شیلات، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۶۷، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۲/۱۹

ص ۵۸۵-۵۹۷

تأثیر افزودن ال-کارنیتین به جیرهٔ غذایی در میزان مقاومت به استرس‌های دما و شوری در ماهی صبیتی (*Sparidentex hasta*)

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

چکیده

به منظور بررسی اثر افزودن ال-کارنیتین به جیرهٔ غذایی در میزان مقاومت به استرس‌های دما و شوری در ماهی صبیتی (*Sparidentex hasta*)، آزمایشی با ۲۴۰ قطعه بچه‌ماهی با میانگین وزن اولیهٔ ۰/۰۳±۳/۰۱ گرم به مدت ۱۰ هفته انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل چهار سطح صفر، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۸۰۰ (به ترتیب شاهد، $LC_{۵۰۰}$، $LC_{۱۰۰۰}$ و $LC_{۱۸۰۰}$) میلی‌گرم ال-کارنیتین در هر کیلوگرم جیره و با سه تکرار در قالب طرحی کاملاً تصادفی بودند. غذادهی در کل دوره به صورت دستی، و بر اساس سیری، روزانه در سه نوبت انجام شد. در پایان دورهٔ آزمایشی، در آزمایش استرس دمایی، ماهیان به مدت ۳۰ دقیقه در معرض دو دمای ۱۵ و ۳۷ درجهٔ 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 $LC_{۱۰۰۰}$ و $LC_{۱۸۰۰}$ مقاومت در برابر استرس دمای بالا، دمای پایین و شوری بالا در مقایسه با گروه شاهد دارای افزایش بود ($P<۰/۰۵$). علاوه بر این، در مقاومت در برابر استرس شوری پایین بین تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ($P>۰/۰۵$). نتایج این تحقیق نشان داد که افزودن ال-کارنیتین به جیرهٔ غذایی می‌تواند در میزان مقاومت در برابر استرس‌های دما و شوری در ماهی صبیتی تأثیرگذاری مطلوبی داشته باشد. از بین سطوح مختلف به‌کار برده‌شده، بهترین دوز مؤثر در مقاومت به استرس دما و شوری در ماهی صبیتی سطح ۱۰۰۰ میلی‌گرم ال-کارنیتین بر کیلوگرم جیرهٔ غذایی بود.

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

* نویسندهٔ مسئول: ۰۹۱۷۳۱۵۷۳۳۷
Email: mmsajjadi@hotmail.com

۱. مقدمه

ماهی صبیتی (*Sparidentex hasta*; Valenciennes, 1830) از خانوادهٔ شانک‌ماهیان (Sparidae) بومی خلیج فارس، غرب اقیانوس هند و آب‌های ساحلی هند است. زیستگاه این گونه آب‌های ساحلی کم‌عمق همچنین، آب‌های عمیق است و عمدتاً از مهره‌داران و سخت‌پوستان تغذیه می‌کند (Bauchot and Smith, 1984; Al-Abdessalaam, 1995). ماهی صبیتی دارای ارزش اقتصادی و شیلاتی است و تکثیر و پرورش آن به طور وسیع در کشورهای حاشیهٔ خلیج فارس مورد توجه است (Hussain *et al.*, 1981). ال-کارنیتین یک آمین چهارجزئی محلول در آب است که به طور طبیعی در میکروارگانیسم‌ها، گیاهان و حیوانات وجود دارد (Bremer, 1983). ال-کارنیتین در بدن عمدتاً در کبد ساخته می‌شود و در بافت‌هایی مانند ماهیچهٔ 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 به‌منزلهٔ 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 هومورال از دیگر مزایای مصرف ال-کارنیتین در جیرهٔ غذایی است که در مطالعات مختلف گزارش شده است (Harpaz *et al.*, 1999; Harpaz, 2005; Mohseni *et al.*, 2008; Yang *et al.*, 2009). افزودن ال-کارنیتین به جیرهٔ غذایی ماهی همچنین می‌تواند از طریق تأمین میزان انرژی مورد نیاز آنزیم Na^+/K^+- ATPase که از آنزیم‌های مهم در تنظیم اسمزی ماهیان است به‌منزلهٔ تنظیم‌کنندهٔ 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 زمینهٔ 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، اندازهٔ ماهی، طول دوره و شرایط پرورش، ترکیب غذایی و سطح مکمل بستگی دارد. اکثر پژوهش‌ها دربارهٔ اثر استفاده از ال-کارنیتین در ماهی با بچه‌ماهی و ماهی‌هایی با وزن اولیهٔ کمتر از ۳۰ گرم انجام گرفته است، زیرا استدلال این است که به دلیل رشد سریع در مراحل اولیهٔ زندگی تقاضای ال-کارنیتین بافت‌ها در مقایسه با ساخت آن در بدن زیاد است (Harpaz, 2005). ماهی‌ها در هر مرحله از چرخهٔ 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

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 متابولیسمی ماهی اثر می‌گذارند، بنابراین پژوهش حاضر به منظور بررسی اثر افزودن ال-کارنیتین به جیرهٔ غذایی در مقاومت در برابر استرس‌های دما و شوری در بچه‌ماهی صبیتی طراحی و انجام شد.

۲. مواد و روش‌ها

۲. ۱. آماده‌سازی شرایط آزمایش و تیماربندی

این پژوهش در مرکز آموزش و بازسازی ذخایر آبزیان بندر کلاهی وابسته به ادارهٔ کل شیلات استان هرمزگان واقع در ۱۴۰ کیلومتری شهرستان بندرعباس به مدت ده هفته انجام شد. تعداد ۲۴۰ قطعه بچه‌ماهی صبیتی با وزن اولیهٔ ۰/۰۳± ۳/۰۱ 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. تهیهٔ جیره‌های آزمایشی

برای تهیهٔ جیره‌های با سطوح مختلف مکمل ال-کارنیتین (جدول ۲)، از ال-کارنیتین خالص (شرکت Merck آلمان) و غذای کنسانترهٔ تجاری مخصوص شانک‌ماهیان (شرکت Biomar فرانسه) استفاده شد (جدول ۱).

جدول ۱. آنالیز تقریبی غذای کنسانترهٔ تجاری ساخت شرکت Biomer فرانسه (درصد)

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

بر حسب نوع جیرهٔ 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 سطح 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 درجهٔ سانتی‌گراد نگهداری شدند.

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

سطح مکمل	جیرهٔ غذایی فاقد ال-کارنیتین	۵۰۰ میلی‌گرم ال-کارنیتین	۱۰۰۰ میلی‌گرم ال-کارنیتین	۱۸۰۰ میلی‌گرم ال-کارنیتین
		در هر کیلوگرم جیره		
تیمارهای آزمایشی	گروه شاهد	$LC_{۵۰۰}$	$LC_{۱۰۰۰}$	$LC_{۱۸۰۰}$

جدول ۳. دامنهٔ تغییرات پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب در مدت دورهٔ پرورش بچه‌ماهی صبیتی

دما (^oC)	اکسیژن (mg/l)	شوری (ppt)	pH
۲۷ –۳۲	۶/۳–۷/۵	۴۲	۷/۸ –۸/۴

۲. ۳. غـذادهی، زیسـت‌سـنجی و محاسـبهٔ درصد بازماندگی

ماهی‌ها به مدت یک هفته با جیرهٔ شاهد تغذیه شـدند و پس از طـی دورهٔ سـازگاری، غـذادهی در دوره بـا جیره‌های آزمایشی به صورت دستی بر اساس سـیری و در سه نوبت صبح، ظهـر و عصـر (سـاعات ۷/۰۰، ۱۳/۰۰ و ۱۹/۰۰) انجام شد. بـه منظـور خـارج‌کـردن مواد زائد (آمونیاک و سایر متابولیـت‌هـا) موجـود در تانک‌های پرورش بچـه‌ماهیـان، روزانـه در دو نوبـت 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. شاخص‌هـای کیفی آب شامل دما، اکسیژن و pH با دستگاه دیجیتال WTW (سـاخت آلمـان) و شـوری بـا دسـتگاه شوری‌سنج (مدل ATAGO ساخت ژاپـن) بـه طـور روزانه اندازه‌گیری و ثبت شد (جدول ۳).

به منظور زیست‌سنجی، طول کل به وسیلهٔ تختـهٔ زیست‌سنجی با دقت ۰/۱ سانتی‌متـر و وزن مـاهی‌هـا به وسیلهٔ ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گـرم هـر دو هفته یک بار طی دورهٔ آزمایش و پس از بیهوشـی بـا ۲-فنوکسی اتانول (۲۰۰ ppm) اندازه‌گیری شد. تعداد تلفات در همهٔ طول دوره ثبت شد و طبق فرمول ذیل میـزان بازمانـدگی (درصـد) محاسـبه شـد (Mazurkiewicz *et al.*, 2008).

میزان بازماندگی = ۱۰۰× (تعـداد ماهیـان اولیه/تعـداد ماهیان نهایی)

۲. ۴. نحوهٔ انجام‌دادن آزمایش‌های استرس

در پایان دورهٔ آزمـایش، ۱۵ قطعـه بچـه‌مـاهی از هـر تکرار و در مجموع تعداد ۴۵ ماهی از هر تیمار بـرای آزمایش‌های استرس به صورت تصادفی از تانک‌هـای پرورش برداشـته شـدند. بچـه‌ماهیـان هـر تکـرار بـه صورت جداگانه در معرض هر یک از شوک‌های دمـا و شوری قرار داده شدند. شایان ذکر است هر یـک از این آزمایش‌ها برای هر استرس به صـورت مجـزا در سطل‌های پلاستیکی بـا گنجـایش ۵۰ لیتـر همـراه بـا هوادهی ملایم برای بچه‌ماهیان هر تکرار انجـام شـد. شـرایط محیطـی در همـهٔ آزمـایش‌هـا یکسـان بـود. بچه‌ماهی‌ها به‌تدریج در معرض استرس قرار نگرفتند، بلکه به یک‌باره در محیط استرس‌زا قـرار داده شـدند. بـرای تعیـین دمـا و شـوری مـورد اسـتفاده در

آزمایش‌های استرس، نخست آزمایش‌هایی به‌منزلهٔ 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 دامنهٔ 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 درجهٔ 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 درجهٔ سانتی‌گراد انجام شد، بدین صورت که نخست آبِ با دمای مورد نظر به وسیلهٔ کیسه‌های یخ بسته‌بندی‌شده (برای تهیهٔ آب با دمای پایین) و هیترهای گرم‌کنندهٔ آب (برای تهیهٔ 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 پایان‌یافتن 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 آبِ با شوری‌های مورد نظر با اضافه‌کردن آب شیرین (برای تهیهٔ آب با شوری پایین) و افزودن نمک دریا (برای تهیهٔ آب با شوری بالا) به آب تهیه شد. بچه‌ماهی‌ها به مدت یک ساعت در معرض این شوری‌ها قرار گرفتند سپس، به شرایط عادی آزمایش برگردانده شدند. دو ساعت پس از پایان‌یافتن 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

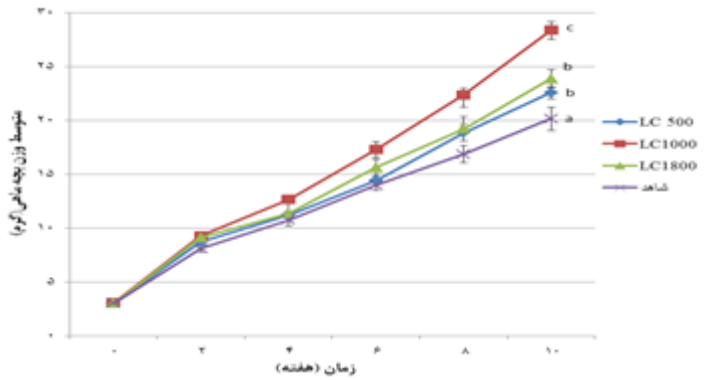
در پایان آزمایش پس از جمع‌آوری اطلاعات نخست نرمال‌بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنف (Kolmogorov-Smirnov) سنجیده شد. برای تجزیه و تحلیل آماری نتایج نهایی این پژوهش، از روش آنالیز واریانس یک‌طرفه (one-way ANOVA) استفاده شد. مقایسهٔ میانگین تیمارها به کمک آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح 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

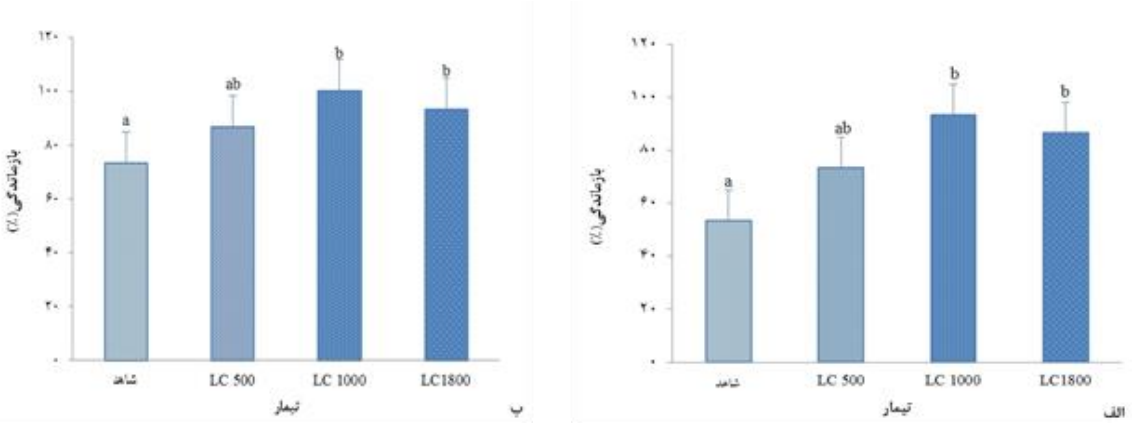
روند افزایش وزن بچه‌ماهیان صبیتی تغذیه‌شده با جیره‌های حاوی سطوح مختلف ال-کارنیتین طی دورهٔ آزمایش ده هفته‌ای در شکل ۱ نشان داده شده است. با توجه به نتایج، روند افزایش وزن در تیمار $LC_{۱۰۰۰}$ سریع‌تر از سایر تیمارها بود (شکل ۱).

تغذیهٔ بچه‌ماهی صبیتی با مکمل ال- کارنیتین باعث افزایش میزان بازماندگی در برابر استرس‌های افزایش دما و کاهش دما همچنین، افزایش شوری در تیمارهای $LC_{۱۰۰۰}$ و $LC_{۱۸۰۰}$ شد. میزان بازماندگی در تیمارهای $LC_{۱۰۰۰}$ و $LC_{۱۸۰۰}$ دارای اختلاف معنی‌دار

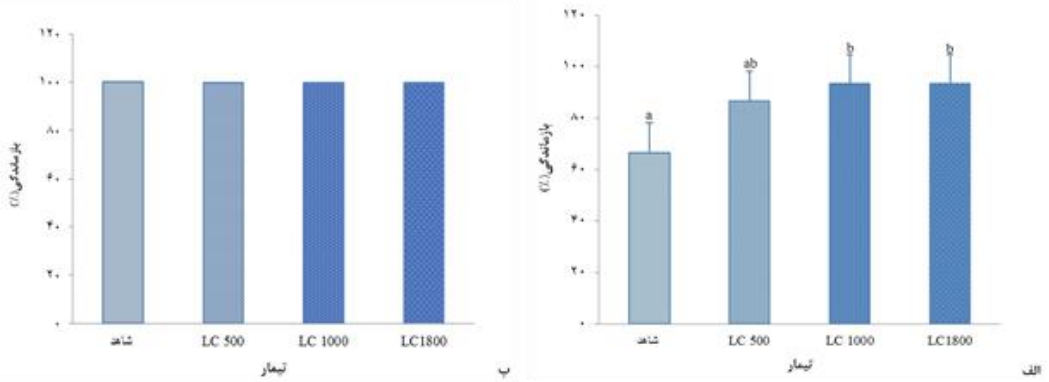
آماری با گروه شاهد بود ($P<۰/۰۵$). در برابر این استرس‌ها بیشترین مقاومت در تیمار $LC_{۱۰۰۰}$ مشاهده شد. در تیمار $LC_{۵۰۰}$ درصد بازماندگی بهبود یافت، ولی اختلاف معنی‌دار آماری با سایر تیمارها و گروه شاهد مشاهده نشد ($P>۰/۰۵$). گروه شاهد کمترین میزان بازماندگی را در مقابل استرس‌های مذکور نشان داد. از لحاظ میزان مقاومت در برابر استرس شوری پایین، همهٔ تیمارها دارای درصد بازماندگی یکسان بودند و در بین تیمارهای آزمایشی مختلف اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۲ و ۳).



شکل ۱. روند تغییرات وزن بچه‌ماهی صبیتی در دورهٔ ده هفته‌ای آزمایش (میانگین ± انحراف از معیار؛ n=۳)



شکل ۲. درصد بازماندگی در برابر استرس (الف) دمای بالا (۳۷°C) و (ب) دمای پایین (۱۵°C) در تیمارهای مختلف (میانگین ± انحراف از معیار؛ n=۳). حروف متفاوت نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌دار آماری در سطح ۰/۰۵ است



شکل ۳. درصد بازماندگی در برابر استرس (الف) شوری بالا (۷۰ppt) و (ب) شوری پایین (۱۲ ppt) در تیمارهای مختلف (میانگین ± انحراف از معیار؛ n=۳). حروف متفاوت نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌دار آماری در سطح ۰/۰۵ است.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که افزودن مکمل ال-کارنیتین به جیرهٔ غذایی باعث افزایش مقاومت بچه‌ماهی صبیتی 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 اولیهٔ ۳/۳۸ گرم ال-کارنیتین در سطح ۵۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم جیرهٔ غذایی منجر به افزایش شاخص‌های رشد از جمله میزان وزن نهایی شد (Keshavanath and Renuka, 1998). در تیلاپیای هیبرید (*Oreochromis niloticus*×*Oreochromis aureus*) نیز اضافه‌کردن ۱۵۰ میلی‌گرم ال-کارنیتین در هر کیلوگرم به جیره باعث افزایش شاخص‌های رشد و بهبود ضریب تبدیل غذایی شد (Becker *et al.*, 1999). در فیل‌ماهی 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 جیرهٔ حاوی ال-کارنیتین ممکن است میزان پروتئین بیشتری برای رشد در دسترس داشته باشند (Torreele *et al.*, 1993).

دربارهٔ تأثیر ال-کارنیتین در میزان بازماندگی نیز می‌توان به افزایش درصد بازماندگی در تیلاپیای نیل (*Oreochromis niloticus*) با افزودن مقادیر ۷۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم ال-کارنیتین در هر کیلوگرم جیرهٔ غذایی اشاره کرد (Abou-Seif, 2006). در سال ۲۰۱۰ نیز در تحقیق دربارهٔ ماهی تیلاپیای 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 ذخیرهٔ 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 جیرهٔ غذایی ماهی آزاد چینوک نیز باعث افزایش بازماندگی شد (Tremblay and Bradley, 1992). در تحقیق حاضر با توجه به مطالعات بیان‌شده

و نتایج مربوط بـه افـزایش وزن بیشـتر در تیمارهـای $LC_{۱۰۰۰}$ و $LC_{۱۸۰۰}$ نسبت به تیمـار شـاهد (شـکل ۱)، احتمـالاً افـزایش در میـزان مقاومـت در برابـر استرس‌های محیطی با افزایش وزن و بهبود رشـد در این تیمارها مرتبط باشد.

عـلاوه بـر ایـن کـارنیتین مـی‌توانـد در افـزایش مقاومت در مقابله با شرایط تـنش‌زای محیطـی تـأثیر مثبـت داشـته باشـد (Becker and Focken, 1995). افزایش درجهٔ حـرارت باعـث افـزوده شـدن واکـنش اکسیداسیون وابسته به ال-کارنیتین اسـیدهای چـرب در میتوکندری کبد قزل‌آلای دریاچـه‌ای (*Salvelinus namaycuch*) شـد (Ballantyne *et al.*, 1989). بنابراین افزودن ال-کارنیتین در جیرهٔ ماهی در هنگـام افزایش دمای آب می‌تواند مقدار انرژی بیشتری را در بدن برای مقاومت بهتر در ماهی تأمین کند.

در تحقیقـی کـه در مـاهی سـیچلاید زینتـی (*Pelvicachromis pulcher*) انجام شد افزودن مکمل ال-کـارنیتین بـا سـطوح مختلـف (۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم جیرهٔ غذایی) باعـث شـد که ماهیان تغذیه‌شده با جیرهٔ حـاوی ال-کـارنیتین در مقایسه با ماهیان شاهد، که از جیرهٔ فاقد ال-کـارنیتین تغذیه کرده بودند و در معرض سرما قرار داشـتند، از بازماندگی بیشتری برخوردار شوند. به دلیـل شـرکت ال-کارنیتین در متابولیسم چربی، ال-کـارنیتین نقـش مهمی در فرایند تطابق دمایی دارد و می‌تواند از ماهی در مقابل شرایط آبزی‌پروری با تغییرات سریع محیطی و نوسانات دمایی بالا محافظت کند (Harpaz *et al.*, 1999). کارنیتین نقش مهـم فیزیولـوژیکی در انتقـال اسیدهای چرب بلندزنجیره در سراسر غشای داخلـی میتوکندری و فرایندهای غشایی برای اکسیداسـیون و تولیـد ATP در بافـت‌هـای محیطـی دارد (Gulcin, 2006). طی سازگاری در منـاطق سـرد، بافـت مـاهی می‌تواند تراکم حجم میتوکندری (Egginton, 1996; Cordiner and Egginton, 1997)، فعالیـت‌هـای آنزیم‌های میتوکندری (Rodnick and Sidell, 1994; St-Pierre *et al.*, 1998) و ظرفیـت اکسیداسـیون پروتئین خاص خود در میتوکنـدری را افـزایش دهـد (Guderley and Johnston, 1996; Guderley *et al.*, 1997). در تحقیقی که در باس راه‌راه (*striped bass*) سازگارشده در دمای ۵ و ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد انجـام شد سازش سرمایی باعث افـزایش فعالیـت سـیترات سنتاز به میزان ۱/۶ برابر و مجموع فعالیـت کـارنیتین پالمیتوئیل ترانسفراز به میزان دو برابر در عضلهٔ قرمـز هموژن شد. همچنین کارنیتین آزاد ۶۲ درصد افزایش یافت و فعالیت کارنیتین پالمیتوئیل ترانسـفراز (CPT I) در میتوکندری دو برابر زیاد شـد (Rodnick and Sidell, 1994). بنابراین سازش با محیط می‌تواند نیاز ال-کارنیتین از محیط خارج را برای موجود به دنبـال داشته باشد.

Ozorio و همکـاران (۲۰۰۸) در بررسـی اثـر حفاظتی جیرهٔ غذایی حاوی کارنیتین در برابر عوامـل تنش‌زا در ماهی پهن توربـوت (*Psetta maxima*) بـه این نتیجه رسیدند که افـزودن ال-کـارنیتین در جیـرهٔ غذایی باعث افـزایش بازمانـدگی همچنـین، افـزایش ایمنی نسبت به عفونت‌های باکتریایی شد. در بررسـی فلورسـنت میکروسـکوپی بـرای تعیـین مقـدار نفـوذ فلورسئین از آب از طریق آبشش‌ها و پوست در ماهی گـوپی (*Poecilia reticulata*) نتـایج نشـان داد کـه کاربرد ال-کارنیتین در جیره مقدار نفوذ ایـن مـاده را در ماهی گوپی کاهش می‌دهد. در نتیجه ال-کـارنیتین

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 غیرزندهٔ آنیونی آشکار می‌کند (Schreiber *et al.*, 1997).

در فرایند تنظیم اسمزی آنزیم‌های زیادی درگیرند که یکی از مهم‌ترین این آنزیم‌ها، آنزیم Na^+/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 (Imsland *et al.*, 2004; 2003 Lin *et al.*,). بنابراین به نظر می‌رسد افزودن ال-کارنیتین در جیرهٔ غذایی ماهی می‌تواند میزان انرژی مورد نیاز آنزیم Na^+/K^+- ATPase برای مقابلهٔ بهتر در برابر نوسانات شوری را فراهم کند. به عبارت دیگر، افزودن ال-کارنیتین در جیرهٔ غذایی ماهی می‌تواند از طریق تأمین میزان انرژی مورد نیاز آنزیم Na+/K+- ATPase که از آنزیم‌های مهم در تنظیم اسمزی ماهیان است به‌منزلهٔ تنظیم‌کنندهٔ تعادل اسمزی داخل سلولی عمل کند و شرایط بازماندگی بیشتر ماهیان را در شرایط استرس شوری ایجاد کند (Imsland *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 تعادل اسمزی داخل سلولی است (Polat and Beklevik, 1999; Eklund *et al.*, 2005).

با توجه به این‌که 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 گلایسین بتائین باعث تعادل پایدار اسمزی می‌شوند و این املاح آلی نه تنها به‌منزلهٔ عوامل رشد، بلکه به‌منزلهٔ 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 جیرهٔ 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.

با توجه به نتایج این پژوهش، می‌توان گفت که افزودن ۱۰۰۰ میلی‌گرم ال-کارنیتین در هر کیلوگرم جیرهٔ غذایی باعث افزایش مقاومت ماهی صبیتی در برابر استرس‌های دما و شوری می‌شود. بنابراین به نظر می‌رسد مکمل ال-کارنیتین در جیرهٔ غذایی با توجه به حساسیت و بازماندگی کم این ماهیان دریایی در دوران اولیهٔ 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.

تقدیر و تشکر

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

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+, K+-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, Etroplus 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 faty 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+, K+-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]. Torreele, 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.