



بررسی اثر مدل‌های رفتاری مختلف خاک در مدل‌سازی عددی دیوارهای حائل طره‌ای

نوید حسن پوری نوتاش، دانشجوی دکتری مهندسی عمران- ژئوتکنیک، گروه مهندسی عمران، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران.

آرش حوایی، دانشجوی دکتری مهندسی عمران- ژئوتکنیک، گروه مهندسی عمران، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران.

روزبه دبیری (نویسنده مسئول)، استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران.

rouzbeh_dabiri@iaut.ac.ir

چکیده

در تحقیق حاضر به بررسی و مقایسه نتایج حاصل از مدل‌های رفتاری مختلف خاک در مدل‌سازی عددی دیوار حائل طره‌ای در شرایط استاتیکی با استفاده از نرم‌افزار المان محدود PLAXIS پرداخته شده است. در بررسی‌های انجام گرفته علاوه بر تاثیر انتخاب نوع مدل رفتاری، تاثیر ارتفاع دیوار حائل نیز در نتایج به دست آمده مورد ارزیابی قرار گرفته و مدل‌سازی‌های انجام گرفته در ارتفاع‌های ۳، ۶ و ۹ متری دیوار حائل در نظر گرفته شده است. خاکریز مورد استفاده در پشت دیوارهای حائل به دو صورت خاک دانه‌ای (ماسه) و خاک ریزدانه (رس) انتخاب گردیده‌اند. در تحلیل‌های انجام گرفته خاک‌های دانه‌ای به دو صورت خاکریز متراکم و شل بوده و تحلیل‌های انجام یافته در خاک ریزدانه در دو حالت اشباع و غیراشباع صورت گرفته است. در مدل‌سازی دیوارهای حائل طره‌ای برای خاکریزهای ماسه‌ای از مدل‌های رفتاری موهر-کولمب (MC)، مدل سخت شونده (HS)، مدل رفتاری سخت شونده با کرنش کم (HSS) و برای خاکریزهای رسی علاوه بر موارد مزبور از مدل رفتاری خاک نرم (SS) نیز استفاده گردیده است. نتایج حاصل از مدل‌سازی عددی بر اساس نیروهای وارد بر دیوار حائل ارائه گردیده و مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: مدل‌سازی عددی، دیوار حائل طره‌ای، مدل رفتاری، نرم افزار PLAXIS.



Effect of Soil Constitutive Models on Numerical Modeling of Cantilever Retaining Wall

Navid Hasanpori Notash, Department of Civil Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

Arash Havvaei, Department of Civil Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

Rouzbeh Dabiri (Corresponding Author), Department of Civil Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran.

rouzbeh_dabiri@iaut.ac.ir

Abstract

In the present study static response of cantilever retaining walls have been investigated by consideration of various soil constitutive models by means of finite element method with using PLAXIS 2-D software. Simulations have been performed at heights of 3, 6, and 9 meters retaining walls with considering two types of soils (cohesive and cohesionless) as backfill material. In this study, analysis have been conducted for two kinds of cohesionless backfill (loose and dense sand in dry condition) and at both conditions, saturated and unsaturated, for cohesive backfill. Analysis have been carried out by using three constitutive behavioral methods: Mohr-Coulomb (MC), Hardening-Soil (HS) and Hardening soil model with Small-Strain stiffness (HSS) for cohesionless backfill and additional method, Soft Soil model (SS), for cohesive backfill. The results show that, for cohesionless and cohesive backfill materials the lateral forces acting on the retaining wall are underestimated by the MC and SS constitutive models, respectively.

Keywords: Numerical Modeling, Cantilever Retaining Wall, Soil Constitutive Model.

**۱- مقدمه**

در طی چهار دهه گذشته، مدل‌های رفتاری خاک به موازات توسعه روش‌های عددی و اثرات متقابل بین آن‌ها، پیشرفت‌های قابل توجهی را دربر داشته‌اند. پژوهش‌های مختلفی به منظور مقایسه نتایج حاصل از انواع مدل‌های رفتاری خاک در طراحی ابنیه‌های ژئوتکنیکی انجام گرفته است که نتایج حاصل گردیده بر اهمیت انتخاب مدل رفتاری مناسب در شبیه‌سازی‌های منطبق بر واقعیت دلالت دارد. در تحقیق حاضر به مطالعه و بررسی اثر مدل‌های رفتاری مختلف خاک در میزان پاسخ استاتیکی دیوارهای حائل طره‌ای ۳، ۶ و ۹ متری با استفاده از نرم‌افزار المان محدود Plaxis-2D پرداخته شده و نتایج حاصل گردیده مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

۲- مرور مطالعات گذشته

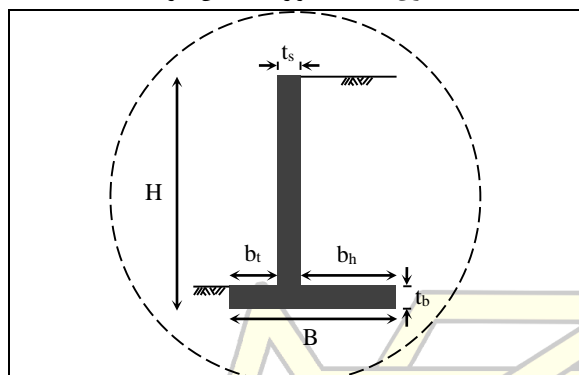
پژوهش‌های زیادی به منظور بررسی مدل‌های رفتاری مختلف خاک در طراحی ابنیه‌های ژئوتکنیکی مورد مطالعه قرار گرفته است. در پژوهش‌های انجام گرفته توسط Schweiger در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۴ میلادی به بررسی تاثیر مدل‌های رفتاری مختلف در تحلیل حفاری‌های عمیق با استفاده از روش المان محدود در خاک‌های رسی و ماسه‌ای پرداخته شده است. در این پژوهش‌ها تاثیر استفاده از مدل‌های رفتاری مختلف خاک در جابه‌جایی‌های افقی دیوار و همچنین در میزان نیروها و لنگرهای خمشی ایجاد گردیده در المان‌های فشاری (استرات) مورد بررسی قرار گرفته است. مطابق با نتایج به دست آمده از این پژوهش‌ها کمترین میزان جابه‌جایی‌های دیوار و همچنین کمترین میزان لنگرها و نیروهای ایجاد گردیده در المان‌های فشاری در خاک‌های ماسه‌ای مربوط به مدل رفتاری موهر-کولمب و در خاک‌های رسی مربوط به مدل رفتاری خاک نرم^۱ (SS)

بوده است [۲۱]. مطالعه انجام گرفته در سال ۲۰۱۰ میلادی در رابطه با تاثیر مدل‌های رفتاری موهر-کولمب، دونکان-چانگ^۲ و مدل رفتاری ارتجاعی-خمیری ساده^۳ در شبیه‌سازی دیوارهای مسلح گردیده با مصالح ژئوسنتتیک به همراه خاکریز ماسه‌ای (Hostun sand) نشان داده است مدل موهر-کولمب جابه‌جایی دیوار و همچنین بیشینه نیروهای کششی ایجاد گردیده در مسلح کننده را کمتر از سایر مدل‌های رفتاری پیش بینی می‌نماید [۳]. پژوهش انجام گرفته توسط مجنونوی و همکاران در سال ۱۳۹۱ با استفاده از روش اجزاء محدود که مربوط به مقایسه مدل‌های رفتاری موهر-کولمب، خاک سخت شونده^۴ (HS) و مدل رفتاری سخت شونده با کرنش کم^۵ (HSS) در شبیه‌سازی عددی دیوارهای میخکوبی شده می‌باشد استفاده از مدل‌های رفتاری HS و HSS تفاوت چندانی با مدل موهر-کولمب از نظر برآورد ضریب اطمینان پایداری کلی دیواره نداشته و هر سه مدل نتایج تقریباً یکسانی را ارائه داده‌اند [۴]. پژوهش انجام گرفته در سال ۲۰۱۲ توسط Franz Tschuchnigg با استفاده از نرم‌افزار المان محدود PLAXIS در رابطه با تاثیر مدل‌های رفتاری مختلف در رفتار شمع‌های تکی و همچنین گروه شمع‌ها در طراحی پی‌های عمیق نشان داد استفاده از مدل رفتاری HSS نتایج واقع گرایانه‌ای را از خود نشان می‌دهد [۵]. پژوهش انجام گرفته توسط آقازاده اردبیلی در سال ۲۰۱۵ در رابطه با بررسی پاسخ مهارهای صفحه‌ای در خاک‌های رسی و ماسه‌ای نشان داد در خاک‌های رسی نتایج حاصل از مدل‌های رفتاری Cam Clay اصلاح شده و مدل خاک نرم (SS) نسبت به مدل رفتاری موهر-کولمب دارای تطابق مناسبی با نتایج تجربی می‌باشد. همچنین مطابق با نتایج حاصل از این پژوهش، در خاک‌های ماسه‌ای سست در حالت خشک، مدل خاک سخت شونده (HS) نتایج قابل قبولی را در نسبت‌های عمق دفن شدگی به قطر کمتر از ۶ ($H/D < 6$) ارائه می‌دهد. با این وجود در این نوع خاک‌ها در نسبت‌های

⁴ Hardening soil⁵ Hardening Soil-small¹ Soft Soil² Duncan and Chang³ CJS2 (Cambou and Jafari-1987)



جدول ۱: ابعاد دیوارهای حائل طره‌ای

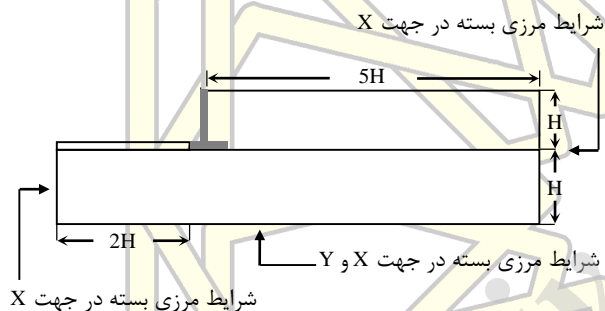


H (m)	B (m)	tb (m)	ts (m)	bt (m)	bh (m)
۳	۲/۱	۰/۳	۰/۳	۰/۶	۱/۲
۶	۴/۲	۰/۶	۰/۶	۱/۲	۲/۴
۹	۶/۳	۰/۹	۰/۹	۱/۸	۳/۶

بیشتر از ۶، نتایج حاصل گردیده از مدل‌سازی بیشتر از نتایج تجربی بوده‌اند. در خاک‌های ماسه‌ای اشباع نیز در نسبت‌های عمق دفن شدگی به قطر کمتر از ۴ ($H/D \leq 4$) تطابق مناسبی بین نتایج مدل رفتاری موهر-کولمب و مدل خاک سخت شونده وجود داشته است [۶]. مطابق با راهنمای نرم‌افزار PLAXIS توصیه گردیده است که به‌منظور انجام تحلیل‌های نسبتاً سریع‌تر می‌توان از مدل رفتاری موهر-کولمب استفاده گردد. همچنین در صورت عدم وجود داده‌های مناسب آزمایشگاهی بهتر است تا حد امکان از مدل‌های رفتاری پیشرفته در مدل‌سازی‌ها استفاده نگردد. در حالت کلی استفاده از مدل رفتاری خاک سخت شونده در بسیاری از حالات در صورت وجود داده‌های مناسب آزمایشگاهی توصیه گردیده است [۷].

۳- مدل‌سازی عددی

۳-۱-۱- شکل هندسی



شکل (۱): شرایط مرزی مدل و ابعاد مورد استفاده در مدل‌سازی دیوارهای حائل طره‌ای

در تحقیق حاضر مدل‌سازی عددی دیوارهای حائل طره‌ای در ارتفاع‌های ۳، ۶ و ۹ متری با استفاده از نرم‌افزار المان محدود PLAXIS انجام گرفته است. همچنین در تمامی مدل‌سازی‌های انجام گرفته دیوارهای حائل بر روی یک خاک ماسه‌ای متراکم قرار گرفته‌اند. ابعاد دیوارهای حائل طره‌ای مورد استفاده در مدل‌سازی‌های عددی در جدول (۱) ارائه گردیده است. مطابق شکل (۱) در مدل‌سازی‌های عددی انجام گرفته طول خاکریز موجود در پشت دیوارهای حائل به اندازه ۵ برابر ارتفاع دیوار در نظر گرفته شده است که انتخاب این مقدار با توجه به پژوهش انجام گرفته توسط (Zarnani-Bathurst) [۹و۸] انتخاب گردیده است.

۳-۲- مدل‌های رفتاری

در تحقیق حاضر به مقایسه نتایج حاصل از مدل‌های رفتاری خاک در مدل‌سازی عددی دیوارهای حائل طره‌ای با استفاده از نرم‌افزار المان محدود PLAXIS پرداخته شده است. خاکریز مورد استفاده در پشت دیوارهای حائل به دو صورت خاک دانه‌ای (ماسه) و خاک ریزدانه (رس) بوده است. با توجه به راهنمای نرم‌افزار PLAXIS در مدل‌سازی دیوارهای حائل طره‌ای برای خاک‌های ماسه‌ای از مدل‌های رفتاری موهر-کولمب (MC)، مدل سخت شونده (HS)،



۴- ارزیابی نتایج حاصل از تحلیل

۴-۱- نیروهای وارد بر دیوار حائل

توزیع نیروهای وارد بر دیوارهای حائل طره‌های ۳، ۶ و ۹ متری در صورت استفاده از خاکریز ماسه‌ای متراکم و شل در شکل (۲) نشان داده شده است. همان‌طور که از این شکل ملاحظه می‌گردد در تمامی مدل‌سازی‌های انجام گرفته فشار جانبی خاک در بین حالت‌های محرک و سکون قرار دارند. همچنین در صورت استفاده از مدل رفتاری MC برای خاکریز نیروی وارد بر دیوار حائل نسبت به سایر مدل‌های رفتاری مقدار کمتری به دست آمده است. نیروهای به دست آمده از مدل‌های رفتاری HS و HSS نیز تقریباً یکسان به دست آمده‌اند. شایان ذکر است در تمامی حالات بیشترین نیروی وارد بر دیوار حائل مربوط به مدل HSS می‌باشند. در شکل (۳) توزیع نیروهای وارد بر دیوارهای حائل با وجود خاکریز رسی در دو شرایط اشباع و غیراشباع نشان داده شده است. لازم به ذکر است در شرایط اشباع خاکریز، سطح آب در مدل‌سازی‌ها در قسمت بالای خاکریز در نظر گرفته شده است. همان‌طور که از شکل (۳) ملاحظه می‌گردد در خاکریزهای رسی در تمامی حالات مدل‌سازی رفتاری HSS برای دیوارهای ۳، ۶ و ۹ متری استفاده از مدل رفتاری باعث ناپایداری مدل گردیده و به همین دلیل در نتایج ارائه نگردیده است.

مدل رفتاری سخت شونده با کرنش کم (HSS) و برای خاک‌های رسی علاوه بر موارد مزبور از مدل رفتاری خاک نرم (SS) نیز استفاده گردیده است. به‌منظور استفاده از داده‌های آزمایشگاهی معتبر در این تحقیق، در مدل‌سازی خاک‌های ماسه‌ای از مشخصات ارائه گردیده در راهنمای نرم‌افزار PLAXIS [۷] و در مدل‌سازی خاک رسی نیز از داده‌های موجود در پژوهش Schweiger [۲۰] استفاده گردیده است.

۳-۳- مشخصات مصالح

مشخصات خاک‌های مورد استفاده در خاکریز پشت دیوار حائل برای ماسه متراکم و شل در جدول (۲) و برای خاکریز رسی در جدول (۳) ارائه گردیده است. مشخصات مقاومتی دیوار حائل طره‌ای و مشخصات خاک زیر پی [۱۰] نیز مطابق جدول (۴) می‌باشند. در تمامی مدل‌سازی‌های عددی انجام گرفته مدل رفتاری دیوار حائل به صورت الاستیک خطی و همچنین مدل رفتاری خاک زیر پی به صورت موهر-کولمب در نظر گرفته شده است. به‌منظور در نظر گرفتن شرایط منطبق بر واقعیت در تمامی مدل‌سازی‌های عددی انجام گرفته، انجام مدل‌سازی‌ها به ترتیب شامل: مدل‌سازی و تحلیل خاک زیر پی، مدل‌سازی دیوار حائل طره‌ای و درنهایت مدل‌سازی خاکریز پشت دیوار حائل بوده است. همچنین در تحقیق حاضر زاویه اصطکاک موجود در بین فصل مشترک مصالح با استفاده از رابطه $\delta_{soil-wall} = (2/3)\phi_{soil}$ محاسبه گردیده است که ضریب کاهش (R_{int}) در فصل مشترک مصالح نظیر این شرایط برای خاکریزهای ماسه‌ای متراکم و شل به ترتیب ۰/۶ و ۰/۶۲ و برای خاکریز رسی ۰/۶۴ به دست آمده‌اند که در مدل‌سازی‌ها مورد استفاده قرار گرفته است.



جدول ۲: مشخصات خاک‌های ماسه‌ای متراکم و شل [V] (Huston sand)

ماسه شل			ماسه متراکم			مشخصات مقاومتی	
نوع مدل رفتاری			نوع مدل رفتاری			واحد	مشخصات
HSS	HS	MC	HSS	HS	MC		
۱۷	۱۷	۱۷	۱۷/۵	۱۷/۵	۱۷/۵	kN/m ³	وزن مخصوص (γ)
-	-	۴۰۰۰۰	-	-	۶۳۵۰۰	kN/m ²	مدول الاستیسیته (E)
۲۰۰۰۰	۲۰۰۰۰	-	۳۷۰۰۰	۳۷۰۰۰	-		E_{50}^{ref}
۶۰۰۰۰	۶۰۰۰۰	-	۹۰۰۰۰	۹۰۰۰۰	-		E_{ur}^{ref}
۱۶۰۰۰	۱۶۰۰۰	-	۲۹۶۰۰	۲۹۶۰۰	-	kN/m ²	E_{oed}^{ref}
۱۰۰	۱۰۰	-	۱۰۰	۱۰۰	-		P_{ref}
-	-	۰/۲	-	-	۰/۲	-	نسبت پواسون (ν)
۰/۲	۰/۲	-	۰/۲	۰/۲	-	-	نسبت پواسون باربرداری و بارگذاری مجدد (ν _{ur})
۳۴	۳۴	۳۴	۴۱	۴۱	۴۱	°	زاویه اصطکاک (φ)
۰	۰	۰	۰	۰	۰	kN/m ²	چسبندگی (c)
۰	۰	۰	۱۴	۱۴	۱۴	°	زاویه اتساع (ψ)
۰/۶۵	۰/۶۵	-	۰/۵	۰/۵	-	-	پارامتر m
۰/۴۴	۰/۴۴	۰/۴۴	۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۳۴	-	$K_0^{NC} = 1 - \sin(\phi)$
۰	۰	-	۰	۰	-	kN/m ²	مقاومت کششی
۰/۹	۰/۹	-	۰/۹	۰/۹	-	-	ضریب گسیختگی
۷۰۰۰۰	-	-	۱۱۳۵۰۰	-	-	kN/m ²	G_0^{ref}
۰/۰۰۰۱	-	-	۰/۰۰۰۲	-	-	-	کرنش برشی مرجع (γ _{0.7})

MC: Mohr-Coulomb
 HS: Hardening soil
 HSS: Hardening Soil-small

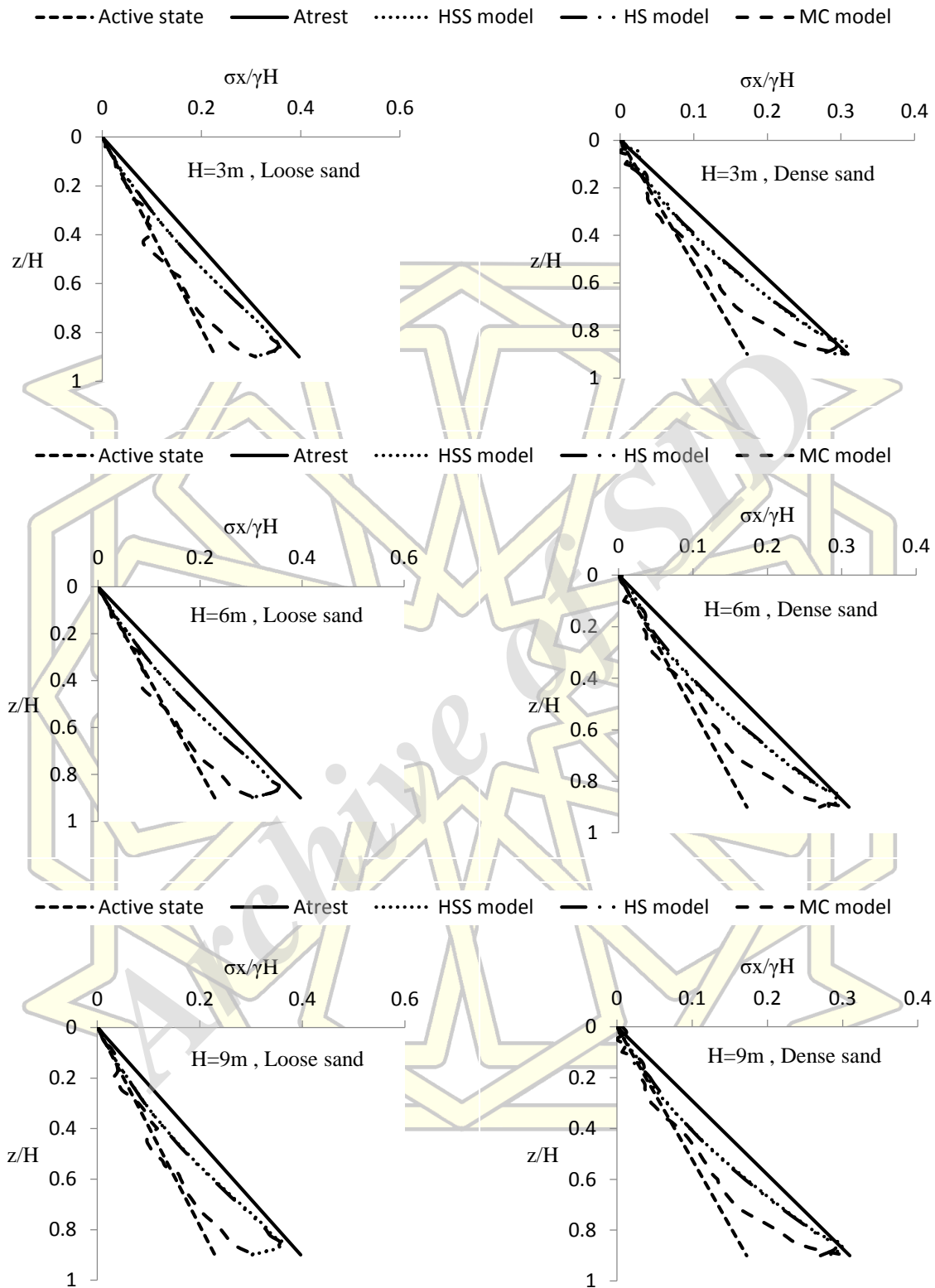


جدول ۳: مشخصات خاک رس [۲۰]

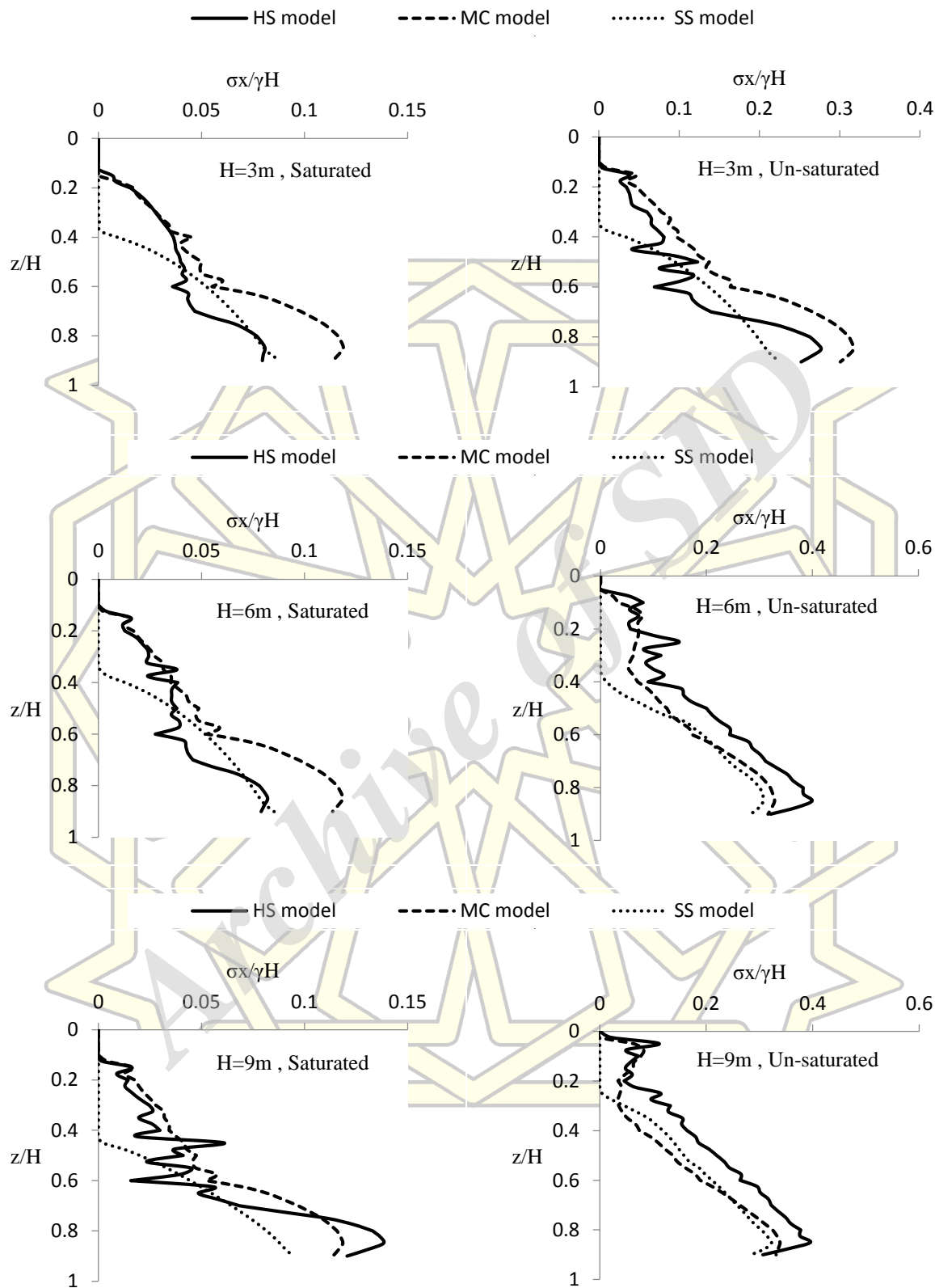
خاک رس				مشخصات مقاومتی	
نوع مدل رفتاری					
SS	HSS	HS	MC	واحد	مشخصات
۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	kN/m ³	وزن مخصوص غیر اشباع (γ_{unsat})
۱۶	۱۶	۱۶	۱۶		وزن مخصوص اشباع (γ_{sat})
-	-	-	۹۳۵۰	kN/m ²	مدول الاستیسیته (E)
-	۴۳۰۰	۴۳۰۰	-		E_{50}^{ref}
-	۱۴۴۰۰	۱۴۴۰۰	-		E_{ur}^{ref}
-	۱۸۰۰	۱۸۰۰	-	kN/m ²	E_{oed}^{ref}
-	۱۰۰	۱۰۰	-		P_{ref}
-	-	-	۰/۳	-	نسبت پواسون (ν)
۰/۲	۰/۲	۰/۲	-	-	نسبت پواسون باربرداری و بارگذاری مجدد (ν_{ur})
۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	°	زاویه اصطکاک (ϕ)
۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	kN/m ²	چسبندگی (c)
۰	۰	۰	۰	°	زاویه اتساع (ψ)
-	۰/۹	۰/۹	-	-	پارامتر m
۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۵۵	-	$K_0^{NC} = 1 - \sin(\phi)$
۰	۰	۰	۰	kN/m ²	مقاومت کششی
-	۰/۹	۰/۹	-	-	ضریب گسیختگی
-	۲۵۰۰۰	-	-	kN/m ²	G_0^{ref}
-	۰/۰۰۰۳	-	-	-	کرنش برشی مرجع (۰/۷)
۰/۰۵۵۶	-	-	-	-	شاخص فشردگی اصلاح شده (λ^*)
۰/۰۱۲۵	-	-	-	-	شاخص تورم اصلاح شده (k^*)
MC: Mohr-Coulomb HS: Hardening soil HSS: Hardening Soil-small SS: Soft Soil					

جدول ۴: مشخصات مقاومتی دیوار حائل و خاک زیر پی

خاک زیر پی [۱۰]**	دیوار حائل*	واحد	مشخصات
۲۰	۲۴	kN/m ³	وزن مخصوص (γ)
۱۰.۵	25×10^6	kN/m ²	مدول الاستیسیته (E)
۰/۳۳	۰/۱۵	-	نسبت پواسون (ν)
۴۰	-	°	زاویه اصطکاک (ϕ)
۰	-	kN/m ²	چسبندگی (c)
*مدل رفتاری: الاستیک خطی **مدل رفتاری: موهر-کولمب			



شکل (۲): توزیع نیروهای وارد بر دیوارهای حائل با خاکریز ماسه‌ای متراکم و شل



شکل (۳): توزیع نیروهای وارد بر دیوارهای حائل با خاکریز رسی در حالت‌های غیراشباع و اشباع



است. لازم به ذکر است نیروهای محاسبه گردیده مربوط به نیروهای موثر می‌باشند.

میزان نیروهای وارد بر دیوارهای حائل در تمامی حالات مدل‌سازی به صورت خلاصه در جدول (۵) ارائه گردیده

جدول ۵: میزان نیروهای (موثر) وارد بر دیوارهای حائل برای تمامی حالات مدل‌سازی

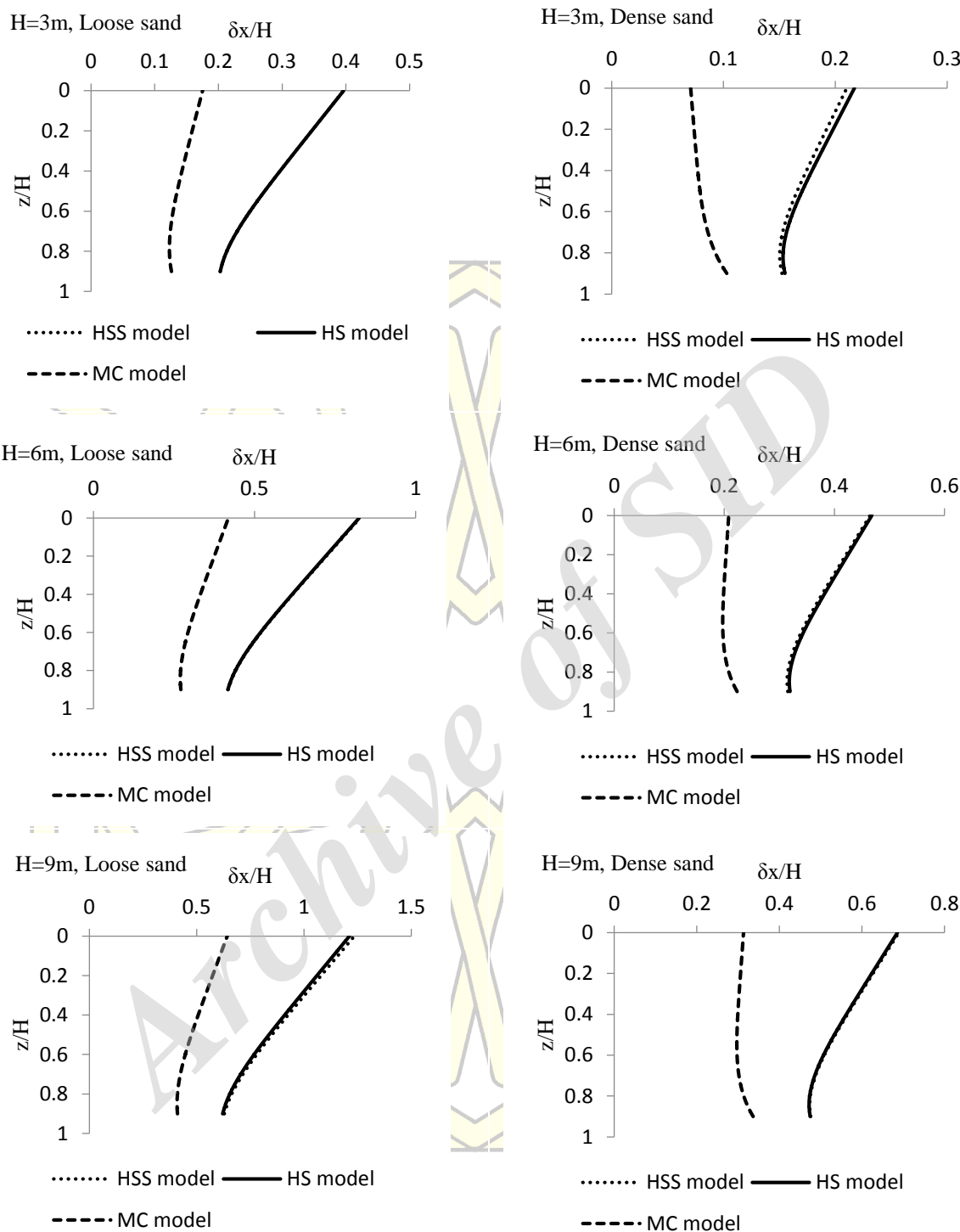
نوع خاکریز		ارتفاع دیوار حائل (متر)		مدل رفتاری	
رسم	ماده	متراکم	شل		
اشباع	خشک	۲۳/۴۱	۱۸/۶۸	۳	HSS
		۹۱/۵۲	۷۲/۷۷	۶	
		۲۰۶/۶۶	۱۶۴/۲۴	۹	
عدم پایداری دیوار حائل	اشباع	۲۳/۳۶	۱۸/۵۷	۳	HS
		۹۱/۴۶	۷۲/۹۶	۶	
		۲۰۴/۱۱	۱۶۱/۹۴	۹	
۴/۶۸	۱۲/۱۷	۱۶/۷۲	۱۴/۶۴	۳	MC
		۶۷/۱۱	۵۸/۶۰	۶	
		۱۵۱/۳۶	۱۳۱/۸۶	۹	
۱۸/۳۱	۹۰/۸۸	-	-	۳	SS
		-	-	۶	
		-	-	۹	
۵۳/۵۸	۲۱۸/۹۷	-	-	-	-
۶/۶۸	۱۷/۲۲	-	-	-	-
۲۶/۵۹	۶۹/۹۲	-	-	-	-
۵۹/۵۷	۱۶۰/۶۱	-	-	-	-
۴/۰۴	۹/۹۶	-	-	-	-
۱۶/۰۸	۵۳/۵۵	-	-	-	-
۳۳/۰۶	۱۵۱/۵۶	-	-	-	-
واحدها بر حسب (kN/m)					

می‌گردد در خاکریزهای ماسه‌ای کمترین میزان جابه‌جایی افقی دیوارهای حائل مربوط به مدل رفتاری MC می‌باشد که مطابق با پژوهش انجام گرفته توسط Schweiger برای خاکریز ماسه‌ای می‌باشد [۱]. با توجه به این شکل میزان جابه‌جایی‌های پیش‌بینی شده توسط مدل رفتاری HS و همچنین HSS تقریباً یکسان به دست آمده‌اند. شکل (۵) نیز میزان جابه‌جایی افقی دیوارهای حائل در شرایط استفاده از خاکریز رسی را در شرایط مختلف مدل‌سازی نشان می‌دهد. همان‌طور که از این شکل ملاحظه می‌گردد کمترین جابه‌جایی‌های ایجاد گردیده در تمامی حالات مربوط به مدل رفتاری SS بوده که نتیجه به دست آمده مطابق با پژوهش Schweiger برای خاکریز رسی می‌باشد [۱].

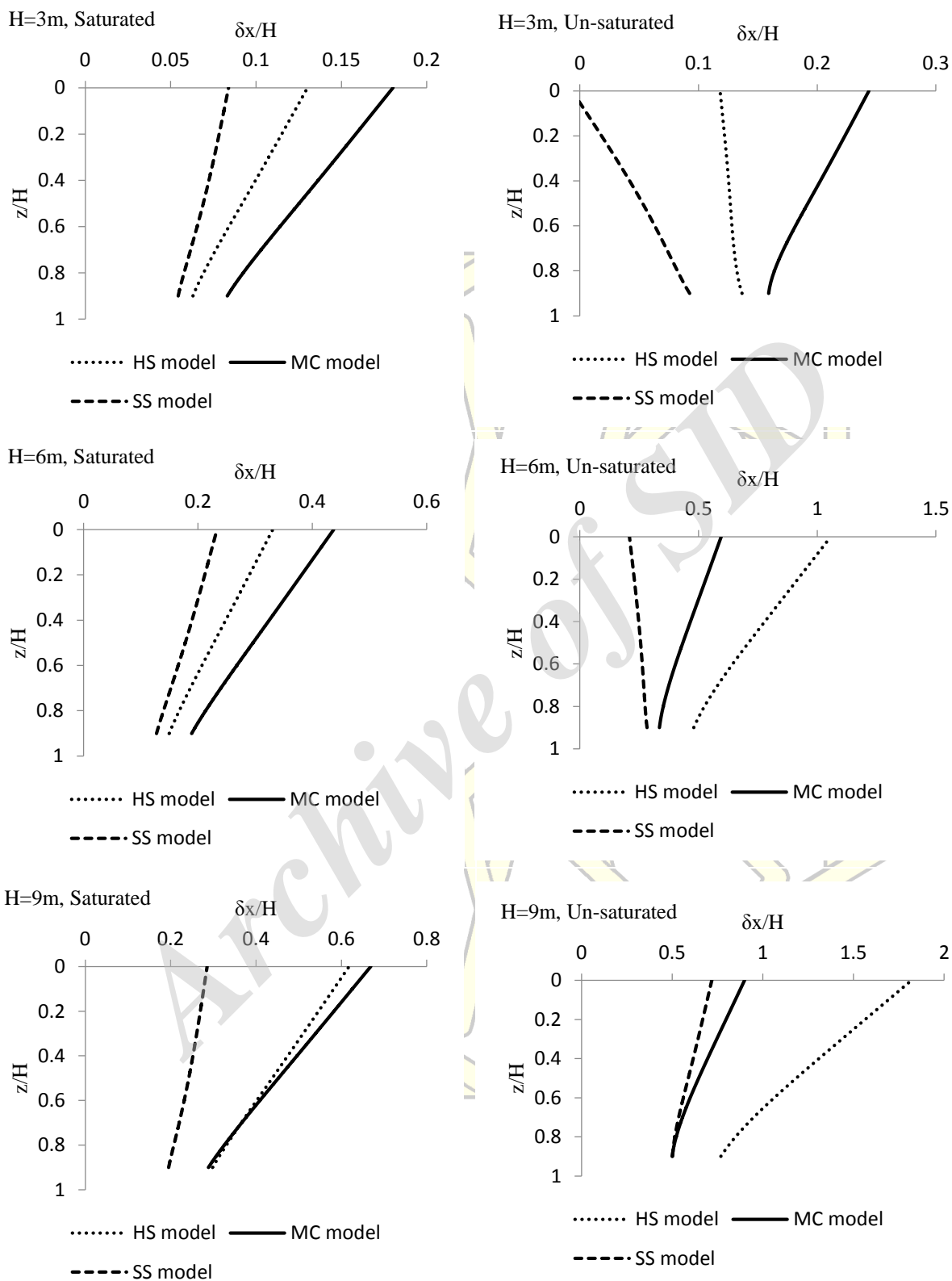
همان‌طور که از جدول فوق ملاحظه می‌گردد در تمامی حالات مدل‌سازی برای خاکریزهای ماسه‌ای و رسی کمترین میزان نیروی وارد بر دیوارهای حائل به ترتیب مربوط به مدل رفتاری MC و SS می‌باشد. که این موضوع در پژوهش انجام گرفته توسط Schweiger در میزان نیروهای ایجاد گردیده در المان‌های فشاری (استرات) برای خاکریزهای ماسه‌ای نیز نشان داده شده است [۱ و ۲].

۴-۲- میزان جابه‌جایی دیوار حائل

میزان جابه‌جایی‌های دیوارهای حائل طره‌ای ۳، ۶ و ۹ متری در صورت استفاده از خاکریز ماسه‌ای متراکم و شل و همچنین خاکریز رسی به ترتیب در شکل‌های (۴) و (۵) ارائه گردیده است. همان‌طور که از شکل (۴) ملاحظه



شکل (۴): میزان جابه‌جایی افقی دیوارهای حائل با خاکریز ماسه‌ای متراکم و شل



شکل (۵): میزان جابه‌جایی افقی دیوارهای حائل با خاکریز رسی در حالت‌های غیراشباع و اشباع



۵- نتیجه گیری

به سایر مدل‌های رفتاری مقدار کمتری به دست آمده است. بیشترین میزان جابه‌جایی افقی و همچنین بیشترین میزان نیروی وارد بر دیوارهای حائل در خاکریزهای ماسه‌ای متراکم و شل نیز مربوط به مدل رفتاری HSS می‌باشد. شایان ذکر است در خاکریزهای ماسه‌ای متراکم و شل میزان جابه‌جایی‌ها و همچنین نیروهای پیش‌بینی شده توسط مدل رفتاری HS و HSS تقریباً یکسان به دست آمده‌اند. مطابق با نتایج به دست آمده برای خاکریزهای رسی نیز کمترین میزان جابه‌جایی‌ها و همچنین کمترین میزان نیروهای وارد بر دیوارهای حائل مربوط به مدل رفتاری SS بوده است.

در تحقیق حاضر تاثیر استفاده از مدل‌های رفتاری مختلف خاک در میزان جابه‌جایی‌های جانبی و همچنین نیروهای وارد بر دیوارهای حائل طره‌ای ۳، ۶ و ۹ متری در شرایط استاتیکی مورد بررسی قرار گرفته است. در تمامی حالات مدل‌سازی، نیروهای وارد بر دیوارهای حائل با خاکریزهای ماسه‌ای با استفاده از مدل‌های رفتاری مختلف در محدوده نیروهای محرک و سکون به دست آمده‌اند. مطابق با نتایج حاصل از مدل‌سازی برای خاکریزهای ماسه‌ای متراکم و شل در تمامی حالات در صورت استفاده از مدل رفتاری MC میزان نیروهای جانبی وارد بر دیوارهای حائل نسبت

۶- مراجع

- [1] Schweiger, H.F., (2010), Design of deep excavations with FEM - influence of constitutive model and comparison of EC7 design approaches, *Proc. of the 2010 Earth Retention Conference*.
- [2] Schweiger, H.F., (2014), Influence of EC7 design approaches on the design of deep excavations with FEM, *2014 Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin, geotechnik*, Vol. 37, pp.169-176.
- [3] Abdelouhab, A., Dias, D. and Freitag, N., (2010), Numerical analysis of the behaviour of mechanically stabilized earth walls reinforced with different types of strips, *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 29, pp. 116-129.
- [۴] مجنونى، ع.، اردکانى، ع. و یزدانى، م. (۱۳۹۱)، مقایسه مدل‌های رفتاری موهر کولمب، خاک سخت شونده و HSS در شبیه‌سازی عددی دیوارهای میخکوبی شده، نهمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- [5] Tschuchnigg, F., (2012), 3D Finite Element Modelling of Deep Foundations Employing an Embedded Pile Formulation, Graz university, Dissertation.
- [6] Aghazadeh Ardebili, Z., (2015), Analyses of Capacity and Response of Plate Anchors: 2-D and 3-D Modeling with Advanced Constitutive Soil Models, North Carolina State University, for the Degree of Doctor of Philosophy.
- [7] PLAXIS Material Models Manual, Version 8.
- [8] Zarnani, S. and Bathurst, R.J., (2009), Numerical parametric study of expanded polystyrene (EPS) geofom seismic buffers, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 46(3), pp. 318-338.
- [9] Zarnani, S. and Bathurst, R.J., (2010), Numerical parametric study of geofom seismic buffers with different constitutive models, *9th International Conference on Geosynthetics*, Brazil, pp. 1665- 1670.
- [10] Athanasopoulos A, Zekkos, Lamote K, Athanasopoulos GA, (2012), Use of EPS geofom compressible inclusions for reducing the earthquake effects on yielding earth retaining structures, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 41, pp. 59-71.