

## تأثیر افزودن ال-کارنیتین به جیره غذایی در میزان مقاومت به استرس‌های دما و شوری در ماهی صیبتی (*Sparidentex*

*hasta*)

- ❖ ام‌البنین طاهری کندر: دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، ایران
- ❖ میرمسعود سجادی\*: دانشیار گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، ایران
- ❖ ایمان سوری نژاد: استادیار گروه شیلات، دانشکده علوم و فنون دریایی و جوی، دانشگاه هرمزگان، ایران
- ❖ عبدالرسول دریایی: دکتری تغذیه دام و آبزیان، مربی پژوهشی، سازمان تحقیقات کشاورزی، هرمزگان، ایران
- ❖ فرشته خادمی: دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، ایران
- ❖ قدرت میرزاده: دکتری تغذیه دام و آبزیان، مربی پژوهشی، سازمان تحقیقات کشاورزی، هرمزگان، ایران

### چکیده

به منظور بررسی اثر افزودن ال-کارنیتین به جیره غذایی در میزان مقاومت به استرس‌های دما و شوری در ماهی صیبتی (*Sparidentex hasta*)، آزمایشی با ۲۴۰ قطعه بچه‌ماهی با میانگین وزن اولیه  $0.3 \pm 0.1$  گرم به مدت ۱۰ هفته انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل چهار سطح صفر، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۸۰۰ (به ترتیب شاهد، LC<sub>۵۰۰</sub>، LC<sub>۱۰۰۰</sub> و LC<sub>۱۸۰۰</sub>) میلی‌گرم ال-کارنیتین در هر کیلوگرم جیره و با سه تکرار در قالب طرحی کاملاً تصادفی بودند. غذاهای در کل دوره به صورت دستی، و بر اساس سیری، روزانه در سه نوبت انجام شد. در پایان دوره آزمایشی، در آزمایش استرس دمایی، ماهیان به مدت ۳۰ دقیقه در معرض دو دمای ۱۵ و ۳۷ درجه سانتی‌گراد و در آزمایش استرس شوری، ماهیان به مدت یک ساعت در معرض دو شوری ۱۲ و ۷۰ قسمت در هزار قرار گرفتند. در تیمارهای LC<sub>۱۸۰۰</sub> و LC<sub>۱۰۰۰</sub> مقاومت در برابر استرس دمایی بالا، دمای پایین و شوری بالا در مقایسه با گروه شاهد دارای افزایش بود ( $P < 0.05$ ). علاوه بر این، در مقاومت در برابر استرس شوری پایین بین تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ( $P > 0.05$ ). نتایج این تحقیق نشان داد که افزودن ال-کارنیتین به جیره غذایی می‌تواند در میزان مقاومت در برابر استرس‌های دما و شوری در ماهی صیبتی تأثیرگذاری مطلوبی داشته باشد. از بین سطوح مختلف به کار برده‌شده، بهترین دوز مؤثر در مقاومت به استرس دما و شوری در ماهی صیبتی سطح ۱۰۰۰ میلی‌گرم ال-کارنیتین بر کیلوگرم جیره غذایی بود.

واژگان کلیدی: ال-کارنیتین، استرس دما، استرس شوری، صیبتی، *Sparidentex hasta*

## ۱. مقدمه

ماهی صیبتی (*Sparidentex hasta*; Valenciennes, 1830) از خانواده شانک ماهیان (*Sparidae*) بومی خلیج فارس، غرب اقیانوس هند و آب‌های ساحلی هند است. زیستگاه این گونه آب‌های ساحلی کم‌عمق همچین، آب‌های عمیق است و عمدتاً از مهره‌داران و سخت‌پوستان تغذیه می‌کند (Bauchot and Smith, 1984; Al-Abdessaalam, 1995). ماهی صیبتی دارای ارزش اقتصادی و شیلاتی است و تکثیر و پرورش آن به طور وسیع در کشورهای حاشیه خلیج فارس مورد توجه است (Hussain et al., 1981). ال-کارنیتین یک آمین چهارجزئی محلول در آب است که به طور طبیعی در میکروارگانسیم‌ها، گیاهان و حیوانات وجود دارد (Bremer, 1983). ال-کارنیتین در بدن عمدتاً در کبد ساخته می‌شود و در بافت‌هایی مانند ماهیچه اسکلتی و قلب، که در آن‌ها اسیدهای چرب عمده‌ترین منبع تأمین انرژی است، تجمع می‌یابد (McDowell, 1989; Ozorio et al., 2001). ال-کارنیتین، علاوه بر تأثیرگذاری در عملکرد رشد ماهیان از طریق تسهیل در استفاده از چربی به‌منزله منبع انرژی، به نظر می‌رسد نقش حفاظتی در برابر تغییرات کیفیت آب و افزایش سیستم ایمنی در ماهیان نیز داشته باشد (Ozorio, 2009). همچنین گزارش شده است که کارنیتین می‌تواند در مقابله با شرایط تنش‌زای محیطی در آبزیان دارای تأثیر مثبت باشد (Becker and Focken, 1995). به طور کلی، بهبود ضریب تبدیل غذایی و وزن‌گیری، افزایش مقاومت ماهیان در برابر مسمومیت آمونیاک، سهولت در به‌کارگیری چربی در جیره و تحریک دستگاه

ایمنی با تأثیرگذاری در ایمنی سلولی و ایمنی همورال از دیگر مزایای مصرف ال-کارنیتین در جیره غذایی است که در مطالعات مختلف گزارش شده است (Harpaz et al., 1999; Harpaz, 2005; Mohseni et al., 2009; Yang et al., 2008). افزودن ال-کارنیتین به جیره غذایی ماهی همچین می‌تواند از طریق تأمین میزان انرژی مورد نیاز آنزیم  $\text{Na}^+/\text{K}^+ \text{ATPase}$  که از آنزیم‌های مهم در تنظیم اسمزی ماهیان است به‌منزله تنظیم‌کننده تعادل اسمزی داخل سلولی عمل کند و شرایط بازماندگی بیشتر در برابر نوسانات شوری را فراهم کند (Imsland et al., 2003; Lin et al., 2004).

مروری بر مطالعات انجام‌شده در زمینه تأثیرات ال-کارنیتین نشان می‌دهد که گونه‌های مختلف ماهی عکس‌العمل‌های متفاوتی به مکمل غذایی ال-کارنیتین در جیره نشان می‌دهند. این اختلاف نتایج بین گونه‌ها بیان می‌کند که تأثیرات رژیم غذایی حاوی ال-کارنیتین به عوامل مختلفی از جمله سن، جنسیت و گونه، اندازه ماهی، طول دوره و شرایط پرورش، ترکیب غذایی و سطح مکمل بستگی دارد. اکثر پژوهش‌ها درباره اثر استفاده از ال-کارنیتین در ماهی با بچه‌ماهی و ماهی‌هایی با وزن اولیه کمتر از ۳۰ گرم انجام گرفته است، زیرا استدلال این است که به دلیل رشد سریع در مراحل اولیه زندگی تقاضای ال-کارنیتین بافت‌ها در مقایسه با ساخت آن در بدن زیاد است (Harpaz, 2005). ماهی‌ها در هر مرحله از چرخه زندگی خود نیازمندی‌های متفاوتی از لحاظ انرژی دارند و باید با تنظیم سطح انرژی فرایندهای فیزیولوژیک خود را کنترل کنند و عملکرد بهینه داشته باشند. در برخی از شرایط، زمانی که سطح نیاز

Merck آلمان) و غذای کنسانتره تجاری مخصوص شانک ماهیان (شرکت Biomar فرانسه) استفاده شد (جدول ۱).

جدول ۱. آنالیز تقریبی غذای کنسانتره تجاری ساخت شرکت Biomar فرانسه (درصد)

اندازه	ترکیب
پلت ۱/۵	ترکیب شیمیایی
۵۴	پروتئین خام (%)
۱۸	چربی خام (%)
۱۲	عصاره عاری از ازت (%)
۱	سلولز خام (%)
۱۰	خاکستر (%)
۱/۶	فسفر کل (%)
۲۲/۱	انرژی ناخالص (MJ/kg)
۱۹/۴	انرژی قابل هضم (MJ/kg)
۲۵/۴	پروتئین قابل هضم / انرژی قابل هضم (g/MJ)
۷۵۰۰	ویتامین A (I.U/kg)
۱۵۰۰	ویتامین D3 (I.U/kg)
۲۶۰	ویتامین E (mg/kg)
۵۰۰	ویتامین C (mg/kg)

بر حسب نوع جیره آزمایشی سطوح مختلف ال-کارنیتین خالص در ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل شد سپس، روی پلت‌ها به صورت یکسان اسپری شد. به منظور یکسان‌بودن شرایط، به غذای تیمار صفر (شاهد) نیز آب مقطر افزوده شد. غذاهای تهیه‌شده تحت شرایط استریل در آزمایشگاه در معرض جریان هوا قرار داده شدند تا آب مخلوط‌شده با غذا تبخیر شود. پس از تبخیر، غذا را دوباره وزن کردند تا به وزن اولیه برسد. پلت‌های آماده‌شده تا زمان استفاده در یخچال در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

به انرژی تغییر می‌کند، سنتز کارنیتین در بدن ممکن است کافی نباشد، از جمله چنانچه سطح کارنیتین جنینی در بدن پایین باشد یا این‌که به علت رژیم چرب و نیز استرس‌های متابولیک یا تغییر الگوی فعالیتی جاندار نیاز به اکسیداسیون چربی بالاتری حس کند، نیاز به کارنیتین هم افزایش خواهد یافت (Ozorio, 2009). از آن‌جا که دما و شوری از بااهمیت‌ترین عوامل خارجی‌اند که در فعالیت‌های متابولسمی ماهی اثر می‌گذارند، بنابراین پژوهش حاضر به منظور بررسی اثر افزودن ال-کارنیتین به جیره غذایی در مقاومت در برابر استرس‌های دما و شوری در بچه‌ماهی صیبتی طراحی و انجام شد.

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۲.۱. آماده‌سازی شرایط آزمایش و تیمار بندی

این پژوهش در مرکز آموزش و بازسازی ذخایر آبزیان بندر کلاهی وابسته به اداره کل شیلات استان هرمزگان واقع در ۱۴۰ کیلومتری شهرستان بندرعباس به مدت ده هفته انجام شد. تعداد ۲۴۰ قطعه بچه‌ماهی صیبتی با وزن اولیه  $0.03 \pm 0.01$  گرم به صورت انفرادی با ترازوی با دقت ۰/۰۱ گرم توزین شدند و به طور تصادفی به صورت گروه‌های ۲۰ قطعه‌ای به ۱۲ تانک فایبرگلاس با گنجایش ۳۰۰ لیتر منتقل شدند. میانگین وزن ماهی‌ها در تانک‌ها اختلاف معنی‌دار آماری نداشت ( $P < 0.05$ ).

### ۲.۲. تهیه جیره‌های آزمایشی

برای تهیه جیره‌های با سطوح مختلف مکمل ال-کارنیتین (جدول ۲)، از ال-کارنیتین خالص (شرکت

جدول ۲. سطوح مختلف ال-کارنیتین مورد استفاده در جیره غذایی ماهیان مورد آزمایش

سطح مکمل	جیره غذایی فاقد ال-کارنیتین	۵۰۰ میلی گرم ال-کارنیتین	۱۰۰۰ میلی گرم ال-کارنیتین	۱۸۰۰ میلی گرم ال-کارنیتین
تیماهای آزمایشی	گروه شاهد	LC <sub>۵۰۰</sub>	LC <sub>۱۰۰۰</sub>	LC <sub>۱۸۰۰</sub>
در هر کیلوگرم جیره				

جدول ۳. دامنه تغییرات پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب در مدت دوره پرورش بچه ماهی صیبتی

دما (°C)	اکسیژن (mg/l)	شوری (ppt)	pH
۲۷-۳۲	۶/۳-۷/۵	۴۲	۷/۸-۸/۴

### ۲.۳. غذادهی، زیست‌سنجی و محاسبه درصد بازماندگی

ماهی‌ها به مدت یک هفته با جیره شاهد تغذیه شدند و پس از طی دوره سازگاری، غذادهی در دوره با جیره‌های آزمایشی به صورت دستی بر اساس سیری و در سه نوبت صبح، ظهر و عصر (ساعات ۷/۰۰، ۱۳/۰۰ و ۱۹/۰۰) انجام شد. به منظور خارج کردن مواد زائد (آمونیاک و سایر متابولیت‌ها) موجود در تانک‌های پرورش بچه ماهیان، روزانه در دو نوبت صبح و عصر نسبت به تعویض آب تانک به میزان ۹۰ درصد اقدام شد (Ozorio, 2009). ماهیان به مدت ده هفته با جیره‌های آزمایشی تغذیه شدند. شاخص‌های کیفی آب شامل دما، اکسیژن و pH با دستگاه دیجیتال WTW (ساخت آلمان) و شوری با دستگاه شوری‌سنج (مدل ATAGO ساخت ژاپن) به طور روزانه اندازه‌گیری و ثبت شد (جدول ۳).

به منظور زیست‌سنجی، طول کل به وسیله تخته زیست‌سنجی با دقت ۰/۱ سانتی‌متر و وزن ماهی‌ها به وسیله ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم هر دو هفته یک بار طی دوره آزمایش و پس از بیهوشی با

۲-فنوکسی اتانول (۲۰۰ ppm) اندازه‌گیری شد. تعداد تلفات در همه طول دوره ثبت شد و طبق فرمول ذیل میزان بازماندگی (درصد) محاسبه شد (Mazurkiewicz et al., 2008).

میزان بازماندگی =  $100 \times (\text{تعداد ماهیان اولیه} / \text{تعداد ماهیان نهایی})$

### ۲.۴. نحوه انجام دادن آزمایش‌های استرس

در پایان دوره آزمایش، ۱۵ قطعه بچه ماهی از هر تکرار و در مجموع تعداد ۴۵ ماهی از هر تیمار برای آزمایش‌های استرس به صورت تصادفی از تانک‌های پرورش برداشته شدند. بچه ماهیان هر تکرار به صورت جداگانه در معرض هر یک از شوک‌های دما و شوری قرار داده شدند. شایان ذکر است هر یک از این آزمایش‌ها برای هر استرس به صورت مجزا در سطل‌های پلاستیکی با گنجایش ۵۰ لیتر همراه با هوادهی ملایم برای بچه ماهیان هر تکرار انجام شد. شرایط محیطی در همه آزمایش‌ها یکسان بود. بچه ماهی‌ها به تدریج در معرض استرس قرار نگرفتند، بلکه به یکباره در محیط استرس‌زا قرار داده شدند. برای تعیین دما و شوری مورد استفاده در

به مدت یک ساعت در معرض این شوری‌ها قرار گرفتند سپس، به شرایط عادی آزمایش برگردانده شدند. دو ساعت پس از پایان یافتن مدت زمان استرس، تعداد تلفات بچه‌ماهیان در هر تیمار ثبت و در نهایت درصد بازماندگی محاسبه شد (Kelly and Woo, 1999; Krogdahl *et al.*, 2004; Boutet *et al.*, 2006; Movahedinia *et al.*, 2009).

## ۲.۵. روش تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در پایان آزمایش پس از جمع‌آوری اطلاعات نخست نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov) سنجیده شد. برای تجزیه و تحلیل آماری نتایج نهایی این پژوهش، از روش آنالیز واریانس یک‌طرفه (one-way ANOVA) استفاده شد. مقایسه میانگین تیمارها به کمک آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد با استفاده از نرم‌افزار SPSS (Ver.17) انجام شد. ثبت داده‌ها و رسم نمودارهای مرتبط با نرم‌افزار Excel (Ver. 2007) انجام شد.

## ۳. نتایج

روند افزایش وزن بچه‌ماهیان صیبتی تغذیه‌شده با جیره‌های حاوی سطوح مختلف ال-کارنیتین طی دوره آزمایش ده هفته‌ای در شکل ۱ نشان داده شده است. با توجه به نتایج، روند افزایش وزن در تیمار LC<sub>۱۰۰۰</sub> سریع‌تر از سایر تیمارها بود (شکل ۱).

تغذیه بچه‌ماهی صیبتی با مکمل ال-کارنیتین باعث افزایش میزان بازماندگی در برابر استرس‌های افزایش دما و کاهش دما همچنین، افزایش شوری در تیمارهای LC<sub>۱۰۰۰</sub> و LC<sub>۱۸۰۰</sub> شد. میزان بازماندگی در تیمارهای LC<sub>۱۸۰۰</sub> و LC<sub>۱۰۰۰</sub> دارای اختلاف معنی‌دار

آزمایش‌های استرس، نخست آزمایش‌هایی به منزله پیش‌آزمایش با بچه‌ماهیان کارگاه که دقیقاً هم‌سن و در شرایط یکسان با ماهیان مورد استفاده در آزمایش بودند انجام شد. دما و شوری‌های مختلف با توجه به دامنه تحمل این گونه ماهی نسبت به دما و شوری بالا و پایین و بر اساس منابع موجود آزمایش شدند و در نهایت دماهای پایین و بالای ۱۵ و ۳۷ درجه سانتی‌گراد و شوری‌های پایین و بالای ۱۲ و ۷۰ قسمت در هزار انتخاب شدند که در آن‌ها بچه‌ماهیان علائم استرس و تلفات را نشان می‌دادند.

## ۲.۴.۱. آزمایش استرس دما

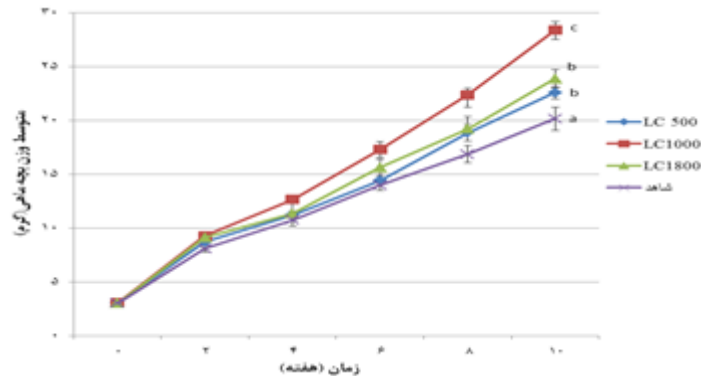
این آزمایش در دو دمای ۱۵ و ۳۷ درجه سانتی‌گراد انجام شد، بدین صورت که نخست آب با دمای مورد نظر به وسیله کیسه‌های یخ بسته‌بندی شده (برای تهیه آب با دمای پایین) و هیترهای گرم‌کننده آب (برای تهیه آب با دمای بالا) تهیه شد. به منظور بررسی میزان مقاومت در برابر استرس دمایی، بچه‌ماهی‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در معرض این استرس قرار گرفتند سپس، به شرایط عادی آزمایش برگردانده شدند. یک ساعت پس از پایان یافتن مدت زمان، تعداد تلفات ماهیان در هر تیمار ثبت شد و درصد بازماندگی محاسبه شد (Rodnick and Sidell, 1994; Becker and Focken, 1995; Harpaz *et al.*, 1999).

## ۲.۴.۲. آزمایش استرس شوری

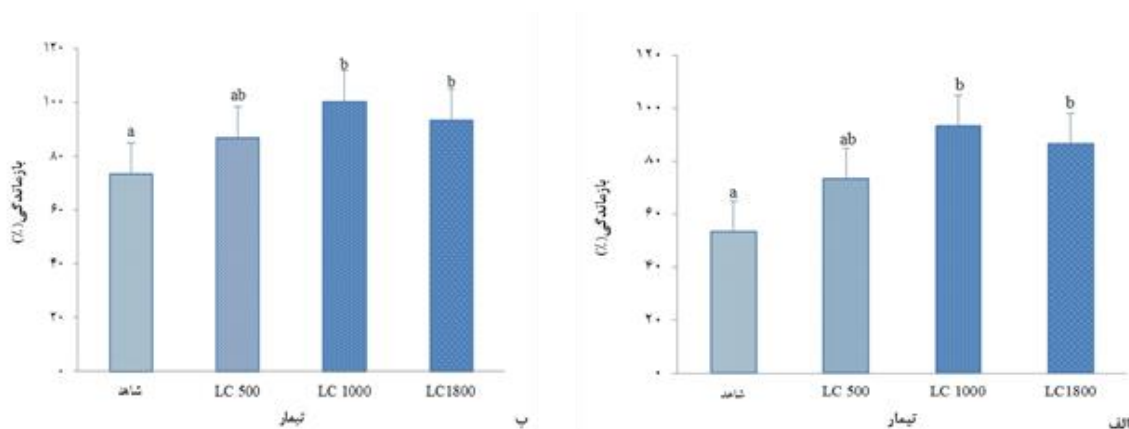
به منظور این آزمایش از دو شوری متفاوت ۱۲ و ۷۰ قسمت در هزار استفاده شد. نخست آب با شوری‌های مورد نظر با اضافه کردن آب شیرین (برای تهیه آب با شوری پایین) و افزودن نمک دریا (برای تهیه آب با شوری بالا) به آب تهیه شد. بچه‌ماهی‌ها

ميزان بازماندگي را در مقابل استرس‌هاي مذکور نشان داد. از لحاظ ميزان مقاومت در برابر استرس شوري پايين، همه تيمارها داراي درصد بازماندگي يکسان بودند و در بين تيمارهاي آزمايشي مختلف اختلاف معني‌داري وجود نداشت (شکل ۲ و ۳).

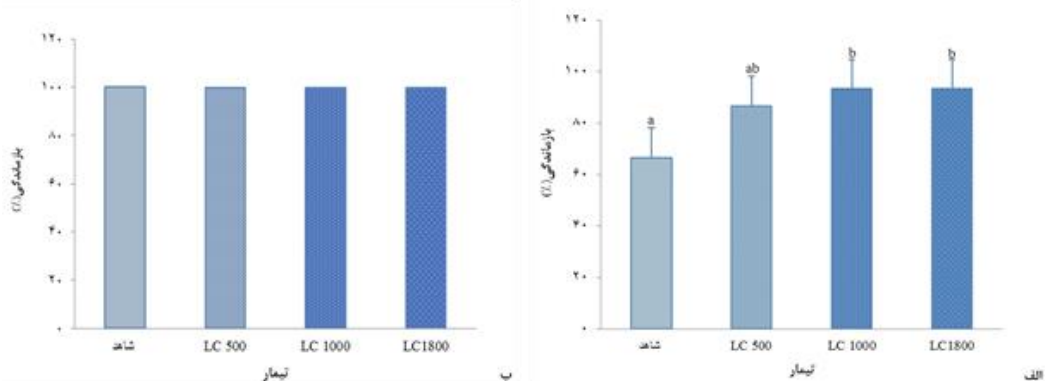
آماري با گروه شاهد بود ( $P < 0.05$ ). در برابر اين استرس‌ها بيشترين مقاومت در تيمار  $LC_{1000}$  مشاهده شد. در تيمار  $LC_{500}$  درصد بازماندگي بهبود يافت، ولي اختلاف معني‌دار آماري با ساير تيمارها و گروه شاهد مشاهده نشد ( $P > 0.05$ ). گروه شاهد کمترين



شکل ۱. روند تغييرات وزن بچه‌ماهي صيبتي در دوره ده هفته‌اي آزمايش (ميانگين  $\pm$  انحراف از معيار؛  $n=3$ )



شکل ۲. درصد بازماندگي در برابر استرس (الف) دماي بالا ( $37^{\circ}C$ ) و (ب) دماي پايين ( $15^{\circ}C$ ) در تيمارهاي مختلف (ميانگين  $\pm$  انحراف از معيار؛  $n=3$ ). حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معني‌دار آماري در سطح  $0.05$  است



شکل ۳. درصد بازماندگي در برابر استرس (الف) شوري بالا ( $70\text{ ppt}$ ) و (ب) شوري پايين ( $12\text{ ppt}$ ) در تيمارهاي مختلف (ميانگين  $\pm$  انحراف از معيار؛  $n=3$ ). حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معني‌دار آماري در سطح  $0.05$  است.

#### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که افزودن مکمل ال-کارنیتین به جیره غذایی باعث افزایش مقاومت بچه‌ماهی صیبتی در برابر استرس دمای بالا، دمای پایین و شوری بالا می‌شود. بسیاری از محققان بیان کردند که جیره‌های غذایی که سبب رشد و بازماندگی بالاتر می‌شوند منجر به افزایش مقاومت در برابر آزمایش‌های استرس نیز خواهند شد (Gallardo et al., 1995; Kontara et al., 1997; Paibulkichakul et al., 1998). در بسیاری از مطالعات ثابت شده است که ال-کارنیتین از جمله موادی است که در بسیاری از ماهیان سبب افزایش رشد و بازماندگی می‌شود. در تحقیقی در ماهی کپور هندی انگشت‌قد (*Labeo rohita*) با متوسط وزن اولیه ۳/۳۸ گرم ال-کارنیتین در سطح ۵۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم جیره غذایی منجر به افزایش شاخص‌های رشد از جمله میزان وزن نهایی شد (Keshavanath and Renuka, 1998). در تیلاپپای هیبرید (*Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus*) نیز اضافه کردن ۱۵۰ میلی‌گرم ال-کارنیتین در هر کیلوگرم به جیره باعث افزایش شاخص‌های رشد و بهبود ضریب تبدیل غذایی شد (Becker et al., 1999). در فیل ماهی نوجوان (*Huso huso*) تغذیه با مکمل ال-کارنیتین در دو سطح ۳۰۰ و ۶۰۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم جیره باعث بهبود میزان رشد شد (Mohseni et al., 2008). ال-کارنیتین می‌تواند نقش حیاتی در متابولیسم چربی ایفا کند و در نتیجه با افزایش قابلیت جذب پروتئین باعث افزایش رشد شود. به بیان دیگر به دلیل نقش واسطه‌ای ال-کارنیتین در افزایش ورود اسیدهای چرب بلندزنجیره به میتوکندری برای

انجام‌دادن عمل اکسیداسیون، کاتابولیسم پروتئین برای تولید انرژی ذخیره می‌شود؛ بنابراین حیوانات تغذیه‌شده با جیره حاوی ال-کارنیتین ممکن است میزان پروتئین بیشتری برای رشد در دسترس داشته باشند (Torrele et al., 1993).

در باره تأثیر ال-کارنیتین در میزان بازماندگی نیز می‌توان به افزایش درصد بازماندگی در تیلاپپای نیل (*Oreochromis niloticus*) با افزودن مقادیر ۷۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم ال-کارنیتین در هر کیلوگرم جیره غذایی اشاره کرد (Abou-Seif, 2006). در سال ۲۰۱۰ نیز در تحقیق درباره ماهی تیلاپپای نیل بیان شد که با افزایش سطح ال-کارنیتین مقدار چربی در بدن و در بافت عضله و کبد کاهش یافت (Chen et al., 2010). همچنین ال-کارنیتین باعث افزایش فعالیت لیپاز روده‌ای و کاهش اسیدهای چرب احشا و کبد ماهی نقطه مرواریدی (*Etroplus suratensis*) شد (Jayaprakas and Sambhu, 1998). با توجه به این‌که ال-کارنیتین نقش بسیار مهمی در متابولیسم اسیدهای چرب بلندزنجیره دارد و باعث جلوگیری از ذخیره چربی‌ها به شکل تری‌گلیسرید در بدن می‌شود، در نتیجه از موجود در برابر بروز بیماری‌ها و آسیب کبدی ناشی از افزایش چربی‌ها در بدن محافظت می‌کند. بنابراین با کبد سالم سطح ایمنی بدن بالا می‌رود و موجود در برابر شرایط استرس‌زا مقاوم‌تر می‌شود و به این ترتیب میزان بازماندگی افزایش می‌یابد (Jayaprakas and Sambhu, 1998; Chen et al., 2010). علاوه بر این افزودن ال-کارنیتین در جیره غذایی ماهی آزاد چینوک نیز باعث افزایش بازماندگی شد (Tremblay Bradley, 1992). در تحقیق حاضر با توجه به مطالعات بیان‌شده

تولید ATP در بافت‌های محیطی دارد ( Gulcin, 2006). طی سازگاری در مناطق سرد، بافت ماهی می‌تواند تراکم حجم میتوکندری ( Egginton, 1996; Cordiner and Egginton, 1997) فعالیت‌های آنزیم‌های میتوکندری ( Rodnick and Sidell, 1994; St-Pierre et al., 1998) و ظرفیت اکسیداسیون پروتئین خاص خود در میتوکندری را افزایش دهد ( Guderley and Johnston, 1996; Guderley et al., 1997). در تحقیقی که در باس راه‌راه (*striped bass*) سازگار شده در دمای ۵ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد انجام شد سازش سرمایی باعث افزایش فعالیت سیترات سنتاز به میزان ۱/۶ برابر و مجموع فعالیت کارنیتین پالمیتوئیل ترانسفراز به میزان دو برابر در عضله قرمز هموزن شد. همچنین کارنیتین آزاد ۶۲ درصد افزایش یافت و فعالیت کارنیتین پالمیتوئیل ترانسفراز (CPT I) در میتوکندری دو برابر زیاد شد ( Rodnick and Sidell, 1994). بنابراین سازش با محیط می‌تواند نیاز ال-کارنیتین از محیط خارج را برای موجود به دنبال داشته باشد.

Ozorio و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی اثر حفاظتی جیره غذایی حاوی کارنیتین در برابر عوامل تنش‌زا در ماهی پهن توربوت (*Psetta maxima*) به این نتیجه رسیدند که افزودن ال-کارنیتین در جیره غذایی باعث افزایش بازماندگی همچنین، افزایش ایمنی نسبت به عفونت‌های باکتریایی شد. در بررسی فلورسنت میکروسکوپی برای تعیین مقدار نفوذ فلورسئین از آب از طریق آبشش‌ها و پوست در ماهی گویی (*Poecilia reticulata*) نتایج نشان داد که کاربرد ال-کارنیتین در جیره مقدار نفوذ این ماده را در ماهی گویی کاهش می‌دهد. در نتیجه ال-کارنیتین

و نتایج مربوط به افزایش وزن بیشتر در تیمارهای LC<sub>۱۰۰۰</sub> و LC<sub>۱۸۰۰</sub> نسبت به تیمار شاهد (شکل ۱)، احتمالاً افزایش در میزان مقاومت در برابر استرس‌های محیطی با افزایش وزن و بهبود رشد در این تیمارها مرتبط باشد.

علاوه بر این کارنیتین می‌تواند در افزایش مقاومت در مقابله با شرایط تنش‌زای محیطی تأثیر مثبت داشته باشد (Becker and Focken, 1995). افزایش درجه حرارت باعث افزوده شدن واکنش اکسیداسیون وابسته به ال-کارنیتین اسیدهای چرب در میتوکندری کبد قزل‌آلای دریاچه‌ای (*Salvelinus namaycush*) شد (Ballantyne et al., 1989). بنابراین افزودن ال-کارنیتین در جیره ماهی در هنگام افزایش دمای آب می‌تواند مقدار انرژی بیشتری را در بدن برای مقاومت بهتر در ماهی تأمین کند.

در تحقیقی که در ماهی سیچلاید زینتی (*Pelvicachromis pulcher*) انجام شد افزودن مکمل ال-کارنیتین با سطوح مختلف (۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم جیره غذایی) باعث شد که ماهیان تغذیه‌شده با جیره حاوی ال-کارنیتین در مقایسه با ماهیان شاهد، که از جیره فاقد ال-کارنیتین تغذیه کرده بودند و در معرض سرما قرار داشتند، از بازماندگی بیشتری برخوردار شوند. به دلیل شرکت ال-کارنیتین در متابولیسم چربی، ال-کارنیتین نقش مهمی در فرایند تطابق دمایی دارد و می‌تواند از ماهی در مقابل شرایط آبی‌پروری با تغییرات سریع محیطی و نوسانات دمایی بالا محافظت کند ( Harpaz et al., 1999). کارنیتین نقش مهم فیزیولوژیکی در انتقال اسیدهای چرب بلندزنجیره در سراسر غشای داخلی میتوکندری و فرایندهای غشایی برای اکسیداسیون و



تعدادل اسمزی داخل سلولی است (Polat and Beklevik, 1999; Eklund et al., 2005).

با توجه به این که فشار اسمزی مایعات بدن در شوری پایین تقریباً با فشار اسمزی محیط برابر است و موجود در این محیط‌ها انرژی کمتری را صرف تنظیم اسمزی می‌کند، در نتیجه میزان انرژی بیشتری صرف رشد ماهی می‌شود. درصد بقا و ماندگاری گونه‌های زیادی از ماهیان ممکن است در شوری‌های پایین بهتر باشد (Likongwe et al., 1996). کارنیتین و گلايسين بتائين باعث تعادل پایدار اسمزی می‌شوند و این املاح آلی نه تنها به منزله عوامل رشد، بلکه به منزله تنظیم‌کننده‌های اسمزی (اسمولیت) مورد نیازند. زمانی که موجود در معرض استرس شوری قرار می‌گیرد در کار آنزیم‌های میتوکندری اختلال ایجاد می‌شود و به دنبال آن تولید انرژی کاهش خواهد یافت. در نتیجه افزودن ال-کارنیتین در جیره غذایی با افزایش در تولید انرژی از طریق افزایش ورود اسیدهای چرب بلندزنجیره به میتوکندری و متابولیسم چربی، بهبود نفوذپذیری غشا و ارتقای عملکرد میتوکندری به نحوی در فرایند تنظیم اسمزی دخالت می‌کند و سبب افزایش مقاومت بچه‌ماهیان در برابر استرس شوری می‌شود. طی پاسخی فیزیولوژیک به استرس، در ماهی‌ها و دیگر مهره‌داران می‌توان تغییر در الگوهای انرژی و سوخت‌وساز بدن را مشاهده کرد. بنابراین استرس منابع انرژی را برای حفظ فعالیت‌هایی از جمله افزایش در ریتم قلبی عروقی و تنفسی، افزایش جریان خون‌رسانی به بافت، افزایش در مصرف انرژی و تقاضای بیشتر انرژی برای عضلات مصرف می‌کند. بنابراین با افزایش سطح ال-کارنیتین در بدن توانایی مقابله با شرایط استرس‌زا در موجود افزایش می‌یابد.

نفوذپذیری غشا را بهبود می‌بخشد و اعمال میتوکندری را حمایت می‌کند. این مکانیسم نقش ال-کارنیتین را در حمایت از آبشش‌ها و پوست ماهی گوپی در مقابل عوامل غیرزنده آبیونی آشکار می‌کند (Schreiber et al., 1997).

در فرایند تنظیم اسمزی آنزیم‌های زیادی درگیرند که یکی از مهم‌ترین این آنزیم‌ها، آنزیم  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATPase است. این آنزیم یک آنزیم عمومی غشای پلاسمایی است که به طور فعال سدیم را به خارج و پتاسیم را به داخل سلول‌های جانوری انتقال می‌دهد و نقش محوری در انتقال یون و تنظیم اسمزی دارد. در واقع عمل این آنزیم در اپی‌تلیوم آبشش و کلیه است و بخش عمده‌ای از انرژی مصرفی در تنظیم اسمزی را به خود اختصاص می‌دهد (Imslund et al., 2004; Lin et al., 2003). بنابراین به نظر می‌رسد افزودن ال-کارنیتین در جیره غذایی ماهی می‌تواند میزان انرژی مورد نیاز آنزیم  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATPase برای مقابله بهتر در برابر نوسانات شوری را فراهم کند. به عبارت دیگر، افزودن ال-کارنیتین در جیره غذایی ماهی می‌تواند از طریق تأمین میزان انرژی مورد نیاز آنزیم  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATPase که از آنزیم‌های مهم در تنظیم اسمزی ماهیان است به منزله تنظیم‌کننده تعادل اسمزی داخل سلولی عمل کند و شرایط بازماندگی بیشتر ماهیان را در شرایط استرس شوری ایجاد کند (Imslund et al., 2003; Lin et al., 2004). بیشتر سلول‌های حیوانی، گیاهی و پروکاریوتیک‌ها، برای مقابله با فشار اسمزی خارجی یا استرس‌های محیطی حاکم بر سلول، غلظت داخل سلولی محلول‌های آلی سبک‌وزن و یون‌های معدنی موجود در سلول را تغییر می‌دهند و ال-کارنیتین نیز یکی از تنظیم‌کننده‌های

### تقدیر و تشکر

از همکاری صمیمانه آقای مهندس قاسمی رئیس مرکز آموزش و بازسازی ذخایر آبزیان کلاهی و آقایان مهندس درویشی، سیرپور، پسند، محمدپور و محمودی، کارشناسان محترم و همه پرسنل مرکز، به دلیل تأمین ماهی و دراختیار گذاشتن تأسیسات پرورشی مورد نیاز این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

با توجه به نتایج این پژوهش، می‌توان گفت که افزودن ۱۰۰۰ میلی‌گرم ال-کارنیتین در هر کیلوگرم جیره غذایی باعث افزایش مقاومت ماهی صبیتی در برابر استرس‌های دما و شوری می‌شود. بنابراین به نظر می‌رسد مکمل ال-کارنیتین در جیره غذایی با توجه به حساسیت و بازماندگی کم این ماهیان دریایی در دوران اولیه پرورش مفید باشد. علاوه بر این با بالارفتن مقاومت بچه‌ماهی در برابر استرس دما و شوری که با متابولیسم انرژی بدن در ارتباط است می‌توان به رشد بهتر و سریع‌تری دست یافت و به تبع آن در مدت زمانی کمتر تراکم بیشتری از ماهی را پرورش داد.

## References

- [1]. Abou-Seif, R.A., 2006. Effects of Biogenic L-carnitine supplementation on growth performance, survival rate and feed efficiency of monosex Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) fry during the nursery period. *Egyptian Journal of Nutrition and feeds* 9, 71-82.
- [2]. Al-Abdessalaam, T.Z.S., 1995. Marine species of the Sultanate of Oman. An Identification Guide. Ministry of Agriculture and Fisheries, Sultanate of Oman, 412p.
- [3]. Ballantyne, J.S., Flannigan, D., White, T.B., 1989. Effects of temperature on the oxidation of fatty acids, acyl carnitines and ketone bodies by mitochondria isolated from the liver of the lake charr, *Salvelinus namaycush*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 46, 950-954.
- [4]. Bauchot, M.L., Smith, M.M., 1984. Sparidae. In W. Fischer and G. Bianchi (eds.) FAO species identification sheets for fishery purposes. Western Indian Ocean (Fishing Area 51), Vol. 4. FAO, Rome.
- [5]. Boutet, I., Long Ky, C.L., Bonhomme, F., 2006. A transcriptomic approach of salinity response in the euryhaline teleost, *Dicentrarchus labrax*. *Gene* 379, 40-50.
- [6]. Becker, K., Focken, U., 1995. Effect of feed supplementation with L-carnitine on growth, metabolism and body composition of carp (*Cyprinus capio* L.). *Aquaculture* 129, 34-43.
- [7]. Becker, K., Schreiber, S., Angoni, C., Blum, R., 1999. Growth performance and feed utilization response of *Oreochromis niloticus*×*Oreochromis aureus* hybrids to l-carnitine measured over a full fattening cycle under commercial conditions. *Aquaculture* 174, 313-322.
- [8]. Bremer, J., 1983. Carnitine- metabolism and functions. *Physiological Reviews* 63, 1420-1480.
- [9]. Chen, G., Zhang, M.H., Zhang, J.D., Dong, H.B., Zhou, H., Tang, B.G., Huang, J.S., Shi, G., Jiang, L., Wu, Z.H., Gu, B.H., 2010. Effects of L-carnitine and dietary protein on body composition and liver lipid content in juvenile new GIFT strain Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Journal of Applied Animal Research* 37 (2), 141-144.
- [10]. Cordiner, S., Egginton, S., 1997. Effects of seasonal temperature acclimatization on muscle metabolism in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Fish Physiology and Biochemistry* 16, 333-343.
- [11]. Egginton, S., 1996. Effects of temperature on the optimal substrate for beta-oxidation. *Journal of Fish Biology* 49, 753-758.
- [12]. Eklund, M., Bauer, E., Wanatu, J., Mosenthin, R., 2005. Potential nutritional and physiological functions of betaine in livestock. *Nutrition Research Reviews* 18, 31-48.
- [13]. Gallardo, P.P., Alfonso, E., Gaxiola, G., Soto, L.A., Rosas, C., 1995. Feeding schedule for *Penaeus setiferus* larvae based on diatom (*Chaetoceros ceratosporum*), flagellates (*Tetraselmis chuii*) and *Artemia nauplii*. *Aquaculture* 131, 239-252.
- [14]. Guderley, H., Johnston, I.A., 1996. Plasticity of fish muscle mitochondria with thermal acclimation. *Journal of Experimental Biology* 199, 1311-1317.
- [15]. Guderley, H., St-Pierre, J., Couture, P., Hulbert, A.J., 1997. Plasticity of the properties of mitochondria from rainbow trout red muscle with seasonal acclimatization. *Fish Physiology and Biochemistry* 16, 531-541.
- [16]. Gulcin, I., 2006. Antioxidant and antiradical activities of L-Carnitine. *Life Sciences* 78, 803-811.
- [17]. Harpaz, S., 2005. L-Carnitine and its attributed functions in fish culture and nutrition. A review. *Aquaculture* 249, 3-21.

- [18]. Harpaz, S., Becker, K., Blum, R., 1999. The effect of dietary l-carnitine supplementation on cold tolerance and growth of ornamental cichlid fish (*Pelvicachromis pulcher*) preliminary results. *J. Thermal Biology* 24, 57-62.
- [19]. Hussain, N.A, Akatsu, S., El-Zahr, C., 1981. Spawning, Egg and Early Larval Development and Growth of *Acanthopagrus cuvieri*. *Aquaculture* 22, 125-136.
- [20]. Imsland, A.K., Foss, A., Stefansson, S.O., 2003. Gill Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>-ATPase activity, plasma chloride and osmolality in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*) reared at different temperature and salinities. *Aquaculture* 218, 671-683.
- [21]. Jayaprakas, V., Sambhu, C., 1998. Influence of dietary L-carnitine on growth and lipid metabolism in pearlspot, *Eetroplus suratensis* (Bloch). *Indian Journal of Experimental Biology* 36 (10), 1044-1048.
- [22]. Keshavanath, P., Renuka, P., 1998. Effect of dietary L-carnitine on growth and body composition of fingerling rohu, *Labeo rohita* (Hamilton). *Aquaculture Nutrition* 4, 83-87.
- [23]. Kelly, S.P., Woo, N.Y.S., 1999. The response of sea bream following abrupt teleost fishes to different salinities. *Zoological Science* 18, 1163-1174.
- [24]. Kontara, E., Lavens, P., Sorgeloos, P., 1997. Dietary effects of DHA/EPA on culture performance and fatty acid composition of *penaeus monodon* postlarvae. In Lavens, P., Iaspers, E., Roeland, I. (Eds), *Larvi 95 Fish and Shellfish Larviculture Symposium*. Europe Aquaculture Society, Ghent, 204-208.
- [25]. Krogdahl, A., Sundby, A., Olli, J.J., 2004. Atlantic salmon (*Salmo salar*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) digest and metabolize nutrients differently. Effect of water salinity and dietary starch level. *Aquaculture* 229, 335-360.
- [26]. Likongwe, J.S., Stecko, T.D., Stauffer, J.R., Carline, R.F., 1996. Combined effects of water temperature and salinity on growth and feed utilization of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture* 146, 37-46.
- [27]. Lin, C.H., Tsai, R.S., Lee T.H., 2004. Expression and distribution of Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>-ATPase in gill and kidney of the spotted green pufferfish, *Tetraodon nigroviridis*, in response to salinity challenge. *Comparative Biochemistry and Physiology- Part A* 138, 287-295.
- [28]. Mazurkiewicz, J., Przybyt, A., Golski, J., 2008. Evaluation of selected feeds differing in dietary lipids levels in feeding juveniles of wells cat fish (*Sillurus glanis*). *Afghanistan Legal Education Project* 38, 91-96.
- [29]. McDowell, L.R., 1989. Vitamin-like substances. McDowell, L.R. (Eds), *Vitamins in Animal Nutrition Comparative Aspects to Human Nutrition*. Academic Press Inc., New York, 388-399.
- [30]. Mohseni, M., Seyfabadi, J., Pourali, H., Pourkazemi, M., Bahmani, M., 2008. Effects of supplemental dietary L-carnitine on growth and body composition of beluga (*Huso huso*) juveniles. *Iranian Journal of Fisheries Sciences* 7 (2), 157-170.
- [31]. Movahedinia, A.A., Savari, A., Morovvati, H., Kochanian, P., Marammazi, J.G., Nafisi, M., 2009. The Effects of Changes in Salinity on Gill Mitochondria-Rich Cells of Juvenile Yellowfin Seabream, *Acanthopagrus latus*. *Journal of Biological Sciences* 9, 710-720.
- [32]. Ozorio, R.O.A., 2009. Dietary L-carnitine supplementation to cultivated fish: A Mini-Review. *Current Nutrition and Food Science* 5, 40-48.
- [33]. Ozorio, R.O.A., Goncalves, R., Dias, S., Correia, A.D., Goncalves, J. and Wilson, J., 2008. Protective effects of dietary L-carnitine on turbot, *Psetta maxima*, challenged with *S. parauberis* and sublethal ammonia concentration. *Proceedings 13th International Symposium on Nutrition and Feeding of Fish: Florianopolis (Brazil)*.

- [34]. Ozorio, R.O.A., Van Eekeren, T.H.B., Huisman, E.A., Verreth, J.A.J., 2001. Effects of dietary carnitine and protein energy: nonprotein energy ratios on growth, ammonia excretion and respiratory quotient in African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell) juveniles. *Aquaculture Research* 32, 406-414.
- [35]. Paibulkichakul, C., Piyatiratitivorakul, S., Kittakoop, P., Viyakam, V., Fast, A.W., Mensaveta, P., 1998. Optimal dietary levels of lecithin and cholesterol for black tiger prawn *Penaeus monodon* larvae and post larvae. *Aquaculture* 167, 273-281.
- [36]. Polat, A., Beklevik, G., 1999. The importance of betaine and some attractive substances as fish feed additives. In: Brufu, j., Tacon, A., (eds.) *Feed Manufacturing in the Mediterranean Region: Recent Advances in Research and Technology* Zaragoza, CIHEAM, IAMZ, Spain, 217-220.
- [37]. Rodnick, K.J., Sidell, B.D., 1994. Cold-acclimation increases carnitine palmitoyltransferase-I activity in oxidative muscle of striped bass. *American Journal of Physiology* 266, 405-412.
- [38]. Schreiber, S., Becker, K., Bresler, V., Fishelson, L., 1997. Dietary L-carnitine protects the gills and skin of guppies (*Poecilia reticulata*) against anionic xenobiotics. *Comparative Biochemistry and Physiology* 117, 99-102.
- [39]. St-Pierre, J., Charest, P.M., Guderley, H., 1998. Relative contribution of quantitative and qualitative changes in mitochondria to metabolic compensation during seasonal acclimatization of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *The Journal of Experimental Biology* 201, 2961-2970.
- [40]. Tremblay, G.C., Bradley, T.M., 1992. L-Carnitine protects fish against acute ammonia toxicity. *Comparative Biochemistry and Physiology- Part C* 101, 349-351.
- [41]. Torreale, E., Van Der Sluiszen, A., Verreth, J., 1993. The effect of dietary l-carnitine on the growth performance in fingerlings of the African catfish (*Clarias gariepinus*) in relation to dietary lipid. *British Journal of Nutrition* 69, 289-299.
- [42]. Yang, S.D., Wen, Y., Liou, C., Liu, F., 2009. Influence of dietary L- Carnitine on growth, biological Traits and meat quality in tilapia. *Aquaculture Research* 40, 1374-1382.