





پوهنتون جوزجان
معاونیت تحقیقات و مجله علمی
آمریت مجله علمی

دیده علوم طبیعی-تحقیقی
طبیعی و انجینیری
علمی-خبرنیزه مجله

دوره ۳، شماره ۱ (مسلسل ۴)، بهار و تابستان ۱۴۰۴

حوزه فعالیت
علوم طبیعی و انجینیری

مجله علمی-تحقیقی دیدگاه علوم طبیعی و انجینیری

دوره ۳، شماره ۱ (مسلسل ۴)، بهار و تابستان ۱۴۰۴

صاحب امتیاز: پوهنتون جوزجان

مدیر مسئول: پوهندوی دوکتور عبدالبصیر محمودزاده

سردبیر بخش علوم طبیعی: پوهنمل دوکتور ظهیرالحق مصباح

سردبیر بخش علوم انجینیری: پوهنمل سید نقیب الله هاشمی

اعضای هیأت تحریر

بخش علوم انجینیری

پوهاند محمد هاشم صدیقی

پوهاند مسعود حقبین

پوهنوال محمدی طغیان

پوهندوی محمد معروف شریفی

پوهندوی شیرعلی ابراهیمی

پوهنمل عبدالحکیم حکیمی

پوهنمل نقیب الله صافی

بخش علوم طبیعی

پوهاند عبدالقیوم رجبی

پوهنوال سید سرور یقوبی

پوهندوی غلام نبی عادل

پوهندوی عبدالجبار ثقیف

پوهنمل دوکتور عبدالودود مخلص

پوهنمل نوید رهیاب رسولی

پوهنیار شعیب حامد

معاون تحقیقات و مجله علمی: پوهنوال دوکتور محمد اکرم حکیم

آمر مجله علمی: پوهنمل محمد علم عدیل

مدیر عمومی مجله: یار محمد فیضی

مدیر نشریه مجله علمی: حیت مراد یولداش

دیزاین: آمریت مجله علمی

تعداد صفحات: ۱۰۳

تیراژ: ۱۰۰ جلد

قطع: وزیری

سال تأسیس: ۱۴۰۲ هـ ش

ناشر: پوهنتون جوزجان

محل چاپ: شبرغان

مسئولیت صحت مطالب مقالات با نویسندگان است.

کلیه حقوق چاپ و نشر این اثر برای پوهنتون جوزجان محفوظ است. نقل مطالب با ذکر مأخذ
بلامانع است.

ایمیل: sj.didgah@gmail.com - sj.didgah@ju.edu.af

صفحه انترنتی: <https://ju.edu.af>

شماره‌های تماس: +۹۳۷۸۱۶۰۰۵۳ / +۹۳۷۶۶۴۱۴۳۴۵

آدرس: جوزجان، شبرغان، پوهنتون جوزجان، آمریت مجله علمی

راهنمای نویسندگان

- مجله علمی - تحقیقی دیدگاه علوم طبیعی و انجینیری در رشته‌های انجینیری و علوم طبیعی، مقالات تحقیقی استادان و محققین محترم را که قبلاً در مجلات علمی دیگر به چاپ نرسیده و یا برای نشر به آن‌ها ارسال نشده باشد، برای بررسی و داوری پذیرفته و در صورت تأیید، به ترتیب اولویت وصول، چاپ می‌کند. تحقیقاتی که در سمینارها و کنفرانس‌های علمی ارائه گردیده و یا در چارچوب گزارش‌های ماهانه، سالانه و مانند آن منتشر شده باشد، در این مجله قابل بررسی و چاپ نمی‌باشد.
- مسئولیت مقاله و ترتیب نام نویسندگان (با داشتن موافقت کتبی آنان «تعهدنامه») بر عهده شخصی (نویسنده مسئول)، است که مقاله را برای مجله ارسال می‌کند و تمام مکاتیب با وی انجام خواهد شد. همچنین، محصلان می‌توانند مقالات علمی خویش را غرض چاپ با موافقت کتبی استاد رهنما ارسال نمایند.
- مقاله‌های قابل چاپ در این مجله شامل مقالات تحقیقی و مروری در زمینه علوم طبیعی و انجینیری است که با داوری مرورگران، هیأت تحریر، مدیر مسئول و سردبیر پذیرفته می‌شوند.

توضیحات لازم و ضروری در زمینه تهیه و ارسال مقاله

- مقاله‌ها باید به‌شکل الکترونیکی به‌صورت نسخه Word از طریق ایمیل مجله ارسال شوند.
- مقالات باید به‌صورت یک‌ستونی با حفظ ۲۵۴ سانتی‌متر حاشیه از چهار سمت بالا، پایین، راست و چپ (Normal)؛ با فاصله سطور ۱۰۱۵ سانتی‌متر و با فونت‌های فارسی Bahij Zar یا B Nazanin و انگلیسی Times New Roman با تمام مشخصات، شکل‌ها، منحنی‌ها، فورمول‌ها و جدول‌ها حداکثر در ۷۵۰۰ کلمه، تهیه و ارسال گردند.
- فایل اصلی مقاله بدون نام نویسندگان جهت داوری برای مرورگران ارسال می‌گردد.
- شکل‌ها، منحنی‌ها و جدول‌ها با کیفیت عالی تهیه شوند؛ طوری که بتوان مستقیماً از آن‌ها در چاپ استفاده کرد. لازم است هر شکل با یک زیرنویس و هر جدول با یک سرنویس شماره‌بندی شده و در آن توضیحات کافی داده شود. اطلاعات زیرنویس شکل‌ها و سرنویس جدول‌ها گویا باشند.
- متن انگلیسی هر بخش از متن فارسی آن دو اندازه کوچکتر باشد.
- همه صفحات مقاله، جدول‌ها و شکل‌ها شماره‌گذاری شوند. همچنین، تمام اشکال و جدول‌ها باید فارسی باشند.

برای ارسال مقاله به‌صورت الکترونیکی، مراحل زیر لازم است:

- ✓ تکمیل فورم (تعهدنامه) مقاله و مشخصات نویسندگان؛
- ✓ ارسال مقاله به‌صورت کامل به ایمیل آدرس‌های sj.didgah@ju.edu.af / sj.didgah@gmail.com
- ✓ تأیید نهایی مقاله برای آغاز بررسی؛
- ✓ چگونگی پذیرش یا اصلاح خوردگی (Comment) مقاله به اطلاع نویسنده مسئول که با علامه ستاره در لیست نویسندگان مشخص می‌شود، خواهد رسید.

ترتیب و شرح قسمت‌های مختلف مقاله

مقالات ارسالی شامل عنوان، چکیده و کلمات کلیدی به زبان اصلی و انگلیسی، مقدمه، مواد و روش، یافته‌ها و نتایج، مناقشه (بحث)، نتیجه‌گیری، پیشنهادات (اختیاری)، سپاس‌گزاری (اختیاری) و منابع مورد استفاده به سبک APA باشد.

صفحه مشخصات مقاله: این قسمت در یک صفحه مجزا، معرف عنوان مقاله، اسم، تخلص، رتبه علمی، دیپارتمنت، پوهنخی، پوهنتون، شهر، کشور، ایمیل آدرس و آرکید نمبر نویسنده یا نویسندگان مقاله و همچنین تمامی این مشخصات با چکیده فارسی و انگلیسی به ترتیب به صورت فارسی و انگلیسی درج شوند.

عنوان: عنوان مقاله حداکثر در ۱۴ کلمه، حاوی موضوع کلی، متغیرهای اصلی و رابطه آن‌ها، هماهنگ با متن مقاله و عاری از اختصارات باشد.

چکیده فارسی: چکیده مقاله در ۱۵۰ الی ۲۰۰ کلمه، بیانگر بیان مسئله، اهمیت و ضرورت تحقیق، هدف تحقیق، روش تحقیق، یافته‌ها و نتایج به دست آمده و در اخیر نتیجه‌گیری کلی از تحقیق در یک پاراگراف باشد. از اشاره به مراجع در چکیده خودداری گردد.

کلمات کلیدی: به منظور دسترس پذیری بیشتر و بهتر مقاله در سایت‌ها، کلمات کلیدی که بر گرفته شده از عنوان کلی مقاله و عناوین بدنه مقاله باشند، به ترتیب الفبا یا عناوین بدنه مقاله با کامه از هم جدا در نظر گرفته شوند. تعداد کلمات کلیدی بین ۴ الی ۷ کلمه در نظر گرفته شود.

مقدمه: در این بخش باید موضوع مورد تحقیق، معرفی و فرضیه مورد نظر نیز تعریف گردد. همچنین، به کارهای تحقیقی انجام شده قبلی اشاره و زمینه لزوم تحقیق مورد نظر تشریح شود و هدف مطالعه حاضر نیز مشخص گردد.

مواد و روش: شامل مواد مورد استفاده، شرح روش‌های جدید به کار رفته و ذکر مأخذ روش‌های متداول و شناخته شده، می‌باشد. در این بخش مواد کار (داده‌های ساحه‌ای، لابراتواری، ...) به صورت واضح و بدون هیچ نوع حاشیه‌پردازی با تمام مشخصات لازمی حتی اگر با نرم‌افزار هم صورت گرفته باشد، بازم از شروع تا ختم با رعایت تسلسل و Heading بیان گردد.

یافته‌ها و نتایج: در برگیرنده نتایج حاصل از تحقیق به صورت متن، جدول، گراف و شکل است. از تکرار ارقام به صورت چندگانه (جدول، گراف، ...) باید خودداری گردد. از مقالات چاپ شده این مجله می‌توان به عنوان راهنمای تهیه جدول‌ها، ترسیم گراف‌ها و شکل‌ها استفاده کرد.

مناقشه: در مناقشه، متغیرهای مستقل و وابسته و روابط بین آن‌ها در ایجاد نتایج حاصله با استفاده از منابع علمی دیگر، مورد بحث قرار می‌گیرد. همچنین باید در این قسمت برتری کار خود را در مقایسه با تحقیقات دیگران به صورت مستند، بیان نمود.

نتیجه‌گیری: مقاله می‌تواند دارای یک نتیجه‌گیری کلی باشد که در آن استنتاج نهایی از تحقیق و کاربرد یا کاربردهای احتمالی آن ذکر می‌شود. همچنین در این بخش پاسخ سوالات و استنباط فرضیه‌های تحقیق در نظر گرفته می‌شود.

منابع و مأخذ: فهرست منابع مورد استفاده در انتهای مقاله باید صرفاً متشکل از منابع ارجاع شده در متن بوده و به ترتیب حروف الفبای تخلص (نام خانوادگی) نویسنده/گان تهیه شود. همچنین ارجاع‌دهی درون متنی و منابع به روش APA در نظر گرفته شود.

ساختار کلی مقاله

در مجله دیدگاه علوم طبیعی و انجینیری ساختار ترکیبی و ترتیبی مقاله چنین در نظر گرفته شده است:

- عنوان مقاله؛
- مشخصات نویسنده/گان؛
- چکیده؛

- کلمات کلیدی؛
- مقدمه؛
- مواد و روش؛
- یافته‌ها و نتایج؛
- مناقشه؛
- نتیجه‌گیری؛
- منابع و مآخذ.

جدول ۱. نوع و اندازه خط مورد نیاز برای تدوین مقاله

عنوان	نوع خط	اندازه	وضعیت خط
عنوان مقاله	B Titr	۱۴	-
اسم و تخلص نویسنده/گان	Bahij Zar	۱۱	Bold
مشخصات نویسنده/گان	Bahij Zar	۱۰	Regular
ایمیل و اورکید نمبر	Times new roman	۸	Regular
عنوان بخش‌ها	B Nazanin	۱۳	Bold
عنوان زیر بخش‌ها	B Nazanin	۱۲	Bold
عنوان چکیده و کلمات کلیدی	B Nazanin	۱۲	Bold
متن چکیده و کلمات کلیدی	B Nazanin	۱۲	Italic
متن اصلی	B Nazanin	۱۲	Regular
زیر نویس فارسی	B Nazanin	۱۰	Regular
زیر نویس انگلیسی	Times New Roman	۸	Regular
عنوان جدول‌ها، شکل‌ها و گراف‌ها	B Nazanin	۱۰	Regular
متن فارسی درون جدول‌ها	B Nazanin	۱۰	Regular
متن انگلیسی درون جدول‌ها	Times New Roman	۸	Regular
منابع و مراجع فارسی	B Nazanin	۱۱	Regular
منابع و مراجع انگلیسی	Times New Roman	۹	Regular

- جدول‌ها، اشکال، تصاویر و گراف‌ها به ترتیب ارجاع داده شده در متن شماره‌گذاری شوند.
- تعداد اعداد مربوط به داده‌های هر یک از ویژگی‌های اندازه‌گیری شده مطابق با دقت روش اندازه‌گیری و دستگاه مورد استفاده، باشد. در مورد یک ویژگی، تا حد امکان اعداد یکسان باشد.
- در صورتی که جمله‌ای با اعداد ریاضیکی شروع شود، به صورت حروفی نوشته شود. در این صورت واحد اندازه‌گیری نیز باید حروفی باشد. مثال: "بیست میلی گرم در لیتر روی محلول اضافه شد".

جدول ۲. واحداث اندازه گیری

شماره	نوعیت شکل	واحد اندازه گیری	سمبول	ملاحظات
۱	طول	کیلوم متر، هکتومتر، متر، سانتی متر، میلی متر، میکرومتر، نانومتر...	Km, Hm, m, cm, mm, μ m, nm,...	
۲	سطح	هکتار، جریب، مترمربع، سانتی مترمربع...	Ha, Gr, sq, cm2,...	
۳	حجم	لیتر، مترمکعب، سانتی مترمکعب، میلی - مترمکعب...	Li, m3, cm3, mm3,...	
۴	كتله	کیلوگرام، گرام، میلی گرام، میکروگرام، نانوگرام...	Kg, gr, mg, μ g, ng,...	
۵	سرعت	متر در ثانیه، کیلو متر در ساعت	m/sec, km/hour	
۶	تعجیل	متر در ثانیه مربع، کیلو متر در ساعت مربع	m/sec2, km/hour2	
۷	مقدار ماده	مول	Mol	
۸	جریان الکترونیکی	آمپیر	AM	
۹	کثافت	کیلو گرام در متر مکعب	Kg/m3	
۱۰	شدت روشنایی	کندل	CD	
۱۱	انرژی	ژول، ژول در مترمربع، وات در مترمربع	J, J/m, W/m	
۱۲	فشار	مگاپاسکال	Mpa	
۱۳	درجه حرارت	درجه سانتی گراد، درجه فارنهایت، درجه کالوین	C, F, K,	
۱۴	تعرق	میلی مول (آب) در مترمربع در ثانیه	mmol m/s2	
۱۵	فتوسنتز	میکرومول	μ mol m-2 s-1	
۱۶	غلظت	گرام در لیتر، مول در لیتر، میلی مول در لیتر، میکرومول در لیتر، نانومول در لیتر	g/L, mol/L, mmol/L, μ mol/L, nmol/L	

فهرست مطالب

- طرح‌ریزی وریانت‌های مناسب عریان‌سازی معدن زغال‌سنگ لیلای سمنگان ۱
پوهنوال محمدی طغیان، پوهنیار رحیم الله جلالی
- مطالعه ضایعات انرژی برق در افغانستان و مقایسه آن با بعضی از کشورهای همسایه و منطقه ۱۹
پوهندوی دوکتور امین گل حنیف، عبدالواحد نبی زاده
- بررسی میزان علاقمندی شاگران به مضمون ریاضی ۳۱
پوهنمل یلدا قانع
- نقش انرژی‌های تجدیدپذیر در تغییرات اقلیمی ۵۳
پوهنمل سید حبیب الله هاشمی
- تولید پولی هایدروکسی بوتیرت به روش هیترتروف توسط نانو تکنالوژی ۷۱
نامزدپوهنیار محمد بابر جويا، پوهندوی سید محمد امین سادات، پوهاند عبدالقیوم رجبی

طرح ریزی وریانت های مناسب عریان سازی معدن زغال سنگ لیلای سمنگان

محمدی طغیان^{۱*}، رحیم الله جلالی^۲

۱. پوهنوال، دیپارتمنت انجینیری نفت و گاز، پوهنځی انجینیری جیولوجی و معادن، پوهنتون جوزجان، شبرغان، افغانستان، (نویسنده مسئول). <http://orcid.org/0009-0002-3700-0496> - m.toghyan64@gmail.com

۲. پوهنیار، دیپارتمنت انجینیری استخراج معادن جامد، پوهنځی انجینیری جیولوجی و معادن، پوهنتون جوزجان، شبرغان، افغانستان. <https://orcid.org/0009-0003-7253-9996> - rahimullah.jalali@ju.edu.af

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۶/۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۶/۲۹

چکیده

عریان سازی معدن یکی از مراحل مهم طرح ریزی و آماده سازی معادن جامد به شمار می رود، انتخاب روش مناسب عریان سازی در استخراج هرچه سهل تر معدن و موثریت بیشتر اقتصادی آن تأثیر مستقیم دارد. معدن زغال سنگ لیلای در ولایت سمنگان از جمله بزرگ ترین معدن زغال سنگ افغانستان است که تا اکنون به گونه مسلکی استخراج نگردیده است. هدف این تحقیق، بررسی و انتخاب وریانت مناسب عریان سازی این معدن بر اساس مشخصات جیولوجیکی، توپوگرافیکی و موقعیت جغرافیایی آن می باشد؛ تا زمینه طرح ریزی و استخراج معدن در آینده آماده گردد. در مورد روش تحقیق باید تذکر داد که این تحقیق علمی بر اساس مطالعات ساحوی و هم چنان کتابخانه ای در بخش جیولوجیکی و میتودهای عریان سازی انجام شده است. معلومات ضروری در این مقاله از مراجع مربوط وزارت معادن و پترولیم و ریاست تصدی زغال سنگ شمال جمع آوری گردیده است. برای انتخاب طریقه مناسب استخراج، دو وریانت عریان سازی شامل ستول مایل با کیورشلاک های افقی و شتولیه با کیورشلاک های افقی، از نظر مصارف حفاری و تحکیم حفاریات مورد مقایسه قرار گرفته و طریقه ای مناسب آن انتخاب گردیده است. یافته های تحقیق نشان می دهد که مجموع مصارف حفاری و نگهداری (تحکیم حفاریات) در وریانت اول به طور چشم گیر کمتر از وریانت دوم می باشد. بر این اساس، نتیجه گیری می گردد که ستول مایل با کیورشلاک افقی به عنوان مناسب ترین روش برای عریان سازی معدن لیلای سمنگان است.

کلمات کلیدی: زغال سنگ، طرح ریزی، عریان سازی، معدن لیلای سمنگان.

Designing Suitable Variants for Stripping Layla Coal Mine in Samangan

Muhammadi Tughyan^{1*}, Rahimullah Jalali²

1*. Associate prof. Department of Petroleum Engineering, Faculty of Geology & Mines Engineering, Jawzjan University, Sheberghan, Afghanistan. (Corresponding Author).

m.tughyan64@gmail.com - <http://orcid.org/0009-0002-3700-0496>

2. Teaching Assistant. Department of Mining Engineering, Faculty of Geology & Mines Engineering, Jawzjan university, Sheberghan, Afghanistan.

rahimullah.jalali@ju.edu.af - <https://orcid.org/0009-0003-7253-9996>

Received: 26/08/2025

Accepted: 19/09/2025

Abstract

Mine stripping is one of the important stages in the planning and preparation of solid mines. Choosing the right stripping method has a direct impact on making the mine as easy to extract as possible and more economically efficient. The Leila coal mine in Samangan Province is one of the largest coal mines in Afghanistan that has not yet been professionally mined. The purpose of this research is to investigate and select the appropriate variant for stripping this mine based on its geological, topographic, and geographical location characteristics. To prepare the mine for future mining planning and extraction. Regarding the research method, it should be noted that this scientific research was conducted based on field studies and also library studies in the geological section and denudation methods. The necessary information in this article has been collected from relevant authorities of the Ministry of Mines and Petroleum and the Northern Coal Enterprise Directorate. To select the appropriate extraction method, two stripping variants, including inclined piles with horizontal cure slags and piles with horizontal cure slags, were compared in terms of excavation costs and excavation consolidation, and the appropriate method was selected. The research findings show that the total costs of excavation and maintenance (consolidation of excavations) in the first variant are significantly lower than in the second variant. Based on this, it is concluded that the inclined stool with horizontal cure slag is the most suitable method for stripping the Leila mine in Samangan.

Keywords: Coal, Mine Designing, Stripping, Laila Mine, Samangan.

۱. مقدمه (Introduction)

از آغاز تمدن بشری، انسان همواره در پی کشف پدیده‌های طبیعی و بهره‌برداری از آن‌ها برای بهبود شرایط زندگی خویش بوده است (عطایی، ۱۳۹۴). تکامل دانش و تکنالوژی در طول تاریخ سبب گردیده است که بشر بتواند نه تنها به ژرفای کیهان نفوذ کند؛ بلکه منابع ارزشمند موجود در اعماق زمین را نیز شناسایی و استخراج نماید. در این میان، معادن به‌عنوان زیربنای اساسی اقتصاد کشورها و یکی از ارکان مهم توسعه‌ی پایدار، جایگاه کلیدی در رشد اقتصادی و صنعتی دارد. افغانستان نیز با برخورداری از ذخایر ارزشمند معادن، به‌ویژه زغال‌سنگ، در زمره‌ی کشورهای قرار می‌گیرد که از پوتانسیل بالای منابع معدنی برخوردار است.

زغال‌سنگ به‌عنوان یکی از منابع مهم انرژی و ماده‌ی اولیه‌ی صنایع مختلف، نقش اساسی در توسعه‌ی اقتصادی کشور دارد. با وجود شناسایی ۹ معدن عمده و بیش از ۴۲ ظواهر معدنی زغال‌سنگ در افغانستان، به‌دلیل مشکلات ناشی از جنگ‌های طولانی، نبود امنیت پایدار، کمبود تجهیزات تکنیکی و ضعف در مدیریت منابع، این ذخایر تا اکنون به‌طور مؤثر و سیستماتیک مورد بهره‌برداری قرار نگرفته است. معدن زغال‌سنگ لایلا در حوزه‌ی دره‌ی صوف ولایت سمنگان از جمله‌ی ذخایر بزرگ و استراتژیک کشور است که با وجود اهمیت فوق‌العاده‌اش، تا هنوز بهره‌برداری علمی و سازمان‌یافته از آن صورت نگرفته است (علوی، ۱۳۹۷).

نخستین اطلاعات در باره زغال‌سنگ شمال افغانستان توسط افرادی هم‌چون گرسباخ (۱۹۴۴-۱۹۴۷م)، ک. هایدن (۱۹۴۸م) و د. اوست (۱۹۶۰م) ارایه گردید. با این حال، اطلاعات مذکور در باره زغال‌سنگ شمال افغانستان پراکنده و از نواحی مختلف بوده و نمی‌تواند اطلاعات جامعی در باره‌ی منابع زغال‌سنگ منطقه فراهم کند.

معدن زغال‌سنگ لایلا در حوزه زغال‌دار دره‌ی صوف ولایت سمنگان واقع شده است. معادن زغال دره‌ی صوف در سال ۱۳۴۵ هـ.ش توسط افراد محلی شناسایی گردید و در سال ۱۳۴۶ هـ.ش توسط متخصصین روسی و آلمانی مورد تحقیق و اکتشاف قرار گرفت. معادنی چون شباشک، دهنه تور، لایلا و سر آسیاب از جمله معادن هستند که توسط متخصصین روسی و آلمانی مورد تحقیق و مطالعه‌ی بیشتری قرار گرفته است. در سال‌های ۱۳۶۳ تا ۱۳۶۹ در قریه‌ی لایلا و در بخش فوقانی سویت شباشک، ۲۰ قشر زغال‌سنگ شناسایی شد که از این تعداد، ۹ قشر دارای ضخامت کاری و ۱۱ قشر دیگر به‌دلیل محدودیت‌های تکنالوژیکی استخراج فعلی کشور، غیرکاری محسوب می‌شوند (احمدشاه، ۱۳۹۱).

اهمیت مطالعه و طرح ریزی علمی برای عریان سازی معدن لیلا این است که انتخاب وریانت مناسب عریان سازی، به طور مستقیم بر تمام مراحل بعدی معدن کاری از جمله آماده سازی، استخراج و حمل و نقل تأثیر می گذارد و در نهایت ارزش اقتصادی معدن را تعیین می نماید. از سوی دیگر، بهره برداری مناسب و اصولی از این معدن، می تواند رول به سزایی را در ایجاد فرصت های شغلی، تأمین انرژی از منابع داخلی و در نهایت تحکیم پایه های اقتصادی کشور، داشته باشد (عطایی، ۱۳۹۴).

روش تحقیق در این مقاله، بر مبنای بررسی های ساحوی، تحلیل معلومات جیولوجیکی، جیومکانیکی، استفاده از مودول های مقایسه ای تخنیکی و اقتصادی استوار است. در این راستا، دو وریانت اصلی عریان سازی شامل استفاده از شتولنیه با کیورشلاک های افقی و ستول های مایل با کیورشلاک های افقی مورد ارزیابی و مقایسه قرار می گیرد. اهداف این تحقیق آن است که نخست مشخصات جیولوجیکی و تخنیکی معدن زغال سنگ لیلا با دقت و تعمق هر چه بیشتر بررسی شود و بر اساس آن، وریانت های مختلف عریان سازی شناسایی و تحلیل گردد. سپس روش های پیشنهادی از دید تخنیکی و اقتصادی مقایسه و ارزیابی شده و در نهایت، مناسب ترین وریانت برای بهره برداری معدن زغال سنگ لیلا معرفی می گردد. افزون بر این، محققین حاضر تلاش دارند؛ تا با ارائه راهکارهای علمی و عملی، زمینه افزایش بهره دهی استخراج، کاهش هزینه ها و تسهیل مراحل استخراج را فراهم ساخته و سهم قابل توجهی را در ارتقای سطح بهره برداری از این معدن ایفا نمایند.

۲. مواد و روش (Material and Method)

روش تحقیق در این مقاله به صورت ترکیبی (ساحوی - مروری) طراحی گردیده است. هدف اصلی تحقیق، بررسی و انتخاب وریانت مناسب برای عریان سازی معدن زغال سنگ لیلا بر اساس شرایط واقعی ساحه و مقایسه وریانت های ممکن از نگاه مشخصات تخنیکی و اقتصادی، می باشد.

در مرحله ی نخست، مطالعات جامع و عمیق کتابخانه ای و مروری بر منابع مرتبط علمی و انترنتی موجود انجام گردید؛ تا معرفت دقیق از موقعیت جغرافیایی، جیولوجیکی و روش های متداول عریان سازی در معادن زغال سنگ حاصل گردد.

در گام دوم، بررسی های ساحوی (Field Survey) در معدن زغال سنگ لیلا صورت پذیرفت. طی این بررسی ها، معلومات مقدماتی از جمله، ویژگی های اقشار زغال سنگ، زاویه افتادگی اقشار، نوع و ترکیب سنگ های مجاور و مشخصات توپوگرافیکی حفریات قبلی

جمع‌آوری گردید. پس از گردآوری داده‌های ساحوی، دو وریانت اساسی عریان‌سازی برای این معدن مشخص گردیده و محاسبات تخنیکی و اقتصادی لازم برای هر یک از وریانت‌ها به عمل آمد:

- الف: عریان‌سازی از طریق شتولنیه همراه با کیورشلاک افقی؛
- ب: عریان‌سازی از طریق ستول مایل همراه با کیورشلاک افقی.

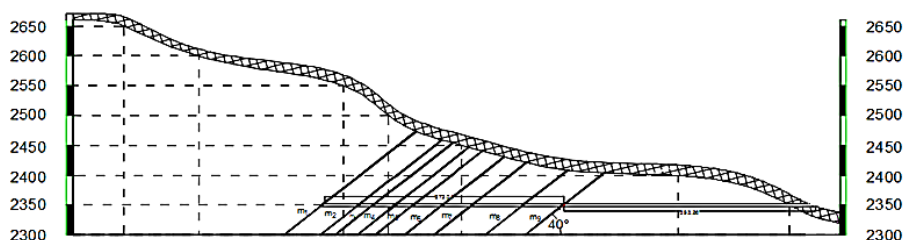
ستول مایل عبارت از حفریه‌ی مایلی است که برآمد مستقیم به سطح زمین داشته و برای عریان‌سازی، انتقال مواد مفیده و امور معدنی دیگر استفاده می‌گردد (سهاگ، ۱۳۹۰). شتولنیه حفریه‌ی افقی است که برآمد مستقیم به سطح زمین داشته و برای عریان‌سازی ساحه‌ی معدنی کار گرفته شده، مانند ستول عمودی، ممکن تهویه‌ی، کمکی و اساسی باشد (میر فخرالدین، ۱۳۹۱).

در مرحله‌ی نهایی، داده‌ها به‌وسیله نرم‌افزارهای همچون ورد، اکسیل و برنامه اتوکد تحلیل شده است (شکل ۱ و ۲). این دو وریانت انتخاب شده با استفاده از شاخص‌های تخنیکی و اقتصادی و هم‌چنان با استناد به نتایج تحقیقات مشابه، مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت. انتخاب وریانت برتر بر اساس معیارهای علمی و عملی صورت گرفته و نتیجه‌ی نهایی به‌عنوان روش پیشنهادی برای عریان‌سازی معدن لیلای ارائه گردیده است.

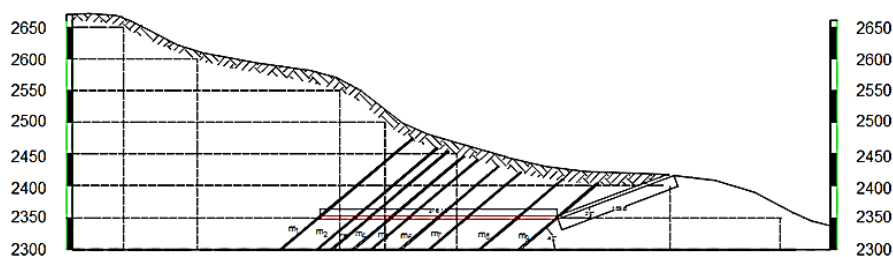
۱.۲. مقایسه وریانت‌های عریان‌سازی

در این تحقیق، دو وریانت عریان‌سازی معدن شامل شتولنیه و ستول مایل با کیورشلاک‌های افقی مورد مقایسه قرار گرفت. معیار اصلی در این مقایسه، مصارف حفریات عریان‌کننده و مصارف تحکیم حفریات بوده است. در نهایت، برای عریان‌سازی معدن با توجه به نتایج محاسبات تخنیکی و اقتصادی، وریانت مناسب انتخاب و پیشنهاد گردیده است، قرار شکل‌های

۱ و ۲.



شکل ۱. عریان‌سازی ذریعه‌ی شتولنیه با کیورشلاک افقی



شکل ۲. عریان سازی ساحه معدن ذریعهی ستول مایل با کیورشلاک افقی

برای ارزیابی دقیق تر، محاسبات اقتصادی بر اساس مصارف حفر و نگهداری حفريات معدنی صورت پذیرفت. در این بررسی، مساحت مقطع اصلی برای حفر هر دو وریانت (شتولنیه و ستول مایل) به اندازهی ۹۰۷۵ مترمربع در نظر گرفته شده که مقاطع کیورشلاک های اصلی نیز با همین اندازه محاسبه گردیده است.

تمامی حفريات دارای مقطع گنبدی (کمانی) بوده و جهت افزایش پایداری، با استفاده از تحکیمات کمانی انعطاف پذیر (AP) تقویت پایداری انجام پذیرفت. این نوع تحکیم به دلیل سازگاری بهتر با شرایط جیولوجیکی و توانایی تحمل تغییر شکل های احتمالی، در این تحقیق به عنوان وریانت مناسب برای حفريات انتخاب گردید.

۲.۲. موثریت تخنیکي و اقتصادی

در این کار علمی تحقیقی با توجه به شرایط معدن و مشخصات جیولوجیکی اقشار زغال سنگ، وریانت های مختلف عریان سازی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج تحلیل های انجام شده نشان می دهد که مناسب ترین وریانت برای عریان سازی این معدن، استفاده از ستول مایل با کیورشلاک های افقی می باشد.

در مرحله ی بعدی، با در نظر گرفتن شرایط جیولوجیکی، خصوصیات تخنیکي اقشار زغال سنگ و موارد اقتصادی، هر یک از این وریانت ها نظر به موثریت تخنیکي و اقتصادی آن، محاسبه و ارزیابی گردیده است. هدف از این مقایسه، شناسایی بهترین وریانت برای عریان سازی معدن زغال سنگ لیلای سمنگان می باشد، با کاربرد این وریانت می توان علاوه بر تأمین پایداری حفريات و ایمنی عملیات استخراج، مصارف حفر و نگهداری را به حداقل رسانیده و بهره دهی استخراج آتی را افزایش داد (دباغ، ۱۳۸۳).

۳.۲. کندن کاری ستول مایل توسط رودهیدر

رودهیدر (Roadheader) یکی از ماشین‌های حفاری میکانیزه در معادن و تونل‌ها است که برای کندن، بارگیری و انتقال احجار مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش کندن کاری میکانیزه با استفاده از ماشین رودهیدر (Roadheader) در مقایسه با سایر روش‌های متداول کندن کاری، دارای برتری‌ها و محدودیت‌های خاص می‌باشد. در معادن زیرزمینی، سرعت زیاد پیشروی از مهم‌ترین خصوصیات این روش به‌شمار می‌رود که می‌تواند سرمایه‌گذاری اولیه نسبتاً بالا و چالش‌های تخریکی به‌کارگیری این سیستم را توجیه‌پذیر سازد.

با این حال، جهت بهره‌برداری مؤثر اقتصادی از این تکنالوژی، همانند سایر سیستم‌های میکانیزه، به شرایط جیولوجیکی و تخریکی مناسب ضرورت می‌باشد. استفاده از رودهیدر زمانی می‌تواند قابلیت تخریکی و مؤثریت اقتصادی بالائی داشته باشد که حامل شرایط ذکر شده فوق باشد. از اینرو، امکان‌سنجی تخریکی و اقتصادی برای تعیین قابلیت به‌کارگیری این سیستم، بخش اساسی پروسه‌ی تصمیم‌گیری در انتخاب روش پیشروی و حفاری ستول‌های مایل محسوب می‌گردد (محمدزاده و گشتاسبی، ۱۳۹۰).

۴.۲. محاسبه‌ی مقدار کندن کاری رودهیدر

مقدار کندن کاری رودهیدر در یک ساعت با استفاده از روابط تجربی زیر بر حسب مترمکعب در ساعت محاسبه می‌گردد:

$$ICR = 0.28 \times H_p \times (0.974)^{RMC} ; m^3 / hour \dots \dots \dots (1)$$

$$RMC = UCS \times (RQD / 100)^{2.3} ; MG pascal \dots \dots \dots (2)$$

که در رابطه‌های فوق:

ICR- مقدار حفاری به متر مکعب در ساعت؛

H_p- توان عمومی حفاری هارس پاور؛

RMC- شاخص قابلیت حفاری توده سنگ؛

UCS- مقاومت فشاری تک محوری میگا پاسکال؛

RQD- شاخص‌های توده سنگ.

این روابط امکان برآورد عملکرد رودهیدر را بر اساس مشخصات مکانیکی و کیفیت سنگ، فراهم می‌سازد، در تحلیل‌های تخریکی و اقتصادی و برنامه‌ریزی استخراج، سوف‌های معدنی قابلیت کاربردی اهمیت را دارا می‌باشد.

جدول ۱. میزان مقاومت پل برمه درمقابل مقاومت واردهی سنگها (ASLAN & TAŞKIRAN, 2020).

نوع سنگ	RQD	کثافت مخصوص (T/M^3)	مقاومت فشار (MPa)	مقاومت کششی (MPa)	درجه بندی توده سنگ (RMR)
سنگ ریگی	۳۰-۲۵	۲.۷	۹۰-۸۰	۶.۶	۴۸
طبقه سنگ	۲۵-۲۰	۲.۷۲	۴۵-۳۵	۵.۲	۴۳
احجار گلی	$10 \leq$	۲.۶۵	۲۰-۱۰	۰.۱۴	۳۸
زغال سنگ	$10 \leq$	۱.۵	۱۵-۱۰	۰.۱	۳۲

جدول ۲. برخی پارامترهای جیومیکانیکی سنگهای در برگیرندهی حفریه (ASLAN & TAŞKIRAN, 2020).

نوع سنگ	مقاومت فشار (میگاپاسکال)	RQD	RMC	توان (هارس پاور)
زغال سنگ	۱۰	۱۰	۲/۵۱	۷۵/۷۵
زغال سنگ	۱۵	۱۰	۳/۲۳	۷۷/۸۲
احجار گلی	۱۰	۱۰	۲/۱۵	۷۵/۷۵
احجار گلی	۲۰	۱۰	۴/۳۰	۸۰
سنگ طبقه	۳۵	۲۰	۱۱/۹۶	۹۸/۰۳
سنگ طبقه	۴۵	۲۵	۱۷/۸۵	۱۱۴/۹۴
سنگ ریگی	۸۰	۲۵	۳۱/۷۴	۱۶۵/۲۸
سنگ ریگی	۹۰	۳۰	۴۰/۳۳	۲۰۸/۳۰
اوسط		۱۱۲		

در شرایط عادی می توان مقدار کندن کاری را به اندازه ۲۰ متر مکعب در ساعت در نظر گرفت که مقدار مناسبی برای ارزش کندن کاری در معادن زغال سنگ می باشد؛ اما این مقدار نظر به نوعیت رودهیدر متفاوت بوده که ارتباط مستقیم با مشخصات رودهیدر دارد.

جدول ۳. مشخصاتهای رودهیدرها (ASLAN & TAŞKIRAN, 2020).

مشخصات دستگاه	DOSCO OVERSEAS SI 120	Atlascopco-eickhoff et-110	DOSCO OVERSEAS MD1100	VOEST- ALPINE AM50
وزن به تن	۳۳	۲۵	۳۱٫۵	۲۴
توان حفاری به کیلووات	۸۲	۱۱۰	۸۲	۱۱۰
توان عمومی به کیلووات	۱۶۵	۱۸۵	۱۵۷	۱۷۰
نوع پل حفاری	مخروطی	مخروطی	مخروطی	مخروطی
حداکثر ارتفاع برش به متر	۴/۱	۴/۰	۴/۲	۲/۰-۴/۸

۴/۸	۲/۷-۵/۷	۵/۳	۲/۰-۴/۳	حداکثر عرض برش به متر
۱/۳	۱/۴-۱/۷	۱/۴	۱/۵	فشار وارده بر زمین به بار
۶/۰	۷/۲	۰/۵	۱۳/۸	سرعت حرکت به متر بر دقیقه
اهرام های جمع کننده	چرخ ستاره ای اهرام های جمع کننده	Disc اهرام های جمع کننده	اهرم های جمع کننده	سیستم بارگیری

۵.۲. انتخاب نوع رودهیدر و تعیین ظرفیت کندن کاری

نوع رودهیدر مورد استفاده بر اساس ابعاد (عرض و ارتفاع) سوف معدنی، تعیین می گردد. با توجه به این مشخصات، برای سوف مورد مطالعه، ماشین کندن کاری Dosco Overseas SL120 مناسب تشخیص می شود.

پس از تعیین نوع رودهیدر، با در نظر گرفتن ویژگی های مکانیکی سنگ های سوف معدنی و مشخصات تخنیکی رودهیدر انتخاب شده، مقدار کندن کاری بر حسب متر مکعب بر ساعت محاسبه می شود. این محاسبات امکان برنامه ریزی دقیق عملیات پیشروی و برآورد مصارف حفاریات را فراهم می سازد (نژاد و مهدی، ۱۳۷۵).

$$RMC = UCSx(RQD/100)^{2.3} \dots\dots\dots (3)$$

$$RMC = 80x(25/100)^{2.3} = 80x0.041 = 3.28 \text{ MG pascal}$$

$$ICR = 0.28xH_p x (0.974)^{RMC} \dots\dots\dots (4)$$

$$ICR = 0.28x82x(0.974)^{3.28} = ICR = 20.89 \text{ m}^3/\text{hour}$$

۶.۲. محاسبه ی طول و حجم کلی ستول مایل و کیورشلاک

الف) طول عمومی ستول مایل و کیورشلاک

طول عمومی مسیر کندن کاری ستول مایل و کیورشلاک از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$L_0 = L_{SH} + L_{drift} ; m \dots\dots\dots (5)$$

L_{SH} - طول ستول مایل

L_{drift} - طول کیورشلاک

$$L_0 = 189.6 + 377.8 = 577.4 ; m$$

ب) حجم عمومی ستول مایل و کیورشلاک

حجم عمومی حفريات با استفاده از مساحت مقطع و طول عمومی مسیر محاسبه می‌شود:

$$V = L_0 \times S; m^3 \quad \dots\dots\dots (6)$$

L_0 - طول عمومی کیورشلاک و ستول مایل

S - مساحت مقطع حفريه (ستول مایل و کیورشلاک)

$$V = 577.4 \times 9.75 = 5629.65; m^3$$

۷.۲. مدت زمان حفر سوف‌های عريان‌کننده توسط رودهیدر

برای تعیین مدت زمان لازم برای حفر سوف‌های عريان‌کننده، ابتدا حجم عمومی حفريات محاسبه می‌شود، سپس این حجم بر مقدار کندن کاری رودهیدر در یک ساعت تقسیم می‌گردد. به این ترتیب، می‌توان زمان مورد نیاز برای تکمیل حفريات عريان‌کننده را بر اساس (ASLAN & TAŞKIRAN, 2020) ظرفیت عملکرد رودهیدر مشخص نمود

$$T = \frac{V}{ICR}; hour \quad \dots\dots\dots (7)$$

V - حجم عمومی ستول مایل و کیورشلاک

ICR - حجمی که توسط رودهیدر در یک ساعت، کندن کاری می‌شود.

$$T = \frac{5629.65}{20.89} = 269.45; hour$$

مدت حقیقی که رودهیدر ستول مایل و کیور شلاک را کندنکاری می‌نماید:

$$T_0 = T \times K; hour \quad \dots\dots\dots (8)$$

K - ضریبی است که نا منظم بودن کار رودهیدر را مد نظر می‌گیرد که قیمت آن مساوی به $1/2$ می‌باشد.

$$T_0 = 269.45 \times 1.2 = 323.34; hour$$

مدت حفر حفريات عريان‌کننده به روز:

$$T_1 = \frac{T_0}{T_{CM}}; day \quad \dots\dots\dots (9)$$

T_0 - مدت حقیقی که در این مدت سوف معدنی، حفر می‌شود.

T_{CM} - دوام تایم کاری در شبانه روز

$$T_1 = \frac{323.34}{12} = 26.94 \cong 27 \text{ day}$$

۸.۲. ارزش تحکیمات با قاب‌های کشویی (تحکیمات قوسی فلزی سه عنصره)

به‌منظور تعیین ارزش تحکیمات کمانی فلزی سه‌عنصره، در قدم نخست محیط سوف معدنی یا حفریه، قبل از نصب تحکیمات محاسبه می‌گردد، سپس با در نظر گرفتن محیط حفریه و فاصله بین تحکیمات، ارزش عمومی تحکیمات برآورد می‌شود و میزان دقیق مصارف مشخص می‌گردد.

قیمت هر مجموعه‌ی تحکیم فلزی سه‌عنصره که شامل ۱۰ عدد است، بین ۱۴۰۰۰ تا ۲۸۰۰۰ افغانی می‌باشد. با توجه به فاصله استاندارد بین تحکیمات فلزی که تقریباً یک متر در نظر گرفته می‌شود، می‌توان مصارف عمومی تحکیمات برای حفریه‌های اصلی را محاسبه نمود. این محاسبات نقش مهمی در برآورد سرمایه‌گذاری اساسی و مصارف عملیات کندن‌کاری و تثبیت سوف معدنی داشته و یکی از شاخص‌های کلیدی در تحلیل تکنیکی و اقتصادی پروژه‌های استخراج معادن محسوب می‌شوند که قرار ذیل محاسبه می‌شود (رضایی، ۱۳۹۰).

$$L = L_{Sh} + L_{drift} \dots\dots\dots (10)$$

طول ستول مایل $-L_{Sh}$

$-L_{drift}$ طول

$$L = 189.6 + 377.8 = 567.4 ; m$$

حالا تعداد تحکیمات را در طول حفریه‌ی اساسی دریافت می‌نماییم، چون فاصله بین تحکیمات ۱ متر می‌باشد بنابراین تعداد مجموعی تحکیمات، ۵۶۸ عدد می‌باشد.

چون قیمت ۱۰ عدد تحکیمات سه‌عنصره‌ی فلزی به اندازه‌ی ۱۴۰۰۰-۲۸۰۰۰ افغانی می‌باشد، قیمت یک عدد آن را می‌توان به طور اوسط ۲۱۰۰ افغانی انتخاب نمود. بنابر آن قیمت مجموعی آنرا به طور ذیل دریافت می‌نماییم.

$$\text{price} = 568 \times 30 \times 78 = 1329120 ; \text{AFg}$$

۹.۲. برآورد ارزش چوب دستک‌ها در عقب تحکیمات فلزی

به‌منظور تعیین ارزش چوب دستک‌ها که در عقب تحکیمات فلزی نصب می‌شوند، ابتدا تعداد دستک‌ها در طول حفریه محاسبه می‌گردد. برای این منظور، محیط حفریه قبل از نصب تحکیمات به دست آورده می‌شود:

$$p = 11 m$$

با توجه به اینکه چوب دستک‌ها در تمام محیط حفریه نصب نه گردیده، بلکه تنها در دو جناح جانبی و سقف، قرار می‌گیرند و در کف استفاده نمی‌شوند. بنابراین، برای محاسبه‌ی دقیق طول نصب چوب دستک‌ها، عرض کف حفریه از حجم مجموعی وضع می‌شود. این روش امکان برآورد دقیق تعداد و طول چوب دستک‌ها در نتیجه محاسبه ارزش اقتصادی آن‌ها را فراهم می‌سازد.

$$p_1 = 11 - 2.73 = 7.73 ; m$$

قطر چوب دستک‌ها به اندازه 12 cm است و فاصله بین تحکیمات چوبی به اندازه 20 cm پس تعداد تحکیمات را در محیط سوف دریافت می‌نمایم.

$$N = 7.73 \div 0.32 = 24 \text{ عدد}$$

حال تعداد چوب دستک‌ها را در تمام طول حفریه دریافت می‌نماییم:

$$N = L \div 4 = 567.4 \div 4 = 142$$

عدد چهار طول هر چوب دستک می‌باشد.

حال تعداد عمومی چوب دستک‌ها را در تمام طول حفریه را دریافت می‌نماییم.

$$\text{عدد} ; N = 142 \times 24 = 3408$$

عدد ۱۴۲ تعداد چوب دستک‌ها در تمام طول حفریه و عدد ۲۴ تعداد چوب دستک‌ها در حفریه و عدد ۱۰۰۰ مقدار ارزش هر چوب دستک می‌باشد.

$$\text{price} = 3408 \times 1000 = 3408000 ; \text{Afg}$$

۱۰.۲. برآورد ارزش تحکیمات چوبی

در این طرح‌ریزی، استفاده از تحکیمات چوبی تنها در حفریات آمادگی در نظر گرفته شده است. برای محاسبه‌ی ارزش عمومی تحکیمات چوبی، ابتدا طول عمومی حفریات آمادگی در نظر گرفته می‌شود که برابر با ۴۲۰۰ متر است، با توجه به فاصله‌ی استاندارد بین تحکیمات چوبی که ۱ متر در نظر گرفته شده، تعداد کل تحکیمات چوبی به شرح زیر محاسبه می‌گردد. قیمت یک عدد تحکیم چوبی برابر با ۶۰۰ افغانی و هزینه بسته‌بندی و انتقال هر عدد تحکیم ۸۰۰ افغانی در نظر گرفته شد. بر این اساس، ارزش عمومی تحکیمات چوبی در طول تمام حفریات آمادگی ۳۳۶۰۰۰۰ افغانی می‌شود.

جدول ۴. مشخصات واگون های معدن زغال سنگ (Gültekin, 2018).

اندازه‌ها و پارامترهای اساسی						ظرفیت بادی به M^3	تیب واگون
ارتفاع از سطح قسمت فوقانی به mm	طول پمپر به Mm	فاصله بین خط ریل به mm	شاسی غیر انعطاف پذیر به mm	قدرت باربرداری به تن	عرض به mm		
۱۲۲۰	۱۲۵۰	۶۰۰	۵۰۰	۲	۸۵۰	۰.۷	BΓ-0.7
۱۳۲۰	۲۲۸	۷۵۰	۶۰۰	۳	۱۰۰۰	۱.۲	KFU1.2-6
۱۳۰۰	۱۸۵۰	۷۵۰.۶۰۰	۶۰۰	۳	۱۰۰۰	۱.۲	BΓ-1.2

۳. یافته‌ها و نتایج (Results and Findings)

محاسبه مصارف بالای ساختمان معدنی

برای برآورد مصارف مربوط به ساختمان معدنی، پروسه به مراحل زیر تقسیم می‌شود:

(a) **تعیین حجم امور معدنی:** در قدم نخست، حجم فعالیت‌های معدنی بر اساس بخش‌های مختلف طرح‌ریزی، شامل حفاریات، تحکیمات و آماده‌سازی مسیرها مشخص می‌گردد.

(b) **محاسبه ارزش فی واحد حفیه‌ها:** ارزش هر واحد حفیه یا بخش معدنی، با توجه به مشخصات تقریبی مصالح، تجهیزات و خدمات مورد استفاده و یا بر اساس ارقام ارائه‌شده در منابع معتبر محاسبه می‌شود.

این روش امکان برنامه‌ریزی دقیق مالی و تحلیل اقتصادی پروژه را فراهم می‌کند و اساس برای تخمین سرمایه‌گذاری اساسی و مصارف عملیاتی معدن محسوب می‌شود.

جدول ۵: ارزش حفر یک متر سوف در وریانت اول

شماره	نام‌گذاری سوف‌ها	پارامترهای سوف			ارزش حفر یک متر سوف به افغانی	ارزش عمومی حفر به افغانی
		طول به متر	مساحت مقطع به m^2	حجم به m^3		
۱	ستول مایل	۱۸۹.۶	۹.۷۵	۱۸۴۸.۶	۲۴۰۰	۴۴۳۶۶۴۰
۲	کویرشلاک افقی	۳۸۸.۸	۹.۷۵	۳۶۸۳.۵	۲۴۰۰	۸۸۴۰۴۰۰
	مجموعه	۵۶۷.۴	۱۹.۵	۵۵۳۲.۱	۴۸۰۰ افغانی	۱۳۲۷۷۰۴۰

جدول ۶: ارزش حفر یک متر سوف در وریانت دوم

شماره	نام گذاری سوف ها	پارامتر های سوف			ارزش حفر یک متر سوف AF/M	ارزش عمومی حفر به افغانی
		طول به متر	مساحت مقطع	حجم M^3		
۱	شتولنیه	۲۹۲,۲۶	۹,۷۵	۲۸۴۹,۵۳	۲۴۰۰	۶۸۳۸۸۷۲
۲	کیورشلاک افقی	۳۷۷,۸	۹,۷۵	۳۶۸۳,۵	۲۴۰۰	۸۸۴۰۴۰۰
	مجموعه	۶۷۰,۸	۱۹,۵	۶۵۳۳,۰۳	۴۸۰۰ افغانی	۱۵۶۷۹۲۷۲

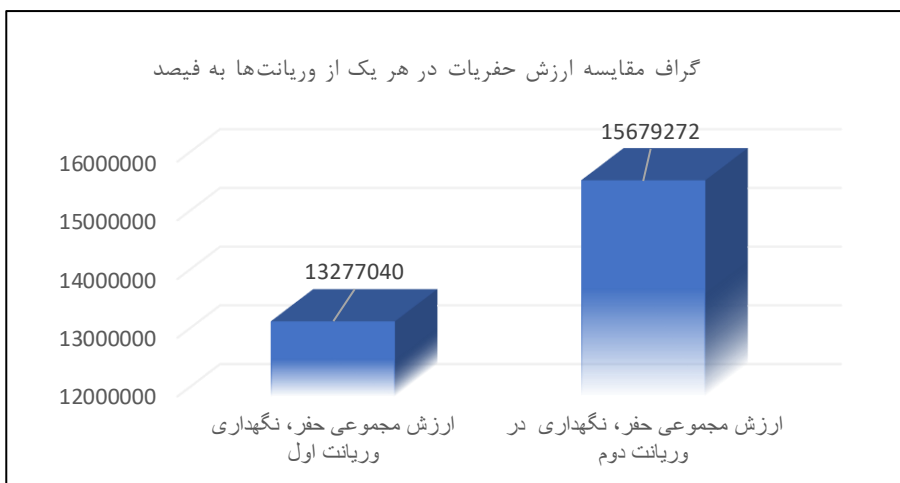
جدول ۷: ارزش تحکیمات فلزی کمانی سه عنصره در وریانت اول

شماره	نام گذاری سوف ها	پارامتر های سوف			ارزش تحکیم یک متر سوف AF/M	ارزش عمومی حفر به افغانی
		طول به متر	مساحت مقطع	حجم M^3		
۱	ستول مایل	۱۸۹,۶	۹,۷۵	۱۸۴۸,۶	۸۲۰۱	۱۵۵۴۹۰۹,۶
۲	کیورشلاک افقی	۳۷۷,۸	۹,۷۵	۳۶۸۳,۵	۸۲۰۱	۳۰۲۰۸۳۸۳,۶
	مجموعه	۵۷۶,۴	۱۹,۵	۵۵۳۲,۱	۱۶۴۰۲	۹۴۵۴۱۱۲,۸

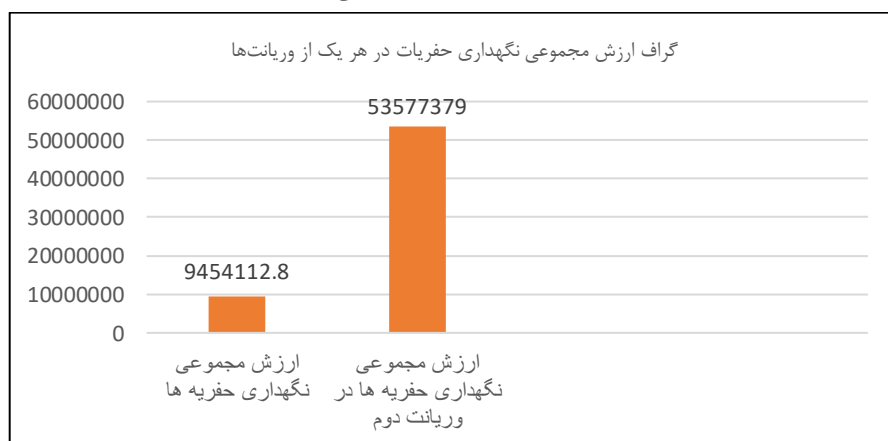
جدول ۸: ارزش تحکیمات فلزی کمانی سه عنصره در وریانت دوم

شماره	نام گذاری سوف ها	پارامتر های سوف			ارزش تحکیم یک متر سوف AF/M	ارزش عمومی حفر به افغانی
		طول به متر	مساحت مقطع	حجم M^3		
۱	شتولنیه	۲۹۲,۲۶	۹,۷۵	۲۸۴۹,۵۳	۸۲۰۱	۲۳۳۶۸۹۵,۵
۲	کیورشلاک افقی	۳۷۷,۸	۹,۷۵	۳۶۸۳,۵	۸۲۰۱	۳۰۲۰۸۳۸۳,۵
	مجموعه	۶۷۰,۸	۱۹,۵	۶۵۳۳,۰۳	۱۶۴۰۲	۵۳۵۷۷۳۷۹

با توجه به سؤالات و فرضیه های تحقیق که هدف اصلی آن بررسی امکان پذیری عریان سازی ساحه ی معدن لیلا با در نظر گرفتن شرایط کوهستانی می باشد، نتایج حاصل نشان می دهد که استفاده از ستول مایل همراه با کیورشلاک افقی وریانت مؤثر و قابل اعتماد برای عریان سازی است. در مقایسه میان دو وریانت اصلی، وریانت اول: ستول مایل با کیورشلاک افقی و وریانت دوم: شتولنیه با کیورشلاک افقی، تحلیل ها بیانگر آن است که وریانت اول از دیدگاه اقتصادی برتری بیشتری دارد. بر این اساس، می توان نتیجه گرفت که عریان سازی معدن زغال سنگ لیلا به وسیله ی ستول مایل با کیورشلاک افقی نسبت به وریانت های دیگر کار آمدتر و مناسب تر است. شایان ذکر است که مقایسه ی وریانت ها در این تحقیق بر مبنای محاسبه ی مصارف مربوط به حفر و نگهداری حفريات انجام شده است، قرار شکل های ۳ و ۴.



شکل ۳. گراف مقایسه‌ی ارزش حفاریات در هر یکی از وریانت‌ها به فیصد



شکل ۴. گراف ارزش مجموعی نگهداری حفاریات در هر یک از وریانت‌ها

۴. مناقشه (Discussion)

عریان‌سازی معدن توسط ستول مایل با کیورشلاک، در حقیقت رسیدن انسان‌ها از سطح زمین تا مواد مفید با وسیله‌ی حفریه‌ی بنام ستول مایل است که تحت یک زاویه مشخص (البته در این معدن ۱۸ درجه) در نظر گرفته شده است، می باشد. کیورشلاک یک حفریه‌ی نیمه کمکی و نیمه اساسی است که وظیفه‌ی وصل کردن اقشار باهم دیگر و همچنان انتقال مواد و احجار معدنی را به عهده دارد.

از آنجایی که بیشتر معادن افغانستان، به ویژه معدن زغال سنگ لیلا در ولایت سمنگان، در مناطق کوهستانی موقعیت دارند، کوتاه بودن طول حفريات عريان سازی و دست یافتن سریع به ماده‌ی مفید اهمیت ویژه دارد. بر اساس این شرایط، مناسب ترین وریانت برای عریان سازی معدن، حفر ستول مایل با زاویه‌ی ۱۸ تا ۲۰ درجه است. این روش در مقایسه با دو گزینه‌ی دیگر یعنی ستول عمودی و حفريات افقی، برتری‌های قابل ملاحظه‌ای دارد.

برتری عریان سازی توسط ستول مایل عبارت است از:

- امکان نصب و استفاده از سیستم کنویری برای انتقال زغال از زبوی استخراجی تا محل بارگیری مصرف کنندگان؛
- افزایش بهره‌دهی در ستول‌های مجهز با کنویر؛
- کاهش مدت زمان لازم برای آماده سازی و ساختمان معدن؛
- کاهش هزینه‌های اساسی نسبت به ستول‌های عمودی؛
- سادگی در طراحی و تجهیز تأسیسات سطحی.

بنابراین، استفاده از ستول مایل نه تنها موجب تسهیل در روند استخراج می‌گردد؛ بلکه از نظر اقتصادی و تخنیکی نیز به عنوان گزینه‌ی بهتر برای عریان سازی معدن لیلا مطرح است.

۵. نتیجه گیری (Conclusion)

برای دستیابی به روش‌های مفید و میکانیزه در عریان سازی معدن و افزایش ظرفیت تولید با توجه به پوتانسیل ذخایر معدن زغال سنگ لیلا، تهیه و تدوین یک طرح جامع ضروری است. این طرح جامع باید با همکاری گروه‌های متخصص در زمینه‌های مختلف انجیری معدن طراحی شود. با این حال، پیش از ارائه‌ی چنین طرحی، یک طرح مقدماتی ضروری است تا حدود عمومی معدن، تعداد طبقات، نحوه‌ی عریان سازی، روش استخراج، پیش‌بینی تجهیزات، میزان تولید، طول عمر معدن، عمق دسترسی و زمان‌بندی عمومی را در مرحله‌ی پیش طراحی مشخص کند. در این تحقیق، هدف اصلی تدوین پیش‌طرحی مقدماتی بود که با در نظر گرفتن مطالعات جیولوجیکی، توپوگرافیکی، و موقعیت جغرافیایی معدن، آمادگی لازم را برای تیم‌های طراح در مراحل بعدی فراهم کند.

نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که با توجه به محاسبات مربوط به کندن کاری حفريات، نگهداری حفريات با استفاده از تحکیمات فلزی و چوبی، و هزینه‌های انتقال مواد از زیرزمین به سطح، و با در نظر گرفتن شرایط جغرافیایی منطقه و زاویه‌ی اقشار معدنی (۳۰ تا ۴۵ درجه)،

بهترین گزینه برای عریان‌سازی معدن زغال‌سنگ لیلای در سمنگان، استفاده از ستول مایل با کیورشلاک‌های افقی است.

علاوه بر این، تحلیل‌ها نشان داده است که از لحاظ تکنالوژی کندن‌کاری، ابزارهای تحکیم حفاریات و وسایل ترانسپورتی موجود در کشور، روش ستول مایل بهترین تناسب را با شرایط محلی دارد.

با این حال، چالش‌های اقتصادی مانع بررسی دقیق تمام شرایط معدن از نزدیک و انتخاب موقعیت بهتر، شده است. هم‌چنان، در این تحقیق تمام معلومات لازم از منابع ثانویه، شامل کتب، مقالات علمی، و گزارش‌های منتشر شده توسط وزارت معادن افغانستان گردآوری شده است. این موضوع نشان‌دهنده اهمیت انجام مطالعات ساحوی و به‌روز در تحقیقات آینده است تا طرح‌های دقیق‌تری برای بهره‌برداری از ذخایر معدنی کشور ارائه شود.

منابع و مآخذ

- احمد شاه، ف. (۱۳۹۱). ارزیابی، مطالعه‌ی وریانت‌های مناسب عریان‌سازی معادن زغال سنگ شباشک. کابل: انتشارات اکادمی علوم.
- اسکو نژاد، محمد مهدی. (۱۳۷۵). اقتصاد مهندسی. تهران: انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر.
- رضایی، م. (۱۳۹۰). دستورالعمل نگهداری و کنترل سقف در کارگاه استخراج. تهران: انتشارات سیمای دانش.
- سهاگ، عبدالشکور. (۱۳۹۰). تکنالوژی استخراج زیرزمینی معادن فلزی و غیر فلزی. کابل: انتشارات پوهنتون پولی تکنیک.
- عطایی، م. (۱۳۹۴). تجهیز و آماده‌سازی معدن زیرزمینی. شاهرود: انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.
- علوی، س. (۱۳۹۷). گزارش معلومات جیولوجیکی و تقسیمات ساحات معدنی زغال دار حوزه‌های معدنی شباشک، دهنه تور، و ولسوالی دره صوف بالای ولایت سمنگان. کابل: وزارت معادن و پترولیوم.
- دباغ، علی. (۱۳۸۳). بررسی فنی و اقتصادی معدن زغال سنگ، تهران: انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر.
- محمدزاده، ر و گشتاسبی، ک. (۱۳۹۰). ارزیابی ریسک ژئوتکنیکی و انتخاب بهینه‌ی رودهیدر در تونلهای معدن زغال‌سنگ طبس. (IRJME) Iranian Journal of Mining Engineering, ۷۹-۹۰.
- میر فخرالدین. (۱۳۹۱). تکنالوژی استخراج زیرزمینی معادن زغال سنگ، کابل: انتشارات پوهنتون پولی تکنیک.

- ASLAN, N., & TAŞKIRAN, R. (2020). KÖMÜR YIKAMA EĞRİLERİNİN BİLGİSAYAR PROGRAMI İLE ÇİZİMİ VE KULLANIMI. Sivas, Türkiye: Türkiye 13 Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı.
- Gültekin, S. (2018). Zonguldak Maden Havzasında Kullanılan Taşıma Sistemleri Üzerine İnceleme. Çurum: Bülent Ecevit Üniversitesi – Maden Mühendisliği.

مطالعه ضایعات انرژی برق در افغانستان و مقایسه آن با بعضی از کشورهای همسایه و منطقه

امین گل حنیف^۱، عبدالواحد نبی زاده^۲

- *۱. پوهندوی دوکتور، دیپارتمنت انجینیری برق و الکترونیک پوهنځی انجینیری پوهنتون کابل، کابل، افغانستان (نویسنده مسئول). <https://orcid.org/0009-0009-0061-724X> - amingulhanif@gmail.com
۲. محصل برنامه ماستری، دیپارتمنت انجینیری برق و الکترونیک، پوهنځی انجینیری پوهنتون کابل، کابل، مدیر عمومی کنترول شبکه د افغانستان برشنا شرکت، کابل، افغانستان. <https://orcid.org/0009-0006-7042-3131> - abdulwahed.n9075@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۶/۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۶/۲۸

چکیده

ضایعات انرژی برق یکی از مشکلات مهم در سیستم‌های برق‌رسانی کشورهای آسیایی به‌ویژه افغانستان به‌شمار می‌رود که موجب کاهش کارایی، افزایش هزینه‌ها و اختلال در خدمات‌رسانی می‌گردد. بررسی ضایعات انرژی برق در افغانستان یک ضرورت حیاتی برای شناسایی و رسیدگی به ناکارایی‌ها در انتقال و توزیع انرژی برق می‌باشد. هدف این تحقیق، بررسی مقدار ضایعات انرژی برق در افغانستان طی سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۰ و مقایسه آن با ضایعات انرژی برق بعضی از کشورهای همسایه و منطقه می‌باشد. این تحقیق از نوع کمی و کیفی بوده و آمار و داده‌ها از شرکت برشنا افغانستان اخذ گردیده است. تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار مایکرو سافت اکسیل و روش‌های توصیفی مانند؛ محاسبه میانگین، درصد گیری و ترسیم گراف‌ها انجام شده است. یافته‌ها نشان می‌دهند که مقدار ضایعات انرژی برق در افغانستان به مقایسه با برخی از کشورهای همسایه و منطقه به‌طور قابل ملاحظه بالاتر است. عوامل تکنیکی مانند؛ فرسودگی تجهیزات، طراحی نامناسب شبکه و عوامل غیرتخنیکی مانند؛ سرقت برق، ضعف در سیستم‌های اندازه‌گیری و نبود شفافیت در مدیریت، از جمله دلایل اصلی این ضایعات هستند.

کلمات کلیدی: ترانسفارمر، ضایعات انرژی برق، ضایعات تکنیکی، ضایعات غیر تکنیکی.

An Analytical Study of Electricity Losses in Afghanistan and their Comparative Assessment with Selected Neighboring and Regional Countries

Amin Gul Hanif^{1*}, Abdul Wahid Nabizada²

1*. Associate Prof. Ph.D. Department of Electrical and Electronic Engineering, Engineering Faculty,
Kabul University, Kabul, Afghanistan (Corresponding Author).

<https://orcid.org/0009-0009-0061-724X> - amingulhanif@gmail.com

2. Master Program Student. Department of Electrical and Electronic Engineering, Engineering Faculty &
General Manager of Network Control of Da Afghanistan Breshna Sherkat, Kabul, Afghanistan.

<https://orcid.org/0009-0006-7042-3131> - abdulwahed.n9075@gmail.com

Received: 26/08/2025

Accepted: 19/09/2025

Abstract

Electricity losses are one of the major challenges in the power supply systems of Asian countries, particularly Afghanistan, as they lead to reduced efficiency, increased costs, and disruptions in service delivery. Examining electricity losses in Afghanistan is a vital need for identifying and addressing inefficiencies in the transmission and distribution of electricity. The main objective of this research is to assess the amount of electricity losses in Afghanistan during the years 2016 to 2021 (1395–1400 in the solar calendar) and to compare them with electricity losses in some neighboring and regional countries. The nature of the research is both quantitative and qualitative, and the data is obtained from Da Afghanistan Breshna Company (DABS). The data were analyzed using Microsoft Excel software and descriptive methods such as calculating averages, percentages, and drawing graphs. The findings indicate that the level of electricity losses in Afghanistan is significantly higher compared to some neighboring and regional countries. Technical factors such as outdated equipment and poor network design, along with non-technical factors such as electricity theft, weak metering systems, and lack of transparency in management, are among the main causes of these losses.

Keywords: Non-Technical Losses, Power Losses, Technical Losses, Transformer.

۱. مقدمه (Introduction)

انرژی برق یکی از اساسی‌ترین و عمده‌ترین نیازمندی‌های اولیه جوامع معاصر بوده و همه روزه تقاضای آن بیشتر از پیش افزایش می‌یابد و این افزایش در افغانستان همیشه سیر صعودی بیشتری دارد. در این میان شهرهای بزرگ و پر جمعیت افغانستان همانند (کابل، هرات، بلخ، کندهار، ننگرهار، ...) تقاضای انرژی برق روزافزون داشته که تقاضای سالانه‌اش بیش از ۲۵ درصد می‌باشد (DABS, 2021). تحلیل و بررسی ضایعات انرژی برق در افغانستان یک ضرورت حیاتی برای شناسایی و رسیدگی به ناکارایی‌ها در انتقال و توزیع انرژی برق می‌باشد. بنابراین، ضایعات انرژی برق در افغانستان و مقایسه آن با بعضی از کشورهای همسایه و منطقه در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته است.

اکثر سیستم‌های ولتاژ متوسط و پائین و سیستم اندازه‌گیری آن‌ها در سال‌های اخیر نوسازی و بازسازی شده‌اند؛ اما آنچه درخور اهمیت است، توسعه بی‌رویه و بی‌ملاحظه این سیستم‌ها می‌باشد که به نوبه خود بحران‌ساز در افزایش ضایعات انرژی برق است.

ضایعات انرژی برق مقدار انرژی می‌باشد که از تولید (ستیشن‌ها و سب ستیشن‌های تولیدی) الی انرژی بل شده (مصرف کننده‌ها) از آن استفاده مؤثر صورت گرفته نتواند (Mahroqi et al., 2012). ضایعات انرژی برق متشکل از دو بخش ضایعات تکنیکی (Ovidiu et al., 2014) و ضایعات غیر تکنیکی یا تجارتي می‌باشد (Priyamvada et al., 2016; Nilush et al., 2019)

ضایعات تکنیکی انرژی برق ضایعاتی است که از سبب فرسودگی تجهیزات، طراحی غیراستاندارد خطوط انتقال و توزیع و استفاده از ترانسفارمرها با کارایی پائین به وجود می‌یابد. ضایعات غیر تکنیکی انرژی برق عبارت از ضایعاتی است که ناشی از سرقت برق، نبود سیستم‌های دقیق اندازه‌گیری، ضعف در مدیریت تجارتي و نظارت می‌باشد.

ارقام ضایعات انرژی برق کشورهای مورد نظر همسایه و منطقه از سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۱ ارائه شده که این دوره زمانی مطابق سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۰ می‌باشد، یعنی مقایسه ارقام ضایعات افغانستان و کشورهای مورد نظر همسایه و منطقه در یک مقطع زمانی صورت گرفته است.

از آنجایی که بیشترین انرژی برق افغانستان را برق وارداتی و اندک آن را برق تولیدی تشکیل می‌دهد. لذا ضایعات عبارت از مجموع انرژی وارداتی و انرژی تولیدی بدون انرژی فروخته شده می‌باشد (Bhatti et al., 2015). ضایعات از جمله چالش‌های عمده در سطح

کشورهای دنیا مخصوصاً کشورهای آسیایی و به خصوص افغانستان می باشد. اکثریت کشورهای دنیا با برنامه ریزی دقیق و طرح های طولی مدت توانسته اند؛ تا ضایعات شبکه انرژی برق خود را به حداقل آن برسانند (World Bank, 2021). یافته ها نشان می دهند که مقدار ضایعات انرژی برق در افغانستان به مقایسه با برخی از کشورهای همسایه و منطقه به طور قابل ملاحظه بالاتر است.

۲. مواد و روش (Materials and Method)

نوع این تحقیق کمی و کیفی است. برای تحلیل داده ها، از نرم افزار مایکروسافت اکسل (Microsoft Excel) استفاده شده است. در این تحلیل، از روش های آماری توصیفی مانند محاسبه میانگین، درصدگیری، و ترسیم گراف های مقایسوی استفاده صورت گرفته شده است؛ تا ضایعات انرژی برق در سال های مورد نظر به صورت واضح نشان داده شود. داده های مورد ضرورت برای تحلیل ضایعات انرژی برق در افغانستان از شرکت برشنا افغانستان اخذ گردیده است. داده های مورد ضرورت برای ضایعات انرژی برق بعضی از کشورهای همسایه و کشورهای پیشرفته و در حال توسعه از سایت انترنتی بانک جهانی اخذ شده است (World Bank, 2021). هدف از این تحقیق، شناسایی ضایعات انرژی برق افغانستان از سال های ۱۳۹۵ الی ۱۴۰۰ و مقایسه آن با بعضی از کشورهای همسایه و منطقه است.

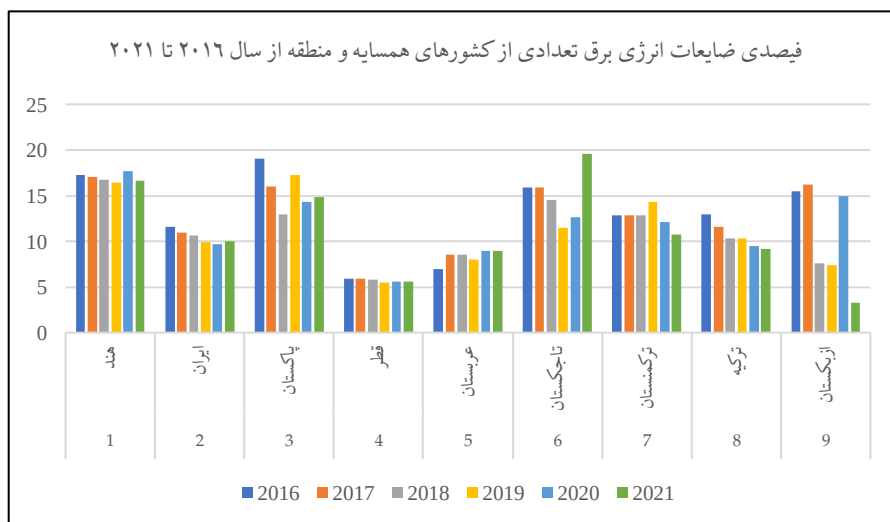
۳. یافته ها و نتایج (Results and Finding)

ضایعات کلی انرژی برق تعدادی از کشورهای همسایه و منطقه برای سال های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۱ (مطابق با سال های ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۰ هـ.ش) در جدول شماره ۱ درج شده است (World Bank, 2021). اکثریت این نتایج، کاهش ضایعات انرژی برق را از سال های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۱ نشان می دهد. این بدان معناست که همین کشورها برای کاهش ضایعات انرژی برق، طرح های مؤثر را تهیه و عملی ساخته اند تا ضایعات انرژی برق کاهش یابد و منافع چندجانبه را به دست آورند.

جدول ۱. فیصدی ضایعات انرژی برق تعدادی از کشورهای همسایه و منطقه از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۱ (World Band, 2021).

(Band, 2021)

شماره	کشورها	۲۰۱۶	۲۰۱۷	۲۰۱۸	۲۰۱۹	۲۰۲۰	۲۰۲۱
۱	هند	۱۷,۳	۱۷,۱	۱۶,۷	۱۶,۴	۱۷,۷	۱۶,۶
۲	ایران	۱۱,۶	۱۰,۹	۱۰,۶	۹,۹	۹,۷	۱۰
۳	پاکستان	۱۹,۱	۱۶	۱۳	۱۷,۳	۱۴,۳	۱۴,۸
۴	قطر	۵,۹	۵,۹	۵,۸	۵,۵	۵,۶	۵,۶
۵	عربستان	۷	۸,۵	۸,۵	۸	۹	۹
۶	تاجکستان	۱۵,۹	۱۵,۹	۱۴,۵	۱۱,۵	۱۲,۶	۱۹,۶
۷	ترکمنستان	۱۲,۸	۸,۱۲	۱۲,۸	۱۴,۳	۱۲,۱	۱۰,۷
۸	ترکیه	۱۲,۹	۱۱,۶	۱۰,۳	۱۰,۳	۹,۵	۹,۲
۹	ازبکستان	۱۵,۵	۱۶,۲	۷,۶	۷,۴	۱۵	۳,۳



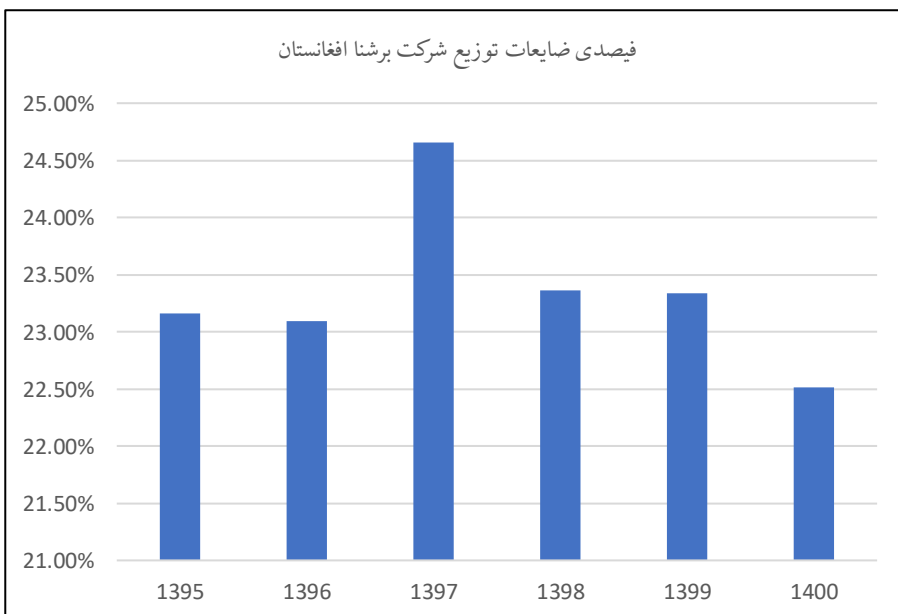
شکل ۱: فیصدی ضایعات انرژی برق تعدادی از کشورهای همسایه و منطقه از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۱ (World Band, 2021).

(Band, 2021)

ضایعات توزیع انرژی برق در افغانستان از سال ۱۳۹۵ تا سال ۱۴۰۰ (مطابق با سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۱ میلادی) تحلیل و بررسی شده و نتایج آن در جدول ۲ و شکل ۲ نشان داده شده است. این نتایج نشان می‌دهد که ضایعات توزیع انرژی برق در افغانستان از سال ۱۳۹۵ تا سال ۱۴۰۰ چندان کاهش نیافته و برای عواملی که سبب این ضایعات بوده‌اند، راه‌حل مناسب و پایدار پیدا نشده است.

جدول ۲: فیصدی ضایعات توزیع انرژی برق شرکت برشنا افغانستان از سال ۱۳۹۵ تا سال ۱۴۰۰.

ضایعات توزیع انرژی برق شرکت برشنا افغانستان	
سال	ضایعات توزیع (فیصدی)
۱۳۹۵	٪۲۳،۱۶
۱۳۹۶	٪۲۳،۰۹
۱۳۹۷	٪۲۴،۶۶
۱۳۹۸	٪۲۳،۳۶
۱۳۹۹	٪۲۳،۳۴
۱۴۰۰	٪۲۲،۵۱



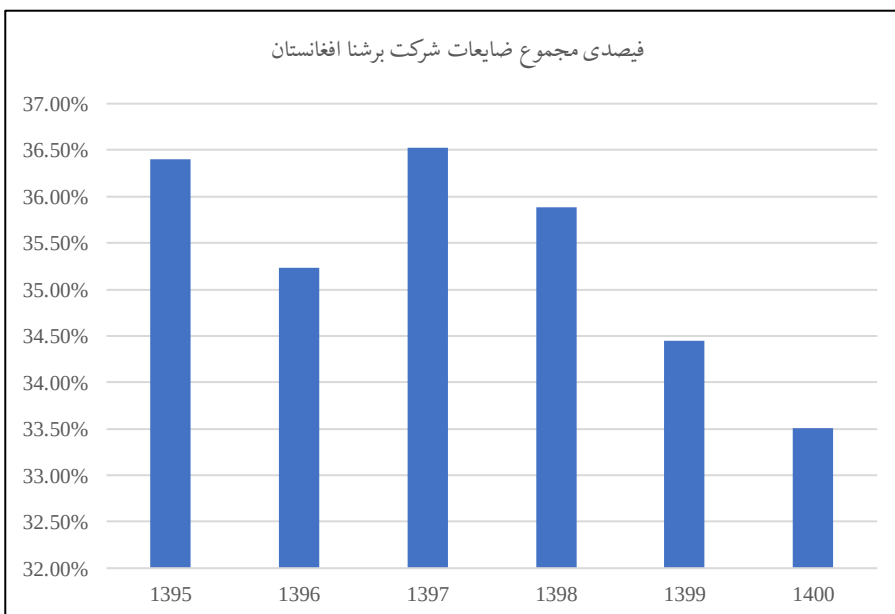
شکل ۲: فیصدی ضایعات توزیع شرکت برشنا افغانستان از سال ۱۳۹۵ تا سال ۱۴۰۰.

جدول ۳ و شکل ۳ میزان کلی ضایعات انرژی برق (ضایعات انتقال و توزیع) اعم از ضایعات تخنیکی و ضایعات غیر تخنیکی در افغانستان را نمایش می‌دهد. این نتایج نشان می‌دهد که مجموع ضایعات در فاصله سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۰، در سال‌های اخیر یعنی ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ کاهش یافته و در سال ۱۴۰۰ به حداقل رسیده است؛ اما این کاهش ضایعات چشمگیر و قابل ملاحظه نمی‌باشد.

این ضایعات شامل ضایعات تخنیکی و غیر تخنیکی می‌باشد. هر یک از ضایعات تخنیکی و غیر تخنیکی عوامل مختلف دارند که به گونه ذیل تشریح می‌گردند.

جدول ۳: فیصدی مجموع ضایعات انرژی برق شرکت برشنا افغانستان از سال ۱۳۹۵ تا سال ۱۴۰۰.

مجموع ضایعات انرژی برق شرکت برشنا افغانستان	
سال	ضایعات مجموعی (فیصدی)
۱۳۹۵	٪۳۶٫۴۰
۱۳۹۶	٪۳۵٫۲۳
۱۳۹۷	٪۳۶٫۵۳
۱۳۹۸	٪۳۵٫۸۸
۱۳۹۹	٪۳۴٫۴۵
۱۴۰۰	٪۳۳٫۵۱



شکل ۳. فیصدی مجموع ضایعات شرکت برشنا افغانستان از سال ۱۳۹۵ تا سال ۱۴۰۰.

عوامل ضایعات غیر تخنیکی (تجارتی)

۱. **عدم سنجش ضایعات حقیقی:** همان‌گونه که مشهود است، در راستای کاهش ضایعات، در گام نخست شناسایی ضایعات حقیقی و تعیین آن بخش از سیستم توان یا شبکه برق که بیشترین میزان ضایعات را به خود اختصاص داده است، از اهمیت اساسی برخوردار می‌باشد.

۲. **عدم تسلسل مشترکین به شکل ترانسفارمر وار:** اکثر مشترکین در ساختار شبکه به‌صورت تسلسل‌یافته و ترانسفارمرمحور تنظیم نگردیده‌اند. این عدم انسجام سبب می‌شود؛ تا محاسبه ضایعات در سطح ترانسفارمر و شرکت به‌طور دقیق امکان‌پذیر نباشد و در نتیجه نقاط بحرانی شبکه و بخش‌هایی که بیشترین میزان تلفات انرژی را متحمل می‌نمایند، به‌طور مؤثر شناسایی نشود.

به‌طور مثال ارقام دوره پنجم سال ۱۴۰۰ هـ. ش از فیدرهای (۶۱۸ و ۸۱۵) سب استیشن ۱۱۰ کیلو ولت حوزه کندز شرکت برشنا توسط سافت‌ویر و از جدول ماهوار سب استیشن اخذ گردید و با ارقام صدور بل مقایسه گردید که نتایج آن در جدول ۴ درج گردیده است.

جدول ۴. مقایسه ارقام انرژی فیدرهای خروجی سب استیشن ۱۱۰ کیلو ولت و محاسبه بل برق

شماره	دوره	فیدر	ارقام از سب استیشن KWH	ارقام از بخش بلینگ KWH	تفاوت به KWH	فیصدی
۱	پنجم	۶۱۸	۴۷۶۷۸۵۲	۲۱۳۴۹۹۶,۹	۲۶۳۲۸۵۵	%۵۵,۲۲
۲		۶۱۵	۶۱۸۴۶۸۰	۳۶۱۸۲۲۲,۷	۲۵۶۶۴۵۷	%۴۱,۴۹

۳. **استفاده از انرژی برق به‌صورت غیر قانونی (سرقت):** استفاده غیرقانونی از انرژی برق مسئله‌ای فراتر از مرزهای افغانستان است و در بسیاری از کشورها مشاهده می‌گردد؛ حتی در کشورهای توسعه‌یافته مانند؛ بریتانیا که سرقت برق به اشکال مختلف رخ می‌دهد (Dimo et al., 2016). روش‌های سرقت انرژی برق می‌تواند از دستکاری انرژی میتر، دستکاری سیستم اندازه‌گیری (CT و PT)، شارت ساختن خط یا لاین دخولی و خروجی انرژی میتر (دبل کاری)، استفاده مستقیم از لاین‌های ۴۰۰ ولت (چنگک) و غیره یادآوری نمود.

۴. **عدم استفاده از سرعج:** سرعج وسیله‌ای است که در جهت جلوگیری از سرقت انرژی برق در بخش انرژی میتر از آن استفاده می‌گردد. جهت جلوگیری از سرقت انرژی برق ایجاب می‌کند که تمام میترهای که در شبکه استفاده می‌شود، دارای سرعج باشد.

عوامل عمده ضایعات تخنیکی

۱. **طویل بودن خط یا لاین‌های شبکه توزیع:** عموماً لاین‌های (۲۰ kv، ۱۵ kv، ۱۰ kv و ۰.۴ kv) برای تغذیه مصرف کنندگان انرژی برق در ساحات روستایی به فاصله‌های طویل خلاف معیار تعیین شده امتداد یافته که این عمل سبب کاهش ولتاژ، بالا رفتن مقاومت (R) و ضایعات $P_{loss} = I^2 Z$ در شبکه توزیعی می‌گردد.

۲. **عدم انتخاب مقطع لاین مناسب در شبکه توزیع:** در شبکه برق‌رسانی مقطع لاین به اساس بار و جریان حد اعظمی لاین انتخاب می‌گردد؛ ولی در شبکه موجوده اکثر لاین‌های بدون در نظر داشت بار انتخاب گردیده است که انتخاب نادرست سبب اضافه باری لاین‌های شبکه و حتی گاهی سبب حریق شدن لاین‌ها گردیده است.

۳. **عدم نصب ترانسفارمرهای توزیع در مرکز بار برقی:** ترانسفارمرهای توزیع در مرکز بار برقی نظر به مصرف مشترکین نصب نبوده که در نتیجه دورترین مشترکین دارای ولتاژ پایین بوده که کاهش ولتاژ سبب ضایعات در لاین می‌گردد.

۱. **پایین بودن ضریب توان:** میتر مصرف کنندگان بزرگ در اکثر شبکه‌های توزیع پاور فکتور از ۰.۵ الی ۰.۷ می‌باشد. که ضریب توان پائین سبب بلند رفتن ضایعات توزیع می‌شود. ضریب توان پائین در شبکه باعث افزایش توان غیر فعال شده و توان غیر فعال سبب ضایعات در شبکه می‌گردد.

۲. **انتخاب نامناسب ترانسفارمرهای توزیع:** ترانسفارمرهای توزیع نقش مهمی در انتقال مؤثر انرژی برق از شبکه‌های توزیع به مصرف کنندگان دارند. این تجهیزات دارای دو نوع ضایعات هستند: ضایعات تحت بار (Load Losses) که در اثر عبور جریان از سیم پیچ‌ها ایجاد می‌شود و ضایعات بی بار (No-Load Losses) که ناشی از مقناطیسی شدن هسته ترانسفارمر حتی در حالت بدون بار است. برای کاهش این ضایعات، انتخاب ترانسفارمرهایی با طراحی موثر و مواد با کیفیت بالا ضروری است. استفاده از سیم پیچ‌های مسی با مقاومت پائین و هسته‌های از جنس فولاد سیلیکونی با ضایعات مقناطیسی کم، می‌تواند به‌طور قابل ملاحظه ضایعات انرژی را کاهش دهد. نصب ترانسفارمرهای با کارایی بالا در شبکه‌های توزیع، نه تنها موجب صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌شود؛ بلکه عمر تجهیزات را نیز افزایش می‌دهد.

۳. ضایعات انرژی برق در ترانسفارمرهای توزیع: عدم استفاده از سیستم‌های کنترلی هوشمند برای تنظیم عملکرد ترانسفارمرها در ساعات مختلف بار مصرفی، می‌تواند منجر به افزایش ضایعات انرژی برق شود. در بسیاری از سبب‌ستیشن‌ها که دارای دو ترانسفارمر با ظرفیت مشابه هستند، عدم مدیریت موثر در ساعات کم بار مانند استفاده هم زمان از هر دو ترانسفارمر باعث افزایش ضایعات می‌گردد.

۴. احداث غیر مسلکی خطوط انتقال: خطوط انتقال نیز به‌صورت غیر استاندارد به فاصله‌های طولانی و با ولتاژ پائین تمدید گردیده است که سبب بیشترین ضایعات گردیده است.

از اینکه ضایعات تخریکی در شبکه ابعاد بزرگتر را دارا بوده فلهمذا ضایعات دیگر شبکه را بشکل فشرده و خلاصه به‌طور ذیل بیان نمود:

- اضافه باری و فرسودگی بعضی از لاین‌های ولتاژ متوسط و ولتاژ پائین در شبکه توزیعی.
- اضافه بار بودن ترانسفارمرهای توزیع بنابر پائین بودن ظرفیت آن‌ها و تقاضای بیش از حد انرژی؛
- قطع شدن لاین‌های ولتاژ بلند و متوسط و دوباره پیوند نادرست آن‌ها؛
- فرسودگی و غیر استاندارد بودن تجهیزات بعضی از شبکات که در سابق ساخته شده است؛
- پائین بودن سطح ولتاژ شبکه نظر به طول لاین‌ها؛
- موجودیت شبکه ۶ و ۱۰ کیلوولت در بعضی واحدهای برشنا که بیشتر از نورم تمدید شده است؛
- اضافه باری سبب استیشن‌ها؛
- استهلاک و فرسودگی بعضی سبب استیشن‌ها و ترانسفرمرهای قدرت؛
- موجودیت صنایع کهنه، فرسوده و عدم سیم کشی به‌شکل استاندارد در شبکه؛
- متعادل نبودن بار فازها؛
- عدم توجه در حفظ و مراقبت تجهیزات شبکه.

۴. مناقشه (Discussion)

فیصدی ضایعات کلی انرژی برق در برخی از کشورهای همسایه و منطقه از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۱ به‌طور قابل ملاحظه کاهش یافته است و نشان می‌دهد که این کشورها برای کاهش ضایعات انرژی برق، برنامه‌ها و طرح‌های مؤثری را تدوین و عملی ساخته‌اند.

برای افغانستان، فیصدی ضایعات توزیع و فیصدی ضایعات کلی انرژی برق از سال ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۰ (مطابق سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۱) بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که ضایعات توزیع انرژی برق در افغانستان در دوره مورد نظر کاهش چشمگیر نداشته است. ضایعات کلی انرژی برق نیز در سال ۱۴۰۰ هـ ش تا حدی کاهش یافته؛ اما این کاهش قابل توجه و چشمگیر نمی‌باشد.

در بررسی فیصدی ضایعات کلی کشورهای همسایه و منطقه مشاهده می‌شود که هند، پاکستان و تاجکستان ضایعات انرژی برق بیشتری دارند؛ اما در مقایسه با افغانستان، ضایعات کلی انرژی برق این کشورها در سطح بسیار پائین‌تر قرار دارد.

با وجود اصلاحاتی در بخشی از شبکه‌های توزیع برق افغانستان، ضایعات انرژی برق همچنان در سطح بالایی باقی‌مانده است. این امر نشان می‌دهد که تنها اصلاحات تکنیکی بدون بهبود مدیریتی و تجاری کافی نیست. بنابراین، اتخاذ یک رویکرد جامع و چندبُعدی برای کاهش ضایعات انرژی برق ضروری است.

۵. نتیجه‌گیری (Conclusion)

ضایعات انرژی برق یکی از مشکلات مهم در سطح جهانی، به‌ویژه در کشورهای کمتر توسعه‌یافته مانند افغانستان، محسوب می‌شود. هدف این تحقیق بررسی میزان ضایعات انرژی برق در افغانستان طی سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۰ هـ ش و مقایسه آن با ضایعات انرژی برق برخی از کشورهای همسایه و منطقه می‌باشد. این تحقیق از نوع کمی و کیفی است که آمار و داده‌ها از شرکت برشنا اخذ و با استفاده از نرم افزار مایکرو سافت اکسیل و روش‌های توصیفی تحلیل شده است. یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد که ضایعات توزیع و ضایعات کلی انرژی برق در افغانستان در مقایسه با کشورهای همسایه و منطقه در سطح بالاتری قرار دارد و طی دوره مورد نظر کاهش چشمگیری نداشته است. در حالی که کشورهای همسایه و منطقه با اجرای برنامه‌های مؤثر توانسته‌اند تا سال ۱۴۰۰ هـ ش ضایعات انرژی برق خود را به‌طور قابل توجه کاهش دهند.

عوامل اصلی ضایعات انرژی برق در افغانستان شامل ضایعات تکنیکی (فرسودگی تجهیزات، طراحی غیراستاندارد و ترانسفارمرهای کم‌کارا) و ضایعات غیرتکنیکی (سرقت برق، ضعف مدیریت تجاری و نبود نظارت مؤثر) می‌باشد. برای کاهش این ضایعات، نوسازی تجهیزات، استفاده از ترانسفارمرهای با کارایی بلند، نصب میترهای هوشمند و تقویت مدیریت و نظارت

پیشنهاد می‌گردد. بنابراین، کاهش مؤثر ضایعات انرژی برق در افغانستان نیازمند یک رویکرد جامع است که هم ابعاد تکنیکی و هم مدیریتی را در می‌گیرد.

منابع و مأخذ

- Bhatti, S. S., Lodhi, M. U. U., Shan ul Haq, Mehdi, S. N., Javaid, M. A., Reza, M. Z., & Lodhi, M. I. U. (2015). Electric Power Transmission and Distribution Losses Overview and Minimization in Pakistan, *International Journal of Scientific & Engineering Research*, Volume 6, Issue 4, ISSN 2229-5518.
- DABS. (2021). Electric energy demand (<https://main.dabs.af>)
- Dimo, S. V. A., & Ivan, Z. (2016). Assessment of Electric Energy Losses Aiming at Detection of Thefts of Electricity, 978-1-4673-9522-9, *IEEE*.
- Mahroqi, Y., Metwally, I. A., Hinai, A., & Badi, A. (2012). Reduction of Power Losses in Distribution Systems, *World Academy of Science, Engineering and Technology*.
- Nilush, P. J., Perera, R., & Tilka, S. (2019). Technical and Non-Technical Losses in Single Phase Energy Metering, 978-1-7281-6657-5/19/*IEEE*.
- Ovidiu, F. C. B., Stefan, K., & Andrei, C. (2014). Distribution Network Technical Losses Evaluation. Case Study for a Real 110 kV Electrical Network, *17th IEEE Mediterrane Electrotechnical Conference*, Beirut, Lebanon, 13-16.
- Priyamvada, C., Tripta, T. M., & Sawale, B. A. (2016). Energy Meter Tampering: Major Cause of Non- Technical Losses in Indian Distribution Sector, 978-1-5090-2476-6/16 *IEEE*.
- Word Bank Group. (2021). Electric power transmission and distribution losses (% of output), *IEA Energy Statistics* <https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.LOSS.ZS>

بررسی میزان علاقمندی شاگردان به مضمون ریاضی

یلدا قانع

پوهنمل، دیپارتمنت ریاضی، پوهنځی تعلیم و تربیه، پوهنتون فاریاب، میمنه، افغانستان.

<https://orcid.org/0000-0002-3030-5783-yalda.qani@gmail.com>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۸

چکیده

این مقاله به بررسی عوامل مؤثر بر علاقه‌مندی شاگردان به یادگیری ریاضی و شناسایی مشکلات موجود در این فرآیند می‌پردازد. هدف اصلی تحقیق، ارزیابی میزان علاقه و مشارکت شاگردان در یادگیری ریاضی و شناسایی مشکلات است. برای این منظور، نظریات ۴۵ شاگرد از دو مکتب با پرسشنامه‌ای شامل ۲۱ سوال جمع‌آوری شد. نتایج نشان می‌دهد که ۹۳.۳۳٪ از پاسخ‌دهندگان به یادگیری ریاضی علاقه‌منداند و ۶۴.۴۴٪ مشارکت فعالی در صنف دارند. همچنین، ۸۴.۴۵٪ به حل مسائل ریاضی تمایل دارند؛ اما ۵۳.۳۴٪ سواد ریاضیکی کمی در خانواده دارند و ۷۱.۱۱٪ به تحصیلات عالی در این زمینه علاقه‌مند هستند. ۷۵.۵۵٪ عدم دسترسی به ویدیوهای آموزشی آنلاین را گزارش کرده‌اند. یافته‌ها نشان می‌دهند که اگرچه ۷۱.۱۱٪ از شاگردان به یادگیری ریاضی علاقه دارند، نیاز به بهبود در مشارکت و استفاده از منابع دیجیتالی وجود دارد. مقایسه با تحقیقات پیشین حاکی از اهمیت روش‌های نوین آموزشی و تأثیر رفتار معلم بر یادگیری است. نتایج این تحقیق می‌تواند به شناسایی عوامل مؤثر بر انگیزه یادگیری و بهبود تدریس ریاضی کمک کند.

کلمات کلیدی: تأثیر رفتار معلم، روش‌های آموزشی، علاقه‌مندی به ریاضی، مشارکت شاگردان، منابع آموزشی دیجیتالی، یادگیری ریاضی.

Examining Students' Interest Level in Mathematics

Yalda Qahni

Senior Teaching Assistant, Department of Mathematics, Faculty of Education, Faryab University,
Maimane, Afghanistan.

yalda.qani@gmail.com - <https://orcid.org/0000-0002-3030-5783>

Received: 02/02/2025

Accepted: 28/3/2024

Abstract

This article examines the factors affecting students' interest in learning mathematics and identifying problems in this process. The main objective of the research is to assess the level of interest and participation of students in learning mathematics and identifying problems. For this purpose, the opinions of 45 students from two schools were collected with a questionnaire consisting of 21 questions. The results show that 93.33% of the respondents are interested in learning mathematics and 64.44% are actively participating in the classroom. Also, 84.45% are interested in solving mathematical problems, but 53.34% have little mathematical literacy in the family and 71.11% are interested in higher education in this field. 75.55% reported lack of access to online educational videos. The findings show that although 71.11% of students are interested in learning mathematics, there is a need to improve participation and use of digital resources. Comparison with previous research indicates the importance of modern educational methods and the impact of teacher behavior on learning. The results of this research can help identify factors affecting learning motivation and improve mathematics teaching.

Keywords: Digital Educational Resources, Interest In Mathematics, Teacher Behavior Impact, Educational Methods, Student Participation, Mathematics Learning.

۱. مقدمه (Introduction)

یادگیری ریاضی یکی از ارکان اساسی تعلیم و تربیه است که تأثیر زیادی بر رشد شناختی و تحصیلی شاگردان دارد. با این حال، بسیاری از شاگردان در یادگیری این درس با مشکلات متعددی مواجه هستند. علاقه‌مندی به یادگیری ریاضی، نه تنها به شاگردان کمک می‌کند تا مفاهیم ریاضی را بهتر درک کنند؛ بلکه می‌تواند بر عملکرد تحصیلی و آینده شغلی آنان نیز تأثیرگذار باشد. تحقیق حاضر به بررسی عوامل مؤثر بر علاقه‌مندی شاگردان به یادگیری ریاضی می‌پردازد و هدف آن شناسایی نقاط قوت و مشکلات موجود در جریان یادگیری است. در این راستا، نظریات شاگردان از دو مکتب مختلف جمع‌آوری شده و عوامل مؤثر بر انگیزه یادگیری آن‌ها تحلیل می‌شود. مسائل مربوط به یادگیری ریاضی، از جمله عدم مشارکت فعال در صنف، استفاده ناکافی از منابع آموزشی دیجیتال و کمبود دسترسی به ویدیوهای آموزشی، از جمله چالش‌هایی هستند که نیاز به بررسی و تحلیل دارند. با توجه به اهمیت این موضوع، این تحقیق به دنبال ارائه روش‌های مؤثر برای بهبود تدریس ریاضی و افزایش انگیزه شاگردان است. در این تحقیق، ابتدا به بررسی پیشینه‌های نظری مرتبط پرداخته شده و سپس روش تحقیق، شامل جمع‌آوری اطلاعات و تحلیل آن‌ها، توضیح داده می‌شود. نتایج این تحقیق می‌تواند به معلمان و مسئولان آموزشی در شناخت بهتر نیازها و مشکلات شاگردان کمک کرده و به بهبود پروسه یادگیری ریاضی منجر شود. تحقیقات متعددی در زمینه یادگیری ریاضی و عوامل مؤثر بر آن انجام شده است که نشان‌دهنده اهمیت روش‌های آموزشی و تعاملات در فرآیند یادگیری هستند. در این راستا، فیدی و تیموری (۲۰۰۸) به بررسی تأثیر اسباب بازی‌های آموزشی بر یادگیری مفاهیم پیش از عدد ریاضی در کودکان پیش از دبستان پرداخته‌اند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از اسباب بازی‌های آموزشی می‌تواند به بهبود یادگیری مفاهیم ریاضی در این گروه سنی کمک کند و تفاوت معناداری در یادگیری بین پیش‌آزمون و پس‌آزمون مشاهده شده است. افشاری و همکاران (۲۰۲۲) نیز در مطالعه‌ای به تأثیر آموزش فراشناختی بر کاهش مشکلات ریاضی شاگردان مبتلا به اختلال یادگیری خواندن و نوشتن ریاضی پرداخته‌اند و نتایج نشان می‌دهد که این نوع آموزش می‌تواند به بهبود یادگیری ریاضی کمک کند. برومند (۲۰۱۸) به بررسی استفاده از تلفن همراه به عنوان ابزاری برای افزایش یادگیری در درس ریاضی پرداخته است و به این نتیجه رسیده که فناوری‌های نوین می‌توانند تأثیر مثبتی بر یادگیری داشته باشند. حسین‌خانزاده و همکاران (۲۰۱۹) تأثیر برنامه‌های آموزشی رایانه‌ای بر یادگیری ریاضی و علاقه به ریاضی شاگردان دیرآموز را مورد بررسی قرار داده‌اند و نتایج آن‌ها نشان‌دهنده افزایش علاقه و یادگیری در

این گروه از شاگردان است. همچنین، سبزه و دیلمی پور (۲۰۲۰) به تأثیر توجه و بازخورد معلم بر میزان یادگیری مباحث ریاضی شاگردان دارای اختلال ریاضی پرداخته‌اند و نشان داده‌اند که بازخورد مناسب می‌تواند به بهبود یادگیری کمک کند. سعید و جدیدی محمدآبادی (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای دیگر به بررسی تأثیر آموزش از طریق تلفن همراه بر یادگیری و رضایت‌مندی تحصیلی دانشجویان پرداخته‌اند که نتایج آن حاکی از اثر مثبت این روش آموزشی بر یادگیری و تمرکز است. سلیمی‌زلیکه و عرفانی (۲۰۰۸) نیز در مروری بر اختلال‌های یادگیری در ریاضیات به تحلیل عملکرد شاگردان در آزمون‌های ریاضی پرداخته‌اند و بر لزوم توجه به این اختلالات تأکید کرده‌اند. فانی‌اسکی (۲۰۲۱) و گل‌فرشچی (۲۰۱۹) نیز به نقش داستان‌ها و بازی‌های رایانه‌ای در یادگیری ریاضی پرداخته‌اند و نتایج آن‌ها نشان‌دهنده تأثیر مثبت این روش‌ها بر یادگیری است. در نهایت، مطهری‌نژاد و فاتحی چنار (۲۰۱۷) بر نقش شایستگی‌های حرفه‌ای دبیران ریاضی در پیش‌بینی پیشرفت تحصیلی تأکید کرده و یافتیان و عبدی (۲۰۲۱) به اثربخشی آموزش به کمک بازی‌ها به کاهش اضطراب و ایجاد انگیزه ریاضی شاگردان اشاره کرده‌اند. این پیشینه نشان می‌دهد که استفاده از روش‌های نوین آموزشی و توجه به نیازهای خاص شاگردان می‌تواند به بهبود یادگیری ریاضی کمک کند. بنابراین، این تحقیق به بررسی علاقه‌مندی شاگردان به یادگیری ریاضی و شناسایی عواملی که بر این علاقه تأثیر می‌گذارد، می‌پردازد.

۲. مواد و روش (Materials and Method)

این تحقیق به بررسی علاقه‌مندی شاگردان به یادگیری ریاضی می‌پردازد. جامعه آماری این مطالعه شامل ۴۵ شاگرد از دو مکتب (لیسه عالی تجربوی عربخانه و لیسه خصوصی تنویرفاریاب) در شهر میمنه است. برای انتخاب نمونه، از روش نمونه‌گیری تصادفی ساده استفاده شده است.

برای جمع‌آوری داده‌ها، یک پرسشنامه شامل ۲۱ سؤال طبق قالب طیف لیکرت طراحی گردید که به بررسی ابعاد مختلف یادگیری ریاضی می‌پردازد.

پس از جمع‌آوری پاسخ‌ها، داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار اکسل (Excel) برای محاسبه درصد هر گزینه از فرمول برای محاسبه درصد هر گزینه از فرمول زیر استفاده شد:

$$P = \left(\frac{n}{N} \right) \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

در رابطه فوق P درصد گزینه‌ها، n تعداد پاسخ‌ها برای هر گزینه خاص و N تعداد کل پاسخ‌دهندگان می باشد.

پس از تجزیه و تحلیل داده‌ها توسط نرم‌افزار Excel ترسیم و نتایج به صورت جداول و گراف‌های دایره‌ای و میله‌ای نمایش داده شد.

۳. نتایج و تحلیل داده‌ها

۱.۳. جداول نتایج

پرسشنامه شامل ۲۱ سوال بوده و پاسخ‌ها در چهار گزینه‌ی "بسیار زیاد"، "زیاد"، "متوسط"، "کم" و "اصلاً" جمع‌آوری و جدول بندی شده است.

جدول ۱. توزیع دفعات تعداد پاسخ‌ها برای هر گزینه

شماره	سوالات	بسیار زیاد	زیاد	متوسط	کم	اصلاً	مجموعه
۱	چقدر به یادگیری ریاضی علاقه دارید؟	۳۲	۱۰	۲	۰	۱	۴۵
۲	چقدر در ساعت‌های درسی ریاضی مشارکت می‌کنید؟	۱۰	۱۹	۱۵	۰	۰	۴۵
۳	چقدر مطالب ریاضی را خارج از صنف مطالعه می‌کنید؟	۱۲	۱۷	۱۲	۳	۱	۴۵
۴	چقدر به حل مسائل ریاضی علاقه‌مند هستید؟	۲۵	۱۳	۶	۱	۰	۴۵
۵	چقدر در یادگیری ریاضی از دوستانتان کمک می‌گیرید؟	۶	۶	۱۸	۱۲	۳	۴۵
۶	چقدر محیط صنف بر یادگیری شما تأثیر دارد؟	۱۵	۱۵	۱۰	۵	۰	۴۵
۷	چه تعدادی از اعضای خانواده تان سواد ریاضیکی دارند؟	۴	۸	۱۲	۱۶	۵	۴۵
۸	چقدر اعضای خانواده تان در حل مسائل ریاضی با شما کمک می‌کنند؟	۲	۱۰	۱۲	۱۳	۸	۴۵
۹	چقدر از ویدیوهای آموزشی در یادگیری ریاضی استفاده می‌کنید؟	۴	۱۰	۱۰	۱۴	۷	۴۵
۱۰	چقدر از بازی‌های ریاضی برای یادگیری ریاضی استفاده می‌کنید؟	۴	۵	۱۴	۱۲	۱۰	۴۵
۱۱	چقدر از ویدیوهای آموزشی آنلاین در یادگیری ریاضی استفاده می‌کنید؟	۶	۵	۲	۱۱	۲۳	۴۵
۱۲	چقدر ارتباط بین ریاضی و امور روز مره، بر یادگیری شما مؤثر است؟	۱۳	۹	۹	۱۰	۴	۴۵

۱۳	چقدر از وسایل روز (مانند کمپیوتر و تبلت) در تدریس ریاضی استفاده می‌کنید؟	۸	۹	۸	۸	۱۲	۴۵
۱۴	چقدر به یادگیری ریاضی در آینده (تحصیلات عالی) علاقه دارید؟	۲۴	۸	۳	۵	۵	۴۵
۱۵	چقدر به حل مسائل ریاضی چالشی (سخت) تمایل دارید؟	۱۸	۱۵	۸	۲	۲	۴۵
۱۶	چقدر به یادگیری ریاضی در دوران متعلمی خود رضایت دارید؟	۲۲	۱۲	۹	۰	۲	۴۵
۱۷	چقدر به یادگیری ریاضی به صورت کار گروهی تمایل دارید؟	۱۵	۱۵	۱۲	۲	۱	۴۵
۱۸	چقدر به مطالعه کتاب‌های ریاضی تمایل دارید؟	۱۹	۱۴	۷	۳	۲	۴۵
۱۹	چقدر ریاضی را در دنیای واقعی (مانند علوم، هنر و غیره) کاربردی می‌دانید؟	۲۴	۱۰	۵	۳	۳	۴۵
۲۰	چقدر در مسابقات ریاضی شرکت کرده‌اید؟	۷	۱۵	۱۸	۵	۱	۴۵
۲۱	چقدر به حل معماها و مسائل ریاضی علاقه دارید؟	۲۰	۱۰	۹	۲	۴	۴۵

جدول ۲. ترتیب نمادین در صد مقادیر هر گزینه جهت ترسیم گراف‌ها برای تمامی سوالات

شماره	سوالات	بسیار زیاد	زیاد	متوسط	کم	اصلاً
۱	چقدر به یادگیری ریاضی علاقه دارید؟	٪۷۱.۱۱	٪۲۲.۲۲	٪۴.۴۴	٪۰	٪۲.۲۲
۲	چقدر در ساعت‌های درسی ریاضی مشارکت می‌کنید؟	٪۲۲.۲۲	٪۴۲.۲۲	٪۳۳.۳۳	٪۰	٪۰
۳	چقدر مطالب ریاضی را خارج از صنف مطالعه می‌کنید؟	٪۲۶.۶۷	٪۳۷.۷۸	٪۲۶.۶۷	٪۶.۶۷	٪۲.۲۲
۴	چقدر به حل مسائل ریاضی علاقه‌مند هستید؟	٪۵۵.۵۶	٪۲۸.۸۹	٪۱۳.۳۳	٪۲.۲۲	٪۰
۵	چقدر در یادگیری ریاضی از دوستانتان کمک می‌گیرید؟	٪۱۳.۳۳	٪۱۳.۳۳	٪۴۰.۰۰	٪۲۶.۶۷	٪۶.۶۷
۶	چقدر محیط صنف بر یادگیری شما تأثیر دارد؟	٪۱۳.۳۳	٪۱۳.۳۳	٪۲۲.۲۲	٪۱۱.۱۱	٪۰
۷	چه تعدادی از اعضای خانواده تان سواد ریاضیکی دارند؟	٪۸.۸۹	٪۱۷.۷۸	٪۲۶.۶۷	٪۳۵.۵۶	٪۱۱.۱۱
۸	چقدر اعضای خانواده تان در حل مسائل ریاضی با شما کمک می‌کنند؟	٪۴.۴۴	٪۲۲.۲۲	٪۲۶.۶۷	٪۲۸.۸۹	٪۱۷.۷۸
۹	چقدر از ویدیوهای آموزشی در یادگیری	٪۸.۸۹	٪۲۲.۲۲	٪۲۲.۲۲	٪۳۱.۱۱	٪۱۵.۵۶

					ریاضی استفاده می‌کنید؟	
۱۰	چقدر از بازی‌های ریاضی برای یادگیری ریاضی استفاده می‌کنید؟	۸۸٪	۱۱٪	۳۱٪	۶۷٪	۲۲٪
۱۱	چقدر از ویدیوهای آموزشی آنلاین در یادگیری ریاضی استفاده می‌کنید؟	۱۳٪	۱۱٪	۴۴٪	۴۴٪	۵۱٪
۱۲	چقدر ارتباط بین ریاضی و امور روز مره، بر یادگیری شما مؤثر است؟	۲۸٪	۲۰٪	۲۰٪	۲۲٪	۸۸٪
۱۳	چقدر از وسایل روز (مانند کامپیوتر و تبلت) در تدریس ریاضی استفاده می‌کنید؟	۱۷٪	۲۰٪	۱۷٪	۷۸٪	۲۶٪
۱۴	چقدر به یادگیری ریاضی در آینده (تحصیلات عالی) علاقه دارید؟	۵۳٪	۱۷٪	۶۷٪	۱۱٪	۱۱٪
۱۵	چقدر به حل مسائل ریاضی چالشی (سخت) تمایل دارید؟	۴۰٪	۳۳٪	۱۷٪	۴۴٪	۴۴٪
۱۶	چقدر به یادگیری ریاضی در دوران متعلمی خود رضایت دارید؟	۴۸٪	۶۷٪	۲۰٪	۰٪	۴۴٪
۱۷	چقدر به یادگیری ریاضی به‌صورت کار گروهی تمایل دارید؟	۳۳٪	۳۳٪	۲۶٪	۴۴٪	۲۲٪
۱۸	چقدر به مطالعه کتاب‌های ریاضی تمایل دارید؟	۴۲٪	۳۱٪	۱۵٪	۶۷٪	۴۴٪
۱۹	چقدر ریاضی را در دنیای واقعی (مانند علوم، هنر و غیره) کاربردی می‌دانید؟	۵۳٪	۲۲٪	۱۱٪	۶۷٪	۶۶٪
۲۰	چقدر در مسابقات ریاضی شرکت کرده‌اید؟	۱۵٪	۳۳٪	۴۰٪	۱۱٪	۲۲٪
۲۱	چقدر به حل معماها و مسائل ریاضی علاقه دارید؟	۴۴٪	۲۲٪	۲۰٪	۴۴٪	۸۸٪

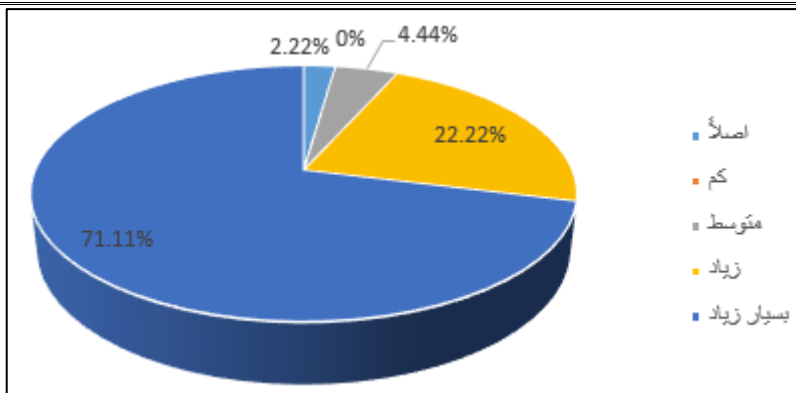
۲.۳. گراف‌ها

برای تجسم بهتر اطلاعات و تحلیل روابط، از گراف‌های دایره‌ای و میله‌ای برای هر سوال استفاده گردید.

سوال ۱. چقدر به یادگیری ریاضی علاقه دارید؟

پاسخ‌ها: بسیار زیاد: ۱۱٪، زیاد: ۲۲٪، متوسط: ۴۴٪، کم: ۰٪ و اصلاً: ۲۲٪.

تحلیل: نظر به پاسخ‌های ارائه شده فوق اکثریت قریب به اتفاق پاسخ‌دهندگان (۹۳.۳۳٪) به یادگیری ریاضی علاقه دارند. این نشان می‌دهد که ریاضی به‌عنوان یک موضوع جذاب برای شاگردان شناخته می‌شود و فیصدی نمادین هرگزینه به صورت زیر است.

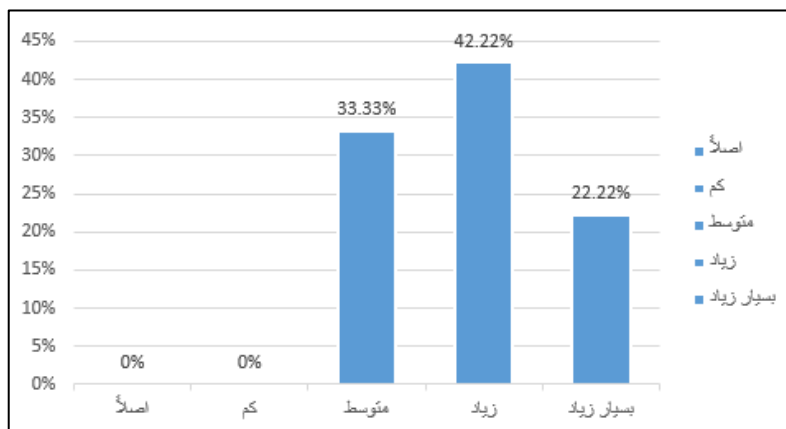


گراف ۱. فیصدی علاقه شاگردان به یادگیری ریاضی

سوال ۲. چقدر در ساعات‌های درسی ریاضی مشارکت می‌کنید؟

پاسخ‌ها: بسیار زیاد: ۲۲.۲۲٪، زیاد: ۴۲.۲۲٪، متوسط: ۳۳.۳۳٪، کم: ۰٪ و اصلاً: ۰٪.

تحلیل: (۶۴.۴۴٪) از شاگردان مشارکت فعال دارند (بسیار زیاد و زیاد) که نشان‌دهنده علاقه و تمایل آنان به یادگیری است.

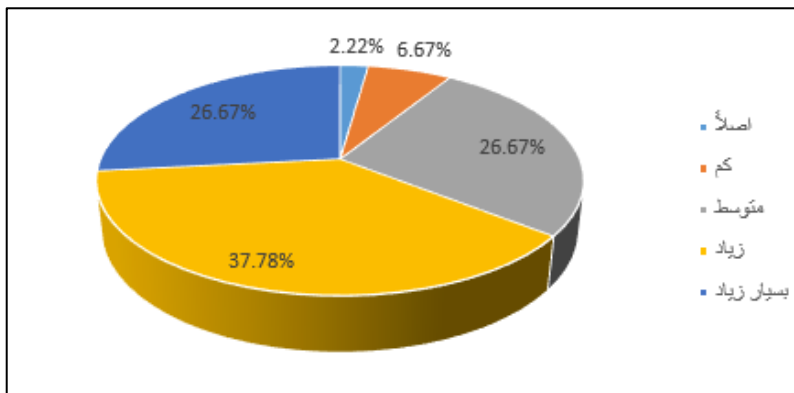


گراف ۲. فیصدی مشارکت شاگردان در ساعات‌های درسی ریاضی

سوال ۳: چقدر مطالب ریاضی را خارج از صنف مطالعه می‌کنید؟

پاسخ‌ها: بسیار زیاد: ۲۶.۶۷٪، زیاد: ۳۷.۷۸٪، متوسط: ۲۶.۶۷٪، کم: ۶.۶۷٪ و اصلاً: ۲.۲۲٪.

تحلیل: حدود $\frac{2}{3}$ ام از شاگردان به مطالعه خارج از صنف پرداخته‌اند که نشان‌دهنده‌ی خودآموزی و علاقه به یادگیری مستقل است.

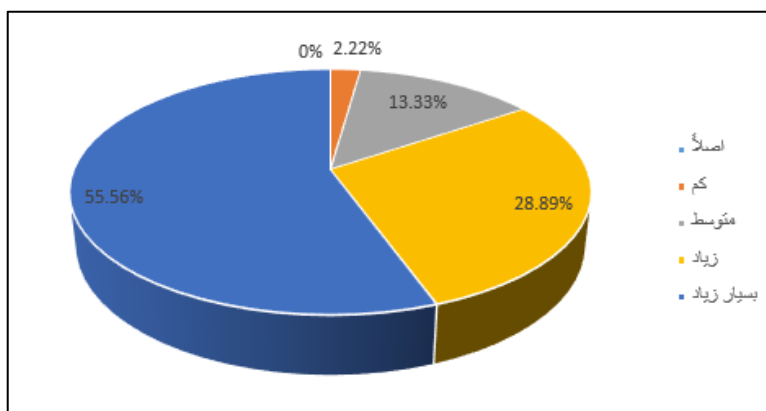


گراف ۳. فیصدی مطالعه مطالب ریاضی خارج از صنف

سوال ۴. چقدر به حل مسائل ریاضی علاقه‌مند هستید؟

پاسخ‌ها: بسیار زیاد: ۵۵.۵۶٪، زیاد: ۲۸.۸۹٪، متوسط: ۱۳.۳۳٪، کم: ۲.۲۲٪ و اصلاً: ۰٪.

تحلیل: حدود ۸۴.۴۵٪ شاگردان به حل مسائل ریاضی علاقه دارند که نشان‌دهنده‌ی روحیه چالش‌پذیری آنان است.

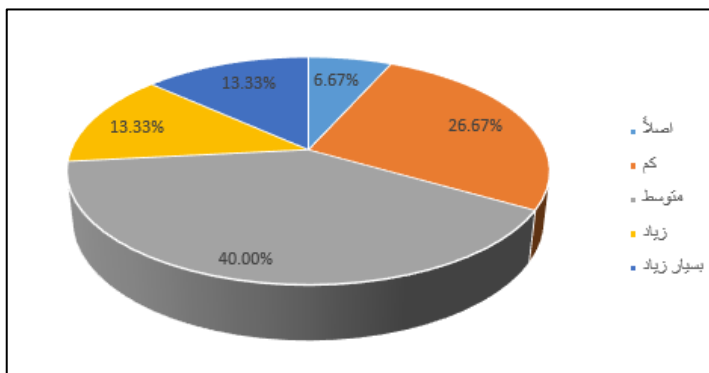


گراف ۴. فیصدی علاقه بر حل مسائل ریاضی

سوال ۵. چقدر در یادگیری ریاضی از دوستان تان کمک می گیرید؟

بسیار زیاد: ۱۳.۳۳٪، زیاد: ۱۳.۳۳٪، متوسط: ۴۰.۰۰٪، کم: ۲۶.۶۷٪ و اصلاً: ۶.۶۷٪.

تحلیل: ۶۶.۶۶٪ از پاسخ دهندگان به استفاده از کمک دوستان در یادگیری اشاره کرده اند که نشان دهنده اهمیت همکاری در جریان یادگیری است.

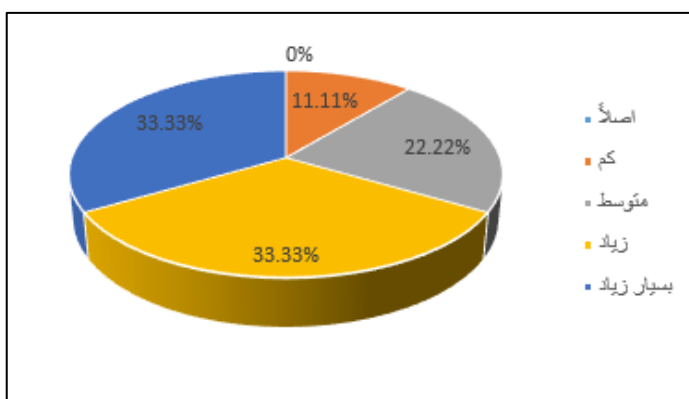


گراف ۵. فیصدی کمک گیری از دوستان

سوال ۶. چقدر محیط صنف بر یادگیری شما تأثیر دارد؟

پاسخ ها: بسیار زیاد: ۳۳.۳۳٪، زیاد: ۳۳.۳۳٪، متوسط: ۲۲.۲۲٪، کم: ۱۱.۱۱٪ و اصلاً: ۰٪.

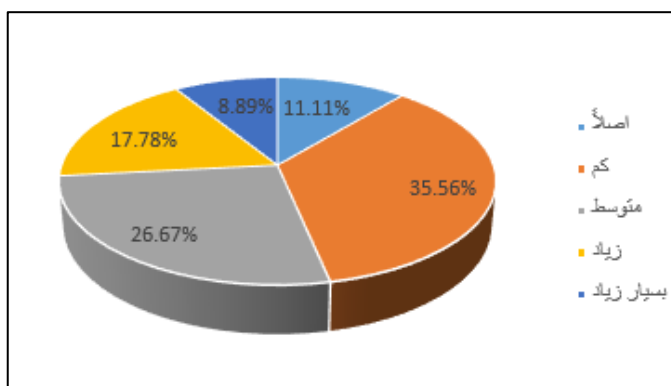
تحلیل: ۶۶.۶۶٪ از شاگردان تأثیر محیط صنف را زیاد و بسیار زیاد ارزیابی کرده اند که اهمیت فضای آموزشی را برجسته می کند.



گراف ۶. فیصدی تأثیر محیط صنف بر یادگیری

سوال ۷. چه تعدادی از اعضای خانواده تان سواد ریاضیکی دارند؟

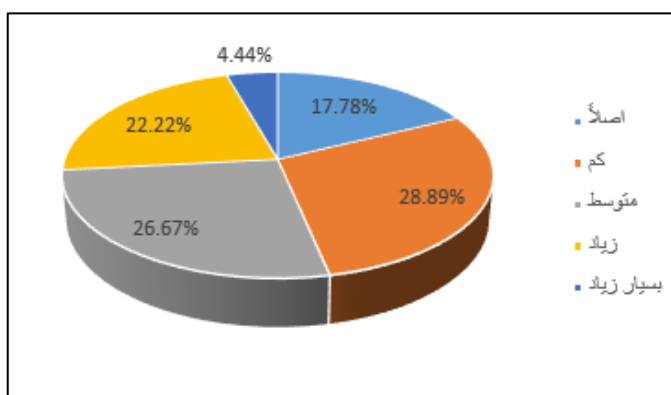
پاسخ‌ها: بسیار زیاد: ۸.۸۹٪، زیاد: ۱۷.۷۸٪، متوسط: ۲۶.۶۷٪، کم: ۳۵.۵۶٪ و اصلاً: ۱۱.۱۱٪.
تحلیل: ۵۳.۳۳٪ از پاسخ‌دهندگان سواد ریاضیکی خانواده را کم یا بسیار کم ارزیابی کرده‌اند که می‌تواند بر یادگیری آنان تأثیر بگذارد.



گراف ۷. فیصدی تأثیر سواد خانواده بر یادگیری

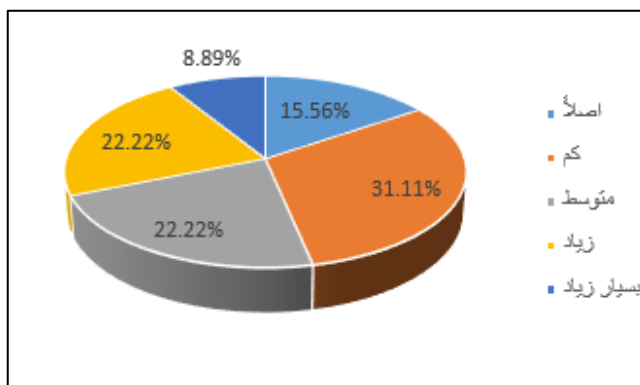
سوال ۸. چقدر اعضای خانواده تان در حل مسائل ریاضی با شما کمک می‌کنند؟

پاسخ‌ها: بسیار زیاد: ۴.۴۴٪، زیاد: ۲۲.۲۲٪، متوسط: ۲۶.۶۷٪، کم: ۲۸.۸۹٪ و اصلاً: ۱۷.۷۸٪.
تحلیل: تنها (۲۶.۶۶٪) از پاسخ‌دهندگان کمک (بسیار زیاد و زیاد) از خانواده دریافت می‌کنند، که می‌تواند انگیزه آنان را تحت تأثیر قرار دهد.



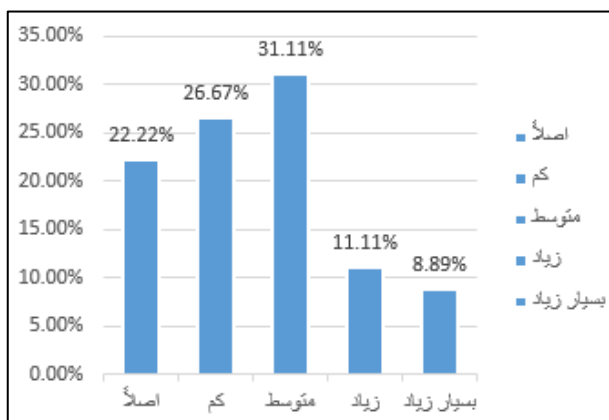
گراف ۸. فیصدی کمک خانواده بر یادگیری حل مسائل ریاضی

سوال ۹. چقدر از ویدیوهای آموزشی در یادگیری ریاضی استفاده می کنید؟
پاسخ ها: بسیار زیاد: ۸.۸۹٪، زیاد: ۲۲.۲۲٪، متوسط: ۳۱.۱۱٪، کم: ۲۲.۲۲٪ و اصلاً: ۱۵.۵۶٪.
تحلیل: از پاسخ دهندگان به طور کم (۳۱.۱۱٪) از ویدیوهای آموزشی استفاده می کنند که نشان دهنده نیاز به آشنایی بیشتر با این منابع است.



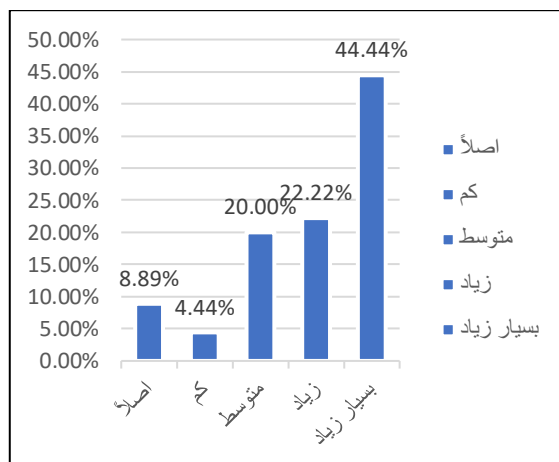
گراف ۹. فیصدی استفاده از ویدیوهای آموزشی

سوال ۱۰. چقدر از بازی های ریاضی برای یادگیری ریاضی استفاده می کنید؟
پاسخ ها: بسیار زیاد: ۸.۸۹٪، زیاد: ۱۱.۱۱٪، متوسط: ۳۱.۱۱٪، کم: ۲۶.۶۷٪ و اصلاً: ۲۲.۲۲٪.
تحلیل: ۳۱.۱۱٪ از پاسخ دهندگان به طور متوسط از بازی های ریاضی استفاده می کنند؛ اما نیاز به افزایش آگاهی در این زمینه وجود دارد.



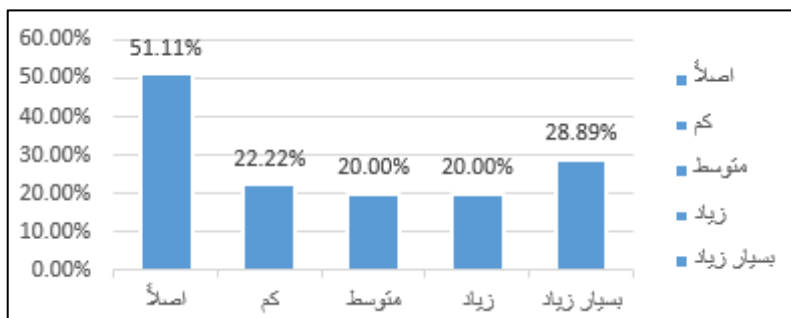
گراف ۱۰. استفاده از بازی های ریاضی

سوال ۱۱. چقدر از ویدیوهای آموزشی آنلاین در یادگیری ریاضی استفاده می‌کنید؟
پاسخ‌ها: بسیار زیاد: ۱۳.۳۳٪، زیاد: ۱۱.۱۱٪، متوسط: ۴.۴۴٪، کم: ۲۴.۴۴٪ و اصلاً: ۵۱.۱۱٪.
تحلیل: عدم استفاده زیاد از ویدیوهای آموزشی آنلاین (حدود ۷۵.۵۵٪) می‌تواند به عدم دسترسی یا آگاهی نسبت به این منابع مربوط باشد.



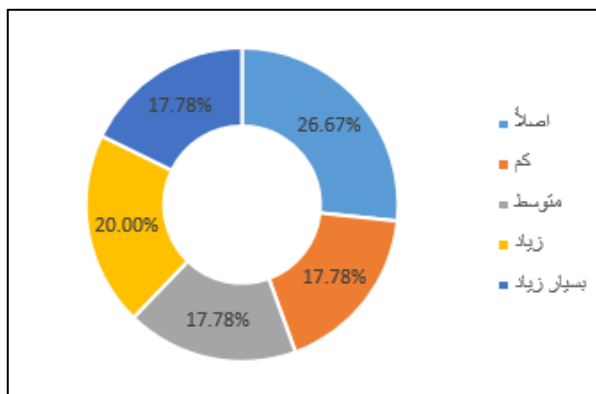
گراف ۱۱. درصد استفاده از ویدیوهای آموزشی آنلاین

سوال ۱۲. چقدر ارتباط بین ریاضی و امور روزمره، بر یادگیری شما مؤثر است؟
پاسخ‌ها: بسیار زیاد: ۲۸.۸۹٪، زیاد: ۲۰.۰۰٪، متوسط: ۲۰.۰۰٪، کم: ۲۲.۲۲٪ و اصلاً: ۸.۸۹٪.
تحلیل: ۴۸.۸۹٪ از پاسخ‌دهندگان احساس ارتباط زیادی بین ریاضی و زندگی روزمره دارند که می‌تواند انگیزه یادگیری را افزایش دهد.



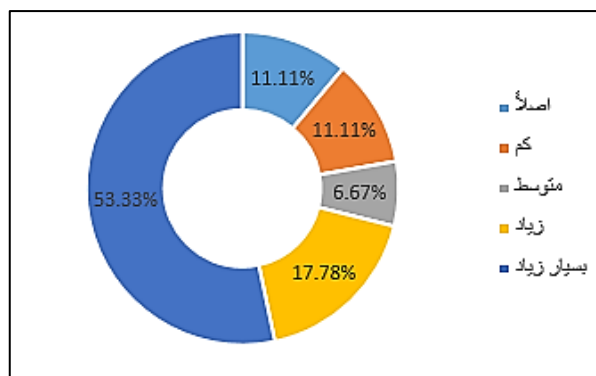
گراف ۱۲. درصد استفاده ریاضی در امور روزمره

سوال ۱۳. چقدر از وسایل روز (مانند کمپیوتر و تبلت) در آموزش ریاضی استفاده می کنید؟
پاسخ ها: بسیار زیاد: ۱۷.۷۸٪، زیاد: ۲۰.۰۰٪، متوسط: ۱۷.۷۸٪، کم: ۱۷.۷۸٪ و اصلاً: ۲۰.۶۷٪.
تحلیل: ۳۷.۷۸٪ از پاسخ دهندگان به طور متوسط و زیاد از کمپیوتر و تبلت در آموزش ریاضی استفاده می کنند، که نشان دهنده نیاز به بهبود روش های آموزش است.



گراف ۱۳. درصد استفاده از کمپیوتر و تبلت در آموزش ریاضی

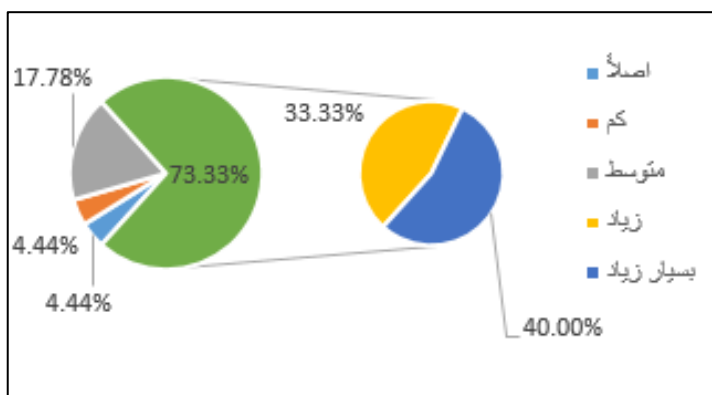
سوال ۱۴. چقدر به یادگیری ریاضی در آینده (تحصیلات عالی) علاقه دارید؟
پاسخ ها: بسیار زیاد: ۵۳.۳۳٪، زیاد: ۱۷.۷۸٪، متوسط: ۶.۶۷٪، کم: ۱۱.۱۱٪ و اصلاً: ۱۱.۱۱٪.
تحلیل: ۷۱.۱۱٪ از پاسخ دهندگان به تحصیلات عالی در بخش ریاضی علاقه مند هستند که می تواند به تشویق آنان به ادامه تحصیل کمک کند.



گراف ۱۴. درصد علاقه مندی تحصیلات عالی در بخش ریاضی

سوال ۱۵. چقدر به حل مسائل ریاضی چالشی (سخت) تمایل دارید؟

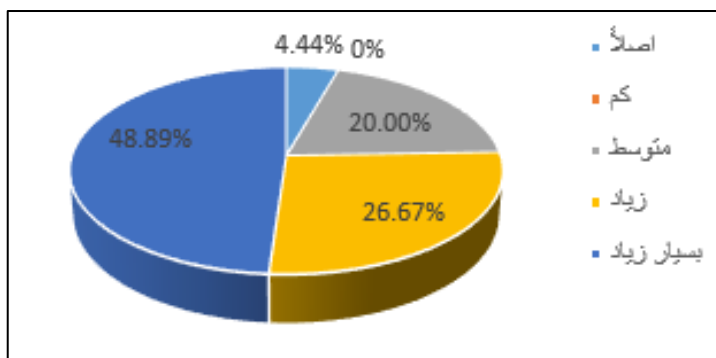
پاسخ‌ها: بسیار زیاد: ۴۰.۰۰٪، زیاد: ۳۳.۳۳٪، متوسط: ۱۷.۷۸٪، کم: ۴.۴۴٪ و اصلاً: ۴.۴۴٪.
تحلیل: ۷۳.۳۳٪ از پاسخ‌دهندگان تمایل به حل مسائل سخت ریاضی دارند که نشان‌دهنده روحیه کنجکاوی و انگیزه یادگیری عمیق‌تر است.



گراف ۱۵. درصد علاقه‌مندی بر حل مسائل سخت ریاضی

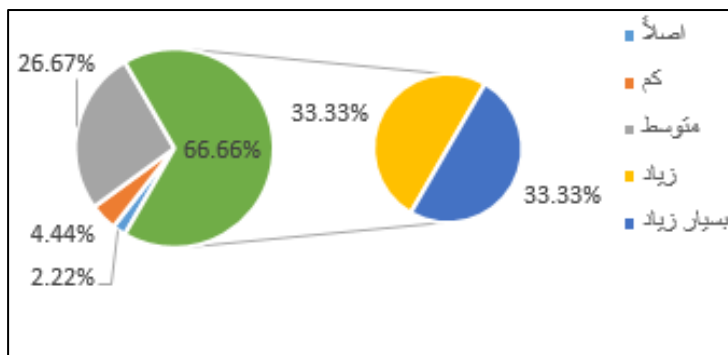
سوال ۱۶. چقدر به یادگیری ریاضی در دوران متعلمی خود رضایت دارید؟

پاسخ‌ها: بسیار زیاد: ۴۸.۸۹٪، زیاد: ۲۶.۶۷٪، متوسط: ۲۰.۰۰٪، کم: ۰٪ و اصلاً: ۴.۴۴٪.
تحلیل: ۷۵.۵۶٪ از پاسخ‌دهندگان رضایت خوبی از یادگیری ریاضی دارند که می‌تواند به بهبود روش‌های آموزشی کمک کند.



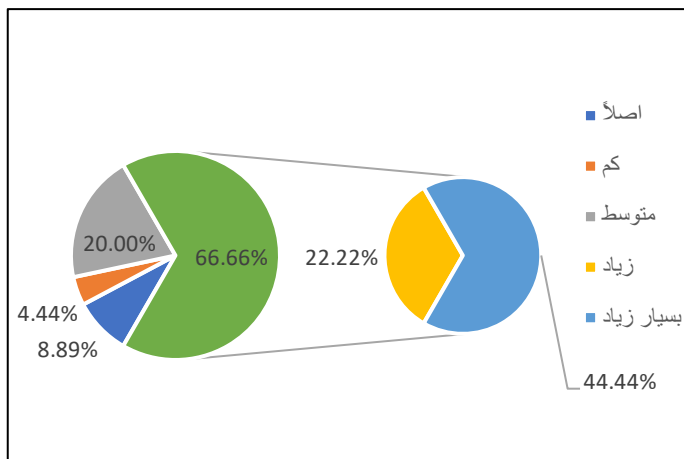
گراف ۱۶. درصد علاقه‌مندی بر حل مسائل سخت ریاضی

سوال ۱۷. چقدر به یادگیری ریاضی به صورت کار گروهی تمایل دارید؟
پاسخ‌ها: بسیار زیاد: ۳۳.۳۳٪، زیاد: ۳۳.۳۳٪، متوسط: ۲۶.۶۷٪، کم: ۴.۴۴٪ و اصلاً: ۲.۲۲٪.
تحلیل: ۶۶.۶۶٪ از پاسخ‌دهندگان تمایل به یادگیری گروهی دارند که نشان‌دهنده اهمیت همکاری و تعامل در یادگیری است.



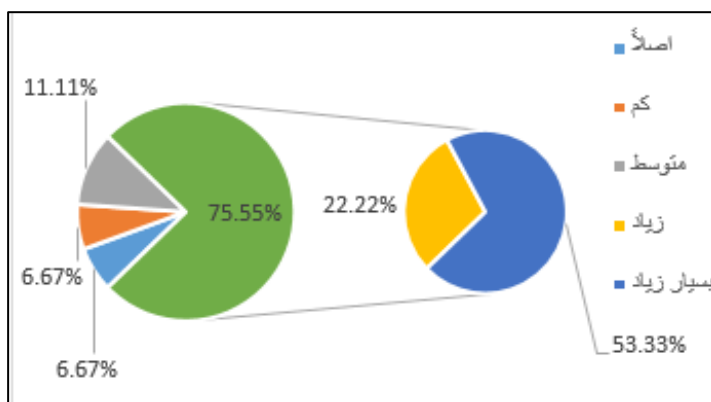
گراف ۱۷. درصد یادگیری ریاضی به صورت کار گروهی

سوال ۱۸. چقدر به مطالعه کتاب‌های ریاضی تمایل دارید؟
پاسخ‌ها: بسیار زیاد: ۲۲.۲۲٪، زیاد: ۳۱.۱۱٪، متوسط: ۱۵.۵۶٪، کم: ۶.۶۷٪ و اصلاً: ۴.۴۴٪.
تحلیل: ۷۳.۳۳٪ از پاسخ‌دهندگان به مطالعه کتاب‌های ریاضی تمایل دارند که می‌تواند به تقویت پایه‌های علمی آنان کمک کند.



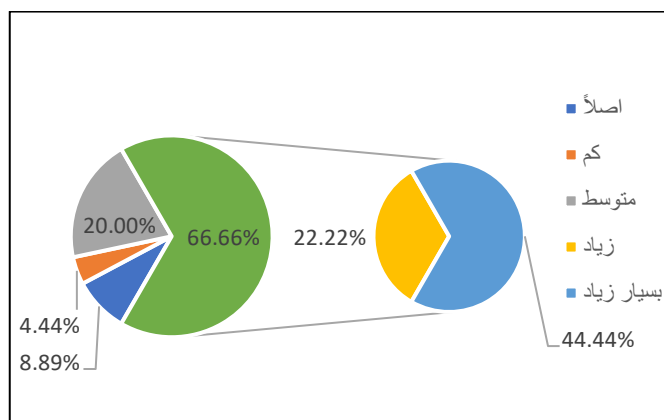
گراف ۱۸. درصد تمایل بر مطالعه کتاب‌های ریاضی

سوال ۱۹. چقدر ریاضی را در دنیای واقعی (مانند علوم، هنر و غیره) کاربردی می‌دانید؟
پاسخ‌ها: بسیار زیاد: ۵۳.۳۳٪، زیاد: ۲۲.۲۲٪، متوسط: ۱۱.۱۱٪، کم: ۶.۶۷٪ و اصلاً: ۶.۶۷٪.
تحلیل: ۷۵.۵۵٪ از پاسخ‌دهندگان احساس کاربردی بودن ریاضی در زندگی روزمره را دارند، که می‌تواند به افزایش انگیزه یادگیری کمک کند.



گراف ۱۹. درصد کاربرد ریاضی در دنیای واقعی

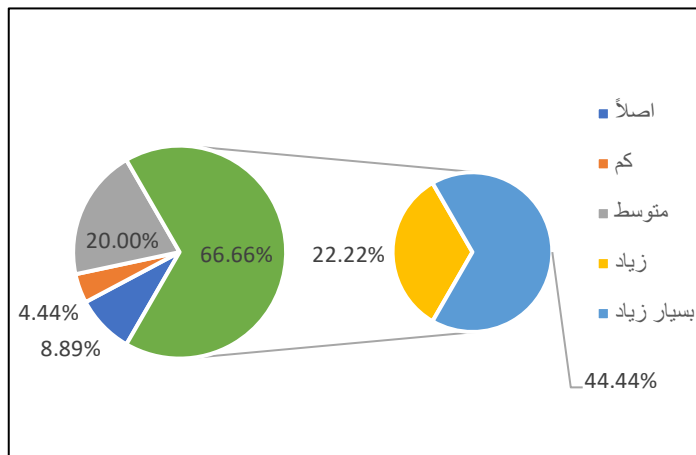
سوال ۲۰. چقدر در مسابقات ریاضی شرکت کرده‌اید؟
پاسخ‌ها: بسیار زیاد: ۱۵.۵۶٪، زیاد: ۳۳.۳۳٪، متوسط: ۴۰.۰۰٪، کم: ۱۱.۱۱٪ و اصلاً: ۲.۲۲٪.
تحلیل: ۴۸.۸۹٪ از پاسخ‌دهندگان در مسابقات ریاضی شرکت کرده‌اند که نشان‌دهنده علاقه به رقابت و مشکلاتی ریاضی است.



گراف ۲۰. درصد شرکت در مسابقات ریاضی

سوال ۲۱. چقدر به حل معماها و مسائل ریاضی علاقه دارید؟

پاسخ‌ها: بسیار زیاد: ۴۴.۴۴٪، زیاد: ۲۲.۲۲٪، متوسط: ۲۰.۰۰٪، کم: ۴.۴۴٪ و اصلاً: ۸.۸۹٪.
تحلیل: ۶۶.۶۶٪ از پاسخ‌دهندگان به حل معماها علاقه دارند که می‌تواند به تقویت تفکر منطقی و مهارت‌های حل مسأله کمک کند.



۴. مناقشه (Discussion)

علاقه‌مندی به یادگیری ریاضی: نتایج نشان می‌دهند که ۷۱.۱۱٪ شاگردان به یادگیری ریاضی علاقه دارند. این یافته با نتایج تحقیق افشاری و همکاران (۲۰۲۲) همخوانی دارد که نشان می‌دهد آموزش فراشناختی می‌تواند به کاهش مشکلات یادگیری ریاضی کمک کند. با این حال، این علاقه‌مندی در عمل به مشارکت کم در صنف‌ها و عدم استفاده از منابع آموزشی دیجیتال منجر شده است. این تضاد نشان‌دهنده‌ی نیاز به بررسی عمیق‌تری در مورد مشکلات یادگیری و موانع موجود در محیط آموزشی است.

مشارکت در صنف: مشارکت کم شاگردان در ساعت‌های درسی ریاضی (فقط ۱۰ نفر پاسخ "بسیار زیاد" داده‌اند) می‌تواند به فقدان انگیزه، عدم اعتماد به نفس یا عدم جذابیت محتوای درسی مرتبط باشد. برومند (۲۰۱۸) تأثیر استفاده از تلفن همراه به عنوان ابزاری برای افزایش یادگیری ریاضی را گزارش کرده است، که به نظر می‌رسد نیاز به ترکیب تکنالوژی‌های نوین با روش‌های آموزشی سنتی در صنف‌های درس وجود دارد.

استفاده از منابع آموزشی: استفاده کم از ویدیوهای آموزشی و بازی‌های ریاضی نشان می‌دهد که شاگردان تمایل کمتری به استفاده از این منابع دارند. این موضوع با یافته‌های

حسین خانزاده و همکاران (۲۰۱۹) که به تأثیر برنامه‌های آموزشی کمپیوتری اشاره دارند، در تضاد است. بنابراین، لازم است که معلمان به دنبال روش‌های جذاب‌تر و کارآمدتر برای معرفی این منابع به شاگردان باشند.

نقش خانواده و محیط آموزشی: نتایج نشان می‌دهند که ۳۷.۷۸٪ از اعضای خانواده شاگردان سواد ریاضیکی دارند و تأثیر آن بر یادگیری ریاضی نیز قابل توجه است. یافته‌های سبزه و دیلمی پور (۲۰۲۰) در مورد تأثیر رفتار معلم نیز نشان می‌دهد که حمایت خانواده و معلمان می‌تواند به بهبود جریان یادگیری کمک کند. بنابراین، هم‌افزایی بین خانواده و مکتب برای ارتقاء یادگیری ریاضی ضروری است.

تأثیر روش‌های نوین آموزشی: نتایج نشان می‌دهند که شاگردان تمایل چندانی به استفاده از روش‌های نوین آموزشی ندارند. این نکته با یافته‌های فیدی و تیموری (۲۰۰۸) در مورد تأثیر اسباب بازی‌های آموزشی بر یادگیری مفاهیم ریاضی پیش از عدد همخوانی دارد. بنابراین، نیاز به طراحی برنامه‌های آموزشی متنوع و جذاب وجود دارد که به یادگیری ریاضی کمک کند.

در نهایت، این مناقشه نشان می‌دهد که اگرچه علاقه‌مندی به یادگیری ریاضی وجود دارد، مشکلات و موانع متعددی در جریان یادگیری همچنان باقی است. برای افزایش علاقه‌مندی و بهبود یادگیری ریاضی، لازم است که روش‌های آموزشی نوین و حمایت‌های خانوادگی و اجتماعی به طور همزمان مورد توجه قرار گیرند.

۵. یافته‌ها و نتایج (Results and Fingding)

پرسشنامه طراحی شده به منظور ارزیابی علاقه‌مندی شاگردان به یادگیری ریاضی و بررسی عوامل مؤثر بر آن، نتایج جالبی را به همراه داشت. بررسی ۲۱ سوال نشان داد که اکثریت (نزدیک به ۹۳.۳۳٪) از پاسخ‌دهندگان به یادگیری ریاضی علاقه‌مند هستند و ۶۴.۴۴٪ در صنف‌ها مشارکت فعال دارند. همچنین، حدود ۶۴.۴۵٪ از شاگردان مطالب ریاضی را خارج از صنف مطالعه می‌کنند و ۸۴.۴۵٪ به حل مسائل ریاضی علاقه دارند که نشان‌دهنده روحیه چالش‌پذیری آنان است. در زمینه کمک از دوستان، ۲۶.۶۶٪ از پاسخ‌دهندگان کمک زیادی دریافت می‌کنند و ۶۶.۶۶٪ تأثیر مثبت محیط صنف را تأیید کرده‌اند. با این حال، ۵۳.۳۴٪ از آن‌ها سواد ریاضیکی کم در خانواده را گزارش کردند که می‌تواند بر یادگیری تأثیر بگذارد. استفاده از منابع آموزشی دیجیتال مانند ویدیوهای آموزشی و بازی‌های ریاضی در سطح متوسطی قرار دارد، و ۷۵.۵۵٪ از پاسخ‌دهندگان احساس عدم دسترسی به ویدیوهای آنلاین را

دارند. همچنین، ۷۱.۱۱٪ به تحصیلات عالی در زمینه ریاضی علاقه‌مند هستند و ۷۳.۳۳٪ تمایل به حل مسائل چالشی دارند. رضایت از یادگیری ریاضی ۷۵.۵۶٪ و تمایل به یادگیری گروهی ۶۶.۶۶٪ بود. در نهایت، ۷۵.۵۵٪ احساس کارآمدی ریاضی در زندگی روزمره را دارند، و ۶۶.۶۶٪ به حل معماها علاقه نشان می‌دهند. این نتایج حاکی از آن است که علاقه‌مندی به یادگیری ریاضی تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار دارد و توجه به این عوامل می‌تواند به بهبود پروسه یادگیری و ارتقاء انگیزه شاگردان کمک کند.

۶. نتیجه‌گیری (Conclusion)

این تحقیق به بررسی علاقه‌مندی شاگردان به یادگیری ریاضی و شناسایی عوامل مؤثر بر آن پرداخته است. نتایج نشان می‌دهند که در حالی که علاقه‌مندی به یادگیری ریاضی وجود دارد، مشکلات و موانع متعددی در جریان یادگیری همچنان باقی است. مشارکت پائین در صنف و عدم استفاده از منابع آموزشی دیجیتال از جمله این مشکلات هستند. بنابراین، نیاز به طراحی و اجرای روش‌های آموزشی نوین و جذاب، همراه با حمایت‌های خانوادگی و اجتماعی، ضروری به نظر می‌رسد. پیشنهاداتی برای بهبود وضعیت یادگیری ریاضی ارائه شده است، که می‌توانند به افزایش انگیزه و علاقه‌مندی شاگردان کمک کنند. با توجه به اهمیت یادگیری ریاضی در توسعه مهارت‌های تحلیلی و منطقی، توجه به این موضوع می‌تواند به بهبود پروسه آموزش و افزایش موفقیت شاگردان منجر شود. در نهایت، این تحقیق می‌تواند راه‌گشای مطالعات آینده در زمینه یادگیری ریاضی و عوامل مؤثر بر آن باشد و به معلمان و مدیران کمک کند؛ تا روش‌های مؤثرتری برای ارتقاء یادگیری ریاضی طراحی نمایند.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده و مناقشه‌های مطرح شده در این مقاله، تعدادی موضوعات زیر

پیشنهاد می‌گردد:

۱. معلمان می‌توانند از ویدیوهای آموزشی، اپلیکیشن‌های تعاملی و بازی‌های آموزشی برای جذاب‌تر کردن محتوای درسی استفاده کنند؛
۲. برگزاری سمینارهای آموزشی برای والدین به‌منظور آشنا کردن آن‌ها با روش‌های مؤثر تدریس ریاضی می‌تواند به افزایش حمایت خانواده‌ها از یادگیری فرزندان‌شان کمک کند؛

۳. معلمان باید سعی کنند محیط صنف را حمایتی ایجاد کنند. استفاده از روش‌های تشویقی، برگزاری فعالیت‌های گروهی و ایجاد فضایی مناسب برای طرح سؤالات می‌تواند به افزایش مشارکت شاگردان کمک کند؛
۴. برگزاری مسابقات ریاضی و فعالیت‌های جانبی مانند حل مسائل ریاضی، کارهای گروهی عملی و سیر علمی می‌تواند انگیزه شاگردان را برای یادگیری افزایش دهد؛
۵. معلمان باید به آموزش مهارت‌های فراشناختی، مانند برنامه‌ریزی، نظارت و ارزیابی یادگیری خود، توجه کنند.

منابع و مأخذ

- افشاری، صدیقه؛ صادقی نیستانی، ساره و سادات جعفر طباطبایی، عاطفه. (۱۴۰۱). اثیر آموزش فراشناختی بر کاهش مشکلات ریاضی دانش آموزان مبتلا به اختلال یادگیری خواندن و نوشتن ریاضی. فصلنامه روان شناسی تحلیلی شناختی، ۱۳(۴۹)، ۴۳-۵۳.
https://journals.iau.ir/article_693927.html
- برومند، خدیجه. (۲۰۱۸). چگونه توانستم با استفاده از تلفون همراه، یادگیری دانش آموزان را در درس ریاضی افزایش دهم. اندیشه مکران، ۱۱(۱)، ۱-۱۶.
- حسین خانزاده، عباسعلی و دیگران. (۱۳۹۸). تأثیر آموزش ریاضی از طریق برنامه‌های آموزشی رایانه‌ای بر یادگیری ریاضی و علاقه به ریاضی دانش‌آموزان دیرآموز. توانمندسازی کودکان استثنایی، ۱۰(۲)، ۱۴۹-۱۶۴. [doi:10.22034/ceciranj.2019.9595](https://doi.org/10.22034/ceciranj.2019.9595)
- سبزه، بتول و دیلمی پور، صدیقه. (۱۳۹۹). تأثیر توجه و بازخورد معلم بر میزان یادگیری مباحث ریاضی دانش‌آموزان دارای اختلال ریاضی. نظریه و عمل در تربیت معلمان، ۶(۹)، ۴۹-۶۸. https://itt.cfu.ac.ir/article_1407.html
- سعید، نسیم؛ و جدیدی محمدآبادی، اکبر. (۲۰۲۲). تأثیر آموزش از طریق تلفون همراه بر یادگیری، تمرکز و رضایت‌مندی تعلیمی و تحصیلی دانشجویان. فناوری آموزش، ۱۶(۳)، ۴۳۹-۴۵۰. <https://doi.org/10.22061/tej.2022.7665.2561>
- سلیشی، زلیکه و عرفانی، نصرالله. (۱۳۸۷). اختلال‌های یادگیری در ریاضیات (مروری بر مباحث و عملکرد شاگردان در آزمون‌های ریاضی). تعلیم و تربیت استثنایی، ۳(۷۹)، ۱۸-۳۵. <https://exceptionaleducation.ir/article-1-1695-fa.html>
- فانی‌اسکی، مهدی. (۲۰۲۱). داستان‌های ریاضی امری برای بهبود یادگیری ریاضی. مطالعات روانشناسی و علوم تربیتی (موسسه آموزش عالی نگاره)، ۷۱(۷)، ۱۳۳-۱۴۴.
- گل‌فرشچی، فاطمه. (۱۳۹۸). نقش بازی‌های رایانه‌ای در آموزش ریاضیات. ریاضی و جامعه، ۴(۲)، ۹-۱. [doi:10.22108/MSCI.2019.115545.1316](https://doi.org/10.22108/MSCI.2019.115545.1316)

مطهری نژاد، حسین؛ و فاتحی چنار، فرداد. (۱۳۹۶). نقش شایستگی‌های حرفه‌ای دبیران ریاضی در پیش‌بینی پیشرفت تعلیمی و تحصیلی ریاضی شاگردان مدارس عادی و خاص. *نشریه علمی آموزش و ارزشیابی (فصلنامه)*، ۱۰(۳۸)، ۷۷-۵۱. <https://www.magiran.com/p1729742>

مفیدی، فرخنده و تیموری، زینب. (۱۳۸۷). تاثیر اسباب بازی‌های آموزشی بر میزان یادگیری مفاهیم پیش از عدد ریاضی در کودکان پیش از دبستان شهر تبریز در سال ۸۶-۱۳۸۵. *نشریه علمی آموزش و ارزشیابی (فصلنامه)*، ۱(۲)، ۲۰۱-۲۲۲. <https://www.magiran.com/p1608969>

یافتیان، نرگس و عبدی، حدیث. (۲۰۲۱). اثربخشی آموزش به کمک بازی وارسازی بر اضطراب ریاضی و انگیزه ریاضی دانش‌آموزان پایه نهم. *فصلنامه علمی پژوهش در یادگیری آموزشگاهی و مجازی*، ۹(۱)، ۲۷-۳۶. [doi:10.30473/ETL.2021.56709.3404](https://doi.org/10.30473/ETL.2021.56709.3404)

یارمحمدی واصل، مسیب؛ رشید، خسرو و بهرامی، فرشته. (۱۳۹۳). آموزش از طریق بازی بر بهبود نگرش ریاضی دانش‌آموزان دختر مقطع ابتدایی. *روان‌شناسی مدرسه و آموزشگاه*، ۳(۳)، ۱۲۲-۱۳۵. doi: jsp.

نقش انرژی‌های تجدیدپذیر در تغییرات اقلیمی

سید حبیب الله هاشمی

پوهنمل، دیپارتمنت فزیک و الکترونیک، پوهنځی فزیک، پوهنتون کابل، کابل، افغانستان.

<https://orcid.org/0009-0003-0530-1523> - sayedhabibullah2017456456@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۶/۱۱

چکیده

انرژی‌های تجدیدپذیر به‌عنوان یکی از مهم‌ترین راهکارها برای مقابله با تغییرات اقلیمی شناخته می‌شوند. استفاده از منابعی چون انرژی خورشیدی، بادی و آبی می‌تواند جایگزینی پایدار برای سوخت‌های فسیلی باشد و در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و مهار گرمایش جهانی نقش اساسی ایفا کند. هدف این پژوهش بررسی نقش و تأثیر انرژی‌های تجدیدپذیر در روند تغییرات اقلیمی و دستیابی به توسعه پایدار است. روش تحقیق به‌صورت کتابخانه‌ای انجام شده و منابع علمی معتبر، مقالات پژوهشی و گزارش‌های بین‌المللی مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته‌اند. یافته‌ها نشان می‌دهد که به‌کارگیری گسترده انرژی‌های تجدیدپذیر نه تنها میزان انتشار کاربن را کاهش می‌دهد؛ بلکه موجب افزایش امنیت انرژی، بهبود کیفیت محیط‌زیست و ایجاد فرصت‌های اقتصادی و اشتغال نیز می‌شود. نتایج تحقیق بیانگر آن است که گذار به سمت استفاده‌ی بیشتر از انرژی‌های پاک می‌تواند یکی از مؤثرترین راهکارها برای مقابله با بحران اقلیمی و تضمین آینده‌ای پایدار برای نسل‌های آینده باشد. این امر نیازمند سیاست‌گذاری مناسب، سرمایه‌گذاری در تکنالوژی نوین و همکاری جهانی است.

کلمات کلیدی: انرژی پاک، مهار اقلیم، انتقال انرژی، آلودگی کاربنی، پایداری انرژی، کاهش کاربن، مقاومت اقتصاد

The Role of Renewable Energies in Climate Change

Sayed Habibullah Hashimi

Senior Teaching Assistant, Department of Physics and Electronics, Faculty of Physics, Kabul University,
Kabul, Afghanistan.

sayedhabibullah2017456456@gmail.com - <https://orcid.org/0009-0003-0530-1523>

Received: 04/02/2025

Accepted: 02/09/2025

Abstract

Renewable energies are recognized as one of the most effective strategies to address climate change. The use of resources such as solar, wind, and hydropower can serve as a sustainable alternative to fossil fuels, playing a key role in reducing greenhouse gas emissions and mitigating global warming. The aim of this study is to examine the role and impact of renewable energies in climate change and in achieving sustainable development. The research method is library-based, relying on scientific sources, research articles, and international reports for analysis. The findings reveal that the widespread adoption of renewable energies not only decreases carbon emissions but also enhances energy security, improves environmental quality, and creates economic and employment opportunities. The results highlight that transitioning toward greater use of clean energy can be one of the most effective solutions for combating the climate crisis and ensuring a sustainable future for the next generations. Achieving this goal requires proper policymaking, investment in advanced technologies, and global cooperation.

Keywords: Renewable Energy Sources, Climate Change Mitigation, Sustainable Energy Transition, Greenhouse Gas Emissions, Energy Security, Decarbonization Strategies, Economic Resilience.

۱. مقدمه (Introduction)

با افزایش نگرانی‌ها درباره تغییرات اقلیمی و تأثیرات منفی آن بر محیط زیست و زندگی بشر، استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر به عنوان یکی از راهکارهای اصلی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و مقابله با بحران تغییرات اقلیمی در سال‌های اخیر توجه بیشتری را به خود جلب کرده است. این انرژی‌ها شامل انرژی‌های خورشیدی، بادی، برق آبی، ژئوترمال، زیست‌توده و انرژی دریایی، به دلیل ویژگی‌های خاص خود نظیر تجدیدپذیری، اثرات کمتر محیط زیستی و قابلیت کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی، به عنوان گزینه‌های کلیدی در دستیابی به توسعه پایدار و گذار به آینده‌ای که با انرژی پاک و کم‌کاربن شناخته شده اند (Armaroli, et al, 2011).

فرضیه اصلی تحقیق این است که استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر می‌تواند تأثیر عمده‌ای در کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و مقابله با تغییرات اقلیمی داشته باشد.

تحقیقات پیشین نشان داده‌اند که بسیاری از کشورهای پیشرفته با بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر، نه تنها وابستگی خود به سوخت‌های فسیلی را کاهش داده‌اند؛ بلکه در راستای کاهش گازهای گلخانه‌ای و دستیابی به اهداف اقلیمی موفقیت‌های قابل توجهی کسب کرده‌اند. کشورهای نظیر ایسلند و کاستاریکا نمونه‌های موفق از گذار به انرژی‌های تجدیدپذیر هستند. همچنین، این تحقیقات بر لزوم تدوین سیاست‌های مناسب، برنامه‌ریزی استراتژیک و سرمایه‌گذاری‌های کلان در این حوزه تأکید دارند (Armaroli, et al, 2016).

هدف مطالعه حاضر، بررسی تأثیر استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر بر کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و تحقق توسعه پایدار است. این مطالعه علاوه بر تحلیل چالش‌ها و فرصت‌های استفاده از این منابع در سطح جهانی، به بررسی موانع موجود، از جمله هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه بالا، محدودیت‌های دسترسی به تکنالوژی در کشورهای در حال توسعه، و آثار محیط زیستی و اجتماعی پروژه‌های بزرگ مقیاس می‌پردازد. در نهایت، این تحقیق به دنبال ارائه راهکارهای عملی برای مقابله با این موانع و تسهیل فرآیند گذار به انرژی‌های تجدیدپذیر است (Jain, 2020).

چه تأثیراتی استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر بر کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و دستیابی به توسعه پایدار وجود دارد و چگونه می‌توان چالش‌ها و موانع موجود در مسیر پیاده‌سازی این منابع را در سطوح ملی و بین‌المللی برطرف نمود؟

۲. مواد و روش کار (Material and Method)

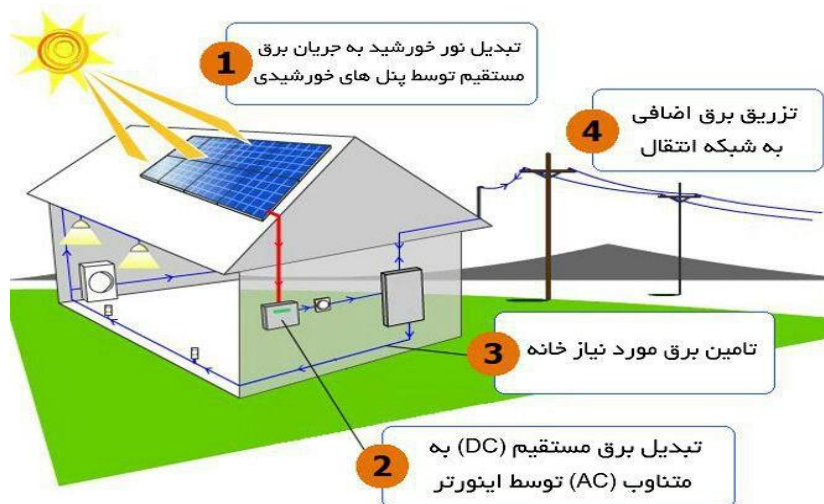
روش تحقیق رهنمود اساسی کار عملی تحقیق به منظور دستیابی به هدف تحقیق می‌باشد. در روش تحقیق، تفصیلات کافی و مناسب با در نظر داشت تسلسل منطقی، در مورد کارهای که در جریان تحقیق انجام خواهد شد، ارائه می‌گردد. در کل این تحقیق انجام شده بر اساس هدف، یک تحقیق بنیادی نظری می‌باشد. از طرف دیگر این تحقیق بر اساس نحوه گردآوری داده‌ها، از آغاز تا انتها متکی بر یافته‌های تحقیق مروری - توصیفی و تحلیلی می‌باشد.

۱.۲. انواع انرژی‌های تجدیدپذیر

انرژی‌های تجدیدپذیر از فرآیندهای طبیعی به دست می‌آیند که با سرعتی بیشتر از مصرف آن‌ها تجدید می‌شوند و نقش حیاتی در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و کاهش تغییرات اقلیمی ایفا می‌کنند. انواع اصلی انرژی‌های تجدیدپذیر شامل انرژی خورشیدی، نیروی باد، برق آبی، انرژی ژئوترمال، زیست‌توده و انرژی دریای هستند (Ritchie, et al, 2022).

۱.۱.۲. انرژی خورشیدی

انرژی خورشیدی نوعی از انرژی تجدیدپذیر است که از تابش نور و حرارت خورشید برای تولید برق و حرارت استفاده می‌شود. این انرژی پاک و نامحدود از طریق تکنولوژی‌های مانند: سلول‌های فتوولتائیک PV که نور خورشید را مستقیماً به برق تبدیل می‌کنند و سیستم‌های حرارتی خورشیدی که حرارت خورشید را برای گرم کردن آب و محیط استفاده می‌کنند، قابل بهره‌برداری است. انرژی خورشیدی نقش مهمی در کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد و یکی از استراتژی‌های اساسی برای مقابله با تغییرات اقلیمی محسوب می‌شود. این انرژی در تأمین برق خانه‌ها، صنایع، زراعتی، تصفیه آب و حتی سیستم‌های حمل و نقل به کار می‌رود. با پیشرفت تکنولوژی و کاهش هزینه‌های تولید، انرژی خورشیدی به یکی از ارزان‌ترین و در دسترس‌ترین منابع انرژی پایدار تبدیل شده و نقش کلیدی در گذار به انرژی پایدار و امنیت انرژی جهانی ایفا می‌کند (Raimi, D., et al, 2024).



شکل (۱). بیان‌کننده تبدیل انرژی خورشید به انرژی برقی (Armaroli, et al, 2021).

۲.۱.۲. انرژی بادی

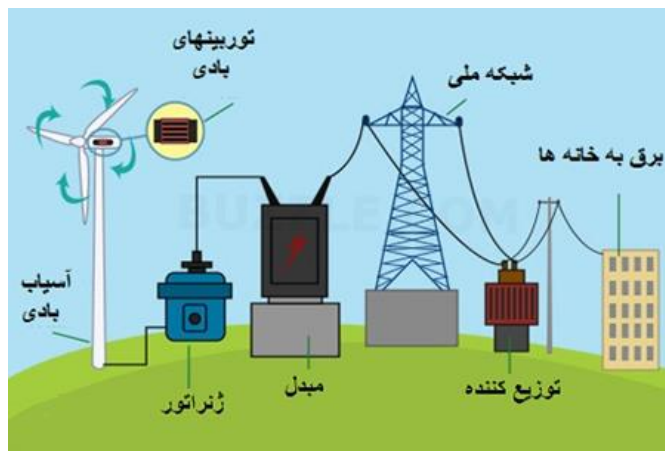
انرژی بادی یکی از مهم‌ترین انواع انرژی‌های تجدیدپذیر است که از حرکت باد برای تولید برق استفاده می‌کند. این انرژی با استفاده از توربین‌های بادی که نیروی باد را به انرژی میخانیکی و سپس به برق تبدیل می‌کنند، به‌دست می‌آید. انرژی بادی یک منبع پاک، پایدار و نامحدود است که به کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک می‌کند.

ویژگی‌ها و مزایا

- عدم تولید آلودگی محیط‌زیستی و کاهش تغییرات اقلیمی؛
- تجدیدپذیری و پایداری بالا؛
- کاهش هزینه‌های انرژی دراز مدت؛
- قابلیت بهره‌برداری در مقیاس‌های مختلف، از نیروگاه‌های بزرگ تا توربین‌های خانگی.

کاربردها

- تولید برق برای شهرها و مناطق دور افتاده؛
 - تأمین انرژی مزارع و صنایع؛
 - استفاده در پمپاژ آب و زراعتی.
- در کل با پیشرفت تکنولوژی، انرژی بادی به یکی از ارزان‌ترین و پربازده‌ترین منابع انرژی پایدار تبدیل شده و نقشی کلیدی در گذار به انرژی پایدار و امنیت انرژی جهانی ایفا می‌کند (El- Emam, R.S., et al, 2024).



شکل (۲). بیان کننده مراحل تشکیل انرژی بادی (Ritchie, et al, 2022).

۳.۱.۲. انرژی ژئوترمال

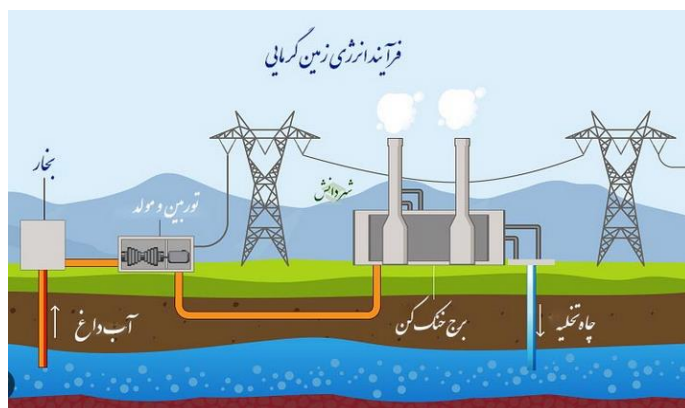
انرژی ژئوترمال یا انرژی زمین گرمای نوعی انرژی تجدیدپذیر است که از گرمای داخلی زمین برای تولید برق و گرمایش استفاده می شود. این انرژی از طریق چاه های ژئوترمال استخراج شده و در نیروگاه های زمین گرمای برای تولید برق به کار می رود. همچنین می توان از آن برای گرمایش ساختمان ها، استخرها و گلخانه ها بدون نیاز به سوخت های فسیلی استفاده کرد.

ویژگی ها و مزایا

- منبع پایدار و نامحدود انرژی؛
- عدم وابستگی به شرایط جوی مانند باد و خورشید؛
- کاهش انتشار گازهای گلخانه ای و حفظ محیط زیست؛
- کارایی بالا و تأمین انرژی مداوم.

کاربردها

- تولید برق در نیروگاه های ژئوترمال؛
 - گرمایش و سرمایش ساختمان ها با پمپ های حرارتی زمین گرمای؛
 - استفاده در زراعتی گلخانه ای و مراکز آب صحرایی.
- در کل انرژی ژئوترمال یکی از راهکارهای مهم برای گذار به انرژی پایدار و امنیت انرژی جهانی محسوب می شود و در مناطق که فعالیت زمین گرمای بالا، مانند مناطق آتشفشانی، به طور گسترده مورد استفاده قرار می گیرد (Ritchie, H., et al. 2022).



شکل (۳). بیان کننده مراحل تشکیل انرژی حرارتی (Song, Y., et al. 2021).

۴.۱.۲. انرژی برق آبی

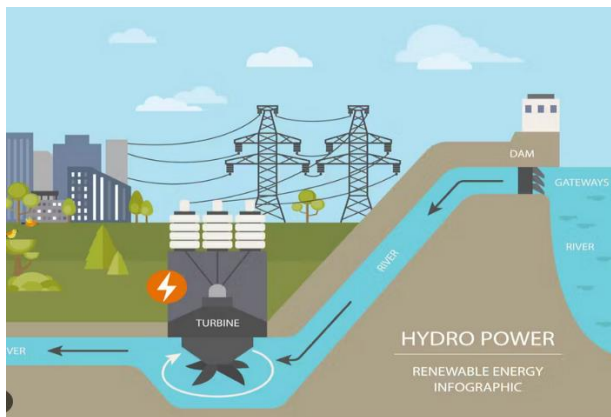
انرژی برق آبی یکی از مهمترین انواع انرژی‌های تجدیدپذیر بوده که از قدرت آب جاری برای تولید برق استفاده می‌کند. این انرژی از طریق نیروگاه‌های برق آبی که معمولاً در بندها و انحرار ساخته می‌شوند، به دست می‌آید. در این سیستم، آب با فشار از ارتفاع به سمت توربین‌ها هدایت شده و نیروی مکانیکی تولید شده توسط چرخش توربین‌ها به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود.

ویژگی‌ها و مزایا

- تجدیدپذیر و پایدار با تولید مداوم انرژی؛
- عدم تولید آلودگی هوا و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای؛
- قابلیت ذخیره‌سازی انرژی در پشت بندها؛
- عمر طولانی و هزینه‌های عملیاتی پایین.

کاربردها

- تأمین برق پایدار برای شهرها و صنایع؛
 - مدیریت منابع آب برای زراعتی و کنترل سیلاب؛
 - توسعه اقتصادی و افزایش امنیت انرژی.
- انرژی برق آبی یکی از مهمترین راهکارهای گذار به انرژی پایدار محسوب می‌شود و در بسیاری از کشورها بخش عمده‌ای از تولید برق را تأمین می‌کند (Song, Y., et al, 2012).



شکل (۴). بیان کننده مراحل ایجاد انرژی آبی (Prakash, R., et al, 2009).

۵.۱.۲. انرژی دریایی

انرژی دریایی نوعی انرژی تجدیدپذیر می‌باشد که از قدرت امواج، جزر و مد، جریان‌های اقیانوسی، درجه حرارت آب و شوری دریا برای تولید برق استفاده می‌کند. این انرژی از منابع عظیم اقیانوسی بهره می‌برد و ظرفیت بالای برای تأمین برق پایدار دارد.

۵.۱. انواع انرژی دریایی

- انرژی امواج: تبدیل نیروی امواج سطحی دریا به برق؛
- انرژی جزر و مد: استفاده از تغییرات سطح آب در اثر جاذبه ماه برای تولید انرژی؛
- انرژی جریان‌های اقیانوسی: بهره‌برداری از جریان‌های طبیعی آب در اقیانوس‌ها؛
- انرژی شوری: تبدیل اختلاف شوری آب شیرین و شور به انرژی.

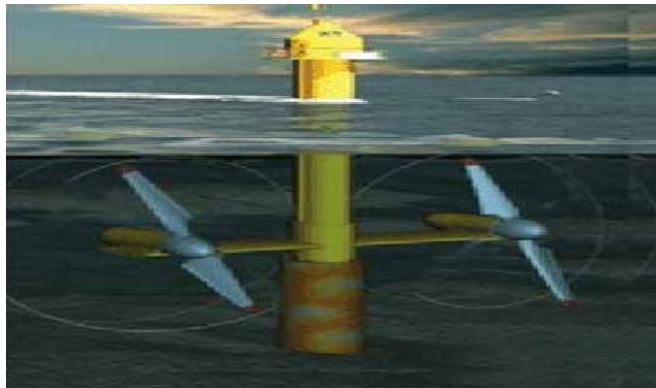
ویژگی‌ها و مزایا

- منبع پایدار و گسترده با ظرفیت بالا؛
- عدم تولید آلاینده‌های زیست محیطی؛
- کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی؛
- قابلیت تأمین برق پایدار برای مناطق ساحلی.

کاربردها

- تولید برق تجدیدپذیر در مقیاس بزرگ؛
- تأمین انرژی برای جزایر و مناطق ساحلی؛
- پشتیبانی از صنایع دریای و کشتی‌رانی.

انرژی دریای به‌عنوان یکی از استراتژی‌های کلیدی در گذار به انرژی پایدار شناخته می‌شود و با توسعه تکنالوژی نوین، نقش مهمی در امنیت انرژی جهانی خواهد داشت (Prakash, R., et al, 2009). این منابع انرژی تجدیدپذیر باهم به یک چشم‌انداز انرژی متنوع و روزافزون کمک می‌کنند و در حل چالش فوری تغییرات اقلیمی نقش مهمی ایفا می‌کنند.



شکل (۵). بیان کننده انرژی دریایی (Ehrlich, R., et al, 2022).

۲.۲. تأثیر انرژی‌های تجدیدپذیر بر تغییرات اقلیمی

انرژی‌های تجدیدپذیر نقش حیاتی در مقابله با تغییرات اقلیمی ایفا می‌کنند؛ زیرا به‌عنوان جایگزین‌های پاک‌تر برای سوخت‌های فسیلی عمل می‌کنند. همان‌طور که جهان با افزایش دما و تخریب محیط‌زیست دست‌وپنجه نرم می‌کند، گذار به منابع انرژی تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی، بادی، هیدروالکتریک و ژئوترمال به‌طور فزاینده‌ای ضروری شده است. این منابع به‌طور قابل توجهی گازهای گلخانه‌ای تولید نمی‌کنند یا تولید آن‌ها بسیار کم است که این گازها از عوامل اصلی تغییرات اقلیمی هستند. تقریباً یک هفتم از انرژی اولیه جهان اکنون از تکنالوژی‌های تجدیدپذیر تأمین می‌شود که گامی مهم به‌سوی کاربن‌زدای است (Ehrlich, R., et al, 2022).



شکل (۶). بیان کننده تأثیر انرژی‌های تجدیدپذیر بر تغییرات اقلیم (Twidell, J., 2021).

۳.۲. مزایای انرژی‌های تجدیدپذیر

انتقال به انرژی‌های تجدیدپذیر نه تنها در کاهش تغییرات اقلیمی کمک می‌کند؛ بلکه مزایای اقتصادی فراوانی نیز به همراه دارد. سرمایه‌گذاری در تکنالوژی‌های تجدیدپذیر رشد اقتصادی را تحریک می‌کند، شغل ایجاد می‌کند و امنیت انرژی را افزایش می‌دهد. این تغییرات به‌عنوان یک فرصت تحول‌آفرین دیده می‌شود که پایداری را در بخش‌های مختلف ترویج می‌کند. علاوه بر این، سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر به کاهش قبوض انرژی برای مصرف‌کنندگان کمک می‌کنند و در عین حال شبکه‌های برق را مقاوم‌تر می‌سازند، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه (Twidell, J., 2021).

۴.۲. کاهش انتشار کاربن

احتراق سوخت‌های فسیلی مسئول حدود سه چهارم از انتشار گازهای گلخانه‌ای جهانی است که پیامدهای شدیدی برای اقلیم و سلامت انسان دارد. برای مقابله با این موضوع، پذیرش منابع انرژی تجدیدپذیر حیاتی است. به‌عنوان مثال، کشورهای مانند ایسلند و کاستاریکا به‌طور موفقیت‌آمیزی به وابستگی تقریباً کامل به انرژی تجدیدپذیر برای تأمین نیازهای برق خود انتقال یافته‌اند. گسترش تولید انرژی تجدیدپذیر همچنین، در کاهش آلودگی هوا در سطح محلی نقش مؤثری دارد، که با حدود پنج میلیون مرگ زودهنگام سالانه در آن ارتباط دارد (Harjanne, A., et al, 2019).

۵.۲. چالش‌ها و ملاحظات

با وجود مزایای فراوان، توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر بدون چالش نیست. تأثیرات محیط‌زیستی ممکن از ساخت و بهره‌برداری از تأسیسات انرژی تجدیدپذیر به وجود آید که نیازمند برنامه‌ریزی و مدیریت دقیق است. علاوه بر این، در حالی که انرژی هسته‌ای نیز یک گزینه کم‌کاربن است، چالش‌های مربوط به دفع پسماندهای رادیواکتیو را به همراه دارد. بنابراین، یک رویکرد چند جانبه که شامل مجموعه‌ای از تکنالوژی‌های کم‌کاربن، همراه با چارچوب‌های سیاسی مستحکم، برای دستیابی به پیشرفت معنادار در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای ضروری است (Chein, T., et al, 2008).

۶.۲. جنبه‌های اقتصادی

پیامدهای اقتصادی گذار به انرژی‌های تجدیدپذیر عمیق است، می‌تواند برای کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه مزایای زیاد به همراه داشته باشد. در حال حاضر، کشورهای در حال توسعه با شکاف سرمایه‌گذاری قابل توجهی مواجه هستند که به‌طور سالانه حدود ۲.۲ تریلیون دلار برای گذار انرژی و حدود ۴ تریلیون دلار برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار SDGs نیاز دارند. در مقابله با این چالش‌ها، ابزارهای مالی مختلفی به کار گرفته شده‌اند، به‌طوری که کشورهای پیشرفته به استفاده از مکانیزم‌های پیچیده‌تر مانند تعرفه‌های تغذیه‌ای feed-in tariffs و مزایده‌ها auctions تمایل دارند، که به ترتیب توسط ۹۱٪ و ۷۴٪ از این کشورها به کار گرفته شده‌اند (Bauwens, T., et al, 2016).

بر خلاف این، کشورهای در حال توسعه اغلب از مشوق‌های مالیاتی ساده‌تر مبتنی بر سود استفاده می‌کنند، به‌طوری که ۷۷٪ از این کشورها از این اقدامات بهره‌برداری می‌کنند. بخش انرژی‌های تجدیدپذیر رشد قابل توجهی را نشان داده و به‌طور چشمگیری به ایجاد شغل کمک کرده است. به‌عنوان مثال، اقتصاد انرژی‌های کم‌کاربن و تجدیدپذیر در سال ۲۰۲۱ به حدود ۲۴۷,۴۰۰ نفر در ۹۰,۰۰۰ کسب‌وکار شغل ارائه داده است. با وجود این که برخی از بخش‌ها، مانند محصولات انرژی کارآمد، رشد منفی را تجربه کرده‌اند، روند کلی در انرژی‌های تجدیدپذیر همچنان گسترش و فرصت است (Timmons, D., et al, 2014).

مطالعات نشان می‌دهند که دو برابر کردن سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در ترکیب انرژی تا سال ۲۰۳۰ می‌تواند منجر به افزایش تولید ناخالص داخلی جهانی به میزان ۱.۱٪ و همچنین پشتیبانی از بیش از ۲۴ میلیون شغل در این بخش شود. محدودیت‌های مالی، به‌ویژه هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه مرتبط با تکنالوژی‌های تجدیدپذیر، همچنان مانع بزرگی برای

پذیرش این تکنالوژی‌ها هستند. با این حال، هزینه‌های عملیاتی بلندمدت به‌طور قابل‌توجهی پایین‌تر است و انرژی‌های تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی و بادی به‌طور فزاینده‌ای با سوخت‌های فسیلی سنتی رقابتی شده‌اند. به‌ویژه، هزینه‌های سیستم‌های انرژی خورشیدی در طول سال‌ها به‌طور چشمگیری کاهش یافته است که این امر موجب تشویق به سرمایه‌گذاری بیشتر می‌شود. علاوه بر این، پیش‌بینی می‌شود که انتقال به انرژی‌های تجدیدپذیر در بلندمدت قیمت‌های انرژی را تثبیت کند. گرچه برای سرمایه‌گذاری اولیه نیاز است؛ اما تکنالوژی‌های تجدیدپذیر معمولاً با هزینه‌های جاری اندک عمل می‌کنند؛ زیرا "سوخت" استفاده شده رایگان است و این امر منجر به قیمت‌های انرژی ثابت و پیش‌بینی‌پذیر می‌شود (Moriarty, P., et al, 2012).

مبانی اقتصادی انرژی‌های تجدیدپذیر تنها محیط‌زیستی نیستند؛ بلکه شامل رشد اقتصادی قابل توجه و ایجاد اشتغال نیز می‌شوند که فرصت‌های فوق‌العاده‌ای را برای منافع اجتماعی از طریق مدل‌های کسب‌وکار نوآورانه و شیوه‌های پایدار فراهم می‌آورد. با ادامه تلاش کشورها برای عبور از پیچیدگی‌های انتقال انرژی، نقش انرژی‌های تجدیدپذیر در تقویت مقاومت اقتصادی و پایداری به‌طور فزاینده‌ای آشکار می‌شود و بر اهمیت سرمایه‌گذاری هدفمند و چارچوب‌های سیاستی برای پرکردن شکاف‌های موجود در تأمین مالی تأکید دارد (Ogunyemi, F. M., et al, 2024).

۷.۲. سیاست‌ها و مقررات

هماهنگی میان ذینفعان

رهبری مؤثر و هماهنگی میان ذینفعان مختلف، از جمله دولت‌ها، سازمان‌های غیر دولتی، و جوامع محلی، برای موفقیت ابتکارات انرژی‌های تجدیدپذیر ضروری است. با این حال، ماهیت چند مرکزی جنبش‌های محیط‌زیستی اغلب این فرایند را پیچیده می‌کند و منجر به دشواری‌های در دستیابی به استراتژی‌های هماهنگ در زمینه‌های مختلف و سطوح حکمرانی می‌شود. علاوه بر این، مدافعان محیط‌زیست بومی که اغلب با خطرات بیشتری از نظر خسونت مواجه هستند، بر لزوم وجود مکانیزم‌های حمایتی و حفاظتی بهتر در بخش انرژی‌های تجدیدپذیر تأکید دارند؛ تا از مشارکت و ایمنی آن‌ها اطمینان حاصل شود (Fabra, N., et al, 2024).

۸.۲. حاکمیت و پاسخگوی

چارچوب‌های حکمرانی در پروژه‌های انرژی تجدیدپذیر بر مبنای سیاست‌گذاری شفاف، مقررات کارآمد و سازوکارهای اجرایی پایدار شکل می‌گیرند. این چارچوب‌ها شامل قوانین و

استانداردهای ملی، مشوق‌های اقتصادی و مقررات محیط‌زیستی است که توسعه انرژی‌های پاک را تسهیل می‌کنند. همچنین، حاکمیت این پروژه‌ها نیازمند نظارت مستمر، مدیریت شفاف و مشارکت ذینفعان از جمله دولت، بخش خصوصی و جوامع محلی است. پاسخگویی از طریق شفافیت اطلاعات، مشارکت عمومی و ایجاد سازوکارهای نظارت و ارزیابی تقویت می‌شود. در نهایت، مدیریت ریسک و تطبیق‌پذیری با شرایط متغیر از طریق سیاست‌های پایدار و رویکردهای نوآورانه، نقش کلیدی در موفقیت این پروژه‌ها دارد (Rabbi, M.F., ed al, 2022).

۳. یافته‌ها و نتایج (Results and Fingding)

با تکمیل تمام موارد این تحقیق، یافته‌ها و نتایج حاصله را می‌توان به شرح زیر بیان کرد:

۱. **مهمترین منابع انرژی تجدیدپذیر:** تحقیق نشان داد که منابع مختلف انرژی تجدیدپذیر از جمله انرژی خورشیدی، بادی، آبی، زیست‌توده، انرژی ژئوترمال و انرژی دریای تأثیرات متفاوتی در کاهش گازهای گلخانه‌ای و تغییرات اقلیمی دارند. از میان این منابع، انرژی خورشیدی و بادی بیشترین رشد و توجه را در سطح جهانی به خود اختصاص داده‌اند و ظرفیت‌های بالای برای کاهش اثرات تغییرات اقلیمی دارند.

۲. **نقش سیاست‌ها و مقررات در ترویج انرژی تجدیدپذیر:** نتایج این تحقیق نشان می‌دهند که سیاست‌ها و مقررات دولتی همچون توافق‌نامه پاریس، پروتوکول کیوتو و دیگر ابتکارات بین‌المللی نقش مهمی در ترویج استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر ایفا کرده‌اند. این سیاست‌ها، با تشویق به کاهش گازهای گلخانه‌ای، بسترهای لازم برای گسترش استفاده از این منابع را فراهم کرده‌اند.

۳. **چالش‌ها و موانع موجود:** اگرچه انرژی تجدیدپذیر پتانسیل بالای در مقابله با تغییرات اقلیمی دارد؛ اما چالش‌های فراوانی همچون مسائل مالی، تکنولوژیکی، اجتماعی و محیط-زیستی در این مسیر وجود دارند. موانعی نظیر هزینه‌های بالای سرمایه‌گذاری اولیه، پیچیدگی‌های تکنولوژیکی، اثرات محیط‌زیستی پروژه‌ها و مشکلات در هماهنگی میان ذینفعان از جمله مواردی هستند که ممکن است روند توسعه این پروژه‌ها را کند کنند.

۴. **مزایای اقتصادی انرژی تجدیدپذیر:** تحقیقات نشان دادند که انتقال به انرژی‌های تجدیدپذیر علاوه بر کاهش اثرات منفی محیط‌زیستی، مزایای اقتصادی قابل توجهی نیز به همراه دارد. سرمایه‌گذاری در این منابع می‌تواند موجب رشد اقتصادی، ایجاد شغل‌های جدید و تقویت امنیت انرژی در کشورهای مختلف شود. از دیگر یافته‌ها این است که بر اساس

پیش‌بینی‌ها، افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر تا سال ۲۰۳۰ می‌تواند به افزایش GDP جهانی تا ۱.۱ درصد و ایجاد بیش از ۲۴ میلیون شغل در بخش انرژی کمک کند.

۵. آینده انرژی تجدیدپذیر: در نهایت، این تحقیق بر لزوم سرمایه‌گذاری‌های بیشتر در حوزه تکنالوژی‌های انرژی تجدیدپذیر، تسهیل انتقال تکنالوژی‌ها، و حمایت‌های مالی برای کشورهای در حال توسعه تأکید دارد. با توجه به موانع موجود، به نظر می‌رسد که برای رسیدن به اهداف جهانی تغییرات اقلیمی و رشد پایدار در بخش انرژی، نیازمند رویکردهای مشترک و همکاری‌های بین‌المللی هستیم.

این یافته‌ها و نتایج؛ به‌طور کلی بیانگر اهمیت انرژی‌های تجدیدپذیر در راستای کاهش تغییرات اقلیمی و همچنین چالش‌ها و فرصت‌های موجود در راه تحقق این اهداف هستند.

۴. مناقشه (Discussion)

توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر یکی از چالش‌های اساسی و درعین‌حال راهکارهای کلیدی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و دستیابی به پایداری محیط‌زیستی است. در این تحقیق، تأثیر سیاست‌های مالی، تکنالوژی‌های نوین، نقش بخش خصوصی و همکاری‌های بین‌المللی به‌عنوان متغیرهای مستقل بر میزان پذیرش و موفقیت پروژه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر، میزان کاهش آلاینده‌ها و رشد اقتصادی به‌عنوان متغیرهای وابسته مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این تحقیق نشان داد که حمایت‌های مالی نظیر یارانه‌های دولتی و مشوق‌های مالی، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، نقش مهمی در گسترش استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر دارند. این یافته با مطالعاتی مانند تحقیق صورت گرفته که بر اهمیت سیاست‌های مالی در افزایش پذیرش انرژی‌های تجدیدپذیر تأکید دارد و همخوانی می‌کند.

همچنین، یافته‌ها نشان دادند که تکنالوژی‌های جدید مانند سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی و بهبود راندمان سلول‌های خورشیدی، تأثیر بسزای در پایداری و کارایی انرژی‌های تجدیدپذیر دارند. مطالعات مشابه، نظیر تحقیق، به مزایای توسعه تکنالوژی در کاهش هزینه‌های عملیاتی و افزایش رقابت‌پذیری انرژی‌های تجدیدپذیر اشاره کرده‌اند که با یافته‌های این تحقیق سازگار است. علاوه بر این، نقش بخش خصوصی به‌عنوان یک عامل کلیدی در سرمایه‌گذاری و اجرای پروژه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر شناسایی شد. برخلاف مطالعاتی که بیشتر بر اقدامات دولتی تأکید دارند، این تحقیق نشان می‌دهد که هم‌افزای بین سیاست‌های دولتی و سرمایه‌گذاری بخش خصوصی می‌تواند تأثیر بیشتری در رشد این صنعت داشته باشد.

در مقایسه با تحقیقات پیشین، این مطالعه علاوه بر تأکید بر چالش‌های اقتصادی و مالی، به موانع حکمرانی و نظارتی در اجرای پروژه‌های تجدیدپذیر پرداخته است. برخلاف تحقیقات قبلی که عمدتاً تأثیرات اقتصادی را بررسی کرده‌اند، این تحقیق به تعاملات پیچیده بین عوامل اقتصادی، تکنالوژی، سیاستی و محیط‌زیستی پرداخته و بر اهمیت حکمرانی شفاف و ایجاد ساختارهای نظارتی مؤثر تأکید کرده است. علاوه بر این، در حالی که بسیاری از تحقیقات به صورت مجزا به متغیرهای مختلف پرداخته‌اند، این تحقیق یک رویکرد چند بعدی و یکپارچه ارائه داده که ارتباطات میان سیاست‌های مالی، توسعه تکنالوژی و مشارکت ذینفعان مختلف را بررسی کرده و تصویری جامع‌تر از تحولات این حوزه ارائه می‌دهد.

با این حال، چالش‌های متعددی همچنان در مسیر تحقق کامل انرژی‌های تجدیدپذیر وجود دارد. مسائلی مانند محدودیت‌های مالی کشورهای کم‌درآمد، مشکلات زیرساختی و عدم هماهنگی میان سیاست‌های داخلی و بین‌المللی، می‌توانند موانعی جدی در مسیر گسترش این تکنالوژی‌ها باشند. در همین راستا، این تحقیق پیشنهاد می‌کند که برنامه‌های حمایتی و سیاست‌گذاری‌ها باید بر اساس شرایط خاص اقتصادی، اجتماعی و محیطی هر کشور طراحی شوند؛ تا به نتایج مطلوب‌تری دست یابند.

۵. نتیجه‌گیری (Discussion)

نتیجه‌گیری این تحقیق نشان می‌دهد که انرژی‌های تجدیدپذیر نقش حیاتی در کاهش تغییرات اقلیمی و مقابله با گازهای گلخانه‌ای ایفا می‌کنند. با این حال، مسیر تبدیل این منابع به بخش اصلی تأمین انرژی جهانی با چالش‌های متعددی روبه‌روست که باید با رویکردی منطقی و واقع‌بینانه مدیریت شوند. از جمله این چالش‌ها، محدودیت‌های مالی و تکنالوژی برای توسعه پروژه‌های انرژی تجدیدپذیر، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، و تأثیرات محیط‌زیستی و اجتماعی پروژه‌ها هستند که ممکن است مانعی برای پذیرش سریع و گسترده این منابع باشند. همچنین، این تحقیق نشان می‌دهد که علی‌رغم این چالش‌ها، انرژی‌های تجدیدپذیر می‌توانند به عنوان ابزاری مؤثر برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، ایجاد اشتغال و رشد اقتصادی در سطح جهانی عمل کنند. به‌ویژه در کشورهای پیشرفته، سیاست‌های حمایتی و استفاده از مکانیزم‌های مالی مانند کمک‌های دولتی، مالیات‌ها و سیستم‌های قیمت‌گذاری کاربن می‌توانند باعث تسریع در انتقال به انرژی‌های پاک شوند. از سوی دیگر، در کشورهای در حال توسعه، ضروری است که با تأمین منابع مالی کافی و فراهم‌آوری تکنالوژی‌های مناسب، این کشورها بتوانند از مزایای انرژی‌های تجدیدپذیر بهره‌مند شوند. همچنین، همکاری میان دولت‌ها، بخش خصوصی و جوامع محلی به‌ویژه در قالب طرح‌های

مشارکتی و مبتنی بر سیاست‌های محلی می‌تواند موجب تسهیل فرآیند انتقال به انرژی‌های تجدیدپذیر شود. علاوه بر این، توسعه و تقویت نظام‌های حکمرانی و نظارتی، با شفافیت و حسابرسی مناسب، می‌تواند از سوء استفاده‌های احتمالی و مشکلاتی مانند محاسبه دوگانه کاهش گازهای گلخانه‌ای جلوگیری کند. در نهایت، تحقیق تأکید دارد که هدف اصلی، یعنی رسیدن به یک تأمین انرژی پایدار، ارزان و کم‌کاربن، تنها با برنامه‌ریزی دقیق، اتخاذ سیاست‌های مؤثر و همکاری‌های جهانی می‌تواند تحقق یابد.

بعد از مطالعه و بررسی در این مقاله پیشنهادت زیر مطرح می‌گردد:

۱. کشورهای در حال توسعه باید از طریق ایجاد مکانیزم‌های تسهیل‌کننده انتقال تکنالوژی، دسترسی به دانش و تکنالوژی‌های نوین در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر را تسریع کنند؛

۲. کشورهای مختلف باید سیاست‌های مالی و تشویقی مانند سیستم‌های قیمت‌گذاری کاربن، بارانه‌های مستقیم برای پروژه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر و تسهیلات مالی برای کشورها و بخش‌های خصوصی کوچک را در نظر بگیرند؛ تا سرعت انتقال به انرژی‌های پاک افزایش یابد؛

۳. با توجه به نتایج تحقیق، بخش خصوصی باید به‌عنوان یک عامل محرک در توسعه پروژه‌های تجدیدپذیر شناخته شود. ایجاد فضای مناسب برای سرمایه‌گذاری و مشوق‌های مالی برای شرکت‌های خصوصی می‌تواند به گسترش این تکنالوژی‌ها کمک کند؛

۴. برای تسهیل استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، کشورهای در حال توسعه نیازمند آموزش و ظرفیت‌سازی در زمینه‌های فنی و مدیریتی هستند.

منابع و مآخذ

- Armaroli, N., & Balzani, V. (2011). Towards an electricity-powered world. *Energy & Environmental Science*, 4(9), 3193-3222.
- Armaroli, N., & Balzani, V. (2016). Solar electricity and solar fuels: status and perspectives in the context of the energy transition. *Chemistry-A European Journal*, 22(1), 32-57.
- Jain, D. (2020). Renewable energy: Powering a safer future. *Renewable energy*, 1(3).
- Ritchie, H., & Roser, M. (2022). Share of electricity production from renewables.
- Raimi, D., Zhu, Y., Newell, R. G., & Prest, B. C. (2024). Global Energy Outlook 2024: Peaks or Plateaus.
- El-Emam, R. S., Constantin, A., Bhattacharyya, R., Ishaq, H., & Ricotti, M. E. (2024). Nuclear and renewables in multipurpose integrated energy systems: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 192, 114157.

- Ritchie, H., Rosado, P., & Roser, M. (2022). Environmental impacts of food production. *Our world in data*.
- Song, Y., & Wang, B. (2012). Survey on reliability of power electronic systems. *IEEE transactions on power electronics*, 28(1), 591-604.
- Prakash, R., & Bhat, I. K. (2009). Energy, economics and environmental impacts of renewable energy systems. *Renewable and sustainable energy reviews*, 13(9), 2716-2721.
- Ehrlich, R., Geller, H. A., & Cressman, J. R. (2022). *Renewable energy: a first course*. CRC press.
- Twidell, J. (2021). *Renewable energy resources*. Routledge.
- Harjanne, A., & Korhonen, J. M. (2019). Abandoning the concept of renewable energy. *Energy policy*, 127, 330-340.
- Bauwens, T. (2016). Explaining the diversity of motivations behind community renewable energy. *Energy Policy*, 93, 278-290.
- Timmons, D., Harris, J. M., & Roach, B. (2014). The economics of renewable energy. *Global Development And Environment Institute, Tufts University*, 52, 1-52.
- Moriarty, P., & Honnery, D. (2012). What is the global potential for renewable energy?. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 244-252.
- Ogunyemi, F. M., & Ishola, A. O. (2024). Encouraging investment in renewable energy through data-driven analytics and financial solutions for SMEs. *Renewable Energy Economics Journal*.
- Fabra, N., & Reguant, M. (2024). The energy transition: A balancing act. *Resource and Energy Economics*, 76, 101408.
- Rabbi, M. F., Popp, J., Máté, D., & Kovács, S. (2022). Energy security and energy transition to achieve carbon neutrality. *Energies*, 15(21), 8126.

تولید پولی هایدروکسی بوتیرت به روش هیترتروف توسط نانو تکنالوژی

محمد بابر جویا^{۱*}، سید محمد امین سادات^۲، عبدالقیوم رجبی^۳

*۱. نامزد پوهنار، دیپارتمنت انجیری صنایع مواد غیر عضوی، پوهنخی انجیری صنایع کیمیاوی، پوهنتون جوزجان، شرغان (نویسنده مسئول).

<https://orcid.org/0009-0007-1710-0891> - baburjoya799799@gmail.com

۲. پوهندوی، دیپارتمنت انجیری نفت و گاز، پوهنخی انجیری صنایع کیمیاوی، پوهنتون جوزجان، شرغان، افغانستان. <https://orcid.org/0009-0007-8542-2761> - sayedamainsadat512@gmail.com

۳. پوهاند، دیپارتمنت کیمیاوی عمومی، پوهنخی انجیری صنایع کیمیاوی، پوهنتون جوزجان، شرغان، افغانستان. <https://orcid.org/0009-0007-6405-9035> - abdulqayom5@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۸/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۶/۲۹

چکیده

بیوپلاستیک به عنوان گزینه‌ای سازگار با محیط زیست در صنعت مواد پلیمری، در سال‌های اخیر توجه گسترده‌ای را به خود جلب کرده است. تولید پلاستیک‌های سنتی از منابع پتروشیمیکی موجب مصرف ۱۲ درصد نفت جهانی و تولید زباله‌های غیر قابل تجزیه می‌شود که پیامدهای محیط زیست نامطلوبی دارد. از این رو، استفاده از بیوپلاستیک‌ها مانند پولی‌هایدروکسی الکانوئیت‌ها (PHA) خصوصاً پولی‌هایدروکسی بوتیرت (PHB) به عنوان جایگزینی زیست تخریب‌پذیر و سازگار با محیط زیست مورد توجه قرار گرفته است. در این مطالعه، نانوذرات پیژوالکتریک اکساید جست (ZnO) به روش هایدروترمال سنتز شده و با استفاده از اولتراسوند، جهت بهبود تولید PHB توسط باکتری رالستونیا ایتروفا مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج نشان داد که به غلظت ۰.۵ گرم بر یک لیتر ZnO، میزان تولید PH در تحت اولتراسوند کشت هیترتروفیک افزایش یافت که ۱.۴ برابر بیشتر از گروپ کنترولی بود. این تحقیق کارایی، پایداری و زیست‌سازگاری بالای ZnO در سیستم هایبرید هیترتروفیک پیژوالکتریکی را نشان داده و به عنوان پروسه‌ای برای تولید بیوپلاستیک و کاهش کاربن دای اکساید، مطابق با اصول کیمیاوی سبز پیشنهاد می‌شود. به منظور تولید هنگفت صنعتی، نیاز به تحقیق بیشتری در زمینه شرایط کشت مناسب و مکانیزم دقیق انتقال الکترون تحریک شده بین کلتست و باکتری وجود دارد.

کلمات کلیدی: اولتراسوند، بیوپلاستیک، پولی هایدروکسی بوتیرت، پیژوالکتریک، فرکتوز و رالستونیا ایتروفا

Polyhydroxybutyrate Production by Heterotrophic Method Assisted by Nanotechnology

Muhammad Babur JOYA^{1*}, Sayed Muhammad Amin SADAT², Abdulqayom Rajabi³

1*. Instructor. Department of inorganic Sustatances Industrial Engineering, Faculty of Chemical Industrial Engeineering, Jawzjan University, Sheberghan, Afghanistan (corresponding Author).
baburjoya799799@gmail.com - <https://orcid.org/0009-0007-1710-0891>

2. Associate Prof. Department of Oil and Gas Industrial Engineering, Faculty of Chemical Industrial Engeineering, Jawzjan University, Sheberghan, Afghanistan
sayedamainsadat512@gmail.com - <https://orcid.org/0009-0007-8542-2761>

3. Professor. Department of General Chemistry, Faculty of Chemical Engineering, Jawzjan University, Sheberghan, Afghanistan.
abdulqayom5@gmail.com - <https://orcid.org/0009-0007-6405-9035>

(Received: 04/11/2024 Accepted: 19/09/2025)

Abstract

*Bioplastics have recently garnered widespread attention as an environmentally friendly alternative in the polymer industry. The production of traditional plastics from petrochemical sources accounts for 12% of global oil consumption and generates non-biodegradable waste, leading to adverse environmental impacts. Consequently, bioplastics such as polyhydroxyalkanoates (PHAs), particularly polyhydroxybutyrate (PHB), have gained prominence as biodegradable and eco-friendly substitutes. In this study, piezoelectric ZnO nanoparticles were synthesized via the hydrothermal method and applied using ultrasound to enhance PHB production by *Ralstonia eutropha*. Results indicated that at a ZnO concentration of 0.5 gr/lit, PHB production reached under ultrasound in heterotrophic culture, which was 1.4 times higher than the control group. This research demonstrates ZnO's efficiency, stability, and biocompatibility in a hybrid heterotrophic-piezoelectric system, proposing it as a promising approach for bioplastic production and CO₂ reduction in line with green chemistry principles. For large-scale industrial production, further investigation is required to optimize culture conditions and elucidate the exact electron transfer mechanism between the catalyst and bacteria.*

Keywords: Ultrasound, Bioplastic, Polyhydroxybutyrate, Piezoelectric, Fructose, *Ralstonia Eutropha*.

۱. مقدمه (Introduction)

یکی از بزرگترین چالش‌های محیط زیستی قرن حاضر، افزایش مصرف پلاستیک‌های نفتی، کاهش منابع غیر تجدیدپذیر، ایجاد زباله‌های غیر قابل تجزیه در محیط زیست است. پلاستیک‌های نفتی که حدود ۱۲ فیصد از کل مصرف نفت جهانی را به خود اختصاص می‌دهند (McAdam et al., 2020) به دلیل دوام بالا و تجزیه‌ناپذیری در شرایط طبیعی، به‌طور گسترده‌ای به آلودگی‌های محیط زیستی دامن می‌زنند. این آلودگی‌ها علاوه بر ایجاد مخاطرات زیست‌محیطی برای جانداران، با تجمع در اکوسیستم‌ها به‌ویژه در محیط‌های آبی و خاکی، تهدید جدی برای سلامت انسان‌ها و جانوران به شمار می‌آیند. این معضل، محققین را بر آن داشته است تا به دنبال جایگزین‌های زیست تخریب‌پذیر و سازگار با محیط زیست برای این پلاستیک‌ها باشند (Rhodes, 2018).

پولی‌هایدروکسی‌بوتیرت (PHB) جایگزین مناسب برای پلاستیک‌های نفتی است که به دلیل سازگاری زیستی، تجزیه‌پذیری در محیط طبیعی و ویژگی‌های فیزیکی مشابه با پولی‌پروپیلین، به‌عنوان یکی از مهمترین پولیمیرهای زیست‌تخریب‌پذیر شناخته می‌شود (Mohan et al., 2020). این پولیمیر زیستی قابلیت تولید توسط مایکروارگانیزم‌هایی مانند رالستونیا ایتروفا H_{16} را دارد که به دلیل ویژگی‌های زیست‌سنترزی منحصربه‌فرد، در شرایط مختلف و با استفاده از منابع کاربونی، می‌تواند PHB را به‌عنوان منبع ذخیره کاربن و انرژی در سلول‌های خود تولید کند (Rhodes, 2018). تحقیقات نشان داده‌اند که PHB دارای خواص تجزیه‌پذیری و انعطاف‌پذیری مناسب برای کاربردهای متنوعی همچون صنایع بسته‌بندی، طبابت و زراعتی است (Gardner, 2020).

با این حال، چالش‌های زیادی از جمله هزینه‌های زیاد بالای تولید، محدودیت‌های بازدهی و تکنالوژی پیچیده پروسه تولید، مانع از گسترش استفاده از این پولیمیر در مقیاس صنعتی شده است (Chakravarty, 2018). به منظور کاهش هزینه‌ها و بلند بردن ظرفیت تولید PHB، تلاش‌های بسیاری برای به‌ترسازای شرایط تولید و یافتن راهکارهای نوآورانه صورت گرفته است (Chakravarty, 2018). یکی از این روش‌ها، استفاده از تکنالوژی پیشرفته نانو و بهره‌گیری از مواد جدید برای تحریک پروسه‌های زیست‌سنترزی در مایکروارگانیزم‌ها است. تحقیقات نشان داده‌اند که مواد نانوذرات پیژوالکتریکی می‌توانند به‌عنوان ماده‌ای مؤثر در تولید الکترون‌های تحریک شده به رالستونیا ایتروفا H_{16} به کار روند (Ning et al., 2024). این نانوذرات به دلیل

خواص پیزوالکتریک خود می‌توانند تحت فشار مکانیکی، چارچ برقی را تولید کنند و به‌عنوان یک ماده تحریک‌کننده الکتریکی در سیستم‌های زیست‌سنتری به کار گرفته شوند. این ویژگی‌های منحصر به فرد باعث شده‌اند تا مواد پیزوالکتریکی به‌عنوان یک ماده فعال در افزایش تولید بیوپلاستیک‌ها مورد توجه قرار گیرد. یکی دیگر از روش‌های نوآورانه برای بهبود تولید PHB، استفاده از امواج التراسونیک برای تحریک پیزوالکتریک نانوذرات ZnO است. امواج التراسونیک، علاوه بر این که باعث کاهش اندازه نانوذرات ZnO می‌شوند، سطح مؤثر آن‌ها را نیز افزایش می‌دهند. این پروسه به پراکندگی بهتر نانوذرات در محیط کشت کمک کرده و خواص پیزوالکتریک آن‌ها را نیز بهبود می‌بخشد. در نتیجه، این نانوذرات توانایی بیشتری برای انتقال چارچ برقی به سلول‌های باکتریایی و تولید الکترون‌های تحریک شده به PHB را دارند (Nie et al., 2020).

با توجه به مزایای اشاره شده، هدف این تحقیق استفاده از یک سیستم ترکیب زیستی با بهره‌گیری از باکتری رالستونیا ایتروفا و نانوذرات پیزوالکتریک ZnO است تا بهبود قابل توجهی در ظرفیت تولید PHB ایجاد شود. این مطالعه با کارگیری امواج التراسونیک برای تحریک نانوذرات ZnO و استفاده از خواص پیزوالکتریک این نانوذرات به دنبال بهتری شرایط کشت و افزایش میزان تولید PHB می‌باشد. نوآوری این تحقیق در استفاده از سیستم هایبریدی زیست‌سنتری با تحریک الکتریکی می‌باشد که می‌تواند به‌عنوان راهکار جدید و سازگار با محیط زیست در تولید PHB و کاهش وابستگی به پلاستیک‌های نفتی مورد استفاده قرار گیرد. انتظار می‌رود که این روش نه تنها به بهبود بهره‌وری تولید PHB کمک کند؛ بلکه به‌عنوان یک راهکار پایدار در راستای کاهش آلودگی‌های محیط زیستی نیز تأثیرگذار باشد.

۲. مواد و روش (Materials and Method)

۱.۲. نوع باکتری و محیط کشت

در این مطالعه از رالستونیا ایتروفا (DSM-428) استفاده شد. ترکیب محیط محدوده نایتروجن برای رالستونیا ایتروفا H_{16} قرار ذیل است: ۱ میلی‌لیتر محلول عناصر کمیاب در یک لیتر محلول محدوده نایتروجن، ۲۰ گرم در یک لیتر فرکتوز، ۱ گرم در یک لیتر NH_4Cl ، ۵.۲ گرم در یک لیتر $NaH_2PO_4 \cdot 2H_2O$ ، ۱۱.۶ گرم در یک لیتر $Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$ ، ۰.۴۵ گرم در یک لیتر K_2SO_4 ، ۰.۰۸ گرم در یک لیتر $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ و ۰.۰۰۸ گرم در یک لیتر $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ ترکیبات محلول عناصر کمیاب شامل موارد زیر است: ۰.۱ مولر HCl ، ۱۵ گرم

در یک لیتر $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ، ۲.۴ گرم در یک لیتر $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ، ۲.۴ گرم در یک لیتر $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ و ۰.۴۸ گرم در یک لیتر $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ، که محلول با استفاده از سودیم فسفات برای حفظ PH اولیه برابر با ۷ استفاده شده است (Ganesh Saratale et al., 2021).

باکتریای رالستونیا ایتروفا H_{16} که در حرارت ۸۰- درجه سانتی گرید منجمد شده بود، با استفاده از حلقه کشت به لوله آزمایش حاوی پنج میلی لیتر محیط Tryptic Soy Broth (TSB) منتقل و در حرارت به ۳۰ درجه سانتی گرید و ۲۰۰ دور در دقیقه در اجاق تکان دهنده با حرارت ثابت برای مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد (Ganesh Saratale et al., 2021). پنج میکرولیتر از باکتری‌های احیا شده به لوله آزمایش حاوی پنج میلی لیتر محیط محدوده نایتروجن کشت شد و در اجاق با حرارت ثابت در تحت ۳۰ درجه سانتی گرید قرار گرفت تا کثافت نوری در طول موج ۶۰۰ نانومتر (OD) به ۱ برسد. سپس ۵۰ میکرولیتر محلول باکتری به لوله آزمایش حاوی پنج میلی لیتر محیط کشت باکتریایی با غلظت‌های مختلف ZnO گردید. رالستونیا ایتروفا H_{16} یک سویه باکتریایی که PHB سنتز می‌کند، برای مدت ۹۲ ساعت در حرارت ۳۰ درجه سانتی گرید و با سرعت ۲۰۰ دور در دقیقه کشت داده شد.

۲.۲. رشد رالستونیا ایتروفا تحت اولتراسوند با نانوذرات پیژوالکتریک ZnO

محلول باکتریایی رالستونیا ایتروفا طبق منابع پیشین کشت داده شد و برای انجام آزمایش با استفاده از اولتراسوند آماده گردید. در این پروسه، غلظت نانوذرات پیژوالکتریک ZnO به میزان ۰.۵ گرم بر یک لیتر تنظیم شد. محلول کشت شده حاوی باکتری‌ها و نانوذرات ZnO به مدت ۲۴ ساعت در حرارت ثابت ۳۰ درجه سانتی گرید و در شرایط تکان دهی با سرعت ۲۰۰ دور بر دقیقه در اجاق قرار گرفت. پس از هر ۲۴ ساعت، کشت به مدت ۶۰ دقیقه در دستگاه اولتراسوند با فرکانس ۸۰ هرتز تحت اولتراسوند قرار داده شد. این پروسه طی آزمایش سه بار تکرار شد و مجموعاً ۳ ساعت در معرض اولتراسوند قرار گرفت. سپس، رشد باکتری‌ها از طریق سانتریفیوژ کردن ۵ میلی لیتر از محلول کشت و محاسبه وزن خشک سلولی ارزیابی گردید. برای ارزیابی رشد باکتری، سانتریفیوژ در ۱۰,۰۰۰ دور بر دقیقه و به مدت ۵ دقیقه انجام شد و سلول‌های رالستونیا ایتروفا از محلول جدا شده و در حرارت ۵۵ درجه سانتی گرید در اجاق خشک شدند. در نهایت، سلول‌های خشک شده با استفاده از یک ترازوی حساس وزن گردید.

۳.۲. کشت رالستونیا ایتروفا همراه با نانوذرات (ZnO) و اندازه گیری غلظت PHB

برای اندازه‌گیری غلظت PHB، ابتدا از ۴ تا ۱۰ میلی‌لیتر مایع باکتریایی استفاده کنید و آن را به مدت ۵ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. پس از جداسازی سرباره، رسوب باقی‌مانده را در حرارت ۵۵ درجه سانتی‌گرید در اجاق خشک شد. پس از خشک شدن، ۱.۹۴ میلی‌لیتر میتانول، ۰.۰۶ میلی‌لیتر سلفوریک اسید غلیظ و ۲ میلی‌لیتر کلورفارم به رسوب اضافه شد و مخلوط را در حرارت ثابت خشک گردید. در ادامه، نمونه را در حرارت ۱۰۰ درجه سانتی‌گرید به مدت ۴ ساعت در جعبه تعاملی قرار داده شد. بعد از پایان زمان تعامل، نمونه را خارج کرده و ۱ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه شد. سپس نمونه را بر روی دستگاه ورتکس تکان داده تا استخراج کامل صورت گیرد و فاز مایع شفاف حاصل شد. این مایع شفاف برای اندازه‌گیری غلظت PHB به دستگاه گاز کروماتوگرافی GC 9720 (شرکت ابزارسازی ژجیانگ فولی، چین) منتقل گردید. برای انجام این آنالیز، ستون کروماتوگرافی RB-FFAP و آشکارساز آیونیز کننده شعله‌ای (FID) به کار گرفته شد. حرارت اولیه دستگاه کروماتوگرافی ۵۰ درجه سانتی‌گرید است و به مدت ۲ دقیقه نگهداشته شد، سپس حرارت با اندازه افزایش ۱۰ درجه سانتی‌گرید در دقیقه به ۲۲۰ درجه سانتی‌گرید رسید و به مدت ۵ دقیقه در این حرارت حفظ شد. این روش به منظور تعیین دقیق غلظت PHB در نمونه‌های باکتریایی استفاده می‌شود.

۴.۲. آماده‌سازی و تثبیت PHB برای اسکن میکروسکوپی الکترونی (SEM)

برای آماده‌سازی نمونه جهت آنالیز برای اسکن میکروسکوپی الکترونی (SEM)، پس از یک دوره کشت ۲۴ ساعته، ۱۰۰ مایکرولیتر از محلول باکتریایی استخراج می‌شود. به منظور تثبیت نمونه، محلولی از ۲.۵ فیصد گلو تارا الدیهاید در بفر فسفات با PH برابر با ۷.۰ تهیه می‌گردد. سپس ۱ میلی‌لیتر از این محلول تثبیت‌کننده به لوله سانتریفیوژ اضافه می‌شود. محلول باکتریایی استخراج شده به لوله سانتریفیوژ انتقال یافته و به آرامی با ورتکس مخلوط می‌شود، سپس لوله به مدت ۲۴ ساعت در حرارت ۴ درجه سانتی‌گرید در یخچال نگهداری می‌شود. پس از گذشت این زمان، محلول تثبیت‌کننده دور ریخته شده و نمونه سه بار با بفر فسفات ۰.۱ مولار با PH برابر ۷.۰ شسته می‌شود. هر چرخه شستشو شامل سانتریفیوژ با سرعت ۸۰۰۰ دور فی دقیقه به مدت ۲ دقیقه و قفه، ۱۵ دقیقه‌ای بین هر شستشو است. در ادامه، نمونه به

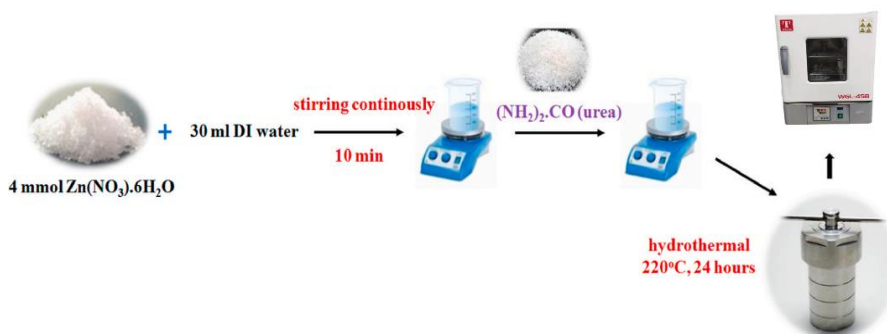
مدت یک ساعت در محلول ۱ فیصد اسید اگزالیک غوطه‌ور شده و سپس محلول دور ریخته می‌شود. شستشوی مجدد با بفر فسفات ۰.۱ مولار با PH برابر ۷.۰ انجام می‌شود و پس از آن به مدت ۱ دقیقه با سرعت ۶۵۰۰ دور فی دقیقه سانتریفیوژ می‌گردد. این مرحله نیز سه بار تکرار شده و هر بار ۱۵ دقیقه به طول می‌انجامد. سپس ۱۰۰ میکرولیتر از محلول‌های ایتانول با غلظت‌های متوالی ۳۰٪، ۵۰٪، ۶۰٪، ۷۰٪، ۸۰٪ و ۹۰٪ به نمونه افزوده می‌شود. هر غلظت به مدت ۱۰ دقیقه در تماس با نمونه باقی می‌ماند و در پایان هر مرحله نمونه سانتریفیوژ می‌گردد. پس از این مراحل، نمونه دو بار در ایتانول خالص به مدت ۲۰ دقیقه غوطه‌ور شده و سپس خشک می‌شود. در نهایت، نمونه به مدت یک ساعت در ایزوامایل استیت قرار داده می‌شود. پس از آن، ۵۰ تا ۱۰۰ میکرولیتر از نمونه روی فویل المونیمی قرار گرفته و اجازه داده می‌شود تا خشک شود. برای آنالیز برای اسکن میکروسکوپی الکترونی (SEM)، نمونه با طلا به مدت ۳۰ ثانیه اسپری شده و با ولتاژ اسکن ۳ کیلوولت تحت بررسی قرار می‌گیرد.

۵.۲. اسکن میکروسکوپی الکترونی (SEM) رالستونیا ایتروفا

پس از کشت ۲۴ ساعته، ۱۰۰ میکرولیتر از محلول باکتریایی رالستونیا ایتروفا H_{16} برداشته است. برای تثبیت نمونه، یک محلول بفری با PH برابر با ۷.۰ با استفاده از محلول ۲.۵ فیصد (حجمی/حجمی) گلو تارالیدیهید آماده گردید. ۱ میلی‌لیتر از این محلول به لوله سانتریفیوژ اضافه شده و ۱۰۰ میکرولیتر از محلول باکتریایی نیز به آن افزوده شد. پس از ترکیب و یکسان‌سازی توسط ورتکس، لوله به مدت ۲۴ ساعت در حرارت ۴ درجه سانتی‌گرید در یخچال قرار گرفت. پس از پایان دوره تثبیت، نمونه به مدت ۲ دقیقه با سرعت ۸۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس، نمونه سه بار با بفر فسفاتی شسته شد و به ترتیب، ۱۰۰ میکرولیتر از محلول‌های ایتانول با غلظت‌های ۳۰٪، ۵۰٪، ۶۰٪، ۷۰٪، ۸۰٪ و ۹۰٪ به آن افزوده گردید. هر مرحله ایتانول به مدت ۵ دقیقه با نمونه در تماس بود و پس از هر بار سانتریفیوژ انجام شد. سپس نمونه دو بار در ایتانول ۱۰۰٪ به مدت ۱ دقیقه غوطه‌ور گردید. در مرحله نهایی، ۵۰ تا ۱۰۰ میکرولیتر از نمونه بر روی فویل قلعی قرار داده شد تا خشک شود. پس از آماده‌سازی، نمونه با استفاده از اسکن میکروسکوپی الکترونی (SEM) مورد آنالیز قرار گرفت. در این پروسه، پوشش‌دهی طلا به مدت ۳۰ ثانیه و با ولتاژ اسکن ۳ کیلوولت انجام شد. این مراحل به دقت برای آماده‌سازی و تثبیت نمونه جهت تحلیل دقیق ساختاری تحت اسکن میکروسکوپی الکترونی طراحی شده است.

۶.۲. سنتز نانوذرات اکساید جست به روش هایدروترمال

در این مطالعه، مواد اولیه شامل زینک نایتریت هگزا هیدرت $[Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O]$ و یوریا $[CH_4N_2O]$ از شرکت سیگما-آلد ریچ تهیه شدند. تمامی مواد کیمیاوی مورد استفاده، دارای درجه خلوص تحلیلی بوده و بدون نیاز به خالص سازی اضافی به کار گرفته شدند. پروسه سنتز نانوساختارهای متخلخل ZnO با استفاده از روش هایدروترمال و با آب دی آیونایز شده به عنوان محل انجام گرفت (شکل ۱). در یک روش استاندارد برای سنتز نانوذرات ZnO، ابتدا ۴ میلی مول نایتریت جست هگزا هیدرات $[Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O]$ در ۳۰ میلی لیتر آب دیونیزه حل شد و به مدت ۱۵ دقیقه مخلوط کردن مداوم مخلوط گردید. سپس ۲۰ میلی لیتر از محلول یوریا با غلظت ۸ میلی مول به مخلوط افزوده شد و مخلوط کردن به مدت ۱۵ دقیقه دیگر ادامه یافت تا PH مخلوط به مقدار ۵ برسد. در مرحله بعد، مخلوط به یک اتوکلاو فولادی با پوشش تفلون و ظرفیت ۱۰۰ میلی لیتر منتقل شده و به مدت ۲۴ ساعت در حرارت ۲۲۰ درجه سانتی گرید قرار گرفت تا پروسه رشد هایدروترمال انجام شود. پس از اتمام پروسه، رسوب حاصل اجازه یافت به طور طبیعی تا حرارت اتاق خنک شود. سپس، با سانتریفیوژ و شست و شوی مکرر با آب دی آیونایز شده و ایتانول، رسوب خالص سازی گردید. در نهایت، رسوب به مدت ۲۴ ساعت در حرارت ۶۰ درجه سانتی گرید خشک شد و سپس در حرارت ۶۰۰ درجه سانتی گرید خشک گردیده تا پودر سفید نانوذرات ZnO تشکیل شود (Sharumathi et al., 2023).



شکل ۱. سنتز نانوذرات ZnO با روش هایدروترمال

۷.۲. تولید PHB توسط رالستونیا ایتروفا H_{16} استفاده از پیژوالکتریکی نانوذرات

ZnO

باکتری *رالستونیا ایتروفا* که طبق منابع قبلی تهیه و کشت شده بود، برای آزمایش آماده شد. غلظت نانوذرات پیژوالکتریک اکساید جست در کنار این باکتری به ۰.۵ گرم بر یک لیتر تنظیم شد. کشت باکتری به همراه نانوذرات اکساید جست به مدت ۲۴ ساعت در حرارت ثابت ۳۰ درجه سانتی گرید و با سرعت ۲۰۰ دور در دقیقه داخل داش باکتریایی قرار گرفت. پس از هر ۲۴ ساعت، کشت باکتری ها به مدت ۶۰ دقیقه در دستگاه اولتراسوند با فرکانس ۸۰ هرتز قرار گرفت. این پروسه سه بار طی این آزمایش تکرار شد، که در مجموع ۳ ساعت تحت عمل اولتراسوند قرار گرفت. سپس رشد باکتری از طریق سانتریفیوژ کردن ۵ میلی لیتر از کشت باکتریایی و تعیین وزن خشک سلول های باکتری اندازه گیری شد. ارزیابی رشد باکتری شامل سانتریفیوژ کردن نمونه ها با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۵ دقیقه بود. سلول های *رالستونیا ایتروفا* از محلول جدا شده و در تحت حرارت ۵۵ درجه سانتی گرید در داش های خشک کن مخصوص باکتریایی خشک گردید. پس از خشک شدن، سلول ها با استفاده از ترازو حساس به دقت وزن گردیده و به پروسه استخراج هدایت گردید.

۳. یافته ها و نتایج (Results and Fingding)

۱.۳. ساختاری نانوذرات (ZnO) با روش های درو ترمال و دیفریکشن اشعه ایکس

(XRD)

همان طور که در شکل ۲ نشان داده شد، نانوذرات (ZnO) به روش های درو ترمال سنتز و توسط دیفریکشن اشعه ایکس (XRD) شناسایی شده اند و ساختار بلوری مکعبی با مرکز وجوه (FCC) را نشان می دهند. نتایج XRD نشان می دهد که پیک های مشخص برای ZnO با علائم استاندارد PDF شماره ۳۶-۱۴۵۱ همخوانی دارند. این پیک ها در زوایای ۳۱.۷ (صفحه ۱۰۰)، ۳۴.۴ (صفحه ۰۲۰)، ۳۶.۲ (صفحه ۱۰۱)، ۴۷.۵ (صفحه ۱۰۲)، ۵۶.۶ (صفحه ۱۱۰)، ۶۲.۸ (صفحه ۱۰۳)، ۶۶.۳ (صفحه ۲۰۰) و ۶۹.۲ (صفحه ۲۰۱) مشاهده می شوند. تحلیل این پیک ها بر اساس فورمول براگ انجام شده است.

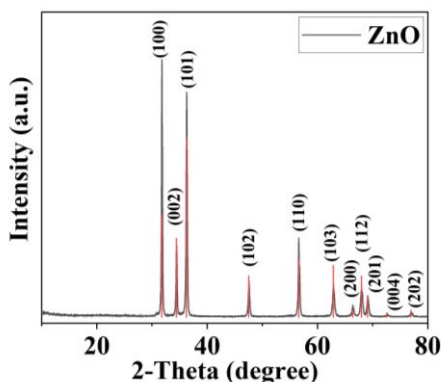
$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (1)$$

در این فورمول، d فاصله کرسطالی نمونه، θ زاویه بین اشعه ایکس و صفحه کرسطالی و n هر عدد صحیح مثبت است که به عنوان تعداد منعکس ها شناخته می شود. در اینجا مقدار

$n = 1$ در نظر گرفته شده است. λ طول موج اشعه‌های ایکس است. d فاصله کرسطالی است و فیصدی کرسطالی بودن یک ماده را می‌توان با استفاده از فرمول محاسبه کرد.

$$C_r I = \frac{I_{(100)} - I_{am}}{I_{(100)}} \quad (2)$$

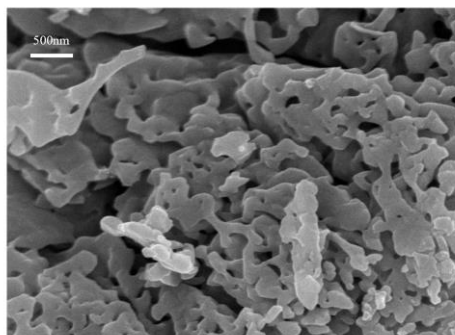
در این جا، CrI بیانگر فیصد کرسطالی ماده است، $I_{(100)}$ شدت پیک صفحه کرسطالی (۱۰۰) ماده و I نیز شدت خط پایه است. از طریق محاسبات، کرسطالیت ZnO برابر با ۹۹.۴٪ بدست آمد.



شکل ۲. مشخصات XRD نانوذرات ZnO

۲.۳. اسکن میکروسکوپی الکترونی (SEM) نانوذرات ZnO

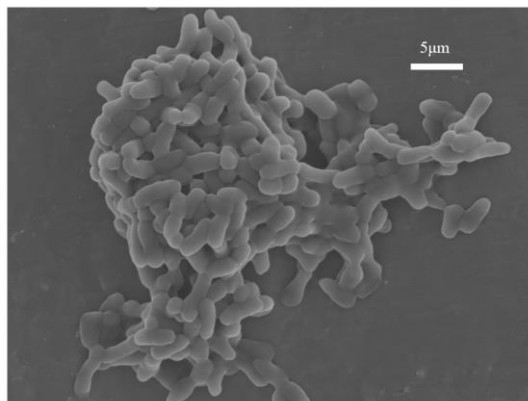
تصویر اسکن میکروسکوپی الکترونی در شکل ۳ نشان داده شده است. تصویر نشان می‌دهد که قطر مایکروسکوپ ZnO بین ۵۰ نانومتر تا ۵۰۰ نانومتر بوده و به شکل دانه‌ای نامنظم است. مورفولوژی آن به صورت منظم مشاهده می‌شود.



شکل ۳. اسکن میکروسکوپی الکترونی نانوذرات اکساید جست

۳.۳. اسکن میکروسکوپی الکترونی (SEM) رالستونیا ایتروفا

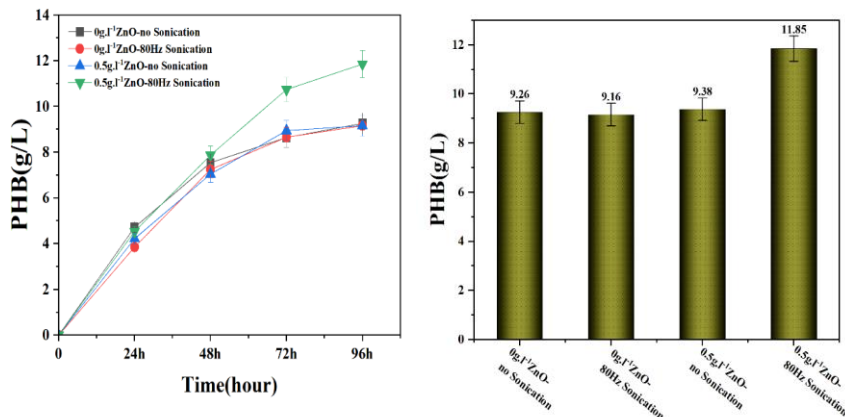
با مشاهده رالستونیا ایتروفا از طریق میکروسکوپ الکترونی روبشی، از شکل ۴ مشخص می شود که دارای شکلی استوانه ای و گرد است، و اندازه آن تقریباً 4×0.8 میکرومتر می باشد.



شکل ۴. اسکن میکروسکوپی الکترونی رالستونیا ایتروفا

۴.۳. تأثیر اولتراسوند بر سیستم پیژوالکتریک هیترتروف

مقایسه منحنی های رشد هیترتروف PHB در گروپ های با اولتراسوند و بدون اولتراسوند قسمیکه در شکل ۵. نشان داده شده در غلظت ۰.۵ گرم بر یک لیتر ZnO، مشخص شد که در ۴۸ ساعت، تجمع PHB در این دو گروپ تفاوت های آشکاری نشان می دهد. در گروپ بدون اولتراسوند، در ۴۸ ساعت، مقدار تجمع PHB برابر با ۷.۲۱ گرم بر یک لیتر بود، در حالی که در گروپ اولتراسوند این مقدار ۷.۸۷ گرم بر یک لیتر بود. از ۴۸ تا ۹۶ ساعت، مقدار تجمع PHB در این آزمایش به سرعت افزایش یافت. تولید PHB پس از ۷۲ ساعت در گروپ بدون اولتراسوند بدون تغییر باقی ماند، در حالی که تجمع PHB در گروپ اولتراسوند به رشد خود ادامه داد. پس از ۹۶ ساعت کشت هیترتروف، غلظت PHB در گروپ بدون ZnO و گروپ با ۰.۵ گرم بر یک لیتر ZnO اندازه گیری شد. نتیجه در شکل نشان داده است. غلظت PHB در گروپ آزمایشی که تحت اولتراسوند هیترتروف بدون افزودن مواد کشت شده بود، ۹.۲۶ گرم بر یک لیتر بود و در گروپ آزمایشی که ۰.۵ گرم بر یک لیتر ZnO اضافه شده بود، غلظت PHB برابر با ۱۱.۸۵ گرم بر یک لیتر بود که حدود ۱.۲۷ برابر گروپ بدون ZnO است. مشاهده می شود که ماده ZnO می تواند به طور قابل توجهی توانایی رالستونیا ایتروفا را برای تولید PHB به صورت هیترتروف تحت اولتراسوند بهبود بخشد. علاوه بر این، رالستونیا ایتروفا بدون وجود مواد توانایی استفاده از اولتراسوند برای تجمع PHB را نشان نداد.

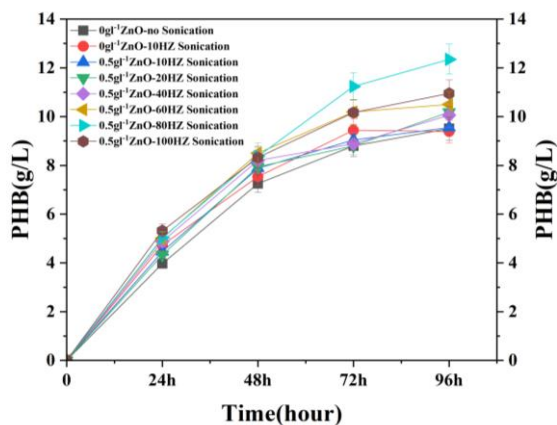


شکل ۵. منحنی تجمع PHB از ZnO و رالستونیا ایتروفا که به صورت هیترتروف با فرکتوز و اولتراسوند ۸۰ هرتز به مدت ۹۶ ساعت کشت شده‌اند.

۵.۳. تأثیر اولتراسوند با فرکانس‌های مختلف بر سیستم پیزوالکتریک بیوهاییردی

هیترتروف

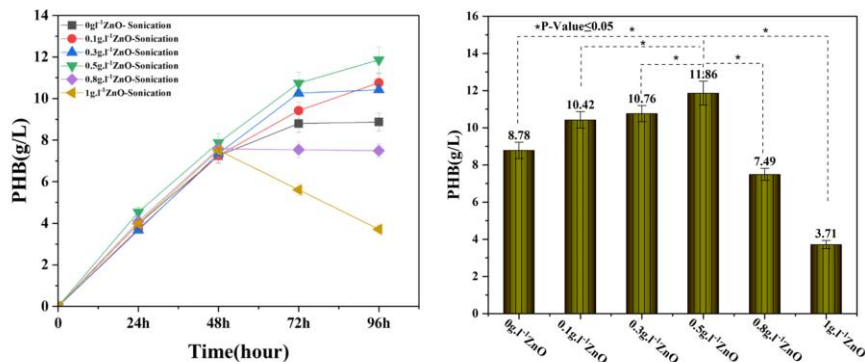
در حالی که *رالستونیا ایتروفا* در یک کشت هیترتروف برای تولید PHB رشد می‌کرد، تأثیر اولتراسوند با فرکانس‌های مختلف بر سیستم پیزوالکتریک هیترتروف بررسی شد. همان‌طور که در شکل ۶ نشان داده شده است، فرکانس مناسب اولتراسوند در این آزمایش ۸۰ هرتز بوده و در این فرکانس مقدار تولید شده PHB برابر با ۱۱.۸۵ گرم بر یک لیتر است. با کاهش فرکانس، تولید PHB نیز کاهش می‌یابد. مقدار PHB در فرکانس ۱۰ هرتز برابر با ۹.۰۵ گرم بر یک لیتر بوده که مشابه با گروه بدون اولتراسوند است. زمانی که فرکانس اولتراسوند بیشتر از ۸۰ هرتز باشد، تولید PHB نیز کاهش می‌یابد؛ این امر ممکن است بر نرخ رشد *رالستونیا ایتروفا* تأثیر بگذارد، طوری که در فرکانس ۱۰۰ هرتز، مقدار تولید شده PHB به ۱۰.۴۵ گرم بر یک لیتر کاهش می‌یابد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که اولتراسوند ۸۰ هرتز بهترین اثر را در این آزمایش دارد. زمانی که فرکانس اولتراسوند خیلی پایین باشد، تولید PHB توسط *رالستونیا ایتروفا* به‌طور قابل توجهی بهبود نمی‌یابد و زمانی که فرکانس اولتراسوند خیلی بالا باشد، رشد *رالستونیا ایتروفا* را تحت تأثیر قرار می‌دهد و نوعی مقاومت در برابر رشد مایکرو ارگانیسم‌ها نشان می‌دهد.



شکل ۶. مقدار PHB تولید شده در فرکانس‌های مختلف اولتراسوند توسط *رالستونیا/یتروفا* به مدت ۹۶ ساعت

۶.۳. تأثیر غلظت‌های مختلف نانوذرات ZnO بر سیستم هایبرید هیترتروفیک

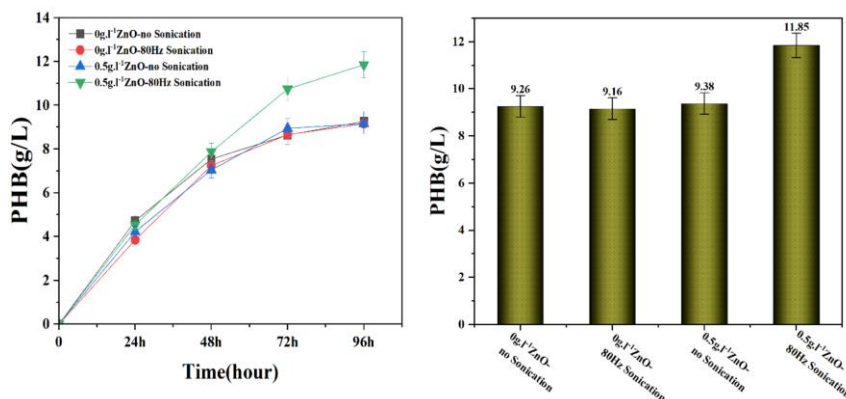
در این مطالعه، اثر نانوذرات (ZnO) در سیستم پیزالکتریکی هیترتروفیک باکتری *رالستونیا/یتروفا* با افزودن مقادیر مختلف ZnO به محیط کشت باکتریایی مورد بررسی قرار گرفت. همان‌گونه که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، مؤثرترین غلظت ZnO برای این آزمایش ۰.۵ گرم بر یک لیتر بود که منجر به تولید ۱۱.۸۶ گرم بر یک لیتر پولی هایدروکسی بوتیرت (PHB) شد. با کاهش غلظت ZnO، تولید PHB نیز کاهش یافت؛ طوری که در غلظت ۰.۳ گرم بر لیتر، مقدار PHB به ۱۰.۸۶ گرم بر یک لیتر کاهش یافت، که تقریباً معادل کشت بدون افزودنی بود. در غلظت‌های بیش از ۰.۵ گرم بر لیتر، میزان سنتز PHB کاهش نشان داد که احتمالاً ناشی از ایجاد اختلال در محیط رشد *رالستونیا/یتروفا* به دلیل افزایش غلظت ZnO و تأثیر منفی آن بر توسعه باکتری بود. در غلظت ۱ گرم بر لیتر، غلظت PHB به ۳.۷۱ گرم بر یک لیتر کاهش یافت که به‌طور قابل توجهی کمتر از گروپ کنترولی بدون افزودنی بود. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که غلظت ۰.۵ گرم بر یک لیتر ZnO بیشترین تأثیر مثبت را بر تولید PHB در این آزمایش داشته است. همچنین، در غلظت‌های بسیار پایین ZnO، تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر تولید PHB توسط *رالستونیا/یتروفا* مشاهده نشد. در غلظت ناکافی ZnO، تولید PHB توسط *رالستونیا/یتروفا* محدود شد، و در غلظت‌های بیش از حد ZnO موجب اختلال در رشد *رالستونیا/یتروفا* و بروز اثرات سمی بر مایکرو ارگانیسم‌ها شد.



شکل ۷. PHB تولید شده در غلظت‌های مختلف ZnO و تحت اولتراسوند ۸۰ هرتز در به مدت ۹۶ ساعت

۷.۳. تأثیر اولتراسوند بر سیستم هایبرید هیترتروف پیزوالکتریکی

در این مطالعه، مقایسه منحنی‌های رشد هیترتروفیک و تجمع پلی‌هایدروکسی‌بوتیرت (PHB) در گروپ‌ها و بدون اولتراسوند قسمیکه در شکل ۸. نشان داده شده در حضور غلظت ۰.۵ گرم بر یک لیتر ZnO نشان داد که در زمان ۴۸ ساعت، تفاوت‌های قابل‌توجهی بین دو گروپ وجود داشت. در گروپ بدون اولتراسوند، میزان تجمع PHB در ساعت ۴۸ به ۷.۲۱ گرم بر یک لیتر رسید، در حالی که این میزان در گروپ با اولتراسوند به ۷.۷۸ گرم بر یک لیتر افزایش یافت. از زمان ۴۸ تا ۹۶ ساعت، تجمع PHB به سرعت افزایش نشان داد. در گروپ بدون اولتراسوند، تولید PHB پس از ۷۲ ساعت به یک سطح پایدار رسید، در حالی که در گروپ با اولتراسوند، تجمع PHB همچنان به رشد خود ادامه داد. پس از ۹۶ ساعت کشت هیترتروفیک، غلظت PHB در گروپ‌های حاوی ۰.۵ گرم بر یک لیتر ZnO و بدون آن مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج در شکل مربوطه نمایش داده شد. غلظت PHB در گروپی که تحت شرایط هیترتروفیک و اولتراسوند؛ اما بدون افزودنی، کشت شده بود، برابر با ۹.۲۶ گرم بر یک لیتر بود؛ در حالی که این غلظت در گروپی که ۰.۵ گرم بر یک لیتر ZnO به محیط آن افزوده شده بود، به ۱۱.۸۵ گرم بر یک لیتر رسید، که تقریباً ۱.۴ برابر گروپ بدون ZnO است. این نتایج نشان می‌دهد که افزودن ZnO می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی توانایی *رالستونیا/یتروفا* را در تولید PHB تحت شرایط هیترتروفیک و با اولتراسوند افزایش دهد. افزون بر این، *رالستونیا/یتروفا* در نبود افزودنی‌ها نتوانست از اولتراسوند برای افزایش تجمع PHB به شکل مؤثری استفاده کند.

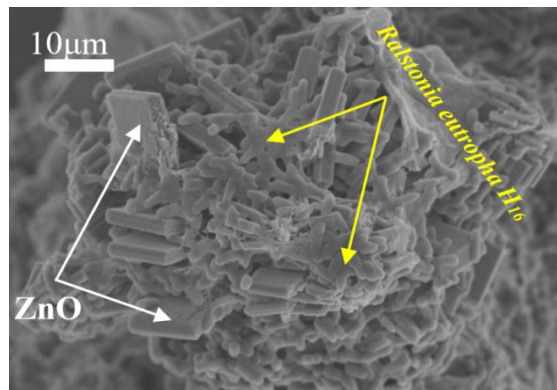


شکل ۸. تأثیر اولتراسوند بر تولید PHB با ZnO بر سیستم هایپرید پیزوالکتریکی به مدت ۹۶ ساعت.

۸.۳. اسکن مایکروسکوپ الکترونی PHB تولید شده توسط رالستونیا/یتروفا و ZnO

تحت الکترا سوند

در شکل ۹، اسکن مایکروسکوپ الکترونی (SEM) مربوط به پولی هایدروکسی بوتیرت (PHB) تولید شده توسط رالستونیا/یتروفا H_{16} در حضور نانوذرات (ZnO) تحت تأثیر اولتراسوند مشاهده می‌شود. در این تصویر، ZnO به صورت ذرات نامنظم در محیط پراکنده شده و تجمع بالای باکتری‌ها بر روی این ذرات قابل مشاهده است. همچنین، نانوذرات ZnO بر سطح باکتری‌ها توزیع شده‌اند و تماس مستقیم بین این ذرات و سطح باکتری‌ها برقرار است. تحلیل این تصویر نشان می‌دهد که در مقایسه با شرایط کشت بدون ZnO، باکتری‌ها در حضور این ماده همچنان رشد طبیعی خود را حفظ کرده و هیچ‌گونه یا تغییر ساختاری نامطلوب در سلول‌های آن‌ها مشاهده نمی‌شود. این پدیده بیانگر سازگاری زیستی بالای نانوذرات ZnO با رالستونیا/یتروفا است. این نتایج نشان می‌دهند که ZnO حتی در مقادیر نانویی و تحت شرایط اولتراسوند، نه تنها تأثیر منفی بر رشد و تکثیر باکتری‌ها ندارد، بلکه ممکن است باعث تقویت محیط کشت و کمک به تجمع بیشتر باکتری‌ها در نقاط تماس با این ذرات شود.

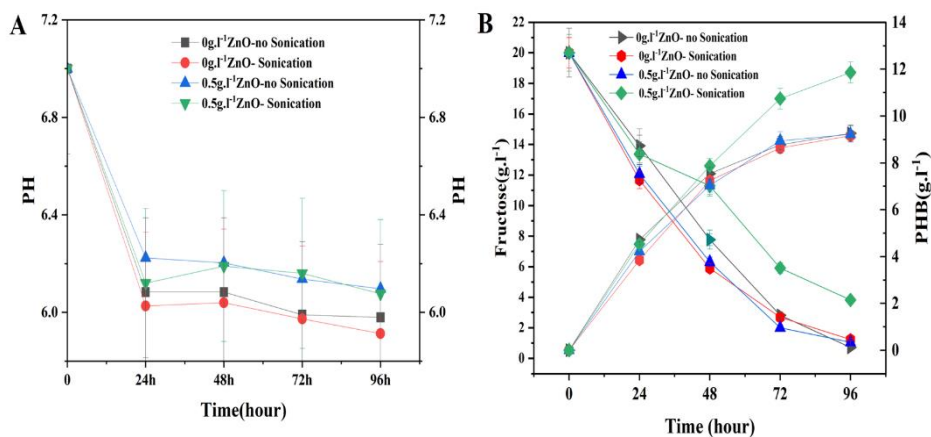


شکل ۹. تصویر میکروسکوپ الکترونی PHB از کشت هیتروتروفیک ZnO با *رالستونیا ایتروفا*

۹.۳. تغییرات در مقدار PH و غلظت فرکتوز در طول رشد *رالستونیا ایتروفا*

شکل A۱۰- نشان می‌دهد که مقدار اولیه PH با استفاده از محلول سودیم فاسفیت به ۷.۰ تنظیم شد. طی دوره ۹۶ ساعته رشد، PH به تدریج از ۷.۰ به محدوده ۶.۰۲ تا ۶.۲۳ کاهش یافت. کاهش سریع PH در ۲۴ ساعت ابتدایی پس از شروع کشت مشاهده شد. در این مرحله، به دلیل قرار گرفتن باکتری‌ها در فاز تکثیر سریع، تجمع PHB هنوز به‌طور چشمگیری افزایش نیافته است؛ زیرا که باکتری‌ها هنوز PHB را در سلول‌های خود ذخیره نکرده‌اند.

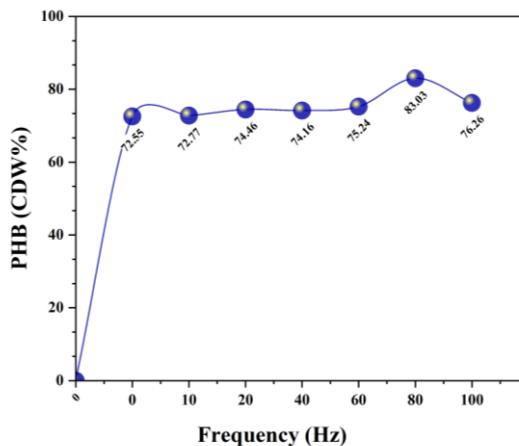
شکل B۱۰- تغییرات غلظت فرکتوز را در طول کشت هیتروتروفیک نشان می‌دهد. در آغاز، غلظت ۲۰ گرم بر یک لیتر فرکتوز برای رشد باکتری‌ها استفاده شد. پس از ۹۶ ساعت، گروپ کنترل بیشترین مصرف فرکتوز را نشان داد، در حالی که گروپ تحت تأثیر ZnO و اولتراسوند کمترین مصرف را داشت. این یافته نشان می‌دهد که سیستم پیزوالکتریک ایجاد شده در شرایط مصرف کمتر فرکتوز می‌تواند غلظت بیشتری از PHB تولید کند، که بیانگر بهره‌وری بیشتر سیستم در این شرایط است.



شکل ۱۰. (A) منحنی تغییر مقدار PH با زمان در طول رشد هیترتروفیک ZnO و *رالستونیا ایتروفا* به مدت ۹۶ ساعت، (B) منحنی تغییر غلظت فرکتوز به مدت ۹۶ ساعت.

۱۰.۳. محاسبه محتوای سلولی PHB

محتوای سلولی پولی هایدروکسی بوتیرت (PHB) با مقایسه تولید PHB و وزن خشک سلولی (CDW) تعیین شد. طبق نتایج ارائه شده در شکل ۱۱، افزایش فرکانس اولتراسوند در سیستم، ابتدا باعث افزایش محتوای PHB در سلول‌ها شد؛ اما پس از رسیدن به فرکانس‌های بالاتر، این مقدار کاهش یافت. بیشترین محتوای PHB در سلول‌ها در فرکانس ۸۰ هرتز اولتراسوند با مقدار ۸۳.۰۳٪ مشاهده شد. با این حال، با افزایش فرکانس به ۱۰۰ هرتز و در حضور غلظت معینی از ZnO، محتوای PHB در سلول‌ها به ۷.۷۹٪ کاهش یافت. بررسی نسبت PHB به وزن خشک سلولی (CDW) نیز نشان داد که در فرکانس ۱۰ هرتز، با وجود کمی افزایش در تجمع PHB نسبت به گروه کنترل بدون افزودنی، محتوای PHB در CDW به ۷۲.۷۷٪ رسید. این نتایج نشان می‌دهند که فرکانس مناسب اولتراسوند و غلظت مناسب ZnO تأثیر قابل توجهی در بهبود تولید PHB دارند، اما فرکانس‌های بالاتر ممکن است به دلیل فشار مکانیکی بیشتر و تأثیرات منفی بر سلول‌ها، منجر به کاهش تجمع PHB شوند.



شکل ۱۱. نسبت محتوای سلولی PHB به وزن خشک سلولی (%CDW) پس از رشد هیتروتروفیک ZnO و *الستونیا/یتروفا* در فرکانس‌های مختلف اولتراسوند به مدت ۹۶ ساعت.

۴. مناقشه (Discussion)

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که استفاده از نانوذرات پیزوالکتریک ZnO همراه با تحریک اولتراسوند توانسته است تولید PHB توسط را تا 11.85 g/L افزایش دهد که نسبت به گروپ کنترولی حدود ۱۴۰٪ بالاتر بود. این یافته‌ها در مقایسه با تحقیقات پیشین که در آن‌ها از روش‌های مختلف استخراج و تولید استفاده شده است، جایگاه بالایی دارد. برای مثال، استفاده از محلول‌های عضوی مانند سیکلو هگزانون در استخراج PHB از *C. necator* به ظرفیت تولیدی ۸۲.۳٪ و درجه خلوص ۹۵٪ منجر شد (Jiang et al., 2018)، در حالی که روش‌های دیگر مانند سیستم‌های بیولوژیک با ظرفیت تولیدی بسیار پایین‌تر کمتر از 1g/L داشتند (Martínez et al., 2016).

روش‌های میخانیکی مانند سونیکیشن نیز توانستند ظرفیت تولیدی بالای ۹۶٪ ارائه دهند (Arikawa et al., 2017)، اما مصرف انرژی زیاد و تخریب احتمالی پولیمیر از محدودیت‌های آن محسوب می‌شود. همچنین استفاده از منابع کاربونی ارزان مانند پساب صنایع غذایی و لبنی در تولید PHB توسط *Azohydromonas lata* یا *Chlorella* ظرفیت تولیدی ۷۹-۳۰٪ داشته است (Sathya et al., 2018). با این حال، این روش‌ها معمولاً با مشکل خلوص پایین یا نیاز به پروسه‌های پیچیده تصفیه مواجه‌اند.

مزیت عمده سیستم هیبریدی زیستی-پیزوالکتریک معرفی شده در این تحقیق، استفاده همزمان از خاصیت پیزوالکتریکی ZnO برای تسهیل انتقال الکترون و تحریک اولتراسوند برای بهبود متابولیسم میکروبی است. این امر نه تنها موجب افزایش ظرفیت تولیدی شد، بلکه با اصول کیمیای سبز و کاهش انتشار CO₂ نیز شد. در مقایسه با روش های مبتنی بر محلول های کیمیای که تاثیرات جدی محیط زیستی دارند (Ansari and Fatma, 2016) میتود حاضر پایدارتر و سازگارتر با محیط زیست است.

با وجود این، تحقیق حاضر محدود به مقیاس لابراتواری بود و برای بهره برداری صنعتی، نیاز به بررسی عملکرد سیستم پیزوکتلستی در بيو ریاكتور های بزرگ مقیاس و شرایط واقعی تولید وجود دارد. همچنین، مطالعه دقیق تر مکانیزم انتقال الکترون میان نانوذرات و میکروارگانیسم ها و شناسایی بهترین ترکیبات دهنده الکترون می تواند به بهتر سازی این سیستم کمک کند.

به طور کلی، یافته های این تحقیق نشان می دهد که تکنالوژی های نوین نانو و پیزوکتلستی می توانند چشم اندازی جدید برای تولید صنعتی و پایدار پلی هایدروکسی بوتیرت فراهم آورند و بر محدودیت های روش های سنتی غلبه کنند.

۵. نتیجه گیری (Conclusion)

در این تحقیق، نانوذرات پیزوالکتریک ZnO با استفاده از روش هایدروترمال سنتز و با استفاده از خواص پیزوکتلستی آن به منظور افزایش تولید PHB در سیستم کشت هیترتروفیک با *رالستونیا/ایتروفا* H₁₆ آزمایش شد. نتایج نشان داد که نانوذرات ZnO با غلظت ۰.۵ گرم بر یک لیتر در شرایط کشت ۹۶ ساعته، تولید پولی هایدروکسی بوتیرت (PHB) را به طور قابل ملاحظه ای افزایش داد. در غلظت ۰.۵ گرم بر لیتر، تولید PHB با فرکانس ۸۰ هرتز اولتراسوند به ۱۱.۸۵ گرم بر یک لیتر که ۱.۴ برابر بیشتر از گروپ کنترولی بود. این یافته ها نشان می دهند که پایداری، زیست سازگاری و کارایی مواد پیزوالکتریک به بهبود انتقال الکترون در سیستم هایبریدی زیستی پیزوالکتریک کمک کرده و ظرفیت تولید محصولات متابولیکی را افزایش می دهد. پولی هایدروکسی بوتیرت (PHB) تولید شده در این آزمایش به عنوان یک ماده پولیمیری مناسب برای محیط زیست، دارای پتانسیل بالایی برای کاربردهای صنعتی و محیط زیستی است. این سیستم پیزوکتلیستی با افزایش جذب کاربن دای اکساید توسط *رالستونیا ایتروفا* H₁₆ مطابق با اصول کیمیای سبز و تولید پایدار، می تواند به عنوان راهکاری جدید برای کاهش اثرات گلخانه ای، ارزان و اقتصادی و کمک به حفظ محیط زیست مطرح شود. این

آزمایش تنها اثر سیستم هایبریدی زیستی پیزوکتلیستی را در شرایط لابراتواری بررسی کرده است. به منظور بهره‌برداری صنعتی، بررسی تأثیر این سیستم در مقیاس تولیدات صنعتی و مناسب‌سازی شرایط کشت ضروری است. علاوه بر این، مطالعه روی بهتر سازی مکانیزم دقیق انتقال الکترون به مایکرو ارگانیزم ها و بررسی ترکیبات مناسب برای عامل‌های دهنده الکترون در سیستم پیزوکتلیستی، پیشنهاد می‌شود تا کارایی و پایداری این سیستم زیستی بهبود یابد.

منابع و مآخذ

- Aydemir, D., & Gardner, D. J. (2020). Biopolymer blends of polyhydroxybutyrate and polylactic acid reinforced with cellulose nanofibrils. *Carbohydrate Polymers*, 250, 116867. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116871>
- Chakravarty, J., & Brigham, C. J. (2018). Solvent production by engineered *Ralstonia eutropha*: Channeling carbon to biofuel. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102(12), 5021–5031. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9026-1>
- Choi, J., & Lee, S. Y. (1997). Process analysis and economic evaluation for Poly(3-hydroxybutyrate) production by fermentation. *Bioprocess Engineering*, 17(6), 335. <https://doi.org/10.1007/s004490050394>
- Ganesh Saratale, R., Cho, S.-K., Dattatraya Saratale, G., Kadam, A. A., Ghodake, G. S., Kumar, M., Naresh Bharagava, R., Kumar, G., Su Kim, D., Mulla, S. I., & Seung Shin, H. (2021). A comprehensive overview and recent advances on polyhydroxyalkanoates (PHA) production using various organic waste streams. *Bioresource Technology*, 325, 124685. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124685>
- McAdam, B., Brennan Fournet, M., McDonald, P., & Mojicevic, M. (2020). Production of Polyhydroxybutyrate (PHB) and Factors Impacting Its Chemical and Mechanical Characteristics. *Polymers*, 12(12), 2908. <https://doi.org/10.3390/polym12122908>
- Mohanani, N., Montazer, Z., Sharma, P. K., & Levin, D. B. (2020). Microbial and Enzymatic Degradation of Synthetic Plastics. *Frontiers in Microbiology*, 11, 580709. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.580709>
- Nie, Q., Xie, Y., Ma, J., Wang, J., & Zhang, G. (2020). High piezo-catalytic activity of ZnO/Al₂O₃ nanosheets utilizing ultrasonic energy for wastewater treatment. *Journal of Cleaner Production*, 242, 118532.
- Ning, X., Hao, A., Cao, Y., Hu, J., Xie, J., & Jia, D. (2020). Effective promoting piezocatalytic property of zinc oxide for degradation of organic pollutants and insight into piezocatalytic mechanism. *Journal of Colloid and Interface Science*, 577, 290–299. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2020.05.082>
- Ning, X., Hao, A., Chen, R., Khan, M. F., & Jia, D. (2024). Constructing of GQDs/ZnO S-scheme heterojunction as efficient piezocatalyst for environmental remediation and understanding the charge transfer mechanism. *Carbon*, 218, 118772. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2023.118772>
- Rhodes, C. J. (2018). Plastic pollution and potential solutions. *Science Progress*, 101(3), 207–260. <https://doi.org/10.3184/003685018X15294876706211>
- Sharumathi, S., Pirithiusha, P., Kumar, D. S., SubbiahRammohan, C., Sivakami, A., Suguna, K., Reddy, V. R. M., Kim, W. K., & Khan, A. (2023). Copper oxide-anchored ZnO nanoflakes for the enhanced Photocatalytic degradation performance and mechanistic investigations. *Physica B: Condensed Matter*, 670, 415336.

- Wang, B., Sharma-Shivappa, R. R., Olson, J. W., & Khan, S. A. (2013). Production of polyhydroxybutyrate (PHB) by *Alcaligenes latus* using sugarbeet juice. *Industrial Crops and Products*, 43, 802–811. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.08.011>
- Ansari, S., & Fatma, T. (2016). Cyanobacterial polyhydroxybutyrate (PHB) production under nutrient deficiency and its recovery by novel extraction methods in *Nostoc muscorum* NCCU-442. *Journal of Applied Phycology*, 28(4), 2045–2053.
- Arikawa, H., Sato, S., Fujiwara, Y., & Takahashi, M. (2017). Efficient recovery of polyhydroxyalkanoates using sonication. *Biotechnology Progress*, 33(5), 1204–1212.
- Fei, Q., Chang, H. N., Shang, L., Choi, J., & Kim, N. (2016). The effect of solvent systems on polyhydroxybutyrate recovery from *Cupriavidus necator*. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 39(5), 785–794.
- Hand, S., Slater, S. C., & Dennis, D. (2016). Phage-mediated lysis for the recovery of intracellular biopolymers. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 100(14), 6119–6128.
- Jiang, X., Meng, D., Zhou, Y., & Chen, G. Q. (2018). A comparative study of solvent-based PHB recovery methods from *Cupriavidus necator*. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 93(4), 1047–1054.
- Kapritchkoff, F. M., De Almeida, A., & Pavan, F. A. (2006). Enzymatic recovery of polyhydroxybutyrate using bromelain. *Process Biochemistry*, 41(12), 2394–2401.
- Martínez, V., Herencias, C., Jurkevitch, E., & Prieto, M. A. (2016). Engineering a predatory bacterium as a novel tool for polyhydroxyalkanoate recovery. *Scientific Reports*, 6, 24317.
- Monshupanee, T., & Incharoensakdi, A. (2014). Recovery of polyhydroxyalkanoates from cyanobacteria using various solvent extraction methods. *Bioresource Technology*, 164, 239–245.
- Sathya, M., Usharani, G., & Prabu, D. (2018). Polyhydroxybutyrate production by *Chlorella pyrenoidosa* in cheese whey wastewater. *International Journal of Biological Macromolecules*, 118, 116–124.
- Sharifzadeh, S., Mazraeh, S. M., & Rashedi, H. (2010). PHB and PHV production by *Azohydromonas lata* DSMZ 1123 in dairy wastewater. *African Journal of Biotechnology*, 9(28), 4417–4422.