

بررسی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی گلدان تجدیدپذیر و شبیه‌سازی رفتار آن با نرم‌افزار ANSYS

مهدی کاکائی^۱ و حسین حاجی آقاعلیزاده^{۲*}

چکیده

در کشورهای در حال توسعه، نشاکاری به صورت سنتی یکی از روش‌های مرسوم در سطح مزرعه است. در این روش به دلیل آلودگی زیست‌محیطی به جا مانده از سینی‌های پلاستیکی موجب تخریب ساختمان و بافت خاک می‌شود به همین دلیل امروزه از یک روش جایگزین، بنام گلدان‌های تجزیه‌پذیر استفاده می‌کنند. در این تحقیق خصوصیات دو نوع گلدان تجدیدپذیر با استفاده از دستگاه آزمون فشار با سه سطح رطوبتی و در سه تکرار بررسی گردید. هدف کلی، معرفی بهترین گلدان برای کاشت نشاء در دستگاه هوشمند جهت توسعه دانش فنی و افزایش بهره‌وری کاشت با کم‌ترین ضایعات در سطح مزارع ایران است. نتایج نشان داد نوع گلدان، برای شاخص‌های چگالی، تنش نهایی و تسلیم، جابجایی در تنش نهایی و تسلیم در سطح ۵ درصد و زمان جذب آب، برای شاخص‌های چگالی، رطوبت، تنش نهایی و تسلیم، جابجایی در تنش نهایی و تسلیم و ضخامت گلدان در سطح ۱ درصد معنادار است. همچنین نتیجه آزمون شبیه‌سازی گلدان تجدیدپذیر استوانه مخروطی ناقص و هرم مربعی شکل با استفاده از نرم‌افزار ANSYS با داده‌های آزمایشگاهی به ترتیب ضریب تبیین ۸۸ و ۹۱ درصد را نشان داد. با توجه به پژوهش حاضر بهترین گزینه برای استفاده در دستگاه نشاکار هوشمند جهت کاشت، نمونه گلدان استوانه مخروطی ناقص در محتوی رطوبتی اولیه و مدت زمان ۳۰ دقیقه جذب آب است.

واژه‌های کلیدی: خصوصیات فیزیکی و مکانیکی، شبیه‌سازی، کشاورزی پایدار، گلدان تجدیدپذیر، نرم‌افزار ANSYS.

ارجاع: کاکائی م. و حاجی آقاعلیزاده ح. ۱۴۰۳. بررسی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی گلدان تجدیدپذیر و شبیه‌سازی رفتار آن با نرم‌افزار ANSYS. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۳۳: ۵۳-۶۳. <https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2024.14766.709>

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی بیو سیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.
۲- دانشیار گروه مهندسی بیو سیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

* نویسنده مسئول: h-alizade@basu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۷

مقدمه

نشاکاری یکی از روش‌های متداول کاشت گیاه در سطح مزرعه و گلخانه است که ابتدا بذر در محیط نسبتاً پایش شده‌ای در سینی‌های پلاستیکی مشبک کاشته می‌شود و بعد از جوانه‌زنی و در مرحله چهار و شش برگی از سینی نشاء برداشته‌شده به زمین اصلی منتقل می‌گردد. هدف اصلی کاشت نشاء در گلخانه، تولید سالم آن با هزینه پایین در تمام طول سال و محافظت در برابر بیماری‌ها و آفات است (An et al., 2021). سینی پلاستیکی یکی از فرآورده‌های صنعت پتروشیمی به‌طور گسترده در کشاورزی گلخانه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. استفاده از آن؛ موجب انباشت زباله‌های پلاستیکی و مشکلات زیست‌محیطی بر روی سطح زمین کشاورزی می‌شود، زیرا دفن زباله در محل‌های مناسب برای تجزیه، بیش از ۲۰ سال طول می‌کشد و از طرفی جمع‌آوری سینی‌های پلاستیکی هزینه‌بر بوده و سوزاندن غیرمجاز آن، مواد سمی را در فضای آزاد اطراف گلخانه و روی سطح خاک پخش می‌کند که بر روی رشد گیاه تأثیر منفی دارد. از طرف دیگر ریشه‌های نشاء به دور دیواره داخلی سینی پلاستیکی می‌پیچد و در رشد سلامت و بقای نشاء هنگام انتقال به زمین می‌کاهد (Im et al., 2020). گلدان‌های تجدیدپذیر تولیدشده از ضایعات کشاورزی به‌عنوان روش جایگزین برای سینی‌های پلاستیکی در اواسط دهه ۵۰ میلادی معرفی شد. دیواره این سینی‌ها به ریشه گیاهان اجازه نفوذ و جذب مواد مغذی می‌دهد و از طرف دیگر نشاء به همراه گلدان تجدیدپذیر پس از انتقال به زمین اصلی بدون هیچ‌گونه آسیب و تنش به رشد طبیعی خود ادامه می‌دهد (Gholami & Gholami, 2019).

مطالعات مختلفی در مورد مواد و طرح‌ها بر روی تولید گلدان‌های تجدیدپذیر انجام شده است. در مطالعات اخیر برای کاهش وزن گلدان‌های ساخته‌شده از مواد زیستی و ضایعات موز با نسبت ترکیبات مختلف مواد لیگنوسلولزی (۳۰ تا ۵۰ درصد) و پوست موز (۵۰ تا ۷۰ درصد) استفاده شد. نتایج نشان داد ترکیب زیست گلدان با نسبت ۳۰ درصد مواد لیگنوسلولزی و ۷۰ درصد پوست موز تأثیر قابل‌توجهی بر روی کاهش وزن دارد و از طرفی پوست موز با توجه به فعالیت میکروبی پس از ۶۰ روز امکان تجزیه کامل گلدان را فراهم می‌کند (Rafee et al., 2019). در یک تحقیق دیگر برای تولید گلدان زیست

تجدیدپذیری از پودر ساقه کاساوا، الیاف نارگیل و چسب تاپیوکا در سه سطح تیمار به ترتیب، ساقه گیاه کاساوا (۶۰-۵۰-۵۰ درصد)، الیاف نارگیل (۱۰-۱۰-۲۰ درصد)، چسب (۳۰-۴۰-۳۰ درصد) استفاده شد. نتایج نشان داد، ریشه گیاه در آزمایش کاشت گلدان‌های ارگانیک به‌خوبی نفوذ می‌کند و پس از ۲۳ روز کاملاً تجزیه می‌شود (Asmara et al., 2021). ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و مزرعه‌ای یک نمونه گلدان زیست‌تخریب‌پذیر با استفاده از ضایعات گوجه‌فرنگی و شاهدانه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که به دلیل استفاده از کلسیم در بافت گلدان، مقاومت و چسبندگی آن افزایش یافت. پس از ۱۴ روز گیاه کاشته شده رشد خوبی داشت و گلدان‌ها با سطوح تراکم یکسان در این مدت زمان سپری شده به‌طور کامل در خاک همگن شدند (Schettini et al., 2013). خواص فیزیکی و مکانیکی گلدان‌های زیستی تولیدشده با استفاده از ضایعات لیگنوسلولزی (روزنامه، کاغذ و خمیر مقوا) و تقویت‌کننده‌ها (خاک اره کاج، اکالیپتوس، ترکیب خاک اره و باگاس) مورد مطالعه قرار گرفت. در این مطالعه تأثیر سطوح ترکیبی این مواد و انتخاب یک مخلوط بهینه بررسی و ارزیابی شد. نتایج نشان داد ضایعات کاغذ باعث بهبود استحکام گلدان، و خمیر مقوا به دلیل چسبندگی زیاد باعث افزایش مقاومت در برابر گسیختگی بافت آن می‌شود و از طرفی استفاده از ضایعات روزنامه در بافت گلدان باعث افزایش سختی و نفوذپذیری آن شد. هدف از این ترکیب‌های مختلف در تولید گلدان انتخاب بهینه‌ترین مخلوط از لحاظ عملکرد است. در این تحقیق بهینه‌ترین مخلوط با ۵۰ درصد کاغذ و ۵۰ درصد خمیر مقوا به دست آمد (Aguerre & Gavazzo, 2016).

خواص فیزیکی و مکانیکی سه رقم گلدان زیستی تولیدشده از زغال‌سنگ نارس، الیاف چوب و کود گاوی برای گیاه لوبیا مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد گلدان‌های تولیدشده از کود دامی بیش‌ترین میزان جذب آب (۴۷۶ درصد وزن اولیه) و گلدان‌های تولیدشده از پیت ماس کم‌ترین میزان جذب آب (۳۱۶ درصد وزن اولیه) را داشتند. استحکام کششی گلدان‌های تولیدشده از سه رقم، اختلاف معنی‌دار نداشتند، اما پس از جذب آب استحکام کششی برای همه نمونه‌ها تقریباً ۸۳ درصد کاهش یافت. باین‌حال گلدان‌های ساخته شده از کود

مواد و روش‌ها

در این تحقیق برای کاشت جوانه گیاه با استفاده از دستگاه نشاکار هوشمند، ابتدا ابعاد گلدان‌ها متناسب با لوله سقوط دستگاه اندازه‌گیری شد (شکل ۱). سپس گلدان مورد نظر مطابق با روش (Jaya et al., 2022) و با همکاری کارخانه مقواسازی شانه سبز سرکان، شهرستان تویسرکان استان همدان از ضایعات کارتن، کود گوسفندی و خاک اره با نسبت (۷۰٪، ۱۰٪ و ۵٪) و نمک سدیم آلزینات با غلظت (۱۵٪) به عنوان ماده چسبنده استفاده شد.

فرآیند ساخت و تولید گلدان در پنج مرحله انجام شد: ۱- ابتدا نمک سدیم آلزینات با غلظت (۱۵٪) در مدت پنج دقیقه به آرامی با ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه و ماده چسبنده تولید گردید. ۲- با استفاده از همزن برقی ضایعات کارتن به همراه کود دامی و خاکاره آسیاب و ترکیب شد. ۳- ماده آسیاب شده در مرحله قبل به آرامی با ماده چسبنده اضافه و خمیر گلدان آماده شد. ۴- خمیر آماده شده در قالب گلدان‌ها تزریق و در دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس به مدت پنج دقیقه حرارت‌دهی شد ۵- در مرحله آخر بعد از سرد شدن قالب، گلدان تجزیه‌پذیر تولید شد (Jaya et al., 2022).



شکل ۱- گلدان‌های تجدیدپذیر؛ الف) نمونه واقعی ب) مدل

خصوصیات گلدان تجدیدپذیر

در این پژوهش خواص فیزیکی و مکانیکی گلدان تجدیدپذیر بر اساس استانداردهای موجود (ASTM) شامل جذب آب در بازه زمانی ۶۰ دقیقه (WA^۱) و افزایش ضخامت (TS^۲) در آزمون فشار اندازه‌گیری شد (Manafi-Dastjerdi et al., 2021; Wembe et al., 2023). جرم دو مدل گلدان تجدیدپذیر هرم مربعی شکل و استوانه مخروطی ناقص با استفاده از یک دستگاه ترازوی رقمی با

گاوی نسبت به الیاف زغال‌سنگ نارس یا چوب از لحاظ تجزیه، استحکام کششی، وزن کم و جذب آب بهترین گزینه بودند (Zhang et al., 2019).

به‌طور کلی، محققان جهت بررسی مشخصات رفتاری و ساختاری یک جسم از روش‌های اجزا محدود استفاده می‌کنند. معمولاً در این روش از مدل‌های ریاضی و شبیه‌سازی مکانیکی بهره می‌گیرند. هدف از بهره‌گیری از نرم‌افزارهای اجزای محدود رسیدن به بالاترین دقت و نزدیک شدن به واقعیت در شبیه‌سازی است که در این زمینه باید به رایج‌ترین خطاها ناشی از شکل هندسی، خواص ماده، شرایط مرزی و عدم قطعیت انتخاب نوع اجزا توجه کرد (Fadji et al., 2019). در یک پژوهش در این زمینه Słonina et al. (2020) با استفاده از نرم افزار ABAQUS خواص کشسانی و ضریب پواسون ورقه‌های کاغذ بازیافتی را در سه ضخامت، هفت نوع شکل سلولی و سه نوع عامل اشباع کننده بررسی شد. نتایج نشان داد استفاده از عامل رزین اپوکسی و نشاسته اصلاح شده به عنوان اشباع‌کننده بهترین نتیجه را دارد. هندسه سلول و زاویه دیواره سلول به عنوان مهم‌ترین عامل بر روی صلبیت کاغذ ساخته شده معرفی شد (Słonina et al., 2020).

بر اساس مطالعات گذشته، محققین برای تأثیر نوع مواد تجزیه‌پذیر و درصد ترکیب آن با هم در تولید گلدان عامل‌های مهمی از جمله رشد ریشه و ساقه گیاه، عملکرد محصول و زمان تجزیه گلدان در خاک را مورد بررسی قرار دادند. نتایج به خاطر وارد نشدن تنش به گیاه و تغذیه ریشه از مواد مغذی درون گلدان در زمان کاشت مطلوب گزارش شده است (Juanga & Yuan, 2021b). به همین دلیل در سال‌های اخیر برای گیاهان که به صورت نشا کشت می‌شود، استفاده از گلدان تجزیه‌پذیر در حال پیشرفت است. با توجه به پیشرفت صورت گرفته در این زمینه تحقیقات زیادی در رابطه با تأثیر هندسه و رطوبت گلدان‌های تجدیدپذیر، انجام نشده است که در این پژوهش، تأثیر هندسه و سطوح رطوبتی متفاوت بر روی گلدان‌های تولیدشده به‌عنوان عامل‌های تأثیرگذار در زمان کاشت نشاء به‌صورت آزمایشگاهی بررسی می‌شود.

1- Water absorption
2- Thickness swelling

ناقص و هرم مربعی شکل به ترتیب اندازه قطر دایره و ضلع مربع پایین است (جدول ۱). در این پژوهش برای تحلیل و ارزیابی عوامل از تحلیل واریانس و مقایسه میانگین به روش توکی در نرم‌افزار Minitab نسخه ۲۱ استفاده شد.

دقت ۰/۰۱ گرم و ابعاد و ضخامت گلدان‌ها با استفاده از یک ریز سنج رقمی با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. اندازه مقطع بالا برای استوانه مخروطی ناقص و هرم مربعی شکل به ترتیب اندازه قطر دایره و ضلع مربع بالا است. همچنین اندازه مقطع پایین برای استوانه مخروطی

جدول ۱- مشخصات ابعادی و فیزیکی گلدان‌های تجدیدپذیر

شکل گلدان	اندازه مقطع بالا (mm)	اندازه مقطع پایین (mm)	ارتفاع (mm)	ضخامت (mm)	جرم (gr)	چگالی (kg/m ³)
استوانه مخروطی ناقص	۵۷/۶۸±۰/۱۶	۳۸/۴۲±۰/۱۳	۵۶/۵۱±۰/۲۱	۱/۱۹±۰/۱۱	۴/۵۱±۰/۲۱	۴۲۲/۲۷
هرم مربعی شکل	۴۱/۲۱±۰/۱۲	۱۷/۸۶±۰/۱۱	۵۰/۰۶±۰/۲۵	۱/۲۱±۰/۰۹	۱/۴۰±۰/۱۰	۴۳۳/۹۳

محتوی رطوبتی

برای تعیین محتوای رطوبت دو مدل گلدان ابتدا جرم آن با ترازوی رقمی با سه تکرار به طور تصادفی اندازه‌گیری شد. سپس نمونه توزین شده به مدت ۲۴ ساعت در کوره قرار داده شد و مجدداً همان نمونه وزن گردید. میزان رطوبت با استفاده از معادله (۱) محاسبه شد؛ که در آن M_h جرم اولیه، M_o جرم ثانویه و H محتوی رطوبتی گلدان را نشان می‌دهد.

$$H = \frac{M_h - M_o}{M_o} \quad (1)$$

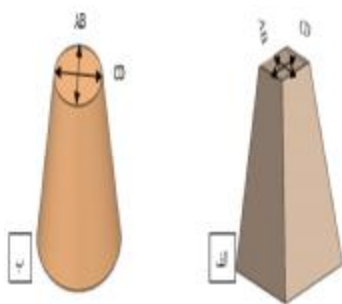
آزمون افزایش ضخامت گلدان

برای محاسبه افزایش ضخامت گلدان ابتدا چهار نقطه (A, B, C, D) با ریزسنج رقمی فاصله بین دو خط عمود به صورت جفت (AB, CD) اندازه‌گیری شد. سپس هر ۱۵ دقیقه یک بار افزایش ضخامت با استفاده از معادله (۳) محاسبه شد که در آن T_o ضخامت اولیه گلدان (میلی‌متر)، T_h ضخامت گلدان در طول زمان (میلی‌متر) و T_s درصد افزایش ضخامت است. (شکل ۳).

$$T_s = \frac{T_h - T_o}{T_o} \times 100 \quad (3)$$



شکل ۲- نمونه گلدان‌های تجدیدپذیر در دو قالب هرم مربعی‌شکل و استوانه مخروطی ناقص غوطه‌ور در آب



شکل ۳- نمونه گلدان‌های تجدیدپذیر در دو قالب جهت اندازه‌گیری افزایش ضخامت؛ الف) هرم مربعی شکل، ب) استوانه مخروطی ناقص

آزمون جذب آب

برای محاسبه درصد جذب آب دو مدل گلدان، ابتدا قبل از قراردادن آن‌ها در آب، جرم اولیه اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها در یک ظرف رو باز به طور عمودی قرار داده شدند. برای عمودی قرار دادن گلدان در ظرف، دو سوم حجم آن از آب پر شد. در نهایت برای تعیین درصد جذب آب توسط گلدان بعد از فواصل زمانی ۱۵ دقیقه‌ای جرم ثانویه با ترازو اندازه‌گیری گردید. درصد جذب آب تعیین شده برای گلدان در چهار بازه ۱۵ دقیقه‌ای به صورت پیوسته در مدت یک ساعت با استفاده از معادله ۲ محاسبه شد (شکل ۲). در معادله (۲)، W_A درصد جذب آب، M_h جرم هر فاصله زمانی ۱۵ دقیقه‌ای و M_o جرم اولیه است.

$$W_A = \frac{M_h - M_o}{M_o} \times 100 \quad (2)$$

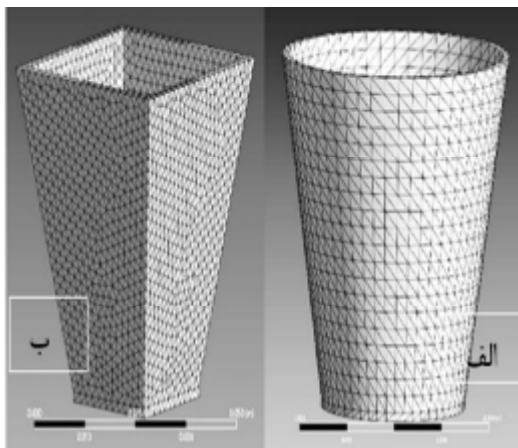
آزمون فشار گلدان

آزمون فشار گلدان با استفاده از دستگاه کشش - فشار (Zowick/roell 14) مجهز به نیروسنج (X force HP) (nominal force: 500 N Capacity) در آزمایشگاه گروه بیوسیستم دانشگاه بوعلی‌سینا صورت پذیرفت (شکل ۴). این آزمایش در سه سطح زمان جذب آب صفر، ۳۰ و ۶۰ دقیقه با سرعت بارگذاری ۲۰ میلی‌متر در دقیقه و با سه تکرار انجام شد. بعد از اندازه‌گیری نیروی وارد شده بر دو مدل گلدان، با توجه به سطح مقطع گلدان تنش وارد شده با استفاده از معادله (۴) محاسبه شد که در آن F بار گسیختگی (N)، σ تنش (MPa)، و A سطح نمونه (mm^2) است (Manafi-Dastjerdi *et al.*, 2021).

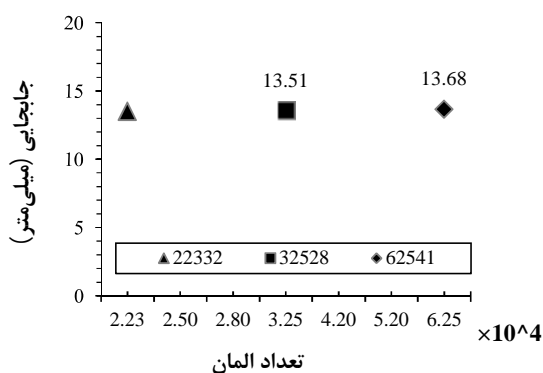
$$S = \frac{F}{A} \quad (4)$$

مناسب)، پردازش (حل مسئله) و پس پردازش (نتایج به دست آمده) استفاده شد. در مرحله پیش‌پردازش جهت برطرف کردن خطاهای هندسی ابتدا گلدان‌ها در محیط نرم‌افزار ANSYS مدل‌سازی شد. سپس بعد از مدل‌سازی، خواص گلدان‌ها با استفاده از چگالی، مدول الاستیسته و ضریب پواسون در نرم‌افزار تعریف شد.

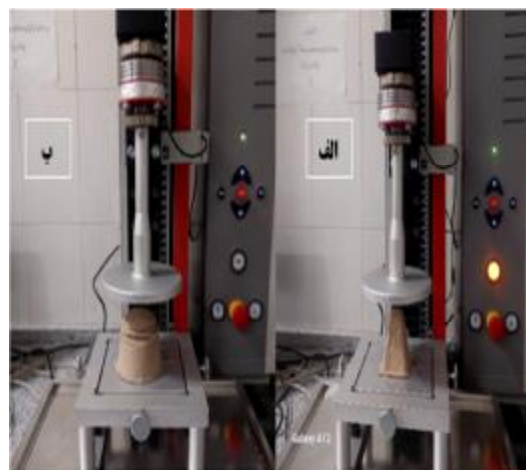
در این مرحله مطابق با شکل ۵ استقلال تحلیل از شبکه‌بندی و جدول ۲، اندازه اجزا و انواع مختلف آن نشان داده شد تا بهترین حالت از لحاظ جواب و زمان حل برای مسئله انتخاب شود در این پژوهش شبکه مش‌بندی Tetrahedral (هرم چهاروجهی) با اندازه ۳ میلی‌متر برای شبیه‌سازی گلدان‌ها در نظر گرفته شد. (شکل ۶).



شکل ۵- نمودار جایجایی گلدان استوانه مخروطی ناقص در رطوبت اولیه بر حسب تعداد اجزا جهت تعیین استقلال از شبکه



شکل ۶- شبکه مش‌بندی سه‌بعدی Tetrahedral؛ الف) گلدان استوانه مخروطی ناقص، ب) گلدان هرم مربعی شکل



شکل ۴- نمونه گلدان‌های تجدیدپذیر در آزمون فشار الف) هرم مربعی شکل، ب) استوانه مخروطی ناقص

شبیه‌سازی گلدان

در این پژوهش به دلیل استفاده از گلدان برای کاشت نشاء و سقوط آن بر روی زمین و تحلیل نیرو وارد شده بر زیر گلدان رفتار آن در آزمون فشار با استفاده از نرم‌افزار ANSYS نسخه ۲۰۲۱ به روش دینامیکی شبیه‌سازی شد. در این روش برای تحلیل هر مسئله مربوط به اجزای محدود از سه مرحله پیش‌پردازش (ایجاد مدل هندسی سه‌بعدی، اختصاص خواص مواد به مدل سه‌بعدی، انتخاب نوع تحلیل، شبکه‌بندی مدل و تعیین شرایط مرزی

جدول ۲- عامل‌های مشخص‌کننده خصوصیات شبکه‌بندی دو مدل گلدان تجدیدپذیر

شکل گلدان	نوع اجزا	اندازه اجزا (mm)	تعداد گره	تعداد اجزا
استوانه مخروطی	هرم چهار وجهی	۳	۷۶۲۱	۲۲۳۳۲
هرم مربعی	هرم چهار وجهی	۳	۶۵۳۱	۱۹۱۳۵

نتایج و بحث

خصوصیات مکانیکی

تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد نوع گلدان مطابق با جدول ۳ در سطح ۵ درصد بر روی عامل‌های چگالی، تنش نهایی، تسلیم و جابه‌جایی در تنش نهایی- تسلیم معنی‌دار است. علت اختلاف معنی‌دار بودن عوامل با عامل‌های تعیین‌شده به دلیل ابعاد هندسی متفاوت، سطح مقطع تماس و چگالی آن‌ها است. این نتایج با تحقیقات دیگر محققان در خصوص تأثیر رطوبت و چگالی بر روی خصوصیات مکانیکی گلدان‌ها مطابقت دارد (Jaya et al., 2022).

همچنین زمان جذب آب در سطح یک درصد بر روی تمامی عامل‌ها معنی‌دار است. علت معنی‌دار بودن آن به خاطر افزایش سطح رطوبت گلدان است که این نتایج با تحقیقات دیگر در خصوص افزایش رطوبت در مدت زمان یک ساعت جذب آب و در مقابل کاهش نیروی فشاری، چگالی و مدول الاستیسیته مطابقت دارد (Lehti et al., 2003). با توجه به معنی‌دار بودن عوامل در جدول ۳، مقایسه میانگین دو عامل نوع گلدان و زمان جذب آب بر روی عامل‌ها در جدول ۴ نشان داده شد، به طوری که نوع

گلدان فقط بر روی عامل‌های چگالی، جابه‌جایی در تنش نهایی-تسلیم در سطح ۵ درصد معنی‌دار، همین‌طور فاکتور زمان جذب آب فقط بر روی رطوبت، ضخامت گلدان در سه سطح زمان معنی‌دار است (Manafi-Dastjerdi et al., 2021). در شکل ۷ نشان داده شده است که با افزایش محتوای رطوبت در دو مدت زمان ۳۰ و ۶۰ دقیقه، گلدان استوانه مخروطی ناقص به دلیل کاهش مدول الاستیسیته متناسب با شیب نمودار، نیروی کمتری تحمل می‌کند و از طرفی ساختار هندسی آن به دلیل افزایش رطوبت در برخورد با سطح زمین دچار تغییر شکل می‌شود. همچنین این مقدار نیرو برای نمونه گلدان هرمی مربعی شکل بیش‌تر کاهش داشت. دلیل این کاهش بیش‌تر آن، سطح مقطع کم‌تر آن است که نیروی کم‌تری نسبت به گلدان استوانه مخروطی ناقص می‌تواند تحمل کند. این گزارش که با نتایج محققین در خصوص اندازه‌گیری خصوصیات مکانیکی گلدان تجدیدپذیر برای مدت یک ساعت جذب آب (افزایش رطوبت) مطابقت دارد (Paudel et al., 2022).

جدول ۳- میانگین مربعات عامل‌های مورد ارزیابی برای دو گلدان تجدیدپذیر برای سه سطح زمان جذب آب

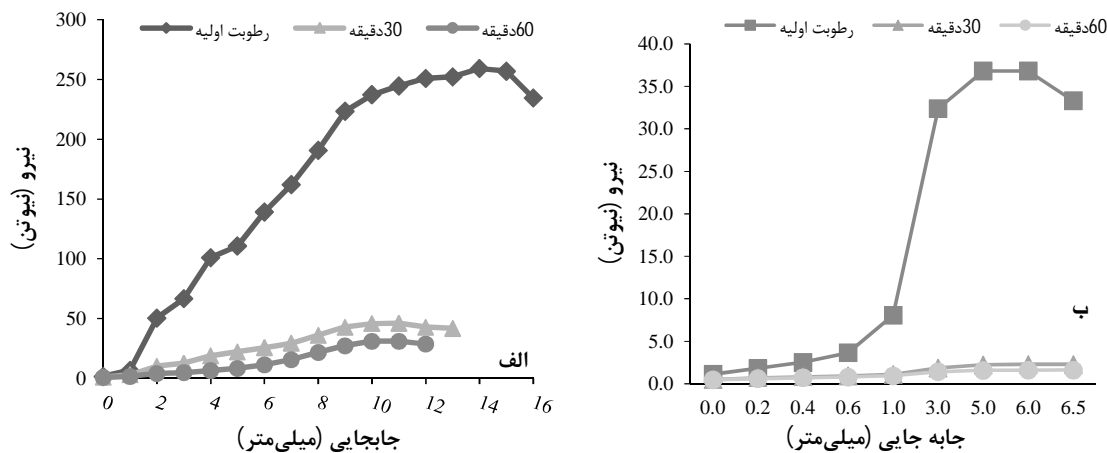
نوع گلدان	زمان جذب آب	خطا	CV	چگالی	رطوبت	تنش نهایی	جابه‌جایی در تنش تسلیم	تنش تسلیم	جابه‌جایی در تنش تسلیم	ضخامت گلدان					
۱	۱۸۶۹۱*	۲۷۱ ^{ns}	۰/۱۷*	۶۴/۷۵*	۰/۱۳*	۹۰/۸۱*	۲۲۴/۰۶ ^{ns}	۱	۱۵۱۵۱**	۳۴۷۸**	۰/۲۷**	۵/۴۹**	۰/۲۲**	۵/۰۸**	۲۷۸۶**
۲	۶۰۶۱۲/۸	۱۳۹۱۹/۱۴	۰/۱۱۱	۲۲/۷۹	۰/۰۸۹	۲۱/۰۹	۱۱۱۴۹/۸۷	۲	۰/۱۳	۰/۶۶	۰/۱۳	۰/۴۸	۱/۱۹	۰/۴۸	۰/۹

ns, **, * به ترتیب معنی‌دار بودن در سطح ۵ درصد، ۱ درصد و غیر معنی‌دار

جدول ۴- مقایسه میانگین عامل‌های مورد ارزیابی برای دو گلدان تجدید پذیر در سه سطح زمان جذب آب

عامل‌ها	نسبت گلدان	رطوبت	تشنه‌نویسی	نسبت تنش‌نویسی در گلدان	تشنه‌تسلیم	نسبت تنش‌نویسی در گلدان	ضخامت گلدان
نوع گلدان							
استوانه مخروطی ناقص	۴۵۹/۹۳ ^b	۳۹/۵۲ ^a	۰/۰۱ ^a	۶/۵۹ ^a	۰/۰۹ ^a	۷/۵۰ ^a	۲۵/۰۷ ^a
هرم مربعی شکل	۵۲۴/۳۸ ^a	۴۷/۲۸ ^a	۰/۰۴ ^a	۲/۸۰ ^b	۰/۰۳ ^a	۳ ^b	۳۲/۱۳ ^a
زمان							
صفر دقیقه	۴۱۴/۲۸ ^b	۴/۷۱ ^c	۰/۱۷ ^a	۶/۰۷ ^a	۰/۱۵ ^a	۶/۵۳ ^a	۰ ^c
۳۰ دقیقه	۵۳۰/۷۴ ^a	۵۸/۲۱ ^b	۰/۰۲۱ ^b	۴/۲۹ ^a	۰/۰۱۹ ^b	۴/۹۵ ^a	۲۵/۴۳ ^b
۶۰ دقیقه	۵۳۱/۴۴ ^a	۶۷/۲۶ ^a	۰/۰۱۹ ^b	۳/۷۳ ^a	۰/۰۱۶ ^b	۴/۲۷ ^a	۶۰/۳۳ ^a

*: حروف مشترک و غیرمشترک در هر ستون نشان‌دهنده به ترتیب عدم وجود و وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون توکی است.



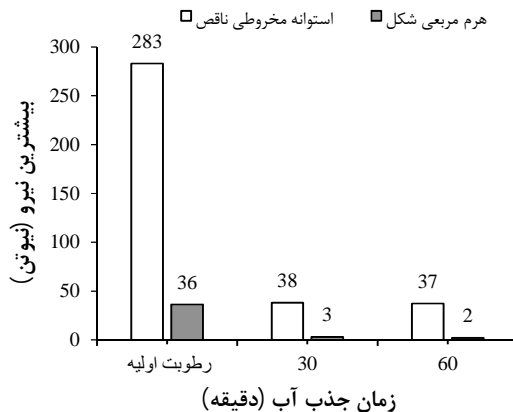
شکل ۷- نمودار نیرو - جابه‌جایی در سه سطح رطوبتی (مدت زمان جذب آب)، الف) گلدان استوانه مخروطی ناقص ب) گلدان هرم مربعی شکل

است. هم‌چنین در این آزمایش‌ها به دلیل کاهش بیش‌تر گلدان هرم مربع شکل نسبت به استوانه مخروطی ناقص به دلیل شکل هندسی، در گلدان استوانه مخروطی ناقص نتایج بهتری به دست آمد. این گزارش با نتایج دیگر تحقیقات سازگار است (Haslach, 2000; Juanga & Yuan, 2021a; Lehti et al, 2003; Manafi-Dastjerdi et al., 2021; Nader et al, 2023).

مطابق با شکل ۸، بررسی تأثیر هندسه گلدان و نیرو واردشده به آن در سه سطح رطوبت (زمان جذب آب متفاوت) نشان داد که با توجه به یکسان بودن مواد تشکیل‌دهنده آن‌ها نیرو تحمل شده توسط گلدان‌ها در بارگذاری محوری با افزایش رطوبت و چگالی گلدان، کاهش یافت.

دلیل کاهش آن به خاطر اشباع شدن بافت گلدان از آب و شکستن پیوندهای بین ذرات تشکیل‌دهنده آن

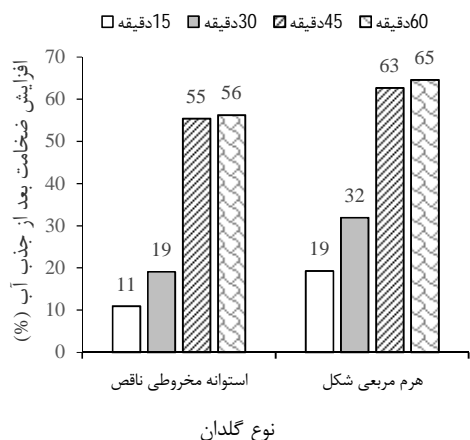
مخروطی ناقص نسبت به گلدان هرم مربع شکل رشد کمتری دارد. این رشد برای دو بازه دومی ۴۵ و ۶۰ دقیقه برای دو گلدان استوانه مخروطی ناقص و هرم مربع شکل زیاد است. با توجه شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰ در بین دو نمونه، گلدان هرم مربعی شکل به دلیل درصد جذب آب بیشتر و افزایش ضخامت آن، در آزمون بارگذاری محوری نیروی کمتری را تحمل کرد، درحالی‌که گلدان استوانه مخروطی ناقص به دلیل درصد جذب آب تقریباً برابر با نمونه دیگر، ولی با شکل هندسی متفاوت در بازه ۳۰ دقیقه و رطوبت اولیه اولیه نیروی بیشتری را در این شرایط تحمل کرد (Manafi-Dastjerdi et al., 2021; Slonina et al., 2020).



شکل ۸- نمودار بیشترین نیرو- زمان جذب آب (سه سطح رطوبت)

آزمون جذب آب و ضخامت گلدان

مطابق با شکل ۹، گلدان‌ها با افزایش مدت زمان ماندگاری در آب، ابتدا در روند جذب آب و افزایش رطوبت تا سه بازه ۱۵ دقیقه (دقیقه ۴۵) روندی صعودی دارند اما در بازه چهار (۶۰ دقیقه) روند جذب آب و افزایش رطوبت به دلیل اشباع شدن بافت آن از آب، ثابت باقی می‌ماند. نتایج این پژوهش با مطالعه محققین در خصوص روند جذب آب توسط گلدان ساخته‌شده مطابقت دارد (Manafi-Dastjerdi et al., 2021).



شکل ۱۰- افزایش ضخامت بعد از جذب آب برای دو مدل گلدان تجدیدپذیر

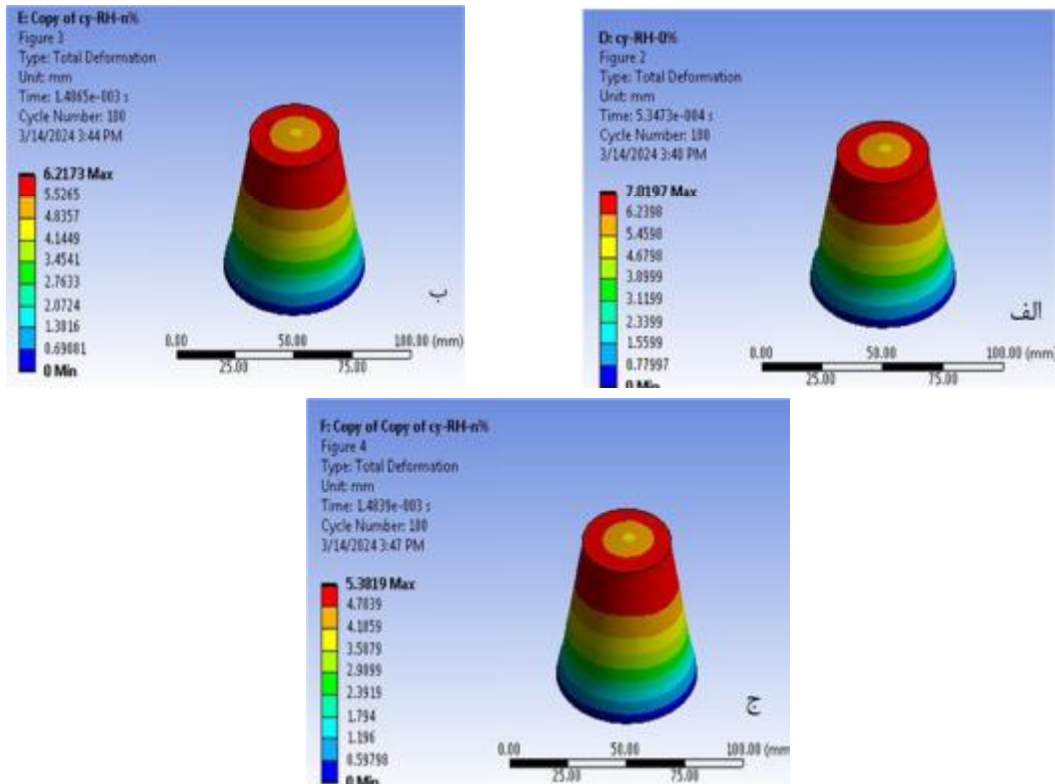
شبیه‌سازی گلدان با نرم‌افزار ANSYS

مطابق شکل‌های ۱۱ و ۱۲، نتایج شبیه‌سازی داده‌های آزمایشگاهی نشان داد که گلدان استوانه مخروطی ناقص در مقایسه با گلدان هرم مربعی شکل در سطح رطوبت اولیه و زمان ۳۰ دقیقه نیروی بیشتری را به دلیل اشباع نشدن بافت آن از آب تحمل می‌کند. هم‌چنین با توجه به شکل ۱۳، مدل رگرسیونی بین داده‌های تجربی با شبیه‌سازی نشان داد که نتایج به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی برای گلدان‌های استوانه مخروطی ناقص و هرم مربعی شکل دارای ضریب تبیین به ترتیب با ۸۸ و ۹۱ درصد است.

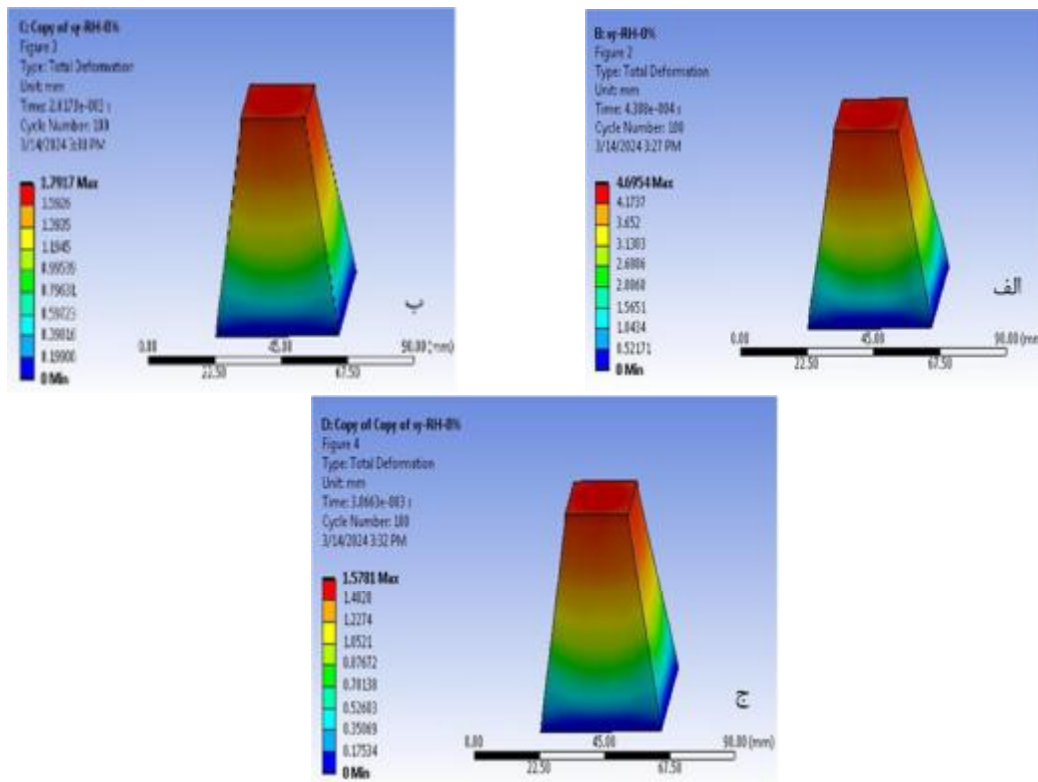


شکل ۹- افزایش رطوبت بعد از جذب آب برای دو مدل گلدان تجدیدپذیر

شکل ۱۰، درصد نتایج افزایش ضخامت دو نمونه گلدان در چهار بازه ۱۵ دقیقه‌ای بعد از جذب آب را نشان می‌دهد. گلدان‌ها در دو بازه اولیه ۱۵ و ۳۰ دقیقه رشد داشتند درحالی‌که این مقدار برای گلدان استوانه



شکل ۱۱- کانتور جابجایی گلدان استوانه مخروطی ناقص در سه سطح زمان جذب آب -الف) رطوبت اولیه، ب) ۳۰ دقیقه زمان جذب آب و ج) ۶۰ دقیقه زمان جذب آب



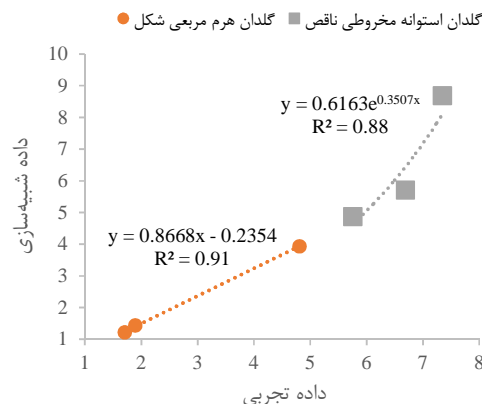
شکل ۱۲- کانتور جابجایی گلدان هرم مربعی شکل در سه سطح زمان جذب آب -الف) رطوبت اولیه، ب) ۳۰ دقیقه زمان جذب آب و ج) ۶۰ دقیقه زمان جذب آب

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از ریاست محترم دانشکده کشاورزی جناب آقای دکتر احمدی که ما را در انجام آزمایش‌ها این تحقیق یاری کردند صمیمانه تشکر می‌کنم.

منابع

- Aguerre, Y. S., & Gavazzo, G. B. (2016). Lignocellulosic recycled materials to design molded products: Optimization of physical and mechanical properties.
- An, S., Bae, J. H., Kim, H. C., & Kwack, Y. (2021). Production of grafted vegetable seedlings in the Republic of Korea: achievements, challenges and perspectives. *Horticultural Science and Technology*, 39(5): 547-559.
- Asmara, S., Rahmawati, W., Suharyatun, S., Kurnia, B., Listiana, I., & Widyastuti, R. (2021). *Producing organic pot from cassava stem waste for water spinach (Ipomea reptans Poir) as waste management strategy*. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
- Fadji, T., Coetzee, C. J., Berry, T. M., & Opara, U. L. (2019). Investigating the role of geometrical configurations of ventilated fresh produce packaging to improve the mechanical strength—Experimental and numerical approaches. *Food packaging and shelf life*, 20: 100312.
- Gholami, R., & Gholami, H. (2019). The effect of drought stress on some vegetative and physiological characteristics of superior local olive genotypes (*Olea europaea* L.) in pot conditions. *Plant Productions*, 41(4): 15-28.
- Haslach, H. W. (2000). The moisture and rate-dependent mechanical properties of paper: a review. *Mechanics of time-dependent materials*, 4: 169-210.
- Im, J., Jang, E. K., Yim, D., Kim, J.-H., & Cho, K. Y. (2020). One-pot fabrication of uniform half-moon-shaped biodegradable microparticles via microfluidic approach. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 90: 152-158.
- Jaya, J. D., Elma, M., Sunardi, S., & Nugroho, A. (2022). Physical and Mechanical Properties of Biodegradable Pot Derived from Oil Palm Empty Fruit Bunch and Sodium Alginate. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 65: e22210789.
- Juanga-Labayen, J. P., & Yuan, Q. (2021a). Making biodegradable seedling pots from textile and paper Waste—Part a: factors affecting tensile strength. *International*



شکل ۱۳- مدل رگرسیونی بین داده به‌دست‌آمده از آزمایش تجربی با داده‌های شبیه‌سازی برای گلدان استوانه مخروطی ناقص و هرم مربعی شکل در سه سطح زمان جذب آب

نتیجه‌گیری

در این تحقیق گلدان تجدیدپذیر در دو مدل استوانه مخروطی ناقص و هرم مربعی‌شکل در سه سطح رطوبت با سه تکرار مطالعه گردید. سپس با استفاده از دستگاه آزمون فشار بر روی گلدان‌ها مقدار نیروهای واردشده بر آن با استفاده از نرم‌افزار ANSYS برای صحت‌سنجی داده‌های آزمون تجربی مورد ارزیابی قرار گرفت. بررسی کلی نتایج تحقیق نشان داد که گلدان تجدیدپذیر برای نوع گلدان و زمان جذب آب به ترتیب برای عامل‌های چگالی، تنش نهایی، جابه‌جایی در تنش نهایی، تنش تسلیم و جابه‌جایی در تنش تسلیم در سطح ۵ درصد و عامل‌های چگالی، رطوبت، تنش نهایی، جابه‌جایی در تنش نهایی، تنش تسلیم، جابه‌جایی در تنش تسلیم و ضخامت گلدان در سطح ۱ درصد معنادار است. در مقایسه میانگین بر اساس آزمون توکی در سطح ۵ درصد برای دو گلدان استوانه مخروطی ناقص و هرم مربعی‌شکل، عامل‌های مورد ارزیابی چگالی، جابه‌جایی در تنش نهایی و جابه‌جایی در تنش تسلیم معنادار، سپس زمان جذب آب در سه سطح چگالی، رطوبت، جابه‌جایی در تنش نهایی، جابه‌جایی در تنش تسلیم و ضخامت گلدان معنادار است. نتایج آزمون شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار ANSYS با داده‌های تجربی نشان می‌دهد بهترین گزینه برای انتخاب گلدان برای استفاده در دستگاه کاشت نشاء استوانه مخروطی ناقص در محتوای رطوبتی اولیه و ۳۰ دقیقه زمان جذب آب است.

- Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(13): 6964.
- Juanga-Labayen, J. P., & Yuan, Q. (2021b). Making biodegradable seedling pots from textile and paper waste—Part B: Development and evaluation of seedling pots. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(14): 7609.
- Lehti, S., Ketoja, J., & Niskanen, K. (2003). *Measurement of Paper rheology at varied moisture contents*. Paper presented at the Int Paper Phys Conf Proc.
- Manafi-Dastjerdi, M., Ebrahimi-Nik, M., Rohani, A., & Lawson, S. (2021). Production of biodegradable pots from cattle manure and wood waste: effects of natural binders on mechanical performances and biodegradability. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-14.
- Nader, J., Assaf, J. C., Debs, E., & Louka, N. (2023). Innovative Method for Determining Young's Modulus of Elasticity in Products with Irregular Shapes: Application on Peanuts. *Processes*, 11(9): 2532.
- Paudel, B., Basak, J. K., Kaushalya Madhavi, B. G., Kim, N.-E., Lee, G.-H., Choi, G.-M., . . . Kim, H. T. (2022). Properties of paper-based biodegradable pots for growing seedlings. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 63(6): 793-807.
- Rafee, S. N. A. M., Lee, Y. L., Jamalludin, M. R., Razak, N. A., Makhtar, N. L., & Ismail, R. I. (2019). Effect of different ratios of biomaterials to banana peels on the weight loss of biodegradable pots. *Acta Technologica Agriculturae*, 22(1): 1-4.
- Schettini, E., Santagata, G., Malinconico, M., Immirzi, B., Mugnozza, G. S., & Vox, G. (2013). Recycled wastes of tomato and hemp fibres for biodegradable pots: Physico-chemical characterization and field performance. *Resources, Conservation and Recycling*, 70: 9-19.
- Słonina, M., Dziurka, D., & Smardzewski, J. (2020). Experimental research and numerical analysis of the elastic properties of paper cell cores before and after impregnation. *Materials*, 13(9): 2058.
- Wembe, B. D., Djomi, R., Konai, N., Ntamack, G. E., Tsopmo, F. A., Olubusoye, O. E., & Meva'a, L. (2023). Investigation on the Mechanical Properties of Paper Water Hyacinth (*Eichhornia Crassipes*). *European Journal of Engineering and Technology Research*, 8(1): 54-58.
- Zhang, X., Wang, C., & Chen, Y. (2019). Properties of selected biodegradable seedling plug-trays. *Scientia Horticulturae*, 249: 177-184.

