



کاربرد تصاویر RGB به منظور ارزیابی پارامتر کیفی آب در تالاب انزلی

محدثه توکلی نویری^{۱،۲*}، محمدجواد چایچی^۳

- ۱- دانشجوی دکتری، شیمی تجزیه، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران
۲- کارشناس پژوهشی، پژوهشکده محیط زیست جهاد دانشگاهی گیلان، رشت
۳- استاد، شیمی تجزیه، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: پژوهشی	تالاب‌ها، یکی از بارزترین زیست‌بوم‌های دنیا هستند. این زیست‌گاه‌های حیاتی و متنوع، از جمله نظام-های حیات‌بخش فاقد جایگزین به حساب می‌آیند. لیکن، هیچ‌یک از زیست‌بوم‌های جهان به اندازه‌ی تالاب‌ها صدمات و خسارات انسان‌محور را تجربه نکرده‌اند. از عوامل اصلی تهدید تالاب‌های گیلان، عوامل انسانی مانند فاضلاب‌های شهری و خانگی، صنعتی، صید بی‌رویه و تبدیل زمین‌های حاشیه‌ی تالاب به زمین‌های کشاورزی هستند. در این مطالعه، از تصاویر RGB، برای بررسی پارامتر کیفی آب تالاب انزلی (ایستگاه جزیره‌ی بهشتی)، استفاده شد و داده‌های مربوط به آن، با مقادیر حاصل از سنجش TSS مقایسه شد. براساس داده‌های به دست آمده، شدت رنگ قرمز (R) در تصاویر ماکروسکوپی (با چشم غیرمسلح) از تالاب، می‌تواند یک شاخص محیط زیستی، به منظور اندازه‌گیری غلظت TSS باشد. بررسی نتایج حاصل از آنالیز RGB نیز، برای رنگ قرمز با ضریب همبستگی ۰/۸۵۱۳، برای رنگ سبز (G) با ضریب همبستگی ۰/۸۳۲ و برای رنگ آبی (B) با ضریب همبستگی ۰/۶۶۳، به دست آمد. در نهایت، یک ضریب همبستگی ($R^2=0/8035$) بین کاهش مقادیر RGB و افزایش غلظت TSS، حاصل شد. پارامترهای دیگری، مانند pH و آزمون عمق سکی، در این مطالعه مورد سنجش قرار گرفتند.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۱۳	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۰۱	
دسترسی آنلاین: ۱۴۰۳/۰۱/۱۸	
کلید واژه‌ها: تالاب، فاضلاب، آلاینده، RGB TSS	



Assessment of Water Quality parameter using RGB images in Anzali wetland

Mohadeseh Tavakoli Noveiri^{1,2*}, Mohammad Javad Chaeichi³

1- PhD Candidate, Department of Analytical Chemistry, Faculty of Chemistry, University of Mazandaran, Mazandaran, Iran

2- Academic Center for Education, Culture and Research (ACECR), Environmental Research Institute, Rasht, Iran

3- Professor, Department of Analytical Chemistry, Faculty of Chemistry, University of Mazandaran, Mazandaran, Iran

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received:
04/11/2023

Accepted:
21/01/2024

Available online:
06/04/2024

Keywords:

wetland,
wastewater,
pollutants,
RGB,
TSS

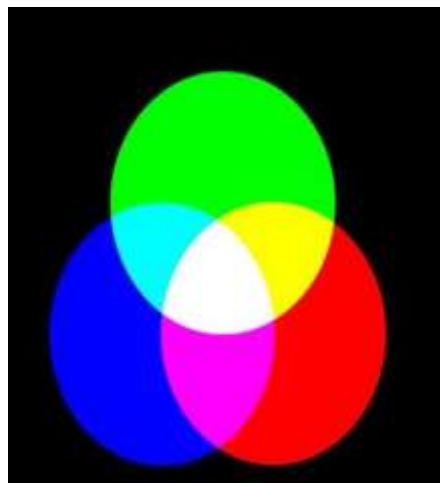
Abstract

Wetlands are one of the most prominent ecosystems in the world. These vital and diverse habitats are among life-giving systems that have no alternative. However, none of the world's ecosystems have experienced human-centered injuries and damages as much as wetlands. One of the main threats to Gilan wetlands are human factors such as urban, domestic and industrial wastewater, overfishing and converting wetland marginal lands into agricultural lands. In this study, RGB images were used to assess the water quality parameters of Anzali wetland (Beheshti Island Station) and the related data were compared to the values obtained from the TSS measurement. Based on the obtained data, the intensity of red color (R) in the macroscopic images (with the naked eye) from the wetland can be an environmental indicator to measure TSS concentration. The results of RGB analysis for red color with a correlation coefficient of 0.8513, for green color (G) with a correlation coefficient of 0.832 and for blue color (B) with a correlation coefficient of 0.663 were obtained. Finally, a correlation coefficient ($R^2=0/8035$) between the decrease of RGB values and the increase of TSS concentration was obtained. Other parameters such as pH and Secchi Depth test were also measured in this study.

* Corresponding author E-mail address: mohadesetavakoli000@gmail.com

مقدمه

مجموعه‌ی تالاب انزلی در مجاورت شهر بندرانزلی و در عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۳ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی، در ساحل غربی دلتای رودخانه‌ی سفیدرود و در ارتفاع ۲۳ متر پایین‌تر از سطح آب‌های آزاد قرار دارد (منوری، ۱۳۹۹). تالاب انزلی، از شمال به دریای کاسپین، از شرق به روستای پیربازار، از غرب به کیورچال و آبکنار و از جنوب به صومعه‌سرا و قسمتی از شهرستان رشت، محدود می‌شود (توکلی و ثابت‌رفتار، ۱۳۸۱). مساحت تالاب انزلی در وضعیت فعلی، با استفاده از عکس‌های ماهواره‌ای حدوداً ۱۶۷۷۹ هکتار و حجم آن، ۱۶۰ میلیون متر مکعب است (بهروزی راد، ۱۳۷۷). اما مساحت ثبت‌شده‌ی آن در کنوانسیون رامسر ۱۵ هزار هکتار اعلام شده است (توکلی و ثابت‌رفتار، ۱۳۸۱). آب‌های ورودی به تالاب انزلی، توسط پنج آبراه بزرگ که به زبان محلی روگا نامیده می‌شوند، از تالاب خارج شده و از طریق کانال کشتی‌رانی به آب‌های دریای خزر می‌پیوندند (خسروی و همکاران، ۱۳۹۰). مقدار زیادی از انواع فاضلاب‌ها وارد تالاب می‌شوند و سالانه ۳۰ میلیون مترمکعب فاضلاب شهری و روستایی، فاضلاب کشاورزی شامل ۱۵۰۰ تن کود و ۴۱۵ هزار لیتر سم، فاضلاب‌های صنعتی و ۴۴ واحد دیگر، مستقیماً وارد رودخانه شده و نهایتاً وارد تالاب می‌شوند (مولایی هاشجین و دادرس، ۱۳۸۵). حدود ۵۰ درصد کل آلاینده‌های آلی وارد شده به تالاب، از طریق رودخانه-ی پیربازار است که این نشان می‌دهد؛ کیفیت آب تالاب، به شدت تحت تأثیر تخلیه‌ی فاضلاب‌های شهری از شهر رشت است (منوری، ۱۳۷۴). عوامل طبیعی تخریب تالاب‌ها، شامل خشکسالی‌ها و کاهش آب‌های ورودی است (منوری و همکاران، ۱۳۹۷). مطابق استاندارد (CIE RGB)، رنگ‌های پایه عبارتند از: قرمز با طول طیف رنگ ۷۰۰ نانومتر، سبز با طول طیف رنگ ۵۴۶/۱ نانومتر و آبی با ۴۳۵/۸ نانومتر. این مدل، تمام رنگ‌ها از ترکیب سه رنگ مذکور تشکیل می‌شود. با ترکیب رنگ‌های فوق‌الذکر که به آن‌ها ابتدایی می‌گویند، رنگ‌های ثانویه ایجاد می‌شوند. این رنگ‌ها مقادیر گسسته بین ۰ تا ۲۵۵ را دارا می‌باشند (اگر برای هر رنگ ۸ بیت در نظر گرفته شود) که همان مقادیر پیکسل است. (اصغرنژاد^۱ و صرافزاده^۲، ۲۰۲۰). در شکل (۱)، تصویری از سیستم تجمعی RGB، مشاهده می‌کنید.



شکل (۱) سیستم تجمعی RGB

^۱ . Asgharnejad

^۲ . Sarrafzadeh

در این پژوهش، روش‌هایی نوین مانند عمق سکی^۱ (SD) و آزمون آنالیز تصاویر RGB (با چشم غیرمسلح) و بررسی ارتباط بین آن‌ها و غلظت TSS آب تالاب انزلی به‌منظور پایش محیط زیستی وضعیت تالاب، به‌کار گرفته شده است. پارامتر pH نیز، در این مطالعه سنجیده شده است. نخستین بار، در سال ۱۸۶۵ میلادی، فیزیکدان ایتالیایی، پیترو آنجلو سکی^۲ برای تخمین شفافیت آب دریای مدیترانه از یک دیسک سفید استفاده کرد. عمق سکی، به عمقی اطلاق می‌شود که در آن، دیسک ناپدید می‌شود و شاخصی از ژرف‌ترین عمقی است که نور در آب نفوذ می‌کند. عمق سکی، شاخصی از میزان مجموع مواد معلق مختلط موجود در آب، مثل جلبک‌ها، ارگانیسیم‌های میکروسکوپی و رسوبات نیز، به‌شمار می‌آید (طاهری شهرآئینی، ۱۳۹۳). کل مواد جامد معلق یا TSS عبارت است از کل مواد جامد معلق در نمونه آب یا فاضلاب. pH، عبارت است از میزان هیدروژن اضافی در مقابل یون هیدروکسید موجود در آب (فدریشن^۳ و انجمن بهداشت عمومی آمریکا^۴، ۲۰۰۵). در طبیعت، بیشترین عامل اسیدی شدن آب‌ها فضولات صنعتی است و مقدار این آلاینده را در آب‌ها با الکتروود pH می‌توان سنجید. (استوار و توکلی، ۱۳۹۶). در این پژوهش، روشی نوین در جهت پایش محیط زیستی تالاب انزلی ارائه شده است. در سال‌های اخیر، پژوهش‌های دیگری در سراسر دنیا در ارتباط با مقادیر عددی حاصل از آنالیز RGB و دیگر آزمون‌های رایج و همچنین، سنجش پارامتر TSS و مقایسه‌ی آن با طول طیف‌های رنگی مختلف، به‌منظور پایش محیط‌زیستی، بررسی پارامترهای کمی و کیفی محصولات کشاورزی و ... انجام شده که در این پژوهش، به‌تعدادی از آن‌ها اشاره شده است. کاررس پریئتو^۵ و همکاران در سال ۲۰۲۲ میلادی، کاربرد سنسورهای فاضلاب مقرون‌به‌صرفه و دقیق، با استفاده از کاهش بخش‌هایی از طیف نورمرئی LED را مورد-بررسی قرار دادند. در این پژوهش، روشی برای سنجش پارامترهای COD، BOD₅، TSS، TN و TP نمونه‌های فاضلاب، با مطالعه در چند طول موج متعلق به گروه‌های رنگی مختلف محدوده‌ی طول موج (۷۰۰-۳۸۰ نانومتر) ارائه شد. در این مطالعه، مدل ۳۶، براساس الگوریتم ژنتیک محاسبه شد. همه‌ی مدل‌های محاسبه‌شده دقت بالایی را با R² بین ۸۰ تا ۸۵ درصد برای COD، BOD₅ و TSS نشان دادند (کاررس پریئتو^۶ و همکاران، ۲۰۲۲). هان^۷ و همکاران در سال ۲۰۱۴ میلادی، ارتباط بین مقادیر RGB تصاویر دیجیتال و رطوبت برگ را بررسی کردند. از شش گروه پارامترهای ویژگی رنگ برگ، از جمله میانگین، واریانس، انرژی، آنتروپی، آزمون‌های آماری کشیدگی^۸ و چولگی^۹، میانگین و کشیدگی، با رطوبت همبستگی قابل توجهی داشتند. ضریب همبستگی (R²) آزمون آماری میانگین رطوبت برابر با ۰/۷۰۱۷ و R² آزمون آماری کشیدگی رطوبت برابر با ۰/۷۱۷۵ ارائه شد. نتایج مطالعه ثابت کرد، می‌توان از تصاویر RGB برگ‌های بریده شده برای اندازه‌گیری میزان رطوبت استفاده کرد (هان و همکاران، ۲۰۱۴). مانیکاواساگان^{۱۰} و همکاران در سال ۲۰۱۴ میلادی، از تکنیک تصویربرداری رنگی RGB برای درجه‌بندی خرماها براساس سختی به سه دسته‌ی سخت، نیمه‌سخت و نرم استفاده کردند. در سه هدف طبقه‌بندی شده، بالاترین درصدها به ترتیب مربوط به خلاص با ۸۷ درصد، نقال با ۸۲ درصد و فرد با ۶۹ درصد است، این نتایج با استفاده از LDA این نتایج به‌دست آمد. تکنیک‌های تصویربرداری می‌توانند پتانسیل زیادی برای توسعه‌ی سیستم‌های نظارت کیفی آنلاین برای خرماها براساس سختی داشته باشند (مانیکاواساگان و همکاران، ۲۰۱۴). این روش، روشی ساده و راحت برای

¹ . Secchi Depth (SD)

² . Angelo Secchi

³ . Federation

⁴ . American Public Health

⁵ . Carreres-Prieto

⁶ . Carreres-Prieto

⁷ . Han

⁸ . kurtosis

⁹ . skewness

¹⁰ . Manickavasagan

آپراتور و بی‌نیاز به تنظیم طول موج در اسپکتروسکوپی است. به‌هرحال، روش‌های میکروسکوپی محدودیت‌های خاص خود، از جمله، هزینه‌ی بالا، تجهیزات پیچیده و اغلب، عدم امکان سنجش آنلاین را دارند. در این مطالعه، آنالیز RGB از تصاویر دیجیتالی برداشته شده از تالاب و استخراج مقادیر رنگ‌های قرمز، سبز و آبی از آن‌ها و مقایسه‌ی این مقادیر با داده‌های کمی آزمون آفلاین TSS می‌تواند به‌عنوان روشی کیفی برای بررسی‌های محیط زیستی مورد توجه قرار بگیرد.

مواد و روش‌ها

بررسی کاربرد تصاویر RGB به‌منظور ارزیابی پارامتر کیفی آب در ایستگاه جزیره‌ی بهشتی (با نام محلی قلم‌گوده) تالاب انزلی، به‌طور کلی در یازده مرحله (هفته‌های مختلف) انجام شد. برای اندازه‌گیری عمق سکی از دیسک سکی استفاده شد. متر متصل به آن، دارای طول سه متر و از جنس استیل بود. برای کاهش میزان خطا، اندازه‌گیری، توسط یک فرد، انجام گرفت. زمان اندازه‌گیری حوالی ساعات ظهر به‌وقت تهران، انتخاب شد و علت آن تابش عمودی نور خورشید در آن زمان بود. صفحه به‌صورت عمودی وارد آب شد. در عمقی که صفحه کاملاً غیرقابل رؤیت بود، اندازه‌گیری ثبت شده و به‌عنوان عمق سکی در - نظر گرفته شد. عمق رؤیت صفحه‌ی سکی، بیانگر انعکاس نور از سطح آن به‌طرف چشم محقق بوده که این مقدار تحت‌تأثیر مواد محلول و معلق موجود در آب قرار می‌گیرد. این آزمون دوبار انجام شد و از نتایج آن میانگین گرفته شد. نمونه‌برداری در ظرف‌های تمیز ۲۵۰ میلی‌لیتری انجام شد. نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه، به مقدار ۱۰۰ میلی‌لیتر به بشر اضافه شده و با استفاده از پمپ خلأ مدل VE225 کمپانی Value چین، ارلن مایر و کاغذ صافی واتمن ۴۲، سایز ۱۲۵ میلی‌متر بدون خاکستر صاف شدند. کاغذ صافی به‌کار برده شده در این آزمون، قبل از صاف کردن، به‌مدت یک ساعت، در دمای ۱۰۵ درجه‌ی سانتی-گراد، در آون آزمایشگاهی مدل ۸۰۰-۱۰۰ کمپانی memmert آلمان حرارت داده شد و پس از قرار داده شدن در دسیکاتور و خنک شدن، با ترازوی آزمایشگاهی دیجیتالی مدل AND AND HR120i ژاپن، وزن شد. نمونه‌ی آزمایشگاهی به‌همراه کاغذ صافی بعد از صاف کردن، در آون مذکور و شرایط دمای ۱۰۵ درجه‌ی سانتی‌گراد و زمان یک ساعت، حرارت داده شد و بعد از قرار گرفتن در دسیکاتور و خنک شدن، وزن شد. تفاوت وزن کاغذ صافی از وزن کاغذ صافی و رسوب محاسبه شد و با استفاده از فرمول محاسبه‌ی TSS، غلظت آن به‌دست آمد. این آزمون دو بار تکرار شد و از نتایج آن میانگین گرفته شد. در هر مرحله از یازده مرحله‌ی این دوره‌ی زمانی ۵ ماهه، عکاسی در حوالی ظهر به‌وقت تهران واقع در ایستگاه جزیره‌ی بهشتی تالاب انزلی و در مکانی ثابت با دوربین کانن مدل Eos700D kit 18-55 mm IS STM، در زیر نور طبیعی و با فاصله‌ی چشمی و فاصله‌ی کانونی ۱۸ mm انجام گرفت. دقت مؤثر حسگر این دوربین، ۱۸ مگاپیکسل و بزرگ‌نمایی اپتیکال آن ۳ برابر است. تصاویر با فرمت JPG ذخیره شدند. از بین تصاویر ثبت شده با دوربین، تعدادی از آن‌ها به علت روشنایی ناهموار و به‌منظور به حداقل رساندن خطای روش، حذف شدند. به‌منظور کاهش تحریف هندسی تصاویر، ۵۰۰ پیکسل از چهار طرف آن‌ها حذف شد (پینگ‌پینگ^۱ و همکاران، ۲۰۱۹). پنج عکس از بهترین عکس‌ها از بین تصاویر برداشته شده باقی ماند و بقیه حذف شدند. برای آنالیز RGB تصاویر، از اپلیکیشن RGB Color Detector استفاده شد. این اپلیکیشن تصاویر برداشته شده از آب را به مقدار پیکسل عکس تبدیل کرد و از نتایج آن‌ها میانگین گرفته شد.

^۱ . Pingping

یافته‌های پژوهش

برای بررسی روابط بین نتایج آنالیز RGB و دیگر پارامترهای محیط‌زیستی، آزمون TSS، pH و عمق سکی، انجام شد. نتایج این آزمون‌ها به همراه نتایج آنالیز RGB که با X_B ، X_G ، X_R مشخص شدند؛ به همراه میانگین دمایی حد بالا و پایین در روز انجام آزمون، در جداول بازده مرحله، ارائه شد.

• **مرحله اول:** نتایج مرحله‌ی اول اندازه‌گیری پارامترهای محیط زیستی pH، عمق سکی، غلظت TSS و آنالیز RGB در جدول (۱)، ارائه شده است.

جدول (۱) نتایج مرحله‌ی اول اندازه‌گیری پارامترهای محیط زیستی pH، عمق سکی، TSS و آنالیز RGB

Order	Day	Average high temperature(°C)	Average low temprature(°C)	pH	SD (cm)	TSS (ppm)	X_R	X_G	X_B
۱	۱۴۰۱/۵/۲۰	۳۱	۲۴	۵/۹	۲۰	۱۱۱	۱۴۴	۱۴۴/۲	۱۴۹/۷
۲					۲۲	۱۱۹	۱۵۴/۷	۱۵۵/۸	۱۶۱/۵
۳							۱۵۰/۸	۱۵۳/۶	۱۶۴/۲
۴							۱۴۹/۱	۱۴۹/۵	۱۵۶/۲
۵							۱۴۹/۵	۱۵۰/۲	۱۵۴/۶

• **مرحله دوم:** نتایج مرحله‌ی دوم اندازه‌گیری پارامترهای محیط زیستی pH، عمق سکی، غلظت TSS و آنالیز RGB در جدول (۲)، ارائه شده است.

جدول (۲) نتایج مرحله‌ی دوم اندازه‌گیری پارامترهای محیط زیستی pH، عمق سکی، TSS و آنالیز RGB

Order	Day	Average high temperature(°C)	Average low temprature(°C)	pH	SD (cm)	TSS (ppm)	X_R	X_G	X_B
۱	۱۴۰۱/۵/۲۷	۳۲	۲۳	۵/۹	۱۶	۱۲۷	۱۴۷/۹	۱۴۶/۹۰	۱۴۲/۹
۲					۱۴	۱۱۱	۱۴۸/۷	۱۴۶/۳	۱۴۲/۷
۳							۱۴۷/۱	۱۴۵/۹	۱۴۲/۱
۴							۱۴۵	۱۴۴/۲	۱۴۰/۱
۵							۱۴۰/۴	۱۳۷/۹	۱۳۳/۹

• **مرحله سوم:** نتایج مرحله‌ی سوم اندازه‌گیری پارامترهای محیط زیستی pH، عمق سکی، غلظت TSS و آنالیز RGB در جدول (۳)، ارائه شده است.

جدول (۳) نتایج مرحله‌ی سوم اندازه‌گیری پارامترهای محیط زیستی pH، عمق سکی، TSS و آنالیز RGB

Order	Day	Average high temperature(°C)	Average low temprature(°C)	pH	SD (cm)	TSS (ppm)	X_R	X_G	X_B
۱	۱۴۰۱/۶/۳	۳۱	۲۳	۸.۵	۹	۱۴۳	۱۴۰/۲	۱۳۷/۲	۱۳۰/۳
۲					۱۱	۱۳۴	۱۴۱/۳	۱۳۸/۳	۱۳۲/۲
۳							۱۴۲/۷	۱۴۱/۶	۱۳۴/۶
۴							۱۴۳/۸	۱۴۱/۳	۱۳۳/۸
۵							۱۴۴/۴	۱۴۲/۴	۱۳۹

• **مرحله‌ی چهارم:** نتایج مرحله‌ی چهارم اندازه‌گیری پارامترهای محیط زیستی pH، عمق سکی، غلظت TSS و آنالیز RGB در جدول (۴)، ارائه شده است.

جدول (۴) نتایج مرحله‌ی چهارم اندازه‌گیری پارامترهای محیط زیستی pH، عمق سکی، TSS و آنالیز RGB

Order	Day	Average high temperature(°C)	Average low temperature(°C)	pH	SD (cm)	TSS (ppm)	X_R	X_G	X_B
۱	۱۴۰۱/۶/۱۷	۲۶	۲۲	۵/۹	۱۹	۹۴	۱۶۰/۳	۱۶۰/۳	۱۶۰/۸
۲					۲۱	۱۲۰	۱۵۸/۶	۱۵۸/۱	۱۵۹/۹
۳						۱۶۲	۱۶۱/۱	۱۶۱/۱	۱۶۲/۸
۴						۱۶۱/۵	۱۶۱/۵	۱۶۱/۵	۱۶۳/۵
۵						۱۵۵/۳	۱۵۵/۳	۱۵۵/۳	۱۵۷/۳

• **مرحله‌ی پنجم:** نتایج مرحله‌ی پنجم اندازه‌گیری پارامترهای محیط زیستی pH، عمق سکی، غلظت TSS و آنالیز RGB در جدول (۵)، ارائه شده است.

جدول (۵) نتایج مرحله‌ی پنجم اندازه‌گیری پارامترهای محیط زیستی pH، عمق سکی، TSS و آنالیز RGB

Order	Day	Average high temperature(°C)	Average low temperature(°C)	pH	SD (cm)	TSS (ppm)	X_R	X_G	X_B
۱	۱۴۰۱/۷/۸	۲۷	۲۳	۵/۸	۱۵	۲۱۰	۱۳۴/۳	۱۳۱/۸	۱۲۹/۳
۲					۱۵	۲۰۴	۱۳۳/۴	۱۳۳	۱۳۱
۳						۱۳۴/۴	۱۳۲/۴	۱۳۲/۴	۱۲۸/۷
۴						۱۳۲/۳	۱۳۱/۳	۱۳۱/۳	۱۲۷/۳
۵						۱۳۴	۱۳۳	۱۳۳	۱۲۹

• **مرحله‌ی ششم:** نتایج مرحله‌ی ششم اندازه‌گیری پارامترهای محیط زیستی pH، عمق سکی، غلظت TSS و آنالیز RGB در جدول (۶)، ارائه شده است.

جدول (۶) نتایج مرحله‌ی ششم اندازه‌گیری پارامترهای محیط زیستی pH، عمق سکی، TSS و آنالیز RGB

Order	Day	Average high temperature(°C)	Average low temperature(°C)	pH	SD (cm)	TSS (ppm)	X_R	X_G	X_B
۱	۱۴۰۱/۷/۲۸	۲۸	۱۹	۵/۸	۷	۳۸۰	۱۲۸/۹	۱۲۸	۱۲۶
۲					۷	۴۰۴	۱۲۶/۷	۱۲۶/۵	۱۲۴/۵
۳						۱۲۹	۱۲۹	۱۲۸	۱۲۶
۴						۱۲۸/۵	۱۲۸/۵	۱۲۷	۱۲۵/۱
۵						۱۲۶/۸	۱۲۶/۸	۱۲۶/۲	۲۱۲۴

• **مرحله‌ی هفتم:** نتایج مرحله‌ی هفتم اندازه‌گیری پارامترهای محیط زیستی pH، عمق سکی، غلظت TSS و آنالیز RGB در جدول (۷)، ارائه شده است.

جدول (۷) نتایج مرحله‌ی هفتم اندازه‌گیری پارامترهای محیط زیستی pH، عمق سکی، TSS و آنالیز RGB

Order	Day	Average high temperature(°C)	Average low temperature(°C)	pH	SD (cm)	TSS (ppm)	X_R	X_G	X_B
۱	۱۴۰۱/۸/۶	۲۱	۱۷	۵/۹	۱۴	۲۰۰	۱۲۹/۳	۱۲۹	۱۲۹/۱
۲					۱۲	۲۸۴	۱۲۸/۱	۱۲۸	۱۲۸
۳							۱۲۹	۱۲۸/۱	۱۲۸/۶
۴							۱۲۹/۲	۱۲۸/۳	۱۲۸/۶
۵							۱۲۹/۱	۱۲۸/۵	۱۲۸/۸

• **مرحله‌ی هشتم:** نتایج مرحله‌ی هشتم اندازه‌گیری پارامترهای محیط زیستی pH، عمق سکی، غلظت TSS و آنالیز RGB در جدول (۸)، ارائه شده است.

جدول (۸) نتایج مرحله‌ی هشتم اندازه‌گیری پارامترهای محیط زیستی pH، عمق سکی، TSS و آنالیز RGB

Order	Day	Average high temperature(°C)	Average low temperature(°C)	pH	SD (cm)	TSS (ppm)	X_R	X_G	X_B
۱	۱۴۰۱/۸/۱۲	۱۸	۱۲	۵/۵	۱۸	۱۸۰	۱۴۵/۵	۱۴۰/۵	۱۲۷/۵
۲					۱۸	۱۷۴	۱۴۴/۸	۱۴۱/۳	۱۲۸/۳
۳							۱۴۵	۱۴۰/۷	۱۲۸/۶
۴							۱۴۵/۱	۱۴۱	۱۲۸/۲
۵							۱۴۴/۳	۱۴۱/۴	۱۲۷

• **مرحله‌ی نهم:** نتایج مرحله‌ی نهم اندازه‌گیری پارامترهای محیط زیستی pH، عمق سکی، غلظت TSS و آنالیز RGB در جدول (۹)، ارائه شده است.

جدول (۹) نتایج مرحله‌ی نهم اندازه‌گیری پارامترهای محیط زیستی pH، عمق سکی، TSS و آنالیز RGB

Order	Day	Average high temperature(°C)	Average low temperature(°C)	pH	SD (cm)	TSS (ppm)	X_R	X_G	X_B
۱	۱۴۰۱/۸/۱۹	۱۷	۱۱	۵/۵	۱۵	۳۸۰	۱۱۷/۱	۱۱۳/۱	۱۰۸/۳
۲					۱۷	۴۲۰	۱۱۷/۵	۱۱۴	۱۱۰
۳							۱۱۶/۷	۱۱۴/۷	۱۰۹/۷
۴							۱۱۶/۴	۱۱۴/۱	۱۱۰/۵
۵							۱۱۶/۳	۱۱۴/۵	۱۰۹/۵

• **مرحله‌ی دهم:** نتایج مرحله‌ی دهم اندازه‌گیری پارامترهای محیط زیستی pH، عمق سکی، غلظت TSS و آنالیز RGB در جدول (۱۰)، ارائه شده است.

جدول (۱۰) نتایج مرحله‌ی دهم اندازه‌گیری پارامترهای محیط زیستی pH، عمق سکی، TSS و آنالیز RGB

Order	Day	Average high temperature(°C)	Average low temperature(°C)	pH	SD (cm)	TSS (ppm)	X_R	X_G	X_B
۱	۱۴۰۱/۸/۲۷	۱۷	۱۱	۵/۹	۸	۱۲۰	۱۵۰/۱	۱۴۹/۲	۱۴۵/۱
۲					۶	۱۱۶	۱۵۰/۱	۱۴۹/۲	۱۴۵/۱
۳							۱۵۰/۱	۱۴۵/۱	۱۴۱/۱
۴							۱۵۱/۶	۱۴۸/۶	۱۴۳
۵							۱۵۰	۱۴۷/۷	۱۳۶

• مرحله‌ی یازدهم: نتایج مرحله‌ی یازدهم اندازه‌گیری پارامترهای محیط زیستی pH، عمق سکی، غلظت TSS و آنالیز RGB در جدول (۱۱)، ارائه شده است.

جدول (۱۱) نتایج مرحله‌ی یازدهم اندازه‌گیری پارامترهای محیط زیستی pH، عمق سکی، TSS و آنالیز RGB

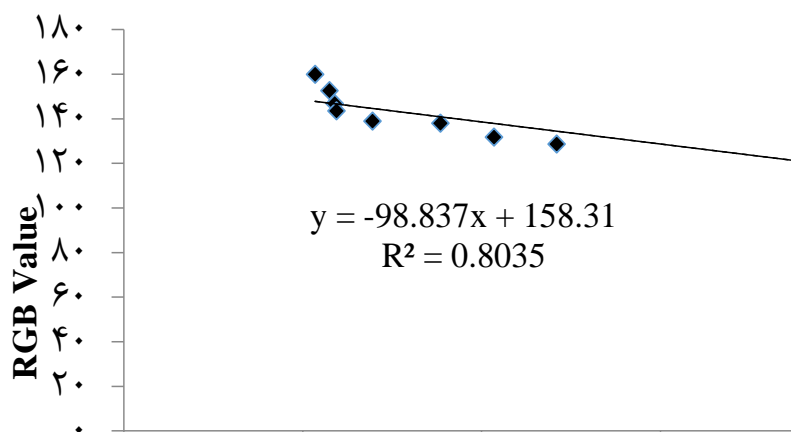
Order	Day	Average high temperature(°C)	Average low temperature(°C)	pH	SD (cm)	TSS (ppm)	X_R	X_G	X_B
۱	۱۴۰۱/۹/۳	۲۰	۱۴	۵/۹	۶	۴۰۰	۱۲۳/۱	۱۲۳/۱	۱۲۳/۱
۲					۶	۴۸۴	۱۱۵/۳	۱۱۴/۶	۱۱۴/۹
۳							۱۲۱/۴	۱۲۰/۲	۱۲۰/۸
۴							۱۱۳/۹	۱۱۳/۹	۱۱۳/۹
۵							۱۱۹/۲	۱۱۹/۲	۱۱۹/۲

در نهایت، از داده‌های به‌دست آمده‌ی آزمون‌های عمق سکی، غلظت TSS و آنالیز RGB میانگین گرفته شد (جدول ۱۲).

جدول (۱۲) نتایج میانگین اندازه‌گیری پارامترهای محیط زیستی عمق سکی، TSS و آنالیز RGB

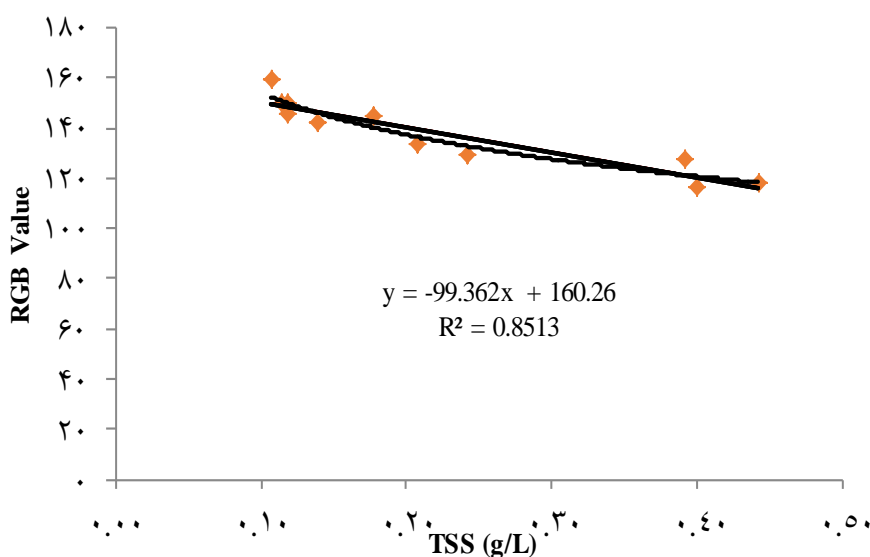
Order	SD (cm)	TSS (ppm)	\bar{X}_R	\bar{X}_G	\bar{X}_B	\bar{X}_{RGB}
۱	۲۱	۱۱۵	۱۴۹/۶۲	۱۵۰/۶۶	۱۵۷/۲۴	۱۵۲/۵۰
۲	۱۵	۱۱۹	۱۴۵/۷۴	۱۴۴/۲۴	۱۴۰/۳۴	۱۴۳/۴۴
۳	۱۰	۱۳۹	۱۴۲/۴۸	۱۴۰/۳۶	۱۳۳/۹۸	۱۳۸/۹۴
۴	۲۰	۱۰۷	۱۵۹/۵۴	۱۵۹/۲۶	۱۶۰/۸۶	۱۵۹/۸۸
۵	۱۵	۲۰۷	۱۳۳/۶۰	۱۳۲/۳۰	۱۲۹/۰۶	۱۳۱/۶۵
۶	۷	۳۹۲	۱۲۷/۹۸	۱۲۷/۱۴	۱۲۵/۱۶	۱۲۶/۷۶
۷	۱۳	۲۴۲	۱۲۸/۹۴	۱۲۸/۳۸	۱۲۸/۶۲	۱۲۸/۶۴
۸	۱۸	۱۷۷	۱۴۴/۹۴	۱۴۰/۹۸	۱۲۷/۹۲	۱۳۷/۹۴
۹	۱۶	۴۰۰	۱۱۶/۸۰	۱۱۴/۰۸	۱۰۹/۶۶	۱۳۱/۵۱
۱۰	۷	۱۱۸	۱۵۰/۳۸	۱۴۷/۹۶	۱۴۲/۰۶	۱۴۶/۸۰
۱۱	۶	۴۴۲	۱۱۸/۵۸	۱۱۸/۲۰	۱۱۸/۳۸	۱۱۸/۳۸

نمودار مقادیر میانگین مجموع رنگ‌های RGB نسبت به مقادیر میانگین TSS نمونه‌های مورد مطالعه، در نمودار (۱) ارائه شد.

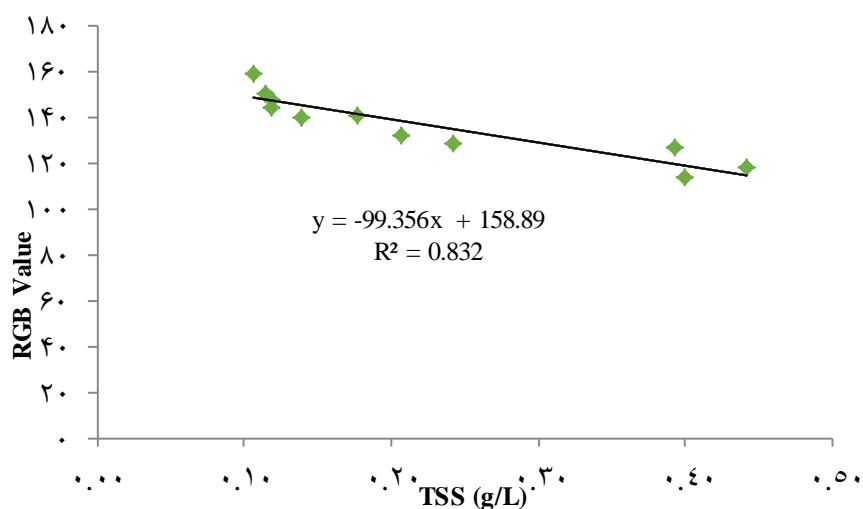


شکل (۲) مقادیر میانگین مجموع رنگ‌های RGB نسبت به مقادیر میانگین غلظت TSS نمونه‌های مورد مطالعه

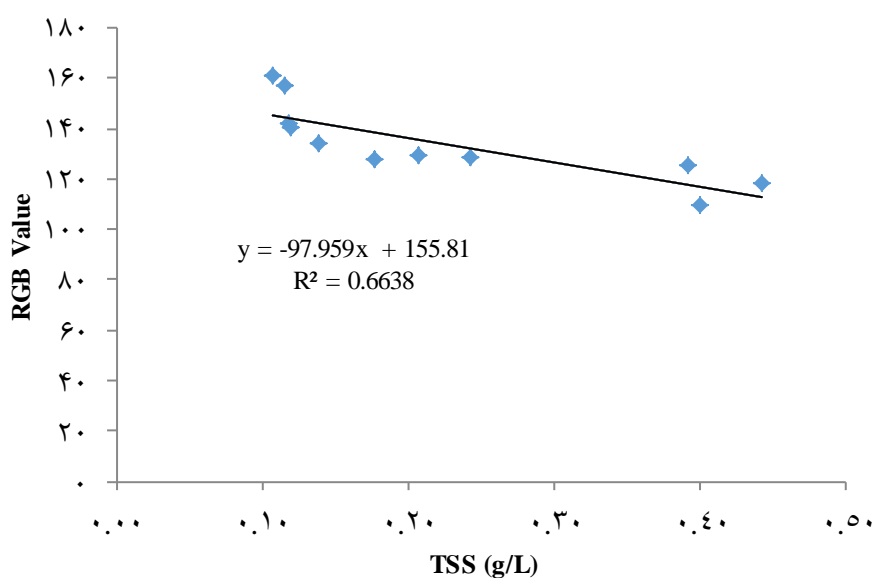
همانطور که در شکل (۲)، مشاهده می‌شود، با افزایش غلظت TSS، مقدار میانگین مجموع رنگ‌ها کاهش یافته است و مقدار $(R^2 = 0.8035)$ گزارش شده است. نمودار مقادیر RGB نسبت به غلظت TSS نمونه‌ها در تصاویر زیر، ارائه شده است. به طور کلی، اغلب، با افزایش غلظت TSS، مقدار هر کدام از رنگ‌های RGB کاهش می‌یابد. همانطور که در شکل (۳) و (۴) و (۵) مشاهده شده است، محدوده‌ی تغییرات غلظت TSS با بردار R و G مطابقت بیشتری داشته است. بردارهای R و G ضریب همبستگی بالاتری نسبت به بردار B دارند و تغییرات آن‌ها با افزایش غلظت TSS بیشتر شده است. ضریب همبستگی برای نمودار R برابر با ۰/۸۵۱۳ و برای نمودار G برابر با ۰/۸۳۲ است. نمودار B با ضریب همبستگی ۰/۶۶۳۸، کمترین ضریب همبستگی را دارد.



شکل (۳) نمودار تغییرات مقادیر R نسبت به غلظت TSS نمونه



شکل (۴) نمودار تغییرات مقادیر G نسبت به غلظت TSS نمونه



شکل (۵) نمودار تغییرات مقادیر B نسبت به غلظت TSS نمونه

بحث و نتیجه‌گیری

براساس طبقه‌بندی روش‌های آفلاین و آنلاین، روش‌های آفلاین نیاز به نمونه‌برداری و آنالیز در آزمایشگاه دارند و موجب تأخیر در سنجش پارامترها می‌شوند. از میان بهترین روش‌های آفلاین شناخته شده در ارتباط با سنجش‌های محیط زیستی، تعیین وزن رسوب خشک‌شده از بهترین روش‌هاست و از بین آزمون‌های مربوط به آن، آزمون TSS در این پژوهش، در فاز آزمایشگاهی انجام گرفت. از میان روش‌های آنلاین، روش بررسی فضاهای رنگی در عکاسی به‌کار گرفته شد. فضای سه‌رنگی RGB، روشی برای پایش محیط زیست و ساده، ارزان و اثرگذار است و به‌طور کلی، مشکلات مربوط به سایر تکنیک‌های اندازه‌گیری آنلاین، مربوط به زمان اندازه‌گیری، قیمت و ماده‌ی موردنیاز است. شارما^۱ و همکاران در سال ۲۰۲۰ میلادی، کاربرد

^۱. Sharma

روش سنجش طیف‌سنجی مادون قرمز مرئی- نزدیک (Vis-NIR) به‌منظور اندازه‌گیری TSS میوه‌ی انبه بر روی تسمه نقاله را بررسی کردند. اطلاعات طیفی و مقادیر TSS مربوط به آن، برای ایجاد یک رابطه‌ی خطی با رگرسیون حداقل مربعات جزئی (PLS) استفاده شد. طیف در سه محدوده‌ی طول موج ۴۰۰ تا ۱۰۰۰ نانومتر، ۶۰۰ تا ۱۰۰۰ نانومتر و ۷۰۰ تا ۱۰۰۰ نانومتر برای توسعه‌ی مدل استفاده شد. ترکیب متعادل‌سازی و MAS بیانگر انتقال مؤثر طیف در طول موج ۶۰۰ تا ۱۰۰۰ نانومتر است. مدل بهینه با استفاده از تکنیک اعتبارسنجی خارجی، به‌ترتیب با ضریب همبستگی مجموعه‌ی کالیبراسیون و مجموعه‌ی پیش‌بینی ۰/۸۰ و ۰/۷۴ به‌دست آمد. نتایج آماری رگرسیون PLS قابلیت اجرایی شدن سیستم تسمه نقاله را به‌منظور درجه-بندی میوه‌ها براساس TSS نشان داد (شارما و همکاران در سال ۲۰۲۰ میلادی). اصغرنژاد و صراف‌زاده در سال ۲۰۲۰ میلادی، توسعه عکس دیجیتال به‌عنوان روشی مبتکرانه برای تعیین غلظت سلول بیوماس لجن فعال را بررسی کردند. بر اساس یافته‌ها شدت رنگ آبی در تصویر ماکروسکوپی می‌تواند شاخص دقیقی برای اندازه‌گیری غلظت سلول باشد. در نهایت یک همبستگی بین مقادیر RGB و غلظت سلول در مقادیر پایین‌تر بیوماس براساس قانون بیر-لامبرت پیشنهاد شده که می‌تواند غلظت سلول بیوماس لجن فعال را با ضریب $(R^2 = 0/97)$ ، بر مبنای شاخص B (رنگ آبی) تخمین بزند (اصغرنژاد و صراف‌زاده، ۲۰۲۰). پینگ‌پینگ و همکاران در سال ۲۰۱۹ میلادی، اندازه‌گیری رنگی براساس روش تصاویر و کاربرد آن‌ها در تعیین کیفیت آب را بررسی کردند. برای سنجش محلول رنگی استاندارد، روش پیشنهادی نسبت به اسپکتروفتومتری دقت بالاتری داشته است. به‌منظور اندازه‌گیری‌های واقعی نمونه‌ی آب، تفاوت مشخصی بین این روش و روش اسپکتروفتومتری مشاهده نشد (پینگ‌پینگ و همکاران، ۲۰۱۹). فرهاد میرزایی و همکاران در سال ۱۳۹۸، رابطه‌ی کدورت آب و غلظت TSS در آبیاری قطره‌ای را بررسی کردند. نتایج نشان می‌دهد که در طول موج ۷۵۰ نانومتر بین درصد عبور نور و کل مواد معلق جامد در آب، R^2 برابر با ۰/۹۹۱۶ و خطای کمتری وجود دارد و یک معادله‌ی درجه دوم $(y = 49/853x^2 - 116/71x + 102/02)$ بین درصد عبور نور و کل مواد معلق جامد وجود دارد (میرزایی و همکاران، ۱۳۹۸). در پژوهش پیش‌رو نیز، تکنیک آنالیز تصاویر مورد استفاده‌ی فضای سه رنگی قرمز، سبز و آبی، اجازه‌ی یافتن رابطه‌ی معکوس با غلظت TSS را می‌دهد. برطبق این بررسی‌ها، کاهش رنگ-های قرمز و سبز با افزایش غلظت TSS سریع‌تر اتفاق افتاد. رنگ آبی، غیرفعال‌ترین رنگ گزارش شد. روند تجزیه‌ی رنگ‌های قرمز، آبی و سبز تصاویر، با افزایش TSS، روند نزولی را دنبال می‌کند. در تمامی محدوده‌های غلظتی TSS، داده‌های R مطابقت بیشتری با غلظت TSS دارد. باتوجه به نتایج به‌دست آمده از این پژوهش و مقایسه‌ی آن‌ها با نتایج پژوهش‌های مشابه که به آن‌ها اشاره شد و بررسی ضرایب همبستگی آن‌ها، سنجش تصاویر ماکروسکوپی نه تنها بررسی لحظه‌ای را محدود نمی‌کند، بلکه خطاهای مربوط به آپراتور و دید محدود میکروسکوپ را نیز، ندارد. در تکنیک میکروسکوپی، معایب دیگری مانند تصاویر پیچیده، هزینه‌ی بالا و پیچیدگی روش، وجود دارد. این روش مبتکرانه، ظرفیت ترکیب با تصاویر میکروسکوپی و شبیه-سازی کمی و کیفی را دارد و می‌تواند مورد توجه و مطالعه‌ی بیشتری قرار بگیرد.

پیشنهادات

۱- با توجه به اهمیت پایش آلاینده‌های محیط زیستی و نظریه وجود داده‌های پراکنده در مراکز مختلف از قبیل ادارات محیط زیست، آب و فاضلاب، مراکز پژوهشی و دانشگاهی، وجود سامانه‌ی متمرکز داده‌های پایشی جهت ارائه راهکار و راهبری طرح‌های پژوهشی و کاربردی حائز اهمیت است.

- ۲- کاربرد روش فضای سه‌رنگی RGB، به‌منظور پایش محیط زیستی و ارائه‌ی داده‌های حاصل از آن در سامانه‌ی متمرکز داده‌های پایشی در کنار سایر داده‌های به‌دست آمده از روش‌های آنلاین و آفلاین
- ۳- توسعه‌ی این روش در فاز حقیقی و محیط طبیعی و بررسی ارتباط آن با سایر آلاینده‌های شیمیایی و میکروبی محیط زیستی

مراجع

- استوار، فریبا؛ توکلی، محدثه (۱۳۹۶). راهنمای آزمایشگاهی شیمی محیط زیست. رشت: پژوهشکده محیط زیست جهاد دانشگاهی.
- بهروزی راد، بهروز (۱۳۷۷). ارزش تالاب‌ها و نقش کنوانسیون رامسر در حفاظت از آن‌ها. فصلنامه‌ی علمی سازمان حفاظت محیط زیست. (۱۰)، ۳۴-۲۴.
- توکلی، بابک؛ ثابت‌رفتار، کریم (۱۳۸۱). مطالعه‌ی تأثیر فاکتورهای ساخت جمعیت و تراکم جمعیت حوزه‌ی آبخیز روی آلودگی رودخانه‌های منتهی به تالاب انزلی. مجله‌ی محیط‌شناسی. ویژه‌نامه‌ی تالاب انزلی. دوره ۴۵۹، ۲۸، ۵۷-۵۱.
- خسروی، معصومه؛ بهرامی‌فر، نادر؛ قاسم‌پوری، سید محمود (۱۳۹۰). بررسی آلودگی فلزات سنگین در رسوب سه بخش تالاب انزلی. مجله سلامت و محیط. دوره‌ی چهارم. شماره‌ی (۲)، ۲۳۲-۲۲۳.
- طاهری شهرآئینی، حمید (۱۳۹۳). کاربرد داده‌های مریس در تخمین عمق شفافیت در دریای خزر با روش‌های رگرسیون خطی تک‌متغیره و چندمتغیره. سنجش از دور و GIS ایران. سال ششم. شماره (۱). ۸۴-۶۹.
- منوری، مسعود؛ رحیمی، راضیه؛ میرحسینی، ابوالقاسم (۱۳۹۷). ارزیابی پیامدهای تغییر اقلیم. میبد: دانشگاه آزاد اسلامی.
- منوری، مسعود (۱۳۷۴). محیط زیست گیلان. کتاب گیلان، تهران: انتشارات گروه پژوهشگران ایران.
- منوری، مسعود (۱۳۹۹). تالاب‌های گیلان. دانشنامه فرهنگ و تمدن گیلان ۷۴. رشت: انتشارات فرهنگ ایلیا.
- مولایی هاشجین، نصرالله؛ دادرس، حسن (۱۳۸۵). برنامه‌ریزی به‌منظور توسعه در روستاهای حاشیه‌ی تالاب بندرانزلی. فصلنامه‌ی چشم‌انداز جغرافیایی. سال اول. شماره‌ی (۲). ۱۴۴-۱۲۷.
- میرزایی، فرهاد؛ سجودی، زینب؛ شهریاری، اسماعیل (۱۳۹۸). تعیین رابطه‌ی کدورت آب (NTU) و کل مواد معلق (TSS) در آبیاری قطره‌ای. پژوهش و فناوری محیط زیست. دوره‌ی چهارم. شماره (۶). ۵۴-۴۷.
- Asgharnejad, H., Sarrafzadeh, M. H. (2020). Development of Digital Image Processing as an Innovative Method for Activated Sludge Biomass Quantification. *Frontiers in Microbiology*. 11(1-10) <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.574966>
- Carreres-Prieto, D., García, J.T., Carrillo, J. M., Viguera-Rodríguez, A. (2023). Towards highly economical and accurate wastewater sensors by reduced parts of the LED-visible spectrum. *Science of The Total Environment*, 871(1). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162082>
- Federation, W.E. & American Public Health Association. (2005). Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association (APHA): Washington, DC, USA.
- Han, W., Sun, Y., Xu, T., Chen, X., Su, K. O. (2014). Detecting maize leaf water status by using digital RGB images. *Int J Agric & Biol Eng*. 7 (1). Open Access at <http://www.ijabe.org>
- Manickavasagan, A., Al-Mezeini, N.K., Al-Sheikaili, H.N. (2014). RGB color imaging technique for grading of dates. *Scientia Horticulturae* (175) 87-94. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2014.06.003>

- Pingping, C., Yuanyang, Zh., Wenzhu, Zh., Sheng, L., Hongwen, G. (2019). Chromaticity Measurement Based on the Image Method and Its Application in Water Quality Detection. *Water*. 11, 2339. doi:10.3390/w11112339
- Sharma, S., Sirisomboon, P., Pornchaloempong, P. (2020). Application of a Vis-NIR Spectroscopic Technique to Measure the Total Soluble Solids Content of Intact Mangoes in Motion on a Belt Conveyor. *The Horticulture Journal*. doi: 10.2503/hortj.UTD-168