



نهمین کنفرانس ملی مهندسی عمران 9th National Congress on Civil Engineering



پستال

کوبی ارائه مقاله

کوبی می شود مقاله ای با مشخصات ذیل در همین گنگره ی ملی مهندسی عمران ارائه و در مجموع مقالات این گنگره درج گردیده است.

عنوان مقاله: تعیین پارامتری رفتار غیرخطی بتن لاسیک مورد استفاده در دیوار آب بندسازی خانگی

نویسندگان: مسعود مهندس کتکتر، علی اترپور، مرتضی سالاری



۲۱ اردیبهشت ۱۳۹۵ ■ دانشگاه فردوسی مشهد ■ دانشکده مهندسی
Faculty of Engineering ■ Ferdowsi University of Mashhad
May 10-11, 2016



تعیین پارامترهای رفتار غیر خطی بتن پلاستیک مورد استفاده در دیوار آب بند سدهای خاکی

مسعود مهباندوست کتلا^۱، علی اخترپور^۲، مرتضی سالاری^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران-مکانیک خاک و پی دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استادیار گروه عمران دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد

۳- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی عمران-مکانیک خاک و پی دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد

خلاصه

نشت زیر سد، یکی از مسائل مهم در طراحی سدهای خاکی می باشد. یکی از روشهای معمول جهت کنترل تراوش و کاهش نفوذپذیری پی سدها استفاده از دیوارهای آب بند بتن پلاستیک است. تفاوت خصوصیات مکانیکی دیوار بتن پلاستیک با مصالح آبرفتی مجاور آن و با بدنه سد، باعث انتقال بار اضافی به دیوار شده و احتمال شکست دیوار آب بند را، در شرایط مختلف بارگذاری افزایش می دهد. بنابراین تعیین مدل رفتاری مناسب که بتواند رفتار غیر خطی تنش-کرنش مصالح بتن پلاستیک را شبیه سازی نماید ضروری بوده و این مدل می تواند در مطالعه اندرکنش خاک-دیوار آب بند مورد استفاده قرار گیرد. بدین منظور در این تحقیق بر اساس مدل رفتاری غیر خطی هذلولی و نتایج آزمایشات سه محوری، در فضای کرنش های انحرافی و حجمی، پارامترهای مدل تعیین گردیده است. داده های آزمایشات سه محوری بتن پلاستیک دیوار آب بند سد سومبار در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته اند. اگر چه مدل غیر خطی هذلولی برای خاک ها توسعه یافته است اما نتایج این تحقیق نشان می دهد که می توان با دقت مناسبی جهت پیش بینی رفتار بتن پلاستیک نیز از آن بهره گرفت.

کلمات کلیدی: سد خاکی، دیوار بتن پلاستیک، مدل رفتاری غیر خطی هذلولی، آزمایش سه محوری

۱. مقدمه

یکی از عمده ترین روش های آب بندی در سد های خاکی، استفاده از دیوارهای آب بند بتن پلاستیک می باشد که با توجه به خصوصیات شکل پذیری آن، می تواند در برابر بارهای جانبی مثل زلزله و همچنین بارهای حاصل از نشست سد، خاصیت آب بندی خود را حفظ نماید. بتن پلاستیک، مصالحی با مقاومت فشاری به مراتب کمتر از بتن های معمول سازه ای بوده و در عین حال از شکل پذیری بالاتر و نفوذ پذیری کمتری برخوردار است. مصالح اصلی بتن پلاستیک عبارت از سیمان، بتونیت، آب، سنگدانه و در صورت لزوم مواد افزودنی. تعیین پارامترهای مقاومتی و تغییر شکلی بتن پلاستیک با آزمایش سه محوری، از اقدامات متداول در طراحی و رفتارسنجی دیوار آب بند سدهای خاکی می باشد. در اکثر تحقیقات قبلی انجام شده، جهت بررسی اندرکنش دیوار آب بند با مصالح مجاور، برای بتن پلاستیک دیوار آب بند مدل رفتاری دقیقی تعریف نشده است و در واقع مدل رفتاری مناسبی که بتواند رفتار تنش-کرنش مصالح بتن پلاستیک را پیش بینی نماید موجود نمی باشد. تقریباً در تمامی حالات با فرضیات ساده کننده ای، مدل رفتاری موهر کولمب را برای بتن پلاستیک در نظر گرفته اند که این مسئله می تواند در پاسخ های اندرکنش دیوار آب بند با مصالح مجاور تاثیر گذار باشد.

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران-مکانیک خاک و پی دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد

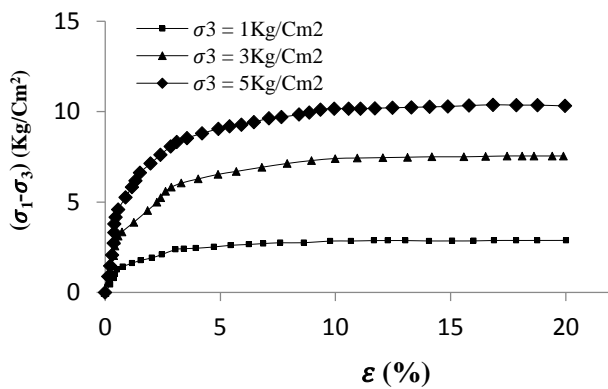
^۲ استادیار گروه عمران دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد

^۳ فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی عمران-مکانیک خاک و پی دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد

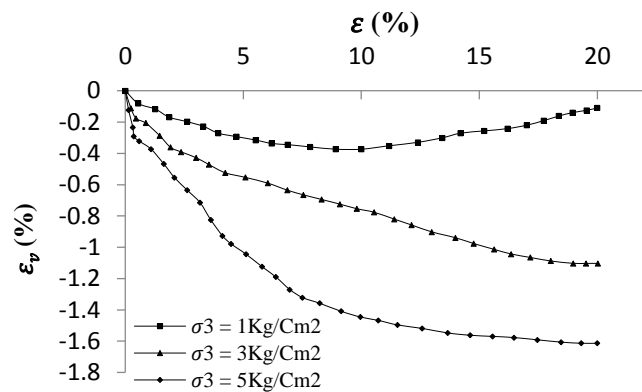
یک سری آزمایش سه محوری بر روی نمونه هایی از بتن پلاستیک سد خاکی سومبار صورت گرفته است. این آزمایش ها، رفتاری مشابه با رفتار خاک ها تحت آزمایش سه محوری را نشان می دهند. در این تحقیق بر پایه مدل رفتاری غیر خطی هذلولی [۱] و با استفاده از نتایج آزمایشات سه محوری بر روی بتن پلاستیک دیوار اب بند سد سومبار [۲]، در فضای کرنش های انحرافی و حجمی پارامترهای مدل با انجام آنالیز برگشتی بر روی داده های آزمایش سه محوری تعیین گردیده و رفتار تنش-کرنش بتن پلاستیک تحت آزمایش های سه محوری توسط تابع پیشنهاد شده مدل هذلولی شبیه سازی گردیده است.

۲. آزمایش های سه محوری

در این تحقیق از نتایج آزمایش سه محوری تحکیم یافته زهکشی شده (CD)، سه نمونه بتن پلاستیک، با طرح اختلاط یکسان در تنش های همه جانبه مختلف استفاده شده است [۲]. سن این نمونه ها ۲۸ روزه می باشد که به مدت دو روز اشباع شده و سپس تحت آزمایش سه محوری قرار گرفته اند. نتایج حاصل از آزمایش سه محوری تحکیم یافته زهکشی شده مطابق نمودار شکل (۱) می باشد. در این نمودارها منحنی های تنش تفاضلی و کرنش حجمی در برابر کرنش محوری برای سه نمونه با تنش های همه جانبه مختلف رسم شده است. با رسم دایره موهر پارامترهای برشی بتن پلاستیک، چسبندگی (C) و زاویه اصطکاک داخلی (φ) به ترتیب ۱۵ کیلو پاسکال و ۳۲/۵ درجه بدست آمده است.



(الف)



(ب)

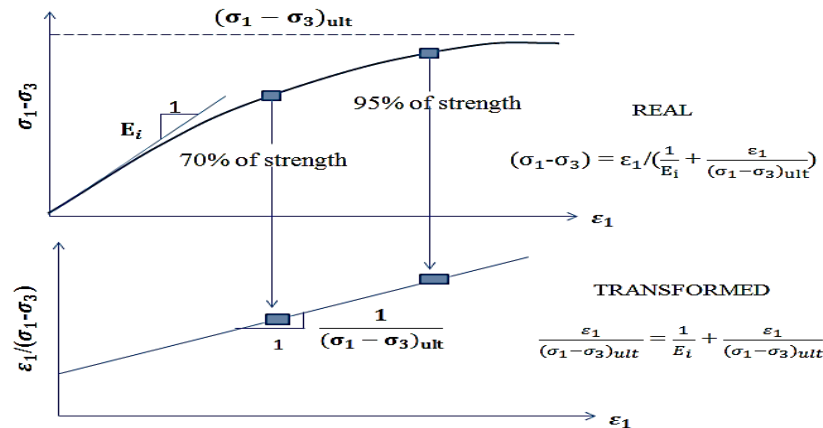
شکل ۱- نتایج آزمون های سه محوری (الف) تنش-کرنش، (ب) کرنش حجمی-محوری بتن پلاستیک سد سومبار با شرایط CD

۳. مشخصات مدل رفتاری

ارتباط تنش و کرنش خاک ها تحت شرایط بارگذاری، باربرداری و بارگذاری مجدد بسیار پیچیده می باشند. مدل دانکن و چانگ [۱] به عنوان یکی از مدل ها مناسب در بین قوانین تشکیل دهنده جهت توصیف رفتار یک المان خاک در سد خاکی در نظر گرفته می شود. این مدل براساس تحقیقات کندنر [۳-۶] توسعه یافته است. کندنر و زلاسکو [۵] نشان دادند که منحنی های تنش-کرنش برای یک تعداد از خاک ها را می توان با دقت قابل قبولی با مدل هذلولی تخمین زد. معادله تنش-کرنش مدل هذلولی برای خاک به صورت رابطه (۱) بیان می شود:

$$(\sigma_1 - \sigma_3) = \frac{\varepsilon_1}{\left(\frac{1}{E_i} + \frac{\varepsilon_1}{(\sigma_1 - \sigma_3)_{ult}}\right)} \quad (1)$$

که $(\sigma_1 - \sigma_3)$ تنش انحرافی، ε_1 کرنش محوری، E_i مدول مماسی اولیه و $(\sigma_1 - \sigma_3)_{ult}$ مقدار نهایی تنش انحرافی می باشد شکل (۲). انواع پارامترهای مدل هذلولی نیز در جدول (۱) ارائه گردیده است.



شکل ۲- نمودار هذلولوی یک منحنی تنش- کرنش [۵]

جدول ۱- خلاصه ای از پارامترهای مدل هذلولوی

تابع	نام	پارامتر
ارتباط E_i و E_{ur} با σ_r	عدد مدول	K, K_{ur}
	توان مدول	n
ارتباط σ_r با $(\sigma_1 - \sigma_r)_f$	چسبندگی	c
	پارامترهای زاویه اصطکاک	f, D_f
ارتباط $(\sigma_1 - \sigma_r)_{ult}$ با $(\sigma_1 - \sigma_r)_f$	نسبت گسیختگی	R_f
مقدار $\sigma_r = P_a$ در B/P_a	عدد مدول بالک	K_b
	توان مدول بالک	m
ارتباط σ_r و θ_1	پارامترهای ضریب پواسون	F, G, d

۱.۳ تعیین پارامترهای هذلولوی بتن پلاستیک

۱.۱.۳ تعیین پارامترهای E_i, R_f, K, n

دو مرحله جهت محاسبه پارامترهای مدول، K, R_f و n دخیل می باشند. ابتدا مقدار E_i را برای هر آزمون با توجه به داده های موجود در منحنی تنش- کرنش، در فضای $\epsilon_1 \sim \epsilon_1 / (\sigma_1 - \sigma_r)$ تعیین نموده و سپس در فضای لگاریتمی $(\sigma_r \sim E_i)$ مقدار K و n تعیین می گردد. شکل (۴) روند محاسبه E_i و $(\sigma_1 - \sigma_r)_{ult}$ را به طور خلاصه با استفاده از نتایج آزمون سه محوری نشان می دهد. بر اساس تجربیات انجام شده با چندین درصد منحنی های تنش- کرنش، دانکن [۷] جهت رسم منحنی در فضای $\epsilon_1 \sim \epsilon_1 / (\sigma_1 - \sigma_r)$ فقط دو نقطه ۷۰٪ و ۹۵٪ مقاومت را مطابق شکل (۲) پیشنهاد داد. مقدار E_i و $(\sigma_1 - \sigma_r)_{ult}$ به ترتیب معکوس عرض از مبدا و معکوس شیب خط می باشند. مقدار مجانب $(\sigma_1 - \sigma_r)_{ult}$ توسط فاکتور R_f با مقاومت فشاری $(\sigma_1 - \sigma_r)_f$ مطابق با رابطه (۲) در ارتباط می باشد.

$$(\sigma_1 - \sigma_r)_f = R_f \cdot (\sigma_1 - \sigma_r)_{ult} \quad (2)$$

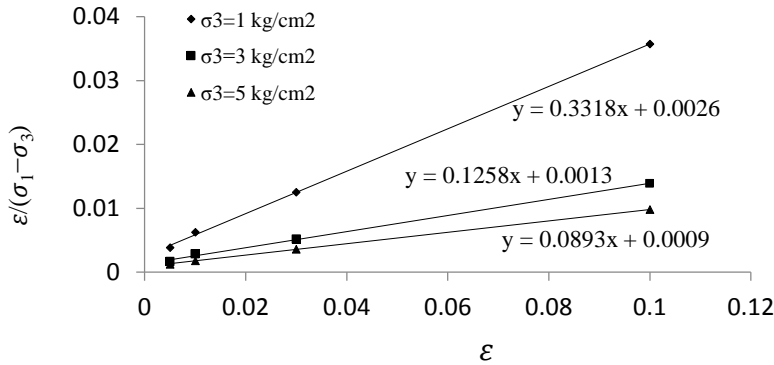
مطالعات تجربی توسط جانپو [۸] ارتباط بین E_i و σ_r را به صورت رابطه (۳) نشان داد:

$$E_i = K \cdot P_a \cdot (\sigma_r / P_a)^n \quad (3)$$

که در آن K عدد مدول، n توان مدول و P_a فشار اتمسفر می باشد.

به منظور محاسبه K و n ، نمودار $(\sigma_r/P_a \sim E_i/P_a)$ را در مقیاس لگاریتمی رسم نموده که مقدار K معادل با مقدار E_i/P_a در نقطه ای که σ_r/P_a مقدار واحد بوده و مقدار n نیز معادل با شیب خط می باشد.

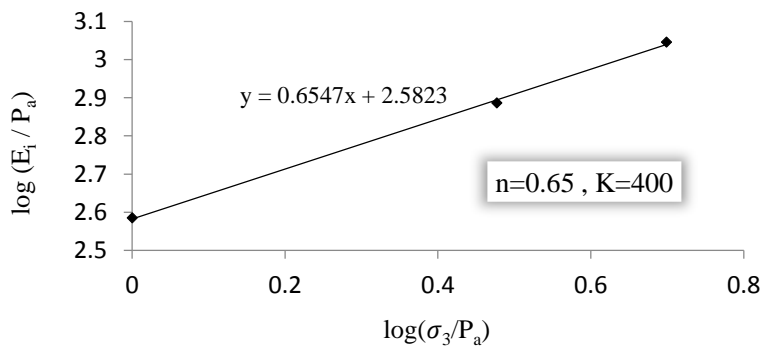
شکل (۳)، جدول (۲) و شکل (۴) روند محاسبه پارامترهای R_f ، K و n را برای بتن پلاستیک با شرایط CD نشان می دهند.



شکل ۳- روند محاسبه E_i و $(\sigma_1 - \sigma_3)_{ult}$ برای هر آزمون

جدول ۲- مقدار R_f برای هر آزمون

σ_r (kg/cm ^۲)	a	$E_i=1/a$ (kg/cm ^۲)	b	$(\sigma_1 - \sigma_r)_{ult}$ (kg/cm ^۲)	$(\sigma_1 - \sigma_r)_f$ (kg/cm ^۲)	R_f
۱	۰,۰۰۲۶	۳۸۵	۰,۳۳۱۸	۳,۰۱۴	۲,۸۸۳	۰,۹۵
۳	۰,۰۰۱۳	۷۷۰	۰,۱۲۵۸	۷,۹۵	۷,۵۴	۰,۹۴
۵	۰,۰۰۰۹	۱۱۱۱,۱۱	۰,۰۸۹۳	۱۱,۲	۱۰,۳۱	۰,۹۲



شکل ۴- مقادیر محاسبه شده n و K

در نهایت پارامترهای محاسبه شده مطابق جدول (۳) می باشند:

جدول ۳- پارامترهای R_f ، K و n محاسبه شده برای بتن پلاستیک با شرایط CD

R_f	K	n	مصالح
۰,۹۳	۴۰۰	۰,۶۵	بتن پلاستیک (CD)

۲.۱.۳ تعیین پارامترهای B ، K_b و m

پارامترهای B ، K_b و m پارامترهای مدول بالک نامیده می شوند، که با تغییر حجم خاک ناشی از تنش برشی، در ارتباط هستند. برای بتن پلاستیک با شرایط CD، این پارامترها به صورت زیر محاسبه شده اند.

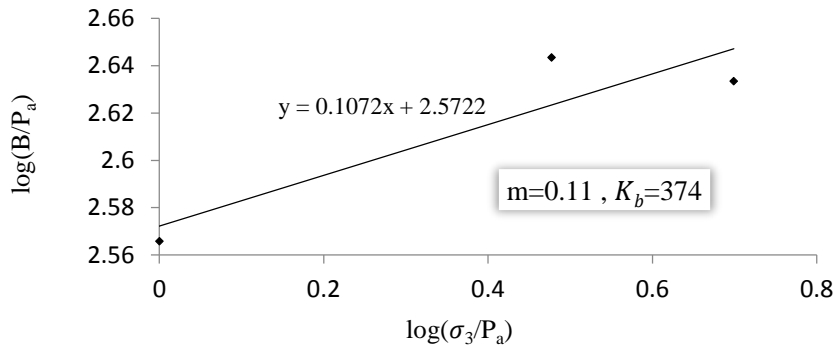
در ابتدا مقدار B برای هر آزمون تعیین شده و سپس این مقادیر B را در مقابل σ_3 در مقیاس لگاریتمی جهت تعیین مقادیر K_b و m رسم شده است. جهت تعیین مقدار B برای هر آزمون، دانکن و همکاران [۷] رابطه ی (۴) را پیشنهاد نموده است:

$$B = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{\varepsilon_p} \quad (4)$$

که $(\sigma_1 - \sigma_3) = 70\% * (\sigma_1 - \sigma_3)_f$ و ε_p کرنش حجمی متناظر با $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ می باشد. رابطه مقدار B با σ_3 را می توان به صورت معادله (۵) بیان نمود:

$$B = K_b \cdot P_a \cdot (\sigma_3 / P_a)^m \quad (5)$$

که در آن K_b عدد مدول بالک، m توان مدول بالک و P_a فشار اتمسفر می باشد. شکل (۵) روند محاسبه پارامترهای K_b و m را برای بتن پلاستیک با شرایط CD را نشان می دهد.



شکل ۵- روند محاسبه پارامترهای K_b و m را برای بتن پلاستیک با شرایط CD

در نهایت پارامترهای محاسبه شده مطابق جدول (۴) می باشند:

جدول ۴- پارامترهای K ، R_f و n محاسبه شده برای بتن پلاستیک با شرایط CD

K_b	m	مصالح
۳۷۴	۰,۱۱	بتن پلاستیک (CD)

۳.۱.۳ تعیین پارامترهای d ، f ، F و G

پارامترهای d ، f ، F و G ، پارامترهای ضریب پواسون هستند که جایگزینی برای پارامترهای مدول بالک K_b و m می باشند. به خوبی می دانیم که ضریب پواسون خاک، مشابه مدول بالک یا مدول الاستیسیته خاک تابعی از تغییرات کرنش و فشار محصورشدگی می باشد. کالهاوی و همکاران [۹] معادله ای (۶) را جهت بدست آوردن تغییرات ضریب پواسون با تنش، با استفاده از منحنی تغییرات حجمی آزمایش فشاری سه محوری توسعه دادند:

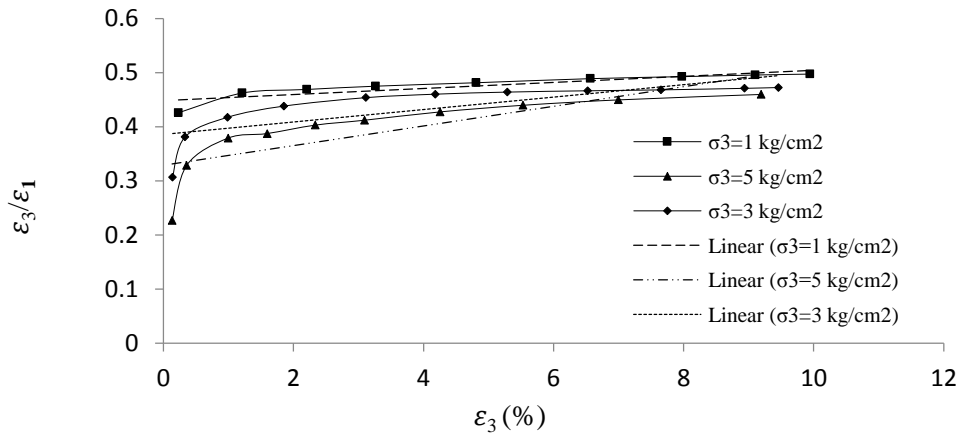
$$\vartheta_t = \frac{\delta \varepsilon_3}{\delta \varepsilon_1} \quad (6)$$

که ϑ_t ضریب پواسون مماسی، $\delta \varepsilon_3$ تغییرات کرنش اصلی کوچک و $\delta \varepsilon_1$ تغییرات کرنش اصلی بزرگ می باشند.

کالهای [۹] معادله ای هذلولی که بیانگر وابستگی کرنش و ضریب پواسون می باشد را به صورت رابطه (۷) پیشنهاد نمود:

$$\varepsilon_r / \varepsilon_1 = f + d \cdot \varepsilon_r \quad (7)$$

بنابراین، اگر نمودار $\varepsilon_r / \varepsilon_1$ در برابر ε_r رسم شود، پارامترهای f و d بدست می آیند. همانطور که در شکل (۶) مشاهده می شود داده های آزمایشگاهی با صرف نظر از مقادیر کرنش های بسیار کوچک می توان خطی را به عنوان تقریبی از معادله بالا در نظر گرفته که شیب آن مقدار d و عرض از مبدا مقدار f را می دهد. جدول (۵).



شکل ۶- پارامترهای f و d محاسبه شده برای بتن پلاستیک با شرایط CD

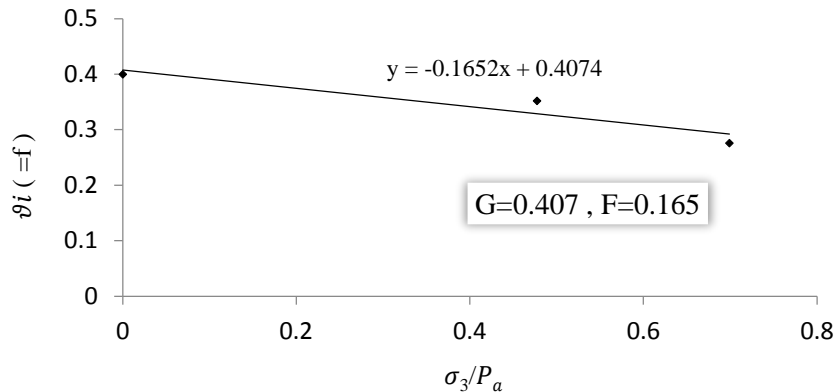
جدول ۵- مقادیر f و d برای هر آزمون

σ_r (kg/cm ^۲)	f	d
۱	۰.۴	۰.۰۱۳
۳	۰.۳۵۲	۰.۰۱۸
۵	۰.۲۷۶	۰.۰۲۸۶

تغییرات ضریب پواسون مماسی اولیه با فشار محصورشدگی را نیز به صورت معادله تجربی (۸) بیان می شود:

$$\nu_i = G - F \cdot \log(\sigma_r / P_a) \quad (8)$$

که ν_i معادل با f در رابطه (۷) بوده، G و F نیز پارامترهای ضریب پواسون می باشد. با رسم نمودار ν_i در برابر σ_r / P_a مطابق شکل (۸) می توان پارامترهای G و F را برای بتن پلاستیک محاسبه نمود.



شکل ۸- پارامترهای G و F حاسبه شده برای بتن پلاستیک با شرایط CD

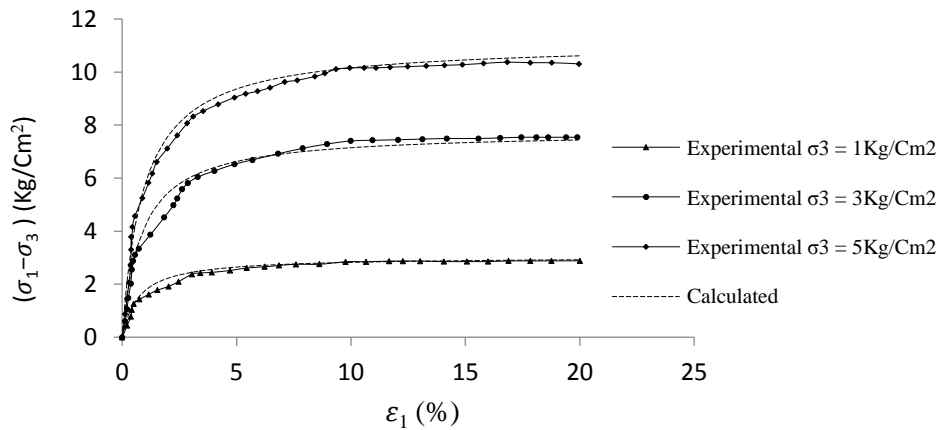
در نهایت پارامترهای محاسبه شده مطابق جدول (۶) می باشند:

جدول ۶- پارامترهای G، F و d محاسبه شده برای بتن پلاستیک با شرایط CD

F	G	d	مصلح
۰.۱۶۵	۰.۴۰۷	۰.۰۲	بتن پلاستیک (CD)

۴. شبیه سازی نتایج آزمایش سه محوری با مدل غیر خطی هذلولی

همانطور که در ابتدا اشاره شد کندر و زلاسکو [۵] نشان دادند که منحنی های تنش- کرنش غیرخطی خاک ها را می توان توسط تابع هذلولی با دقت بالایی تخمین زد، که معادله (۱) توسط آن ها پیشنهاد گردید، با توجه به این معادله و نتایج آزمایش سه محوری بتن پلاستیک و همچنین پارامترهای بدست آمده مطابق جداول فوق برای تنش های همه جانبه مختلف، نتیجه شبیه سازی تنش- کرنش آزمایش سه محوری بتن پلاستیک با مدل غیرخطی هذلولی به صورت شکل (۹) بدست آمد که نشان از دقت بالای این مدل برای این بتن پلاستیک می باشد.



شکل ۹- نتایج آزمایش های سه محوری انجام شده و مدل سازی شده بتن پلاستیک در شرایط CD

۵. نتیجه گیری

تمرکز اصلی این تحقیق بر ارائه رویکرد برای شبیه سازی رفتار بتن پلاستیک توسط یک مدل رفتاری غیرخطی خاک بوده است. در این شبیه سازی از مدل غیرخطی هذلولی استفاده شده است که با توجه به نتایج بدست آمده اگرچه این مدل برای خاک ها توسعه یافته است ولی می تواند با دقت مناسبی جهت پیش بینی رفتار بتن پلاستیک مورد استفاده قرار گیرد؛ نتایج شبیه سازی تنش- کرنش آزمایش های سه محوری بتن پلاستیک با مدل غیرخطی هذلولی بیانگر کارایی این مدل برای این بتن پلاستیک می باشد. شکل (۹).



نهمین کنگره ملی مهندسی عمران، ۲۱ و ۲۲ اردیبهشت ماه ۱۳۹۵
دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران



۶. مراجع

۱. Duncan, J.M. and C.-Y. Chang, "Nonlinear analysis of stress and strain in soils." Journal of the soil mechanics and foundations division, ۱۹۷۰. ۹۶(۵): p. ۱۶۲۹-۱۶۵۳.
۲. وزارت راه و شهرسازی، شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک، اداره کل استان تهران ۱۳۸۸. سه محوری CD
۳. Kondner, R.L., "Hyperbolic stress-strain response: cohesive soils." Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ۱۹۶۳. ۸۹(۱): p. ۱۱۵-۱۴۴.
۴. Kondner, R.L., "A hyperbolic stress-strain formulation for sands." ۱۹۶۳: Northwestern University.
۵. Kondner, R.L. and J.S. Zelasko, "Void ratio effects on the hyperbolic stress-strain response of sand." Laboratory shear testing of soils, ۱۹۶۳.
۶. Kondner, R. and J. Horner, "Triaxial Compression of a Cohesive Soil with Effective Octahedral Normal Stress Control." Canadian Geotechnical Journal, ۱۹۶۵. ۲(۱): p. ۴۰-۵۲.
۷. Duncan, J.M., K.S. Wong, and P. Mabry, "Strength, stress-strain and bulk modulus parameters for finite element analyses of stresses and movements in soil masses," in Geotechnical engineering. ۱۹۸۰, University of California.
۸. Jambu, N." Soil compressibility as determined by oedometer and triaxial test." in European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. ۱۹۶۳.
۹. Kulhawy, F.H., J.M. Duncan, and H.B. Seed, "Finite Element Analyses of Stresses and Movements in Embankments During Construction." ۱۹۶۹, DTIC Document.