اثر آلودگی سرب روی خصوصیات فیزیکی خاک های زئولیتی و بنتونیتی

حکیمه عباسلو [۱] و سمیه بختیاری [۲]
۱- استادیار بخش مهندسی عمران دانشگاه صنعتی سیرجان، ۲- دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی سیرجان

چکیده
خاکها و آبهای سطحی و زیر زمینی بطور پیوسته توسط مولفه های فلز سنگین آزاد شده از طریق منابع مختلف طبیعی و مصنوعی آلوده میشوند؛ بررسی پاسخ خاک به این تغییرات، جهت استفاده بهینه و بهبود خاک ضروری می باشد. بنابراین تحقیق حاضر با هدف تاثیر آلاینده سرب بر روی برخی خواص فیزیکی مهم خاک های مخلوط و ریز دانه (زئولیت و بنتونیت) انجام گردید. خاک ها به مدت ۱۸۰ روز توسط تیمار سرب با غلظت های مختلف تیمار شدند و تغییرات خصوصیات فیزیکی مهم خاک ها مورد آنالیز قرار گرفتند. نتایج کلی بیانگر افزایش در مقاومت و کاهش حدود اتربرگ و رطوبت بهینه خاک بود. علت اصلی تغییرات می تواند جذب آلاینده کاتیونی توسط رس و کربنات خاک های با pH بالا و فولوکوله شدن ذرات و تولید خاکدانه های بزرگتر باشد. شیب تغییرات درغلظتهای کم، زیاد بوده و با افزایش غلظت از میزان شیب کاسته شده است.
کلمات کلیدی: زئولیت، بنتونیت، آلاینده سرب، خواص فیزیکی

مقدمه
تخریب و آلودگی محیط زیست، ثمره ی جوامع صنعتی و یکی از ره آوردهای صنعتی شدن اجتماعات بشری است. در حال حاضر یکی از چالش های اساسی در زمینه محیط زیست، افزایش تدریجی غلظت فلزات سنگین در خاك به سبب عدم تجزیه آنها توسط میکرو ارگانیسم ها می باشد. در سال های اخیر ژئوتکنولوژی زیست محیطی به عنوان علم میان رشته ای با هدف و پیش بینی و تحلیل و حل مشکلات ژئوتکنیک مربوط به تاثیر عوامل محیطی، پدید آمده است (Manassero and Deangeli, ۲۰۰۲).
در ابتدا، رفتار سیستم آب-خاک بوسیله (۱) نوع و مقدار کانی های رسی، (۲) طبیعت سیال منفذ ، (۳) کاتیونها و آنیونهای همراه، و (۴) ماده آلی کنترل می شود (Mohammed and Antia, ۱۹۹۸). تعامل و اثر متقابل آب و خاک روی خصوصیات خاک ها به طور نسبی اثر می گذارد. اگر چه اثرات آلاینده ها روی خاک ها پیچیده هستند، اما اگر فاکتورهای مختلف جداگانه و مستقل بررسی شوند؛ درک آن بهتر خواهد بود. اثرات ممکن است برای انواع خاک ها متفاوت باشد. اثر روی خاک های رسی مختلف بوسیله آلاینده ها به صورت زیر بررسی می شود: الف- ویژگی شاخص های خاک، ب) رفتار تغییر حجم، ج) مقاومت برشی، و د) نفوذپذیری (Ouhadi and Amiri, ۲۰۱۱; Li et al., ۲۰۱۵). پاتل (۲۰۱۴) حدوداتربرگ وآزمونهای تراکم راروی یک خاک مزرعه آلوده به پنبه انجام دادند. آلودگی خاکها به صورت مصنوعی بودند و آلودگیها شامل باریم (۷/۴۷۱ mg/kg)،کروم (۲/۳۰۵ mg/kg)،روی (۱۳۹ mg/kg)،مس (۵/۱۳۷ mg/kg)،نیکل (۷۹ mg/kg)،کبالت (۳/۵۱ mg/kg)، وانادیم (۶/۳۰۸ mg/kg)، و استرانسیم (۹/۳۱۷ mg/kg) بودند. نتایج نشان داد که افزایش عناصر سنگین، وزن مخصوص و رطوبت بهینه را کاهش داده است. همچنین آلودگی حدروانی، حدخمیرایی، و ماکزیمم دانسیته خشک را کاهش داده است.
تحقیقات گسترده ای در ارتباط با آلودگی خاک، هوا و آب وجود دارد؛ اما تلاش های کمی در ارتباط با تعیین چگونگی پاسخ های خاک به این مواد سمی و خطرناک انجام شده است. بنابراین تحقیق حاضر با هدف ارزیابی چگونگی پاسخ خاک های ریزدانه زئولیتی و بنتونیتی به غلظت های مختلف آلاینده سرب، توسط بررسی برخی خواص فیزیکی خاک ها، صورت پذیرفت.

مواد و روش‌ها
نمونه گیری
زنولیت: زئولیت سیلیسی تهیه شده از معدن سمنان
بنتونیت: بنتونیت سیلیسی تهیه شده از معدن حاجی آباد استان هرمزگان
خاک درشت دانه: خاک درشت دانه دانشگاه صنعتی سیرجان
نمونه های مورد استفاده و ترکیب آنها در جدول ۱ آورده شده اند. کلیه نمونه ها توسط نیترات سرب با غلظت های ۵۰۰ ppm و ppm ۱۰۰۰ به عنوان آلاینده فلز سنگین، به مدت ۱۸۰ روز تیمار شدند.

جدول ۱- ترکیب نمونه های خاک مورد استفاده در مطالعه

نمونه	درصد ریزدانه	درصد درشت دانه	نوع ریزدانه	نوع درشت دانه
۱	۱۰۰	۰	بنتونیت	-

۲	۱۰۰	۰	زئولیت	-
۳	۶۰	۴۰	بنتونیت	شن و ماسه و لای (اغلب کوارتز، کربنات و فلدسپات)
۴	۶۰	۴۰	زئولیت	شن و ماسه و لای (اغلب کوارتز، کربنات و فلدسپات)

آزمایشات فیزیکی

حد روانی بوسیله روش کاساگرانده بر اساس ASTM D۴۳۱۸-۱۰ (۲۰۱۰) روی نمونه های خاک عبوری ۴۲۵/۰ میلیمتر تعیین خواهد شد. حد خمیرایی بوسیله روش رول کردن فتیله بر اساس روش ASTM D۴۳۱۸-۱۰ (۲۰۱۰) انجام میشود. نشانه (شاخص) خمیرایی به صورت تفاوت بین حد روانی و خمیرایی محاسبه شده است. آنالیز اندازه ذرات به روش هیدرومتر روی ذرات عبوری از الک مش ۱۰ انجام خواهد گرفت (ASTM D۴۲۲, ۲۰۰۷). جهت برآورد رطوبت بهینه و حداکثر وزن مخصوص خشک تراکم به روش استاندارد روی نمونه ها بررسی و اندازه گیری میشود (ASTM D۶۹۸, ۲۰۱۲) و بر اساس رطوبت بهینه خاک ها به روش استاندارد متراکم و مقاومت فشاری تک محوری آنها بر اساس استاندارد (ASTM D۲۱۶۶-۶۶, ۲۰۰۶) مورد بررسی قرار گرفت. محتوای رطوبت خاک به روش خشک کردن در آون اندازه گیری و به صورت درصد وزن خشک آن بیان خواهد شد. وزن مخصوص ذرات (Gs) به روش پیکنومتر آب ASTM D۸۵۴ (۲۰۱۴) تخمین زده میشود.

آزمایشات میکروسکوپی

تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (Zeiss-DSM ۹۵۰) خاک های مختلف و در تمیارهای مختلف آلاینده، با هدف بررسی تغییرات اندازه ذرات و شکل خاکدانه ها مورد آنالیز قرار گرفت.

نتایج

خصوصیات فیزیکی خاک ها و همچنین طبقه بندی آنها بر اساس سیستم وزارت جهاد کشاورزی آمریکا (United State Department of Agriculture: USDA) در جدول ۲ آورده شده است. بر اساس نتایج جدول، درصد رس در همه خاک ها پس از تیمار کاهش یافته است و با افزایش آلودگی، کاهش ادامه یافته است. و میزان درصد لای در خاکهای بنتونیت پس از تیمار افزایش یافته و در سایر خاک هاکاهش یافته است و درصد شن در خاکها افزایش نشان داده است.

ردیف	رس	لای	شن	طبقه بندی USDA	حد خمیرایی	حد روانی	شاخص خمیرایی	فعالیت	وزن مخصوص ذرات خاک (Gs)
		%			%				
بدون تیمار (۰ ppm)									
درشت دانه+زئولیت	۸	۳۸	۵۴	Sandy loam-loam					۲۴/۲
درشت دانه+بنتونیت	۱۲	۵۲	۳۶	Silt loam					۵۸/۲
زئولیت	۱۴	۵۹	۲۷	Silt loam	۴۴	۵۵	۱۱	۷۹/۰	۰۹/۲
بنتونیت	۲۵	۶۱	۱۴	Silty clay loam	۴/۲۹	۱۰۵	۶/۷۵	۰۲/۳	۵۵/۲
تیمار ۵۰۰ ppm									
درشت دانه+زئولیت	۵	۲۰	۷۵	Sandy loam					
درشت دانه+بنتونیت	۸	۳۸	۵۴	Sandy loam					
زئولیت	۱۰	۱۱	۷۹	Loamy sand	۴۱	۴۹	۸	۸/۰	
بنتونیت	۱۹	۶۳	۱۸	Silt loam	۲۷	۵/۹۳	۵/۶۶	۵/۳	
تیمار ۱۰۰۰ ppm									
درشت دانه+زئولیت	۴	۱۴	۸۲	Sand					
درشت دانه+بنتونیت	۵	۴۶	۴۹	Sandy loam					
زئولیت	۷	۷	۸۶	Loamy sand	۵/۴۱	۵۰	۵/۸	۲/۱	
بنتونیت	۱۵	۶۵	۲۰	Silt loam	۲۷	۲/۸۹	۲/۶۲	۱۵/۴	

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی مختلف خاک ها در تیمارهای ۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ ppm

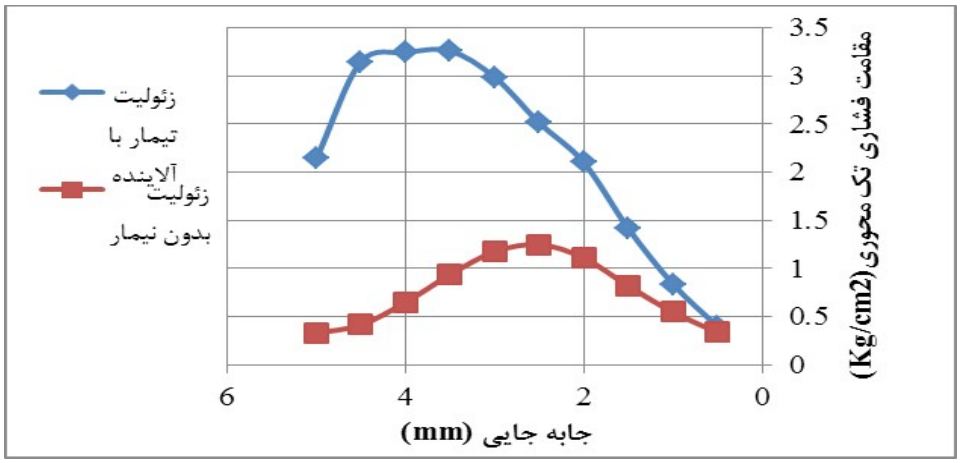
بر اساس نتایج جدول ۳، رطوبت بهینه پس از تیمار در کلیه خاک ها کاهش نشان داده است. وزن مخصوص خشک پس از آلوده شدن خاک، افزایش یافته است؛ اما این افزایش ناچیز می باشد.

جدول ۳- تراکم استاندارد برخی از خاک های مورد بررسی (تیمار ۰ و ۱۰۰۰ ppm)

نوع خاک*	رطوبت بهینه %	ماکزیمم وزن مخصوص خشک $KN\ m^{-3}$
رئولیت (۰)	۲۲	۰/۱۶
زئولیت (۱)	۱۸	۷/۱۶
بنتونیت (۰)	۷/۲۵	۴/۱۷
بنتونیت (۱)	۴/۲۰	۸/۱۸
درشت دانه و زئولیت (۰)	۰/۱۲	۰/۱۹
درشت دانه و زئولیت (۱)	۵/۱۰	۲/۱۹

*عدد (۰) نشان دهنده خاک بدون تیمار الاینده فلز سنگین و عدد (۱) نشان دهنده خاک با تیمار فلز سنگین ۱۰۰۰ ppmمی باشد.

تغییرات مقاومت فشاری خاک های زئولیتی (تیمار های ۰ و ۱۰۰۰ ppm)در شکل ۱ نشان داده شده است



شکل ۱ - تغییرات مقاومت فشاری تک محوری خاک ریزدانه زئولیتی قبل و بعد از تیمار با آلاینده سرب ۱۰۰۰ ppm

بحث و نتیجه گیری

جذب آلاینده های زیست محیطی توسط کانی های مختلف رسی موجب تغییر خواص سطح، همچون فولوکوله، تراکم و کاهش تورم می شود (Ouhadi and Amiri, ۲۰۰۸). همچنین کانی های کربناتی در خاک، به صورت ذرات ریز، در متن پولک های رسی و یا با پوشش دادن سطوح در خاک وجود دارند. کانی های کربناتی نقش مهمی در جذب و نگهداری فلزات سنگین ایفا می کنند(Yong et al., ۱۹۹۲). در پ هاش پایین، ترکیبات کربناتی در نمونه های خاک تجزیه شده موجب می شود که سطح فعال بیشتری در فرایند تبادل شرکت نماید (Ouhadi and Amiri, ۲۰۱۲). در اثر حلالیت فاز کربنات و تمایل یون H^+به جذب در سطح رس، جذب آلاینده های فلزی سنگین کاهش می یابد (Ouhadi and Amiri, ۲۰۱۲). در حالی که در پ هاش بالا کلیه اجزای خاک در فرایند نگهداری آلاینده فلزی سنگین شرکت می کنند. معمولا در پ هاش های بزرگتر از ۵، فاز کربناتی بر روند نگهداشت آلودگی تاثیر ویژه ای می گذارد. هنگامیکه pH سیستم خاک به ازای افزودن اسید به سرعت کاهش یابد؛ با این تغییرات می توان نتیجه گرفت که خاک دارای توانایی کمی برای نگهداری آلاینده است (Yong et al., ۱۹۹۲). تحقیقات نشان میدهد که ظرفیت بافرینگ خاکها به مقدار زیادی از ظرفیت تبادل کاتیونی و میزان کربنات موجود خاک تاثیر می پذیرند (Elzahabi and Yong, ۲۰۰۱).

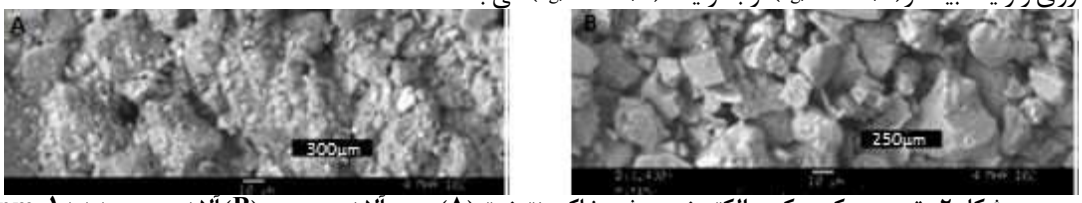
مکانیسم غالب جذب سطحی فلزات در یک محیط متخلخل، کشش و جذب خاک برای فلزات با بار مثبت می باشد. مکانیسم جذب سطحی، معمولا به صورت تبادل یونها است؛ به طوریکه کاتیونهای فراوان طبیعی مانند گروه I , II شامل H^+, Na+, K+, Ca+, Mg و غیره جذب بارهای منفی روی سطح رس می شوند و با فلزات سنگین تبادل می شوند. نتایج بدست آمده از مطالعه جذب سطحی نشان دهنده مناسب بودن رسها به عنوان موانع مواد برای به دام انداختن حرکت موادی مانند سرب می باشد (Malathy and Muttharam, ۲۰۱۳).

یک رفتار تیپیک رسها این می باشد که تغییر در خواص آنها به دلیل تغییر در ضخامت لایه دوگانه پخشیده می باشد (Mitchell, ۱۹۹۳). با افزایش کاتیونها ضخامت لایه دوگانه پخشده کاهش می یابد، بنابراین علت کاهش در رطوبت حد روانی و خمیرایی می تواند به دلیل کاهش ضخامت لایه دوگانه پخشیده با افزایش غلظت سرب باشد. حدود اتربرگ می تواند به عنوان یک نماینده بررفتار خاک رس استفاده شود. همچنین این عامل می تواند با خواص مهندسی مختلف مانند نفوذپذیری، کاهش و رفتار تورم، مقاومت برشی، و تراکم خاک ارتباط برقرارکند. از سوی دیگر، جذب سرب در خاک رس باعث جا به جایی یون H^+ و باعث لخته شدن، افزایش مقاومت و کاهش رطوبت بهینه گردد. با آلودگی خاک رس توسط سرب، حد روانی، حد خمیری و شاخص خمیرایی کاهش یافته است. اما شدت کاهش در تیمار ۵۰۰ ppm بیشتر از ۱۰۰۰ ppm می باشد.

بر اساس نتایج بدست آمده، در خاک های ریز دانه درصد رس پس از تیمار با آلاینده کاهش یافته است؛ به طوریکه در بنتونیت از ۲۵ درصد به ۱۵ درصد و در زئولیت از ۱۴ درصد به ۷ درصد کاهش یافته است. میزان لای در خاک ریز دانه بنتونیتی پس از تیمار

افزایش یافته و در ریزدانه زنولیتی کاهش یافته است. در خاک های مخلوط درشت دانه و ریز دانه، درصد رس و لای کاهش یافته، اما درصد شن افزایش یافته است. احتمالا سرب در جزء ریزدانه، به دلیل حضور کانی رس و کاتیون سرب، سبب فولوکوله شدن ذرات شده و جزء درشت دانه افزایش پیدا کرده است. همچنین معمولا در پ هاش های بزرگتر از ۵، فاز کربناتی بر روند نگهداشت آلودگی تاثیر ویژه ای می گذارد. خاک های مورد نظر قلیایی بوده و جذب آلاینده افزایش بیشتری داشته است.

مقاومت فشاری تک محوری خاک رس، به علت آلودگی خاک با سرب افزایش می یابد. و بیشترین مقاومت در قبل از تیمار مرتبط با حضور رس و چسبندگی آنها بوده است؛ با افزایش غلظت آلاینده جزء درشت دانه افزایش یافته و اصطکاک بین ذرات بیشتر و مقاومت افزایش نشان داده است. بیشترین مقاومت پس از تیمار توسط آلاینده مربوط به زئولیت می باشد. مدل‌های لانگمویر و فروندلیخ، هم دماهای جذب سرب به وسیله زئولیت و بنتونیت را به خوبی توصیف می کنند. زئولیت در شرایط شیمیایی مشابه مقادیر بیشتری سرب را نسبت به بنتونیت جذب می کند (حمید پور، ۱۳۸۸). بنابراین با افزایش آلودگی مقاومت فشاری تک محوری زنولیت بیشتر(kg/cm۲ ۲۶/۳) از بنتونیت (kg/cm۲ ۸۶/۲) می باشد.



شکل ۲- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی خاک بنتونیت (A) بدون آلاینده سرب و (B) آلاینده سرب ۱۰۰۰ ppm

به طور کلی، آلودگی خاک تغییرات محسوسی در خواص فیزیکی و مکانیکی خاک از طریق کاهش لایه مضاعف دوگانه و لخته شدن ذرات با افزایش جذب سطحی سرب، داشته است. این تغییرات خود را به صورت افزایش اندازه خاکدانه و منافذ بین ذرات (شکل ۲) نشان داده است.

منابع

حمید پور، م. ۱۳۸۸. جذب و واجذب کادمیم و سرب به وسیله کانیهای بنتونیت و زئولیت. پایان نامه دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

Amouei A.I., Mahvi A.H. and Naddafi K. ۲۰۰۶. Effect on heavy metals Pb, Cd and Zn availability in soils by amendments. J Babol University of Medical Sciences, ۷: ۲۶-۳۱.

ASTM D۲۴۳۵ / D۲۴۳۵M-۱۱. ۲۰۱۱. Standard Test Methods for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Incremental Loading, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org

ASTM D۴۲۲-۶۳(۲۰۰۷) e۲. ۲۰۰۷. Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org

ASTM D۴۳۱۸-۱۰e۱. ۲۰۱۰. Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org

ASTM D۸۵۴-۱۴. ۲۰۱۴. Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org

Elzahabi M. and Yong R.N. ۲۰۰۱. Soil acidification effect on some physico- chemical soil properties of clayey material" Geoenviromental Impact Management, Ed. By Yong and Tomas, Tomas Telford, London, pp. ۲۷۷-۲۸۵.

Li J.S., Xue Q., Wang P. and Li Z. ۲۰۱۵. Effect of Lead (II) on the mechanical behavior and microstructure development of a Chinese clay. Applied Clay Science, ۱۰۵-۱۰۶: ۱۹۲-۱۹۹.

Malathy J.M. and Muttharam. M. ۲۰۱۳. Behaviour of lead on clayey soil. Proceedings of Indian Geotechnical Conference, December ۲۲-۲۴, Roorkee.

Manassero M. and Deangeli C. ۲۰۰۲. Education in Environmental Geotechnics. Proc. of Indian Geotechnical Conference, vol. ۲. Allahabad, India, pp. ۸۴۰-۸۴۸. A.M.O. Mohamed, H.E. Antia. ۱۹۹۸. Geoenvironmental Engineering. Elsevier, AP - Science - ۷۰۶ pages.

Mitchell J.K. ۱۹۹۳. Fundamentals of Soil Behaviour. John Wiley & Sons, Inc., New York.

Mohamed A.M.O. and Anita H.E. ۱۹۹۸. Developments in Geotechnical Engineering. Geoenvironmental Engineering, Elsevier, Amsterdam. ۷۰۷ p.

Ouhadi V.R. and Amiri M. ۲۰۰۸. Geo-Environmetal behaviour of nano-clays in interaction with heavy metal contaminants. the fourth Conference on Nano-Technology, Razi University, Kermanshah.

Ouhadi V.R. and Amiri M. ۲۰۱۱. Geo-environmental Behaviour of Nanoclays in Interaction with Heavy Metals Contaminant", Amirkabir Journal of Civil Civil, ۴۲(۳): ۲۹-۳

Ouhadi V.R. and Amiri M. ۲۰۱۲. Capability of nano clays for environmental contaminant adsorption with specific attention to the heavy metal retention. ۹th International Congress on Civil Engineering, May ۸- Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Patel A.V. ۲۰۱۴. A study on Geotechnical Properties of Heavy meal Contaminated Soil.Indian Journal of Research. ۳(۶): ۶۲-۶۳.

Yong R.N. Mohamed A.M.O. and Warkentin B.P. ۱۹۹۲. Principles of Contaminant Transport in Soils.Developments in Geotechnical Engineering, vol. ۷۳, Elsevier Science Publishers, Amsterdam.

Abstract

Soil, surface and ground water continuously are polluted by released heavy metal components from natural and artificial sources; evaluation of the soil response to these changes is essential for efficient land-use and soil restoration. The research aims to assess the impact of lead contaminant on some physical characteristics of mix soils and fine-grained soils (zeolite, bentonite). Soils were treated with different lead (Pb) concentrations for ۱۸۰ days and changes in the physical properties of the soil samples were analyzed. The overall results indicate an increase in soil compression strength and a decrease in the optimal moisture and Atterberg Limits, as well. The adsorbed cations by the clay and soil carbonates with a high pH, particle flocculation, and forming larger aggregates are the main reasons of the observed alterations. The gradient of changes has been more in lower lead concentrations (۵۰۰ ppm), while the slope with increasing lead concentration (۱۰۰۰ ppm) has been reduced.