نشریه پژوهش‌های ماهی‌شناسی کاربردی

Journal homepage: http://jair.gonbad.ac.ir

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه گنبد کاووس

تغییرات تخمدان ماهی زبرا *(Danio rerio)* تحت مواجهه مزمن با شدت‌های مختلف امواج الکترومغناطیسی ایستا

سید امیرحسین موسوی [1]، طوبی میرزاپور [1,2]*، جاوید رضائی‌لرد [1]، بهروز حیدری [1,2]

[1] گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

[2] گروه علوم دریایی، پژوهشکده حوضه آبی دریای خزر، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

نوع مقاله:

پژوهشی اصیل

https://doi.org/10.22034/jair.11.1.70

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۰۱/۱۰/۰۷

پذیرش: ۰۲/۰۲/۲۷

نویسنده مسئول مکاتبه:

طوبی میرزاپور، گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

ایمیل: t.mirzapoor@guilan.ac.ir

چکیده

جریان‌های الکتریکی سبب بروز تغییرات و اثرات فیزیولوژیک روی ماهی‌ها شده بر بسیاری از شاخص‌های تولیدمثلی از جمله کیفیت گامت، سطح کورتیکواستروئیدها و عملکرد تخمدان تأثیر می‌گذارند. در این مطالعه تعداد ۱۸۰ قطعه ماهی زبرا در ۱۲ ظرف پلاستیکی حاوی ۱/۵ لیتر آب شهری ریخته شدند سه گروه تحت تأثیر سه دوز مختلف از امواج الکترومغناطیسی (با شدت‌های ۲/۵ , ۵ و ۷/۵ میلی تسلا) به‌صورت مزمن (۲۸ روز) قرار گرفتند. گروه ۴ به‌عنوان کنترل هیچ دوزی از امواج دریافت نکرد. بررسی بافت‌شناسی بافت تخمدان نشان داد اثر دهی طولانی مدت در شدت ۷/۵ میلی تسلا، تأثیر بیشتری نسبت به شدت‌های ۲/۵ و ۵ میلی تسلا بر بافت تخمدان دارد، به‌طوری‌که درصد بیشتری از اووسیت‌ها از روند طبیعی خارج شده و وارد فاز آترزی می‌شوند. افزایش شدت میدان مغناطیسی با افزایش اندازه اووسیت همراه است به‌طوری‌که در شدت ۷/۵ میلی-تسلا قطر اووسیت به بالاترین میزان خود می‌رسد. درمجوع به‌نظر می‌رسد وجود امواج مغناطیسی ممکن است در طولانی مدت بر تولیدمثل آبزیان تأثیرگذار باشد.

واژه‌های کلیدی:

امواج مغناطیسی ایستا، اثر گذاری مزمن، بافت تخمدان

۱ | مقدمه

هر گونه پاسخ غیر اختصاصی بدن به فاکتورهای خارجی، عامل استرس‌زا نامیده می‌شود که باعث ایجاد طیف گسترده‌ای از واکنش‌های فیزیولوژیک در ماهیان می‌شود و این واکنش‌های فیزیولوژیک به محرکات خارجی، زمانی رخ می‌دهند که موجودات زنده در مقابل مرگ یا سایر خطرات قرار می‌گیرند (Schreck, 2000, Schreck *et al*., 2016). تغییردمای آب، شوری، تراکم جمعیت، دستکاری، اسارت ماهی‌ها، حمل و نقل (Hur, 2018) روشنایی، ترکیبات شیمیایی و میدان‌های مغناطیسی (Magnetic Fields) از جمله مؤلفه‌های استرس‌زا هستند که رفتار ماهی‌ها از جمله رفتار تولید مثلی ماهی‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهند (Krylov *et al*., 2014; Lerchi *et al*., 1998). نتایج تحقیقات متعدد نشان می‌دهند که استرس اثرات بدی بر بسیاری از شاخص‌های تولید مثلی از جمله کیفیت گامت، تغییرات سطح کورتیکواستروئیدها و عملکرد تخمدان دارد (Gallo *et al*., 2020; Palomba *et al*., 2018). میدان‌های مغناطیسی در محیط، منشا طبیعی و مصنوعی دارند. میدان‌های مغناطیسی طبیعی، مجموعه‌ای از میدان‌های مغناطیسی حاصل شده از منابع موجود در هسته، پوسته و جو زمین است، که با جریان ذرات باردار در هسته آهنی مذاب کره زمین ایجاد می‌شود.. بزرگی شدت میدان ژئومغناطیسی از ۳۰ میکرو تسلا در نزدکی خط استوا تا ۷۰ میکرو تسلا در نزدیکی قطب‌ها متغیر می‌باشد. میدان مغناطیسی در نیمکره جنوبی زمین در خلاف جهت میدان مغناطیسی در نیمکره شمالی می‌باشد (Krylov et al., 2014). میدان مغناطیسی مصنوعی توسط هر حامل جریان الکتریکی مثل جریان الکتریکی بارگذاری شده در کابل‌های زیردریایی در داخل و یا روی بستر دریا، تولید می‌شود. با توجه به اینکه در این پهنه گونه‌های مهره‌دار و بی‌مهره فراوانی زندگی می‌کنند این میدان‌ها احتمالا سبب ایجاد تغییراتی در این موجودات می شوند (Fey *et al*., 2019; Krylov *et al*., 2014). میدان‌های الکترومغناطیسی به دو نوع متناوب و ایستا تقسیم می‌شوند و بر اساس فرکانس به ۳ دسته با فرکانس کم (بیشتر از ۳۰۰ هرتز)، فرکانس متوسط (۳۰۰ هرتز-۱۰ مگا هرتز) و فرکانس بالا (۱۰ مگا هرتز-۳۰۰ گیگا هرتز) تقسیم می‌شوند (Wang and Zhang, 2017). ماهی زبرا، که به‌عنوان *Danio rerio* نیز شناخته می‌شود یکی از ارگانیسم‌های مهره دار بسیار مورد استفاده در تحقیقات زیست پزشکی، تکوینی و ژنتیکی می‌باشد که بیشتر به دلیل کوچک بودن، سهولت در کشت، باروری بالا، جنین‌های شفاف، همسانی ۷۰ درصدی بین ژنوم ماهی زبرا و انسان و همچنین تفسیر ژنومی خوب، به عنوان یک مدل مطرح می‌باشد (Marinović *et al*., 2019). این ماهی یک ماهی استخوانی از خانواده Cyprinidea است که در آب‌های آرام و در حال حرکت هند، پاکستان، نپال و بنگلادش یافت می‌شود. (Parichy, 2015). سویه-های وحشی این نوع ماهی در دمای ۲۴/۶ تا ۳۸/۶ درجه سانتیگراد زندگی می‌کنند و

© ۱۴۰۲ | دانشگاه گنبدکاووس

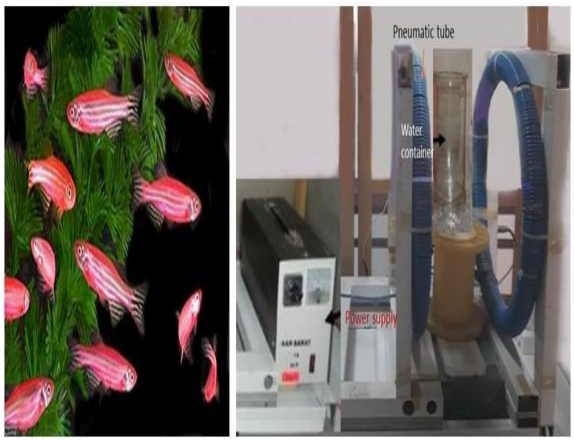
[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2025-05-24]

[DOI: 10.22034/jair.11.1.70]

تحمل حرارت گسترده‌ای دارند. ماهی زبرای خانگی در تمام طول سال توانایی زاد و ولد دارد، اگر چه زاد و ولد این ماهی در طبیعت با فصل موسمی همراه است (Meyers, 2018). تکوین جنینی ماهی زبرا در دمای ۲۸ درجه سانتیگراد در سریع‌ترین زمان خود می‌باشد و پس از گذشت ۴۸ تا ۷۲ ساعت از لقاح، از کوریون هچ می‌شود که نشان‌دهنده پایان دوره جنینی می‌باشد. ماهی زبرا ۴ هفته آینده را صرف دوره لاروی می‌کند که رشد در این مرحله متأثر از دما، چگالی و تفاوت‌های فردی می‌باشد (Meyers, 2018). در همه جنین‌های ماهی زبرا گنادها در ابتدا به شکل تخمدان تکوین می‌یابند و پس از گذر از یک مرحله بین جنسی (تقریبا ۷-۵ هفته پس از هچ شدن)، در جنس نر گنادها تمایز یافته و در حدود ماه سوم تکوینی به بیضه‌های نرمال تکوین می‌یابند (Vargas *et al*., 2018). مشابه سایر مهره‌داران، تخمدان ماهیان استخوانی به‌عنوان یک ضمیمه در آستر پشتی – جانبی حفره صفاقی به‌وجود می‌آید. تخمدان‌ها طی روند رشد جفت می‌شوند و به اندام‌های حجیم و طویل تبدیل شده که در جهت طولی قسمت شکمی کیسه شنا در حفره شکمی استقرار می‌یابند (Mokhtar, 2017). با توجه به سایز و مرحله تکوین اووسیت‌ها, ۶ مرحله در تخمدان این ماهی ها تشخیص داده شده که شامل مراحل فاز اولیه رشد، فاز ثانویه رشد، فاز آلوئول‌های قشری، فاز زرده سازی، فاز بلوغ و فاز آترزی می‌باشند (Mosavi *et al*., 2021). روند بلوغ و تکامل فولیکول‌های تخمدانی نتیجه توالی هماهنگ رویدادهایی است که اووسیت‌ها و سلول‌های گرانولوزا را تحت تأثیر قرار می‌دهد. هر گونه مداخلات، این فرایند فیزیولوژیک را تغییر می‌دهد (Mansouri *et al*., 2019). اثر شدت‌های مختلف میدان الکترو مغناطیسی بر ماهیان یک اثر شرطی است. هرچه ولتاژ افزایش یابد، تأثیر روی ماهی شدیدتر شده و هرچه طول ماهی بیشتر باشد، اثر گذاری جریان بر ماهی افزایش می‌یابد (Aminian Fatideh *et al*., 2016). مطالعه انجام شده توسط لینز و کستین (Lines and Kestin, 2005) نشان داد که جریان بالای الکتریسیته، تأثیر منفی بر روی ماهیان داشته و سبب تخریب بافت‌هایی مانند روده‌ها، طحال، و کیسه شنا شده و در نهایت منجر به مرگ ماهی می‌شود. صدیق و همکاران (Sedigh *et al*., 2019) نشان دادند که میدان مغناطیسی ساکن، به ویژه در شدت های بالاتر و به عنوان یک محرک مهم استرس، می‌تواند سیستم تولید مثل غدد درون ریز را در گورخر ماهی مختل کند. اثرات مخرب بر سیستم تولید مثل با قرار گرفتن طولانی مدت ماهی در میدان مغناطیسی افزایش می‌یابد. در مطالعه‌ای دیگر نشان داده شد که قرار گیری در معرض فرکانس ۵۰ هرتزی میدان ELF-MF با شدت ۱۰۰ میکرو تسلا به مدت ۲۱ روز (حالت نیمه مزمن) منجر به کاهش در فعالیت سوپراکسید دسموتاز و کاتالاز همراه با کاهش در قابلیت تحرک و زیستن اسپرم می‌شود (Saadeldin *et al*., 2011). تحقیقات خاکی و همکارانش (Khaki *et al*., 2016) نشان داد که قرار گرفتن به مدت طولانی در معرض میدان الکترومغناطیسی اثرات مضری بر تخمک و فولیکول‌های تخمدان دارد و باعث تخریب گناد، بهم ریختن گامتوژنز و در نتیجه منجر به سطح پایین باروری و یا ناباروری می‌شود. والپاتو و بارتو (Barreto and Volpato, 2011) با قرار دادن ماهی تیلاپیا در برابر انواع استرس‌ها از جمله شوک الکتریکی به این نتیجه رسیدند که شوک الکتریکی، علاوه بر ایجاد استرس اولیه موجب تقویت اثرات سایر عوامل استرس‌زا در گونه تیلاپیا می‌شود. ۶ آزمایشگاه در اروپا و آمریکای شمالی اثر میدان الکترومغناطیس ۱۰۰ هرتز با شدت ۱ میکرو تسلا را روی جنین مرغ بررسی کردند؛ داده‌های تمامی آزمایشگاه‌ها باتفاق، افزایش معنی‌دار در جنین های غیرطبیعی را گزارش کردند (Alakhras *et al*, 2006). هدف از این مطالعه بررسی اثر شدت‌های مزمن میدان مغناطیسی ایستا و مقایسه آن‌ها از نظر ایجاد اختلال در تخمدان و در نهایت تولید مثل ماهی زبرا می‌باشد. با توجه به کاربرد وسیع دستگاه‌های تولیدکننده امواج الکترومغناطیسی با شدت‌های مختلف در سیستم-های برقراری ارتباط از راه دور, اهمیت این مطالعه به‌عنوان قدم اول پیشگویی اثرات مزمن این امواج بر موجودات آب شیرین را مشخص می کند. انجام مطالعات وسیع‌تر بر روی موجودات دریایی خطرات این امواج هنگام موقعیت‌یابی در فعالیت‌های ناوبری و کشتیرانی در دراز مدت را پیشگویی خواهد کرد.

۲ | مواد و روش‌ها

در این مطالعه ۱۸۰ قطعه ماهی زبرا با میاگین وزنی ۱/۵ گرم از مرکز پرورش ماهیان زینتی به صورت زنده به کارگاه بیولوژی دریا دانشکده علوم پایه دانشگاه گیلان منتقل شدند و درون تانک شیشه‌ای ۵۰ لیتری آب شهری با دمای ۲۷ درجه سانتیگراد و pH=۷ در دوره نوری ۱۰ ساعت روشنایی و ۱۴ ساعت تاریکی (10L/D14) رها شدند. ماهی‌های انتخاب شده (نر و ماده) دارای میانگین سنی ۵-۳ ماه و بالغ بوده و تا پیش از انتقال به آزمایشگاه، تخم ریزی نداشته‌اند. جهت سازگاری با شرایط آزمایشگاه به مدت ۵-۳روز در این وضعیت نگهداری شدند. نمونه‌ها طی یک دوره ۲۸ روزه (به صورت اثر دهی نیمه مزمن امواج) , در معرض میدان مغناطیسی ایستا قرار گرفتند.



شکل ۱- شکل سمت راست نمونه‌ای از دستگاه تولید امواج الکترومغناطیسی ایستا موجود در دانشکده علوم پایه. شکل سمت چپ چند نمونه از ماهی‌های زبرا فیش.

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2025-05-24]
[DOI: 10.22034/jair.11.1.70]

قرار دادن نمونه‌ها در معرض میدان مغناطیسی ایستای مزمن: اساس کار سیستم امواج دهی بر پایه تئوری پیچه هلموتز (Helmholtz Coil) طراحی شد. برای این منظور یک دستگاه تولید امواج الکترومغناطیسی ایستا (مطابق شکل ۱) استفاده شد. این دستگاه شامل دو سیم پیچ با دور ۱۰۰۰ بود که در جهت مخالف هم به‌صورت سری قرار گرفته بودند. قطر داخلی پیچه‌ها برابر و حدود ۵۰ سانتی متر بود. این سیستم می‌تواند میدان مغناطیسی یکنواختی را در فاصله مشخصی بین دو سیم پیچ ایجاد کند.. از آنجائیکه بهترین فاصله‌ای که میتواند میدان مغناطیسی ایستا ایجاد کند برابر با میزان شعاع پیچه‌ها است. در مدل طراحی شده این فاصله حدود ۲۵ سانتی‌متر تعیین شد. در این سیستم، برق شهری بوسیله یک ترانس، جریان مستقیم وارد پیچه‌ها می‌کرد تا میدان مغناطیسی ایستا بین دو پیچه حاصل شود. شدت میدان دستگاه با تغییر ولتاژ ورودی (در محدوده ۱۲۰ -۳۰ ولت)، میدانی معادل ۴ تا ۱۰ میلی تسلا ایجاد می‌کرد. باتوجه به اینکه سیم‌های سازنده پیچه به واسطه استفاده طولانی مدت در ولتاژ بالا، کارایی خود را در اثر تولید حرارت از دست می‌دهند، لذا برای بهینه سازی دستگاه، سیستم تهویه دمایی طراحی شد. برای این منظور لوله‌های پنیوماتیک (در جهت عمود بر پیچه) به دور آن پیچانده شد و یک سر آن به عنوان ورودی به منبع آب (شیر آب شهری) متصل شد. بدین ترتیب هنگام استفاده از دستگاه، آب خنک وارد دستگاه شده و هوا از سر دیگر لوله (خروجی) خارج میشد.

دوره اثردهی مزمن: تعداد ۱۸۰ قطعه ماهی زبرای بالغ شامل ۱۲۰ ماهی ماده (با میانگین وزنی ۰/۶-۰/۲ گرم) و ۶۰ ماهی نر (با میانگین وزنی ۰/۵-۰/۱ گرم) از مرکز پرورش ماهیان زینتی(رشت، گیلان) به صورت زنده با تانک اکسیژن‌دار به کارگاه زیست شناسی دریا دانشکده علوم پایه دانشگاه گیلان منتقل شد. پس از سازگاری با محیط، در ۱۲ ظرف پلاستیکی با شرایط دمایی ۲۷ درجه سانتیگراد و پی اچ ۷, دوره نوری ۱۰ ساعت روشنایی/ ۱۴ ساعت تاریکی با حجم ۲ لیتر و هر ظرف محتوی ۱/۵ لیتر آب شهری کلرزدایی شده به صورت جداگانه قرار داده شدند. ظرف‌ها به ۳ گروه با سه تکرار مختلف (۹ ظرف)دسته بندی شدند و گروه‌ها تحت تاثیر سه دوز مختلف از امواج الکترومغناطیسی به صورت مزمن قرار گرفتند. برای این منظور، ۳ ظرف تحت تیمار امواج الکترومغناطیسی با شدت ۲/۵ میلی تسلا، ۳ ظرف تحت تیمار با شدت ۵ میلی تسلا و ۳ ظرف تحت تیمار با شدت ۷/۵ میلی تسلا به مدت ۴ هفته (۲۸ روز) و هر روز به مدت یک ساعت قرار گرفتند. گروه‌ها در یک ساعت مشخص از روز (شروع آزمایش برای هر تیمار و تکرارهایش از ساعت ۹ صبح تا ساعت ۱۳ می‌باشد) در داخل یک بشر شیشه ای دو لیتری تحت تأثیر میدان مغناطیسی ایستا قرار گرفتند. برای هر گروه ۳ بار آزمایش تکرار شد. برای هر شدت یک ظرف نیز به‌عنوان کنترل بدون هیچگونه میدان مغناطیسی درنظر گرفته شد. تغذیه ماهیان هر ظرف، روزانه از کنستانتره بیومار ۰/۵ (که از کنسانتره ماهی‌های کوچک، اسفناج، سیر، کاهو و سبوس گندم به‌دست می آید) به مقدار ۴درصد وزن توده زنده (Nekoubin *et al.*, 2012) در دو وعده ثابت (ابتدای صبح و عصر)، انجام گرفت. پس از اتمام دوره اثر دهی، به‌منظور تشریح بافتی و جدا کردن بافت تخمدان طبق پروتکل تشریح ماهی زبرا، این ماهیان از سیستم خارج شدند.

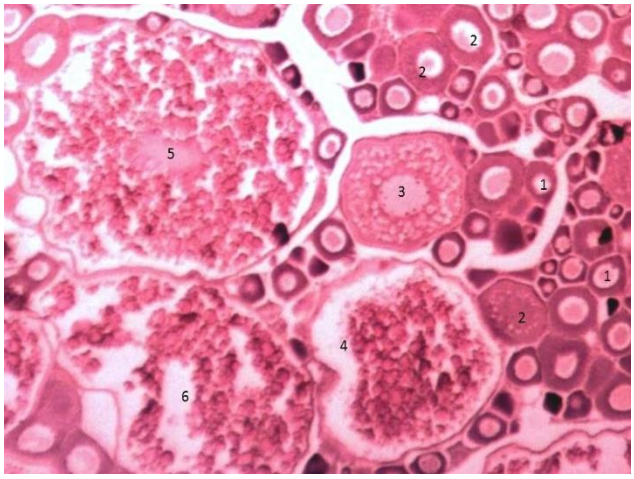
مطالعات آسیب‌شناسی بافتی: به‌منظور تشریح بافتی، بافت تخمدان از بدن ماهی زبرا ماده خارج شد و در محلول تثبیت کننده بوئن فیکس شد. از درجات خلوص متفاوت الکل ۵۰٪، ۷۰٪، ۹۰٪ و ۱۰۰٪ به منظور عمل آبگیری استفاده شد و با استفاده از محلول زایلن عمل شفاف سازی بافت تخمدانی انجام شد. در مرحله پارافین زدایی، پارافین جایگزین زایلن شد و سپس قالب گیری با پارافین انجام گردید. با استفاده از دستگاه میکروتوم (روتاری مکانیکی مدل DS 4055) از قالب‌های پارافینی برش-هایی با ضخامت ۵ میکرون تهیه شد. به منظور حذف پارافین برش‌های تهیه شده به آرامی روی سطح آب گرم با درجه حرارت ۴۵-۴۰ درجه سانتیگراد به صورت شناور قرار داده شدند. با استفاده از چسب آلبومین نمونه‌ها بر روی لام ثابت شدند. در پایان، مقاطع با روش هماتوکسیلین-ائوزین رنگ‌آمیزی و با استفاده از میکروسکوپ نوری استریو مورد بررسی قرار گرفتند. تعداد فولیکول‌های آترتیک و قطر اووسیت‌های بالغ در هر حالت اثردهی مزمن در شدت‌های مختلف امواج الکترومغناطیسی مورد بررسی و مقایسه گرفت. تفسیر داده‌های آماری مربوط به تعداد فولیکول-های آترتیک و قطر اووسیت بالغ، براساس میانگین ± انحراف معیار بیان شد. با استفاده از آزمون Kolmogorov-Smironov نرمال بودن داده‌ها تعیین گردید. با توجه به صحت پراکندگی نرمال داده‌ها، با استفاده از آزمون واریانس یک‌طرفه (One-way ANOVA) میزان اختلاف قطر اووسیت‌های بالغ در نمونه‌ها بررسی شد. با توجه به اختلاف معنا دار به دست آمده، از آزمون Duncan به‌منظور مشخص نمودن معنی‌دار بودن با ضریب اطمینان ۹۵٪ در هر یک از گروه‌ها استفاده گردید. تمامی آنالیزهای آماری توسط نرم افزار SPSS-24 و رسم نمودارها توسط نرم‌افزار Excel-2013 انجام گرفت.

۳ | نتایج

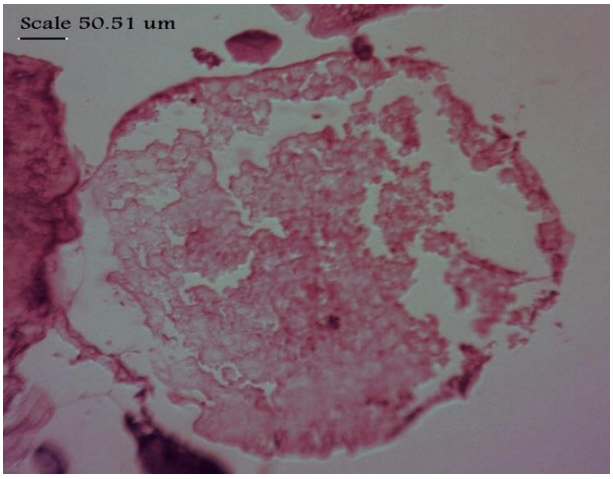
بررسی بافت‌شناسی بافت تخمدان در ماهی زبرا نشان داد باتوجه به سایز و مرحله تکوین اووسیت‌ها ۶ فاز قابل مشاهده می‌باشد که به‌طور خلاصه عبارت‌اند از: فاز اولیه رشد که طی آن میانگین قطر اووسیت‌ها بین ۰۸/۰ تا ۰/۱۲ میلی‌متر می‌باشد، فاز ثانویه رشد که در این مرحله سایز اووسیت‌ها افزایش یافته (میانگین قطر۰/۱۲ تا ۰/۱۶ میلی متر)، در بعضی اووسیت‌ها یک واکوئل بزرگ در کنار غشا سیتوپلاسمی و تعداد کمی ویزیکول زرده‌ای در سیتوپلاسم قابل رؤیت است. در فاز سوم که فاز تشکیل آلوئول‌های قشری است میانگین قطر اووسیت‌ها حدود ۰/۱۶ تا ۰/۲۸ میلی‌متر می‌باشد، ساختمان‌های گرانولار در اووپلاسم تکثیرشده، هسته‌طویل‌گشته‌وغشازونا رادیاتا اطراف سیتوپلاسم مشاهده می‌شود. در فاز زرده‌سازی افزایش میانگین قطر اووسیت‌ها (۰/۲۸ تا ۰/۷۴ میلی متر) به دلیل تجمع گرانول‌های پروتئینی و لیپیدی مشاهده می‌شود. تجمع بالایی از وزیکول‌های زرده‌ای در سیتوپلاسم مشاهده شده و ضخامت زونا رادیاتا افزایش می‌یابد ضخامت سلول‌های گرانولوزایی افزایش یافته و ظاهر لوله‌ای شکل پیدا می‌کنند.

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2025-05-24]

[DOI: 10.22034/jair.11.1.70]



شکل ۲- تصویری از تخمدان ماهی زبرا که در آن اووسیت‌هایی با مراحل مختلف تکوین مشاهده می‌شوند. ۱: اووسیت در فاز اولیه ۲: اووسیت در فاز ثانویه ۳: اووسیت در مرحله آلوئول‌های قشری ۴: اووسیت در مرحله زرده سازی ۵: اووسیت در مرحله رسیدگی ۶: اووسیت در فاز آترزی (عکس از اینترنت) Scale bar= 135.51µm.

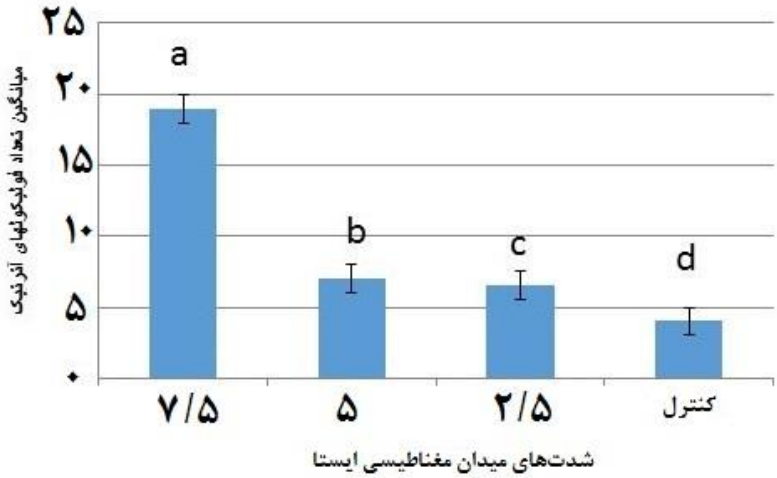


شکل ۳- تصویر یک فولیکول آترتیک.. ساختار غشا زرده‌ای شروع به تجزیه شدن کرده به‌طوری‌که وزیکول‌ها با یکدیگر ترکیب می‌شوند .غشا زرده‌ای شکسته شده و زرده جذب می‌شود (بزرگنمایی ۵۰,۵۱µm).

در فاز بلوغ یا رسیدگی میانگین قطر اووسیت‌ها به بیشینه اندازه اووسیت در طی اووژنز (۰/۷۴ تا ۰/۷۶ میلی متر) می‌رسد. در داخل سیتوپلاسم، هسته شکسته شده و گلبول‌های زرده‌ای تمایل به تلفیق با یکدیگر و شکل دادن توده‌های بی شکل ائوزینوفیلیک دارند (شکل۲). نهایتا در فاز ششم (فاز آترزی) ساختار غشا زرده‌ای شروع به تجزیه شدن کرده و وزیکول‌ها تماما با یکدیگر ترکیب می‌شوند. غشا زرده‌ای شکسته شده و زرده جذب می‌شود (شکل۲).

اووسیت‌های آترزی: سنجش تعداد اووسیت‌های آترتیک بافت تخمدان ماهی زبرا که به‌صورت طولانی مدت در معرض میدان مغناطیسی مزمن قرار گرفته بودند نشان داد در این حالت روند ورود اووسیت‌ها به فاز آترزی افزایشی است و این افزایش تنها در بالاترین شدت (۷/۵ میلی تسلا) اعمال شده در میدان مغناطیسی، به صورت کاملا مشهود بروز پیدا می‌کند ($p<0.05$) (شکل ۳).

مقایسه شدت‌های مختلف میدان مغناطیسی نشان داد که اثر دهی طولانی مدت در شدت ۷/۵ میلی تسلا تاثیر بیشتری نسبت به شدت‌های ۲/۵ و ۵ میلی تسلا بر بافت تخمدان دارد. شدت‌های پایین میدان مغناطیسی نیز در حالت مزمن باعث ایجاد اووسیت‌های آترتیک شده اما از این نظر اختلاف معنا داری با گروه کنترل خود ایجاد نمی‌کنند (شکل ۴).

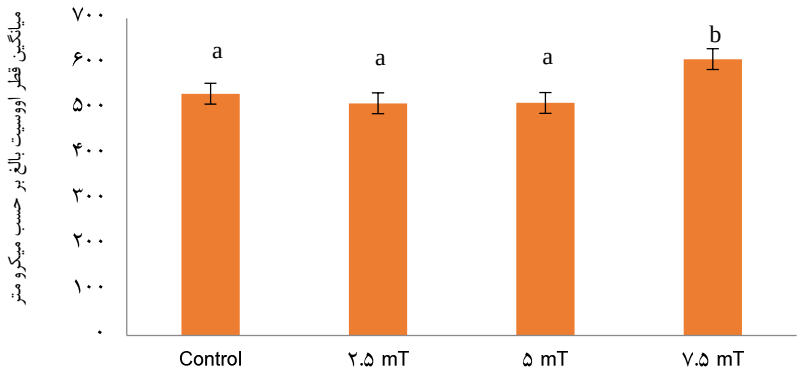


شکل ۴- سنجش میانگین تعداد فولیکول‌های آترتیک در اثر دهی مزمن میدان مغناطیسی با شدت‌های ۲/۵، ۵ و ۷/۵ میلی تسلا. نماد بالای ستون‌ها اختلاف معنی‌دار را بیان می‌کند.

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2025-05-24]
[DOI: 10.22034/jair.11.1.70]

قطر اووسیت‌های بالغ: نتایج سنجش قطر اووسیت بالغ در وضعیت مزمن نشان داد که قطر اووسیت در شدت ۷/۵ میلی تسلا افزایش معنی-دار با گروه‌های دیگر دارد (شکل ۵). سایر گروه‌های تیمار نسبت به یکدیگر اختلاف معنا داری نداشتند. در واقع بیشترین مقدار میانگین اندازه گیری شده قطر اووسیت‌ها مربوط به بالاترین شدت مغناطیسی به‌کار رفته می‌باشد (شدت ۷/۵ میلی تسلا). کمترین میزان میانگین قطر را گروه با شدت ۲/۵ میلی تسلا از خود نشان دادند. روند تغییرات به گونه‌ای بود که ابتدا کاهش چشمگیر در اندازه قطر اووسیت در گروه ۲/۵ میلی تسلا نسبت به گروه کنترل مشاهده شد. سپس در گروه با شدت ۵ میلی تسلا روند افزایشی در میزان قطر اووسیت آغاز گردید. این روند افزایشی در تیمار با شدت ۵ میلی تسلا نسبت به گروه تیمار با شدت ۲/۵ میلی تسلا معنادار نبود ($p>0.05$). اما افزایش معناداری در میزان قطر اووسیت در گروه ۷/۵ میلی تسلا نسبت به گروه کنترل مشاهده شد ($p<0.05$).

اثر دهی مزمن دوزهای مختلف امواج مغناطیسی بر ماهی زبرا نشان داد که در حالت مزمن و اثر دهی طولانی مدت، تاثیر زیادی بر بافت تخمدان داشته به طوری‌که درصد بیشتری از اووسیت‌ها از روند طبیعی خارج شده و وارد فاز آترزی می‌شوند. در این حالت غشا هسته تخریب شده، زونا رادیاتا که اطراف اووسیت‌ها را احاطه می‌کند در حال تجزیه بوده و گرانول‌های زرده‌ای در هم ادغام می‌شوند. این اووسیت‌ها در صورت آزاد سازی لقاح نرمال نخواهند داشت.



شکل ۵- میانگین اندازه قطر اووسیت‌های بالغ تحت تأثیر میدان الکترو مغناطیسی ایستای مزمن. نماد بالای ستون‌ها نشان دهنده اختلاف معنادار می‌باشد.

۴ | بحث و نتیجه‌گیری

بررسی اثرات احتمالی آلاینده‌ها و استرس‌زاها در سطوح جمعیتی مختلف و بازخوردهای اکولوژیکی آن نیازمند مطالعات آزمایشگاهی و میدانی زیادی است. ماهیگیری الکتریکی یکی از روش‌های مورد استفاده جهت نمونه برداری‌های تحقیقاتی از گونه‌های آبزیان آب شیرین و رودخانه‌ای می‌باشد. همچنین در محیط‌های دریایی استفاده از میدان الکترومغناطیسی جهت کاهش صید ضمنی و افزایش هدفمند فعالیت‌های صیادی گونه‌های هدف، مخصوصا گونه‌های کفزیان، متداول می‌باشد. پاسخ یا رفتار ماهی‌ها در یک میدان الکتریکی، به میزان بزرگی شدت جریان و فاکتورهای محیطی به خصوص شوری وابسته می‌باشد. جریان-های الکتریکی می‌توانند سبب بروز تغییرات و اثرات فیزیولوژیک روی ماهی‌ها شوند. بنابراین بررسی تغییرات احتمالی استفاده از جریان‌های الکتریسیته بر روی گونه‌های ماهیان هم از نظر زیست شناسی گونه‌ها و هم از جنبه پراکنش جمعیت گونه‌های شیلاتی اهمیت دارد (Formicki and Winnicki, 1998; Krylov *et al*., 2014).

در مطالعه حاضر اثر دوزهای مختلف امواج مغناطیسی در حالت نیمه مزمن بر سیستم تولید مثلی ماهی زبرا مورد مطالعه قرار گرفته است. تأثیر امواج مغناطیسی بر تعداد فولیکول‌های آترزی و نیز قطر اووسیت‌ها نشان داده شده است. عملکرد میدان مغناطیسی در شدت‌های مختلف یکسان نمی‌باشد. نتایج حاصل از تابش امواج ۷/۵ میلی تسلا بیانگر تأثیر مثبت میدان مغناطیسی بر روند ورود اووسیت‌های ماهی زبرا به فاز آترزی می-باشد. همچنین بیشترین مقدار میانگین قطر اووسیت‌های بالغ مربوط به همین شدت از میدان مغناطیسی است که دارای اختلاف معنا دار با گروه کنترل می‌باشد. این در حالی است که در شدت‌های کمتر از ۷/۵ میلی تسلا، اووسیت‌ها به مدت بیشتری در فازهای ابتدایی‌تر رشد قرار دارند و کمتر به سمت آتروفی شدن پیش می‌روند.

در توافق با مطالعه ما کریلوف و همکاران (Krylov *et al*., 2014) عنوان کرد میدان مغناطیسی مصنوعی و نوسانات شدت میدان مغناطیسی طبیعی زمین، سبب هدایت تغییراتی روی رشد و نمو جنین ماهی‌ها می-شود و تکوین تخمدان و اووسیت‌های آن‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد. هان و همکاران (Han *et al*., 2010) و هه و همکاران (He *et al*., 2020) در مورد اثرات میدان الکترومغناطیسی بر روی فولیکول‌های تخمدانی ماهی زبرا مطالعاتی انجام دادند و نشان دادند که در نتیجه افزایش امواج الکترومغناطیسی هسته اووسیت کوچک‌تر شده و تغییر شکل می‌دهد.روشنگر و همکارانش (Roshangar *et al*., 2014) گزارش کردند که امواج الکترومغناطیسی می‌توانند منجربه تغییرات مورفولوژیکی در اووسیت و افزایش تراکم هسته‌ای سلول‌های گرانولوزا شوند.

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2025-05-24]
[DOI: 10.22034/jair.11.1.70]

کیکانی و همکاران (Cecconi *et al*., 2000) نشان دادند آترزی فولیکولی به‌دلیل آپوپتوز سلول‌های گرانولوزا در تخمدان‌ها، در نتیجه قرار گرفتن در معرض میدان الکترومغناطیسی اتفاق می‌افتد. Li و همکاران در سال ۲۰۱۴ نشان دادند که قرار گرفتن در معرض فرکانس ۵۰ هرتزی میدان ELF-MF با شدت‌های ۳۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰ و ۸۰۰ میکرو تسلا در مدت زمان ۹۶ ساعت (وضعیت مزمن) منجر به تاخیر در تفریخ و کاهش ضربان قلب در مراحل اولیه رشد جنین ماهی زبرا می‌شود. درحالی‌که اختلاف معنی‌داری در میزان مرگ و میر و ناهنجاری جنین ماهی زبرا مشاهده نمی‌شود (Li *et al*., 2014).

نتیجه مطالعه پیکینیتی و همکاران (Piccinetti *et al*., 2018) نشان داد که یک EMF ۱۰۰ مگاهرتز قادر است بر رشد جنینی ماهی زبرا، از ۲۴ تا ۷۲ ساعت پس از لقاح (hpf) در تمام مسیرهای مورد تجزیه و تحلیل تأثیر بگذارد. به‌طور ویژه، در مرحله ۴۸ hpf، کاهش رشد، افزایش رونویسی ژن‌های استرس اکسیداتیو، شروع فرآیندهای آپوپتوز/اتوفاژیک و تغییر در متابولیسم کلسترول دیده شد. تحقیقی که توسط الاخراس (Alakhras, 2001) بر روی موش‌های ماده انجام شد نشان داد قرار گیری موش نر به مدت ۹۰ روز در معرض میدان الکترومغناطیسی با فرکانس ۵۰ هرتز باعث کاهش تعداد ماده‌های باردار و افزایش بازجذب جنین در آن‌ها می‌شود.

براساس مطالعه حمایت‌خواه و باقرزاده (Hemayatkhah and Baqerzadeh, 2017) امواج مغناطیسی، آترزی فولیکول‌های تخمدانی را افزایش داده و با اختلال در ترشح هورمون‌ها، باروری را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بررسی امواج الکترومغناطیسی بر تعداد فولیکول‌های تخمدانی و هورمون‌های جنسی موش صحرایی بالغ کاهش معنا دار در تعداد فولیکول‌های ثانویه و گراآف و افزایش چشمگیر در تعداد فولیکول‌های آترتیک را نشان می‌دهد.

در مطالعه حاضردر مقایسه شدت دوزها، اثر دهی طولانی مدت در دوزهای بالا (۷/۵ میلی تسلا) تاثیر مخرب‌تری نسبت به دوزهای پایین (۲/۵ و ۵ میلی تسلا) بر بافت تخمدان داشته و متعاقب آن درصد لقاح کاهش می‌یابد. افزایش شدت میدان مغناطیسی با افزایش اندازه اووسیت همراه بود به طوریکه در شدت ۷/۵ میلی تسلا به بالاترین میزان خود رسید. به‌طور کلی می‌توان گفت که وجود امواج مغناطیسی در آب‌های دریایی ممکن است در طولانی مدت بر روی تولید مثل موجودات دریایی مخصوصا ماهی زبرا تاثیرگذار باشد.

مکانیسم اثر میدان‌های مغناطیسی ELF–EMF کاملاً شناخته شده نیست، با این‌حال فرضیه‌های متفاوتی مطرح می‌باشد؛ بر طبق یک فرضیه میدان های الکترومغناطیسی باعث جابه‌جایی یون‌های آزاد سطح غشاء پلاسمایی می شوند که این امر سبب تغییر بار الکتریکی غشا شده و منجر به باز شدن غیر طبیعی کانال‌های یونی وابسته به ولتاژ می‌شود. یکی از پیامدهای آن ایجاد تغییر در هدایت یون کلسیم می‌باشد. چون یون کلسیم در چرخه‌های سلولی نقش اساسی دارد پس می‌تواند موجب تغییر در زمان چرخه تقسیم سلولی، افزایش نسخه برداری، RNA سنتز پروتئین DNA و در نتیجه سرعت بخشیدن به فرآیند تقسیم سلولی گردد. (Panagopoulos *et al*, 2002; Pomerai, 2000). از طرفی افزایش پایداری رادیکال‌های آزاد به واسطه قرار گرفتن سلول در مواجهه با میدان مغناطیسی نیز مشاهده شده است (Eleuteri, 2009). میدان مغناطیسی فرایند اتصال گامت‌ها به یکدیگر را نیز مختل می‌کند (Drozdov, 2008). شواهد نشان می‌دهد حتی فرکانس‌های پایین الکتریکی و میدان‌های بسیار ضعیف مغناطیسی نیز در طولانی مدت، می‌توانند سیستم‌های بیولوژیکی را تحت تأثیر قرار دهند و خطراتی برای سلامت موجودات داشته باشند (Pawel, 1986, Barnes and Greenenbaum, 2016).

در تحقیق کیکانی و همکارانش (Cecconi *et al*., 2000) که در آن به بررسی اثر میدان الکترومغناطیسی با شدت بین ۰-۲،۸ میلی تسلا و فرکانس ۳۳ هرتز بر روی فولیکول‌های جدا شده از تخمدان در محیط کشت پرداخته شد عنوان گردید رشد فولیکول‌ها به صورت معنی داری کاهش می‌یابد و فولیکول‌ها به کندی وارد مرحله حفره دار شدن می‌شوند.

مطالعات پیکارارو و همکاران (Pecoraro *et al*., 2022) نشان می‌دهد که قرار گرفتن در معرض میدان‌های الکترومغناطیسی در محدوده ۲۷ گیگاهرتز (۵G) هیچ تاثیر قابل توجهی بر مرگ و میر و مورفولوژی جنین زبرافیش ایجاد نکرد زیرا لاروهای تحت معرض، یک تفکیک طبیعی دم، وجود ضربان قلب و سومیت‌های به خوبی سازماندهی شده را نشان دادند.

نتایج مطالعات موسوی و همکاران (Mosavi *et al*., 2021) نشان می دهد که شدت‌های بالای میدان مغناطیسی (۷/۵ تسلا) در مدت یک هفته، بر روی اووسیت‌ها اثر منفی گذاشته و از طریق کاهش تعداد اووسیت‌های رسیده و افزایش تعداد اووسیت‌های آترزی شده می‌تواند بر باروری ماهی زبرا تأثیرگذار باشد.

از طرفی در مطالعه منصفی و همکاران (Monsefi e*t al*., 2005) شدت ۴،۳ میلی تسلا میدان الکترومغناطیسی با فرکانس ۵۰ هرتز در کوتاه مدت, تأثیری بر قطر فولیکول‌های تخمدانی نداشت. براساس تحقیق منصفی و همکاران می توان نتیجه گرفت که اثر دهی میدان در دوره کوتاه مدت سبب کاهش قطر جسم زرد می شود اما تغییری در بافت تخمدان و هورمونهای جنسی نمی گذارد. با توجه به نتایج به دست آمده از مطالعه منصفی، می توان نتیجه گرفت که قرار گرفتن کوتاه مدت در معرض میدان‌های الکترومغناطیسی با ایجاد اثرات منفی در بدن موجود زنده همراه نخواهد بود و افزایش زمان مواجهه تغییرات بیشتری در بافت تخمدان ایجادمی‌کند. درواقع میدانهای الکترومغناطیسی بسته به وضعیت بیولوژیکی سلول مورد مطالعه، هدایت بافتی، شعاع سطحی که جریان از آن عبور می کند، همچنین شاخص‌های میدان شامل چگالی جریان حاصل از میدان‌های مغناطیسی، قدرت میدان و فرکانس آن و نیز مدت زمان مواجهه، می‌توانند به صورت مهار کننده یا فعال کننده عمل کنند.

کیکانی و همکارانش (Cecconi *et al*., 2000) دریافتند که میدان ۵۰ هرتزی تا روز سوم و پنجم کشت، تغییری در فولیکول‌ها ایجاد نمی‌کند. اما میدان ۳۳ هرتزی سبب کاهش معنا دار تعداد فولیکول‌ها می‌شود. میدان مذکور از طریق کاهش توانایی فولیکول‌ها سبب عدم

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2025-05-24]
[DOI: 10.22034/jair.11.1.70]

موفقیت در تولید مثل می‌شود. میدان الکترومغناطیسی ۳۳ هرتزی سبب آسیب‌های شدید آنتروم و کاهش مقدار استرادیول آزاد شده و سنتز DNA در سلول‌های گرانولوزا را کاهش می‌دهد. مکانیسمی که نشان دهد چگونه امواج موجب این تأثیرات شده‌اند هنوز مشخص نیست اما فرضیاتی مطرح شده که عبارتند از: ۱) امواج الکترومغناطیسی باعث افزایش بیان برخی از ژن‌های انکوژنی مثل C-myc می‌شود که پروتئین تولید شده توسط این ژن باعث تسهیل پیشرفت سیکل سلولی و همانند سازی DNA در مرحله S می‌شود. (Sakhaei, 2007). فرضیه احتمالی دوم، موضوع فزایش دما می‌باشد؛ از آنجایی که امواج موجب افزایش دمای محیط داخلی بدن حیوان می‌شوند می‌تواند در بهبود گردش خون و در نهایت تغذیه بافتی موثر باشند. همچنین هیپرترومی و القا تکثیر سلولی را در پی داشته باشند (Piestun, 2008).

نیاز به پژوهش‌های گسترده‌تر برای تعیین اولاً اثرات و ثانیاً مکانیسم عمل و چگونگی تأثیر این میداها احساس می‌شود تا با پر کردن این خلأ بتوان الگویی مشخص برای محافظت موجودات بدست آورد. با توجه به اهمیت سیستم تولید مثلی – تناسلی در بقای نسل گونه‌ها و مسئله جمعیت و پراکنش آها و افزایش کاربرد میدان الکترومغناطیسی در زندگی مدرن امروزی، ضرورت بیشتر مطالعه اثرات عوامل استرس زا و محیطی بر این سیستم بیش از پیش احساس می‌شود.

پست الکترونیک نویسندگان

امیرحسین موسوی: biggg.marinebiologist@gmail.com

طوبی میرزاپور: t.mirzapoor@guilan.ac.ir

جاوید رضائی‌لرد: javid.rezaei70@gmail.com

بهروز حیدری: behrooz1072@yahoo.com

REFERENCES

Al-Akhras M.A., Darmani H., Elbetieha A. 2006. Influence of 50 Hz magnetic field on sex hormones and other fertility parameters of adult male rats, Bio Electro Magnetics, 27(2): 127-131.

Aminian Fatideh B., Golmohammadi Manjili N., Shafiee Sabet S., Vahdati N., Jafari M.V. 2016. Impact of electric field exposure and salinity on behaviour of common carp (*Cyprinus carpio*) during entanglement of fishing gear. Veterinary Researches & Biological Products, 29(4), pp.100-109. (In Persian).

Aytekin Y., Yüce R. 2008. Ovary maturatıon stages and histological investigation of ovary of the Zebrafish (*Danio rerio*), Brazilian Archives of Biology and Technology, 51(3): 513-522.

Barnes, F. and Greenenbaum, B., 2016. Some effects of weak magnetic fields on biological systems: RF fields can change radical concentrations and cancer cell growth rates. IEEE Power Electronics Magazine, 3(1):60-68.

Barreto R.E., Volpato G.L. 2011. Ventilation rates indicate stress-coping styles in Nile tilapia, Journal of biosciences, 36:851-855.

Cecconi S., Gualtieri G., Di Bartolomeo A., Troiani G., Grazia Cifone M., Canipari R. 2000. Evaluation of the effects of extremely low frequency electromagnetic fields on mammalian follicle development, Human Reproduction, 15(11): 2319–2325.

Clelland E., Peng C. 2009. Endocrine/paracrine control of zebrafish ovarian development, Molecular and cellular endocrinology, 312(1-2): 42-52.

Drozdov K.A., Khlistun O.A., Drozdov A.L. 2008. The influence of ultrasound and constant magnetic field on gametes, zygotes, and embryos of the sea urchin, Biofizika, 53(3): 513-518.

Duan W., Liu C., Wu H., Chen C., Zhang T., Gao P., ...and Zhou Z. 2014. Effects of exposure to extremely low frequency magnetic fields on spermatogenesis in adult rats, Bioelectromagnetics, 35(1): 58-69.

Eleuteri M., Amici M., Amici L., Cecarini V., Cuccioloni M., Grimaldi S., Giuliani L., Angeletti M., Fioretti1 E. 2009. 50Hz Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields Enhance Protein Carbonyl Groups Content in Cancer Cells: Effects on Proteasomal Systems, Journal of Biomedicine and Biotechnology, 2009: 1-10.

Fey D.P., Greszkiewicz M., Otremba Z., Andrulewicz E. 2019. Effect of static magnetic field on the hatching success, growth, mortality, and yolk-sac absorption of larval Northern pike Esox lucius. Science of the total environment, 647:1239-1244.

Formicki K., Winnicki A. 1998. Reactions of fish embryos and larvae to constant magnetic fields, Italian Journal of Zoology, 65(S1): 479-482.

Gallo A., Boni R., Tosti E. 2020. Gamete quality in a multistressor environment. Environment international, 138p.

Han J., Cao Z., Liu X., Zhang W., Zhang S. 2010. Effect of early pregnancy electromagnetic field exposure on embryo growth ceasing. Journal of Hygiene Research. 39(3): 349-352.

He Y., Tsang K.F., Kong R.Y.C., Chow Y.T. 2020. Indication of Electromagnetic Field Exposure via RBF-SVM Using Time-Series Features of Zebrafish Locomotion. Sensors, 20(17):4818p.

Hemayatkhah Jahromi V., Baqerzadeh P. 2017. The Effect of Cinnamon Extract on Ovary in Adult Rats Treated Lead Acetate. Journal of Animal Biology, 9(2):1-10. (In Persian).

Houston B.J., Nixon B., King B.V., Aitken R.J., De Iuliis G.N. 2018. Probing the origins of 1800 MHz radio frequency electromagnetic radiation induced damage in mouse immortalized germ cells and spermatozoa in vitro, Frontiers in public health, 6: 270.

Hur J.W. 2018. Stress responses of olive flounder, Paralichthysolivaceus by sudden rise of temperature in low and high water temperature conditions, Int. J. New Innovations Eng Technology, 9: 74-86.

Iorio R., DelleMonache S., Bennato F., Di Bartolomeo C., Scrimaglio R., Cinque B., Colonna R.C. 2011. Involvement of mitochondrial activity in mediating ELF-EMF stimulatory effect on human sperm motility, Bioelectromagnetics, 32(1): 15-27.

Khaki A.A., Khaki A., Ahmadi S.S., 2016. The effect of Non-ionizing electromagnetic field with a frequency of 50 Hz in Rat ovary: A transmission electron microscopy study. International Journal of Reproductive BioMedicine, 14(2):125p.

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2025-05-24]

[DOI: 10.22034/jair.11.1.70]

Krylov V.V., Izyumov Y.G., Izvekov E.I., Nepomnyashchikh V.A. 2014. Magnetic fields and fish behavior, Biology Bulletin Reviews, 4(3):222-231.

Lerchl A., Zachmann A., Ali M A., Reiter R.J. 1998. The effects of pulsing magnetic fields on pineal melatonin synthesis in a teleost fish (brook trout, Salvelinusfontinalis), Neuroscience Letters, 256(3): 171-173.

Li R., Ma M., Li L., Zhao L., Zhang T., Gao X., Wang M. 2018. The protective effect of autophagy on DNA damage in mouse spermatocyte-derived cells exposed to 1800 MHz radiofrequency electromagnetic fields, Cellular Physiology and Biochemistry, 48(1): 29-41.

Li Y., Liu X., Liu K., Miao W., Zhou C., Li Y., Wu H. 2014. Extremely low-frequency magnetic fields induce developmental toxicity and apoptosis in zebrafish (Daniorerio) embryos, Biological trace element research, 162(1-3): 324-332.

Liang J.O., Abata K., Bachelder E., Bartley B., Bozadjieva N., Caskey V., Eckwright D. 2011. Original research in the classroom: why do zebrafish spawn in the morning?, Zebrafish, 8(4): 191-202.

Lines J., Kestin S. 2005. Electric stunning of trout: power reduction, Aquacultural engineering, 32 (3-4): 483-491.

Mansouri E., Keshtkar, A., Khaki, A., Keshtkar, E. and Khaki, A., 2019. Effects of extremely low frequency electromagnetic fields and simultaneous treatment with Allium cepa on biochemical parameters and ultrastructure of ovarian tissues of rats. Iranian Journal of Medical Physics, 16(2):158-165.

Marinović Z., Li Q., Lujić J., Iwasaki Y., Csenki Z., Urbányi B., ...& Horváth Á. 2019. Preservation of zebrafish genetic resources through testis cryopreservation and spermatogonia transplantation, Scientific reports, 9(1): 1-10.

Meyers J.R. 2018. Zebrafish: development of a vertebrate model organism, Current Protocols Essential Laboratory Techniques, 16(1): e19.

Mokhtar D.M. 2017. Fish Histology: From Cells to Organs (1st ed.), Apple Academic Press.

Monsefi M., Bahauddin A., Pirooz M., Haghighi S. 2005. The effect of electromagnetic field on ovaries and sex hormones in female rats, Journal of Birjand University of Medical Sciences, 11(4): 26-33. (In Persian).

Mosavi S.A.H., Heidari B., Mirzapour T., Valipour A. 2021. The effects of different intensities of static magnetic fields on ovarian tissue in Zebrafish (*Danio rerio*), Journal of Aquatic Ecology, 11 (1):73-83. (In Persian).

Nekoubin H., Gharedaashi E., Imanpour M.R., Nowferesti H., Asgharimoghadam R. 2012. The Influence of Synbiotic (*Biomin imbo*) on Growth Factors and Survival Rate of Zebrafish (Danio rerio) Larvae via Supplementation with Biomar, @inproceedings {Nekoubin2012TheIO,

Nofouzi K., Sheikhzadeh N., Jassur D. M. Z., &Ashrafi-Helan J. 2015. Influence of extremely low frequency electromagnetic fields on growth performance, innate immune response, biochemical parameters and disease resistance in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, Fish physiology and biochemistry, 41(3): 721-731.

Palomba S., Daolio J., Romeo S., Battaglia F.A., Marci R., La Sala GB. 2018. Lifestyle and fertility: the influence of stress and quality of life on female fertility, Reprod Biol Endocrinol, 2;16(1):113.

Panagopoulos D.J., Karabarbounis A., Margaritis L.H. 2002. Mechanism for action of electromagnetic fields on cells.Biochemical and Biophysical research communications, 298: 95-102.

Parichy D.M. 2015. The natural history of model organisms: Advancing biology through a deeper understanding of zebrafish ecology and evolution, Elife, 4, e05635.

Pawel O. 1986. The monitoring of radioactive substances in biological food chains by the veterinary service in Czechoslovakia (No. INIS-XA-C--069).

Pecoraro R., Pavone S.C., Scalisi E.M., Ignoto S., Sica C., Capparucci F., Iaria C., Salvaggio A., Sorbello G., Di Donato L., Brundo M.V. 2022. Multimarker Approach to Evaluate the Exposure to Electromagnetic Fields at 27 GHz (5g) On Danio rerio larvae.

Piccinetti C.C., De Leo A., Cosoli G., Scalise, L., Randazzo B., Cerri G., Olivotto I. 2018. Measurement of the 100 MHz EMF radiation in vivo effects on zebrafish D. rerio embryonic development: A multidisciplinary study. Ecotoxicology and environmental safety, 154:268-279.

Piestun Y., Shinder D., Ruzal M., Halevy O., Brake J., Yahav S. 2008. Thermal manipulations during broiler embryogenesis: effect on the acquisition of thermotolerance, Poultry science, 87(8): 1516-1525.

Pomerai D.D., Daniells C., David H., Allan G., Duce I., Mutwakil M., Thomas D., Sewell P., Tattersall J., Jones D., Candido P. 2000. Non-thermal heat-shock response to microwaves, Cell Biology, 405: 417-418.

Roshangar L., Hamdi B. A., Khaki A.A., Soleimani Rad J., Soleimani-Rad S. 2014. Effect of low-frequency electromagnetic field exposure on oocyte differentiation and follicular development, Avd Biomed Rec, 3(76).

Saadeldin I.M., Fadel A.M., Hamada M.M., El-Badry A.A. 2011. Effects of exposure to 50 Hz, 1 Gauss magnetic field on reproductive traits in male albino rats, ActaVeterinaria Brno, 80(1): 107-111.

Sakhaei A., Salehi H. 2007. The effect of low frequency low frequency electromagnetic waves on the tissue structure of NMRI mice, Journal of Babol University of Medical Sciences, 8(6): 7-13. (In Persian)

Schreck C.B. 2000. Accumulation and long-term effects of stress in fish, The biology of animal stress, 1: 147-158.

Schreck C.B., Contreras-Sanchez W., Fitzpatrick M.S. 2001. Effects of stress on fish reproduction, gamete quality, and progeny, In Reproductive Biotechnology in Finfish Aquaculture, 3-24). Elsevier.

Schreck C.B., Tort L., Farrell A.P., Brauner C.J. 2016. Biology of stress in fish. Academic Press.

Sedigh E., Heidari B., Roozati A., Valipour A. 2019. The effect of different intensities of static magnetic field on stress and selected reproductive indices of the zebrafish (*Danio rerio*) during acute and subacute

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2025-05-24]

[DOI: 10.22034/jair.11.1.70]

exposure. Bulletin of environmental contamination and toxicology, 102(2):204-209.

Shefer G., Oron U., Irintchev A., Wernig A., Halevy O. 2001. Skeletal muscle cell activation by low-energy laser irradiation: A role for the MAPK/ERK pathway, Journal of cellular physiology, 187(1): 73-80.

Vargas R., Mackenzie S., Rey S. 2018. 'Love at first sight': The effect of personality and colouration patterns in the reproductive success of zebrafish (*Danio rerio*), PloS one, 13(9): e0203320. doi:10.1371/journal.pone.0203320.

Wang H., Zhang X. 2017. Magnetic Fields and Reactive Oxygen Species, International journal of molecular sciences, 18(10): 2175.doi:10.3390/ijms18102175.

Zeng Y., Shen Y., Hong L., Chen Y., Shi X., Zeng Q., Yu P. 2017. Effects of single and repeated exposure to a 50-Hz 2-mT electromagnetic field on primary cultured hippocampal neurons, Neuroscience bulletin, 33(3): 299-306.

نحوه استناد به این مقاله:

موسوی ا.ح.، میرزاپور ط.، رضائی‌لرد ج.، حیدری ب. تغییرات تخمدان ماهی زبرا *(Danio rerio)* تحت مواجهه مزمن با شدت‌های مختلف امواج الکترومغناطیسی ایستا. نشریه پژوهش‌های ماهی‌شناسی کاربردی دانشگاه گنبدکاووس. ۱۴۰۲، ۷۹-۷۰ :(۱)۱۱ .

Mousavi A.H., Mirzapour T., Rezaei Lord J., Heydari B. Changes in the ovaries of zebrafish (*Danio rerio*) under chronic exposure to different intensities of static electromagnetic waves. Journal of Applied Ichthyological Research, University of Gonbad Kavous. 2023, 11(1): 70-79.

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2025-05-24]

[DOI: 10.22034/jair.11.1.70]

Changes in the ovaries of zebrafish (*Danio rerio*) under chronic exposure to different intensities of static electromagnetic waves

Mousavi A.H[1]., Mirzapour T[1,2*]., Rezaei Lord J[1]., Heydari B[1,2].,
[1] Dept. of Biology, Faculty of Science, University of Guilan, Rasht, Iran.
[2] Dept. of Marine science, Caspian Sea basin research center, University of Guilan, Rasht, Iran.

Type:

Original Research Paper

https://doi.org/10.22034/jair.11.1.70

Paper History:

Received: 28-12-2022
Accepted: 17-05- 2023

Corresponding author:

Mirzapour T. Dept. of Biology, Faculty of Science, University of Guilan, Rasht, Iran.

Email: t.mirzapoor@guilan.ac.ir

Abstract

Electric currents cause changes and physiological effects on fish, affecting many reproductive indicators such as gamete quality, corticosteroid levels and ovarian function. In this study, 180 pieces of zebra fish were poured into 12 plastic containers containing 1.5 liters of city water. Three groups were affected by three different doses of electromagnetic waves (with intensities of 2.5, 5 and 7.5 milli tesla) chronically (28 days). Group 4 did not receive any dose of waves as a control. The histological examination of the ovarian tissue showed that long-term exposure at the intensity of 7.5 milli tesla has a greater effect on the ovarian tissue than the intensity of 2.5 and 5 milli tesla so that a higher percentage of oocytes go out of the normal process and enter the atresia phase. The increase in the intensity of the magnetic field is associated with the increase in the size of the oocyte, so that the diameter of the oocyte reaches its highest value at an intensity of 7.5 millitesla. In general, it seems that the existence of magnetic waves may affect the reproduction of aquatic animals in the long term.

Keywords: static magnetic waves, chronic effects, ovarian tissue.

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2025-05-24]

[DOI: 10.22034/jair.11.1.70]