تاثیر میدان مغناطیسی ثابت بر عملکرد تخم‌گشایی ماهی سفید دریای خزر (*Rutilus kutum*)

هومن رجبی‌اسلامی[۱]*، نرگس عرب[۲] و صمد درویشی[۳]

۱) استادیار گروه شیلات، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. *رایانامه نویسنده مسئول: rajabi.h@srbiau.ac.ir
۲) دانشجوی دکتری گروه شیلات، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۳) دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد اداره کل شیلات استان گیلان، انزلی، گیلان.

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۰/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۲/۲۶

چکیده

آزمایشی با هدف بررسی اثر میدان مغناطیسی ثابت بر عملکرد تخم‌گشایی ماهی سفید دریای خزر (*Rutilus kutum*) در انکوباتورهای ویس صورت گرفت. بدین منظور ۳ تیمار با شدت جریان‌های مغناطیسی ثابت ۵، ۱۵ و ۲۵ میلی‌تسلا به همراه تیمار شاهد (بدون قرار گرفتن در معرض میدان مغناطیسی) با ۳ تکرار در نظر گرفته شد. تخم‌های استحصال شده از ۸ مولد ماده با تراکم ۴۹۰۰۰ عدد به‌صورت تصادفی به انکوباتورها منتقل شدند. بررسی تغییرات شاخص‌های فیزیکوشیمیایی آب شامل دمای آب، میزان pH، اکسیژن محلول، سختی کل، مشتقات نیتروژن (آمونیاک و نیتریت) و میزان فسفات در طول دوره تخم‌گشایی به صورت روزانه صورت پذیرفت. لاروهای استحصالی از هر تیمار پس از تخم‌گشایی (۱۲-۹ روز) به‌منظور بررسی روند رشد به انکوباتورهای زوک یک‌صد لیتری بدون اتصال به مگنت‌ها منتقل گردیدند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تفاوت معنی‌داری در میزان سختی کل، آمونیاک و اکسیژن آب بین تیمارهای آزمایش وجود دارد ($p<0/05$). بهترین تاثیرگذاری میدان مغناطیسی ثابت با در نظر گرفتن ویژگی‌های فیزیولوژیک ماهی سفید در تیمار ۲۵ میلی‌تسلا مشاهده گردید. همچنین تعداد لاروهای تفریخ شده در تیمار ۲۵ میلی‌تسلا به شکل معنی‌داری بیشتر از تیمار شاهد بود ($p<0/05$). با این وجود تفاوت معنی‌داری در میزان بازماندگی لاروهای دارای کیسه زرده در تیمارهای آزمایشی در مقایسه با تیمار شاهد مشاهده نشد ($p<0/05$). نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد که استفاده از میدان مغناطیسی ثابت می‌تواند در بهبود کیفیت آب و بازماندگی لارو ماهی سفید دریای خزر تاثیرگذار باشد.

واژه‌های کلیدی: تخم، ماهی سفید، میدان مغناطیسی، *Rutilus kutum*.

مقدمه

میدان مغناطیسی جریانی است که بر اثر مقاومت میدان گرانشی در مقابل تغییر میدان الکتریکی ایجاد گردیده (زرولی و همکاران، ۱۳۹۱) و با ایجاد تغییر در نحوه آرایش بارهای الکتریکی مولکول‌های مواد، برخی از خواص فیزیکی و شیمیایی آن را تغییر داده به‌طوری‌که ماده حاصل در مقایسه با حالت عادی دارای ویژگی‌های متمایزی می‌باشد (شربتی و همکاران، ۱۳۹۱). بررسی اثرات میدان مغناطیسی در تحقیقات بوم‌شناختی به دو شیوه اثر مستقیم نیروی مغناطیسی بر موجود زنده و اعمال میدان مغناطیسی به محیط پیرامونی موجودات زنده انجام می‌پذیرد (Fojt, 2004؛ Gholizadeh *et al*., 2008).

اثر مغناطیس بر آب به‌طور اتفاقی توسط دانشمندان روسی مشاهده شد. به‌طور طبیعی بین نیروهای خالص

مولکول‌های آب اختلاف اندکی وجود دارد و مولکول‌ها به صورت کاملا تصادفی در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند. نحوه آرایش بارهای الکتریکی مولکول‌های آب بر اثر جریان مغناطیسی تغییر می‌کند، به‌طوری‌که مولکول‌های آب (شامل کاتیون‌ها و آنیون‌ها) از حالت بی‌نظمی به صورت مرتب درآمده و نوع پیوند اکسیژن- هیدروژن از حالت مثلثی به شکل خطی تغییر می‌نماید. هیدروژن‌های مثبت در این شرایط دارای نیروی بیشتری شده و نیروی منفی خالص مولکول آب به نیروی مثبت خالص آب مغناطیسی تبدیل می‌گردد که در نتیجه بار الکتریکی مولکول‌های آب نسبت به آب معمولی متفاوت خواهد بود (رئیسی‌کمیز و همکاران، ۱۳۹۰؛ Inaba *et al*., 2004)؛ بنابراین آب مغناطیس شده بر فراسنجه‌های فیزیکی و شیمیایی آب اثرگذار می‌باشد (Kozic *et al*., 2006). مغناطیسی کردن آب بر دما، وزن مخصوص، هدایت الکتریکی، غلظت املاح موجود در آب، قابلیت انحلال گازها، کشش سطحی، قدرت حلالیت، چگالی، سرعت تبخیر و درجه سختی اثرگذار می‌باشد (Krzemieniewski *et al*., 2004؛ Holysz *et al*., 2007؛ Pazur & Winklhofer, 2008؛ Alrudainy & Jumaa, 2016؛ Hassan *et al*., 2017).

پژوهش‌های بسیاری در زمینه اثر میدان مغناطیسی بر میزان رشد ماهی از مرحله جنینی تا بلوغ انجام شده است (Chew & Brown, 1989؛ Formicki & Perkowski, 1998؛ Formicki *et al*., 2004؛ Hassan *et al*., 2017؛ Hassan *et al*., 2018). میدان مغناطیسی بر جذب آب تخم ماهی پس از لقاح (Sadowski *et al*., 2007) و تحرک جنین (Winnicki *et al*., 2004) اثرگذار است. مغناطیسی کردن آب می‌تواند با ارتباط مولکول‌های آن از طریق چیدمان قرارگیری بر اساس بار مغناطیسی بر اندازه کلاسترهای آب در دمای مشخص تاثیر گذاشته و کارآیی جریان آب را در به حرکت در آوردن اجسام و مواردی همچون تخم ماهی تغییر دهد، به‌نحوی‌که شاید بتوان تخم‌ها را با میزان جریان کمتر آب در انکوباتور به‌راحتی به حالت غوطه‌وری درآورد. تماس آب و تخم‌ها در این حالت بهتر صورت گرفته و احتمال برخوردهای فیزیکی تخم‌ها کاهش خواهد یافت که در این صورت از بروز استرس مکانیکی در تخم‌ها به عنوان یکی از شایع‌ترین عوامل کاهش بقای تخم در تخم‌گشایی جلوگیری می‌شود (تکریمی‌نیاراد و همکاران، ۱۳۹۰).

با توجه به کاربرد فن‌آوری در سطوح مختلف محیط‌زیست و به‌ویژه زیست‌بوم‌های شکننده ضرورت دارد توجه مناسبی به امکان استفاده از امواج مغناطیسی و الکترومغناطیسی بر آبزیان معطوف گردد (Ibraheim & Khater, 2013). سرمایه‌گذاری‌های متنابهی در بخش تکثیر و پرورش به‌عنوان محور توسعه انجام شده تا منابع آب قابل استحصال در چرخه تولید وارد شده و با بهترین کیفیت در اختیار تخم، لارو و بچه ماهیان قرار گیرد. بنابراین مدیریت موثر برای بهبود کیفیت آب به‌منظور افزایش بهره‌وری از این منابع قابل دسترس نقش کلیدی خواهد داشت. از آنجایی‌که کمیت و کیفیت آب مهم‌ترین عوامل موثر در آبزی‌پروری می‌باشد، ضرورت دارد با بهره‌گیری از الگوهای کاربردی نسبت به ارتقای بازده تولید اقدام نمود.

ماهی سفید دریای خزر (*Rutilus kutum*) گونه‌ای منحصربه‌فرد در تمام سواحل دریای خزر و به‌خصوص سواحل جنوبی و غربی است (گلشاهی و مرادنژاد، ۱۳۸۷) که دارای ارزش بوم‌شناختی، اقتصادی و غذایی فراوان می‌باشد (صمدانی و قره‌ویسی، ۱۳۸۸). عملیات تکثیر و پرورش ماهی سفید به‌منظور بازسازی و حفظ ذخایر ارزشمند آن از سال‌ها پیش آغاز شده و تا به امروز نیز ادامه دارد. از این‌رو مدیریت بازسازی ذخایر ضمن جهت‌گیری به سمت تامین حداکثر مولدین مناسب آماده تخم‌ریزی با هدف تهیه بیشترین تخم لقاح یافته حداکثر بازده لقاح را نیز مدنظر قرار داده تا امکان معرفی بچه

ماهی به آب‌های طبیعی را به بیشترین مقدار برساند. کیفیت تخمک‌های استحصالی از مولدین یکی از عوامل مهم در لقاح می‌باشد و از این‌رو بررسی اثر میدان مغناطیسی بر تخم ماهیان سفید در تخم‌گشایی اهمیت زیادی در اطمینان از تولید لاروهای بهتر دارد. بر این اساس پژوهش حاضر به مطالعه اثرات میدان مغناطیسی آب در تخم گشایی و بازماندگی لارو ماهی سفید پرداخت.

مواد و روش‌ها

تعداد ۸ عدد مولد ماده و ۲٤ عدد مولد نر از رودخانه خشک‌رود در ناحیه شرق گیلان صید و با کمک ماشین حمل ماهیان به مرکز تکثیر و بازسازی ماهیان خاویاری شهید انصاری، رشت، گیلان منتقل گردیدند. ماهیان در کارگاه به آرامی تخلیه و به تفکیک جنسیت به مخازن بتونی آرامش به ابعاد ۰/٦۷×۲×٤/٦٥ متر منتقل شدند. طول کل (سانتی‌متر)، وزن مولدین نر و ماده (گرم) به‌ترتیب با تخته زیست‌سنجی و ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری و ثبت شد.

تخم‌گیری و اسپرم‌گیری از مولدین با اعمال فشار آرام به ناحیه شکمی صورت گرفت. تخمک‌ها و اسپرم‌ها با یکدیگر به روش خشک مخلوط شدند تا اختلاف معنی‌داری از نظر خصوصیات ژنتیکی بین تخم‌های استحصالی پس از لقاح وجود نداشته باشد. تخمک‌ها در ادامه با آب کارگاه به مدت ٤۰ دقیقه شستشو و آب‌گیری شدند تا چسبندگی آنها برطرف گردد. تعیین درصد لقاح قبل از انتقال تخم به انکوباتورها انجام شد. بدین منظور تعداد ۱۰۰ عدد تخم به‌طور تصادفی داخل پتری‌دیش قرار داده شد و مقداری اسید استیک برای شفاف‌سازی به آنها اضافه شد. سپس تخم‌های شفاف و لقاح یافته از تخم‌های مات و لقاح نیافته زیر استریومیکروسکوپ با بزرگ‌نمایی ٤۰× شناسایی و تفکیک گردیدند (فلاح– شمسی و همکاران، ۱۳۹۰). درصد لقاح نیز بر اساس رابطه زیر تعیین گردید (Bardon-Albaret & Saillant, 2017):

$$\text{لقاح (درصد)} = \frac{\text{تعداد تخم لقاح یافته}}{\text{تعداد کل تخمک}} \times ۱۰۰$$

تخم‌های لقاح یافته پس از شستشو به ۱۵ انکوباتور ویس منتقل شدند. انکوباتورها قبل از شروع آزمایش با استفاده از ۵ قسمت در میلیون پرمنگنات پتاسیم ضدعفونی و آبگیری شدند. انتقال تخم‌های استحصالی به داخل انکوباتورها به روش تصادفی صورت پذیرفت و در نهایت ٤۹۰۰۰ عدد تخم به هر انکوباتور انتقال یافت. مسیر جریان آب در این انکوباتورها از قسمت تحتانی به سمت خروجی فوقانی بود.

پژوهش حاضر با ۳ تیمار تحت تاثیر میدان مغناطیسی ثابت و یک تیمار شاهد (فاقد میدان مغناطیسی) طراحی گردید. تعداد ۱۸ عدد آهن‌ربا (ferrite، مدل ff1 فلوید فورس، اسپانیا) با شدت میدان ۲/۵، ۷/۵ و ۱۲/۵ میلی‌تسلا با هدف تاثیر میدان مغناطیسی بر آب ورودی انکوباتورها تهیه گردید. دو عدد آهن‌ربا برای هر انکوباتور با فاصله ۱۰ سانتی‌متر از محل ورودی آب انکوباتور در مسیر جریان آب به روش هم راستایی قطب‌های هم‌نام (N-N و S-S) نصب شدند. شدت جریان مغناطیسی ثابت مورد نظر هر تیمار (۵، ۱۵ و ۲۵ میلی‌تسلا) بعد از نصب آهن‌ربا در مسیر جریان آب با استفاده از دستگاه تسلامتر تعیین گردید. شایان ذکر است که تیمارها و تکرارهای آزمایشی در این پژوهش به صورت تصادفی انتخاب گردیدند.

بررسی تغییرات برخی از فراسنجه‌های فیزیکی و شیمیایی آب شامل دمای آب، میزان pH، اکسیژن محلول، سختی کل، مشتقات نیتروژن (آمونیاک و نیتریت) و میزان فسفات در طول دوره تخم‌گشایی به صورت روزانه صورت پذیرفت. دمای آب بر حسب درجه سانتی‌گراد و با استفاده از دماسنج الکلی تعیین گردید. به‌منظور اندازه گیری pH از دستگاه pH متر (WTW 3205، آلمان)

استفاده شد. میزان اکسیژن محلول و سختی آب در هر انکوباتور به‌ترتیب با بهره‌گیری از دستگاه اکسیژن‌متر دیجیتال (WTW 3205، آلمان) و TDS متر (HM Digital، تایوان) اندازه‌گیری شد. تعیین میزان غلظت آمونیاک، نیتریت و فسفات با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل DR/1900، HACH، آلمان) انجام گرفت.

تخم‌ها تا زمان تخم‌گشایی درون انکوباتورهای ویس نگهداری و پس از آن (۹ تا ۱۲ روز پس از لقاح) به صورت جداگانه به انکوباتورهای یک‌صد لیتری زوک منتقل شدند تا به صورت دستی دانه‌شمار شوند. سپس درصد تخم‌گشایی لاروها با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید (Bardon-Albaret & Saillant, 2017):

$$\text{تخم‌گشایی (درصد)} = \frac{\text{تعداد لارو}}{\text{تعداد تخم}} \times ۱۰۰$$

لاروهای حاصله در ادامه درون انکوباتورهای زوک پرورش‌یافته و به صورت روزانه بازدید شدند تا رفتارهای مربوط به جذب کیسه زرده از جمله شنای افقی لارو برای جستجوی غذای بیرونی تشخیص داده شود. لاروهای درون هر انکوباتور (هر تیمار) به روش دانه‌شماری و متعاقب آن نیز محاسبه درصد بازماندگی لاروهای حاصله با استفاده از روش تناسب‌گیری اقدام گردید تا اثرات ایجاد میدان‌های مغناطیسی در میزان سلامت و بازماندگی لاروهای حاصله از مرحله خروج تا مرحله جذب کیسه زرده مشخص شود.

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل داده‌ها با کمک نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰ انجام گرفت. نرمال بودن توزیع داده‌ها توسط آزمون کولموگروف – اسمیرنوف (Kolmogorov-Simonov) تعیین و همگنی واریانس بین گروه‌ها با کمک آزمون لون (Leven's Test) انجام گرفت. تحلیل واریانس یک‌طرفه (one-way ANOVA) برای تعیین معنی‌دار بودن تفاوت بین گروه‌ها و آزمون تعقیبی دانکن (Duncan multiple test) برای تعیین محل اختلاف‌ها استفاده گردیدند.

نتایج

شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی آب

حداقل و حداکثر دمای آب در طول دوره به‌ترتیب به میزان ۱۸/۵ و ۲۱ درجه سانتی‌گراد بود (جدول ۱). بیشترین میانگین دمای آب در تیمار ۲۵ میلی‌تسلا به میزان ۱۹/٤۸±۰/۱۱ درجه سانتی‌گراد و کمترین میانگین دمای آب در تیمارهای شاهد به میزان ۱۹/۰±۳۵/۱۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده گردید.

جدول ۱. تغییرات درجه حرارت آب (درجه سانتی‌گراد) در تیمارهای آزمایشی تحت تاثیر مقادیر مختلف میدان مغناطیسی

فراسنجه	تیمار	حداقل	حداکثر	خطای استاندارد ± میانگین
دمای آب (درجه سانتی‌گراد)	شاهد (صفر میلی‌تسلا)	۱۸/۵۰	۲۰/۵۰	۱۹/۰±۳۵/۱۰
	تیمار ۱ (۵ میلی‌تسلا)	۱۸/۵۰	۲۰/۵۰	۱۹/۰±۳۷/۱۰
	تیمار ۲ (۱۵ میلی‌تسلا)	۱۸/۵۰	۲۰/۵۰	۱۹/۰±٤۱/۱۰
	تیمار ۳ (۲۵ میلی‌تسلا)	۱۸/۵۰	۲۱/۰۰	۱۹/۰±٤۸/۱۱

بیشترین میزان اکسیژن در تیمار ۲۵ میلی‌تسلا به میزان ۷/۸٦±۰/۳۱ میلی‌گرم در لیتر مشاهده گردید که تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارهای آزمایشی داشت ($p<۰/۰۵$). کمترین میزان اکسیژن محلول نیز در تیمار شاهد به میزان (٦/۲۲ ±۰/۰٦) دیده شد (جدول ۲).

جدول ۲. تغییرات اکسیژن محلول (میلی‌گرم در لیتر) در آب در تیمارهای آزمایشی تحت تاثیر مقادیر مختلف میدان مغناطیسی

فراسنجه	تیمار	حداقل	حداکثر	انحراف‌معیار ± میانگین
اکسیژن (میلی‌گرم در لیتر)	شاهد (صفر میلی‌تسلا)	۵/۲۰	٦/۹۰	٦/۲۲±۰/۰٦[a]
	تیمار ۱ (۵ میلی‌تسلا)	۵/۵۸	۷/۹۰	٦/٦۰±۰/۰۷[b]
	تیمار ۲ (۱۵ میلی‌تسلا)	۵/۸۰	۷/۸۱	٦/٦٦±۰/۰۷[b]
	تیمار ۳ (۲۵ میلی‌تسلا)	۷/۱۰	۸/٤۰	۷/۸٦±۰/۳۱[c]

حروف متفاوت در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار میان تیمارها در سطح $p<۰/۰۵$ است.

همچنین تفاوت معنی‌داری در میزان آمونیاک بین تیمارهای آزمایشی دیده شد (جدول ۳)، به‌طوری‌که کمترین و بیشترین میزان آمونیاک به‌ترتیب با مقادیر ۰/۱۸±۰/۰۱ میلی‌گرم در لیتر و ۰/۲٦±۰/۰۱۰ میلی‌گرم در لیتر در تیمارهای ۲۵ میلی‌تسلا و ۵ میلی‌تسلا مشاهده گردید.

جدول ۳. تغییرات غلظت آمونیاک (میلی‌گرم در لیتر) محلول در آب در تیمارهای آزمایشی تحت تاثیر مقادیر مختلف میدان مغناطیسی

فراسنجه	تیمار	حداقل	حداکثر	انحراف‌معیار ± میانگین
آمونیاک (میلی‌گرم در لیتر)	شاهد (صفر میلی‌تسلا)	۰/۲۱	۰/۲۹	۰/۲٤±۰/۰۱[c]
	تیمار ۱ (۵ میلی‌تسلا)	۰/۲۳	۰/۲۹	۰/۲٦±۰/۰۱[d]
	تیمار ۲ (۱۵ میلی‌تسلا)	۰/۱٤	۰/۲۵	۰/۲۰±۰/۰۱[b]
	تیمار ۳ (۲۵ میلی‌تسلا)	۰/۱۵	۰/۲۲	۰/۱۸±۰/۰۱[a]

حروف متفاوت در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار میان تیمارها در سطح $p<۰/۰۵$ است.

اختلاف معنی‌داری در میزان نیتریت بین تیمارهای آزمایشی وجود نداشت ($p>۰/۰۵$). بیشترین میزان نیتریت در تیمار ۲۵ میلی‌تسلا و کمترین آن در تیمار شاهد ثبت گردید (جدول ٤).

جدول ۴. تغییرات غلظت نیتریت محلول (میلی‌گرم در لیتر) در آب در تیمارهای آزمایشی تحت تاثیر مقادیر مختلف میدان مغناطیسی

فراسنجه	تیمار	حداقل	حداکثر	خطای استاندارد ± میانگین
نیتریت (میلی‌گرم در لیتر)	شاهد (صفر میلی‌تسلا)	۰/۰۲۲	۰/۰۲۸	۰/۰۲۵±۰/۰۰۰
	تیمار ۱ (۵ میلی‌تسلا)	۰/۰۱۷	۰/۰۲۰	۰/۰۲۵±۰/۰۰۵
	تیمار ۲ (۱۵ میلی‌تسلا)	۰/۰۱۲	۰/۱۷۵	۰/۰۳۲±۰/۰۰۷
	تیمار ۳ (۲۵ میلی‌تسلا)	۰/۰۱۷	۰/۱٦۵	۰/۰۳۳±۰/۰۰۷

اختلاف معنی‌داری نیز در مقدار سختی آب بین تیمارهای مختلف آزمایشی به‌دست نیامد ($p>۰/۰۵$). کمترین میزان سختی آب به میزان ۱۱۹/٦۱±۲/۱۹ میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم در تیمار ۲۵ میلی‌تسلا مشاهده شد، درحالی‌که بیشترین میزان آن با ۱۳۹/۲۲±۰/۰۱ میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم قسمت در میلیون در تیمار شاهد دیده شد (جدول ۵). تیمارهای آزمایش فاقد تفاوت معنی‌داری در میزان pH بوده ($p>۰/۰۵$) و همگی در محدوده خنثی قرار داشتند (جدول ٦). لازم به ذکر است که میزان فسفات در همه تیمارها و طی مدت زمان آزمایش برابر صفر قسمت در میلیون بود.

جدول ۵. تغییرات میزان سختی آب (میلی‌گرم در لیتر) در تیمارهای آزمایشی تحت تاثیر مقادیر مختلف میدان مغناطیسی

فراسنجه	تیمار	حداقل	حداکثر	خطای استاندارد ± میانگین
سختی آب (میلی‌گرم در لیتر)	شاهد (صفر میلی‌تسلا)	۱۳۹/۱۵	۱۳۹/۲۵	۱۳۹/۲۲±۰/۰۱[d]
	تیمار ۱ (۵ میلی‌تسلا)	۱۲۰/۲۰	۱۳۹/۲۰	۱۳۰/۵۹±۰/۹٤[c]
	تیمار ۲ (۱۵ میلی‌تسلا)	۱۱۰/۲۰	۱۳۹/۲۵	۱۲٤/۳۱±۱/٦۱[b]
	تیمار ۳ (۲۵ میلی‌تسلا)	۱۰۰/۲۰	۱۳۹/۲۵	۱۱۹/٦۱±۲/۱۹[a]

حروف متفاوت در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار میان تیمارها در سطح $p<۰/۰۵$ است.

جدول ۶. تغییرات میزان pH آب در تیمارهای آزمایشی تحت تاثیر مقادیر مختلف میدان مغناطیسی

فراسنجه	تیمار	حداقل	حداکثر	خطای استاندارد ± میانگین
pH	شاهد (صفر میلی‌تسلا)	۷/۲۵	۸/۳۰	۷/۰±۷۵/۰۳
	تیمار ۱ (۵ میلی‌تسلا)	۷/٤۰	۸/۳۱	۷/۰±۸۲/۰۳
	تیمار ۲ (۱۵ میلی‌تسلا)	۷/۳۰	۸/۲۰	۷/۰±۷۳/۰٤
	تیمار ۳ (۲۵ میلی‌تسلا)	۷/۳۵	۸/۱۰	۷/۰±۷۱/۰۳

بیشترین تعداد لاروهای استحصالی به تعداد ۲۸۰۲۸/۰۰±۱۱۳/۱٦ عدد در تیمار ۲۵ میلی‌تسلا به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارهای آزمایش داشت ($p<۰/۰۵$). کمترین تعداد لارو نیز با تعداد ۲۰٦٤۵/۳۳ ±۵٦۹/۵٦ در تیمار شاهد مشاهده گردید (جدول ۷). با این وجود اختلاف معنی‌داری در میزان بازماندگی لاروهای به‌دست آمده تا مرحله جذب کیسه زرده بین تیمارهای آزمایشی به‌دست نیامد (جدول ۸).

جدول ۷. تعداد لاروهای استحصالی در تیمارهای آزمایشی تحت تاثیر مقادیر مختلف میدان مغناطیسی

فراسنجه	تیمار	خطای استاندارد ± میانگین
تعداد لاروهای استحصالی	شاهد (صفر میلی‌تسلا)	۲۰٦٤۵/۵٦۹±۳۳/۵٦[d]
	تیمار ۱ (۵ میلی‌تسلا)	۲۵۲۸۱/۱۱۵±۳۳/٤۷[c]
	تیمار ۲ (۱۵ میلی‌تسلا)	۲٦٤٦۰/۱۱۳±۰۰/۱٦[b]
	تیمار ۳ (۲۵ میلی‌تسلا)	۲۸۰۲۸/۱۱۳±۰۰/۱٦[a]

حروف متفاوت در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار میان تیمارها در سطح $p<۰/۰۵$ است.

جدول ۸. بازماندگی تا مرحله جذب کیسه زرده لاروها در تیمارهای آزمایشی تحت تاثیر مقادیر مختلف میدان مغناطیسی

فراسنجه	تیمار	خطای استاندارد ± درصد بقا لاروها
بازماندگی (درصد)	شاهد (صفر میلی‌تسلا)	۸۷/۰±۲/۲۳
	تیمار ۱ (۵ میلی‌تسلا)	۸٤/۵۰±٤/۲۷
	تیمار ۲ (۱۵ میلی‌تسلا)	۸٦/۵±۳/۱۹
	تیمار ۳ (۲۵ میلی‌تسلا)	۸۵/۰±٤/۲۷

بحث و نتیجه‌گیری

مولکول آب از اتم‌های هیدروژن و اکسیژن تشکیل شده که علاوه بر پیوندهای کووالانسی در یک مولکول به کمک باندهای هیدروژنی با سایر مولکول‌های آب با یکدیگر در تماس هستند. باندهای هیدروژنی در هنگام عبور آب از یک میدان مغناطیسی یا تغییر کرده یا از هم جدا می‌شوند که منجر به افزایش هدایت الکتریکی و انحلال فراسنجه‌هایی مانند اکسیژن محلول خواهد شد (میرسعیدی، ۱۳۹۳). نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که افزایش شدت میدان مغناطیسی ثابت منجر به افزایش غلظت اکسیژن محلول در آب گردید، به‌طوری‌که میزان اکسیژن به شکل معنی‌داری در تیمار ۲۵ میلی‌تسلا

بالاتر از سایر تیمارهای آزمایشی بود ($p<۰/۰۵$). این یافته‌ها مشابه نتایج بهمنی و همکاران (۱۳۹۳) در بررسی اثر آب مغناطیسی بر ماهی قرمز (*Carassius auratus*) بود که در آن میزان اکسیژن شاهد به شکل معنی‌داری نسبت به تیمارهای تحت میدان مغناطیسی کمتر بود. تاثیر میدان مغناطیسی بر کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) نیز توسط Belov و همکاران (۱۹۸۸) موید یافته‌های پژوهش حاضر می‌باشد به طوری که آب مغناطیسی شده موجب افزایش حلالیت اکسیژن آب گردید.

میدان مغناطیسی با تاثیر بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب قادر به تصفیه آب مصرفی شده و میزان آمونیاک و نیتریت آب را کاهش می‌دهد (Jacob, 1999). یافته‌های حاصل از پژوهش حاضر بیانگر اثر مثبت میدان مغناطیسی بر کاهش میزان آمونیاک آب بود، به‌طوری‌که تیمار ۲۵ میلی‌تسلا کمترین میزان آمونیاک را در بین تیمارهای آزمایشی نشان داد. شاخص نیتریت نیز از دیگر فراسنجه‌های مورد بررسی در این پژوهش بود که میزان آن در شدت میدان مغناطیسی ۱۵ و ۲۵ میلی‌تسلا نسبت به شدت جریان ۵ میلی‌تسلا و شاهد بیشتر بوده و کمترین مقدار این شاخص در تیمار ۵ میلی‌تسلا مشاهده گردید. بنابراین میزان نیتریت در شدت جریان ضعیف‌تر به میزان کمتری در آب یافت شد که این یافته‌ها با پژوهش انجام شده توسط بهمنی و همکاران (۱۳۹۳) روی ماهی قرمز مطابقت نداشت.

تصفیه مغناطیسی آب نقش مهمی در کنترل رسوب کربنات کلسیم و منیزیم ایفا می‌کند (Lipus *et al.*, 2001). یافته‌های حاصل از این پژوهش نشان‌دهنده کاهش میزان سختی آب با افزایش شدت میدان مغناطیسی بود، به‌طوری‌که تیمار شاهد و تیمار ۲۵ میلی‌تسلا به‌ترتیب دارای بالاترین و کمترین میزان سختی آب در انکوباتورهای آزمایشی بودند. پژوهش انجام شده توسط عبدالصالحی و همکاران (۱۳۸۷) نیز بیانگر اثر معنی‌دار میدان مغناطیسی در کاهش سختی آب و جریان آب مصرفی بود. چنانچه یک جسم دارای قدرت مغناطیسی با یکی از قطب‌های خود به آب نزدیک شود، مولکول‌های آب با قطب دیگر به منبع مغناطیس نزدیک‌تر و مولکول‌های با بار مخالف از آن دورتر می‌شوند. این روند باعث می‌شود تا مولکول‌های آب شامل کاتیون‌ها و آنیون‌ها از حالت بی‌نظمی به صورت منظم درآمده و پیوند اکسیژن با هیدروژن از حالت مثلثی به شکل خطی تغییر یابد. هیدروژن‌های مثبت در این شرایط دارای نیروی کششی بیشتری شده و در نهایت نیروی منفی خالص مولکول آب به نیروی مثبت خالص آب مغناطیسی تبدیل می‌شود. بار الکترونیکی مولکول‌های آب در این شرایط نسبت به آب معمولی متفاوت خواهد بود و ضمن تشکیل مولکول‌های کوچک‌تر از آب باعث افزایش تعداد مولکول‌های آب در واحد حجم می‌شود. قدرت حلالیت آب در این شرایط با کاهش کشش سطحی افزایش یافته و درجه سختی کاهش می‌یابد (Kozic *et al.*, 2006). میزان pH آب در ابتدای آزمایش در تمام تیمارها حالت قلیایی داشته اما پس از گذشت ۱۰ روز از انجام آزمایش و رسیدن به پایان دوره به حالت خنثی نزدیک‌تر شد. از طرفی میزان pH آب بین تیمارهای مختلف دارای نوسان‌های معنی‌دار نبود. به نظر می‌رسد میدان مغناطیسی تاثیر چندانی بر میزان pH آب ندارد.

یافته‌های حاصل از پژوهش حاضر نشان داد که میزان لاروهای استحصالی با افزایش شدت جریان مغناطیسی ثابت به آب انکوباتورها افزایش می‌یابد، به طوری که در انکوباتورهای فاقد میدان مغناطیسی کمترین و انکوباتورهای تحت تاثیر ۲۵ میلی‌تسلا امواج مغناطیسی بالاترین میزان لاروهای استحصالی را داشتند. نتایج حاصل از این تحقیق مشابه نتایج تکریمی‌نیاراد (۱۳۹۰) روی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) است

که نشان داد عبور آب از میدان مغناطیسی بر فرآیند و میزان تخم‌گشایی تاثیر مثبتی دارد. همچنین بهمنی (۱۳۹۰) بیان کرد که میدان مغناطیسی باعث کاهش تلفات در تخم‌گشایی و کوتاه شدن دوره تخم‌گشایی ماهیان می‌گردد. Formicki (۲۰۰۸) بیان نمودند که استفاده از میدان مغناطیسی اثر مطلوبی را در رشد و نمو جنین و لارو ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان و ماهی آزاد دریای خزر القا می‌نماید که نتیجه این امر کاهش میزان تلفات تخم در زمان تخم‌گشایی و کوتاه نمودن زمان تخم‌گشایی بود.

میزان بازماندگی لاروها در مرحله جذب کیسه زرده در تیمار فاقد جریان مغناطیسی تفاوت معنی‌داری با تیمارهای تحت تاثیر میدان مغناطیسی نداشت، به‌طوری‌که درصد بازماندگی لاروها در تیمار شاهد از سایر تیمارها به‌ویژه تیمار ۵ و ۲۵ میلی‌تسلا تا حدی نیز بالاتر بود. این امر می‌تواند حاکی از عدم تاثیر میدان مغناطیسی در مراحل بعدی رشد لاروها به‌ویژه در مرحله جذب کیسه زرده بوده باشد که موجب اختلال در توزیع متوازن الکترولیت‌ها در بدن گردیده است. مطالعه انجام شده روی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) نشان داد که میدان مغناطیسی به‌طور قابل ملاحظه‌ای سرعت روند تکامل جنینی را پایین می‌آورد (Formicki & Winnicki, 1998)؛ بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری نمود که استفاده از امواج مغناطیسی ثابت تنها تا مرحله تخم‌گشایی می‌تواند با اثرات مثبت همراه باشد که احتمالا به دلیل قدرت محافظتی پرده بیرونی جنین (chorion) آنها است. آب مغناطیسی شده با تنظیم پیوندهای هیدروژنی بین مولکول‌های آب موجب انحلال متوازن املاح و در نتیجه کاهش سختی، افزایش حلالیت اکسیژن و تماس آسان‌تر آب و اکسیژن با تخم و لارو می‌گردد. یافته‌های حاصل از پژوهش حاضر نشان داد که فراسنجه‌های فیزیکی و شیمیایی، میزان لاروهای استحصالی و بازماندگی لاروها در مرحله قبل از جذب کیسه زرده در تیمار ۲۵ میلی‌تسلا نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی در شرایط مناسب‌تری برای ماهی سفید قرار داشتند، درحالی‌که میدان مغناطیسی ثابت در مرحله جذب کیسه زرده تفاوت معنی‌داری میان تیمارها ایجاد نکرد؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تخم و لاروهای در حال رشد با افزایش شدت میدان مغناطیسی ثابت در شرایط بهتری قرار می‌گیرند، هر چند که میدان مغناطیسی تاثیری در میزان بقا لاروها پس از مرحله جذب کیسه زرده ندارد. پژوهش حاضر موید آن است که استفاده از میدان مغناطیسی ثابت با توجه به بهبود کیفیت آب و بازماندگی بیشتر ماهیان می‌تواند در تخم‌گشایی ماهی سفید مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

بهمنی، م. (۱۳۹۰) فیزیولوژی مغناطیس ماهیان، دیدگاهی نوین در تحقیقات علوم شیلاتی کشور. مجله دنیای آبزیان، ۹(۳): ۳-۱۰.

بهمنی، م.، آقاکوچکی، م. و تکریمی نیاراد، م. (۱۳۹۳) کاربرد میدان‌های مغناطیسی ثابت بر شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی آب و تاثیر آب مغناطیسی شده بر بیوفیزیولوژی ماهی طلایی (*Carassius auratus*). آبزیان زینتی، ۱(۲): ۱۰-۱.

تکریمی‌نیاراد، م.، درویشی، ص. و قناعت‌پرست، ا. (۱۳۹۰) بررسی اثرات ایجاد میدان مغناطیسی در تفریخ تخم و لارو در ماهیان استخوانی (ماهی سفید-کپور تالابی). همایش ملی آبزی‌پروری، بندر انزلی، آذر: ۲۵-۳۲.

زرولی، م.ع.، منظم، م.ر.، یزدانی‌چراتی، ج. و حسین‌زاده، ف. (۱۳۹۱) بررسی میزان میدان مغناطیسی با فرکانس بی‌نهایت پایین (ELF) شهر تهران در سال ۱۳۹۱. مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ۲۲(۲): ۱٤٦-۱۵۱.

شربتی، س.، حاجی‌مرادلو، ع. و قربانی‌نصرآبادی، ر. (۱۳۹۱) تاثیر اعمال قطب مثبت و منفی آهن‌ربای ۱/٤ تسلایی بر بار میکروبی آکواریوم. مجله بهره‌برداری و پرورش آبزیان، ۱(۱): ٦۹-۸۰.

صمدانی، ع. و قره‌ویسی، ش. (۱۳۸۸) مقایسه و بررسی خصوصیات مرفومتریکی و پلی‌مورفیسم ترانسفرین پروتئین و هموگلوبین ماهی کفال طلایی در سواحل جنوبی دریای خزر (*Liza auratus*). مجله علمی پژوهشی بیولوژی دریا، ۱(٤): ۸۵-۹٤.

عبدالصالحی، س.، بابانژاد، ح.، زارع‌ابیانه، ح.، هاشمی، م. و مرادی، م. (۱۳۸۷) استفاده از میدان مغناطیسی با هدف جلوگیری از گرفتگی قطره‌چکان‌ها در سیستم آبیاری تحت فشار به‌منظور ارتقا بهره‌وری و مدیریت تخصیص بهینه منابع آب. دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، اهواز، بهمن: ۱-۸.

رئیسی‌کمیز، ا.، عهدجهرم، ع. و صادق‌زاده، ح. (۱۳۹۰) تاثیر میدان مغناطیسی بر خواص فیزیکی آب و کاربرد آن در بهره‌برداری بهینه از منابع آب و خاک. همایش ملی مدیریت کشاورزی، جهرم: ۲۱-۳۰.

فلاح‌شمسی، ز.، نظامی، ش.، خارا، ح.، برادران‌نویری، ش.، باقی‌زاده، ا. و علی‌نیای‌رودسری، م. (۱۳۹۰) بررسی تاثیر برخی از ترکیبات بیوشیمیایی اسپرم بر کارآیی تکثیر مصنوعی ماهی سفید مهاجر به رودخانه سفیدرود. مجله علمی پژوهشی زیست‌شناسی دریا، ۳(۱۱): ۱-۶.

گلشاهی، ک. و مرادنژاد، ح. (۱۳۸۷) روند مهاجرت و وضعیت تکثیر ماهی سفید در رودخانه گهرباران (استان مازندران). مجله شیلات، ۲(٤): ۱-۶.

میرسعیدی، س. (۱۳۹۳) کاربرد آب مغناطیسی در کشاورزی و پرورش دام و طیور. قابل دسترس در: ۱۳۹۳/۹/۱. http://resna.foodna.ir/fa/newsagency/52623?p1518=2

Alrudainy, A.J. and Jumaa, Q.S. (2016) Effect of magnetized water on common carp *Cyprinus carpio* rearing in different salinity concentrations. The Iraqi Journal of Agricultural Science, 47(2): 646-655.

Bardon-Albaret, B., and Saillant, E. (2017) Egg quality traits and predictors of embryo and fry viability in red snapper *Lutjanus campechanus*. Aquaculture Report, 7: 48-56.

Belov, D., Sidorevish, N. and Golovarev, T. (1988) Irrigation of farm crops with water treated with magnetic field. Soviet Agriculture Science, 3: 14-17.

Chew, G.L. and Brown, G.E. (1989) Orientation of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) in normal and null magnetic fields. Canadian Journal of Zoology, 67(3): 641-643.

Fojt, L. (2004) Comparison of the low-frequency magnetic field effects on bacteria *Escherichia coli, Leclercia adecarboxylata* and *Staphylococcus aureus*. Journal of Bioelectrochemistry, 63(1-2): 337-341.

Formicki, K. (2008) Magnetoreception. In: R.N. Finn and B.G. Kapoor (Eds.). Fish larval physiology. CRC Press, USA, pp: 461-491.

Formicki, K. and Perkowski, T. (1998) The effect of a magnetic field on the gas exchange in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* embryos (Salmonidae). Italian Journal of Zoology, 65(1): 475-477.

Formicki, K. and Winnicki, A. (1998) Reactions of fish embryos and larvae to constant magnetic fields. Italian Journal of Zoology, 65(1): 479- 482.

Formicki, K., Sadowski, M., Tanski, A., Korzelecka-Orkisz, A. and Winnicki, A. (2004) Behaviour of trout (*Salmo trutta* L.) larvae and fry in a constant magnetic field. Journal of Applied Ichthyology, 20: 290-294.

Gholizadeh, M., Arabshahi, H., Saeidi, M.R. and Mahdavi, B. (2008) The effect of magnetic water on growth and quality improvement of poultry. Middle-East Journal of Scientific Research, 3(3): 140-144.

Hassan, S.M., Rahman, R.A. and Kamaruddin, R.H. (2017) The exposure effects of magnetic field on water properties and hatchability of tilapia, *Oreochromis mossambicus.* Biological and Applied Environmental Research, 1(2): 116-130.

Hassan, S.M., Rahman, R.A., Kamaruddin, R.H. and Madlus, N.S. (2018) Effect of exposure of African catfish (*Clarias batrachus*) to magnetic field on water properties and egg hatching. Borneo Journal of Marine Science and Aquaculture, 2: 54-59.

Holysz, L., Szczes, A. and Chibowski, E. (2007) Effect of static magnetic field on water and electrolyte solutions. Journal Colloid Interface Science, 316(2): 996-1002.

Ibraheim, M. and Khater, Z.K. (2013) The effect of electromagnetic field on water and fish *Clarias garpienus*, Zagazig. Life Science Journal, 10(4): 3310-3324.

Inaba, H., Saitou, T., Tozaki, K. and Hayashi, H. (2004) Effect of the magnetic field on the melting transition of H_2O and D_2O measured by a high resolution and supersensitive differential scanning calorimeter. Journal of Applied Physics, 96(11): 6127-6132.

Jacob, B. (1999) Magnetic treatment of irrigation water: Experimental results and application conditions. Environmental Science and Technology, 33(8): 1280-1285.

Kozic, V., Krope, J., Lipus, L. and Ticar, I. (2006) Magnetic field analysis on electromagnetic water treatment device. Hungarian Journal of Industrial Chemistry, 34: 51-54.

Krzemieniewski, M., Debowski, M., Janczukowicz, W. and Pesta, J. (2004) Effect of the constant magnetic field on composition of dairy wastewater and domestic sewage. Polish Journal of Environmental Studies, 13(1): 45-53.

Lipus, L. Krope, J. and Crepinsek, L. (2001) Dispersion destabilization in magnetic water treatment. Journal of Colloid and Interface Science, 236(1): 60-66.

Pazur, A. and Winklhofer, M. (2008) Magnetic effect on CO2 solubility in seawater: A possible link between geomagnetic field variations and climate. Geophysical Research Letters, 35(16): 1-5.

Sadowski, M., Winnicki, A., Formicki, K., Sobocinski, A. and Tanski, A. (2007) The effect of egg shells of salmonid fishes. Acta Ichthyologica Et Piscatoria, 37(2): 129-135.

Winnicki, A., Korzelecka-Orkisz, A., Sobocinski, A., Tanski, A. and Formicki, K. (2004) Effects of the magnetic field on different forms of embryonic locomotor activity of northern pike, *Esox lucius* L. Acta Ichthyologica Et Piscatoria, 34(2): 193-203.

Effects of static magnetic field on hatching performance of kutum (*Rutilus kutum*)

Houman Rajabi Islami[1]*, Narges Arab[2] and Samad Darvishi[3]

1) Assistant Professor, Fisheries, Department of Fisheries, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. *Corresponding Author Email Address: rajabi.h@srbiau.ac.ir
2) Ph.D. Student, Department of Fisheries, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
3) M.Sc. Graduated, Fisheries Administration of Guilan Province, Anzali, Iran.

Date of Submission: 2019/01/08 Date of Acceptance: 2019/03/17

Abstract

A bioassay was conducted to investigate the effect of static magnetic field on hatching function of kutum (*Rutilus kutum*) in Veis incubators. For this purpose, three experimental treatments were conducted in triplicate with magnetic flux densities of 5, 15 and 25 milli-tesla along with control treatment (fish without exposed to the magnetic field). The obtained eggs from 8 female broodstock were randomly transferred to the incubators with density of 49,000 eggs in each incubator. Changes in water physicochemical parameters including water temperature, pH, dissolved oxygen, total hardness, nitrogen derivatives (ammonia and nitrite) and phosphate levels were daily evaluated during the incubation period. At the end of the incubation period, hatched larvae from each treatment were transferred to 100-liter Zug incubators without any magnetic exposure for monitoring their growth. The results of this study showed significant differences in total hardness, ammonia and dissolved oxygen concentration of water among the treatments ($p<0.05$). By considering the physiological characteristics of kutum, the best effect of static magnetic field was obtained in the 25 milli-tesla treatment. Besides, the number of hatched larvae in 25 milli-tesla treatment was significantly higher than the control treatment. However, there was no significant difference in the survival rate of larvae before yolk sac absorption among the experimental treatments ($p>0.05$). The results of this study showed that static magnetic field could have positive effects on water quality and survival rate of kutum larvae.

Keywords: Egg, Kutum, Magnetic field, *Rutilus kutum.*