بررسی خصوصیات فیزیکی پلت اکسترود و فشرده ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhyncus mykiss*) و کپور معمولی (*Ciprinus carpio*)

- **زهرا مظاهری‌تهرانی***: گروه شیلات، دانشکده علوم دامی و شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، صندوق پستی: ٥٧٨
- **عبدالصمد کرامت‌امیری**: گروه شیلات، دانشکده علوم دامی و شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، صندوق پستی: ٥٧٨

تاریخ دریافت: آذر ١٣٩٤ تاریخ پذیرش: اسفند ١٣٩٤

چکیده

هدف از این مطالعه، بررسی ساختار فیزیکی پلت تهیه شده مورد استفاده در صنعت آبزی‌پروری است. به این منظور، پلت‌های مخصوص پرواری با قطر ٤ میلی‌متر، اکسترود و فشرده تهیه شده برای مصرف قزل‌آلا و کپور، از کارخانه به‌دانه شمال مورد آزمایش قرار گرفت. پارامترهای مورد بررسی یکنواختی قطر پلت، وزن حجمی، رطوبت، شناوری، نرخ گسترش، حلالیت در آب و ظرفیت نگه‌داری آب بود. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که قطر دانه خوراک تهیه شده با روش اکسترود اختلاف معنی‌داری با قطر پلت فشرده نداشت. نتایج به‌دست آمده از وزن حجمی، رطوبت و نرخ گسترش در پلت اکسترود کم‌تر از پلت فشرده بود و اختلاف معنی‌داری نشان داد($p<0/05$) اما بین پلت‌های قزل‌آلا و کپور اختلاف معنی‌داری دیده نشد ($p>0/05$). پلت‌های اکسترود در طی مدت آزمایش کاملاً شناور و پلت‌های فشرده کاملا غوطه‌ور بود. پلت اکسترود پایداری در آب بیش‌تری نسبت به پلت فشرده نشان داد و انحلال‌پذیری در پلت اکسترود و فشرده کپور کم‌تر از دو نوع پلت قزل‌آلا بود اما در هیچ‌یک از دو حالت اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ($p>0/05$). ظرفیت نگه‌داری آب در بررسی بین اکسترود و فشرده اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد($p<0/05$) و پلت‌های در حالت اکسترود ظرفیت نگه‌داری آب بیش‌تری داشت اما در جیره قزل‌آلا و کپور اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ($p>0/05$). در نهایت می‌توان به این نتیجه رسید که دوام و پایداری پلت‌های اکسترود بیش‌تر از پلت‌های فشرده بود و این نوع پلت مزایای بیش‌تری برای استفاده در تغذیه آبزیان دارد.

کلمات کلیدی: خصوصیات فیزیکی، اکسترود، پلت فشرده، قزل‌آلای رنگین‌کمان، کپور معمولی

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: z.mazahery٣١٣@yahoo.com

مقدمه

با افزایش پرورش و مصرف آبزیان در سطح جهانی، نیاز به استفاده از خوراک‌های با کیفیت بهتر احساس می‌شود. با توسعه مراکز پرورش آبزیان، آبزی‌پروری به صنعتی تبدیل شده که با درآمد بالاتر، کیفیت محصولات و فرصت‌های شغلی بهتر، یکی از سریع‌ترین میزان رشد را در بین واحدهای تولید غذا در در جهان به‌خود اختصاص داده است (Kannadhason و همکاران،۲۰۱۱). استفاده از خوراک آماده برای تغذیه آبزیان به‌واسطه ایجاد امکان مصرف ضایعات صنعتی و پسماندهای کشاورزی در جهت کسب ارزش افزوده و هم‌چنین سهولت حمل و نقل، نگه‌داری و مصرف، در سال‌های اخیر رو به فزونی نهاده است (Abdollahi و همکاران، ۲۰۱۲). تراکم بالای آبزی در محیط‌های پرورشی نیازمند تامین خوراک با قابلیت دسترسی بالا و استفاده آسان است. برای این منظور می‌توان از خوراک آماده به‌صورت پلت استفاده کرد. خوراک پلت متشکل از مجموعه‌ای ازمواد غذایی است که قادر است همه نیازهای غذایی جاندار مصرف‌کننده را برآورده سازد. در گذشته برای تهیه خوراک آبزیان، مواد اولیه براساس نیاز غذایی ماهی با یکدیگر ترکیب شده و از دستگاه پلت‌زن عبور داده می‌شد. پلت‌های تهیه شده با این روش استحکام کافی نداشته و در جابجایی به سادگی شکسته و ساییده می‌شد. به این ترتیب بخشی از پلت‌ها در زمان حمل و نقل قابلیت استفاده خود را از دست می‌داد (Abdollahi و همکاران، ۲۰۱۲). هم‌چنین، این نوع خوراک به‌دلیل عدم استحکام کافی، پس از این‌که به‌داخل آب ریخته می‌شد به سهولت تحت نفوذ آب قرار گرفته و ساختار فیزیکی خود را از دست می‌داد و به این ترتیب بخش بزرگی از پلت، از دسترس آبزی خارج شده و هزینه خوراک به‌شدت بالا می‌رفت.

در طی فرایند اکستروژن در صنعت غذاسازی، پلت‌ها در زمان شکل‌گیری به‌شدت تحت فشار و دمای بالا قرار گرفته و اجزا سازنده به یکدیگر متصل و استحکام فیزیکی زیادی در پلت ایجاد می‌شود. در مقایسه با فرآیند اکستروژن، فرآیند ساخت پلت فشرده در دمای کم‌تر (۶۰ تا ۹۰ درجه سانتی‌گراد در مقابل ۸۰ تا ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد) و مدت ماندگاری کم‌تر (۲ تا ۲۰ ثانیه در مقابل ۱۰ تا ۱۲۰ ثانیه) انجام می‌گیرد (Crane و همکاران، ۲۰۱۰). استفاده از اکسترودر برای تولید خوراک، مشکلات ذکر شده در پلت فشرده مانند تخریب سریع و شکسته‌شدن را از بین می‌برد (Amerah و همکاران، ۲۰۰۷؛ Cramer و همکاران، ۲۰۰۳). هم‌چنین استفاده از روش اکستروژن سبب بهبود قابلیت هضم، بهبود ضریب تبدیل غذایی، کنترل تراکم پلت، پایداری پلت در آب، بازده بهتر تولید و تطبیق‌پذیری بهتر می‌گردد. توانایی پایداری پلت در برابر شکستن و ساییده شدن، در زمان حمل و نقل و نگه‌داری در انبار به خصوصیت فیزیکی پلت بستگی دارد (Umar و همکاران، ۲۰۱۳). در تهیه پلت اکسترود، دما و فشار بخار بالای دستگاه سبب ایجاد تغییراتی در ساختار شیمیایی و فیزیکی پلت می‌شود که افزایش کیفیت فیزیکی پلت و در موارد بسیاری افزایش هضم‌پذیری را در پی دارد (Cruz و همکاران، ۲۰۱۵).

برای شکل‌گیری بهتر پلت‌های فشرده از همبند استفاده می‌شود که تمامی اجزا جیره را به هم متصل می‌کند اما در تهیه خوراک اکسترود از همبند استفاده نمی‌شود (Abdollahi و همکاران، ۲۰۱۲). نشاسته و پروتئین موجود در جیره پس از حضور طولانی مدت در مقابل حرارت بالا، به نشاسته ژلاتینه و پروتئین با ساختار تغییر یافته تبدیل می‌شوند که به‌عنوان همبند نقش مهمی در اتصال اجزا جیره و فرم‌گیری آن ایفا می‌کنند (Sarawong و همکاران، ۲۰۱۴؛ Umar و همکاران، ۲۰۱۳؛ Kannadhason و همکاران، ۲۰۱۱؛ Xie و همکاران، ۲۰۰۹). هم‌چنین نشاسته ژلاتینه در پلت اکسترود، سبب کاهش نسبت وزن به حجم در پلت اکسترود می‌شود و به پلت حالت شناوری می‌دهد، با تغییر این نسبت می‌توان شناوری پلت را متناسب با سطح غذاگیری جاندار در لایه‌های مختلف آب تنظیم کرد (Cruz و همکاران، ۲۰۱۵؛ Umar و همکاران، ۲۰۱۳). نشاسته ژلاتینه هم‌چنین اتصالات محکمی بین اجزا جیره ایجاد می‌کند که این ویژگی پایداری زیادی به پلت می‌دهد و با افزایش مقاومت پلت در آب، مقدار خروج مواد مغذی از پلت را کاهش می‌دهد و در نتیجه آلودگی کم‌تری در آب ایجاد می‌شود این عوامل در شرایط پرورش متراکم ماهی اهمیت بیش‌تری دارد (Umar و همکاران، ۲۰۱۳). ظرفیت نگه‌داری آب طی مراحل اکسترود افزایش می‌یابد و خود نیز باعث افزایش انرژی مکانیکی مورد نیاز برای ترکیب جیره و بهبود ژلاتینه شدن نشاسته در هنگام ساخت جیره می‌شود (Samuelsen و همکاران، ۲۰۱۳).

گرما و رطوبت بیش‌تر، در کنار ترکیبات غذا دو پیش شرط اولیه مورد نیاز برای چسبندگی ذرات خوراک و در نتیجه بهبود کیفیت پلت است. در فرآیند تهیه پلت اکسترود، افزایش دمای تولید پلت باعث افزایش فشار بخار می‌شود. فشار اعمال شده در شرایط ساخت پلت تاثیری بر دوام پلت‌های تهیه شده برپایه ذرت و گندم نداشت (Abdollahi و همکاران، ۲۰۱۲). Cutlip و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی مقاوم پلت در جیره‌های جو، گندم و سویا در دماهای متفاوت دریافتند که افزایش دما پلت باعث افزایش سختی و پایداری پلت خواهد شد. دما در پایداری پلت

بیش‌ترین تاثیر را دارد اما وجود فشار بخار به‌طورکامل باعث انتقال یکنواخت‌تر حرارت می‌شود. افزایش مدت حضور جیره و مخلوط شدن در مخلوط‌کن باعث بهبود کیفیت پلت می‌شود (Maier، ۲۰۰۰). تولید پلت‌های اکسترود نیازمند کنترل مقاومت پلت برای به‌دست آوردن محصول با کیفیت فیزیکی قابل قبول و تراکم پلت‌ها است. با توجه به مطالب بیان شده به‌نظر می‌رسد تحقیقات محدودی در رابطه با اثرات فرایندهای توام حرارتی و رطوبتی بر ساختار فیزیکی پلت وجود دارد، بنابراین هدف اصلی این تحقیق مقایسه خصوصیات فیزیکی و میزان مقاومت پلت اکسترود و فشرده مورد استفاده در تغذیه ماهیان سردآبی و کپور معمولی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

برای بررسی خصوصیات فیزیکی پلت‌های اکسترود و فشرده در این مطالعه ۴ گروه، پلت اکسترود قزل‌آلا، پلت فشرده قزل‌آلا، پلت اکسترود کپور و پلت فشرده کپور مناسب برای ماهی پرواری انتخاب شد. این مطالعه در آبان ماه ۱۳۹۴ در آزمایشگاه تغذیه آبزیان دانشگاه علوم کشاورزی ساری انجام شد و پلت‌ها از کارخانه بهدانه شمال تهیه شدند. قطر پلت‌ها ۴ میلی‌متر و تقریباً یکنواخت بودند. برای هر آزمایش سه تکرار شامل ۵ عدد پلت از هر گروه مورد بررسی قرار گرفت.

برای تعیین یکنواختی پلت‌های مورد بررسی، قطر نمونه‌ها با کولیس دیجیتال اندازه‌گیری شد. نرخ گسترش (Expansion rate) (میلی‌متر) فاکتوری وابسته به قطر پلت که با رابطه زیر محاسبه شد (Khater، ۲۰۱۴):

$$RE=Df-Di$$

در این فرمول RE= نرخ گسترش، Di= قطر اولیه پلت (میلی‌متر)، Df= قطر نهایی پلت پس از این که به‌مدت ۱۰ دقیقه در آب مقطر قرار گرفت.

محاسبه وزن حجمی (Bulk density) (گرم بر میلی‌لیتر) پلت‌ها به‌منظور تعیین نسبت وزن به حجم صورت گرفت. در این آزمایش سه تکرار انتخاب شده به‌صورت تصادفی پس از توزین با ترازوی دیجیتال، در استوانه مدرج ۱۰۰ میلی‌لیتری حاوی آب مقطر ریخته شد. حاصل نسبت وزن پلت‌ها در هر چهار گروه به حجم آن‌ها پس از قرارگیری در آب نشان‌دهنده وزن حجمی پلت‌ها بود (Aas و همکاران، ۲۰۱۱؛ Sørensen، ۲۰۰۷). شناوری پلت‌های آزمایشی ارتباط زیادی با وزن حجمی آن‌ها داشت. شناوری (Floatability) (درصد) پلت‌ها پس از ۲۰ دقیقه قرارگیری در آب مقطر تعیین شد. پس از گذشت زمان مورد نظر، شناوری یا غوطه‌وری پلت مشخص شد. برای این پارامتر مقیاسی بین ۱۰۰-۰ درنظر گرفته شد که ۱۰۰ مربوط به شناوری کامل و ۰ به غوطه‌وری مربوط بود. قرار گیری پلت در سطوح مختلف، متناسب با سطحی که در آن ماندگار می‌شود عددی بین این محدوده داشت (Khater، ۲۰۱۴). میزان شناوری پلت‌ها با استفاده از رابطه زیر مشخص شد:

$$F=[F_f / F_i]\times 100$$

F= درصد شناوری، F_f= تعداد پلت‌های شناور، F_i= تعداد پلت‌های مورد آزمایش.

برای تعیین رطوبت (Moisture) (درصد) پلت‌های انتخاب شده با ترازوی دیجیتال وزن شدند و سپس درآون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. وزن نمونه‌ها در فاصله زمانی ۴ ساعت اندازه‌گیری شد و زمانی که تغییر وزنی در نمونه‌ها وجود نداشت به‌عنوان وزن نهایی ثبت شد. در نهایت درصد رطوبت پلت‌ها تعیین شد (Standard، ۱۹۸۴).

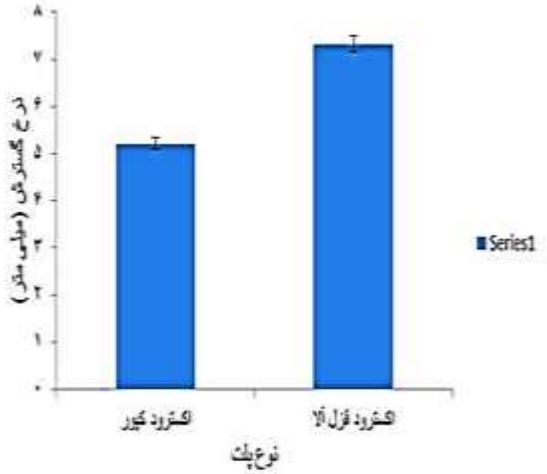
برای به‌دست آوردن پایداری پلت در آب (Water stability) (گرم بر میلی‌لیتر) نمونه‌های انتخاب شده را پس از توزین، در آب مقطر ریخته و در زمان‌های متفاوت با هم‌زن با ۱۴۰ دور در دقیقه به‌شدت به‌هم زده شد. سپس نمونه‌ها با استفاده از الک ۲ میلی‌متری به‌مدت ۱ دقیقه الک شد و نمونه‌های باقی‌مانده، در آون با دمای ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و پس از ۲ ساعت وزن آن‌ها به‌دست آمد. ظرفیت نگه‌داری آب (Water holding capacity) (میلی‌لیتر بر گرم) نیز با آرد کردن یک گرم نمونه، که با ۴۰ میلی لیتر آب مقطر، در سانترفیوژ g ۳۰۰۰× به‌مدت ۱۰ دقیقه قرار گرفت محاسبه شد. پس از جداسازی فاز مایع، با محاسبه اختلاف حجم آب پارامتر مورد نظر تعیین شد (Yasumatsu، ۱۹۷۲).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌های به‌دست آمده در این تحقیق با استفاده از مدل آنالیز T-Test با کمک نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۱۹ با میزان خطای ۵٪ انجام گرفت.

نتایج

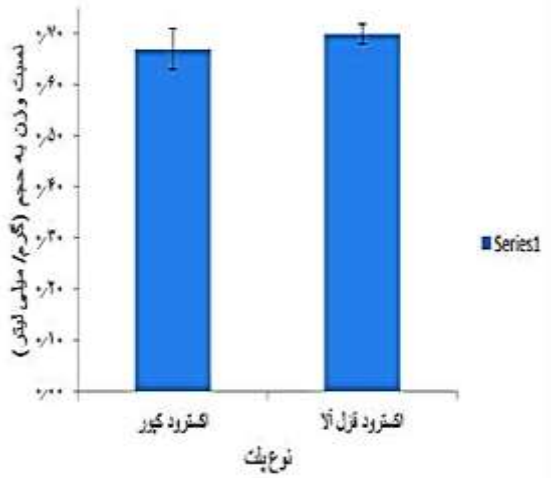
نتایج به‌دست آمده از مقایسه پارامترهای مختلف، کیفیت فیزیکی پلت‌های اکسترود و فشرده قزل‌آلا و کپور را بیان می‌کند. داده‌های مربوط به قطر پلت‌ها در آزمون آماری اختلاف معنی‌داری نداشت ($p>0/05$) و تمامی پلت‌های اکسترود و غیراکسترود دارای قطر یکسانی و یکنواختی بودند. مقایسه نرخ گسترش پلت‌های اکسترود ماهی قزل‌آلا و کپور معمولی اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشت ($p>0/05$) و در نرخ گسترش پلت‌های فشرده هر دو گونه نیز اختلاف، معنی‌دار نبود ($p>0/05$). در پلت‌های اکسترود فاکتور

نرخ گسترش، توسعه کم‌تری در قطر را نشان دادند و این گستردگی در پلت‌های فشرده بیش‌تر بود و اختلاف آماری معنی‌داری در



شکل ۱: نمودار مقایسه نرخ گسترش پلت اکسترود ماهی کپور معمولی و قزل‌آلای رنگین‌کمان

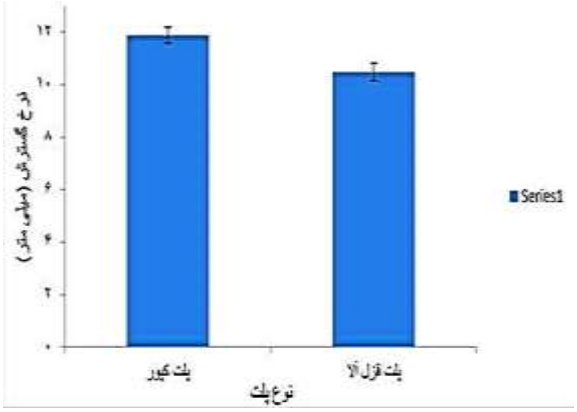
بررسی داده‌های مربوط به وزن حجمی پلت‌های اکسترود هر دو گونه آزمایشی در شکل ۳ بیان شد و شکل ۴ داده‌های به‌دست آمده از وزن حجمی پلت‌های فشرده هر دو گونه را نشان می‌دهد. وزن حجمی در نمونه‌های اکسترود و فشرده اختلاف



شکل ۳: نمودار مقایسه وزن حجمی پلت اکسترود ماهی کپور معمولی و قزل‌آلای رنگین‌کمان

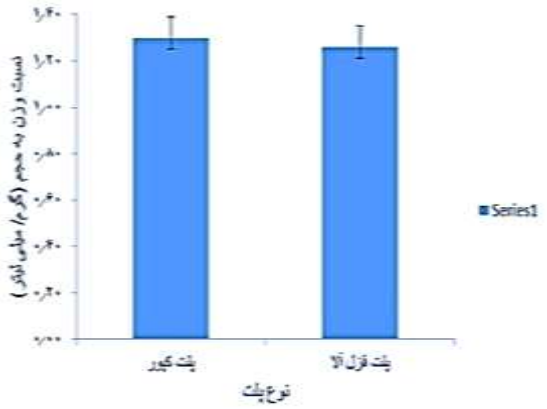
داده‌های مربوط به شناوری پلت‌های اکسترود ۱۰۰ و پلت‌های فشرده ۰ بود. پلت‌های اکسترود کاملاً شناور بوده و پلت‌های فشرده سریعاً سقوط می‌کردند. شناوری نیز اختلاف معنی‌داری بین پلت اکسترود و فشرده داشت (p<۰/۰۵). شناوری پلت‌های

این پارامتر مشاهده شد (p<۰/۰۵). پلت‌های فشرده در مواجه با آب سریع‌تر آب را به خود جذب کرد (شکل‌های ۱و۲).



شکل ۲: نمودار مقایسه نرخ گسترش پلت فشرده ماهی کپور معمولی و قزل‌آلای رنگین‌کمان

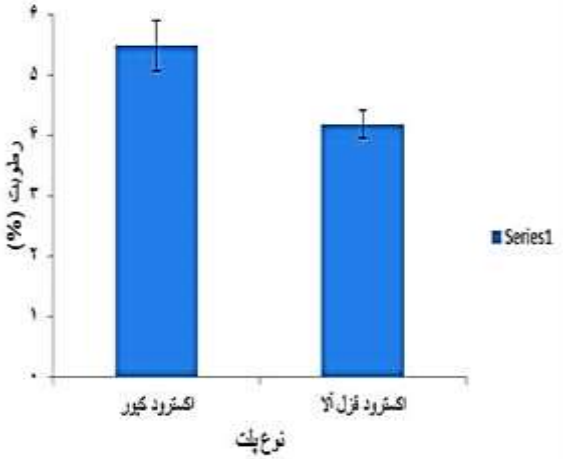
معنی‌داری نشان داد (p<۰/۰۵). اما بین پلت کپور و قزل‌آلا در نوع اکسترود و فشرده اختلافی مشاهده نشد (p>۰/۰۵). وزن حجمی پلت‌های اکسترود کم‌تر از ۱ و در پلت فشرده از یک بیش‌تر بود.



شکل ۴: نمودار مقایسه وزن حجمی پلت فشرده ماهی کپور معمولی و قزل‌آلای رنگین‌کمان

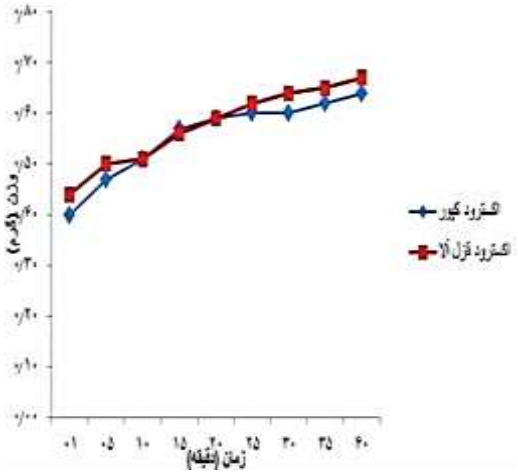
هر دو گونه در نوع پلت اکسترود و فشرده با بکدیگر تفاوتی نداشت (p>۰/۰۵). نتایج هم‌چنین نشان داد که پلت‌های فشرده رطوبت بیش‌تری نسبت به پلت‌های اکسترود دارند و اختلاف آماری معنی‌داری در این پارامتر دیده شد (p<۰/۰۵) اما پلت کپور و

پلت قزل‌آلا در هر دو مورد اکسترود و فشرده اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر نداشت (p>۰/۰۵). شکل ۵ مربوط به درصد



شکل ۵: نمودار مقایسه درصد رطوبت پلت اکسترود ماهی کپور معمولی و قزل‌آلای رنگین‌کمان

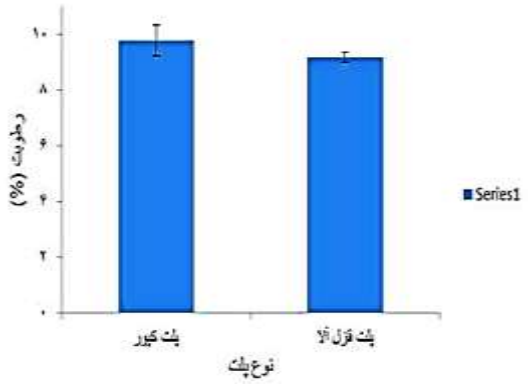
پایداری در آب پلت‌های اکسترود نسبت به فشرده بیش‌تر بود و در طی مدت آزمایش مقدار کم‌تری از پلت‌های اکسترود در آب حل شد. در این آزمایش نیز اختلاف معنی‌داری در اکسترود و فشرده بودن پلت‌ها وجود داشت (p<۰/۰۵) اما نوع پلت با توجه به گونه مصرف‌کننده مشاهده نشد (p>۰/۰۵) هرچند که پلت‌های



شکل ۷: نمودار مقایسه پایداری در آب پلت اکسترود ماهی کپور معمولی و قزل‌آلای رنگین‌کمان

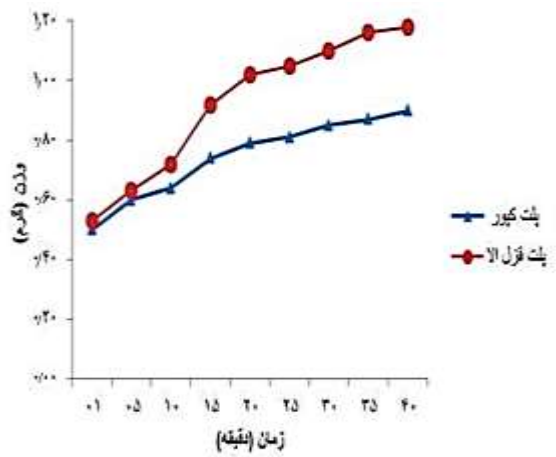
پلت‌های فشرده در ابتدای آزمایش پایداری در آب مشابه یکدیگر داشتند اما بعد از ۱۵ دقیقه اختلاف در مقدار ماده حل شده بیش‌تر شد و پلت قزل‌آلا پایداری کم‌تری در آب داشت. در حالت کلی ظرفیت نگه‌داری آب، در پلت‌های اکسترود بیش‌تر

رطوبت پلت‌های اکسترود و شکل ۶ مربوط به درصد رطوبت پلت‌های فشرده هر دو گونه است.



شکل ۶: نمودار مقایسه درصد رطوبت پلت فشرده ماهی کپور معمولی و قزل‌آلای رنگین‌کمان

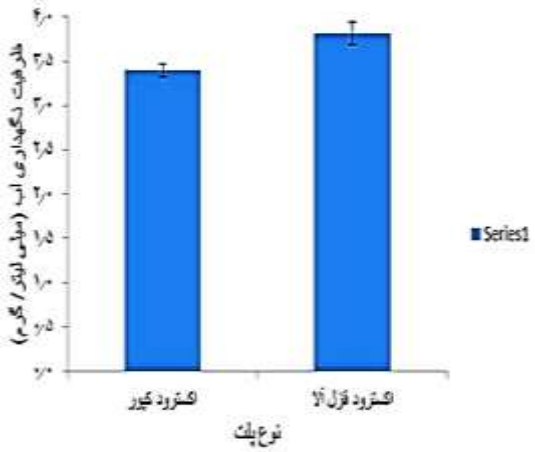
اکسترود و فشرده کپور مقدار حلالیت کم‌تری نسبت به پلت مشابه خود در مورد قزل‌آلا داشتند. پایداری در آب پلت‌های اکسترود هر دو گونه تقریباً مشابه یکدیگر و در برخی زمان‌ها کاملاً یکسان بود (شکل ۷). پلت فشرده قزل‌آلا پایداری در آب بیش‌تری نسبت به پلت فشرده کپور داشت و اختلاف معنی‌داری نشان داد (شکل ۸).



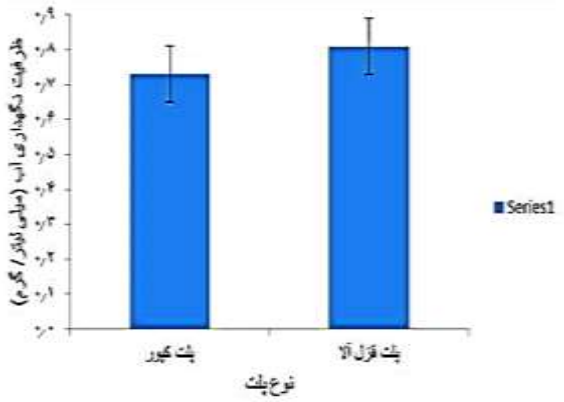
شکل ۸: نمودار مقایسه پایداری در آب پلت فشرده ماهی کپور معمولی و قزل‌آلای رنگین‌کمان

از پلت‌های فشرده بود و در این مورد نیز اختلاف آماری معنی داری بین نمونه‌های اکسترود و فشرده مشاهده شد (P<۰/۰۵). پلت‌های اکسترود قابلیت بیش‌تری در نگه‌داری آب بین بافت متخلخل خود داشته و به این ترتیب ساختار آن دیرتر متلاشی

خواهد شد و اختلاف معنی‌داری بین دو گونه مشاهده نشد (شکل ۹). ظرفیت نگه‌داری آب پلت‌های فشرده (شکل ۱۰) نیز بدون اختلاف معنی‌دار بود ($p>0/05$).



شکل ۹: نمودار مقایسه ظرفیت نگه‌داری آب پلت اکسترود ماهی کپورمعمولی و قزل‌آلای رنگین‌کمان



شکل ۱۰: نمودار مقایسه ظرفیت نگه‌داری آب پلت فشرده ماهی کپور معمولی و قزل‌آلای رنگین‌کمان

بحث

در این مطالعه، با اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی پلت اکسترود و فشرده کپور و قزل‌آلا مشخص شد پلت‌های اکسترود و فشرده قطر یکسانی داشتند و یکنواخت بودند. این یکنواختی در اندازه پلت‌ها نشان‌دهنده عدم وجود دانه‌های پلت با اندازه بزرگ‌تر یا کوچک‌تر از حد مورد نظر است که به غذاگیری بهتر ماهی کمک می‌کند. بیش‌تر بودن نرخ گسترش پلت‌های فشرده احتمالاً به ساختار ترکیبات جیره ارتباط دارد. دما و فشار بالا در حین اکسترودشدن پلت‌ها باعث تثبیت ترکیبات جیره می‌شود و اتصال محکم ایجاد شده بین ذرات خوراک از افزایش حجم پلت پس از قرارگیری در آب جلوگیری می‌کند اما همبند موجود در پلت‌های فشرده، پس از قرارگیری در آب توانایی زیادی برای حفظ حالت متراکم پلت ندارد و پلت‌های پس از قرار گرفتن در آب افزایش حجم می‌دهند و سریع‌تر در محیط آب متلاشی می‌شوند.

وزن حجمی در پلت‌های فشرده بیش‌تر از یک و در پلت‌های اکسترود کم‌تر از یک بود که با توجه به وزن حجمی آب شناوری پلت‌های را نشان می‌دهد. نتایج این مطالعه مطابق نظر Abdollahi و همکاران (۲۰۱۲) و Khater و همکاران(۲۰۱۴) بود که عقیده دارند شناوری و وزن حجمی پلت‌های اکسترود ارتباط زیادی به ژلاتینه‌شدن نشاسته دارد. نشاسته ژلاتینه کمک شایانی به کاهش وزن و افزایش حجم پلت می‌کند. این امر در پلت‌های فشرده صادق نیست و اغلب دانه‌های پلت وزن بیش‌تری نسبت به حجم آن‌ها دارد. شناوری پلت به شدن با چگالی آن ارتباط زیادی دارد (Sørensen و همکاران، ۲۰۰۷).

پلت اکسترود در مرحله خنک‌سازی پلت، به‌خوبی رطوبت خود را از دست می‌دهد و در طول حمل و نقل و نگه‌داری در انبار رطوبت کم‌تری را جذب می‌کنند که این ویژگی باعث کاهش احتمال شکسته‌شدن و هم‌چنین کاهش آلودگی میکروبی و قارچی با گذشت زمان می‌شود. برخلاف آن پلت‌های فشرده رطوبت بیش‌تری داشته و به سادگی ساییده‌شده و کیفیت فیزیکی خود را از دست می‌دهند. مطالعات دیگر نیز نشان می‌دهد که در حین اکستروژن، عملیات حرارتی سبب کاهش رطوبت ترکیبات غذایی، از بین رفتن عناصر ضدتغذیه مواد گیاهی و تخریب میکروارگانیسم‌ها و از بین رفتن سایر عناصر سمی پلت می‌شود (Maier، ۲۰۰۰).

پلت‌های اکسترود پس از قرارگیری در آب، کم‌تر مواد مغذی خود را از دست می‌دهد و حلالیت کم‌تری دارد که به تاثیر فرآیند اکسترود بر روی جیره و ژلاتینه‌شدن نشاسته مربوط است. اما پلت‌های فشرده پس از قرارگیری در آب احتمالاً به‌علت عدم وجود اتصال مناسب بین اجزا جیره، مواد غذایی به سادگی در آب حل و از ساختار پلت خارج می‌شود (Cruz و همکاران، ۲۰۱۵). پلت فشرده قزل‌آلا پایداری کم‌تری نسبت به پلت غیراکسترود کپور در محیط آب دارد که احتمالاً به فرمولاسیون

و نسبت ترکیبات جیره مربوط است و نتایج به‌دست آمده با نتایج Keith و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت داشت. پلت قزل‌آلا مقدار پروتئین بیش‌تری دارد و برخلاف آن بیش‌ترین ترکیب غذایی موجود در دانه کپور مربوط به گروه کربوهیدرات است. پروتئین‌ها قابلیت حلالیت بیش‌تری نسبت به کربوهیدرات‌ها در آب دارند و احتمالاً این مطلب دلیلی بر ناپایداری پلت فشرده قزل‌آلا نسبت به پلت کپور است (Keith و همکاران، ۲۰۱۲). تاثیر فرآیند اکسترود بیش‌تر از حلالیت مواد مغذی است و ژلاتینه‌شدن نشاسته تاثیر زیادی در توانایی پلت برای پایداری در آب دارد و از تجزیه سریع پلت در آب جلوگیری می‌کند (Cruz و همکاران، ۲۰۱۵).

در تهیه پلت به‌روش اکسترود، خروج سریع حرارت مرطوب در پی کاهش فشار پس از خروج پلت از دستگاه باعث افزایش تخلخل در بافت دانه‌های پلت می‌شود. دانه‌های متخلخل قابلیت نگه‌داری مقدار زیادی آب در ساختار خود را دارند که منجر به افزایش ظرفیت نگه‌داری آب در پلت می‌شود و این حالت دقیقاً بر عکس پلت‌های فشرده است. فشار بخار آب موجود در اکسترود باعث افزایش تخلل در بافت پلت می‌شود و به‌طور مستقیم تاثیر زیادی بر پایداری پلت در آب، افزایش ظرفیت نگه‌داری آب و شناوری پلت دارد، هم‌چنین پایداری پلت پس از قرارگیری در آب، از خروج مواد مغذی پلت به محیط آب جلوگیری می‌کند (Xie و همکاران، ۲۰۰۹؛ Aarseth و همکاران، ۲۰۰۶).

اندازه‌گیری پارامترهایی مثل نرخ گسترش، پایداری در آب، ظرفیت نگه‌داری آب در پلت نشان‌دهنده مقاومت و حفظ حالت فیزیکی پلت پس از قرارگیری در آب است و پایداری در آب (عدم حلالیت در آب) مشخص می‌کند که مقدار خروج مواد غذایی با ارزش از پلت به‌داخل آب تا چه اندازه‌ای است. براساس نتایج این مطالعه و مطابق مطالعات Abdollahi و همکاران (۲۰۱۲)، پلت فشرده با نرخ گسترش بالاتر و پایداری در آب کم‌تری که نسبت به پلت اکسترود داشت نشان می‌دهد که آب به سرعت در پلت نفوذ کرده و ساختار فیزیکی آن در مدت کوتاهی متلاشی می‌شود. این روند در پلت اکسترود با گذشت زمان طولانی‌تری اتفاق می‌افتد و مواد غذایی جیره دیرتر از آن خارج می‌شود. این تغییرات در اثر دما و فشار بالا در حین عملیات اکسترود ایجاد می‌شود و تمامی اجزا کوچک جیره در اثر فشار و دمای بالا به یکدیگر متصل می‌شوند (Abdollahi و همکاران، ۲۰۱۲) و اندازه‌های بزرگی پیدا می‌کنند. این نوع پلت قابلیت تحمل فشار بالایی که در زمان حمل و نقل و نگه‌داری را دارد و شکل فیزیکی خود را در تمامی مراحل حتی در زمانی‌که در آب قرار می‌گیرد تا مدت زیادی حفظ می‌کنند (Svihus و همکاران، ۲۰۰۵) و تا زمان بیش‌تری پس از غذادهی، آبزیان می‌توانند از آن تغذیه کنند. در ساخت پلت فشرده، هیچ‌یک از این تغییرات در عناصر غذایی ایجاد نمی‌شود و پلت ساخته شده در مدت زمان کوتاهی پس از قرارگیری در آب انسجام خود را از دست می‌دهد و ماهی فرصت زیادی برای استفاده از آن ندارد.

فروپاشیدگی پلت‌ها در آب میزان ضایعات غذا را تا حد زیادی بالا خواهد برد (مایکل، ۱۳۷۹). ناپایداری فیزیکی پلت و خروج مواد مغذی به‌داخل آب مشکل جدی برای تغذیه آبزیان کفزی‌خوار مانند میگو و کپور است (Farmanfarmaian و Lauterio، ۱۹۷۹؛ Provasoli، ۱۹۷۶). پلت‌های اکسترود مدت زمان طولانی در آب حالت اولیه خود را حفظ می‌کنند اما تنها ایراد آن این است که کاملاً شناور است و گونه‌های کفزی نمی‌توانند از این پلت‌ها استفاده کنند، البته اگر بتوان سطح غوطه‌وری را در این پلت‌ها تنظیم کرد قابلیت استفاده پلت‌های اکسترود بالا می‌رود.

اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی پلت‌های اکسترود و فشرده نشان می‌دهد که نرخ گسترش، ظرفیت نگه‌داری آب و پایداری پلت‌های اکسترود که انسجام بیش‌تر پلت‌های اکسترود را در پی دارد سبب ماندگاری بیش‌تر و مقاومت بالاتر این نوع پلت‌ها نسبت به پلت‌های فشرده می‌شود. این ویژگی‌ها تنها به اکسترود یا فشرده بودن پلت بستگی دارد و نوع گونه مصرف‌کننده و احتیاجات غذایی متفاوت آن‌ها نیز موثر است اما در برابر تاثیر اکسترود قابل چشم‌پوشی است.

منابع

۱. **مایکل، ب.، ۱۳۷۹.** غذا و تغذیه ماهی و میگو دستورالعمل تهیه غذای ترکیبی و استفاده از آن‌ها در پرورش ماهی و میگو. ترجمه عباس متین‌فر و شهرام دادگر. چاپ اول. انتشارات موسسه تحقیقات شیلات ایران. ۳۴۰ صفحه.

۲. **Aarseth, K.A.; Sørensen, M. and Storebakken, T., ۲۰۰٦.** Effects of red yeast inclusions in diets for salmonids and extrusion temperature on pellet tensile strength:Weibull analysis. Animal Feed Sciense Technology. Vol. ۱۲٦, pp: ۷۵-۹۱.

۳. **Aas, T.S.; Oehme, M.; Sørensen, M.; He, G.; Lygren, I. and Abd-Åsgård, T., ۲۰۱۱.** Analysis of pellet degradation of extruded high energy fish feeds with different physicalqualities in a pneumatic feeding system. Aquaculture Engineering. Vol. ٤٤, pp:۲۵-۳٤.

٤. **Abdollahi, M.R.; Ravindran, V.; Wester, T.J.; Ravindran, G. and Thomas, D.V., ۲۰۱۲.** The effect of manipulation of pellet size (diameter and length) on pellet quality and performance, apparent metabolisable energy and ileal nutrient digestibility in broilers fed maize-based diets. Animal Production Science.

۵. **Amerah, A.M.; Ravindran, V.; Lentle, R.G. and Thomas, D.G., ۲۰۰۷.** Influence of feed particle size and feed form on the performance, energy utilisation, digestive tract development, and digesta parameters of broiler starters. Poultury Science. Vol. ۸۶, pp: ۲۶۱۵-۲۶۲۳.

۶. **Cramer, K.R.; Wilson, K.J.; Moritz, J.S. and Beyer, R.S., ۲۰۰۳.** Effect of sorghum-based diets subjected to various manufacturing procedures on broiler performance. Application Poultry Research. Vol. ۱۲, pp: ٤۰٤-٤۱۰.

۷. **Crane, S.W.; Cowell, C.S.; Stout, N.P.; Moser, E.A.; Millican, J.; Romano, P. and Crane, S.E., ۲۰۱۰.** Commercial pet foods. In: Hand, M.S., Thatcher, C.D., Remillard,R.L., Roudebush, P., Novotny, B.J. (Eds.), Small Animal Clinical Nutrition. ٥th Ed. Mark Morris Institute, Topeca, Kansas, USA. pp: ۱٥٦-۱۹۰ (Chapter ۱٥۸).

۸. **Cruz, C.R.; Kamarudin, M.S.; Saada, C.R. and Ramezani-Fard, E., ۲۰۱٥.** Effects of extruder die temperature on the physical propertiesof extruded fish pellets containing taro and broken rice starch. Animal Feed Science and Technology. Vol. ۱۹۹, pp: ۱۳۷-۱٤٥.

۹. **Cutlip, S.E.; Hott, J.M.; Buchanan, N.P.; Rack, A.L.; Latshaw, J.D. and Moritz, J.S., ۲۰۰۸.** The effect of steam-conditioning practices on pellet quality and growing broiler nutritional value. Application Poultury Research. Vol. ۱۷, pp: ۲٤۹-۲٦۱.

۱۰. **Farmanfarmaian, A. and Lauterio, T., ۱۹۷۹.** Amino acid supplementation of feed pellets of the giant shrimp Macrobrachium rosenbergii. World Maricult. Vol. ۱۰, pp: ٦۷٤-٦۸۸.

۱۱. **Kannadhason, S.; Muthukumarappan, K. and KA, R., ۲۰۱۱.** Effect of starch sources and protein content on extruded aquaculture feed containing DDGS. Food Bioprocess Technology. Vol. ٤, pp: ۲۸۲-۲۹٤.

۱۲. **Keith, C. and Behnke, G., ۲۰۱۲.** Factors affecting pellet quality. Section ٥: Pellet Durability, Chapter ۱۹.

۱۳. **Khater, G.; Bahnasawy, H. and Ali, A., ۲۰۱٤.** Physical and Mechanical Properties of Fish Feed Pellets. Food Process Technol. Vol. ٥.

۱٤. **Maier, D.E. and Briggs, J.L., ۲۰۰۰.** Making better. Feed and Grain. Vol. ۱, pp: ۱۲-۱٥.

۱٥. **Provasoli, L., ۱۹۷٦.** Nutritional aspects of crustacean aquaculture. In: K.S. Price Jr., W.N. Shaw and K.S. Danberg (Editors), Proceedings of the First International Conferenceon Aquaculture Nutrition. Univ. Delaware, Newark. pp:۱۳-۱۹.

۱٦. **Samuelsen, T.A.; Mjøsa, S.A. and Oterhalsa, Å., ۲۰۱۳.** Impact of variability in fishmeal physicochemical properties on the extrusion process, starch gelatinization and pellet durability and hardness. Animal Feed Science and Technology. Vol. ۱۷۹, pp: ۷۷-۸٤.

۱۷. **Sarawong, C.; Schoenlechner, R.; Sekiguchi, K.; Berghofer, E. and Ng, P.K.W., ۲۰۱٤.** Effect of extrusion cooking on the physicochemical properties, resistant starch,phenolic content and antioxidant capacities of green banana flour. Food Chemistry. Vol.۱٤۳, pp: ۳۳-۳۹.

۱۸. **Sørensen , M., ۲۰۰۷.** Ingredient formulation and extrusion proceeding parameters interferes with nutritional and physical quality of aqua feeds. Feed Technology Update. Vol. ۲, pp:۱۷-۲۰.

۱۹. **Sørensen, M.; Ljøkjel, K.; Storebakken, T.; Shearer, K.D. and Skrede, A., ۲۰۰۲**. Apparent digestibility of protein, amino acids and energy in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed a fishmeal based diet extruded at different temperatures. aquaculture. Vol. ۲۱۱, pp: ۲۱٥-۲۲٥.

۲۰. **Standard, A.; ۱۹۸٤.** ASAE ٥۳٥۲,۱.moisture measurement. American Society of Agriculture Engineering. ۲۹٥۰ Niles Road, St. Joseph. MI ٤۹۰۸٥-۹٦٥۹.

۲۱. **Svihus, B.; Uhlen, A.K. and Harstad, O.M., ۲۰۰٥.** Effect of starch granule structure, associated components and processing on nutritive value of cereal starch: A review. Animal Feed Science Technology. Vol. ۱۲۲, pp: ۳۰۳-۳۲۰.

۲۲. **Tiews, K.; Gropp, J.; Koops, H. and Tiews, K., ۱۹۷۲.** Uber die Gestaltung yon Mischfutterrationen for Foretlen in der Netzkaifighaltung. Tierphys. Tierern. Futtermittelkd. Vol. ۲۹, pp: ۲٦۷-۲۷٥.

۲۳. **Umar, S.; Kamarudin, M.S. and Ramezani-Fard, E., ۲۰۱۳.** Physical properties of extruded aquafeed with a combination of sago and tapioca starches at differentmoisture contents. Animal Feed Science Technology. Vol. ۱۸۳, pp:٥۱-٥٥.

۲٤. **Vens-Cappell, B., ۱۹۸٤.** The Effects of Extrusion and Pelleting of Feed for Trout on the Digestibility of Protein, Amino Acids and Energy and on Feed Conversion. Aquaculrural Engineering. Vol. ۳, pp:۷۱-۸۹.

۲٥. **Xie, F.; Yu, L.; Su, B.; Liu, P.; Wang, J.; Liu, H. and Chen, L., ۲۰۰۹.** Rheological properties of starches with different amylose/amylopectin ratios. Cereal Chemistry. Vol. ٤۹, pp: ۳۷۱-۳۷۷.

۲٦. **Yasumatsu, K.; Sawada, K.; Moritaka, S.; Misaki, M.; Toda, J.; Wada, T. and Ishii, K., ۱۹۷۲.** Whipping and Emulsifying Properties of Soybean Products. food and nutrition. Vol. ۳٦.