رویکردهای نوین در مهندسی عمران، دوره هشتم، شماره سوم ۱۴۰۳، صفحه: ۱-۹

بررسی تأثیر پارامترهای زهکشی سد خاکی پارسیان بر پایداری شیروانی‌های سد

فاطمه احمدی [۱]، عرفان نادری [۲*]، محسن غلامی [۳]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه عمران، واحد نورآباد ممسنی، دانشگاه آزاد اسلامی، نورآباد ممسنی

[۲*] استادیار گروه عمران، واحد نورآباد ممسنی، دانشگاه آزاد اسلامی، نورآباد ممسنی

[۳] استادیار گروه عمران، واحد نورآباد ممسنی، دانشگاه آزاد اسلامی، نورآباد ممسنی

(erfan.naderi@iau.ac.ir)

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۴/۰۵، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۷/۱۱)

چکیده

با توجه به این‌که طراحی و اجرای سدهای خاکی روزبه‌روز در کشور در حال افزایش است و از نیاز اساسی کشور بشمار می‌رود و هرگونه ناپایداری در سدهای خاکی علاوه بر این‌که جز سازه‌های زیر بنایی کشور است باعث خسارات زیادی به سازها احداث‌شده در مسیر جریان آب پشت سد می‌گردد بنابراین کنترل پایداری این نوع سدها از اهمیت بالایی برخوردار است در این پژوهش به بررسی تأثیر پارامترهای زهکشی سد خاکی پارسیان بر پایداری شیروانی‌های سد با استفاده از نرم‌افزار اجزای محدود Geostudio 2D 2020 موردبررسی قرارگرفته است. در این پژوهش ابتدا صحت سنجی در نرم‌افزار Geostudio 2D 2020 انجام‌شده است و در ادامه به بررسی تأثیر وجود زهکش افقی، زهکش قائم، زهکش ترکیبی، تأثیر ارتفاع آب پشت سد، طول زهکش افقی، قائم و ترکیبی، تغییر نسبت طول، ارتفاع زهکش افقی، قائم و ترکیبی، بر پایداری شیروانی سد پرداخته‌شده است که با توجه به بررسی‌های انجام‌شده نتایج نشان می‌دهد استفاده از زهکش افقی، قائم و ترکیبی باعث افزایش ضریب پایداری شیروانی سد شده است و به ترتیب زهکش ترکیبی، قائم و افقی بیشترین تأثیر بر ضریب پایداری شیروانی سد داشته است و به‌طور میانگین 24.87 درصد وجود زهکش بر ضریب پایداری شیروانی سد مؤثر بوده است.

کلمات کلیدی

دیوار برشی، تحلیل دینامیکی، اجزای محدود، مصرف میلگرد، نشست.

Investigating the Effect of Drainage Parameters of Parsian Earth Dam on Stability of Dam Slopes

Fatemeh Ahmadi [1], Erfan Naderi [2*], Mohsen Gholami [3]

[1]Ms.c student, Department of Civil Engineering, Noorabad Mamsani Branch, Islamic Azad University, Noorabad Mamsani

[2] Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Noorabad Mamseni Branch, Islamic Azad University, Noorabad Mamseni*

[3] Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Noorabad Mamseni Branch, Islamic Azad University, Noorabad Mamseni

(erfan.naderi@iau.ac.ir)

(Date of received: 25/06/2024, Date of accepted: 02/10/2024)

ABSTRACT

Due to the fact that the design and implementation of earthen dams is increasing day by day in the country and it is considered one of the basic needs of the country, and any instability in earthen dams, in addition to being part of the country's infrastructure, causes a lot of damage. The structures built in the water flow path are behind the dam, so the stability control of these types of dams is of great importance in this research.Investigating The Effect of Drainage Parameters of Parsian Earth Dam on Stability of Dam SlopesIt has been investigated by using Geostudio2D 2020 finite element software. In this research, firstly, accuracy assessment has been done Geostudio 2D 2020 software, and then the effect of horizontal drain, vertical drain, combined drain, the effect of water height behind the dam, drain length has been investigated. Horizontal, vertical and combined, changing the ratio of length and height of horizontal, vertical and combined drains, According to the investigations, the results show that the use of horizontal, vertical and combined drains has increased the stability coefficient of the dam roof, and combined, vertical and horizontal drains have had the greatest impact on the stability coefficient of the dam roof, respectively. The effect of the existence of horizontal, vertical and combined drains on the stability of the studied dam's top. The results show that the use of the studied drain has an average effect of 24.87% on the stability of the dam's top.

Keywords:

Drainage of Earth Dam, Parsian Earth Dam, Stability of Dam Slopes.

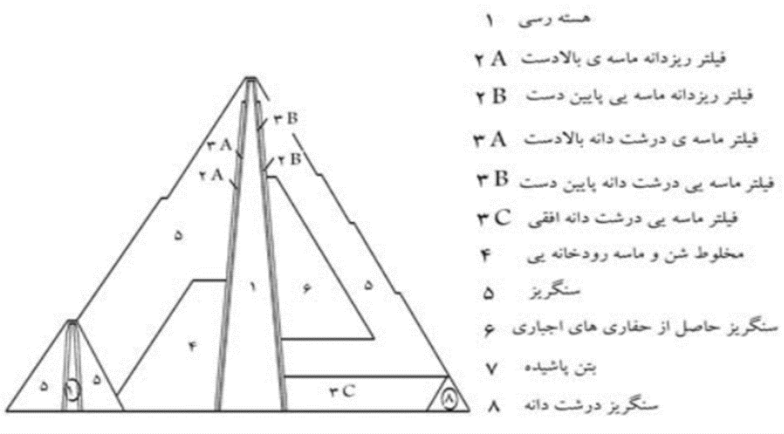
۱- مقدمه

سدها یکی از سازه‌های مهم در سیستم‌های انتقال و منابع آب می‌باشند. این سازه‌ها از زمانه‌ای قدیم بدون دستیابی به اطلاعات کامل هیدرولوژیکی، هیدرولیکی، هیدرو مکانیکی و ... ساخته‌شده‌اند و پایداری سدهای از اهمیت بالایی برخوردار است و یکی از سیستم طراحی سد که در کشور زیاد مورداستفاده قرارگرفته است استفاده از سدهای خاکی است که پایداری آن‌ها در زمان بهره‌برداری وابستگی زیادی به نوع استه سد و زهکش‌های طراحی‌شده سد خاکی دارد، در این میان سیستم‌های زهکشی در بدنه و پی سدهای خاکی، تمهیداتی استند که برای جمع‌آوری و هدایت آب‌های نشت یافته به نواحی پایین‌دست سد طراحی و به اجرا درمی‌آیند؛ و از سوی دیگر عمده‌ترین عامل شکست سدهای خاکی، تخریب هیدرولیکی است و از عوامل بروز این پدیده، تخلیهٔ سریع است که بی‌توجهی به آن باعث لغزش شیب و ناپایداری شیب بالادست و سرانجام شکست سد می‌شود با توجه به اهمیت موضوع در این پژوهش به بررسی تأثیر پارامترهای زهکشی سد خاکی بر پایداری شیروانی‌های سد با بررسی مطالعه موردی سد خاکی پارسیان واقع در نورآباد ممسنی است که از نوع سد سنگ‌ریزه‌ای با استه رسی، موردبررسی قرارگرفته شده است، در این راستای به بررسی تأثیر زهکش افقی، زهکش قائم، طول زهکش، ارتفاع زهکش، مصالح زهکش، فاصله زهکش افقی و قائم از پنجه سد با استفاده از نرم‌افزار اجزای محدود Geostudio 2D 2020 پرداخته شده است تا بتوانیم بهینه‌ترین حالت طراحی در راستای استفاده از زهکش‌های افقی و قائم ارائه داده شود. در این زمینه پژوهش‌هایی صورت گرفته است که در ادامه به بررسی پژوهش‌های صورت گرفته در این زمینه پرداخته‌شده است. قهرمان زاده و همکاران در سال ۱۴۰۰ با بررسی و ارزیابی تأثیر موقعیت و طول پرده آب‌بند و زهکش افقی در میزان تراوش آب از سد خاکی ستارخان نشان داد افزایش طول پرده آب‌بند در کاهش میزان تراوش و همچنین کاهش میزان فشار بالابرنده و گرادیان خروجی جریان است [۱]. امیری و همکاران در سال ۱۴۰۰ با ارزیابی تأثیر اثر هندسه زهکش بر رفتار سدهای خاکی همگن نشان داد، با افزایش زاویه زهکش حداکثر میزان فشار آب حفره‌ای و همچنین نشست افزایش پیدا می‌کند. [2]. حسن زادگان و سلماسی در سال ۱۳۹۸ با بررسی و مقایسه تأثیر افزایش طول، قطر و تعداد کارگذاری زهکش‌های افقی برافزایش ضریب اطمینان پایداری شیب سد خاکی نتایج نشان داد در حالت نشت پایدار با افزایش طول ضریب اطمینان پایداری افزایش می‌یابد [3]. وی‌ات و همکاران در سال ۲۰۲۴ با بررسی تأثیر زهکش بر ضریب پایداری شیروانی سد خاکی نتایج نشان داده است با افزایش ارتفاع آب پشت سد ضریب پایداری کاهش و بافاصله زهکش از پنجه سد خاکی تا نسبت فاصله به عرض سد خاکی برابر با ۰,۷ ضریب اطمینان با افزایش و بعد کاهش داشته است [4]. رافی و همکاران در سال ۲۰۲۱ با بررسی تأثیر زهکش در سدهای خاکی به‌صورت آزمایشگاهی نتایج نشان می‌دهد با افزایش نسبت طول زهکش به ارتفاع سد مقدار خط تراوش آب در بدنه سد خاکی به ارتفاع سد خاکی در حال افزایش است و ضریب پایداری سد خاکی افزایش پیدا می‌کند. [5]. محمد و همکاران در سال ۲۰۱۷ با بررسی عددی تأثیرات تخلیه سریع مخزن با مدل کردن خصوصیات یک سد واقعی در نرم‌افزار نشان می‌دهد که زمانی که جریان ثابتباشد، در هنگام تخلیه سریع مخزن فشار آب منفذی در تمام نقاط سد کاهش می‌یابد. [6]. محرمی و همکاران در سال ۲۰۱۳ با بررسی اثر زهکش افقی روی پایداری شیب تحت شرایط تخلیه سریع را بررسی کردند و مشاهده کردند با افزایش تعداد زهکش‌ها و پایین آوردن ارتفاع آن‌ها ضریب اطمینان بیشتر می‌شود و چنانچه طول زهکش از گوه گسیختگی موردنظر بیشتر شود بر پایداری شیب بالادست تأثیری نخواهد داشت [7]. دونگ و همکاران در سال 2013 با استفاده از مدل اجزای محدود، به ارزیابی نقش شیب استه در جریان نشت ناپایدار از بدنه سد پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که استه مرکزی در سدهای خاکی غیرهمگن، وظیفه اصلی آب‌بندی و کنترل تراوش از بدنه سد را به عهده دارد و تعیین شیب مناسب استه می‌تواند ایمنی سد را در برابر عوامل یادشده افزایش دهد. [8]. لوپز آکوستا و همکاران در سال ۲۰۱۳ با بررسی و تحلیل تراوش گذرا را برای محیط اشباع و غیراشباع جهت پایداری شیب خاکی بالادست سد در شرایط تخلیه سریع مخزن نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل‌ها، دریافتند که تخلیه سریع دارای بیشترین فشار آب حفرهای است [9]. رهاردجو و همکاران در سال ۲۰۰۳ اثر زهکش افقی برای پایداری شیب‌های خاکی را بررسی کردند و مشاهده کردند که زهکش افقی نزدیک به کف درشیب بالادست بیشترین اثر را در پایداری شیب دارد [10].

۲- مدلسازی مورد مطالعه

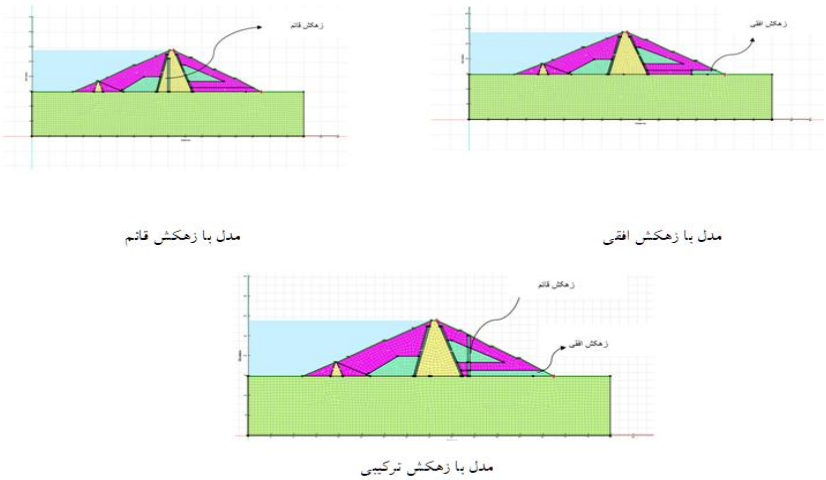
در این پژوهش هدف بررسی تأثیر پارامترهای زهکشی سد خاکی پارسیان بر پایداری شیروانی‌های سد خاکی پارسیان است. این سد در فاصله ۵۰ کیلومتری شهرستان ممسنی و ۱۲۰ کیلومتری شهر شیراز در استان فارس بر روی رودخانه فهلیان از سرشاخه‌های رودخانه زهره واقع‌شده است. این سد از نوع سنگریزه‌ای با استه رسی میباشد. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر پارامترهای زهکشی سد خاکی پارسیان بر پایداری شیروانی‌های سد می‌باشد که با استفاده از نرم‌افزار Geostudio 2D 2020 موردبررسی و مطالعه قرارگرفته است. در این پژوهش مطابق شکل ۱ هندسه

سد خاکی پارسیان در برنامه Geostudio2D ۲۰۲۰ مدل‌سازی شده است. ارتفاع سد ۱۳۸ متر از بستر رودخانه و۱۴۰ متر از پی است که با توجه به اهداف این پژوهش موردبررسی قرارگرفته است.



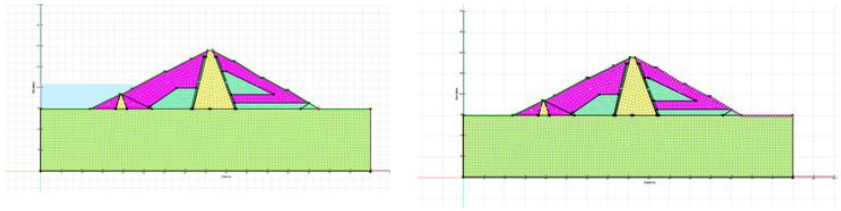
شکل ۱: هندسه سد خاکی پارسیان

در این راستا ابتدا در این پژوهش به بررسی تأثیر وجود زهکش افقی، زهکش قائم، زهکش ترکیبی بر پایداری شیروانی سد مطابق شکل ۲ موردمطالعه پرداخته‌شده است.



شکل ۲: مدل با زهکش های مورد مطالعه

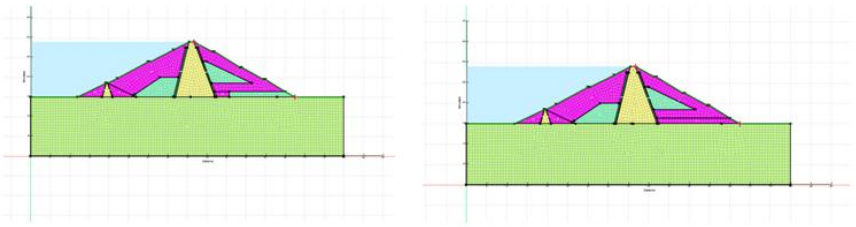
در ادامه به بررسی تأثیر ارتفاع آب پشت سد بر پایداری شیروانی سد با زهکش افقی، قائم و ترکیبی با توجه به تغییر نسبت ارتفاع آب پشت سد به ارتفاع سد برابر با 0، 0.2، 0.5، 0.8، 1 مطابق شکل ۳ انجام‌شده است.



مدل با زهکش افقی با نسبت ارتفاع آب پشت سد به ارتفاع سد برابر با ۰ مدل با زهکش افقی با نسبت ارتفاع آب پشت سد به ارتفاع سد برابر با ۰.۵

شکل ۳: مدل با زهکش افقی با تغییر ارتفاع آب پشت سد به ارتفاع سد

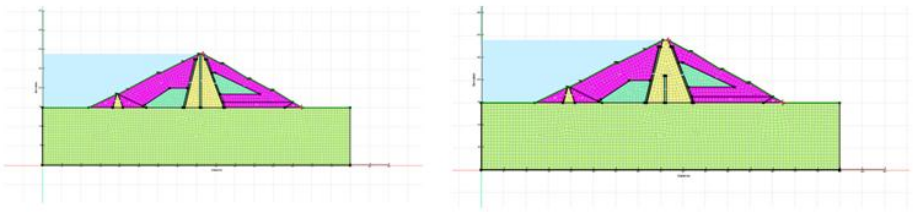
در مرحله بعد به بررسی تأثیر طول زهکش افقی، قائم و ترکیبی بر پایداری شیروانی سد با توجه به تغییر نسبت طول زهکش به عرض سد برابر با 0، 0.05، 0.15، 0.3، 0.4، 0.5 مطابق شکل ۴ پرداخته‌شده است.



مدل با زهکش افقی با نسبت طول زهکش به عرض سد برابر با ۰ مدل با زهکش افقی با نسبت طول زهکش به عرض سد برابر با ۰.۳

شکل ۴: مدل با زهکش افقی با تغییر نسبت طول زهکش به عرض سد

سپس به بررسی تأثیر ارتفاع زهکش افقی، قائم و ترکیبی بر پایداری شیروانی سد موردمطالعه انجام شده است، در این راستا با توجه به تغییر نسبت ارتفاع زهکش قائم به ارتفاع سد برابر با 0، 0.1، 0.2، 0.5، 0.8، 1 مطابق شکل ۵ بررسی انجام شده است.



مدل با زهکش قائم با نسبت ارتفاع زهکش به ارتفاع سد برابر با ۰.۵ مدل با زهکش قائم با نسبت ارتفاع زهکش به ارتفاع سد برابر با ۱

شکل ۵: مدل با زهکش قائم با تغییر نسبت ارتفاع زهکش قائم به ارتفاع سد

در جدول ۱ مشخصات مدل موردمطالعه آورده شده است و پارامترهای ثابت زیر آن خط کشیده شده است.

جدول ۱: مشخصات مدل موردمطالعه

مدل موردمطالعه	توضیحات
نوع زهکش	افقی-قائم-ترکیبی
تغییر نسبت ارتفاع آب پشت سد به ارتفاع سد (hw/hD)	0، 0.2، 0.5، 0.8، 1
تغییر نسبت طول زهکش به عرض سد (Lo/hd)	0، 0.05، 0.15، 0.3، 0.4، 0.5
تغییر نسبت ارتفاع زهکش افقی به ارتفاع سد (h/hD)	0، 0.01، 0.02، 0.05، 0.1، 0.2
تغییر نسبت ارتفاع زهکش قائم به ارتفاع سد (h/hD)	0، 0.1، 0.2، 0.5، 0.8، 1

مشخصات مصالح مورداستفاده در پژوهش در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲: مشخصات مصالح مورداستفاده در سد خاکی پارسیان

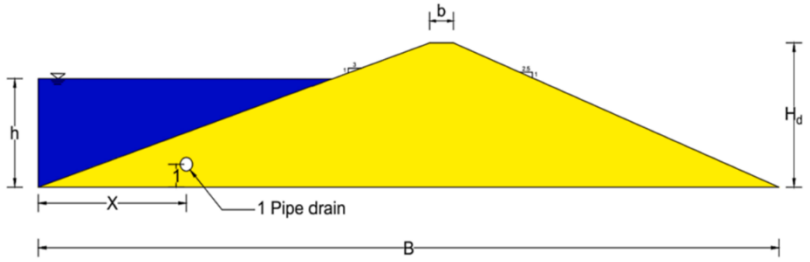
نوع مصالح	ضریب چسبندگی خاک(kPa)	زاویه اصطکاک خاک(Deg)	چگالی خاک(kN/m^3)
هسته	21	29	21.79
سنگریزمعدنی	0	47.7	23.6
سنگریز حفاری	0	43.7	23.6
پی سنگی	15.75	38	23

۳- صحت سنجی و اعتبار سنجی

در این پژوهش جهت بررسی موضوع ابتدا یک صحت سنجی با پژوهش واکت و همکاران در سال ۲۰۲۴ [4] به بررسی تأثیر زهکش بر ضریب پایداری شیروانی سد خاکی مطابق شکل ۶ پرداخته است، در این پژوهش به‌صورت عددی با استفاده از نرم‌افزار Geostudio 2D2020 تأثیر ارتفاع آب پشت سد و فاصله زهکش از پنجه سد خاکی موردبررسی قراردادند.

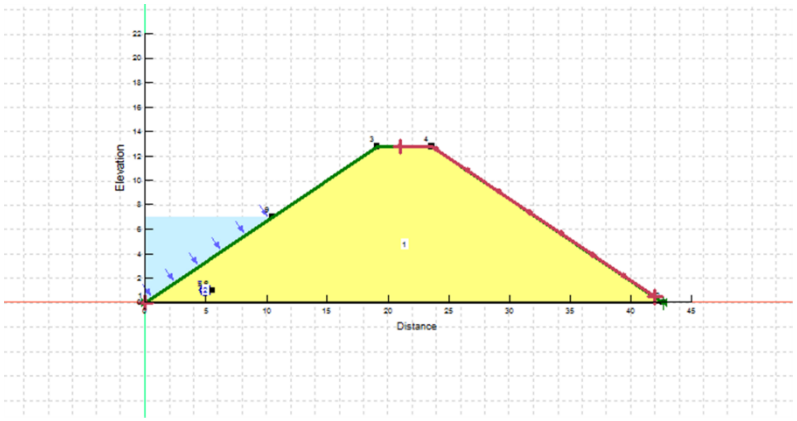
جدول ۳: مشخصات پژوهش واکت و همکاران [4]

نوع مصالح	**ضریب چسبندگی** خاک(kPa)	**زاویه اصطکاک خاک**(Deg)	چگالی خاک(kN/m^3)
مصالح موردمطالعه پژوهش واکت وهمکاران	35	15	18.7



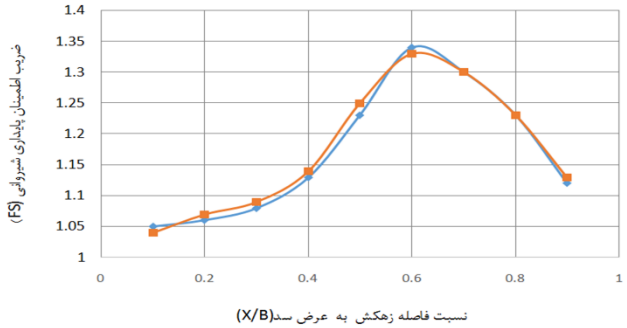
شکل ۶: تصویر شماتیک مدل آزمایشگاهی واکت و همکاران [4]

که ابعاد نمونه برابر با مطابق شکل۶ است در این پژوهش مدل‌سازی در نرم‌افزار Geostudio 2D 2020جهت صحت سنجی مطابق شکل ۷ انجام‌شده و درادامه نتایج آورده شده است.



شکل ۷: هندسه مدل‌سازی جهت صحت سنجی.

در پژوهش حاضر با توجه به مدل موردبررسی مربوط به سد خاکی در سال ۲۰۲۴ جهت صحت‌سنجی، هندسه مربوطه را در نرم‌افزار Geostudio 2D 2020با توجه به هندسه مدل‌سازی گردیده است که نتایج استخراج‌شده در شکل۸ و جدول۴ نشان داده‌شده است.



شکل۸: شکل مقایسه ضریب اطمینان جهت صحت سنجی.

با بررسی‌های انجام‌شده همان‌گونه که در شکل۸ و جدول۴ نشان داده‌شده است ضریب پایداری شیروانی سد خاکی با تغییر فاصله زهکش با توجه به مدل‌سازی انجام‌شده در نرم‌افزار به‌دست‌آمده است که با توجه به بررسی انجام‌شده در پژوهش حاضر و نتایج پژوهش وی‌ات مقدار اختلاف برابر با 0/75 درصد است که تقریباً یکسان است و اختلاف بسیار ناچیزی است.

جدول ۴: مقایسه ضریب اطمینان جهت صحت سنجی

مدل	ضریب اطمینان(FS)	درصد اختلاف
نتایج مقاله	1.34	-
نتایج مدل‌سازی	1.33	-0.75

۵- نتیجه گیری

در این تحقیق به بررسی اثر دیوار برشی روی فونداسیون و اثر دیوار برشی زیر فونداسیون پرداخته شد. به طور کلی با بررسی نتایج در مدل‌هایی که دیوار برشی روی فونداسیون قرار داشت، نقش دیوار برشی در نشست پی بی تاثیر بود و حتی به دلیل بار دیوار های روی فونداسیون می تواند اثر منفی روی نشست فونداسیون داشته باشد، به هر حال در این تحقیق چون اثر وزنی دیوار ها در فونداسیون به دلیل ابعاد در نظر گرفته شده زیاد نبود، اثر منفی آن روی نشست پی مشهود نبود. دیوار هایی که بالای پی هستند، عملکرد کمک به نشست پی را ندارند. از طرفی چون در زلزله نیروی های زلزله را جذب می کنند باعث کم شدن نیروی برشی پانچ می شوند و نیروی برشی پی افزایش می یابد. به همین دلیل ظرفیت پی و تنش پی افزایش می یابد. دیوار هایی که زیر فونداسیون هستند تاثیری روی مقاومت پی ندارند. چون این دیوار های زیر تراز فونداسیون هسند و نیروی زلزله را جذب نمی کنند. به همین دلیل روی شکل‌پذیری و ظرفیت پی تاثیر ندارد. با توجه به نتایج تاثیر بسزایی در نشست زیر پی دارند . با توجه به میزان مصرف میلگرد در فونداسیون‌ها، در دیوارهای زیر فونداسیون نسبت به دیوار های روی فونداسیون مصرف میلگرد بیشتر شد. در جمع بندی کلی با در نظر گرفتن نقش بسزای دیوار برشی زیر فونداسیون در نشست زیر فونداسیون و همچنین مصرف بیشتر میلگرد، باید توجه شود که در انتخاب مالک سازه مصرف بیشتر میلگرد از نظر اقتصادی قابل توجیه است یا خیر. برای بررسی های بیشتر نتایج در ادامه این تحقیق پیشنهاد می شود که :

الف- قرار گیری موقعیت دیوار برشی می تواند در سازه های بلند مرتبه نیز کنترل شود .

ب- همچنین می تواند برای فونداسیون نواری نیز کنترل شد .

و در ادامه می تواند برای سازه فلزی کنترل و بررسی شود .

۶- مراجع

۱- تسنیمی ,ع .(۱۳۸۸)رفتار و طرح لرزه‌ای ساختمان‌های بتن مسلح.(چاپ سوم). تهران :مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

۲- خیرالدین، ع.، امامی، ا.، ۱۳۹۸ ، دیوارهای برشی بر اساس آیین نامه بتن آمریکا(ACI 318-2014) و مبحث نهم مقررات ملی ساختمان(سال ۱۳۹۲) چاپ دوم.سمنان:انتشارات دانشگاه سمنان.

۳- شفیعیان ,م .(۱۳۹۵) تحلیل آماری نتایج آزمایشگاهی برای تعیین سختی موثر دیوارهای برشی بتنی.پایان‌نامه کارشناسی ارشد.دانشگاه قم.

۴- خیرالدین، ع.، ۱۳۸۵ ، آنالیز و طراحی دیوار برشی. (چاپ اول) سمنان: انتشارات دانشگاه سمنان.

۵- ناطق الهی، ف.، حسینی واعظ، س. م.، ۱۳۹۰ ، بررسی تاثیر سختی دیوارهای برشی در صلبیت دیافراگم‌های ساختمان‌های بتنی چندطبقه تحت بارگزاری لرزه‌ای ، ششمین کنگره‌ی ملی مهندسی عمران ، اردیبهشت ۱۳۹۰.

۶- غنی زاده، م.، فرزام، م.، سروقدم، ع.، ۱۳۹۵ ، بررسی پارامترهای تاثیر گذار بر عملکرد دیوارهای برشی کوتاه بتن آرمه با در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه ، مجله علمی پژوهشی مهندسی عمران مدرس ، دوره هفدهم ، شماره سه.

۷- صفاری، ح.، رهگذر، ر.، شیری، ی.، ۱۳۸۷ ،تعیین مناسب‌ترین شکل دیواربرشی در سازه‌های قاب دیوار-متقارن جهت کاهش تغییرشکل‌های سازه‌های بلند. چهارمین کنگره‌ی ملی مهندسی عمران دانشگاه تهران، اردیبهشت۱۳۸۷.

۸- ساعدی داریان، ا.، بهرامپور، ح.، عرب‌زاده، ح.، ۱۳۹۰ ، راهنمای جامع نرم‌افزار ABAQUS.(چاپ اول)تهران: انتشارات انگیزه.

۹- شلیلیان، ر.، ۱۳۹۶ ، آموزش گام‌به‌گام ABAQUS. (چاپ اول) تهران: انتشارات خلیج فارس.

۱۰-ضیایی، م.، پیغاله، ا.، ۱۳۸۸ ، راهنمای مدلسازی با نرم‌افزار ABAQUS.(چاپ دوم)تهران:انتشارات پندار پارس.

11-Elnshai, A. S., & Di Sarno, L.(2008). Fundamentals of Earthquake Engineering. Wiley Chichester, Uk.

12-Paulary, T., & Priestly, M. J. N. (1992).). Seismic Design Of Reinforsed Concrete And Masonary Buildings, Paulary And Priestly. New York: Wiley Online Library.
13-Mohel, J. (2014). Seismic Design of Reinforsed Concrete Builddings. Mcgraw Hill professional.
14-Gulec, C. K., & Whittaker, A. S. (2009). Performance-Based Assessment and Design of Squat Reinforsed Concrete Shear Walls. Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Reserch MCEER.
15- Tang, y., Zhang, j., 2011, Probabilistic seismic demand analysis of a slender RC shear wall considering soil–structure interaction effects, journal of Engineering structures, 33(1), 218_229
16- Marzban, S., Banazadeh, M., Azarbakht, A., 2012, Seismic performance of reinforced concrete shear wall frames considering soil–foundation–structure interaction, Journal of Tall and special buildings, 23(4), 302_318
17- Barros, R. C., Khatami, S. M., 2012, Seismic Response Effect of Shear Walls in Reducing Pounding Risk of Reinforced Concrete Buildings Subjected to Near-Fault Ground Motions, 15th World Conference on Earthquake Engineering 2012.
18- Burak, B., & Comlekoglu, H. G. (2013). Effect of shear wall area to floor area ratio on the seismic behavior of reinforced concrete buildings. Journal of Structural Engineering, 139(11), 1928-1937.
19- Chinmayi, H. K., Jayalekshmi, B. R., 2013, effect of soil-flexibility on lateral natural period in RC framed buildings with shear wall, International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, 2(6).