

Hard Water

سختی آب یکی از عوامل مهم در تعیین مناسب بودن آب برای مصارف خانگی و صنعتی است که هم از دیدگاه زیباشناختی و پذیرش مصرف کننده، و هم ملاحظات بهره‌برداری اهمیت زیادی دارد. سختی را کاتیون‌های فلزی چند ظرفیتی (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Sr^{2+} , Fe^{2+} ...) ایجاد می‌کنند که فراوان‌ترین نوع آنها در آب‌های طبیعی کلسیم و منیزیم است. تماس آب با ترکیبات آهکی موجود در سطح زمین یا اجزای تشکیل‌دهنده قشر خاک، به ورود عوامل سختی‌زا در آب‌ها شده و معمولاً سختی آب‌های زیرزمینی از نسبت به آب‌های سطحی بیشتر است. طبق استاندارد شماره ۱۰۵۳ مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، حداکثر مطلوب سختی در آب شرب ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر برحسب کربنات کلسیم و حداکثر مجاز آن ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر توصیه شده است، که حداکثر مجاز سختی از نظر اقتصادی ارائه شده است. آثار آب سخت اساساً ناشی از آثار نمک‌های محلول در آن (کلسیم و منیزیم) است. علیرغم برخی فواید آب سخت برای بدن، سختی بیش از حد آب نیز زیان‌هایی به بار می‌آورد که می‌تواند از جنبه‌های اقتصادی، فنی و سلامتی بررسی شود.

دسترسی به آب آشامیدنی سالم به‌عنوان عنصر ضروری وجود و ادامه حیات برای حفظ سلامت آدمی و نیز توسعه و پیشرفت جوامع بشری ضروری است. حدود یک میلیارد نفر در جهان از دسترسی به آب آشامیدنی سالم و ایمن محرومند و در میان آنها افرادی یافت می‌شوند که آب با سختی بالایی را مصرف می‌کنند و در مواردی همین پارامتر سختی به‌عنوان عامل علت‌شناختی مهمی در بروز برخی بیماری‌ها و اختلالات در نظر گرفته می‌شود (Sengupta, 2013). در مطالعات همه‌گیرشناختی پرادمانه‌ای، رابطه بین خطر بروز برخی بیماری‌ها و دیگر آثار بهداشتی و سختی آب حاوی مقادیر زیادی یون‌های کلسیم و منیزیم نمود شده است.

سختی آب یکی از عوامل مهم در تعیین مناسب بودن آب برای مصارف خانگی و صنعتی است (بابایی ۱۳۸۸). سختی را کاتیون‌های فلزی چند ظرفیتی (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Sr^{2+} , Fe^{2+} ...) ایجاد می‌کنند که فراوان‌ترین نوع آنها در آب‌های طبیعی کلسیم و منیزیم‌اند. آب‌های سخت منابع زیرزمینی و سطحی بیشتر مربوط به مناطقی است که

شکل‌های کامل زمین‌شناختی سنگ‌های آهکی دارند. Ca^{2+} و Mg^{2+} با وجود رضایت‌بخش بودن برای مصارف انسانی، شوینده‌ها را ته‌نشین می‌کنند که باعث کاهش کارایی تمیزکنندگی آنها و به ایجاد لایه‌های ($\text{Mg}(\text{OH})_2$, CaCO_3) در خط اصلی توزیع آب و گرم‌کن‌های آب داغ منجر می‌شوند (بابایی، ۱۳۸۸)، (Edzward, 2011).

وجود کاتیون‌های فلزی دو ظرفیتی مانند کلسیم، منیزیم، استرانسیم، آهن و منگنز به ایجاد سختی در آب می‌انجامد، هرچند که به‌علت ناچیز بودن غلظت کاتیون‌های استرانسیم، آهن و منگنز، علت عمده سختی در آب مربوط به کلسیم و منیزیم است (بابایی، ۱۳۸۸). به‌طورکلی، سختی آب در دستگاه متری، برحسب میلی‌گرم در لیتر کلسیم کربنات اندازه‌گیری می‌شود و یک درجه سختی معادل یک میلی‌گرم در لیتر کلسیم کربنات است. در سایر دستگاه‌های اندازه‌گیری یکای آن برحسب کمیته‌های دیگری بیان می‌شود (بابایی، ۱۳۸۸)، (Edzward, 2011).

سختی را به دو روش طبقه‌بندی می‌کنند (بابایی، ۱۳۸۸):

۱. به اعتبار به یون‌های فلزی؛
۲. به اعتبار آنیون‌های مرتبط با یون‌های فلزی.

قسمت اعظم سختی در آب‌های طبیعی را کلسیم و منیزیم ایجاد می‌کنند. اما بخشی از سختی کل آب را که از نظر شیمیایی معادل قلیائیت کربنات و بی‌کربنات موجود در آب است، سختی کربنات در نظر می‌گیرند. ترکیبات سختی کربنات و غیر کربنات در جدول ۱ درج شده‌اند. بخشی از کیفیت آب‌های زیرزمینی به بارش وابسته است، ولی مهم‌ترین عامل، نوع تشکیلات زمین، طول مسیر طی شده و مدت زمان این جابجایی است (صالحی، ۱۳۹۳). آب‌های سخت منابع زیرزمینی بیشتر به مناطقی مربوط است که شکل‌های کامل زمین‌شناختی سنگ‌های آهکی (Limestone) را دارند (Prepas, 2001). سختی آب ناشی از وجود املاح قلیایی خاکی به‌خصوص املاح کلسیم و منیزیم است که معمولاً از این قرار به آب‌های زیرزمینی راه

می‌یابند:

کلسیم. از طریق سنگ‌های آهکی وارد آب‌های زیرزمینی وارد می‌شود؛

منیزیم. از طریق دولومیت به آب وارد می‌شود.

بنابراین، تماس آب با ترکیبات آهکی موجود در سطح زمین یا اجزای تشکیل‌دهنده قشر خاک، سبب ورود عوامل سختی در آب‌ها می‌شود و معمولاً آب‌های زیرزمینی نسبت به آب‌های سطحی از سختی بیشتری برخوردارند (Sengupta, 2013).

سختی را به دو صورت موقت و دائم دسته‌بندی می‌شود. سختی موقت (Temporary Hardness) را سختی کربناتی (Carbonate Hardness) نیز می‌نامند. این سختی، کلسیم بی‌کربنات و منیزیم را به وجود می‌آورد که عمدتاً به کمک گرما و یا افزایش pH کاهش می‌یابد (Sengupta, 2013)، (بابایی، ۱۳۸۸). سختی دائم (Permanent Hardness) را سختی غیرکربناتی (Non-Carbonate Hardness) نیز می‌نامند. این سختی، با حرارت دادن قابل حذف نیست. ضروری به نظر می‌رسد که این دو نوع سختی از هم متمایز شوند، زیرا روش‌های حذف هریک از این دو نوع از دیگری متفاوت است (Sengupta, 2013)، (بابایی، ۱۳۸۸). (جدول ۱)

نوع دیگر سختی، سختی کاذب است. آب دریا، آب‌های لب شور و سایر آب‌ها که حاوی مقادیر چشمگیری Na^+ اند، با تأثیر صابون به دلیل اثر یون مشترک تداخل می‌کنند. سدیم کاتیونی ایجاد کننده سختی نیست، بنابراین عمل یادشده را که در غلظت بالای سدیم انجام می‌شود، سختی کاذب می‌نامند (بابایی، ۱۳۸۸).

جدول ۱. ترکیبات سختی کربناته و غیرکربناته (Sengupta, 2013)

ترکیبات سختی غیرکربناته	ترکیبات سختی کربناته
کلسیم سولفات ($CaSO_4$)	کلسیم کربنات ($CaCO_3$)
منیزیم سولفات ($MgSO_4$)	منیزیم کربنات ($MgCO_3$)
کلسیم کلرید ($CaCl_2$)	کلسیم بی‌کربنات ($Ca(HCO_3)_2$)
منیزیم کلرید ($MgCl_2$)	منیزیم بی‌کربنات ($Mg(HCO_3)_2$)
	کلسیم هیدروکسید ($Ca(OH)_2$)
	منیزیم هیدروکسید ($Mg(OH)_2$)

سختی کل (Total Hardness) شامل هر دو نوع سختی موقت و دائم است.

معمولاً بسته به میزان سختی، آب‌ها را به چهار گروه تقسیم می‌کنند (Edzward, 2011):

آب‌های سبک (Soft water). میزان سختی بین ۰ تا ۷۵ میلی‌گرم در لیتر برحسب کلسیم کربنات؛

آب‌های نیمه سخت (Moderately hard water): سختی بین ۷۵ تا ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر برحسب کلسیم کربنات؛

آب‌های سخت (Hard water): سختی بین ۱۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر برحسب کلسیم کربنات؛

آب‌های بسیار سخت (Very hard water): سختی بیش از ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر برحسب کلسیم کربنات ($CaCO_3$)

بنابر محتویات استاندارد شماره ۱۰۵۳ مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ویرایش پنجم، حداکثر مطلوب سختی در آب ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر کلسیم کربنات و حداکثر مجاز آن ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر کلسیم کربنات توصیه شده است که حداکثر مجاز سختی از دیدگاه اقتصادی است. باید گفت که سازمان بهداشت جهانی حدی برای سختی آب توصیه نکرده است و واحد مجاز یاد شده در آن نیز از نظر فنی و اقتصادی است (استاندارد ۱۰۵۳). غلظت کلسیم و منیزیم محلول در آب سخت و نرم در جدول ۲ آورده شده است.

آب سخت

سخت هیچ‌گونه اثر زیانباری بر سلامتی آدمی ندارد و علاوه بر آن آب سخت می‌تواند عاملی مکمل در جذب کلی منیزم و کلسیم به شمار آید (Calan, 2002). با این حال، افراد تا حد زیادی از جذب بالای کلسیم به دلیل سازوکار جذب روده‌ای منظم محافظت می‌شوند و کلسیم هم می‌تواند با برهم کنشی که با آهن، روی و فسفر در روده دارد باعث کاهش جذب این مواد مغذی شود.

از علل عمده هیپومنیزیمی (جذب اضافی منیزیم)، نارسایی کلیه مرتبط با کاهش قابل توجه توانایی در دفع منیزیم است (Chandra, 2013). به همین دلیل، گاهی تشدید پدیده تولید سنگ کلیه به دلیل رسوب یون‌های معلق در کلیه ناشی از سختی آب مطرح می‌شود. افزایش مصرف یا جذب نمک‌های منیزیمی ممکن است به تغییراتی در عملکرد روده (اسهال) انجامد. آب آشامیدنی که در آن، میزان هم Mg و هم SO_4 بالا باشد (معادل ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر) می‌تواند اثر ملین داشته باشد (Sengupta, 2013).

در برخی مطالعات، رابطه معکوس بین سختی آب و بیماری‌های قلبی عروقی گزارش شده است (Leoni, 1985)، (Sengupta, Chaudhuri, 2013)، (Sangupta, Sahoo, 2013)، (Kubis, 1985)، (Sengupta, 2012)، (Mackinnon, 2012) اما در برخی مطالعات نیز رابطه‌ای یافت نشد (Sonneborn, 1983).

سختی در آب آشامیدنی هم از نظر زیباشناختی و پذیرش مصرف‌کننده و هم ملاحظات بهره‌برداری اهمیت زیادی دارد. اگرچه برخی شواهد نشان از اثر حفاظتی سختی در برابر برخی بیماری‌ها همچون بیماری قلبی عروقی دارد ولی هنوز به‌طورکلی اثبات نشده و نیاز به مطالعات گسترده‌ای است که باید در این زمینه انجام شود. همچنین، در حال حاضر اطلاعات کافی و جامعی در زمینه سختی آب وجود ندارد تا پیشنهاد کند که حداقل و حداکثر مقدار مواد معدنی چقدر باشد تا بتوان رهنمود جامع و دقیقی در این

جدول ۲. غلظت کلسیم و منیزیم محلول در آب سخت و نرم (WHO, 2011)، (Sengupta, 2013)

آب	میلی‌گرم در لیتر (mg/l)	گالین در هر گالین امریکایی (Grain/Gallon (US))
نرم	۰-۶۰	۰-۳/۵
متوسط	۶۱-۱۲۰	۳/۵-۷
سخت	۱۲۱-۱۸۰	۷-۱۰/۵
خیلی سخت	>۱۸۰	>۱۰/۵

1 ppm = 0.058 gpg

ترکیبات کلسیم به میزان کم در آب حل می‌شوند؛ اما وجود کربن دی‌اکسید در آب باعث افزایش حلالیت این ماده می‌شود.

اگر قلیائیت کل آب، مساوی یا بیشتر از سختی کل باشد، تمام سختی آب به صورت سختی کربناتی خواهد بود. در صورتی که که قلیائیت کل، کمتر از سختی باشد، سختی کربناتی آب معادل قلیائیت و سختی دائم، عبارت است از اختلاف بین سختی کل و قلیائیت (Sengupta, 2013)، (بابایی، ۱۳۸۸).

آثار آب سخت اساساً ناشی از تأثیرات نمک‌های محلول در آن (کلسیم و منیزیم) است. علیرغم برخی فواید آب سخت برای بدن، سختی بیش از حد آب نیز زیان‌هایی به بار می‌آورد که می‌توان آن را از جنبه‌های اقتصادی، فنی و سلامتی مورد بررسی کرد. این زیان‌ها از این قرارند:

- تشکیل رسوب بر جداره داخلی لوله‌های آب گرم، رادیاتورهای شوفاژ، لباسشویی‌ها و... و در نتیجه کاهش کارایی آنها؛

- کاهش کیفیت، طعم و مزه آب؛

- کاهش بازده شست‌وشو به دلیل عدم یا کاهش تولید در آب‌های سخت؛

- کاستن عمر مفید پوشاک به دلیل زبر و خشن شدن الیاف آنها.

سازمان جهانی بهداشت در کنفرانس ژنو اعلام کرد آب

Sengupta P, Sahoo S. A cross sectional study to evaluate the fitness pattern among the young fishermen of Coastal Orissa. *Indian J Public Health Research and Development*. 2013;4:171-175

Sonneborn M, Mandelkow J, Schon D, Hoffmeister H, Zoeteman BCJ. Health effects of inorganic drinking water constituents, including hardness, iodide and fluoride. *CRC Crit Rev Environ Control*. 13:1-22; 1983.

امیرحسین محوی

عضو هیأت علمی دانشگاه تهران، دانشکده بهداشت

زمینه براساس آن پیشنهاد داد.

کتاب‌شناسی

استاندارد ۱۰۵۳ آب آشامیدنی، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، موسسه

استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تجدید نظر پنجم، ۱۳۸۸

بابایی، علی‌اکبر؛ جعفرزاده حقیقی فرد، نعمت الله و علوی، سیدناذعلی.

شیمی محیط زیست (آنالیزهای آب و فاضلاب). ترجمه انتشارات

اندیشه رفیع، ۱۳۸۸

صالحی، حسین و زینی وند، حسین. بررسی کیفیت آب زیرزمینی برای

شرب و کشاورزی و انتخاب مناسب‌ترین روش مکان‌یابی مکانی

آن (مطالعه موردی: غرب شهرستان مریوان). اکوهیدرولوژی، دوره

۱، شماره ۳، زمستان ۱۳۹۳، ص ۱۶۶-۱۵۳

Chandra AK, Sengupta P, Goswami H, Sarkar M. Effects of dietary magnesium on testicular histology, steroidogenesis, spermatogenesis and oxidative stress markers in adult rats. *Indian J Exp Biol*. 51(1):37-47; 2013.

Edzwald, James K. Water quality and treatment, A handbook on drinking water. Six Edition. American Water Work Association. 2011

Galan P, Arnaud MJ, Czernichow S, Delabroise AM, Preziosi P, Bertrais S, Franchisseur C, Maurel M, Favier A, Hercberg S. Contribution of mineral waters to dietary calcium and magnesium intake in a French adult population. *J Am Diet Assoc*. 102(11):1658-62; 2002.

Hardness in Drinking-water, Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality, World Health Organization 2011.

Kubis M. Relation of water hardness to the occurrence of acute myocardial infarct. *Acta Univ Palacki Olomuc Fac Med*. 111:321-4; 1985.

Leoni V, Fabiani L, Ticchiarelli L. Water hardness and cardiovascular mortality rate in Abruzzo, Italy. *Arch Environ Health*. 40:274-8; 1985.

Mackinnon AU, Taylor SH. Relationship between 'sudden' coronary deaths and drinking water hardness in five Yorkshire cities and towns. *Int J Epidemiol*. 9:247-9; 1980.

Prepas EE, Pinel-Alloul B, Chambers PA, Murphy TP, Reedyk S, Sandland G, et al. Lime treatment and its effects on the chemistry and biota of hardwater eutrophic lakes. *Freshw Biol*. 46:1049-60; 2001

Sengupta P. Challenge of infertility: How protective the yoga therapy is? *Ancient Sci Life*. 32:61-62; 2012.

Sengupta, Pallav. Potential health impact of hard water. *Int J Prev Med*. 4(8): 2013

Sengupta P, Chaudhuri P, Bhattacharya K. Screening obesity by direct and derived anthropometric indices with evaluation of physical efficiency among female college students of Kolkata. *Annals Med Health Sci Res*. 3(4):517-22; 2013.