۱-۳- نشست غیریکنواخت و تعیین خرابی

مطابق آنچه پیش‌تر بیان شد مقدار نشست غیریکنواخت برای هر گزینه با فرض آن که نشست غیریکنواخت ناشی از بارگذاری (Δ_s) صفر است، مطابق زیر به دست می‌آید:

$$\Delta = 0 + \Delta_{SUB} = SUB \times F_1 \times F_2$$

که به عنوان مثال برای گزینه پی گسترده به ضخامت ۴۰ سانتی‌متر به دست می‌آید که:

$$\Delta = \Delta_{SUB} = SUB \times F_1 \times F_2 = 240 \times 0.348 \times 0.1 = 8.36 \text{ cm}$$

این مقدار نشست غیریکنواخت مطابق جدول ۵-۳ از نظر درجه خرابی در دسته شدید قرار می‌گیرد. مقدار نشست

غیریکنواخت و درجه‌ی خرابی هر یک از گزینه‌ها تعیین شده و در جدول زیر آمده است:



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه پ-۲-۷

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-01

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

جدول پ-۲-۵ محاسبه نشست غیریکنواخت و تعیین درجه خرابی هر یک از گزینه‌ها

خرابی طبق بند ۴-۵-۵	نشست غیریکنواخت (cm)	F2	F1	Kr	نوع پی و بهسازی	احتمال و قوع	مقدار فرونشست
بسیار شدید	18.00	0.100	0.75	0	پی منفرد بدون تمهیدات خاص	0.5	240
شدید	8.36	0.100	0.348	0.004	پی گسترده با ضخامت ۰/۴ متر	0.5	240
متوسط	7.91	0.100	0.330	0.041	پی گسترده با ضخامت ۰/۹ متر	0.5	240
متوسط	6.15	0.100	0.256	0.188	پی گسترده با ضخامت ۱/۵ متر	0.5	240
شدید	8.33	0.100	0.347	0.010	پی گسترده به علاوه توده بهسازی به ضخامت ۳ متر	0.5	240
شدید	8.26	0.100	0.344	0.053	پی گسترده به علاوه توده بهسازی به ضخامت ۶ متر	0.5	240
متوسط	7.96	0.100	0.332	0.401	پی گسترده به علاوه توده بهسازی به ضخامت ۱۲ متر	0.5	240
متوسط	6.99	0.100	0.291	0.572	پی گسترده بر روی گروه شمع به طول ۵ متر	0.5	240
قابل چشم پوشی	2.90	0.100	0.121	4.548	پی گسترده بر روی گروه شمع به طول ۱۰ متر	0.5	240
قابل چشم پوشی	2.40	0.100	0.100	36.361	پی گسترده بر روی گروه شمع به طول ۲۰ متر	0.5	240

پ-۲-۲-۲ محاسبه و تعیین هزینه ریسک

خسارت یا تبعات مالی ناشی از خرابی جهت محاسبه هزینه ریسک مطابق بندهای ۶-۷-۲ تا ۶-۷-۲-۶ و بر اساس جداول ۱-۶ الی ۳-۶ ضابطه و با توجه به درجه خرابی تعیین شده در بخش قبل برای هر گزینه محاسبه می‌گردد. خسارت ناشی از فرونشست شامل تعمیر ساختمان‌ها و خسارت جابجایی و نقل مکان ساکنین است.

هزینه ریسک برای گزینه‌ی پی گسترده با ضخامت ۴۰ سانتی‌متر به جزئیات مطابق زیر تشریح می‌گردد و برای سایر گزینه‌ها به اختصار در جدول آمده است:

جهت تعیین خسارت تعمیر ساختمان مطابق جدول ۱-۶ لازم است که ارزش هزینه احداث کل ساختمان و درصد هزینه تعمیرات نسبت به ارزش کل ساختمان تعیین شود. ارزش هزینه احداث ساختمان به ازای هر متر مربع از زیربنا برابر ۱۵



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه پ-۲-۸

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-01

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

میلیون تومان برآورد شد. در نتیجه با توجه به مساحت زیربنا که برابر ۳۰۰ مترمربع است، ارزش هزینه احداث کل ساختمان برابر ۴۵۰۰ میلیون تومان برآورد می‌شود. درصد هزینه تعمیرات نسبت به ارزش کل ساختمان نیز با توجه به جدول ۶-۲ تعیین می‌شود و برای درجه خرابی شدید در ساختمان مسکونی چند خانوادگی برای گزینه پی گسترده با ضخامت ۴۰ سانتی‌متر برابر ۲۸/۲ درصد تعیین می‌شود. بنابراین هزینه خسارت تعمیر ساختمان برای این گزینه برابر است با:

هزینه خسارت تعمیر ساختمان

درصد هزینه تعمیرات نسبت به ارزش کل ساختمان $\times$ ارزش هزینه احداث کل ساختمان =

$$= 4500 \text{ (میلیون تومان)} \times 28.2\% = 1269 \text{ (میلیون تومان)}$$

هزینه خسارت جابجایی و نقل مکان ساکنین نیز تابع هزینه اجاره ساختمان جدید و مدت زمان تعمیر ساختمان آسیب‌دیده است. هزینه اجاره ساختمان جدید ماهانه ۷۰ میلیون برآورد شد و مدت زمان تعمیر ساختمان آسیب‌دیده طبق جدول ۶-۳، با توجه به درجه خرابی شدید در ساختمان مسکونی چند خانوادگی معادل ۱۶ ماه تعیین گردید. بنابراین هزینه خسارت جابجایی و نقل مکان ساکنین برای این گزینه برابر است با:

مدت زمان تعمیر ساختمان آسیب‌دیده $\times$ هزینه اجاره ساختمان جدید = هزینه خسارت جابجایی و نقل مکان ساکنین

$$= 70 \text{ (میلیون تومان)} \times 16 \text{ (ماه)} = 1120 \text{ (میلیون تومان)}$$

در نتیجه هزینه ریسک برابر است با مجموع هزینه خسارت تعمیر ساختمان و هزینه خسارت جابجایی و نقل مکان

ساکنین که برای گزینه‌ی پی گسترده با ضخامت ۴۰ سانتی‌متر مطابق زیر حاصل می‌شود:

هزینه خسارت جابجایی و نقل مکان ساکنین + هزینه خسارت تعمیر ساختمان = هزینه ریسک

$$= 2389 \text{ (میلیون تومان)} = 1120 \text{ (میلیون تومان)} + 1269 \text{ (میلیون تومان)}$$



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه پ-۲-۹

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-01

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

به طور مشابه هزینه ریسک گزینه‌های مختلف محاسبه می‌گردد و مطابق جدول زیر است:

جدول پ-۲-۶ محاسبه هزینه ریسک هر یک از گزینه‌ها

مقدار فرونشست	احتمال وقوع	نوع پی و بهسازی	نشست غیریکنواخت (cm)	خرابی طبق بند ۵-۴-۵	خسارت تعمیر		خسارت جابجایی و نقل مکان ساکنین		هزینه ریسک (میلیون تومان)
					خسارت تعمیر ساختمان (درصد از ارزش هزینه احداث کل ساختمان)*	خسارت تعمیر ساختمان (میلیون تومان)	مدت زمان تعمیر ساختمان (ماه)	خسارت جابجایی و نقل مکان ساکنین (میلیون تومان)**	
240	0.5	پی منفرد بدون تمهیدات خاص	18.00	بسیار شدید	56.30	2533.50	32	2240.00	4773.50
240	0.5	پی گسترده با ضخامت ۰/۴ متر	8.36	شدید	28.20	1269.00	16	1120.00	2389.00
240	0.5	پی گسترده با ضخامت ۰/۹ متر	7.91	متوسط	5.70	256.50	4	280.00	536.50
240	0.5	پی گسترده با ضخامت ۱/۵ متر	6.15	متوسط	5.70	256.50	4	280.00	536.50
240	0.5	پی گسترده به علاوه توده بهسازی به ضخامت ۳ متر	8.33	شدید	28.20	1269.00	16	1120.00	2389.00
240	0.5	پی گسترده به علاوه توده بهسازی به ضخامت ۶ متر	8.26	شدید	28.20	1269.00	16	1120.00	2389.00
240	0.5	پی گسترده به علاوه توده بهسازی به ضخامت ۱۲ متر	7.96	متوسط	5.70	256.50	4	280.00	536.50
240	0.5	پی گسترده بر روی گروه شمع به طول ۵ متر	6.99	متوسط	5.70	256.50	4	280.00	536.50
240	0.5	پی گسترده بر روی گروه شمع به طول ۱۰ متر	2.90	قابل چشم پوشی	0.00	0.00	0	0.00	0.00
240	0.5	پی گسترده بر روی گروه شمع به طول ۲۰ متر	2.40	قابل چشم پوشی	0.00	0.00	0	0.00	0.00

* ارزش هزینه احداث ساختمان به ازای هر متر مربع از زیربنا برابر ۱۵ میلیون تومان در نظر گرفته شده است.

** هزینه اجاره ساختمان جدید برابر ماهانه ۷۰ میلیون فرض شده است.

پ-۲-۲- محاسبه هزینه چرخه عمر گزینه‌های مختلف طراحی

مطابق بخش ۶-۲ این ضابطه، جهت انتخاب گزینه برتر طراحی از روش هزینه چرخه عمر استفاده می‌شود که شامل هزینه اولیه پروژه و هزینه ریسک می‌شود. هزینه ریسک در بخش قبل محاسبه شد و هزینه اولیه هر گزینه طبق روش‌های متداول متره و برآورد محاسبه گردید. در جدول زیر هزینه ریسک، هزینه اولیه پروژه و هزینه چرخه عمر مربوط به هر گزینه آمده است. گزینه برتر با کمترین هزینه چرخه عمر تعیین می‌گردد. در این مثال پی گسترده با ضخامت ۹۰ سانتی‌متر گزینه منتخب طراحی است.



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه پ-۲-۱۰

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-01

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

جدول پ-۲-۷ هزینه ریسک، هزینه اولیه پروژه و هزینه چرخه عمر مربوط به هر یک از گزینه‌ها

هزینه چرخه عمر (میلیون تومان)	هزینه اولیه پروژه (میلیون تومان)	هزینه ریسک (میلیون تومان)	خرابی طبق بند ۵-۴-۵	نشست غیریکتواخت (cm)	نوع پی و بهسازی	احتمال و قوع	مقدار فرونشست
9273.50	4500.00	4773.50	بسیار شدید	18.00	پی منفرد بدون تمهیدات خاص	0.5	240
7249.00	4860.00	2389.00	شدید	8.36	پی گسترده با ضخامت ۰/۴ متر	0.5	240
5846.50	5310.00	536.50	متوسط	7.91	پی گسترده با ضخامت ۰/۹ متر	0.5	240
6386.50	5850.00	536.50	متوسط	6.15	پی گسترده با ضخامت ۱/۵ متر	0.5	240
7530.25	5141.25	2389.00	شدید	8.33	پی گسترده به علاوه توده بهسازی به ضخامت ۳ متر	0.5	240
7811.50	5422.50	2389.00	شدید	8.26	پی گسترده به علاوه توده بهسازی به ضخامت ۶ متر	0.5	240
6521.50	5985.00	536.50	متوسط	7.96	پی گسترده به علاوه توده بهسازی به ضخامت ۱۲ متر	0.5	240
6956.50	6420.00	536.50	متوسط	6.99	پی گسترده بر روی گروه شمع به طول ۵ متر	0.5	240
7980.00	7980.00	0.00	قابل چشم پوشی	2.90	پی گسترده بر روی گروه شمع به طول ۱۰ متر	0.5	240
11100.00	11100.00	0.00	قابل چشم پوشی	2.40	پی گسترده بر روی گروه شمع به طول ۲۰ متر	0.5	240



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه پ-۳-۱

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-01

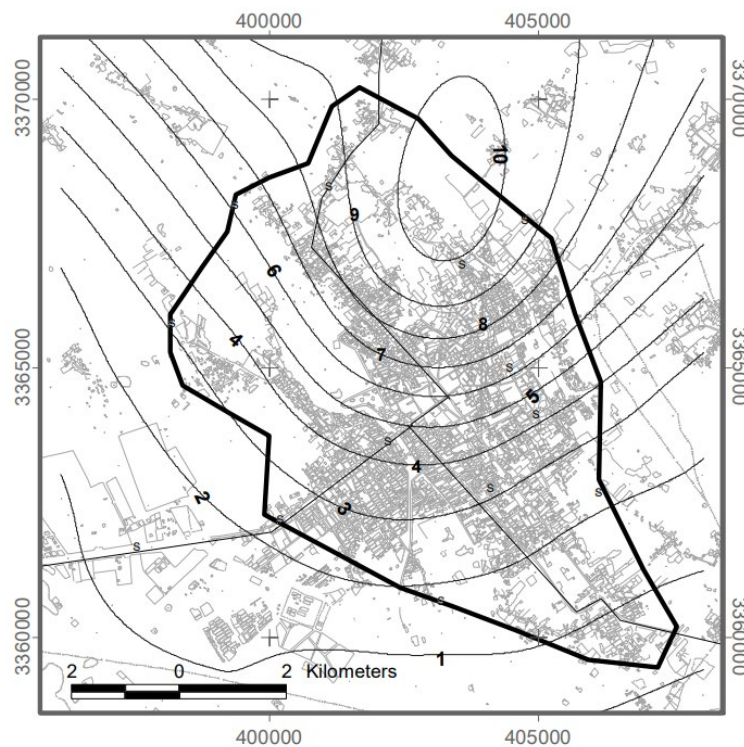
گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

پیوست-۳: مثالی از محاسبه‌ی کرنش افقی در یک شهر

خطوط هم میزان فرونشست برای یک سال برای یک شهر به عنوان مثال مطابق شکل پ-۳-۱ معلوم می‌باشد. با فرض حداکثر فرونشست ۹۰ سانتی‌متر و ضخامت آبرفت ثابت و برابر ۲۲۰ متر کرنش افقی محاسبه شود.



شکل پ-۳-۱ خطوط هم میزان فرونشست یک شهر برای یک سال به عنوان مثال (میزان فرونشست بر حسب سانتی‌متر)

حل مثال:

برای بدست آوردن کرنش افقی طبق بخش ۵-۶ و از روش اول یعنی تخمین کرنش کششی بر اساس گرادیان فرونشست مطابق بند ۵-۶-۸ عمل می‌شود.

پ-۳-۱- تعیین فرونشست شهر مورد نظر

برای بدست آوردن کرنش افقی لازم است ابتدا مقدار فرونشست شهر مثال برای مقطع مشخصی تعیین گردد. مقدار فرونشست شهر مثال در شکل پ-۳-۱ ارائه شده است که بر اساس آن مقدار فرونشست برای نقاط مختلف مقطع A-K



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه پ-۳-۲

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

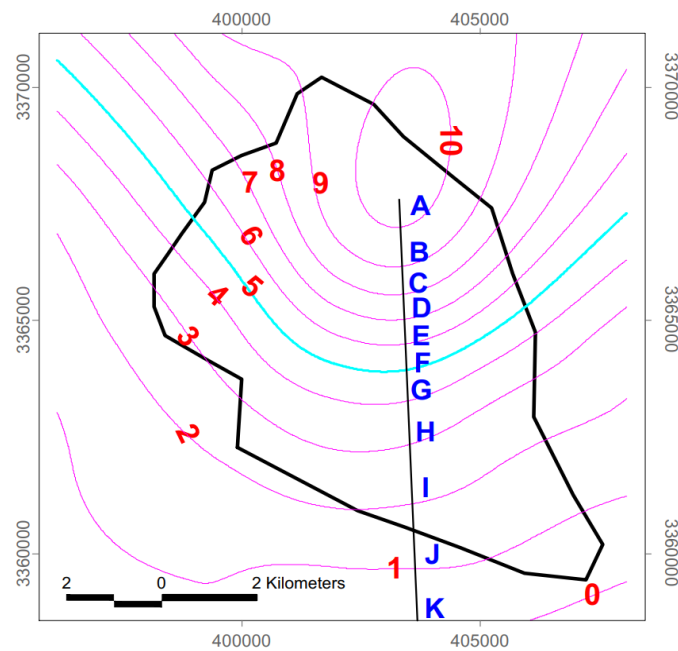
BHRC-02-104-00-01

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه

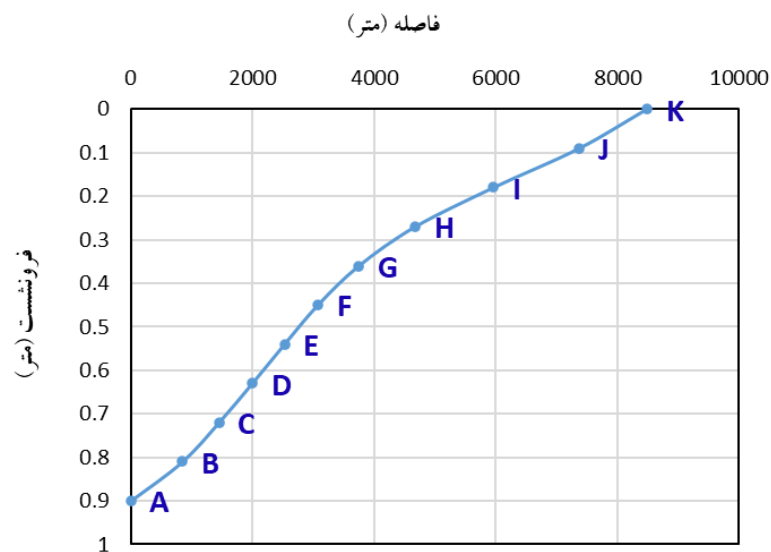


وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

شکل پ-۳-۲ محاسبه و در شکل پ-۳-۳ ارائه شده است. لازم به ذکر است با توجه به اینکه مقدار فرونشست ارائه شده در شکل پ-۳-۱ برای یک سال می‌باشد و مقدار فرونشست کل رخ داده در این شکل بر اساس صورت مسئله برابر ۹۰ سانتی‌متر بوده، اعداد قرائت شده از شکل پ-۳-۱ در مقدار $9 = \frac{90}{10}$ ضرب شده‌اند.



شکل پ-۳-۲ مقطع تعیین شده برای بدست آوردن منحنی فرونشست



شکل پ-۳-۳ منحنی فرونشست شهر مثال برای مقطع انتخابی



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه پ-۳-۳

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-01

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



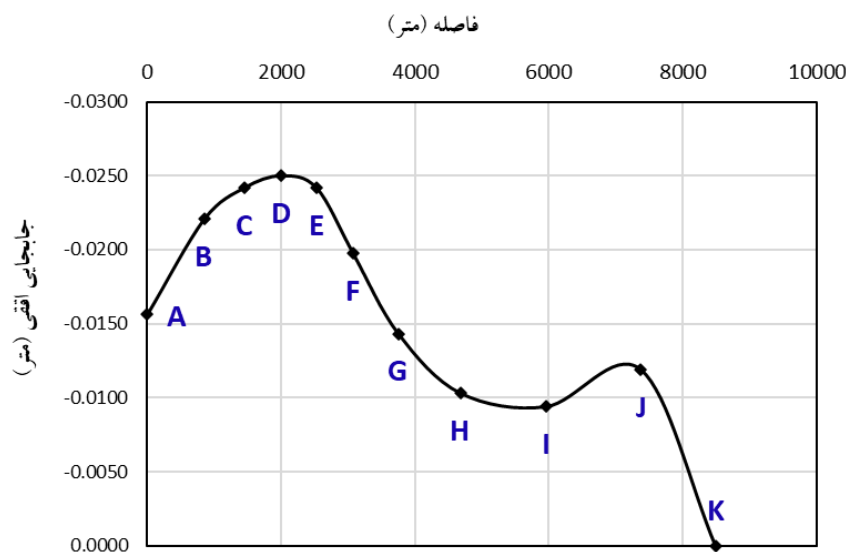
وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

پ-۳-۲- محاسبه تغییر مکان افقی

تغییر مکان افقی زمین δh مطابق بند ۵-۶-۸-۱ محاسبه می‌شود. ضریب k برابر $\frac{2}{3}$ و مقدار H نیز مطابق این مثال برابر ۲۲۰ متر است و گرادیان فرونشست θ از منحنی فرونشست شکل پ-۳-۳ بدست می‌آید. مقادیر محاسبه شده برای گرادیان فرونشست و تغییر مکان افقی زمین در جدول پ-۳-۱ آمده است. شکل پ-۳-۴ منحنی تغییر مکان افقی زمین برای مقطع انتخابی آورده شده است.

جدول پ-۳-۱ مقادیر محاسبه شده گرادیان فرونشست و تغییر مکان افقی زمین برای مقطع انتخابی

نام نقاط	فرونشست سالانه (سانتی متر بر سال)	فاصله از نقطه مبدا (متر)	فرونشست تجمعی (متر)	گرادیان فرونشست (-)	جابجایی افقی زمین (متر)
A	10	0	0.9	-0.000106	-0.0156
B	9	849.16	0.81	-0.000150	-0.0221
C	8	1450.175	0.72	-0.000164	-0.0242
D	7	1998.295	0.63	-0.000170	-0.0250
E	6	2528.665	0.54	-0.000164	-0.0242
F	5	3077.14	0.45	-0.000134	-0.0197
G	4	3749.51	0.36	-0.000097	-0.0143
H	3	4675.35	0.27	-0.000070	-0.0103
I	2	5961.87	0.18	-0.000064	-0.0094
J	1	7374.06	0.09	-0.000081	-0.0119
K	0	8488.76	0	0	0



شکل پ-۳-۴ منحنی تغییر مکان افقی زمین برای مقطع انتخابی



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه پ-۳-۴

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-01

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

در این مثال با توجه به عدم دسترسی به تراز سنگ بستر و توپوگرافی منطقه، از اثر تغییرات ضخامت آبرفت صرف نظر شد (ضخامت آبرفت ثابت در نظر گرفته شد). البته تراز سنگ بستر در توپوگرافی تأثیری بر نتایج رابطه مربوطه ندارند و فقط در تعیین ضخامت آبرفت به کار می رود. در صورت وجود اطلاعات دقیق سنگ بستر و توپوگرافی، امکان استفاده از آن‌ها در تعیین ضخامت آبرفت در رابطه $\delta h = kH\theta$ در هر نقطه وجود خواهد داشت.

فاصله از مبدا برای نقاط مختلف در امتداد خط مورد بررسی (A-K) در راستای افقی می باشد. به بیان دیگر فاصله در راستای شیب زمین مورد استفاده قرار نمی گیرد. انتخاب امتداد مورد بررسی بر عهده طراح بوده و این محاسبات می تواند در امتدادهای مختلف صورت گیرد. امتدادی که بیشترین تغییرات فرونشست در آن رخ دهد بحرانی ترین امتداد خواهد بود.

پ-۳-۳- محاسبه کرنش افقی

کرنش افقی (کششی) ناشی از فرونشست با مشتق گیری از تغییر مکان افقی تعیین شده در بخش قبل به دست می آید. در جدول پ-۳-۲ مقادیر کرنش افقی محاسبه شده برای مقطع انتخابی آورده شده است. همچنین منحنی کرنش افقی مطابق شکل پ-۳-۵ می باشد.

جدول پ-۳-۲ مقادیر محاسبه شده کرنش افقی (کششی) برای مقطع انتخابی

نام نقاط	فرونشست سالانه (سانتی متر بر سال)	فاصله از نقطه مبدا (متر)	فرونشست تجمعی (متر)	گرادیان فرونشست (-)	جابجایی افقی زمین (متر)	کرنش کششی (درصد)
A	10	0	0.9	-0.000106	-0.0156	-0.00076
B	9	849.16	0.81	-0.000150	-0.0221	-0.00035
C	8	1450.175	0.72	-0.000164	-0.0242	-0.00015
D	7	1998.295	0.63	-0.000170	-0.0250	0.00016
E	6	2528.665	0.54	-0.000164	-0.0242	0.00081
F	5	3077.14	0.45	-0.000134	-0.0197	0.00080
G	4	3749.51	0.36	-0.000097	-0.0143	0.00043
H	3	4675.35	0.27	-0.000070	-0.0103	0.00007
I	2	5961.87	0.18	-0.000064	-0.0094	-0.00018
J	1	7374.06	0.09	-0.000081	-0.0119	0.00107
K	0	8488.76	0	0	0	0



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه پ-۳-۵

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

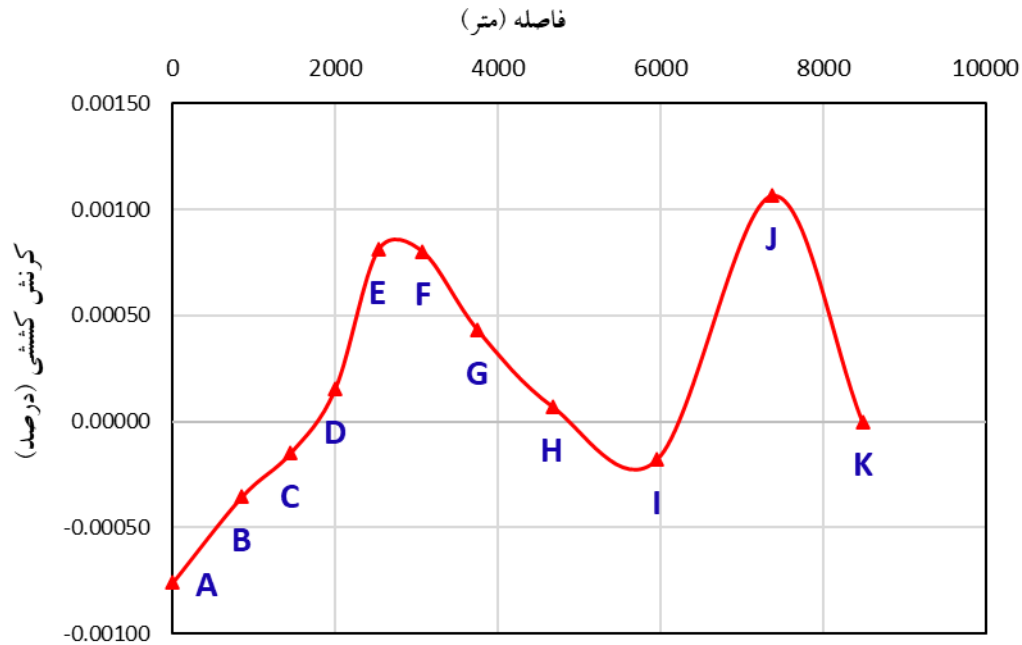
شماره مدرک

BHRC-02-104-00-01

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن



شکل پ-۳-۵ منحنی کرنش افقی برای مقطع انتخاب

کرنش ذکر شده در این مثال به صورت عددی و با استفاده از اختلاف تغییر مکان افقی دو نقطه متوالی بدست آمده است. به زبان ساده رابطه $\delta h = kH\theta$ برای نقاط مختلف به کار رفته و اختلاف تغییر مکان بین هر دو نقطه مجاور به دست آمده است. مقدار کرنش بالای نقطه J به دلیل اختلاف تغییر مکان افقی در این نقطه و نقطه بعد آن است. همچنین مقدار پایین کرنش نقطه D به دلیل اختلاف کم تغییر مکان افقی در این نقطه با نقطه بعد آن است.

منحنی نشان داده شده در شکل پ-۳-۵ یک برازش تقریبی نرم شده توسط نرم افزار اکسل است و نمی‌توان به صورت کاملاً ریاضی با آن برخورد کرد. به همین دلیل محاسبه مشتق به صورت عددی برای نقاط متوالی صورت گرفته است. شاید بهتر بود که به جای برازش نرم شده توسط اکسل از خطوط شکسته برای اتصال نقاط استفاده می‌شد، اما حتی در این حالت نیز ایراد ریاضی برقرار بود که شیب منحنی در هر نقطه دقیقاً معادل کرنش نمی‌باشد. بنابراین به همین منحنی برای نشان دادن روند تقریبی تغییرات بسنده شد.



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه پ-۴-۱

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-01

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

پیوست-۴: نرم افزارهای مدلسازی فرونشست

در این پیوست نکات کلی درمورد چند نرم‌افزار رایج تجاری تشریح می‌شود. مدلسازی عددی می‌تواند بر اساس نرم‌افزارهای نام برده شده در اینجا یا سایر نرم‌افزارها انجام گیرد.

پ ۴-۱ نرم افزار پلکسیس (PLAXIS)

- پلکسیس برای پیشبینی فرونشست با رفتار همبسته (کوپل شده) خاک و سیال منفذی (آب) مورد استفاده قرار گیرد. این تئوری، اساس تحلیل تحکیم در خاک‌های اشباع می‌باشد. تعریف چندین سفره آب زیرزمینی با خواص هیدرولیکی متفاوت در صورت نیاز در این نرم‌افزار انجام گیرد.
- پلکسیس برای مدلسازی خاک‌های غیراشباع نیز می‌تواند به کار رود. البته در این ضابطه پیشنهاد شده است که مدلسازی خاک به صورت غیراشباع در کارهای حرفه‌ای ضروری نیست.
- با استفاده از پلکسیس می‌توان راهکارهای مختلف کنترل فرونشست را ارزیابی کرده و بهترین گزینه را مطابق توضیحات بخش‌های آتی انتخاب نمود.

پ ۴-۲ نرم افزار میداس (MIDAS)

- میداس برای مدلسازی دقیق فرآیند تحکیم ترزاقی در محیط‌های متخلخل به کار رود. همچنین، این نرم‌افزار قابلیت مدلسازی خاک‌های غیراشباع را نیز دارد که در مسائل فرونشست می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.
- در نرم‌افزار میداس امکان مدلسازی انواع مختلف آبخوان‌های از جمله آبخوانهای آبرفتی، کارستی و شکاف‌دار فراهم می‌باشد. با تعریف خواص هیدرولیکی و هندسی آبخوان‌ها، می‌توان تأثیر برداشت آب از هر یک از این آبخوان‌ها را بر روی فرونشست کلی زمین به صورت جداگانه یا ترکیبی بررسی نمود.

پ ۴-۳ نرم افزار مادفلو (MODFLOW)

- نرم‌افزار مادفلو برای مدلسازی عددی جریان آب زیرزمینی و با شبیه‌سازی دقیق رفتار آبخوان‌ها و پیش‌بینی تغییرات سطح آب زیرزمینی مدلسازی فرونشست به کار رود.



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه پ-۴-۲

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-01

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

- مادفلو برای شبیه سازی جریان آب زیرزمینی در یک شبکه سه بعدی در آبخوان به کار رود.
- این نرم افزار برای شبیه سازی جریان در حالت اشباع و غیر اشباع قابل قبول است.
- پ ۴-۴ نرم افزار کامسول (COMSOL)
- کامسول برای مدل سازی فرونشست ناشی از برداشت آب زیرزمینی می تواند به کار رود.
- با استفاده از کامسول می توان تغییر شکل های ناشی از نشست و توزیع تنش ها در خاک را از طریق تحلیل همبسته (کوپل شده) تنش- کرنش- جریان سیال در خاک را مدل سازی نمود.
- جدول این بخش برای انتخاب نرم افزار مناسب برای تحلیل فرونشست در یک پروژه مورد توجه قرار گیرد. در این جدول روش های مختلف پیش بینی فرونشست، داده های مورد نیاز آنها، محدوده کاربرد و نرم افزارهای قابل استفاده برای هر یک ذکر شده است که می توان با توجه به داده های دسترس و اهمیت پروژه ها از هر کدام از آنها بهره برد.



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه پ-۴-۳

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-01

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

جدول پ-۴-۱ روش های مختلف پیش بینی فرونشست، محدوده کاربرد و نرم افزارهای قابل استفاده

ردیف	روش	داده های مورد نیاز	محدوده کاربرد	نرم افزارهای قابل استفاده	توصیه های فنی
۱	روش های تجربی	مقادیر نشست در طول زمان	نواحی کوچک	اکسل	توصیه می شود
۲	روش های نیمه نظری	مدل مبتنی بر تغییر سطح آب در آبخوان	نواحی کوچک	اکسل	توصیه می شود
		مدل مبتنی بر دبی استخراج سیال	نواحی کوچک	اکسل	توصیه می شود
۳	روش های نظری	تحکیم خاک اشباع ترزاقی	مقدار تخلخل، ضریب تراکم، پارامترهای مقاومتی خاک	پلکسیس، میداس، آباکوس	توصیه می شود
		نشست خاک غیر اشباع	مقدار تخلخل، ساکشن، ضریب تراکم و Ct پارامترهای مقاومتی خاک	پلکسیس	کارهای تحقیقاتی
		مدل های آب زیرزمینی	مقدار تخلخل، ضریب تراکم، پارامترهای مقاومتی خاک، دبی برداشت اب	مادفلو	مدیریت آبخوان
		محیط متخلخل دوفازی	مقدار تخلخل، مدول تراکم نسبت به اسکلت خاک، مدول تراکم نسبت به آب	آباکوس، کامسول	کارهای تحقیقاتی



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه پ-۵-۱

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-01

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

پیوست-۵: مراجع

- تهیه نقشه‌های فرونشست توسط تصاویر ماهواره‌ای راداری (۱۴۰۴)، سازمان نقشه‌برداری کشور، سازمان برنامه و بودجه کشور.
- فاخر، ع.، قلندرزاده، ع.، عسکریان، س.، رضائزاد ملک‌شاه، ر. (۱۴۰۱). مراحل طراحی ساختمان‌های جدید یا مقاوم‌سازی در مناطق دارای فرونشست. سیزدهمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
- نشریه شماره ۱-۱۱۹ دستورالعمل‌های همسان نقشه‌برداری (۱۳۸۶)، جلد اول: ژئودزی و ترازیابی، چاپ اول
- ACI 336.2R. (2002), Analysis and design of combined footings and mats.
- Arabaninezhad, A., & Fakher, A. (2021). A practical method for rapid assessment of reliability in deep excavation projects. Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering, 45(1), 335-357.
- ASTM International. (2011). Standard Guide for Selecting Surface Geophysical Methods. ASTM International.
- Baecher, G. B., & Christian, J. T. (2005). Reliability and statistics in geotechnical engineering. John Wiley & Sons.
- Boscardin, M. D., & Cording, E. J. (1989). Building response to excavation-induced settlement. Journal of Geotechnical engineering, 115(1), 1-21.
- Day, R. (2009). Foundation engineering handbook. McGrawHill.
- Jachens, R. C., & Holzer, T. L. (1982). Differential compaction mechanism for earth fissures near Casa Grande, Arizona. Geological Society of America Bulletin, 93(10), 998-1012.
- Land Subsidence Task Committee. (2022, January). Investigation of land subsidence due to fluid withdrawal. Reston, VA: American Society of Civil Engineers.
- Navy, U. S. (1982). Soil mechanics—design manual 7.1. Department of the Navy, Naval Facilities Engineering Command, US Government Printing Office, Washington, DC.
- Poland, J. F. (1984). Guidebook to studies of land subsidence due to ground-water withdrawal.
- Skempton, A. W., & Bjerrum, L. (1957). A contribution to the settlement analysis of foundations on clay. Geotechnique, 7(4), 168-178.



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

صفحه پ-۵-۲

تدوین ضوابط ساخت ساختمان‌ها در مناطق دارای فرونشست زمین ایران و مطالعات موردی
فرونشست در اراضی سازمان ملی زمین و مسکن

شماره مدرک

BHRC-02-104-00-01

گزارش مبنای طراحی اولیه و
روش احداث پی و سازه



وزارت راه و شهرسازی
سازمان ملی زمین و مسکن

- Terzaghi, K., Peck, R. B. (1967). Soil mechanics in engineering practice. John wiley & sons.
- Wahls, H. E. (1981). Tolerable settlement of buildings. Journal of the Geotechnical Engineering Division, 107(11), 1489-1504.
- Zhang, J., Xiao, T., Ji, J., Zeng, P., & Cao, Z. (2023). Geotechnical reliability analysis. Singapore: Springer.