

Cross Compatibility of Three Oyster Mushroom Species (*Pleurotus* sp.) and Evaluation of the Characteristics of the Resulting Hybrids

M. Taghavi Sharabiani¹, A. Motallebi-Azar¹, J. Panahandeh¹, A. Jahanian^{1*}

1- Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

(*- Corresponding author's Email: Amin.jahanian68@gmail.com)

Received: 20 January 2025

Revised: 02 December 2025

Accepted: 06 December 2025

Available Online: 06 December 2025

How to cite this article:

Taghavi Sharabiani, M., Motallebi-Azar, A., Panahandeh, J., & Jahanian, A. (2026). Cross compatibility of three oyster mushroom species (*Pleurotus* sp.) and evaluation of the characteristics of the resulting hybrids. *Journal of Horticultural Science*, 40(2), 203-216. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jhs.2025.91744.1406>

Introduction

Mushrooms are a very large group of organisms. The number of species of mushrooms is estimated at 1.5 million, of which about 300 are edible, only 30 have been domesticated, and finally 10 species are cultivated commercially. Oyster mushrooms (*Pleurotus* spp.) of the genus *Pleurotus* are the most important cultivated edible mushrooms in the world after button mushrooms. Edible mushrooms are now considered one of the most important food sources in the world, and their cultivation is constantly increasing with population growth. For this reason, the importance of cultivating edible mushrooms is increasing day by day. In edible mushrooms, the mycelium that emerges from a single spore is sterile and requires hybridization between compatible monokaryotic mycelia to complete the sexual cycle. The oyster mushroom *P. eryngii* has also been given the name of king oyster mushroom due to its large edible organ. The mushrooms grow in small groups. The spores of this mushroom are white, and its mycelium has a connecting arch. The king oyster mushroom has a firm texture and short radial blades.

Materials and Methods

In this study, three species of oyster mushrooms (*Pleurotus ostratus* var *florida*, *P. eryngii*, *P. cornucopia*) were crossed with each other in order to benefit from the special characteristics of each species and their aggregation into one species. Monokaryons of each species were prepared. Then, monokaryons of the two species were placed 5 mm from each other. For the cultivation of hybrid spawn and parents, three beds containing wheat straw (weighing 6.8 kg) were prepared for each and sterilized. After spawning, the beds were placed in a suitable environment and then the humidity of the environment was increased to 85-90% until the hybrids started to produce primary nodes and then pin and turn into mature heads. The heads at this stage were tested for spore production.

Results and Discussion

The results showed that from 300 crosses, only in 4 crosses did the Florida and eryngii monokaryons grow together and form a clamp connection, producing dikaryons, and four hybrids named H₁, H₄₀, H₁₁, and H₃₂ were obtained. While from among 300 crosses between Florida monokaryons and yellow fungus and 100 crosses between eryngii monokaryons and yellow fungus, no dikaryons were produced due to interspecific incompatibility. Spawns of the produced hybrids were prepared with Florida and eryngii and then cultivated in sterile media in a completely randomized design with three replications. The average base diameter of eryngii was significantly greater than that of Florida. The average base diameter of eryngii was not significantly different from that of the H₁₁ hybrid, while the average base diameter of eryngii was greater than that of the H₃₂ and H₁ hybrids and less than that of the H₁ hybrid. There was also a significant difference in the average base



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.91744.1406>

diameter among the hybrids. Among the hybrids, H₁ had a larger average base diameter than that of the H₄₀, H₃₂, and H₁₁ hybrids. *eryngii* had the highest fresh weight of edible organs with an average fresh weight of 120.5 grams. The average fresh weight of edible organs of *eryngii* was not significantly different from that of hybrid H₄₀. In terms of yield (fresh and dry weight), the hybrids H₁₁, H₁ and H₃₂ were very similar and were placed in a single cluster. On the other hand, the hybrid H₄₀ was similar to *eryngii*. In general, the hybrids and *eryngii* were placed in the same group in terms of yield. This is while Florida occupied a separate group. The result is that in terms of yield, the hybrids were similar to *eryngii* and the high yield traits from Florida were not transferred to the hybrids.

Conclusion

There was a significant difference between genotypes in terms of spawn running, and the hybrids were similar to *eryngii* and spawn running for a longer period than Florida. Hybrids H₄₀ and H₃₂ were earlier than their parents and other hybrids because they had shorter days to first pin emergence and ultimately shorter planting period. Hybrid H₄₀ is considered a suitable hybrid with similar edible organ fresh weight to *eryngii*. Hybrid H₄₀ had higher yield (fresh weight) and biomass than other hybrids and was similar to *eryngii*. The least sporulation (spore germination) was observed in hybrids H₁ and H₁₁, which was even lower than *eryngii*. Hybrid H₄₀, although it seems to be a desirable hybrid in some traits, had high spore germination and was similar to Florida.

Keywords: *Eryngii*, Florida, Interspecific hybrid, Yellow mushroom, Yield

قابلیت تلاقی سه گونه قارچ صدفی (*Pleurotus* spp.) و ارزیابی خصوصیات هیبریدهای

حاصل

مرتضی تقوی شریانی^۱، علیرضا مطلبی آذر^۱، جابر پناهنده^۱، امین جهانیان^{۱*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۱۵

چکیده

مهم‌ترین برنامه توسعه هر کشوری، تأمین منابع غذایی کافی است و با توجه به افزایش بی‌رویه جمعیت، تنها با استفاده از روش‌های کشاورزی سنتی نمی‌توان بر مشکل کمبود مواد غذایی غلبه کرد. امروزه قارچ‌های خوراکی یکی از منابع مهم تأمین مواد غذایی در دنیا محسوب می‌شوند و کشت آن‌ها با افزایش جمعیت به‌طور پیوسته در حال افزایش است. از این‌رو اهمیت کارهای اصلاحی روی قارچ‌های خوراکی روزبه‌روز بیشتر احساس می‌شود. در این تحقیق، سه گونه قارچ صدفی (*Pleurotus osturatus* var. *Florida*، 'ارنجی'، *P. eryngii* و *P. cornucopiae* 'قارچ زرد') به‌منظور بهره‌مندی از صفات ویژه هر گونه و تجمع آن‌ها در یک گونه، با همدیگر تلاقی داده شدند. مونوکاریون هر یک از گونه‌ها تهیه گردید. سپس مونوکاریون دو گونه به‌فاصله پنج میلی‌متر از هم قرار داده شدند. برای کشت اسپان هیبریدها و والدین برای هر کدام سه بستر حاوی کلش گندم (به وزن ۶/۸ کیلوگرم) تهیه و استریل شدند. نتایج نشان داد که از بین ۳۰۰ تلاقی، فقط در چهار تلاقی، میسلیم مونوکاریون‌های 'فلوریدا' و 'ارنجی' به طرف هم رشد کرده و با تشکیل قوص اتصال، دی‌کاریون تولید کردند و چهار هیبرید به نام‌های 'H₁'، 'H₁₁'، 'H₃₂' و 'H₄₀' به دست آمد. درحالی‌که از بین ۳۰۰ تلاقی بین مونوکاریون‌های فلوریدا با قارچ زرد و نیز ۱۰۰ تلاقی بین مونوکاریون‌های 'ارنجی' با قارچ زرد به علت ناسازگاری بین گونه‌ای، هیچ دی‌کاریونی تولید نشد. اسپان هیبریدهای تولیدی به همراه 'فلوریدا' و 'ارنجی'، تهیه گردید و سپس در بسترهای استریل به‌صورت طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار کشت شدند. از لحاظ پنجه‌دوانی بین ژنوتیپ‌ها اختلاف قابل ملاحظه‌ای وجود داشت و هیبریدها از این لحاظ به 'ارنجی' شبیه بوده و در مدت زمان طولانی‌تری نسبت به 'فلوریدا' پنجه‌دوانی کردند. هیبرید 'H₄₀' و 'H₃₂' به‌ترتیب با ۳۲ و ۳۶ روز از تعداد روز تا ظهور اولین پین، کوتاه‌ترین دوره کشت را داشتند و نسبت به والدین و سایر هیبریدها زودرس‌تر بودند. هیبرید 'H₄₀' با دارا بودن وزن تر اندام خوراکی مشابه با 'ارنجی' یک هیبرید مناسب محسوب می‌گردد. هیبرید 'H₄₀' از عملکرد (وزن تر) و زیست‌توده بیشتری نسبت به هیبریدهای دیگر برخوردار بوده و مشابه 'ارنجی' بود. حداقل اسپورزایی در هیبریدهای 'H₁' و 'H₁₁' مشاهده گردید که این مقدار اسپورزایی حتی کمتر از 'ارنجی' بود. هیبرید 'H₄₀' هرچند از نظر برخی صفات هیبرید مطلوبی به نظر می‌رسد، اما از اسپورزایی زیاد و مشابه 'فلوریدا' برخوردار بود.

واژه‌های کلیدی: ارنجی، عملکرد، فلوریدا، قارچ زرد، هیبرید بین گونه‌ای

مقدمه

از بین قارچ‌های موجود در طبیعت قارچ‌های صدفی (*Pleurotus* spp.) از اهمیت بیشتری برخوردارند، زیرا تهیه بستر آن‌ها نیاز به فناوری خاص مثل قارچ خوراکی دکمه‌ای ندارد و پس از برداشت محصول، بقایای بستر می‌تواند به‌عنوان منبع غنی‌شده غذایی مورد

مصرف دام‌ها قرار گیرد (Bellettini et al., 2019). از طرف دیگر، با توجه به اهمیت قارچ‌های صدفی در دنیا و به‌خصوص در ایران، باید دیدگاه‌های اساسی در اصلاح این محصول با ارزش به وجود آید و معایبی چون تولید اسپور زیاد، کم‌محصولی، حساسیت به بیماری‌ها، آفات و ... را با روش‌های اصلاحی برطرف نمود (Mohammadhasani & Rahimi, 2022). این روش‌ها شامل جمع‌آوری ژرم‌پلاسماهای وحشی، معرفی مستقیم نژادها، کشت بافت، تولید هیبریدهای بین و درون گونه‌ای، هم‌جوشی پروتوپلاست و هیبریداسیون درون و برون گونه‌ای، اصلاح از طریق جهش، مهندسی ژنتیک و انتقال ژن و ...

۱- گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، ایران

(*)- نویسنده مسئول: (Email: Amin.jahanian68@gmail.com)<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.91744.1406>

می‌باشد (Barh et al., 2019). قارچ‌ها گروه بسیار بزرگی از موجودات را تشکیل می‌دهند. تعداد گونه‌های قارچ حدود ۱/۵ میلیون تخمین زده شده است که حدود ۳۰۰ گونه به‌صورت خوراکی هستند و فقط ۳۰ گونه به‌صورت اهلی شده‌اند و در نهایت ۱۰ گونه به‌صورت تجاری مورد کشت‌وکار قرار گرفته است. قارچ صدفی از جنس *Pleurotus* بعد از قارچ تکمه‌ای مهم‌ترین قارچ‌های خوراکی کشت‌شده در دنیا می‌باشند.

در قارچ‌های خوراکی صدفی، میسلیم حاصل از تک اسپور عقیم بوده و جهت تکمیل چرخه جنسی خود نیازمند انجام هیبریداسیون بین میسلیم‌های مونوکاریون سازگار می‌باشد (Sánchez, 2010; Sonnenberg et al., 2011). با توجه به سازوکار چهار قطبی، رشد هر تک اسپور پس از جوانه‌زنی در شرایط مطلوب به‌صورت نامحدود ادامه می‌یابد و جست‌وجو برای یافتن میسلیم‌های مناسب انجام می‌شود تا در نهایت هم‌جوشی مونوکاریون‌های سازگار انجام شود. اگر مونوکاریون‌های انتخابی دارای ژن یا ژن‌های مطلوب از والدین خاص باشند، با تشکیل دی‌کاریون، صفات مطلوب دو نژاد در یک نژاد ظاهر پیدا خواهد کرد و همانند اصلاح نباتات، نژاد حاصل هیبرید خواهد بود (Khan et al., 2011; Raman et al., 2021). در مطالعه‌ای گزارش شده است که هیبریداسیون براساس تلاقی لاین‌های هوموکاریوتی غیربارور، هیبریدهای بین سویه‌ای توسعه‌یافته را برای بهبود ژنتیکی گونه‌های مختلف ارائه داد. در مطالعه آن‌ها، هیبریداسیون بین سویه‌ای با استفاده از جداسازی تک اسپور بین *P. eous* و *P. florida*، *sajor-caju* منجر به کوتاه شدن دوره رشد اسپان ۱۷ و ۱۸ روز پس از تلقیح در مقایسه با دوره طبیعی یک دوره رشد اسپان شد که حدود ۲۵-۳۰ روز بود (Gupta et al., 2011). همچنین در تحقیقی دیگر، خصوصیات ریخت‌شناختی و مولکولی قارچ 'صدفی زرد' و *P. citrinopileatus*، هیبریدهای حاصل از دورگ‌گیری بین گونه‌ای مورد بررسی قرار گرفت و هیبریدهای بین گونه‌ای به‌دست‌آمده با این روش دورگ‌گیری منجر به سویه‌های بهتر قارچ برای بهبود ژنتیکی گونه *Pleurotus* شد (Rosnina et al., 2016).

هرکدام از گونه‌های قارچ صدفی از خصوصیات ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. *Pleurotus cornucopiae* (pauletexfr.) Roll and *Citrinopileatus single* ver. دارای کلاهکی به اندازه دو الی پنج سانتی‌متر و به‌رنگ زرد طلایی مایل به زرد روشن لیمویی بوده و هنگام بلوغ، کلاهک محدب، اغلب در وسط فرورفته، کم‌گوشت، ساقه سفید رنگ و به مرکز کلاهک وصل است (Royse et al., 2004). این قارچ به‌صورت خوشه‌ای بزرگ روی یک پایه رشد می‌کند.

میسلیم پنبه‌ای شکل و سفید رنگ اغلب به‌طور متراکم رشد می‌کند. گره‌های اولیه ابتدا زرد رنگ است (Lin et al., 2022). راندمان تولید بیولوژیکی قارچ، در روی کاه گندم در فضای بسته ۲۵ تا ۷۵ درصد است. میسلیم دارای قوس اتصال است. در *P. ostreatus* var. Florida نیز میسلیم قوس اتصال دارد. میسلیم‌های مونوکاریون به‌وجودآمده از اسپورهای این گونه دگرگشت هستند (Elbagory et al., 2022). این گونه نیاز حرارتی بالایی برای اندام‌زایی (بالای ۲۴ دارد، کلاهک‌ها در ابتدا محدب، به رنگ سفید، سطح کلاهک یکنواخت، ساقه به‌صورت نامتقارن و غیرمرکزی به کلاهک متصل است (Kinge et al., 2016). بافت کلاهک نازک و در بعضی اسپورها، میسلیم قارچ سفید رنگ است و به‌صورت شعاعی رشد می‌کند. این قارچ به‌آسانی رشد می‌کند، ولی معایبی نیز دارد که می‌توان به انبارمانی کوتاه و اسپورزایی زیاد آن اشاره کرد (Törös et al., 2022). قارچ صدفی *P. eryngii* نیز با داشتن اندام خوراکی بزرگ، نام شاه صدف را به خود اختصاص داده است. قارچ‌ها در گروه‌های کوچک رشد می‌کنند. اسپورهای این قارچ سفید رنگ و میسلیم آن دارای قوس اتصال است. قارچ شاه صدف دارای بافت محکم و تیغه‌های شعاعی کوتاه است (Wang et al., 2016). کوتاهی تیغه‌های شعاعی به این معنی است که این قارچ به‌طور نسبی اسپور کمتری تولید می‌کند و از انبارمانی طولانی و خوبی برخوردار است (Guo et al., 2023; Stajic et al., 2009).

اصلاح قارچ صدفی به‌روش تولید هیبرید بین گونه‌ای با هدف انتقال صفات مفید هر گونه قارچ صدفی به‌عنوان والد در این تحقیق، افزایش راندمان تولید از گونه 'فلوریدا'، اندازه بزرگ و مشتری‌پسند از گونه 'قارچ زرد' و قدرت انبارمانی زیاد از گونه 'ارنجی'، به‌عنوان خصوصیات مثبت برای هر گونه مورد نظر در نظر گرفته شد. از اهداف مورد نظر این تحقیق بود تا بتوان هیبرید بین گونه‌ای تولید نمود که همه خصوصیات سه گونه مورد نظر را در یک هیبرید داشته باشد. با توجه به وجود خصوصیات برتر در هرکدام از گونه‌های قارچ خوراکی صدفی و عدم وجود آن در گونه دیگر، انجام دورگ‌گیری بین آن‌ها ضروری است. بنابراین در نخستین گام در این تحقیق امکان تلاقی سه گونه قارچ خوراکی *P. Pleurotus cornucopiae*، *P. ostreatus* var *florida* و *eryngii* انتخاب گردید و پس از به دست آوردن هیبریدهای بین گونه‌ای، ارزیابی‌های مربوط به هیبریدها و والدین صورت گرفت تا نحوه انتقال صفات مطلوب از والدین به هیبریدها مشخص گردد. همچنین مقایسه بین هیبریدها از نظر صفات زراعی نیز صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

تهیه طرح اسپور

این تحقیق در آزمایشگاه گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز انجام شد. ابتدا پلت‌های مادری سه نژاد از قارچ‌ها خوراکی صدفی به نام‌های علمی *P. Pleurotus cornucopiae*، *Pleurotus eryngii* و *ostreatus* var. *Floroida* از شرکت کشت پژوهان سپند تهیه شد. سپس اسپان این سه گونه تهیه و به بسترهای حاوی کلش گندم انتقال داده شدند. کلاهک‌های بالغ چیده شده و طرح اسپور تهیه گردید (Goltapeh et al., 2009).

تهیه محیط کشت برای رشد منوکاریون‌ها و دی‌کاریون‌ها

برای تهیه یک لیتر محیط کشت مورد استفاده برای رشد منوکاریون‌ها و دی‌کاریون‌ها از ۱۰ گرم در لیتر آگار، ۱۰ گرم در لیتر دکستروز، یک درصد استروپتومایسن، ۰/۲۵ گرم در لیتر پپتون، ۰/۲۵ گرم در لیتر KH_2PO_4 ، ۰/۲۵ گرم در لیتر $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ، یک میلی‌لیتر از محلول یک درصد کلرید آهن، ۰/۵ گرم در لیتر عصاره مخمر و ۰/۵ لیتر عصاره سیب‌زمینی با pH مساوی ۶ استفاده شد. سپس محیط کشت استریل به پتری‌دیش‌ها یک بار مصرف (به قطر شش سانتی‌متر) پخش شد.

تهیه سوسپانسیون اسپور و کشت آن‌ها

پس از شمارش تعداد اسپور توسط دستگاه هموسایتومتر در محلول سوسپانسیون، غلظت اسپور در محلول سوسپانسیون حاصل روی 10^4 تنظیم شد. سپس قطرات سوسپانسیون به دقت داخل پتری‌دیش‌ها پخش گردید و پس از اینکه این کار برای تمامی گونه‌ها انجام گرفت، پتری‌دیش‌ها در دمای ۲۴ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند.

تهیه منوکاریون‌های سه گونه مورد مطالعه

پتری‌دیش‌های حاوی اسپور هر روز به دقت زیر میکروسکوپ کنترل شدند، وقتی که اسپورها جوانه‌زنی کردند و قطر پرگنه‌ها رشد یافته در پتری‌دیش‌های تهیه شده به پنج میلی‌متر رسید، پتری‌دیش‌های تهیه شده زیر میکروسکوپ کنترل شده و در صورت مشاهده قوس اتصال در هر پتری‌دیش آن پتری‌دیش حذف شده و بقیه پتری‌دیش‌های فاقد قوس اتصال نگهداری شدند. در نهایت، برای فلوریدا ۳۰ منوکاریون و برای هر کدام از قارچ‌های ارنجی و زرد نیز ۱۰ منوکاریون به دست آمد.

انجام دورگیری بین سه گونه مورد مطالعه

در این مرحله، یک قطعه بسیار کوچک از منوکاریون‌ها (پنج میلی‌متر) برش داده و در داخل پتری‌دیش‌های شش سانتی‌متری به فاصله ۲۰ میلی‌متر از منوکاریون گونه دیگر قرار داده شدند تا منوکاریون‌ها به طرف همدیگر رشد کرده و زمانی که فاصله بین منوکاریون‌ها پنج میلی‌متر شد، در حد فاصل منوکاریون‌ها لایه نازکی از محلول پلی اتیلن گلیکول ۰/۰۳ درصد اضافه شد و سپس با رشد بعدی منوکاریون‌ها، حد فاصل آن‌ها محلول ۰/۰۱ درصد اضافه گردید و در صورتی که منوکاریون‌ها به طرف هم رشد کردند، نمونه‌ای از آن‌ها برداشته شد و زیر میکروسکوپ به دقت مورد مشاهده قرار گرفتند. در صورت مشاهده قوس اتصال در ناحیه حد واسط بین دو منوکاریون از دی‌کاریون‌های حاصل نمونه‌برداری کرده و در محیط کشت استریل قبلاً آماده شده، کشت شدند (شکل ۱).

تهیه و کشت اسپان و ارزیابی خصوصیات هیبریدها و والدین

پس از اینکه دی‌کاریون‌های کشت شده به شعاع دو سانتی‌متر رسیدند، آن‌ها را قطعه قطعه کرده و به پتری‌دیش‌های با محیط کشت جدید منتقل شدند. پس از اینکه از هر هیبرید پلیت به اندازه کافی به دست آمد، از آن‌ها مثل حالت والدینی، اسپان تهیه گردید. برای کشت اسپان هیبریدها و والدین برای هر کدام سه بستر حاوی کلش گندم (به وزن ۶/۸ کیلوگرم) تهیه و استریل شدند. سپس بسترها با اسپان تهیه شده از هیبریدها و والدین (به مقدار ۳۵ گرم) تلقیح گردیده و در دمای 22 ± 1 درجه سانتی‌گراد در محیط تاریک قرار داده شد. بسترها پس از پنجه‌دوانی در یک محیط مناسب قرار داده شدند و سپس رطوبت محیط به ۸۵-۹۰ درصد رسانده شد تا هیبریدها شروع به تولید گره‌های اولیه و سپس پین کرده و تبدیل به کلاهک‌های بالغ شوند. کلاهک در این مرحله از نظر تولید اسپور مورد آزمون قرار گرفتند.

آنالیز آماری

تحلیل و بررسی داده‌های این آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام شد و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن محاسبه شد. رسم نمودارها به وسیله نرم‌افزار Microsoft Excel انجام گرفت.

نتایج و بحث

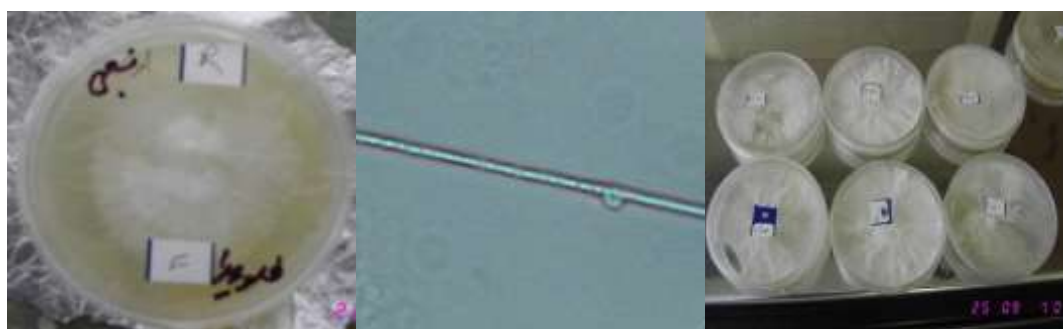
ایجاد هیبرید بین گونه‌ای

پس از رقیق کردن و کاشت اسپورهای سه گونه مورد مطالعه به تعدادی کافی منوکاریون از 'ارنجی'، 'فلوریدا' و 'قارچ زرد' تهیه

تعداد روز تا پنجه‌دوانی

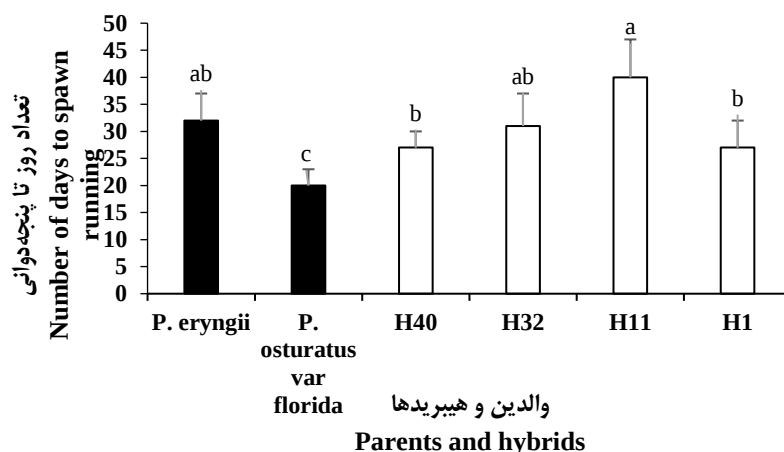
در بین ژنوتیپ‌ها اختلاف معنی‌داری از لحاظ تعداد روز تا پنجه‌دوانی وجود داشت ($p < 0.01$) و 'ارنجی' به دلیل کندی رشد میسلیم، از تعداد روز تا پنجه‌دوانی طولانی‌تری نسبت به 'فلوریدا' برخوردار بود. این در حالی است که در بین هیبریدها، 'H₁₁'، 'H₁' و 'H₃₂' از تعداد روز تا پنجه‌دوانی بیشتری نسبت به 'ارنجی' برخوردار بوده و تفکیک متجاوز در جهت منفی نشان دادند، ولی هیبرید 'H₄₀' با قرار گرفتن در بین دامنه والدین زودتر از سایر هیبریدها پنجه‌دوانی کرده و هیبرید رضایت‌بخشی از این لحاظ به نظر می‌رسد. لازم به ذکر می‌باشد که کمترین تعداد روز تا پنجه‌دوانی متعلق به 'فلوریدا' بوده، ولی باین‌حال این صفت از طریق دورگیری به هیبریدها انتقال پیدا نکرده است (شکل ۲). نتایج تحقیق تلاقی سه گونه قارچ صدفی *P. ostreatus*، *P. sapidus* و *P. pulmonarius* مشخص شد که سویه هیبریدی به‌دست‌آمده در این مطالعه تولید اسپان، وزن تازه میوه، راندمان بیولوژیکی و میزان تولید، عملکرد بسیار بهتری نسبت به سویه وحشی داشت (Adebayo et al., 2013).

شد. مونوکاریون‌ها در طی مدت زمان کوتاهی رشد کرده و قابل رؤیت شدند. ۳۰ مونوکاریون از 'فلوریدا'، ۱۰ مونوکاریون از 'ارنجی' و 'قارچ زرد' که از رشد مناسب برخوردار بودند، گزینش شد و از آن‌ها کلون تهیه گردید. از بین ۳۰۰ تلاقی (۱۰ × ۳۰) بین 'فلوریدا' و 'ارنجی' تنها چهار تلاقی سازگار و موفقیت‌آمیز به دست آمد که مطالعات میکروسکوپی نشان داد که قوص اتصال وجود داشته (شکل ۱) و بنابراین چهار دی‌کاریون از تلاقی 'فلوریدا' با 'ارنجی' به دست آمد. در سایر تلاقی‌های این دو گونه، در هم رفتن مونوکاریون‌ها و قوص اتصال مشاهده نشد. از بین ۱۰۰ تلاقی بین 'فلوریدا' با 'قارچ زرد' و 'ارنجی' با 'قارچ زرد'، تلاقی سازگار به دست نیامد و تکرار مجدد تلاقی‌ها نیز موفقیت‌آمیز نبود. در تلاقی بین دو گونه جدایه‌های تک اسپور، اسپورهای با رشد شعاعی سریع، انتخاب و با هم جفت شدند و نتایج تلاقی صورت‌گرفته نشان داد که دی‌کاریون‌هایی با بالاترین سرعت رشد میسلیم تشکیل شدند (Baral et al., 2018).



شکل ۱- تلاقی، قوص اتصال و میسلیم دی‌کاریون (به ترتیب از راست به چپ)

Figure 1- Cross, clamp connection, and dikaryon mycelium (from right to left, respectively)



شکل ۲- تعداد روز تا پنجه‌دوانی در والدین و هیبریدهای قارچ صدفی

Figure 2- Number of days to pinning in parental and hybrid strains of *Pleurotus* spp. (DMRT, $p \leq 0.05$; bars=SD)

از کاشت تا برداشت بیشتر نسبت به هیبریدهای 'H₄₀'، 'H₁' و 'H₃₂' داشت و مشابه 'ارنجی' بود، از طرف دیگر اگرچه هیبرید 'H₃₂' دارای طول دوره رشد از کاشت تا برداشت کوتاه‌تر بود، لذا از این لحاظ هیبرید مطلوب به نظر می‌رسد، ولی با داشتن حداقل عملکرد، هیبرید رضایت‌بخشی برای اهداف تولیدی نمی‌باشد. درحالی‌که هیبرید 'H₄₀' با دارا بودن طول دوره رشد از کاشت تا برداشت کمتر از 'ارنجی' و 'فلوریدا' تفکیک متجاوز نشان داده و با دارا بودن عملکرد مطلوب در حد ارنجی، هیبرید مناسبی می‌باشد (شکل ۴).

تعداد کلاهک تولیدی در هر بستر

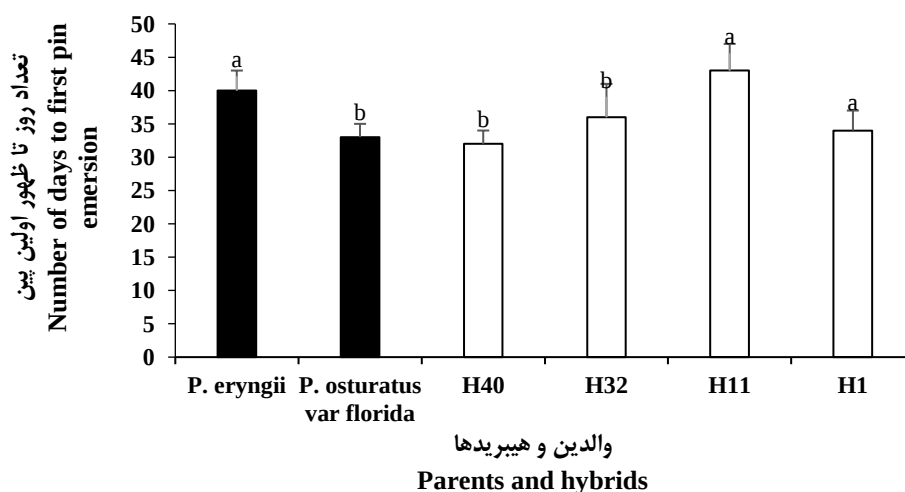
در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی، اختلاف معنی‌داری از لحاظ متوسط تعداد کلاهک تولیدی در هر بستر مشاهده شد ($p < 0.01$). 'فلوریدا' با دارا بودن متوسط ۳۹ کلاهک در هر بستر از بیشترین متوسط تعداد کلاهک تولیدی در هر بستر نسبت به 'ارنجی' و هیبریدها برخوردار بود که این امر به دلیل تشکیل تعداد گره‌های اولیه بیشتر و در نتیجه پین‌های تولیدی زیاد 'فلوریدا' نسبت به 'ارنجی'، و هیبریدها می‌باشد. همچنین اختلاف معنی‌داری بین هیبریدها از نظر تعداد کلاهک تولیدی وجود نداشت و به‌طور متوسط ۱۸ کلاهک تولید کردند (شکل ۵). در بررسی سایر نتایج نیز هیبریدهایی با تعداد کلاهک بیشتر از یکی از والدین تولید شده است (Jaswal et al., 2014).

تعداد روز تا ظهور اولین پین

بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر متوسط تعداد روز تا ظهور اولین پین اختلاف معنی‌داری وجود داشت ($p < 0.01$). 'ارنجی' به‌طور معنی‌داری دارای متوسط تعداد روز تا ظهور اولین پین بیشتری نسبت به 'فلوریدا' بود. بین 'فلوریدا' و هیبریدهای 'H₄₀'، 'H₃₂' و 'H₁' از لحاظ متوسط تعداد روز تا ظهور اولین پین اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. که این خود بیان‌کننده به ارث رسیدن این صفت از 'فلوریدا' به این هیبریدها می‌باشد. این در حالی است که سرعت رشد بالای میسلیوم‌ها در 'H₄₀'، باعث کم شدن دوره پنجه‌دوانی (حداقل ۱۵ روز) نسبت به سایر هیبریدها و 'ارنجی' شده است. در بین هیبریدها، 'H₁' دارای بیشترین متوسط تعداد روز تا ظهور اولین پین نسبت به سایر هیبریدها بود (شکل ۳).

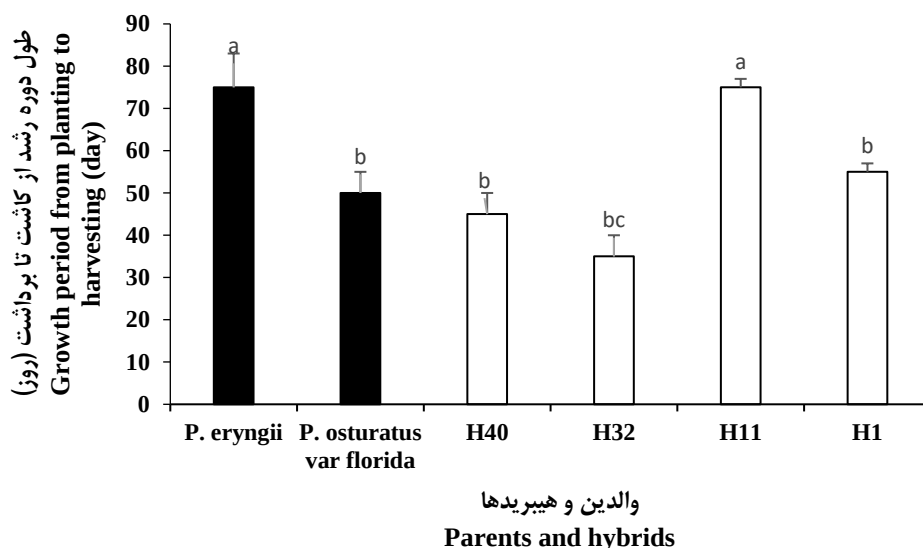
متوسط طول دوره رشد از کاشت تا برداشت

ژنوتیپ‌های مورد بررسی از لحاظ طول دوره رشد از کاشت تا برداشت اختلاف معنی‌داری نسبت به هم داشتند ($p < 0.01$). به‌طوری‌که طول دوره رشد از کاشت تا برداشت در 'فلوریدا' به علت قدرت تجزیه‌کنندگی بستر و در نتیجه سرعت بالای رشد میسلیوم‌ها به‌طور قابل ملاحظه‌ای کوتاه‌تر از 'ارنجی' بود. متوسط طول دوره رشد 'ارنجی' مساوی هیبرید 'H₁₁'، ولی از سایر هیبریدها به‌طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر بود. این در حالی است که متوسط طول دوره رشد 'فلوریدا' کمتر از 'H₁₁' و 'H₁' و بیشتر از 'H₄₀' و 'H₃₂' بود. در بین هیبریدها، 'H₁₁' به‌طور قابل ملاحظه‌ای طول دوره رشد

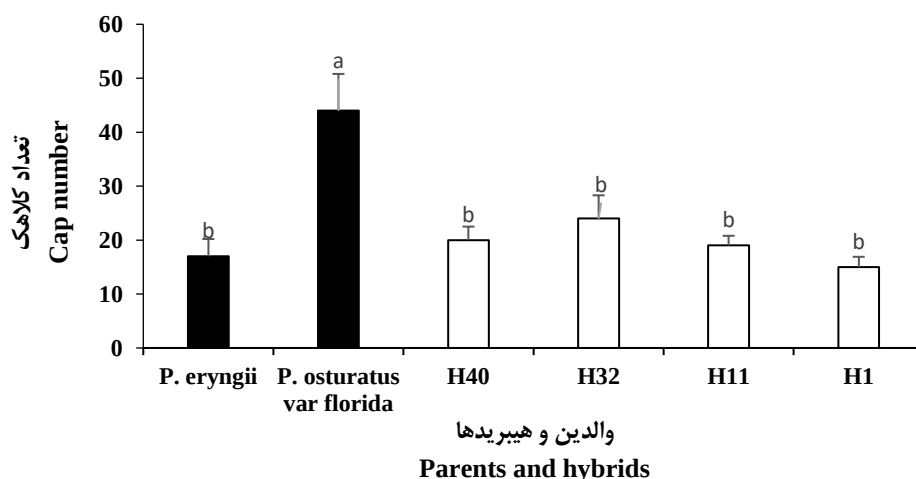


شکل ۳- تعداد روز تا ظهور اولین پین در والدین و هیبریدهای قارچ صدفی

Figure 3- The number of days to first pin emergence in parental and hybrid strains of *Pleurotus* spp. (DMRT, $p \leq 0.05$; bars=SD)



شکل ۴- طول دوره رشد از کاشت تا برداشت در والدین و هیبریدهای قارچ صدفی
Figure 4- Growth period from planting to harvesting running in parental and hybrid strains of *Pleurotus* spp. (DMRT, $p \leq 0.05$; bars=SD)

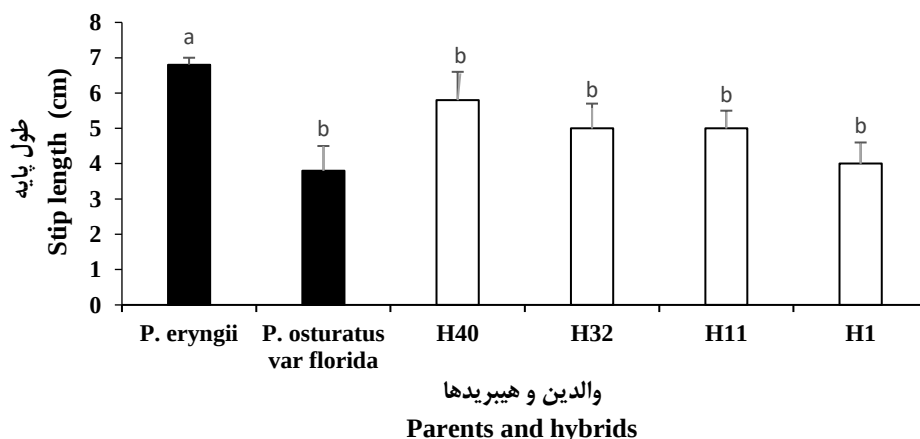


شکل ۵- تعداد کلاهک در والدین و هیبریدهای قارچ صدفی
Figure 5- Cap number in parental and hybrid strains of *Pleurotus* spp. (DMRT, $p \leq 0.05$; bars=SD)

طول و قطر پایه

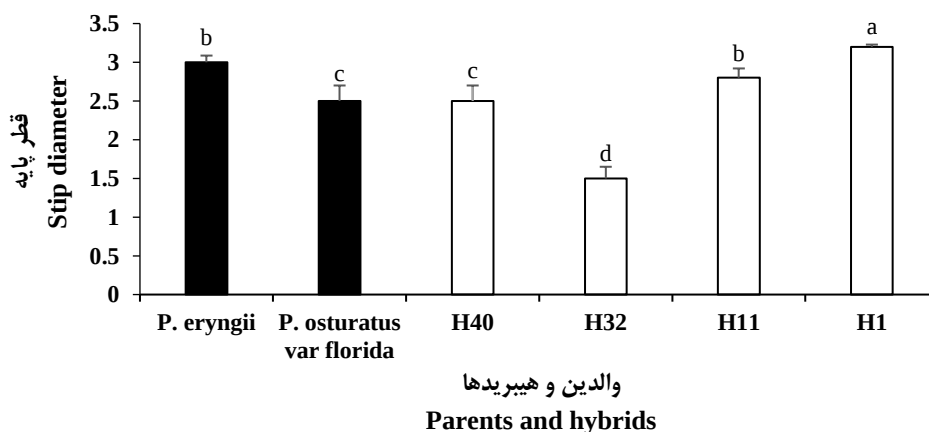
بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی، اختلاف معنی‌داری از لحاظ متوسط طول پایه وجود داشت ($p < 0.01$). متوسط طول پایه در 'ارنجی' به‌طور معنی‌داری بیشتر از هیبریدها و 'فلوریدا' بود. اختلاف معنی‌داری بین 'فلوریدا' و هیبریدها از نظر طول پایه مشاهده نشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که به احتمال زیادی این صفت از 'فلوریدا' به هیبریدها رسیده است. علاوه بر این اختلاف معنی‌داری بین هیبریدها نیز مشاهده نشد (شکل ۶). از لحاظ قطر پایه در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری وجود داشت ($p < 0.01$). متوسط قطر پایه در 'ارنجی' به‌طور معنی‌داری بیشتر از 'فلوریدا'

بود. متوسط قطر پایه در 'ارنجی' تفاوت معنی‌داری با هیبرید 'H11' نداشت، درحالی‌که متوسط قطر پایه 'ارنجی' بیشتر از هیبرید 'H32' و 'H11' و کمتر از هیبرید 'H1' بود. در بین هیبریدها نیز اختلاف معنی‌داری از لحاظ متوسط قطر پایه وجود داشت. در بین هیبریدها 'H1' دارای متوسط قطر پایه بزرگ‌تری نسبت به هیبریدهای 'H40'، 'H32' و 'H11' بود (شکل ۷). در تحقیقی با استفاده از هیبریداسیون مون-مون، سویه‌ای با ماندگاری بالا در *Pleurotus eryngii* ایجاد کردند. سویه هیبریدی ایجادشده پس از یک دوره ۵۹ روزه در دمای چهار درجه سانتی‌گراد، طبیعی باقی ماند. این مطالعه همبستگی ماندگاری با قطر محکم ساقه را نشان داد (Kim et al., 2013).



شکل ۶- طول پایه در والدین و هیبریدهای قارچ صدفی

Figure 6- Stiplength of parental and hybrid strains of *Pleurotus* spp. (DMRT, $p \leq 0.05$; bars=SD)



شکل ۷- قطر پایه در والدین و هیبریدهای قارچ صدفی

Figure 7- Stip diameter of parental and hybrid strains of *Pleurotus* spp. (DMRT, $p \leq 0.05$; bars=SD)

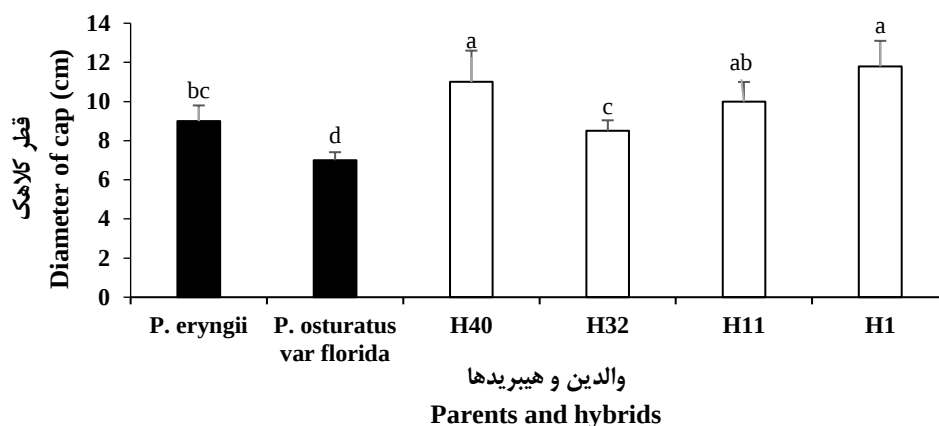
قطر کلاهک

در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر متوسط قطر کلاهک اندازه‌گیری شده تفاوت معنی‌داری وجود داشت ($p < 0.01$). متوسط قطر کلاهک 'ارنجی' به‌طور معنی‌داری ($9/05$ سانتی‌متر) بیشتر از 'فلوریدا' (هفت سانتی‌متر) بود. 'ارنجی' دارای متوسط قطر کلاهک کمتری نسبت به هیبریدهای 'H₄₀' و 'H₁' بود، این درحالی است که متوسط قطر کلاهک 'ارنجی' در مقایسه با هیبرید 'H₃₂' و 'H₁₁' تفاوت معنی‌داری نداشت. تمام هیبریدها متوسط قطر کلاهک بیشتری نسبت به 'فلوریدا' داشتند. در بین هیبریدها، 'H₄₀'، 'H₁' و 'H₁₁' تفاوت معنی‌داری از لحاظ متوسط قطر کلاهک نسبت به هم نداشتند، درحالی‌که هیبرید 'H₃₂' دارای متوسط قطر کلاهک کوچک‌تری در مقایسه با تمام هیبریدها بود. از طرف دیگر،

هیبریدهای 'H₁' و 'H₄₀' دارای متوسط قطر کلاهک بزرگ‌تر از والدین بوده و تفکیک متجاوز مثبت نشان دادند (شکل ۸).

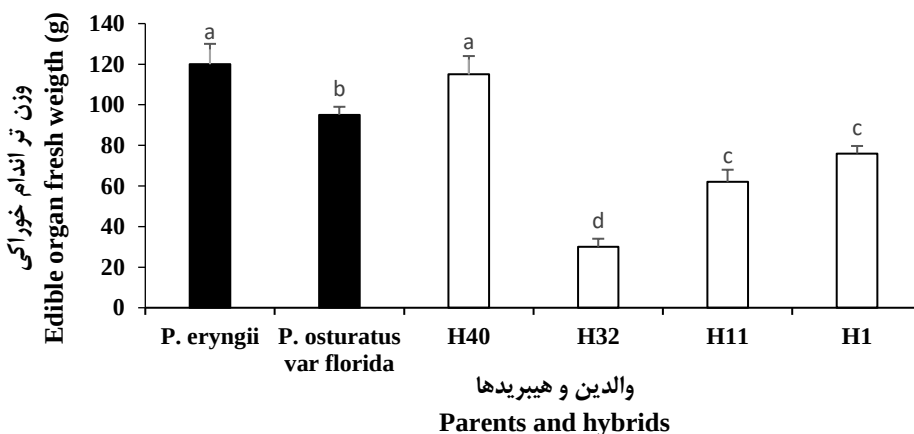
وزن تر اندام خوراکی

در بین ژنوتیپ‌ها از لحاظ متوسط وزن تر اندام خوراکی نیز اختلاف معنی‌داری وجود داشت ($p < 0.01$) به‌طوری‌که 'ارنجی' با داشتن متوسط وزن تر اندام خوراکی $120/5$ گرم، بیشترین وزن تر اندام خوراکی را به خود اختصاص داد. متوسط وزن تر اندام خوراکی 'ارنجی' تفاوت معنی‌داری با هیبرید 'H₄₀' نداشت. این درحالی است که هیبریدهای 'H₁₁'، 'H₁' و 'H₃₂' دارای متوسط وزن تر اندام خوراکی کمتر از 'ارنجی' و 'فلوریدا' بوده و تفکیک متجاوز در جهت منفی نشان دادند. در بین هیبریدها نیز تفاوت معنی‌داری از نظر متوسط وزن تر اندام خوراکی وجود داشت به‌طوری‌که هیبرید 'H₃₂' دارای کمترین متوسط وزن تر اندام خوراکی بود (شکل ۹).



شکل ۸- قطر کلاهک در والدین و هیبریدهای قارچ صدفی

Figure 8- Diameter of cap in parental and hybrid strains of *Pleurotus* spp. (DMRT, $p \leq 0.05$; bars=SD)



شکل ۹- وزن تر اندام خوراکی در والدین و هیبریدهای قارچ صدفی

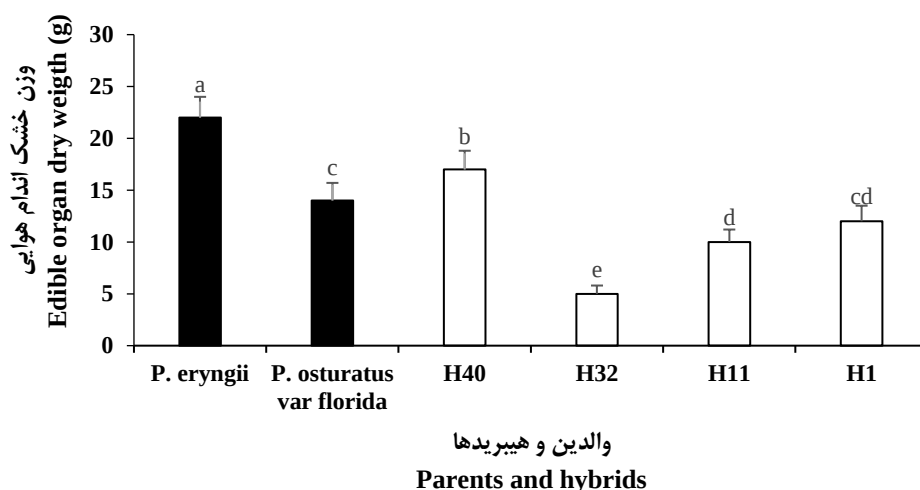
Figure 9- Edible organ fresh weight in parental and hybrid strains of *Pleurotus* spp. (DMRT, $p \leq 0.05$; bars=SD)

متوسط عملکرد

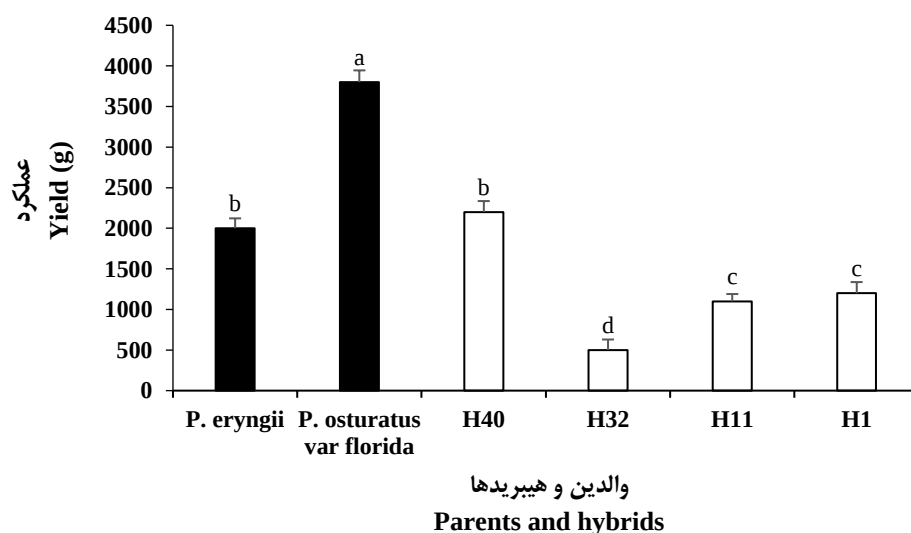
متوسط عملکرد برداشت شده طی سه دوره از هر بستر مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. اختلاف معنی داری بین ژنوتیپها از لحاظ متوسط عملکرد وجود داشت ($p < 0.01$). 'فلوریدا' با داشتن متوسط عملکرد ۳۸۳۱ گرم به ازاء هر بستر از بالاترین عملکرد برخوردار بود و اختلاف معنی داری نسبت به 'ارنجی' با متوسط عملکرد ۲۰۸۱ گرم به ازای بستر و هیبریدهای تولیدی نشان داد. متوسط عملکرد هیبریدهای 'H₁₁'، 'H₁' و 'H₃₂' به طور معنی داری کمتر از 'فلوریدا'، 'ارنجی' و هیبرید 'H₄₀' بود و این هیبریدها از نظر ویژگی عملکرد، هیبرید نامناسبی شناخته شدند (شکل ۱۱). در تلاقی بین دو گونه *P. citrinopileatus* و *P. pulmonarius* ده مونوکاریون از هر والد به صورت ترکیبی با هم جفت گیری شدند. در مجموع، پنج هیبرید به دست آمد. یکی از هیبریدها در مقایسه با والدین، رشد میسیلیوم و عملکرد بالاتری نشان داد (Abdulgani et al., 2017).

متوسط وزن خشک اندام خوراکی

ژنوتیپهای مورد مطالعه اختلاف معنی داری از لحاظ متوسط وزن خشک اندام خوراکی نیز داشتند ($p < 0.01$). 'ارنجی' با دارا بودن ۲۱/۵۳ گرم وزن خشک از بیشترین وزن خشک اندام خوراکی برخوردار بود و اختلاف معنی داری با فلوریدا و هیبریدها نشان داد. هیبریدها نیز اختلاف معنی داری از لحاظ متوسط وزن خشک اندام خوراکی نسبت به هم نشان دادند. هیبرید 'H₄₀' به طور معنی داری وزن خشک اندام خوراکی بیشتری نسبت به هیبریدهای 'H₃₂'، 'H₁₁' و 'H₁' داشت و حتی از وزن خشک اندام خوراکی بیشتری نسبت به فلوریدا نیز برخوردار بود که از این لحاظ هیبرید مطلوبی به نظر می رسد. کمترین وزن خشک اندام هوایی مربوط به 'H₁₁' و 'H₃₂' بود که تفکیک متجاوز در جهت منفی نشان دادند (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- وزن خشک اندام خوراکی در والدین و هیبریدهای قارچ صدفی
Figure 10- Edible organ dry weight in parental and hybrid strain of *Pleurotus* spp. (DMRT, $p \leq 0.05$; bars=SD)



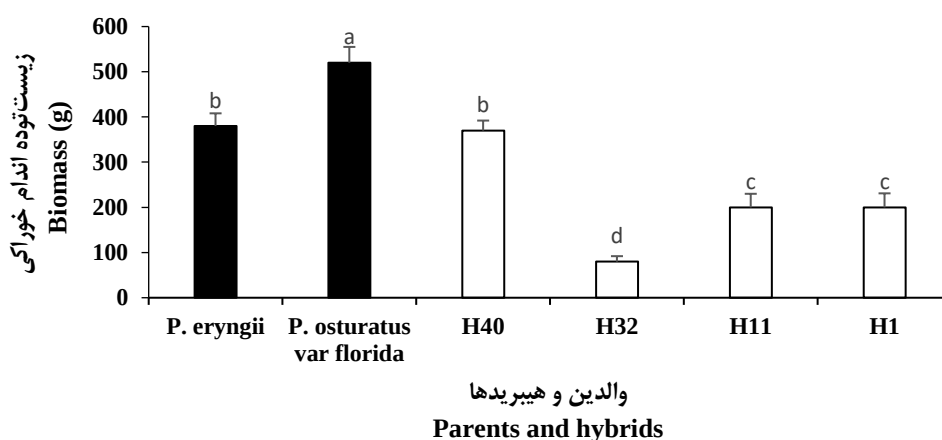
شکل ۱۱- عملکرد (گرم به ازای هر بستر شش کیلوگرمی) در والدین و هیبریدهای قارچ صدفی
Figure 11- Yield (g per 6 kg bed) in parental and hybrid strain of *Pleurotus* spp. (DMRT, $p \leq 0.05$; bars=SD)

در حالی است که به علت کم بودن زیست توده اندام خوراکی هیبریدهای 'H₁₁'، 'H₁' و 'H₃₂' نسبت به سایر ژنوتیپ، می توان اظهار داشت که قدرت تجزیه کنندگی این هیبریدها پایین بوده و باید از سایر خصوصیات این هیبریدها استفاده کرد (شکل ۱۲).

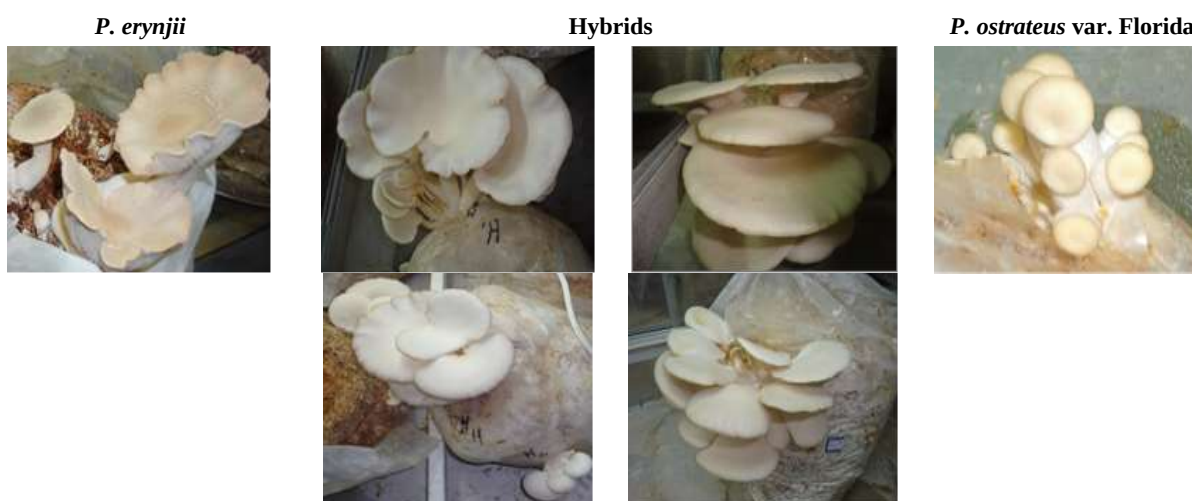
دسته بندی ژنوتیپها براساس عملکرد (وزن تر و خشک) از لحاظ عملکرد (وزن تر و خشک)، هیبرید 'H₁₁'، 'H₁' و 'H₃₂' شباهت زیادی با هم داشته و در خوشه واحدی قرار گرفتند. از طرف دیگر، هیبرید 'H₄₀' شبیه 'ارنجی' بود. در کل، هیبریدها و 'ارنجی' از نظر عملکرد در یک گروه قرار گرفتند. این درحالی است

زیست توده اندام خوراکی (گرم به ازای هر بستر) بین ژنوتیپها از لحاظ زیست توده اندام خوراکی اختلاف معنی داری وجود داشت ($p < 0.01$). زیست توده اندام خوراکی در 'فلوریدا' به طور معنی داری بیشتر از زیست توده اندام خوراکی در 'ارنجی' و هیبریدها بود و این امر نشان می دهد که قدرت تجزیه بستر در 'فلوریدا' نسبت به گونه 'ارنجی' و هیبریدهای آنها بیشتر می باشد. اختلاف معنی داری بین زیست توده اندام خوراکی 'ارنجی' و 'H₄₀' وجود نداشت، اما زیست توده اندام خوراکی 'ارنجی' به طور معنی داری بیشتر از هیبریدهای 'H₁₁'، 'H₁' و 'H₃₂' بود. بنابراین H₄₀ از لحاظ قدرت تجزیه بستر مشابه 'ارنجی' عمل کرده است. این

که 'فلوریدا' یک گروه مجزا را به خود اختصاص داد. نتیجه اینکه از لحاظ عملکرد هیبریدها مشابه 'ارنجی' بوده و صفات عملکرد بالا از 'فلوریدا' به هیبریدها منتقل نشد (شکل ۱۴).



شکل ۱۲- زیست توده (گرم به ازاء هر بستر شش کیلوگرمی) در والدین و هیبریدهای قارچ صدفی
Figure 12-Biomass (g per 6 kg bed) in parentl and hybrid strain of *Pleurotus* spp. (DMRT, $p \leq 0.05$; bars=SD)



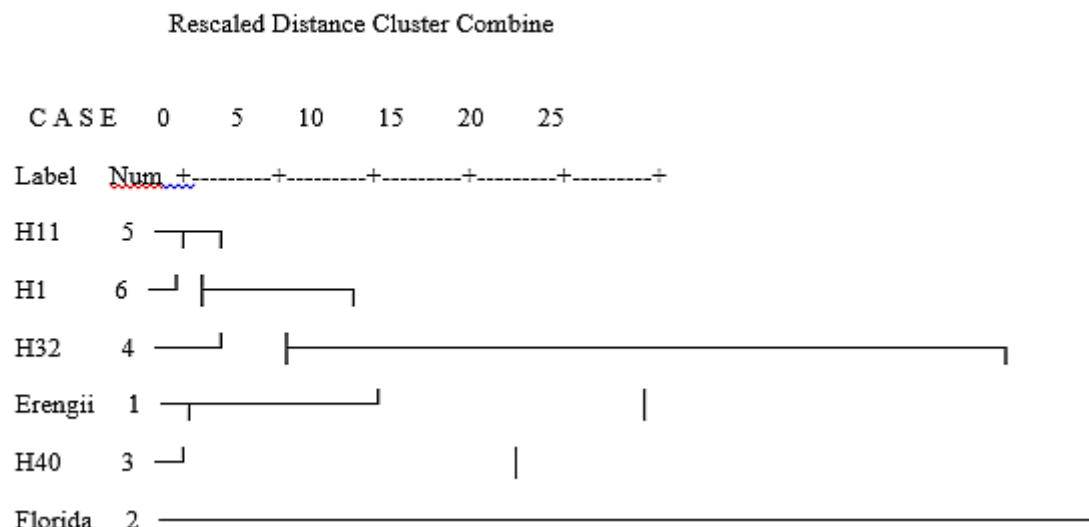
شکل ۱۳- تولید اندام خوراکی در والدین و هیبریدها
Figure 13- Produce of edible organ in parental and hybrid strains

نتیجه گیری

طول دوره کاشت کمتری برخوردار بودند، زودرس تر از والدین و سایر هیبریدها بودند. هیبرید 'H40' با دارا بودن وزن تر اندام خوراکی مشابه با 'ارنجی' یک هیبرید مناسب محسوب گردید. این در حالی است که بقیه هیبریدها از لحاظ این صفت نامطلوب بودند. هیبرید 'H40' عملکرد (وزن تر) و زیست توده بیشتری نسبت به هیبریدهای دیگر داشت و مشابه 'ارنجی' بود. حداقل اسپورزایی در هیبریدهای 'H1' و 'H11' مشاهده گردید که این مقدار اسپورزایی حتی کمتر از 'ارنجی' بود. هیبرید 'H40' هرچند از نظر برخی صفات هیبرید مطلوبی به نظر می رسد، اما از اسپورزایی زیاد و مشابه 'فلوریدا' برخوردار بود.

نتایج بررسی حاضر نشان داد که تلاقی بین قارچ زرد با 'فلوریدا' و 'ارنجی' با قارچ زرد موفقیت آمیز نبود. از بین ۳۰۰ تلاقی (۱۰ × ۳۰) بین 'فلوریدا' و 'ارنجی' چهار تلاقی سازگار و موفقیت آمیز به دست آمد که هیبریدهای 'H1'، 'H32'، 'H11' و 'H40' نام گذاری شدند. از لحاظ پنجه دوانی بین ژنوتیپ ها اختلاف قابل ملاحظه ای وجود داشت و هیبریدها از این لحاظ به 'ارنجی' شبیه بوده و در مدت زمان طولانی تری نسبت به 'فلوریدا' پنجه دوانی کردند. هیبرید 'H40' و 'H32' به خاطر اینکه از تعداد روز تا ظهور اولین پین و در نهایت از

Dendrogram using Average Linkage (Between Groups)



شکل ۱۴- دسته بندی ژنوتیپ‌های قارچ خوراکی براساس عملکرد
Figure 14- Classification of mushroom genotypes based on yield

References

1. Abdulgani, R., Ching-Ching, L., Abdullah, N., & Vikineswary, S. (2017). Morphological and molecular characterization of *Pleurotus pulmonarius* (fr.) Quel hybrids with improved sporophore features and higher biological efficacy. *International Journal of Agriculture and Biology*, 19(4), 1814-9596.
2. Adebayo, E. A., Oloke, J. K., Yadav, A., Barooah, M., & Bora, T. C. (2013). Improving yield performance of *Pleurotus pulmonarius* through hyphal anastomosis fusion of dikaryons. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 29, 1029-1037. <https://doi.org/10.1007/s11274-013-1266-8>
3. Baral, D., Roy, A., Thapa, S., & Chettri, D. (2018). Selection of culture media and monokaryotic isolates of *Pleurotus flabellatus* and *P. sajor-caju* for their dikaryotization followed by performance testing of dikaryotic isolates on malt extract agar medium. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 26, 1-10.
4. Barh, A., Sharma, V. P., Annepu, S. K., Kamal, S., Sharma, S., & Bhatt, P. (2019). Genetic improvement in *Pleurotus* (oyster mushroom): A review. *3 Biotech*, 9(9), 322. <https://doi.org/10.1007/s13205-019-1854-x>
5. Bellettini, M. B., Fiorda, F. A., Maieves, H. A., Teixeira, G. L., Ávila, S., Hornung, P. S., Júnior, A. M., & Ribani, R. H. (2019). Factors affecting mushroom *Pleurotus* spp. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(4), 633-646. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.12.005>
6. Elbagory, M., El-Nahrawy, S., Omara, A. E. D., Eid, E. M., Bachheti, A., Kumar, P., Abou Fayssal, S., Adelodun, B., Bachheti, R. K., & Kumar, P. (2022). Sustainable bioconversion of wetland plant biomass for *Pleurotus ostreatus* var. florida cultivation: Studies on proximate and biochemical characterization. *Agriculture*, 12(12), 2095. <https://doi.org/10.3390/agriculture12122095>
7. Goltapeh, E. M., Danesh, Y. R., Kamal, S., & Varma, A. (2009). Biology and molecular approaches in genetic improvement of cultivated button mushroom (*Agaricus bisporus*). *Symbiotic Fungi: Principles and Practice*, chapter, 403-421.
8. Guo, Y., Chen, X., Gong, P., Wang, R., Qi, Z., Deng, Z., Han, A., Long, H., Wang, J., & Yao, W. (2023). Advances in postharvest storage and preservation strategies for *Pleurotus eryngii*. *Foods*, 12(5), 1046. <https://doi.org/10.3390/foods12051046>
9. Gupta, B., Niranjana Reddy, B. P., & Kotasthane, A. S. (2011). Molecular characterization and mating type analysis of oyster mushroom (*Pleurotus* spp.) using single basidiospores for strain improvement. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 27, 1-9.
10. Jaswal, R. K., Sodhi, H. S., & Sharma, S. (2014). Characterization of interspecific hybrid dikaryons of the oyster mushrooms, *Pleurotus florida* PAU-5 and *P. sajor-caju* PAU-3 (higher Basidiomycetes) from India. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 16(4). <https://doi.org/10.1615/intjmedmushrooms.v16.i4.60>

11. Khan, S. M., Nawaz, A., Malik, W., Javed, N., Yasmin, T., ur Rehman, M., Qayyum, A., Iqbal, Q., Ahmad, T., & Khan, A. A. (2011). Morphological and molecular characterization of oyster mushroom (*Pleurotus* spp.). *African Journal of Biotechnology*, 10(14), 2638-2643. <https://doi.org/10.5897/AJB10.499>
12. Kim, M. K., Ryu, J. S., Lee, Y. H., & Kim, H. R. (2013). Breeding of a long shelf-life strain for commercial cultivation by mono-mono crossing in *Pleurotus eryngii*. *Scientia horticulturae*, 162, 265-270. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.08.028>
13. Kinge, T. R., Adi, E. M., Mih, A. M., Ache, N. A., & Nji, T. M. (2016). Effect of substrate on the growth, nutritional and bioactive components of *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus florida*. *African Journal of Biotechnology*, 15(27), 1476-1486. <https://doi.org/10.5897/AJB2015.15130>
14. Lin, P., Yan, Z. F., Kook, M., Li, C. T., & Yi, T. H. (2022). Genetic and chemical diversity of edible mushroom *Pleurotus* species. *BioMed Research International*, 2022(1), 6068185. <https://doi.org/10.1155/2022/6068185>
15. Mohamadhasani, F., & Rahimi, M. (2022). Growth response and mycoremediation of heavy metals by fungus *Pleurotus* sp. *Scientific Reports*, 12(1), 19947.
16. Rosnina, A. G., Tan, Y. S., Abdullah, N., & Vikineswary, S. (2016). Morphological and molecular characterization of yellow oyster mushroom, *Pleurotus citrinopileatus*, hybrids obtained by interspecies mating. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 32, 1-9. <https://doi.org/10.1007/s11274-015-1959-2>
17. Royse, D. J., Rhodes, T. W., Ohga, S., & Sanchez, J. E. (2004). Yield, mushroom size and time to production of *Pleurotus cornucopiae* (oyster mushroom) grown on switch grass substrate spawned and supplemented at various rates. *Bioresource Technology*, 91(1), 85-91. [https://doi.org/10.1016/s0960-8524\(03\)00151-2](https://doi.org/10.1016/s0960-8524(03)00151-2)
18. Sánchez, C. (2010). Cultivation of *Pleurotus ostreatus* and other edible mushrooms. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85, 1321-1337. <https://doi.org/10.1007/s00253-009-2343-7>
19. Sonnenberg, A. S. M., Baars, J. J. P., Hendrickx, P. M., Lavrijssen, B., Gao, W., Weijn, A., & Mes, J. J. (2011). Breeding and strain protection in the button mushroom *Agaricus bisporus*. Proceedings of the 7th International Conference of the World Society for Mushroom Biology and Mushroom Products, 04-07 October 2011, Arcachon, France, 7-15.
20. Törös, G. H. R. H., El-Ramady, H., & Prokisch, J. (2022). Edible mushroom of *Pleurotus* spp.: A case study of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus* L.). *Environment, Biodiversity and Soil Security*, 6(2022), 51-59.
21. Wang, Y., Wang, R., Mao, W. J., Gong, M., Gao, Y. N., Tang, L. H., Yang, R. F., Li, Y., & Zhou, C. L. (2016). A simple and efficient transformation system for the edible mushroom *Pleurotus eryngii*. *Mycoscience*, 57(5), 356-360. <https://doi.org/10.1016/j.myc.2016.06.005>