

ارزیابی عملکرد فیلترهای دستگاه تصفیه آب خانگی در تغییر سختی آب با استفاده از بیناب‌نمایی فروشکست القایی لیزری

زهرا رمضانیان^۱، سید جبار موسوی^۱، مرضیه همتی فارسانی^۱، محمد وحید دستجردی^۲، سید محمدرضا دربارانی^۱،
عبدالله اسلامی مجد^۱

^۱ پژوهشکده علوم و فناوری اپتیک و لیزر، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، اصفهان

^۲ گروه فیزیک، دانشگاه اصفهان، اصفهان

چکیده- عناصر موجود در آب ورودی به دستگاه تصفیه آب خانگی و آب خروجی از آن با استفاده از روش LIBS شناسایی شدند. شدت نسبی خطوط بینابی کلسیم و منیزیم که از عوامل اصلی ایجاد سختی آب هستند، در آب خروجی نسبت به آب ورودی کاهش یافت. فیلترهای الیافی و کربن بلاک که بیشترین نقش را در حذف املاح آب دارند، به دو صورت نو و کارکرده مورد آزمایش قرار گرفتند. با مقایسه بیناب فیلترهای نو و کارکرده، افزایش شدت نسبی این خطوط در فیلترهای کارکرده مشاهده گردید. نتایج پژوهش نشان داد که با جذب عناصر کلسیم و منیزیم توسط فیلترها، غلظت این عناصر در آب (سختی آب) بعد از عبور از دستگاه تصفیه کاهش می‌یابد. کلید واژه- بیناب‌نمایی فروشکست القایی لیزری، فیلتر، تصفیه آب، سختی آب.

Evaluation of the household water purifier device filters performance in water hardness variation by Laser Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS)

Zahra Ramezani¹, Seyyed Jabbar Mousavi¹, Marziyeh Hemati Farsani¹, Mohammad Vahid Dastjerdi², Seyyed Mohammad Reza Darbani¹, Abdollah Eslami Majd¹

¹ Optics & Laser Science and Technology Research Center, Malek Ashtar University of Technology, Isfahan

² Department of Physics, University of Isfahan, Isfahan

Abstract- The available elements in the input and output water from household water purifier device were identified by Laser Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) method. The relative intensity of Ca and Mg spectral lines as the main factors of water hardness, decreased in output water compared to input water. Fibers and carbon block filters, which have the most important role in elimination of mineral of water, were studied in both new and used types. Comparison between the new and used filters spectra indicated an increasing in relative intensity in used filters. The results of this research, indicate that with absorption of Ca and Mg by filters, the concentration of these elements in water (water hardness) are reduced after passing through the purifier device.

Keywords: Laser Induced Breakdown Spectroscopy, Filter, Water purifier, Water hardness

۱- مقدمه

۲- مواد و روش

۱-۲- مواد

دستگاه تصفیه آب شامل ۴ فیلتر به ترتیب، فیلتر الیافی، فیلتر کربن فعال گرانولی (GAC)^۲، فیلتر کربن بلاک^۳ و فیلتر ممبران^۴ می‌باشد. فیلتر الیافی اولین مرحله تصفیه آب را انجام می‌دهد که جنس آن از فیلتر فشرده شده پلی پروپیلن^۵ می‌باشد. آب به صورت شعاعی از بدنه این فیلتر وارد و پس از حذف ذرات بزرگتر از ۵ میکرون (شن، ماسه، گل و لای، لجن، زنگ لوله‌ها و ...) از وسط آن خارج می‌شود. فیلتر الیافی وظیفه شفاف‌سازی آب را با حذف ذرات معلق به عهده دارد. فیلتر کربن فعال که از دانه‌های کربن فعال تهیه می‌شود، دومین مرحله تصفیه آب را بر عهده دارد و نقش آن حذف کلر و مواد آلی محلول در آب است. سومین مرحله تصفیه توسط فیلتر کربن بلاک انجام می‌شود. این فیلتر از جنس کربن فشرده بوده که توانایی حذف ذرات بزرگتر از ۵ میکرون و دانه‌های کربنی عبور کرده از فیلتر دوم را دارد. فیلتر ممبران از جنس استات سلولز می‌باشد و آخرین مرحله تصفیه آب را با حذف عناصر و فلزات سنگین مانند سرب و جیوه و... انجام می‌دهد. با توجه به اینکه فیلترهای الیافی و کربن بلاک در عملکرد دستگاه تصفیه بیشترین تأثیر را در تغییر سختی آب دارند، این دو فیلتر مورد بررسی قرار گرفتند. تصویری از این دو فیلتر در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: فیلترهای دستگاه تصفیه آب خانگی، الف: الیافی، نو و کارکرده ب: کربن بلاک

۲-۲- روش تجربی

در برپایی آزمایش از سامانه LIBSCAN100 ساخت شرکت Applied Photonics جهت آنالیز نمونه‌ها استفاده شد. بخش‌های اصلی این سامانه شامل لیزر Nd:YAG با طول موج ۱۰۶۴ نانومتر، انرژی خروجی متغیر تا ۱۰۰ میلی‌ژول، پهنای تپ 7 ± 2 نانوثانیه، نرخ تکرار متغیر ۱ تا ۲۰ هرتز و بیناب‌سنج با قدرت تفکیک‌پذیری ۰/۰۴ تا

تصفیه آب و دسترسی به آب سالم یک امر اساسی و حیاتی برای بشر است. آب آشامیدنی یکی از راه‌های تأمین املاح ضروری بدن است به همین خاطر کیفیت شیمیایی آب آشامیدنی تأثیر بسزایی در سلامتی انسان دارد [۱ و ۲]. سختی آب یکی از عوامل تأثیرگذار در گوارایی آب است که در اثر وجود کاتیون‌های فلزی دو ظرفیتی مانند کلسیم، منیزیم، استرانسیم، آهن و منگنز در آب ایجاد می‌شود. هرچند به علت ناچیز بودن غلظت کاتیون‌های استرانسیم، آهن و منگنز، علت اصلی سختی آب مربوط به کلسیم و منیزیم است. رسوب‌های تشکیل شده در جداره کتری، سماور و تأسیسات که از نشانه‌های این عامل است، حساسیت زیادی در بین مردم ایجاد کرده که نتیجه آن رجوع به آب‌های بسته بندی شده و تصفیه خانگی است. استفاده از دستگاه‌های تصفیه آب سبب از بین رفتن سختی آب شده و آب را به مقطر و یا سبک تبدیل خواهد کرد. درصدی از سختی آب که در اصطلاح رایج آهک یا نمک کلسیم و منیزیم گفته می‌شود، نه تنها برای سلامتی مضر نبوده بلکه مفید هم هست، لیکن از سویی بر مزه آب تأثیر گذاشته و هنگام مصرف آب در منازل و در صنعت مشکلات زیادی ایجاد کرده که مصرف کننده را وادار به آهک زدایی آن می‌کند. با توجه به اهمیت موضوع از روش‌های متنوعی همچون تیتراسیون با معرف شیمیایی جهت اندازه‌گیری سختی آب استفاده شده است [۳]. بیناب‌نمایی فروشکست القایی لیزری^۱ یکی از روش‌های آنالیز عنصری است که با توجه به دارا بودن ویژگی‌های عملیاتی انحصاری نظیر سرعت بالا، توانایی آنالیز چند عنصری، عدم نیاز به آماده‌سازی نمونه و غیرمخرب بودن، قابلیت تحلیل کیفی و کمی مواد را دارد [۴]. در این پژوهش از روش LIBS جهت ارزیابی عملکرد فیلترهای موجود در دستگاه تصفیه آب خانگی در تغییر سختی آب استفاده شده است. به این منظور بیناب LIBS نمونه‌های آب قبل از ورود به دستگاه و بعد از خروج از آن گرفته شد. سپس برای بررسی عملکرد فیلترها بیناب آن‌ها نیز تهیه و مورد تحلیل قرار گرفت.

² Granular activate Carbon

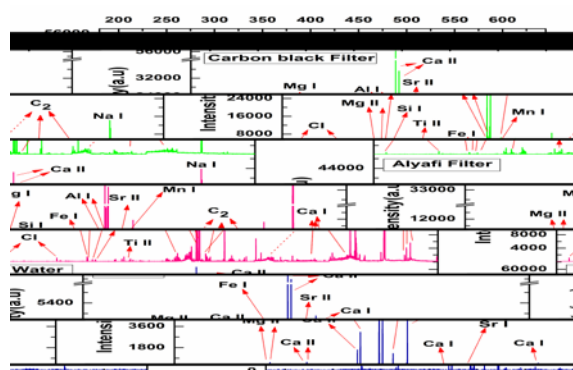
³ Carbon Black

⁴ Memberane

⁵ Polypropylene

¹ Laser Induced Breakdown Spectroscopy

موجی ۴۶۷-۵۶۴ نانومتر نیز مشاهده گردید. به منظور حذف دخالت هوا و افزایش شدت خطوط بینایی، گاز آرگون با فشار یکسان برای همه نمونه‌ها تزریق شد. همچنین از این گاز به عنوان یک استاندارد داخلی برای کاهش تأثیر ماتریس نمونه و نرمالیزه کردن شدت‌ها استفاده گردید [۶]. با توجه به چالش‌های موجود در ثبت بیناب LIBS مایعات از قبیل اتلاف انرژی فرودی بر سطح به علت تشکیل حباب و پاشیدگی ناشی از ایجاد امواج شوک پلاسما، در تهیه بیناب آب، نمونه‌ها از مایع به یخ تبدیل شدند. در نمونه‌های یخ‌زده، نسبت سیگنال به نویز به دلیل جفت‌شدگی بهتر بین پالس لیزر و اجزا نمونه بیشتر از نمونه‌های مایع است [۷].



شکل ۳: بیناب نوعی آب و دو فیلتر الیافی و کربن بلاک خطوط اتمی و یونی کلسیم و منیزیم که از عوامل اصلی سختی آب هستند بوضوح در بیناب‌ها مشاهده می‌شوند. کاتیون‌های منگنز، آهن و استرانسیم به علت غلظت ناچیزشان به سختی در آب آشکارسازی می‌شوند.

جدول ۱: عناصر شناسایی شده در آب و فیلترها

Element	Wavelength (nm)
Ca II	315.88- 317.93- 370.60- 373.69- 393.36- 396.84
Ca I	422.67- 428.30- 428.93- 429.89- 430.25- 430.77- 431.86- 442.54- 443.49- 445.47- 558.19- 558.87- 559.44- 585.74- 610.27- 612.22- 616.21- 646.25- 649.37- 714.80- 720.21- 732.61
C I	193.00- 247.85- 906.24- 909.48
Mg II	279.55- 280.27
Mg I	285.21
Si I	288.15
Ti II	323.45- 323.65- 323.90- 334.94- 336.12- 337.27- 338.37- 375.93
Ti I	334.18- 364.28- 365.34- 368.52- 375.28- 398.17- 398.97- 399.86- 498.17- 499.10- 499.95- 500.72- 501.32
Fe I	371.99- 373.48- 373.71- 374.55- 374.82- 374.94- 382.04- 385.99- 404.58- 427.17- 432.57
Mn I	403.07- 403.30- 403.44
Al I	394.40- 396.15
Sr II	407.77
Sr I	460.73
Na I	588.99 – 589.59

۰/۱۵ نانومتر در محدوده طول موجی ۱۰۵۷-۱۸۲ نانومتر می‌باشد. به منظور ثبت بیناب LIBS، نمونه‌ها درون محفظه و بر روی پایه XYZ و در شرایط محیطی گاز آرگون (با آهنگ شارش ۱۵ لیتر بر دقیقه بر روی سطح نمونه) قرار داده شدند. تپ لیزری با استفاده از یک عدسی به فاصله کانونی ۸۰ میلی‌متر بر روی سطح نمونه متمرکز شده و پس از شکل‌گیری میکروپلاسمای حاصل از نمونه، گسیل پلاسما توسط فیبرهای نوری جمع‌آوری و به بیناب‌سنج ۸ کاناله سیستم منتقل می‌گردد. همچنین جهت بهبود ثبت گسیل‌های مورد نظر با بیشینه‌ی نسبت سیگنال به نوفه از یک مدار تاخیرانداز الکترونیکی با قابلیت اعمال تاخیر زمانی ۱/۲۷ μs استفاده شده است. طرحواره‌ای از سامانه در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲: طرحواره سامانه LIBSCAN100

برای بررسی تغییر سختی آب، بیناب نمونه‌های آب ورودی و خروجی دستگاه مقایسه شدند. به منظور بررسی عملکرد فیلترهای الیافی و کربن بلاک ابتدا آن‌ها به پودر و سپس با استفاده از دستگاه پرس به قرص تبدیل شدند. برای هر دو نوع فیلتر تصفیه ذکر شده، قرص فیلتر کارنکرده و فیلتری که ۶ ماه از مدت به کار آن می‌گذشت مورد آنالیز قرار گرفت. به منظور کاهش اثر عوامل محیطی و همچنین خطاهای اندازه‌گیری‌ها به تعداد ۱۰ بار برای هر احتمالی در سطح، اندازه‌گیری‌ها به تعداد ۱۰ بار برای هر نمونه تکرار و از میانگین داده‌ها برای تحلیل و آنالیز نتایج استفاده گردید. برای شناسایی خطوط بینایی از داده‌های بانک اطلاعاتی NIST^۶ استفاده شده است [۵].

۳- تحلیل نتایج

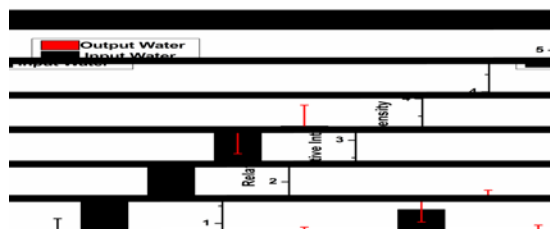
۳-۱- آنالیز عنصری و مولکولی بیناب

بیناب نوعی از آب و دو فیلتر به همراه عناصر شناسایی شده آن‌ها در شکل ۳ آورده شده است. خطوط بینایی موجود، هر یک مربوط به گذارهای اتمی یا یونی مشخصی است. طول موج‌های مربوط به عناصر شناسایی شده در جدول ۱ گزارش شده است. علاوه بر خطوط اتمی و یونی در بیناب دو فیلتر، باندهای مولکولی C_2 در بازه طول

⁶ National Institute of Standards and Technology

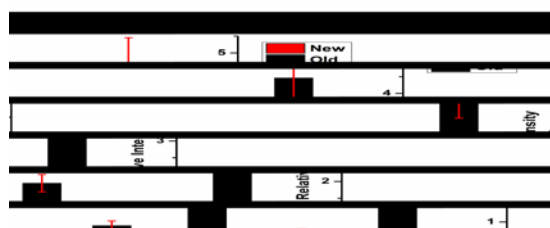
۳-۲- بررسی میزان سختی آب

برای بررسی تغییر سختی آب شدت‌های نسبی Mg/Ar ، Fe/Ar و Sr/Ar در بیناب آب ورودی و خروجی دستگاه مقایسه شده است. به این منظور از شدت خطوط بینایی با طول موج‌های $۲۷۹/۵۵$ ، $۳۷۳/۷۱$ ، $۴۰۷/۷۷$ ، $۴۲۲/۶۷$ و $۷۶۳/۵۷$ نانومتر به ترتیب برای Mg ، Fe ، Sr و Ca استفاده شد.

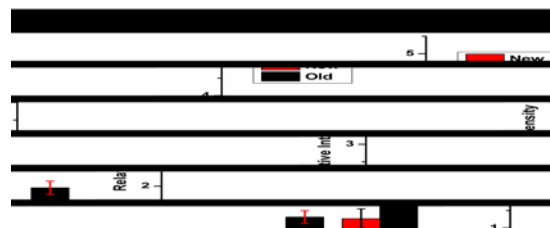


شکل ۴: مقایسه شدت نسبی عناصر موجود در آب ورودی و خروجی دستگاه تصفیه آب

همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود شدت‌های نسبی عناصر ذکر شده در بیناب آب خروجی دستگاه تصفیه کمتر از آب ورودی به آن است. این مطلب بیانگر این است که غلظت این عناصر در هنگام عبور از فیلترهای دستگاه کاهش یافته که نتیجه آن کاهش سختی آب خواهد بود. با کاهش شدت‌های نسبی این عناصر در بیناب آب خروجی متعاقباً انتظار می‌رود شدت‌های نسبی خطوط مورد نظر در بیناب فیلترهای الیافی و کربن بلاک کارکرده نسبت به فیلترهای نو افزایش پیدا کرده باشد. به این منظور شدت‌های نسبی عناصر موجود در مدل‌های نو و کارکرده به مدت ۶ ماه، برای هر دو فیلتر الیافی و کربن بلاک به ترتیب در شکل‌های ۵ و ۶ مقایسه شده است.



شکل ۵: مقایسه شدت نسبی عناصر موجود در فیلترهای الیافی نو و کارکرده در دستگاه تصفیه آب



شکل ۶: مقایسه شدت نسبی عناصر موجود در فیلترهای کربن بلاک نو و کارکرده در دستگاه تصفیه آب
همانطور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود، شدت‌های نسبی عناصر ذکر شده در بیناب فیلترهای کارکرده افزایش یافته است که این مسئله ناشی از رسوب این عناصر در فیلترها می‌باشد. همچنین با مقایسه دو شکل مشاهده می‌شود که تغییرات شدت هر یک از این عناصر در فیلترهای نو و کارکرده کربن بلاک نسبت به فیلتر الیافی کمتر است. بنابراین این مسئله روشن می‌شود که وظیفه عمده کاهش سختی آب در فرآیند تصفیه بر عهده فیلتر الیافی می‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری

با استفاده از روش LIBS بیناب آب ورودی و خروجی یک دستگاه تصفیه آب خانگی به همراه بیناب دو فیلتر بکار رفته در آن که بیشترین نقش را در جذب املاح آب دارند، مورد مطالعه قرار گرفت. علاوه بر شناسایی عناصر موجود در بیناب‌ها مقایسه‌ای بین شدت‌های نسبی عناصر کلسیم و منیزیم که عامل اصلی ایجاد سختی در آب هستند، انجام گرفت. نتایج پژوهش نشان داد که بعد از عبور آب از درون فیلترها، این عناصر جذب فیلتر شده و غلظت آن‌ها در فیلترهای کارکرده افزایش می‌یابد. متعاقباً شاهد کاهش غلظت این عناصر در آب خروجی از دستگاه تصفیه و کاهش سختی آب بودیم. به این ترتیب روش LIBS به عنوان یک روش کاربردی در بررسی عملکرد دستگاه تصفیه آب خانگی مورد استفاده قرار گرفت.

مراجع

- [1] L. L. Osborne, D.A. Kovacic, "Riparian vegetated buffer strips in water quality restoration and stream management", *Freshwater biology*, Vol. 29, pp. 243-58, 1993.
- [2] E. Taheri, M. Vahid Dastjerdi, M. Hatamzadeh, "Evaluation of the influence of conventional water coolers on drinking water quality", *J. Health & Environ*, Vol. 2, pp. 268-75, 2010.
- [3] M. S. Rajaei, Z. Salemi, B. Karimi, M. J. Ghanadzadeh, M. Mashayekhi, "Effect of household water treatment systems on the physical and chemical quality of water in 2011-2012", *Arak Medical University Journal (AMUJ)*; Vol. 16, No. 72, pp. 26-36, 2013.
- [4] R. Noll, *Laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS). Fundamentals and Application*. Springer, 2012.
- [5] NIST, atomic spectra database, <http://physics.nist.gov/physRefdata/ASD/>.
- [6] R.J. Lasheras, C. Bello-Gálvez, J.M. Anzano, "Quantitative analysis of oxide materials by laser-induced breakdown spectroscopy with argon as an internal standard", *Spectrochim Acta Part B*, Vol 82, pp. 65-70, 2013.
- [7] H. Sobral, R. Sangines, A. Trujillo-Vazquez, "Detection of trace elements in ice and water by laser-induced breakdown spectroscopy", *Spectrochimica Acta Part B*, Vol. 78, pp. 62-66, 2012.