



## Investigation of Glass Preparation using Processed Nepheline Syenite from Kaleybar, Iran

Aida Faeghinia \*

Assistant Professor, Department of Ceramic, Materials and Energy Research Center (MERC), Karaj, Alborz, Iran

\*Corresponding Author's Email: [a.faeghinia@merc.ac.ir](mailto:a.faeghinia@merc.ac.ir) (A. Faeghinia)**Paper History:**

Received: 2021-04-05  
 Revised in revised form: 2021-05-12  
 Scientific Accepted: 2021-05-21

**Keywords:**

Nepheline,  
 Glass,  
 Structure,  
 Processing

**Abstract** In this study, the change of the structure of Nepheline (Neph) (including two minerals, syenite and microcline) was studied, using hydrothermal and milling methods by the 2 mol. soda (NaNeph) and 30 wt % lime (CaNeph), respectively. The X-ray diffraction and Raman spectra show that, the structure of the microcline phase in the (CaNeph) sample remained stable but the structure of Nepheline was somewhat degraded. The main characteristic XRD peaks of Nepheline in the NaNeph sample at 28° stayed compared to the CaNeph one. According to Raman spectroscopy the structural order of alumina-silicate rings in CaNeph sample was higher than Neph due to the 3 hrs. milling and entering of the alkaline earth elements into the ring structure. Finally, Nepheline bearing glass samples with chemical composition of 6 wt % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-65.5 wt % SiO<sub>2</sub>-13 wt % Na<sub>2</sub>O-16 wt % CaO were used. The amounts of used Nepheline in the composition of glasses were 25 to 38 % by weight (depending on the final composition). The difference in thermal behavior of GCaNeph, GNaNeph and GNeph glasses was compared by means of thermal analysis (DTA/TG) and volumetric change (dilatometry). The glass transition temperatures were 25, 37 °C increased in GCaNeph and GNaNeph compared to Neph samples (without processing) respectively. The chemical resistance of GCaNeph and GNaNeph glasses in the present work was 4 times higher than GNeph. The density of GCaNeph glass in the present work was 0.9 g/cm<sup>3</sup> higher than GNeph.


<https://doi.org/10.30501/jamt.2021.276618.1159>

 URL: [https://www.jamt.ir/article\\_130853.html](https://www.jamt.ir/article_130853.html)

### 1. INTRODUCTION

The effect of the compositions of the GNeph, CaGNeph, NaNeph Nepheline bearing glasses on the thermal and chemical properties as well as the density of the resulting glass has been widely studied in recent years. In line with those research studies, the present study utilized Nepheline syenite collected from Kaleybar area, Iran, to devise a formulation of a type of glass with casting capacity. To this end, the physical properties of glass, including density and transition temperature, were investigated by partial crushing of Nepheline with lime. The idea of crushing Nepheline in the presence of lime was inspired by a previous study on the extraction of potash from Nepheline [1-3]. The maximum weight percentage of Nepheline used in glass industry is 11 %. However, the current research attempted to increase this amount with the objective of increasing the chemical resistance, which in turn increased its consumption in industry. Consequently, the sales market of Nepheline in the glass production industry increased as the chemical resistance increased.

### 2. MATERIALS AND METHODS

The ball-to-powder ratio was chosen to be 10:1. In this respect, 50 grams of Nepheline powder and lime was mixed with 500 grams of alumina balls at 250 rpm and

kept for three hours. The ratio of the Nepheline powder to calcium hydroxide powder was 70:30 % by weight. In the second sample, 4 grams of 2 M soda solution was mixed with 4 grams of Nepheline powder with a total volume of 30 ml in an autoclave at the temperature of 80 °C for five days and then, the desired powder was washed three times with distilled water. Finally, it was placed in the dryer at the temperature of 80 °C.

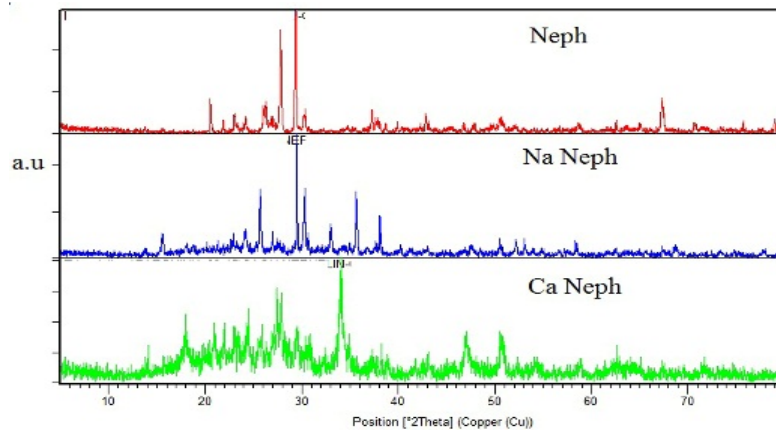
### 3. RESULTS AND DISCUSSION

Figure 1 makes a comparison of all three samples of raw Nepheline namely Neph, CaNeph (milled with lime), and NaNeph (autoclaved with soda). The broadening of some main peaks resulted from the reduction in the crystallites in the milled sample can be seen in Figure 1.

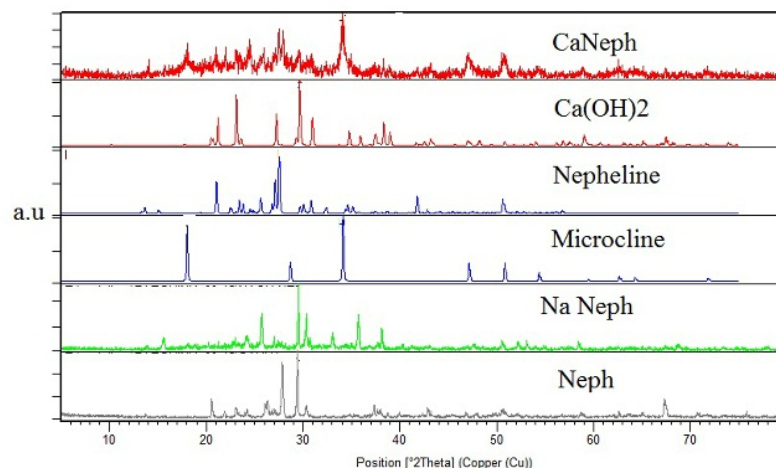
Some peaks related to lime Ca(OH)<sub>2</sub> overlap with those of Nepheline. To identify the peaks of lime in the sample, the diffraction pattern of this sample is illustrated along with the standard card of lime in Figure 2.

The comparison and magnification of the XRD results of the two samples of CaNeph and Neph resulting from Figure 2 are presented in Figure 3 along with the standard cards of lime and Nepheline in the range of 2θ angles equal to 15 to 45 degrees.

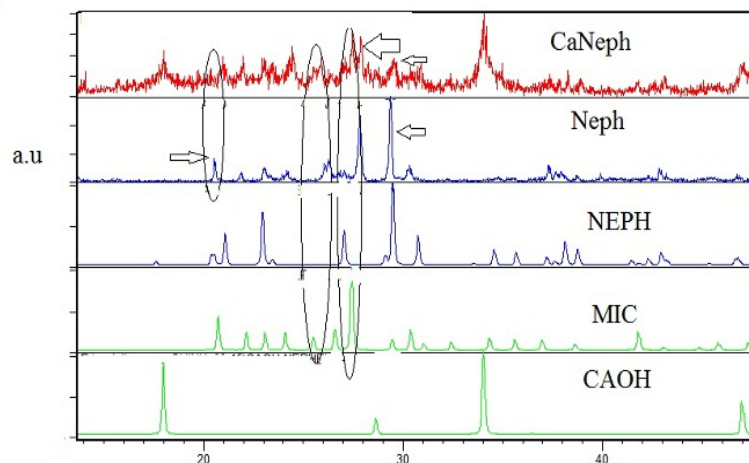




**Figure 1.** XRD results of all three raw Nepheline samples Neph, CaNeph, and NaNeph



**Figure 2.** XRD results of the CaNeph, NaNeph, and Neph samples along with the JCPD standard cards of Microcline minerals and Nepheline minerals and  $\text{Ca(OH)}_2$  at all diffraction angles



**Figure 3.** Comparison and magnification of the XRD results from two CaNeph and Neph samples along with the standard cards of lime and Nepheline in the angle range of  $2\theta = 15$  to 45 degrees. Here, the decrease in the mineral intensity of Nepheline in the CaNeph sample was determined at the angles related to flash

A comparison of the XRD diffraction results of all samples in Figure 1, 2 and 3 were made according to which, some microcline crystal plates were expanded at the angles of 26 and 28 degrees, and some Nepheline plates were lost at the angle of 27 degrees XRD of the CaNeph sample. The intensity of the diffraction peaks in Figures 2 and 3 that show the height of the peaks corresponding to the main angles of Nepheline mineral in the hydrated sample was reduced. In addition, the

height of the main peaks related to Microcline (MIC) in the hydrated sample at the angles of 18, 38, and 29 degrees were completely reduced.

#### 4. CONCLUSION

The present study investigated the structure of Nepheline in Kaleybar region, Iran, composed of two minerals, i.e., syenite and microcline, using the

hydrothermal and grinding methods in the presence of soda and lime, respectively. Raman Spectroscopy and X-Ray Diffraction (XRD) were employed to evaluate the changes in the soil structure and finally, all three samples were used in the composition of glass, and the physical-chemical properties of the obtained glass were studied. The height of the peak corresponding to the principal angles of the Nepheline mineral in the hydrated sample was slightly changed. However, the intensity of the main peaks related to microcline in the hydrated sample decreased at the angles of 21 and 28 degrees. In the sample ground with lime, the height of the main peak corresponding to the mineral Nepheline in the system was much lower than that of microcline (compared to raw Nepheline). In other words, the microcline of the system formed a solid solution. While its structure and amount did not change followed by its reaction with lime, the Nepheline structure was destroyed due to the reduction of the main peak of Nepheline at 27 degrees in this sample the microcline structure in this system would be degraded. In general, the following remarks can be made:

1) The chemical resistance of the GCaNeph GNaNeph glasses produced in the present work was four times higher than the glasses produced with Neph Nepheline alone.

2) The density of the GCaNeph glass structure produced in the present work was  $0.9 \text{ g/cm}^3$  higher than that of the GNeph sample.

3) The structural order of the alumina silicate rings in CaNeph Nepheline was higher than that of Neph Nepheline due to the grinding and the introduction of alkaline earth and alkaline into the ring structure.

## 5. ACKNOWLEDGEMENT

The authors would like to express their gratitude to Mr. Jabari and Neflin Kaleybar Institute of Materials, Energy and Mining Industries for their spiritual support and technical or laboratory assistance, who were also of much assistance during this research.

## REFERENCES

1. Yang, F., Karasev, A., Goran, P. J., "Effect of Nepheline syenite on iron losses in slags during desulphurization of hot metal Annika", *Steel Research International*, Vol. 87, (2016), 5599-5572. <https://doi.org/10.1002/srin.201500154>
2. Jena, S. K., Dhawan, N., Rath, S. S., Rao, D. S., Das, B., "Investigation of microwave roasting for potash extraction from Nepheline syenite", *Separation and Purification Technology*, Vol. 161, (2016), 104-111. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2016.01.039>
3. Schroevers, W., *Naturally occurring radioactive materials in construction, Integrating Radiation Protection in Reuse (COST Action, Tu1301 NORM4Building)*, 1<sup>st</sup> Edition, Woodhead Publishing, (2017). <https://doi.org/10.1016/C2016-0-00665-4>



## مقاله یادداشت پژوهشی

## بررسی ساخت شیشه با استفاده از نفلین سینیت فراوری شده کلیر، ایران

آیدا فایقی‌نیا\*

استادیار، پژوهشکده سرامیک، پژوهشگاه مواد و انرژی، کرج، البرز، ایران

## تاریخچه مقاله:

ثبت اولیه: ۱۴۰۰/۰۱/۱۶

دریافت نسخه اصلاح شده: ۱۴۰۰/۰۲/۲۲

پذیرش علمی: ۱۴۰۰/۰۲/۳۱

## کلیدواژه‌ها:

نفلین،  
شیشه،  
ساختار،  
فراوری

**چکیده** در این پژوهش، تغییر ساختار نفلین سینیت (Neph) که متشکل از دو کانی نفلین و میکروکلین است، با استفاده از دو روش هیدروترمال و آسیاب به ترتیب در حضور ۲ درصد مولی سود (NaNeph) و ۳۰ درصد وزنی آهک (CaNeph) بررسی شد. نتایج پراش اشعه ایکس و طیف رامان نشان داد که ساختار میکروکلین در نمونه CaNeph پایدارتر است و ساختار نفلین تا حدودی تخریب می‌شود و در نمونه NaNeph، پیک‌های اصلی مشخصه کانی نفلین در ۲۸ درجه نسبت به نمونه CaNeph حفظ می‌شود؛ در CaNeph، به دلیل سه ساعت آسیاب، با ورود عناصر قلیائی حاکی به ساختار حلقوی، نظم ساختاری حلقه‌های آلومیناسیلیکاتی نسبت به Neph بالاتر می‌شود. در نهایت، در تهیه شیشه با ترکیب شیمیایی ۶ درصد وزنی  $Al_2O_3$  - ۶۵/۵ درصد وزنی  $SiO_2$  - ۱۳ درصد وزنی  $Na_2O$  - ۱۶ درصد وزنی CaO، از هر سه نمونه نفلین به میزان ۲۵ تا ۳۸ درصد وزنی (بسته به ترکیب نهایی) استفاده شد. تفاوت رفتار حرارتی شیشه‌های GCaNeph، GNaNeph و GNeph به وسیله آنالیز حرارتی همزمان (DTA/TG) و تغییر حجم سنجی (دیلاتومتری) مقایسه شد. دمای انتقال به شیشه در نمونه‌های GCaNeph و GNaNeph نسبت به نمونه بدون فراوری (GNeph) به ترتیب ۳۷ و ۲۵ درجه سلسیوس افزایش یافت. مقاومت شیمیایی شیشه‌های GCaNeph و GNaNeph در پژوهش حاضر، ۴ برابر بیشتر از GNeph و تراکم ساختار شیشه CaNeph نسبت به GNeph، ۰/۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب بیشتر بود.

doi: <https://doi.org/10.30501/jamt.2021.276618.1159> URL: [https://www.jamt.ir/article\\_130853.html](https://www.jamt.ir/article_130853.html)

## ۱- مقدمه

$K[AlSi_3O_8]$  در حوالی ۱۱۵۰ درجه سلسیوس ذوب غیرمتجانس دارد که به لیوسیت ( $K[AlSi_2O_6]$ ) تبدیل و مذاب، غنی از سیلیکا می‌شود. فلدسپات پتاسیک به علت ویسکوزیته بالاتر و کاهش جزئی ویسکوزیته با افزایش دما، باعث پایداری بدنه‌های سرامیکی با جداره نازک در فرایند پخت طولانی مدت می‌شود. فاز شیشه‌ای، به تدریج در فضای ذرات سرامیک پخش می‌شود؛ پس نوع فلدسپات پتاسیک به نوع سدیک آن، حتی در چینی‌های الکتریکی<sup>۱</sup>، ارجح است. از سوی دیگر، واکنش‌پذیری نوع سدیک با کوارتز، بیشتر است. در صنعت چینی، به خصوص در قطعات بزرگ، نفلین به علت کاهش دمای ذوب و نیز کاهش

در صنعت سرامیک و شیشه، فلدسپات و نفلین<sup>۱</sup> سینیت به‌طور ویژه به‌کار گرفته می‌شوند. ۵۵ درصد فلدسپات تولیدی در جهان، در صنعت سرامیک و ۳۵ درصد آن، در صنعت شیشه استفاده می‌شود؛ اما در مورد نفلین، این موضوع برعکس است؛ یعنی ۷۰ درصد آن در صنعت شیشه و ۱۵ تا ۲۰ درصد آن در صنعت سرامیک مصرف می‌شود. در فلدسپات پتاسیک،  $K_2O/Na_2O > ۱$  ولی در نفلین این نسبت،  $Na_2O/K_2O = ۲$  است. فلدسپات سدیک  $Na[AlSi_3O_8]$  در ۱۱۱۸ درجه سلسیوس ذوب متجانس دارد؛ اما فلدسپات پتاسیک

<sup>۱</sup> Nepheline<sup>۲</sup> Electrical Porcelain

\*عهده دار مکاتبات: آیدا فایقی‌نیا

نشانی: ایران، البرز، کرج، پژوهشگاه مواد و انرژی، پژوهشکده سرامیک، تلفن: ۰۲۶-۳۶۲۸۰۰۴۰، دورنگار: ۰۲۶-۳۶۲۰۱۸۸۸

پیام‌نگار: [a.faeghinia@merc.ac.ir](mailto:a.faeghinia@merc.ac.ir)

به دلیل پایداری شیمیایی بالای این شیشه‌هاست. در این به‌کارگیری، ویسکوزیته شیشه به قدری بالاست که شیشه در داخل تانک ذوب ریخته‌گری، به همراه مواد رادیواکتیو باقی می‌ماند و بدین ترتیب محیط‌زیست از آثار مخرب تشعشعات مواد رادیواکتیو محفوظ می‌ماند [۱۲].

تاکنون اثر ترکیب شیشه حاوی نفلین Gneph، CaGNeph و NaNeph بر ویژگی‌های حرارتی، شیمیایی و چگالی شیشه حاصل، گزارش نشده است. در این پژوهش، به ارائه فرمول‌بندی شیشه با استفاده از نفلین سینیت با قابلیت ریخته‌گری پرداخته شده است. در ادامه، با خردایش جزئی نفلین با آهک، خواص فیزیکی شیشه اعم از چگالی و دمای انتقال به شیشه بررسی می‌شود. ایده خردایش نفلین در حضور آهک منبعت از پژوهش‌هایی است که قبلاً روی استخراج پتاس از نفلین صورت گرفته بود [۱۱].

نفلین با اتوکلاو و آسیاب به ترتیب در حضور سود و آهک تغییر ساختار می‌دهد که مقرون‌به‌صرفه است و نیازی به هزینه و امکانات پیچیده (مانند شناورسازی<sup>۴</sup>، آب‌شویی<sup>۵</sup> و...) ندارد. به دلیل افزایش قیمت تمام‌شده ماده اولیه آلومینای خالص در شیشه و نیز گران بودن سیلیس خالص آهن‌زدایی‌شده، این ایده وجود دارد که اگر این دو ماده اولیه را، به مقدار نسبتاً قابل‌توجهی، از نفلین سیانیت تأمین کنیم، قیمت نهایی شیشه کاهش می‌یابد. هرچند اکنون نیز در صنعت سرامیک از این ماده استفاده می‌شود، اما به دلایلی که در بالا ذکر شد، در صنعت شیشه بیشتر از ۱۱ درصد وزنی استفاده نمی‌شود. پژوهش حاضر، با هدف افزایش مقاومت شیمیایی شیشه، بر افزایش مقدار مصرف نفلین متمرکز شده است که در نهایت مقدار مصرف آن در صنعت بالاتر رفته و بدین ترتیب بازار فروش محصول نفلین در شیشه‌های خاص با مقاومت شیمیایی بالاتر، بیشتر شود.

## ۲- روش تحقیق

بودن نفلین سینیت منطقه کلیر که در کار حاضر مورد استفاده قرار گرفت، براساس نتایج XRF<sup>۶</sup> دارای ترکیب شیمیایی زیر است (جدول ۱). یک فرمول شیمیایی ثابت شیشه،

قیمت تمام‌شده مواد اولیه، می‌تواند تاحدی جایگزین جدیدی برای فلدسپات پتاسیک باشد، چون زمان پخت را نیز کوتاه می‌کند. همچنین، نفلین سینیت عاری از سیلیکای آزاد است و نسبت به انواع دیگر فلدسپات، آهن کمتری دارد که با به‌کارگیری آن در صنعت سرامیک می‌توان هزینه‌ها را کاهش داد [۱]. در صورت استفاده از نفلین سینیت در بدنه چینی، به دلیل اثر پیروپلاستیک<sup>۱</sup> کمتر این ماده در فاز شیشه‌ای، تغییر شکل بدنه کمتر می‌شود [۲]. استفاده از نفلین بدون آهن‌زدایی، به دلیل خاصیت ضدسایشی، در صنعت کف‌پوش مطرح شده است [۳]. پوشش شیشه-سرامیک نفلینی روی ماده دندان، از تبلور شیشه آلومینوسیلیکات سدیمی به دست می‌آید. ضریب انبساط حرارتی این شیشه-سرامیک، منطبق با ماده دندان است؛ اما از ماده معدنی در ترکیب آن استفاده نمی‌شود. این شیشه-سرامیک از ترکیب سیلیس، آلومینا و سدیم با استوکیومتری نفلین سنتز می‌شود [۴]. به علت وجود شبکه‌های سیلیکاتی زنجیره‌ای و بلند در نفلین، این ماده اولیه در ترکیب یاف شیشه (E-GLASS) استفاده می‌شود؛ چرا که در فرایند تولید این شیشه‌ها به گران‌روی<sup>۲</sup> بالا و کشش سطحی پایین نیاز است. از طرف دیگر به دلیل سطح ویژه بالای این محصولات، باید بدنه شیشه‌ای تهیه‌شده، در برابر خوردگی مقاوم باشد [۵، ۶ و ۷].

نفلین سینیت مگنتیت‌دار و آهن‌زدایی‌شده در شیشه-سرامیک‌های شفاف سبز و قهوه‌ای رنگ استفاده می‌شود. در این سامانه از تیتان و اکسید منیزیم برای تبلور بهتر شیشه-سرامیک استفاده می‌شود و این شیشه-سرامیک‌ها به‌عنوان مصالح ساختمانی رنگی با استحکام بالا به‌کارگیری می‌شوند [۸]. همچنین نفلین سینیت در بخش ریخته‌گری صنعت فولاد، به جای  $CaF_2$  و فلورسپار به‌عنوان گدازآور، استفاده می‌شود. نقش آن بیشتر در کاهش ضخامت لایه سرپاره موجود، است که بدین ترتیب می‌توان مصرف آن را در صنعت ریخته‌گری افزایش داد [۹ و ۱۰]. اخیراً از نفلین برای استخراج آلومینا و پتاس، با استفاده از ریزموج<sup>۳</sup> و با کمک خاصیت جایگزینی یون کلسیم به جای پتاسیم استفاده شده است [۱]. از جمله موارد به‌کارگیری خاص نفلین، استفاده از شیشه‌های نفلینی در دفن زباله‌های هسته‌ای

<sup>۴</sup> Flotation

<sup>۵</sup> Leaching

<sup>۶</sup> X-Ray Fluorescence Spectrometry

<sup>۱</sup> Pyroplastic

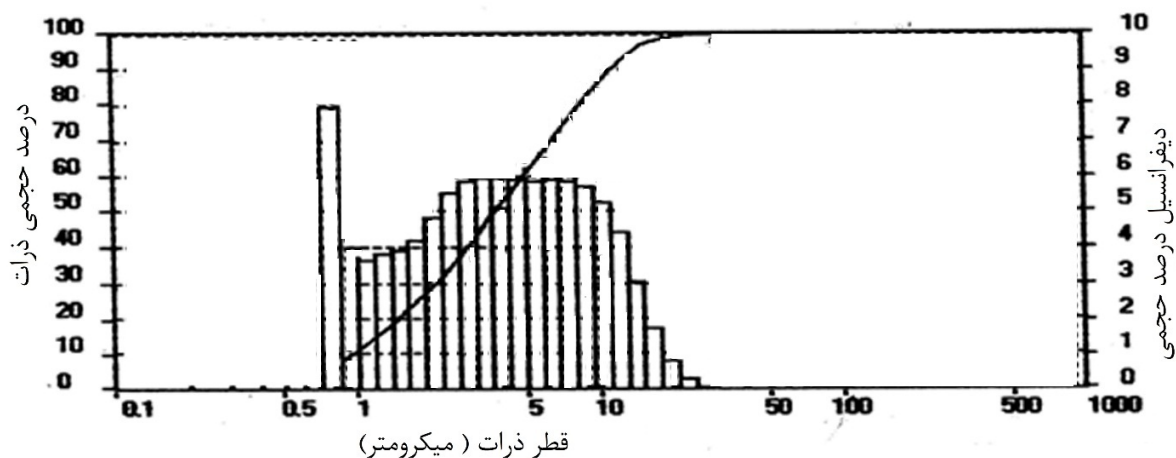
<sup>۲</sup> Viscosity

<sup>۳</sup> Microwave

برای استفاده از نفلین در ساخت شیشه مقرر شد که قبل از استفاده، دو فرایند آسیاب و آب‌پوشی روی آن انجام شود و تأثیر این عملیات بر نفلین و تهیه مذاب شیشه بررسی شود. هدف، شکستن زنجیره‌های نفلین و تغییر ساختار زنجیره‌ای سیلیکاتی و بررسی آن در ساختار شیشه نهایی بود. دو روش، مطابق توضیح زیر استفاده شد.

## ۲-۱- استفاده از آسیاب و اتوکلاو

در روش آسیاب نفلین با آهک که با CaNeph نام‌گذاری شد [دلیل شناسه‌گذاری: Ca مربوط به  $\text{Ca(OH)}_2$  و Neph مربوط به نفلین]، نسبت گلوله به پودر ۱۰ به ۱ انتخاب شد. بدین ترتیب ۵۰ گرم پودر نفلین و آهک با ۵۰۰ گرم گلوله آلومینایی در شرایط ۲۵۰ دور بر دقیقه به مدت سه ساعت قرار گرفت و نسبت پودر نفلین به پودر هیدروکسید کلسیم ۷۰ به ۳۰ درصد وزنی انتخاب شد. شکل ۱ نمودار توزیع اندازه ذرات را در نمونه آسیاب‌شده نشان می‌دهد.



شکل ۱. نمودار توزیع اندازه ذرات نمونه CaNeph

(۱)، پودر CaNeph و NaNeph با احتساب مقدار اکسیدهای کلسیم و سدیمی که در خود دارند، در داخل فرمول قرار گرفتند.

## ۲-۳- ساخت شیشه

برای تهیه شیشه، از ترکیب‌های CaNeph، NaNeph و Neph با ترکیب و درصد‌های وزنی مطابق جدول (۲) استفاده شد. مواد اولیه صنعتی شامل سیلیس، کربنات سدیم و کربنات کلسیم به ترتیب از معدن ازندریان، فیروزآباد و شرکت صنایع

مورد مطالعه قرار گرفت و درصد وزنی اکسیدهای مورد استفاده در آن با استفاده از فرمول‌های رایج در شیشه‌های فلوت سودالایم یا شیشه‌های E-Glass تعریف، طراحی و انتخاب شد [۱].

جدول ۱. ترکیب شیمیایی خاک نفلین Neph و فرمول‌بندی شیمیایی

شیشه مورد مطالعه

اکسیدهای موجود	نفلین سینیت Neph (درصد وزنی)	شیشه مورد مطالعه (درصد وزنی)
SiO <sub>2</sub>	۵۸	۶۵
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۲۳	۶
Na <sub>2</sub> O	۸/۵	۱۲/۷۱
CaO	۱/۳	۱۶
BaO	۰/۸	۰/۱۶
MgO	۰/۵	۰/۱۵
K <sub>2</sub> O	۵	۰/۲
CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O	۲/۹	-

## ۲-۲- عملیات حرارتی با سود در اتوکلاو NaNeph

در مورد نمونه دوم، NaNeph (Na مربوط به NaOH و Neph مربوط به نفلین)، ۲ مولار از محلول سود به میزان ۴ گرم با ۴ گرم پودر نفلین با حجم کلی ۳۰ میلی‌لیتر در اتوکلاو در دمای ۸۰ درجه سلسیوس به مدت ۵ روز قرار گرفت و سپس پودر موردنظر با آب مقطر سه‌بار شستشو شد. در نهایت در خشک‌کن در دمای ۸۰ درجه سلسیوس قرار گرفت. در پایان، برای تهیه شیشه سودالایم با ترکیب شیمیایی ذکر شده در جدول



محلول اسیدی جدید به سامانه اضافه شد. این روش اندازه‌گیری، برای مطالعه سینتیک<sup>۵</sup> حل شدن ماده نفلینی، استاندارد نیست؛ ولی از نظر مقایسه‌ای می‌تواند مورد استناد قرار گیرد [۱۳].

## ۲-۵- ظرفیت حرارتی Cp

ظرفیت حرارتی نمونه‌ها با استفاده از روش گرماسنجی روشی تفاضلی شار حرارتی و توسط دستگاه<sup>۶</sup> DSC مدل TOLEDO DSC 1 ساخت شرکت سوئیسی Mettler در بازه دمایی ۵۰۰ تا ۶۰۰ درجه سلسیوس اندازه‌گیری شد.

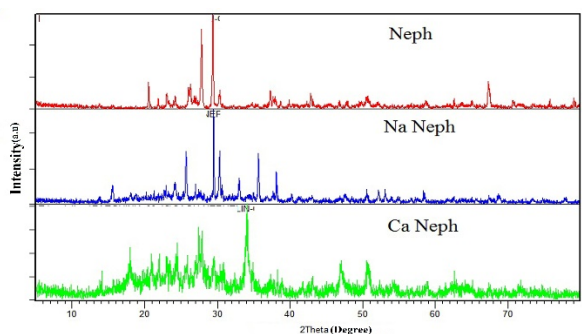
## ۲-۶- چگالی شیشه

دستگاه پیکنومتر گازی با استفاده از یک گاز خالص بی‌اثر (هلیوم یا نیتروژن) و به کمک روابط گاز ایده‌آل، می‌تواند چگالی پودر و سایر مواد جامد با شکل هندسی نامنظم را با دقت مطلوبی اندازه‌گیری کند. از دستگاه پیکنومتر گازی که بر اساس استانداردهای ASTM D6226 و ایزو ۲۱۵۴ ساخته شده بود برای اندازه‌گیری چگالی شیشه استفاده شد.

## ۳- نتایج و بحث

### ۳-۱- ارزیابی فازی

نتایج آزمون پراش اشعه ایکس سه نمونه نفلین خام Neph، آسیاب شده با آهک CaNeph و سود NaNeph در شکل ۲ با هم مقایسه شده‌اند. پهن‌شدگی برخی پیک‌های اصلی می‌تواند ناشی از ریز شدن بلورک‌های موجود در نمونه آسیاب شده باشد.



شکل ۲. نتایج آزمون پراش اشعه ایکس برای سه نمونه نفلین خام (Neph)، CaNeph و NaNeph

معدنی کوثر و نیز نفلین سینتیک کلیبر تهیه شد. بعد از ترکیب ۱۰۰ گرم از مخلوط مواد اولیه در بوتله آلومینایی در دمای ۱۴۵۰ درجه سلسیوس با یک ساعت ماندگاری، نمونه‌های شیشه‌ای در قالب برنزی ذوب و ریخته‌گری شدند.

جدول ۲. درصد وزنی مواد اولیه مصرفی در شیشه‌های تهیه‌شده از ماده نفلین با نام‌های GNeph، GCaNeph و GNaNeph به همراه کربنات‌های مصرفی

GNeph	GNaNeph	GCaNeph	مواد اولیه در شیشه‌ها (درصد وزنی)
۴۸	۴۸/۲	۴۸/۲۸	SiO <sub>2</sub> از ندریان (با خلوص ۹۹ درصد اسیدشویی شده)
۲۰	۳۲	۳۵/۷۱	نفلین کلیبر
۱۱	-	۱۵/۹۱	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> فیروزآباد
۲۱	۲۰	-	CaCO <sub>3</sub> شرکت کوثر

برای به دست آوردن محدوده نرم‌شوندگی و استحاله‌های فازی، تجزیه حرارتی هم‌زمان (DTA<sup>۱</sup>/TGA<sup>۲</sup>) (STA) پودر به کمک دستگاه Netch-STA 1640 ساخت کشور آلمان انجام شد. ضریب انبساط حرارتی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه تغییرحجم‌سنجی<sup>۳</sup> (دیلاتومتری) Netch ساخت کشور آلمان و با استفاده از لوله کوارتزی با انبساط مشخص، اندازه‌گیری شد. طیف XRD<sup>۴</sup> نمونه‌های CaNeph، NaNeph و Neph توسط دستگاه پراش اشعه ایکس (XRD) مدل D-500 SIMENS با ولتاژ ۳۰ کیلوولت و جریان ۲۵۰ میلی‌آمپر انجام شد.

### ۲-۴- مقاومت شیمیایی

شیشه‌های حاصل از سه منبع نفلین مختلف، در محلول اسیدی (اسیدکلریدریک با غلظت ۱۲ میلی‌لیتر در ۱ لیتر آب)، در زمان‌های مختلف قرار گرفتند و کاهش وزن آن‌ها اندازه‌گیری شد. در هر بار توزین، برای جلوگیری از اثر لایه تشکیل شده و اثر آب‌شویی، محلول مورد استفاده دور ریخته شد و مجدداً

<sup>۴</sup> X-Ray Diffraction Analysis

<sup>۵</sup> Kinetics

<sup>۶</sup> Differential Scanning Calorimetry

<sup>۱</sup> Differential Thermal Analysis

<sup>۲</sup> Thermal Gravimetric Analysis

<sup>۳</sup> Dilatometry

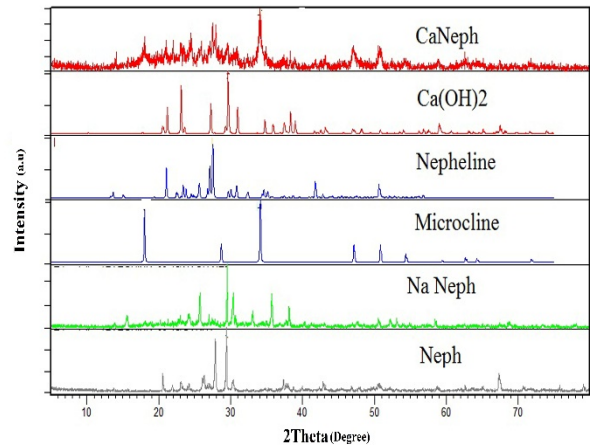
با مقایسه نتایج XRD نمونه‌ها در شکل‌های ۲، ۳ و ۴ مشاهده می‌شود که در نمونه CaNeph، پهن‌شدگی برخی صفحات بلوری میکروکلین در زوایای ۲۶ و ۲۸ درجه و از بین رفتن برخی صفحات نفلین در زاویه ۲۷ درجه اتفاق افتاده است. از مقایسه شدت پیک‌های پراش در شکل‌های ۳ و ۴ نتیجه می‌شود که:

۱- ارتفاع پیک‌های اصلی کانی نفلین در نمونه آب‌پوشیده با سود، کاهش یافته است. ارتفاع پیک‌های اصلی میکروکلین (MIC) در نمونه آب‌پوشیده در زوایای ۱۸، ۳۸ و ۲۹ درجه نیز به‌طور کامل کاهش یافته است.

۲- در نمونه آسیاب‌شده با آهک، ارتفاع پیک اصلی کانی نفلین (در ۲۸ درجه) نسبت به پیک اصلی میکروکلین (در ۳۵ درجه)، بسیار کاهش یافته است؛ به‌عبارتی احتمالاً میکروکلین در اثر واکنش با آهک، محلول جامد تشکیل داده و ساختار و مقدار آن تغییری نکرده است؛ ولی ساختار نفلین در این نمونه، استحاله شدیدتری پیدا کرده است. در این سامانه، به نظر می‌رسد میکروکلین به دلیل پهن‌شدگی پیک‌ها، ریزتر شده است؛ اما پیک‌های اصلی در ۱۸ و ۳۵ درجه به قوت خود باقی مانده‌اند. با مقایسه نسبت شدت پیک‌های اصلی که در نمونه خام Neph مشاهده شده بود، شدت پیک نفلین، بیشتر از میکروکلین است؛ بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که در نمونه مرجع Neph، مقدار نفلین بیشتری وجود دارد و به‌هم‌ریختگی ساختاری این فاز (نفلین) با آسیاب نیز بیشتر شده است. از مقایسه ساختار بلوری نفلین با میکروکلین به نظر می‌رسد که احتمال تخریب در شبکه نفلین بیشتر است؛ چون تقارن ساختاری کمتری دارد، فضای شبکه‌اش بازتر و ضریب انبساط آن بیشتر از میکروکلین است [۱۴]. از آنجا که کلسیم و پتاسیم آرایش الکترونی مشابه هم دارند، احتمال جایگزینی کاتیونی در میکروکلین بیشتر است [۱۵]؛ بنابراین، با آسیاب احتمالاً تخریب شبکه نفلین صورت می‌گیرد. از طرفی ساختار میکروکلین، محلول جامد تشکیل می‌دهد و به‌علت این جایگزینی، تا حدودی با پهن‌شدگی پیک‌های اصلی، ساختار شبکه ریزتر می‌شود.

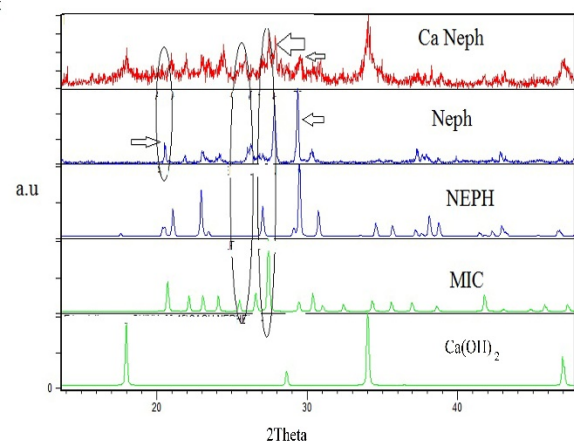
### ۳-۲- ظرفیت گرمایی ویژه

برخی پیک‌های مربوط به آهک  $\text{Ca(OH)}_2$  با نفلین هم‌پوشانی دارند. برای مشخص شدن پیک‌های آهک در نمونه، الگوی پراش این نمونه به همراه کارت استاندارد آهک در شکل ۳ ارائه شده است.



شکل ۳. نتایج XRD هر دو نمونه CaNeph، NaNeph و Neph به همراه کارت‌های استاندارد JCPDS کانی‌های میکروکلین<sup>۱</sup>، نفلین و  $\text{Ca(OH)}_2$  در تمام زوایای پراش

مقایسه و بزرگنمایی نتایج XRD دو نمونه CaNeph و Neph منتج از شکل ۳ در شکل ۴ به همراه کارت‌های استاندارد آهک و نفلین در محدوده زوایای ۲۵ برابر ۱۵ تا ۴۵ درجه ارائه شده است.



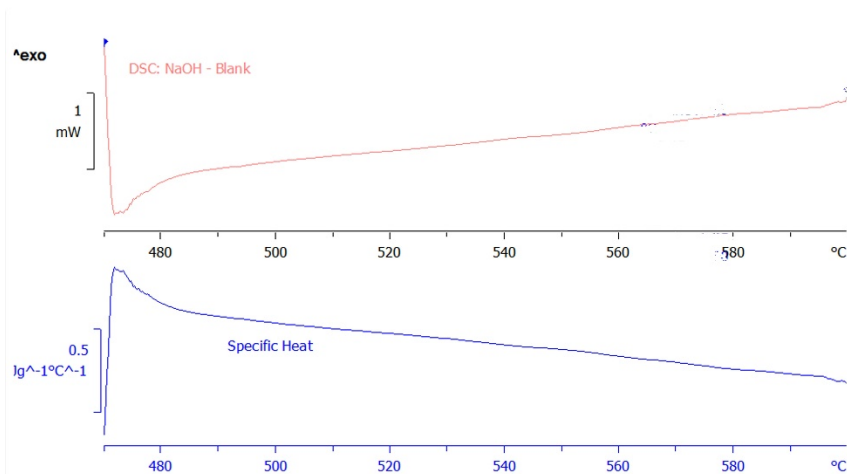
شکل ۴. مقایسه و بزرگنمایی نتایج XRD دو نمونه CaNeph و Neph به همراه کارت‌های استاندارد آهک و نفلین در محدوده زوایای 20 برابر ۱۵ تا ۴۵ درجه. کاهش شدت کانی نفلین در نمونه CaNeph در زوایای مرتبط، با پیکان مشخص شده است.

<sup>1</sup> Microcline (MIC)

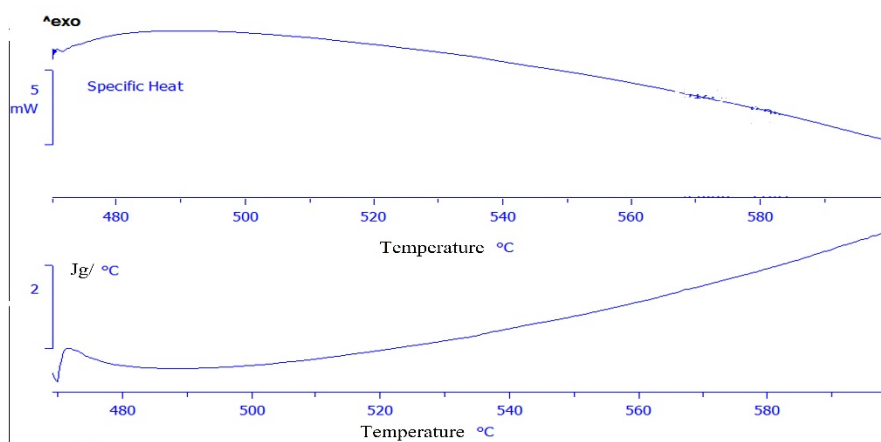


بیشتری نسبت به نمونه NaNeph است که این مسئله نیز می‌تواند ناشی از گوشه‌های به اشتراک گذاشته شده چهاروجهی‌های  $\text{SiO}_4$  با  $\text{AlO}_4$  باشد [۱۶].

برای اندازه‌گیری ظرفیت گرمایی ویژه و بررسی رفتار شیشه‌ها، از دو پودر CaNeph و NaNeph آزمون DSC به عمل آمد که نتایج آن در شکل‌های ۵(الف) و (ب) ارائه شده است. با توجه به این‌که ظرفیت گرمایی CaNeph بیشتر از NaNeph است احتمالاً، دارای انتروپی ساختاری

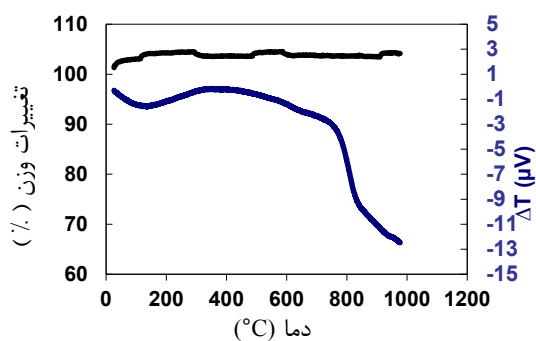


(الف)



(ب)

شکل ۵. نتایج اندازه‌گیری Cp در نمونه (الف) NaNeph و (ب) CaNeph



(الف)

### ۳-۳- رفتار حرارتی

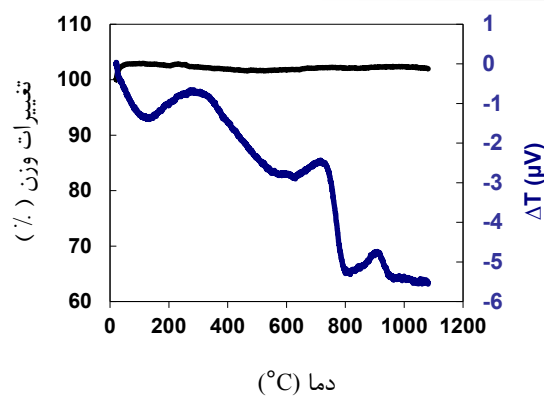
شکل‌های ۶(الف)، (ب) و (ج)، رفتار حرارتی STA پودر شیشه‌های GCaNeph، GNeph و GNaNeph را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که نقطه انتقال (Tg) این شیشه‌ها تیز نیست که برای بررسی آن، از آنالیز تغییرحجم‌سنجی استفاده شد (شکل ۷). برای ردیابی نقطه ذوب نیز از دیفرانسیل منحنی DTA در شکل ۸ استفاده شد.

دماهای حدود ۶۱۳، ۶۳۸ و ۶۴۰ درجه سلسیوس قرار دارد که به ترتیب در سه شیشه GNeph، GNaNeph و GCaNeph ردیابی شده است و احتمالاً مربوط به دمای انتقال به شیشه است؛ زیرا اساساً دمای شروع تغییر شکل در آزمون تغییر حجم سنجی و دمای انحراف از خط پایه در DTA، باید با هم تطابق داشته باشند.

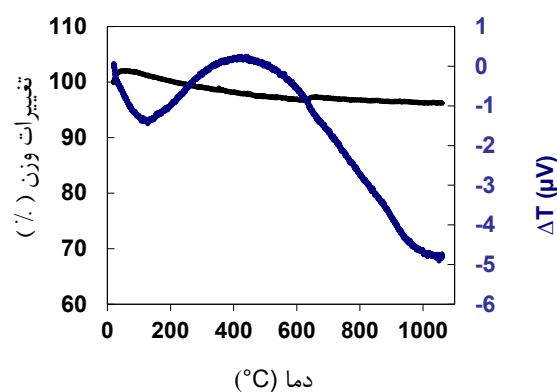
پیک گرماگیر نهایی که با شیب تند در منحنی DTA قابل مشاهده است، می‌تواند مربوط به نقطه ذوب ناگهانی شیشه در نمونه شیشه GCaNeph و ذوب غیر ناگهانی در شیشه GNeph باشد. مشاهده می‌شود نمونه شیشه GCaNeph انتقال ۴۰ درجه‌ای را در دمای ذوب نشان می‌دهد. قبلاً در قسمت طیف‌سنجی نشان داده شد که علی‌رغم ساختار آمورف نفلین، حلقه‌های منظم شش‌تایی از سیلیکات‌ها در سامانه GCaNeph بیشتر شده است. در مطالعات قبلی [۱۶] اشاره شده است که در صورت تغییر در شکل حلقه‌های چهاروجهی، سرعت سرمایش آن‌ها برای تشکیل شیشه متفاوت خواهد بود. به عبارت دیگر به علت تغییر در تاریخچه حرارتی شیشه حاصله، می‌توان گفت که علی‌رغم یکی بودن ترکیب شیمیایی، دمای انتقال به شیشه در نمونه GCaNeph افزایش یافته است؛ یعنی ظاهراً ساختار شیشه با استفاده از نفلین CaNeph اندکی متراکم‌تر از نمونه شیشه GNeph شده است.

از سوی دیگر با استفاده از نتایج تغییر حجم سنجی نمونه نفلین‌دار مشخص می‌شود که این نوع شیشه ضریب انبساط حرارتی بسیار بیشتری ( $11/5 \times 10^{-6} / K$ ) نسبت به شیشه‌های معمولی ( $8/5 \times 10^{-6} / K$ ) دارد. منحنی دیفرانسیل از DTA برای به دست آوردن نقطه ذوب نیز در شکل ۸ ارائه شده است.

مطابق شکل ۸، آنتالپی ذوب شیشه در این دو سامانه متفاوت است. از آنجا که دمای ذوب شیشه ناشی از ترمودینامیک ترکیب و کینیتیک حرارتی ماده است، می‌توان گفت که احتمالاً آنتالپی ذوب<sup>۱</sup> در نمونه GCaNeph در دمای ۷۶۳ درجه سلسیوس بوده که بیشتر از نمونه GNeph در دمای ۷۳۸ درجه سلسیوس است. ارتفاع پیک ذوب شیشه GCaNeph نیز در حین ذوب که دلالت بر گرمایش جذب شده دارد، ۰/۴- میلی‌ولت بیشتر از نمونه GNeph است.

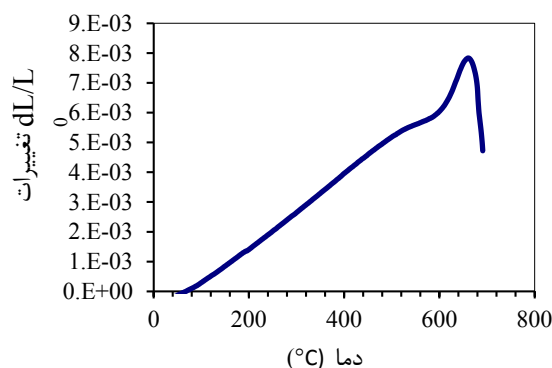


(ب)



(ج)

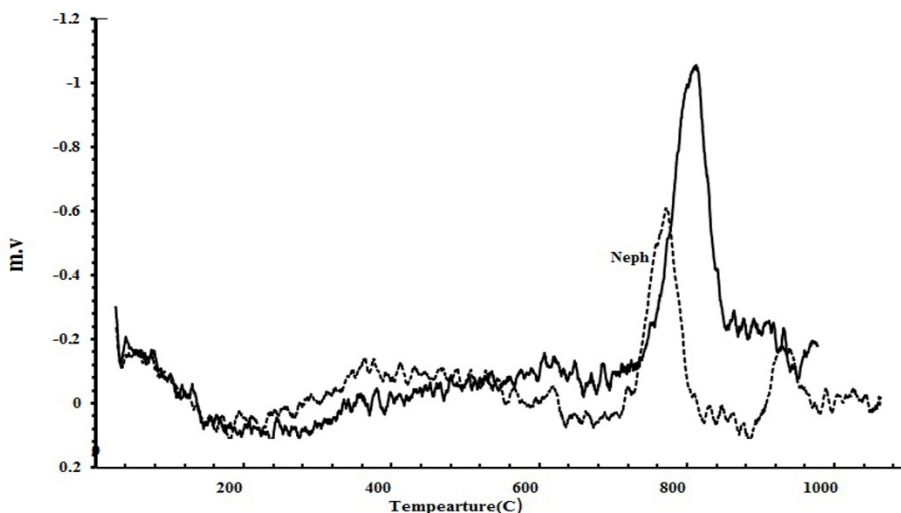
شکل ۶. منحنی DTA مربوط به شیشه (الف) GCaNeph، (ب) GNeph و (ج) GNaNeph



شکل ۷. منحنی تغییر حجم سنجی (دیلاتومتری) شیشه GNeph برای به دست آوردن دمای  $T_g$

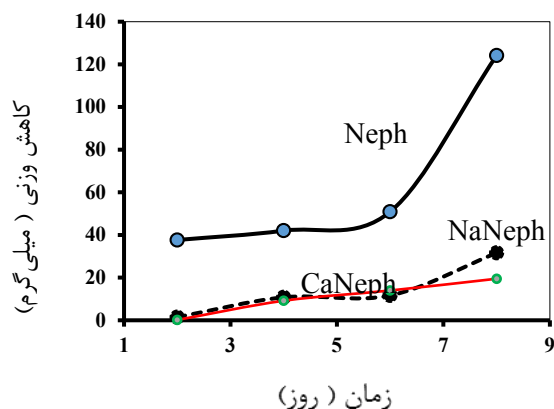
از مقایسه نتایج آنالیز STA در شکل ۶ و نتایج تغییر حجم سنجی در شکل ۷ که اولی تغییرات جزئی آنتالپی و دومی تغییرات جزئی ابعادی را نشان می‌دهد، مشخص می‌شود که اولین پیک گرماگیر جزئی (تغییر جزئی در شیب منحنی) در

<sup>1</sup> Melting Enthalpy



شکل ۸. دیفرانسیل منحنی DTA از دو نمونه شیشه تهیه شده با نفلین‌های مختلف GCaNeph و GNeph

در شکل ۹، تغییرات کاهش وزن نمونه‌های شیشه غوطه‌ور شده در داخل محلول اسید کلریدریک، برحسب زمان، در سه روز مختلف با فواصل زمانی ۲ روزه رسم شده است.



شکل ۹. نتایج آزمون خوردگی نمونه‌های شیشه Neph، CaNeph و NaNeph در محلول‌های اسیدی کاهش درصد وزنی در اسید بر حسب روز

طبق نتایج به دست آمده شیشه نمونه CaNeph تراکم ساختاری بیشتری نسبت به نمونه Neph دارد که می‌تواند در خواص خوردگی نمونه‌ها نیز تأثیر داشته باشد. در مطالعات قبلی [۱]، شیشه مورد نظر فقط با مخلوط نفلین و آهک تولید شده بود که در کار حاضر، کربنات سدیم و سیلیس نیز به فرمول بندی اضافه شد تا این شیشه خاصیت ریخته‌گری داشته باشد؛ بدین ترتیب می‌توان ادعا کرد که با آسیاب نفلین، خاصیت

پیک گرمزای دیگری بلافاصله بعد از ذوب در نمونه GNeph مشاهده می‌شود که می‌تواند دلیلی بر تمایل به تبلور مجدد نفلین در این سامانه باشد [۱۷]. این پدیده در نمونه GCaNeph مشاهده نمی‌شود که احتمالاً به علت پایداری بالای این شیشه در برابر تبلور است [۱۸].

همچنین وجود پیک گرمزا در دمای ۲۰۰ تا ۴۰۰ درجه سلسیوس، به دلیل خروج آب‌های سطحی در نفلین است که به نظر می‌رسد به علت حساسیت بالای دستگاه ظاهر شده است؛ اما در نمونه GCaNeph حساسیت دستگاه کمتر بوده و این پدیده شناسایی نشد.

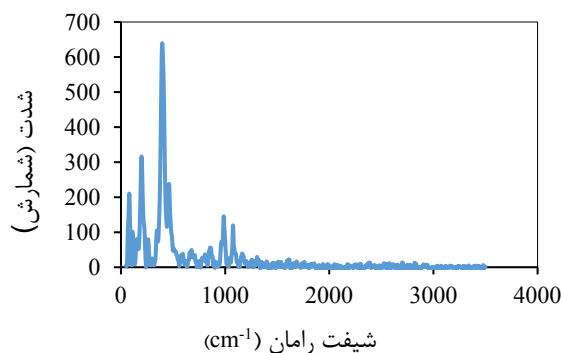
برای مقایسه چگالی شیشه‌های به دست آمده از دو نمونه GCaNeph و GNeph، آزمون چگالی پیکنومتری به عمل آمد و نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳. نتایج دانسیتمتری شیشه‌های GCaNeph و GNeph

کد شیشه	چگالی (g/cm <sup>3</sup> )	درصد خطا
GNeph	۲/۳۷۸۹	۰/۰۰۶۱
GCaNeph	۲/۴۶۷۴	۰/۰۰۷۱

در این پژوهش، تراکم ساختار شیشه تولید شده از نفلین GCaNeph نسبت به نمونه GNeph بیشتر بود.

### ۳-۴- مقاومت شیمیایی شیشه‌ها



(ج)

شکل ۱۰. نتایج طیف رامان نمونه (الف) Neph، (ب) CaNeph و (ج) NaNeph

تفاوت پاسخ طیف رامان با طیف مادون قرمز در هنگام برخورد به ماده در این است که ارتعاشات متقارن و نامتقارن پیوندها در ماده، به ترتیب در مقابل امواج مادون قرمز و امواج رامان غیرفعالند. نوارهای رامان تفکیک شده از هم بدین صورت شناسایی می‌شوند که هرچه تعداد چهاروجهی شرکت‌کننده در هر حلقه و زاویه داخل چهاروجهی کمتر باشد، انرژی تشدید ارتعاش<sup>۲</sup> و بسامد باند بیشتر می‌شود.

باند تیز اصلی در  $515 \text{ cm}^{-1}$  و باند کوچک‌تر دیگری در  $464 \text{ cm}^{-1}$ ، به کشش و خمش مخلوط واحدهای  $\text{TOT}^3$  در چهاروجهی‌ها نسبت داده می‌شود و نوارها در  $295 \text{ cm}^{-1}$  و  $384 \text{ cm}^{-1}$  مشخصه خمش TOT مربوط به حلقه‌های شش-عضوی<sup>۴</sup> است [۱۹].

پیک بسیار تیزی که در  $1100 \text{ cm}^{-1}$  در نمونه CaNeph دیده می‌شود، می‌تواند به چینش منظم Al مربوط باشد که در این نمونه نسبت به نمونه‌های Neph و NaNeph بیشتر مشاهده می‌شود [۲۰]. در نمونه Neph، این پیک خاص، نسبتاً پهن و ضعیف است که می‌تواند به تغییرات گسترده طول اتصال و در نتیجه بی‌نظمی در شبکه Si-O-Al مربوط باشد. البته بازه  $700 \text{ cm}^{-1}$  تا  $1100 \text{ cm}^{-1}$  به ترکیب بسیار حساس است و تغییرات پیک در این بازه بسیار شدیدتر از سایر بازه‌هاست.

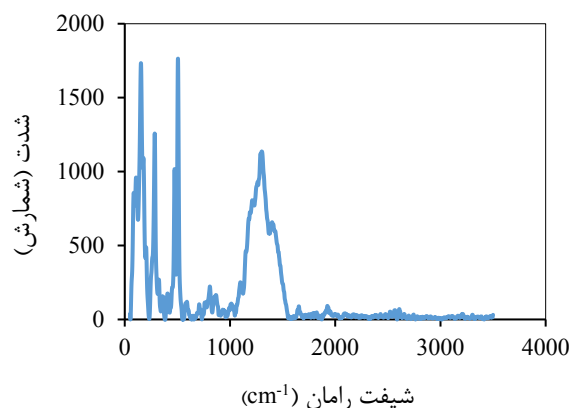
پیک تیز در نمونه Neph در بازه  $284 \text{ cm}^{-1}$  مربوط به ترکیبی از ارتعاشات خمشی Si-O-Si و O-Si-O است. تأثیر نوع چینش چند وجهی‌ها در مواجهه با بازه طول‌موج کوتاه‌تر نیز

پایداری شیشه نفلین به دست آمده، افزایش پیدا می‌کند؛ اگر چه ممکن است تغییرات محسوسی در نقطه ذوب ایجاد نشود.

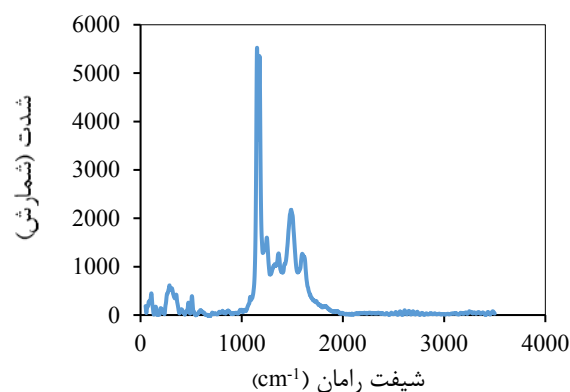
اگر هر روز محلول اسیدشویی عوض شود، حلالیت و کاهش وزن، به سرعت در نمونه‌های شیشه‌ای توده‌ای شکل GCaNeph و GNaNeph به کمترین مقدار خود می‌رسد. این امر نشان می‌دهد که اجتماع و تمرکز قلیائی‌ها در محلول اسیدشویی، ممکن است سبب افزایش نرخ اسیدشویی شود؛ ولی در نمونه GNeph با خروج سیلیس از شیشه، بسیار سریع‌تر رخ می‌دهد. از این رو می‌توان گفت ساختار شیشه توده‌ای GNeph در محیط اسیدی، با افزایش زمان، دچار خوردگی می‌شود.

### ۳-۵- طیف‌سنجی رامان

شکل ۱۰، نتایج طیف‌سنجی رامان<sup>۱</sup> نمونه‌های خاک NaNeph، CaNeph و Neph را که در معرض طول موج لیزر ۵۳۲ نانومتر مورد مطالعه قرار گرفتند، نشان می‌دهد.



(الف)



(ب)

<sup>3</sup> Tetrahedral-Octahedral-Tetrahedral

<sup>4</sup> 6-membered Rings

<sup>1</sup> Raman Spectroscopy

<sup>2</sup> Vibration's Resonance Energy

سلسیوس افزایش یافت. با توجه به قیمت بالای آلومینا در شیشه، از این پس می‌توان از این نوع نفلین در صنعت شیشه و یا چینی استفاده کرد.

## ۵- سپاسگزاری

از آقای مهندس جباری در پژوهشگاه مواد و انرژی و نیز صنایع معدنی نفلین کلیبر که نویسندگان مقاله را در انجام این پژوهش یاری کردند و یا با حمایت معنوی نظیر کمک فنی یا آزمایشگاهی، نقش سازنده‌ای در شکل‌گیری این پژوهش داشتند، تشکر و قدردانی می‌شود.

## مراجع

- Burat, F., Kangal, O., Onal, G., "An alternative mineral in the glass and ceramic industry: Nepheline syenite", *Minerals Engineering*, Vol. 19, No. 4, (2006), 370-371. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2005.10.015>
- Aydın, T., Kunduracı, N., Akbay, A., "The effect of Nepheline syenite addition on pyroplastic deformation of sanitarywares", *Science of Sintering*, Vol. 50, No. 1, (2018), 85-94. <https://doi.org/10.2298/SOS1801085A>
- Ozturka; Z. B., Yildiz, B., "The effect of different fluxes on thermal behavior of floor tile glazes", *Acat Physica Polonica A*, Vol. 127, No. 4, (2015), 1183-1185. <https://doi.org/10.12693/APhysPolA.127.1183>
- Wang, M. Ch., Wu, N. Ch., Hon, M. H., "Preparation of Nepheline glass-ceramics dental porcelain and their application", *Materials Chemistry and Physics*, Vol. 37, No. 4, (1994), 370-375. [https://doi.org/10.1016/0254-0584\(94\)90177-5](https://doi.org/10.1016/0254-0584(94)90177-5)
- Maeda, K., Hirose, M., Kobayashi, T., "High performance transparent glass-ceramics for optical components", *Journal of the Ceramic Society of Japan*, Vol. 123, No. 10, (2015), 949-954. <https://doi.org/10.2109/jcersj2.123.949>
- Navrotsky, A., Perwedeau, G., Mcmillan, P., Coutures, J., "A thermochemical study of glasses and crystals along the joins silica-calcium aluminate and silica-sodium aluminate", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 46, No. 11, (1982), 2039-2047. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(82\)90183-1](https://doi.org/10.1016/0016-7037(82)90183-1)
- Gurevich, B. I., Kalinkin, A. M., Tyukavkina V. V., "Effect of the mechanical activation of Nepheline concentrate on its binding properties in mixed cements", *Russian Journal of Applied Chemistry*, Vol. 86, No. 7, (2013), 965-970. <https://doi.org/10.1134/S1070427213070045>
- Guzmán-Carrillo, H. R., Pérez, J. M., Romero, M., "Crystallisation of Nepheline-based glass frits through fast firing process", *Journal of Non-Crystalline Solids*, Vol. 470, (2017), 53-60. <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2017.04.043>
- Holand, W., Beall, G. H., "Glass ceramic technology", *Materials and Manufacturing Processes*, Vol. 31, No. 4, (2015), 550-551. <https://dx.doi.org/10.1080/10426914.2015.1059074>
- Yang, A. F., Karasev, A., Jonsson, P. G., "Effect of Nepheline syenite on iron losses in slags during desulphurization of hot metal Annika", *Steel Research International*, Vol. 87, (2015), 5599-5572. <https://doi.org/10.1002/srin.201500154>
- Jena, S. K., Dhawan, N., Rath, S. S., Rao, D. S., Das, B., "Investigation of microwave roasting for potash extraction from Nepheline syenite", *Separation and Purification Technology*, Vol. 161, (2016), 104-111. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2016.01.039>

مشخص است. این بازه، ارتعاشات شبکه بلوری که منبعث از کاتیون‌های بزرگ کلسیم و سدیم است را نشان می‌دهد.

ولده<sup>۱</sup> نشان داد که اگر مکان و موقعیت پیوندهای Si-Al منظم‌تر شود، شدت پیک رامان در بازه  $455\text{ cm}^{-1}$  بیشتر می‌شود. این پدیده منظم‌تر شدن مکان‌های (یا موقعیت‌های) آلومینوسیلیکات در میکروکلین بیشتر دیده می‌شود [۲۱].

در پژوهش دیگری نشان داده شد که پیک  $396\text{ cm}^{-1}$  مربوط به تغییر شکل حلقه‌های چهارعضوی است که از طریق حرکت اتم‌های اکسیژن پل‌ساز به سمت مرکز حلقه (به‌غیر از مکان‌های حلقوی که در آن آلومینیوم وجود دارند) ایجاد می‌شود [۲۲]. این پیک به‌صورت مشهود در NaNeph مشاهده می‌شود.

گفته شده است که گرایه<sup>۲</sup> ارتعاشی زیر  $289\text{ cm}^{-1}$  مربوط به جابه‌جایی اتم‌های سدیم در جهت عمود بر محور بلوری a در نمونه آلیت است که منجر به جابه‌جایی برشی چهاروجهی‌ها در محیطی متأثر از اتم‌های سدیم می‌شود [۲۱] که این پدیده در نمونه NaNeph اتفاق می‌افتد و نشان‌دهنده نفوذ اکسید سدیم در ساختار خاک نفلین است.

## ۴- نتیجه‌گیری

در کار حاضر از مطالعات طیف‌سنجی و پراش اشعه ایکس برای بررسی تغییر ساختار خاک نفلین با استفاده از دو روش هیدروترمال و آسیاب در حضور سود و آهک استفاده شد و خواص فیزیکی-شیمیایی شیشه‌های مینا و به‌دست‌آمده از این نمونه‌ها مقایسه شد. در نمونه آسیاب‌شده با آهک، ساختار نفلین تخریب و میکروکلین ریزتر شد. مقاومت شیمیایی شیشه‌های GCaNeph و GNaNeph، چهار برابر بیشتر از شیشه‌های Neph بود. تراکم ساختار شیشه GCaNeph نسبت به GNaNeph،  $0.9\text{ g/cm}^3$  بیشتر بود. نسبت حجمی فاز میکروکلین در CaNeph نسبت به همین فاز در Neph، بیشتر بود. مقدار نفلین مصرفی در تهیه شیشه در کار حاضر، ۱۰ درصد وزنی بالاتر از نمونه شیشه‌های مشابه بود. شیشه‌های تجاری، تخت و لیافی‌شکل، با درصد وزنی نفلین سینیت در کار حاضر قبلاً تهیه نشده است (در این شیشه‌ها میزان نفلین کمتر استفاده می‌شود).  $T_g$  در نمونه GNaNeph و GCaNeph، حدود ۲۵ تا ۳۷ درجه

<sup>2</sup> Mode

<sup>1</sup> Velde

18. Berlanga, G., Acosta-Maeda, T., Sharma, S., Porter, J., Dera P., Shelton, H., Taylor G., Misra, A., "Remote Raman spectroscopy of natural rocks", *Applied Optics*, Vol. 58, No. 32, (2019), 8971-8980. <https://doi.org/10.1364/AO.58.008971>
19. Goryainov, S. V., Secco, R. A., Huang, Y., Liu, H., "Amorphization and post-amorphous phases of NaA zeolite at high -T conditions ", *High Pressure Research*, Vol. 26, No. 4, (2006), 395-400. <https://doi.org/10.1080/08957950601092291>
20. Rostami; S., Farzanegan, A., Rahmani, A., Yousefi, A., "Simulation and genetic algorithms for optimizing comminution circuit at Gol-e-Gohar Iron plant", *International Journal of Engineering*, Vol. 26, No. 6, (2013), 663-670. [http://www.ije.ir/article\\_72136\\_](http://www.ije.ir/article_72136_)
21. Mckeown, D. A., "Raman spectroscopy and vibrational analyses of albite: From 25 °C through the melting temperature", *American Mineralogist*, Vol. 90, No. 10, (2005), 1506-1517. <https://doi.org/10.2138/am.2005.1726>
22. Frogner, P., Broman, C., Lindblom, S., "Weathering detected by Raman spectroscopy using Al-ordering in albite ", *Chemical Geology*, Vol. 151, No. 1-4, (1998), 161-168. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(98\)00077-1](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(98)00077-1)
12. Schroeyers, W., *Naturally occurring radioactive materials in construction, Integrating Radiation Protection in Reuse (COST Action, Tu1301 NORM4Building)*, 1<sup>st</sup> Edition, Woodhead Publishing, (2017). <https://doi.org/10.1016/C2016-0-00665-4>
13. Tolf, M. P., Lasaga, A.C., Panatano, C., White, W. B., "The kinetics of dissolution of Nepheline (NaAlSiO<sub>4</sub>)", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 50, No. 3, (1986), 379-392. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(86\)90191-2](https://doi.org/10.1016/0016-7037(86)90191-2)
14. Toplis, M. J., Dingwell, D. B., Hess, K. U., Lenci, T., "Viscosity, fragility, and configurationally entropy of melts along the join SiO<sub>2</sub>-NaAlSiO<sub>4</sub>", *American Mineralogist*, Vol. 82, No. 9-10, (1997), 979-990. <https://doi.org/10.2138/am-1997-9-1014>
15. Onodera, Y., Takimoto, Y., Hijiya, H., "Origin of the mixed alkali effect in silicate glass", *NPG Asia Materials*, Vol. 11, No. 75, (2019), 180-184. <https://doi.org/10.1038/s41427-019-0180-4>
16. Ligny, D., de Richet, P., Westrum, E., "Heat capacity and entropy of rutile (TiO<sub>2</sub>) and Nepheline (NaAlSiO<sub>4</sub>)", *Physics and Chemistry of Minerals*, Vol. 29, No. 1-3, (2002), 267-272. <https://doi.org/10.1007/s00269-001-0229-z>
17. Kucuk, A., Clare, A. G., Jones, L. E., "Differences between surface and bulk properties of glass melts I. Compositional deference's and impudence of volatilization on composition and other physical properties", *Journal of Non-Crystalline Solids*, Vol. 261, (2000), 28-38. [https://doi.org/10.1016/S0022-3093\(99\)00610-9](https://doi.org/10.1016/S0022-3093(99)00610-9)