

## The Effect of Static and Dynamic Magnetic Fields on Some Chemical Properties of Pomegranate Arils

BEHNAM ALAEI<sup>1</sup>, REZA AMIRI CHAYJAN<sup>1\*</sup>, HASSAN SARIKHANI<sup>2</sup>

1. Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

2. Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

(Received: June. 18, 2019- Revised: Aug. 3, 2019- Accepted: Aug. 25, 2019)

### ABSTRACT

No study has been reported about magnetic fields effects on properties of agricultural products in the postharvest stage. In this research a static and dynamic magnetic fields apparatus was fabricated and then the field effects with magnetic flux densities of 2784 and 8240 G and magnetic time of 1 and 12 h on total soluble solids, pH, total antioxidant capacity and total phenolic compounds of pomegranate arils were investigated. Between chemical indicators, the effect of magnetic field on the total antioxidant capacity of pomegranate arils was significant. Dynamic magnetic field with flux density of 8240 G and time of 1 h caused %13/32 increase in antioxidant capacity. But magnetic time of 12 h caused %11/08 decrease in antioxidant capacity. Finally the effect of dynamic magnetic field was more than static magnetic field and magnetic flux density of 8240 G was more than 2784 G.

**Keywords:** Magnetic field, Total antioxidant capacity, Total phenolic compounds

---

\* Corresponding Author's Email: [amirireza@basu.ac.ir](mailto:amirireza@basu.ac.ir)

## بررسی تأثیر میدان‌های مغناطیسی استاتیک و دینامیک بر برخی ویژگی‌های شیمیایی حبه‌ی انار

بهنام علائی<sup>۱</sup>، رضا امیری چایجان<sup>۱\*</sup>، حسن ساریخانی<sup>۲</sup>

۱. گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

۲. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۳/۲۸ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۵/۱۲ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۶/۳)

### چکیده

تاکنون تحقیقی در زمینه بررسی اثر میدان مغناطیسی بر ویژگی‌های محصولات کشاورزی در مرحله پس‌از برداشت دیده نشده است. در این پژوهش، یک دستگاه مغناطیس با قابلیت ایجاد میدان‌های استاتیک و دینامیک ساخته شد و سپس تأثیر آن با چگالی شار مغناطیسی ۲۷۸۴ و ۸۲۴۰ گاوس در زمان مغناطیسی شدن یک و ۱۲ ساعت بر درصد مواد جامد در محلول، pH، ظرفیت آنتی‌اکسیدان کل و ترکیبات فنولی کل حبه‌های انار بررسی شد. در بین شاخص‌های شیمیایی، تأثیر میدان مغناطیسی بر ظرفیت آنتی‌اکسیدان کل حبه‌های انار معنی‌دار بود. به طوری که میدان مغناطیسی دینامیک با شدت ۸۲۴۰ گاوس در زمان مغناطیسی شدن یک ساعت، سبب افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدان کل حبه‌های انار به میزان ۱۳/۳۲٪ شد. در صورتی که در زمان مغناطیسی شدن ۱۲ ساعت، سبب کاهش آن به میزان ۱۱/۰۸٪ گردید. با در نظر گرفتن نتایج، تأثیر میدان مغناطیسی دینامیک از میدان مغناطیسی استاتیک و تأثیر چگالی شار مغناطیسی ۸۲۴۰ گاوس از ۲۷۸۴ گاوس بیشتر بود.

**واژه‌های کلیدی:** میدان مغناطیسی، ظرفیت آنتی‌اکسیدان کل، ترکیبات فنولی کل

### مقدمه

مطالعات نشان می‌دهد وقتی آب در معرض میدان مغناطیسی قرار می‌گیرد برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن مانند کشش سطحی، گرانیوی، وزن مخصوص، قابلیت هدایت الکتریکی، حلالیت، ضریب شکست نور و غیره تغییر می‌کند (Pang and Deng, 2008). در صورتی که آب تحت یک میدان مغناطیسی با قدرت مناسب قرار گیرد نحوه آرایش یون‌های آب شامل کاتیون‌ها و آنیون‌ها از حالت بی‌نظم به حالت منظم درآمده و نوع پیوند بین اتم‌های اکسیژن و هیدروژن از حالت مثلثی به شکل خطی تغییر می‌کنند، در نتیجه بار الکتریکی مولکول‌های آب در این شرایط نسبت به آب معمولی متفاوت خواهد بود و ضمن تشکیل مولکول‌های کوچک‌تر با آرایش منظم باعث افزایش تعداد مولکول‌ها در واحد حجم می‌گردد (Krems, 2004).

مطالعات متعددی در مورد تأثیر میدان مغناطیسی بر خواص مختلف آب مانند زاویه تماس، کشش سطحی، گرانیوی، هدایت الکتریکی، خاصیت اسیدی آب، pH، نرخ و سینتیک تبخیر آب انجام شده است (Tipole et al., 2018; Pour et al., 2017; Esmailnezhad et al., 2017; Rashid et al., 2013; Guo et al., 2012; Szczes et al., 2011; Niu et al., 2011; Cai et al., 2009; Pang and Deng, 2008; Toledo et al., 2008; Holysz et al., 2007; Amiri, 2006).

پژوهش‌هایی در مورد تأثیر میدان مغناطیسی بر خواص محصولات کشاورزی انجام شده است که عبارتند از: اثر میدان مغناطیسی بر نرخ جوانه زنی و رشد بذر (Florez et al., 2007)، تأثیر آب مغناطیسی بر کشت گندم، نخود و کرفس (Hozayn and Qados, 2010; Maheshwari and Grewal, 2009)، اثر میدان مغناطیسی بر سرعت جوانه‌زنی و رشد ریشه‌های بذر آفتابگردان (Vashisth and Nagarajan, 2010)، عملکرد گیاه سویا در میدان مغناطیسی (Radhakrishnan and Kumari, 2012)، بررسی میدان مغناطیسی با شدت کم بر رشد رز هیبریدا (Gremiaux et al., 2016)، تحریک به‌وسیله میدان مغناطیسی قبل از کاشت برای افزایش جوانه زنی، رشد نهال و عملکرد محصول (Sudsiri et al., 2016; Iqbal et al., 2017; 2017)، بهبود متابولیسم سویا تحت تنش شوری با درمان میدان مغناطیسی بذر (Baghel et al., 2016)، افزایش کیفیت دانه‌های نخود سبز به‌وسیله پالس میدان مغناطیسی (Bhardwaj et al., 2016)، اثر آب مغناطیسی بر جوانه‌زنی و رشد گیاه نخل روغن (Sudsiri et al., 2016)، بهبود جوانه‌زنی و ویژگی‌های رشد ذرت و سویا با درمان مغناطیسی بذر (Kataria et al., 2017)، اثر آب مغناطیسی بر جوانه‌زنی بذر (Krishnaraj et al., 2017)، استانداردسازی میدان مغناطیسی برای افزایش صفات جوانه زنی ذرت (Vashisth and Joshi, 2017).

پوشاندن میوه های انار با چند لایه کاغذ به منظور حفظ رطوبت اولیه در یخچال با دمای  $4 \pm 1$  °C نگهداری شد.

### میدان مغناطیسی

برای انجام آزمایش ها، یک دستگاه آزمایشگاهی که میدان های استاتیک و دینامیک را ایجاد کند طراحی و ساخته شد (شکل ۱). برای ایجاد میدان مغناطیسی از آهنرباهای دائمی از جنس نئودیمیوم با چگالی شار مغناطیسی ۱۳۳۰۰ گاوس به شکل استوانه به قطر ۶۰ mm و به ارتفاع ۱۰ mm استفاده شد. برای افزایش هم راستایی خطوط میدان چهار عدد از این آهنرباها به یکدیگر متصل شدند و در محفظه رو بازی از جنس پلاستیک فشرده که برای این کار طراحی و ساخته شده بود قرار گرفتند، سپس محفظه در جایگاه تعیین شده روی شاسی دستگاه نصب گردید. برای دوبرابر شدن چگالی شار مغناطیسی و افزایش یکنواختی خطوط میدان، چهار عدد آهنربای دیگر با محفظه ی مشابه به شکل قرینه در بالای محفظه اول روی ریل متحرک نصب شد. مکانیزمی ساخته و نصب گردید تا بتوان فاصله بین محفظه ها را تعیین کرد. چگالی شار مغناطیسی به وسیله تسلا متر (ساخت شرکت ماگنا، مدل MG-701، کشور ژاپن) با درجه تفکیک ۱ گاوس اندازه گیری شد.

برای انجام فرآیند القای مغناطیسی، سیستمی طراحی و ساخته شد که امکان حرکت رفت و برگشتی برای ورود و خروج نمونه ها از میدان با دامنه و بسامد مورد نظر وجود داشته باشد. قابلیت های دستگاه ساخته شده عبارتند از: الف- ایجاد میدان های مغناطیسی استاتیک و دینامیک با قابلیت تنظیم چگالی شار مغناطیسی بر حسب گاوس (به دلیل استفاده از آهنرباهای دائمی برای تنظیم چگالی شار مغناطیسی باید فاصله نمونه ها از میدان قابل تنظیم باشد) و ب- تعیین دامنه و بسامد حرکت نمونه ها.

### طرح آزمایش برای شاخص های شیمیایی

در این مطالعه، متغیرهای مستقل شامل: میدان مغناطیسی استاتیک و دینامیک در تمام آزمایش ها با میدان مغناطیسی استاتیک (نمونه ها در داخل میدان در زمان مغناطیسی شدن ساکن بودند) و در میدان مغناطیسی دینامیک (نمونه ها با بسامد ۰/۴Hz از میدان مغناطیسی با سرعت خطی ۰/۲۲۶ m/s) مغناطیسی شدند. چگالی شار مغناطیسی در دو سطح ۲۷۸۴ و ۸۲۴۰ گاوس و زمان های مغناطیسی شدن یک و ۱۲ ساعت بر پایه نتایج تحقیقات اثر میدان های مغناطیسی بر آب و گیاهان انتخاب گردید. مغناطیسی شدن در دمای  $18 \pm 3$  °C و در شرایط تاریک انجام شد (Gremiaux et al., 2016; Vashisth and Nagarajan, 2010; Florez et al., 2007). متغیرهای وابسته

انار درختچه ای متعلق به خانواده پونیکاسه است که دارای سابقه ی کشت چند هزارساله بوده و یکی از قدیمی ترین میوه های است که به طور گسترده در بسیاری از کشورهای گرمسیری و نیمه گرمسیری کشت می شود. ایران در بین کشورهای تولیدکننده، جایگاه اول سطح زیر کشت و بالاترین میزان تولید در جهان را دارد. این میوه به دلیل داشتن خواص ضدباکتریایی، ضد التهاب و دارابودن عوامل آرام بخش در طب سنتی مورد استفاده قرار می گیرد (Melgarejo et al., 2000). انار حاوی آنتی-اکسیدان هایی از جمله ویتامین C، ویتامین E، بتا کاروتن و آنتوسیانین ها است که برای قلب، مغز، استخوان ها و به طور کلی سلامت انسان مفید می باشد. انار سرشار از ترکیبات بیوفعال از جمله پلی فنل ها و فلاونوئیدها است که قدرت آنتی اکسیدانی قابل توجهی دارند (Cristofori et al., 2011).

تأثیر میدان مغناطیسی روی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی آب اثبات شده است. همچنین قسمت قابل توجهی از محصول های کشاورزی را آب تشکیل می دهد و هرگونه تغییر در آن می تواند روی ویژگی های ساختاری محصول اثر بگذارد. با این وجود تاکنون هیچ گونه تحقیقی در زمینه بررسی اثرات میدان های مغناطیسی بر ویژگی های محصولات کشاورزی در دوره ی پس از برداشت انجام نگرفته و رفتار مغناطیسی محصول های کشاورزی مطالعه نشده است. به منظور بررسی اثر میدان مغناطیسی بر ویژگی های شیمیایی محصول های کشاورزی پس از برداشت با توجه به شرایط و محدودیت های میدان مغناطیسی ساخته شده، نیاز به محصولی با شرایط زیر بود:

از درصد قابل توجهی آب تشکیل شده باشد، اندازه آن تا حد امکان کوچک باشد تا بتوان شار مغناطیسی بزرگ تری بر آن اعمال کرد، برای مقایسه نتایج نمونه ها به هم شبیه باشند، محصول حاوی درصد بالایی ترکیبات آنتی اکسیدانی و فنولی باشد، دارای درصد قابل توجهی املاح، مواد معدنی و ویتامین ها باشد و امکان حفظ محصول طی آزمایش ها با کمترین تغییر شیمیایی وجود داشته باشد. با توجه به موارد ذکر شده، حبه ی انار گزینه مناسبی برای انجام این پژوهش بود. برای این منظور اهداف این تحقیق عبارتند از: بررسی تأثیر میدان های مغناطیسی استاتیک و دینامیک روی برخی ویژگی های شیمیایی (شامل: مواد جامد در محلول، pH، ظرفیت آنتی اکسیدانی کل و میزان ترکیبات فنولی کل).

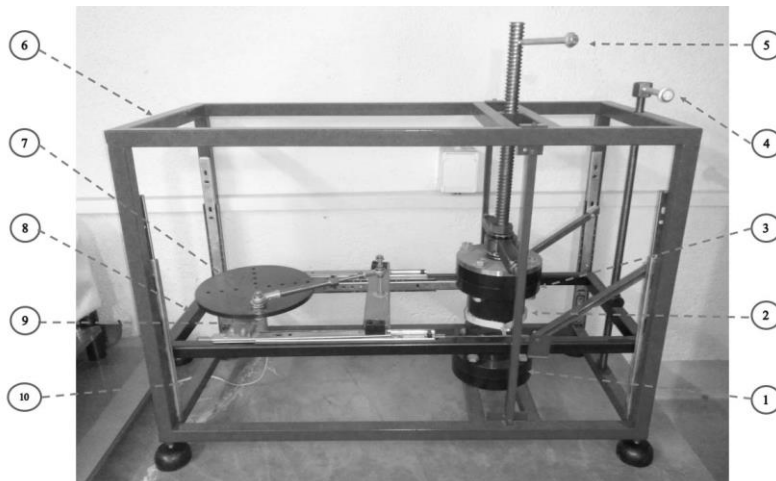
### مواد و روش ها

#### تهیه و آماده سازی نمونه ها

انار رقم ملس ساوه از باغی در شهرستان ساوه تهیه شد و پس از

آزمون شاپیرو ویلک در نرم افزار، نرمال بودن داده ها مشخص شد. مقایسه میانگین ها به روش دانکن انجام گردید. تیمارهای مورد استفاده در آزمایش ها با ترکیب متغییرهای نوع میدان مغناطیسی (M)، چگالی شار مغناطیسی (B) و زمان مغناطیسی شدن (t) در جدول ۱ نشان داده شده است.

شامل: مواد جامد در محلول (TSS)، pH، ظرفیت آنتی اکسیدانی کل و میزان ترکیبات فنولی کل در نظر گرفته شدند. آزمایش ها به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی انجام شد. داده ها به کمک نرم افزار SPSS نسخه ۱۹ مورد تحلیل قرار گرفت. برای بررسی نرمال بودن داده ها ابتدا چولگی و کشیدگی داده ها به وسیله نرم افزار SPSS آزمون گردید. سپس به وسیله



شکل ۱- نمای کلی دستگاه میدان مغناطیسی ساخته شده (۱- محفظه ی پایین، ۲- ظرف نمونه، ۳- محفظه ی بالا، ۴- تنظیم موقعیت ظرف نمونه، ۵- تنظیم شدت میدان، ۶- شاسی ثابت، ۷- تنظیم دامنه و بسامد حرکت نمونه ها در میدان، ۸- شاسی متحرک، ۹- موتور DC و ۱۰- منبع تغذیه DC)

جدول ۱- تیمارهای مورد استفاده در آزمایش های شیمیایی

تیمار	زمان مغناطیسی شدن (h)	چگالی شار میدان مغناطیسی (گاوس)	نوع میدان مغناطیسی
$M_1 B_1 t_1$	۱	۲۷۸۴	استاتیک
$M_1 B_1 t_2$	۱۲	۲۷۸۴	استاتیک
$M_1 B_2 t_1$	۱	۸۲۴۳	استاتیک
$M_1 B_2 t_2$	۱۲	۸۲۴۳	استاتیک
$M_2 B_1 t_1$	۱	۲۷۸۴	دینامیک
$M_2 B_1 t_2$	۱۲	۲۷۸۴	دینامیک
$M_2 B_2 t_1$	۱	۸۲۴۳	دینامیک
$M_2 B_2 t_2$	۱۲	۸۲۴۳	دینامیک

مقادیر F جدول برای درجه آزادی صورت کسر یک و مخرج کسر ۱۶ در سطح معنی داری ۱٪ و ۵٪ به ترتیب ۸/۵۳ و ۴/۴۹ می باشد.

مغناطیسی در محل خود قرار گرفت و پتری دیش دیگر به عنوان نمونه شاهد در فاصله حدود دو متری با شرایط نوری و دمایی مشابه قرار داده شد. پس از اتمام فرآیند مغناطیسی شدن، هر سری از نمونه های شاهد و مغناطیسی در یک پتری دیش دربار تا زمان انجام آزمایش ها در دمای  $4 \pm 1^\circ C$  در یخچال نگهداری شدند. آزمایش بر روی نمونه ها، ۴۸ ساعت بعد از شروع زمان مغناطیسی شدن انجام شد (Santacatalina et al., 2015; Escobedo-Avellaneda et al., 2014; AOAC. 2002).

#### آماده سازی نمونه ها

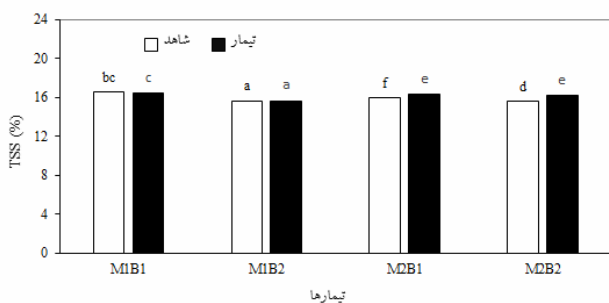
برای هر آزمایش یک انار حبه شد و حبه های مشابه (از نظر شکل، رنگ و اندازه) انتخاب و در یک ظرف به آرامی هم زده شد. سپس شش سری نمونه در حدود ۲۰ گرمی به صورت تصادفی انتخاب گردید. سه سری به عنوان نمونه های مغناطیسی و سه سری به عنوان نمونه های شاهد در جایگاه های مشابه در دو پتری دیش قرار گرفتند و درب آن ها برای جلوگیری از تماس حبه ها با هوای آزاد بسته شد. پتری دیش نمونه های مغناطیسی پس از تنظیم دستگاه

مغناطیسی شدن در سطح ۵٪ معنی دار شد (جدول ۲).  
جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثر میدان های مغناطیسی بر درصد

تغییر TSS آب حبه های انار			
F	میانگین مربعات	درجه آزادی	منابع تغییرات
۱۲/۵۸۶	۲۹/۷۰۴ **	۱	نوع میدان مغناطیسی (M)
۱۶/۶۶۲	۳۹/۳۲۲ **	۱	چگالی شار مغناطیسی (B)
۰/۳۹۷	۰/۹۳۶ ns	۱	زمان مغناطیسی شدن (t)
۶/۷۵۵	۱۵/۹۴۱ *	۱	M × B
۰/۸۴۱	۱/۹۸۴ ns	۱	M × t
۶/۶۷۲	۱۵/۷۴۶ *	۱	B × t
۰/۰۰۲	۰/۰۰۵ ns	۱	M × B × t
	۲/۳۶	۱۶	خطا
	۰/۰۲۵		CV

ns غیر معنی دار، \* و \*\* به ترتیب بیانگر اثرات معنی داری در سطح ۵ و ۱ درصد

نتایج مشابهی برای مقدار TSS نمونه های شاهد آب حبه - های انار رقم ملس در تحقیقی بدون تاثیر میدان مغناطیسی گزارش شده است (Valipour, 2012). میانگین مقدار TSS نمونه - های شاهد و مغناطیسی هر تیمار در شکل ۲ نشان داده شده است. انحراف معیار میانگین TSS نمونه های شاهد ۰/۴۶۷ و نمونه های مغناطیسی ۰/۳۹۹ بدست آمد. درصد تغییر TSS نمونه های مغناطیسی نسبت به نمونه های شاهد در تیمارهای مختلف در محدوده ی بین ۰/۹۱-٪ مربوط به تیمار  $M_1B_1$  تا ۳/۸۶٪ مربوط به تیمار  $M_2B_2$  قرار گرفتند.



شکل ۲- نمودار میانگین TSS آب حبه های انار مربوط به نمونه های شاهد و مغناطیسی در تیمارهای مختلف

TSS نشان دهنده ی درصد مواد جامد در محلول است که اثر میدان های مغناطیسی در تیمارهای مختلف ممکن است سبب تغییر حلالیت آب انار و به تبع آن میزان مواد جامد حل شده در آن شود. اما ثابت شده است که میدان های مغناطیسی تأثیر قابل توجهی بر اندازه ی ذرات تشکیل دهنده ی محلول دارد (Parsons et al., 1997)

در دو تیمار  $M_2B_1$  و  $M_2B_2$  مربوط به میدان مغناطیسی دینامیک مقدار TSS به میزان قابل توجهی افزایش یافت. علت

### روش اندازه گیری مواد جامد در محلول (TSS)

آب هر نمونه گرفته شد و پس از عبور از پارچه توری برای اندازه - گیری مواد جامد در محلول و pH مورد استفاده قرار گرفت. میزان مواد جامد در محلول با استفاده از رفرآکٹومتر دیجیتال (ساخت شرکت Kruss، مدل DR101-60، کشور آلمان) با درجه بریکس ۱/۰<sup>۹</sup> اندازه گیری شد.

### روش اندازه گیری pH

pH هر نمونه با استفاده از دستگاه pH متر (ساخت شرکت Metrohm، مدل 827Ph Lab، کشور سوئیس) با درجه تفکیک ۰/۰۱ اندازه گیری شد. در هر نوبت اندازه گیری، ابتدا دستگاه با بافرهای چهار و هفت کالیبره گردید. سپس الکترودهای دستگاه پس از خشک شدن درون آب میوه قرار داده شد. هنگامی که عدد نمایش داده شده ثابت گردید، میزان pH ثبت گردید.

### روش اندازه گیری ظرفیت آنتی اکسیدانی کل

ظرفیت آنتی اکسیدانی کل با استفاده از روش دی پی پی اچ اندازه - گیری شد (Montero et al., 2005). جذب نمونه ها در این روش در طول موج ۵۱۵ نانومتر با دستگاه طیف سنج (ساخت شرکت واریان، مدل کری ۱۰۰، ساخت آمریکا) تعیین گردید. درصد بازدارندگی نمونه ها با استفاده از رابطه ی (۱) محاسبه گردید.

$$\text{رابطه (۱)} = \left(1 - \left(\frac{A_0}{A_1}\right)\right) \times 100 = \text{درصد مهارکنندگی دی پی پی اچ}$$

در این رابطه  $A_0$  جذب نمونه در دقیقه صفر و  $A_1$  جذب نمونه در دقیقه ۳۰ می باشد.

### روش اندازه گیری ترکیبات فنولی کل

برای اندازه گیری ترکیبات فنولی کل از معرف فولین - سیوکالته استفاده شد (Alkaya et al., 2019). جذب نوری هر نمونه در طول موج ۷۶۵ نانومتر با دستگاه طیف سنج خوانده شد و پس از مقایسه با منحنی استاندارد اسید گالیک، مقدار فنول کل محاسبه گردید.

### نتایج و بحث

#### اثر میدان های مغناطیسی بر میزان (TSS) حبه های انار

برای بررسی اثر میدان های مغناطیسی بر TSS آب حبه های انار، درصد تغییر TSS نمونه های مغناطیسی نسبت به نمونه های شاهد هر تیمار محاسبه و مورد تحلیل آماری قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که نوع میدان مغناطیسی و چگالی شار مغناطیسی در سطح ۱٪ همچنین اثر متقابل نوع میدان × چگالی شار مغناطیسی و اثر متقابل چگالی شار مغناطیسی × زمان

درصد تغییر pH نمونه‌های مغناطیسی نسبت به نمونه‌های شاهد در تیمارهای مختلف در محدوده‌ی بین ۰/۵۸- تا ۰/۵۶٪ مربوط به تیمار  $M_1B_1t_2$  تا ۰/۵۶٪ مربوط به تیمار  $M_2B_2t_1$  قرار گرفتند. اثر میدان‌های مغناطیسی در تیمارهای مختلف بر میزان pH متفاوت است. در صورت تأثیر میدان بر یون‌های آب انار و بازگرداندن به حالت اولیه مولکول‌های آب، یون‌های مثبت و منفی به یک میزان کاهش خواهند یافت، بنابراین میزان pH کاهش یا افزایش پیدا نمی‌کند. میدان‌های مغناطیسی تغییر قابل توجهی در میزان pH آب حبه‌های انار نداشتند.

**اثر میدان مغناطیسی بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل حبه‌های انار**  
برای بررسی اثر میدان‌های مغناطیسی بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل حبه‌های انار، درصد تغییر میزان آنتی‌اکسیدانی نمونه‌های مغناطیسی نسبت به نمونه‌های شاهد در هر تیمار محاسبه و مورد تحلیل آماری قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل نوع میدان × چگالی شار مغناطیسی × زمان مغناطیسی شدن، اثر متقابل نوع میدان × زمان مغناطیسی شدن، اثر متقابل چگالی مغناطیسی × زمان مغناطیسی شدن، اثر اصلی چگالی شار مغناطیسی و زمان مغناطیسی شدن در سطح ۱٪ معنی‌دار است (جدول ۴).

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس اثر میدان‌های مغناطیسی بر تغییر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل حبه‌های انار

F	میانگین مربعات	درجه آزادی	منابع تغییرات
۱/۰۸۴	۱۰/۰۲۳ <sup>NS</sup>	۱	نوع میدان مغناطیسی (M)
۱۱/۵۹۳	۱۰۷/۲۳۱ <sup>**</sup>	۱	چگالی شار مغناطیسی (B)
۶۶/۱۳۶	۶۱۱/۷۵۷ <sup>**</sup>	۱	زمان مغناطیسی شدن (t)
۱/۷۹۳	۱۶/۵۸۳ <sup>NS</sup>	۱	M × B
۳۳/۷۴۳	۳۱۲/۱۲۱ <sup>**</sup>	۱	M × t
۷/۲۹	۶۷/۴۳۶ <sup>**</sup>	۱	B × t
۹/۰۶۱	۸۳/۸۱۳ <sup>**</sup>	۱	M × B × t
	۹/۲۵	۱۶	خطا
	۰/۰۷۴		CV

ns غیر معنی‌دار، \* و \*\* به ترتیب بیانگر اثرات معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد

میزان آنتی‌اکسیدانی کل اندازه‌گیری شده برای نمونه‌های شاهد حبه‌های انار با میزان گزارش شده برای این محصول بدون تأثیر میدان مغناطیسی مطابقت دارد (Valipour, 2012). میانگین آنتی‌اکسیدانی کل نمونه‌ها شاهد و مغناطیسی هر تیمار در شکل ۴ نشان داده شده است. انحراف معیار میانگین آنتی‌اکسیدانی کل نمونه‌های شاهد ۲/۷۶۱ و نمونه‌های مغناطیسی ۴/۸۰۱ بود. اثر میدان‌های مغناطیسی بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل حبه‌های

این پدیده ممکن است تأثیر میدان مغناطیسی دینامیک بر افزایش حلالیت آب انار باشد. علت افزایش مقدار TSS با افزایش زمان مغناطیسی شدن ممکن است به علت شکسته شدن ذرات جامد در محلول به قطعات کوچکتر باشد. مشابه این پدیده در تصفیه آب مشاهده شده است (Grewal and Maheshwari, 2011).

#### اثر میدان مغناطیسی بر میزان pH حبه‌های انار

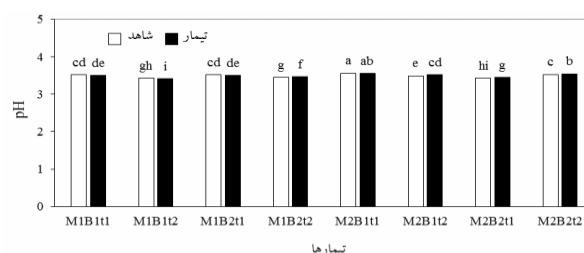
برای بررسی اثرات میدان‌های مغناطیسی بر pH آب حبه‌های انار، درصد تغییر pH نمونه‌های مغناطیسی نسبت به نمونه‌های شاهد در هر تیمار محاسبه و مورد تحلیل آماری قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر نوع میدان مغناطیسی، چگالی شار مغناطیسی و زمان مغناطیسی شدن در سطح ۱٪ همچنین اثر متقابل نوع میدان × چگالی شار مغناطیسی × زمان مغناطیسی شدن در سطح ۵٪ معنی‌دار شد (جدول ۳).

میزان pH اندازه‌گیری شده برای نمونه‌های شاهد آب حبه‌های انار با میزان گزارش شده برای این محصول بدون تأثیر میدان مغناطیسی توسط دیگر محققین مطابقت دارد (Valipour, 2012). میانگین مقدار pH نمونه‌های شاهد و مغناطیسی هر تیمار در شکل ۳ نشان داده شده است. انحراف معیار میانگین pH نمونه‌های شاهد ۰/۰۴۹ و نمونه‌های مغناطیسی ۰/۰۴۸ بود. تفاوت اندک بین pH نمونه‌های شاهد می‌تواند ناشی از میزان رسیدگی انارها باشد (Jamalizadeh et al., 2011).

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس اثر میدان‌های مغناطیسی بر درصد تغییر pH آب حبه‌های انار

F	میانگین مربعات	درجه آزادی	منابع تغییرات
۱۷/۰۸۳	۲/۴۷۷ <sup>**</sup>	۱	نوع میدان مغناطیسی (M)
۱۷/۳۵۲	۲/۵۱۶ <sup>**</sup>	۱	چگالی شار مغناطیسی (B)
۱۰/۰۳۴	۱/۴۵۵ <sup>**</sup>	۱	زمان مغناطیسی شدن (t)
۰/۱۸۶	۰/۰۲۷ <sup>NS</sup>	۱	M × B
۱/۸۶۹	۰/۲۷۱ <sup>NS</sup>	۱	M × t
۱/۹۵۹	۰/۲۸۴ <sup>NS</sup>	۱	B × t
۵/۴۳۴	۰/۷۸۸ <sup>*</sup>	۱	M × B × t
	۰/۱۴۵	۱۶	خطا
	۰/۰۱۵		CV

ns غیر معنی‌دار، \* و \*\* به ترتیب بیانگر اثرات معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد



شکل ۳. نمودار میانگین pH آب حبه‌های انار مربوط به نمونه‌های شاهد و مغناطیسی در تیمارهای مختلف

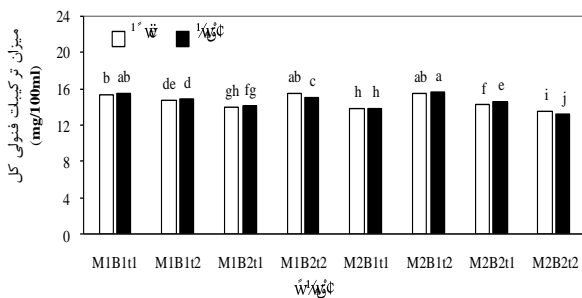
حبه های انار، درصد تغییر میزان ترکیبات فنولی نمونه های مغناطیسی نسبت به نمونه های شاهد در هر تیمار محاسبه و مورد تحلیل آماری قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل نوع میدان × چگالی شار مغناطیسی × زمان مغناطیسی شدن در سطح ۱٪ همچنین اثر متقابل چگالی شار مغناطیسی × زمان مغناطیسی شدن در سطح ۵٪ معنی دار شد (جدول ۵).

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس اثر میدان های مغناطیسی بر تغییر

F	ترکیبات فنولی کل حبه های انار		منابع تغییرات
	میانگین مربعات	درجه آزادی	
۰/۴۴۷	۲/۷۹۵ <sup>ns</sup>	۱	نوع میدان مغناطیسی (M)
۰/۸۵۳	۵/۳۳ <sup>ns</sup>	۱	چگالی شار مغناطیسی (B)
۲/۹۳۲	۱۸/۳۲۳ <sup>ns</sup>	۱	زمان مغناطیسی شدن (t)
۰/۶۶۵	۴/۱۵۸ <sup>ns</sup>	۱	M × B
۰/۰۰۶	۰/۰۳۶ <sup>ns</sup>	۱	M × t
۵/۸۹۲	۳۶/۸۲۸ <sup>*</sup>	۱	B × t
۱۳/۴۱	۸۳/۸۱۳ <sup>**</sup>	۱	M × B × t
	۶/۲۵۱	۱۶	خطا
		۰/۰۵۷	CV

ns غیر معنی دار، \* و \*\* به ترتیب بیانگر اثرات معنی داری در سطح ۵ و ۱ درصد

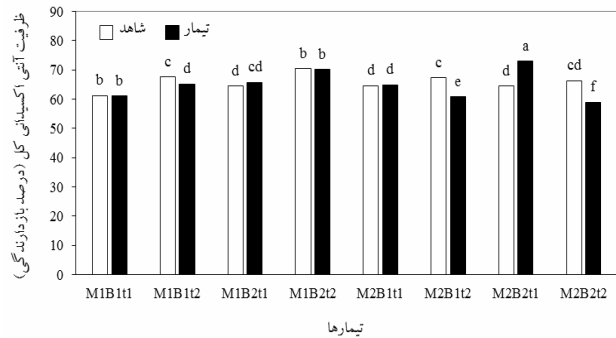
میزان ترکیبات فنولی اندازه گیری شده برای نمونه های شاهد حبه های انار با میزان گزارش شده برای این محصول بدون تاثیر میدان مغناطیسی مطابقت دارد (Valipour, 2012). میانگین مقدار ترکیبات فنولی نمونه های شاهد و مغناطیسی هر تیمار در شکل ۵ نشان داده شده است. انحراف معیار میانگین ترکیبات فنولی کل نمونه های شاهد ۰/۸۲۱ و نمونه های مغناطیسی ۰/۸۳۲ بدست آمد.



شکل ۵- نمودار میانگین تغییر ترکیبات فنولی کل حبه های انار مربوط به نمونه های شاهد و مغناطیسی در تیمارهای مختلف

درصد تغییر ترکیبات فنولی نمونه های مغناطیسی نسبت به نمونه های شاهد در تیمارهای مختلف در محدوده ی بین ۱/۸۵-

انار قابل توجه است. اثر میدان های مغناطیسی در تیمارهای مختلف سبب کاهش و افزایش میزان آنتی اکسیدان کل شده اند. درصد تغییر آنتی اکسیدانی کل نمونه های مغناطیسی نسبت به نمونه های شاهد در تیمارهای مختلف در محدوده ی بین ۱/۰۸- ٪ مربوط به تیمار M<sub>2</sub>B<sub>2</sub>t<sub>2</sub> تا ۱۳/۳۲ ٪ مربوط به تیمار M<sub>2</sub>B<sub>2</sub>t<sub>1</sub> قرار گرفت.



شکل ۴- نمودار میانگین تغییر ظرفیت آنتی اکسیدانی کل حبه های انار مربوط به نمونه های شاهد و مغناطیسی در تیمارهای مختلف

در شدت های پایین میدان های مغناطیسی و زمان های کم مغناطیسی شدن تفاوت چندانی به وجود نیامد، که ممکن است شرایط کافی برای مغناطیسی شدن فراهم نشده باشد. با افزایش شدت میدان مغناطیسی و زمان مغناطیسی شدن اختلاف بین نمونه های شاهد و مغناطیسی به میزان قابل توجهی افزایش یافت. با توجه به مفید بودن ترکیبات آنتی اکسیدانی، بهترین تاثیر در تیمار M<sub>2</sub>B<sub>2</sub>t<sub>1</sub> و بدترین تاثیر در تیمار M<sub>2</sub>B<sub>2</sub>t<sub>2</sub> ایجاد شد. از آنجا که هر دو تیمار مربوط به میدان مغناطیسی دینامیک با شدت میدان بالا هستند و تنها زمان مغناطیسی شدن متفاوت بود، این نتیجه حاصل می شود که زمان مغناطیسی شدن در میدان های مغناطیسی دینامیک بر تغییر ظرفیت آنتی اکسیدانی کل حبه های انار بسیار اهمیت دارد. نتایج مشابهی توسط دیگر محققان گزارش شده است: در تحقیقی تاثیر میدان مغناطیسی بر رشد ریز جلبک-ها با خواص غذایی و دارویی متعدد بررسی شد، نتایج نشان داد که قرار گرفتن در معرض میدان های مغناطیسی، با افزایش ظرفیت آنتی اکسیدانی برای محافظت از سلول ها به طور موثر سبب افزایش رشد گیاه شد. در تحقیقی دیگر تاثیر میدان مغناطیسی با چگالی شار T ۱/۵ به مدت ۳۰ دقیقه بر ظرفیت آنتی اکسیدان کل خون مرد بررسی شد و افزایش ظرفیت آنتی اکسیدانی کل خون مشاهده گردید (Wang et al., 2008; Sirmatel et al., 2007).

اثر میدان مغناطیسی بر ترکیبات فنولی کل حبه های انار برای بررسی اثرات میدان های مغناطیسی بر ترکیبات فنولی کل

### نتیجه‌گیری

با در نظر گرفتن مجموع نتایج، تأثیر میدان مغناطیسی دینامیک بر حبه‌های انار از میدان مغناطیسی استاتیک بیشتر بود. در بین شاخص‌های شیمیایی، تأثیر میدان مغناطیسی بر ظرفیت آنتی-اکسیدانی کل حبه‌های انار معنی‌دار بود. به طوری که میدان مغناطیسی دینامیک با چگالی شار مغناطیسی ۸۲۴۰ گاوس، در زمان مغناطیسی‌شدن یک ساعت سبب افزایش ظرفیت آنتی-اکسیدان کل حبه‌های انار به میزان ۱۳/۳۲٪ شد. در صورتی که همین میدان در زمان مغناطیسی‌شدن ۱۲ ساعت سبب کاهش آن به میزان ۱۱/۰۸٪ گردید.

٪ مربوط به تیمار  $M_2B_2t_2$  تا ۲/۵۳٪ مربوط به تیمار  $M_2B_2t_1$  قرار گرفتند. اثر میدان‌های مغناطیسی بر ترکیبات فنولی کل حبه‌های انار میزان قابل توجهی نیست به جز تیمارهای  $M_2B_2t_1$  و  $M_2B_2t_2$  که به ترتیب اثر میدان مغناطیسی سبب افزایش و کاهش میزان ترکیبات فنولی شد و همانند تأثیر میدان‌های مغناطیسی بر ترکیبات آنتی‌اکسیدان حبه‌های انار می‌توان نتیجه گرفت زمان مغناطیسی‌شدن طولانی اثر منفی بر ترکیبات فنولی حبه‌های انار داشت. در تحقیقی دیگر مدت زمان مغناطیسی‌شدن پروتئین‌های محلول در آب تأثیر معنی‌داری بر ساختار آن‌ها داشت (Zhong and Wakayama, 2001).

### REFERENCES

- AOAC. 2002. Official Methods of Analysis. Method Number 934.06, Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA.
- Amiri, M. C. (2006). Efficient separation of bitumen in oil sand extraction by using magnetic treated process water. *Separation and Purification Technology*, 47(3), 126-134.
- Alkaya, D. B., Seyhan, S. A., & Ozturk, B. N. (2019). Influence of extraction method on antioxidant properties of Rheum ribes root extract. *Ovidius University Annals of Chemistry*, 30(1), 44-47.
- Baghel, L., Kataria, S., & Guruprasad, K. N. (2016). Static magnetic field treatment of seeds improves carbon and nitrogen metabolism under salinity stress in soybean. *Bioelectromagnetics*, 37(7), 455-470.
- Bhardwaj, J., Anand, A., Pandita, V. K., & Nagarajan, S. (2016). Pulsed magnetic field improves seed quality of aged green pea seeds by homeostasis of free radical content. *Journal of Food Science and Technology*, 53(11), 3969-3977.
- Cai, R., Yang, H., He, J., & Zhu, W. (2009). The effects of magnetic fields on water molecular hydrogen bonds. *Journal of Molecular Structure*, 938(1-3), 15-19.
- Cristofori, V., Caruso, D., Latini, G., Dell'Agli, M., Cammilli, C., Rugini, E., ... & Muleo, R. (2011). Fruit quality of Italian pomegranate (*Punica granatum* L.) autochthonous varieties. *European Food Research and Technology*, 232(3), 397-403.
- Escobedo-Avellaneda, Z., Gutiérrez-Urbe, J., Valdez-Fragoso, A., Torres, J.A. and Welti-Chanes, J., 2014. Phytochemicals and antioxidant activity of juice, flavedo, albedo and comminuted orange. *Journal of Functional Foods*, 6, pp.470-481.
- Esmailnezhad, E., Choi, H. J., Schaffie, M., Gholizadeh, M., & Ranjbar, M. (2017). Characteristics and applications of magnetized water as a green technology. *Journal of Cleaner Production*, 161, 908-921.
- Flórez, M., Carbonell, M. V., & Martínez, E. (2007). Exposure of maize seeds to stationary magnetic fields: Effects on germination and early growth. *Environmental and Experimental Botany*, 59(1), 68-75.
- Grewal, H. S., & Maheshwari, B. L. (2011). Magnetic treatment of irrigation water and snow pea and chickpea seeds enhances early growth and nutrient contents of seedlings. *Bioelectromagnetics*, 32(1), 58-65.
- Guo, Y. Z., Yin, D. C., Cao, H. L., Shi, J. Y., Zhang, C. Y., Liu, Y. M., ... & Qian, A. R. (2012). Evaporation rate of water as a function of a magnetic field and field gradient. *International Journal of Molecular Sciences*, 13(12), 16916-16928.
- Ghodbane, S., Lahbib, A., Sakly, M., & Abdelmelek, H. (2013). Bioeffects of static magnetic fields: oxidative stress, genotoxic effects, and cancer studies. *BioMed Research International*, 2013.
- Grémiaux, A., Girard, S., Guérin, V., Lothier, J., Baluška, F., Davies, E., ... & Vian, A. (2016). Low-amplitude, high-frequency electromagnetic field exposure causes delayed and reduced growth in *Rosa hybrida*. *Journal of Plant Physiology*, 190, 44-53.
- Holysz, L., Szczes, A., & Chibowski, E. (2007). Effects of a static magnetic field on water and electrolyte solutions. *Journal of Colloid and Interface Science*, 316(2), 996-1002.
- Hozayn, M., & Qados, A. A. (2010). Magnetic water application for improving wheat (*Triticum aestivum* L.) crop production. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 1(4), 677-682.
- Iqbal, M., ul Haq, Z., Malik, A., Ayoub, C. M., Jamil, Y., & Nisar, J. (2016). Pre-sowing seed magnetic field stimulation: a good option to enhance bitter gourd germination, seedling growth and yield characteristics. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 5, 30-37.
- Jamalizadeh, M., Etebarian, H. R., Aminian, H., & Alizadeh, A. (2011). A review of mechanisms of action of biological control organisms against post-harvest fruit spoilage. *EPPO Bulletin*, 41(1), 65-71.
- Krems, R. V. (2004). Breaking van der Waals molecules with magnetic fields. *Physical Review*



- Letters*, 93(1), 013201.
- Kataria, S., Baghel, L., & Guruprasad, K. N. (2017). Pre-treatment of seeds with static magnetic field improves germination and early growth characteristics under salt stress in maize and soybean. *Biocatalysis and agricultural biotechnology*, 10, 83-90.
- Krishnaraj, C., Yun, S. I., & VK, A. K. (2017). Effect of Magnetized Water (Biotron) on Seed Germination of Amaranthaceae Family. *Journal of Academia and Industrial Research (JAIR)*, 5(10), 152.
- Rashid, F. L., Hassan, N. M., Mashot, J. A., & Hashim, A. (2013). Increasing water evaporation rate by magnetic field. *International Science and Investigation Journal*, 2(3), 61-68.
- Melgarejo, P., Salazar, D. M., & Artes, F. (2000). Organic acids and sugars composition of harvested pomegranate fruits. *European Food Research and Technology*, 211(3), 185-190.
- Montero, P., Giménez, B., Pérez-Mateos, M., & Gómez-Guillén, M. (2005). Oxidation stability of muscle with quercetin and rosemary during thermal and high-pressure gelation. *Food Chemistry*, 93(1), 17-23.
- Maheshwari, B. L., & Grewal, H. S. (2009). Magnetic treatment of irrigation water: Its effects on vegetable crop yield and water productivity. *Agricultural water Management*, 96(8), 1229-1236.
- Niu, X., Du, K., & Xiao, F. (2011). Experimental study on the effect of magnetic field on the heat conductivity and viscosity of ammonia-water. *Energy and Buildings*, 43(5), 1164-1168.
- Pour, A. N., Karimi, J., Taghipoor, S., Gholizadeh, M., & Hashemian, M. (2017). Fischer-Tropsch synthesis over CNT-supported cobalt catalyst: effect of magnetic field. *Journal of the Iranian Chemical Society*, 14(7), 1477-1488.
- Parsons, S. A., Judd, S. J., Stephenson, T., Udol, S., & Wang, B. L. (1997). Magnetically augmented water treatment. *Process safety and Environmental Protection*, 75(2), 98-104.
- Radhakrishnan, R., & Kumari, B. D. R. (2012). Pulsed magnetic field: a contemporary approach offers to enhance plant growth and yield of soybean. *Plant Physiology and Biochemistry*, 51, 139-144.
- Santacatalina, J.V., Fissore, D., Cárcel, J.A., Mulet, A. and García-Pérez, J.V., 2015. Model-based investigation into atmospheric freeze drying assisted by power ultrasound. *Journal of Food Engineering*, 151, pp.7-15.
- Sirmatel, Ö., Sert, C., Sirmatel, F., Selek, S., & Yokus, B. (2007). Total antioxidant capacity, total oxidant status and oxidative stress index in the men exposed to 1.5 T static magnetic field. *General Physiology and Biophysics*, 26(2), 86.
- Szczęś, A., Chibowski, E., Hołysz, L., & Rafalski, P. (2011). Effects of static magnetic field on water at kinetic condition. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 50(1), 124-127.
- Sudsiri, C. J., Nattawat, A., Kongchana, P. B., & Ritchie, R. J. (2016). Effect of magnetically treated water on germination and seedling growth of oil palm (*Elaeis guineensis*). *Seed Science and Technology*, 44(2), 267-280.
- Sudsiri, C. J., Jumba, N., Kongchana, P., & Ritchie, R. J. (2017). Stimulation of oil palm (*Elaeis guineensis*) seed germination by exposure to electromagnetic fields. *Scientia Horticulturae*, 220, 66-77.
- Toledo, E. J., Ramalho, T. C., & Magriotis, Z. M. (2008). Influence of magnetic field on physical-chemical properties of the liquid water: Insights from experimental and theoretical models. *Journal of Molecular Structure*, 888(1-3), 409-415.
- Tipole, P., Karthikeyan, A., Bhojwani, V., Deshmukh, S., Tipole, B., Shinde, K., & Vikhe, A. (2018). Performance analysis of vapour compression water chiller with magnetic flux at the condenser exit. *Energy and Buildings*, 158, 282-289.
- Valipour, M. (2012). Effect of Gibberellic Acid on Growth and Rigidity of Pomegranate Cultivar of Malass Yazdi. MSc Thesis of Horticultural Sciences, Agricultural Faculty, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran. (In Farsi)
- Vashisth, A., & Nagarajan, S. (2010). Effect on germination and early growth characteristics in sunflower (*Helianthus annuus*) seeds exposed to static magnetic field. *Journal of Plant Physiology*, 167(2), 149-156.
- Vashisth, A., & Joshi, D. K. (2017). Growth characteristics of maize seeds exposed to magnetic field. *Bioelectromagnetics*, 38(2), 151-157.
- Wang, H. Y., Zeng, X. B., Guo, S. Y., & Li, Z. T. (2008). Effects of magnetic field on the antioxidant defense system of recirculation-cultured *Chlorella vulgaris*. *Bioelectromagnetics: Journal of the Bioelectromagnetics Society, The Society for Physical Regulation in Biology and Medicine, The European Bioelectromagnetics Association*, 29(1), 39-46.
- Pang, X. F., & Deng, B. (2008). The changes of macroscopic features and microscopic structures of water under influence of magnetic field. *Physica B: Condensed Matter*, 403(19-20), 3571-3577.
- Zhong, C., & Wakayama, N. I. (2001). Effect of a high magnetic field on the viscosity of an aqueous solution of protein. *Journal of Crystal Growth*, 226(2-3), 327-332.