تهیه آب مغناطیسی با استفاده واکنشگاه مغناطیسی چرخه‌ای و ارزیابی تاثیر آن در واکنش های اکسایش-کاهش برخی ترکیب‌های آروماتیک

وحید خاکی زاده*[1]، امیر احسانی[1]، رضا افضل زاده[2] و پریسا چگینی[1]

[1]گروه شیمی آلی، دانشکده شیمی، پردیس علوم دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی، تهران، ایران

[2]گروه فیزیک حالت جامد، دانشکده ی فیزیک، پردیس علوم دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: 1397/12/20 تاریخ پذیرش: 1398/12/5)

در این مطالعه، ابتدا آب مقطر در یک واکنشگاه مغناطیسی- چرخه‌ای مغناطیسی گردید. در گام بعد، خواص فیزیکی و شیمیایی آب مغناطیسی در قیاس با آب مقطر ارزیابی گردید. خواص فیزیکی مانند تغییرات pH، حلالیت اکسیژن، گرانروی، جذب امواج زیرقرمز و فرابنفش، ضریب شکست و حلالیت مورد مطالعه قرار گرفتند. پس از مطالعه این ویژگی‌ها، برای بررسی‌های بیشتر، آب مغناطیسی تهیه‌شده، به عنوان بخشی از محیط واکنش‌های الکتروشیمیایی با هدف ارزیابی تاثیر آن در واکنش های اکسایش-کاهش برخی ترکیب‌های آروماتیک مانند بنزن‌سلنیل کلراید و 2-هیدروکسی‌فنول (کتکول) مورد استفاده قرار گرفت. نتایج بدست آمده نشان داد آب مغناطیسی می‌تواند تغییراتی در شرایط اکسایشی و کاهشی ترکیب‌های آروماتیک پدید آورد. بر اساس نتایج بدست آمده از آزمایش‌های طراحی‌شده، سازوکاری برای مغناطیس شدن آب و همچنین رفتار اکسایشی و کاهشی ترکیب‌های بالا پیشنهاد گردید.

کلید واژه: واکنشگاه مغناطیسی چرخه‌ای، آب مغناطیسی، واکنش الکتروشیمیایی اکسایش-کاهش

مقدمه

فراوان ترین ماده مرکب بر روي زمين كه عنصر اصلی حیات به شمار می‌آید، آب است. این مایع شفاف بیش از 75 درصد جرم بدن انسان را تشکیل می‌دهد و همچنین بیش از 70 درصد سطح کره زمین را آب پوشانده است [1]. مولكول آب با توجه به ساختار و نوع پيوندهايش مولكولي قطبي مي‌باشد. در ساختار مولكول آب، توزيع ابر الكتروني يكنواخت نبوده و متمايل به اتم اكسيژن مي‌باشد. نتيجه چنين پديده‌اي بوجود آمدن بارهاي جزئي مثبت و منفي است و پژوهشگران دريافته‌اند كه اگر آب را در ميدان مغناطيسي قرار دهند، بر برخی از خواص فیزیکی و شیمیایی آن تاثیرگذار خواهد بود. شدت مغناطیسی‌شدن آب و تاثیر در خواص فیزیکی و شیمیایی آن به عوامل متعددی بستگی دارد که مهم‌ترین آنها مدت زمان مغناطیسی‌شدن، قدرت میدان مغناطیسی و سرعت گردش آن در سیستم است [2]. در سال 2014، سه سازوکار پیشنهادی برای نحوه تاثیر میدان مغناطیسی بر ذرات آب پیشنهاد شده است که شامل: الف) شکل‌گیری و فروپاشی خود به خودی واحدهای کلوئیدی فلزات کاتیونی در برهمکنش میدان مغناطیسی و آب که منجربه افزایش رسوب‌دهی آب می‌شود، ب) با قطبش یون‌های حل‌شده در آب، شکل و اندازه لایه آب‌پوشی دچار تغییر می‌شود و این امر باعث ایجاد برخی از تغییرها در خواص آب می‌گردد، ج) به‌علت قطبی‌بودن مولکول‌های آب، میدان مغناطیسی به صورت مستقیم بر ذات خود مولکول‌های آب تاثیر می‌گذارد، که سازوکار سوم تا حد بسیار زیادی با آزمایش‌های انجام‌شده مطابقت دارد [3]. برای بررسی خواص فیزیکی و شیمیایی آب مغناطیسی آزمایش‌های بسیار زیادی انجام شده‌است و تاثیر آن بر روی بسیاری از ویژگی‌های آب مثل تغییرات شدت تبخیر، اسیدیته، گرانروی، ضریب شکست، جذب امواج فرابنفش و تاثیر آن به عنوان یک حلال در برخی از واکنش‌های شیمیایی سبز بررسی شده‌است. به طور کلی، آب مغناطیسی کاربردهای بسیار زیادی در زمینه‌های مختلف مثل کشاورزی، تصفیه آب، بهداشت و درمان پزشکی، رسوب‌زدایی و صنعت ساختمان دارد [10-4]. به عنوان نمونه، در صنایع سنگین، برای تصفیه آب از خط لوله‌های آب بسیار عظیم و بخار آب استفاده می‌شود که با مغناطیسی‌کردن سامانه لوله‌های تصفیه آب، می‌توان مقدار کربنات موجود در آب را با تغییر نوع بلورهای آن از بلور کلسیت به آراگونیت، کاهش داد که این امر هم در تصفیه آب و هم در کاهش فرسایش خط لوله‌های آب کاربرد بسیار زیادی دارد. همچنین، حرکت آب در داخل لوله‌های آب باعث رسوب املاح روي ديواره لوله‌ها می‌شود در حالی‌که آب مغناطیسی شده، جرم داخل لوله‌ها را پاک و از رسوب مجدد روي ديواره لوله‌ها جلوگيري مي‌كند. در صنعت کشاورزی نیز، با توجه به کوچک‌تر شدن ساختار مولكول‌هاي آب و افزايش توانايي جذب بهتر آن توسط گياه، كارايي مصرف آب افزايش مي‌يابد. نتایج تحقیقات نشان داده‌است که میدان مغناطیسي مي‌تواند در رشد گیاه اثر مثبت داشته‌باشد [11]. از روش‌های متداول برای افزایش رشد گیاهان، استفاده از روش‌های زیست‌فیزیکی می‌باشد. این روش‌ها علاوه بر تاثیرگذاری بر روی ژنتیک گیاه، هزینه‌های هنگفتی را هم در پی دارد، اما استفاده از آب مغناطیسی تاثیری بر روی ژنتیک گیاه ندارد و هزینه آن نیز بسیار پایین‌تر است. آبياري با آب مغناطيسي از ايجاد كلوخه جلوگيري مي‌كند و با فعال شدن املاح خاک، مصرف کود نیز نصف مي‌شود [14-12]. از دیگر کاربردهای آب مغناطیسی، استفاده در صنعت ساختمان برای افزایش مقاومت بتن می‌باشد [15]. هر سلول و اندام بدن ما يک واحد مغناطيسي است و بسامد خاصي دارد. در زمينه بهداشت و درمان، برای تقویت دستگاه گوارش، کاهش اسیدیته معده، درمان سنگ کلیه، بی‌اثر کردن عوامل بیماری‌زا، تسکین درد ماهیچه ای، خون‌رسانی بهتر به اندام‌های بدن، برقراری تعادل بین ارتعاش اندام‌ها و اعصاب گوناگون بدن (اگر این هماهنگي به علت تغييرات مكرر بسامد طبيعي بدن از بين برود، بيماري بروز مي‌كند) از آب مغناطیسی استفاده می‌شود. بطور خلاصه خون مغناطيسي‌شده جواني را تشديد، تمامي سلول‌هاي بدن را تقويت و مقاومت طبيعي بدن را افزايش مي‌دهد [16]. پایداری مغناطیسی آب مغناطیسی در حالت بیشینه می‌تواند 200 ساعت باشد که به عوامل متعددی مانند قدرت

ایمیل نویسنده مسئول: v.khakyzadeh@kntu.ac.ir

میدان مغناطیسی، جهت میدان مغناطیسی اعمال‌شده، مدت زمان اعمال میدان مغناطیسی و سرعت چرخش آب در سامانه یا به عبارتی مدت زمان سکونت ذرات آب در میدان مغناطیسی بستگی دارد [17]. با توجه به گفته‌های بالا و اهمیت و کاربردهای بسیار جالب آب مغناطیسی، بر آن شدیم تا با استفاده از یک واکنشگاه مغناطیسی چرخه‌ای، آب را مغناطیسی و سپس توانایی‌های آن را در واکنش‌های الکتروشیمیایی مورد ارزیابی قرار دهیم. بدین منظور، تغییرات احتمالی بوجودآمده در برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب و سپس تاثیر آن در واکنش‌های اکسایش-کاهش برخی ترکیب‌های آروماتیک مانند بنزن‌سلنیل کلراید و 2-هیدروکسی فنل (کتکول) بررسی شد.

بحث و نتیجه گیری

در این پژوهش، برای انجام فرایندهای اکسایش-کاهش الکتریکی، از یک واکنشگاه مغناطیسی چرخه‌ای استفاده شد. در ساخت واکنشگاه به منظور مغناطیسی کردن آب، یک سامانه استوانه‌ای شکل با ظرفیت تقریبی 100 میلی‌لیتر و ابرآهن‌رباهای نئودیمیومی که میدان مغناطیسی با قدرت 120 میلی‌تسلا را در مرکز لوله بوجود می‌آوردند، به‌کار رفت (شکل شماره 1).

آب استفاده‌شده در سامانه، آب دوبار تقطیربود که با دستگاه پریما 30 تولید و به‌وسیله یک عدد پمپ سِبو پی-280 با قدرت 200 لیتر بر ساعت در سامانه مغناطیسی به گردش درآمد و پس از 48 ساعت به صورت مغناطیسی شد. در ادامه شناسایی‌های صورت‌گرفته و نتایج آن به تفضیل مورد بحث قرار خواهد گرفت.

بررسی گرانروی آب مغناطیسی و آب معمولی

در این بررسی با انجام آزمایش گرانروی‌سنج توپ سقوطی، گرانروی آب در دماهای متفاوت اندازه‌گیری شد. نتایج به‌دست‌آمده مشخص نمود که گرانروی آب مغناطیسی نسبت به آب مقطر معمولی اندکی کمتر می‌باشد (جدول 1).

بر اساس نتایج و مشاهده‌های صورت‌گرفته مشخص شد دردماهای پایین‌تر، اختلاف گرانروی بیشتر است و این امر نشان می‌دهد که در دماهای بالا، به علت این‌که پیوندهای هیدروژنی درون خوشه‌ای و بین خوشه‌ای تقریباً تضعیف می‌شوند و تفاوتی از نظر تعداد و قدرت در دماهای بالا بین آب مغناطیسی و آب معمولی وجود ندارد، به همین علت اختلاف زیادی میان گرانروی آنها وجود نخواهد داشت. در حالی که در دماهای پایین، به علت این‌که در آب معمولی تعداد پیوندهای درون خوشه‌ای بسیار بیشتر است، یک ساختارحجیم کلوئیدی را می‌سازند که باعث افزایش گرانروی آن می شود. در مقابل، مولکول‌های آب در حالت مغناطیسی، دارای ساختارهای لایه‌ای و ساختارهای شش ضلعی می باشند که با پیوندهای هیدروژنی بین خوشه‌ای به یکدیگر متصل شده‌اند و ساختاری شبیه به ساختار گرافیت را می سازند که این ساختار، نرمی خاصی را به آب می‌بخشد و باعث کاهش گرانروی آن می‌شود [18].

بررسی ضریب شکست آب مغناطیسی و آب معمولی

ضریب شکست آب مغناطیسی و آب معمولی در دماهای مختلف توسط دستگاه سنجش ضریب شکست مورد ارزیابی قرارگرفت و مشخص گردید میزان ضریب شکست آب مغناطیسی نسبت به آب معمولی در دماهای پایین تغییر چندانی ندارد و یا حتی می‌توان گفت که تقریباً یکسان هستند. اما در دماهای بالا، ضریب شکست آب مغناطیسی نسبت به آب معمولی در دمای بالا کمتر است (جدول 2).

در توجیه این مشاهده می‌توان گفت که آب مغناطیسی نسبت به آب معمولی ساختار منظم‌تری دارد که باعث می‌شود که فوتون‌های تابیدشده، در لحظه ورود به آب دچار شکست‌های هرز نمی‌شوند. ساختار منظم آب مغناطیسی، همان ساختار شش‌ضلعی مشبک گرافیت شکل است که شامل پیوندهای هیدروژنی بین خوشه‌ای است و این ساختار برخلاف ساختار غیرمنظم و کلوئیدی آب معمولی که در هر یک از کلوئیدها تعداد نامشخصی از مولکول‌های آب حضور دارند، فوتون‌های نور را دچار انحراف و شکست‌های هرز نمی‌کنند.

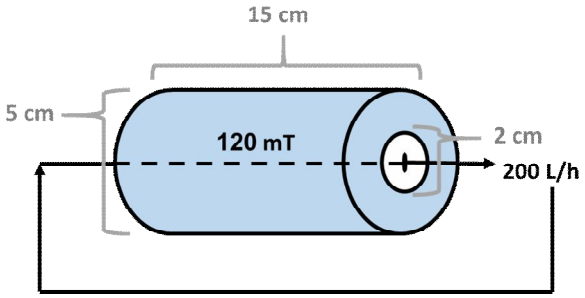
بررسی حلالیت برخی از نمک‌های معدنی در آب مغناطیسی و آب معمولی

در ادامه، حلالیت برخی از نمک‌های معدنی در آب مغناطیسی و آب معمولی مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور، نمک‌های پتاسیم دی‌هیدروژن‌فسفات، پتاسیم کربنات و آمونیوم کلرید انتخاب گردید (جدول 3). برای بررسی حلالیت، نمونه‌ها در لوله‌های آزمایش به درجه اشباع رسانده شدند و پس از جداکردن محلول اضافی، رسوب باقی‌مانده خشک و جرم آن اندازه‌گیری شد. از اختلاف میان جرم اولیه و رسوب باقی‌مانده، میزان حلالیت محاسبه شد. بر اساس نتایج بدست آمده مشاهده‌گردید که حلالیت نمک پتاسیم دی‌هیدروژن‌فسفات در آب مغناطیسی و آب معمولی تفاوت چندانی ندارد، اما این اختلاف برای نمک پتاسیم کربنات زیاد است به‌طوری که حلالیت پتاسیم کربنات در آب معمولی به شدت بیشتر از آب مغناطیسی است. در مورد نمک آمونیوم کلرید، نتیجه کاملاً عکس است و حلالیت آمونیوم کلرید در آب مغناطیسی بیشتر از آب معمولی است که علت آن می‌تواند به دلیل به وجود آمدن پیوندهای هیدروژنی بین لایه‌ای توسط یون آمونیوم باشد. در یک آزمایش، برای سنتز پروپارژیل آمین‌ها در آب، از آب مغناطیسی استفاده شد و مشاهده گردید که حلالیت آمین‌ها نسبت به حالت عادی بیشتر می‌شود که این باعث افزایش بازده واکنش می‌گردد [19].

بررسی میزان حلالیت گاز اکسیژن در آب مغناطیسی و آب معمولی

نوع، ساختار، قطبیت و جرم مولکولی یک گاز بر میزان انحلال پذیری آن‌ها در آب بسیار موثر است. مولکول‌های گاز قطبی‌تر به میزان بیشتری در آب حل می‌شوند. بدلیل اهمیت میزان حلالیت گاز اکسیژن در آب، بررسی حلالیت آن مورد بررسی قرار گرفت.

برای اندازه‌گیری مقدار اکسیژن حل‌شده در آب مغناطیسی و آب معمولی، از کیت آزمایشی تتراکیت (ساخت کشور آلمان) استفاده شد و پس از آزمایش نورسنجی، مشاهده گردید که حلالیت اکسیژن در آب مغناطیسی نسبت به آب معمولی اندکی بیشتر است. شاید پارامغناطیس بودن اکسیژن و همچنین اربیتال مولکولی اکسیژن در بروز این نتیجه موثر باشد. یک ساختار پارامغناطیس که دارای ویژگی‌های مغناطیسی است در یک حلال مغناطیسی شده حلالیت بیشتری دارد.



شکل 1. طرح واکنشگاه مغناطیسی کردن آب.

جدول 1. گرانروی آب مقطر و آب مغناطیسی

آب مقطر		آب مغناطیسی	
زمان ریزش (ثانیه)	دما (^oC)	زمان ریزش (ثانیه)	دما (^oC)
4/82	70	4/83	75
5/09	61	4/78	65
5/39	49	4/75	52
5/55	39	5/23	45
6/06	24	5/28	35

جدول 2. ضریب شکست آب مغناطیسی و آب معمولی

آب معمولی		آب مغناطیسی	
ضریب شکست	دما (^oC)	ضریب شکست	دما (^oC)
1/3430	26	1/3430	26
1/3430	36	1/3430	35
1/3425	50	1/3425	50
1/3424	60	1/3420	60
1/3423	70	1/3420	71

جدول 3. بررسی حلالیت آب مغناطیسی و معمولی با نمک‌های مختلف (گرم بر لیتر)

نمک	آب معمولی	آب مغناطیسی
پتاسیم کربنات	1/914	1/59
پتاسیم دی‌هیدروژن‌فسفات	0/794	0/726
آمونیم کلراید	1/432	1/632

بررسی تغییرات pH در آب مغناطیسی و آب معمولی

تغییرات pH نیز می‌تواند به عنوان معیاري براي بررسي تغییرات ساختاری در مولکول آب و پیوندهای هیدروژنی مورد ارزیابی قرارگیرد. در این بررسی، تغییرات pH آب توسط دستگاه پی‌اچ سنج کاناوِی در دماهای مختلف اندازه گیری شد. نتایج نشان داد که اسیدیته آب مغناطیسی از آب معمولی کمتر است و با افزایش دما اختلاف میان آنها بیشتر می‌شود (شکل 2).

علت این مشاهده، وجود یک ساختار منظم و صفحه‌ای است که در آن مولکول‌های آب با پیوندهای هیدروژنی بین خوشه‌ای در ساختارهای شش ضلعی کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند. هیدروژن‌ها همزمان نقش دهنده و گیرنده الکترونی را بازی می‌کنند که از یک سو به‌واسطه یک پیوند کووالانسی و از سوی دیگر به‌واسطه یک نیروی جاذبه کولنی در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند. این امر موجب می‌شود که خصلت یونی پیوند اکسیژن و هیدروژن کاهش یافته و اسیدیته آن کم شود. به عبارت دیگر، جدا شدن هیدروژن به صورت یونی سخت‌تر انجام می‌شود. در حالی که در ساختار کلوئیدی آب معمولی، این حالت وجود ندارد و خصلت یونی پیوند اکسیژن-هیدروژن بیشتر و در نتیجه خصلت اسیدی آب معمولی از آب مغناطیسی بیشتر است.

بررسی ویژگی‌های نوری آب مغناطیسی و آب معمولی

برای بررسی ویژگی‌های نوری آب مغناطیسی و آب معمولی، طیف‌های جذبی زیرقرمز تبدیل فوریه و فرابنفش گرفته شد. در طیف فرابنفش آب مغناطیسی و آب معمولی تفاوت خاصی مشاهده نگردید، اما در طیف‌های جذبی زیرقرمز، برخی از نوارها تضعیف یا ناپدید و نوارهای جدیدی مشاهده گردید.

در مقایسه طیف‌های زیرقرمز آب معمولی و مغناطیسی دو تفاوت وجود دارد:

1- نوارهای موجود در ناحیه $2923\ cm^{-1}$ و 2853 احتمالا به علت آلودگی هیدروکسید می‌باشند که در آب معمولی دیده می‌شود، ولی در آب مغناطیسی به دلیل بلورینه‌شدن برخی از فلزات مثل کلسیم به همراه آنیون‌هایی مثل هیدروکسید و کربنات، این نوارها بسیار تضعیف‌شده و یا دیده نمی‌شوند.

2- در ناحیه $1700\ cm^{-1}$، نوار جدیدی در طیف آب مغناطیسی نسبت به آب معمولی دیده می‌شود که وجود این نوار جدید را به انتقال فاز آب از یک ساختار کروی پیچیده نامنظم (آب معمولی) به یک ساختار صفحه‌ای منظم نسبت می دهیم. شاید به وجود آمدن این نوار جدید، بر اثر انتقال فاز ساختاری به علت یک ارتعاش خمشی در کل صفحه آب مغناطیسی باشد که این ارتعاش ویژه یک ساختار است (شکل 3).

بررسی تاثیر آب مغناطیسی بر روی توانایی اکسایش-کاهش چند گونه الکتروفعال

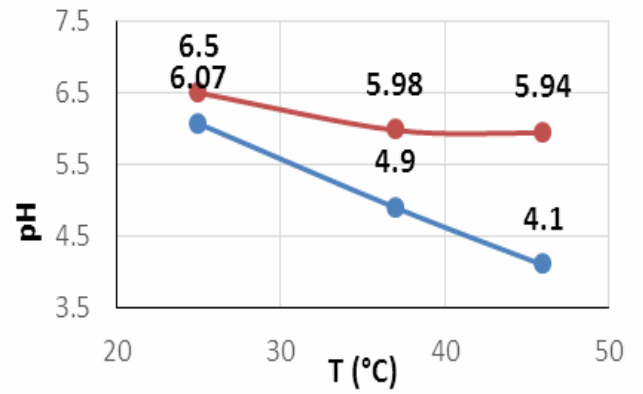
پس از تایید مغناطیسی شدن آب در سامانه واکنشگاه چرخه‌ای مغناطیسي، انتظار می‌رود آب مغناطیسی‌شده بر جریان و توانایی اکسایش-کاهش گونه‌های الکتروفعال تاثیرگذار باشد. بدین منظور، آزمایش‌هایی طراحي و دو گونه الکتروفعال بنزن‌سلنیل‌کلرید و 2-هیدروکسی‌فنل برای بررسی توانایی اکسایش-کاهش آن‌ها انتخاب گردید. بررسی رفتار اکسایشی و کاهشی محلول 0/01 مولار از 2-هیدروکسی فنول به روش ولتامتری چرخه‌ای در محلول آبی بافر فسفات (pH برابر هفت و غلظت 0/2 مولار) در سطح الکترود شیشه‌ای کربن با سرعت روبش 100 میلی‌ولت بر ثانیه و دمای 25 درجه سانتی‌گراد، در حضور آب مغناطیسی و آب مقطر در شکل 4 نشان داده شده‌است.

انتقال‌های الکترونی کتکول در سطح الکترود در حلال‌های بی‌پروتون مثل کلروفرم و اتیل استات با انتقال‌های الکترونی در حلال‌های پروتونی مثل آب متفاوت است. از آنجا که آب در تبادل‌های الکترونی کتکول نقش دارد ولی حلال‌های بی‌پروتون خیر، بنابراین اگر کلروفرم و یا اتیل استات مغناطیسی شوند، روی تسهیل انتقال‌های الکترونی تاثیری نخواهند داشت. انجام ازمایش در آب مغناطیسی، منجر به افزایش جزیی در مقدار جریان شد ولی جابه‌جایی در توانایی اکسایش-کاهش کتکول مشاهده نگردید. در ادامه، رفتار اکسایشی و کاهشی ترکیب بنزن‌سلنیل‌کلرید بررسی شد. بدین منظور، محلولی 0/01 مولار از این ماده در محلول آبی بافر استات (pH برابر چهار و غلظت 0/2 مولار) و حلال استونیتریل/آب (50/50) با آب مغناطیسی و آب مقطر تهیه و مورد بررسی قرار گرفت (شکل 5).

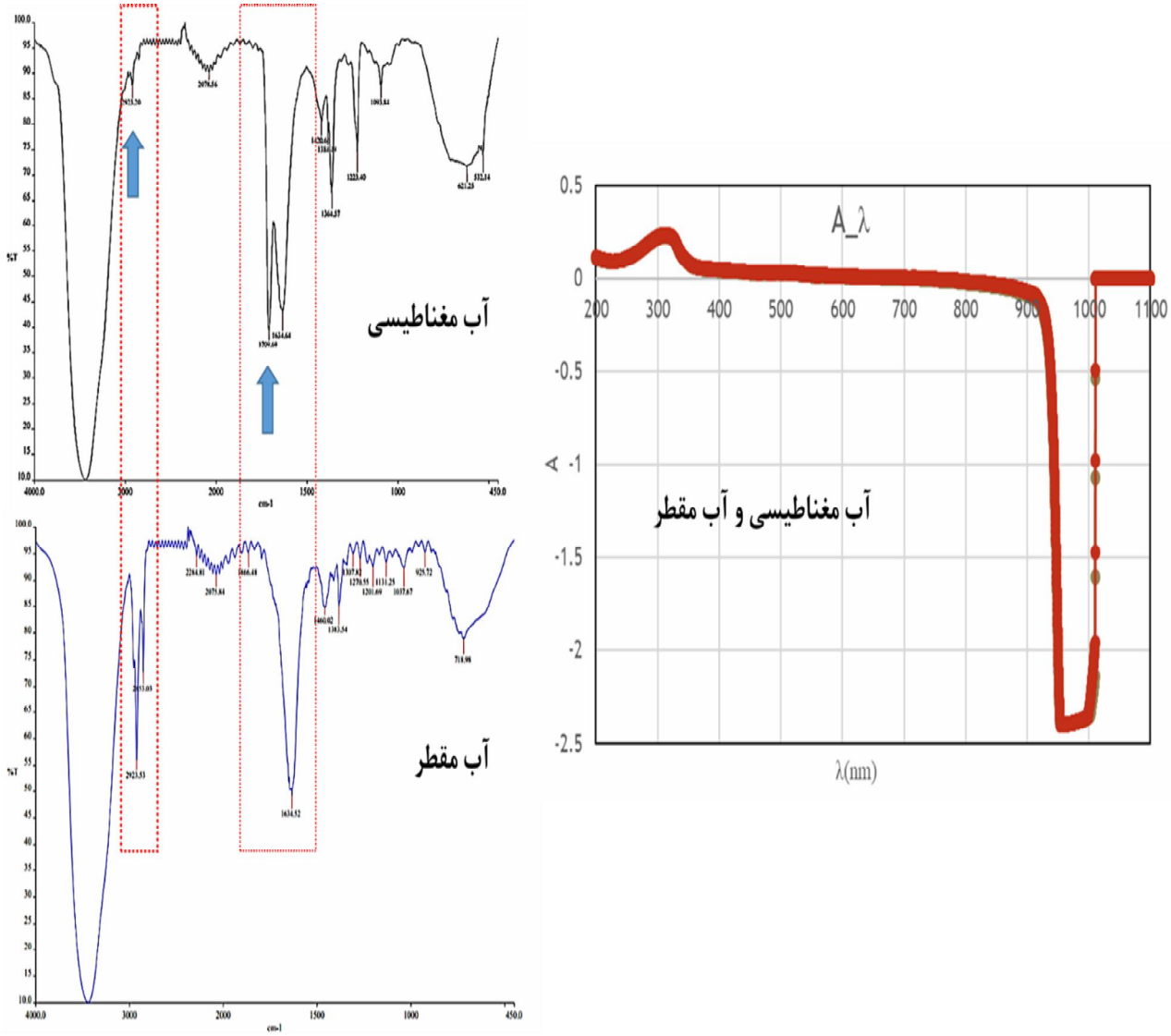
ولتاموگرام چرخه‌ای محلول 0/01 مولار بنزن‌سلنیل‌کلرید در بافر استات با pH برابر 4 در سطح الکترود شیشه‌ای کربن با سرعت روبش 100 میلی‌ولت بر ثانیه و دمای 25 درجه سانتی‌گراد نشان داد که توانایی اکسایش این ترکیب تحت تاثیر آب مغناطیسی به سمت پتانسیل‌های مثبت جابه‌جا و در نتیجه سخت‌تر اکسید می‌شود و هم چنین شاهد کاهش جریان خواهیم بود. به طور کلی، آب در تبادل‌های الکترونی کتکول نقش دارد. کتکول در هنگام اکسایش دو الکترون و دو پروتون از دست می‌دهد که آب به عنوان پذیرنده پروتون، آنها را دریافت و به یون هیدرونیوم تبدیل می‌شود. در نیم‌واکنش برگشت، کینون تولیدشده، دو الکترون و دو پروتون دریافت می‌کند که بازهم پروتون‌ها را از آب دریافت می‌کند و به همین علت، می توان گفت آب و آرایش آب مغناطیسی با مورفولوژی آب مغناطیسی در اطراف الکترود قرار می گیرند در این فرایند تاثیر گذار خواهند بود.

نتیجه‌گیري

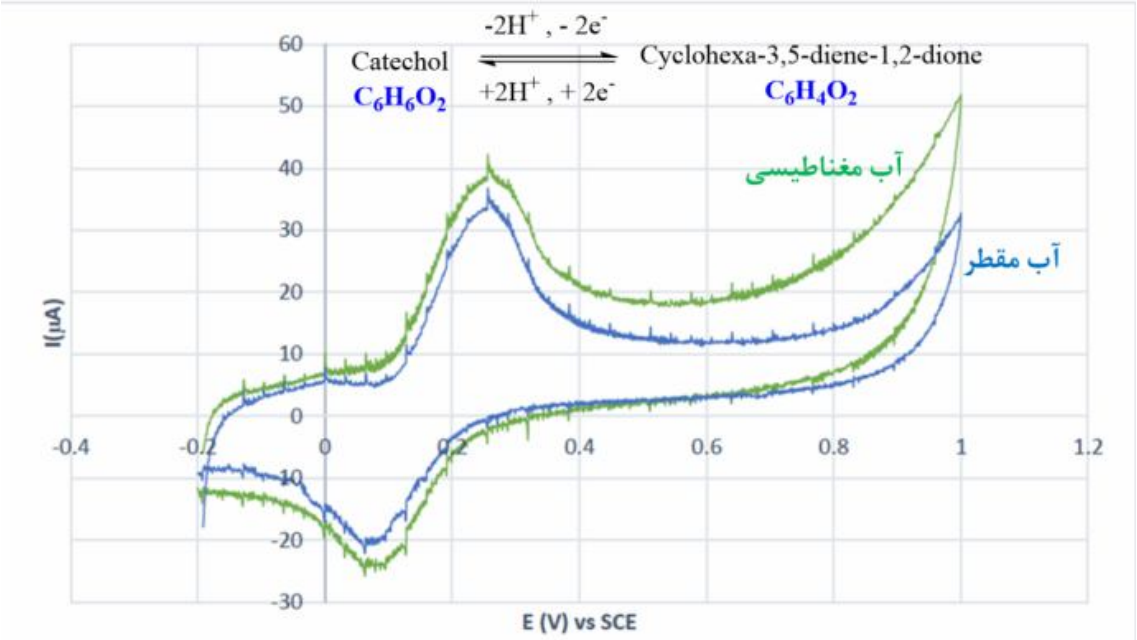
در تحقیق ارایه شده، ابتدا آب مقطر بوسیله یک واکنشگاه مغناطیسی چرخه‌ای به صورت مغناطیسی در آمد. در ادامه خواص آب مغناطیسی تهیه‌شده در مقایسه با آب مقطر ارزیابی شد. بر اساس نتایج بدست‌آمده، تغیراتی در خواص فیزیکی آب مغناطیسی مانند تغییر pH، حلالیت اکسیژن، گرانروی، جذب امواج زیرقرمز و فرابنفش، ضریب شکست و حلالیت مشاهده گردید. سپس به مطالعه بر روی واکنش‌های اکسایش-کاهش برخی ترکیب‌های آروماتیک مانند بنزن‌سلنیل‌کلراید و 2-هیدروکسی‌فنل (کتکول) پرداخته شد. نتایج بدست آمده نشان داد آب مغناطیسی می‌تواند تغییراتی در شرایط اکسایشی و کاهشی ترکیب‌های آروماتیک به‌وجود آورد و اکسایش ترکیبی را سخت‌تر یا راحت تر نماید. این بررسی‌ها ما را بر آن داشت تا به یک فرضیه جدید برسیم. در این فرض می توان تصور کرد که ساختار کروی شکل نامنظم آب که شامل پیوندهای هیدروژنی درون خوشه‌ای نامنظمی نیز می باشد، به یک ساختار صفحه‌ای منظم تبدیل می‌شود. از این رو می توان گفت چه قفس حلال آب مغناطیسی نسبت به قفسه حلال آب معمولی شامل یک خاموش کمتر می‌باش د و حدس زده می‌شود که مولکول‌های حل شده در آب، در قفس



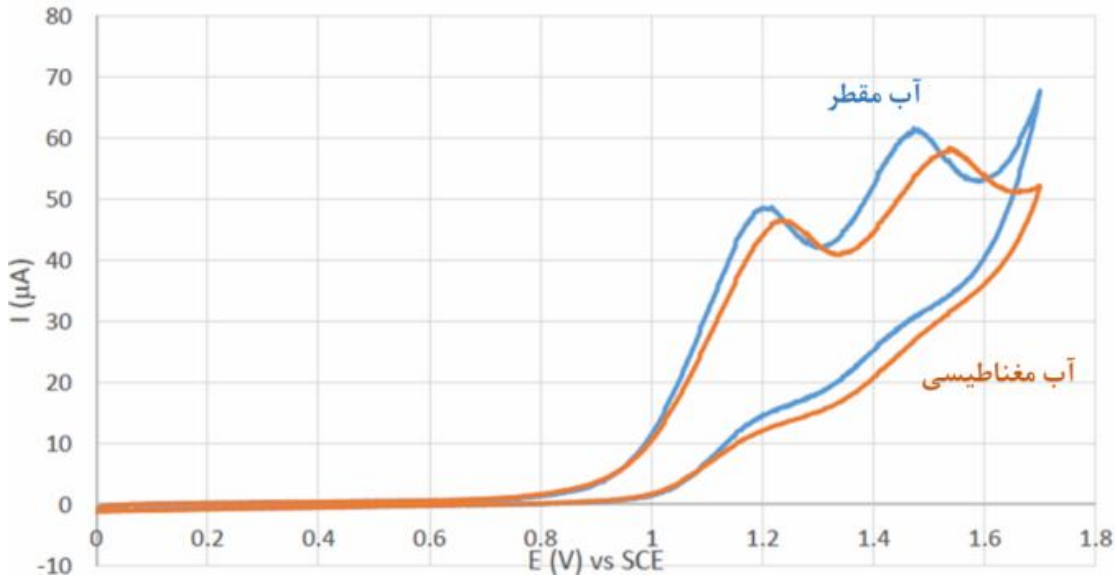
شکل 2. نمودار تغییرات pH در آب مغناطیسی و آب معمولی (رنگ قرمز آب مغناطیسی و رنگ آبی آب معمولی).



شکل 3. طیف‌های جذبی زیرقرمز تبدیل فوریه و فرابنفش آب مغناطیسی و آب معمولی.



شکل 4. منحنی ولتامتری چرخه‌ای اکسایشی کاهشی کتکول.



شکل 5. منحنی ولتامتری چرخه‌ای اکسایشی کاهشی کتکول.

حلال آب مغناطیسی، آزادی بیشتری را نسبت به آب معمولی تجربه می کنند.

سپاسگزاري

نویسندگان کمال تشکر و قدردانی را از حمایت های مادی و معنوی دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی دارند.

مراجع

1) X. Pang, B. Deng, Science in China Series G-Physics, Mechanics and Astronomy 51 (2008) 1621,.
2) E. Esmaeilnezhad, H.J. Choi. M. Schaffie, M. Gholizadeh, M. Ranjbar, Journal of Cleaner

Production 161 (2017) 908.
3) O. Mosin, I. Ignatov, Eur. J. Mol. Biotechnol. 2 (2014) 72.
4) X. Liu, H. Zhu, S. Meng, S. Bi, Y. Zhang, H. Wang, C. Song, F. Ma, Acta Physiologiae Plantarum 41 (2019) 11.
5) S.H. Abd-Elrahman, O.A. Shalaby, Response of Wheat Plants to Irrigation with Magnetized Water under Egyptian Soil Conditions, 2017.
6) S. Mahmood, M. Usman, J. Agricul. Sci. Technol. 16 (2014) 47.
7) P.A. Augusto, T. Castelo-Grande, L. Merchan, A. M. Estevez, X. Quintero, D. Barbosa, Sci. Total Environ. 648 (2019) 636.
8) B.M. Raafat, S.S. Al-Shehri, S. Alamri, A. Hassan, B.H. El-Esawy, G. Nabil, Int. J. Med. Res. Prof. 3 (2017) 15.
9) S. Ghorbani, S. Ghorbani, Z. Tao, J. De Brito, M. Tavakkolizadeh, Construction and Building Materials 197 (2019) 280.
10) S. Zhang, W. Wei, J. Zhang, Y. Mao, S. Liu, Analyst 127 (2002) 373.
11) جمشيد هاشمي، مغناطيس درماني، انتشارات تجسم خلاق، چاپ سوم (1386) صفحه 174.
12) a) G. Vasilevski, Blug. J. Plant Physiol. 29 (2003) 179; b) V. Khakyzadeh, R. Luque, M.A. Zolfigol, H. Rezaei Vahidian, H. Salehzadeh, V. Moradi, A.R. Soleymani, A.R. Moosavi-Zare, K. Xu, RSC Adv. 5 (2015) 3917.
13) F. Dhawi, J.M. AL-Khayri, E. Hassan, Res. J. Agricul. Biol. Sci. 5 (2009) 161.
14) A. Aladjadjiyan, J. Central Eur. Agricul. 8 (2007) 369.
15) N.Y. Su, Y.-H. Wu, C.-Y. Mar, Cement Concrete Res. 30 (2000) 599.
16) E. Kordyum, M. Sobol, A. Kalinina, N. Bogatin, A. Kondrachuk, Adv. Space Res. 39 (2007) 1210.
17) Journal of Magnetism and Magnetic Materials 209 (2000) 71-74 Magnetic Water Treatment J.M.D. Coey*, Stephen Cass Physics Department, Trinity College, Dublin 2, Ireland.
18) K.-T. Chang, C.-I. Weng, J. Appl. Phys. 100 (2006) 043917.
19) M. Bakherad, F. Moosavi, R. Doosti, A. Keivanloo, M. Gholizadeh, New J. Chem. 42 (2018) 4559.