

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



پوهنتون دایکندی

معاونت علمی و امور محصلان

آمریت تحقیق و مجله علمی

صاحب امتیاز: پوهنتون دایکندی

مدیر مسئول: پوهنمل یاسین کوش

شماره تماس: +93 776987033

ایمیل آدرس: yasin.kawsar@dhei.edu.af

سرمدیر: پوهنمل محمد صادق میرزایی

شماره تماس: +93 771702835

ایمیل آدرس: m.sadiqmerzai6@gmail.com

آمر تحقیق و مجله علمی: پوهنیار اسدالله احسانی

شماره تماس: +93 71 1814026

ایمیل آدرس: daikundi.srj@dhei.edu.af

صفحه آرا: کربلای اخلاقی

شماره تماس: ۰۰۹۳۷۷۷۲۱۰۰۷۹

ایمیل آدرس: akhlaqi@dhei.edu.af

اعضای هیئت تحریر

پوهندوی ابراهیم توانا	پوهنځی علوم طبیعی پوهنتون بامیان
پوهندوی محمد حیدر موسوی	پوهنځی علوم طبیعی پوهنتون بامیان
پوهنمل محمد صادق میرزایی	پوهنځی زراعت پوهنتون دایکندی
پوهنمل یاسین کوثر	پوهنځی زراعت پوهنتون دایکندی
پوهنمل سید محمد رامش	پوهنځی تعلیم و تربیه پوهنتون دایکندی
پوهنمل محمد علی زیرک	پوهنځی تعلیم و تربیه پوهنتون دایکندی
پوهنمل نصرالله نصرت	پوهنځی زراعت پوهنتون دایکندی
پوهنوال بنیاد علی معین	پوهنځی تعلیم و تربیه پوهنتون بامیان

فهرست مقالات در این شماره

- تأثیر مواد مخدر بر عملکرد سیستم معافیتی و افزایش حساسیت به امراض عفونی (مقاله علمی- مروری) ۱
- نقش محور هایپوتالاموس - هایپوفیز - آدرینال در بروز اختلالات روانی و اعتیاد (مقاله علمی- مروری) ۱۹
- بررسی محلل های سبز و کاربرد آن در استخراج نباتات دارویی ۳۰
- بررسی انواع گراف های تتریشن (مقاله علمی- مروری) ۴۶
- بررسی تولید چسب از صمغ درخت زردآلو ۶۵
- زراعت سازگار با تغییر اقلیم و راهکارهای سازگاری با تغییر اقلیم (مقاله علمی- مروری) ۸۲
- بررسی تحلیل تغییر اقلیم در افغانستان (مقاله علمی- مروری) ۱۰۲
- روش های مدیریت پایدار زمین و راهکارهای جلوگیری از بیابانزایی (مقاله علمی- مروری) ۱۲۵
- حل عددی معادله دو بعدی لاپلاس با استفاده از روش عناصر متناهی (Finite Element Method) ۱۳۹
- بررسی مفاهیم کلیدی، چالش ها، عوامل تهدید و راهکارهای مؤثر برای افزایش مسئولیت غذایی در جوامع مختلف با رویکرد علمی و کاربردی ۱۵۷
- گسسته سازی و بررسی پایداری مدل ریاضی تاثیر رسانه بر کنترل بیماری سرایت کننده سارس ۱۷۸

بسم الله الرحمن الرحيم

سرمقاله

الحمد لله الذي أنزل القرآن في ليلة القدر من شهر رمضان هدى للناس وبينات من الهدى والفرقان، ليُخرج الناس من الظلمات إلى النور بإذنه، والصلاة والسلام على رسوله الذي كان صدره مهبط الوحي، ويُبث إلى كافة الناس، بل هو رحمة للعالمين، وعلى آله وأهل بيته وأصحابه الذين هم أشدأ على الكفار رحماً بينهم، وعلى من تبعهم بإحسان إلى يوم الدين.

مجله علمی - تحقیقی دایکندی به عنوان یکی از نشریه های علمی معتبر داخلی در حوزه علوم طبیعی همواره در تلاش آن است تا با نشر مقالات علمی - تحقیقی و تحلیلی، زمینه برای تفکر مجدد، تبادل دانش و گفتمان علمی را در عرصه های متنوع علوم طبیعی، رشته های زراعت و ریاضیات فراهم ساخته تا از این رهگذر بتواند به تبیین چالش های موجود، پیچیدگی ها و راه حل های موثر در بخش علوم طبیعی بپردازد.

اعضای کادر علمی پوهنتون دایکندی خصوصاً استادان بخش علوم طبیعی این نهاد همواره سعی نموده اند تا با تولید دانش مبتنی بر شواهد و انجام تحقیقات علمی و کاربردی، پاسخ های مؤثر برای نیازها و چالش های موجود علمی در ساحه علوم طبیعی ارائه نمایند. تحقیقات علمی نه تنها عامل پیشرفت علمی به شمار رفته، بلکه ضامن ترقی و انکشاف آن نیز می باشند. تحقیق یکی از مهمترین ابزارها برای ارتقای کیفیت آموزش، رونق اقتصاد و توسعه زراعت پایدار می باشد؛ که در نتیجه آن راه حل منطقی و عملی برای بیرون رفت از چالش های موجود در جامعه ارائه می گردد. مقالات علمی استادان و تحقیقات محققین از جمله ارکان اصلی توسعه و تولید دانش علمی در مجله علمی - تحقیقی دایکندی محسوب شده، بستری مناسب برای انعکاس یافته های جدید علمی، ارتقای ظرفیت های تحقیقی و ایجاد تعامل میان دانش نظری و عملی در عرصه علوم طبیعی می باشند.

در کمال احترام و امتنان قدر دانی ویژه ای از مقام محترم وزرات تحصیلات عالی کشور که همواره حامی و مشوق برنامه های تحقیقاتی بوده، رئیس صاحب محترم پوهنتون دایکندی و معاونین معزز آن را داریم، همچنان از تمامی دست اندر کاران مجله علمی - تحقیقی دایکندی؛ سردبیر، مدیر مسئول، هیئت تحریر، مرورگران علمی، ویراستاران ادبی و دیزاینر که با تلاش های پیگیر و صادقانه ایشان تا حال توانسته ایم چهار شماره مجله علمی - تحقیقی خویش را موفقانه به دست چاپ بسپاریم، ابراز تشکر و قدردانی را دارم.

بی شک شما در مراحل مختلف چاپ این مجله علمی وقت گرانبها و دانش مفید خویش را خالصانه صرف نموده اید و با استمرار تلاش ها و همکاری بیشتر استادان گرامی، شاهد ترقی و گسترش بیشتر تولیدات علمی و توسعه تحقیقات در آینده خواهیم بود.

ومن الله التوفیق

پوهنیار اسدالله احسانی

آمر تحقیق و مجله علمی پوهنتون دایکندی

تأثیر مواد مخدر بر عمل کرد سیستم معافیتی و افزایش حساسیت به امراض عفونی (مقاله علمی-مروری)

نویسنده: محمد حمید محمدی^۱، سید محمد هاشمی^۲، نبی الله غورخنگ^۳

۱، ۲ اعضای کادر علمی دیپارتمنت بیولوژی، پوهنخی تعلیم و تربیه، پوهنتون دایکندی

۳ عضو کادر علمی دیپارتمنت بیولوژی، پوهنخی تعلیم و تربیه، پوهنتون ننگرهار

شماره تماس: ۰۷۷۱۰۳۰۲۰۹ ایمیل: hamid.mohammadi1030@gmail.com

چکیده

مصرف مواد مخدر یکی از چالش‌های عمده صحتی و اجتماعی است که با تضعیف سیستم معافیتی، خطر ابتلا به عفونت‌ها را افزایش می‌دهد. هدف این مرور روایتی، بررسی اثرات مواد مخدر بر عملکرد سیستم معافیتی و حساسیت به عفونت‌ها، همراه با سازوکارهای بیولوژیکی و مداخلات مؤثر است. حدود ۴۵ مطالعه منتشر شده در دیتابیس‌های Web، Scopus، PubMed، Nature، و ScienceDirect مورد بررسی قرار گرفتند. یافته‌ها نشان می‌دهند که مواد افیونی، محرک‌ها، کانابینوئیدها، نیکوتین و الکل از طریق سرکوب فعالیت حجرات معافیتی، اختلال در تعادل سایتوکاین‌ها، افزایش استرس اکسیداتیو و تغییر میکروبیوم، توانایی بدن در مقابله با عوامل بیماری‌زا را کاهش می‌دهند. در نتیجه، مصرف‌کنندگان مزمن، مخصوصاً مصرف‌کنندگان تزریقی، در معرض خطر بالاتر ابتلا به HIV، هیپاتیت B و C، سل و عفونت‌های فرصت‌طلب هستند و پاسخ معافیتی آن‌ها به واکسن‌ها و درمان‌ها تضعیف می‌شود. شواهد نشان می‌دهد که مداخلات هدفمند شامل ترک یا کاهش مصرف مواد، مداوای جایگزین مواد افیونی، اصلاح سبک زندگی، تغذیه غنی از ویتامین‌ها و ریزمغذی‌ها، ورزش منظم و مدیریت استرس می‌توانند عملکرد سیستم معافیتی را بهبود دهند و حساسیت به عفونت‌ها را کاهش دهند. در نتیجه؛ مصرف مزمن مواد مخدر عامل مهم تضعیف ایمنی است و ترکیب مداخلات بیولوژیکی، تداوی و آموزشی در برنامه‌های پیشگیری و تداوی اعتیاد می‌تواند پیامدهای صحتی مرتبط با عفونت‌ها را کاهش دهد. تحقیقات آینده باید بر سازوکارهای جنتیکی، اپی‌جنتیکی و اثرات طولانی‌مدت مصرف مواد بر معافیت تمرکز کنند تا راهکارهای پیشگیرانه و مداوای مؤثرتری طراحی شود.

کلمات کلیدی: مواد مخدر؛ سیستم معافیتی؛ امراض عفونی؛ سرکوب معافیتی؛ سازوکارهای بیولوژیکی

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

۱. مقدمه

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على أشرف الأنبياء والمرسلين.

مصرف مواد مخدر یکی از چالش‌های عمده در عرصه صحتی و اجتماعی در جهان معاصر به شمار می‌رود که نه تنها پیامدهای روانی و اجتماعی گسترده‌ای دارد، بلکه آثار زیان‌بار فیزیولوژیکی قابل توجهی نیز بر بدن انسان بر جای می‌گذارد. در دهه‌های اخیر، تحقیقات متعددی نشان داده‌اند که مواد مخدر می‌توانند عملکرد طبیعی سیستم معافیتی را مختل کرده و تعادل ایمنی بدن را بر هم زنند. این تأثیرات اغلب به صورت کاهش پاسخ معافیتی، اختلال در فعالیت حجرات ایمنی و کاهش توانایی بدن در مقابله با عوامل بیماری‌زا بروز می‌کند.

تغییر در عملکرد سیستم معافیتی در اثر مصرف مواد مخدر، یکی از عوامل کلیدی در افزایش آسیب‌پذیری افراد در برابر امراض عفونی است. مخصوصاً در میان مصرف‌کنندگان مزمن موادی چون تریاک، هروئین، کوکائین و مت‌آمفتامین، شیوع بالاتری از عفونت‌های ویروسی و باکتریایی از جمله HIV، هپاتیت B و C، و سل گزارش شده است. این وضعیت نه تنها سلامت فردی، بلکه سلامت عمومی جامعه را نیز تهدید می‌کنند.

در این مقاله مروری، با بررسی شواهد علمی موجود، به تحلیل سازوکارهای ایمنونولوژی تحت تأثیر مواد مخدر پرداخته می‌شود. هدف، تبیین ارتباط میان مصرف مواد و تضعیف سیستم معافیتی، و در نتیجه افزایش حساسیت به عفونت‌ها است. نتایج این بررسی می‌تواند در طراحی راهکارهای پیشگیرانه و تدای برای کاهش پیامدهای بیولوژیکی و کلینیکی اعتیاد مؤثر واقع شود.

۲. بیان مسئله

با وجود مطالعات گسترده در زمینه اعتیاد و آثار فیزیولوژیکی مواد مخدر، هنوز درک جامعی از چگونگی تأثیر این مواد بر عملکرد سیستم معافیتی و افزایش آسیب‌پذیری نسبت به امراض عفونی وجود ندارد. نتایج تحقیقات موجود گاه متناقض‌اند؛ برخی مطالعات از تضعیف پاسخ‌های معافیتی و تغییر در فعالیت حجرات ایمنی گزارش می‌دهند، در حالی که برخی دیگر اثرات موقتی یا وابسته به نوع مواد و دوز مصرفی را مطرح کرده‌اند. نبود ارزیابی‌های دقیق از شاخص‌های معافیتی، تنوع در روش‌های تحقیق و کمبود دیتاهای مقایسه‌ای، امکان نتیجه‌گیری قطعی و کاربردی را محدود ساخته است.

از سوی دیگر، شواهد فزاینده‌ای حاکی از افزایش بروز امراض عفونی نظیر HIV، هپاتیت‌های ویروسی و سل در میان مصرف‌کنندگان مواد مخدر وجود دارد، اما هنوز سازوکارهای ایمنونولوژیک

دقیق این ارتباط به طور کامل شناخته نشده است. علاوه بر این، اثرات متقابل بین نوع ماده مخدر، روش مصرف و وضعیت تغذیه یا معافیت میزبان، پیچیدگی تحلیل دیتاها را افزایش داده است. چنین نارسایی‌هایی موجب می‌شود که سیاست‌گذاران و متخصصان صحت بتوانند بر مبنای شواهد منسجم، راهکارهای پیشگیرانه و تداوی مؤثری ارائه دهند.

در این شرایط، انجام یک مرور تحلیلی و نظام‌مند برای تبیین سازوکارهای اثر مواد مخدر بر سیستم معافیتی و تفسیر انتقادی دیتاهای موجود ضرورتی انکارناپذیر است. چنین مروری می‌تواند خلأهای علمی را شناسایی کرده، مبنایی برای تحقیقات آینده فراهم آورد و به تدوین سیاست‌های مبتنی بر شواهد در حوزه صحت‌عامه یاری رساند.

۳. اهداف تحقیق

- ۱) بررسی اثرات مواد مخدر بر عملکرد سیستم معافیتی بدن و افزایش حساسیت به عفونت‌ها.
- ۲) تحلیل سازوکارهای بیولوژیکی و مالیکولی دخیل در تضعیف سیستم معافیتی ناشی از مصرف مواد مخدر.
- ۳) شناسایی و ارزیابی مداخلات مؤثر برای بهبود عملکرد سیستم معافیتی و کاهش عفونت‌ها در مصرف‌کنندگان مواد.

۴. فرضیه تحقیق

مصرف مزمن مواد مخدر باعث تضعیف عملکرد سیستم معافیتی بدن و افزایش حساسیت به عفونت‌ها می‌شود و مداخلات هدفمند شامل ترک مصرف، روش‌های مداوای جایگزین، اصلاح سبک زندگی و تغذیه مناسب می‌توانند این اثرات را کاهش دهند.

۵. روش تحقیق

این مطالعه به صورت یک تحقیق مروری-روایی (Narrative Review) انجام شده است. در مرحله نخست، جست‌وجوی نظام‌مند منابع علمی با استفاده از کلمات کلیدی مرتبط شامل مواد مخدر (Substance abuse/Drugs)، سیستم معافیتی (Immune system)، مراض عفونی (Infectious diseases) و سازوکارهای بیولوژیکی سیستم معافیتی (Biological mechanisms of immunity) انجام گردید. جست‌وجو در دیتابیس‌های معتبر و بین‌المللی علمی از جمله PubMed، Scopus، Web of Science، Nature و ScienceDirect صورت گرفت. در مجموع، حدود ۱۰۰ مقاله علمی که با موضوع تحقیق ارتباط اولیه داشتند شناسایی شدند. سپس مقالات به صورت دقیق مورد غربال‌گری (Screening) قرار گرفتند که این مرحله شامل بررسی عنوان، چکیده و در صورت نیاز متن کامل مقالات بود. معیارهای انتخاب

شامل ارتباط مستقیم با تأثیر مصرف مواد مخدر بر عملکرد سیستم معافیتی، افزایش حساسیت به امراض عفونی و توضیح سازوکارهای بیولوژیکی مرتبط بود. در نهایت، ۴۳ مقاله که بیشترین ارتباط علمی و محتوایی با اهداف تحقیق داشتند انتخاب شده و به صورت کیفی مورد مرور روایی و تحلیل محتوایی قرار گرفتند. یافته‌های این مقالات برای تبیین اثرات مواد مخدر بر سیستم معافیتی، پیامدهای عفونی و مداخلات مؤثر مورد استفاده قرار گرفت.

۶. پیشینه تحقیق

مصرف مواد مخدر یکی از عوامل مهم اختلال در عملکرد سیستم معافیتی بدن است که می‌تواند حساسیت افراد را نسبت به امراض عفونی افزایش دهد. تحقیقات متعدد نشان داده‌اند که مواد مخدر، چه از نوع افیونی و چه محرک‌ها، از طریق مسیرهای حجروی و مالیکولی متفاوتی بر عملکرد ایمنی ذاتی و اکتسابی تأثیر می‌گذارند (Liang, 2016; Tharmalingam et al., 2024). این مواد با تغییر در تولید سایتوکاین‌ها، مهار فعالیت حجرات کشنده طبیعی^۱ و کاهش توانایی حجرات فگوسایت‌کننده در از بین بردن عوامل مریضی‌زا (پاتوجن‌ها)، موجب تضعیف پاسخ معافیتی می‌شوند (Maggirwar et al., 2021). در نتیجه، در میان مصرف‌کنندگان مزمن مواد مخدر، شیوع بالاتری از عفونت‌های باکتریایی، قارچی و ویروسی مانند HIV، هپاتیت B و C و عفونت‌های تنفسی گزارش شده است (Salamanca et al., 2015).

در بررسی دقیق‌تر، مواد افیونی مانند مورفین و هروئین از طریق اتصال به آخذه‌های میکرونی-افیونی موجود بر سطح حجرات معافیتی، عملکرد لمفوسایت‌ها و تولید انٹی‌بادی را مهار کرده به کم شدن پاسخ معافیتی منجر می‌شوند (Liang, 2016). متامفتامین با القای استرس اکسیداتیو، آسیب به DNA و تضعیف عملکرد مکروفاژها، زمینه را برای افزایش بار ویروسی در عفونت‌هایی مانند HIV و HSV فراهم می‌سازد (Macur et al., 2021). کوکائین نیز با تغییر در مسیرهای انتقال پیام در حجرات معافیتی و افزایش سطوح سایتوکاین‌های پیش‌التهابی، موجب بی‌نظمی در عملکرد سیستم معافیتی و کاهش مقاومت در برابر پاتوجین‌ها می‌گردد (Ersche, 2014; Pellegrino, 1998). در برخی مطالعات مشاهده شده است که مصرف همزمان چند نوع ماده مخدر اثرات تضعیف‌کننده شدیدتری بر سیستم معافیتی دارد و منجر به بروز التهاب مزمن و افزایش خطر ابتلا به امراض فرصت طلب می‌شود (Salamanca et al., 2015).

¹ Natural Killer Cells

از سوی دیگر، مصرف طولانی مدت الکل، کانابیس و نیکوتین نیز با اثرات منفی قابل توجهی بر سیستم معافیتی همراه است. الکل از طریق تخریب سدهای مخاطی و مهار فعالیت نیوتروفیل ها و ماکروفاژها، موجب افزایش خطر ابتلا به امراضی مانند ذات الریه، سل و سپسیس می شود (Tharmalingam et al., 2024). ترکیبات فعال موجود در کانابیس مانند THC و CBD نیز با تأثیر بر گیرنده های کانابینوئیدی در حجرات معافیتی، الگوی ترشح سایتوکاین ها را تغییر داده و پاسخ های معافیتی تطبیقی را سرکوب می کنند (Maggirwar et al., 2021). همچنین نیکوتین با اثرگذاری بر گیرنده های نیکوتینی استایل کولین، فعالیت لنفوسیت های T را کاهش داده و پاسخ معافیتی بدن را نسبت به عوامل بیماری زا تضعیف می سازد (Froushani et al., 2022). در مجموع، نتایج این تحقیقات نشان می دهند که اغلب مواد مخدر از طریق مسیرهای مختلف مالیکولی موجب کاهش کارایی سیستم معافیتی و افزایش حساسیت به عفونت ها می شوند.

مطالعات ذیل نیز یافته های مشابهی را گزارش کرده اند. به عنوان نمونه، میراحمدی زاده (۱۳۸۰) و رضایی پور (۱۳۸۲) در تحقیقات انجام شده بر جمعیت های معتاد، کاهش شاخص های معافیت هومورال و حجروی و شیوع بالاتر عفونت های ویروسی را مشاهده کردند. علاوه بر این، دیتاهای حاصل از مراکز ترک اعتیاد در کشور ایران نیز نشان داده اند که در میان مصرف کنندگان تزریقی مواد، میزان ابتلا به HIV و هپاتیت به طور معناداری بیشتر است (Elmnet, 2019). گزارش های منتشر شده در دیتابیس های مانند SID و Civilica نیز بر این موضوع تأکید دارند که تضعیف سیستم معافیتی در نتیجه مصرف مواد مخدر، نه تنها سلامت فردی بلکه سلامت عمومی جامعه را تهدید می کند (رضایی پور، ۱۳۸۲؛ میراحمدی زاده، ۱۳۸۰). در نتیجه، لزوم اجرای برنامه های کاهش آسیب، ارتقای آگاهی عمومی، و دسترسی آسان تر به خدمات صحتی اعتیاد و واکسیناسیون هدفمند بیش از پیش احساس می شود. چنین رویکردی می تواند از افزایش بار عفونت های فرصت طلب در میان مصرف کنندگان مواد مخدر پیشگیری کرده و تأثیرات منفی این مواد بر سلامت جمعی را کاهش دهد.

۷. سیستم معافیتی و نقش آن در دفاع بدن

سیستم معافیتی بدن انسان یک شبکه ی پیچیده و پویا از حجرات، انساج و مالیکول ها است که وظیفه ی آن شناسایی، مهار و از بین بردن عوامل بیماری زا مانند باکتری ها، ویروس ها، قارچ ها و پرازیت ها می باشد (Murphy & Weaver, 2016). این سیستم شامل دو بخش اصلی است:

معافیت غیراختصاصی^۱ و معافیت اختصاصی^۲، که با همکاری یکدیگر از بدن در برابر تهدیدات خارجی محافظت می‌کنند (Janeway et al., 2005). معافیت ذاتی به‌عنوان اولین سد دفاعی بدن، به‌طور سریع و غیر اختصاصی در برابر پاتوجین‌ها عکس‌العمل نشان می‌دهد، در حالی که معافیت اکتسابی پاسخ اختصاصی‌تر و با حافظه‌ی ایمنی طولانی‌مدت فراهم می‌کند (Abbas et al., 2022).

در ایمنی ذاتی، حجراتی مانند ماکروفاژها، نیوتروفیل‌ها و حجرات دندراپتیک نقش محوری دارند. ماکروفاژها به‌عنوان حجرات فاگوسایت‌کننده، عوامل بیگانه را بلعیده و نابود می‌کنند و با ترشح سایتوکاین‌ها سایر اجزای ایمنی را فعال می‌سازند (Gordon & Martinez, 2010). نیوتروفیل‌ها نیز اولین حجراتی هستند که در محل عفونت حاضر شده و با آزادسازی آنزیم‌ها و انواع فعال آکسیجن^۳، به نابودی عوامل عفونی کمک می‌کنند (Kolaczowska & Kubes, 2013). از سوی دیگر، ایمنی اکتسابی بر پایه‌ی فعالیت لمفوسایت‌های T و B است. لمفوسایت‌های T شامل دو نوع اصلی یعنی حجرات T کمکی (CD4⁺) و حجرات T سایتوتوکسیک (CD8⁺) هستند که به‌ترتیب در فعال‌سازی سایر حجرات ایمنی و تخریب حجرات آلوده نقش دارند (Zhu & Paul, 2008). لمفوسایت‌های B با تولید آنتی‌بادی‌ها علیه آنتی‌جن‌های خاص، عوامل بیماری‌زا را خنثی کرده و در ایجاد حافظه‌ی ایمنی مؤثرند (LeBien & Tedder, 2008).

حفظ تعادل میان ایمنی و التهاب برای سلامت بدن ضروری است. التهاب در واقع پاسخی طبیعی و ضروری برای حذف پاتوجن‌ها و ترمیم انساج آسیب‌دیده است، اما در صورت کنترل نشدن می‌تواند به آسیب نسجی و بیماری‌های مزمن منجر شود (Medzhitov, 2008). حجرات T تنظیمی^۴ و سایتوکاین‌های ضدالتهابی مانند IL-10 و TGF- β نقش مهمی در کنترل این تعادل دارند (Josefowicz et al., 2012). اگر سیستم معافیتی بیش‌فعال شود، احتمال بروز بیماری‌های خودایمنی مانند آرتریت روماتوئید^۵ یا لوپوس افزایش می‌یابد؛ در مقابل، تضعیف بیش از اندازه‌ی آن بدن را در برابر عفونت‌ها و سرطان‌ها آسیب‌پذیر می‌سازد (Chaplin, 2010).

¹ Innate Immunity

² Adaptive Immunity

³ Reactive Oxygen Species

⁴ Regulatory T cells

^۵ Rheumatoid Arthritis – RA: یک بیماری خودمعاپیتی مزمن است که در آن سیستم معافیتی بدن به‌اشتباه

به غشای مفاصل حمله می‌کند و باعث التهاب، درد، سختی و تخریب تدریجی مفاصل می‌شود.

سلامت سیستم معافیتی نقشی حیاتی در پیشگیری از عفونت‌ها دارد. عواملی مانند تغذیه‌ی مناسب، فعالیت بدنی منظم، خواب کافی و کاهش استرس در تقویت ایمنی مؤثرند (Calder, 2020). همچنین، ویتامین‌هایی چون C، D و E و منرال‌های مانند زینک و سیلنیوم در عملکرد حجرات معافیتی اهمیت بالایی دارند (Gombart et al., 2020). مصرف مواد مخدر، الکل و دخانیات باعث تضعیف عملکرد حجرات دفاعی و افزایش خطر ابتلا به عفونت‌های باکتریایی و ویروسی می‌شود (Peterson et al., 2017). بنابراین، حفظ عملکرد بهینه‌ی سیستم معافیتی نه تنها از بروز امراض جلوگیری می‌کند، بلکه به پایداری سلامت عمومی و افزایش طول عمر نیز کمک می‌نماید.

۸. تأثیر انواع مواد مخدر بر سیستم معافیتی

سیستم معافیتی به عنوان خط دفاعی اصلی بدن در برابر عوامل بیماری‌زا، تحت تأثیر مستقیم و غیرمستقیم مواد مخدر قرار می‌گیرد. مصرف مزمن مواد مخدر می‌تواند موجب اختلال در تنظیم پاسخ‌های ایمنی، تغییر در تولید سایتوکاین‌ها، و کاهش مقاومت در برابر عفونت‌ها شود (Peterson et al., 2017). مطالعات مختلف نشان داده‌اند که مواد افیونی، محرک‌ها، کانابینوئیدها، نیکوتین و الکل هر یک از طریق مسیرهای مالیکولی متفاوت، بر حجرات و فکتورهای معافیتی تأثیر منفی گذاشته و خطر ابتلا به بیماری‌های عفونی را افزایش می‌دهند (Sacerdote, 2006).

۱.۸. مواد افیونی

مواد افیونی^۱ مانند مورفین، هروئین و متادون از جمله پرمصرف‌ترین مواد مخدر هستند که اثرات تضعیف‌کننده‌ای بر سیستم معافیتی دارند. سازوکار اصلی اثر آنها از طریق گیرنده‌های μ -اپیوئیدی در حجرات ایمنی مانند ماکروفاژها، نیوتروفیل‌ها و لنفوسایت‌ها صورت می‌گیرد (Roy et al., 2011). مطالعات نشان داده‌اند که مورفین باعث کاهش تولید سایتوکاین‌های التهابی نظیر IL-1 β ، IL-6 و TNF- α و در عین حال افزایش ترشح سایتوکاین‌های ضدالتهابی مانند IL-10 می‌شود (Wang et al., 2005). این تغییرات موجب سرکوب پاسخ ایمنی ذاتی و کاهش توان بدن در مقابله با عفونت‌ها می‌گردد. هروئین نیز عملکرد حجرات T و B را مختل کرده و میزان آنتی‌بادی‌های اختصاصی را کاهش می‌دهد (Vallejo et al., 2004).

¹ Opioids

مصرف مزمن مواد افیونی موجب تضعیف عملکرد حجرات کشنده طبیعی و اختلال در فاگوسایتوز ماکروفاژها می‌شود، که این امر زمینه‌ساز افزایش شیوع عفونت‌هایی مانند HIV، هپاتیت B و C، و عفونت‌های باکتریایی است (Rosenblum et al., 2008). علاوه بر آن، مواد افیونی باعث تغییر در عملکرد محور هایپوتالاموس-هایپوفیز-آدرینال شده و از این طریق پاسخ معافیتی هورمونی را نیز سرکوب می‌کنند (Finley, 2011). در مجموع، شواهد نشان می‌دهد که مصرف مواد افیونی با ایجاد سرکوب ایمنی چندبعدی، حساسیت به عوامل عفونی را افزایش داده و روند بهبودی بیماری‌ها را کند می‌سازد.

۲.۸. مواد محرک

مواد محرک^۱ مانند کوکائین و مت‌آمفتامین از طریق افزایش استرس اکسیداتیو و تولید رادکال‌های آزاد، تأثیر مخربی بر سیستم معافیتی دارند (Loftis & Janowsky, 2014). مصرف کوکائین موجب افزایش سطح کورتیزول، تغییر در فعالیت حجرات T و کاهش تولید سیتوکاین‌های ضروری برای پاسخ ایمنی مانند IFN- γ می‌شود (Bagasra & Pomerantz, 1993). همچنین شواهد نشان می‌دهد که مت‌آمفتامین با افزایش پراکسیدیشن لیپیدها و کاهش فعالیت انتی‌اکسیدانت‌هایی چون گلوتاتیون، منجر به تخریب حجرات ایمنی می‌گردد (Yamamoto et al., 2010). مصرف طولانی‌مدت مت‌آمفتامین علاوه بر اثرات اکسیداتیو، موجب اختلال در سد خونی-مغزی^۲ می‌شود و ورود حجرات التهابی به سیستم عصبی مرکزی را تسهیل می‌کند (Gonçalves et al., 2017). این فرآیند می‌تواند موجب افزایش استعداد ابتلا به عفونت‌های ویروسی و باکتریایی در سیستم عصبی گردد. از سوی دیگر، کوکائین فعالیت ماکروفاژها و نیوتروفیل‌ها را کاهش داده و تولید سیتوکاین‌های ضدویروسی را مهار می‌کند که در نهایت حساسیت به HIV و سایر پاتوجن‌ها را افزایش می‌دهد (Dhillon et al., 2008).

۳.۸. کانابینوئیدها و توهم‌زاها

کانابینوئیدها، به‌ویژه تتراهیدروکانابینول^۳، از طریق گیرنده‌های CB1 و CB2 بر حجرات ایمنی تأثیر می‌گذارند. گیرنده CB2 که عمدتاً در حجرات ایمنی مانند لنفوسایت‌ها و مکرافاج‌ها بیان می‌شود، در تنظیم پاسخ‌های التهابی و معافیتی نقش دارد (Klein, 2005). مصرف مزمن THC باعث کاهش تکثیر لنفوسایت‌های T، کاهش تولید IL-2 و IFN- γ و مهار فعالیت حجرات کشنده

¹ Stimulants

² BBB (Blood-Brain Barrier)

³ THC(Delta-9-Tetrahydrocannabinol)

طبیعی می‌گردد (Cabral & Staab, 2005). همچنین، THC با القای سایتوکاین‌های ضدالتهابی مانند IL-10، موجب سرکوب پاسخ‌های ایمنی حجروی و افزایش حساسیت به عفونت‌ها می‌شود (Rieder et al., 2010).

علاوه بر این، مصرف مواد توهم‌زا^۱ مانند LSD و Psilocybin نیز ممکن است از طریق تغییر در انتقال‌دهنده‌های عصبی مانند سروتونین و دوپامین، بر پاسخ‌های ایمنی اثرگذار باشند. برخی مطالعات نشان داده‌اند که این ترکیبات می‌توانند فعالیت سیستم عصبی خودکار و در نتیجه تنظیم ایمنی را تغییر دهند، اگرچه شواهد تجربی در این زمینه هنوز محدود است (Dos Santos et al., 2016).

۴.۸. نیکوتین و الکول

نیکوتین، به‌عنوان ترکیب اصلی دخانیات، اثرات گسترده‌ای بر سدهای فیزیولوژیک و عملکرد حجرات ایمنی دارد. این ماده با تأثیر بر گیرنده‌های نیکوتینی استایل‌کولین، تولید سایتوکاین‌های التهابی مانند IL-6 و $TNF-\alpha$ را تغییر داده و موجب اختلال در عملکرد نیوتروفیل‌ها و ماکروفاژها می‌شود (Sopori, 2002). مصرف دخانیات همچنین به آسیب اپیتلیوم سیستم تنفسی منجر شده و سد مخاطی محافظ را تضعیف می‌کند، به‌طوری که احتمال نفوذ عوامل بیماری‌زا افزایش می‌یابد (Arcavi & Benowitz, 2004).

در مورد الکول، شواهد نشان می‌دهد که مصرف مزمن آن باعث مهار تولید سایتوکاین‌های ضروری برای پاسخ ایمنی ذاتی و اختلال در فعالیت لمفوسایت‌های T و B می‌شود (Szabo & Saha, 2015). الکول عملکرد حجرات دندرایتیک را کاهش داده و تولید انتی‌بادی‌ها را مختل می‌کند، که این امر مقاومت بدن را در برابر پاتوجن‌ها به‌شدت کاهش می‌دهد (Pasala et al., 2015). علاوه بر این، مصرف زیاد الکول به افزایش نفوذپذیری امعاء و ورود باکتری‌ها به جریان خون منجر می‌شود و خطر بروز سپسیس و عفونت‌های سیستمیک را افزایش می‌دهد.

به‌طور کلی، مصرف انواع مواد مخدر از طریق مسیرهای مختلف بیوکیمیای و حجروی موجب تضعیف سیستم معافیتی و افزایش خطر ابتلا به بیماری‌های عفونی می‌شود. درک دقیق از این مکانیزم‌ها می‌تواند به طراحی راهبردهای پیشگیرانه و تداوی برای کاهش آسیب‌های ناشی از اعتیاد کمک نماید.

¹ Hallucinogens

۹. سازوکارهای بیولوژیکی تضعیف سیستم معافیتی توسط مواد مخدر

مصرف مواد مخدر با ایجاد تغییرات چندبعدی در سیستم معافیتی، حساسیت بدن را به عفونت‌ها و بیماری‌های مزمن افزایش می‌دهد. یکی از مکانیزم‌های اصلی، استرس اکسیداتیو و آسیب حجروی است. مواد محرک مانند مت‌آمفتامین و کوکائین با افزایش تولید انواع فعال اکسیجن و نایتروجن^۱، موجب پراکسیدیشن لیپیدها، آسیب به DNA و اختلال در عملکرد مایتوکندری‌ها می‌شوند (Loftis & Janowsky, 2014). این فرآیند موجب کاهش فعالیت حجرات ایمنی از جمله نیوتروفیل^۲ها و ماکروفاژها و مهار فاگوسیتوز می‌شود، که توانایی بدن در از بین بردن عوامل بیماری‌زا را کاهش می‌دهد (Gonçalves et al., 2017). در مورد مواد افیونی، مورفین و هروئین نیز با القای استرس اکسیداتیو، عملکرد لمفوسایت‌ها و حجرات کشنده طبیعی را تضعیف می‌کنند و پاسخ ضدویروسی را کاهش می‌دهند (Roy et al., 2011).

سازوکار دیگر تغییر در ترشح و تعادل سایتوکاین‌ها است. مواد مخدر می‌توانند سطح سایتوکاین‌های التهابی مانند IL-6 و TNF- α را افزایش یا کاهش دهند و در عین حال تولید سایتوکاین‌های ضدالتهابی مانند IL-10 را ارتقا دهند (Sacerdote, 2006). این تغییرات موجب اختلال در هماهنگی بین معافیت ذاتی و اکتسابی شده و پاسخ مؤثر بدن به پاتوجن‌ها را مختل می‌کند (Peterson et al., 2017). برای مثال، مصرف مزمن THC باعث کاهش تولید IL-2 و IFN- γ توسط لمفوسایت‌های T^۳ و مهار فعالیت حجرات کشنده طبیعی می‌شود و از این طریق پاسخ حجروی ضدویروسی سرکوب می‌گردد (Cabral & Staab, 2005).

اثرات اپی‌جنتیکی و تنظیم بیان جین‌های معافیتی نیز نقش مهمی در تضعیف معافیتی دارند. مواد افیونی و الکل با تغییر در میتایلشن DNA و استایلشن هیستون، بیان جین‌های مرتبط با عملکرد حجرات معافیتی، تولید سایتوکاین و پاسخ به پاتوجن‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Roy et al., 2011; Szabo & Saha, 2015). این تغییرات اپی‌جنتیکی می‌توانند پاسخ معافیتی را به‌طور پایدار سرکوب کرده و حتی پس از قطع مصرف، اثرات طولانی‌مدتی بر عملکرد سیستم معافیتی ایجاد کنند (Finley, 2011).

ارتباط پیچیده سیستم عصبی-معافیتی نیز یکی از مکانیزم‌های کلیدی است. مواد مخدر با اثر بر محور هایپوتالاموس-هایپوفیز-آدرینال سطح کورتیزول را افزایش می‌دهند که

¹ Reactive Nitrogen Species

² Neutrophil

³ T Lymphocytes

سرکوب‌کننده پاسخ معافیتی است (Wang et al, 2005). علاوه بر این، مواد محرک باعث افزایش ترشح نوراپی‌نفرین و دوپامین می‌شوند که از طریق گیرنده‌های عصبی بر فعالیت لنفوسایت‌ها و ماکروفاژها تأثیر می‌گذارند (Loftis & Janowsky, 2014). این تعامل عصبی-معافیتی موجب کاهش پاسخ ضدویروسی، اختلال در تولید انتی‌بادی و تضعیف فعالیت حجرات کشنده طبیعی می‌شود (Gonçalves et al., 2017).

در مجموع، مصرف مواد مخدر با ایجاد استرس اکسیداتیو، اختلال در تعادل سایتوکاین‌ها، تغییرات اپی‌جنتیکی و دخالت در محورهای عصبی-معافیتی، سیستم معافیتی را به‌طور چندجانبه سرکوب می‌کند. این اثرات باعث افزایش حساسیت به عفونت‌ها، کاهش توان بدن در پاسخ به پاتوژن‌ها و تضعیف حافظه معافیتی می‌شوند. درک دقیق این مکانیزم‌ها برای طراحی استراتژی‌های پیشگیرانه و درمانی در بیماران مبتلا به اعتیاد و کاهش عوارض عفونی آن‌ها ضروری است.

۱۰. ارتباط میان مواد مخدر و افزایش حساسیت به بیماری‌های عفونی

مصرف مواد مخدر اثرات منفی چندجانبه‌ای بر سیستم معافیتی دارد و بدن را نسبت به انواع بیماری‌های عفونی حساس‌تر می‌کند. اختلال در عملکرد حجرات معافیتی، تغییر در ترشح سایتوکاین‌ها و ایجاد استرس اکسیداتیو موجب می‌شود که پاتوژن‌ها راحت‌تر در بدن تکثیر شوند و پاسخ معافیتی به‌طور مؤثر عمل نکند (Roy et al., 2011). این حساسیت به عفونت‌ها در مصرف‌کنندگان مزمن مواد افیونی، محرک، کانابینوئیدها، الکول و نیکوتین به‌وضوح مشاهده شده است.

۱.۱۰. عفونت‌های ویروسی

مواد افیونی و محرک‌ها مخصوصاً هروئین، مورفین و مت‌آمفتامین با سرکوب عملکرد لنفوسیت‌های T و B و کاهش فعالیت حجرات کشنده طبیعی، بدن را در برابر عفونت‌های ویروسی آسیب‌پذیر می‌کنند (Wang et al., 2005). حساسیت به HIV در مصرف‌کنندگان تزریقی مواد مخدر به دلیل سرکوب معافیتی و رفتارهای پرخطر افزایش می‌یابد (Peterson et al., 2017). همچنین مصرف مزمن مواد مخدر، پاسخ به واکسن‌ها را کاهش داده و باعث افزایش شدت بیماری‌های ویروسی مانند HBV و HCV می‌شود (Sacerdote, 2006). در دوران همه‌گیری COVID-19، مصرف مواد مخدر با اختلال در پاسخ معافیتی ذاتی و اکتسابی موجب افزایش شدت بیماری و طول دوره‌ی نقاهت شده است (Volkow, 2020).

۲.۱۰. عفونت‌های باکتریایی و قارچی

مواد مخدر نه تنها حساسیت به ویروس ها، بلکه به عفونت های باکتریایی و قارچی را نیز افزایش می دهند. مصرف مزمن مواد افیونی و الکل با سرکوب فعالیت ماکروفاژها و نیوتروفیل ها و اختلال در فاگوسایتوزس، خطر ابتلا به سل و پنومونی را افزایش می دهد (Rosenblum et al., 2008). علاوه بر آن، سرکوب سیستم معافیتی در مصرف کنندگان طولانی مدت مواد محرک و کانابینوئیدها، زمینه ی بروز عفونت های فرصت طلب مانند کاندیدیازیس و عفونت های آسپرژیلوسی را فراهم می کند (Cabral & Staab., 2005). این اختلالات معافیتی باعث می شوند که بدن نتواند به طور مؤثر عوامل بیماری زا را کنترل کند، و شدت و مدت عفونت ها افزایش یابد.

۳.۱۰. نقش تغییرات میکروبیوم در افزایش خطر عفونت ها

یکی دیگر از عوامل مهم، اختلال در تعادل میکروبیوم است. مصرف مواد مخدر موجب تغییر در تنوع و ترکیب باکتری های امعاء، مخاط تنفسی و سایر اکوسیستم های میکروبی می شود (Yan & Schnabl, 2012). این dysbiosis باعث تضعیف سدهای معافیتی مخاطی و کاهش تولید متابولیت های ضدالتهابی می گردد، که بدن را مستعد عفونت های باکتریایی، ویروسی و قارچی می کند (Bajaj et al., 2016). به عنوان مثال، مصرف طولانی مدت الکل و مواد افیونی می تواند موجب افزایش نفوذپذیری روده و ورود باکتری ها به جریان خون شود و خطر بروز سپسیس و عفونت های سیستمیک را افزایش دهد (Szabo & Saha, 2015).

در مجموع، شواهد علمی نشان می دهد نشان داده که مصرف مواد مخدر از طریق مکانیزم های متنوع معافیتی، از جمله سرکوب حجرات معافیتی، اختلال در تعادل سایتوکاین ها و تغییرات میکروبیوم، حساسیت بدن به بیماری های عفونی را افزایش می دهد (Roy et al., 2011; Cabral & Staab, 2005). این وضعیت نه تنها خطر ابتلا به عفونت ها را بالا می برد، بلکه شدت امراض و پیامدهای منفی تداوی را نیز افزایش می دهد. بنابراین، توجه به سلامت معافیتی و کنترل مصرف مواد مخدر نقش حیاتی در پیشگیری از عفونت ها و کاهش مرگ و میر ناشی از بیماری های عفونی دارد.

۱۱. پیامدهای کلینیکی و صحتی و راهکارهای پیشگیرانه

مصرف مواد مخدر اثرات گسترده ای بر سلامت بالینی و صحت عمومی دارد و پیامدهای آن فراتر از وابستگی روانی و رفتار پرخطر است. یکی از پیامدهای مهم بالینی، اختلال در پاسخ به واکسن ها است. مصرف کنندگان مزمن مواد مخدر، به ویژه مواد افیونی و الکل، توانایی تولید پاسخ معافیتی مناسب در برابر واکسن ها را از دست می دهند که موجب کاهش اثر بخشی

واکسیناسیون و افزایش احتمال ابتلا به بیماری‌های واگیردار می‌شود. علاوه بر این، سرکوب سیستم معافیتی ناشی از مصرف مواد موجب افزایش شدت و مدت بیماری‌های عفونی و افزایش مرگ‌ومیر مرتبط با ویروس‌هایی مانند HIV، HBV، HCV و COVID-19 و همچنین عفونت‌های باکتریایی و قارچی می‌شود (Roy et al., 2011). مصرف مواد مخدر با ایجاد اختلالات میکروبیوم و افزایش نفوذپذیری سدهای فیزیولوژیک، روند بیماری‌ها و عفونت‌ها را تشدید می‌کند (Yan & Schnabl., 2012).

برای کاهش پیامدهای بالینی، استفاده از راهکارهای بیولوژیکی و درمانی ضروری است. اصلاح سبک زندگی، تغذیه متعادل، کنترل استرس و ورزش منظم می‌توانند نقش قابل توجهی در بازسازی عملکرد معافیتی داشته باشند (Calder, 2020). از نظر درمانی، استفاده از داروهای تعدیل‌کننده سیستم معافیتی، مکمل‌های ویتامینی و مواد معدنی مانند ویتامین D، زینک و سلنیوم به بازگرداندن تعادل معافیتی کمک می‌کند (Gombart et al., 2020). همچنین، کاهش یا ترک مواد مخدر تحت نظارت داکتر باعث بهبود عملکرد حجرات معافیتی، بازسازی تعادل سایتوکاین‌ها و کاهش حساسیت به عفونت‌ها می‌شود (Finley, 2011). برنامه‌های جایگزینی مانند متادون و بوپرنورفین نیز علاوه بر کاهش مصرف مواد مخدر غیرمجاز، اثرات منفی معافیتی را کاهش می‌دهند و خطر عفونت‌های فرصت‌طلب را پایین می‌آورند (Rosenblum et al., 2008).

علاوه بر مداخلات بیولوژیکی و دارویی، آموزش و مداخلات چندرشته‌ای اهمیت فراوانی دارند. همکاری میان بیولوژی، طبابت و روان‌شناسی می‌تواند به شناسایی مکانیزم‌های تضعیف معافیتی، پیش‌بینی پیامدهای کلینیکی و ارائه راهکارهای پیشگیرانه مؤثر کمک کند (Loftis & Janowsky, 2014). آموزش بیماران در مورد خطرات مصرف مواد، اهمیت رعایت واکسیناسیون و تقویت معافیتی و ارائه برنامه‌های حمایتی روان‌شناختی برای مدیریت وابستگی و استرس از جمله اقداماتی است که موجب کاهش حساسیت به عفونت‌ها می‌شود (Cabral & Staab, 2005). این مداخلات چندرشته‌ای با ترکیب دانش ایمونولوژی، طب و روان‌شناسی سلامت، رویکردی جامع برای کنترل پیامدهای مصرف مواد و بهبود سلامت عمومی ارائه می‌دهند. در نهایت، توجه به پیامدهای بالینی و پیشگیرانه مصرف مواد مخدر از اهمیت حیاتی برخوردار است. برنامه‌های صحت‌عامه باید با تمرکز بر آموزش، پیشگیری، تداوی دارویی و بازتوانی معافیتی، خطر ابتلا به عفونت‌ها و مرگ‌ومیر ناشی از بیماری‌های مرتبط با مواد مخدر را کاهش دهند (Szabo & Saha, 2015). ایجاد سیاست‌های حمایتی و راهنمایی‌های کلینیکی مبتنی بر شواهد می‌تواند به کاهش بار بیماری‌ها و بهبود کیفیت زندگی مصرف‌کنندگان کمک کند.

همچنین، تحقیقات بیشتر در زمینه مکانیزم‌های معافیتی و اثرات طولانی‌مدت مواد مخدر، اطلاعات ارزشمندی برای طراحی راهبردهای پیشگیرانه و درمانی ارائه می‌دهد (Roy et al., 2011).

۱۲. نتیجه‌گیری

مطالعات متعدد نشان می‌دهند که مصرف مواد مخدر، اعم از مواد افیونی، محرک، کانابینوئیدها، نیکوتین و الکل، تأثیرات مخرب و گسترده‌ای بر سیستم معافیتی بدن دارد. این مواد با سرکوب عملکرد حجرات معافیتی مانند ماکروفاژها، نیوتروفیل‌ها، حجرات T و B، ایجاد استرس اکسیداتیو، اختلال در تعادل سایتوکاین‌ها و تغییر در میکروبیوم، توانایی بدن در مقابله با پاتوژن‌ها را کاهش می‌دهند. در نتیجه، مصرف‌کنندگان مواد مخدر بیش از دیگر افراد در معرض ابتلا به امراض ویروسی، باکتریایی و قارچی قرار دارند و پاسخ مناسب به واکسن‌ها و مداوای ایمونولوژی در آنان کاهش می‌یابد. همچنین، مصرف مزمن مواد مخدر باعث افزایش شدت و طول دوره امراض عفونی و افزایش مرگ‌ومیر ناشی از عفونت‌ها می‌شود، که نشان‌دهنده اهمیت توجه به سلامت معافیتی در برنامه‌های پیشگیری و مداوا است.

با توجه به پیامدهای گسترده، رویکردهای بیولوژیکی و درمانی نقش حیاتی در بازگرداندن عملکرد سیستم معافیتی و کاهش آسیب‌های ناشی از مصرف مواد دارند. اقداماتی مانند تغذیه مناسب، ورزش، کنترل استرس، مکمل‌های ویتامینی و مواد معدنی، مداخلات دارویی برای کاهش مصرف یا ترک مواد، و استفاده از برنامه‌های جایگزینی مانند متادون و بوپرنورفین می‌توانند اثرات سرکوب معافیتی را تعدیل کرده و حساسیت به عفونت‌ها را کاهش دهند. همچنین، آموزش و مداخلات چندرشته‌ای که علوم بیولوژی، طب و روان‌شناسی را ترکیب می‌کنند، می‌توانند آگاهی مصرف‌کنندگان را افزایش داده و به کاهش پیامدهای صحتی کمک کنند.

برای تحقیقات آینده، پیشنهاد می‌شود که مطالعات جنتیکی و مالیکولی روی مصرف‌کنندگان مزمن مواد انجام شود تا سازوکارهای دقیق تغییرات معافیتی و اثرات طولانی‌مدت بر پاسخ به پاتوژن‌ها شناسایی شود. این تحقیقات می‌توانند زمینه را برای طراحی درمان‌های هدفمند و شخصی‌سازی شده فراهم کنند و همچنین اطلاعات ارزشمندی درباره تأثیرات اپی‌جنتیکی و بیوشیمیایی مواد مخدر بر سیستم معافیتی ارائه دهند. در مجموع، ترکیب معلومات اساسی ایمونولوژی با مداخلات کلینیکی و روان‌شناختی، رویکرد جامع و مؤثری برای کاهش آسیب‌های ناشی از مصرف مواد مخدر و بهبود سلامت عمومی ارائه می‌دهد.

References

- Abtahi Froushani, S. M. A., Ajami, M., & Mahmoudzadeh, M. (2022). Effect of nicotine on immune system function. *Advanced Pharmaceutical Bulletin*, 13(1), 69–78.
- Abbas, A. K., Lichtman, A. H., & Pillai, S. (2022). *Cellular and molecular immunology* (10th ed.). Elsevier.
- Arcavi, L., & Benowitz, N. L. (2004). Cigarette smoking and infection. *Archives of Internal Medicine*, 164(20), 2206–2216.
- Bagasra, O., & Pomerantz, R. J. (1993). Human immunodeficiency virus type 1 replication in peripheral blood mononuclear cells in the presence of cocaine. *Journal of Infectious Diseases*, 168(5), 1157–1164.
- Bajaj, J. S., Betrapally, N. S., & Hylemon, P. B. (2016). Role of gut microbiota in liver disease. *Journal of Hepatology*, 65(6), 1183–1196.
- Chaplin, D. D. (2010). Overview of the immune response. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 125(2), S3–S23.
- Cabral, G. A., & Staab, A. (2005). Effects of cannabinoids on immune function. *Handbook of Experimental Pharmacology*, 168, 385–423.
- Calder, P. C. (2020). Nutrition, immunity and COVID-19. *BMJ Nutrition, Prevention & Health*, 3(1), 74–92.
- Cabral, G. A., & Staab, A. (2005). Effects of cannabinoids on immune function. *Handbook of Experimental Pharmacology*, 168, 385–423.
- Dhillon, N. K., Williams, R., Peng, F., Tsai, Y. J., Dhillon, S., Nicolay, B., & Buch, S. J. (2008). Cocaine-mediated enhancement of virus replication in macrophages: Implications for human immunodeficiency virus-associated dementia. *Journal of Neurovirology*, 14(6), 513–525.
- Ersche, K. D., Hagan, C. C., Smith, D. G., Abbott, S., Jones, P. S., Apergis-Schoute, A. M., ... Robbins, T. W. (2014). Aberrant disgust responses and immune reactivity in cocaine-dependent men. *Biological Psychiatry*, 75(2), 140–147.

- Finley, M. J. (2011). Opiate-induced immune suppression and its role in infection. *Journal of Neuroimmune Pharmacology*, 6(4), 490–506.
- Gombart, A. F., Pierre, A., & Maggini, S. (2020). A review of micronutrients and the immune system. *Nutrients*, 12(1), 236.
- Gordon, S., & Martinez, F. O. (2010). Alternative activation of macrophages: Mechanism and functions. *Immunity*, 32(5), 593–604.
- Gonçalves, J., Martins, T., Ferreira, R., Milhazes, N., Borges, F., Ribeiro, C. F., & Silva, A. P. (2017). Methamphetamine-induced brain alterations and oxidative stress. *Psychopharmacology*, 234(11), 1833–1847.
- Janeway, C. A., Travers, P., Walport, M., & Shlomchik, M. J. (2005). *Immunobiology: The immune system in health and disease* (6th ed.). Garland Science.
- Josefowicz, S. Z., Lu, L. F., & Rudensky, A. Y. (2012). Regulatory T cells: Mechanisms of differentiation and function. *Annual Review of Immunology*, 30, 531–564.
- Klein, T. W. (2005). Cannabinoid-based drugs as anti-inflammatory therapeutics. *Nature Reviews Immunology*, 5(5), 400–411.
- Kolaczowska, E., & Kubes, P. (2013). Neutrophil recruitment and function in health and inflammation. *Nature Reviews Immunology*, 13(3), 159–175.
- Loftis, J. M., & Janowsky, A. (2014). Neuroimmune basis of methamphetamine toxicity. *International Review of Neurobiology*, 118, 165–197.
- Liang, X., & Shen, X. (2016). Opioid system modulates the immune function: A review. *Frontiers in Immunology*, 7, Article 569.
- LeBien, T. W., & Tedder, T. F. (2008). B lymphocytes: How they develop and function. *Blood*, 112(5), 1570–1580.
- Maggirwar, S. B., & Khalsa, J. H. (2021). The link between cannabis use, immune system, and viral infections. *Viruses*, 13(6), 1099.
- Medzhitov, R. (2008). Origin and physiological roles of inflammation. *Nature*, 454(7203), 428–435.
- Murphy, K., & Weaver, C. (2016). *Janeway's immunobiology* (9th ed.). Garland Science.

- Macur, K., Zieschang, S., Haverland, N., Schissel, A., Ciborowski, P., Fox, H., ... & ? (2021). Immune system and methamphetamine: Molecular basis of interaction. *Journal of Neuroimmune Pharmacology*, 16(3), 592–603.
- Pellegrino, T., et al. (1998). In vivo effects of cocaine on immune cell function. *Immunopharmacology and Immunotoxicology*, 20(3), 315–328.
- Peterson, P. K., Gekker, G., & Chao, C. C. (2017). Alcohol and drug abuse and immunity. *Journal of Neuroimmunology*, 83(1–2), 83–92.
- Pasala, S., Barr, T., & Messaoudi, I. (2015). Impact of alcohol abuse on the adaptive immune system. *Alcohol Research: Current Reviews*, 37(2), 185–197.
- Rieder, S. A., Chauhan, A., Singh, U., Nagarkatti, M., & Nagarkatti, P. (2010). Cannabinoid-induced apoptosis in immune cells as a pathway to immunosuppression. *Immunobiology*, 215(8), 598–605.
- Rosenblum, A., Marsch, L. A., Joseph, H., & Portenoy, R. K. (2008). Opioids and the immune system. *Pain Medicine*, 9(5), 529–547.
- Roy, S., Ninkovic, J., Banerjee, S., Charboneau, R. G., Das, S., Dutta, R., & Barke, R. A. (2011). Opioid drug abuse and modulation of immune function: Consequences in the susceptibility to opportunistic infections. *Journal of Neuroimmune Pharmacology*, 6(4), 442–465.
- Salamanca, S. A., et al. (2015). Impact of methamphetamine on infection and immunity. *Frontiers in Neuroscience*, 9, Article 38.
- Sacerdote, P. (2006). Opioids and the immune system. *Palliative Medicine*, 20(8), s9–s15.
- Szabo, G., & Saha, B. (2015). Alcohol's effect on host defense. *Alcohol Research: Current Reviews*, 37(2), 159–170.
- Szabo, G., & Saha, B. (2015). Alcohol's effect on host defense. *Alcohol Research: Current Reviews*, 37(2), 159–170.
- Tharmalingam, J., Gangadaran, P., Rajendran, R. L., Ahn, B. C., & others. (2024). Impact of alcohol on inflammation, immunity, infections, and extracellular vesicles in pathogenesis. *Frontiers in Immunology*, 15, Article 1386658.

- Volkow, N. D. (2020). Collision of the COVID-19 and addiction epidemics. *Annals of Internal Medicine*, 173(1), 61–62.
- Wang, J., Barke, R. A., Charboneau, R., Roy, S. (2005). Morphine impairs host innate immune response and increases susceptibility to *Streptococcus pneumoniae* infection. *Journal of Immunology*, 174(8), 426–434.
- Yamamoto, B. K., Moszczynska, A., & Gudelsky, G. A. (2010). Amphetamine toxicities: Classical and emerging mechanisms. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1187(1), 101–121.
- Yan, A. W., & Schnabl, B. (2012). Bacterial translocation and changes in the gut microbiome in liver disease. *World Journal of Gastroenterology*, 18(36), 4865–4874.
- Zhu, J., & Paul, W. E. (2008). CD4 T cells: Fates, functions, and faults. *Blood*, 112(5), 1557–1569
- احمدیگی، ن. (۱۴۰۱). تأثیر مواد مخدر بر سلامتی بدن (مقاله کنفرانسی، ششمین کنفرانس ملی علوم ورزشی، تربیت بدنی و سلامت اجتماعی)
- رضایی پور، ربابه، اکرامیان، ناصر، صالحی، مهدی، و نیک‌بین، بهروز. (۱۳۸۲). اثر اعتیاد بر ایمنی هومورال. *مجله علمی سازمان نظام پزشکی جمهوری اسلامی ایران*، ۲۱(۴)، ۲۷۱-۲۷۵.
- میراحمدی‌زاده، علیرضا، کدیور، محمدرحیم، قانع شیرازی، رضا، و فرارویی، محمد. (۱۳۸۰). فراوانی عفونت ناشی از ویروس نقص ایمنی انسان (HIV) میان معتادین تزریقی شیراز. *مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی گرگان*، ۳(۸)، ۳۹-۴۲.

نقش محور هایپوتالاموس - هایپوفیز - آدرینال در بروز اختلالات روانی و اعتیاد (مقاله علمی-سروری)

نویسندگان: سیدمحمد هاشمی^{۱*}، محمدحمید محمدی^۲

۱،۲ اعضای کادر علمی دیپارتمنت بیولوژی، پوهنهی تعلیم و تربیه، پوهنتون دایکندی

شماره تماس: ۰۷۷۶۹۸۵۱۱۸ ایمیل: smhashimy@dhei.edu.af

چکیده

محور هایپوتالاموس-هایپوفیز-آدرینال (HPA) به عنوان یکی از مسیرهای اصلی پاسخ به استرس در بدن شناخته شده است و نقش مهمی در تنظیم ترشح هورمون کورتیزول و حفظ تعادل نیورواندوکرائینی ایفا می کند. در این تحقیق، تأثیر تغییرات عملکرد محور HPA بر بروز اختلالات روانی و اعتیاد مورد بررسی قرار گرفته است. این مطالعه به صورت یک مرور روایتی انجام شده و منابع علمی از دیتابیس های PubMed، Scopus و Web of Science با استفاده از کلمات کلیدی مرتبط با محور HPA، اختلالات روانی و اعتیاد در انتروال زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ استخراج و پس از غربالگری بر اساس معیارهای ورود و خروج تحلیل گردیده اند. تمرکز مطالعه بر تحلیل یافته های مرتبط با ارتباط محور HPA با افسردگی، اضطراب، اختلال استرس پس از سانحه و اختلالات وابستگی به مواد بوده است. نتایج نشان داده است که فعالیت بیش از حد یا کاهش فعالیت محور HPA با تغییرات قابل توجهی در سطح کورتیزول و پاسخ استرسی همراه بوده است که در بروز و تداوم اختلالات روانی و افزایش تمایل به مصرف مواد نقش دارد. همچنین تعامل محور HPA با سیستم های نیوروترانسمیتری مانند دوپامین و سروتونین در تقویت رفتارهای اعتیادی مشاهده شده است. بر اساس یافته ها، تنظیم عملکرد محور HPA به عنوان یکی از مسیرهای بالقوه در پیشگیری و درمان اختلالات روانی و اعتیاد پیشنهاد می شود.

کلمات کلیدی: اعتیاد؛ استرس؛ اختلالات؛ کورتیزول؛ محور HPA

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مقدمه

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على أشرف الأنبياء والمرسلين.

محور هایپوتالاموس-هایپوفیز-آدرینال (HPA)^۱ یکی از مهم ترین سیستم های فیزیولوژیکی بدن است که در پاسخ به استرس و تنظیم فرآیندهای نیورواندوکرینی نقش اساسی داشته است. این محور از تعامل میان سه بخش اصلی شامل هایپوتالاموس، هایپوفیز قدامی و غده آدرینال تشکیل شده و هورمون کورتیزول به عنوان محصول نهایی آن در تنظیم متابولیسم، سیستم ایمنی و واکنش های هیجانی مؤثر بوده است. مطالعات نیورویولوژیکی نشان داده اند که تغییر در فعالیت محور HPA می تواند سبب بروز ناهنجاری های رفتاری و روانی گردد و در فرآیندهای وابستگی به مواد مخدر نیز تأثیرگذار باشد. بررسی این محور می تواند درک بهتری از سازوکارهای فیزیولوژیک اختلالات روانی و رفتارهای اعتیادی فراهم نماید.

بیان مسئله

اختلال در عملکرد محور HPA از جمله تغییر در ترشح کورتیزول و حساسیت گیرنده های گلوکوکورتیکوئیدی^۲، به عنوان یکی از عوامل کلیدی در بروز اختلالات روانی شناخته شده است (Smith & Vale, 2006). شواهد نشان داده اند که استرس های مزمن موجب برهم خوردن تعادل فیزیولوژیک این محور و بروز علائمی همچون اضطراب، افسردگی و تمایل به مصرف مواد می گردند. از آنجا که محور HPA در ارتباط مستقیم با سیستم های نیوروترانسمیتری مانند دوپامین و سروتونین عمل کرده است، اختلال در عملکرد آن می تواند به تغییرات پایدار در رفتار و خلق منجر شود. بنابراین، شناسایی نقش دقیق محور HPA در این فرآیندها برای درک بهتر از پاتوفیزیولوژی اختلالات روانی و اعتیاد ضروری دانسته شده است.

هدف تحقیق

هدف از این تحقیق بررسی نقش محور HPA در بروز اختلالات روانی و اعتیاد بوده است. تمرکز این تحقیق بر مرور شواهد علمی موجود درباره ارتباط بین تغییرات عملکرد محور HPA، میزان کورتیزول و بروز رفتارهای مرتبط با اختلالات روانی و وابستگی به مواد قرار داده شده است. علاوه

¹ Hypothalamic-Pituitary-Adrenal Axis

² Glucocorticoid

بر این، تعامل محور HPA با مسیرهای پاداش مغزی و سیستم‌های نیوروترانسمیتری برای تبیین سازوکارهای زیستی این اختلالات مورد توجه واقع شده است.

پیشینه تحقیق

محور هایپوتالاموس-هایپوفیز-آدرینال (HPA) به‌عنوان یکی از بنیادی‌ترین سیستم‌های نیورواندوکرین در تنظیم پاسخ‌های استرس‌زا، همواره مورد توجه محققان حوزه‌های روان‌شناسی، علوم اعصاب و طب بوده است. مطالعات کلاسیک نشان داده‌اند که فعال‌سازی این محور با ترشح گلوکوکورتیکوئیدها، به‌ویژه کورتیزول، نقش اساسی در سازگاری بدن با شرایط تنش‌زا ایفا می‌کند (Charmandari et al., 2005; Smith & Vale, 2006; Sapolsky et al., 2000). با این حال، قرارگیری طولانی‌مدت در معرض استرس مزمن می‌تواند منجر به اختلال در تنظیم این محور و بروز پیامدهای روانی و فیزیولوژیکی شد (McEwen, 2017). در زمینه اختلالات روانی، تحقیقات متعددی به بررسی نقش ناکارآمدی محور HPA پرداخته‌اند. یافته‌ها حاکی از آن است که در بیماران مبتلا به افسردگی اساسی، افزایش سطح پایه کورتیزول و کاهش حساسیت گیرنده‌های گلوکوکورتیکوئیدی به‌ویژه در نواحی هایپوکامپ مشاهده می‌شود که می‌تواند به تداوم علائم افسردگی منجر گردد (Pariante & Lightman, 2008; Hasler et al., 2018; Peng et al., 2023). مطالعات داخلی نیز این یافته‌ها را تأیید کرده و نشان داده‌اند که اختلال در عملکرد محور HPA یکی از مکانیزم‌های کلیدی در پاسخ‌های استرس‌زا و بروز اختلالات خلقی محسوب می‌شود (فریدونی، ۱۳۸۶؛ سید جواد، ۱۴۰۴).

در مقابل، الگوی عملکرد محور HPA در اختلال استرس پس از سانحه (PTSD) متفاوت گزارش شده است. تحقیقات نشان می‌دهند که بسیاری از بیماران مبتلا به PTSD دارای کاهش پاسخ‌پذیری محور HPA و سطوح پایین‌تر یا الگوهای غیرطبیعی ترشح کورتیزول هستند که این امر به حساسیت بیش‌ازحد به محرک‌های استرس‌زا و ناتوانی در خاموش‌سازی پاسخ استرسی منجر می‌شود (Yehuda et al., 2015; Sibley et al., 2021). این تفاوت‌های الگوهای ترشح کورتیزول نشان‌دهنده پیچیدگی تنظیم محور HPA در اختلالات مختلف روانی است.

در حوزه اعتیاد، شواهد علمی به‌طور فزاینده‌ای بر نقش تعیین‌کننده استرس و محور HPA در شکل‌گیری، تداوم و عود مصرف مواد تأکید دارند. مطالعات نشان داده‌اند که استرس مزمن از طریق فعال‌سازی بیش‌ازحد محور HPA، میل به مصرف مواد را افزایش داده و احتمال بازگشت به مصرف پس از دوره ترک را تسهیل می‌کند (Sinha, 2008). از منظر نیورویولوژیک، تعامل میان محور HPA و سیستم پاداش دوپامینرژیک مغز به‌عنوان یکی از سازوکارهای اصلی وابستگی به

مواد معرفی شده است؛ به گونه‌ای که گلوکوکورتیکوئیدها می‌توانند حساسیت مدارهای پاداش را افزایش داده و رفتارهای اعتیادی را تقویت نمایند (Piazza & Le Moal, 1997; Koob & Schulkin, 2019).

علاوه بر این، مطالعات نشان داده‌اند که سیستم‌های نیوروترانسسمیتری، به ویژه سیروتونین، نقش واسطه‌ای مهمی در تنظیم محور HPA ایفا می‌کنند و اختلال در این تعامل می‌تواند هم در بروز اختلالات خلقی و هم در رفتارهای وابستگی به مواد مؤثر باشد (Lowry et al., 2008). تحقیقات جدیدتر نیز بر اهمیت تغییرات جنتیکی و اپی‌جنتیکی در جین‌های مرتبط با محور HPA تأکید کرده‌اند که می‌تواند حساسیت فرد را نسبت به استرس، اختلالات روانی و اعتیاد افزایش دهد (Sibley et al., 2021).

در مجموع، مرور مطالعات پیشین نشان می‌دهد که اگرچه شواهد گسترده‌ای در سطح بین‌المللی درباره نقش محور HPA در اختلالات روانی و اعتیاد وجود دارد، اما در منابع فارسی و دری، تحقیقات نظام‌مند و یکپارچه در این زمینه محدود است. این امر ضرورت انجام مطالعات مروری و تجربی بومی را برجسته می‌سازد تا بتوان با درک عمیق‌تر سازوکارهای روانی-فیزیولوژیکی مرتبط با محور HPA، گام‌های مؤثرتری در پیشگیری و درمان اختلالات روانی و اعتیاد برداشت.

ساختار و فیزیولوژی محور HPA

محور هایپوتالاموس-هایپوفیز-آدرینال^۱ به عنوان یکی از مهم‌ترین مسیرهای تنظیم پاسخ به استرس در بدن شناخته شده است. این محور با ایجاد تعامل میان سیستم عصبی مرکزی و غدوات اندوکرین، کنترل ترشح هورمون‌های استرسی را بر عهده داشته است و نقش حیاتی در تعادل روانی، متابولیسم، و سیستم ایمنی بدن ایفا کرده است (Smith & Vale, 2006؛ فاضلی و همکاران، ۱۳۹۹). عملکرد صحیح این محور برای پایداری هیجانی و واکنش طبیعی به شرایط استرس‌زا ضروری دانسته شده است.

۲.۱. اجزای تشکیل‌دهنده محور HPA

محور HPA از سه بخش اصلی تشکیل گردیده است که به صورت زنجیره‌ای در ترشح و تنظیم هورمون‌های استرسی نقش دارند:

¹ Hypothalamic-Pituitary-Adrenal Axis

الف. هایپوتالاموس و ترشح CRH

هایپوتالاموس در پاسخ به استرس های فیزیولوژیکی و روانی، هورمون آزادکننده کورتیکوتروپین^۱ (CRH) را ترشح کرده است. به عنوان پیام رسان اولیه، هایپوفیز قدامی را برای ترشح هورمون آدرنوکورتیکوتروپین^۲ تحریک نموده است (Charmandari et al., 2005). در مطالعات داخلی نیز گزارش شده است که افزایش فعالیت نیورون های ترشح کننده CRH در هسته پاراوانتریکلر^۳ هایپوتالاموس در پاسخ به استرس های مزمن مشاهده گردیده است (حمیدی و همکاران، ۱۳۹۸).

ب. هایپوفیز قدامی و ترشح ACTH

در مرحله دوم، هایپوفیز قدامی تحت تأثیر CRH، هورمون آدرنوکورتیکوتروپین (ACTH)^۴ را به جریان خون آزاد کرده است. این هورمون مستقیماً بر قشر غده آدرینال اثر گذاشته و ترشح گلوکوکورتیکوئیدها (عمدتاً کورتیزول) را افزایش داده است. مطالعات نشان داده اند که میزان ترشح ACTH با شدت محرک های استرس زا رابطه مستقیم داشته است (Jacobson, 2014؛ حسینی و رحیمی، ۱۳۹۷).

ج. غده آدرینال و ترشح کورتیزول

غده آدرینال در پاسخ به تحریک ACTH، کورتیزول را به عنوان هورمون اصلی استرس ترشح کرده است. کورتیزول در متابولیسم گلوکوز، تنظیم سیستم ایمنی و تعدیل پاسخ های هیجانی نقش مهمی داشته است. افزایش طولانی مدت کورتیزول در بدن با بروز اختلالاتی مانند افسردگی، اضطراب و تضعیف سیستم ایمنی ارتباط داشته است (McEwen, 2017؛ میرزایی و همکاران، ۱۳۹۹).

۲.۲. مکانیزم فیدبک منفی

تنظیم فعالیت محور HPA از طریق مکانیزم بازخورد منفی^۵ انجام گرفته است. در این فرایند، افزایش سطح کورتیزول در خون موجب مهار ترشح CRH از هایپوتالاموس و ACTH از هایپوفیز گردیده است. این مکانیزم مانع از ترشح بیش از حد کورتیزول و حفظ تعادل هورمونی بدن شده است (Sapolsky et al., 2000). شواهد داخلی نیز نشان داده اند که اختلال در این مکانیزم

¹ Corticotropin -Releasing Hormone

² Adrenocorticotrophic hormone

³ Paraventricular

⁴ Adrenocorticotrophic Hormone

⁵ Negative Feedback

بازخورد، به ویژه در افراد مبتلا به افسردگی، باعث تداوم ترشح کورتیزول و تشدید اختلالات روانی شده است (نصیری و همکاران، ۱۴۰۰).

۲.۳. تعامل محور HPA با سایر سیستم‌های عصبی

محور HPA به صورت متقابل با چندین سیستم نیوروترانسمیتری از جمله سیستم سروتونرژیک، دوپامینرژیک و نورآدرنرژیک در ارتباط بوده است.

در سیستم سروتونرژیک، کاهش فعالیت گیرنده‌های ۵-HT در هایپوتالاموس منجر به تحریک محور HPA و افزایش سطح کورتیزول گردیده است (Lowry et al., 2008).

در سیستم دوپامینرژیک، افزایش کورتیزول سبب فعال شدن مسیر میزولیمیک شده و در رفتارهای پاداش و وابستگی نقش داشته است (Piazza & Le Moal, 2000؛ کوهستانی و همکاران، ۱۳۹۸).

در سیستم نورآدرنرژیک، افزایش ترشح نوراپی نفرین در پاسخ به استرس موجب تحریک اولیه هایپوتالاموس و فعال شدن محور HPA گردیده است.

این تعامل‌های پیچیده نشان داده‌اند که محور HPA نه تنها در تنظیم استرس، بلکه در شکل‌گیری پاسخ‌های هیجانی و رفتاری مرتبط با اختلالات روانی و اعتیاد نیز نقش چندبعدی داشته است (Koob & Schulkin, 2019؛ فاضلی و همکاران، ۱۳۹۹).

۳. نقش محور HPA در اختلالات روانی

۳.۱. افسردگی

اختلال عملکرد محور HPA یکی از مشخصه‌های زنده گی اصلی در مریضان مبتلا به افسردگی به شمار می‌آید. مطالعات نشان داده‌اند که در بیشتر مریضان افسرده، سطح کورتیزول پلازما و ادار افزایش یافته است که بیانگر فعالیت بیش از حد محور HPA می‌باشد (Pariente & Lightman, 2008). این افزایش، معمولاً ناشی از کاهش حساسیت گیرنده‌های گلوکوکورتیکوئیدی در هیپوکامپ و هایپوتالاموس است؛ امری که موجب تضعیف فیدبک منفی کورتیزول و تداوم ترشح آن می‌گردد (Smith & Vale, 2006). افزون بر این، نتایج تحقیقات داخلی نیز حاکی از آن است که در شرایط استرس مزمن، فعالیت بیش از حد محور HPA باعث کاهش نیوروژنیز در ناحیه هایپوکامپ^۱ شده و به بروز علائم افسردگی منجر می‌گردد.

یکی از ساختارهای مغز است که نقش اساسی آن در در یادگیری، حافظه و تنظیم هیجانات Hippocampus^۱ می‌باشد

۳.۲. اضطراب و اختلال استرس پس از سانحه (PTSD)

در اختلالات اضطرابی و PTSD^۱، تغییرات محور HPA پیچیده‌تر است و بسته به نوع استرس و مدت آن، پاسخ محور می‌تواند بیش‌فعال یا کم‌فعال باشد. در PTSD معمولاً سطح کورتیزول کاهش یافته و حساسیت گیرنده‌های گلوکوکورتیکوئیدی افزایش می‌یابد، در حالی که در اختلال اضطراب فراگیر، پاسخ HPA اغلب بیش‌فعال گزارش شده است (Yehuda et al., 2015). تحقیقات انجام‌شده بر روی مدل‌های حیوانی نیز تأیید کرده‌اند که استرس مزمن، با فعال‌سازی پی‌درپی محور HPA و تغییر در تنظیم نیورون‌های CRH در هایپوتالاموس، موجب ایجاد الگوهای اضطرابی پایدار می‌شود (Smith & Vale, 2006). یافته‌های داخلی نیز نشان می‌دهند که استرس‌های محیطی مداوم می‌توانند از طریق اختلال در محور HPA زمینه بروز اضطراب و نوسانات خلقی را فراهم نمایند (فریدونی، ۱۳۸۶).

۳.۳. اسکیزوفرنی و اختلال دوقطبی

در بیماران مبتلا به اسکیزوفرنی و اختلال دوقطبی، شواهدی از افزایش سطح کورتیزول و تغییر در ریتم شبانه‌روزی ترشح آن گزارش شده است (Pariente & Lightman, 2008). این تغییرات با اختلال در تنظیم فیدبک منفی محور HPA و تعامل آن با سیستم‌های نیوروترانسمیتری به‌ویژه دوپامین و سروتونین مرتبط دانسته شده است (Koob & Schulkin, 2019). افزایش مداوم کورتیزول ممکن است از طریق اثرات نیوروتوکسیک بر هایپوکامپ، سبب کاهش توانایی مهار پاسخ‌های استرس و تشدید علائم روان‌پریشی گردد. مطالعات داخلی نیز به ارتباط معنی‌دار بین نوسانات هورمونی محور HPA و بی‌ثباتی خلقی در اختلالات دوقطبی اشاره کرده‌اند (کربلایی سید جواد، ۱۴۰۴).

۳.۴. نقش جنتیک و اپی‌جنتیک در عملکرد محور HPA

شواهد علمی نشان می‌دهند که استعداد ابتلا به اختلالات روانی مرتبط با محور HPA، علاوه بر عوامل محیطی، تحت تأثیر تغییرات جنتیکی و اپی‌جنتیکی نیز قرار دارد. پولی‌مورفیسم در جن‌های گیرنده گلوکوکورتیکوئید (NR3C1) و کورتیکوتروپین رهاکننده (CRH) در تعدیل حساسیت محور HPA نقش دارد (Yehuda et al., 2015). از سوی دیگر، قرارگیری در معرض استرس‌های زود هنگام زندگی باعث تغییرات اپی‌جنتیکی پایدار در جن‌های تنظیم‌کننده محور HPA می‌گردد که این امر در بروز افسردگی، اضطراب و وابستگی به مواد مؤثر است (Sinha,

¹ Post-Traumatic Stress Disorder

(2008). بر اساس یافته‌های تحقیقات داخلی، نیز ارتباط معنی‌داری بین الگوهای ایپی‌جنتیک محور HPA و میزان تاب‌آوری روانی گزارش شده است (فریدونی، ۱۳۸۶).

۵. مسیرهای درمانی و مداخلات مرتبط با محور HPA

۵.۱. داروهای تعدیل‌کننده محور HPA (گلوکوکورتیکوئیدها و آنتاگونیست‌های CRH)

با توجه به نقش کلیدی محور HPA در تنظیم پاسخ‌های استرسی و ارتباط آن با بروز اختلالات روانی، استفاده از داروهایی که بتوانند این محور را تعدیل نمایند، در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. در مطالعات تجربی، آنتاگونیست‌های^۱ گیرنده کورتیکوتروپین (CRH1) مانند انتالارمین^۲ موجب کاهش ترشح ACTH^۳ و کورتیزول و در نتیجه کاهش رفتارهای اضطرابی در مدل‌های حیوانی شده‌اند (Peng et al., 2023). با این حال، نتایج تحقیقات کلینیکی در انسان‌ها نشان داده است که تأثیر این داروها در درمان اختلالات افسردگی و اضطراب هنوز به‌طور قطعی اثبات نشده است (Davies & Parsey, 2021). از سوی دیگر، تعدیل گیرنده‌های گلوکوکورتیکوئیدی (GR) و گیرنده‌های وازوپرسین (V1B) نیز به‌عنوان اهداف درمانی جدید مطرح گردیده‌اند که می‌توانند در کاهش بیش‌فعالی محور HPA مؤثر باشند (Hasler et al., 2018).

۵.۲. درمان‌های رفتاری و مدیریت استرس

افزون بر مداخلات دارویی، درمان‌های غیردارویی مانند مدیریت استرس، مدیتیشن، فعالیت‌های بدنی منظم و بهبود کیفیت خواب از مهم‌ترین رویکردهای تعدیل‌کننده عملکرد محور HPA محسوب می‌شوند. تحقیقات نشان داده‌اند که مداخلات رفتاری و ذهن-بدن می‌توانند سطح کورتیزول را کاهش داده و پاسخ محور HPA را به حالت طبیعی بازگردانند (Ring, 2025). همچنین در مریضان مبتلا به اعتیاد، مشخص شده است که افزایش بیش‌ازحد کورتیزول در واکنش به استرس می‌تواند احتمال عود^۴ را افزایش دهد، در حالی که آموزش تکنیک‌های آرام‌سازی و کنترل استرس این خطر را کاهش می‌دهد (Kirschbaum & Hellhammer, 2022).

¹ Antagonists

² Antalarmin

³ Adrenocorticotrophic Hormone

⁴ Relapse

بنابراین، تلفیق درمان‌های دارویی با روش‌های رفتاری می‌تواند رویکردی جامع‌تر در مدیریت اختلالات مرتبط با محور HPA فراهم سازد.

۵.۳. روش‌های جدید تحقیقاتی (بیومارکرهای محور HPA در تشخیص و پیشگیری)

تحقیقات اخیر بر شناسایی بیومارکرهای محور HPA برای تشخیص زودهنگام، پیش‌بینی پاسخ درمان و پیشگیری از اختلالات روانی متمرکز گردیده‌اند. اندازه‌گیری سطوح CRH، ACTH و کورتیزول در مایعات بدن می‌تواند اطلاعات ارزشمندی در خصوص وضعیت عملکرد محور HPA و پاسخ به درمان فراهم نماید (Sibley et al., 2021). افزون بر این، مطالعات نشان داده‌اند که تغییرات اپی‌جنتیکی در جین‌های مرتبط با محور HPA مانند NR3C1 و CRHBP می‌توانند به عنوان نشانگرهای بیولوژیکی برای شناسایی افراد در معرض خطر افسردگی یا PTSD به کار روند (Peng et al., 2023). در مجموع، توسعه این بیومارکرها می‌تواند در آینده به ارتقای تشخیص زودهنگام و طراحی مداخلات پیشگیرانه هدفمند کمک کند.

نتیجه‌گیری

یافته‌های این مرور نشان می‌دهد که محور هایپوتالاموس-هایپوفیز-آدرینال (HPA) نه تنها یکی از اساسی‌ترین سیستم‌های تنظیم‌کننده پاسخ به استرس و حفظ هموستازی بدن است، بلکه نقش تعیین‌کننده‌ای در شکل‌گیری، تداوم و عود اعتیاد ایفا می‌کند. اختلال در عملکرد این محور، به‌ویژه در قالب افزایش یا کاهش غیرطبیعی ترشح کورتیزول، می‌تواند از طریق تأثیر بر مدارهای پاداش مغز و تعامل با سیستم‌های نیوروترانسمیتری مانند دوپامین و سروتونین، آسیب‌پذیری فرد نسبت به مصرف مواد و بازگشت مجدد به اعتیاد را افزایش دهد. این یافته‌ها نشان می‌دهد که اعتیاد صرفاً یک پدیده رفتاری یا اجتماعی نیست، بلکه دارای ریشه‌های عمیق روانی و فیزیولوژیکی مرتبط با تنظیم استرس است.

با وجود پیشرفت‌های قابل توجه در مطالعات بین‌المللی، خلاهای تحقیقی مهمی در این حوزه همچنان باقی است؛ از جمله کمبود جدی و در برخی موارد نبود تحقیق‌های نظام‌مند به زبان‌های فارسی و دری درباره نقش محور HPA در اعتیاد، فقدان مطالعات بومی و جمعیت‌محور، و محدود بودن تحقیقات طولی که بتوانند تغییرات عملکرد این محور را در مراحل مختلف وابستگی به مواد و ترک اعتیاد بررسی نمایند. این خلأها ضرورت انجام تحقیقات بومی، بین‌رشته‌ای و مبتنی بر شرایط اجتماعی-فرهنگی جوامع منطقه را برجسته می‌سازد.

از منظر کاربردی، نتایج این مطالعه تأکید می‌کند که سیاست‌گذاران صحتی، نهادهای مرتبط با درمان و پیشگیری از اعتیاد، و مراکز تصمیم‌گیرنده باید در طراحی برنامه‌های مداخله‌ای و بازتوانی، علاوه بر عوامل اجتماعی و اقتصادی، به نقش عوامل روانی و فیزیولوژیکی به‌ویژه اختلالات محور HPA در عود مجدد اعتیاد توجه ویژه نمایند. ادغام مداخلات تنظیم‌کننده استرس، ارزیابی‌های نیورواندوکراینی، و برنامه‌های درمانی روان-جسمی در سیاست‌های ملی مبارزه با اعتیاد می‌تواند گامی مؤثر در کاهش میزان بازگشت به مصرف مواد و ارتقای سلامت روان جامعه باشد.

منابع و مأخذ

فریدونی، محمد (۱۳۸۶). نقش محور هایپوتالاموس-هایپوفیز-آدرینال (HPA) در پاسخ‌های استرس‌زا و سازوکارهای سیگنالینگ. *مجله روان‌شناسی بالینی و شخصیت*، جلد ۴، ص ۲۹۱-۳۰۲.

سید جواد، لطف‌السادات (۱۴۰۴). بررسی اختلالات افسردگی مرتبط با استرس مزمن: تأثیر ناکارآمدی محور هایپوتالاموس-هایپوفیز-آدرینال (HPA) و التهاب عصبی بر هیپوکامپ. *یازدهمین کنفرانس بین‌المللی علوم تربیتی، روانشناسی، مشاوره، آموزش و تحقیق*.

Koob, G. F., & Schulkin, J. (2019). Addiction and stress: An allostatic view. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 106, 245–262.

Pariante, C. M., & Lightman, S. L. (2008). The HPA axis in major depression: Classical theories and new developments. *Trends in Neurosciences*, 31(9), 464–468.

Sinha, R. (2008). Chronic stress, drug use, and vulnerability to addiction. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1141, 105–130.

Smith, S. M., & Vale, W. W. (2006). The role of the hypothalamic–pituitary–adrenal axis in neuroendocrine responses to stress. *Dialogues in Clinical Neuroscience*, 8(4), 383–395.

Yehuda, R., Hoge, C. W., McFarlane, A. C., Vermetten, E., Lanius, R. A., Nievergelt, C. M., ... & Hyman, S. E. (2015). Post-traumatic stress disorder. *Nature Reviews Disease Primers*, 1(15057).

Charmandari, E., Tsigos, C., & Chrousos, G. (2005). Endocrinology of the stress response. *Annual Review of Physiology*, 67(1), 259–284. Jacobson, L. (2014). Hypothalamic–pituitary–adrenocortical axis regulation. *Endocrinology and Metabolism Clinics*, 43(1), 1–16.

- Lowry, C. A., et al. (2008). Serotonergic systems and the regulation of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1148, 70-86.
- McEwen, B. S. (2017). Neurobiological and systemic effects of chronic stress. *Trends in Neurosciences*, 40(4), 199-210.
- Piazza, P. V., & Le Moal, M. (1997). Glucocorticoids as a biological substrate of reward: Physiological and pathophysiological implications. *Brain Research Reviews*, 25(3), 359-372.
- Sapolsky, R. M., Romero, L. M., & Munck, A. U. (2000). How do glucocorticoids influence stress responses? *Endocrine Reviews*, 21(1),
- Davies, S., & Parsey, R. (2021). *The HPA axis as target for depression: Does it work? Advances in Psychiatric Treatment*.
- Hasler, G., van Gaalen, M. M., & Meyer, J. H. (2018). *Targeting hypothalamic-pituitary-adrenal axis hormones and sex steroids for improving cognition in major mood disorders and schizophrenia: A systematic review. Journal of Psychiatry & Neuroscience*, 43(4), 249-260.
- Chai, Y., Li, Q., Wang, Y., Tao, E., & Asakawa, T. (2022). The value of HPA axis hormones as biomarkers for screening and early diagnosis of postpartum depression: updated information about methodology. *Frontiers in Endocrinology*, 13, 916611.
- Peng, W., Chen, L., & Xu, Y. (2023). *The cortisol axis and psychiatric disorders: An updated review. Pharmacological Reports*, 75(2), 487-502.
- Ring, M. (2025). An integrative approach to HPA axis dysfunction: From recognition to recovery. *The American Journal of Medicine*.
- Sibley, L., Mollica, R., & Yehuda, R. (2021). *Genes and hormones of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis in post-traumatic stress disorder. Journal of Neural Transmission*, 128(10), 1279-1286.

بررسی محلل‌های سبز و کاربرد آن در استخراج نباتات دارویی

(مقاله علمی مروری)

نویسندگان: غلام محمد همدرد^۱ و سید محمد رامش^۲

۱. عضو رشته کیمیا، پوهنځی تعلیم و تربیه- پوهنتون دایکندی

۲. عضو رشته کیمیا، پوهنځی تعلیم و تربیه- پوهنتون دایکندی

ایمیل: ghulamhammadhammad20@gmail.com

چکیده

در این تحقیق بررسی محلل‌های سبز و کاربرد آن در استخراج نباتات دارویی مورد مطالعه قرار گرفته است. طوری که با افزایش توجه جهانی به حفظ محیط‌زیست و سلامت انسان، استفاده از محلل‌های سبز به عنوان جایگزینی ایمن و پایدار برای محلل‌های عضوی رایج در عملیه استخراج نباتات دارویی اهمیت قابل ملاحظه‌ی یافته است. در این تحقیق به بررسی روش‌های نوین استخراج ترکیبات مؤثر نباتات دارویی با استفاده از محلل‌های سبز مانند محلل‌های طبیعی از قبیل آب، ایتانول، گلیسرول و بعضی روغن‌های نباتی پرداخته شده است. این محلل‌ها با خصوصیات زیادی مانند سمیت کمتر، آسیب‌پذیری اندک در محیط، کاربردهای عملی این روش‌ها مورد بررسی، دریافت پذیری و محصول بالای استخراج، جایگاه خاصی در صنایع دواسازی، موادزینی، بخش‌های صحتی و غذایی دارند. در این مطالعه، مزایا، چالش‌ها و برجستگی‌ها عطف توجه قرار گرفته و نشان داده شده است که استفاده از محلل‌های سبز نه تنها موجب کاهش اثرات محیط زیست می‌شود، بلکه می‌تواند منجر به استخراج مؤثرتر ترکیبات فعال حیاتی گردد. نتایج این بررسی بر لزوم توسعه و بهتر سازی تکنالوژی استخراج سبز در جهت تولید پایدار محصولات نباتی تأکید دارد. این مقاله به بررسی انواع محلل‌های سبز، مزایا و معایب آن‌ها و مقایسه با روش‌های سنتی استخراج تأکید داشته و همچنین کاربردهای دارویی، غذایی و آرایشی ترکیبات استخراج شده با این روش‌ها مورد تحلیل قرار گرفته که برای محققان یک رهنمود مؤثر در راستای فراگیری مطالب بهتر سازی شناخت از محلل‌های سبز و مزایای آن می‌باشد.

کلمات کلیدی: نباتات دارویی؛ استخراج سبز؛ محلل‌های طبیعی؛ توسعه پایدار؛ ترکیبات فعال حیاتی.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مقدمه

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على أشرف الأنبياء والمرسلين.

اهمیت محلل‌های سبز در طب سنتی و معاصر، هم از لحاظ تاریخی- فرهنگی و هم از نظر علمی و طبی قابل بررسی است. در طب سنتی، نباتات دارویی که توسط محلل‌های محلل‌های سبز به دست می‌آیندند اساس اصلی تداوی بسیاری از بیماری‌ها بوده‌اند (Manisha et al. 2025). این نظام درمانی که در تمدن‌هایی چون چین، هند، ایران، افغانستان و مصر سابقه بلندی دارد، بر اساس طبیعت بدن و تعادل اخلاط (صفرا، سودا، بلغم و خون) استوار بوده و استفاده از نباتات که با استفاده از محلل‌های سبز تهیه می‌گردد برای بازگرداندن این تعادل اهمیت دارد. به عنوان مثال، در طب سنتی امروزه نباتاتی مانند گل گاوزبان، رازیانه، بادرنجبویه و شیرین بیان برای تداوی اضطراب، مشکلات سیستم هاضمه و التهابات داخلی استفاده می‌شود (Zargari 1991). همچنان در طب نوین نیز تحقیقات زیادی در مورد نباتات دارویی انجام شده است و بسیاری از داروهای مدرن از ترکیبات نباتی با استفاده از محلل‌های سبز استخراج شده‌اند. از سوی دیگر، بررسی اثرات محیط زیستی و اقتصادی این روش‌ها نیز نشان داد که استفاده از محلل‌های سبز ضمن کاهش خطرات محیط زیستی، هزینه‌های تجدید پذیر و کم خطر را نیز کاهش می‌دهد. این یافته‌ها تأیید می‌کنند که جایگزینی محلل‌های سنتی با محلل‌های سبز نه تنها کارایی استخراج را حفظ می‌کند یا بهبود می‌بخشد، بلکه با اصول کیمیای سبز و توسعه پایدار نیز هم گام است.

به طور مثال، ماده مؤثر آسپیرین (اسید سالیسیلیک $C_7H_6O_3$) ابتدا از پوست درخت بید سفید با استفاده از محلل سبز بنام ایتانول گرفته شده، و داروی ضد سرطانی تاکسول^۱ از درخت سرخدار به دست آمده است. امروزه، محلل‌های سبز با داشتن خطرات کم بالای محیط زیست و داشتن حالت تجدید پذیری به عنوان تقویت کننده سیستم ایمنی شناخته می‌شوند (Rates 2001).

به صورت عموم می‌توان گفت که استفاده از محلل‌های سبز^۲ به عنوان جایگزینی ایمن، زیست تخریب پذیر و غیر زهری برای محلل‌های عضوی رایج مانند هگزان (C_6H_{14})، کلوروفارم

¹ Taxol

² Green Solvents

(CHCl₃)، یا میتانول (CH₃OH) نیز به یکی از ارکان اصلی در استخراج ترکیبات فعال (اثربخش) نباتات دارویی تبدیل شده است.

بیان مسئله

با رشد روزافزون تقاضا برای محصولات طبیعی و دارویی، استفاده از محلول‌های سبز به عنوان منابع مؤثر و پایدار ترکیبات فعال حیاتی مورد توجه ویژه قرار گرفته است. استخراج این ترکیبات، گام کلیدی در بهره‌برداری از خواص درمانی نباتات به شمار می‌رود. روش‌های استخراج سنتی که عمدتاً مبتنی بر استفاده از حل‌کننده‌های عضوی مانند میتانول (CH₃OH)، هگزان (C₆H₁₄) و کلروفرم (CHCl₃) هستند، به دلیل زهریت بالا، خطرات محیط زیستی، و پایداری پایین، دیگر با اصول توسعه پایدار در تطابق نیستند. این مسئله، نیاز به جایگزینی این حل‌کننده با محلول‌های سبز که کم‌خطرتر در تخریب محیط زیست و کارآمدتر هستند را برجسته می‌کند (Hessel et al. 2022).

محلول‌های سبز مانند محلول‌های طبیعی (ایتانول حیاتی، گلیسرول)، مایعات آیونی، محلول‌های عمقی یوتکتیک^۱ و کاربن دای اکساید فوق بحرانی، به عنوان جایگزین‌های پایدار معرفی شده‌اند. با این حال، چالش‌هایی مانند انتخاب محلول مناسب بر اساس نوع ترکیبات نباتی، بهتر سازی شرایط استخراج، کارایی بازیابی ترکیبات فعال، و مقایسه عملکرد با روش‌های سنتی، هنوز به طور کامل مورد بررسی سیستماتیک قرار نگرفته‌اند (Hessel et al. 2022).

در نتیجه، ضرورت دارد تا با انجام یک مرور نظام‌مند از تحقیقات مروری موجود، ضمن بررسی انواع محلول‌های سبز، عملکرد آن‌ها در استخراج مؤثر ترکیبات نباتات دارویی ارزیابی شده و کاربردهای عملی آن‌ها در صنایع دواسازی، غذایی، مواد زینتی و بخش‌های صحتی تبیین گردد. این بررسی می‌تواند راه‌گشای محققین و صنعتگران در انتخاب و شناخت بهتر محلول‌های سبز مؤثر باشد و گامی در راستای توسعه تکنالوژی‌های سبز در دواسازی‌های نباتی فراهم آورد. (آقائی et al. 2022)

سؤالات تحقیق

الف: چه نوع محلول‌های سبز بیشترین محصول استخراج ترکیبات مؤثر نباتات دارویی را دارند و چه عواملی بر این محصول تأثیر می‌گذارد؟

¹ DESs (Deep Eutectic Solvents)

ب: استفاده از محلول‌های سبز چه تأثیری بر خواص درمانی و پایداری ترکیبات استخراج شده از نباتات دارویی دارد؟

اهداف تحقیق

- ۱- شناسایی و معرفی انواع محلول‌های سبز مورد استفاده در جریان استخراج ترکیبات موثر نباتات دارویی و بررسی ویژه گیهای کیمیاوی و محیط زیستی.
- ۲- ارزیابی کارایی محلول‌های سبز در استخراج ترکیبات فعال حیاتی از نباتات دارویی و مقایسه محصول استخراج آن‌ها با محلول‌های متداول کیمیاوی.
- ۳- بررسی ویژه گیها، محدودیت‌ها و پیامدهای محیط زیستی، استفاده از محلول‌های سبز در صنعت دواسازی و توسعه روش‌های پایدار.

پیشینه تحقیق

در دهه‌های اخیر، استفاده از نباتات دارویی به‌عنوان منبع طبیعی، امن و مؤثر برای تولید ترکیبات دارویی، آرایشی و غذایی، رشد چشمگیری یافته است. ترکیبات دارنده اثر مثبت موجود در نباتات دارویی مانند آلکالوئیدها، فلاونوئیدها، ترپنوئیدها و فینول‌ها، نقش اساسی در درمان بیماری‌ها و حفظ سلامت ایفا می‌کنند (Mehrnia and Hosseini 2024). با این حال، استخراج این ترکیبات نیازمند روش‌هایی مؤثر و سازگار با سلامت انسان و محیط زیست است. روش‌های سنتی استخراج که اغلب مبتنی بر حل‌کننده‌های عضوی مانند کلروفرم (CHCl_3)، هگزان (C_6H_{14}) و میتانول (CH_3OH) هستند، با مشکلاتی چون زهریت، خطرات محیط زیستی، هزینه بالا و کاهش کیفیت محصول همراه‌اند. (دادی، منش، و الهی ۲۰۲۴)

در پاسخ به این چالش‌ها، در سال‌های اخیر توجه زیادی به استخراج سبز^۱ جلب شده است. استخراج با استفاده از محلول‌های سبز مانند ایتانول حیاتی، آب فوق بحرانی (آبی که مرز مشخص بین حالت مایع و گاز وجود ندارد)، محلول‌های آیونی^۲ و مایعات آیونی عمیق (deep eutectic solvents) به‌عنوان جایگزینی پایدار و کم‌خطر برای روش‌های متداول مطرح شده‌اند. مطالعات متعددی نشان داده‌اند که این محلول‌ها می‌توانند محصول استخراج را بهبود بخشیده، ساختار ترکیبات فعال حیاتی را حفظ کرده و اثرات زیست‌محیطی را کاهش دهند. برای مثال، تحقیقات در اروپا و آسیا به بررسی محصول عصاره‌گیری از نباتاتی مانند زردچوبه، زنجبیل، رزماری و بابونه

¹ Green Extraction

² Ionic liquids

با استفاده از محلول‌های سبز حیاتی پرداخته‌اند و نتایج امیدوارکننده‌ای را گزارش کرده‌اند (Zareinejad n.d.).

با وجود پیشرفت‌های انجام‌شده، هنوز چالش‌هایی مانند به‌ترسازی شرایط استخراج، تعیین ایمنی بلندمدت محلول‌های جدید و ارزیابی اقتصادی و صنعتی‌سازی این روش‌ها وجود دارد. از این رو، تحقیق حاضر با تمرکز بر بررسی جامعی از نباتات دارویی منتخب، معرفی و ارزیابی محلول‌های سبز در عملیه استخراج و تحلیل کاربردهای عصاره‌های حاصل در صنایع گوناگون، درصدد پر کردن خلأهای موجود در ادبیات علمی و ارائه چشم‌اندازی نوین برای توسعه پایدار در این حوزه است.

روش تحقیق

جمع‌آوری این اطلاعات به روش کتابخانه‌ای بوده که از نوع تحلیلی توصیفی بهره‌گیری شده است. اطلاعات جمع‌آوری‌شده از منابع معتبر علمی، کتب جدید، مقالات علمی به‌روز و نشریه‌های معتبر بوده، در صورت نیاز از سایت‌های اینترنتی نیز اطلاعات جمع‌آوری گردیده است.

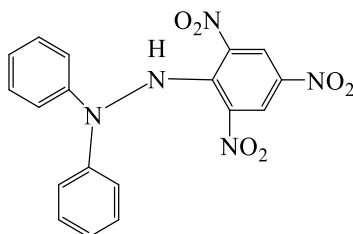
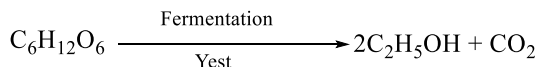
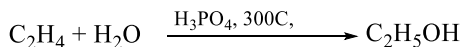
یافته‌های تحقیق

نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که استفاده از محلول‌های سبز مانند آب (H_2O)، ایتانول (CH_3-CH_2-OH)، گلیسرول ($C_3H_8O_3$) و بعضی روغن‌های نباتی به‌عنوان جایگزین‌های مطمئن و قابلیت و قابلیت تجزیه پذیری را نسبت به محلول‌های عضوی متداول مانند هگزان (C_6H_{14}) یا کلروفرم ($CHCl_3$) موجب افزایش استخراج ترکیبات آرام‌بخش نباتات دارویی می‌گردد. بررسی‌های طیف‌سنجی^۱ و کروماتوگرافی بر روی محصولات به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که محلول‌های سبز، به‌ویژه ایتانول با خلوص بالا، قابلیت استخراج بالاتری از ترکیبات فینولی، فلاونوئیدها و آلکالوئیدهای فعال حیاتی را دارند (Rajabiyan, Bakhshi, and Hosseini 2025). مقایسه کمی محصولات استخراج‌شده از نباتات منتخب (مانند نعناع، آویشن و رزماری) نشان داد که استخراج با محلول‌های سبز منجر به افزایش غلظت ترکیبات انتی‌اکسیدانتی تا ۳۰٪ در مقایسه با روش‌های سنتی گردیده است. همچنین، آزمایش‌های فعالیت حیاتی (از جمله آزمون^۲ برای سنجش فعالیت انتی‌اکسیدانتی و آزمون^۳ برای بررسی خاصیت ضد میکروبی) (نشان داده که محصولات به‌دست‌آمده با محلول‌های سبز، دارای فعالیت حیاتی قابل توجه و مؤثر می‌باشند.

^۱ FTIR (Fourier Transform Infrared Radical)

^۲ DPPH(2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl)

^۳ MIC (Minimum Inhibitory Concentration)



1,1-diphenyl-2-(2,4,6-trinitrophenyl)hydrazine
Or DPPH(2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl)

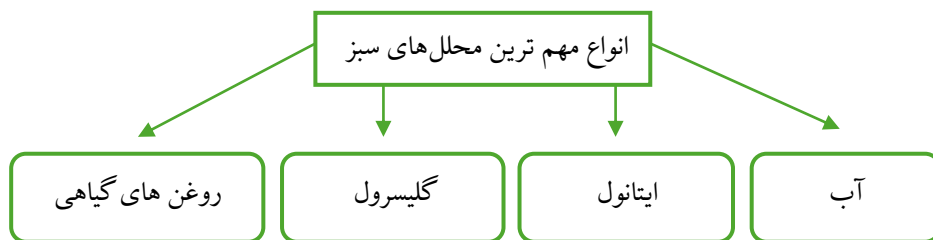
طرح ۱: بیان‌کننده نحوه‌ای استحصال یک محلول سبز (ایتانول) از منابع مختلف است.

از سوی دیگر، بررسی اثرات محیط زیستی و اقتصادی این روش‌ها نیز نشان داد که استفاده از محلول‌های سبز ضمن کاهش خطرات محیط زیستی، هزینه‌های تجدید پذیر و کم‌خطر را نیز کاهش می‌دهد. این یافته‌ها تأیید می‌کنند که جایگزینی محلول‌های سنتی با محلول‌های سبز نه تنها کارایی استخراج را حفظ می‌کند یا بهبود می‌بخشد، بلکه با اصول شیمیای سبز و توسعه پایدار نیز هم‌گام است.

محلول‌های سبز

محلول‌های سبز به محلول‌های گفته می‌شود که در مقایسه با محلول‌های عضوی سنتی (مانند هگزان، کلروفرم یا اسیتون)، کم‌خطرتر برای سلامت انسان، تجزیه‌پذیرتر در محیط زیست، غیرسمی، و پایدارتر از نظر چرخه حیات هستند. این حل‌کننده‌ها یکی از اجزای اصلی در شیمیای سبز محسوب می‌شوند و نقش حیاتی در کاهش آلودگی و بقایای خطرناک ایفا می‌کنند. علاوه بر آن می‌توان از ویژگی‌های دیگری این نوع محلول‌ها مانند قابل تجدید پذیر بودن و اقتصادی بودن آن نیز یادآوری نمود (López-López and Ortega 2025).

¹ Green chemistry



آب

آب به عنوان ساده ترین، فراوان ترین و سبزترین محلول شناخته می شود که در بسیاری از تعاملات، پروسه های صنعتی، حیاتی و کیمیاوی قابل استفاده است. به دلیل ویژگی های محیط زیستی مطلوب، امروزه آب یکی از پایه های اصلی کیمیای سبز محسوب می شود. بدلیل اینکه این محلول برای انسان ها و محیط زیست بی خطر اند، فشار بخار نسبتاً پایین دارد و بخارات زهری تولید نمی کنند. همچنان آب فراوان ترین محلول روی زمین است که در حرارت های مختلف پایدار است. و قابلیت حل کردن بسیاری از ترکیبات آبیونی و قطبی را نیز به خود دارد (Zhou, Hearne, and Li 2019).

تعاملات بسیاری از ترکیبات عضوی حتی با انحلالیت کم، در آب با محصول بالا انجام می گیرند که بسیاری از تعاملات کتلستی مانند^۱ در آب انجام می گیرد.



علاوه بر آن در محیط های تعامل انزایمی و حیاتی در آب عملکرد طبیعی دارند و این باعث افزایش محصول و انتخاب پذیری تعامل می شود. عملیه استخراج سبز در ترکیبات نباتی مانند اسانس ها (نباتات عطری) و انتی اکسیدانت ها با آب به جای محلول های عضوی فعالیت می کنند. اضافه بر این موارد، آب فوق داغ یا زیر بحرانی^۲ در حرارت های بالاتر از ۱۰۰ °C و فشار بالا، خواص آب تغییر می کند و می تواند محلول بسیار قوی تری برای ترکیبات عضوی باشد (Rideout and Breslow 1980).

^۱ Suzuki, Heck reaction

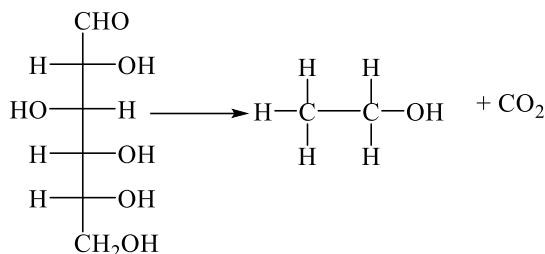
^۲ Subcritical Water

ایتانول ایتانول (C_2H_5OH) یکی از مهم ترین و پرکاربردترین محلول های حیاتی و سبز است که به دلیل ویژگی های خاص فیزیکی و محیط زیستی خود، در صنایع کیمیاوی، دواسازی، غذایی و بیوتکنالوژی جایگاه ویژه ای یافته است. این ترکیب می تواند جایگزین محلول های عضوی زهری مانند میتانول (CH_3OH)، کلروفرام ($CHCl_3$) و تولوئن (C_6H_5-OH) شود (Rates 2001).

از ویژگی های ایتانول می توان به دلیل تجزیه آن در طبیعت به شکل آسان تر، نسبت به محلول های عضوی کم خطرتر، جداسازی در عملیه تقطیر و انعطاف پذیری بالای آن در تعاملات کیمیاوی یادآوری نمود. ایتانول می تواند از دو منبع اصلی تأمین شود:

۱- منابع حیاتی (Bioethanol)

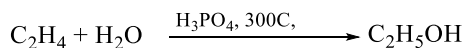
تخمیر گلوکوز حاصل از ذرات، نیشکر، چغندر، قند، و زیست توده (انرژی ذخیره شده در مواد عضوی) که منابع تجدیدپذیر بوده و نیز، دوستدار محیط زیست اند که معادله کیمیاوی آن قرار ذیل اند.



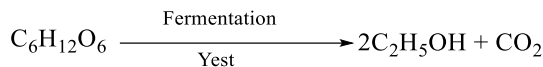
طرح ۲: نحوه ترکیب محلول سبز (ایتانول) از مرکب گلوکوز

۲- منابع کیمیاوی نفتی (Petrochemical Source)

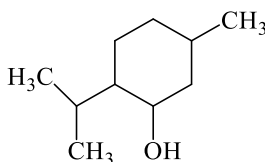
الف: هایدریشن ایتلین (از نفت یا گاز).



ب: منابع فسیلی (کمتر سبز در مقایسه با نوع حیاتی).



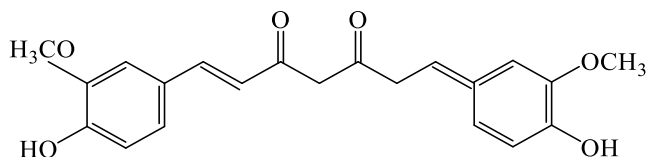
کاربردهای ایتانول به عنوان محلل سبز؛ در زمینه‌های تعاملات ایستری، ترکیبات نانوذرات کیمیای عضوی، استخراج ترکیبات فعال، حل کردن مواد طبی در دوا سازی، استخراج طعم‌دهنده‌ها و آنتی‌اکسیدانت‌های نباتی کاربرد زیادی دارند. به طور مثال در گیاه نعناع، ماده‌ی که اثر طبی دارند، منتول است که اثر خنک‌کننده و ضد درد دارد.



Mentol(2-Isopropyl-5-methylcyclohexanol)

طرح ۳: نشان‌دهنده مرکب منتول در ترکیب گیاه نعناع موجود اند

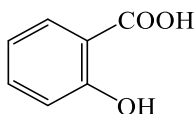
در زردچوبه، ماده‌ی مؤثره کورکومین است که خاصیت ضدالتهاب و آنتی‌اکسیدانی دارد.



Curcumin(1,7-bis(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-1,6-heptadiene-3,5-dione)

طرح ۴: نمایش دهنده فورمول ساختمانی کورکومین است که خاصیت ضدالتهابی دارد

در قرص آسپرین، ماده‌ی مؤثره اسید استیل سالیسیلیک است که اثر ضد درد و ضدالتهاب دارد.



Salsalic acid(2-hydroxy benzoicacid)

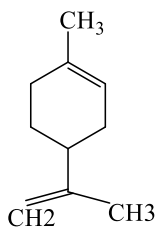
طرح ۵: نمایش ساختمان مالیکولی مرکب سالیسیلیک اسید که ضد درد و التهاب اند

گلیسرول (Glycerol)

گلیسرول^۱ یکی از حل کننده های سبز^۲ مهم محسوب می شود که در سال های اخیر توجه زیادی در کیمیای سبز^۳ به خود جلب کرده است. گلیسرول به دلیل منشأ حیاتی، غیر زهری بودن، بی ضرر بودن در محیط زیست، پایداری بالا و توان حل کنندگی خوب، یک محلول سبز ایده آل محسوب می شود.

ویژگی های گلیسرول که آن را به حلال سبز تبدیل می کند زیاد بوده قرار ذیل اند؛

۱- کم خطر و غیر سمی بودن در محیط زیست؛ گلیسرول غیر سمی بوده و تجزیه پذیر حیاتی است، در نتیجه خطر کمی برای محیط زیست و انسان دارد. یعنی ماده است که قابلیت برگشتن به طبیعت بدون آسیب، از طریق تجزیه ی زیستی به مواد ساده و بی ضرر را دارند (Shanab, Neudorfer, and Spreitzer 2016).



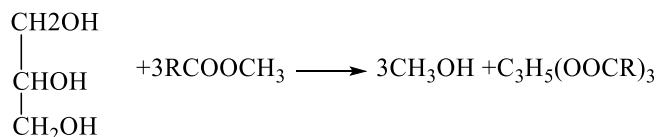
1-methyl-4-(prop-1-en-2-yl)cyclohex-1-ene compound with λ^2 -methane and λ^3 -methane (1:1:1)

۲- منبع تجدید پذیر؛ به عنوان محصول جانبی اصلی در تولید بیودیزل (Biodiesel)، گلیسرول یک منبع فراوان و ارزان از مواد حیاتی است. گلیسرول یک محلول سبز و زیست تخریب پذیر است که از منبع تجدید پذیر (روغن های گیاهی) به دست می آید و در نتیجه هم از نظر زیست محیطی پایدار است و هم از نظر اقتصادی مقرون به صرفه (Mota, Pinto, and De Lima 2017).

¹ Glycerol

² Green Solvents

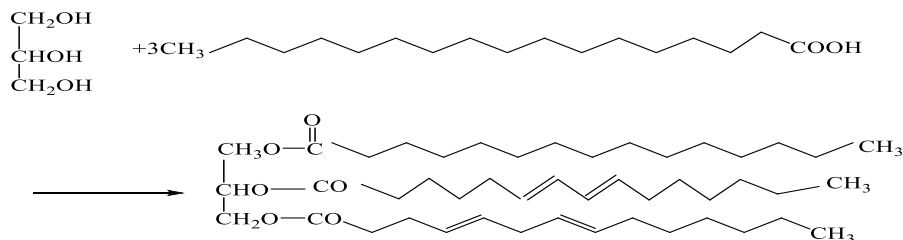
³ Green Chemistry



۳- توانایی حل ترکیبات قطبی و آیونی؛ گلیسرول می‌تواند در بسیاری از تعاملات شیمیایی جایگزین محلول‌های عضوی زهری مانند^۱DMF،^۲DMSO، یا^۳NMP شود، به‌ویژه در ترکیبات کتلتی گلیسرول به‌عنوان یک محلول سبز، حیاتی و چندمنظوره می‌تواند در بسیاری از تعاملات جایگزین محلول‌های زهری که ذکر گردید شود. این جایگزینی به بهبود ایمنی لابراتواری، کاهش هزینه‌ها، و حفاظت از محیط زیست کمک می‌کند — بدون آنکه محصول تعامل کاهش یابد (Wong and Dolzhenko 2024).

روغن‌های نباتی به‌عنوان محلول سبز

روغن‌های نباتی^۴ یکی از محلول‌های سبز نوظهور در شیمیای سبز محسوب می‌شوند. این روغن‌ها به‌ویژه در شیمیای عضوی، نانوکتلت‌ها، و صنایع دواسازی به‌عنوان جایگزینی برای محلول‌های عضوی سمی کاربرد یافته‌اند. روغن‌های نباتی، ترکیبات طبیعی هستند که عمدتاً از برای گلیسریدها (Triglycerides) تشکیل شده‌اند؛ یعنی استرهای از گلیسرول و اسیدهای شحمی این ساختار باعث می‌شود.



Soybean oil(1,2,3-tri[(9Z,12Z)-octadeca-9,12-dienoyl] glycerol)

طرح ۶: ساختمان مالیکولی روغن سویا که به‌عنوان محلول سبز استفاده می‌شود

^۱ Dimethylformamide

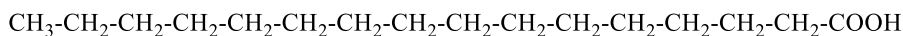
^۲ Dimethyl sulfoxide

^۳ N-Methyl-2-pyrrolidone

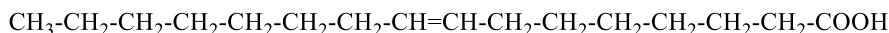
^۴ Vegetable Oils

۱-حیات سازگاری (Biocompatibility)

روغن‌های نباتی از آن‌جا که منشأ طبیعی و عضوی دارند، در تماس با حجرات زنده معمولاً فاقد زهریت برای انسان و محیط زیست هستند که منبع طبیعی و تجدید پذیر دارند (مانند دانه‌های آفتابگردان، سویا، کلزا، نارگیل و...). حیات سازگاری به توانایی یک ماده برای تعامل با سیستم‌های زنده (بدن انسان، حیوانات یا سلول‌ها) بدون ایجاد اثرات زهری، تحریکی یا حساسیتی گفته می‌شود به دلیل اینکه اکثر ترکیبات آن مشابه به شحمیات طبیعی بدن انسان است و هم‌چنان در تماس با پوست بدن، Ph و ساختار حجراتی بدن را تغییر نمی‌دهند (Farooq and Ngaini 2024).



Saturated model

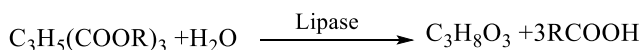


Unsaturated model

طرح ۷: نشان‌دهنده ساختمان مالیکولی یک تیزاب شحمی مشبوع و غیر مشبوع است

۲. تجزیه پذیری حیاتی (Biodegradability)

تجزیه پذیری حیاتی به توانایی یک ماده برای تجزیه شدن به ترکیبات ساده تر (مثل آب، کاربن دی اکساید و مواد که ریشه عضوی دارند) توسط میکرو ارگانیسم‌ها، انزایم‌ها یا شرایط طبیعی محیط زیست گفته می‌شوند که در نتیجه آن کاهش آلودگی آب و خاک، جلوگیری از آسیب به سیستم‌ها و موجودات آبی و پایداری محیط در فعالیتهای صنعتی اتفاق می‌افتد.



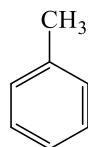
تحقیقات نشان داده‌اند که روغن‌های نباتی مانند روغن سویا، آفتاب گردان و نخل در شرایط طبیعی طی ۳۰ تا ۹۰ روز تا بیش از ۸۰٪ تجزیه می‌شوند، در حالی که محلول‌های نفتی ممکن است سال‌ها در محیط باقی بمانند (Farooq and Ngaini 2024).

۳- فشار بخار بسیار پایین (Low Volatility / Low Vapor Pressure)

روغن‌های نباتی که امروزه به حیث محلول سبز استفاده می‌گردد برخلاف محلول‌های عضوی مانند تالوین و بنزین به آسانی تبخیر نگردیده و باعث کاهش انتشار ترکیبات عضوی مفر VOC¹ و آلودگی

¹ Volatile Organic Compounds

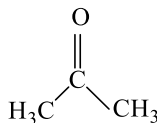
هوا می‌شوند. کار با روغن‌های نباتی کم‌خطرتر است، زیرا احتمال استنشاق بخارات سمی و زهری وجود ندارد (Farooq and Ngaini 2024).



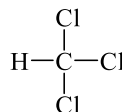
Toluene



Benzene



Acetone



Chloroform

طرح ۸: نمونه‌های از VOC های که کمتر باعث آلودگی هوا می‌شود

نتیجه‌گیری

محلل‌ها بخش مهمی از عملکردهای محیط‌زیستی و عملکردها در صنایع کیمیاوی را شامل می‌شوند همچنین در مسائل مربوط به هزینه، جلوگیری از خطرات محیط‌زیستی و بخش‌های صحی نیز حائز اهمیت‌اند. به‌منظور کاهش آلوده‌کنندگی در محیط زیست، کاهش ضایعات حاصل از تعاملات کیمیاوی، محلل‌های زهری خطرناک و اشتعال‌پذیر، ایده محلل‌سبز با به حداقل رساندن اثرات محیط زیستی ناشی از استفاده از محلل و جایگزینی برای محلل‌های عضوی در تولید مواد کیمیاوی مدنظر قرار می‌گیرد. در اینجا این سؤال مطرح می‌شود که سبز بودن محلل چگونه اندازه‌گیری می‌شود، استفاده از محلل‌های زهری و آتش‌گیر از مهم‌ترین مسائل مخاطره‌آمیز در صنایع کیمیاوی است. در ضمن، ورود این محلل‌ها به محیط زیست باعث ایجاد آلوده‌کننده‌های مضر می‌شود و طبیعتاً هزینه‌های هنگفتی صرف کنترل آن‌ها خواهد شد. به‌طور کلی مشکلات ناشی از جداسازی محلل‌ها از محصولات، محصولات کامل این محلل‌ها و مخاطرات محیط زیستی از جمله عواملی هستند که توجه محققان را به سمت استفاده از محلل‌های سبز معطوف می‌کند. با توجه به اهمیت موضوع و همگام با تکنالوژی‌های روز دنیا، محققان موفق به ساخت محلل‌های سبز زیادی شدند که مهم‌ترین آن عبارت از آب، ایتانول، گلیسرین، و روغن‌های نباتی می‌باشند. چهارچوب جامعی برای ارزیابی محیط زیست و اثرات محلل‌ها در تولید مواد کیمیاوی، وجود دارد که مسائل مربوط به سلامتی و ایمنی را نیز پوشش می‌دهد. نتایج

نشان می‌دهد که الکل‌های ساده مانند میتانول (CH_3OH)، ایتانول ($\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{OH}$) ویا الکان‌ها مانند هپتان (C_7H_{16}) و هگزان (C_6H_{14}) سازگار با محیط زیست هستند، در حالی که استفاده از دای اکسان ($\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$)، اسیتونایتیل (C_2NH_3)، تیزاب‌های عضوی، فورمالیدها و تتراهایدرو فوران هاتوصیه نمی‌شود. از دیدگاه محیط زیستی، علاوه بر این یک مطالعه موردی برای ارزیابی‌های مختلف آب-الکول و یا الکول خالص برای سلفولیز پارا متوکسی بنزویل کلوراید ارائه شده است. نتایج حاصله از این مشاهده نشان می‌دهد مخلوط میتانول- آب و یا ایتانول- آب نسبت به الکول خالص سازگار با محیط زیست می‌باشند. این کاربرد نشان می‌دهد چهارچوب ارائه شده یک ابزار مفید برای انتخاب محلل سبز و یا سازگار با محیط زیست می‌باشد.

پیشنهادهای

۱- توسعه محلل‌های سبز با منشأ طبیعی؛ پیشنهاد می‌شود تحقیقات آینده بر ترکیب و بررسی عملکرد محلل‌های سبز با منشأ طبیعی و حیاتی متمرکز شوند. زیرا استفاده از ترکیباتی چون قندها، تیزاب‌های عضوی، و استرهای گیاهی می‌تواند جایگزین مناسبی برای محلل‌های نفتی و زهری در پروسه‌های کیمیاوی باشد.

۲- ایجاد نمونه‌ها و شاخص‌های کمی در ارزیابی سبز بودن محلل؛ لازم است چارچوب‌ها و نرم‌افزارهای تحلیلی جدیدی برای ارزیابی کمی اثرات محیط زیستی محلل‌ها طراحی شوند. این مدل‌ها می‌توانند شاخص‌های چون زهریت، پایداری، قابلیت تجدید پذیری و اندازه انرژی مصرفی را در برگیرند تا انتخاب محلل‌ها بر مبنای معیارهای علمی و حیات پایدار انجام شود.

۳- کاربرد محلل‌های سبز در مقیاس صنعتی؛ بیشتر مطالعات موجود در سطح لابراتواری انجام شده‌اند؛ از این رو، پیشنهاد می‌شود کاربرد و پایداری محلل‌های سبز در مقیاس صنعتی مورد بررسی قرار گیرد. ارزیابی عملکرد این محلل‌ها در شرایط واقعی تولید صنعتی می‌تواند میزان صرفه‌جویی اقتصادی، ایمنی و محصول پروسه‌ها را به‌طور دقیق‌تر مشخص سازد.

Reference

Farooq, Saba, and Zainab Ngaini.(2024). "Introduction to Vegetable Oils." In *Vegetable Oil-Based Composites: Processing, Properties and Applications*, Springer, 1–20.

- Hessel, Volker, Nam Nghiep Tran, Mahdieh Razi Asrami, Quy Don Tran, Nguyen Van Duc Long, Marc Escribà-Gelonch, Jose Osorio Tejada, Steffen Linke, and Kai Sundmacher.(2022). "Sustainability of Green Solvents--Review and Perspective." *Green Chemistry* 24(2): 410–37.
- López-López, Edgar, and Laura Sof\`ia Castillo Ortega.(2025). "Comparative Analysis of Extraction Methods for Bioactive Compounds in Aromatic and Medicinal Plants." *Agroindustrial Science* 14(3): 323–29.
- Manisha, Dr Ram Babu, A Maajitha Begam, Kavita Shakya Chahal, and Mr Akshay Ashok.(2025). "Medicinal Plants and Traditional Uses and Modern Applications." *Journal of Neonatal Surgery* 14(3).
- Mehrnia, Mohammad, and Zahra Hosseini. 2024. "Ethnobotanical Study of Native Medicinal Plants of Bluman Region (Lorestan)." *Research in Ethnobiology and Conservation* 1(4): 1–21.
- Mota, Claudio J A, B Peres Pinto, and Ana Lúcia De Lima.(2017). "Glycerol." *Cham: Springer*: 11–19.
- Rajabiyan, Ali, Danial Bakhshi, and Seyed Abolfazl Hosseini.(2025). "A Methodological Review of Extraction, Purification, and Identification Techniques for Natural Bioactive Compounds." *Organic Process Research \& Development* 29(8): 1885–1915.
- Rates, Stela Maria Kuze. 2001. "Plants as Source of Drugs." *Toxicon* 39(5): 603–13.
- Rideout, Darryl C, and Ronald Breslow. 1980. "Hydrophobic Acceleration of Diels-Alder Reactions." *Journal of the American Chemical Society* 102(26): 7816–17.

Shanab, Karem, Catharina Neudorfer, and Helmut Spreitzer.(2016)\. "Green Solvents in Organic Synthesis: An Overview II." *Current Organic Chemistry* 20(15): 1576–83.

Wong, Sheryn, and Anton V Dolzhenko.(2024). "Synthesis of Heterocyclic Compounds under Microwave Irradiation Using Name Reactions." *Green Chemical Synthesis with Microwaves and Ultrasound*: 157–84.

Zareinejad, Mohsen.

Zargari, A. 1991. "Medicinal Plants Tehran University Publication." *Volume II*.

Zhou, Feng, Zoe Hearne, and Chao-Jun Li. 2019. "Water—the Greenest Solvent Overall." *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry* 18: 118–23.

آقائی, شهابی وند, صالح, اطهاری و صیری. (۲۰۲۲) "تأثیر محلول پاشی روی و نانوذره روی بر رشد, رنگیزه های فتوسنتزی و ترکیبات اسانس ریحان سبز." *مجله تحقیقات گیاهی (مجله زیست شناسی ایران)* (علمی) ۳۵(۲): ۲۳۳–۴۵.

دادی, اله, لطیف منش و نجات الهی. (۲۰۲۴). "ارزیابی جنبه های استفاده از پولیمیرها در کشاورزی پایدار." *فصلنامه آماد و فناوری دفاعی* ۷(۲): ۴۷–۸۴.

بررسی انواع گراف های تتریشن (مقاله علمی-مروری)

جمعه خان واشق

رشته کیمیا، پوهنهی تعلیم و تربیه، پوهنتون دایکندی

ایمیل آدرس: jumakhan.wasiq33@gmail.com

خلاصه

انواع گراف های تتریشن یک مسئله مهم است. گراف های تتریشن برای جلوگیری از اشتباهات و بالا بردن دقت برای به دست آوردن غلظت تیزاب ها یا القلی ها مورد استفاده قرار می گیرد و تحول pH را در جریان عملیات تتریشن نشان می دهد. گراف تتریشن عبارت از ارائه نمودن تغییرات گرافیکی pH محلول در صورت علاوه نمودن محلول استاندارد بالای مقدار معین محلول مورد آزمایش. و یا به عبارت دیگر، در عملیه تتریشن تیزاب و قلیوی تتر شونده یا محلول مورد آزمایش می باشد، غلظت آیون های هایدروجن تغییر می کند این تغییر می تواند، به صورت گراف به شکل منحنی تتریشن که در کمیات وضعیه ارائه می شود؛ گراف تتریشن برای چهار عملیه مهم ترسیم می گردد که اولی آن تیزاب های قوی با القلی های قوی می باشد؛ که به خوبی انفکاک گردیده در محلول آبی خود نمک را می سازد. دومی تتریشن قلیوی های ضعیف با تیزاب های قوی است که قلیوی به خوبی انفکاک نمی شود که طول گراف آن نسبت به تیزاب قوی با القلی قوی کوتاه می باشد. سوم تیزاب ضعیف با القلی قوی تتریشن گردیده که تیزاب به خوبی انفکاک نشده و نقطه تعادل آن در محیط کمی القلی صورت می گیرد. چهارم تیزاب ضعیف با القلی ضعیف آن که هر دو به خوبی انفکاک نگردیده که طول گراف آن کوتاه، مقدار pH آن تقریباً ثابت است. و هدف این تحقیق بررسی انواع گراف های تتریشن برای تعیین مقدار تیزاب و القلی در محلول ها و ردیابی پیشرفت تعامل است. این تحقیق به روش کتابخانه ای انجام گرفته و اطلاعات آن جمع آوری شده است.

کلمات کلیدی: القلی؛ انفکاک؛ تتریشن؛ تیزاب؛ pH.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مقدمه

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على أشرف الأنبياء والمرسلين.

به صورت عموم دو نوع گراف داریم که هردو گراف نقطه پایان تیتريشن را نشان می دهد. گراف تیتريشن برای چهار عملیه مهم ترسیم می گردد که اولی آن تیزاب های قوی با القلی های قوی می باشد؛ که به خوبی انفکاک گردیده در محلول آبی خود نمک را می سازد. (Defne & Mercan, 2019)

دومی تیتريشن قلوی های ضعیف با تیزاب های قوی است که قلوی به خوبی انفکاک نمی شود که طول گراف آن نسبت به تیزاب قوی با القلی قوی کوتاه می باشد. (Defne & Mercan, 2019) سوم تیزاب ضعیف با القلی قوی تیتريشن گردیده که تیزاب به خوبی انفکاک نشده و نقطه تعادل آن در محیط کمی القلی صورت می گیرد چهارم تیزاب ضعیف با القلی ضعیف آن که هر دو به خوبی انفکاک نگردیده که طول گراف آن کوتاه، مقدار pH آن تقریباً ثابت است.

مواد و روش کار

برای نگارش این مقاله علمی از روش توصیفی و کتابخانه ای (مروری) استفاده شده است، مواد و وسایل کار عبارت اند از قلم، کاغذ، کتاب ها و مقالات معتبر بین المللی.

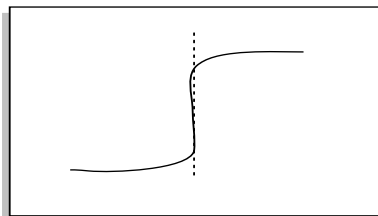
گراف تیتريشن

گراف تیتريشن عبارت از ارائه نمودن تغییرات گرافیکی pH محلول در صورت علاوه نمودن محلول استاندارد بالای مقدار معین محلول مورد آزمایش. و یا به عبارت دیگر، در عملیه تیتريشن تیزاب و قلوی تیتري شونده یا محلول مورد آزمایش می باشد، غلظت آیون های هایدروجن تغییر می کند این تغییر می تواند، به صورت گراف به شکل منحنی تیتريشن که در کمیات وضعیه ارائه می شود؛ و برای مطالعه گراف های تیتريشن ارائه عملیه دو تیتريشن که عبارت از تیتريشن اسید با قلوی است باید صورت گیرد. برای اینکه نقطه پایانی تیتريشن و تغییر رنگ اندیکاتورها را بدانیم و از اشتباهات جلوگیری کرده باشیم ما گراف تیتريشن را رسم می نمایم تا بتوانیم در تحقیقات خود در لایه اتوار به یک نتیجه مطلوب دست یابیم.

انواع گراف تیتريشن

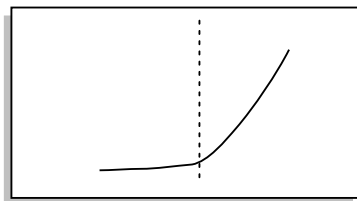
به صورت عموم دو نوع گراف داریم که هردو گراف نقطه پایان تیتريشن را نشان می‌دهد. نوع اول: این گراف بنام گراف S شکل نامیده می‌شود که گفته شده است این گراف از نظر سرعت و سهولت دارای برتری زیادی می‌باشد و مشاهدات مهم این گراف در ناحیه کوچک $(\pm 0.1, 0.5, \pm 0.1)$ ملی متر) در اطراف نقطه هم ارزی که شکل این گراف در زیر رسم شده اند (داگلاس ای و همکاران، ۱۹۹۲).

شکل ۱. گراف S شکل



نوع دوم: این گراف بنام گراف قطعه خط یاد میشود که ما در اینجا از این گراف صرف نظر می‌کنیم و گراف نوع S را مورد مطالعه قرار می‌دهیم و گراف نوع قطعه خط در زیر نشان داده شده است (داگلاس ای و همکاران).

شکل ۲. گراف قطعه خط



گراف تیتريشن اسیدهای قوی با قلوهای قوی

زمانی که یک اسید قوی بایک قلو قوی یا برعکس آن تیتريشن می‌شود، در هر دو صورت، نمک که در نتیجه تیتريشن تشکیل میگردد در معرض الکترولیت قرار نگرفته، pH در نقطه تعادل،

۷ است و اندیکاتور لتمس به صورت درست در تشخیص نقطه تعادل به کار رفته می‌تواند؛ زیرا
ساحه مورد استفاده، یا حدود تغییر رنگ اندیکاتور مذکور بین ۵-۸ می‌باشد.

فرضاً ۱۰۰ ml محلول ۰.۱N HCl را بالای ۱۰۰ ml محلول ۰.۱N KOH تیتريشن و pH محلول را در مراحل مختلف آن محاسبه می‌نمایم. در محاسبه نمودن قیمت‌های pH محلول‌های اسید قوی و قلی قوی، غلظت آیون H^+ و یا OH^- را از روی غلظت مجموعی اسید و یا قلی گرفته می‌توانیم زیرا اسید و قلی قوی در حالت محلول به صورت کامل تفکیک می‌گردد و برای ساده ساختن محاسبات می‌توانیم قبول کنیم که حجم مجموعی محلول در اثنای تیتريشن ثابت باقی می‌ماند.

قبل از شروع تیتريشن محلول ۰.۱N را به دست داریم که ($pH = 1$) است.

مثلاً در عملیه تیتريشن پرداختیم یعنی ۹۰ ml محلول ۰.۱N KOH بالای ۱۰۰ ml HCl علاوه گردد درین صورت ۹۰ ml HCl توسط KOH خنثی می‌گردد و مقداری HCl آزادی که باقی مانده $\frac{1}{10}$ ام حصه مقداری اسید موجود قبل از شروع تیتريشن در محلول است. غلظت HCl آزاد (C_{acid}) به $\frac{1}{10}$ قیمت اولیه خود یا $0.01 \frac{M}{L}$ رسیده است و pH محلول نظر به غلظت آیون $[H^+]$ قرار می‌گیرد:

$$[H^+] = 0.01 \frac{mol}{l}$$

$$pH = -\log.10^{2-}$$

$$pH = -(\log 1 + \log 10^{2-}) = 2$$

اگر تغییر حجم در محاسبه دخیل شود قیمت PH عبارت است از:

$$[H^+] = C_{acid} = \frac{0.1 \times 10}{190} = 5.3 \times 10^{3-}$$

$$pH = -\log[H^+] = -(\log 5.3 + \log 10^{3-})$$

$$pH = -(0.73 - 3 \log_{10}^{10})$$

$$pH = 2.27$$

زمانی که 99ml KOH افزوده شود در آن صورت مقدار HCl آزاد در محلول دوباره ده چند تنزیل یافته و غلظت به $0.001 \frac{M}{L}$ رسیده و pH آن تقریباً به ۳ می‌رسد به همین منوال ادامه دارد؛ و مقداری KOH به 99.9ml برسد، غلظت HCl آزاد القلی ده چند پایین می‌آید و $0.0001 \frac{M}{L}$ قرار می‌گیرد در آن صورت pH محلول تقریباً به ۴ می‌رسد. زمانی که 100ml قلوئی بالای محلول HCl علاوه شده واضح است که مقداری علاوه شده به مقدار اسید مذکور معادل شده و تیتريشن به نقطه معادل می‌رسد. در چنین نقطه محلول تنها دارای نمک KCl است که در نتیجه تیتريشن به میان آمده است. چون نمک مذکور هایدرولیز نمی‌گردد، پس $pH = 7$ می‌باشد و این همان نقطه است که تیتريشن خاتمه پیدا می‌کند؛ اما جهت تعقیب سیر تحول pH عملیه تیتريشن را ادامه می‌دهد تا زمانی که قلوئی به 100% برسد. اگر 100,1ml قلوئی زیاد شود این معنی را می‌دهد که مقدار قلوئی علاوه شده به 100,1ml رسیده است. چون غلظت قلوئی مساوی به غلظت اسید شده است پس این زیاد شدن قلوئی باعث بلند رفتن غلظت آیون OH^- و با آیون $[H^+]$ مساوی گردیده است. پس در نقطه ذکر شده غلظت $[OH^-]$ حدوداً 10^{-4} و غلظت $[H^+]$ حدوداً 10^{-10} می‌باشد از این رو $pH = 10$ می‌باشد. اگر دوباره غلظت القلی بالا رود یعنی بالای 101ml HCl از محلول KOH اضافه نماید غلظت القلی در محلول حدود $0.001M/L$ بلند می‌رود که درین صورت:

$$[H^+] = 10^{-11} \quad , \quad [OH^-] = 10^{-3}$$

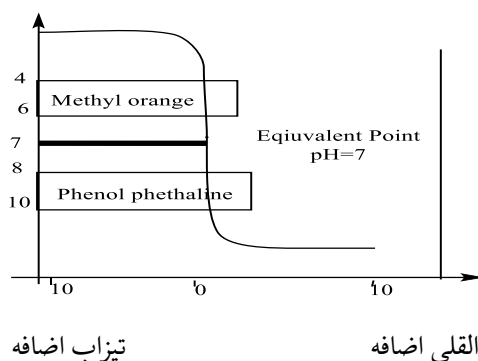
حجم علاوه شده KOH به ML	C_{HCl}	C_{KOH}	$[H^+]$	$[OH^-]$	pH
0	0.1	-	10^{-1}	10^{-13}	1
90 10 فیصد اسید زیاد شد	0.01	-	10^{-2}	10^{-12}	2
99	0.001	-	10^{-3}	10^{-11}	3
99.9	0.0001	-	10^{-4}	10^{-10}	4
100	.	-	10^{-7}	10^{-7}	7
100.1	-	0.0001	10^{-10}	10^{-4}	10
101	-	0.001	10^{-11}	10^{-3}	11
110 ۱۰ فیصد قلوئی زیاد شد	-	0.01	10^{-12}	10^{-2}	12
200	-	0.1	10^{-13}	10^{-1}	13

$$pH = 11$$

نتایج به دست آمده را در یک جدول ترتیب می‌کنم و گراف را نظر به جدول رسم می‌کنم.

جدول ۱. عملیه تیتراشن HCl 0.1N و KOH 0.1N (مصمم، ۱۳۹۸).

قیمت غلظت تیزاب و القلی را در محور افقی و قیمت های pH را در محوری عمودی نمایش می‌دهد که این قیمت ها در جدول داده شده است و نظر به جدول گراف از چپ به راست رسم می‌گردد. (Manning & Gramatges, 2013)



شکل ۳. گراف تیتريشن $HCl\ 0.1N$ و $KOH\ 0.1N$ (محب، ۱۳۹۸).

با در نظر داشت مراحل رسم گراف باید گفت که انتخاب اندیکاتور مهم بوده و نباید در انتخاب اندیکاتور مشکل رخ دهد. اندیکاتورهای که استفاده می شود باید دارای توان باشد که ساحه تحول آنی pH یا حدود تغییر رنگ را بالای گراف تیتريشن مطابقت نماید.

فرض مثال: اگر تغییر pH تیتريشن اسید قوی با القلی قوی و یا برعکس در حدود $pH = 4-10$ واقع شود پس ما از اندیکاتور استفاده کرده می توانیم که توان تغییر رنگ آن $4-10$ باشد. مثلاً در شروع از میتایل اورنج و در اخير از فینول فتالین و در تیتريشن های اسید قوی با القلی قوی و یا برعکس آن از اندیکاتورهای ذیل استفاده کرده می توانیم:

نیترو رید برومو تایمل بلو. لیتمس. میتایل اورنج. کریسول پرپل. فینول رید. تیمول فتالین. فینول فتالین...

بزرگی تغییر pH در گراف تیتريشن اسید قوی با القلی قوی و برعکس بستگی به غلظت محلول تیر شونده و محلول معیاری دارد و هرچند pH کوچک باشد به همان اندازه گراف کوچک و اندیکاتور کمتری استفاده می شود؛ مانند که اگر محلول $0.1N$ باشد گراف طویل تر و اندیکاتور زیاد به کار می رود و اگر محلول $0.01N$ باشد گراف تیتريشن کوتاه تر و اندیکاتور کم تر نسبت به محلول $0.1N$ دارد و اگر از محلول $0.0001N$ استفاده نمایم که غلظت این خیلی کم می باشد گراف شان از نقطه پایین تر رسم می شود و خیلی کوتاه تر از گراف تیتريشن محلول $0.1N$ و همچنان اندیکاتور کمتری ضرورت دارد.

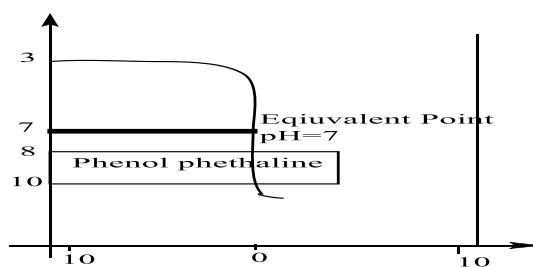
مثال: تغییر pH در گراف تیتريشن محلول $HCl\ 0.01N$ با محلول $KOH\ 0.01N$ در بین $pH = 5$ تا $pH = 9$ قرار دارد و واضح است که pH محلول در صورت که $KOH\ 90ml$ $0.01N$ بالای آن علاوه شود 3 می باشد و گراف تیتريشن از همین نقطه شروع می گردد و در صورت زیاد نمودن $10ml$ قلی pH محلول به 11 می رسد که این نقطه طول گراف را نشان می دهد.

در این تیتريشن از اندیکاتور میتایل اورنج ($pH = 4$) و از فینول فتالین ($pH = 10$) استفاده می کنیم زیرا طاقت آن در محدوده $pH = 5-10$ می باشد.

جدول ۲. pH در تیتريشن $0.01N\ HCl\ 100ml$ با $0.01N\ KOH\ 100ml$ و برعکس آن. (مصمم، ۱۳۹۸).

KOH حجم زیاد شده ml	C_{HCl}	C_{KOH}	$[H^+]$	$[OH^-]$	pH
0	0.01	-	10^{-2}	10^{-12}	2
10 فیصد اسید زیاد شد 90	0.001	-	10^{-3}	10^{-11}	3
99	0.0001	-	10^{-4}	10^{-10}	4
99.9	0.00001	-	10^{-5}	10^{-9}	5
100	-	-	10^{-7}	10^{-7}	7
100.1	-	0.00001	10^{-9}	10^{-5}	9
110 10 فیصد قلوی زیاد شد	-	0.001	10^{-11}	10^{-3}	11

نظر به جدول بالا گراف تیتريشن یک تیزاب قوی بایک القلی قوی را رسم می کنیم. (Manning & Gramatges, 2013).



تیزاب اضافی

القلي اضافی

شکل ۴. گراف تیتريشن $0.01N\ HCl$ با $0.01N\ KOH$ و برعکس آن

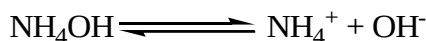
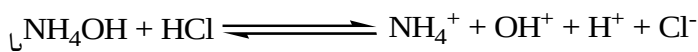
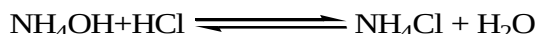
گراف تیتريشن قلیوی های ضعیف با تیزاب های قوی

در حالت قبلی، گراف تیتريشن تیزاب ضعیف با القلی قوی رسم کردیم؛ و این بار بر عکس آن گراف تیتريشن تیزاب قوی با القلی ضعیف را رسم می کنیم که شکل هر دو گراف باهم یکسان می باشد ولی pH برعکس هم دیگر اند

محلول اولیه ما القلی ضعیف اند که pH آن بیشتر از ۷ می باشد؛ و در زمان تعادل pH کمتر شده و مقدار قابل توجهی از القلی و اسید مزدوج شان وجود دارد؛ و در زمان تعادل گراف به صورت عمودی پایین می آید تا در نقطه تعادل برسد و این نقطه اسیدی می باشد؛ و باید گفت که اندیکاتور مورد نیاز در این تیتريشن میتایل رید می باشد. برای وضاحت بیشتر موضوع فورمول ها را با یک مثال ثبوت می نمایم و هم چنان گراف را رسم می نمایم.

مثال: اگر قرار باشد که $100\text{ml } NH_4OH 0.1N$ ($K_b = 1.8 \cdot 10^{-5}$ ، $pK_b = 4.74$) همراه محلول $HCl 0.1N$ تیتريشن گردد در آن صورت pH محیط و جهت ترسیم گراف تیتريشن، و هم چنان K_b در لحظه های مختلف باید دریافت شود برای اینکه الکترولیت های مختلف در زمان های مختلف تشکیل می گردد که pH مطابق آن باید دریافت گردد.

ما در قدم اول باید pH محلول القلی ضعیف $NH_4OH 0.1N$ را دریافت نمایم که برای این کار ضرورت به K_b داریم از این روداریم که:



$$K_{base} = \frac{[OH^-][NH_4^+]}{[NH_4OH]} = 1.8 \cdot 10^{-5}$$

چون قلیوی ضعیف است غلظت $[OH^-]$ به اندازه غلظت القلی نیست از این رو غلظت عمومی القلی را مساوی به غلظت $[NH_4OH]$ قبول می کنیم.

$$[NH_4OH] = K_{base}$$

غلظت آیون $[NH_4^+] = [OH^-]$ بوده و مقداری کمی از $[NH_4OH]$ تفکیک می‌گردد.
پس داریم که:

$$[OH^-]^2 = C_{base} \cdot K_{base}; [OH^-] = \sqrt{C_{base} \cdot K_{base}}$$

$$\frac{[OH^-]^2}{C_{base}} = K_{base}$$

$$pOH = \frac{1}{2} pK_{base} - \frac{1}{2} \log C_{base} \dots\dots\dots 1$$

$$pH = 14 - pOH \Rightarrow 14 - \left[\frac{1}{2} pK_{base} - \frac{1}{2} \log C_{base} \right]$$

$$pH = 14 - \frac{1}{2} pK_{base} + \frac{1}{2} \log C_{base} \dots\dots\dots 2$$

دریافت pH در زمان عملیه تیتريشن یا در جریان تیتريشن از این فرمول استفاده می‌گردد و جهت دریافت نقاط بین البینی تا رسیدن به نقطه تعادل محلول بفر قلوئی $(NH_4OH + NH_4Cl)$ تشکیل می‌گردد و در این صورت pH از فرمول ذیل محاسبه می‌گردد:

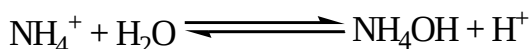
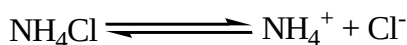
$$pOH = pK_{base} - \log \frac{C_{base}}{C_{acid}}$$

$$pH = 14 - pOH$$

$$pH = 14 - pK_{base} + \log \frac{C_{base}}{C_{acid}} \dots\dots\dots 3$$

و در نقطه تعادل نمک NH_4Cl حاصل می‌گردد و این نمک به صورت ذیل هایدرولیز می‌گردد؛

که نظر به آن می‌توان فورمول pH را دریافت نمود در نقطه تعادل.



$$K = \frac{[NH_4OH][H^+]}{[NH_4^+][H_2O]}$$

$$Kh = \frac{10^{-14}}{K_{base}} = \frac{[NH_4OH][H^+]}{[NH_4^+]}$$

$$pH = 7 - \frac{1}{2} pK_b - \frac{1}{2} \log C_{salt} \dots\dots\dots 4$$

باید یادآوری نمود که این معادله با معادله قبلی فرق دارند و فرق این معادله با آن این است که قبلاً $\frac{1}{2} pK$ و $\frac{1}{2} \log C_{salt}$ به ۷ علاوه گردیده‌اند زیرا که pH نسبت به ۷ باید بزرگ باشد ولی در این مثال pH نسبت به ۷ کوچکتر می‌باشد از این رو لازم است که ۷ را تفریق نمایم و نظر به این فورمول‌ها که ثبوت گردید قیمت های pH را در زمان‌های مختلف دریافت نموده و جدول ذیل را می‌سازیم و نظر به این جدول گراف خود را رسم می‌نمایم.

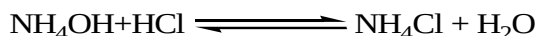
جدول ۴. تیتريشن $0.1N NH_4OH$ و $0.1N HCl$ برای دریافت pH (مصمم، ۱۳۹۸).

حجم HCl علاوه شده	$\frac{C_{NH_4OH}}{C_{NH_4Cl}}$	فورمول دریافت pH در زمان‌های مختلف تیتريشن	قیمت pH
0	0	$pH = 14 - \frac{1}{2} pK_{acid} + \frac{1}{2} \log C_{acid} \Rightarrow 14 - \frac{4.75}{2} + \frac{1}{2} \log 0.1$	11.2

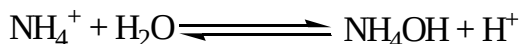
65	$\frac{35}{65}$	$pH = 14 - pK_{base} + \log \frac{C_{base}}{C_{salt}} \Rightarrow 14 - 4.75 + \log \frac{35}{65}$	8.97
90	$\frac{10}{90}$	$pH = 14 - pK_{base} + \log \frac{C_{base}}{C_{salt}} \Rightarrow 14 - 4.75 + \log \frac{10}{90}$	8.3
99	$\frac{1}{99}$	$pH = 14 - pK_{base} + \log \frac{C_{base}}{C_{salt}} \Rightarrow 14 - 4.75 + \frac{1}{99}$	7.25
99.9	$\frac{0.1}{99.9}$	$pH = 14 - pK_{base} + \log \frac{C_{base}}{C_{salt}} \Rightarrow 14 - 4.75 + \log \frac{1}{999}$	6.25
100	0	$pH = 7 - \frac{1}{2} pK_{base} - \frac{1}{2} \log C_{salt} \Rightarrow 7 - \frac{4.75}{2} - \frac{1}{2} \log 0.1$	5.11
100.1	0	$pH = -\log [H^+] \Rightarrow [H^+] = 0.0001$	4
101	0	$[H^+] = 0.001$	3

نظر به جدول بالا داریم که:

الف. نقطه تعادل در $pH < 7$ یعنی در ۵,۱۱ قرار دارد. برای که نمک هایدرولیز شونده NH_4Cl در نتیجه تعامل قلوی ضعیف NH_4OH و تیزاب قوی HCl تشکیل گردیده و محیط تیزابی میگردد که معادله آن قرار ذیل اند:



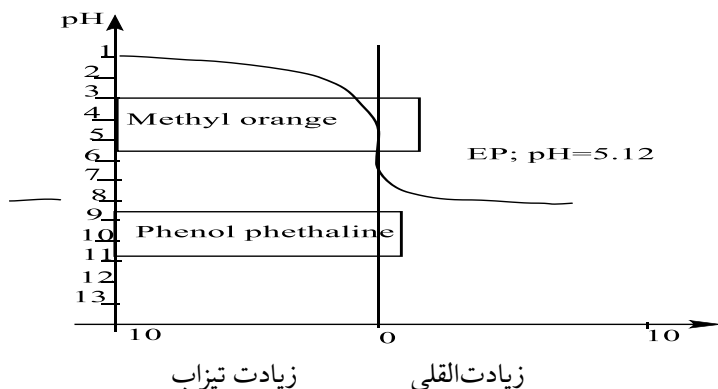
به شکل آیونی:



ب. ساحه تحول pH در منحنی تیتريشن در محدوده ۴-۶.۲۳ قرار دارد که ساحه مذکور بالای ۲,۲۵ واحد واقع است در صورت که در تیتريشن تیزاب قوی $0.1N$ و قلوی قوی $0.1N$ بالای ۶ واحد pH واقع گردیده از این رو میتوان گفت:

القلی که در تیتريشن ساحه کوتاه تحول pH را داشته باشد ضعیف ترین القلی است و در مورد اندیکاتور باید گفته شود که همه اندیکاتورهای که pK شان بین ۴-۶.۲۵ باشد در این تیتريشن مناسب است به تور مثال:

میتایل اورنج $pK = 4$ و میتایل رید $pK = 5.5$ هر دوی این‌ها در این تیتريشن بکار برده می‌شود که در گراف به‌خوبی نشان داده شده است.



شکل 5. گراف تیتريشن $NH_4OH, 0.1N$ با $HCl, 0.1N$ و برعکس آن (مصمم، ۱۳۹۸).

گراف تیتريشن تیزاب‌های ضعیف با القلی‌های ضعیف و (برعکس آن)

برای رسم نمودن گراف تیتريشن اسیدهای ضعیف با القلی‌های ضعیف لازم است محاسبات ذیل انجام شود:

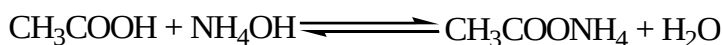
۱. در آغاز محلول فقط یک تیزاب ضعیف یا یک القلی ضعیف است و pH بر اساسی ماده حل شده و ثابت تفکیک آن محاسبه می‌شود.
۲. بعد اضافه نمودن مقدار مختلف از ماده تیتريکننده محلول محتوی بافرهای مختلف خواهد بود. pH هر یک از بافرها بر اساس غلظت تجزیه تیزاب یا القلی مزدوج و غلظت تیزاب یا القلی ضعیف باقیمانده محاسبه می‌شود.

۳. در نقطه هم ارزی، محلول فقط دارای اسید ضعیف مزدوج یا القلی ضعیف مزدوج مورد تیتريشن است. (یک نمک) و pH از غلظت این ماده محاسبه می‌شود.

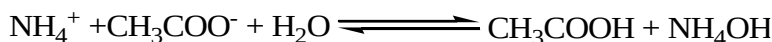
۱. بعد از نقطه هم ارزی، تیزاب یا القلی اضافی تیترا کننده، بر خواص تیزابی یا القلی محصول تعامل اثر می‌گذارد تا جای که pH محلول عمدتاً توسط غلظت اضافی تیترا کننده، تعیین می‌شود. (اسکوگ و همکاران، ۱۳۸۸).

پس ثبوت می‌نمایم که pH از کدام رابطه به دست می‌آید.

ثبوت: اگر چي تغییر pH به غلظت نمک حاصل شده رابطه ندارد و به اساس آن نقطه تعادل محیط خنثی مطابقت می‌کنند برای ثبوت موضوع به معادله ذیل می‌پردازیم:



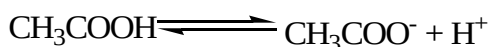
معادله آیونی آن قرار ذیل‌اند:



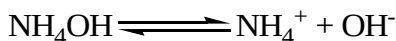
ثابت هایدرولیز نمک مذکور قرار ذیل می‌باشد:

$$K_h = \frac{[NH_4OH][CH_3COOH]}{[NH_4^+][CH_3COO^-]} \dots\dots\dots 1$$

ثابت انفکاک (دیسوسییشن) CH_3COOH و NH_4OH را در نظر گرفته قیمت‌های NH_4OH و CH_3COOH را دریافت می‌نمایم و در معادله ۱ وضع می‌نمایم:



$$K_{CH_3COOH} = \frac{[CH_3COO^-][H^+]}{[CH_3COOH]}; [CH_3COOH] = \frac{[CH_3COO^-][H^+]}{K_{acid}}$$



$$K_{base} = \frac{[NH_4^+][OH^-]}{[NH_4OH]}; [NH_4OH] = \frac{[NH_4^+][OH^-]}{K_{base}}$$

$$Kh = \frac{[NH_4^+][OH^-][CH_3COO^-][H^+]}{K_{acid} \cdot K_{base} \cdot [NH_4^+][CH_3COO^-]} \Rightarrow \frac{[H^+][OH^-]}{K_{acid} \cdot K_{base}}$$

$$\Rightarrow \frac{10^{-14}}{K_{acid} \cdot K_{base}} \dots\dots\dots 2$$

نظر به معادله هایدرولیز نمک (CH_3COONH_4) غلظت

$$[NH_4OH] = [CH_3COOH]$$

$$[NH_4^+] = [CH_3COO^-]$$

می باشد و با وضع نمودن قیمت های فوق در معادله (۱) و صورت معادله هایدرولیز چنین خواهیم داشت:

$$Kh = \frac{[CH_3COOH]^2}{[NH_4]^2} = \frac{[CH_3COOH]^2}{C_{salt}^2} = \frac{10^{-14}}{K_{base} \cdot K_{acid}} \dots\dots\dots 3$$

با در نظر داشت معادله ثابت انفکاک تیزاب سیر که تعویض قیمت $[CH_3COOH]$ آن در معادله (۳) داریم که:

$$[CH_3COOH] = \frac{[H^+][CH_3COO^-]}{K_{acid}} = \frac{[H^+]C_{acid}}{K_{acid}}$$

$$[CH_3COOH]^2 = \frac{10^{-14} \cdot C_{salt}^2}{K_{acid} \cdot K_{base}}$$

$$\left(\frac{[H^+] \cdot C_{salt}}{K_{acid}} \right)^2 = \frac{10^{-14} \cdot C_{salt}^2}{K_{acid} \cdot K_{base}}$$

$$\sqrt{\left(\frac{[H^+] \cdot C_{salt}}{K_{acid}}\right)^2} = \sqrt{\frac{10^{-14} \cdot C_{salt}^2}{K_{acid} \cdot K_{base}}}$$

$$\frac{[H^+]}{K_{acid}} = \sqrt{\frac{10^{-14}}{K_{acid} \cdot K_{base}}} \Rightarrow [H^+] = \sqrt{\frac{10^{-14} K_{acid} \cdot K_{acid}}{K_{acid} \cdot K_{base}}}$$

$$[H^+] = \sqrt{\frac{10^{-14} \cdot K_{acid}}{K_{base}}}$$

$$-\log[H^+] = -\log \sqrt{\frac{10^{-14} \cdot K_{acid}}{K_{base}}}$$

با ساده ساختن لگاریتم بالا معادله ذیل به دست می آید:

$$pH = 7 + \frac{1}{2} pK_{base} - \frac{1}{2} pK_{acid}$$

مثال: اگر $pK_{acid} = 4.73$ و $pK_{base} = 4.75$ باشد در این صورت pH را دریافت نمایید؟

جواب:

$$pH = 7 + \frac{1}{2} pK_{base} - \frac{1}{2} pK_{acid}$$

$$pH = 7 + \frac{1}{2} 4.75 - \frac{1}{2} 4.73$$

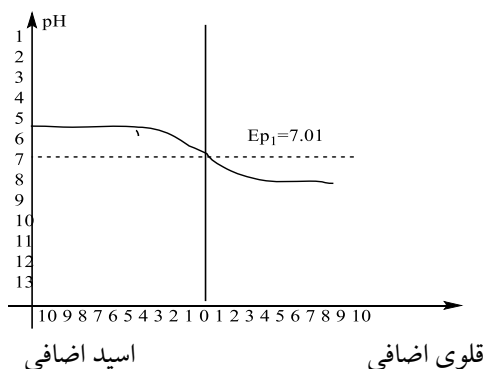
$$pH = 7 - \frac{4.75 - 4.73}{2} \Rightarrow 7 - \frac{0.02}{2} = 7 - 0.01$$

$$pH = 7.01$$

قبلاً یادآوری نمودیم که تغییر pH به غلظت نمک بستگی ندارد و یا گفت می توانیم که بدون در نظر داشت غلظت نمک، pH در نقطه تعادل تقریباً ۷ است که به نقطه خنثی برابر است؛

و این در صورت است که $pK_{acid} = pK_{base}$ باشد. تیزاب و القلی قوه عمل مساوی داشته باشد.

و اگر تیزاب نسبت به القلی قوی باشد $pK_{acid} < pK_{base}$ در این صورت pH محلول کوچکتر از ۷ می باشد و محلول مذکور دارای تعامل تیزابی است و برعکس pH بزرگتر از ۷ باشد محلول دارای خاصیت القلی می باشد. گراف تیتريشن القلی ضعیف و تیزاب ضعیف و برعکس در شکل زیر نشان داده می شود. (Kapilraj et al., 2019)



شکل ۸. گراف تیتريشن $CH_3COOH, 0.1N$ با $NH_4OH, 0.1N$ (محبوب، ۱۳۹۲).

از این رو که دیده می شود pH در نقطه تعادل گراف تیتريشن تیزاب های ضعیف و القلی های ضعیف تقریباً گفته می توان ثابت است، به وابسته چنین تیتريشن، تیزاب های ضعیف و القلی های ضعیف را نمی توان تعیین مقدار نمود در عملیه تیتريشن تیزاب و قلوی یک از این ها باید الکترولیت قوی باشد که توسط آن الکترولیت ضعیف تیتريشن گردد.

نتیجه گیری

عملیه تیتريشن همیشه بین یک تیزاب و یک القلی صورت می گیرد و نمک و آب را می سازد؛ و از تیتريشن برای معلوم نمودن غلظت تیزاب نامعلوم یا القلی نامعلوم استفاده می گردد که برای جلوگیری از اشتباهات و بالابرنده دقتشان از گراف تیتريشن استفاده می نماید که گراف تیتريشن تحولات pH را در عملیه تیتريشن نشان می دهند.

در عملیه تیتريشن چهار ترکیب مهم هستند که به آنها گراف رسم می‌گردند. اول گراف تیتريشن تیزاب‌های قوی با القلی قوی که در این عملیه اندیکاتور میتایل اورینج و فینول فتالین به کار می‌رود و طول این گراف بین pH (2-12) قرار دارد؛ که در نقطه ۷ به تعادل می‌رسد. دوم گراف تیتريشن تیزاب‌های ضعیف با القلی قوی می‌باشد که در این گراف میتایل اورینج به‌عنوان اندیکاتور استفاده می‌گردد؛ و طول آن بین pH (5,85-12) می‌باشد و در نقطه 8,87 به تعادل می‌رسد که محیط یک‌کم القلی می‌باشد.

سوم گراف تیتريشن القلی ضعیف با تیزاب قوی است که میتایل اورینج و میتایل را به‌عنوان اندیکاتور مورد استفاده قرار می‌گیرد و طول این گراف بین pH (1-8,97) می‌باشد که در نقطه pH=5,12 به تعادل می‌رسد.

چهارم گراف تیتريشن تیزاب ضعیف و القلی ضعیف در این گراف pH و نقطه تعادل تقریباً ثابت می‌باشد به همین دلیل این گراف تعیین مقدار شده نمی‌تواند.

تیزاب‌ها و القلی دو اساسه چندین اساسه به تیزاب‌ها و القلی‌های گفته می‌شود که می‌تواند دو یا چند بار انفکاک گردد؛ و هر بار انفکاک گردد تیزاب و یا القلی جدید را بسازد. گراف تیتريشن تیزاب‌ها و القلی‌های دو اساسه و چندین اساسه برعکس هم رسم می‌گردد و مراحل دریافت pH آن باهم تفاوت ندارد.

منابع و مأخذ

- آبسالان، قدرت الله. (۱۳۹۳). شیمی تجزیه عمومی. چاپ دوم. انتشارات: دانشگاه شیراز.
- اسکوک، داگلاس ای. دونالد ام، وست. جمزهالر، اف. (۱۹۹۲). مبانی شیمی تجزیه. جلد اول. مترجمین: ویدا توسلی. هوشنگ خلیلی. علی معصومی. تهران: مرکز نشر دانشگاهی.
- اسکوک، داگلاس ای... و همکاران. (۱۳۸۸). مبانی شیمی تجزیه. جلد اول. مترجمین: عبدالرضا سلاجقه... و دیگران. تهران: مرکز نشر دانشگاهی.
- اسکوک، داگلاس ای... و همکاران. (1395). مبانی شیمی تجزیه. جلد اول مترجمین: محمد ربانی و همکاران. ویرایش نهم. تهران. انتشارات: دانشگاه تهران.
- سمنانی، ابوالفضل. فیروز، علیرضا. (۱۳۸۵). شیمی تجزیه عمومی. چاپ اول. انتشارات: جهاد دانشگاهی واحد اصفهان
- سیلبربرک، مارتین. (۱۳۹۷). اصول شیمی عمومی. جلد دوم. مترجمین: مجید میر محمدصادقی.
- غلام عباس پارسا فر، محمدرضا سعیدی. ویرایش دوم. ناشر: نو پردازان
- صمدی، علی افضل. (۱۳۷۷). شیمی عمومی. چاپ اول. تهران: نشرنی.

محب، هدایت الله. (۱۳۹۲). کیمیای تحلیلی مقداری. کابل: انتشارات سعید افغانستان.
مصمم، محمدسردار. (۱۳۸۹). کیمیای تحلیلی مقداری. چاپ دوم. انتشارات جهان اسلام.

Defne, B., & Mercan, U. (2019). AN EMPIRICAL INVESTIGATION OF STRONG ACID AND STRONG BASE TITRATION.

Kapilraj, N., Keerthanan, S., & Sithambaresan, M. (2019). Natural Plant Extracts as Acid-Base Indicator and Determination of Their pKa Value. *Journal of Chemistry*, 2019(1), 2031342.

Manning, T. J., & Gramatges, A. P. (2013). rTitration Curve Simulating the Addition of a Strong Acid and a Strong Base. *Computer Based Projects for a Chemistry Curriculum*, 1, 28.

Zhang, H. (2022). *Examination of Student Understanding in an Acid-Base Titration Lab*. University of Illinois at Chicago.

بررسی تولید چسب از صمغ درخت زردآلو (مقاله علمی تحقیقی)

نویسندگان: نظرعلی یزدانی^۱، سیدمحمد رامش^۲، محمد اکبر حسنی^۳، جمعه خان واثق^۴ و محمد یوسف جویان^۵

^۱ محصل برنامه ماستری انجینری صنایع کیمیاوی،

^۲ استاد رشته کیمیا در پوهنتون دایکندی.

^۳ استاد برنامه ماستری پوهنتون پولی تخنیک کابل،

^۴ استاد رشته کیمیا پوهنتون دایکندی

^۵ استاد برنامه ماستری پوهنتون پولی تخنیک کابل

چکیده

در سال‌های گذشته تحقیقات زیادی بر روی ساخت چسب‌های جدید صورت گرفته است، دلیل این امر کاربردهای متنوع آن می‌باشد. هر نوع چسب دارای خصوصیات مخصوص بوده و خواص محصولات ساخته شده تا حدی زیادی به خصوصیات ترکیبی آن بستگی دارد. چسب‌ها به دودسته طبیعی و مصنوعی تقسیم می‌شوند، چسب‌های طبیعی شامل چسب‌های ساخته شده از صمغ، پروتئین، رزین و سایر مواد طبیعی می‌باشد. تنوع رزین‌های فارمالدیه‌ای بسیار گسترده است. این رزین بر اساس نوع کاربرد از ویژگی‌های متفاوتی برخوردار است که این ویژگی‌ها به پروسه تولید رزین بستگی دارد. از خصوصیات اصلی چسب‌هایی که منبع مصنوعی دارند، نیاز به تکنالوژی پیچیده داشته، تجدید ناپذیری، استحکامیت بالا، خاصیت زهری و مقاومت در برابر حرارت، فشار و تحمل وزن زیاد می‌باشد. در حالی که صمغ‌های نباتی منابع قابل دسترس، سهولت در کاربرد، دوستدار محیط زیست، بی‌خطر و تجدید پذیر هستند که به عنوان منابع اصلی برای بسیاری از چسب‌های سنتی و صنعتی بکار می‌روند. تفاوت‌های کلیدی در ترکیب بین انواع مختلف صمغ و شرایط تولید باعث تغییر در ویسکوزیته (لزجیت)، پایداری در رطوبت و چسبندگی می‌شود. هدف کلی این تحقیق تولیدی چسب با پایه طبیعی (نباتی) بوده و روشی در تحقیق این مقاله صورت گرفته است تحقیقی بوده و بر پایه تجربه (عملی) استوار است، یعنی عملاً با استفاده از منابع تولید (صمغ درخت زردآلو، گلیسرین) چسب حاصل شده است که از آن می‌توان در صحافی کتب، و کارهای سبک استفاده کرد.

کلمات کلیدی: صنعت چسب؛ صمغ درخت زردآلو؛ چسب‌های طبیعی؛ چسب‌های مصنوعی.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مقدمه

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على أشرف الأنبياء والمرسلين.

در چند دهه گذشته استفاده از چسب‌ها به‌ویژه در کاربردهای صنعتی بسیار افزایش یافته است. اهمیت محصولات تولیدشده با استفاده از اتصال چسب روز به روز در حال افزایش است. دلیل این افزایش را می‌توان به تأثیر بحرانی عملکرد خط تولید چسب، در کارایی محصول نهایی نسبت داد (Modzel et al., 2011) هرچند انسان از آغاز زندگی اجتماعی به‌نوعی از چسب‌ها بهره برده است ولی هرگز قادر به درک عمیق پدیده چسبندگی نبوده است. چسب را می‌توان به ماده پیونددهنده سطحی بین دو جسم بوسیله چسبندگی تعریف نمود (سمائی، و همکاران، ۱۳۹۶).

چسب‌ها به دودسته طبیعی و مصنوعی تقسیم می‌شوند، چسب‌های طبیعی نیز به دودسته عضوی و معدنی تقسیم می‌شوند. همچنین چسب‌های طبیعی عضوی به دودسته حیوانی و نباتی تقسیم می‌شوند. چسب‌های طبیعی عضوی حیوانی به چهار دسته سریش معمولی، سرش ماهی، آلبومین خون و کازئین تقسیم می‌شوند. چسب‌های طبیعی عضوی نباتی به سه دسته نشایسته، چسب سویا و چسب صمغی تقسیم می‌شود. چسب‌های مصنوعی (سنتیزی) نیز به دو گروه چسب‌های ترموست و چسب‌های ترموپلاست تقسیم شده‌اند. از قرن نوزدهم به تدریج با پیدایش چسب‌های سنتیزی در صنعت پولی‌میر، چسب‌های سنتی و نباتی و حیوانی آهسته آهسته از صحنه خارج شد.

چسب‌ها نه تنها برای موادی که باید چسبانده و بهم پیوسته شوند، بلکه در ایجاد چسبندگی برای موادی از قبیل جوهر تحریر، رنگ‌ها و سایر سطوح پوششی، وسایل قالب‌بندی ساختمان‌ها، در مواد ترکیبی از قبیل فولاد، بافت پارچه‌ها، در تایرهای لاستیکی، شیشه و یا الیاف در پلاستیک‌ها ضروری‌اند (کشاورز زهرا و همکاران، ۱۴۰۱) بسیاری از چسب‌ها علاوه بر مواد پولی‌میری دارای افزودنی‌های هستند مانند: مواد پایدارکننده در برابر تخریب توسط اکسجن UV، مواد نرم‌کننده که قابلیت انعطاف پذیری را افزایش می‌دهد، مواد پرکننده معدنی که میزان انقباض در سخت شدن را کاهش می‌دهد و خواص روان شدن قبل از سخت شدن را تغییر می‌دهد که باعث بهبودی خواص میخانیکی می‌شود. زردآلو بنام علمی *Prunus L* armónico متعلق به خانواده Rosaceae و بومی چین و سیبری است. زردآلو به‌عنوان یکی از مهم‌ترین محصولات سردرختی مناطق معتدل به شمار می‌رود. صمغ درخت زردآلو در فصل بهار ترشح می‌شود (اکبری، و همکاران، ۱۳۹۶) رنگ این صمغ از زرد مایل به نارنجی تا قهوه‌ای متغیر است. از صمغ زردآلو در صنعت غذایی نیز استفاده می‌شود. داشتن گروه‌های کاربوکسیلیک و کاربن فعال باعث می‌شود که قابلیت انحلال آن

در آب افزایش یافته و با تشکیل ژل یا محلول ویسکوزیته، به عنوان چسبی مناسب برای چاپ، بسته بندی، کارهای دستی، صحافی و غیره مورد استفاده قرار گیرند. خاصیت تجدید پذیری آن باعث می شود تا محصولی دوستدار محیط زیست داشته باشیم. هدف این مقاله ارائه رویکردی گام به گام برای تولید، تصفیه و ارزیابی عملکرد چسب از صمغ درخت زردآلو است. صمغ ها از جمله هتروپولی سکرایدها^۱ بوده، بسیار هایدروفیل هستند و به آسانی می توانند تا ۴۰۰ برابر حجم خود، آب جذب و ذخیره کنند (سمائی، و همکاران، ۱۳۹۶).

۱،۱- بیان مسئله

چسب ها از مواد کلیدی در بسیاری از صنایع از جمله صنایع چوب، کاغذ، بسته بندی و مصارف خانگی محسوب می شوند. با این حال، بیشتر چسب های متداول دارای منشأ کیمیاوی و نفت پایه بوده و علاوه بر هزینه تولید بالا، اثرات منفی قابل توجهی بر محیط زیست و سلامت انسان دارند. این مسئله باعث شده است که در سال های اخیر، تحقیقات به سمت توسعه چسب های زیست پایه و سازگار با محیط زیست سوق پیدا کند (Saha & Bhattacharya, 2010).

در این میان، صمغ های نباتی به دلیل ماهیت طبیعی، ساختار پولی سکرایدی و قابلیت تشکیل شبکه های پیوسته، به عنوان مواد اولیه مناسب برای تولید چسب های طبیعی شناخته شده اند. مطالعات بین المللی نشان داده اند که برخی صمغ های نباتی می توانند در صورت محصولات مناسب، چسبندگی قابل قبولی ایجاد کرده و حتی در کاربردهای سبک صنعتی، جایگزین بخشی از چسب های کیمیاوی شوند (Rainone et al., 2026) با وجود این، اغلب این تحقیقات بر صمغ های شناخته شده مانند صمغ عربی و ترگاکانت متمرکز بوده و صمغ درختان میوه کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

درخت زردآلو^۲ یکی از درختان میوه رایج در منطقه بوده که به طور طبیعی صمغ ترشح می کند. تحقیقاتی داخلی انجام شده نشان می دهد که صمغ این درخت دارای خصوصیات فزیکو کیمیاوی مناسب از جمله آب دوستی، قابلیت امولیشن کنندگی و توانایی تشکیل فیلم است؛ خصوصیتی که از نظر علمی، پیش نیاز تولید مواد چسبنده محسوب می شوند. با این حال، این مطالعات بیشتر بر کاربردهای غذایی و عملکردی صمغ تمرکز داشته و استفاده از صمغ زردآلو در تولید چسب به صورت مستقیم بررسی نشده است (سمائی، و همکاران، ۱۳۹۶).

^۱ Heteropolysaccharides

^۲ *Prunus armeniaca* L.

از سوی دیگر، استفاده از منابع طبیعی بومی در تولید محصولات صنعتی می‌تواند نقش مهمی در کاهش وابستگی به واردات و توسعه پایدار ایفا کند. در کشورهایی که درخت زردآلو به وفور یافت می‌شود، بهره‌برداری علمی از صمغ این درخت می‌تواند ارزش افزوده اقتصادی ایجاد کرده و هم‌زمان به کاهش مصرف چسب‌های کیمیاوی کمک نماید. با وجود این مزایا، نبود تحقیقاتی جامع درباره قابلیت چسبندگی صمغ زردآلو و عملکرد آن در کاربردهای عملی، به عنوان یک خلأ علمی قابل توجه مطرح است.

بر این اساس، مسئله اصلی تحقیق حاضر بررسی این موضوع است که آیا صمغ درخت زردآلو قابلیت تولید چسب طبیعی با خواص فیزیکی و عملکردی مناسب را دارد یا خیر، و در صورت امکان، این چسب تا چه اندازه می‌تواند به عنوان گزینه‌ای پایدار و سازگار با محیط زیست مورد استفاده قرار گیرد. پاسخ به این مسئله می‌تواند زمینه‌ساز توسعه چسب‌های زیستی و استفاده بهینه از منابع طبیعی بومی شود.

۲-۱- اهداف تحقیق

- ۱- ارزیابی پوتانشیل تولید چسب از صمغ درخت زردآلو از نظر خصوصیات ساختاری، عملکردی و کاربردی.
- ۲- بررسی پایداری زیست‌محیطی و تجزیه‌پذیری محصول نهایی نسبت به چسب‌های کیمیاوی.
- ۳- طراحی و بهینه‌سازی روش استخراج و فراآوری صمغ برای به دست آوردن پودر یا محلول پایه چسب
- ۴- ارائه پیشنهاداتی جهت کاربردهای صنعتی بالقوه در صنایع چوب، بسته‌بندی یا بازیافت.

۳-۱- سوالات تحقیق

۱. کدام روش‌های استخراج و محصولات صمغ برای تولید ماده پایه چسب کارآمدتر است؟
۲. چسب تولیدشده از صمغ زردآلو چه میزان مقاومت مکانیکی و چسبندگی دارد؟
۳. آیا چسب صمغ زردآلو به لحاظ زیست‌محیطی مزیت قابل توجهی نسبت به چسب‌های معمول دارد؟
۴. این چسب در چه کاربردهای صنعتی (مثلاً چوب، بسته‌بندی، هنرهای دستی) می‌تواند جایگزین چسب‌های سنتی شود؟

۴.۱- پیشینه تحقیق

در دهه‌های اخیر، با افزایش نگرانی‌های زیست‌محیطی و محدودیت منابع فسیلی، توجه تحقیقگران به سمت توسعه چسب‌های زیست‌پایه معطوف شده است. چسب‌هایی که منشأ نباتی دارند، به دلیل قابلیت تجزیه‌پذیری، سمیت پایین و سازگاری با محیط زیست، به‌عنوان گزینه‌ای مناسب برای جایگزینی چسب‌های کیمیاوی معرفی شده‌اند. در این میان، صمغ‌های طبیعی به‌عنوان بیوپولی‌میرهای غنی از پولی‌سکرایدها، نقش مهمی در تولید مواد چسبنده ایفا می‌کنند و توانایی تشکیل شبکه‌های پیوسته و فیلم‌های چسبنک را دارا هستند (Saha & Bhattacharya, 2010).

مطالعات متعددی نشان داده‌اند که صمغ‌های نباتی مانند صمغ عربی، گوار و ترگاکانت، در صورت فرآوری مناسب، می‌توانند چسب‌هایی با استحکام قابل قبول برای کاربردهایی مانند اتصال چوب، کاغذ و بسته‌بندی تولید کنند. این تحقیقات بیانگر آن است که ساختار مالیکولی پولی‌سکرایدها و میزان شاخه‌دار بودن آن‌ها، تأثیر مستقیمی بر قدرت چسبندگی و پایداری میخانیکی چسب دارد. افزون بر این، اصلاح فزیکایی یا ترکیب صمغ‌ها با مواد طبیعی دیگر می‌تواند عملکرد چسب‌های زیستی را بهبود بخشد (Ali et al., 2023).

در حوزه بین‌المللی، تحقیقات جدید بر توسعه چسب‌های چوب بر پایه صمغ‌های طبیعی تمرکز یافته‌اند. نتایج این مطالعات نشان می‌دهد که بعضی صمغ‌های نباتی قادرند مقاومت برشی و چسبندگی مناسبی ایجاد کنند و حتی در شرایط خاص، عملکردی نزدیک به چسب‌های صنعتی نفت‌پایه از خود نشان دهند. این یافته‌ها نشان‌دهنده ظرفیت بالای صمغ‌ها برای استفاده در صنایع سبک و نیمه‌صنعتی است (Rainone et al., 2026).

در کنار این تحقیقات، بررسی‌های علمی بر روی خواص فزیکوکیمیاوی صمغ‌های استخراج‌شده از درختان میوه نشان می‌دهد که این صمغ‌ها دارای خصوصیتاتی مانند آب‌دوستی بالا، قابلیت ژل‌سازی و تشکیل فیلم هستند. چنین خصوصیتاتی از نظر علمی، پیش‌نیازهای اساسی برای تولید مواد چسبنده به‌شمار می‌روند. با این حال، بیشتر این مطالعات بر کاربردهای غذایی و دارویی متمرکز بوده و استفاده از صمغ درختان میوه در صنعت چسب کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

صمغ درخت زردآلو یکی از منابع طبیعی نسبتاً فراوان در مناطق مختلف، به‌ویژه کشورهای آسیایی، محسوب می‌شود. تحقیقاتی محدود انجام‌شده بر روی این صمغ نشان می‌دهد که ترکیبات آن عمدتاً از پولی‌سکرایدهای طبیعی تشکیل شده و از نظر عملکردی، قابلیت ایجاد پیوستگی و چسبندگی را داراست. با وجود این، تاکنون بررسی جامع و هدفمند درباره استفاده مستقیم از صمغ

زردآلو در تولید چسب‌های زیستی انجام نشده و این موضوع به‌عنوان یک خلأ علمی در ادبیات تحقیقی مطرح است (Al-Soufi et al., 2022).

بر این اساس، مطالعه حاضر با تمرکز بر بررسی امکان تولید چسب از صمغ درخت زردآلو، می‌تواند ضمن تکمیل پیشینه علمی موجود، زمینه‌ساز استفاده بهینه از منابع بومی و توسعه چسب‌های طبیعی سازگار با محیط‌زیست گردد.

۲- روش کار

۱.۲- مواد

صمغ درخت زردآلو و گلیسرین را از عطاری شهر کابل تهیه نمودیم و آب معدنی بحيث محلل در صمغ زردآلود استفاده گردید. گلیسرین که در این تحقیق کار گرفته شده از شرکت Dove است. لازم به ذکر است که گلیسرین استفاده شده به شکل مایع می‌باشد.



شکل ۱: درخت زردآلو و صمغ را نشان می‌دهد (<https://www.colourbox.com>)

۲.۲- جمع آوری

بعد از آسیب یا ترشح طبیعی صمغ توسط درخت، صمغ را به سرعت جمع آوری می‌کنیم تا که آلودگی با خاک و برگ درخت کاهش یابد. اگر دسترسی به صمغ تازه نداشتیم می‌توانیم از عطاری ها تهیه کنیم. چون که صمغ درخت زردآلو یک ماده زردرنگ و چسبنده است، خاک و برگ را به خود جذب می‌کند، برای حذف ناخالصی‌ها صمغ را با آب سرد، شستشو داده تا گرد و خاک و ذرات سنگین حذف شود. بعد از آن صمغ را در محیط خشک و سایه دار خشک نموده، از تابش مستقیم نور خورشید بالای صمغ خودداری می‌کنیم، تا که ترکیبات حساس صمغ از بین نرود. بعد از خشک شدن صمغ به کمک آسیاب کردن آن را به شکل پودر تبدیل نموده تا پروسه حل شدن آن در آب سریع‌تر صورت گیرد.

۳.۲- حل ساختن در آب

پودر صمغ را با نسبت حدود ۵-۲۰٪ وزنی با آب حل می‌کنیم. برای اینکه صمغ هرچه خوب‌تر آماده گردد، صمغ تحت تجربه را به مدت ۶ الی ۱۲ ساعت در حرارت اتاق می‌مانیم تا صمغ به خوبی متورم (آماس) نماید. برای جلوگیری از افزایش سطح تماس از همزن استفاده کنید. صمغ‌های پولی سکراییدی که صمغ درخت زردآلو نیز از آن جمله است حدود ۴۰-۷۰ درجه سانتی گراد حرارت نیاز دارد، که در انحلال صمغ در آب کمک می‌کند. این مرحله زمان‌بر است از ۱ تا ۴ ساعت را در برمی‌گیرد. از حرارت دادن زیاد و سریع صمغ خودداری کنید. یعنی حرارت یکسان و هم زدن دوامدار باعث بهبود کیفیت محصول می‌شود. بعد از آن محلول صمغ را از پارچه و یا فلترهای کاغذی عبور دهید تا ذرات بزرگ حذف گردد. با افزایش نسبت صمغ به آب ویسکوزیته (لزجیت) بیشتر می‌گردد.

۴.۲- افزودن گلیسرین

برای اینکه چسب نرم و انعطاف‌پذیر داشته باشیم (برای جلوگیری از ترک خوردگی) پس از خشک شدن ۲ تا ۳ میلی لیتر گلیسرین به آن اضافه می‌کنیم. گلیسرین خاصیت نرم کنندگی داشته و در صنعت صابون‌سازی و هم‌چنان برای مواد آرایشی جهت نرم ساختن و لطافت جلد و دست و صورت کاربرد وسیع دارد.

۵.۲- تصفیه

در صورت وجود ناخالصی‌های عضوی یا پروتئینی می‌توان از فیلترهای با قطر کوچک و کارایی بلند استفاده نمود، تا ناخالصی‌ها کاملاً حذف شوند. برای از بین بردن رنگ و بوی و بهبود ظاهر و پذیرش مصرف‌کننده از طریق فیلتریشن درست و منظم انجام داد.

کشیدن ذرات جامد توسط الکول (معمولاً ایزوپروپانول و یا ایتانول) باعث رسوب صمغ می‌شود. بعد از آن صمغ رسوب شده به شکل پودر با استفاده از کوره‌های کنترل شده و یا هوای آزاد خشک می‌کنیم، تا رطوبت آن در حدود ۸ تا ۱۰ درصد برسد. بعد از آن پودر خشک شده را آسیاب نموده تا ذرات آن مطابق فورمولیشن چسب پراکنده^۱ شوند.

۶.۲- کیفیت و پایداری

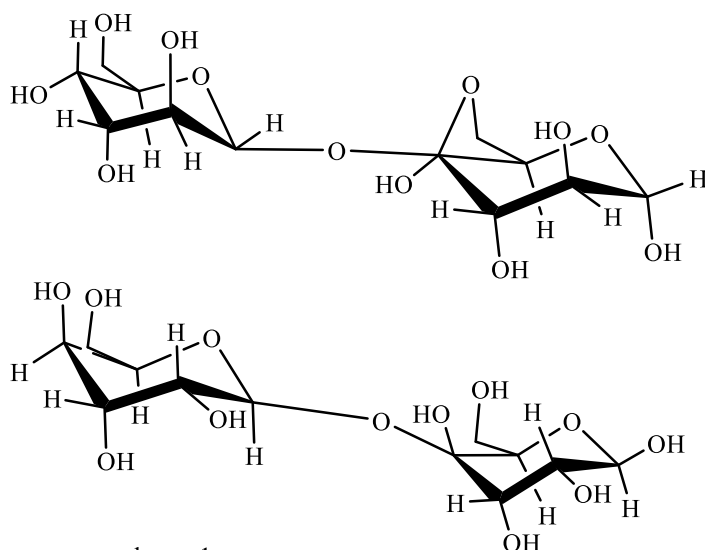
از جمله مواردی که بالای کیفیت و پایداری محصول چسب صمغ زردآلو تأثیر دارد و می‌تواند باعث بهبود کیفیت آن گردد، نبود ناخالصی‌های عضوی، یکنواخت بودن ذرات، بسته‌بندی مقاوم در برابر نور و رطوبت می‌باشد.

۷.۲- آزمایش‌های ارزیابی عملکرد چسب

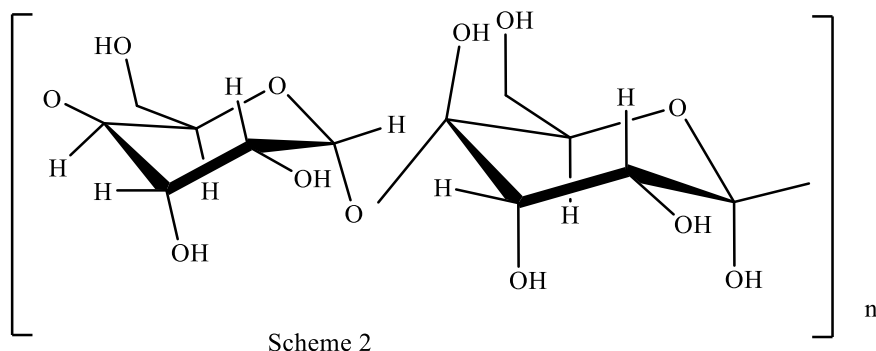
آزمایش چسبندگی روی کاغذ، پلاستیک، سرش کاغذها، چوب و منسوجات با اعمال لایه نازک از چسب، فشار ملایم و سپس بررسی پیوند سطحی را شامل می‌شود. در عملکرد چسبندگی عوامل زیادی دخیل اند که به تئوری‌های چسبندگی مشهور اند، مانند تئوری جذب فیزیکی شامل قوه‌های واندروالسی در بین سطوح، تئوری جذب کیمیایی که بر اساس تشکیل روابطی کووالانسی، آیونی و هایدروجنی بین سطح می‌باشد، همچنان به تئوری الکتروستاتیک از این سرچشمه گرفته است که وقتی دو فلز در تماس با یکدیگر باشند، الکترون‌ها از یکی به دیگری منتقل می‌شوند. تئوری پیوند دوران میخانیکی نیز به هموار بودن و غیر هموار بودن سطح، قبل از سخت شدن اشاره می‌کند و تئوری لایه مرز ضعیف نیز به تمیز بودن و یا نبودن سطح از آلودگی‌های مانند زنگ‌زدگی، روغن و یا گریس‌ها اشاره دارد، که باعث تشکیل لایه مرزی ضعیف بین دو سطح که باید توسط چسب به هم پیوند داده شود می‌گردد. آماده‌سازی نامناسب یا نادرست سطح، احتمالاً دلیل عمده شکسته شدن اتصالات چسبی می‌باشد. روش آماده‌سازی سطح یک جسم شامل موارد ذیل اند: پاک کاری سطح از هر آلودگی، سائیدگی جسم، از بردن زنگ‌زدگی جسم و غیره است (محمدی، و مطیعی، ۱۳۹۶). ساختار مرکبات سکرایدی مغلق بوده، پولی

¹ . Disperse

سکرایدها ساختار متنوعی دارند زیرا منابع تولیدکننده آنها متفاوت و شامل میکروبها، جلبکها، نباتات و حیوانات است. از پولی سکرایدهای متنوع می توان به فروکتانها، زانتانها، پولی سکرایدهای باکتریای و غیره نام برد که در ذیل ساختمان رابطه گلایکوساید آورده شده است (شیمای ۱).

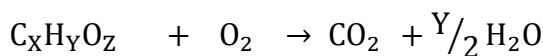


پولی سکرایدها نه تنها به عنوان منبع انرژی شناخته شده بلکه نقشی آنها به عنوان ترکیبات زیست فعال مهم در فعالیت های بیولوژیکی و درمانی نیز اثبات شده است. از جمله خواص درمانی آن می توان به خواص ضد مرض شکر، ضد سرطانی، تنظیم کننده سیستم دفاعی بدن، مؤثر در کاهش قند و چربی خون اشاره نمود. در (شیمای ۲) ساختمان یک پولی سکراید و سازنده آن مونوسکراید آورده شده است (ایپک لو، و مکارچیان، ۱۴۰۳).



۸.۲- تعیین فیصدی عنصری

قبل از تعیین ساختار یک مرکب نامعلوم از طیف‌های یک سمپل، فورمول مالیکولی ماده تعیین می‌شود. از آن جایکه مرکبات عضوی در ترکیب خود C، H و O دارند، ماده موجود در O سوخته و اگر هایدروجن و کاربن تشکیل گردد، پس H₂O و CO₂ در سمپل وجود دارد. درین روزها کاربن دای اکساید و آب توسط کروماتوگرافی گازی تشخیص می‌شوند.



$$9.83mg \quad \quad \quad 23.26mg \quad 9.52mg$$

$$\text{millimoles } CO_2 = \frac{23.26mgCO_2}{44.01 \frac{mg}{mmole}} = 0.5285mmolesCO_2$$

$$mmolesCO_2 = \text{mmoles C in original sample}$$

$$(0.5285mmoles \text{ C})(12.01 \text{ mg/mmole C}) \\ = 6.35mg \text{ C in Original sample}$$

حالا مقدار هایدروجن را دریافت می‌کنیم.

$$mmoles H_2O = \frac{9.52mgH_2O}{18.02 \text{ mg/mmole}} = 0.528mmoles H_2O$$

$$(0.528mmolesH_2O) \left(\frac{2mmolesH}{1mmoleH_2O} \right) \\ = 1.056mmoles H \text{ in original sample}$$

$$(1.056 \text{mmolesH})(1.008 \text{mg/mmole H}) \\ = 1.06 \text{mg H in original sample}$$

با استفاده از مقادیر دریافت شده کاربن و هایدروجن می توان فیصدی اکسیجن را نیز دریافت نمود.

$$\%C = \frac{6.35 \text{mg C}}{9.83 \text{mg sample}} \times 100 = 64.6\%$$

$$\%H = \frac{1.06 \text{mg H}}{9.83 \text{mg sample}} \times 100 = 10.8\%$$

$$\%O = 100 - (64.6 + 10.8) = 24.6\%$$

میزان فیصدی هریک از عناصری در ترکیب مرکب عضوی سکرایدی که نزدیکترین فورمول را با صمغ دارد، را نشان می دهد. از آنجای که مرکبات عضوی روابط اشتراکی دارند، بناءً در چسبندگی آن می تواند به شکل تئوری جذب کیمیاوی را (کوولانسی) عمل کند. لیکن با دارا بودن غلظت بیشتر صمغ نسبت آب، چسبندگی آن بیشتر می گردد. البته به عوامل دیگری نیز مانند،

تمیزی، زنگ زدگی، به خاصیت مواد چسب شونده، مکان مورد استفاده، وزن برداشتی و غیره نیز اشاره نمود.

اهمیت شناخت خصوصیات کیمیاوی صمغ ها به این دلیل است که تفاوت ساختمان کیمیاوی آن ها، باعث تفاوت در خصوصیات عملکردی آن ها می شود و بر کارایی و کاربرد آن ها تأثیر می گذارد. در جدول ۱ خصوصیات صمغ فارسی، صمغ بادام و زردآلو آورده شده است. تفاوت معنی داری بین این سه صمغ وجود ندارد، اما از لحاظ مقدار پروتئین و مقدار خاکستر صمغ فارسی غنی تر می باشد. اما چسبندگی هر یک از صمغ ها از هم دیگر متفاوت، زیرا ساختار زنجیری و وزن مالیکولی آن ها از هم دیگر متفاوت اند.

جدول ۱-۱ مشخصات مقادیر عنصری موجود در صمغ‌ها به اساس سطح معنی داری را نشان می‌دهد (امینی راستابی، و همکاران، ۱۳۹۵).

نمونه	% رطوبت	% خاکستر	% پروتئین	% کاربوهاید ریت	% سودیم	% پتاشیم	% کلسیم	% مگنیزیم
صمغ فارس ی	۸.۰۳± ۰.۳۲ ^a	۲.۴۴±۰. ۱۴ ^a	۰.۷۲±۰. ۶ ^a	۸۷.۸۱±۰. ۱۱ ^a	۰.۱۹±۰. ۰.۱ ^a	۰.۱۷±۰. ۱ ^a	۰.۷±۰. ۴ ^a	۰.۲۲±۰. ۰.۱ ^a
صمغ بادام	۷.۹۵± ۰.۲۶ ^a	۱.۰۱±۰. ۰.۹ ^b	۰.۴۵±۰. ۰.۱۱ ^b	۹۰.۶±۰.۱۴ a	۰.۰۲±۰. ۰.۱ ^b	۰.۰۳±۰. ۱ ^b	۰.۷۲±۰. ۰.۵ ^a	۰.۰۷±۰. ۰.۱ ^b
صمغ زرد آلو	۸.۰۳± ۰.۳۲ ^a	۲.۴۴±۰. ۱۴ ^a	۰.۷۲±۰. ۶ ^a	۸۷.۸۱±۰. ۱۱ ^a	۰.۱۹±۰. ۰.۱ ^a	۰.۱۷±۰. ۱ ^a	۰.۷±۰. ۴ ^a	۰.۲۲±۰. ۰.۱ ^a

مطالعات انجام شده بالای سایر صمغ‌ها نشان داده شده است که صمغ‌های نشایسته، پکتین، کاراجینان، صمغ قدومی، صمغ دانه شاهی، صمغ دانه مریم، صمغ کاکتوس، زانتان و کاربوکسی میتایل سلولوزی نیز در برابر رقیق شدن رفتار متفاوتی دارند. یعنی لزجیت آن‌ها در میزان مقدار معین محلل فرق می‌کنند. زیرا رابطه‌های کیمیاوی که برای هریک فرق کرده، اساس روابط غیر کوولانسی و اندروالس و قدرت الکتروستاتیک این شبکه‌ها ضعیف و یا قوی بوده و تجمع ذرات حاصله در محلول از بین رفته، ویسکوزیته (لزجیت) کاهش پیدا می‌کند. دلیل دیگر بر رقیق شدن متفاوت هر یک از صمغ‌های در میزان چسبندگی آن‌ها می‌تواند باشد، زیرا در عین مقدار محلل، چسبندگی آن‌ها نیز می‌تواند متفاوت ظاهر شوند (راستای، جواد امینی ۱۳۹۵)

۹.۲- تفاوت صمغ با لعاب نباتات

تفاوت صمغ با لعاب درین است که لعاب درختان معمولاً بی‌شکل (امورف) بوده و هایدروفیل اند، در حالیکه صمغ‌ها شکل منظم دارند. تفاوت دیگر صمغ درختان با لعاب درختان در این است که، صمغ‌ها بعد از زخمی شدن درختان ترشح می‌شود، اما لعاب درختان محصول نرمال میتابولیزم می‌باشند که در داخل سلول‌های نباتی تشکیل می‌شوند.



شکل ۲-۳ لعاب درخت سقر منبع: ()

<https://www.frontiersin.org/journals/pharmacology/articles/10.3389/fphar.20241474>
(. 981/full?utm_source=chatgpt.com)

۳- نتایج و مباحثه

نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد که تولید چسب از صمغ درخت زردآلو می‌تواند به‌عنوان یکی از گزینه‌های مناسب در چارچوب توسعه چسب‌های زیست‌پایه و طبیعی مطرح گردد. درخت زردآلو، مشابه درختانی چون کاج، شفتالو و برخی گونه‌های میوه‌دار دیگر، به‌طور طبیعی صمغ تولید می‌نماید که این صمغ پس از جمع‌آوری و انجام مراحل محصولات شامل شستشو، آسیاب‌کردن، حل‌سازی در آب با اعمال حرارت و افزودن مقدار معینی گلیسرین (حدود ۲٪) و مواد کمکی مانند ایتایل الکول یا تیزاب سرکه، قابلیت تبدیل شدن به یک ماده چسبنده یکنواخت و قابل استفاده را دارا می‌باشد. نگهداری چسب حاصل در ظروف سربسته نیز نقش مؤثری در کاهش آلودگی میکروبی و افزایش عمر نگهداری آن دارد که این موضوع با یافته‌های گزارش شده در تحقیقات مشابه هم‌خوانی دارد (Saha & Bhattacharya, 2010).

بررسی خواص فزیکوکیماوی چسب تولیدشده نشان داد که صمغ زردآلو پس از حل شدن، محلولی با لزجیت مناسب ایجاد می‌کند. این رفتار ناشی از حضور پولی‌سکرایدهای طبیعی با وزن مالیکولی نسبتاً بالا و قابلیت تشکیل شبکه‌های پیوسته است. مطالعات پیشین نیز نشان داده‌اند که ساختار پولی‌سکرایدی صمغ‌های نباتی نقش تعیین‌کننده‌ای در ایجاد خاصیت چسبندگی، تشکیل فیلم و پایداری میخانیکی چسب‌های زیستی دارد (Rainone et al., 2026).

نتایج آزمون‌های کاربردی بیانگر آن است که چسب تولیدشده از صمغ زردآلو توانایی اتصال مناسب سطوحی مانند کاغذ، چوب، پلاستیک‌های سبک و مواد مورد استفاده در صنایع دستی و هنری را دارا می‌باشد. این چسب در کاربردهایی که بار میخانیکی زیاد وارد نمی‌شود، از جمله پوش کردن کتب، چسباندن قطعات چوبی سبک، منسوجات، تولید رنگ و برخی موارد عایق‌کاری سبک مانند کاشی‌ها، عملکرد قابل قبولی از خود نشان داد. این نتایج با گزارش‌های مربوط به چسب‌های زیستی حاصل از صمغ عربی، گوار و ترگاکانت مطابقت دارد که برای کاربردهای سبک و نیمه‌صنعتی توصیه شده‌اند (Ali et al., 2023).

با این حال، مقایسه چسب طبیعی صمغ زردآلو با چسب‌های مصنوعی نفت‌پایه نشان می‌دهد که چسب‌های صنعتی، به‌ویژه آن‌هایی که بر پایه رزین‌هایی مانند اپوکسی ساخته شده‌اند، از نظر استحکام نهایی، سرعت عملکرد و مقاومت در برابر حرارت و فشار برتری دارند. این ویژگی‌ها عمدتاً ناشی از وجود گروپ‌های فعال امینی و انشعاب‌پذیری بالای زنجیرهای پولی‌میری در ساختار این رزین‌ها است که منجر به ایجاد روابط قوی‌تر می‌شود. با وجود این، چسب‌های مصنوعی به دلیل منشأ نفتی، سمیت بیشتر و اثرات منفی زیست‌محیطی، از نظر صحتی و پایداری محیط‌زیست با چالش‌های جدی مواجهه‌اند (Vineeth & Gadhav, 2020).

نتایج این تحقیق همچنین نشان داد که چسب تولیدشده از صمغ زردآلو در برابر شرایط شدید تیزابی و قلوئی، نسبت به چسب‌های مصنوعی، حساس‌تر بوده و زودتر متأثر می‌گردد. این موضوع

به ماهیت آب دوست پولی سکرایدها و روابطی هایدرجنی غالب در ساختار آن‌ها مرتبط است؛ پدیده‌ای که در اغلب چسب‌های زیست‌پایه گزارش شده است. (Santos et 2021) تفاوت‌هایی در لزجیت، رنگ، بو، سرعت عمل، انعطاف‌پذیری و عمر مفید چسب نیز مشاهده شد که این تفاوت‌ها به نوع ماده اولیه، میزان افزودنی‌ها و شرایط محصولاتی وابسته می‌باشند.

مطابق داده‌های مقایسه‌ای ارائه شده در جدول شماره (۱)، اختلاف چشمگیری از نظر مقدار برخی عناصر میان چسب‌های طبیعی و مصنوعی مشاهده نشد؛ اما تفاوت‌هایی در میزان خاکستر و لزجیت وجود داشت که به نوع روابطی درون مالیکولی و بین مالیکولی مواد اولیه مربوط می‌شود. این تفاوت‌ها به طور مستقیم بر رفتار رئولوژیکی و قدرت چسبندگی چسب‌ها اثر می‌گذارند. یافته‌های مشابهی نیز در تحقیقات داخلی گزارش شده است که نشان می‌دهد نوع و نسبت مواد افزودنی در چسب‌های طبیعی، نقش کلیدی در بهبود عملکرد آن‌ها ایفا می‌کند (یوسفی، و فاطمه، ۱۳۹۹)

در مجموع، نتایج این تحقیق بیانگر آن است که صمغ درخت زردآلو از پتانسیل علمی و کاربردی لازم برای استفاده در تولید چسب‌های زیستی برخوردار می‌باشد. هرچند این نوع چسب‌ها از نظر تحمل شرایط سخت صنعتی قابل مقایسه با چسب‌های مصنوعی پیشرفته نیستند، اما برای کاربردهای سبک و نیمه صنعتی، گزینه‌ای مناسب، ایمن، تجدیدپذیر و سازگار با محیط زیست محسوب می‌شوند. انجام تحقیق‌های تکمیلی در زمینه اصلاح فیزیکی، بهینه‌سازی فورمولیشن و ترکیب صمغ زردآلو با سایر مواد طبیعی می‌تواند زمینه ارتقای کیفیت و گسترش دامنه کاربرد این چسب طبیعی را فراهم سازد.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به دست آمده از این تحقیق و با توجه به مقایسه آن با یافته‌های تحقیقات داخلی و خارجی، می‌توان نتیجه گرفت که صمغ درخت زردآلو از ظرفیت قابل توجهی برای استفاده در تولید چسب‌های زیستی برخوردار است. این صمغ به دلیل ماهیت پولی سکرایدی، قابلیت حل شدن در آب، تشکیل محلول‌های ویسکوز، ایجاد شبکه‌های پیوسته و توانایی تشکیل فیلم، شرایط اساسی لازم برای تولید مواد چسبنده طبیعی را فراهم می‌سازد.

نتایج عملی نشان داد که چسب تولید شده از صمغ زردآلو توانایی اتصال مناسب سطوحی مانند کاغذ، چوب سبک، پلاستیک‌های نازک و مواد مورد استفاده در صنایع دستی، منسوجات و مصارف آموزشی را دارا می‌باشد و برای کاربردهایی که بار میخانیکی و حرارتی بالا در آن‌ها مطرح نیست، عملکرد قابل قبولی ارائه می‌کند. هرچند این چسب از نظر استحکام نهایی، سرعت عملکرد

و مقاومت در برابر شرایط شدید تیزابی، قلوی، حرارت و فشار، قابل مقایسه با چسب‌های صنعتی نفت پایه نمی‌باشد، اما از نظر زیست محیطی، صحتی بودن، تجدیدپذیری و کاهش اثرات منفی محیطی، برتری آشکاری نسبت به چسب‌های مصنوعی دارد.

همچنین مشخص گردید که خواص نهایی چسب صمغ زردآلو به شدت تحت تأثیر نوع محصولات، مقدار افزودنی‌ها و شرایط نگهداری قرار دارد؛ بنابراین با انجام اصلاحات فیزیکی، بهینه‌سازی فورمولیشن و ترکیب این صمغ با سایر مواد طبیعی، می‌توان محدودیت‌های موجود، به‌ویژه حساسیت به رطوبت و محیط‌های تیزابی و قلوی را تا حدی کاهش داد.

در مجموع، این تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از صمغ درخت زردآلو می‌تواند به‌عنوان یک منبع بومی، ارزان و سازگار با محیط زیست، نقش مؤثری در توسعه چسب‌های طبیعی و کاهش وابستگی به چسب‌های نفت پایه ایفا نماید. نتایج به‌دست آمده می‌تواند مبنایی برای تحقیقات آینده در زمینه تولید چسب‌های زیستی پیشرفته‌تر و بهره‌برداری صنعتی از منابع طبیعی محلی قرار گیرد.

۵- منابع و مآخذ

اکبری، و همکاران. (۱۳۹۶). بررسی اثر ترکیبی صمغ دانه مرو و پروتئین آب پنیر بر پایداری امولسیون روغن در آب با استفاده از روش سطح پاسخ. *فناوری نوین غذایی*، ۵۶-۴۷.

امینی راستابی، و همکاران. (۱۳۹۵). مقایسه خواص فیزیکوشیمیایی و عملکردی صمغ فارسی (Farsi Gum) و صمغ درخت بادام شیرین (Almond Gum) کنفرانس ملی دستاوردهای نوین در صنایع غذایی و تغذیه سالم.

ایپک لو، و مکارچیان. (۱۴۰۳). ارزیابی اثر افزودن رزین اپوکسی جهت تثبیت خاک ماسه‌ای تسلیح شده با الیاف پلی اتیلن. *نشریه علمی-تحقیقی مهندسی دریا*، ۳۶-۴۲.

سمائی، و همکاران. (۱۳۹۶). (۱۳۹۶). بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و عملکرد صمغ درخت زرد آلو، شماره ۶۵ دوره ۱۴. *علوم و صنایع غذایی ایران*، ۳۳۵-۳۴۲.

کشاورز زهرا و همکاران. (۱۴۰۱). ارزیابی ویژگی‌های آنتی اکسیدانی و شیمیایی سس سالاد بالزامیک پایداری شده با صمغ فارسی. *فصلنامه فرآوری و نگهداری مواد غذایی*، ۷۳-۹۰.

محمدی، و مطیعی. (۱۳۹۶). ساختار و عملکرد رزین‌های مورد استفاده در صنایع لاستیک ۲۱،۸۶ (۲۰۱۷): صنعت لاستیک ایران، ۶۴-۵۶.

یوسفی، و فاطمه. (۱۳۹۹). تأثیر میزان صمغ فارسی روغن پروتئین بر پایداری امولسیون. نشریه تحقیق و نوآوری در علوم صنایع غذایی، ۱۹۹-۲۱۸.

Al-Soufi, M. H., Alshwyeh, H. A., Alqahtani, H., Al-Zuwaid, S. K., Al-Ahmed, F. O., Al-Abdulaziz, F. T., Raed, D., Hellal, K., Mohd Nani, N. H., Zubaidi, S. N., & others. (2022). A review with updated perspectives on nutritional and therapeutic benefits of apricot and the industrial application of its underutilized parts. *Molecules*, 27(15), 5016.

Ali, H. M. J., Abdullah, A. Q., & Shanan, Z. J. (2023). Environmentally Friendly Wood Adhesives Based on Dextrin/Arabic Gum Blends. *Iraqi Journal of Industrial Research*, 10(3), 67–75.

Modzel, G., Kamke, F. A., & De Carlo, F. (2011). Comparative analysis of a wood: adhesive bondline. *Wood Science and Technology*, 45(1), 147–158.

Rainone, E., Alshaiba, H., & Variola, F. (2026). Beyond polydopamine: expanding the horizon of polycatecholamines for biomaterials and biomedical technologies. *Biomaterials Science*.

Saha, D., & Bhattacharya, S. (2010). Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food: a critical review. *Journal of Food Science and Technology*, 47(6), 587–597.

Souza, P. R., de Oliveira, A. C., Vilsinski, B. H., Kipper, M. J., & Martins, A. F. (2021). Polysaccharide-based materials created by physical processes: from preparation to biomedical applications. *Pharmaceutics*, 13(5), 621.

Vineeth, S. K., & Gadhave, R. V. (2020). Sustainable raw materials in hot melt adhesives: a review. *Open Journal of Polymer Chemistry*, 10(3), 49–65.

زراعت سازگار با تغییر اقلیم و راه کارهای سازگاری با تغییر اقلیم

(مقاله علمی-مروری)

^۱ رضا شاهین ^۲ نصرالله نصرت

^۲۱ عضو کادر علمی رشته آگرانومی پوهنجی زراعت پوهنتون دایکندی

reza.shaheen2019@gmail.com

چکیده

تغییر اقلیم دامنه گسترده ای داشته و بخش های مختلفی همچون زراعت، آب، محیط زیست و غیره را متأثر می سازد. اهمیت سازگاری با تغییر اقلیم در بخش زراعت به دلیل ماهیت آسیب پذیر بودن آن نسبت به سایر بخش ها حایز اهمیت اقتصادی است. راهکارهای سازگاری در بخش زراعت باید به شکلی طراحی و به کار برده شوند که علاوه بر کاهش ضررهای وارده، پایداری معیشت بخش عظیمی از خانواده های شاغل در این بخش را نیز حفظ کند. به دلیل موجود معیارهای مختلف و متعدد نیاز است از تکنیک های تصمیم گیری به منظور اولویت بندی و انتخاب نهایی راهکارهای سازگاری استفاده کرد. بنابر این هدف تحقیق حاضر بررسی معیارها و تخنیک های اولویت بندی جهت شناسایی مناسب ترین راه کارهای سازگاری با تغییر اقلیم در بخش زراعت می باشد. بر اساس نتایج تحقیقات معیارهای سازگاری با تغییر اقلیم در بخش زراعت در دو مقوله اصلی هزینه ها و فایده تقسیم بندی می شوند. در بخش هزینه ها به حداقل بودن هزینه ها کار برد، حفظ و نگهداری و سایر هزینه ها تمرکز شده است در بخش فایده ها نیز معیارها در قالب مقوله های فرعی پنجگانه نهاد سیاسی، محیط زیستی، اجتماعی، اقتصادی و اقلیمی قرار گرفته است. بر مبنای یافته ها، روش ها و تخنیک های متفاوتی به منظور اولویت بندی و انتخاب راهکارهای مناسب پیشنهاد شده است ولی نمی توان در تمام موقعیت ها یکی از آنها را توصیه نمود، بلکه این انتخاب باید مناسب با شرایط، هدف و سطح منابع اطلاعاتی موجود صورت گیرد، تحقیق حاضر یک تحقیق مروری بوده که برگرفته شده از کتب، مقالات و سایت های اطلاعاتی معتبر علمی صورت گرفته است.

کلمات کلیدی: تغییر اقلیم، راهکارهای سازگاری، زراعت، سازگاری.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مقدمه

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على أشرف الأنبياء والمرسلين.

حرارت کره زمین در صد سال اخیر روند افزایش بی سابقه‌ای را نشان می‌دهد. این روند افزایشی موجب کاهش منابع آبی، افزایش رخدادهای اقلیمی و به‌طور کلی، برهم خوردن تعادل اکوسیستم‌ها در جهان شده است (دوستان و علیجانی، ۱۳۹۴؛ Bashirian et al., 2020). تغییر اقلیم، تولید محصولات زراعتی را در سراسر جهان با تغییرات در الگوهای فصلی یا رویدادهای فرین (امواج گرمایی و سرمایی، خشکسالی، بارش سنگین، زاله و ...) به چالش میکشد (Ayyogari, Sidhya, & Pandit, 2014; Bisbis, Gruda & Blanke, 2018; Gruda, 2018; Morel & Cartau, 2023; Van Tilurg & Hudson, 2022). کره زمین باعث افزایش نیاز آبی نبات و افزایش تبخیر و تعرق در نباتات میشود (Lehmann et al., 2013). بخشی از این اثرها به‌صورت کاهش بهره‌وری تولید محصول و کاهش حاصل مشاهده می‌شود (Palazzoli et al., 2015; Valizadeh et al., 2023). با این حال، مهم‌ترین اثر تغییر اقلیم به خطراتادن امنیت غذایی است (Tohidimoghadam et al., 2023). امنیت غذایی شامل ابعادی مانند در دسترس بودن غذا، ثبات درطول زمان است. خطر تغییر اقلیم برای امنیت غذایی به اختلال در سیستم غذایی ازجمله محصولات زراعتی، حیوانی و توزیع مواد غذایی اشاره دارد (O'Neill et al., 2022; Mirzabaev et al., 2023). این آسیب‌پذیری در مناطق خشک و نیمه خشک با عرض‌های جغرافیایی میانی درمقابل مناطق با عرض‌های جغرافیایی بالا و مرطوب غالب‌تر است؛ البته زیستن در بستر مخاطره‌آمیز طبیعی به الزام، به‌معنای خسارت‌باربودن و آسیب‌پذیری نیست، بلکه کمبود تاب‌آوری، میزان شناخت و ادراک جمعیت مستقر از درجه، نوع و نحوه مخاطره‌آمیزبودن سبب ایجاد خسارت می‌شود (Belay et al., 2022). به همین دلیل، درسطح جهانی تغییرات چشمگیری در نگرش به تغییر اقلیم دیده می‌شود (سارانی و همکاران، ۱۴۰۰). به دلیل گرم‌شدن کره زمین تخمین زده میشود که بهره‌وری زراعتی جهانی تا سال 2080 میلادی در کل جهان بین ۳ تا ۱۶ فیصد کاهش یابد؛ درحالی‌که در کشورهای درحال توسعه، این فیصد بین ۱۰ تا ۲۵ فیصد متغیر است (Reza & Sabau., 2022). پیش‌بینی شده است که درطول صد سال آینده میزان کشت گندم در ایران به‌دلیل تغییر اقلیم تا ۴۱ فیصد کاهش پیدا کند (واثقی و اسماعیلی، ۱۳۸۷؛ صالح نیا، ۱۴۰۱). تحقیقی در مناطق مختلف جهان انجام دادند. نتایج آنان

نشان داد که تغییر اقلیم در سال 2050 می‌تواند باعث کاهش حاصل گندم، جواری، نخود و لبلبو به میزان ۱۸/۶، ۱۹/۱، ۶/۶ و ۲۰ فیصد شود. انطباق با تغییر اقلیم یکی از آخرین راه‌حل‌های کاهش اثرهای تغییر آب‌وهوا بر زراعت است. درک و تغییر رفتار مناسب مهم‌ترین پیش‌نیازها برای یک سازگاری مؤثر است؛ زیرا سازگاری یک فرآیند دو مرحله‌ای است:

۱- درک تغییر اقلیم؛ ۲- تصمیمات سازگاری اتخاذشده برای به حداقل رساندن خسارت‌های احتمالی (Deressa et al., 2009). اما دهاقین به‌طور معمول، به دلیل طیف گسترده‌ای از بازدارنده‌ها در انجام دادن رفتارهای سازگاری موفق نیستند (دهقانپور و همکاران، ۱۳۹۸). شواهدی از تفاوت بین سازگاری واقعی و توصیه‌شده در مناطق مختلف جهان وجود دارد. دلایل احتمالی این تفاوت، تفسیر نادرست از روندهای اقلیمی و موانع اجتماعی، نهادی، فردی، فناوری و اقتصادی در سطح‌های مختلف است (Mall et al., 2019; Singh, 2020; Mall et al., 2021). همچنین، سازگاری، ممکن است با عوامل خارجی قرار بگیرد و یک باور مغرضانه ایجاد کند (Myers et al., 2013). برای مثال، این باور که گرمایش جهانی در حال وقوع است، ممکن است موجب شود تا افراد درباره افزایش درجه حرارت در محیط خود قضاوت کنند. این درحالی است که ممکن است، گرمایش جهانی با افرادی که چنین اعتقادی ندارند، احساس نشود (Howe & Leiserowitz, 2013; Mall et al., 2018). مدارکی وجود دارد که نشان می‌دهد ادراک دهاقین با روندهای اقلیمی مطابقت ندارد (Niles & Mueller, 2016). گاهی اوقات نیز دهاقین از تغییر اقلیم آگاهی دارند؛ اما سازگاری به‌صورت ناآگاهانه در سطح مزرعه اجرا می‌شود که به آن سازگاری غیرفعال گفته می‌شود (Tripathi & Mishra, 2017). باوجود درک دقیق درباره تغییر اقلیم، انطباق‌های توصیه شده ممکن است صورت نگیرد (Gandure et al., 2013). بدین ترتیب، تصمیمات مرتبط به سازگاری تحت تأثیر عوامل بسیاری چون درک دهاقین، آموزش، تجرب دهاقین و دسترسی به زیرساخت‌هاست؛ برای مثال، در سطح فردی عواملی چون درآمد کم، زمین دهاقین کم و وسعت و کمبود آموزش نیز می‌تواند ظرفیت سازگاری را محدود کند (Patel et al., 2023; Usmail, Mala, & Lakew, 2023; Salman, Yassi, & Demmallion, 2023). تفاوت جوامع محلی با کارشناسان دولتی می‌تواند موانع بسیاری را در تطبیق راهبردها با تغییر اقلیمی برای رسیدن به توسعه پایدار ایجاد کند. بخش دهاقین هنگامی به‌سوی پایداری حرکت می‌کند که تک تک دهاقین واحدهای تولیدی مختلف این بخش، روند فعالیت‌های خود را در راستای پایداری قرار دهند. کارشناسان زراعتی برای دستیابی به این هدف باید دانش کافی را درباره مؤلفه‌های پایداری داشته باشند و با اراد خدمات آموزشی به ارتقا دانش

زراعتی پایدار در بین دهاقین اقدام کنند (ملک سعیدی، رضایی مقدم، و آجیلی، ۱۳۸۹). بنابراین تصحیح نظرهای دهاقین و تکنسین های مزرعه با کارشناسان بخش عمومی برای موفقیت اقدام های سازگاری با تغییر اقلیم بسیار مهم است. براساس مطالعاتی که بازیار و احمدوند (۱۳۹۶) انجام داده اند، مهمترین موانع در زمین توسعه بخش دهاقین عوامل اقتصادی، اجتماعی، تسهیلاتی و محدودیت دسترسی به آب است. از جمله متغیرهایی که در بحث دسترسی به آب و منابع به آنها اشاره شده است، شکسالی های مداوم، کشت محصولات آبر، استفاده نادرست از آب های سطحی، کاهش کمیت و کیفیت منابع آب زراعتی است که همگی می توانند تحت تأثیر گرمایش جهانی وضعیت و خیم تری پیدا کنند. برای تسریع در اتخاذ روش های سازگاری، کاهش آسیب پذیری و افزایش تاب آوری در برابر مخاطره های اقلیمی، هماهنگی بین دیدگاه دهاقین و مسئولان مربوط بسیار حائز اهمیت است. هدف از تحقیق حاضر، مطالعه نظریات کارشناسان و بررسی مقالات مرتبط به سازگاری در بخش زراعت با تغییر اقلیم است.

مواد و روش

این مطالعه از نوع یک مطالعه مروری می باشد که در قسمت تغییر اقلیم، سازگاری، اثرات تغییر اقلیم بر زراعت و راهکارهای سازگاری برگرفته شده از منابع، گزارشات مرتبط با تغییرات اقلیمی و منابع موجود در پایگاه اطلاعاتی داخلی و خارجی صورت گرفته است.

تغییر اقلیم

به طور کلی، تغییر اقلیم عبارت است از تغییر بلند مدت در شرایط آب و هوایی (تغییر در درجه حرارت، بارش، باد و دیگر شاخص ها). عامل تغییر اقلیم ممکن است ناهنجاری های طبیعی و یا از فعالیت ها انسانی باشد. تغییر اقلیم واقعیت گریز ناپذیری است.

که در بخش های مختلفی از جهان حال وقوع بود و این مناطق را دستخوش تغییرات نمود است. تأثیرات تغییر اقلیم بر انسان و بالعکس دو سوی متقابل می باشد. اثرات انسان بر اقلیم شامل؛ تمامی فعالیت ها روزانه، تصمیمات و رفتارها ما می باشد. از طرفی دیگر تغییر اقلیم بر سلامت سیار زمین تأثیرگذار بود و در حال ایجاد تغییرات در جهان است. تغییر اقلیم موجب افزایش بلایای طبیعی و مشکلات محیطی زیست شده. که در نتیجه ی آن مشکلاتی برای بخش زراعتی که متولی تولید غذا می باشد، ایجاد کرده و خواهد کرد. بر اساس گزارش ریسک ها جهانی، تغییر اقلیم در سال ۲۰۱۱ میلادی پنجمین ریسک جهانی از نظر احتمال وقوع بود و براساس همین گزارش این پدیده از لحاظ میزان اثرات آن بر جهان و محیط زیست، رتبه دوم را در بین سایر ریسک ها و در این سال به خود اختصاص داده است (The Global Risk Report, 2018). بر اساس مدل ها و

مطالعات جهانی متأسفانه کشور ما در اثر تغییر اقلیم گرمتر و خشکتر خواهد شد و اثرات نامطلوب این تغییرات در بخش زراعت بصورت افزایش تنش حرارتی و افزایش نیاز آبی گیاهان زراعتی می باشد که در مجموعه به کاهش حاصل محصول و کاهش تولیدات زراعت و درخطر افتادن امنیت غذایی کشور منجر خواهد شد (خورسندی و همکاران، ۱۳۸۷).

اقلیم جهان در شرایط گذار قرار دارد و چشم انداز مبهمی از آینده آن پیشرو می باشد. در این راستا روشها مختلفی به منظور تولید سناریوها اقلیمی در دور ها آتی تحت تأثیر تغییر اقلیم ارائه شده است. مطالعه مذکور در ادامه به مقایسه وضعیت کشورها در حال توسعه و توسعه یافته از لحاظ تغییرات متوسط حاصل غلات میپردازد و نتیجه گیری می نماید که تفاوت آشکار در وضعیت کشورهای توسعه یافته نسبت به در حال توسعه وجود دارد در هیچ یک از سناریو ها وضعیت منفی برای کشورها توسعه یافته وجود ندارد درحالیکه در گروه دوم کاهش تولید تا ۱۱٪ نیز شاهد خواهد بود. عوامل مرتبط در تولید محصولات زراعتی شامل آب قابل دسترس، خاک حاصلخیز، نباتی مناسب، اقلیم، آفات، بیماریها، علف ها هرز، CO₂ اتمسفر، درجه حرارت، بارش و رطوبت خاک بطور مجزا و یا با همدیگر میتوانند باعث تغییر در نوع، کمیت و کیفیت محصول شوند. بنابراین تغییر پارامترها اقلیمی در آینده بر تولید محصولات زراعتی (سالانه یا دائمی) کشورها تأثیرگذار خواهند بود. موارد مطلوب احتمالی از تغییر اقلیم عبارت اند از اثرات کود CO₂ بر خاک، افزایش فصل رشد و افزایش بارندگی در برخی نقاط محدود می باشد. از طرف دیگر وقوع بیشتر خشکسالی ها، افزایش، آفات و بیمار ها، افزایش تنش های حرارتی، کاهش فصل رشد در برخی نواحی و افزایش مورد سیل و توسعه اراضی شور از اثرات نامطلوب احتمالی تغییر اقلیم در بعضی از نقاط جهان خواهد بود (خورسندی و همکاران، ۱۳۸۷). بسیاری از وراثتی ها نباتی در اقلیم ها، مناطق و خاک مختلف کشور رشد میکنند. مشخصه های آب و هوای اقلیمی از قبیل درجه حرارت میزان بارش، میزان گاز کاربن دای اکساید و موجودیت و دسترسی به آب به طور مستقیم بر رشد و سلامتی نبات و همچنین تولید مزارع تأثیر گزار هستند. همچنین توزیع نباتات زراعتی در یک منطقه معین به وسیله منابع اقلیمی تعیین می شوند. لذا در مناطق دچار تغییر اقلیم می توان با کشت محصولات زراعتی و حتی تولیدات حیوانی سازگار از این تغییرات استفاده زیاد برد. اصولاً اثرات تغییر اقلیم بر زراعت و تولید محصولات زراعتی را باید از زاویه واکنش نباتات زراعتی به تولید و باروری نگاه نموده. در این میان واکن نباتات به درجه حرارت، فتوسنتز و تولید ماده نباتی (بیوماس) ناشی از تغییر میزان گاز کاربن دای اکساید هوا، تغییرات نیاز آبی و در مجموعه کارایی مصرف آب و بهره وری آب و تولید می باشد (Hatfield et al., 2008).

برای مواجهه با تغییر اقلیم دو رویکرد توأم وکلی وجود دارد: ۱ تسکین ۲ سازگاری. تسکین تغییر اقلیم به کاهش و انتشار گازها گلخانه ای (به طور عمده کاربن دای اکساید)مربوط می باشد درحالی که هدف سازگاری در درجه اول ملایم نمودن اثرات غیرقابل اجتناب ناشی از تغییر اقلیم است که از طریق طی گسترده ای از اقدامات در یک سیستم آسیب پذیر مورد توجه قرار میگیرد. سازگار با تغییر اقلیم بیشتر جنبه محلی دارد و عملی تر هستند ولی راهکارها تسکین تغییر اقلیم به فعالیت ها وسیع و تعامل با فعالیت ها جهانی و سایر کشورها نیاز دارد. لذا این مقاله با توجه به هدف از تهیه و مخاطبان آن با تمرکز بر رویکرد دوم یعنی سازگار با تغییر اقلیم تدوین شده است. مطالعات مختلفی به اهمیت و نقش سازگار با تغییر اقلیم در بخش زراعتی پرداخته اند. در مطالعه ای که با حمایت مالی اتحادیه اروپا و بنیاد علوم آمریکا و به استناد تعداد از مطالعات جهانی انجام گرفت، نشان داد شد است که منطقه خاورمیانه جز و مناطقی از جهان است که بخش زراعتی آن بالنسبه خسارات سنگینی را از بابت تغییر اقلیم متحمل خواهد شد. نتایج حاکی از آن هستند که در صورت افزایش درجه حرارت جهانی ناشی از تغییر اقلیم و به میزان ۲/۵ درجه سانتی گراد، خاوری میانه می توان تا ۴۰٪ تولیدات بخش زراعتی خود را از دست دهد. از طرفی سازگار با این پدیده میتواند جهت این مسیر را تغییر دهه و درمجموع این منطقه حتی رشد معادل ۱۰٪ در تولیدات زراعتی داشته باشد (Tol., 2002).

در این مقاله با توجه به جدید بودن موضوع تغییر اقلیم و اهمیت سازگار با آن در زراعتی کشور تلاش خواهد گردیده تا بر اساس نتایج مطالعات و تحقیقات بین المللی و داخلی ابتدا ضمن تعریفی از پدیده تغییر اقلیم و آشنایی با آن، اثرات این پدید بر تولید نباتات زراعتی از جنبه ها مختلف از جمله واکنش نباتات به درجه حرارت و تأثیر آن بر حاصل نبات، اثرات تغییر بر افزایش نیازی آبی، مصرف آب نبات، کارایی مصرف آب نبات و درنهایت اثرات این پدیده بر تولید در بخش زراعت تبیین و تشریح شود. به دنبال آن، تعداد راهکار سازگاری با این پدیده در بخش زراعت ارائه خواهد گردید. راهکارها ارائه شده شامل دامنه ای از راهکارها مرتبط با مدیریت آب و خاک و شناخت بهتر رابطه آب و خاک- نبات- اتمسفر، افزایش ظرفیت نگهداشت آب در خاک، توسعه نباتات متحمل به تغییرات اقلیمی، شیفت و جابجایی نباتات متعارف الگوی کشت فعلی به ارقام و وراثتی نباتی جدید (نظیر نباتات دوایی ویا نباتات فراموش شده در الگو کشت نظیر کنجد و گلرنگ و ..) و اجرا برنامه ها آموزشی ترویجی در خصوص مدیریت و حفاظت از منابع آب و خاک در شرایط تغییر اقلیم است.

سازگاری

سازگاری مفهومی است که هم برای سیاستگذاران و هم برای محققان حائز اهمیت می‌باشد و تاکنون تعریف‌های متعددی از آن ارائه شده است (Nelson., 2009). سازگاری با تغییر اقلیم به مفهوم «تمام تعدیلات و تغییرات در رفتار و یا ساختارهای اقتصادی است که نهایتاً منجر به کاهش آسیب‌پذیری جامعه نسبت به این تغییرات می‌گردد». در این بین هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم نیز تعریفی کاربردی از سازگاری دارد به نحوی که آن را؛ «تعدیل در سیستم‌های انسانی و طبیعی در واکنش به محرک‌ها یا اثرات اقلیمی واقعی یا مورد انتظار میداند که آسیب‌ها را کاسته و یا از فرصت‌های پیش رو استفاده نماید (Shukla et al., 2019; Field and Barros, 2014). فائو نیز سازگاری را تغییر در سیستم‌های طبیعی و انسانی در پاسخ به محرک‌های آب و هوایی واقعی، جلوگیری از آسیب‌ها و استفاده از فرصت‌های بوجود آمده میداند (Atmadja et al., 2009; Glantz et al., 2021). کنوانسیون تغییر اقلیم سازمان ملل متحد نیز گام‌های عملی در حفاظت از یک کشور یا گروه‌های جمعیتی از یک آسیب و یا مشکل احتمالی که ناشی از تأثیرات تغییر اقلیم است را سازگاری میداند. در تعریف دیگری فرآیند یا پیامد آن که منجر به کاهش آسیب یا خطر شود و از مزایای تنوع و تغییر در اقلیم نیز استفاده گردد سازگاری نامیده شده است (UKCIP, 2010). برنامه توسعه سازمان ملل متحد (۲۰۰۷). نیز سازگاری را اینگونه تعریف کرده است؛ «فرآیندی که در آن راهکارهایی برای تعدیل، مقابله یا بهره‌گیری از مزایای یک رویداد اقلیمی تدوین، توسعه و به کار برده میشود (Wandel and Smit., 2006).

فرآیند، اقدام یا پرونداد یک سیستم (خانوار، اجتماع، گروه، بخش، منطقه، کشور) به منظور مقابله بهتر، مدیریت یا تعدیل یک تنش، شرایط در حال تغییر، خطر، ریسک و یا حتی فرصت و همچنین (Burton et al., 1998) نیز تعدیل رفتار یک فرد، گروه و یا نهاد به منظور کاهش آسیب‌پذیری جامعه در مقابل تغییر اقلیم را سازگاری می‌نامند. در حوزه زراعتی نیز سازگاری را «کمک به دهاقین در مقابله با اثرات بالقوه تغییرات اقلیم در آینده تعبیر کرده‌اند (Iizumi, 2019; Chen and Gong, 2021).

همانگونه که مشخص است تعاریف بالا از جنبه‌های مختلف دارای تفاوت می‌باشند. اولاً، تمامی تعاریف فوق واژه‌های متفاوتی برای توصیف اینکه سازگاری چیست؟ به کار برده‌اند. کلمات کلیدی تعاریف فوق که بیانگر سازگاری است؛ تعدیل، گام‌های عملی، فرآیند و پیامد است که هر کدام از آنها می‌توانند توسط ذینفعان مختلف به صورت متفاوتی تعبیر شوند. به نظر میرسد "فرآیند" مفهومی است که دارای حیطه‌ای گسترده و باز است و اشاره به زمان یا موضوع مرجع

خاصی نمیکند و به راحتی می توان آنرا با مفاهیمی چون "گام" و "تعدیل" برابر دانست. "تعدیل" نیز به نظر اشاره به فرآیندی دارد که منتهی به یک هدف یا استاندارد شود. به هر صورت، این تفاوت به نظر کوچک و جزیی می تواند انتظارات متفاوتی را از سوی کاربران مختلف ایجاد نماید. اما به نظر می رسد که تعریف هیأت بینالدول تغییر اقلیم، تعریف کامل تری نسبت به بقیه موارد است.

معیارهای انتخاب سازوکارهای مناسب سازگاری

معیارها و شاخص ها روشی برای کمی سازی سطح آسیب پذیری و یا سازگاری با تغییر اقلیم است. یک معیار سنجشی از یک ویژگی، و شاخص نیز مجموعه ای از ویژگی ها و یا به عبارتی دربرگیرنده چند معیار است. معیارها و شاخص ها ابزارهایی مفید در فرآیند تصمیم گیری و اولویت بندی هستند چراکه امکان مقایسه ویژگی های مختلف را مهیا می کنند (Wamsleret et al., 2020). استفاده از معیارها و شاخص ها یکی از روش ها پرکاربرد در تحقیقات مرتبط با اثرات تغییر اقلیم، آسیب پذیری و یا سازگاری است که در تحقیقات مختلفی به کار برده شده است (De Silva and Dayawansa, 2021).

انتخاب سازوکارهای سازگاری مناسب به دلیل عدم حتمیت، شدت و تجمعی بودن اثرات تغییر اقلیم، فرآیندی چالش برانگیز است (Fünfgeld and McEvoy, 2011). همچنین وجود محدودیت هایی مانند کمبود منابع و ظرفیت ها و توان قانونی مناسب، انتخاب و اجرای تمام سازوکارهای سازگاری را عملاً غیرممکن می سازد. از طرفی این امکان وجود دارد که انتخاب برخی از سازوکارها، راه به کارگیری سایر گزینه ها را مسدود نماید (Wamsleret et al., 2020). با توجه به اهمیت معیارها برای انتخاب سازوکارهای سازگاری، تحقیقات مختلفی این نکته را مدنظر قرار داده و ملاحظات یا معیارهایی را معرفی نموده اند که برخی از آنها در جدول ۱ نشان داده شده است.

در جمع بندی مطالب ذکر شده و با استناد به تحقیقات انجام شده و معیارهای ارائه شده، شش معیار کلی را برای بررسی اینکه آیا یک سازوکار سازگاری موفق است یا خیر میتوان به شرح زیر معرفی نمود: ۱- ثابت نگه داشتن ریسک خطرات اقلیمی، حداقل در سطح حاضر؛ ۲- کاهش ریسک در صورتیکه سطح ریسک حال حاضر برای جامعه میزبان بالا و غیرقابل پذیرش باشد، ۳- به حداقل رساندن سطح تماس جمعیت ها یا گروه های آسیب پذیرتر با خطرات اقلیمی، ۴- هزینه اثربخش بودن، ۵- عدالت در توزیع منافع و ۶- پایدار بودن قدم بعدی پس از انتخاب معیارهای انتخاب سازوکارهای مناسب سازگاری با تغییر اقلیم، انتخاب شیوه بررسی و جمع بندی این

معیارهاست (Champalle et al., 2015). معتقدند که به منظور شناسایی بهترین سازوکارهای سازگاری در مکاتب مختلف ادبیات نظری تغییر اقلیم، روشهای مختلفی ارائه شده‌اند که هدف اصلی آنها رتبه‌بندی با در نظر گرفتن معیارهایی شفاف و ساده است. این روش‌ها گستره وسیعی از تکنیک‌های اولویت‌بندی شاخص‌ها تا ابزارهای پیچیده تصمیم‌گیری چند متغیره با هدف انطباق سازگاری با جریان توسعه را دربر میگیرد. در جدول ۲ نمونه‌هایی از روش‌ها و تکنیک‌های اولویت‌بندی و انتخاب سازوکارهای سازگاری در تحقیقات مختلف ذکر شده است.

جدول ۱ معیارها و ملاحظات انتخاب سازوکارهای سازگاری

منبع	معیارها وملاحظات
UNFCCC (2007) Azadi et al 2021	اثربخش در کاهش آسیب پذیری و افزایش انعطاف پذیری پذیرش اجتماعی و مقبولیت انطباق و هم افزای با اهداف دیگر از جمله کاهش آسیب پذیری
Stern and Stern.,2007	کارایی (افزایش مزایا و کاهش هزینه ها)
Harley., 2006	عادلانه، به‌ویژه برای گروه‌های آسیب‌پذیر
Agrawala., 2006	هماهنگی/ یکپارچگی بیشتر با اهداف، برنامه‌ها و فعالیت‌های اجتماعی
Swart and Res., 2007	مشارکت، درگیر بودن و حمایت بیشتر ذینفعان
Obrien et al., 2007	مغایرت با هنجارها و سنن اجتماعی
Palutikof et al., 2019	امکان‌پذیری سیاسی، اشتغال‌زایی، امکان‌پذیری مالی، سرعت کاربرد و اجرا، حفظ منابع محیط زیستی
Brooks e al., 2011	پایدار (پایداری زیست محیطی و نهادی)
Palutikof et al., 2019	پاسخگو به بازخوردها و منعطف در یادگیری
Brown et al.2012	طراحی شده برای دامنه و زمان مناسب
Repetto (2008)	احتمال اجتناب از سوء سازگاری
Carmin and Dodman (2013)	کاربردپذیر در طیف وسیعی از سناریوهای اقلیمی و اجتماعی
UNFCCC(2007) Fünfgeld and McEvoy(2011)	موجود بودن منابع مورد نیاز (شامل اطلاعات، منابع مالی، رهبری و ظرفیت مدیریتی)
Papathoma-Kohle et al.,(2016)	در دسترس، شفاف، مشارکتی بودن و امکان‌پذیر از لحاظ سیاسی
UKCLP (2010)	اثربخشی، کارآیی، برابری، انعطاف‌پذیری، پایداری، عمل‌پذیری، معتبر بودن
Naulleau et al. (2021)	کارایی اثربخشی

جدول ۲ نمونه های از روش -تخنيک های اولويت بندي سازگاري سازگاري

روش تخنيک	تحقيقات مرتبط
تجزيه و تحليل هزينه / فايده	Naulleau et al. (2021); Smith et al. (2009); UKCIP (2010); UNFCCC (2007)
تحليل هزينه - اثريخشي	UKCIP (2010); UNFCCC (2007); Naulleau et al. (2021)
تجزيه و تحليل چند معياره	Ebi and Burton (2008); UNFCCC (2007); Naulleau et al. (2021)
ارزيابي محيطي زيست و مديريتي	Feenstra et al. (1998); Geethalakshmi et al. (2011); Ansari Mahabadi et al. (2019)
ماتريس تصميم پذيرش و بازنامي گزيدهاري سازگاري	Mizina et al., 1999
چارچوب ارزيابي ريسک	UNFCCC., 2007
مقايسه تاريخي با جغرافيايي؛ پيش بيني با قياس	Glantz and Ausubel., 1988 (Glantz and Ausubel., 1984
تغير وتنوع اقليمي	Smit et al., 2000
تحليلي ها مبني بر سناريو	Geethalakshmi et al. (2011); Champalle et al. (2015)
تحليل سلسله مراتبي	Palutikof et al. (2019); Champalle et al. (2015)
تحليل هاي روند خطرات اقليمي و نقشه کشي اجتماعي	De Bruin et al. (2009)
نقطه نظر متخصصين	Debela et al. (2015)
رويکرد تجزيه و تحليل شبکه محو	Champalle et al (2015)

سازگاري با تغير اقليم در زراعت و راهکارهای آن

قاره آسيا، بزرگ ترين قاره جهان مي باشد که تقريباً در چهار منطقه اقليمي (سرد، خشک و نيمه خشک، حار و معتدل) گسترده شده است. در اين قاره ه نيز تغير اقليم بخش های مختلف (شامل منابع آب، زراعت، امنيت غذايي، اکوسيستم ها، تنوع زيستي، سلامت انسان و مناطق ساحلي) را تحت تأثير قرار خواهد داد. در اين قاره بسياري از مشکلات محيط زيستي و توسعه به وسيله تغير اقليم تشديد خواهد شد. بر اساس اطلاعات بين المللي کشورها، اطلاعات آسيب های محتمل تغير اقليم به کشورهای در حال توسعه و در

بخش‌های اقتصاد مختلف در جدول ۳ ارائه شد است. همچنان که از جدول ۳ نمایان است، دامنه فعالیت‌ها و عملکردهایی که می‌تواند برای سازگار با تغییر اقلیم به کار رود، در بین این کشورها متنوع است. نتایج تحقیقات انجام شده بر انطباق زراعت با تغییر اقلیم با استفاده از مدل شبیه‌سازی ارقام نباتی مختلف نشان داد، بعضی از ارقام نباتی حساسیت کمتر نسبت به کشت آن در مراحل مختلف سال دارند، درحالی‌که ارقام دیگر تحت شرایط گرمتر عملکرد پتانسیل بیشتر خواهند داشت. یک رقم قادر است تا اثرات کاهش عملکرد ناشی از سناریوها تغییر اقلیم را جبران نماید، در حالی که رقم دیگر به تاریخ کشت حساس نبود و ثبات بیشتر در تولید دارد (Rosenzweig et al., 2004) از نقطه نظر مصرف آب و نیاز نبات به آب نیز رقم‌ها نباتی مختلف نیازها و واکنش‌ها مختلف از خود نشان داده‌اند. بنابراین مشاهده می‌گردد که ارقام نباتی مختلف و خصوصیات آنها نقش مهمی به تحمل پذیری برای اثرات تغییر اقلیم دارد. جمع‌بندی کلی نتایج تحقیقات مختلف (Rosenzweig et al., 2004). نشان داده است که مدل‌سازی می‌تواند یک چهارچوب خوبی برای بررسی اثرات تغییر اقلیم بر زراعت جهان باشد. همچنین نتایج مدل‌ها حاکی از آن هستند که افزایش تقاضای آب ناشی از بخش‌های مختلف مصرف از جمله بخش زراعت و تغییرات در تأمین آب بالقوه ناشی از تغییر اقلیم می‌تواند تا حدی با بهبود ارقام نبات متحمل، فناوری‌ها آبیاری و زه‌کشی، مدیریت بهتر آب و سرمایه‌گذاری‌های کافی جبران و انطباق داده شود. براساس مرور منابع علمی مختلف، راهکارهای سازگاری با اثرات تغییر اقلیم از جنبه مدیریت آب زراعتی جمع‌بندی و در جدول ۴ به صورت خلاصه ارائه شده‌اند. البته این راهکارها بالقوه بوده و انتخاب و کاربرد آنها بستگی به شرایط محلی دارد و به اصطلاح باید بومی شوند که در بخش بعدی به آن پرداخته شده است. در جدول ۴ تعداد از راهکارهای محلی سازگار با تغییر اقلیم در زراعت و برگرفته از نظرات بهره‌برداران و کارشناسان آب و زراعت کشور ارائه گردیده است.

جدول ۳- راهکارهای سازگاری در بخش زراعت در کشورهای در حال توسعه (FAO-OECD, 2012)

راهکارهای سازگار فعال و در دست اقدام	راهکارهای سازگار مورد انتظار و قابل پیش بینی برای آینده
- ذخیره آب برای آبیاری (احداث، سد، استخر و....)- متحمل به خشکی و خشکسالی، شوری، آفات و بیماری ها)	- توسعه نباتات مقاوم/ متحمل (مقاوم و متحمل به خشکی و خشکسالی، شوری، آفات و بیماری ها)
- تغییرات در نوع و نحوه کاربرد و مصرف کودهای کیمیاوی	- گسترش تحقیقات و مطالعات مرتبط
- توجه به تغذیه خاک و بهبود آن	- مدیریت آب و خاک و شناخت بهتر رابطه و آب و خاک - نبات - اتموسفیر
- تغییرات در زمان کشت و جمع آوری محصولات زراعتی	- ایجاد تنوع در محصولات زراعتی مورد کشت
- گذار و جایجای به استفاده از وراثتی های نباتی جدید	- ایجاد و توسعه سیستم های پیش آگاهی
- اجرای برنامه های آموزشی برون سازمانی در خصوص مدیریت و حفاظت از منابع آب، خاک و نبات	

*صرفاً موارد مرتبط با مدیریت ها زراعتی و نباتی در شرایط تغییر اقلیم

جدول ۴- راهکارهای سازگاری با تغییر اقلیم به استناد منابع علمی جهانی (Iglesias and Garroteb, 2015)

تیپ راهکار سازگاری	عنوان راهکار
۱- راهکار وابسته به مصرف آب محصولات زراعتی	- تغییر شیوه آبیاری و توسعه سیستم های آبیاری تحت فشار. - احداث استخرهای ذخیره آب. - جلوگیری از تلفات غیر مثمر آب با اجرای آبیاری های نوین، تسطیح و یکپارچه سازی اراضی، لایروبی قنوات، پوش کانال ها. - توسعه استفاده از روش تسطیح لیزری در مزارع. - انتقال آب با لوله. - یکپارچه سازی اراضی، ایجاد سامانه های نوین آبیاری، ایجاد شبکه های فرعی آبیاری - توسعه روش های آبیاری میکرو (قطر ای)...
۲- راهکارها زراعتی و نباتی	- ایجاد تناوب های زراعتی مناسب (با کشت های کم آب بر) توأم با کشت آیش. - توسعه وراثتی للمی و استفاد از وراثتی و گونه های زراعتی و باغی مقاوم به تنش های خشکی و شور. - تغییر در تاریخ کاشت (در برخی از محصولات نظیر کچالو و پیاز که از بارش های زمستانه استفاده شود). - توسعه کشت نباتات خزانی.

- توسعه نباتات زودرس و متحمل به تنش های محیطی (خشکی و شور). - توسعه کشت های گلخانه ای. - کشت نباتات با نیاز آبی کمتر و ارزش اقتصادی بالا (نظیر کشت نباتات دارویی، گل رنک، زعفران، کنجد،، کشت باغات پسته، گسترش کشت های گلخانه ای و ایجاد باغ های انگور به روش داربستی و). - استفاد از وراثتی زودرس و میانرس در مزارع جواری. - انتقال بعضی از کشت از خزان به بهار توسعه کشت انتظار در حبوبات للمی مانند نخود و عدس جهت استفاد از بارش ها. - توسعه کشت زراعت های جایگزین در شرایط کم آبی (مانند سارگوم و ارزن). - توسعه کشت های نشایی (به خصوص برای دانه های روغنی).	
---	--

*صرفاً مورد مرتبط و مدیریت های زراعتی و نباتی در شرایط تغییر اقلیم

عنوان راهکار	تپ راهکار سازگاری
- تغییر شیوه آبیاری و توسعه سیستم های آبیاری تحت فشار. - احداث استخرهای ذخیره آب. - جلوگیری از تلفات غیر مثمر آب با اجرای آبیاری های نوین، تسطیح و یکپارچه سازی اراضی، لایروبی قنوات، پوش کانال ها. - توسعه استفاده از روش تسطیح لیزری در مزارع. - انتقال آب با لوله. - یکپارچه سازی اراضی، ایجاد سامانه های نوین آبیاری، ایجاد شبکه های فرعی آبیاری. - توسعه روش های آبیاری میکرو (قطره ای).	۱- راهکار وابسته به مصرف آب محصولات زراعتی
- ایجاد تناوب های زراعتی مناسب (با کشت های کم آب بر) توأم با کشت آیش. - توسعه وراثتی للمی و استفاده از وراثتی و گونه های زراعتی و باغی مقاوم به تنش های خشکی و شور. - تغییر در تاریخ کاشت (در برخی از محصولات نظیر کچالو و پیاز که از بارش های زمستانه استفاد شود). - توسعه کشت نباتات خزانی. - توسعه نباتات زودرس و متحمل به تنش های محیطی (خشکی و شور). - توسعه کشت های گلخانه ای.	۲- راهکارهای زراعتی و نباتی

- کشت نباتات با نیاز آبی کمتر و ارزش اقتصادی بالا (نظیر کشت نباتات دارویی، گل رنک، زعفران، کنجد، کشت باغات پسته، گسترش کشت‌های گلخانه‌ای و ایجاد باغ‌های انگور به روش داربستی و). - استفاده از وراثتی زودرس و میانرس در مزارع جواری. - انتقال بعضی از کشت‌ها از خزان به بهار توسعه کشت انتظار در حبوبات للمی مانند نخود و عدس جهت استفاده از بارش‌ها. - توسعه کشت زراعت‌های جایگزین در شرایط کم آبی (مانند سارگوم و ارزن). - توسعه کشت‌های نشایی (به‌خصوص برای دانه‌های روغنی).	
- حفظ بقای نباتی محصول قبل در سطح خاک با استفاده از فناوری های مناسب برای زراعت حفاظتی. - افزایش دقت در کار برد نهاد ها (کود، سم، آب و ...) متناسب با نیاز نبات در هر نقطه از مرزعه و در زمان مناسب با استفاده از فناوری های زراعتی دقیق و هوشمند و ماشین هایی باقابلیت تغییر در میزان کاربرد نهادها بر اساس نیاز نبات در هر نقطه. - بهبود رشد و نمو و پایداری نبات با افزایش میزان دقت ماشین های متداول برای انجام عملیات در فرایند تولید محصول. - تشخیص سریع و به موقع اثرات ناشی از تغییر اقلیم بر نبات در طول فصل رشد با استفاده از فناوری های پایش و سنجش هوای غیر مخرب برای واکنش به موقع.	۳- راهکارهای مکانیزاسیون زراعتی

جدول ۵- راهکارهای پیشنهادی سازگاری با تغییر اقلیم براساس نظرات کارشناسان زراعت

نتیجه‌گیری

تغییر اقلیم به‌عنوان یک پدیده جهانی با اثرات گسترده بر بخش‌های مختلف اقتصادی و اجتماعی، به‌ویژه بخش زراعت، چالش‌های جدی ایجاد می‌کند. زراعت به دلیل وابستگی مستقیم به شرایط اقلیمی و منابع طبیعی، از آسیب‌پذیرترین بخش‌ها در برابر تغییرات اقلیمی است. کاهش بهره‌وری، افزایش نیاز آبی نباتات، تنش‌های حرارتی و تهدید امنیت غذایی از مهم‌ترین پیامدهای آن محسوب می‌شوند. سازگاری با تغییر اقلیم به‌عنوان یک راهکار ضروری، شامل فرایندها و اقدامات هدفمند برای کاهش آسیب‌پذیری و بهره‌گیری از فرصت‌های موجود است. این سازگاری می‌تواند

شامل تعدیل رفتارها، تغییر در ساختارها و انتخاب ارقام نباتی مقاوم و فناوری‌های مناسب زراعتی باشد. برای موفقیت در سازگاری، توجه به معیارهایی چون کاهش ریسک، هزینه‌آثر بخشی، عدالت اجتماعی، پایداری و پذیرش اجتماعی اهمیت بالایی دارد. راهکارهای عملی سازگاری در زراعت شامل مدیریت بهینه منابع آب و خاک، استفاده از ارقام مقاوم به تنش‌های محیطی، تغییر در الگوی کشت و تاریخ کاشت، توسعه کشت‌های کم‌آب‌بر و گلخانه‌ای، مکانیزاسیون دقیق و آموزش بهره‌برداران است. این اقدامات باید با شرایط محلی تطبیق داده شده و بومی‌سازی شوند تا بیشترین کارایی و اثرگذاری را داشته باشند. در نهایت، انتخاب و اجرای سازوکارهای سازگاری نیازمند تحلیل معیارها و استفاده از روش‌های اولویت‌بندی است و نمی‌توان یک راهکار واحد را برای تمامی شرایط توصیه کرد. هماهنگی میان بهره‌برداران، کارشناسان و سیاستگذاران، به‌ویژه در زمینه دسترسی به منابع، آموزش و زیرساخت‌ها، از پیش‌نیازهای کلیدی برای افزایش تاب‌آوری بخش زراعت در برابر تغییرات اقلیمی است.

منابع

- بازیار، احسان؛ و احمدوند، مصطفی. (۱۳۹۶). تبیین بازدارنده‌های توسعه کشاورزی در روستاهای شهرستان رستم. تحقیق‌های ترویج و آموزش کشاورزی، ۱۰(۱)، ۶۵-۷۶.
- خور سندی، ف.، پورنگ، ن.، شاهی فر، ر.، عزیزی زهان، ع. ا. و سراییان، ل. ۱۳۸۷. ارزیابی آس پذیری و سازگار بخش کشاورزی، دامپروری و شیلات نسبت به تغییر اقلیم در ایران، گزارش ارائه شده به کارگرو آسیب پذیری بخش کشاورز دامپوری و شیلات، سازمان حفاظت از محیط زیست، شهریور ۱۳۸۷.
- دهقانپور، مجتبی؛ یزدانپناه، مسعود؛ فروزانی، معصومه؛ و عبدالله‌زاده، غلامحسین (۱۳۹۸). اولویت‌بندی روشهای آموزشی ترویجی مورد استفاده در برنامه‌های سازگاری با تغییرپذیری‌های اقلیم ازدیدگاه کشاورزان و کارشناسان کشاورزی: کاربرد روش PROMETHEE. تحقیق مدیریت آموزش کشاورزی، ۱۱(۵۰)، ۱۲۶-۱۴۴.
- دوستان، رضا؛ و علیجانی، بهلول (۱۳۹۴). تغییر اقلیم در ایران با رویکرد سینوپتی. جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، ۱۳(۲)، ۸۹-۱۱۳. <https://doi.org/10.22067/geography.v13i2.45383>
- سارانی، حبیب‌الله؛ حمیدیانپور، محسن؛ و طینیا، سیدهادی. (۱۴۰۰). نگرش روستاییان نسبت به تغییرپذیری اقلیم و راهکارهای سازگاری با آن (مورد مطالعه: روستایان هیرمند). مطالعات برنامه‌ریزی سکونتگاه‌های انسانی، ۱۶(۲)، ۳۶۵-۳۷۸. Doi: 20.1001.1.25385968.1400.16.2.13.8 .

- ملک سعیدی، حمیده؛ رضایی مقدم، کوروش؛ و آجیلی، عبدالعظیم. (۱۳۸۹). مطالع دانش کارشناسان جهاد کشاورزی استان فارس در زمین کشاورزی ارگانیک. علوم ترویج و آموزش کشاورزی ایران، ۶(۲)، ۴۹-۶۱.
- وائقی، الهه؛ و اسماعیلی، عبدالکریم. (۱۳۸۷). بررسی اثر اقتصادی تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی ایران: روش ریکادین (مطالعه موردی: گندم). علوم آب و خاک، ۱۲(۴۵)، ۶۹۶-۶۸۵.
- Atmadja S, Martius C, Leonard S, & Sanz Sanchez M J (2021) Transformational change to reduced deforestation and climate change impacts—A review of definitions, concepts and drivers in scientific and grey literature. Rome, FAO.
- Bashirian, F., Rahimi, D., Movahedi, S., & Zakerinejad, R. (2020). Water level instability analysis of Urmia Lake Basin in the northwest of Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 13, 1-14. Doi: 10.1007/s12517-020-5207-1.
- Belay, A., Oludhe, C., Mirzabaev, A., Recha, J. W., Berhane, Z., Osano, P. M., ... & Solomon, D. (2022). Knowledge of climate change and adaptation by smallholder farmers: evidence from southern Ethiopia. *Heliyon*, 8(12). Doi: 0.1016/j.heliyon.2022.e12089.
- Bisbis, M. B., Gruda, N., & Blanke, M. (2018). Potential impacts of climate change on vegetable production and product quality—A review. *Journal of Cleaner Production*, 170, 1602-1620. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.224>
- Champalle C, Ford J D, & Sherman M (2015) Prioritizing climate change adaptations in Canadian Arctic communities. *Sustainability* 7(7):9268-9292.
- De Silva R P, & Dayawansa N D K (2021) Climate change vulnerability in agriculture sector: an assessment and mapping at divisional secretariat level in Sri Lanka. *Earth Systems and Environment* 5(3):725-38.
- Deressa, T. T., Hassan, R. M., Ringler, C., Alemu, T., & Yesuf, M. (2009). Determinants of farmers' choice of adaptation methods to climate change in the Nile Basin of Ethiopia. *Journal of Global Environmental Change*, 19(2), 248-255. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2009.01.002>.
- ehmann, N., Finger, R., Klein, T., Calanca, P., & Walter, A. (2013). Adapting crop management practices to climate change:

- Modeling optimal solutions at the field scale. *Journal of Agricultural Systems*, 117, 55-65.
<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2012.12.011>.
- Field C B, & Barros V R (Eds.) (2014) *Climate change 2014–Impacts, adaptation and vulnerability: Regional aspects*. Cambridge University Press.
- Fünfgeld H, & McEvoy D (2011) *Framing climate change adaptation in policy and practice*. Victorian Centre for Climate Change Adaptation Research, Melbourne.
- Gandure, S., Walker, S., & Botha, J. J. (2013). Farmers' perceptions of adaptation to climate change and water stress in a South African rural community. *Environmental Development*, 5, 39-53.
<https://doi.org/10.1016/j.envdev.2012.11.004>.
- Glantz M H, Gommers R, & Ramasamy S (2009) *Coping with a changing climate: Considerations for adaptation and mitigation in agriculture*. Environment and Natural Resources Management Series, Monitoring and Assessment-Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy.
- Gruda, N., Bisbis, M., & Tanny, J. (2019). Influence of climate change on protected cultivation: Impacts and sustainable adaptation strategies-A review. *Journal of Cleaner Production*, 225, 481-495. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.210>.
- Hatfield, J.L, Boote, K.J., Kimball, B.A., Wolfe, D.W., Ort. D.R., Izaurralde, R.C., Thomson, A.M., Morgan, J.A., Polley, H.W., Fay, P.A., Mader, T.L. and Hahn, G.L. 2008. The effects of climate change on agriculture, land resources, water resources, and biodiversity in the United States. U.S. Climate Change Science Program Synthesis and Assessment Product 4.3, Chapter 2: Agriculture. USDA ARS, May 2008.
- hen S, & Gong B (2021) Response and adaptation of agriculture to climate change: Evidence from China. *Journal of Development Economics* 148(1):1- 14.
- Howe, P. D., & Leiserowitz, A. (2013). Who remembers a hot summer or a cold winter? The asymmetric effect of beliefs about global warming on perceptions of local climate conditions in the US.

- Journal of Global Environmental Change, 23(6), 1488-1500. Doi: 10.1016/j.gloenvcha.2013.09.014.
- Iizumi T (2019) Emerging adaptation to climate change in agriculture. *Adaptation to Climate Change in Agriculture*, Springer International Publishing, Switzerland 3-16
- IPCC, 2019: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems.
- Lehmann, N., Finger, R., Klein, T., Calanca, P., & Walter, A. (2013). Adapting crop management practices to climate change: Modeling optimal solutions at the field scale. *Journal of Agricultural Systems*, 117, 55-65. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2012.12.011>.
- Mall, R. K., Singh, N., Singh, K. K., Sonkar, G., & Gupta, A. (2018). Evaluating the performance of RegCM4. 0 climate model for climate change impact assessment on wheat and rice crop in diverse agro-climatic zones of Uttar Pradesh, India. *Journal of Climatic Change*, 149, 503-515. Doi: 10.1007/s10584-018-2255-6.
- Mall, R. K., Srivastava, R. K., Banerjee, T., Mishra, O. P., Bhatt, D., & Sonkar, G. (2019). Disaster risk reduction including climate change adaptation over south Asia: challenges and ways forward. *International Journal of Disaster Risk Science*, 10, 14-27.
- Morel, K., & Cartau, K. (2023). Adaptation of organic vegetable farmers to climate change: An exploratory study in the Paris region. *Agricultural Systems*, 210. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2023.103703>.
- Myers, T. A., Maibach, E. W., Roser-Renouf, C., Akerlof, K., & Leiserowitz, A. A. (2013). The relationship between personal experience and belief in the reality of global warming. *Nature Climate Change*, 3(4), 343-347. Doi: 10.1038/NCLIMATE1754.

- Nelson G C, Rosegrant M W, Koo J, Robertson R, Sulser T, Zhu T, ... & Lee D (2009) Climate change: Impact on agriculture and costs of adaptation. Intl Food Policy Res Inst.
- Niles, M. T., & Mueller, N. D. (2016). Farmer perceptions of climate change: Associations with observed temperature and precipitation trends, irrigation, and climate beliefs. *Journal of Global Environmental Change*, 39, 133-142. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.002>.
- O'Neill, B. C., van Aalst, M., Zaiton Ibrahim, Z., Berrang-Ford, L., Bhadwal, S., Buhaug, H. ... & Oppenheimer, M. (2022). Key risks across sectors and regions. IPCC.
- Palazzoli, I., Maskey, S., Uhlenbrook, S., Nana, E., & Bocchiola, D. (2015). Impact of prospective climate change on water resources and crop yields in the Indrawati basin, Nepal. *Journal of Agricultural Systems*, 133, 143-157. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.10.016>.
- Patel, S., Mall, R. K., Chaturvedi, A., Singh, R., & Chand, R. (2023). Passive adaptation to climate change among Indian farmers. *Journal of Ecological Indicators*, 154, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110637>.
- Reza, M. S., & Sabau, G. (2022). Impact of climate change on crop production and food security in Newfoundland and Labrador, Canada. *Journal of Agriculture and Food Research*, 1-27. 10.1016/j.jafr.2022.100405.
- Rosenzweig, C., Strzepek, K.M., Major, D.C., Iglesias, A., Yates, D.N., McCluskey, A. and Hillel, D. 2004. Water resources for agriculture in a changing climate: International case studies. *Global Environmental Change*, 14:345- 360.
- Salman, D., Yassi, A., & Demmallino, E. B. (2023). Knowledge flow analysis of knowledge coproduction-based climate change adaptation for lowland rice farmers in Bulukumba Regency, Indonesia. *Regional Sustainability*, 4(2), 194-202. Doi: 10.1016/j.regus.2023.05.005.
- Singh, S. (2020). Farmers' perception of climate change and adaptation decisions: A micro-level evidence from Bundelkhand Region, India. *Ecological Indicators*, 116.

- Tohidimoghadam, A., PourSaeed, A., Bijani, M., & Samani, R. E. (2023). Towards farmers' livelihood resilience to climate change in Iran: A systematic review. *Journal of Environmental and Sustainability Indicators*, 19, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2023.100266>.
- Tol, R.S.J. 2002. Estimates of the damage costs of climate Change: Part 1: Benchmark Estimates. *Environmental and Resource Economics*, 21(1):47-73.
- Tripathi, A., & Mishra, A. K. (2017). Knowledge and passive adaptation to climate change: An example from Indian farmers. *Journal of Climate Risk Management*, 16, 195-207. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2016.11.002>.
- UKCIP (2010) The UKCIP Adaptation Wizard v 3.0– UKCIP. Oxford, UK.
- urton I, Smith J, & Lenhart S (1998) Adaptation to climate change: theory and assessment. *Handbook on Methods for Climate Change Impact Assessment and Adaptation Strategies* 5(1):5-20
- Usmail, A. J., Maja, M. M., & Lakew, A. A. (2023). Farmers' perceptions of climate variability and adaptation strategies in the rural areas of Dire Dawa administration, eastern Ethiopia. *Heliyon*, 9(5), 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15868>.
- Van Tilburg, A. J., & Hudson, P. F. (2022). Extreme weather events and farmer adaptation in Zeeland, the Netherlands: A European climate change case study from the Rhine delta. *Science of the Total Environment*, 844, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157212>.
- Wamsler C, Alkan-Olsson J, Björn H, Falck H, Hanson H, Oskarsson T, ... & Zelmerlow F (2020) Beyond participation: When citizen engagement leads to undesirable outcomes for nature-based solutions and climate change adaptation. *Climatic Change* 158(2):235-254.
- yogari, K., Sidhya, P., & Pandit, M. K. (2014). Impact of climate change on vegetable cultivation-a review. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*, 7(1), 145-155. Doi: 10.5958/j.2230-732X.7.1.020.

بررسی تحلیل تغییر اقلیم در افغانستان (مقاله علمی-سروری)

محمد صادق میرزایی^{۱*}، یاسین کوثر^۲، نبی جاوید^۳

۱. استاد رشته آگرانومی، پوهنهی زراعت، پوهنتون دایکندی افغانستان

۲. استاد رشته باغداری، پوهنهی زراعت، پوهنتون دایکندی افغانستان

۳. استاد رشته آگرانومی، پوهنهی زراعت، پوهنتون دایکندی افغانستان

[*m.sadiqmerzai6@gmail.com](mailto:m.sadiqmerzai6@gmail.com)

چکیده

مطالعات تغییر اقلیم به دو بخش مدل سازی تغییر اقلیم و پیامدهای تغییر اقلیم تقسیم می شود که در این تحقیق به مطالعه بخش دوم تحقیقات که پیامدهای تغییر اقلیم بوده پرداخته شده است. بنابراین، در مرحله اول موضوعات به چند دسته تقسیم شد که شامل اثر تغییر اقلیم بر وقوع مخاطرات محیطی، منابع آبی، اقتصادی و زراعت است و همچنین اثر آن بر پیامدهای اجتماعی و محلات سکونت که تاکنون در افغانستان انجام شده است و نهایتاً تحلیل این موضوعات، روش به کار گرفته شده در این مطالعه، مطالعات کتابخانه ای و جست و جو در مراکز استنادی علمی، SID، و Science Direct بوده است. بر اساس نتایج این تحقیق، مرور منابع نشان داد، به نظر بیشتر تحقیق گران، مهم ترین پیامد پدیده تغییر اقلیم در افغانستان افزایش تغییرات جوی بوده که به طور کلی یا با فاصله های متفاوت زمانی، فضای الگوهای آب و هوایی تغییر کرده است یا رخداد آن ها بیشتر یا کمتر از اوسط بوده است و تغییر اقلیم به تغییرات جهت دار اوسط پارامترهای اقلیمی در یک دوره طولانی مدت گفته می شود اما بر اساس نتایج مطالعات مورد بررسی، پدیده های متفاوت مانند خشک سالی بیش از سایر پدیده ها تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار گرفته اند. همچنین، تحقیقات نشان دادند که در کشور افغانستان، به عنوان کشوری در حال توسعه، در مقایسه با سایر کشور های اقتصادی قدرتمند، تغییر اقلیم بیشتر به بروز مسائل اجتماعی و اقتصادی منجر شده است.

کلمات کلیدی: اجتماعی، افغانستان، اقتصادی، تغییر اقلیم، منابع آب.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مقدمه

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على أشرف الأنبياء والمرسلين.

امروزه تغییر اقلیم به تغییرات جهت دار اوسط پارامترهای اقلیمی در یک دوره طولانی مدت گفته میشود و از نظر سازمان جهانی هواشناسی؛ تغییرات در مقادیر مختلف و اوسط های پارامتر های اقلیمی از پیامد های مهم تغییر اقلیم است (IPCC, 2014). که با نوسانات اقلیمی تفاوت علمی دارد. نوسانات اقلیمی دوره ای است و انحرافات پارامتر های اقلیمی از اوسط را بیان میکند و در دوره های زمانی مختلف می تواند متفاوت باشد؛ ولی تغییر اقلیم نوسان کلی و گسترده در آب و هوای یک منطقه است؛ در حال حاضر، روند گرم شدن درجه حرارت کره زمین بخشی از تغییر اقلیم قلم داد می شود (Hajarpour, 2014). افزایش ۲ درجه سانتی گراد حرارت شبانه روزی افغانستان در صد سال گذشته و افزایش اوسط حرارت کمتر در یک دهه برای افغانستان تا حدود ۰.۶۸ درجه سانتی گراد نشان دهنده این است که عواملی انسانی و طبیعی اقلیم کره زمین را دچار تغییر می کنند (کریمی و همکاران، ۱۳۹۷).

حتی تحقیقات ثابت کرده اند که در چهار قرن گذشته مناطق نیمه خشک در افغانستان به مناطق خشک تبدیل شده اند (Gholami et al., 2017). افغانستان با انتشار کل گازهای گلخانه ای یکی از کشور های است که مسئول تغییرات آب و هوایی در خاورمیانه است (Daneshvar et al., 2019). در سال های اخیر، به علت پیامدهای اقتصادی، اجتماعی، و خسارات مالی مربوط به تغییرات اقلیمی اهمیت زیادی پیدا کرده است (محمدی و تقوی، ۱۳۸۴). طبق نظریه کمیته بین الدول تغییر اقلیم، دخالت انسان در تغییر آب و هوای جهان انکار ناپذیر است؛ هرچند در گوشه و کنار برخی محققان هنوز بر آن اند که بعضی عوامل تغییر اقلیم ناشناخته اند (نوریان، ۱۳۷۶)؛ اما مشکلات که در دهه های اخیر با عنوان تغییر اقلیم مطرح شده با تغییرات اقلیم در دهه های گذشته بسیار متفاوت است؛ یکی اینکه دخالت انسان در طبیعت زیاد شده است و دیگری روند سرعت تغییر اقلیم که روند سازگاری با آن را با مشکل مواجه کرده است (نصرآبادی، ۱۳۹۳). در نتیجه، درک سازگاری با تغییر اقلیم به یک نگرانی عمده برای تسهیل اقدامات سازگاری و بهبود ظرفیت سازگاری تبدیل شده است (Azad et al., 2019). تغییر اقلیم همان گونه که از فعالیت های گوناگون انسانی تأثیر می پذیرد، اثرهایی گوناگون بر فعالیت های انسانی برجای می گذارد؛ یکی از عوامل مهم تغییرات اقلیمی در

دهه‌های اخیر افزایش فشار فعالیت‌های انسانی بر محیط زیست است (نجف پور، ۱۳۸۶). با توجه به وقوع تغییرات آب و هوایی در مناطق مختلف جهان در سال‌های اخیر، نگرانی عمده فعالان محیط زیست و جنگل‌داری و سیاست‌گذاران بررسی تأثیرات مخرب مستقیم و غیرمستقیم این پدیده بر وجوه مختلف اکوسیستم جنگل و جوامع محلی بوده است (Karim et al., 2020).

بیان مسئله

افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای موجب تغییر متغیرهای اقلیمی کره زمین شده و پیشبینی می‌شود این تغییرات در آینده نیز ادامه یابد (حصیرچیان و همکاران، ۱۳۹۷). رشد صنایع و کارخانه‌ها باعث افزایش گازهای گلخانه‌ای مخصوصاً گاز CO₂ در چند دهه اخیر شده است؛ تغییرات در چرخه آب از مهم‌ترین پاسخ‌های زمین به گرمای تحمیلی به آن است. نوسانات شدید بارندگی و الگوهای بارندگی، نزولات آسمانی، تبخیر و تعرق زیاد، افزایش محسوس وقوع خشک‌سالی و سیل و فراوانی آن‌ها از جمله در چرخه آبی است (IPCC, 2014). گزارش‌ها و بررسی‌های اقلیمی حاکی از آن‌اند که منابع آب آسیب پذیر بوده و قابلیت آن را دارند که بر اثر تغییر اقلیم دست‌خوش تغییرات شگرفی شوند و عواقب زیادی برای جوامع انسانی و اکوسیستم‌ها دربر داشته باشد (عجم زاده و ملایی نیا، ۱۳۹۵). اولین گام در بررسی اثرهای تغییر اقلیم بررسی تأثیر این پدیده در پارامترهای اقلیمی است (نوده فراهانی و همکاران، ۱۳۹۷).

کاهش میزان بارندگی و افزایش درجه حرارت هر یک به تنهایی یا به کمک هم می‌توانند موجب خشک‌سالی‌های شدیدی شوند (نوده فراهانی و همکاران، ۱۳۹۷). همان‌طور که مشخص است، حرارت متوسط سطح زمین طی قرن گذشته به میزان ۶٪ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته که به افزایش تبخیر و تعرق زیاد منجر شده است (IPCC, 2014). همچنین، بارندگی یکی از فاکتورهای بسیار مهم و مؤثر در مدیریت آب زراعت، به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک جهان، نظیر افغانستان، محسوب می‌شود (موسوی و همکاران، ۱۳۹۵). افزایش درجه حرارت از یک سو و کاهش احتمالی بارندگی از طرف دیگر باعث به وجود آمدن شرایط پیچیده اقلیمی در افغانستان به خصوص در مناطق گرم و خشک خواهد شد (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۹). اقلیم می‌تواند گرم‌تر یا سردتر شود و مقادیر سالانه بارندگی یا برف می‌تواند افزایش یا کاهش یابد. در مقیاس کلی، افزایش تدریجی حرارت کره زمین و اقیانوس‌ها در اثر افزایش گازهای گلخانه‌ای مهم‌ترین عامل تغییر اقلیم است (مدرسی و همکاران، ۱۳۹۰).

همچنین، بحران آب همراه اثرهای منفی تغییر اقلیم بر آن یکی از مشکلات جهانی است. تغییرات اقلیمی در درازمدت در نتیجه انتشار گازهای گلخانه‌ای تأثیر معناداری در حجم منابع آب تجدید پذیر بخش های مهم خواهد داشت (کلاتکی و کاراندیش، ۱۳۹۴). در بین ده عامل تهدید آمیزی که بشر را در قرن ۲۱ تهدید می کنند، اکنون پدیده تغییر اقلیم در بخش نخست قرار دارد. مسئله اصلی در بروز این پدیده پیامد های آن برای طبیعت و زندگی بشر است (Liagati, 2014). با اینکه تأثیرات تغییرات آب وهوایی در زراعت هنوز با عدم اطمینان همراه است، انتظار می رود تغییرات آب وهوا از طریق تغییر در میزان بارندگی، حرارت، و کارین دای اکساید بر حاصل زراعت افغانستان تأثیر منفی بگذارد (Karimi, 2018).

این در حالی است که اقتصاد بیشتر مناطق افغانستان بر زراعت استوار است. باید هر چه زودتر به فکر مقابله با عوارض تغییر اقلیم باشیم و برای آن چاره‌ای بیندیشیم؛ زیرا تحقیقات نشان می دهد تغییرات اقلیم در کشور ما بر منابع آبی تأثیرات ناخوشایند دارد (Liagati, 2014). با توجه به اهمیتی که تغییر اقلیم در ساختار کره زمین و زندگی انسان ها داشته است و از سوی دیگر ضرورت پیش بینی های اقلیمی برای استفاده در برنامه ریزی های کلان کشور، شناخت و بررسی جامع آن بسیار ضروری است. بنابراین، هدف از این مقاله مرور مطالعات انجام شده در افغانستان و تحلیل جامع این مطالعات است. در نتیجه، انجام دادن تحقیق های مرتبط با تغییر اقلیم برای آمادگی هر چه بیشتر جهت سازگاری با این پدیده و نیز کاهش مصارف خسارت بار ناشی از این تغییرات بسیار ضروری است.

هدف تحقیق

هدف اصلی به شرح زیر است:

✓ دانستن تاثیر بررسی تحلیل و تغییر اقلیم در افغانستان

سوال تحقیق

✓ آیا دانستن بررسی تحلیل و تغییر اقلیم در افغانستان امروزه ضروری است؟

مواد و روش ها

کشور افغانستان، به لحاظ موقعیت جغرافیایی خاص خود نسبت به گردش عمومی جو، در کمربند خشک جهان قرار گرفته و بیشتر بخش های کشور دارای اقلیم خشک و نیمه خشک

است. هر چند که با توجه به تنوع خصوصیات توپوگرافی و تغییرات فصلی و معضل کمبود منابع آب در کشور همواره وجود داشته و امنیت اقتصادی و غذایی را تهدید می کند. در این مطالعه، با استفاده از روش کتابخانه‌ای و جستجو در منابع معتبر علمی - تحقیقی به مرور و تحلیل تحقیقات انجام شده به تعداد ده مقاله خوانده شده است و مطابق نظریات مثبت و مشابه همه شان در مورد تغییر اقلیم در افغانستان پرداخته شده و از روش های داده پردازی در این تحقیق استفاده نشده است. به این گونه که تغییرات زمانی و مکانی تغییر اقلیم در طی چند سال در افغانستان بررسی و تحلیل شده و نتایج بر اساس مطالعات انجام شده در زمینه های مختلف تغییر اقلیم به زیر بخش های اقلیم زراعتی، شهری، اجتماعی، اقتصادی، و مخاطرات تقسیم بندی و تحلیل شده است. داده های مورد استفاده ما حاصل جستجو در پایگاه های انترنی استنادی، علمی، SID, ScienceDirect و کتابخانه ای است. کلمات کلیدی مورد جستجو شامل کلمات تغییر اقلیم، اثرهای تغییر اقلیم، گرم شدن جهانی و افغانستان بوده است. و البته همه منابع مورد بررسی به افزایش درجه حرارت را در دهه های اخیر در افغانستان نشان میدهند؛ هرچند در مورد تغییرات روند بارندگی در برخی منابع موجود دیده شد. و منابع منتخب به بخش های مطالعاتی جداگانه دسته بندی و به تعاریف مختلف در مورد تغییر اقلیم پرداخته شد. در این تحقیق به روش های مختلف مورد استفاده در مطالعات تغییر اقلیم در کشور افغانستان پرداخته شد.

یافته های تحقیق

امروزه، پدیده تغییر اقلیم ذهن بسیاری از تحقیق گران در علوم انسانی، علوم زراعتی و منابع طبیعی، معماری، و ... را به خود مشغول کرده است. افغانستان، به عنوان کشوری که در کمربند بیابانی خشک قرار دارد، به شدت از اثرهای تغییر اقلیم تأثیر پذیرفته است (قربانی و همکاران، ۱۳۹۵). که در این تحقیق مشخصاً به مطالعات در افغانستان پرداخته شده است. بنابراین، موضوعات به چند دسته تقسیم شده که شامل اثر تغییر اقلیم بر وقوع مخاطرات محیطی، منابع آبی، زراعتی و اقتصادی است.

تغییر اقلیم در افغانستان

با وجود اینکه مشکلات زیادی در کاربرد مدل های مختلف اقلیمی وجود دارد (Fowler et al., 2007). مدل های گردش عمومی اقلیمی یکی از بهترین و متداول ترین تکنیک های مورد استفاده در پیش بینی تغییر اقلیم در جهان است. مدل های جهانی (Global Circulation)

(Models) و منطقه ای اقلیم (Regional Climate Models)، معمولاً برای تعیین اثرهای تغییر اقلیم به کار می روند (Hagemann, 2009)، یکی مشکلات اصلی استفاده از مدل های اقلیمی نبود دقت کافی در تفکیک مکانی آن هاست. بنابراین، باید از روش های مختلف ریزمقیاس نمایی برای پیش بینی ها استفاده کرد (آبکار و همکاران، ۱۳۹۲). دو نوع تکنیک برای به دست آوردن متغیر ها در مقیاس محلی از روی مقیاس جهانی وجود دارد: یکی روش دینامیکی که شامل حل صریح معادلات دینامیکی سیستم است و دیگری روش احصانیوی که از رابطه های استخراج شده از داده های مشاهده شده استفاده می کند (قربانی و همکاران، ۱۳۹۵). در این رابطه روش های دینامیکی جزو روش های پر مصرف است که در افغانستان در دسترس نیستند. مهم ترین ابزار برای ریزمقیاس کردن داده های Global Circulation Models در کشور ما برای استفاده از روش های احصانیوی است (Khosravian, 2015). ریزمقیاس نمایی احصانیوی با استفاده از رگرسیون خطی چند متغیره روابط بین متغیر های مستقل و وابسته را مشخص می کند (آبکار و همکاران، ۱۳۹۲).

همان طور که قبلاً اشاره شد، رخداد های که دارای تغییرات زیادی زمانی- فضایی اند، مهم ترین پیامد تغییر اقلیم محسوب می شوند. بنابراین، در ادامه به مرور مخاطرات محیطی به عنوان پیامد تغییر اقلیم پرداخته شده است.

مخاطرات محیطی به عنوان پیامد تغییر اقلیم

افزایش رخداد ها تا حدی در سال های اخیر به بزرگ ترین مشکلات برای اقلیم شناسان تبدیل شده است (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸). اولین اثر تغییر اقلیم بر عناصر جوی به خصوص حرارت و بارندگی است (آبکار و همکاران، ۱۳۹۲). بنابراین، بررسی تغییرات این متغیر ها برای تعدیل خسارت یا سازگاری با پدیده تغییر اقلیم از اهمیت خاصی برخوردار است طبق مطالعات، میزان شدت پُرفشار سیبری در دوره تشدید گرم شدن جهانی از سال ۱۳۹۷ به بعد کم شده است (صفر راد و همکاران، ۱۳۹۴). مطالعه روند درجه حرارت در ایستگاه های مرکزی افغانستان در طی نیم قرن گذشته نشان داد که همه تغییرات از نوع جهشی و ناگهانی بوده است (خوشرو و همکاران، ۱۳۹۵). و این خود باعث شده است که اوسط درجه حرارت و بارندگی در مناطق خشک افزایش یابد (آبکار و همکاران، ۱۳۹۳). نمونه این حالت افزایش میزان تبخیر و تعرق و درجه حرارت و کاهش بارندگی است (امانی و همکاران، ۱۳۹۵). تحقیقات نشان داده است که در دهه های آتی بر میزان بارندگی های سنگین و ناگهانی افزوده خواهد شد و به دلیل افزایش

درجه حرارت بارندگی ها از حالت جامد به مایع تغییر شکل خواهد داد (بابایان و همکاران، ۱۳۸۸).

همچنین، تغییر اقلیم باعث افزایش غیر یکنواخت بارندگی در دو مقیاس زمانی و مکانی در بخش اعظم کشور خواهد شد (موسوی و همکاران، ۱۳۹۵). درجه حرارت گرم رو به افزایش و درجه حرارت های سرد رو به کاهش است (دارند، ۱۳۹۴). تحقیقات ثابت کرده اند که اوسط درجه حرارت بین سال های ۲۰۱۵ تا ۲۰۴۵ در حال افزایش است (محمدی و همکاران، ۱۳۹۵). افزایش بارندگی و درجه حرارت برای دوره های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ و طولانی تر شدن فصل رشد و نمو نباتات، افزایش تبخیر و تعرق از دیگر آثار این تغییرات اقلیمی است (روشن و همکاران، ۱۳۹۱). در ادامه تحلیل مؤلفه روند بلند مدت زمانی نشان می دهد که در طول دوره احصائی از بارندگی متوسط سالانه کاسته می شود، اما روند ناهنجاری های درجه حرارتی کره زمین روندی افزایشی دارد (قویدل رحیمی، ۱۳۸۹).

در تحلیلی پیش بینی شده که تغییر اقلیم باعث افزایش جریان در عرض های جغرافیایی بالا به دلیل افزایش بارندگی و ذوب برف و کاهش جریان در عرض های جغرافیایی پایین می شود و این حالت باعث افزایش بارندگی در زمستان و کاهش بارندگی در تابستان می شود (Baguis, 2010). در حالیکه همه مطالعات در مورد تغییرات احتمالی درجه حرارت و بارندگی در دهه های بعدی بحث می کنند، می توان تناقضات جدی را در نتایج آن ها مشاهده کرد. همچنین، الگوی کلی تغییرات در بیشتر موارد متفاوت است. این موضوع ممکن است تأثیر قابل توجهی در باورهای عمومی درباره تغییر اقلیم داشته باشد که می تواند هشدار جدی برای فعالان این حوزه باشد (Rahimi, 2019).

پیش بینی های آینده احتمال بیشتری از شدت خشک سالی شدید را نشان می دهد. پیش بینی شده است مدت زمان وزیادی خشک سالی مبتنی بر بارندگی کاهش یابد. با این حال، به دلیل تأثیر افزایش درجه حرارت، مدت زمان و فرکانس آن پیش بینی می شد که تشدید شود و ثابت شده است بالاترین شدت در قسمت خشک سالی زراعت اتفاق بیفتد (Kamali, 2017). با توجه به روند احتمالی افزایش خشک سالی در جهان در اثر تغییر اقلیم، بررسی این پدیده در هر منطقه برای دوره آتی ضروری می باشد. پدیده های مانند خشک سالی بیش از سایر پدیده ها تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار می گیرند، خشک سالی به منزله یک بی تعادلی طبیعی اما موقتی موجودی آب تعریف می شود که با وقوع مداوم بارندگی های کمتر از اوسط، تداوم و شدت

نامعین و رخداد های غیرقابل پیش بینی همراه است و سبب کاهش موجودی منابع آب و کاهش ظرفیت برد اکوسیستم ها می شود (Pereira, 2002).

بروز خشک سالی در عرض های پایین و میانی موجب کاهش سریع جریان های سطحی، افت مخازن زیرزمینی، فرسایش آبی و بادی خاک، تغییر کیفیت منابع آب و خاک، افزایش بهره برداری از آب های زیرزمینی و نشست زمین و همچنین باعث بروز خسارت های زراعتی می شود (قمقما و همکاران، ۱۳۹۲). افزایش خشک سالی و شدت آن در آینده و تأثیر آن بر پارامترهای هواشناسی به طور عمده به عنوان یک نتیجه از کاهش بارندگی بوده و به دلیل افزایش تبخیر به گرم شدن زمین شدت می دهد (Shifteh, 2012). بر اساس سناریوهای اقلیمی، تا اواخر قرن 21، خشک سالی ها از یک درصد در شرایط فعلی به 30 درصد مساحت خشکی های کره زمین خواهد رسید (زیرک زاده و بذرافشان، ۱۳۹۱).

از جمله عوارض خشک سالی وقوع پدیده گردوغبار استریال طوفان گردوغبار پدیده ای مضر- در سرزمین های کویری است. این پدیده در مناطقی با آب و هوای خشک و نیمه خشک مانند خاورمیانه شدیدتر است. گاهی اوقات میزان دید را به کمتر از ۲۰۰ متر کاهش می دهد. در سال های اخیر، تغییرات شدید آب و هوایی همراه با شهرنشینی و صنعتی شدن، خشک سالی و آلودگی هوای ناشی از گردوغبار را افزایش داده است (Keyantash, 2002). گردوغبار یکی از مشکلات مهم محیط زیست است که در اثر تغییرات آب و هوا و خشک سالی ایجاد می شود. با خشک شدن منابع آبی، پوشش نباتی از بین می رود و بستر دریاچه ها و تالاب ها را ذرات ریز مانند رس فرامی گیرد که به راحتی توسط بادهای شدید موسمی در هوا معلق شده (Draxler and Gillette, 2001). و در مناطق اطراف طوفان ایجاد می کند. همراه با خشک سالی چند ساله اخیر، بسیاری از بحران های محیط زیست ناشی از گردوغبار در افغانستان و خاورمیانه به وجود آمدند؛ این پدیده بر بسیاری از مشکلات ایجاد شده از نظر صحت، اجتماعی، و اقتصادی تأثیر می گذارد. ذرات ریز گردوغبار هنگامی که با آلوده کننده های شهری مخلوط شوند باعث ایجاد مه دود می شوند (Wang, 2004). در سال های اخیر، گردوغبار مهم ترین بحران محیط زیست به شمار می آید و از آنجا که روند روزهای غباری در منطقه نیز به دلایل مختلف از جمله ساختن سد و خشک سالی های گسترده ناشی از تغییر اقلیم افزایش چشم گیری داشته است (Zarasvandi, 2011). این پدیده نگرانی های زیادی به وجود آورده است. استفاده بی رویه از منابع آب در مناطق بیابانی، از بین رفتن نزارها و جنگ، کاهش

بارندگی، کاهش رطوبت نسبی جو از جمله عواملی مهم است (Orlovsky and , 2002).
(Orlovsky).

بر اساس مطالعات انجام شده، می توان استنباط کرد که در دهه های اخیر روند گرم شدن جهانی باعث تضعیف پُرفشار سیبری و تقویت پُرفشار جنب حاره شده و این حالت موجب عقب نشینی پُرفشار سیبری به سمت عرض های جغرافیایی بالاتر و پیش روی بیشتر جنب حاره بر روی افغانستان شده است (علیپور و همکاران، ۱۳۹۷). که این خود باعث از بین رفتن عامل صعود برای رخداد بارندگی و در نتیجه خشک سالی می شود. گواه این امر افزایش درجه حرارت، کاهش بارندگی، و به دنبال آن افزایش تبخیر و تعرق در سطح کشور است. به دنبال افزایش درجه حرارت، ضخامت اتمسفر نیز افزایش یافته است (اکبری و همکاران، ۱۳۹۸). علاوه بر این، تغییر اقلیم باعث توزیع غیر یکنواخت بارندگی در مقیاس های زمانی و مکانی شده است و در دهه های آتی باید در انتظار تابستان های گرم تر از نرمال و همچنین زمستان های سردتر از نرمال بود، که موجب دامنه تغییرات حرارتی بسیار زیاد می شود و از سویی مقدار بارندگی های مایع بیشتر از بارندگی های جامد می شود (مفاخری و همکاران، ۱۳۹۷).

مدیریت مناسب آب در شرایط تغییر اقلیم

سازمان جهانی آب و هوا بر لزوم تحقیق بر منابع آب بسیار تأکید دارد (مدرسی و همکاران، ۱۳۹۰). برهم خوردن تعادل سیستم اقلیمی ناشی از افزایش گازهای گلخانه ای بر اهمیت بررسی اثر تغییر اقلیم بر روی پارامترهای هیدرولوژیکی همچون تبخیر و تعرق می افزاید (دانش فراز و رزاق پور، ۱۳۹۳). تبخیر و تعرق از اصلی ترین اجزای بیلان هیدرولوژیکی و بسیار متأثر از مؤلفه های اقلیمی مهم همچون حرارت بوده و تحت تأثیر تغییر اقلیم می تواند واکنش های مختلفی از خود بروز دهد (Goyal, 2004). گرم شدن جهانی زمین ممکن است چرخه هیدرولوژی را تسریع و منابع آب جهانی را دوباره توزیع نماید که این حالت موجب تغییر بیشتر پارامترهای اقلیمی می شود (Kamal, 2009).

کاهش غیرطبیعی پدیده های بارندگی و افزایش غیرطبیعی تابش موج بلند و درجه حرارت اثرهای گرم شدن کره زمین و تأثیرات تغییرات آب و هوایی را بر منابع آب تأیید می کند (Daneshvar et al., 2019). تغییر اقلیم و خسارات ناشی از آن مهم ترین عامل مخرب در مدیریت منابع آب است (IPCC, 2014). که با تغییر در میزان بارندگی و درجه حرارت هوا بر

سیستم هیدرولوژییک حوضه و به دلیل تعامل میان سیستم ها بر زیرسیستم های زراعتی، اقتصادی، اجتماعی، و محیط زیست اثرگذار است (انصاری و همکاران، ۱۳۹۷).

در طی قرن های اخیر، منابع آب زیرزمینی یکی از اصلی ترین منابع تأمین کننده آب مورد نیاز جوامع انسانی به شمار می آید. متأسفانه، استفاده بی رویه آب از این منابع در بسیاری از مناطق باعث سیر نزولی سطح آب شده است و ادامه این روند موجب تهدید جدی برای اکوسیستم و جوامع انسانی موجود در منطقه می شود (برزگری، ۱۳۹۷). در بسیاری از مناطق خشک و نیمه خشک جهان، منابع آب زیرزمینی اصلی ترین منبع آبی تضمین گر ادامه حیات اکوسیستم های طبیعی و انسان سازند. هجوم بخش های درحال توسعه به سمت آبخوان ها این منابع عظیم را چه از نظر پایداری چه از نظر کیفی با تهدیداتی مواجه کرده است. به طوری که بررسی و وضعیت سطح آب های زیرزمینی در بسیاری از نقاط جهان بیانگر روند نزولی است (IPCC, 2007). محدودیت منابع آب و توزیع نامتجانس آن در مناطق مختلف افغانستان سبب شده است که در مقایسه با بسیاری از کشورها نسبت به پدیده تغییر اقلیم آسیب پذیرتر باشد (گودرزی و همکاران، ۱۳۹۶).

تغییرات اقلیمی از طریق تأثیر در چرخه هیدرولوژی بر میزان حوضه و تبخیر و تعرق سطح آن اثرگذار است. همچنین، در اثر فرسایش زیاد و جاری شدن آب بارندگی، نفوذپذیری خاک در سطح حوضه کاهش می یابد و در نتیجه سطح آب های زیرزمینی نیز پایین می رود و به دنبال آن افزایش حجم رواناب ها موجب کاهش سطح بهره وری سدها می شود. وجود تالاب ها نیز عاملی برای تعدیل اثرهای تغییر اقلیم است که متأسفانه با نابودی آن ها اثرهای تغییر اقلیم تشدید شده است. با مطالعه اثر تغییر اقلیم بر رواناب ها و آبدهی رودخانه ها و همچنین میزان آب موجود در مخزن سدها در افغانستان به نظر می رسد میزان آن ها کاهش یافته است که دلیل آن کاهش بارندگی و تغییر پذیری زمانی و مکانی این فاکتور اقلیمی است. گرم شدن جهانی و افزایش میزان تبخیر و تعرق نیز خود مزید بر علت کم شدن آب های جاری است. همچنین، پدیده تغییر اقلیم باعث کاهش چشم گیر حوضه آبی دریاچه های کشور و حتی خشک شدن آن ها شده است. با وقوع سیل، میزان فرسایش در سطح حوضه ها نیز افزایش می یابد. با وجود این، از پیامدهای اساسی تغییر اقلیم کاهش آبخوان ها در دهه های اخیر است که می تواند آخرین امید دهاقین باشد.

اقتصاد و زراعت در شرایط تغییر اقلیم

در دهه‌های اخیر، تغییر اقلیم در امنیت غذایی و اقتصاد اثر خواهد گذاشت. شواهد محکمی مبنی بر اینکه کشورهای درحال توسعه متحمل فشار ناشی از پیامدهای زیان بار تغییر اقلیم می‌شوند وجود دارد (مؤمنی و زیبایی، ۱۳۹۲). تحقیقات ثابت کرده اند که کمبود آب بر امنیت غذایی از طریق تغییر در محصولات زراعت، تغییر ترکیب کالاهای تولیدی و صادر شده، و از طریق افزایش قیمت مواد غذایی بر روی بازار و مصرف کنندگان در کشورهای درحال توسعه اثرگذار خواهد بود (رحمانی و همکاران، ۱۳۹۷). همچنین، تغییرات در بارندگی تأثیر قابل توجهی در حاصل محصول، آب مورد نیاز محصولات، و درآمد و رفاه خانواده های مزرعه خواهد داشت (Karimi, 2018).

در صورت کاهش بارندگی توأم با افزایش درجه حرارت، رفاه مصرف کنندگان، تولیدکنندگان و در نتیجه مازاد رفاه کل جامعه کاهش خواهد یافت و مصرف کنندگان نسبت به تولیدکنندگان رفاه بیشتری را از دست خواهند داد (خلیلیان و همکاران، ۱۳۹۳). همچنین، افزایش در زیادی خشک سالی دارای اثرهای بسیار مهمی در مدیریت منابع طبیعی، برنامه ریزی در شرایط کمبود آب، و استراتژی های مدیریت تقاضای آب است (سیاری و همکاران، ۱۳۹۰). یکی از مهم ترین مسائلی که طی دهه‌های اخیر در بخش زراعت نمود یافته و تولید محصولات زراعتی را با محدودیت مواجه کرده تغییرات اقلیم است. این پدیده منابع آبی هر منطقه را در طول زمان دست خوش تغییر قرار می دهد (پرهیزکاری و همکاران، ۱۳۹۶). و در نتیجه شناخت نوسانات زمانی و مکانی پارامترهای هواشناسی (نظیر حرارت، بارندگی، و رطوبت نسبی) و تأثیر آن در بخش زراعت برای مدیریت منابع آبی و زراعت و اتخاذ استراتژی های مناسب بسیار ضروری است (Fuhrer, 2003). با افزایش حرارت، نیاز نباتات به آب بیشتر می شود و بهره برداری از منابع آب افزایش می یابد. افزون بر این، کاهش نزولات آسمانی و عدم تغذیه صحیح آبخوان ها و سفره های آب زیرزمینی از دیگر عواملی است که به بهره برداری بیش ازحد منابع آب منجر شده است. پیش بینی ها در این راستا، حاکی از آن است که تا سال 2050 مسئله مدیریت منابع آب اصلی ترین موضوع مورد بحث در کشورهای گوناگون جهان خواهد بود. کشور افغانستان نیز بر اساس پیش بینی های انجام شده تا سال 2025 به فهرست کشورهایی که با وضعیت کمبود آب مواجه اند اضافه خواهد شد (پرهیزکاری، 1393). یکی از عوامل مهم که نقش اساسی در مدل سازی هیدرولوژیکی، مدیریت و پیش بینی خشک سالی، تجزیه و تحلیل تغییر اقلیم، و پشتیبانی از تصمیم گیری های زراعت ایفا می کند تخمین رطوبت خاک است

(لاله زاری و همکاران، ۱۳۹۶). با مقایسه رطوبت اعماق خاک متوجه می شویم مقادیر رطوبت خاک در عمق ۶۰ سانتی متری نسبت به عمق ۳۰ سانتی متری در آینده بیشتر خواهد بود (یعقوب زاده و همکاران، ۱۳۹۶). تغییرات نامناسب بارندگی باعث تغییرات سالانه میزان حاصل در زراعت دیم می شود (سهرابی ملایوسف و همکاران، ۱۳۹۱). علاوه بر این، حاصل محصول دیم بدون تغییر قابل توجهی در حاصل محصول آبی و باغداری کاهش می یابد (Shahvari, 2019).

طبق مطالعات انجام شده، شدت خشک سالی در مناطق خشک و نیمه خشک به شدت افزایش خواهد یافت و این امر زراعت در این مناطق را به شدت تحت تأثیر قرار خواهد داد (خورانی و جمالی، ۱۳۹۵). در بخش زراعت بسیاری از کشورهای در حال توسعه، دهاقین برای تأمین امنیت غذایی و تأمین معیشت پایدار باید تصمیمات طولانی مدت را برای سازگاری با تأثیرات تغییر اقلیم اتخاذ کنند (Quevauviller, 2009). در این راستا دانش عاملی ضروری برای رفتار موفقیت آمیز گروه های مختلف از جمله کارشناسان و محققان زراعت به شمار می آید. با توجه به نقش مهم کارشناسان و محققان زراعت در آموزش رویارویی با تغییرات اقلیم به دهاقین و لزوم بررسی مسائل زراعت، تحلیل دانش آنان در مورد وجود تغییرات آب و هوا، علل، پیامدها و راهکارهای سازگاری با آن، در مرکز مداخله های در راستای حمایت از سازگاری با این پدیده قرار دارد (Yazdan Panah, 2017). هدف اصلی توسعه دهندگان برنامه آموزش محیط زیست تربیت متخصصان متبحر برای کار، مطالعه، و حل مسائل محیط زیست است. بنابراین، تطابق دانش و مهارت های آموزشی متناسب با نیاز کشورها همراه با پیشرفت علمی و فناوری ضروری است (Ahmadi et al., 2021).

زراعت از مهم ترین مسائلی است که از شرایط تغییر اقلیم بسیار تأثیر پذیر است. حرارت و بارندگی از مهم ترین فاکتورهایی هستند که از تغییر اقلیم تأثیر می پذیرند. با افزایش حرارت، نیاز نباتات به آب بیشتر می شود و بهره برداری از منابع آب افزایش می یابد. متعاقباً تغییرات و توزیع نامناسب بارندگی باعث کاهش حاصل محصولات زراعت در دهه های اخیر در افغانستان شده و باعث شده که بسیاری از مناطق کشور محصولات خود را از نظر زراعت خصوصاً محصول گندم از دست بدهند. از طرفی، تغییر نوع کشت از مرتع به محصولات زراعت و باغداری باعث کاهش مواد عضوی خاک شده که دلیل مضاعفی برای کاهش حاصل محصولات زراعت است. در همین راستا، دانش زراعت عاملی مهم برای مقابله با تغییر اقلیم و در نتیجه سازگاری یا تعدیل و پیامد های آن شده است.

وضعیت اجتماعی و مکان های انسانی در شرایط تغییر اقلیم

در دهه های اخیر روند تغییرات صنعتی شدن به صورت شگفت انگیزی شتاب گرفته است. رشد جمعیت و نیاز روز افزون به غذا توسعه کمی و رشد صنایع و کارخانه ها را اجتناب ناپذیر نمود و این امر پدیده دگرگونی اقلیمی را از یک موضوع به مسئله ای حائز اهمیت و بسیار جدی تبدیل کرده که این موضوع در صدر مذاکرات سران کشورهای بزرگ و کوچک قرار گرفته است (گودرزی و همکاران، ۱۳۹۵). در گذشته، تحقیقات در مورد تغییر اقلیم بیشتر مربوط به بررسی اوسط پارامترهای اقلیمی بود (Kamal, 2009). اما اکنون بیشتر توجه ها به سمت پدیده های معطوف شده است که دلیل آن خسارت های اجتماعی و انسانی است که این پدیده ها به بار می آورند (Kattenberg, et al 2001). ریشه بسیاری از جنگ ها و ناامنی ها در کشورهای خاورمیانه مسائل محیط زیست و بحران های طبیعی است که در نتیجه تغییر اقلیم اتفاق افتاده است. افغانستان نیز به عنوان یکی از کشورهای خاورمیانه از این تغییرات آب وهوایی و اثرهای زیان بار آن در امان نبوده است (داودی و مرادجانی، ۱۳۹۷). روندهای خشک تر شدن و کمبود منابع آب، فرسایش شدید و کاهش حاصل خیزی خاک، و به دنبال آن بحران و ناامنی های غذایی همگی می توانند به مناقشات امنیتی و سیاسی منجر شوند که نمونه آن ها در خاورمیانه و در برخی از کشورهای افریقای مرکزی در حال مشاهده است (Bani-Domi, 2005). کمبود آب یکی از عوامل اصلی تهدیدکننده بقای بشر و اکوسیستم های طبیعی است. به طوری که امنیت غذایی، صحت انسان ها، و اقتصاد کلان تحت تأثیر کمبود آب به شدت صدمه می بینند (رحیمیان، ۱۳۹۵). شهرنشینی و توسعه شهرها به همراه افزایش جمعیت و توسعه فعالیت های صنعتی و مصرف بی رویه سوخت های فسیلی، آلودگی هوا را به شدت افزایش داده است که پیامدهای آن در کوتاه مدت بروز امراض های گوناگون شده است و در بلندمدت تشدید برخی نوسانات اقلیمی و تأثیرات محیط زیست آن، از جمله تغییر دوره های زمانی مناسب از نظر اقلیم است (نگهبان و همکاران، ۱۳۸۸).

در این میان تحقیقات ثابت کرده اند که حتی بافت شهری و شکل و طرز قرارگیری ساختمان های شهری تأثیرات اساسی بر روی تغییرات آب وهوای شهری و عواقب ناشی از آن دارد (Rahimi, 2019). اگر روند فعلی در مصرف آب و شیوه های مدیریتی آن ادامه یابد، احتمال درگیری اجتماعی در سراسر جهان برای بحران کمبود آب به خصوص در کشورهای در حال توسعه افزایش می یابد. همچنین، تغییرات آب وهوا به عنوان یک معضل در مسائل

اقتصادی، اجتماعی، روانی، و سیاسی مورد توجه همه کشورهای جهان قرار می گیرد (اسلامیان و اخروی، ۱۳۹۴).

پدیده تغییر اقلیم فقط در مسائل طبیعی تأثیرگذار نیست. یکی از مهم ترین پیامدهای آن تأثیرگذاری در مسائل اجتماعی و اقتصادی است، از جمله مهم ترین آن بروز جنگ و ناامنی هایی است که در اثر بحران آب به وجود می آید. بنابراین، داشتن دانش و اطلاعات در مورد تغییرات اقلیمی و اثر آن بر مسائل اجتماعی و اقتصادی نقش مهمی در بروز رفتارهای حفاظتی و پیشگیرانه در برابر این پدیده دارد، از جمله مهم ترین اقدامات در این زمینه افزایش بهره وری اقتصادی آب ضمن کاهش محصولات زراعتی و افزایش نقش خدمات و صنعت برای جبران خسارت بخش اقتصاد است. در دهه های اخیر افزایش جمعیت در شهرها و فعالیت آن ها در بخش های مختلف باعث بروز مشکلات اساسی شده است.

نتیجه گیری

با توجه به تحقیقات انجام شده در افغانستان از آغاز وقوع پدیده گرم شدن جهانی، به صورت کلی حرارت رو به افزایش است و بارندگی نیز با وجود تغییرپذیری زمانی و مکانی زیاد کاهش می یابد. وقوع پدیده گرد و غبار و افزایش فاصله زمانی و مکانی آن در کشور از پیامدهای مهم تغییر اقلیم و اثر آن در ایجاد خشک سالی هاست؛ هرچند در بعضی مطالعات نشان داده شده است که در برخی مناطق بارندگی افزایش می یابد؛ اما افزایش حرارت موجب افزایش تبخیر و تعرق شده و همچنان با کمبود منابع آبی در آینده مواجه خواهیم شد. بدین گونه که از میزان جریان های سطحی کاسته و سطح ایستایی آب های زیرزمینی فروکش خواهد کرد، سدها به مرور کارکرد خود را از دست خواهند داد، و وضعیت آبخوان ها از حالت بحرانی به حالت فوق بحرانی تبدیل خواهد شد، متعاقباً تعداد و شدت وقایع سیل و خشک سالی افزایش خواهد یافت و به دنبال آن افزایش فرسایش های شدید هم دور از انتظار نخواهد بود.

در این راستا افزایش تبخیر و تعرق باعث افزایش نیاز آبی محصولات زراعت شده و با وجود اینکه طول دوره کشت افزایش یافته و همچنین زمان کشت محصولات تغییر کرده است، اثرهای تغییر اقلیم و گرم شدن جهانی موجب کاهش کشت محصولات شده است؛ این اثرها متعاقباً باعث تغییر الگوی کشت و نوع محصولات شده است و امنیت غذایی، صحت انسان ها، و اقتصاد کلان تحت تأثیر کمبود آب به شدت صدمه دیده است. در این میان کارشناسان پیشنهاد داده اند که به منظور افزایش محصولات زراعتی باید دانش دهاقین را افزایش داد تا بتوان اثرهای تغییر اقلیم را تعدیل یا با آن سازگاری کرد. افزودن مواد عضوی به خاک یکی از این پیشنهاد

هاست. در شهرها نیز تغییر اقلیم باعث افزایش آلودگی هوا، بلند رفتن درجه حرارت، و در نهایت از بین رفتن آسایش اقلیمی شده است. همچنین، تغییرات اقلیمی به بروز مناقشات امنیتی و سیاسی منجر شده است که این حالت بیشتر مربوط به مناقشات بر سر بحران آب است. بدون توجه به اثرهای اقلیم در طرح های مختلف، موفقیت کمتری نصیب طراحان و کارشناسان در امر برنامه ریزی می شود. راه مستقیم کُند کردن روند افزایش حرارت جهانی و تغییر اقلیم کاهش چشم گیر استفاده از سوخت های فسیلی است. با توجه به مطالعات تغییر اقلیم در افغانستان و مطالعات جهانی، ملاحظه می شود که نتایج حاصل از این مطالعه دقیقاً مطابق با مطالعات جهانی است؛ که تغییر اقلیم باعث افزایش حرارت و کاهش بارندگی می شود.

با توجه به روند کاهشی بارندگی و روند افزایشی حرارت و رخداد خطرات اقلیمی و محیطی ناشی از آن همانند امواج گرمی، خشک سالی، و سیل نیز می تواند در آینده افزایش یابد. همچنین، تغییر اقلیم تهدیدی جدی برای انسان ها چه در زمینه اقتصادی چه در زمینه های سیاسی و امنیتی خواهد بود. و مطالعات جهانی تنها راه مقابله با تغییر اقلیم را افزایش دانش در این زمینه دانسته و پیشنهاد داده اند که با کاهش استفاده از سوخت های فسیلی تا حدی از پدیده تغییر اقلیم جلوگیری شود تا بتوان با آن سازگاری کرد یا اثر آن را کاهش داد. در این راستا، تحقیقات و مطالعات باید روش های جدیدی برای کشف برنامه های انرژی های تجدید پذیر و کاهش انتشار گازهای گلخانه ای در نظر بگیرند تا بر افزایش خطر اثر تغییرات آب و هوایی غلبه کرد. برای کاهش تأثیرات مخرب آب و هوا و گرم شدن کره زمین در جامعه انسانی و محلی، توصیه می شود استراتژی های مدیریت تطبیقی تغییر اقلیم در این مناطق در اولویت قرار گیرد.

سفارشات

سفارش میشود بررسی تحلیل تغییر اقلیم در سایر ولایات افغانستان مورد مطالعه قرار بگیرند. در سالهای آینده تحقیقات فوق در سالها و مکان های مختلف انجام شود.

منابع

- آبکار، علی جان، حبیب نژادروشن، محمود، سلیمانی، کریم، ... & هر مزد. (۲۰۱۴). بررسی میزان کارایی مدل SDSM در شبیه سازی شاخص های دمایی در مناطق خشک و نیمه خشک. نشریه علمی تحقیقی مهندسی آبیاری و آب ایران، ۴(۲)، ۱-۱۷.
- اسلامیان، سید سعید، اخروی، & سید سعید. (۲۰۱۵). نگاه کمی به پدیده تغییر اقلیم و راهکارهای سازش با آن. مجله علمی سامانه های سطوح آبگیر باران، ۳(۳)، ۱۵-۲۶.

اکبری، مهری، & صیاد. (۲۰۲۱). تحلیل مطالعات تغییر اقلیم در ایران. تحقیق های جغرافیای طبیعی، ۵۳(۱)، ۳۷-۷۴.

امانی، دیهیم فرد، & مختصی بیدگلی. (۲۰۱۶). بررسی خشکی تحت شرایط افزایش دمای ناشی از تغییر اقلیم در گندم دیم استان فارس با استفاده از شاخص خشکی. مجله تولید گیاهان زراعی، ۹(۲)، ۱۵۱-۱۷۴.

انصاری، ثمین، مساح بوانی، & باقری. (۲۰۱۹). ارزیابی راهکارهای سازگاری با تغییر اقلیم بر اساس نشانگرهای اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی امنیت آبی. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۴(۵)، ۲۶۵-۲۷۷.

باباییان، ایمان، نجفی نیک، زابل عباسی، حبیبی نوخندان، ادب، ... & شراره. (۲۰۰۹). ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده-های مدل گردش عمومی جو ECHOG 3. فصلنامه جغرافیا و توسعه، ۷(۱۶)، ۱۳۵-۱۵۲.

برزگری بناد کوکی، ف. (1397). پیش بینی تغییرات سطح آبخوان زیرزمینی دشت یزد- اردکان با استفاده از مدل های شبکه عصبی و مدل تجزیه رگرسیون چندگانه خطی هیدروگراف آبخوان، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۱۲(۴۲): ۱۰۲-۱۱۱.

برهیزکاری، محمودی، & شوکت فدایی. (۲۰۱۷). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب در دسترس و تولیدات کشاورزی در حوضه آبخیز شاهرود. فصلنامه علمی-تحقیقی تحقیقات اقتصاد کشاورزی، ۹(۳۳)، ۲۳-۵۰.

برهیزکاری، ا.؛ صبحی، م.؛ احمدپور، م. و بدیع برزین، ح. (۱۳۹۳). شبیه سازی پاسخ دهاقین به سیاست های قیمت گذاری و سهمیه بندی آب آبیاری (مطالعه موردی: شهرستان زابل)، مجله اقتصاد، ۲۸(۲): ۱۶۴-۱۷۶.

حصیرچیان، مهرآوه، ذهیون، باقر، & خزایی. (۲۰۱۹). ارزیابی عملکرد مدل SDSM در بررسی اثر تغییر اقلیم بر بارش و دما. نشریه علمی تحقیقی مهندسی آبیاری و آب ایران، ۹(۲)، ۱۰۸-۱۲۰.

خلیلیان، صادق، شمشادی، مرتضوی، سید ابوالقاسم، & احمدیان. (۲۰۱۴). بررسی اثرات رفاهی ناشی از تغییر اقلیم بر روی محصول گندم در ایران. اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۲۸(۳)، ۲۹۲-۳۰۰.

- خورانی، & جمالی. (۲۰۱۶). اثر تغییر اقلیم بر شدت و مدت خشکسالی در ایستگاه‌های خشک و نیمه‌خشک (بندرعباس و شهرکرد) تحت مدل HADCM3. نشریه علمی جغرافیا و برنامه ریزی، ۲۰ (۵۷)، ۱۱۵-۱۳۱.
- خوشرو، گندمکار، & حاجیان. (۲۰۱۶). مطالعه روند تغییرات دمای حداکثر در ایران مرکزی طی نیم قرن گذشته و رابطه آن با نوسان اقیانوس اطلس شمالی و جنوبی. جغرافیا (برنامه ریزی منطقه ای)، ۲۳ (۶)، ۱۹-۳۴.
- دارند، & محمد. (۲۰۱۵). ارزیابی و شناخت تغییر اقلیم در ایران زمین طی دهه‌های اخیر. مجله علوم ومهندسی آبخیزداری ایران، ۹ (۳۰)، ۱-۱۴.
- دانش فراز، رزاق پور، & هادی. (۲۰۱۴). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق پتانسیل در استان آذربایجان غربی. فضای جغرافیایی، ۱۴ (۴۶)، ۱۹۹-۲۱۱.
- داودی، & مرادجانی. (۲۰۱۹). تحلیل فضایی تغییرات آب وهوایی ایران طی دهه‌های اخیر. علوم جغرافیایی (جغرافیای کاربردی)، ۱۴ (۲۹)، ۸۲-۹۰.
- رحمانی، صادق، یزدان پناه، فروزانی، & عبدشاهی. (۲۰۱۸). بررسی باورها و راهبردهای سازگاری کشاورزان با شرایط کمبود آب و عوامل موثر بر آنها در شهرستان ممسنی. تحقیق آب در کشاورزی، ۳۲ (۲)، ۳۲۱-۳۴۰.
- رحیمیان. (۲۰۱۷). عوامل اثرگذار بر مدیریت پایدار منابع آب در بین گندم کاران آبی شهرستان کوهدشت. علوم ترویج و آموزش کشاورزی ایران، ۱۲ (۲)، ۲۳۳-۲۴۷.
- روشن، غ.؛ خوش اخلاق، ف. و عزیزی، ق. (۱۳۹۱). آزمون مدل مناسب گردش عمومی جو برای پیش یابی مقادیر دما و بارش ایران، تحت شرایط گرم شدن جهانی، جغرافیا و توسعه، ۱۰ (۲۷): ۱۹-۳۵.
- زیرک زاده، & بذرافشان. (۲۰۱۳). تحلیل زمانی-مکانی شدت خشکسالی در دوره‌های آتی تحت تأثیر تغییر اقلیم با استفاده از مدل (CGCM3) در استان اصفهان. نیوار، ۳۷ (۸۳-۸۲)، ۵۹-۷۲.
- سهرابی ملایوسف، فاخری فرد، احمد، بزرگ حداد، & امید. (۲۰۱۲). بررسی تاثیر نوبتی بارش های پاییز و زمستان بر عملکرد سالانه دیم با استفاده از شاخص زمان بارش. آب و خاک، ۲۶ (۱).

- سیاری، علیزاده، امین، بنایان اول، فریدحسینی، حسامی کرمانی، & مسعودرضا. (۲۰۱۱). مقایسه دو مدل گردش عمومی جو (HadCM3, (CGCM2) در پیش بینی پارامترهای اقلیمی و نیاز آبی گیاهان تحت تغییر اقلیم (مطالعه موردی: حوضه کشف رود). آب و خاک، ۲۵(۴).
- صفرراد، طاهر، عزیزی، قاسم، محمدی، & فرجی سبکبار. (۲۰۱۵). تغییر پذیری شدت پرفشار سیبری در دوره تشدید گرمایش جهانی. جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۴(۱)، ۷۷-۹۴.
- عجمزاده، & ملائی نیا. (۲۰۱۶). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب رودخانه فیروزآباد استان فارس، با ریزمقیاس نمایی خروجی مدل‌های گردش جوی به وسیله نرم‌افزارهای SDSM و LARS-WG. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۲(۱)، ۹۵-۱۰۹.
- علی پور، حجازی زاده، اکبری، مهری، سلیقه، & محمد. (۲۰۱۸). بررسی تغییرات پرفشار جنب حاره تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نیوار ایران با رویکرد تغییر اقلیم. مخاطرات محیط طبیعی، ۷(۱۸)، ۱-۱۶.
- علیزاده، امین، سیاری، حسامی کرمانی، مسعودرضا، بنایان اول، & فریدحسینی. (۲۰۱۰). بررسی پتانسیل اثرات تغییر اقلیمی بر منابع و مصارف آب کشاورزی (مطالعه موردی: حوضه آبریز رودخانه کشف رود). آب و خاک، ۲۴(۴).
- قربانی، خلیل، سهرابی، سالاری جزی، & عبدالحسینی. (۲۰۱۶). پیش بینی تاثیر تغییر اقلیم بر روند دبی ماهانه رودخانه با بکار بردن مدل هیدرولوژیکی (IHACRES) مطالعه موردی: حوضه آبریز گالیکش). نشریه حفاظت منابع آب و خاک (علمی-تحقیقی)، ۵(۴)، ۱۸-۳۴.
- قمقامی، قهرمان، نوذر، & حجابی. (۲۰۱۴). آشکارسازی تاثیر تغییر اقلیم بر خشک‌سالی‌های هواشناسی در شمال غرب ایران. فیزیک زمین و فضا، ۴۰(۱)، ۱۶۷-۱۸۴.
- قویدل رحیمی، ی. (۱۳۸۹). آشکارسازی احصانیوی اثر گرم شدن جهانی بر ناهنجاری های بارش سالانه جلفا با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی، جغرافیا و برنامه ریزی محیطی (مجله تحقیقی علوم انسانی دانشگاه اصفهان)، ۲۱(۲): ۶۵-۸۲.
- کزیمی، کاکي، سيف اله، & رفعتی. (۲۰۱۸). شرایط و مخاطرات اقلیمی آینده ایران در تحقیقات اقلیمی. سامانه نشریات علمی، ۵(۳)، ۱-۲۲.
- کلانکی، & کاراندیش. (۲۰۱۵). پیش‌بینی اثرات بلندمدت تغییر اقلیم بر مولفه‌های اقلیمی در منطقه‌ی مرطوب. نشریه علمی تحقیقی مهندسی آبیاری و آب ایران، ۵(۴)، ۱۳۱-۱۴۹.

- گودرزی، مسعود، حسینی، پاره کار، & منصور. (۲۰۱۷). کاربرد روش ریزمقیاس گردانی آماری در برآورد تغییر اقلیم حوزه کرخه تا محل سد. *مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*, ۱۰ (۳۵), ۶۴-۵۱.
- گودرزی، مسعود، معتمد وزیری، بهارک، & میرحسینی. (۲۰۱۷). ارزیابی کاربست مدل IHACRES بمنظورشبیه سازی رواناب سطحی در شرایط تغییر اقلیم: مطالعه موردی حوزه آبخیز کن. *مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*, ۱۱ (۳۸), ۹۴-۸۳.
- لاله زاری، یعقوب زاده، حقایقی مقدم، & سیدابوالقاسم. (۲۰۱۷). ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر رطوبت خاک مزارع به کمک مدل های SWAP و AOGCM. *دانش آب و خاک*, ۲۷ (۱), ۹۵-۱۰۶.
- محمدی مزرعه حسین، & تقوی فرحناز. روند شاخص های حادی دما و بارش در تهران.
- محمدی، ح.؛ رنجبر، ف. و مقبل، م. (۱۳۹۵). اثرات گرم شدن جهانی بر دمای کمینه ایران، جغرافیا، ۱۴ (۵۱): ۳۶۶-۳۵۱.
- مدرسی، عراقی نژاد، شهاب، ابراهیمی، & خلقی. (۲۰۱۲). بررسی اثر تغییر اقلیم بر میزان آبدهی سالانه رودخانه ها (مطالعه موردی: رودخانه گرگانرود). *آب و خاک*, ۲۵ (۶).
- مفاخری، امید، سلیقه، علیجانی، بهلول، اکبری، & مهری. (۲۰۱۷). مخاطرات ناشی از تمرکزگرایی بارش در ایران. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*, ۲۳ (۶), ۱۶۲-۱۴۳.
- موسوی، کاراندیش، & طبری. (۲۰۱۶). تغییرات زمانی و مکانی بارش در ایران تحت تأثیر تغییر اقلیم تا سال ۲۱۰۰. *نشریه علمی تحقیقی مهندسی آبیاری و آب ایران*, ۱۷ (۱), ۱۵۲-۱۶۵.
- مؤمنی، س. و زیبایی، م. (۱۳۹۲). اثرات بالقوه تغییر اقلیم بر زراعت استان فارس، اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۲۷ (۳): ۱۶۹-۱۷۹.
- نجف پور، ب. (۱۳۸۶). نقش اقلیم در برنامه ریزی و مدیریت محیط (با تأکید بر ایران)، پیک نور - علوم انسانی، ۵ (۲): ۱۱۶-۱۲۶.
- نصرآبادی. (۲۰۱۴). آموزش و مهارتهای تدریس: برداشت های غیرعلمی از مفهوم تغییر اقلیم. *رشد آموزش جغرافیا*, ۱۰۸ (۲۹), ۳۲-۳۸.
- نگهبان، س.؛ روشن، غ. و آذری دهکردی، ف. (۱۳۸۸). مطالعه ویژگی های اقلیم آسایش شهر یزد با استفاده از مدل ماهانی (MAHANI) و تأثیر روند تغییر اقلیم بر روی آن. *مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*, ۳ (۷): ۵۹-۶۱.

نوده فراهانی، راسخی، آنا، پرماس، بهنام، کشوری، & عبدالرحمن. (۲۰۱۸). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر دما، بارش و خشکسالی‌های دوره آبی حوضه شادگان. *تحقیقات منابع آب ایران*, ۱۴ (۳), ۱۲۵-۱۳۹.

نوریان، ع. (۱۳۷۶). *تردیدهای علمی در تغییر اقلیم کره زمین، تحقیقات جغرافیایی*, ۴۵: ۶-۱۲.
 یعقوب‌زاده، امیرآبادی‌زاده، رمضانی، & پوررضا ییلندی. (۲۰۱۷). بررسی عدم قطعیت سناریوهای انتشار تغییر اقلیم در برآورد رطوبت خاک در طی هفته‌های رشد گندم. *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*, ۱۱ (۴), ۵۸۶-۵۹۶.

- Ahmadi, A., Abbaspour, M., & Afkhami Namin, N. (2021). Assessment of Iran academic environmental education needs with climate change approach. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 18, 49-56.
- Azad, B., Afzali, S. F., & Ghanbarian, G. (2019). Modeling the effect of vegetation conversion and climate change on the dynamics of soil organic carbon stock in a complex ecosystem. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 9(1), 83-99.
- Baguis, P., Roulin, E., Willems, P., & Ntegeka, V. (2010). Climate change scenarios for precipitation and potential evapotranspiration over central Belgium. *Theoretical and applied climatology*, 99, 273-286.
- Bani-Domi, M. (2005). Trend analysis of temperatures and precipitation in Jordan. *Umm Al-Qura University Journal of Educational, Social Sciences & Humanities*, 17(1), 15-36.
- Mansouri Daneshvar, M. R., Ebrahimi, M., & Nejadsoleymani, H. (2019). An overview of climate change in Iran: facts and statistics. *Environmental Systems Research*, 8(1), 1-10.
- Draxler, R. R., Gillette, D. A., Kirkpatrick, J. S., & Heller, J. (2001). Estimating PM10 air concentrations from dust storms in Iraq, Kuwait and Saudi Arabia. *Atmospheric Environment*, 35(25), 4315-4330.
- Fowler, H. J., Blenkinsop, S., & Tebaldi, C. (2007). Linking climate change modelling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modelling. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 27(12), 1547-1578.

- Fuhrer, J. (2003). Agroecosystem responses to combinations of elevated CO₂, ozone, and global climate change. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 97(1-3), 1-20.
- Hagemann, S., Göttel, H., Jacob, D., Lorenz, P., & Roeckner, E. (2009). Improved regional scale processes reflected in projected hydrological changes over large European catchments. *Climate Dynamics*, 32, 767-781.
- Hajarpour, A., Yousefi, M., & Kamkar, B. (2014). Accuracy Assessment of Weather Assimilators of CLIMGEN, LARS-WG and Weather Man in Assimilation of three Different Climatic Parameters of three Different Climate (Gorgan, Gonbad and Mashhad). *Geography and Development*, 12(35), 201-216.
- IPCC, Pachauri, R. K., Allen, M. R., Barros, V. R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., ... & van Ypersele, J. P. (2014). *Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (p. 151). Ipcc.
- IPCC, Pachauri, R. K., & Reisinger, A. (2007). *Climate change 2007: Synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2007. Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment*.
- Gholami, V., Ahmadi Jolandan, M., & Torkaman, J. (2017). Evaluation of climate change in northern Iran during the last four centuries by using dendroclimatology. *Natural Hazards*, 85, 1835-1850.
- Goyal, R. K. (2004). Sensitivity of evapotranspiration to global warming: a case study of arid zone of Rajasthan (India). *Agricultural water management*, 69(1), 1-11.
- Ashofteh, P. S., Bozorg Haddad, O., & Mariño, M. A. (2013). Scenario assessment of streamflow simulation and its transition probability in future periods under climate change. *Water Resources Management*, 27, 255-274.
- Kattenberg, A., Giorgi, F., & Houghton, J. T. (2001). *The Scientific of climate change. The Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, 156-159.

- Karimi, V., Karami, E., & Keshavarz, M. (2018). Climate change and agriculture: Impacts and adaptive responses in Iran. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(1), 1-15.
- Karim, M. H., Sardar Shahraki, A., Kiani Ghalesard, S., & Fahimi, F. (2020). Management challenges and adaptations with climate change in Iran forests. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 18(1), 81-91.
- Kamali, B., Houshmand Kouchi, D., Yang, H., & Abbaspour, K. C. (2017). Multilevel drought hazard assessment under climate change scenarios in semi-arid regions—A case study of the Karkheh river basin in Iran. *Water*, 9(4), 241.
- Khosravian, J., Avagh, M., Goodarzi, M., & Hejazi, S. A. (2015). Application of the LARS WG Model in Forecasting of Meteorological Parameters of Gharehoo Basin of Golestan Province. *Geography and Planning*, 53, 93-115.
- Keyantash, J., & Dracup, J. A. (2002). The quantification of drought: an evaluation of drought indices. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(8), 1167-1180.
- Liagati, H. (2014). New geography of climate change. Seminar on climate change and its impacts on natural ecosystems.
- Orlovsky, L., & Orlovsky, N. (2001). White sand storms in Central Asia. *Global Alarm: Dust and Sand Storms from the World's Drylands*. United Nations, 169-201.
- Pereira, L. S., Cordery, I., & Iacovides, I. (2002). Coping with water scarcity, Technical Documents in Hydrology. *International Hydrology Programme*, 58.
- Quevauviller, P. (2011). Adapting to climate change: reducing water-related risks in Europe—EU policy and research considerations. *Environmental science & policy*, 14(7), 722-729.
- Rahimi, J., Malekian, A., & Khalili, A. (2019). Climate change impacts in Iran: assessing our current knowledge. *Theoretical and Applied Climatology*, 135, 545-564.
- Shahvari, N., Khalilian, S., Mosavi, S. H., & Mortazavi, S. A. (2019). Assessing climate change impacts on water resources and crop yield: a case study of Varamin plain basin, Iran. *Environmental monitoring and assessment*, 191, 1-12.

- Shifte, S.; Ezani, A. and Tabari, H. (2012). Spatiotemporal trends and change point of precipitation in Iran, *Atmospheric Research*, 113: 1-12.
- Wang, X., Dong, Z., Zhang, J., & Liu, L. (2004). Modern dust storms in China: an overview. *Journal of Arid Environments*, 58(4), 559-574.
- Xu, C. Y. (1999). From GCMs to river flow: a review of downscaling methods and hydrologic modelling approaches. *Progress in physical Geography*, 23(2), 229-249.
- Yazdan Panah, M.; Zubidi, T. and Zaeri, H. (2017). Knowledge of Agricultural Experts and Researchers in Khuzestan Province on Climate Change, *Journal of Agricultural Education Management Research*, 9(42): 12-26.
- Zarasvandi, A., Carranza, E. J. M., Moore, F., & Rastmanesh, F. (2011). Spatio-temporal occurrences and mineralogical-geochemical characteristics of airborne dusts in Khuzestan Province (southwestern Iran). *Journal of geochemical exploration*, 111(3), 138-151.

روش های مدیریت پایدار زمین و راهکارهای جلوگیری از بیابانزایی

(مقاله علمی-سروری)

یدالله^۱ "محمودی" کبرا^۲ "کاظمی" یاسین^۳ "کوثر"

^۱ رشته جنگلداری و منابع طبیعی، پوهنهی زراعت، پوهنتون دایکندی

^۲ رشته جنگلداری و منابع طبیعی، پوهنهی زراعت، پوهنتون دایکندی

^۳ رشته باغداری، پوهنهی زراعت، پوهنتون دایکندی

yadullah.mahmodi@dhei.edu.af

چکیده

مدیریت پایدارزمین نشان دهنده ادغام زراعت، محیط زیست، عوامل اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و غیره است و برمحصولات زراعتی و امنیت غذایی اثر دارد. فقر پوشش نباتی، تغییرات اقلیمی، استفاده بی رویه و ناآگاهانه بشر برای تأمین معیشت شان تأثیر ناگوار بر صحرایی شدن دارد. بیابانزایی درحال حاضر یک موضوع مهم و قابل بحث در قسمت منابع طبیعی و سکتور زراعت است، که می تواند به عنوان یک فاجعه بزرگ محیط زیستی و توسعه پایداردرآید. در مناطق خشک و نیمه خشک با اقلیم گرم و خشک سرعت پیدا می کند. این یک معضل جهانی است و هرکشوری باید به سهم خود راه حل برای این موضوع بسنجد. هدف از مطالعه و بررسی این موضوع رابطه بین مدیریت پایدار زمین، جلوگیری از صحرایی شدن و تولید محصولات زراعتی و نقش آن در امنیت غذایی در افغانستان بوده و روش یا میتود که در تحریر این مقاله به کار رفته روش تشریحی به رویکرد کتابخانه ای بوده است. یافته ها در این بررسی نشان می دهد، که برای جلوگیری از صحرایی شدن و بیابانزایی شیوه های مدیریت پایدار زمین را که شامل جنگل زراعتی، مدیریت آب، تثبیت خاک، باروری و حاصلخیزی خاک و الگوی کشت را در نظر گرفت که این روش ها از نگاه مدت شامل روش های طولانی مدت و کوتاه مدت (سالانه) می شود. افغانستان از جمله کشورهایی است که دارای اقلیم خشک و نیمه خشک و همچنان یک کشور در حال توسعه است در صورت تطبیق و عملی کردن چنین روش ها میتوان تا حدی از بیابانزایی در کشور جلوگیری کرد.

کلمات کلیدی: بیابان زایی؛ امنیت غذایی؛ توسعه پایدار؛ پوشش نباتی؛ سازگاری.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مقدمه

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على أشرف الأنبياء والمرسلين.

انسان‌ها از دیر زمان بدینسو با بیابان و پدیده‌های آن همراه بوده و با سختی‌ها و مشکلات آن زندگی کرده‌اند. مدت‌های زیادی بین بهره‌داران و قدرت تحمل اکوسیستم، تعادل برقرار بوده و با پیدایش دوران خشکی و بروز مشکلات بیابان‌زایی و اقلیمی، افزایش رشد جمعیت و بهره‌برداری ناخردمندانه و ناآگاهانه از منابع آب و خاک، تولیدات محصول را نیز تحت تأثیر قرار داده، به طوری که این موضوع یکی از معضلات مهم جوامع قلمداد شده‌اند (مهدوی زاده و همکاران، ۱۳۹۴).

مناطق خشک بیابانی و کویری، در حدودی یک سوم خشکی‌های جهان را تشکیل داده‌اند؛ داشتن چنین پهنه‌ای لزوم توجه به پتانسیل‌های این مناطق، توسعه پایدار را ضروری ساخته‌اند (سپهر و همکاران، ۱۳۹۱). نواحی خشک و نیمه خشک که ۴۰ درصد سطح اراضی جهان را تشکیل می‌دهد، زیستگاه یک میلیارد نفر به شمار می‌رود. در حال حاضر بیابان‌زایی به عنوان یک چالش مهم گریبان‌گیر بسیاری از کشورهای جهان به ویژه کشورهای در حال توسعه شده است و نتیجه این عمل، از بین رفتن منابع تجدید شونده در این کشورها است (نفر و همکاران، ۱۴۰۰). بیابان‌زایی یکی از مهمترین پیامدهای تغییر اقلیم است که دامنه آن رو به گسترش است و بیش از ۲۵۰ میلیون نفر در جهان به طور مستقیم متأثر از خطر بیابان‌زایی هستند چندین میلیارد نفر در جهان در معرض این پدیده قرار دارند بر علاوه عوامل اقلیمی، عوامل انسانی هم موجب بیابان‌زایی می‌شود (خسرو، شهبازی و همکاران، ۱۳۹۹). به منظور مقابله با بیابان‌زایی راهبردهای چون توسعه و احیای پوشش نباتی، تغییر الگوی آبیاری، کنترل چرای حیوانات، احیای اراضی تخریب شده، توسعه زراعت پایدار، توسعه و مدیریت پایدار آب و غیره تأثیر دارد (صادقی روش، ۱۳۹۹). بر اساس بازدیدهای میدانی شش معیار شامل اقلیم، خاک، پوشش نباتی، آب زیر زمینی، فرسایش خاک و مدیریت و سیاست به عنوان معیارهای ارزیابی بیابان‌زایی در نظر گرفته شده است (حبشی و همکاران، ۱۳۹۶).

بر اساس تعریف کنوانسیون جهانی بیابان‌زایی، این پدیده به تخریب سرزمین در مناطق خشک، نیمه خشک، و نیمه مرطوب گفته می‌شود و ممکن است در اثر عوامل انسانی و عوامل طبیعی رخ دهد. پیامدهای آن از بین رفتن پوشش نباتی و حیات وحش، کم شدن بارندگی، فرسایش

خاک، عدم حاصلخیزی زمین، کم شدن آب‌های زیر زمینی، فقر و مهاجرت ناشی از بیابان‌زایی و غیره می‌باشد (رهبانی، ۱۴۰۰).

جدول ۱- عوامل مؤثر در بیابان‌زایی در مطالعات انجام شده

نام تحقیق کننده	سال	عوامل مؤثر در بیابان‌زایی
Alibecov	۲۰۰۷	عوامل اقتصادی، اجتماعی و عوامل طبیعی
انجم شعاع و اخلاص پور	۱۳۷۵	ویژگی‌های مورفولوژیکی زمین، زمین شناسی، خاک، پوشش نباتی، اقلیم، استفاده بی‌رویه از منابع، شیوه‌های نادرست آبیاری، افزایش جمعیت، مسائل اجتماعی و اقتصادی
عباس آبادی	۱۳۷۸	از بین عوامل طبیعی، عامل پیکر شناسی زمین و از بین عوامل و شاخص‌های انسانی، عامل بهره‌برداری بی‌رویه از منابع طبیعی به ویژه چرای بی‌رویه
اختصاصی و مهاجری	۱۳۷۵	عوامل محیطی شامل اقلیم، پیکر شناسی زمین، کیفیت و کمیت منابع آب و خاک، عوامل انسانی شامل تخریب منابع نباتی، تخریب منابع آب و تخریب منابع اراضی و خاک، و در نهایت دو شاخص شدت فرسایش و توان بیابان‌زدایی
سازمان همکاری بین المللی در امور بیابان‌زایی	۱۹۹۰	تخریب پوشش نباتی، مالداري، عشایر، زراعت، چرای بی‌رویه، زندگی روستایی
صادقی و همکاران	۱۳۷۵	مقایسه روند کنترل با گسترش بیابان
خالدی	۱۳۹۵	برآورد زیان‌های اقتصادی طوفان گرد و غبار به بخش زراعت
آرامی و همکاران	۱۳۹۷	تحلیل مطالعات مخاطره‌گردو غبار در جنوب ایران
Aharoni and ward	۱۹۹۷	عوامل زنده و غیر زنده
Wang et al.	۲۰۱۵	قرار داشتن ایران در معرض سیستم‌های گرد و غبار محلی و منطقه‌ای به دلیل واقع شدن در کمربند خشک و نیمه خشک جهان
Ai and Polenske	۲۰۰۸	بیشتر بودن آثار تأخیری (ثانوی) طوفان‌های گرد و غبار زرد در استان بیژینگ چین در سال ۲۰۰۰ از آثار مستقیم و فوری آن

منبع: (صالحی و همکاران، ۱۳۹۹)

با توجه به مطالعات انجام شده، واضح است که افزایش فشار بر منابع طبیعی، بهره‌برداری غیرمجاز از جنگل‌ها و چراگاه‌ها، و تغییرات اقلیمی موجب تشدید بیابان‌زایی و کاهش توان تولیدی زمین در افغانستان شده است. در این شرایط، مدیریت پایدار زمین به عنوان یک راهبرد جامع برای حفظ پوشش نباتی، جلوگیری از فرسایش خاک، بهبود ظرفیت تولید علوفه و ارتقای معیشت

جوامع محلی اهمیت حیاتی دارد. محقق بر این باور است که ادغام رویکردهای مختلف، با مشارکت فعال جوامع محلی و استفاده از داده‌های علمی، می‌تواند نقش مؤثری در کاهش روند بیابان‌زایی و ارتقای پایداری اکوسیستم‌ها ایفا کند. علاوه بر این، توجه به توانمندی‌های بومی، آموزش جوامع و تقویت سیاست‌ها و قوانین حفاظتی می‌تواند چارچوب مناسبی برای پیشگیری از تخریب زمین و توسعه پایدار در سطح ملی ایجاد نماید. بنابراین، این تحقیق بر شناسایی روش‌های علمی مدیریت پایدار زمین و ارائه راهکارهای عملی برای مقابله با بیابان‌زایی در افغانستان تمرکز دارد، به گونه‌ای که هم منافع اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی همزمان تأمین شود.

در مطالعات تلاش میشود که نظر

نتیجه و یافته‌های این تحقیق

این تحقیق یک تحقیق مروری بوده که بعد از مطالعه کتاب‌ها و مقالات علمی، نتیجه و یافته‌ها قرار ذیل می‌باشند:

۱: روش‌های مدیریت پایدار زمین

الف: مدیریت جنگل

قطع گسترده درختان و درختچه‌ها و تبدیل منابع طبیعی به اراضی زراعتی، یکی از عوامل اصلی بیابان‌زایی، فرسایش شدید خاک، کاهش منابع آبی و تضعیف اکوسیستم‌های طبیعی در کشور ما محسوب می‌شود. این روند، همراه با خشکسالی‌های مکرر، تأثیر منفی مضاعفی بر تولید محصولات زراعتی گذاشته و چشم‌انداز توسعه اقتصادی و اجتماعی مناطق مختلف را تیره و تار کرده است (مرتضوی و همکاران، ۱۳۸۷). مدیریت پایدار جنگل به عنوان یک راهبرد علمی و عملی، هدفش استفاده مسئولانه از منابع جنگلی در چارچوب حفظ سلامت اکوسیستم، تنوع زیستی و قابلیت بازسازی طبیعی جنگل‌ها برای نسل‌های آینده است (FSC, 2024).

اجزاء کلیدی مدیریت پایدار جنگل شامل برنامه‌ریزی جامع، حفاظت از تنوع زیستی، استفاده از استانداردها و گواهی‌نامه‌های بین‌المللی مانند FSC و مشارکت فعال جوامع محلی در تصمیم‌گیری و بهره‌برداری می‌باشد (Jaafari & Mafi-Gholami, 2024; Rice et al., 2001). برنامه‌ریزی جامع مدیریت جنگل، اهداف حفاظت، احیا و بهره‌برداری پایدار را برای دوره‌های بلندمدت تعیین می‌کند و شامل تدوین سیاست‌های عملیاتی برای مقابله با فرسایش خاک، خشکسالی و آفات جنگلی است (Wu, Liao, & Yu, 2025).

حفظ تنوع زیستی جنگل‌ها، نگهداشت انواع نباتی و جانوری و حفاظت از زیستگاه‌های حساس، بخش مهمی از این مدیریت است که تضمین می‌کند جنگل‌ها علاوه بر تولید اقتصادی،

نقش اکولوژیکی خود را نیز حفظ کنند (FSC, 2024). استفاده از گونه‌های مقاوم به خشکی و اجرای جنگلکاری علمی، ضمن احیای پوشش نباتی و کاهش فرسایش خاک، توان مقابله با خشکسالی و افزایش پایداری منابع آب را فراهم می‌آورد (مرتضوی و همکاران، ۱۳۸۷; Jaafari & Mafi-Gholami, 2024).

مزایای اجرای مدیریت پایدار جنگل شامل حفظ توان اکولوژیکی جنگل‌ها، جذب و ذخیره‌سازی کربن، کاهش اثرات تغییرات اقلیمی و ارتقای معیشت جوامع محلی است (Rice et al., 2001). با این حال، ضعف در اجرای استانداردها، فقدان فناوری پیشرفته، نبود نیروی انسانی متخصص و فشار بازار جهانی بر منابع جنگلی از چالش‌های مهم در این حوزه به شمار می‌روند (Jaafari & Mafi-Gholami, 2024). در نتیجه، ترکیب برنامه‌ریزی علمی، مشارکت جوامع محلی و استفاده از گونه‌های مقاوم به خشکی، راهبردی موثر برای حفاظت از جنگل‌ها و افزایش پایداری اکوسیستم‌ها محسوب می‌شود.

ب: مدیریت پایدار چراگاه‌ها

چراگاه‌ها، علاوه بر اینکه منابع حیاتی تولید علوفه و مواد غذایی حیوانات هستند، نقش کلیدی در حفاظت خاک، جلوگیری از فرسایش و بیابان‌زایی، ذخیره آب و تأمین تنوع زیستی دارند. مطالعات نشان می‌دهد که تغییرات پوشش نباتی، ترکیب گونه‌ها و کاهش ظرفیت چراگاه‌ها ناشی از چرای بیش از حد، چرای زودرس و مفرط، بوته‌کشی و تبدیل چراگاه‌ها به زمین‌های للمی کم‌بازده، باعث تخریب محیط زیست و کاهش تولید علوفه شده و چراگاه‌ها را به صحرا تبدیل می‌کند (ارزانی و همکاران، ۱۳۸۱-۱۳۷۷؛ رئوفی‌راد و همکاران، ۱۳۹۴).

مدیریت پایدار چراگاه‌ها بر اساس یافته‌های علمی جدید، شامل چرای هوشمند متناسب با ظرفیت تولیدی، نظارت مداوم بر پوشش نباتی و کیفیت خاک، بازسازی چراگاه‌ها با گونه‌های بومی مقاوم به خشکی و مشارکت فعال دامداران و جوامع محلی است (Wu, Liao, & Yu, 2025; Þorlákssdóttir et al., 2025). این اقدامات باعث حفظ پوشش نباتی، افزایش تولید علوفه، جلوگیری از بیابان‌زایی و تقویت سازگاری اکوسیستم‌های چراگاهی در برابر تغییرات اقلیمی می‌شوند علاوه بر این، برنامه‌ریزی و مدیریت مبتنی بر اطلاعات علمی، مانند اندازه‌گیری دقیق پارامترهای پوشش نباتی، ترکیب انواع، میزان تولید و ظرفیت چراگاه‌ها، امکان بهره‌برداری بهینه و کاهش فشارهای انسانی بر اکوسیستم را فراهم می‌آورد (Wu et al., 2025). ترکیب دانش بومی و تجربیات مالداران با یافته‌های علمی نوین، باعث می‌شود راهبردهای مدیریتی مؤثر و پایداری برای چراگاه‌ها کشور طراحی و اجرا شود.

ج: مدیریت آب

اساساً توانمندی هر جامعه بستگی به منابع آن دارد ازینرو یکی از توانمندی جامعه و دهاقین منابع آب می باشد، مدیریت صحیح آب، اداره بهتر امور برای آینده می باشد که مهترین عامل برای اشتغال زایی، منبع درآمد، تأمین معیشت و پایداری زراعت محسوب می شود (قدیری و همکاران، ۱۳۸۷)

آب از بدو پیدایش حیات، نقش اساسی در ادامه زندگی دارد در پیدایش و رشد حیات عامل مهم می باشد. در طول تاریخ بشر از این نعمت خداوندی استفاده های زراعتی و صنعتی زیاد نمودند. تغییرات آب و هوا و کاهش جنگل های بارانی، کاهش ضخامت لایه اوزون همه و همه کمبود آب را تشدید می دهد.

کمبود آب تأثیر مستقیم بر صحراگرایی، تهدید زراعت و تخریب اکوسیستم دارد (کوهستانی، ۱۳۹۷). قسمت زیاد آب ناشی از طوفان های شدید به صورت ضایعات رو زمینی به هدر میرود آب در حالت جامد بودن آن (برف) تمام نباتات را از یخبندان حفاظت می کند و همچنان در تأمین آب های زیر زمینی کمک می کند (احمدی و همکاران ۱۳۹۳). منابع آب آبیاری ۲۰ در صد از کل اراضی زیر کشت را در سراسر جهان تشکیل می دهد. زمین های آبی بطور متوسط حد اقل دو برابر بیشتر از زراعت للمی محصول تولید می کند و با توجه به رشد جمعیت، شهرنشینی و تغییر اوضاع پیش بینی می شود که رقابت بر سر منابع آب افزایش میابد و پیش بینی می شود که رشد جمعیت تا سال ۲۰۵۰ به بیش از ۱۰ میلیارد نفر می رسد؛ که این جمعیت نیاز به غذا دارد (World Bank, 2020).

مدیریت در بخش منابع آب مهمترین راه کار برای توسعه پایدار است و شاخص های چون الگو و روش کشت، کشت جایگزین، روش ها و سیستم درست آبیاری، بلند بردن آگاهی دهاقین از منابع آب، راه های حفظ نگهداری آب تأثیرات را در مدیریت منابع آبی دارد. بطور کلی مهمترین راهکار برای مدیریت مصرف آب، افزایش کارایی مصرف آب، قیمت گذاری آب به عنوان یک کالا و اعمال ارزش واقعی آن، تعیین الگوی کشت، کاهش مصرف آب آبیاری با استفاده از روش های کم مصرف و مؤثر آب مدیریت یکپارچه منابع آب است (منتظری و همکاران ۱۳۹۹). بحران آب به نحوی مدیریت آب بستگی دارد چرا که امکان افزایش منابع آب وجود ندارد بلکه تنها راه ممکن جهت از بین بردن بحران آب، مدیریت صحیح و مناسب آب می باشد و به همین علت مجامع بین المللی مدیریت به هم پیوسته منابع آب را به عنوان یک رویکرد مناسب جهت بیرون رفت از بحران آب مطرح کرده اند. همچنین بنا بر عقیده بانک جهانی، مهمترین علت کمبود

آب در سطح جهان، مدیریت ضعیف و ناکارآمد نظام های آبیاری و عدم تعادل میان درآمدها و هزینه های این بخش است. (کیخا و همکاران ۱۴۰۲). خشکسالی بیش از هر پدیده دیگری بر انسان تأثیرگذار است و تقریباً در تمامی مناطق آب و هوایی روی می دهد.

خشکسالی به چهار دسته ای هواشناسی، زراعتی، هیدرولوژی و اقتصادی و اجتماعی طبقه بندی میشود: خشکسالی اقلیمی زمانی رخ میدهد که بارندگی سالانه کمتر از میانگین درازمدت باشد ادامه خشکسالی هواشناسی به مدت طولانی سبب بروز خشکسالی هیدرولوژی میشود که در این نوع خشکسالی، سطح آب رودخانه ها، مخازن آب، دریاچه ها و آب های زیرزمینی به پایین تر از میانگین درازمدت افت میکند. خشکسالی زراعتی نیز زمانی آغاز می شود که مقدار رطوبت موجود در محیط ریشه گیاه به حدی کاهش یابد که موجب پژمردگی و درنهایت کاهش محصولات زراعتی شود هرگاه میزان تقاضای آب برای تولید بعضی کالاها یا اقتصادی بیشتر از عرضه آن شود، خشکسالی اقتصادی و اجتماعی روی میدهد (منتظری و همکاران ۱۳۹۹).

در سالهای گذشته، نوآوری در تکنالوژی زراعتی رشد قابل توجهی داشته است. تکنالوژی نوین در زراعتی به هدف های مختلفی توسعه یافته اند مانند کاهش مصرف آب، کاهش مصرف عنصرهای غذایی نباتی و کود کیمیایی، کاهش اثرهای منفی کاربرد آب و عنصرهای کیمیایی بر محیط زیست، کاهش انتقال مواد کیمیایی به آبهای سطحی و زیرزمینی، بالابردن بازده کاربرد آب و عنصرهای کیمیایی، کاهش هزینه های تولید در بین فناوری ها نوین زراعتی، فناوری ها نوین و پیشرفته آبیاری به دلیل موردهایی مانند رشد جمعیت، خشکسالی و کمبود آب، جایگاه ویژه ای دارند.

مدیریت نوآورانه و پایدار آب زراعتی اهمیت زیادی در برنامه های سازگاری با تغییرپذیری و تغییر اقلیم دارد و پیشبینی میشود که فناوری ها نوظهور آبیاری همراه با فناوری ها سازگار با محیط نقشی کلیدی در امنیت آبی و غذایی آینده جهان داشته باشند. روش ها و فناوری ها نوین آبیاری در زراعتی هدف هایی مانند افزایش منابع آب و بهبود روشهای تامین آب، افزایش بهره وری مصرف آب زراعتی، و مدیریت تقاضای آب و نگهداری سامانه های آبیاری را دنبال میکنند. در حال حاضر، با توجه به محدودیت افزایش به منابع آبهای شیرین و دسترسی به آنها در دنیا، تکنالوژی نوین آبیاری بیشتر با هدف افزایش بهره وری آب آبیاری و مدیریت و نظارت هوشمند بر آب زراعتی توسعه یافته اند (شریفی و همکاران، ۱۴۰۲).

د: مدیریت و حفاظت خاک

ارزیابی بیابان‌زایی از نظر خاک شامل بافت خاک، زهکشی، شیب، عمق خاک و سنگریزه سطحی می‌شود. که هر کدام این شاخص‌ها اثری در بیابان‌زایی دارند (سیلاخوری، ۱۳۹۳). استراتژی که در قسمت حفاظت از خاک پیشنهاد شده اند شامل حفاظت از سطوح سنگریزه‌ای، جلوگیری و کاهش تردد ماشین آلات سنگین زراعتی و صنعتی، ایجاد باد شکن‌ها، اصلاح بافت خاک، احیای خاک می‌باشد (صادقی روش، ۱۳۹۹). آب و خاک دو منبع مهم در زراعت هستند که باید از آن‌ها حفاظت شود، این منابع باید ضمن بهره‌برداری صحیح، برای نسل‌های آینده نیز حفظ شود متأسفانه در سال‌های اخیر به دلیل نیاز تولید بیشتر، ناآگاهی مردم و روش‌های نادرست بهره‌برداری از منابع تأثیر ناگوار در منابع گذاشته‌اند (سادات عظیمی و همکاران، ۱۴۰۱). یکی از مشکلات منابع طبیعی فرسایش خاک و تولید رسوب می‌باشد که این عوامل عموماً تابع شرایط اقلیمی، پستی و بلندی خاک می‌باشد، که اقدامات چون آبخیز داری یا چکدم‌ها باید ساخته شود که تأثیر مثبت در جهت جلوگیری از فرسایش خاک دارد.

یکی از عمده‌ترین عوامل تخریب و انهدام منابع طبیعی انسان معرفی می‌گردد، تامت‌ها پیش آثار این تخریب در شرایط زیست محیطی عموماً محدود به منطقه‌ای بود که این فعالیت فعالیت‌های تخریبی در آنجا صورت می‌گرفت، آثار و عوارض آن حد اکثر تا فاصله محدودی خود را نمایان می‌ساخت اما اینک سال‌هاست که این عوارض جنبه فراگیر یافته و سرزمین و مرزی را برای خود نمی‌شناسد. امروز پدیده‌های نظیر تغییرات شرایط اقلیمی به دلیل افزایش گاز کاربن‌دای اکساید که به اثر گلخانه‌ای شهرت یافته است، از بین رفتن لایه اوزون، افزایش شدید آلودگی‌های صنعتی، ریزش باران‌های تیزابی، گسترش مناطق بیابانی جهان و بالاخره فرسایش خاک تنها مختص به نقاط خاصی نیست بلکه قلمرو آنها سطح مناطق وسیع قاره‌ها و گاه حتی تمام جهان است.

چگونگی مبارزه با فرسایش خاک

اهمیت و ظرافت موفقیت در امور حفاظت خاک و آبریزه به گونه‌ای است که تنها در قالب اجرای عملیات فنی و تکمیلی تحقق نیافته بلکه مجموعه‌ای از اقدامات در قالب یک برنامه ریزی منظم و برخوردار از حمایت‌های قانونی و اجرایی را ایجاب مینماید و اهمیت این برنامه‌ها بشرح زیر است:

الف: تهیه و تصویب مقررات مربوط به حفاظت خاک و مبارزه با سیل

۱. تعیین نحوه همکاری و کمک‌های دولت به منظور اجرای پروژه‌های حفاظت خاک.

۲. تعیین نحوه سرمایه گذاری و ارائه خدمات فنی دولت برای اجرای برنامه‌های حفاظت خاک.

۳. تعیین مواضع و نحوه همکاری در زمینه برخورد با منابع تولید رسوب و فرسایش در سطح کشور از نظر کنترل برای جلوگیری از بهره برداری های غلط.

ب: اجرای اقدامات ترویجی، آموزشی جهت آموزش روش های صحیح بهره برداری از منابع طبیعی تجدید شونده.

ج: اجرای عملیات بیولوژیکی به منظور استقرار پوشش نباتی در مناطق در حال فرسایش
د: اجرای عملیات فنی، مهندسی: شامل اقداماتی نظیر احداث بانکت، تراس و سیلند، دیواره های محافظ به منظور ممانعت از فرسایش، معمولاً در مراحل حاد و پیشرفته فرسایش خاک این اقدامات صورت میگیرد.

ه: اقدامات حفاظتی و حمایتی: به منظور جلوگیری از ایجاد فرسایش در مناطق مستعد و با توقف روند فرسایش در مراحل اولیه، یکی از روش های بسیار مفید جهت جلوگیری از فرسایش خاک احداث بانکت و چکدم میباشد. بانکت ها عبارتند از: کانالها و پشته هایی که در جهت مخالف شیب بر روی خطوط منحنی میزان احداث میگردند. اهداف عمده این پروژه ها کم کردن طول شیب، کنترل هرز آب ها، کمک به نفوذ آب در خاک، بهبود وضعیت پوشش نباتی و حفاظت خاک میباشد. بانکت ها معمولاً از لحاظ نحوه آبیگری به دو روش شیبدار با انتهای باز و جذبی با انتهای بسته اجرا و طراحی میشوند (Ataei & Analooei, 2013).

و: مدیریت و روش نوین کشت

دانشمندان زراعت به این باور اند که استفاده از تکنالوژی جدید زراعتی مانند روباتیک ها، پهباد و داده های ماهواره ای در همه فعالیت های مزرعه، تخم پاشی، کود دهی، آبیاری و برداشت شروع می شود، به عبارت دیگر زراعتی هوشمند به تقریب در هر گوشه از منطقه های زراعتی گسترش خواهد یافت. زراعتی هوشمند را می توان انقلابی در فعالیت های مزرعه ای دانست که از شروع به کار آن، کاهش سختی کار و ساده کردن وظیفه دشوار داده شد، به زارعین این امکان را می دهد تا محصول بیشتری بدست بیاورند.

زراعت ماهواره ای: زراعت بر پایه هدایت توسط ماهواره ها، بخصوص از رفت و آمد دوره ای و کنترل حرکت ها و عملکرد ماشین آلات زراعتی با استفاده از مختصات سامانه موقعیت یاب ماهواره ای به سرعت در سطح جهان افزایش یافته است.

روبات‌ها: روبات‌ها وسیله خودکار و نیمه خودکار هستند که در مراحل مختلف زراعت برای تولید محصول استفاده می‌شود. روبات‌های زراعتی بیشتر در آماده سازی زمین، شیاربندی، کانال سازی، توزیع و پخش انواع کود ها (مایع و جامد) دوا پاشی، آبیاری، از همه مهمتر برداشت محصول استفاده می‌شود.

طیاره‌های بدون سرنشین: هواپیماهای بدون سرنشین زراعتی به طور موثر برای ردیابی، انتخاب تصویرهای از خاک و محصول و تهیه نقشه‌های رقمی مورد استفاده قرار می‌گیرد تا حال بیش از ۵۰ کشور جهان از طیاره های بدون سرنشین در زراعت شان استفاده می‌کند (عباسپور و همکاران، ۱۴۰۳)

۲: راه‌های جلوگیری از بیابان‌زایی

مبارزه با بیابان‌زایی عبارت از مجموعه اقداماتی که در چارچوب طرح‌های جامع توسعه در مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد و این اقدامات باید بر پایه اصول پایدار بوده و شامل سه نوع فعالیت می‌شود که عبارت از فعالیت‌های باز دارنده یا مانع کننده، فعالیت‌های اصلاح کننده و فعالیت‌های احیایی (فلاجی و سلیم، ۱۳۸۸) در مقابل معضل جهانی بیابان‌زایی، مفهومی با عنوان بیابان‌زدایی وجود دارد که برای سبک‌کاری در بیابان و جلوگیری از روند سریع تخریب سرزمین‌ها در مناطق خشک، نیمه خشک و نیمه مرطوب می‌پردازد، که شامل سه روش احیایی، اصلاحی و بازدارنده می‌باشد. از میان مهم ترین کارهای که در راستایی بیابان‌زدایی باید انجام داد می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. کاشت درختان و نباتات مقاوم و متناسب با مناطق خشک
۲. کاشت نباتات ویژه مقابله با بیابان‌زایی شامل بنه، کنار، کهور، سمر، کرت، کوهنک (درخت)، سلم، اکالپتوس، افاقیا، کاسیا، کرتکی، رمیلک
۳. پخش سیلاب و پخش آب
۴. تعادل حیوانات و چراگاه‌ها برای حفاظت از پوشش نباتی موجود
۵. بهره‌گیری از روش‌های کارآمد در انباشتن آب باران
۶. احیایی شوره زارها
۷. استفاده از سوخت‌های جای‌گزین (رهبانی، ۱۴۰۰)

الف: فعالیت‌های بازدارنده

از آنجا که انسان خود در بیشتر موارد عامل عمده و اساسی تهدید و روند تخریب منابع طبیعی شمرده می‌شود در صورت جلوگیری از این فعالیت‌های مخرب می‌تواند مانع بیابان‌زایی شود، که این فعالیت‌ها شامل سه نوع فعالیت ذیل می‌شود:

۱: فعالیت آگاهی دهی و ترویجی ۲: تشویقی ۳: تنبیهی

۱: روش‌های آگاهی دهی و ترویجی: اکثر دانشمندان نظر دارند که دهاقین بدون داشتن زمینه‌های ذهنی و شناخت کافی در باره یک موضوع گفته‌های شان را باور کنند و در راه رسیدن به آن اهداف به طریق مختلف، همدلی و همکاری کنند. اگر این روش کوتاه مدت و حاصل دهی اقتصادی زود هنگام را همراه باشد، توجه مخاطبان (دهاقین و روستائیان) را جلب کنند. اما زمانی اگر این روش شامل طرح‌های طولانی مدت باشد که محصول زود باز ده نباشد ممکن با منافع بهره برداران در تضاد باشد (مانند منع شکار حیات وحش، ممانعت از بته‌ها برای مواد سوخت، ممانعت از بردن حیوانات به ساحات بیشتر تخریب شده چراگاه، تبدیل نمودن دیم‌ها به ساحات چراگاهی و غیره) در این صورت باید از روش‌های ترویجی و تبلیغی باید استفاده کرد.

۲: روش‌های تشویقی: روش‌های تشویقی شامل روش‌های دوستی و صمیمیت بین بهره برداران و دولت است که همیشه بهایی دوستی کمتر از بهایی دشمنی است باید از طریق تشویق و صمیمیت توجه دهاقین جلب شود.

۳: روش‌های تنبیهی: این روش می‌تواند مؤثر باشد با روش‌ها و میتودهای آگاهی دهی و آموزشی همراه باشد.

ب: روش‌های اصلاحی

روش‌های که در جهت اصلاح روش‌های فعلی، اعم از سیایت‌گذاری، برنامه ریزی، بهره برداری اعمال می‌شود. مانند اصلاح روش‌های شدیدار یا قلبه کردن، اصلاح روش‌های آبیاری، اصلاح روش‌های کود دهی، اصلاح روش‌های تناوب زراعتی و غیره.

ج: روش‌های احیایی

این روش‌ها در مناطق مورد استفاده قرار می‌گیرد که به طور جدی دچار تخریب شده باشد، و آسیب‌های وارد شده به حدی است که رها سازی آنها به حالت طبیعی و به تنهایی برای احیایی شرایط ایکولوژیکی آنها کفایت نمی‌کند (مانند ساحات فرسایش یافته آبی یا بادی که قسمت خاک حاصلخیز آن از بین رفته باشد بناً از مرحله بازسازی مستلزم اجرایی پروژه‌های نظیر احداث بادشکن، ملج پوششی، نهال کاری، بذر پاشی، انتقال آب، بذر کاری و غیره) که این روش‌ها باید

سازگار با محیط باشد در صورتی ناسازگاری خود ممکن سبب آسیب و بروز مشکلات جدیدی در محیط تخریب شده شود (فلاجی و سلیم، ۱۳۸۸).

بحث

بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که بیابان‌زایی به عنوان یکی از جدی‌ترین چالش‌های محیط زیستی جهان، به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسانی است. یافته‌های این تحقیق مروری تأکید می‌کند که افزایش جمعیت، بهره‌برداری غیرمجاز از منابع طبیعی، چرای بی‌رویه، تخریب پوشش نباتی و تغییرات اقلیمی، همگی به شدت توان تولیدی زمین را کاهش داده و فرسایش خاک و کم‌آبی را تشدید کرده است. مطالعات مختلف حاکی از آن است که مدیریت پایدار زمین، از جمله حفاظت و احیای جنگل‌ها و چراگاه، مدیریت منابع آب و خاک، و استفاده از تکنالوژی نوین زراعتی، می‌تواند نقش کلیدی در کاهش روند بیابان‌زایی ایفا کند.

در بخش مدیریت جنگل‌ها، مشارکت جوامع محلی و استفاده از گونه‌های مقاوم به خشکی باعث حفظ تنوع زیستی و افزایش توان اکولوژیکی جنگل‌ها می‌شود. مشابه آن، مدیریت پایدار چراگاه‌ها با چرای هوشمند، بازسازی چراگاه‌ها و نظارت مستمر بر پوشش نباتی، از فرسایش خاک جلوگیری کرده و ظرفیت تولید علوفه را ارتقا می‌دهد. مدیریت منابع آب، به ویژه در زراعت، از طریق استفاده بهینه، تکنالوژی نوین آبیاری و مدیریت تقاضا، ضمن افزایش شمریت، فشار انسانی بر اکوسیستم‌ها را کاهش می‌دهد. حفاظت خاک نیز با اقدامات فنی، بیولوژیکی و حمایتی، از جمله احداث بانکت‌ها و کنترل فرسایش، مانع تخریب بیشتر اراضی می‌شود.

در نهایت، ادغام رویکردهای بازدارنده، اصلاحی و احیایی در برنامه‌های جامع بیابان‌زدایی، همراه با آموزش، آگاهی‌دهی و مشارکت بهره‌برداران، چارچوب مؤثری برای کاهش اثرات منفی بیابان‌زایی فراهم می‌آورد. این یافته‌ها نشان می‌دهد که موفقیت در مقابله با بیابان‌زایی تنها از طریق رویکردهای علمی، مدیریت یکپارچه منابع طبیعی و بهره‌گیری از ظرفیت‌های بومی و تکنالوژی نوین قابل تحقق است. بنابراین، اجرای چنین استراتژی‌هایی می‌تواند پایداری اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی جوامع مناطق خشک و نیمه خشک را تضمین کند.

نتیجه گیری

مدیریت پایدار زمین نشان دهنده ادغام زراعت، محیط زیست، عوامل اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و غیره است که بر محصولات زراعتی و امنیت غذایی اثر دارد. مبارزه با بیابان‌زایی عبارت از مجموعه اقداماتی است که در چارچوب طرح‌های جامع توسعه در مناطق خشک و نیمه خشک

میباشد. مدیریت پایداری زمین موضوعی است که در کشورهای در جال توسعه جهان امروز زیاد مراعات نمی گردد و روش های مدیریت پایداری زمین عبارت از مدیریت جنگل، چراگاه، آب، خاک و استفاده از روش های نوین زراعت می باشد و همچنان بیابانزایی یکی از مشکلاتی است که روز به روز جدی تر شده می رود و عوامل عمده این مشکل عبارت از عوامل طبیعی و عوامل مربوط به فعالیت های انسان می باشد که عوامل طبیعی شان آتشفشان ها، آتش سوزی های طبیعی تغییر اقلیم و عوامل مربوط به فعالیت های انسان عبارت از سوخت های فسیلی، وسایل نقلیه، چرای مفرط، چرای بی رویه، بته کنی، کارخانجات، فقر و غیره می باشد. بطور عمده میتودها و روش های جلوگیری از بیابانزایی عبارت از روشهایی بازدارنده، اصلاحی و احیایی می باشد. بهترین روش جلوگیری از بیابانزایی عبارت از روش بازدارنده می باشد که خودش شامل فعالیت های آگاهی دهی و ترویجی، تشویقی و تنبیهی می باشد.

منابع و مآخذ

ارزانی، ح.، میردادی، ح.، فراهپور، م.، عظیمی، م.س.، کابلی، س.ح.، سناادگل، ع.، اکبرزاده، م.، و مظفریان، و. (1384). *روند تغییرات پوشش گیاهی و تولید مراتع در استان مرکزی طی یک دوره ۵ ساله (1377-1381)* تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۲(۴)، ۴۰۹-۴۳۶.

حبشی، خلیل، کریمزاده، حمیدرضا، پورمنافی، سعید، و جعفری، رضا. (۱۳۹۶). ارزیابی بیابانزایی در شرق اصفهان با استفاده از روش تلفیقی مدل مدالوس و ارزیابی چند معیاره (MCA) مدیریت بیابان، ۵(۱۰)، ۹۹-۱۱۵.

رهبانی، محمد صادق (۱۴۰۰) عبور از خشکسالی با مشارکت همگانی، انجن علمی دانشجویی احیا مناطق خشک و کوهستانی دانشگاه تهران، نشریه علمی ترویجی، تاغ. دوره دوم، شماره پنجم

رئوفی راد، ولی اله؛ حیدری، قدرت الله؛ باقری، ستاره (۱۳۹۴) تحلیل رابطه بین تولید با سطح، تعداد دام و تعداد بهره بردار مرتعی، دانشگاه علوم کشاورزی، دانشکده علوم زراعتی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

سپهر، عادل. صفراآبادی، اعظم. (۱۳۹۱). تحلیل شاخص های اثر گذار بر توسعه اکوتوریزم در مناطق بیابانی ایران

سیلاخوری، اسماعیل (۱۳۹۳)، پهنه بندی شدت خطر بیابانزایی منطقه ای مزینان سبزوار از نظر معیار خاک با استفاده از مدل ESAs، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

- شریفی تهرانی، عباس؛ و مهدوی دامغانی، عبدالمجید (۱۴۰۲)، بررسی فناوری‌ها نوین بوم سازگار در کشاورزی و منابع طبیعی در ایران، علوم کشاورزی فرهنگستان علوم ج.ا. ایران.
- شهبازی، خسرو؛ حشمتی، مسیب؛ سعیدی فر؛ زهرا (۱۳۹۹) بررسی تأثیر اقلیم بر خشک سالی و خطر بیابان‌زایی در استان کرمان
- صالحی، اصغر & کرباسی، پریسا (۱۳۹۹) نقش عوامل انسان ساخت در بیابان‌زایی شرق اصفهان، اصفهان ایران
- صادقی روش، محمد حسن (۱۳۹۹)، ارائه روش نوین اولویت بندی راهبردی مقابله با بیابان‌زایی بر اساس تصمیم‌گیری چند معیاره
- عباسپورگیلانده، یوسف؛ محتسبی، سید سعید (۱۴۰۳) مروری بر فناوری‌ها نوین بوم سازگار در کشاورزی هوشمند، علوم کشاورزی و منابع طبیعی ایران.
- عظیمی، مژگان سادات؛ شریفیان، ابوالفضل؛ ریاضی نیا، وحیده؛ ارزانی، حسین & عباسپور، کریم (۱۴۰۱) بررسی تأثیر تغییرات پوشش گیاهی مراتع خشک و نیمه خشک ایران در رابطه با وقوع سیل.
- فلاجی- ثریا، سلیم نادر (۱۳۸۸)، بیابان و بیابان‌زدایی در ایران و راهکارهای کاهش آن، سازمان جهاد کشاورزی، مدیریت هماهنگی ترویج کشاورزی
- قدیری؛ مجتبی. ضیانوشین؛ محمد مهدی. مهدوی؛ مسعود (۱۳۸۷) توسعه پایدار کشاورزی (زراعت و باغداری) با تأکید بر پایداری منابع آب، دوره شانزدهم، شماره شصت و چهارم.
- کوهستانی، نثار احمد (۱۳۹۷) اساسات اکولوژی، پوهنتون کابل، انتشارات قرطبه ۶۱، ۶۸
- کیخا، معصومه؛ شهرکی، علی سردار؛ هاشمی تبار، محمود (۱۴۰۲) تحلیل اقتصادی- زیست محیطی طرح‌های توسعه منابع آب در شرایط خشک سالی در منطقه سیستان با رویکرد IWRM
- مرتضوی، سید مرتضی & کوثر، آهنگ (۱۳۸۷) تحقیقی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس.
- منتظری، عبدالقیوم؛ صحنه، بهمن؛ & قانقرمه، عبدالعظیم (۱۳۹۹) نقش مدیریت منابع آب در معیشت پایدار خانوارهای نواحی روستایی.
- مهدوی زاده، منیژه؛ کاریان؛ علی‌گل & ناصری؛ کمال الدین، (۱۳۹۴). بررسی تأثیر خصوصیات خاک بر رشد آتریپلکس کانسنس. طرح‌های بیابان‌زدایی عمرانی گناباد و چاه گوجی مه ولات

نفر، فاطمه؛ ابراهیمی، تقی پور، علی اصغر، (۱۴۰۰). ارزیابی وضعیت بیابانزایی در حومه آبخیزسفید دشت - بروجن، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهر کرد؛ شهرکرد، ایران.

Ataei, H., & Analooei, A. (2013). Role in preventing soil erosion, watershed management activities. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 22(SEPEHR), 49-52.

FSC. (2024). What is sustainable forestry? Practices & benefits. FSC.org.

Jaafari, A., & Mafi-Gholami, D. (2024). Sustainable Forest Management and Natural Hazard Prevention. *Sustainability*, 16(16), 6915.

Rice, R. E., Sugai, C. A., Ratay, S. M., & da Fonseca, G. A. B. (2001). Sustainable Forest Management: A Review of Conventional Wisdom. *Advances in Applied Biodiversity Science*, No. 3.

Þorlákssdóttir, J. S., et al. (2025). Negotiating knowledge and action for sustainable rangeland management. *Environmental Science & Policy*.

Wu, S., Liao, C., & Yu, L. (2025). The potential of collective action in promoting sustainable rangeland management: evidence from pastoral China. *Ecology and Society*, 30(3), 39.

حل عددی معادله دوبعدی لاپلاس با استفاده از روش عناصر متناهی (Finite Element Method) (مقاله علمی تحقیقی)

۱- محمدعلی زیرک، ۲- عباس پویا

^۱ ریاضی، تعلیم و تربیه، پوهنتون دایکندی، دایکندی

1-zeerak@dhei.edu.af

چکیده

معادله لاپلاس دوبعدی یکی از معادلات دیفرانسیل جزئی پرکاربرد در علوم و انجینیری است که در تحلیل پدیده‌هایی نظیر انتقال حرارت، الکترواستاتیک و حرکت سیالات (مانند جریان آب یا هوا در محیط‌های مختلف) به کار می‌رود. این مقاله به بررسی روش عناصر متناهی (Finite Element Method) برای حل عددی این معادله در یک دامنه دوبعدی می‌پردازد. ابتدا، فرم ضعیف معادله لاپلاس با استفاده از روش گالرکین استخراج شده و دامنه مورد نظر به المان‌های کوچک‌تر تقسیم‌بندی می‌شود. سپس، با استفاده از توابع پایه خطی یا درجه بالاتر، ماتریس‌های سختی محلی برای هر المان تشکیل و ماتریس کلی سیستم ترکیب می‌شود. شرایط مرزی مختلف، شامل شرایط مرزی دیریکله، در مدل اعمال شده و سیستم معادلات خطی حاصل با استفاده از روش‌های عددی مناسب حل می‌گردد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های عددی با حل‌های تحلیلی مقایسه شده و دقت و کارایی روش عناصر متناهی ارزیابی شده است. این مطالعه نشان می‌دهد که روش عناصر متناهی به دلیل انعطاف‌پذیری در مدل‌سازی دامنه‌های غیرمنظم، توانایی مدیریت شرایط مرزی پیچیده و دقت بالا در تقریب جواب‌ها، ابزاری مؤثر و قدرتمند برای حل معادله لاپلاس دوبعدی است. همچنین، تأثیر اندازه المان‌ها و نوع توابع پایه بر دقت نتایج بررسی شده و پیشنهاد‌های برای بهبود کارایی محاسباتی ارائه گردیده است.

کلمات کلیدی: معادلات دیفرانسیل با مشتقات جزئی، معادله دوبعدی لاپلاس، روش عناصر متناهی.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مقدمه

الحمد لله رب العالمين الصلاة والسلام على اشرف الانبياء والمرسلين سيدنا محمد وعلى آله وصحبه ومن تبعهم بإحسان إلى يوم الدين.

معادله لاپلاس یکی از معادلات دیفرانسیل جزئی بنیادین در علوم ریاضی، فیزیک، و انجیری است که به دلیل توانایی اش در توصیف پدیده‌های تعادلی و پایدار، جایگاه خاصی در تحلیل مسائل علمی و صنعتی دارد (Reddy, ۲۰۰۶). در حالت دوبعدی، این معادله به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\nabla^2 u = 0 = \frac{\partial^2 u}{\partial^2 x} + \frac{\partial^2 u}{\partial^2 y} = 0 \quad (۰-۱)$$

در این معادله، $u(x, t)$ تابع مجهول است که می‌تواند فیزیکی مختلفی مانند پتانسیل الکتریکی، حرارت، یا پتانسیل سرعت در سیالات را نشان دهد (Zienkiewicz & Taylor, ۲۰۰۰). ماهیت خطی و متجانس این معادله، آن را به ابزاری قدرتمند برای مدل‌سازی سیستم‌های تبدیل کرده است که در حالت پایدار یا بدون تغییرات زمانی قابل توجه قرار دارند (Strang & Fix, 2008). این معادله در زمینه‌های متنوعی از جمله الکترواستاتیک، هیدرودینامیک، و انتقال حرارت پایدار کاربرد گسترده‌ای دارد (Incropera & DeWitt, 2007)، (Sadiku, ۲۰۱۰).

کاربردهای معادله لاپلاس بسیار متنوع است. در انجیری برق، این معادله برای تحلیل میدان‌های الکتریکی در مواد عایق یا محاسبه پتانسیل در خازن‌ها و هادی‌ها به کار می‌رود (Pokryvailo, 2008). در انجیری میخانیک و هوافضا، معادله لاپلاس در مدل‌سازی جریان‌های پتانسیل، مانند جریان سیال حول اجسام آیرودینامیکی نظیر بال هواپیما، استفاده می‌شود (Kundu & Cohen, 2012). در انجیری ساختمان، این معادله برای تحلیل تنش‌های دوبعدی در ساختمان‌ها و بررسی انتقال حرارت پایدار در مواد متجانس کاربرد دارد (Timoshenko & Goodier, 1970). علاوه بر این، در علوم زمین و ژئوفیزیک، معادله لاپلاس برای مدل‌سازی جاذبه و ساحه مقناطیسی استفاده می‌شود (Richard, Geldart, Sheriff, Keys, & Blakely, 1996). چنین تنوعی در کاربردها، اهمیت ویژه‌ی توسعه روش‌های حل عددی دقیق

و کارآمد را نمایان می‌سازد (Brenner & Scott, 2008). حل تحلیلی معادله لاپلاس معمولاً در بخش‌های با هندسه ساده، مانند دایره یا مستطیل، و با شرایط مرزی یکنواخت امکان‌پذیر است. این محدودیت ناشی از پیچیدگی‌های ریاضیاتی است که در هندسه‌های نامنظم یا شرایط مرزی غیر یکنواخت ایجاد می‌شود، چرا که حل تحلیلی نیازمند استفاده از روش‌های جداسازی متغیرها، سری فوریه یا تبدیلات بخصوص مانند تبدیل لاپلاس و فوریه است که در شکل‌های پیچیده یا مرزهای نامتجانس قابل اعمال نیستند. بنابر این، در بسیاری از مسائل انجیری و فیزیکی که هندسه‌ها یا شرایط مرزی پیچیده دارند، حل تحلیلی جای خود را به روش‌های عددی می‌دهد که امکان تقریب دقیق و کارآمد حل معادله لاپلاس را در شرایط واقعی فراهم می‌کنند (Strauss, 2007). با این وجود، در مسائل عملی که شامل هندسه‌های پیچیده یا مرزهای ترکیبی هستند، روش‌های عددی جایگزین حل تحلیلی می‌شوند (Brezis, ۲۰۱۱). (Evans, 2010). در چنین مواردی، روش‌های عددی مانند روش عناصر متناهی (Finite Element Method - FEM) به دلیل انعطاف‌پذیری و دقت بالا، راه‌حل‌های مناسبی ارائه می‌دهند (Hughes T. J., ۲۰۱۲)، (Taylor, 2000) & Zienkiewicz). روش المان محدود با تقسیم حوزه مسئله به المان‌های کوچک‌تر، مانند مثلث‌ها یا چهارضلعی‌ها، امکان تقریب محلی تابع $u(x, t)$ را فراهم می‌کند (Reddy, ۲۰۰۶). این روش تابع را در هر المان تقریب می‌زند و معادلات مربوط به همان المان‌ها را تشکیل می‌دهد، سپس همه آن‌ها را به هم متصل می‌کند تا سیستم کلی حاصل شود (Brenner & Scott, ۲۰۰۸). به دلیل توانایی‌اش در مدیریت هندسه‌های نامنظم، شرایط مرزی متنوع، و مواد غیرمتجانس، در نرم‌افزارهای انجیری مانند ANSYS، COMSOL، و ABAQUS به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد (Fish & Belytschko, ۲۰۰۷)، (Oden & Reddy, 2011). این روش امکان مدل‌سازی دقیق مسائل پیچیده را فراهم می‌کند و با بهبود تقسیم‌بندی شبکه، نتایج دقیق‌تری ارائه می‌دهد (Demkowicz, ۲۰۰۶).

با وجود مزایای فراوان، روش عناصر متناهی با چالش‌های مانند هزینه بالای محاسبات و وابستگی شدید به کیفیت شبکه مواجهه است. اندازه و شکل مناسب المان‌ها نقش مهمی در دقت و کارایی محاسبات دارند (Babuška & Strouboulis, 2001). برای مثال، شبکه‌های بسیار کوچک دقت محاسبات را افزایش می‌دهند، اما باعث طولانی‌تر شدن زمان پردازش می‌شوند (Reddy, ۲۰۰۶). استفاده از روش‌های مناسب‌تر شبکه‌سازی و روش‌های حل تکراری، مانند روش

گرا دیان مزدوج، می‌تواند این چالش‌ها را کاهش دهد (Elman, Silvester, & Wathen, ۲۰۰۵).

در این مقاله، معادله لاپلاس دوبعدی و اهمیت آن در علوم و انجینیری معرفی گردیده. در ادامه، جزئیات نظری و عملی روش عناصر متناهی، شامل فرمول‌بندی ضعیف، فرآیند شبکه‌بندی، تعریف توابع کلاه، و حل سیستم معادلات، تشریح خواهد شد. همچنین، یک مثال عددی با شرایط مرزی مشخص ارائه شده و نتایج آن با حل تحلیلی و روش تفاضلات متناهی به شکل گراف‌های دوبعدی و سه بعدی با استفاده از نرم افزار متلب مقایسه گردیده تا دقت و کارایی روش ارزیابی گردد.

اهمیت و ضرورت تحقیق

روش عناصر متناهی (FEM) به عنوان یک تکنیک عددی قدرتمند، با تقسیم انتروال مسئله به عناصر کوچک‌تر، امکان ارائه تقریبی را فراهم می‌کند و تحقیق در این زمینه از اهمیت و ضرورت بالایی برخوردار است، زیرا راه‌حل برای مسائل پیچیده‌ای فراهم می‌کند که با روش‌های تحلیلی قابل حل نیستند.

اهمیت این تحقیق به کاربردهای گسترده آن در بخش‌های مختلف انجینیری و فیزیک باز می‌گردد. برای نمونه، در انجینیری میخانیک، این روش برای تحلیل تنش در ساختمان‌ها و در انجینیری برق برای محاسبه پتانسیل در خازن‌ها و میدان‌های الکتریکی به کار می‌رود. انعطاف‌پذیری و دقت بالای FEM در مدیریت هندسه‌های نامنظم و شرایط مرزی متنوع، مانند Dirichlet یا Neumann، آن را به ابزاری کلیدی در نرم‌افزارهای مانند ANSYS و COMSOL تبدیل کرده است. همچنین، این روش در ژئوفیزیک برای مدل‌سازی ساحات جاذبه و در فیزیک برای حل مسائل الکترومقناطیسی کاربرد دارد، که نشان‌دهنده تأثیر آن در پیشرفت دانش بین‌رشته‌ای است.

حل تحلیلی معادله لاپلاس معمولاً به قسمت‌های ساده محدود است و در مواجهه با هندسه‌های پیچیده یا داده‌های ناقص، نیاز به روش‌های عددی مانند FEM احساس می‌شود. به همین دلیل، بررسی و بهبود الگوریتم‌ها، مانند ترکیب با روش‌های نیوتن یا تحلیل خطا، برای افزایش کارایی ضروری است. از سوی دیگر، هزینه محاسباتی بالای روش عناصر متناهی (FEM) و حساسیت آن به کیفیت شبکه‌بندی، لزوم تحقیق برای به‌ترسازی این روش را برجسته می‌کند، به خصوص در مسائل واقعی مانند طراحی ساختمان‌ها یا شبیه‌سازی جریان حرارتی. در نهایت، با پیشرفت‌های

مانند هوش های مصنوعی و محاسبات کوانتومی، تحقیق در این زمینه می تواند به توسعه حل مسائل سه بعدی، غیرخطی، و حتی کاربردهای آموزشی و تجربی را مساعد نماید.

سوال تحقیق

روش های عددی چه تأثیر در حل معادلات دیفرانسیل با مشتقات جزئی دارد؟
روش عناصر متناهی چیست؟ و چگونه حل معادله لاپلاس دو بعدی را بهبود می بخشد؟

اهداف تحقیق

تحقیق حاضر تحت عنوان "حل معادله یک بعدی لاپلاس به "روش عناصر متناهی" با هدف کلی بررسی و پیاده سازی روش عناصر متناهی (FEM) برای حل دقیق معادله لاپلاس دو بعدی تدوین شده است، که بر بهبود دقت و همگرایی در مقایسه با روش های سنتی تمرکز دارد تا رویکردی کارآمد برای مسائل انجیری و فیزیکی ارائه دهد. در این راستا، ابتدا فرم ضعیف معادله با استفاده از انتگرال گیری جز به جز و اعمال شرایط مرزی دیریکله (Dirichlet) پایه ریاضی روش آماده می گردد. سپس، دامنه یک بعدی به عناصر خطی تقسیم شده، توابع پایه گالرکین (Hat functions) و ماتریس سختی (Stiffness Matrix) محاسبه در نتیجه سیستم از معادلات خطی بدست می آید، و سیستم خطی با ابزارهایی مانند MATLAB حل می شود. همچنین، عملکرد روش عناصر متناهی (FEM) در مقایسه با روش تفاوت محدود (FDM) و روش تحلیلی مسأله از نظر دقت، کارایی محاسباتی و انعطاف پذیری در دامنه های منظم مورد ارزیابی قرار می گیرد.

معرفی روش عناصر متناهی

روش عناصر متناهی (Finite Element Method - FEM) یکی از پرکاربردترین و قدرتمندترین روش های عددی برای حل مسائل انجیری و ریاضی است. این روش در نیمه دوم قرن بیستم توسعه یافت و به سرعت به ابزاری استاندارد برای شبیه سازی و تحلیل مسائل پیچیده در رشته های مختلف تبدیل شد (Liu & Quek, ۲۰۱۳). ایده اصلی این روش بر پایه تقسیم یک دامنه پیچیده به زیرناحیه های کوچکتر (عناصر) و تقریب مجهولات در این عناصر است.

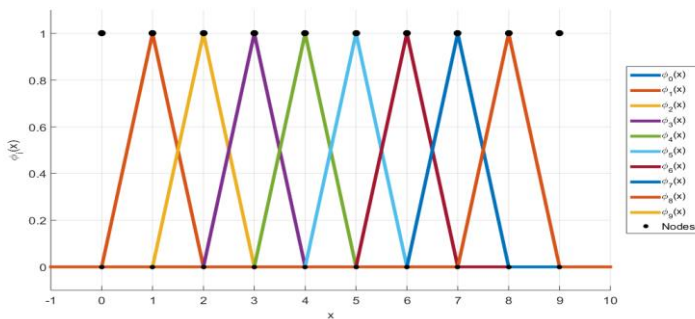
تقسیم دامنه

ابتدا دامنه مورد نظر به قسمت های کوچکتر و متناهی به نام "عناصر" (Elements) تقسیم می شود. این عناصر معمولاً به شکل مثلث، مربع یا دیگر اشکال هندسی ساده هستند (Logan, ۲۰۱۶).

انتخاب تابع کلاه

در اصل، یک تابع کلاه (Hat function) تابعی ساده و ∇ شکل است که شبیه به کلاه‌ای مثلثی به نظر می‌رسد. این تابع به گونه‌ای تعریف می‌شود که در همه نقاط خارج از یک انتروال خاص برابر با صفر است و در داخل این بازه به طور خطی از صفر به اوج یک در نقطه مرکزی می‌رسد و سپس دوباره به صفر باز می‌گردد.

تابع کلاه پایه‌ای‌ترین نوع تابع است که در انتروال $[0,1]$ تعریف می‌شود. توابع کلاه شکل $\varphi_i(x)$ بروی نقاط یا گره‌ها $\dots, X_{i-1}, X_i, X_{i+1}, \dots$ که متمرکز در گره X_i است به صورت زیر تعریف می‌شود.



(۱-۰) خانواده از توابع کلاه شکل $\Phi_0(x), \Phi_1(x), \Phi_2(x), \dots, \Phi_9(x)$

$$\Phi_i(x) = \begin{cases} 0, & \text{if } x \leq X_{i-1}, \\ \frac{x - X_{i-1}}{X_i - X_{i-1}}, & \text{if } X_{i-1} \leq x \leq X_i \\ \frac{X_{i+1} - x}{X_{i+1} - X_i}, & \text{if } X_{i-1} \leq x \leq X_i \\ 0, & \text{if } x \geq X_{i+1}, \end{cases} \Rightarrow \Phi'_i(x) = \begin{cases} 0, & \text{if } x \leq X_{i-1}, \\ \frac{1}{X_i - X_{i-1}}, & \text{if } X_{i-1} \leq x \leq X_i \\ \frac{1}{X_{i+1} - X_i}, & \text{if } X_{i-1} \leq x \leq X_i \\ 0, & \text{if } x \geq X_{i+1}, \end{cases}$$

تشکیل معادلات

هر تابع کلاه شکل نشان دهنده یک معادله است، با به کارگیری مجموع توابع کلاه شکل می شود سیستم از معادلات خطی به شکل $\{F\} = \{u\} \{K\}$ ، که در آن

- K : نشان دهنده ماتریس سختی (Stiffness Matrix) که ویژگی های کل سیستم را نمایش می دهد.

- u : نشان مجهولات در گره ها است که می خواهیم آن را دریافت کنیم.

- F : نشان دهنده وکتور است که شرایط مرزی اعمال شده بر سیستم را نشان می دهد.

حل معادلات

سیستم معادلات به دست آمده با استفاده از روش های عددی حل می شود تا رفتار کلی ساختار تحت تأثیر نیروها و شرایط مرزی تعیین گردد. این فرآیند به ما امکان می دهد تا رفتار ساختار را در شرایط واقعی شبیه سازی کرده و نتایج دقیقی از عملکرد آن به دست آوریم.

کاربرد عملی

مثال (Strikwerda, 2004): معادله دو بعدی لاپلاس $\frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u(x,y)}{\partial y^2} = 0$ ،

طوری که $\Omega = \{(x,y) \in \mathbb{R}^2 \mid 0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1\}$ و شرایط مرزی دیریکله

$$(y=0): u(x,0) = e^{-2x};$$

$$(y=1): u(x,1) = e^{-2x} \cos(2);$$

$$(x=0): u(0,y) = \cos(2y);$$

$$(x=1): u(1,y) = e^{-2} \cos(2y);$$

را به روش عناصر متناهی حل می کنیم.

اولا فرم ضعیف معادله را می سازیم.

$$\int_0^1 \int_0^1 \left(\frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u(x, y)}{\partial y^2} \right) v(x, y) dx dy = 0, \quad (۰-۲)$$

از معادله (۰-۱) به روش جز به جز انتگرال می گیریم.

$$\int_0^1 \frac{\partial(x, y)}{\partial x} \frac{\partial v(x, y)}{\partial x} dy dx + \int_0^1 \frac{\partial(x, y)}{\partial y} \frac{\partial v(x, y)}{\partial y} dy dy = 0 \quad \forall v \in H_0^1(\Omega), \quad (۰-۳)$$

حال تابع $u(x, y)$ را به شکل ترکیب خطی از توابع پایه ای کلاه شکل (Hat Functions) ،

$$u(x, y) \approx \sum_{i=1}^N U_i \phi_i(x, y)$$

تقریب می زنیم.

در رابطه بالا U_i مقادیر گرهی نامعلوم و ϕ_i ها مجموع تابع کلاه در گره i ام. با فرض نمودن $v = \phi_j$ رابطه (۲-۸) فرم ضعیف به صورت زیر تبد تبدیل را به صورت زیر می نویسیم.

$$\int_0^1 \frac{\partial}{\partial x} \left(\sum_{i=0}^N U_i \phi_i \right) \frac{\partial \phi_j}{\partial x} dx dy + \int_0^1 \frac{\partial}{\partial y} \left(\sum_{i=0}^N U_i \phi_i \right) \frac{\partial \phi_j}{\partial y} dx dy = 0 \quad (۰-۴)$$

معادله بالا را ساده تر می کنیم.

$$\sum_{i=0}^N U_i \left[\int_0^1 \frac{\partial \phi_i}{\partial x} \frac{\partial \phi_j}{\partial x} dx dy + \int_0^1 \frac{\partial \phi_i}{\partial y} \frac{\partial \phi_j}{\partial y} dx dy \right] = 0$$

در اینجا، N تعداد گره‌ها (Nodes) است و فرض بر این که تعداد نقاط‌های گرهی $N = 9$ باشد در این صورت با استفاده از روش گالرکین، تابع آزمایش و یا (Test Function) را به صورت $v = \varphi_j$ انتخاب می‌کنیم. در این صورت، برای هر $j = 1, \dots, 9$ خواهیم داشت.

$$\sum_{i=1}^9 U_i \left(\int_0^1 \frac{\partial \varphi_i}{\partial x} \frac{\partial \varphi_j}{\partial x} dx dy + \int_0^1 \frac{\partial \varphi_i}{\partial y} \frac{\partial \varphi_j}{\partial y} dx dy \right) = 0.$$

با انکشاف رابطه بالا به مترکس زیر می‌رسیم.

$$\begin{bmatrix} K_{1,1}U_1 + K_{1,2}U_2 + \dots + K_{1,9}U_9 = 0, \\ K_{2,1}U_1 + K_{2,2}U_2 + \dots + K_{2,9}U_9 = 0, \\ \vdots \qquad \qquad \qquad \vdots \qquad \qquad \qquad \vdots \\ K_{9,1}U_1 + K_{9,2}U_2 + \dots + K_{9,9}U_9 = 0, \end{bmatrix}$$

به صورت مختصر

$$KU = 0, \quad K = (K_{i,j})_{i,j=1}^9, \quad U = (U_1, U_2, \dots, U_9)^T.$$

مترکس بالا دارای عناصر به صورت زیر است.

$$K_{1,1} = \int_0^1 \phi_{1,x} \phi_{1,x} dx dy + \int_0^1 \phi_{1,y} \phi_{1,y} dx dy$$

در رابطه بالا ϕ_1 بک تابع خطی شکل بر روی عنصر مثلثی است، می‌توانیم آن را بر حسب مشتقات اش نسبت به مختصات x و y به صورت زیر بیان کنیم.

$$\begin{cases} \phi_{1,x} = \frac{\partial \phi_1}{\partial x} \\ \phi_{1,y} = \frac{\partial \phi_1}{\partial y} \end{cases}$$

با فرض اینکه مثلث توسط رئوس $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3)$ تعریف شده باشد، انتگرال مربوط به مشتقات ϕ_1 نسبت به x و y یعنی $\phi_{1,x}$ و $\phi_{1,y}$ به صورت زیر خواهد بود.

انتگرال برای $\phi_{1,x}$

$$\int_0^1 \phi_{1,x} \phi_{1,x} dx dy = \int_0^1 \phi_{1,x}^2 dx dy$$

انتگرال برای $\phi_{1,y}$

$$\int_0^1 \phi_{1,y} \phi_{1,y} dx dy = \int_0^1 \phi_{1,y}^2 dx dy$$

عبارت نهایی برای $K_{1,1}$ به صورت زیر خواهد بود.

$$K_{1,1} = (\phi_{1,x}^2 + \phi_{1,y}^2)$$

برای محاسبه انتگرال مربوط $\phi_{1,x}$ به لازم است که ابتدا تابع کلاه شکل ϕ_1 و ناحیه مثلثی که انتگرال روی آن گرفته می شود را مشخص کنیم. فرض کنید که ما با یک تابع شکل خطی استاندارد ϕ_1 تعریف شده روی یک عنصر مثلثی کار می کنیم. در این صورت، $\phi_{1,1}$ خواهد بود.

فرض کنید یک عنصر مثلثی با رئوس در مختصات زیر داشته باشیم

$$\begin{cases} A(0,0), \\ A(1,0), \\ A(0,1) \end{cases}$$

در این حالت، توابع شکل خطی برای مثلث می‌توانند به صورت زیر تعریف شوند.

$$\begin{cases} \phi_1(x, y) = 1 - x - y, \\ \phi_2(x, y) = x, \\ \phi_3(x, y) = y. \end{cases}$$

در این صورت مشتق ϕ_1 نسبت به x

$$\phi_{1,x} = \frac{\partial \phi_1}{\partial x} = -1$$

حال انتگرال $\int_0^1 \phi_{1,x}^2 dx dy$ را محاسبه می‌کنیم

$$\int_0^1 \phi_{1,x}^2 dx dy = \int_{-1}^1 (-1)^2 dx dy = \int_{-1}^1 1 dx dy$$

مساحت مثلث ABC ، که با A_T نشان داده می‌شود، می‌تواند با استفاده از فرمول زیر محاسبه شود

$$A_T = \frac{1}{2} \times \text{base} \times \text{height} = \frac{1}{2} \times 1 \times 1 = \frac{1}{2}$$

بنابراین، انتگرال به صورت زیر در می‌آید:

$$\int_T \phi_{1,x} \phi_{1,x} dx dy = \frac{1}{2}$$

برای محاسبه‌ی انتگرال مربوط به $\phi_{1,y}$ ما روندی مشابه آنچه برای $\phi_{1,x}$ انجام دادیم، دنبال خواهیم کرد.

ما همچنان به همان عنصر مثلثی با رئوس زیر توجه می‌کنیم

$$\begin{cases} A(0,0), \\ A(1,0), \\ A(0,1) \end{cases}$$

تابع خطی کلاه شکل ϕ_1 به صورت زیر تعریف می شود.

$$\phi_1(x, y) = 1 - x - y$$

مشتق ϕ_1 نسبت به y

$$\phi_{1,y} = \frac{\partial \phi_1}{\partial y} = -1$$

حال با محاسبه انتگرال زیر

$$\int_{\hat{T}} \phi_{1,y} \phi_{1,y} dx dy = \int_{\hat{T}} (-1)(-1) dx dy = \int_{\hat{T}} 1 dx dy = \frac{1}{2}$$

همان گونه که قبلا محاسبه شد، مساحت مثلث ABC که با A_T نشان داده می شود به صورت زیر است.

$$\int_T \phi_{1,y} \phi_{1,y} dx dy = \int_T 1 dx dy = A_T = \frac{1}{2}$$

در نتیجه با محاسبه هر یک از عناصر $K_{i,j}$ ها مقادیر ماتریس سختی یا (Stiffness Matrix) به صورت زیر بدست می آید. گوشه ی بالا-چپ ماتریس 1.0000 (شامل 10×10 عنصر نخست).

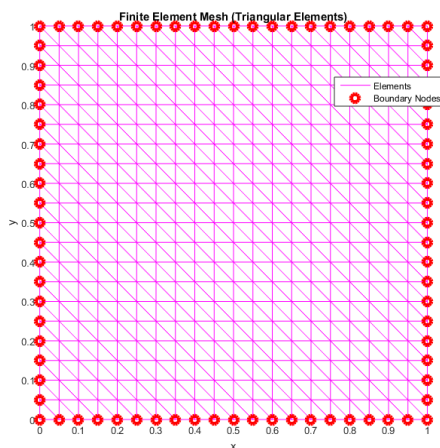
$$\begin{bmatrix} 0.6667 & -0.1667 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.1667 & 1.3333 & -0.1667 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -0.1667 & 1.3333 & -0.1667 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -0.1667 & 1.3333 & -0.1667 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -0.1667 & 1.3333 & -0.1667 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -0.1667 & 1.3333 & -0.1667 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.1667 & 1.3333 & -0.1667 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.1667 & 1.3333 & -0.1667 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.1667 & 1.3333 & -0.1667 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.1667 & 1.3333 \end{bmatrix}$$

با حل سیستم $K * U = F$ نقاط گرهی در ابعاد 21×21 به صورت زیر بدست می آید.

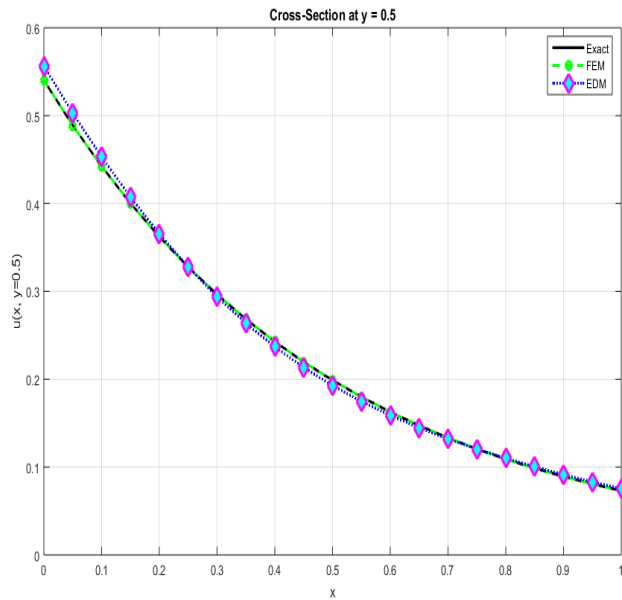
U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	U_6	U_7	U_8	U_9	U_{10}
1.0000	0.9048	0.8187	0.7408	0.6703	0.6065	0.5488	0.4966	0.4493	0.9950
U_{11}	U_{12}	U_{13}	U_{14}	U_{15}	U_{16}	U_{17}	U_{18}	U_{19}	U_{20}
0.9003	0.8146	0.7371	0.6669	0.6035	0.5460	0.4941	0.4470	0.9801	0.8868
U_{21}	U_{22}	U_{23}	U_{24}	U_{25}	U_{26}	U_{27}	U_{28}	U_{29}	U_{30}
0.8024	0.7260	0.6569	0.5944	0.5378	0.4866	0.4403	0.9553	0.8644	0.7821
U_{31}	U_{32}	U_{33}	U_{34}	U_{35}	U_{36}	U_{37}	U_{38}	U_{39}	U_{40}
0.7077	0.6403	0.5794	0.5242	0.4743	0.4292	0.9211	0.8334	0.7540	0.6823
U_{41}	U_{42}	U_{43}	U_{44}	U_{45}	U_{46}	U_{47}	U_{48}	U_{49}	U_{50}
0.6173	0.5585	0.5054	0.4573	0.4138	0.8776	0.7940	0.7184	0.6500	0.5882
0.5322	0.4815	0.4357	0.3942	0.8253	0.7468	0.6757	0.6113	0.5531	0.5005

جدول (۱-۳) نشان دهنده تعداد مجهولات U بدست آمده با استفاده از حل سیستم

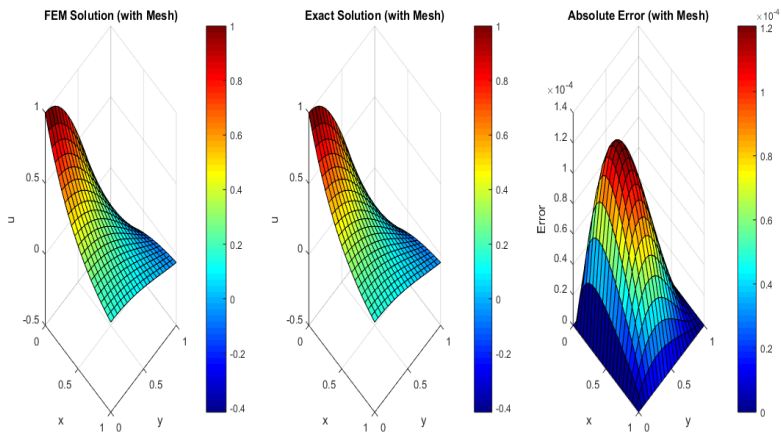
$K * U = F$ بدست آمده است.



شکل (۱-۳) شبکه نقاط در روش عناصر متناهی



شکل (۲-۳) مقایسه دو بعدی روش‌های FEM، FDM و حل دقیق.



شکل (۳-۳) سه‌بعدی مقایسه روش‌های FEM، FDM و حل دقیق

نتیجه گیری

روش عناصر متناهی (Finite Element Method) یک تکنیک عددی برای حل معادلات دیفرانسیل بامشتقات جزئی و معمولی است. این روش بر اساس جایگزینی مشتقات با تقریب‌های عددی ساخته شده است و به طور گسترده در علوم مانند فیزیک، انجینیری و علوم محاسباتی استفاده می‌شود. در این روش، دامنه حل به نقاط مجزا تقسیم گردیده و نقاط مجاور در این روش با استفاده از توابع کلاه شکل و یا (Hat Functions) جواب تابع تقریب زده می‌شود. در این تحقیق نخست به معرفی روش عناصر متناهی، تقسیم دامنه، انتخاب تابع کلاه، شکل معادلات و معادله دو بعدی لاپلاس با استفاده از روش مورد نظر حل گردیده و برای نشان دقت و مؤثریت روش نامبرده گراف‌های دو بعدی و سه بعدی آن با روش عددی تفاضلات متناهی و حل دقیق مسأله با استفاده از نرم افزار متلب مقایسه کرده است.

منابع و مأخذ

- Strang, G., & Fix, G. (2008). *An analysis of the finite element method* (2nd ed ed.). Wellesley-Cambridge Press.
- Babuška, I. I., & Strouboulis, T. T. (2001). *The finite element method and its reliability*. Oxford University Press.
- Brenner, S. C., & Scott, R. L. (2008). *The mathematical theory of finite element methods*. (3. ed, Ed.) Springer.
- Brezis, H. (2011). *Functional analysis, Sobolev spaces and partial differential equations*. Springer.
- Demkowicz, L. (2006). *Computing with hp-adaptive finite elements: One- and two-dimensional elliptic and Maxwell problems* (Vol. Volume 1). Chapman & Hall/CRC.
- Elman, H. H., Silvester, D. D., & Wathen, A. A. (2005). *Finite elements and fast iterative solvers: with applications in incompressible fluid dynamics*. Oxford University Press.

- Evans, L. C. (2010). *Partial differential equations* (2nd ed ed.). American Mathematical Society.
- Fish, J., & Belytschko, T. (2007). *A first course in finite elements* (3rd ed ed.). John Wiley & Sons.
- Haberman, R. (2012). *Applied partial differential equations with Fourier series and boundary value problems* (5th ed ed.). Pearson.
- Hughes, T. J. (2012). *The finite element method: Linear static and dynamic finite element analysis*. Dover Publications.
- Incropera, F., & DeWitt, D. (2007). *Fundamentals of heat and mass transfer* (6th ed ed.). Wiley.
- Kundu, P., & Cohen, I. (2012). *Fluid mechanics* (5th ed.). Academic Press.
- Liu, G.-D., & Quek, S.-S. (2013). *The finite element method: A practical course* (2nd ed ed.).
- Logan, D. L. (2016). *A First Course in the Finite Element Method* (6th ed ed.). Boston, MA: Cengage Learning.
- Oden, J., & Reddy, J. N. (2011). *An introduction to the mathematical theory of finite elements*. Dover Publications.
- Pokryvailo, A. (2008). *Analyzing electric field distribution in non-ideal insulation at direct current*. Spellman High Voltage Electronics Corporation.
- Reddy, J. (2006). *An introduction to finite element method*. (J. J, Ed.) New York: McGraw-Hill.
- Richard, B. J., Geldart, L. P., Sheriff, R. E., Keys, D. A., & Blakely, R. J. (1996). *Potential theory in gravity and magnetic applications*. Cambridge University Press.

- Sadiku, M. (2010). *Elements of electromagnetics* (4th ed ed.). Oxford University Press.
- Strauss, W. A. (2007). *Partial differential equations: An introduction* (2nd ed ed.). Wiley.
- Strikwerda, J. (2004). *Finite difference schemes and partial differential equations* (2nd ed ed.). Society for Industrial and Applied Mathematics.
- Timoshenko, S., & Goodier, J. (1970). *Theory of elasticity* (3rd ed ed.). McGraw-Hill.
- Zienkiewicz, O., & Taylor, R. (2000). *The finite element method: Its basis and fundamentals* (5th ed ed.). Butterworth-Heinemann.

بررسی چالش‌ها، عوامل تهدید و راهکارهای ارتقای مصئونیت غذایی در جوامع مختلف با رویکرد علمی و کاربردی (مقاله علمی مروری)

نصرالله نصرت و^۱ رضاشاهین

^۲ عضو کادر علمی رشته آگرانومی پوهنچی زراعت پوهنتون دایکندی

nasrullahnusrat@dhei.edu.af

چکیده

در سال‌های اخیر، مصئونیت غذایی به یکی از محورهای اصلی توجه نهادهای توسعه‌ای، سیاست‌گذاران و محققان در سطح ملی و بین‌المللی تبدیل شده است. فقر، نابرابری و ناامنی غذایی همچنان از چالش‌های اساسی قرن بیست‌ویکم به شمار می‌روند و بیشترین تأثیر منفی آن متوجه اقشار آسیب‌پذیر جامعه، به ویژه زنان، کودکان و روستائینان است. از این رو، مصئونیت غذایی نه تنها به عنوان یکی از نیازهای بنیادین بشر، بلکه به عنوان پیش شرط تحقق توسعه پایدار، عدالت اجتماعی و رفاه عمومی در جهان مطرح است. این مفهوم فراتر از تأمین صرف غذا بوده و ابعاد مختلف چون دسترسی فیزیکی و اقتصادی به مواد غذایی کافی، سالم و مغذی، استفاده مؤثر و بهداشتی از غذا، و پایداری در تولید، توزیع و مصرف را در بر می‌گیرد. بر اساس تعریف سازمان غذا و زراعت ملل متحد (FAO)، مصئونیت غذایی دارای چهار بُعد اساسی چون موجودیت غذا، دسترسی، استفاده و پایداری غذا می‌باشد. مصئونیت غذایی زمان تحقق می‌یابد که تمام افراد، در تمام زمان‌ها، به غذای کافی، سالم و مغذی برای حفظ یک زندگی سالم و فعال دسترسی داشته باشند. در این مقاله، به بررسی تاریخچه و اهمیت مصئونیت غذایی، ابعاد و شاخص‌های کلیدی آن، عوامل تهدیدکننده مصئونیت غذایی در سطح جهانی و ملی، و در نهایت راهکارهای علمی و عملی برای بهبود وضعیت مصئونیت غذایی پرداخته می‌شود تا زمینه‌ای برای سیاست‌گذاری مؤثر و برنامه‌ریزی پایدار فراهم گردد.

کلمات کلیدی: توسعه زراعت؛ مفاهیم کلیدی؛ مصئونیت غذایی و چالش‌ها.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مقدمه

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على أشرف الأنبياء والمرسلين.

نظر به گزارش بانک جهانی پیش بینی شده است که تقاضا برای مواد غذایی در دهه‌های آینده همزمان با افزایش جمعیت جهان افزایش خواهد یافت، بنابراین خطر کمبود مواد غذایی در آینده جدی است و با توجه به اینکه چالش‌ها در بخش تولیدات محصولات زراعتی بسیار زیاد است، در دهه‌های اخیر با افزایش نگرانی‌های عمومی در باره کیفیت و سالم بودن غذا و همچنین تخریب منابع طبیعی، به اصول زراعت پایدار بسیار توجه شده است. مسئولیت غذایی به معنای «دسترسی همه افراد، در همه زمان‌ها، به غذای کافی، سالم و با کیفیت برای داشتن یک زندگی پویا و فعال» تعریف می‌شود (FAO, 1996). این مفهوم نخستین بار پس از جنگ جهانی دوم به‌طور جدی وارد ادبیات علمی و سیاسی جهان شد؛ زیرا جنگ و پیامدهای اقتصادی آن میلیون‌ها نفر را با قحطی و گرسنگی مواجه ساخته بود (Shaw, 2007). از آن زمان تاکنون، مسئولیت غذایی همواره به عنوان یکی از ارکان اصلی توسعه پایدار و رفاه اجتماعی در سطح جهانی مطرح بوده است.

با وجود افزایش تولید جهانی مواد غذایی طی نیم‌قرن گذشته، همچنان بیش از ۷۰۰ میلیون نفر در سراسر جهان از گرسنگی و سوء تغذی رنج می‌برند و بیش از ۲.۳ میلیارد نفر با سطوح مختلف عدم مسئولیت غذایی مواجه هستند (FAO, 2025). این امر نشان می‌دهد که افزایش تولید به‌تنهایی برای رفع مشکل کافی نیست و باید به سایر ابعاد مسئولیت غذایی مانند دسترسی اقتصادی، استفاده درست از غذا و پایداری منابع توجه ویژه شود (Pinstrup-Andersen, 2009). اهمیت مسئولیت غذایی تنها به سطح فردی یا خانوادگی محدود نمی‌شود، بلکه اثرات آن بر ابعاد کلان اجتماعی، اقتصادی، سیاسی و محیط زیستی کاملاً واضح است. ناامنی غذایی می‌تواند موجب کاهش مؤثریت نیروی کار، افزایش هزینه‌های صیحی، بروز فقر، ناآرامی‌های اجتماعی و حتی بروز درگیری‌های سیاسی شود (Hendrix & Brinkman, 2013). در بسیاری از کشورها، بحران غذا با مهاجرت‌های اجباری، بی‌ثباتی سیاسی و حتی جنگ‌های داخلی ارتباط مستقیم داشته است (UN, 2022). علاوه بر این، امنیت غذایی ارتباط نزدیکی با سایر شاخص‌های توسعه پایدار دارد. برای مثال، دسترسی به غذای سالم و کافی نه‌تنها بهبود صحت جسمی و روانی را تضمین می‌کند، بلکه شرط اساسی برای تحقق اهداف توسعه پایدار سازمان ملل، به‌ویژه ریشه‌کنی

فقر (هدف اول) و گرسنگی صفر (هدف دوم) محسوب می‌شود (FAO, 2017). با وجود پیشرفت‌های علمی و تکنالوژیکی در عرصه تولید و توزیع مواد غذایی، چالش‌های گوناگونی مانند تغییرات اقلیمی، رشد جمعیت، کاهش منابع طبیعی، جنگ‌ها و بحران‌های اقتصادی، مصئونیت غذایی را با تهدید مواجه ساخته‌اند. از سوی دیگر، نابرابری در توزیع غذا و فقر گسترده سبب شده است که میلیون‌ها نفر در جهان هنوز هم از گرسنگی، سوء تغذی و کمبود عناصر غذایی رنج ببرند. بررسی دقیق ابعاد مفهومی مصئونیت غذایی و شناخت چالش‌های اساسی آن، زمینه را برای تدوین راهکارهای علمی، اقتصادی و اجتماعی فراهم می‌سازد. راهکارهایی که می‌توانند از طریق توسعه سیستم‌های تولید پایدار، ارتقای عدالت در دسترسی به منابع غذایی، گسترش زراعت مقاوم در برابر تغییرات اقلیمی و توسعه همکاری‌های بین‌المللی، به تقویت مصئونیت غذایی در سطح ملی و جهانی کمک نمایند. بنابراین هدف این تحقیق، بررسی مفاهیم کلیدی، چالش‌ها، عوامل تهدید و راهکارهای مؤثر برای افزایش مصئونیت غذایی در جوامع مختلف با رویکرد علمی و کاربردی است.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از روش کتابخانه‌ای به شکل مروری بر مفاهیم، شناسایی مهم‌ترین چالش‌ها و ارائه راهکارهای عملی و علمی برای بهبود و تأمین مصئونیت غذایی انجام شده است. برای جمع‌آوری اطلاعات از پایگاه‌های داده‌های علمی معتبر ملی و بین‌المللی استفاده گردیده است. تمام مقالات و گزارش‌ها بعد از شناسایی ابتدا از نظر عناوین و چکیده‌ها بررسی شدند تا موارد غیرمرتبط حذف گردند. سپس، متن کامل مقالات و گزارش‌های مرتبط مطالعه شد و تنها مقالات که به موضوعات مصئونیت غذایی، روش‌های پیشگیری از آلودگی‌ها، ارزیابی و کنترل کیفیت مواد غذایی پرداخته بودند، در مرور نهایی گنجانده شدند.

تاریخچه و تحول مفهوم مصئونیت غذایی

تا پیش از دهه ۱۹۷۰ تمرکز اصلی سیاست‌گذاران در این بخش صرف بر افزایش تولید و عرضه غذا بود. حدس بر این بود که اگر تولید مواد غذایی در سطح ملی یا جهانی به میزان کافی افزایش یابد، مشکل گرسنگی و سوء تغذی خودبه‌خود برطرف خواهد شد (Shaw, 2007). این نظریه که ریشه در نظریات نیوکلاسیک داشت، عمدتاً بر بعد «عرضه» غذا متمرکز بود و سایر ابعاد مصئونیت غذایی نادیده گرفته می‌شدند. با این حال، تجربه‌های عملی در مناطق مختلف، به‌ویژه در آفریقا و جنوب آسیا، نشان داد که وجود غذا در سطح ملی الزاماً به معنی دسترسی عادلانه

خانواده‌ها و اشخاص به آن نیست (Sen, 1981). برای مثال، قحطی بنگال در سال ۱۹۴۳ نمونه‌ای برجسته است که در آن علی‌رغم وجود ذخایر غذایی، صدها هزار نفر به دلیل نابرابری و ضعف دسترسی اقتصادی جان باختند (Devereux, 2001). این واقعیت‌ها سبب شد نگاه جهانی نسبت به مفهوم مسئولیت غذایی تغییر کند. در کنفرانس جهانی غذا در روم (۱۹۷۴)، مسئولیت غذایی در آن زمان به صورت «تأمین منابع غذایی اساسی به منظور حفظ مصرف کافی و تثبیت قیمت‌ها در هر زمان» تعریف شد (FAO, 1976). این تعریف گرچه یک گام مهم بود، اما همچنان بر جنبه کلان «عرضه» غذا و «بازار جهانی» تمرکز داشت و عوامل کوچکتر مانند خانواده‌های فقیر، زیرساخت‌های محلی یا کیفیت تغذیه را در نظر نمی‌گرفت. با گذشت زمان و توجه بیشتر به عوامل اجتماعی و اقتصادی، محققان بر این نکته تأکید کردند که مسئولیت غذایی تنها به میزان موجودی غذا وابسته نیست، بلکه توانایی افراد به دسترسی آن نیز بستگی دارد (Smith & Maxwell, 1992). این تغییر تیوری سرانجام در اجلاس جهانی غذا در سال ۱۹۹۶ منجر به تعریف جامع‌تری توسط FAO شد. در این تعریف، چهار بُعد اساسی مسئولیت غذایی معرفی شدند که شامل موجود بودن غذا (Availability)، دسترسی به غذا (Accessibility)، استفاده از غذا (Utilization) و پایداری غذا (Stability) (FAO, 1996)، این چهار بُعد چارچوبی فراهم کردند که نه تنها تولید و عرضه را شامل می‌شود، بلکه به ابعاد تغذیه‌ای، اقتصادی، اجتماعی و حتی سیاسی نیز توجه دارد. از آن زمان تاکنون، این تعریف جامع مبنای سیاست‌گذاری‌های جهانی و ملی در حوزه غذا قرار گرفته و بسیاری از سازمان‌ها و محققان آن را مبنای ارزیابی و تحلیل قرار داده‌اند (Pinstrup-Andersen, 2009). در واقع، تحول مفهومی از تمرکز صرف بر «تولید» به درک چند بعدی «مسئولیت غذایی» را می‌توان یکی از پیشرفت‌های اساسی در مطالعات توسعه و سیاست‌گذاری جهانی در نیم قرن اخیر دانست.

ابعاد مسئولیت غذایی

بر اساس تعریف سازمان غذا و زراعت ملل متحد (FAO)، مسئولیت غذایی تنها به «وجود غذا» محدود نمی‌شود، بلکه چهار بُعد اصلی را شامل می‌شود که هم در سطح کوچک (خانواده و افراد) و هم در سطح کلان (ملی و جهانی) باید بررسی شوند (FAO, 1996). این ابعاد عبارتند از:

۱. موجودیت غذا یا (Food Availability)

موجودیت غذا به معنی وجود فیزیکی مواد غذایی به حد کافی برای مردم در یک کشور یا منطقه است و یکی از پایه‌های اساسی مسئولیت غذایی محسوب می‌شود. این بعد عمدتاً بر عرضه کلان

غذا تمرکز دارد و مقدار آن به ظرفیت تولید داخلی، منابع طبیعی، نوآوری‌های زراعتی، شرایط اقلیمی و امکان واردات محصولات زراعتی وابسته است. کشورها می‌توانند موجودیت غذا را از طریق تولید داخلی، واردات یا کمک‌های خارجی تأمین کنند. تولید داخلی تحت تأثیر سطح زیرکشت، حاصلخیزی خاک، دسترسی به منابع آب و استفاده از نوآوری‌های زراعتی است. در صورت ناکافی بودن تولید داخلی، واردات غله‌جات، دانه‌های روغنی، گوشت و سایر اقلام اساسی می‌تواند کمبودها را جبران کند و در شرایط بحران یا فقر گسترده، کمک‌های بشردوستانه بین‌المللی نقش مکمل ایفا می‌کنند. عوامل متعدد بر موجودیت غذا تأثیرگذارند که از جمله آنها می‌توان به شرایط اقلیمی و تغییرات آب‌وهوا، منابع طبیعی، نوآوری‌های زراعتی، سیاست‌های اقتصادی و تجارتی و زیرساخت‌های حمل‌ونقل و ذخیره‌سازی اشاره کرد. برای مثال، کشورهای هند و چین با اجرای انقلاب سبز توانستند تولید غله‌جات خود را چند برابر کرده و سطح موجودیت غذا را افزایش دهند، در حالی که بسیاری از کشورهای آفریقایی به دلیل خشکسالی‌های مکرر، فرسایش خاک، رشد سریع جمعیت و ضعف زیرساخت‌ها هنوز با کمبود غذا مواجه هستند. بنابراین، موجودیت غذا نتیجه ترکیب از عوامل طبیعی، تکنالوژیکی و سیاست‌گذاری است که می‌تواند در سطح ملی و منطقه‌ای تفاوت‌های چشمگیری ایجاد کند (God fray et al., 2010).

۲. دسترسی به غذا یا (Food Accessibility)

دسترسی به غذا به معنی توانایی اشخاص و خانواده‌ها برای تهیه غذا از طریق خرید، تولید یا دریافت کمک‌های اجتماعی است. این دسترسی می‌تواند در سه بعد اصلی بررسی شود: نخست، دسترسی اقتصادی که به توانای مالی برای خرید مواد غذایی و تأثیر درآمد، قیمت‌ها و نوسانات بازار بر مصئونیت غذایی خانواده‌ها ارتباط دارد. دوم، دسترسی فیزیکی که به وجود زیرساخت‌های حمل و انتقال، بازارها و مارکیت‌ها برای دسترسی به مواد غذایی کافی و باکیفیت اشاره دارد. سوم، دسترسی اجتماعی که تحت تأثیر عواملی همچون نابرابری‌های جنسیتی، طبقاتی و قومی قرار دارد و می‌تواند مانع دسترسی عادلانه به غذا شود. در سطح جهانی، این ابعاد به شکل‌های متفاوتی بروز می‌کنند. در کشورهای در حال توسعه، چالش اصلی بیشتر دسترسی اقتصادی است، به‌شکل که خانواده‌های کم‌درآمد بیش از ۶۰ درصد درآمد خود را صرف خرید غذا می‌کنند و بحران‌های اقتصادی یا افزایش قیمت جهانی غله‌جات دسترسی آنان را شدیداً محدود می‌سازد (Headey & Fan, 2008). در مقابل، در کشورهای توسعه‌یافته مشکل بیشتر به دسترسی فیزیکی و اجتماعی

ارتباط دارند، مانند پدیده «بیابان‌های غذایی» در برخی شهرهای آمریکا که فروشگاه‌های مواد غذایی سالم و تازه در آن‌ها کمیاب است. پیامدهای محدودیت در دسترسی به غذا بسیار گسترده‌اند و می‌توانند به سوء تغذی، افزایش ناامنی غذایی، کاهش استفاده از نیروی کار و حتی به ایجاد بی‌ثباتی‌های اجتماعی منجر شوند (World Bank, 2022).

۳. استفاده از غذا یا (Food Utilization)

استفاده از غذا به معنی استفاده مؤثر از مواد غذایی برای تأمین صحت و نیازهای تغذیه‌ای بدن است. این بُعد فراتر از دریافت انرژی بوده و شامل کیفیت و تنوع رژیم غذایی، سالم و صیحی بودن مواد غذایی، دسترسی به آب پاک و سطح آگاهی تغذیه‌ای افراد و اشخاص می‌باش (Pinstrup-Andersen, 2009). به بیان دیگر، صرف داشتن غذای کافی تضمین‌کننده مصونیت غذایی نیست؛ بلکه وجود ترکیبات اصلی مواد غذایی مانند پروتئین‌ها، ویتامین‌ها و مواد معدنی نیز حیاتی است. برای مثال، خانواده‌ای که فقط به برنج یا نان دسترسی دارد، ممکن است کالوری کافی دریافت کند اما به دلیل کمبود پروتئین و مواد معدنی با مشکلات سوء تغذی مواجه می‌شود. چنین حالتی که به «گرسنگی پنهان» یا سوء تغذی منرالی مشهور است، امروزه یکی از مهم‌ترین چالش‌های سلامت عمومی به شمار می‌رود (Muthayya et al., 2013). همچنین، صحت‌مندی اشخاص و وضعیت صیحی غذا در استفاده مؤثر از مواد غذایی نقش تعیین‌کننده دارد. غذا و آب آلوده می‌توانند باعث امراض عفونی مانند اسهال شوند و مانع جذب مؤثر مواد مفید در بدن گردند. برای نمونه، در بسیاری از کشورهای جنوب صحرای آفریقا، کودکان با وجود دریافت غذاهای سنتی پرکالوری، به دلیل آلودگی آب و کمبود ویتامین A دچار اختلال رشد و ضعف سیستم ایمنی بدن می‌شوند. نمونه دیگر، کم‌خونی ناشی از کمبود آهن در زنان آسیای جنوبی است که با وجود مصرف کافی غله‌جات، ناشی از کمبود منابع پروتئینی و آهن بروز می‌کند. در نهایت، باید توجه داشت که دانش تغذیه‌ای خانواده‌ها، روش‌های درست پخت‌وپز و رعایت حفظ الصحه غذایی نیز همانند دسترسی به مواد غذایی در تحقق مصونیت غذایی پایدار نقش اساسی دارند.

۴. پایداری در غذا یا (Food Stability)

پایداری به معنی حفظ و تداوم سه بُعد اصلی مصونیت غذایی (موجود بودن غذا، دسترسی فیزیکی و اقتصادی به غذا، و استفاده درست از غذا) در طول زمان است. مصونیت غذایی تنها در کوتاه‌مدت معنی ندارد؛ بلکه باید در برابر تهدیدها و تغییرات آینده نیز مقاوم بماند. عوامل

تهدیدکننده پایداری غذایی شامل بحران‌های اقتصادی تورم، کاهش درآمد خانواده‌ها و نوسانات شدید بازار می‌تواند باعث شود خانواده‌ها حتی با وجود موجودی کافی غذا، توان خرید غذا را نداشته باشند. بلایای طبیعی مثل خشکسالی، سیل، زلزله و طوفان‌ها می‌توانند چرخه تولید و عرضه غذا را مختل کنند. جنگ و درگیری‌های اجتماعی منازعات مسلحانه اغلب به تخریب زیرساخت‌های زراعتی، کاهش تولید و مشکلات شدید در توزیع غذا می‌انجامد و تغییرات اقلیمی مثل افزایش گرما، نوسانات بارندگی و گسترش بیابان‌زایی ظرفیت تولید غذا را کاهش داده و پایداری سیستم‌های غذایی را تهدید می‌کند. نبود مصئونیت غذایی در ارتباط با پایداری را می‌توان در دو دسته اصلی بررسی کرد نخست نبود مصئونیت غذایی گذرا که در اثر حوادث غیر مترقبه مانند قحطی‌های کوتاه‌مدت، بحران‌های مالی یا افزایش شدید قیمت‌ها ایجاد می‌شود و باعث می‌گردد اشخاص به‌طور موقت دسترسی خود به غذا را از دست دهند، و نبود مصئونیت غذایی مزمن که ریشه در فقر پایدار، عدم برابری اقتصادی، ضعف اصلی در تولید و توزیع و کمبود فرصت‌های معیشتی دارد و معمولاً اثرات بلندمدت دارد که از یک نسل به نسل دیگر ادامه میابد. به‌عنوان نمونه، در منطقه ساحل آفریقا تغییرات اقلیمی و خشکسالی‌های پی‌درپی موجب کاهش تولید محصولات زراعتی و متکی به کمک‌های بین‌المللی شده است؛ در کشورهای خاورمیانه جنگ‌ها و بی‌ثباتی سیاسی مصئونیت غذایی میلیون‌ها انسان را تهدید می‌کند؛ و در جنوب آسیا فقر ساختاری و رشد سریع جمعیت چالش‌های جدی برای پایداری غذایی ایجاد کرده‌اند (FAO, 2023; Barrett, 2010).

عوامل تهدیدکننده مصئونیت غذایی

مصئونیت غذایی تحت تأثیر مجموعه‌ای از عوامل جهانی و محلی قرار دارد که می‌توانند پایداری و دسترسی افراد به غذای سالم را مختل کنند. مهم‌ترین تهدیدها عبارت‌اند از:

۱. رشد جمعیت

رشد سریع جمعیت جهان یکی از چالش‌های اصلی در تأمین غذاست. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که تا سال ۲۰۵۰ جمعیت جهان به بیش از ۹ میلیارد نفر خواهد رسید (FAO, 2017). این افزایش به معنی نیاز به ۵۰-۶۰ فیصد رشد در تولید مواد غذایی است، در حالی‌که منابع طبیعی همچون آب و زمین زراعتی محدود هستند. علاوه بر آن، فرهنگی شهرنشینی با سرعت بالا باعث کاهش زمین‌های حاصلخیز و تغییر در نحوه مصرف شده است، زیرا با افزایش درآمد و تغییر سبک زندگی، تقاضا برای محصولات پروتئینی مانند گوشت و لبنیات بالا می‌رود که تولید آن‌ها به منابع بیشتری نیاز دارد (God fray et al., 2010).

۲. تغییرات اقلیمی

تغییرات اقلیمی به عنوان یکی از بزرگ‌ترین تهدیدها برای مصئونیت غذایی در سطح جهانی شناخته می‌شود. افزایش گرما، خشکسالی‌های پی‌درپی، سیلاب‌ها، نوسانات بارندگی و کاهش رطوبت خاک می‌توانند حاصل نباتات را کاهش دهند و چرخه تولید و عرضه غذا را مختل کنند (Hultgren et al., 2025). کشورهای در حال توسعه که بخش عمده از زراعت آن‌ها به زراعت للمی وابسته است، آسیب‌پذیرترین کشورها در برابر تغییرات اقلیمی هستند. برای مثال، در منطقه ساحل آفریقا، کاهش بارندگی باعث کاهش تولید غله‌جات تا ۳۰ درصد شده و میلیون‌ها نفر را در معرض نبود مصئونیت غذایی قرار داده است (Lobell et al., 2008). علاوه بر این، تغییرات اقلیمی می‌تواند کیفیت محصولات زراعتی را نیز کاهش دهند؛ برای مثال، افزایش درجه حرارت و تنش خشکی ممکن است مقدار پروتئین غله‌جات را کاهش داده و سبب کاهش ارزش غذایی آن‌ها شود (Mirzabaevev, 2023). تأثیرات دیگر شامل افزایش شیوع آفات و امراض نباتی است که در شرایط گرم و مرطوب شدت بیشتر می‌شود (Koundouri et al., 2023).

۳. فقر و نابرابری

فقر و نابرابری اجتماعی از موانع اصلی دسترسی پایدار به غذا هستند؛ حتی اگر غذا در سطح ملی به مقدار کافی وجود داشته باشد، خانواده‌های فقیر توانایی خرید آن را ندارند. طبق گزارش بانک جهانی، بیش از ۶۸۰ میلیون نفر در فقر شدید زندگی می‌کنند که بخش عمده درآمدشان صرف غذا می‌شود (World Bank, 2022). در افغانستان، این مشکل شدیدتر است و حدود ۵۹.۸ درصد از جمعیت این کشور با درآمد کمتر از ۳ دالر در روز زندگی می‌کنند، به ویژه در مناطق دهات و کوهستانی که دسترسی به بازارها و خدمات محدود است (World Bank, 2022). عوامل مانند جنگ‌های طولانی‌مدت، بحران‌های اقتصادی و محدودیت‌های اجتماعی و خشکسالی‌های پی‌هم باعث شده‌اند در سال ۲۰۲۳، حدود ۲۸.۸ میلیون نفر به کمک‌های فوری نیاز داشته باشد که نسبت به سال قبل آن افزایش نزدیک به ۶۰ درصد را نشان می‌دهند (Argueta, 2024). نابرابری و تفاوت‌های جنسیتی نیز نقش مهم در کاهش مصئونیت غذایی دارد (Quisumbing et al., 2014). در افغانستان، زنان نقش حیاتی در تولید محصولات زراعتی ایفا می‌کنند، اما با محدودیت‌های جدی در دسترسی به منابع مالی، آموزش‌های تکنیکی و بازارها مواجه هستند (Sultana & Rahman, 2023). همچنین، طبق گزارش FAO، خلاهای جنسیتی در دسترسی زنان به زمین و منابع تولیدی مشهود است و در سایر زمینه‌ها مانند کارهای زراعتی بدون پرداخت نیز نمایان می‌شود. ترکیب این عوامل باعث محرومیت بسیاری از

خانواده‌ها، به ویژه در مناطق دهاتی، از دسترسی پایدار به غذا شده است (Quisumbing et al., 2014).

۴. جنگ‌ها و بحران‌های سیاسی

مناقشات مسلحانه، بی‌ثباتی سیاسی و جنگ‌ها همواره از بزرگ‌ترین عوامل تهدیدکننده مصئونیت غذایی در سطح جهانی هستند، زیرا نه تنها تولید محصولات زراعتی را مختل می‌کنند، بلکه زنجیره‌های تأمین، زیرساخت‌ها و دسترسی به غذا را نیز به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهند. به عنوان نمونه، جنگ روسیه علیه اوکراین که از سال ۲۰۲۲ آغاز شد، یکی از بزرگ‌ترین بحران‌های مصئونیت غذایی در تاریخ معاصر را ایجاد کرد؛ اوکراین پیش از جنگ با روسیه یکی از بزرگ‌ترین کشورهای صادرکنندگان گندم، جواری و روغن آفتاب پرست در سطح جهان بود، اما با کاهش ۲۹ درصدی تولید غله‌جات در سال ۲۰۲۲/۲۰۲۳ و مسدود شدن بندر دریای سیاه، دسترسی میلیون‌ها نفر به مواد غذایی کاهش یافت و قیمت جهانی غذا به طور چشمگیر افزایش پیدا کرد. در سال ۲۰۲۳، قیمت جهانی غله‌جات ۱۵۴ درصد کاهش یافت، اما قیمت برنج و شکر به ترتیب ۲۱ و ۲۶۷ درصد افزایش یافت که ناشی از شرایط اقلیمی نامساعد در کشورهای تولیدکننده اصلی آن بود (Radcliffe, 2023). علاوه بر اوکراین، بحران‌های غذایی در دیگر مناطق جهان نیز به دلیل جنگ و بی‌ثباتی سیاسی تشدید شده است؛ در سودان بیش از ۲۰ میلیون نفر با بحران شدید غذایی مواجه شدند که ناشی از جنگ داخلی و آوارگی گسترده بود و تعداد سوءتغذی در آن کشور به ۲۳۱ درصد رسید (van Rijn, 2025)، و در غزه جنگ و محاصره اقتصادی موجب کاهش شدید تولید محصولات زراعتی و تهدید بیش از ۶۰۰ هزار نفر در کرانه باختری به ناامنی غذایی حاد شده است (Ungar, 2024).

۵. استفاده بیش حد مواد کیمیاوی در زراعت

استفاده بیش از حد کودها و مواد کیمیاوی در زراعت، ارتباط مستقیم با مصئونیت غذایی دارد؛ زیرا باقی‌مانده این مواد روی محصولات زراعتی می‌تواند وارد زنجیره غذایی انسان شود و خطر ابتلا به امراض مزمن مانند سرطان، مشکلات هورمونی و امراض گوارشی را افزایش دهد (FAO, 2017). از دید مصئونیت غذایی، محصول سالم تنها به معنی افزایش تولید نیست، بلکه باید عاری از آلاینده‌ها و سالم برای مصرف‌کننده باشد. مصرف بی‌رویه کودهای نایتروجندار، به‌ویژه، باعث تجمع نایترت در برگ سبزیجات می‌شود که در بدن انسان به نیترات و ترکیبات سرطان‌زا تبدیل می‌گردد (WHO, 2019). علاوه بر تهدید مستقیم به صحت و سلامتی انسان، این روند به کاهش کیفیت خاک و منابع آبی نیز منجر می‌شود که در درازمدت ظرفیت تولید غذاهای سالم و

کافی را تضعیف می‌کند (Pretty et al., 2018). نابودی حشرات مفید مانند زنبور عسل در اثر مصرف آفت‌کش‌ها، خطر کاهش تولید میوه‌ها و سبزیجات را از طریق کاهش گرده افشانی افزایش می‌دهد که خود تهدیدی برای دسترسی پایدار به رژیم غذایی متنوع و سالم است. بنابراین، رفتن به روش‌های زراعت پایدار و زراعت عضوی نه تنها برای حفاظت از منابع طبیعی، بلکه برای تأمین مصئونیت غذایی نسل‌های آینده یک ضرورت اساسی به شمار می‌رود (Rockström et al., 2020).

۵. اتلاف و ضایعات غذایی

اتلاف و ضایعات مواد غذایی یکی از بزرگ‌ترین تهدیدها برای مصئونیت غذایی جهانی است. طبق برآورد FAO، سالانه حدود ۱.۳ میلیارد تُن مواد غذایی معادل ۳۰ درصد کل تولید جهانی هدر می‌رود (FAO, 2019). در کشورهای توسعه‌یافته، ضایعات بیشتر در سطح مصرف‌کننده رخ می‌دهد، در حالی که در کشورهای در حال توسعه علت اصلی ضعف در برداشت، ذخیره‌سازی و حمل‌ونقل است. کاهش این ضایعات می‌تواند بخش قابل توجهی از نیاز غذایی جهان را برطرف کند، بدون این نیاز به افزایش شدید تولید باشد (Gustavsson et al., 2011). اتلاف و ضایعات مواد غذایی نه تنها به معنی از دست رفتن منابع غذایی است، بلکه به هدر رفتن زمین، آب، انرژی و نیروی کار نیز منجر می‌شود. به‌طور مثال، حدود ۲۴ درصد از کل آب مصرفی در بخش زراعت برای تولید غذایی به کار می‌رود که در نهایت ضایع می‌شود (UNEP, 2021). این مسئله پیامدهای جدی محیط زیستی نیز دارد؛ چرا که مواد غذایی ضایع شده در محل‌های دفن زباله تجزیه شده و گاز متان، یکی از گازهای گلخانه‌ای بسیار قوی، را منتشر می‌کنند. از این جهت، کاهش ضایعات غذایی نه تنها به بهبود مصئونیت غذایی کمک می‌کند، بلکه اقدامی مؤثر در جهت کاهش تغییرات اقلیمی و مصرف پایدار منابع طبیعی به شمار می‌رود (Parfitt et al., 2021).

در سطح جهان، کشورها راه‌حل‌های مختلف را برای کاهش این مشکل دنبال می‌کنند. در کشورهای در حال توسعه، تمرکز اصلی بر بهبود زیرساخت‌های برداشت، ذخیره‌سازی و زنجیره غذایی است تا از ضایعات پس از برداشت جلوگیری شود (FAO, 2025). در کشورهای توسعه‌یافته، اقدامات آموزشی و آگاهی‌دهی برای مصرف‌کننده گان و کسب‌وکارهای غذایی به‌منظور کاهش ضایعات در سطح خرده‌فروشی و خانواده‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است (Secondi et al., 2015). همچنین، سیاست‌هایی مانند بازیافت مواد غذایی مازاد، توزیع آن به اقشار آسیب‌پذیر، و توسعه تکنیک‌های بسته‌بندی نوآورانه می‌تواند نقش مهم در کاهش

اتلاف ایفا کند. بنابراین، مقابله با ضایعات مواد غذایی یک استراتژی کلیدی برای تقویت مسئولیت غذایی جهانی و تحقق اهداف توسعه پایدار سازمان ملل محسوب می‌شود (Jacob-John, 2023).

شاخص‌های سنجش مسئولیت غذایی

ارزیابی و نظارت از مسئولیت غذایی در سطح ملی و بین‌المللی نیازمند استفاده از شاخص‌های کمی و کیفی است. این شاخص‌ها به سیاست‌گذاران و محققان کمک می‌کنند تا وضعیت موجود را تحلیل کرده، روندها را شناسایی کنند و برنامه‌های مداخله‌ای مناسب طراحی نمایند. مهم‌ترین شاخص‌ها عبارتند از:

۱. شاخص جهانی گرسنگی (Global Hunger Index, GHI)

این شاخص توسط نهاد بین‌المللی از جمله *International Food Policy Research Institute (IFPRI)* طراحی شده و بر اساس چهار مؤلفه محاسبه می‌شود:

- فیصدی جمعیت دچار سوء تغذی؛
- فیصدی کوتاه‌قدی (Stunting) در کودکان زیر پنج سال؛
- فیصدی کم‌وزنی (Wasting) در کودکان زیر پنج سال؛
- فیصدی مرگ‌ومیر کودکان زیر پنج سال.

مقدار این شاخص از صفر که (بهترین وضعیت) را نشان می‌دهند تا ۱۰۰ که (بدترین وضعیت) متغیر را نشان می‌دهند مشخص می‌شود. در کشورهای که این شاخص‌ها بالای ۳۵ فیصد باشد به این معنی است که در وضعیت «بسیار نگران‌کننده» از لحاظ مسئولیت غذایی قرار دارند (Von Grebmer et al., 2022).

۲. شاخص قیمت مواد غذایی (FAO Food Price Index, FAO)

این شاخص تغییرات درصد وزن قیمت پنج ترکیب اصلی مواد غذایی شامل غله‌جات، روغن‌های نباتی (شحمیات)، لبنیات، گوشت و شکر را در بازار جهانی نشان می‌دهد. نوسانات این شاخص بر مسئولیت غذایی کشورهای واردکننده این محصولات تأثیر مستقیم دارد. برای مثال، افزایش ناگهانی قیمت غله‌جات در سال‌های ۲۰۰۷-۲۰۰۸ منجر به بحران غذایی و شورش‌های اجتماعی در بیش از ۳۰ کشور جهان شد (Headey & Fan, 2008).

۳. درصد جمعیت دچار سوء تغذی (Prevalence of Undernourishment)

شاخص درصد جمعیت دچار سوء تغذی که توسط نهاد غذا و زراعت ملل متحد (FAO) گزارش می شود، نشان دهنده سهم جمعیتی از یک کشور است که مصرف کالوری روزانه آنها کمتر از نیاز حداقل برای حفظ زندگی فعال و سالم است. این شاخص به صورت درصد بیان می شود و یکی از شاخص های اصلی نظارت هدف دوم اهداف توسعه پایدار سازمان ملل متحد (گرسنگی صفر) است. تعریف دقیق تر این شاخص این است که درصد جمعیت که به طور معمول غذای کافی برای تأمین نیازهای انرژی روزانه خود را ندارند و در نتیجه در معرض سوء تغذی مزمن قرار دارند، اندازه گیری می شود. این شاخص امکان پیگیری پیشرفت کشورها در کاهش گرسنگی و سوء تغذیه را فراهم می کند و به سیاست گذاران کمک می کند تا با داده های مستند، برنامه ریزی های مؤثر برای رسیدن به گرسنگی صفر انجام دهند. این شاخص برای سنجش افرادی به کار می رود که طی یک سال، به طور مداوم غذای کافی دریافت نمی کنند و این وضعیت می تواند ناشی از محدودیت دسترسی، فقر، بحران های اقتصادی و اجتماعی و ... باشد. (UN, 2015).

۴. شاخص تنوع رژیم غذایی (Dietary Diversity Score)

این شاخص میزان نوع موادهای غذایی مصرفی را در سطح خانواده و یا افراد می سنجد. رژیم های غذایی متنوع تر (حاوی غله جات، سبزیجات، میوه ها، منابع پروتئینی حیوانی و نباتی) ارتباط مستقیمی با بهبود وضعیت تغذیه ای و کاهش «گرسنگی پنهان» یا کمبود منرالها را دارند (Muthayya et al., 2013). در بسیاری از کشورها، خانواده های فقیر به دلیل محدودیت درآمد در رژیم غذایی خود تنها یک محصول (مانند برنج، کچالو یا جواری) را دارند که باعث سوء تغذی مزمن می شود.

۵. شاخص مصئونیت غذایی زراعتی (Agricultural Food Security Index)

شاخص مصئونیت غذایی زراعتی یک شاخص ترکیبی است که به منظور ارزیابی و تحلیل ابعاد مختلف مصئونیت غذایی در حوزه زراعت طراحی شده است. این شاخص شامل جنبه های مختلف از جمله تولید داخلی مواد غذایی، مؤثریت زراعت، دسترسی به عوامل تولید، سطح سرمایه گذاری در بخش زراعت و زیرساخت ها در دهات است. بانک جهانی و سازمان غذا و زراعت ملل متحد این شاخص را برای ارزیابی عملکرد کشورها در زمینه سیاست های زراعت و مصئونیت غذایی به کار می برند. به طور خاص، شاخص مصئونیت غذایی زراعتی با تمرکز بر مقدار تولید داخلی مواد غذایی در مرزهای ملی، استفاده از منابع زراعتی، میزان دسترسی دهاقین به عوامل تولید مانند کود، تخم، آب و تسهیلات مالی، و همچنین زیرساخت های مورد نیاز برای

پایداری زراعت و حمایت از دهاقین در مناطق روستایی، وضعیت کلی مصئونیت غذایی را نشان می‌دهد (World Bank, 2025; FAO, 2025).

۶. شاخص تجربه غذایی (Food Insecurity Experience Scale)

شاخص تجربه غذایی شاخص است که توسط سازمان غذا و زراعت ملل متحد (FAO) برای سنجش تجربه مستقیم خانواده‌ها و افراد از دسترسی ناکافی به غذا طراحی شده است. این شاخص مبتنی بر پرسشنامه‌هایی است که در سطح جهانی جمع‌آوری می‌شوند، تجربه و رفتارهای مرتبط با دسترسی محدود به غذا را در یک محدوده زمانی مشخص (معمولاً ۱۲ ماه) اندازه‌گیری می‌کند. این پرسش‌ها شامل نگرانی درباره نداشتن غذا به اندازه کافی، محدودیت در خوردن غذاهای مغذی، کاهش تنوع غذایی، حذف وعده‌های غذایی و حتی تجربه گرسنگی شدید است. این شاخص با استفاده از روش‌های آماری مانند مدل پاسخگویی قابلیت مقایسه نتایج بین کشورها و جمعیت‌های مختلف را فراهم می‌کند (FAO, 2017). این شاخص به عنوان مکمل برای سایر شاخص‌های مصئونیت غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد، چونکه منعکس‌کننده تجربه واقعی افراد از عدم دسترسی به غذا است، در حالی که شاخص‌های دیگر ممکن است تنها جنبه‌های بازار یا تولید غذایی را اندازه‌گیری کنند. به عنوان مثال، شاخص قیمت جهانی بیشتر وضعیت بازار را نشان می‌دهد و شاخص تنوع رژیم غذایی کیفیت تغذیه اشخاص را منعکس می‌کند. (Barrett, 2010).

راهکارهای توسعه مصئونیت غذایی

مصئونیت غذایی به دلیل پیچیدگی عوامل تهدیدکننده آن، نیازمند راهکاری چندبعدی است. هیچ راهکار واحد نمی‌تواند به‌تنهایی مشکل گرسنگی و مصئونیت غذایی را حل کند. بلکه مجموعه‌ای از اقدامات هماهنگ در سطح محلی، ملی و بین‌المللی ضروری است. مهم‌ترین راهکارها عبارت‌اند از:

۱. استفاده مؤثر از سیستم زراعت

یکی از اساسی‌ترین راه‌ها برای تأمین غذای کافی، استفاده مؤثر از بخش زراعت است. این امر می‌تواند از طریق تولید تخم‌ها، مدیریت بهتر آب، استفاده از کودهای عضوی و کاهش ضایعات در مزرعه تحقق یابد یعنی استفاده مؤثر از طریق چندین روش مهم تحقق می‌یابد که هر یک با حمایت‌های علمی و تکنالوژی‌های جدید پشتیبانی می‌شوند. منبع؟

الف) توسعه وراثتی های مقاوم

توسعه وراثتی های مقاوم به خشکی، شوری، آفات و امراض، به ویژه در مناطق آسیب پذیر، نقش کلیدی در تضمین تولید پایدار دارد. این وراثتی ها می توانند با تحمل شرایط سخت محیطی، سطح تولید را حفظ کنند و به تغذیه جمعیت در طولانی مدت کمک کنند (Lobell et al., 2008).

ب) مدیریت هوشمند آب

استفاده از تکنالوژی های مدیریت هوشمند آب مانند سیستم آبیاری قطره ای و حسگرهای رطوبت خاک موجب کاهش ۳۰ تا ۴۰ درصد مصرف آب و افزایش حاصل محصولات زراعتی می شود. این روش ها با مصرف صرفه جویانه منابع آبی، باعث حفظ محیط زیست و توسعه استفاده مؤثر می شوند (FAO, 2019).

ج) زراعت دقیق با هواپیما و تصاویر ماهواره ای

تکنالوژی پهپادها و تصاویر ماهواره ای کاربردهای متعددی در زراعت دارند که استفاده مؤثر را به شکل قابل توجه افزایش می دهند. از این تکنالوژی ها برای ارزیابی مزارع، شناسایی دقیق نیازهای کود و آفت کش ها، ارزیابی کیفیت محصولات، نقشه برداری رطوبت خاک و کاهش مصرف بی رویه کود و آب استفاده می شود. این تکنالوژی ها امکان مدیریت بهتر منابع و جلوگیری از آلودگی ها را فراهم می کنند. پهپادها با جمع آوری داده های دقیق در زمان کوتاه، به زارعین کمک می کنند تا تصمیمات علمی تری در تولید اتخاذ کنند و استفاده مؤثر را بهبود بخشند. تصاویر ماهواره ای نیز به پیش بینی تولید، شناسایی مناطق کشت و نیازهای متفاوت خاک کمک می کند (UNEP, 2021).

د) استفاده از کودهای مناسب

انتخاب کودهای مناسب و استفاده بهتر از آن ها باعث افزایش کیفیت و کمیت تولید محصولات زراعتی می شود. کودها با تأمین مواد غذایی مورد نیاز نبات، می توانند حاصل آن را تا چندین برابر افزایش دهند و حتی حاصلخیزی خاک های فقیر را بهبود بخشند. این موضوع در استفاده بهتر از منابع آب و خاک بسیار مؤثر است. این راهکارهای نوآورانه و مدیریتی در کنار یکدیگر، راهکارهای تاثیرگذاری برای استفاده مؤثر از سیستم زراعت و تأمین غذای کافی را فراهم می کنند (UNEP, 2021).

۲. توسعه زراعت پایدار و ارگانیک

اتکای بیش از حد به مواد های کیمیاوی در زراعت مدرن منجر به فرسایش خاک، آلودگی آب و کاهش تنوع محیط زیستی شده است. به همین دلیل، توسعه زراعت پایدار و ارگانیک به عنوان راهکار مهم برای کاهش مشکلات ناشی از استفاده بیش از حد از موادهای کیمیاوی مطرح است. زراعت ارگانیک با کاهش مصرف ادویه و کودهای کیمیاوی، به حفظ حاصلخیزی خاک، کاهش آلودگی منابع آب و افزایش تنوع زیستی کمک می کند و کیفیت محصولات غذایی را بهبود می بخشد. روش های محیط زیستی مانند کنترل بیولوژیکی آفات و کمپوست سازی نیز نقش مهمی در پایداری سیستم غذایی دارند. زراعت ارگانیک علاوه بر کاهش مصرف ادویه و کودهای کیمیاوی، کیفیت محصولات غذایی را نیز بهبود می بخشد (Altieri, 2004). تنوع کشت (Crop diversification) و تناوب زراعتی (Crop rotation) باعث حفظ حاصلخیزی خاک و کاهش نیاز به مواد های خارج از مزرعه می شود.

۳. کاهش ضایعات و اتلاف مواد غذایی

طبق ارقام نهاد غذا و زراعت ملل متحد (FAO)، حدود یک سوم مجموع مواد غذایی تولید شده در جهان، معادل ۱.۳ میلیارد تن در سال، هدر می رود که این میزان منجر به از دست رفتن منابع طبیعی نظیر آب، زمین و انرژی و افزایش انتشار گازهای گلخانه ای می شود و می تواند غذای حدود ۲ میلیارد نفر را تأمین کند. در کشورهای در حال توسعه، تمرکز بر بهبود زیرساخت های برداشت، ذخیره سازی و حمل و نقل به منظور کاهش تلفات ضروری است، زیرا بخش عمده ضایعات به ضعف در این مراحل باز می گردد. در کشورهای توسعه یافته، آموزش مصرف کنندگان، بهبود برچسب گذاری تاریخ انقضا و ترویج رفتارهای مصرفی پایدار اهمیت دارد. علاوه بر این، تخنیک های نوین مانند بسته بندی پیشرفته و سردخانه های هوشمند نقش مهمی در کاهش ضایعات ایفا می کنند. در افغانستان نیز بسیاری از محصولات زراعتی به دلیل ضعف در سیستم حمل و نقل و فرهنگ مصرف نادرست هدر می رود که معادل غذای ۱۵ میلیون نفر است (FAO, 2023; Gustafson et al., 2014).

۴. تقویت قدرت اقتصادی و اجتماعی خانواده‌ها

مصنوعیت غذایی تنها به تولید وابسته نیست، بلکه دسترسی اقتصادی مردم به غذا نیز اهمیت زیادی دارد. تقویت قدرت اقتصادی و اجتماعی خانواده‌ها نقش حیاتی در بهبود مصنوعیت غذایی دارد. علاوه بر افزایش تولید، دسترسی اقتصادی خانواده‌ها به غذا نیز بسیار اهمیت دارد. ایجاد فرصت‌های شغلی پایدار در بخش زراعت و صنایع محصولات زراعتی موجب افزایش درآمد خانواده‌ها می‌شود و از طرف دیگر، برنامه‌های حمایتی مانند کمک‌های غذایی مانند کوپن می‌توانند به خانواده‌های فقیر برای دسترسی بهتر به غذای سالم کمک کنند (World Bank, 2022).

۵. تحولات علمی و تکنیک‌های جدید در تأمین مصنوعیت غذایی

تحولات علمی و تکنیک‌های جدید فرصت‌های بی‌پیشینه‌ای برای افزایش مصنوعیت غذایی به میان آورده‌اند. از مهم‌ترین این تحولات می‌توان به بایوتکنالوژی، انجینیری ژنتیک، هوش مصنوعی و تکنیک‌های بعد از برداشت محصولات غذایی اشاره نمود (FAO, 2021).

الف) بایوتکنالوژی و انجینیری جنتیک

بایوتکنالوژی و انجینیری جنتیک زمینه تولید انواع نباتاتی را فراهم کرده‌اند که در برابر آفات، امراض و تغییرات اقلیمی مقاومت دارند. این نوآوری‌ها با استفاده بیشتر و کاهش وابستگی به مواد کیمیاوی چون کودها و آفت‌کش‌ها، به تولید پایدارتر و سالم‌تر کمک می‌نمایند. برای نمونه، تولید محصولات دست‌کاری شده مانند جواری و پنبه مقاوم در برابر آفات سبب کاهش مصرف آفت‌کش‌ها و افزایش حاصلات گردیده است. همچنان انجینیری ژنتیک با ویرایش ژن‌ها و انتقال خصوصیات مطلوب، زمان اصلاح نباتات را کوتاه ساخته و محصولات با ارزش غذایی بیشتر و مقاومت بلندتر تولید می‌کند (Tester & Langridge, 2010).

ب) هوش مصنوعی و تحلیل اطلاعات

کاربرد هوش مصنوعی و تحلیل داده‌ها در سکتور زراعت به دهقانان کمک می‌کند تا حاصل محصولات نباتی را پیش‌بینی کنند، منابع آب و خاک را به‌گونه بهتر مدیریت نمایند و دقت تصمیم‌گیری‌های زراعتی را بالا ببرند. این نوآوری‌ها با استفاده از مدل‌های پیش‌بینی و تحلیل داده‌های اقلیمی و محیطی، زمینه کاهش خطر و افزایش بهره‌بردن را فراهم می‌سازند (Wolfert et al., 2017).

۶. همکاری‌ها و سیاست‌های بین‌المللی

مصئونیت غذایی یک موضوع جهانی است که هیچ کشوری به تنهایی قادر به حل کامل آن نمی‌باشد؛ ازین رو نیازمند همکاری‌های بین‌المللی و سیاست‌گذاری هماهنگ است.

- **کمک‌های بشر دوستانه:** در شرایط بحران‌های غذایی مانند قحطی، جنگ یا بلایای طبیعی، کمک‌های عاجل غذایی از سوی نهادهای بین‌المللی و کشورهای کمک‌کننده اهمیت حیاتی دارد. این کمک‌ها باید هدفمند، متناسب با نیازهای واقعی و در عین حال با در نظر گرفتن کرامت انسانی توزیع شوند (UN, 2022).

- **اصلاح سیاست‌های تجارتی:** محدودیت‌ها و تعرفه‌های تجارتی اغلب مانع جریان آزاد غذا در سطح جهان می‌شود. حذف موانع غیرضروری در صادرات و واردات مواد غذایی می‌تواند به ایجاد یک بازار غذایی جهانی متعادل کمک کند و عرضه پایدار غذا را در کشورهای وابسته به واردات تضمین نماید (FAO, 2025).

- **تبادل دانش و نوآوری‌ها:** کشورهای در حال توسعه بیشتر در معرض عدم مصئونیت غذایی قرار دارند. انتقال دانش و نوآوری از طریق پروژه‌های مشترک، آموزش متخصصان، توسعه تخم‌های مقاوم در برابر خشکی و تغییرات اقلیمی و همچنین مدیریت پایدار منابع آب، می‌تواند به ارتقای ظرفیت کشورها در تولید پایدار غذا کمک کند (World Bank, 2022).

- **نقش نهادهای بین‌المللی:** سازمان‌هایی چون سازمان غذا و زراعت ملل متحد (FAO)، برنامه جهانی غذا (WFP) و بانک جهانی در زمینه تأمین بودجه، هماهنگی اقدامات بشردوستانه، ایجاد چارچوب‌های سیاسی و حمایت از کشورها برای رسیدن به اهداف توسعه پایدار نقش اساسی ایفا می‌کنند (FAO, 2021).

در کل، راهکارهای بهبود مصئونیت غذایی تنها زمان موفق خواهند بود که به شکل چندسطحی (فردی، خانوادگی، ملی و جهانی) و در چهارچوب توسعه پایدار اجرا گردند. چنین راهکاری نه تنها باعث رفع نیازهای غذایی نسل حاضر می‌شود، بلکه اطمینان می‌دهد که منابع و ظرفیت‌های طبیعی برای نسل‌های آینده نیز محفوظ بمانند (FAO, 2021).

نتیجه‌گیری

مصئونیت غذایی به عنوان یکی از اساسی‌ترین ضرورت انسان و پیش شرط توسعه پایدار، نقش محوری در صحت، رفاه و پایداری جوامع ایفا می‌کند. مصئونیت غذایی تنها به معنای دسترسی به غذای کافی نیست، بلکه شامل کیفیت، تنوع و پایداری عرضه مواد غذایی نیز می‌شود. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که نبود مصئونیت غذایی، نه تنها پیامدهای مستقیم بر صحت افراد از جمله

سوء تغذی، امراض غیر ساری و مرگ و میر زودرس دارد، بلکه اثرات غیرمستقیم عمیقی بر اقتصاد، آموزش، ثبات اجتماعی و حتی امنیت ملی کشورها بر جای می‌گذارد. بنابراین، تأمین امنیت غذایی یک وظیفه صرفاً زراعتی نیست، بلکه مستلزم یک راهکار بین‌رشته‌ای است که اقتصاد، سیاست، محیط زیست، تکنالوژی و عدالت اجتماعی را در بر می‌گیرد. همان‌گونه که در بخش راهکارها اشاره شد، افزایش محصولات زراعتی، کاهش ضایعات غذایی، توسعه زراعت پایدار، تقویت قدرت اقتصادی خانواده‌ها و به‌کارگیری از تکنالوژی‌های نوین می‌تواند نقش اساسی در تحقق این هدف ایفا کند. از سوی دیگر، نقش سیاست‌گذاری‌های کلان و همکاری‌های بین‌المللی نیز غیرقابل انکار است. تجربه بحران‌های اخیر، از جمله تغییرات اقلیمی و جنگ اوکراین، نشان داد که اختلال در زنجیره‌های تأمین جهانی غذا می‌تواند حتی کشورهای توسعه‌یافته را نیز در معرض آسیب قرار دهد. بنابراین، مصئونیت غذایی باید به‌عنوان یک اولویت جهانی و نه صرفاً ملی در نظر گرفته شود. در نهایت، می‌توان گفت که دستیابی به مصئونیت غذایی نیازمند تعهد سیاسی، سرمایه‌گذاری اقتصادی، نوآوری علمی و مشارکت اجتماعی است. بنابراین، دولت‌ها، سازمان‌های بین‌المللی، محققان و جامعه مدنی باید در یک همکاری مشترک، برای ساختن آینده‌ای عاری از گرسنگی و ناامنی غذایی تلاش کنند.

منابع و مأخذ

- Altieri, M. A.** (2004). Linking ecologists and traditional farmers in the search for sustainable agriculture. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2(1), 35–42.
- Argueta, D. M. P.** (2024). *International Rescue Committee Department de Associations* (Doctoral dissertation, Universidad Technological Centro Americana UNITEC).
- Barrett, C. B.** (2010). Measuring food insecurity. *Science*, 327(5967), 825–828.
- Bechtsis, D., Tsolakis, N., Bizakis, A., & Vlachos, D.** (2019). A blockchain framework for containerized food supply chains. In *Computer Aided Chemical Engineering* (Vol. 46, pp. 1369–1374). Elsevier.
- Devereux, S.** (2001). Livelihood insecurity and social protection: A re-emerging issue in rural development. *Development Policy Review*, 19(4), 507–519.

- Food and Agriculture Organization (FAO).** (1996). *Rome Declaration on World Food Security and World Food Summit Plan of Action*.
- FAO.** (2017). *The future of food and agriculture: Trends and challenges*. Rome: FAO.
- FAO.** (2019). *The state of food and agriculture: Moving forward on food loss and waste reduction*. Rome: FAO.
- Food and Agriculture Organization (FAO).** (2025). *The State of Food Security and Nutrition in the World*. <https://openknowledge.fao.org>
- Future Perspectives.** (2025). *Climate change in Central Asia: Decarbonization, energy transition and climate policy* (pp. 23–32).
- Galanakis, C. M., Rizou, M., Aldawoud, T. M., Ucak, I., & Rowan, N. J.** (2021). Innovations and technology disruptions in the food sector within the COVID-19 pandemic and post-lockdown era. *Trends in Food Science & Technology*, 110, 193–200.
- Godfray, H. C. J., et al.** (2010). Food security: The challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327(5967), 812–818.
- Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., Van Otterdijk, R., & Meybeck, A.** (2011). *Global food losses and food waste*.
- Headey, D., & Fan, S.** (2008). Anatomy of a crisis: The causes and consequences of surging food prices. *Agricultural Economics*, 39, 375–391.
- Hendrix, C., & Brinkman, H. J.** (2013). Food insecurity and conflict dynamics: Causal linkages and complex feedbacks. *Stability: International Journal of Security and Development*, 2(2), 26–26.
- Hultgren, A., Carleton, T., Delgado, M., Gergel, D. R., Greenstone, M., Houser, T., ... & Yuan, J.** (2025). Impacts of climate change on global agriculture accounting for adaptation. *Nature*, 642(8068), 644–652.
- Jacob-John, J., D'Souza, C., Marjoribanks, T., & Singaraju, S.** (2023). Sustainable development goals: A review of SDG 12.3 in food supply chain literature. *Benchmarking: An International Journal*, 30(9), 3465–3481.

- Koundouri, P., Dellis, K., & Plataniotis, A.** (2023). *The green transformation of Europe: Challenges, opportunities, and the way forward*. ELIAMEP Policy Brief Series.
- Lobell, D. B., Burke, M. B., Tebaldi, C., Mastrandrea, M. D., Falcon, W. P., & Naylor, R. L.** (2008). Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. *Science*, 319(5863), 607–610.
- Mirzabaev, A.** (2023). *Climate change science and policy in Central Asia: Current situation and...* [Incomplete citation as provided]
- Muthayya, S., Rah, J. H., Sugimoto, J. D., Roos, F. F., Kraemer, K., & Black, R. E.** (2013). The global hidden hunger indices and maps: An advocacy tool for action. *PLOS ONE*, 8(6), e67860.
- Parfitt, R.** (2024). Air–sea heat and moisture flux gradients. *Geophysical Research Letters*, 51(22), e2024GL110728.
- Pinstrup-Andersen, P.** (2009). Food security: Definition and measurement. *Food Security*, 1(1), 5–7.
- Pretty, J., Benton, T. G., Bharucha, Z. P., Dicks, L. V., Flora, C. B., Godfray, H. C. J., ... & Wratten, S.** (2018). Global assessment of agricultural system redesign for sustainable intensification. *Nature Sustainability*, 1(8), 441–446.
- Quisumbing, A. R., Denizen-Dick, R., Raney, T. L., Croppenstedt, A., Behrman, J. A., & Peterman, A.** (2014). *Gender in agriculture*. Springer.
- Radcliffe, D., Nel, F. P., Hendrickson, T., & Roper, D.** (2024). *World Press Trends Outlook 2023–2024*.
- Rockström, J., Edenhofer, O., Gaertner, J., & DeClerck, F.** (2020). Planet-proofing the global food system. *Nature Food*, 1(1), 3–5.
- Secondi, L., Principato, L., & Laureti, T.** (2015). Household food waste behaviour in EU-27 countries: A multilevel analysis. *Food Policy*, 56, 25–40.
- Sen, A.** (1981). Ingredients of famine analysis: Availability and entitlements. *The Quarterly Journal of Economics*, 96(3), 433–464.
- Shaw, D.** (2007). *World food security: A history since 1945*. Springer.

- Smith-Maxwell, C. J., Ledwell, J. L., & Aldrich, R. W.** (1998). Uncharged S4 residues and cooperativity in voltage-dependent potassium channel activation. *The Journal of General Physiology*, 111(3), 421–439.
- Sultana, A., Mim, S. R., Saha, A., Yesmin, F., Tahsin, M. R., Bahar, N. B., ... & Amran, M. S.** (2023). Assessing the self-reported after-events following immunization of COVID-19 vaccines in Turkey and Bangladesh. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(16), 47381–47393.
- Tester, M., & Langridge, P.** (2010). Breeding technologies to increase crop production in a changing world. *Science*, 327(5967), 818–822.
- UN.** (2022). *Global impact of the war in Ukraine on food, energy and finance systems*. United Nations.
- UNEP; ILRI; ILC.** (2021). *Rangelands Atlas*. Nairobi: ILRI.
- UNICEF.** (2023). *The State of Food Security and Nutrition in the World 2023*.
- Ungar, M.** (2024). *Relevance and reform: The United Nations Security Council of the...* [Incomplete citation as provided]
- van Rijn, I. V. R.** (2025). The effect of war on (religious) food regulation. In *Food safety, security and sustainability* (pp. 159–159).
- von Grebmer, K., Bernstein, J., Wiemers, M., Reiner, L., Bachmeier, M., Hanano, A., & Resnick, D.** (2022). *2022 Global Hunger Index: Food systems transformation and local governance*.
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. J.** (2017). Big data in smart farming – A review. *Agricultural Systems*, 153, 69–80.
- World Bank.** (2022). *Food security and nutrition overview*. Washington, D.C.: World Bank.
- World Health Organization (WHO).** (2019). *WHO global report on traditional and complementary medicine 2019*.

گسسته‌سازی و بررسی پایداری مدل ریاضی تاثیر رسانه بر کنترل

بیماری سرایت‌کننده سارس (مقاله علمی مروری)

^۱پوهنیار ضیاء وحدت ^۲نورالدین فخری

^۱ضیاء، وحدت، تعلیم و تربیه، دیپارتمنت ریاضی، پوهنتون دایکندی، افغانستان،

^۲نورالدین، فخری، تعلیم و تربیه، دیپارتمنت ریاضی، پوهنتون بدخشان، افغانستان

*z.wahdat@dhei.edu.af.0748131934

چکیده

سارس^۱ یک بیماری ساری عفونی است که ابتدا در نوامبر ۲۰۰۲ در چین دیده شده و به سرعت در تمام نواحی آسیا و در قسمت هایی از جهان انتشار یافت، بخاطر عدم اطلاع مردم نسبت به این بیماری ابتدا تعداد افرادی زیادی مبتلا گشتند، و اکنون این پرسش مطرح می‌گردد که آیا پوشش رسانه‌ای در گسترش و یا کنترل این بیماری نقشی دارد یاخیر، ما درین تحقیق مدل تاثیر رسانه بر کنترل بیماری واگیردار سارس را در یک ناحیه مورد بررسی قرار دادیم، که ابتدا جمعیت ناحیه را به سه دسته (تعداد افراد مستعد دریافت بیماری، تعداد افرادی که دوره نهفتگی بیماری را طی می‌کند و تعداد افراد بیمار که توانایی انتقال بیماری را دارد) تقسیم نمودیم و سپس با استفاده از روش غیر استاندارد میگزمدل را گسسته سازی نمودیم: نقاط تعادل آنرا دریافت نموده و پایداری نقاط تعادل را اثبات کردیم، و درین تحقیق نشان دادیم که اگر تاثیر رسانه را در کنترل بیماری صفر در نظر بگیریم سیستم دارای یک نقطه تعادل بوده اما اگر تاثیر رسانه را مثبت در نظر بگیریم سیستم حداکثر دارایی سه نقطه تعادل مثبت می‌باشد که هر سه پایدار است و این حاکی از آن است که تاثیر رسانه در کنترل بیماری سارس فوق العاده موثر می‌باشد، این تحقیق که به روش کتابخانه‌ای انجام شده است به این نتیجه دست یافته؛ که در پایداری سیستم تاثیر رسانه نهایت مهم بوده و نقش ازرنده‌ای را ایفا می‌کند.

کلمات کلیدی: گسسته سازی؛ پایداری؛ مدل ریاضی بیماری های واگیردار؛ نقاط تعادل

¹ SARS

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مقدمه

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على أشرف الأنبياء والمرسلين.

ریاضیات که مادر سایر علوم لقب گرفته است با مدل سازی بسیاری از پدیده های طبیعی، بیماری های سرایت کننده، مسایل انجینری و زیست شناسی مشکلات عمده ای را درین بخش مرفوع می سازد (Jódar et al., 2008). از میان گرایش های ریاضی کاربردی معادلات دیفرانسیل و سیستم های دینامیکی امروزه توجه بسیاری از دانشمندان این خطه را جلب نموده و با مدل سازی مسایل طبی مشکلات زیادی را مرفوع می سازد و یا با تحلیل و انالیز مدل شان کمک شایانی در رفع مشکلات می نماید (Cui et al., 2008). درین تحقیق ما مدل تاثیر رسانه بر کنترل بیماری سرایت کننده سارس را در یک ناحیه مورد مطالعه قرار دادیم ابتدا با تقسیم بندی جمعیت ناحیه مذکور سیستم معادلات دیفرانسیل شان را نوشتیم و سپس با استفاده از روش تفاضل متناهی غیر استاندارد میگز گسسته سازی نموده به یک سیستم گسسته زمان تبدیل نمودیم و نشان دادیم که با گسسته سازی سیستم در اصل سیستم تغییرات نمی آید. (Cui et al., 2008).

در روش غیر استاندارد میگز که با استفاده از تغییرات و یا تبدیلات مشتقات اجرا می گردد، تفاوتی در اصل سیستم ایجاد نگردیده بلکه دینامیک سیستم به حال خویش باقی می ماند. (Marszalek, 1984)

سیستم مذکور در صورت که تاثیر رسانه (m) را صفر در نظر بگیریم سیستم فقط یک نقطه تعادل دارد ولی اگر m را مثبت در نظر بگیریم سیستم حداکثر دارایی سه نقطه تعادل مثبت می باشد. (Gómez-Silva et al., 2024)

پایداری نقاط تعادل را با استفاده از تابع لیاپانوف و پایداری لاسال اثبات می نمایم که اگر m مثبت باشد در شرط لیاپانوف صدق نموده پایداری آن ثابت می شود که در نتیجه در انتروال جاذب معادله تفاضلی مذکور همه ای جواب ها به نقاط تعادل میل می نمایند. (Sedaghat, 1998)

مبدأ نیز یک نقطه تعادل برای سیستم مورد بحث می باشد که با محاسبه و بررسی معادله مشخصه متریکس ژاکوبین اثبات می گردد که ناپایدار است. (Kelley & Peterson, 2001)

با تحلیل دینامیک این سیستم می‌توان ادعا نمود که سیستم فوق دارای دینامیک گسسته بوده و پایداری آن بستگی به تاثیر رسانه بر کنترل بیماری دارد (Murray, 2007). تحلیل پایداری نقاط تعادل در دینامیک گسسته همانند دینامیک پیوسته بوده و ضرورت به تغییرات ندارد زیرا با گسسته سازی تغییرات در سیستم دینامیک دستگاه وارد نمی‌شود. (Cui et al., 2008) درین تحقیق ما پایداری سیستم را با استفاده از روش پایداری لیاپانوف که روش قوی جهت بررسی پایداری سیستم می‌باشد مورد مطالعه قرار دادیم و همچنان این با پایداری را با دو روش دیگر نیز مقایسه کردیم و مزایای و موثریت آن را در جدول آورده‌ایم.

۱-۱ طرح مسأله

بیماری سارس که ابتدا در چین ظهور نمود، و با سرعت بخاطر عدم آگاهی مردم از ساری بودن آن انتشار یافت، می‌شود مدل ریاضی برای آن نوشت تا بتوان با مطالعه پایداری آن کمکی به کنترل آن نموده و با مدل سازی این بیماری در یک ناحیه مساله‌ای مهم مطرح می‌شود که آیا آگاهی دهی مردم از طریق رسانه بر کنترل این بیماری نقشی دارد یاخیر؟

1-2 اهمیت و ضرورت تحقیق

از آنجایی که بیماری‌های سرایت‌کننده مثل سارس زندگی و حیات بشر را مورد تهاجم قرار می‌دهد، مطالعه راه‌های جلوگیری از گسترش آن نیز در خور اهمیت بوده و ما درین تحقیق نشان خواهیم داد که تاثیر رسانه بر کنترل آن چی اثربخشی دارد که اگر تاثیر رسانه را کمتر در نظر گیریم و یا زیاد نماییم می‌بینیم که با گسترش بیماری ارتباط مستقیم دارد، ازینرو تحقیق هذا هائز اهمیت می‌باشد.

3-1 سوالات اصلی تحقیق

1. آیا تاثیر رسانه بر کنترل بیماری قابل انتقال سارس اثر دارد؟
2. آیا نقاط تعادل سیستم پایدار است؟
3. آیا دینامیک سیستم پس از گسسته سازی تغییر می‌نماید؟

4-1 سوالات فرعی تحقیق

1. مدل تاثیر رسانه بر کنترل بیماری سرایت‌کننده سارس چند نقطه تعادل دارد؟

2. اگر تاثیر رسانه را مثبت در نظر بگیریم سیستم چند نقطه تعادل دارد؟

3. مبدا در سیستم مذکور پایدار است یا ناپایدار؟

5-1 اهداف کلی تحقیق

1. بررسی تاثیر رسانه بر کنترل بیماری

2. بررسی پایداری نقاط تعادل مدل

3. گسسته سازی مدل

6-1 اهداف جزئی تحقیق

1. آیا مبدا مختصات در مدل فوق پایدار است

2. اگر تاثیر رسانه را صفر در نظر بگیریم چی تغییرات در نقاط تعادل بدست می آید.

3. تابع لیاپانوف چی خصوصیت دارد.

۲- مدل ریاضی بیماری های واگیردار

ما بیماری قابل انتقال سارس را در یک ناحیه در نظر می گیریم، و جمعیت را به سه دسته تقسیم می کنیم.

$S(t)$: تعداد افراد را نشان می دهد که در زمان t مستعد دریافت بیماری هستند.

$E(t)$: تعداد افرادی هستند که در زمان t دوره نهفتگی بیماری را طی می کنند، اما توانایی

انتقال بیماری را ندارد.

$I(t)$: تعداد افرادی در زمان t را نشان می دهد که توانایی انتقال بیماری به دیگران را نیز دارا می باشد.

این مدل به صورت سیستم سه بعدی زیر از معادلات دیفرانسیل می باشد.

$$\begin{cases} \frac{ds}{dt} = bs(1 - \frac{s}{k}) - \mu e^{-mI} SI \\ \frac{dE}{dt} = \mu e^{-mI} SI - (c + d)E \\ \frac{dI}{dt} = cE - \gamma I \end{cases} \quad (1-2)$$

در سیستم فوق همه‌ای پارامترها مثبت است، b نرخ رشد واقعی جمعیت و k جمعیت ناحیه

$$B(I) = \mu e^{-mI} \text{، مفروض است،}$$

تابع سرایت و تماس است و گسترش ویروس از یک بیمار را به فرد مستعد اندازه‌گیری می‌کند. اگر $m = 0$ باشد آهنگ سرایت ثابت می‌باشد. نرخ تماس فقط وابسته به توانایی انتقال ویروس نیست، بلکه با هوشیاری هر یک از افراد مستعد دریافت بیماری نیز مرتبط است. به همین منظور در اینجا پارامتر $m > 0$ مربوط به پوشش رسانه‌ها در نظر گرفته شده است. با توجه به اینکه پوشش رسانه‌ای و هوشیاری از عوامل اصلی در انتقال بیماری نیست پس می‌توان پارامتر $m > 0$ را کوچک در نظر گرفت.

c : نرخ انتقال از کلاس دوم به کلاس سوم در واحد زمان می‌باشد.

d : نرخ مرگ طبیعی افراد مستعد می‌باشد.

γ : نرخ خروج از کلاس افراد بیمار می‌باشد که شامل برخ بهبودی افراد بیمار و نرخ مرگ طبیعی افراد است، بنابراین $\gamma > d$ (Cui et al., 2008).

درین تحقیق پس از گسسته سازی مدل (۱-۱) می‌خواهیم نشان دهیم که خواص دینامیکی دستگاه حفظ می‌شود یعنی خواص زیر حفظ می‌شود.

1. تمام جواب‌های معادله مثبت است.

2. معادله دارای نقطه تعادل $E_0 = (0, 0, 0)$ و $E_{10} = (k, 0, 0)$ است. همچنین اگر

تاثیر رسانه را نادیده بگیریم یعنی $m = 0$ باشد آنگاه معادله دارای یک نقطه تعادل مثبت بوده و اما اگر تاثیر رسانه را مثبت در نظر بگیریم یعنی $m > 0$ باشد آنگاه معادله فوق حداکثر دارایی سه نقطه تعادل مثبت می‌باشد. که درین تحقیق ما پایداری دو نوع نقطه تعادل سیستم فوق را اثبات نمودیم که پایداری نقطه سومی نیز به عین روش اثبات می‌گردد. (Cui et al., 2008)

3- گسسته سازی

برای گسسته سازی سیستم (1-2) از روش تفاضل متناهی غیر استاندارد می‌کنز استفاده می‌کنیم، نشان می‌دهیم که دستگاه گسسته از نظر تعداد و پایداری نقاط تعادل مشابه به مدل پیوسته می‌باشد. فرض کنید $h > 0$ طول گام تقریب باشد پس تعویض های ذیل را می‌نویسیم:

$$\frac{ds}{dt} = \frac{s(t+h) - s(t)}{\phi_1(h)} \quad (1-3)$$

$$\frac{dE}{dt} = \frac{E(t+h) - E(t)}{\phi_2(h)} \quad (2-3)$$

$$\frac{dI}{dt} = \frac{I(t+h) - I(t)}{\phi_3(h)} \quad (3-3)$$

که در فوق توابع $\phi_i(h)$ برای $i = 1, 2, 3$ در $\phi_i(h) = h + O(h^2)$ صدق می‌کند. و هم چنین

$$\frac{ds}{dt} \text{ در عبارت}$$

تعویض های ذیل را اعمال می‌کنیم.

$$\begin{aligned} s^2(t) &\rightarrow s(t+h)S(t) \\ S(I)I(t) &\rightarrow S(t+h)I(t) \end{aligned}$$

$$\frac{dE}{dt} \text{ تعویض های}$$

$$(c+d)E(t) \rightarrow (c+d)E(t+h)$$

$$S(t)I(t) \rightarrow S(t+h)I(t)$$

و در عبارت $\frac{dI}{dt}$ تعویض ذیل را در نظر می‌گیریم.

$$\gamma I(t) \rightarrow \gamma I(t+h)$$

$$c(E) \rightarrow cE(t+h)$$

حالا تعویض های فوق را در سیستم (1-2) اعمال می کنیم.

$$\frac{S(t+h)-s(t)}{\phi_1(h)} = S(t) - \frac{b}{k} S(t+h)S(t) - \mu e^{-mI} I(t)S(t+h)$$

$$\frac{E(t+h)-E(t)}{\phi_2(h)} = \mu e^{-mI} S(t+h)I(t)$$

$$-(c+d)E(t+h)$$

$$\frac{I(t+h)-I(t)}{\phi_3(h)} = cE(t+h) - \gamma I(t+h)$$

$S(nh)$ و $E(nh)$ و $I(nh)$ را به ترتیب به $S(n), E(n), I(n)$ نمایش می دهیم و $\phi_i(h)$ را

برای $(i=1, 2, 3)$ با ϕ_i نمایش می دهیم لذا سیستم گسسته زیر حاصل

می گردد. (MICKENS, 2005)

$$S_{(n+1)} = \frac{(1+b\phi_1)S_n}{1 + \frac{b}{k}\phi_1 S_n + \mu\phi_1 I_n e^{-mI_n}}$$

$$E_{(n+1)} = \frac{E_n + \mu\phi_2 S_{n+1} I_n e^{-mI_n}}{1 + (c+d)\phi_2} \quad (4-3)$$

$$I_{(n+1)} = \frac{I_n + c\phi_3 E(n+1)}{1 + \gamma\phi_3}$$

$$S_0, I_0, E_0 \geq 0$$

در سیستم فوق جملات طرف راست همه مثبت اند لذا نتیجه می‌گردد که مانند سیستم پیوسته دارای جواب های مثبت است. بنابراین روش گسسته سازی می‌کنز خاصیت مثبت بودن جواب ها را حفظ می‌کند. (MICKENS, 2005)

در مدل فوق طوری که گفتیم جمعیت کل ثابت نیست و ثابت می‌کنیم که کراندار است، با استفاده از سیستم فوق می‌توانیم بنویسیم که:

$$S_{(n+1)} = \frac{(1+b\phi_1)S_n}{1+\frac{b}{k}\phi_1 S_n + \mu\phi_1 I_n e^{-mI_n}} \leq \frac{(1+b\phi_1)S_n}{1+\frac{b}{k}\phi_1 S_n}$$

فرض می‌کنیم $z_n = \frac{1}{S_n}$ درینصورت رابطه ذیل بدست می‌آید

$$z_{n+1} \geq \frac{z_n}{1+b\phi_1} + \frac{b\phi_1}{k(1+b\phi_1)}$$

هم چنین

$$\begin{aligned} z_n &\geq \frac{z_{n-1}}{1+b\phi_1} + \frac{b\phi_1}{k(1+b\phi_1)} \\ &\geq \frac{\frac{z_{n-2}}{1+b\phi_1} + \frac{b\phi_1}{k(1+b\phi_1)}}{1+b\phi_1} + \frac{b\phi_1}{k(1+b\phi_1)} \\ &= \frac{z_{n-2}}{(1+b\phi_1)^2} + \left[1 - \frac{1}{(1+b\phi_1)^2}\right] \frac{1}{k} \\ &\geq \dots \geq \frac{1}{(1+b\phi_1)^n} z_0 + \left[1 - \frac{1}{(1+b\phi_1)^n}\right] \frac{1}{k} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow z_n \geq \frac{1}{(1+b\phi_1)^n} z_0 + \left[1 - \frac{1}{(1+b\phi_1)^n}\right] \frac{1}{k}$$

در نتیجه می‌توان بدست آورد که:

$$\limsup_{n \rightarrow \infty} S_n \leq k$$

فرض کنید برای $i = 1, 2, 3$

$$\phi_i(h) = h, N_n = S_n + E_n + I_n$$

در نظر بگیریم، درینصورت برای هر n بدست می‌آوریم.

$$\frac{N_{n+1} - N_n}{h} = \left(b - \frac{b}{k} S_{n+1}\right) S_n - dE_{n+1} - \gamma I_{n+1}$$

$$\leq \left(b - \frac{b}{k} S_{n+1}\right) k - dE_{n+1} - \gamma I_{n+1}$$

اکنون فرض کنید $l = \min\{b, d, \gamma\}$ بنابراین

$$\frac{N_{n+1} - N_n}{h} \leq bk - lN_{n+1}$$

به راحتی می‌توان بدست آورد که:

$$N_{n+1} \leq \frac{1}{1+lh} N_n + \frac{bkh}{1+lh}$$

و رابطه ذیل برقرار است.

$$N_n \leq \frac{1}{(1+lh)^n} N_0 + \left[1 - \frac{1}{(1+lh)^n}\right] \frac{bkh}{l}$$

با استفاده از بحث فوق می‌توانیم نتیجه زیر را بنویسیم، اگر $N_n \leq \frac{bk}{l}$ باشد پس می‌توانیم

بنویسیم:

$$N_n \leq \frac{bk}{l(1+lh)} + \frac{bhk}{1+lh} - \frac{bk}{l}$$

می‌توان نتیجه گرفت که ناحیه

$$D = \left\{ (S, E, I) \in R^3 \mid 0 \leq S + E + I \leq \frac{bk}{l}.l = \min\{b, d, \gamma\} \right\}$$

پایای مثبت است و لم زیر نتیجه می‌شود. (Marszalek, 1984)

لم 1.3

برای هر جواب مثبت (S_n, E_n, I_n) از سیستم (4-2) جمعیت کل به صورت $N_n = S_n + E_n + I_n$ تعریف می‌شود و در رابطه زیر صدق می‌کند. (Bischi, 2024)

$$\limsup_{n \rightarrow \infty} N_n \leq \frac{bk}{l}.l = \min\{b, d, \gamma\} \quad (5-3)$$

4- نقاط تعادل

1-4 تعریف نقطه تعادل: نقطه x^* را نقطه تعادل معادله تفاضلی $x_{n+1} = f(x_n)$ گوئیم

اگر $f(x^*) = x^*$ (Michel et al., 2008).

پس نظر به تعریف نقطه تعادل که در فوق گفته شد، برای دریافت نقاط تعادل معادلات تفاضلی سیستم زیرا را در نظر می‌گیریم.

$$\begin{aligned} S &= \frac{(1+b\phi_1)S}{1+\frac{b}{k}\phi_1 S + \mu\phi_1 I e^{-mI}} \\ E &= \frac{E + \mu\phi_2 S I e^{-mI}}{1+(c+d)\phi_2} \\ I &= \frac{I + c\phi_3 E}{1+\gamma\phi_3} \end{aligned} \quad (1-4)$$

از سیستم فوق واضح است که مبداء $E_0 = (0, 0, 0)$ یکی از نقاط تعادل دستگاه (4-2) می باشد. و هم چنین $E_{10} = (k, 0, 0)$ یکی از جواب های دستگاه است. برای تعیین نقاط تعادل دیگر دستگاه (4-2) دو حالت ذیل را مد نظر می گیریم. (Murray, 2007)

❖ الف: اگر $m=0$ باشد یا به عبارت دیگر تاثیر رسانه را نادیده بگیریم، درین حالت دستگاه (1-4) به صورت زیر در می آید.

$$\begin{aligned} S &= \frac{(1+b\phi_1)S}{1+\frac{b}{k}\phi_1 S + \mu\phi_1 I} \\ E &= \frac{E + \mu\phi_2 S I}{1+(c+d)\phi_2} \\ I &= \frac{I + c\phi_3 E}{1+\gamma\phi_3} \end{aligned}$$

تعریف می کنیم:

$$R_0 = \frac{\mu ck}{\gamma(c+d)}$$

با توجه به دستگاه اخیر وقتی که $R_0 > 1$ باشد نقطه تعادل (S_0^*, E_0^*, I_0^*) یک نقطه تعادل مثبت سیستم (1-4) بوده که به صورت زیر می باشد.

$$S_0^* = \frac{\gamma(c+d)}{\mu c} - \frac{k}{R_0}$$

$$E_0^* = \frac{b\gamma^2(c+d)}{\mu^2 c^2 K} (R_0 - 1)$$

$$I_0^* = \frac{b\gamma(c+d)}{\mu^2 c K} (R_0 - 1)$$

❖ ب: اگر $m > 0$ باشد یعنی تاثیر رسانه را در نظر بگیریم و یعنی تاثیر رسانه ها را مثبت در نظر بگیریم درینصورت از حل سیستم (1-4) داریم که:

$$S^* = K(1 - \frac{\mu}{b} I^* e^{-mI^*}) = g(I^*)$$

$$E^* = \frac{\gamma}{c} I^*$$

$$I^* = \frac{\gamma(c+d)}{c\mu} e^{mI^*} = h(I^*)$$

واضح است که اگر $R_0 > 1$ باشد آنگاه $g(0) > h(0)$ است و هم چنین

$$\lim_{I^* \rightarrow \infty} g(I^*) = k, \lim_{I^* \rightarrow \infty} h(I^*) = \infty$$

در نتیجه می توان گفت که اگر $R_0 > 1$ باشد آنگاه دو منحنی $s = g(I)$ و $s = h(I)$ حداقل یک نقطه تقاطع مثبت دارد. (Cui et al., 2008)

اگر دو منحنی حداقل در یک نقطه مماس باشد آنگاه $s = g(I) = h(I)$ و $g'(I) = h'(I)$ بوده و با ساده سازی های مذکور داریم که:

$$K(1 - \frac{\mu}{b} I e^{-mI}) = \frac{\gamma(c+d)}{c\mu} e^{mI}$$

$$-\frac{k\mu}{b} (1 - mI) e^{-mI} = \frac{\gamma(c+d)m}{\mu c} e^{mI}$$

با حذف توابع نمایی از سیستم فوق داریم که:

$$R_0 m(mI - 1) = \frac{\mu}{b} (2mI - 1)^2 \quad (2-4)$$

پس نتیجه می‌گیریم اینکه اگر دو منحنی مماس باشد باید $mI > 1$ باشد. فرض کنید که:

$$\delta = \frac{\mu}{b}, m_0 = \frac{8\mu}{bR_0} = \frac{8\delta}{R_0}$$

پس می‌توانیم به آسانی بدست آوریم که (7-2) دارای دو جذر مثبت و متمایز می‌باشد،

اگر و تنها اگر $R_0 > 1$ و $m > m_0$ باشد بنابراین بدست می‌آوریم که:

$$I^* = \frac{mR_0 + 4\delta \pm \sqrt{mR_0(mR_0 - 8\delta)}}{8m\delta}$$

نتایج فوق را به شکل قضیه در زیر جمع‌بندی می‌نماییم.

قضیه 4-1

فرض کنید تمام پارامترهای که در سیستم (1-4) وجود دارد مثبت می‌باشد، اگر m_0 همانند فوق

تعریف شده باشد و $R_0 > 1$ باشد پس نتایج زیر را داریم:

▪ اگر $0 < m < m_0$ باشد درینصورت سیستم (1-4) دارای یک نقطه تعادل مثبت می‌باشد.

▪ اگر $m > m_0$ باشد درینصورت سیستم (1-4) حداکثر دارای سه نقطه تعادل مثبت می‌باشد. (Cui et al., 2008)

5- پایداری

درین بخش می‌خواهیم پایداری نقاط تعادل سیستم (1-4) را اثبات کنیم.

لم 5-1 نقطه تعادل $E_0 = (0, 0, 0)$ ناپایدار است.

اثبات: متریکس ژاکوبین را در مبدا حساب می‌کنیم که عبارتند از

$$J(0,0,0) = \begin{bmatrix} 1+b\phi_1 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{1+(c+d)\phi_2} & 0 \\ 0 & \frac{c\phi_3}{1+\gamma\phi_3} & \frac{1}{1+\gamma\phi_3} \end{bmatrix} \quad (1-5)$$

که مقادیر ویژه متریکس فوق عبارتند از:

$$1+b\phi_1, \frac{1}{1+(c+d)\phi_2}, \frac{1}{1+\gamma\phi_3}$$

و چون $1+b\phi_1 > 1$ است پس مبدا ناپایدار می باشد.

اکنون متریکس ژاکوبین را در نقطه $J(k, 0, 0)$ محاسبه می نماییم.

$$J(k, 0, 0) = \begin{bmatrix} 1 - \frac{b\phi_1}{1+b\phi_1} & 0 & -\frac{\mu k\phi_1}{1+b\phi_1} \\ 0 & \frac{1}{1+(c+d)\phi_2} & \frac{\mu k\phi_2}{1+(c+d)\phi_2} \\ 0 & \frac{c\phi_3}{1+\gamma\phi_3} & \frac{1}{1+\gamma\phi_3} \end{bmatrix} \quad (2-5)$$

بدیهی است که $1 - \frac{b\phi_1}{1+b\phi_1} < 1$ بدین ملحوظ متریکس B را به صورت زیر تعریف می کنیم.

$$B = \begin{bmatrix} \frac{1}{1+(c+d)\phi_2} & \frac{\mu k \phi_2}{1+(c+d)\phi_2} \\ \frac{c\phi_3}{1+\gamma\phi_3} & \frac{1}{1+\gamma\phi_3} \end{bmatrix}$$

برای اثبات اینکه تمام مقادیر ویژه در نقطه $J(k, 0, 0)$ کمتر از یک است کافیست نشان دهیم که:

$$\det B < 1, trB < 1 + \det B$$

دیترمینانت متریکس B را محاسبه می‌کنیم که عبارتند از:

$$\det B = \left(\frac{1}{1+(c+d)\phi_2} - \frac{c\phi_3 \mu k \phi_2}{1+\gamma\phi_3} \right) < 1$$

اکنون نشان می‌دهیم که $trB < 1 + \det B$. که این شرط معادل است با اینکه

$$\begin{aligned} & [1+(c+d)\phi_2 + 1+\gamma\phi_3] (1+\gamma\phi_3) [1+(c+d)\phi_2] \\ & < [1+(c+d)\phi_2]^2 (1+\gamma\phi_3)^2 + [1+(c+d)\phi_2] (1+\gamma\phi_3) (1-\mu k \phi_2 \phi_3) \\ & \gamma(c+d)\phi_2 \phi_3 - \mu k \phi_2 \phi_3 > 0. \end{aligned}$$

بنابراین اگر $R_0 < 1$ باشد رابطه فوق برقرار است و می‌توانیم از بحث بالا قضیه ذیل را بنویسیم. (Sedaghat, 1998)

قضیه 5-1:

اگر $R_0 < 1$ باشد نقطه تعادل $J(k, 0, 0)$ پایدار مجانبی است و اگر $R_0 > 1$ باشد ناپایدار است. (Raza et al., 2025)

قضیه 5-2:

فرض کنید $m = 0$ است، آنگاه اگر $R_0 < 1$ باشد آنگاه نقطه تعادل $(k, 0, 0)$ پایدار مجانبی فراگیر است.

اثبات: فرض کنید $F: R_+^2 \rightarrow R_+^2$ بوده و برای هر $(E, I) \in R_+^2$ به صورت زیر تعریف شده باشد.

$$F(E, I) = (f_1, f_2)(E, I) = \left(\frac{E + \mu k I}{1 + c + d}, \frac{I + cE}{1 + \gamma} \right) \quad (3-5)$$

اکنون تابع لیاپانوف را تعریف می‌کنیم.

$$V(E, I) = c(1 + c + d)E + (1 + \gamma)(c + d)I \quad (4-5)$$

تابع V مثبت است و معین است. (Elaydi, 2005)

$$\begin{aligned} V(E, I) &= c(1 + c + d)E + (1 + \gamma)(c + d)I \\ \Delta V(E, I) &= V(F(E, I)) - V(E, I) \\ &= c(1 + c + d)(f_1(E, I) - E) + (1 + \gamma)(c + d)(f_2(E, I) - I) \\ &= c(1 + c + d)\left(\frac{E + \mu k I}{1 + c + d} - E\right) + (1 + \gamma)(c + d)\left(\frac{I + cE}{1 + \gamma} - I\right) \\ &= [\mu ck - \gamma(c + d)]I - \gamma(c + d)(R_0 - 1)I. \end{aligned}$$

با توجه به اینکه $R_0 < 1$ پس $\Delta V(E, I) \leq 0$ هم‌چنین $\Delta V(E, I) = 0$ اگر $I = 0$ یا $R_0 = 0$ باشد. فرض کنید:

$$G = \left\{ (E, I) \in R^2 \mid 0 \leq E + I \leq \frac{bk}{L}, l = \min\{b, d, \gamma\} \right\}$$

بنابراین ست فرعی پایا ماکزیمال از

$$\{(E, I) \in G \mid \Delta V(E, I) = 0\} \quad (5-5)$$

برابری با $\{(0, 0)\}$ که با استفاده از اصل پایداری لاسال نتیجه می شود که مبدا جاذب فراگیر است.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} E_n = 0, \lim_{n \rightarrow \infty} I_n = 0, \quad (6-5)$$

اکنون برای پایداری فراگیر نقطه تعادل $(k, 0, 0)$ کفایت نشان دهیم که

$$\liminf_{n \rightarrow \infty} S_n \geq k. \quad (6-6)$$

با استفاده از اینکه $\lim_{n \rightarrow \infty} I_n = 0$

برای هر $\varepsilon > 0$ و $n_0 \in \mathbb{N}$ موجود است به طوریکه برای هر $n \geq n_0$ ، $I_n < \varepsilon$.

با توجه به معادله اول سیستم (4-3) برای هر $n \geq n_0$ داریم که:

$$S_{n+1} = \frac{(1+b)S_n}{1 + \frac{b}{k}S_n + \mu I_n} > \frac{(1+b)S_n}{1 + \frac{b}{k}S_n + \mu \varepsilon}$$

فرض کنید $S_n = \frac{1}{w_n}$ درینصورت برای هر $n \geq n_0$ داریم که:

$$w_{n+1} < \frac{1 + \mu \varepsilon}{1 + b} w_n + \frac{b}{(1+b)k}$$

لذا برای هر $n \geq n_0$

$$w_n < \left(\frac{1 + \mu \varepsilon}{1 + b} \right)^n w_0 + \left[1 - \left(\frac{1 + \mu \varepsilon}{1 + b} \right)^n \right] \frac{b}{K(b - \mu \varepsilon)}$$

با توجه به اینکه $\varepsilon > 0$ دلخواه است، پس داریم که:

$$\limsup_{n \rightarrow \infty} w_n \geq \frac{1}{k}.$$

بنابراین می‌توانیم بنویسیم.

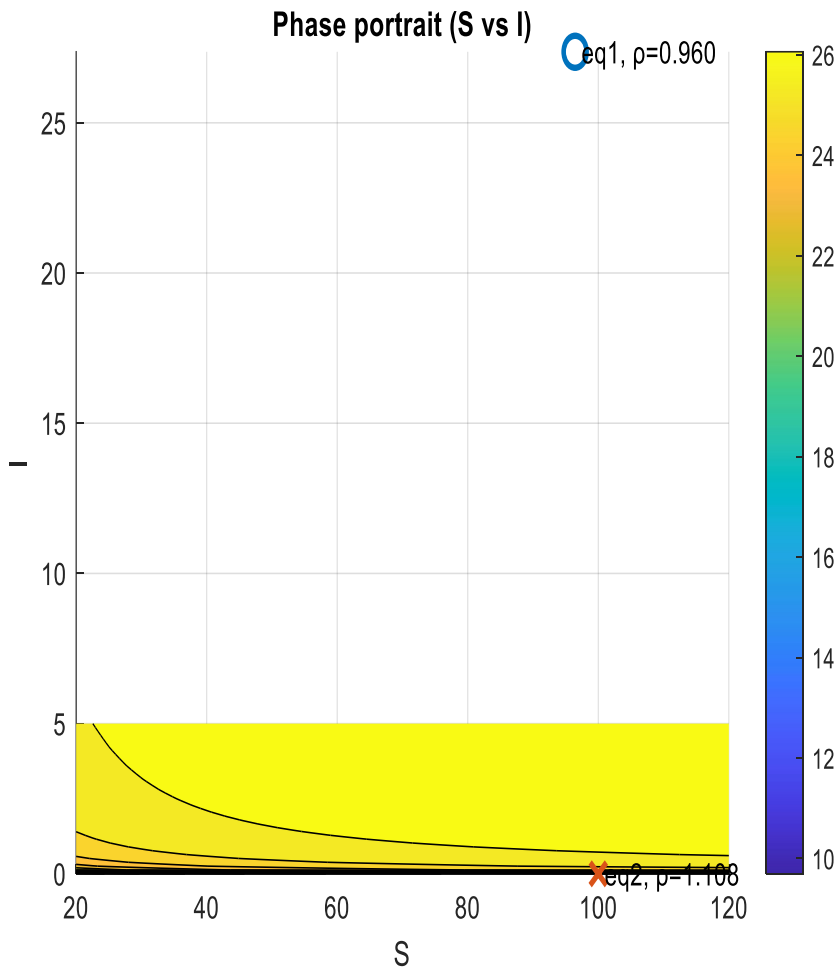
$$\liminf_{n \rightarrow \infty} s_n \geq k. \quad (6-7)$$

که رابطه فوق بیانگر پایداری فراگیر نقطه تعادل $(k, 0, 0)$ می‌باشد. (Memarbashi, 2008)

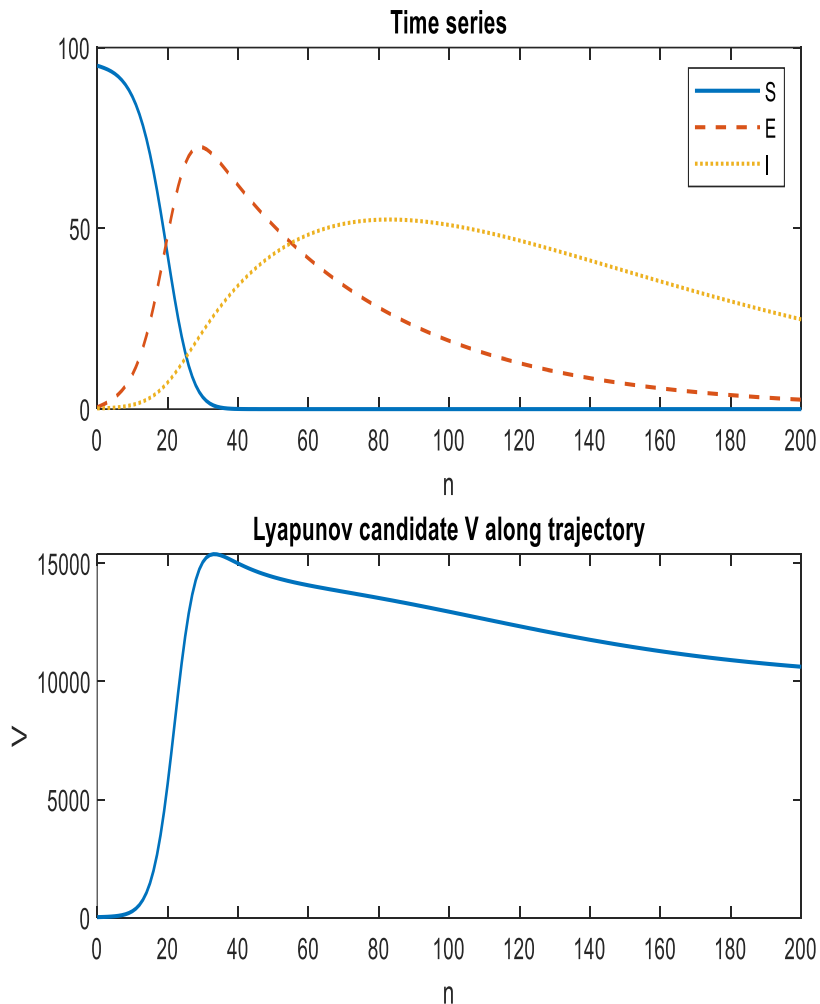
6- جدول مقایسه بررسی پایداری لیاپانوف با دو روش دیگر

ویژگی‌ها	پایداری لیاپانوف	پایداری خطی سازی	روش جذور مشخصه
نوع سیستم	خطی و غیر خطی	نزدیک نقطه تعادل	فقط خطی
نیاز به خطی سازی	ندارد	دارد	دارد
تحلیل دور از تعادل	می‌تواند	نمی‌تواند	نمی‌تواند
پایداری سراسری	ممکن است	خیر	خیر
دقت در نقاط بحرانی	بلی	خیر	خیر
پیچیدگی محاسباتی	دقیق	گاهی گمراه کننده	قابل استفاده نیست

جدول ۱ (مقایسه روش‌ها)



شکل ۱: نمودار فاز سیستم



شکل ۲: گراف پایداری نقاط تعادل و سری زمانی سیستم می باشد که در گراف دومی به وضوح منحنی پایداری را نشان می دهد.

نتیجه‌گیری

درین تحقیق ما مدل تاثیر رسانه بر کنترل بیماری سرایت‌کننده سارس را مورد مطالعه قرار دادیم، که ابتدا با استفاده از روش غیر استاندارد می‌گنز گسسته‌سازی نمودیم و دستگاه پیوسته زمان را به دستگاه گسسته زمان مبدل نمودیم، و دریافتیم که با تغییر سیستم در اصلیت سیستم تفاوت ایجاد نمی‌گردد، یعنی پس از گسسته‌سازی دینامیک سیستم تفاوت با دینامیک پیوسته زمان ندارد. و سپس نقاط تعادل را دریافت نمودیم و اثبات کردیم که اگر در مدل مذکور تاثیر رسانه را در نظر بگیریم سیستم یک نقطه تعادل داشته اما اگر تاثیر رسانه را مثبت در نظر بگیریم سیستم حداکثر دارای سه نقطه تعادل مثبت می‌باشد یعنی تاثیر رسانه در کنترل بیماری بسیار مهم و نقش ارزنده را ایفا می‌نماید. ما پایداری نقاط تعادل را با استفاده از پایداری لیاپانوف و پایداری به اثبات رسانیدیم و نشان دادیم در صورت که تاثیر رسانه را کمتر در نظر بگیریم در پایداری نقاط تعادل تغییرات چشمگیری رخ می‌دهد و بالاخره درین تحقیق دست یافتیم به این موضوع که تاثیر رسانه بر کنترل بیماری نهایت موثر بوده و اگر تاثیر رسانه نباشد، بیماری مذکور به سرعت گسترش خواهد یافت.

منابع و مآخذ

- Bischi, G. I. (2024). A fractional order numerical study for the influenza disease mathematical model. *The 29th International Conference on Difference Equations and Applications (ICDEA 2024)*, 31.
- Cui, J., Sun, Y., & Zhu, H. (2008). The impact of media on the control of infectious diseases. *Journal of Dynamics and Differential Equations*, 20(1), 31–53.
- Elaydi, S. (2005). *An introduction to difference equations*. Springer.
- Gómez-Silva, F., Zaera, R., & Askes, H. (2024). Discrete-continuum-discrete approach for the modeling of the

- dynamic behaviour of 2D lattice systems. *Thin-Walled Structures*, 112182.
- Jódar, L., Villanueva, R. J., Arenas, A. J., & González, G. C. (2008). Nonstandard numerical methods for a mathematical model for influenza disease. *Mathematics and Computers in Simulation*, 79(3), 622–633.
- Kelley, W. G., & Peterson, A. C. (2001). *Difference equations: an introduction with applications*. Academic press.
- Marszalek, W. (1984). Two-dimensional state-space discrete models for hyperbolic partial differential equations. *Applied Mathematical Modelling*, 8(1), 11–14.
- Memarbashi, R. (2008). Sufficient conditions for the exponential stability of nonautonomous difference equations. *Applied Mathematics Letters*, 21(3), 232–235.
- Michel, A. N., Hou, L., & Liu, D. (2008). *Stability of dynamical systems*. Springer.
- MICKENS, R. E. (2005). Discrete models of differential equations: the roles of dynamic consistency and positivity. In *Difference equations and discrete dynamical systems* (pp. 51–70). World Scientific.
- Murray, J. D. (2007). *Mathematical biology: I. An introduction* (Vol. 17). Springer Science & Business Media.
- Raza, A., Ali, K., Sattar, S., Fadugba, S. E., & Jeeva, N. (2025). Mathematical Modeling and Numerical

Simulations of Influenza Transmission Dynamics with Structured Infectious Population. *Advanced Theory and Simulations*, e00236.

Sedaghat, H. (1998). Geometric stability conditions for higher order difference equations. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 224(2), 255–272.

The Impact of Drugs on Immune System Function and Increased Susceptibility to Infectious Diseases

Authors; Mohammad Hamid Mohammadi^{1*}, Sayyed Mohammad Hashimy², Nabiullah Ghorzang³

1.2 Faculty Members of the Department of Biology, Faculty of Education, Daikundi University

3 Faculty Member of the Department of Biology, Faculty of Education, Nangarhar University

Contact#; 0771030209 E-mail; hamid.mohammadi1030@gmail.com

Abstract

Substance abuse is one of the most significant societal health and social issues, with the effect of weakening the immune system and predisposing individuals to infections. The objective of this narrative review is to investigate the influences of different substances on immune and infection vulnerability, their biological processes, and the management of such impacts. Some 45 published works that were found in PubMed, Scopus, Web of Science, Nature, and ScienceDirect were examined. It has been shown that opioids, stimulants, cannabinoids, nicotine, and alcohol impair the immune cell function of the body by suppressing the immune cell activity, disrupting the balance of cytokines, augmenting the oxidative stress, and altering the microbiome. This means that chronic users, especially injecting drugs, are more exposed to HIV, hepatitis B and C, tuberculosis, and opportunistic infections, and have poor immune responses to vaccines and treatments. It is indicated that specific measures, such as substance disuse or reduction, opioid substitution therapy, lifestyle change, vitamin- and micronutrient-rich diets, physical exercises, and stress exposures, may improve the immune system and minimize the risk of infection. Conclusion: Chronic substance use is a high-level immunosuppressive determinant, and the inclusion of biological, therapeutic, and educational programs in prevention and treatment interventions can decrease health outcomes of infections. To come up with more effective preventive and curative measures, future studies must concentrate on genetic, epigenetic, and chronic substance use's long-term immunological effects.

Keywords: Drug Abuse; Immune System; Infectious Diseases; Immune Suppression; Biological Mechanisms

Review: The role of the HPA axis in the development of psychological disorders and addiction

Sayyed Mohammad Hashimy^{1*}, Mohammad Hamid Mohammadi²

1,2 Faculty Members of the Department of Biology, Faculty of Education, Daikundi University

Phone: 0776985118 Email: smhashimy@dhei.edu.af

Abstract

The hypothalamic-pituitary-adrenal (HPA) axis is acknowledged as one of the main mechanisms that are involved in the stress response in the body and plays an important part in the control of cortisol secretion and neuroendocrine homeostasis. This paper will focus on how a change in the functioning of the HPA axis affects the emergence of psychiatric disorders and addiction. The study was undertaken in the form of a narrative review, where the scientific sources associated with the keywords related to the HPA axis, mental disorders, and addiction in the period of the search in the *PubMed* and *Web of Science* databases (2000-2020). The selection of studies to be analyzed was done after screening according to set inclusion and exclusion criteria. The review aimed to review the results concerning the relationship between HPA axis dysregulations and depression, anxiety, post-traumatic stress disorder, and substance use disorders. These findings show that hyperactivity and hypoactivity of the HPA axis are linked to substantial changes in the level of cortisol and stress reactions that are related to the development and maintenance of mental disorders, as well as the heightened risk of substance consumption. In addition, the interplay between the neurotransmitter systems, including dopamine and serotonin, and the HPA axis, has been found to support the addictive behaviors. Based on these findings, the alteration of the HPA axis functioning is suggested as one of the possible ways of prevention and treatment of psychiatric disorders and addiction.

Keywords: Addiction; Stress; Disorders; Cortisol; HPA Axis

Application of Green Solvents in the Extraction of Medicinal Plants: A Review

Authors: Gholam Mohammad Hamdard¹ and Sayed Mohammad Ramish²

¹ Lecturer, Department of Chemistry, Daykundi University

² Lecturer, Department of Chemistry, Daykundi University

Abstract

In this research, green solvents and their applications in the extraction of bioactive compounds from medicinal plants have been examined. With the growing global focus on environmental protection and human health, the use of green solvents as a safe and sustainable alternative to common organic solvents in the extraction process of medicinal plants has gained significant importance. This study investigates modern extraction methods for obtaining the active compounds of medicinal plants using green solvents such as natural solvents, including water, ethanol, glycerol, and certain vegetable oils. These solvents, due to features such as lower toxicity, environmental compatibility, practical applicability, high extractability, and high extraction yield, hold a special place in the pharmaceutical, cosmetic, healthcare, and food industries. In this study, the advantages, challenges, and key features of green solvents are highlighted, demonstrating that the use of green solvents not only reduces environmental impacts but can also lead to more efficient extraction of vital active compounds. The findings of this review emphasize the necessity of developing and improving green extraction technologies to achieve sustainable production of plant-based products. In recent years, the growing attention toward sustainable development and environmental protection has increased the use of green solvents in the extraction of active compounds from medicinal plants. This article focuses on examining the types of green solvents, their advantages and disadvantages, and their comparison with traditional extraction methods. It also analyzes the pharmaceutical, food, and cosmetic applications of compounds extracted through these methods, offering researchers an effective guideline for better understanding and improving knowledge of green solvents and their benefits.

Keywords: medicinal plants; green extraction; natural solvents; sustainable development; vital active compounds.

Review of the Types of Titration Graphs

Jumakhan Wasig

Department of Chemistry, Faculty of Education, Daykundi University

jumakhan.wasig33@gmail.com

Abstract

Types of titration graphs are an important issue. Titration graphs are used to prevent errors and increase accuracy in obtaining the concentration of acids or bases. and shows the pH evolution during the titration operation. A titration graph is a graphical representation of the pH changes of a solution when a standard solution is added to a certain amount of the test solution. Or in other words, in the titration process, the acid and base being titrated or the solution being tested are: The concentration of hydrogen ions changes. This change can be presented in the form of a titration curve, presented in quantitative terms. Titration graphs are drawn for four important operations. The first of which is strong acids with strong bases; Which is well separated and form a salt in their aqueous solution. The second is the titration of weak bases with strong acids, where the base does not dissociate well. The length of its graph is short compared to that of a strong acid with a strong base. Third, a weak acid is titrated with a strong base, where the acid is not dissociated well, and its equilibrium point occurs in a slightly alkaline environment. The fourth is a weak acid with a weak base, both of which are not well dissociated, whose graph length is short, and whose pH value is almost constant. The goal of this research is to examine the types of titration graphs to determine the amount of acid and base in solutions and track the progress of the interaction. This research was conducted using the library method, and its information was collected.

Keywords: base; dissolution; titration; acid; pH.

Investigation of Adhesive Production from Apricot Tree Gum **Type of Scientific Article: (Research)**

Authors: Nazar Ali Yazdani¹, Sayed Mohammad Ramish², Mohammad Akbar Hasani³, JumaKhan Wasiq⁴, and Mohammad Yousuf Joyan⁵

Master's Student, Chemical Industry Engineering Program ¹

Lecturer, Department of Chemistry, Daykundi University ²

Lecturer, Master's Program, Kabul Polytechnic University ³

Lecturer, Department of Chemistry, Daykundi University ⁴

Lecturer, Master's Program, Kabul Polytechnic University ⁵

Abstract

In recent years, much research has been conducted on the development of new adhesives, the reason for this is their diverse applications. Each type of adhesive has specific properties, and the properties of the products made depend largely on its Compositional characteristics. Adhesives are divided into two categories: natural and synthetic. Natural adhesives include adhesives made from gum, protein, resin, and other natural materials. The variety of formaldehyde resins is very wide. This resin has different properties based on the type of application, which depends on the resin production process. The main characteristics of adhesives that have a synthetic source are the need for complex technology, non-renewability, high strength, toxicity, and resistance to heat, pressure, and high weight bearing. While vegetable gums are available resources, easy to use, environmentally friendly, safe, and renewable, they are used as the main sources for many traditional and industrial adhesives. Key differences in composition between different types of gum and production conditions cause changes in viscosity, moisture stability, and tack. The Overall goal of this research is to produce a natural (vegetable) based adhesive, and the research method used in this article is research and based on experience (practical), meaning that, practically using production resources (apricot tree gum, glycerin), an adhesive has been obtained that can be used in book binding and light work.

Keywords: Adhesive industry; Apricot gum; Natural adhesives; Synthetic adhesives.

Climate-Resilient Agriculture and Its Strategies for Adaptation to Climate Change

¹Reza Shaheen and ²Nasrollah Nasrat

^{1and2} Academic Members, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Daikandi University
reza.shaheen2019@gmail.com

Abstract

Climate change has a wide range of impacts on various sectors, including agriculture, water, and the environment. The importance of adaptation to climate change in agriculture is particularly significant due to its vulnerability to climatic hazards compared to other economic sectors. Adaptation strategies in agriculture must be designed and implemented to minimize damage while also preserving the livelihoods of a large number of families engaged in this sector. Given the existence of various criteria, it is necessary to utilize decision-making techniques to prioritize and select the most appropriate adaptation mechanisms. Therefore, the present study aims to examine the criteria and techniques for prioritizing and identifying the most suitable adaptation strategies to climate change in the agricultural sector. Based on the research findings, adaptation mechanisms in agriculture are categorized into two main areas: costs and benefits. The cost section focuses on minimizing maintenance and other associated costs, while the benefits are divided into five sub-categories: institutional-political, environmental, social, economic, and climatic. Various methods and techniques for prioritizing and selecting appropriate mechanisms have been proposed, but it cannot be recommended to use one method in all situations; rather, the choice must be tailored to the specific conditions, objectives, and available information resources. The present research is a review study that has been conducted based on books, articles, and reputable scientific information websites.

Keywords: adaptation; adaptation strategies; agriculture; climate change;

Analysis of climate change in Afghanistan

Mohammad Sadiq Merzai^{1*}, Yasin Kawasr², Mohammad Nabi Jawid³

^{1&3}Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Daikundi University.

² Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Daikundi University.

Abstract

Climate change studies are divided into two parts: modeling climate change and the consequences of climate change. This research focuses on the second part of the research, which is the consequences of climate change in Afghanistan. Therefore, in the first stage, the topics were divided into several categories, including the impact of climate change on the occurrence of environmental hazards, water resources, economy, and agriculture, as well as its impact on social outcomes and residences that have been conducted so far in Afghanistan. Finally, the analysis of these topics, the method used in this study, included library studies and searching in scientific citation centers, SID, and Science Direct. Based on the results of this research, the review of resources indicated that according to most researchers, the most important consequence of the phenomenon of climate change in Afghanistan is the increase in climatic variations, which generally changes the patterns of climate either with different time intervals or their occurrence is more or less than the average. Climatic change refers to directional changes in the average climatic parameters over a long-term period, but according to the results of the studies examined, different phenomena, such as drought, have been more prevalent than other phenomena.

Keywords: Afghanistan, Climate Change, Economic, social, Water resources

Sustainable Land Management Practices and Strategies for Desertification Control

Yadullah Mahmoodi¹, Kobra Kazimi², Yasin Kawsar³

^{1&2}Department of Forestry and Natural Resources, Faculty of Agriculture,
Daykundi University

³Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Daykundi University

yadullah.mahmoodi@dhei.edu.af

Abstract

Sustainable land management (SLM) is an integrated approach that combines agricultural, environmental, economic, social, and political dimensions and plays a crucial role in enhancing agricultural productivity and ensuring food security. In recent decades, land degradation and desertification have intensified as a result of declining vegetation cover, climate change, and the excessive and unplanned exploitation of land resources by human activities. Desertification has emerged as one of the most critical challenges in natural resource management and the agricultural sector, posing serious threats to environmental sustainability and long-term development. This process is particularly severe in arid and semi-arid regions characterized by hot and dry climatic conditions and represents a global environmental concern that requires context-specific management strategies. The objective of this study is to examine the relationship between sustainable land management practices, desertification control, agricultural production, and its role in food security in Afghanistan. A descriptive methodology based on an extensive review of relevant scientific literature was employed. The findings indicate that effective desertification control depends on the implementation of sustainable land management practices, including agroforestry systems, integrated water resource management, soil stabilization and conservation measures, improvement of soil fertility, and the adoption of appropriate cropping patterns. These practices involve both short-term (annual) and long-term management strategies that contribute to land restoration and productivity enhancement. Afghanistan, as a developing country with predominantly arid and semi-arid climatic conditions, is highly vulnerable to land degradation. However, the effective implementation of sustainable land management approaches can substantially reduce desertification, enhance agricultural productivity, and improve food security, thereby supporting sustainable development.

Keywords: Desertification; Food Security; Sustainable Development; Vegetation Cover; Climate Adaptation

Application of the Finite Element Method to the Numerical Solution of the Two-Dimensional Laplace Equation.

Mohammad Ali Zirak¹, Abbas Poya²,

¹Department of Mathematics, Faculty of Education, Daykundi University

² Department of Mathematics, Faculty of Education, Daykundi University

Zeerak@dhei.edu.af

Abstract

The two-dimensional Laplace equation is one of the widely used partial differential equations in science and engineering, applied in analyzing phenomena such as heat transfer, electrostatics, and fluid flow (such as water or air flow in various environments). This paper examines the finite element method (FEM) for the numerical solution of this equation in a two-dimensional domain. First, the weak form of the Laplace equation is derived using the Galerkin method, and the domain of interest is subdivided into smaller elements. Then, using linear or higher-order basis functions, local stiffness matrices are constructed for each element and assembled into the global system matrix. Various boundary conditions, including Dirichlet boundary conditions, are applied to the model, and the resulting system of linear equations is solved using appropriate numerical methods. The numerical simulation results are compared with analytical solutions, and the accuracy and efficiency of the finite element method are evaluated. This study shows that the finite element method, due to its flexibility in modeling irregular domains, ability to handle complex boundary conditions, and high accuracy in approximating solutions, is an effective and powerful tool for solving the two-dimensional Laplace equation. Additionally, the influence of element size and type of basis functions on the accuracy of the results is examined, and recommendations for improving computational efficiency are provided.

Keywords: Differential Equations; Partial Differential Equations; Two-dimensional Laplace equation; Finite Element Method (FEM).

Improving food security across communities.

¹Nasrullah Nasrat and ²Reza Shahin

^{1,2}Academic Members, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Daikundi University

nasrullahnusrat@gmail.com

Abstract

In recent years, food security has become one of the main focuses of attention for development institutions, policymakers, and researchers at both national and international levels. Poverty, inequality, and food insecurity remain among the fundamental challenges of the twenty-first century, with the most severe negative impacts affecting the vulnerable groups of society, especially women, children, and rural populations. Therefore, food security is not only regarded as one of the basic human needs but also as a prerequisite for achieving sustainable development, social justice, and public welfare around the world. This concept goes beyond the mere provision of food and encompasses various dimensions such as physical and economic access to adequate, safe, and nutritious food, proper and healthy utilization of food, and sustainability in food production, distribution, and consumption. According to the definition provided by the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), food security has four essential dimensions: availability, accessibility, utilization, and stability. Food security is achieved when all individuals, at all times, have access to sufficient, safe, and nutritious food to maintain a healthy and active life. This paper examines the history and importance of food security, its key dimensions and indicators, the factors threatening food security at global and national levels, and finally, scientific and practical strategies to improve the state of food security, providing a basis for effective policymaking and sustainable planning.

Keywords: Agricultural Development; Challenges; Concepts and Food Security.

Discretization and stability study of the mathematical model of the impact of the media on the control of the SARS epidemic

1. Zia, Wahdat, Faculty of Education, Mathematics Department, Daykundi University, z.wahdat@dhei.edu.af -0707090694
2. [Norudin, Fakhri, Faculty of Education, Mathematics Department, Badakhshan University, \[nooruddinfakhri95@gmail.com\]\(mailto:nooruddinfakhri95@gmail.com\) -0791723368](#)

Abstract

SARS is an infectious and contagious disease that first appeared in November 2002 in China and rapidly spread throughout Asia and other parts of the world. Due to the public's initial lack of awareness about this disease, a large number of individuals became infected. This raises the question of whether media coverage plays a role in the spread or control of such diseases. In this study, we investigated a model of the impact of media on controlling the spread of SARS in a specific region. The population of the region was divided into three groups: susceptible individuals, individuals in the incubation period, and infectious individuals capable of transmitting the disease. Using the nonstandard Mickens discretization method, the model was discretized, and the equilibrium points were obtained and their stability analyzed. Our results indicate that when the effect of media on disease control is considered zero, the system possesses a single equilibrium point; however, when a positive media influence is taken into account, the system can have up to three positive equilibrium points, all of which are stable. This demonstrates that media influence plays a highly effective role in controlling the spread of SARS. The study, conducted through a library-based (theoretical) approach, concludes that media impact is of critical importance to the stability of the system and serves as a valuable factor in disease control.

Keywords: discretization, Stability, Mathematical model of infectious diseases, fixed points