



کد مقاله: ۱۵۸-۲

افزایش مقاومت خاک با استفاده از خاکستر الیاف

غلامرضا هوایی^۱، رضا زارع^۲

۱- عضو هیأت علمی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران، havaei@aut.ac.ir

۲- کارشناس ارشد مهندسی عمران

چکیده

یکی از نگرانی موجود در مناطق جنوبی و ساحلی کشورمان ناچیز بودن مقاومت خاک های سست و اغلب ماسه ای برای بارگذاری های سازه ای و ساختمانی در این مناطق است. به دلیل دسترسی به زائدات محصولات ناشی از نخیلات میتوان از خاکستر الیاف آن برای افزایش مقاومت این نوع خاک ها بهره جست. در این پژوهش تأثیر متغیرهایی مانند درصد وزنی (نسبت وزن خاکستر به وزن خشک خاک) در بهبود باربری خاک در آزمایش UCS و CBR مورد مطالعه آزمایشگاهی قرار گرفت. نتایج نشان داد که افزودن خاکسترالیاف نخل به خاک ماسه‌ای مقاومت باربری خاک را بطور چشمگیرافزایش می‌دهد. این افزایش در مقایسه با سایر افزودنی های متداول جهت افزایش مقاومت خاک چشمگیر و از طرفی دارای ارزش اقتصادی است.

کلمات کلیدی: بهسازی خاک، خاکستر الیاف نخل، باربری خاک مسلح

۱. مقدمه

امروزه برای جبران ضعف‌های خاک، روش های مسلح کردن خاک مانند افزودن الیاف که باعث بهبود قابل توجه در مقاومت، ظرفیت باربری و شکل پذیری خاک می شود کاربرد دارند. افزودن الیاف گوناگون همچون کاه جو و کنف [8]، باعث افزایش مقاومت برشی خاک در بهینه‌ترین رطوبت می شوند و نشست ناگهانی خاک‌های منبسط شونده را به طور قابل توجهی کاهش می دهند [8]. اما کاه جو در آب و هوای معتدل مانند شمال ایران و مناطق سردسیر کاشت می شود و کاشت آن در استان بوشهر مقرون به صرفه نیست. بنابراین برای اصلاح و تقویت خواص مهندسی خاک در بنادر استان بوشهر پژوهش بر روی کاربرد مازاد باغبانی و کشاورزی و محصولات بومی استان به عنوان الیاف طبیعی ضرورت دارد. از طرفی وجود لایه‌های خاک ریزدانه تحکیم‌پذیر شامل SM و CL و SP در لایه‌های فوقانی و تحتانی، وجود لایه‌های پنهان لجنی، لایه‌های ماسه‌ای روانگرا و لایه‌های خاک حل‌شونده در خاک استان بوشهر، مهندسان را با پیچیدگی‌ها و چالش‌ها و ضعف‌های ژئوتکنیکی زیادی روبرو کرده است.

استان بوشهر بعد از سیستان و بلوچستان با داشتن مقام دوم کشوری در زمینه دارا بودن سطح زیر کشت خرما، معادل بیش از ۴۰ هزار هکتار نخلستان دارد. سالانه بیش از ۷۵ هزار تن ضایعات از این تعداد نخل در این استان تولید و هرس می شود. استفاده از الیاف گیاهی در تولید محصولات مختلف توجه محققان زیادی را به خود جلب کرده است [12]. الیاف گیاهی نسبت به الیاف صنعتی ارزان بوده، بهتر در

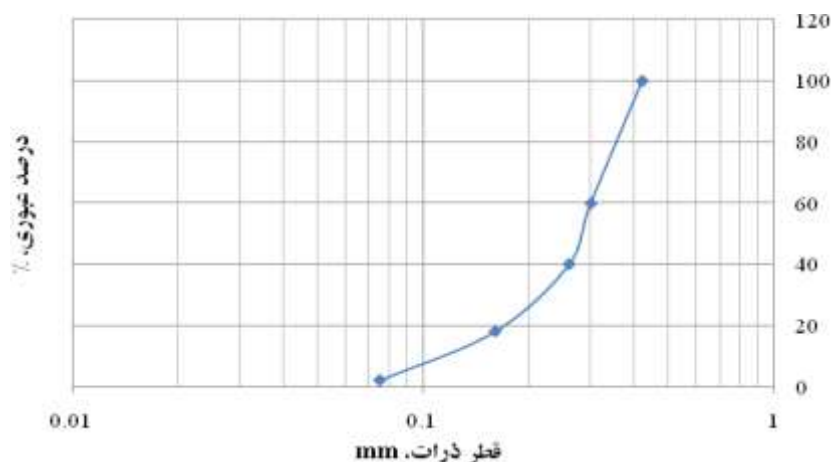
طبیعت تجزیه شده و آلاینده‌گی کمتری در محیط زیست ایجاد می‌کنند [2]. مرنندی و دیگر پژوهشگران [1] ثابت کرده‌اند مقاومت بالای الیاف نخل در برابر تنش‌های کششی می‌تواند ضعف خاک در برش را جبران کند [5]. برگ‌های مسن وقتی که شروع به خشک شدن می‌کنند از درخت خرما هرس و قطع می‌شوند. از سوختن مواد زاید کشاورزی مانند برگ نخل که متشکل از فیبر، مواد معدنی مثل اکسید آهن (Fe_2O_3)، اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) و مواد دیگری مثل سلولز، سیلیس، پروتئین و چربی و ... هستند، خاکستری تولید می‌شود که حاوی سیلیس است که درصد تشکیل آن بسته به شرایط سوختن مانند درجه حرارت دارد [9]. این خاکستر در آزمایشگاه مورد آزمایش قرار گرفت و مشاهده شد سیلیس و یون کلسیم موجود در خاکستر برگ نخل در واکنش با آهک، خمیری چسبنده به نام سیلیکات کلسیم مطابق رابطه ۱ تشکیل می‌دهد.



محصول این واکنش در بهبود مشخصات و مقاومت توده خاک تاثیر عمده‌ای دارد. سطح خاکستر تهیه شده از درخت خرما زبر بوده و اصطکاک مناسبی با دانه‌های خاک ریزدانه ایجاد می‌کند. پوشاندن و مخلوط کردن خاکستر با آهک، اصطکاک و چسبندگی این الیاف با دانه‌های خاک را افزایش داد. مقاومت کششی بالای الیاف گیاه یکی از بارزترین خصوصیت الیاف است که منجر به افزایش مقاومت باربری مخلوط‌های خاک می‌شود. زارع و همکاران [11] گزارش کردند که با افزودن رزین به الیاف ساخته شده از درخت خرما نیروی کششی ۱۷۲ نیوتنی در آزمایش کشش به ۴۰۰ نیوتن افزایش پیدا کرد. با داشتن دسترسی گسترده به پسماند کشاورزی و باغبانی با هزینه بسیار کم، استفاده از خاکستر الیاف نخل برای مسلح کردن خاک‌های مشکل‌دار استان بوشهر توصیه می‌شود. افزودن آهک و خاکستر بادی برای افزایش مقاومت خاک اثبات شده است [10] اما خاکستر برگ نخل به این مخلوط اضافه نشده است. در این پژوهش تأثیر افزودن مخلوط خاکستر الیاف نخل و آهک بر مقاومت برشی خاک توسط دو آزمایش CBR و UCT تحقیق شد.

۲. آماده کردن نمونه

نمونه‌های خاک از شهرستان گناوه و حاشیه ساحلی انتخاب شده‌اند. منحنی دانه‌بندی آن که مطابق استاندارد ASTM(D422-87) می‌باشد در شکل ۱ آمده است. این خاک فاقد خواص خمیری بوده و طبق طبقه‌بندی متحد از نوع SP می‌باشد.



شکل ۱- منحنی دانه بندی خاک مورد آزمایش

برگ نخل نیز از نخل های شهرستان گناوه هرس شد و از گرد و غبار و مواد زاید شسته و تا رسیدن به درصد رطوبت مطلوب (حدود ۲۰ درصد یا کمتر بر پایه مرطوب) در مقابل آفتاب خشک شد (شکل ۲). چنانچه برگ تازه از درخت هرس شده خشک نشود، برای سوختن مقدار بسیار زیادی حرارت نیاز دارد که مقرون به صرفه نیست.



شکل ۲- خشک کردن برگ نخل

وزن اولیه برگ خشک برای مقایسه با وزن خاکستر بدست آمده اندازه گیری شد. برای تبدیل الیاف به خاکستر در کوره به برنامه ریزی دمایی نیاز است. الیاف خشک باید در کوره با دمای ۵۰۰ درجه سانتی گراد به مدت ۳ ساعت تبدیل به خاکستر شود. اگر دمای سوختن زیر ۵۰۰ یا بالای ۶۵۰ درجه سانتی گراد باشد، باعث بوجود آمدن سیلیسهای بی شکل و غیربلوری می شود. و از طرفی در دماهای بالاتر، هوا (اکسیژن) کافی برای سوختن کامل پوسته و تولید خاکستر با کارایی مناسب در محیط وجود نخواهد داشت و نیز تخلیه گازهای مزاحم تولید شده در شرایط سخت تری انجام می شود. اگر در زمان سوختن هوای کافی در محل وجود نداشته باشد، رنگ خاکستر تیره تر می شود و حتی ممکن است آتش خفه شود و چوب تبدیل به زغال شود. دلیل دیگری برای رساندن هوای تازه حاوی اکسیژن بجای دی اکسید کربن تولید شده از سوختن الیاف به کوره سوختن الیاف نخل این است که ته نشینی سیلیس و بلوری شدن آنرا تنظیم نماید. کوره هایی که دارای مجاری تهویه (ورود اکسیژن و خروج دی اکسید کربن و سایر گازهای اضافی) باشند، که سرد شدن آرام و اصولی خاکستر را در پی داشته باشند، برای تولید خاکستر از الیاف نخل مناسبند. اگر کوره شامل راه منفذی برای ورود هوای لازم و منفذی دیگر برای تخلیه گازهای متصاعد شده باشد این گازها می توانند تبدیل به اسید استیک و استون شوند و حتی بخارهای متصاعد از سوختن برگ نخل نیز به هدر نرود. در این تحقیق به دلیل در دسترس نبودن کوره مناسب، خاکستر در محوطه آزاد تولید شد. الیاف در محوطه مقابل آفتاب مرداد ماه بندرگناوه کاملاً خشک و سپس بر روی صفحه فلزی در حضور نسیم ملایم بعد از ظهر مرداد ماه سوزانده شد (شکل ۳).



شکل ۳- سوزاندن برگ نخل در محوطه به منظور تهیه خاکستر

پس از ۵ ساعت خاکستر بدست آمد (شکل ۴) که بعد از سرد شدن وزن آن اندازه‌گیری و سپس در ظرف در بسته نگه داری شد. به ازای ۱۶۸۵ گرم برگ خشک نخل ۱۳۴/۸۲ گرم (۸ درصد وزنی) خاکستر بدست آمده که نشان می‌دهد در صورت حمایت از این طرح و تهیه خاکستر در کوره های صنعتی، مازاد باغبانی نخلستان های استان قابلیت تولید چندین تن خاکستر به صورت سالانه را دارا می باشند.



شکل ۴- خاکستر الیاف نخل

۳. خاکستر الیاف نخل

ساختار شیمیایی برگ نخل به حالت سبز، خشک و خاکستر با استفاده از دستگاه XRF توسط صنعتی و همکاران [2] مورد مطالعه قرار گرفته است. برگ خشک نسبت به برگ سبز نخل درصد بالاتری سیلیس (SiO_2) دارد. همچنین ۶۱٪ خاکستر برگ نخل را سیلیس تشکیل می‌دهد [2] (جدول ۲). که در برابر خاکستر پوسته برنج که ۸۶ درصد سیلیس دارد قابل توجه است [4].

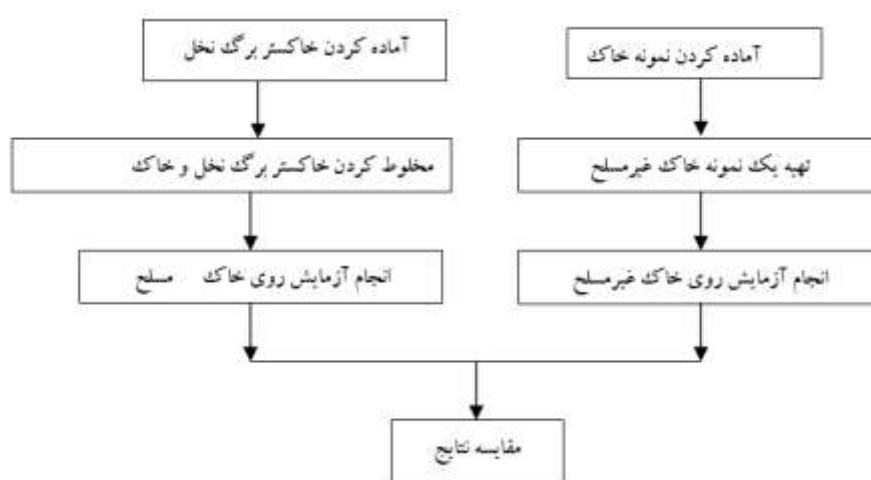
جدول ۲- ساختار شیمیایی برگ سبز، خشک و خاکستر برگ نخل بر حسب درصد [12]

SO ₃	Cl	LOI	TiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	
۰/۰۶	۰/۰۸	۹۳/۰۶	۰/۰۱	۰/۲۲	۰/۴۸	۰/۰۴	۰/۹۲	۰/۳۶	۰/۰۶	۰/۱۹	۳/۷	برگ سبز
۰/۰۷	۰/۰۲	۹۱/۷۱	۰	۰/۱۸	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۹۲	۰/۲۶	۰/۰۶	۰/۱۶	۵/۸۹	برگ خشک
۸/۹۴	۰/۳۶	۱۱/۳۶	۰	۰/۸۴	۶/۴۱	۰/۱۲	۷/۵۷	۲/۰۷	۰/۴۰	۰/۶۳	۶۱/۱۸	خاکستر

بالا بودن میزان سیلیس در خاکستر برگ نخل می‌تواند موجب استحکام توده خاک شود. همچنین مطالعه خصوصیات فیزیکی سطح خاکستر برگ نخل با استفاده از تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) نسبت سطح به حجم و خلل و فرج زیادی را در خاکستر برگ نخل نشان می‌دهد که این خلل و فرج موجب پیوستگی مولکولی مناسب خاکستر برگ نخل با سطح خاک ماسه‌ای و انتقال تنش برشی از خاک به خاکستر می‌شود.

۴. روش انجام آزمایش

برای تعیین تأثیر افزودن الیاف به خاک ماسه‌ای در این تحقیق مطابق فلوجارت موجود در شکل ۵ عمل شد.



شکل ۵- روش تحقیق

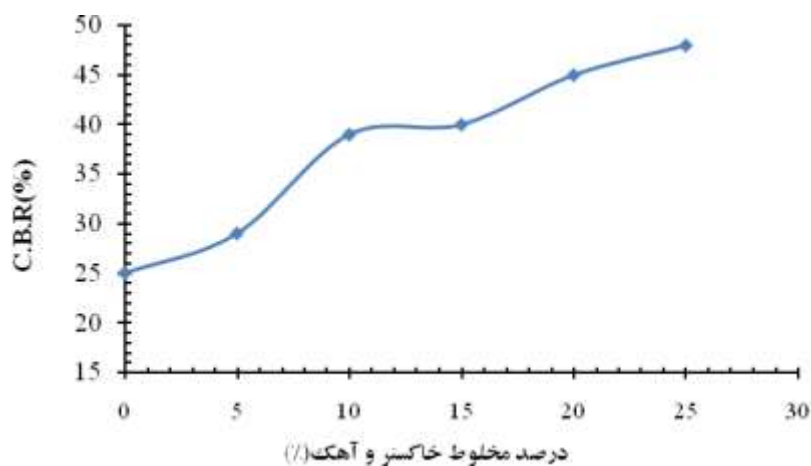
آهک از فروشگاه‌های محلی تهیه شده و به نسبت ۵ درصد وزن اولیه خاک به مخلوط افزوده شد تا چسبندگی مخلوط با خاک حین تراکم تأمین شود. آهک به صورت شکفته مصرف شد تا رطوبت خاک باعث شکفته شدن آهک حین آزمایش بارگذاری نشود. اختلاط خاکستر، آهک و خاک تا زمانی که یکنواختی قابل قبولی بدست آید، ادامه داشت.

برای تحقیق در مورد تأثیر درصدهای مختلف مخلوط خاکستر الیاف نخل و آهک بر مقاومت باربری خاک، آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا مطابق استاندارد ASTM D 1883 انجام شد. شش نمونه که هرکدام شامل نمونه خاک مخلوط شده با ۰، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵

درصد وزنی از مخلوط خاکستر الیاف نخل و آهک با درصد ثابت ۵ درصد آهک شکفته بود، مورد آزمایش قرار گرفت. نمونه کاملاً یکنواخت به صورت دستی مخلوط شده و در لایه‌های ۵ سانتی‌متری به صورت دستی متراکم شد. رطوبت بهینه نمونه حین تراکم ۱۲ درصد بود. نتایج آزمایش ضریب باربری کالیفرنیا در جدول ۳ و شکل ۶ ارائه شده است. نتایج نشان داد چنانچه درصد مخلوط خاکستر و آهک به وزن اولیه خاک بیشتر از ۲۰ درصد باشد بهبود نتایج آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا کمتر شد. افزودن ۱۰ درصد مخلوط خاکستر و آهک نسبت به نمونه بدون مسلح کننده ۵۶ درصد افزایش در CBR نشان داد. بهبود ضریب باربری کالیفرنیا با افزودن ۲۵ درصد مخلوط خاکستر و آهک به ۹۲ درصد رسید.

جدول ۳- نتایج آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا (CBR)

درصد مخلوط خاکستر و آهک	CBR(%)
۰	۲۵
۵	۲۹
۱۰	۳۹
۱۵	۴۰
۲۰	۴۵
۲۵	۴۸

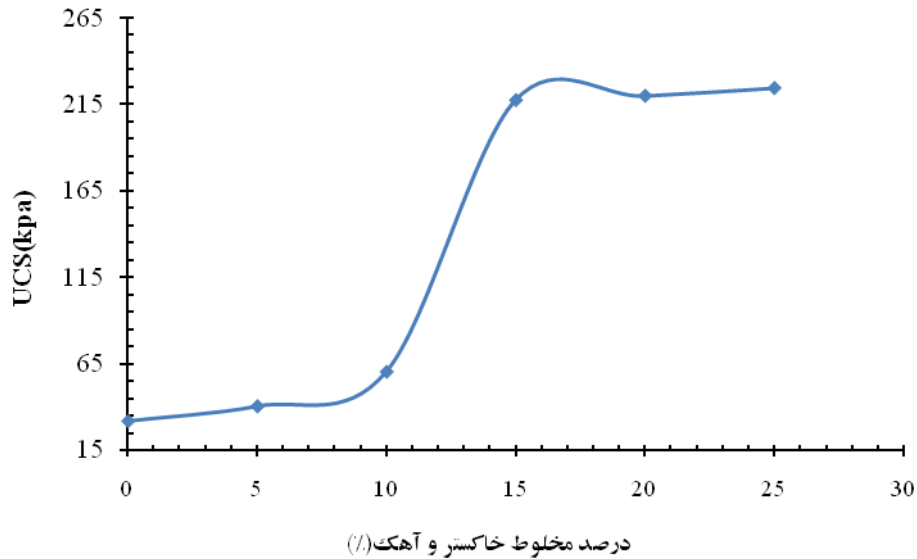


شکل ۶- نمودار نسبت باربری کالیفرنیا (CBR) برای نمونه هایی با درصدهای متفاوت مخلوط خاکستر و آهک

همچنین آزمایش مقاومت برشی زهکشی نشده (UCS) مطابق استاندارد ASTM D 2166 بر روی نمونه های با ۰، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد مخلوط خاکستر برگ نخل و آهک انجام شد و نتایج مطابق جدول ۴ و نمودار شکل ۷ ارائه شده است. مطابق جدول ۴ افزودن تنها ۱۰ درصد مخلوط خاکستر برگ نخل و آهک به نمونه خاک مورد آزمایش ۹۱ درصد بهبود در خاک مورد آزمایش را نتیجه می دهد.

جدول ۴- نتایج آزمایش مقاومت برشی زهکشی نشده (UCS)

درصد مخلوط خاکستر و آهک	UCS(kpa)
۰	۳۱/۴
۵	۴۰
۱۰	۶۰
۱۵	۲۱۷/۵
۲۰	۲۲۰
۲۵	۲۲۴/۵



شکل ۷- نمودار مقاومت فشاری زهکشی نشده (UCT) برای نمونه هایی با درصدهای متفاوت مخلوط مسلح کننده خاک

افزودن خاکستر پوسته برنج از ۰ تا ۲۵ درصد باعث افزایش مقاومت برشی زهکشی نشده تا ۱۰۶ درصد می شود [2] درحالی که افزودن ۲۵ درصد خاکستر برگ نخل و ۵ درصد آهک به خاک ماسه ای باعث افزایش چشمگیر ۶۰۰ درصد مقاومت برشی می شود و افزودن تنها ۱۰ درصد خاکستر برگ نخل و ۵ درصد آهک ۹۱ درصد بهبود مقاومت برشی خاک را نتیجه می دهد.

۵. نتیجه گیری

نتایج ارائه شده در این پژوهش را می توان به صورت زیر خلاصه نمود:

- افزودن ۱۰ درصد مخلوط خاکستر برگ نخل و آهک برای تسلیح خاک ماسه ای منجر به افزایش ۹۱ درصدی مقاومت برشی خاک می شود که نسبت به الیاف کنف که ۴۷ درصد می باشد، قابل توجه است.

- پس از افزودن ۲۵ درصد از مخلوط خاکستر برگ نخل و آهک به خاک ماسه ای روند افزایش مقاومت برشی کند می شود و مقدار بهینه ۱۰ درصد توسط نویسندگان این مقاله پیشنهاد می شود.
- مقدار بهینه اضافه کردن خاکستر پوسته برنج برای مسلح کردن خاک ۱۵-۲۰ درصد می باشد درحالی که این مقدار بهینه با ۱۰ درصد خاکستر برگ نخل و ۵ درصد وزنی خاک خشک آهک شکفته به دست می آید.

۶. مراجع

1. Alwar, A. and Hamed, A.M. and Khalifa A.i. (2009) ,“ Characterization of treated date palm tree fiber as composite reinforcement,” *Composites: PartB*, 40, 601-606.
2. Amin Esmaeil Ramaji. (2012) ,“A Review on the Soil Stabilization Using Low-Cost Methods”. *Journal of Applied Sciences Research*,” 8(4): 2193-2196.
3. Chacko, A. and Nikhil Roy, N. and Poweth, M.J. (2014) ,“ Effect of Rice Husk on Soil Properties”. *International Journal of Engineering Research and Development*,” Volume 9, Issue 11. PP.44-49.
4. Koteswara Rao, D. and Rameswara Rao, G.V.V. and Pranav, P.R.T.(2012) ,“A Laboratory Study on the Affect of Rice Husk Ash & Lime on the Properties of Marine Clay,” *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*. Volume 2, Issue 1.
5. Marandi, S.M. and Bagheripour, M.H. and Rahgozar, R. and Zare, H. (2008) ,“Strength and Ductility of Randomly Distributed Palm Fibers Reinforced Silty-Sand Soils,” *American Journal of Applied Sciences* 5 (3): 209-220.
6. Sabat, A.k. and Pati, S. Mohapatro, B.G. (2010) ,“Effect of Fiber on Properties of Rice Husk Ash – Lime Stabilised Soil,” *Indian Geotechnical Conference – Bombay*.
۷. اسماعیلی، ع. قلعه نوی، م. (۱۳۹۱). " اثر الیاف نخل خرما و آهک، به عنوان تثبیت کننده طبیعی بر خصوصیات مکانیکی خشت (در شرایط محیطی با ۳۵ درصد رطوبت". فصل نامه مسکن و محیط روستا. دوره ۳۱. شماره ۱۳۸
۸. اخوت، ن. حسینی، ر. ابطحی، م. حجازی، م. (۱۳۸۹). "اصلاح رفتار مقاومتی خاک با استفاده از الیاف طبیعی". پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد.
۹. زارع، الف. غضنفری مقدم، الف. (۱۳۹۰). " بررسی توزیع تنش و کرنش در الیاف خرما با استفاده از روش اجزاء محدود". دو فصلنامه مهندسی بیوسیستم ایران ، سال چهل و دوم.
۱۰. بررسی توزیع تنش و کرنش در الیاف خرما با استفاده از روش اجزاء محدود، اعظم زارع میرک آباد، احمد غضنفری مقدم، دو فصلنامه مهندسی بیوسیستم ایران ، سال چهل و دوم، شماره ۲ تهیه گلدانهای کامپوزیتی با الیاف خرما و بررسی برخی از خصوصیات آنها
۱۱. داوودی، م. (۱۳۹۱). افزایش مقاومت خاک با استفاده از مخلوط آهک و خاکستر بادی، محمد هادی داوودی، وزارت جهاد کشاورزی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران.

۱۲. زارع، ح. غضنفری مقدم، الف. هاشمی پور رفسنجانی، ح. (۱۳۸۹). " بررسی برخی مشخصه های زیست کامپوزیت های تهیه شده از الیاف نخل های خرما ی خالص سازی شده به روش شیمیایی ". مجله علوم و تکنولوژی پلیمر، سال بیست و سوم. صفحه ۴۶۷-۴۷۴
۱۳. صنعتی، ع. بهرامی فر، ن. مهربان، ز. یونسی ی. (۱۳۹۳). " حذف سرب از محلول های آبی با استفاده از خاکستر برگ نخل در سیستم جذب ناپیوسته. " مهندسی مشاور طرح و تحقیقات آب و فاضلاب. تهران.
۱۴. عمرانی فرد، ح. غضنفری مقدم، الف. یوسفی انصاری، م. (۱۳۹۳). " بررسی خصوصیات مکانیکی و تجزیه پذیری بیوپلاستیک تهیه شده از سلولز کاه و الیاف خرما. " نشریه ماشین های کشاورزی. دانشگاه فردوسی مشهد. مشهد.
۱۵. میرک آباد، الف. غضنفری مقدم، الف. (۱۳۹۰). " بررسی توزیع تنش و کرنش در الیاف خرما با استفاده از روش اجزاء محدود ". مجله مهندسی بیوسیستم ایران.
۱۶. نادری، م.ب. بازاریار، م.ح. روشن ضمیر، م.ع. (۱۳۹۰). " بررسی اثرات الیاف و چسبهای پلیمری روی خواص مکانیکی خاک ". ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان.