

فرایند و ویژگی های مکانیکی شیمیایی سیمان پورتلند با افزودن آلکانول آمین های جدید

چکیده

سال ها عامل های ستایش برای کاهش مصرف انرژی در ظرفیت تولید سیمان مورد تحقیق و مورد استفاده قرار گرفته است. در این پژوهش اثر آلکانول آمین جدیدی مثل N ، N- بیس (2- هیدروکسی اتیل) ایزوپروپانول آمین (DEIPA)، N- بیس (2- هیدروکسی پروپیل)-2- آمینواتانول (EDIPA) و N و N و N' : N' تتراکیس (2- هیدروکسی اتیل) اتیلن آمیدین (THEED) ، بر ستایش، تراوایی و خصوصیات فیزیکی سیمان پورتلند مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می دهد که DEIPA و EDIPA می تواند به طور چشمگیری بقایای غربال را کاهش دهد (45cm) و تراوایی پودر سیمان را بهبود بخشد. این مواد می تواند تراکم پذیری و افت فشار سیمان را تحت تنش نرمال معینی کاهش دهد و در نتیجه از تجمع ذرات سیمان جلوگیری کند. قابل توجه است که DEIPA و EDIPA مقاومت تراکمی کوتاه مدت (3 روزه) و بلند مدت (28 روزه) را افزایش می دهد. DEIPA می توان به عنوان تسریع کننده برای کاهش زمان تنظیم به کاربرد THEED سهم بیشتری در مقاومت تراکمی بلند مدت دارد.

کلید واژه ها: آلکانول آمین ها، آسیاب سیمان، جریان پذیری ذرات سیمان، خواص فیزیکی و مکانیکی

1. مقدمه

از سال 1824 سیمان به عنوان مهم ترین مصالح ساختمانی غیر قابل جایگزین شناسایی شده است. در سال 2014 تولید سیمان در جهان به 4.18 بیلیون تن رسید. با این وجود در حین فرآیند تولید سیمان مقادیر بسیار زیادی CO₂ آزاد می شود و میزان زیادی انرژی و سنگ آهک مصرف می شود. در حین تولید 1 تن آجر جوش، جز ابتدایی سیمان، حدود 98٪ تن CO₂ آزاد می شود. حدود 40٪ انرژی الکتریکی (110 kwh به ازای هر تن سیمان) برای غربال نهایی آجر جوش سیمان مصرف می شود. [1-3] در نتیجه با وجود گرمای جهانی و محدودیت های انرژی فعلی، صنعت سیمان چالش های بسیاری را پیش رو دارد.

مقادیر زیادی افزودنی های شیمیایی در فرآیند غربالگری سیمان استفاده می شود. [4-6]. در فرآیند اختلاط روی سطح بارهای مثبت و منفی به وجود می آید و منجر به ذرات بر اساس نیروهای برهم کنش وان در والس و الکترواستاتیک می گردد. در همین زمان پوششی روی سطح محیط سایش شکل می گیرد که بازده سایش را کاهش می دهد [7,8]. از طرفی افزودنی های شیمیایی عموماً به منظور کاهش سختی سطح ذرات و پراکندگی بهتر از طریق خنثی کردن بارها و غربالگری نیروهای جاذبه ای، روی سطح ذرات جذب می شود [9,10]. از طرف دیگر برخی افزودنی های شیمیایی به علت برهم کنش هیدرات ها یا فازهای یر هیدراته و افزایش برخی ذرات، می تواند خواص فیزیکی و شیمیایی سیمان را به طور چشمگیری تحت تاثیر قرار دهد [11,13]. افزودنی های شیمیایی مورد استفاده عبارت است از آلکیل آمیدها، الکل ها، پلیمرهای قابل انحلال در آب و نمک های غیر آلی با پیشرفت علم و تکنولوژی، آلکانول آمین های مورد استفاده عبارت است از تری اتانول آمین (TEA) و تری ایزوپروپانول آمین (TIPA). با این وجود TEA تنها مقاومت تراکمی کوتاه مدت را به ویژه قبل از 3 روز افزایش می دهد و همچنین مقاومت را در مراحل بعدی کاهش می دهد [14]. TIPA تنها مقاومت طولانی مدت را به طرز چشمگیری افزایش می دهد [14,16]. در نتیجه آلکانول آمین های جدید مانند DEIPAT، EDIPA [17] و THEED [18] توسعه یافتند.

هدف ابتدایی این تحقیق بررسی اثرات آلکانول آمین های جدید بر بازدهی سایش، تراوایی، ساختار فازی و مشخصات فیزیکی و شیمیایی پورتلند است. اثرات EDIPA، DEIPA و THEED بر بازدهی سایش به وسیله بقایای غربالگری

(اندازه غربال برابر 45Mm)، مساحت سطح ویژه و توزیع اندازه ذره مورد آزمایش قرار گرفت. همچنین به منظور تعیین سیاست سیمان، تغییرات زاویه گذار، انرژی پایه جریان پذیری (BFE) و انرژی ویژه (SE) مورد آزمایش قرار گرفت. به منظور تعیین تجمع در حین ذخیره سازی تراکم پذیری و تراوایی نسبت به هوا برای سیمان اندازه گیری شد. مقدار آب مورد نیاز برای ثبات، زمان تنظیم و مقاومت برای تعیین مشخصات فیزیکی و شیمیایی سیمان اندازه گیری شد.

2. مواد و روش ها

2.1. مواد

2.1.1. مواد خام

آجر جوش و سنگ گچ مورد استفاده در این تحقیق از یک کارخانه سیمان چینی تامین شد. ترکیب شیمیایی و معدنی آجر جوش در جدول 1 نشان داده شده است. TEA و TIPA به ترتیب از جی آکسینگ جینیان و فوشو جیاهوا با خلوص 85٪ فراهم شد. EDIPA، DEIPA و THEED در آزمایشگاه ساخته شد و ساختارهای مولکولی آن ها در شکل 1 نشان داده شده است.

2.1.2. آماده سازی نمونه

ترکیب های آجر جوش، سنگ گچ و مقادیر مختلف آلکانول آمین ها با استفاده از یک آسیاب گلوله ای نا پیوسته آزمایشگاهی با ابعاد $500\text{mm} \times 500\text{mm}$ آسیاب شد، میزان EDIPA، DEIPA و THEED به ترتیب برابر 0.01٪، 0.015٪، 0.03٪ و 0.05٪ ورتی مخلوط آجر جوش و سنگ گچ بود. میزان TEA یا TIPA بر اساس مرجع برابر 0.015٪ بود. ابتدا 4 کیلوگرم مخلوط 95٪ آجر جوش و 5٪ سنگ گچ وزن گردید و در آسیاب گلوله های قرار داده شد. سپس یکی از افزودنی های شیمیایی قبل از سایش مخلوط به آسیاب افزوده شد. در نهایت برای آماده سازی پودر سیمان، مخلوط به مدت 15، 20، 25، 30 و 35 دقیقه آسیاب گردید.

2.2. روش های شناسایی

2.2.1. بقایای غربالگری سیمان

به منظور ارزیابی اثر آلکانول آمین ها بر نرمی سیمان، بقایای غربالگری با استفاده از آنالیزگر غربالی فشار منفی با اندازه مش 45Mm و فشای در محدوده 4000-6000pa با توجه با استاندارد چینی GT/T1345-2005 ارزیابی شد.

2.2.2. مساحت سطح ویژه سیمان

مساحت سطح ویژه سیمان با استفاده از روش بلین با توجه به استاندارد چینی GB/T8074-200 اندازه گیری شد.

2.2.3. توزیع اندازه ذره

توزیع اندازه ذره با استفاده از پراش سنجی لیزری در یک میکرتراک S3500SI ارزیابی شد.

2.2.4. سیالیت سیمان

زاویه گذار پودر با استفاده از روش تزریق در FT-1048 با استفاده از استاندارد چینی GB11986-89 اندازه گیری شد. 2 هزار کیلوگرم سیمان توزین شد و سپس به وسیله یک قیف به صورت مخروطی روی میز آزمایش قرار داده شد. شعاع (R) و ارتفاع (H) مخروط اندازه گیری شد. در نهایت زاویه گذار (α) با توجه به معادله (1) محاسبه گردید.

$$\tan \alpha = \frac{H}{R} \quad (1)$$

جدول 1 ترکیبات شیمیایی آجر جوش شیمیایی سنگ گچ و ترکیبات معدنی محاسبه شده توسط بوگ برای آجر

جوش

Clinker	Loss	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O
Chemical composition	0.46	65.70	21.60	5.51	3.39	1.65	0.41	-	-
Mineral composition	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	f-CaO	KH	n	p	
	60.76	16.96	7.24	10.67	0.42	0.91	2.58	1.42	

نکته: KH نشان دهنده حد ضریب اشباع، n نشان دهنده نسبت سیلیکا، P نشان دهنده نسبت آلومینا است.

2.2.5. SE.BFE، تراکم پذیری و تراوایی هوای سیمان

SE.BFE و مقدار افت فشار هوا در پودر آسیاب شده در تنش نرمال مین با استفاده از یک آنالیزگر چند منظور پودر

در FT-4 اندازه گیری شد (فریمن تکنولوژی). تراکم پذیری با توجه به معادله (2) که در آن P₀ دانسیته در فشار 0

کیلوپاسکال و P_p دانسیته در تنش نرمال مشخص می باشد. محاسبه شد.

$$\text{Compressibility} = \frac{\rho_p - \rho_0}{\rho_0} \times 100\% \quad (2)$$

2.2.6. پراش سنجی اشعه x پودر

ترکیب فاز با استفاده از پراش سنج rigaku Smartlab 3000A با پرتو دهی $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda=0.154\text{nm}$) ارزیابی

گردید. تیوب اشعه x در 35kv و 30mA عمل می کرد. آرایش نوری شامل یک شکاف انشعاب ثابت ($1/2^\circ$) و یک

آشکار ساز D/tex بود. اندازه گیری ها با استفاده از هندسه بازتابی $\theta-\theta$ ارائه گردید. داده در 10° تا 70° در مد

پیوسته جمع آوری گردید.

2.2.7. اسپکروسکوپی انتقال مادون قرمز فوریه

اسپکروسکوپی انتقال مادون قرمز فوریه (FT-TR) نیز برای آنالیز ترکیب فازی با مطالعه ارزش های ملکولی سیمان مورد استفاده قرار گرفت. طیف FT-TR در یک اسپکترومتر علوم حرارتی نیکول IS5 در گستره 400 تا 4000cm^{-1} ضبط گردید. KBr به عنوان مرجع استفاده شد. نسبت KBr به سیمان 1:50 بود. سیمان و KBr با یکدیگر مخلوط شد و سپس قبل از اندازه گیری از درون یک ساچمه فلزی عبور داده شد.

2.2.8. ویژگی های فیزیکی

زمان تنظیم و یکنواختی نرمال خمیر سیمان با توجه به استاندارد چینی GB/T1346 با استفاده از یک ماشین vicat تعیین گردید. خمیر سیمان از سیمان و آب تهیه شد نسبت آب به سیمان برابر 0.5 بود.

2.2.9. ویژگی های مکانیکی

مقاومت فشاری و خمشی ملات ها بر اساس استاندارد چینی GB/T17671-1999 اندازه گیری شد. ملات ها با ماسه، سیمان و آب استاندارد چینی تهیه شد. نسبت وزن پودر سیمان/ ماسه/ آب 1:3.0:0.5 استفاده شد.

3. بحث و نتیجه گیری

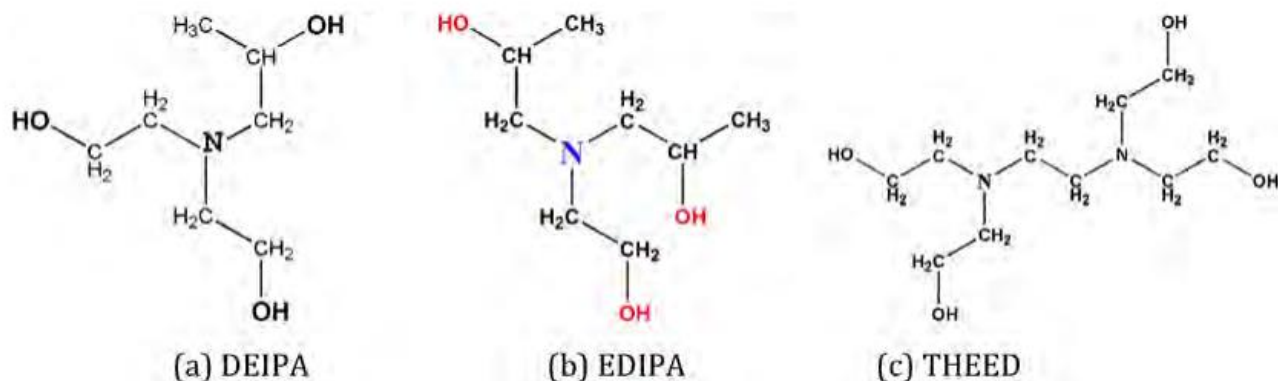
3.1. تاثیر آلکانول آمین های جدید بر نرمی سیمان

بقایای غربالگری (45Mm) برای سیمان با بدون آلکانول آمین های آسیاب شده به مدت 15، 20، 25، 30 و 35 دقیقه در شکل 2 نشان داده شده است. بقایای غربالگری در همه نمونه ها با گذشت زمان کاهش می یابد. آلکانول آمین های جدید (DEIPA, EDIPA, THEED) به ویژه DEIPA و EDIPA بقایای غربال را برای سیمان تحت شرایط یکسان آسیاب کاهش داد. با افزایش آلکانول آمین های DEIPA و EDIPA در همان زمان آسیاب یکسان، بقایای غربالگری کاهش یافت. THEED در مقایسه با EDIPA و DEIPA تاثیر کمتری بر بقایای غربالگری داشت.

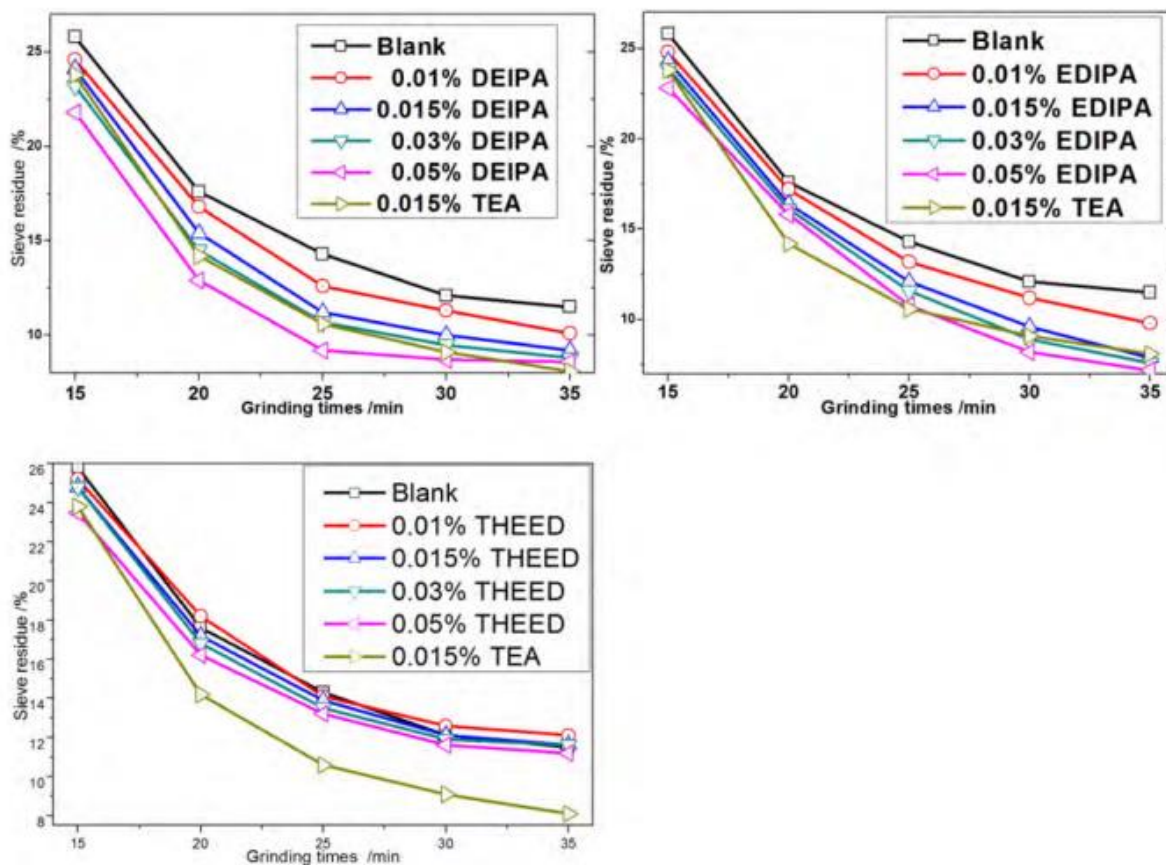
تفاوت های بقایای غربالگری بین سیمان خام و سیمان دارای DEIP با افزایش زمان آسیاب افزایش یافت EDIPA در درجات بالاتر تاثیر بیشتری بر فرایند سایش داشت. در مقایسه با TEA ، اثرات THEED بر باقی مانده غربالگری در زمان طولانی تر بسیار کمتر از است.

مساحت سطح ویژه نیز برای شناسایی نرمی سیمان استفاده شد. مساحت سطوح ویژه برای سیمان های با و بدون 0.015% آلکانول آمین در شکل 3 نشان داده شده است. مساحت سطح ویژه برای سیمان حاوی DEIPA و EDIPA

کمتر بود در حالیکه برای سیمان حاوی THEED در مقایسه با سیمان شاهد در زمان آسیاب مشخص بیشتر بود. در مرحله ابتدایی آسیاب، ذرات شکسته می شوند و ترک های جدید، مکان های فعال و بازهای الکترواستاتیک جدید روی سطح تحت نیروی مکانیکی ایجاد می شود و منجر به شکاف های جدید و اجتماع ذرات نرم به علت بارهای الکتریکی، نرم می شود. DEIPA و EDIPA تری آلکانول آمین هایی با ساختار مشابه TEA هستند [14] (شکل 1 را ببینید). EDIPA و DEIPA روی سطح شکاف ها جذب می شود و مکان های فعال را می پوشاند و تنش خارجی مورد نیاز رشد شکاف ها را کاهش می دهد و از تجمع ذرات در مرحله ابتدایی آسیاب جلوگیری می کند. از طرف دیگر DEIPA و با کاهش بارهای الکترواستاتیک در مراحل بعدی از تجمع مجدد ذرات ریز جلوگیری می کند. THEED یک آلکانول آمین با مشخصات ساختاری خاص دو آمین است. دو اتم نیتروژن در دو انتهای ملکول، روی سطوح دو ذره جذب می شود. ابعاد فضایی THEED بسیار کمتر از محدوده اندازه پودری است. در نتیجه اثرات آسیاب THEED در مقایسه با DEIPA و EDIPA بسیار کمتر است.



شکل 1 ساختار ملکولی EDIPA، DEIPA و THEED



شکل 2 بقایای غربال (45Mm) پودر سیمان آسیاب شده با و بدون آلکانول آمین ها در زمان های مختلف

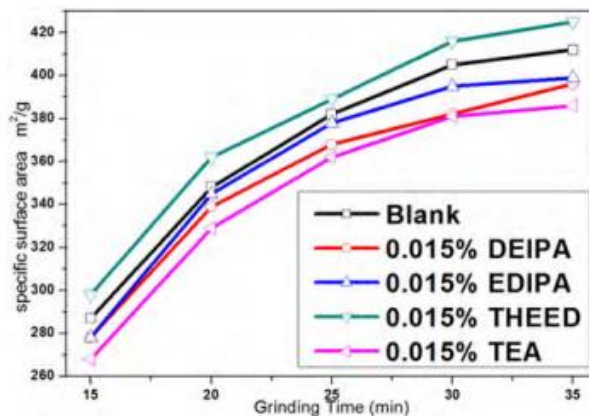
3.2. توزیع اندازه ذرات

منحنی های توزیع اندازه ذره برای سیمان با و بدون 0.051٪ الکانول آمین آسیاب شده به مدت 25 دقیقه در شکل 4 نشان داده شده است. توزیع اندازه ذره به طور عام برای همه نمونه ها از توزیع نرمال پیروی می کند. منحنی های توزیع اندازه ذره برای سیمان با آلکانول آمین ها پوشانی بسیاری دارد اما با منحنی سیمان خالص هم پوشانی ندارد. حجم ذرات با اندازه 1 تا 5 Mm برای سیمان خالص در مقایسه با سایر نمونه ها بیشتر است. با این وجود بقایای غربال (45Mm) و مساحت سطح ویژه برای سیمان حاوی DEIPA و EDIPA در مقایسه با سیمان خالص کمتر است. این نتیجه را می توان به تجمع ذرات ریز به علت بارهای الکترواستاتیکی نسبت داد.

3.3 سیالیت و آسیاب سیمان

زاویه گذار در ابتدا تشخیص جریان پذیری پودرها به کار می رود. یک پودر با زاویه گذار کوچکتر جریان پذیری بیشتری دارد. شکل 5 زوایای گذار سیمان با بدون آلکانول آمین ها را برای آسیاب به مدت 25 دقیقه نشان می دهند. EDIPA، DEIPA، TEA و TIDA به طور چشمگیری زوایای گذار پودر را کاهش می دهد. زوایای گذار با افزایش آلکانول آمین، زاویه گذار برای سیمان با DEIPA کمتر از زاویه گذار سایر نمونه ها است.

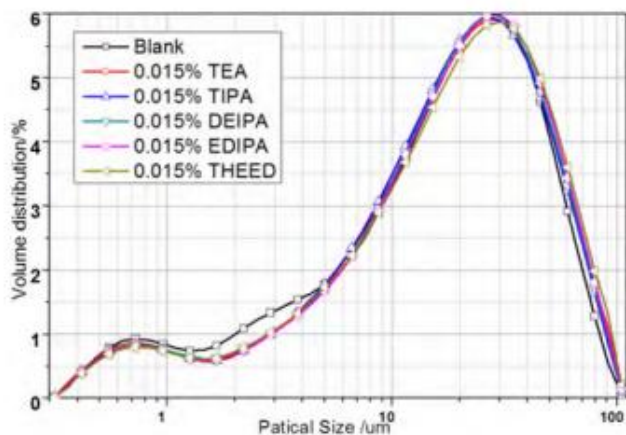
BFE برای حرکت پودر پیش آماده شده با یک جریان ثابت ضروری است و نیز پارامتر مهمی برای شناسایی تغییرات قابلیت جریان است. یک پودر با BFE کمتر، قابلیت جریان بیشتری برای انتقال پنوماتیک دارد و منجر به فشرده شدن پودر سیمان می گردد. آلکانول آمین های جدید مثل DEIPA و EDIPA موجب کاهش چشمگیر BFE حتی زمانی که مقدار آن ها 0.015% باشد، می شود در حالیکه THEED اثر کمتری دارد (در جدول 2 نشان داده شده است). BFE سیمان حاوی DEIPA و EDIPA به ترتیب 26٪ و 16٪ در مقایسه با سیمان خالص کاهش یافت و این امر نشان می دهد که افزودن EDIPA و DEIPA برای انتقال پنوماتیک و فشرده سازی سیمان مناسب است.



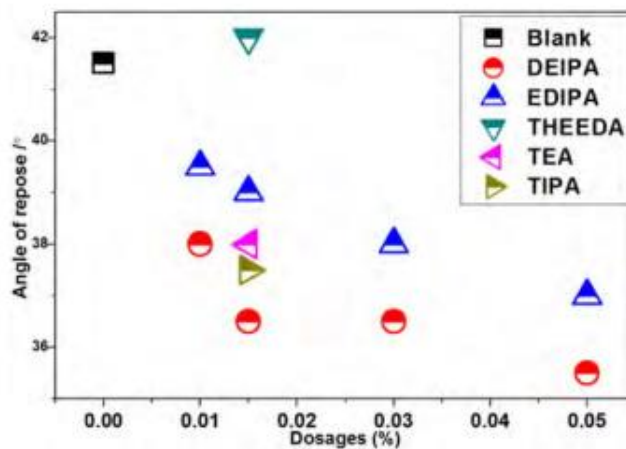
شکل 3. مساحت سطح ویژه بلین پودر سیمان با و بدون آلکانول آمین ها برای زمان آسیاب متفاوت

SE جریان تنش بر حسب واحد پودر است که برای حرکت نمونه پیش آماده شده با یک تنش اندک ضروری است. SE برای تشخیص قابلیت جریان یک پودر در یک توده تنگ مثل محفظه های مکانیکی یا سایشی بین ذرات تحت تنش کم، استفاده می شود. همان طور که در جدول 2 نشان داده شده SE برای سیمان خالص و سیمان دارای

DEIPA و EDIPA به ترتیب برابر 5.47 ، 4.24 و 5.15 میکروژول بر گرم است که نشان می دهد DEIPA و EDIPA مقاومت اصطکاکی بین ذرات را به ترتیب 26.1٪ و 10.3٪ کاهش می دهد. SE سیمان با THEED به SE سیمان خالص نزدیک است.



شکل 4 توزیع اندازه پودر سیمان با و بدون 0.015٪ آلکانول آمین آسیاب شده به مدت 25 دقیقه



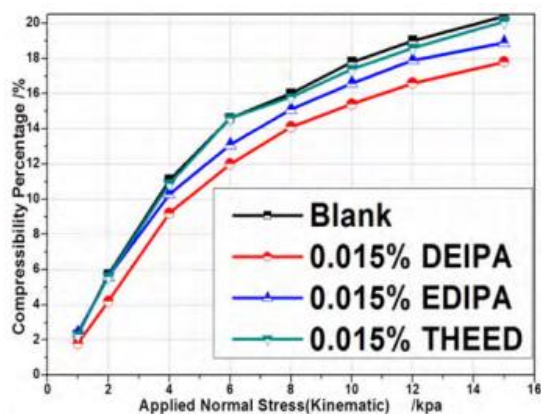
شکل 5 زاویه های گذار سیمان با و بدون آلکانول آمین های مختلف آسیاب شده به مدت 25 دقیقه

برای جریان یافتن پودر بایستی نیروی جاذبه ای ذرات پودر بزرگ تر از مقاومت فوق نشان می دهد که آلکانول آمین ها می تواند مقاومت داخلی بین ذرات را کاهش داده و قابلیت جریان پذیری را بهبود دهد. همانند مواد آلی قطبی ، ظرفیت جذب آلکانول آمین ها روی سطح ذرات سیمان به ساختار ملکولی آن ها بستگی دارد. در نتیجه تاثیر THEED با تاثیرات EDIPA و DEIPA متفاوت است.

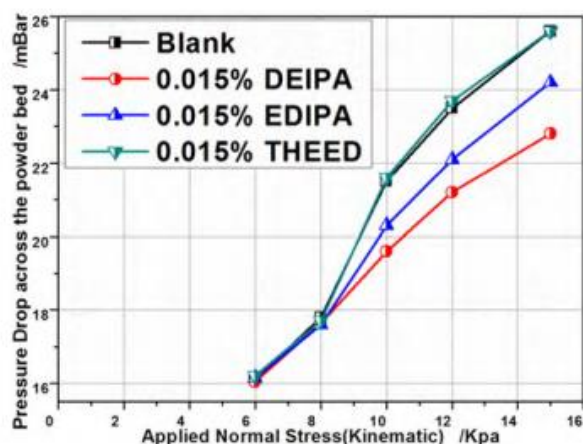
3.4. تراکم پذیری و تراوایی نسبت به هوا برای سیمان آسیاب شده

تراکم پذیری قابلیت تغییر شکل پلاستیکی پودر حاصل از فشار خارجی است. این پارامتر به ترکیب شیمیایی، شکل و ساختار ذره، اندازه و توزیع و دانسیته بالک پودر بستگی دارد. به علاوه تراکم پذیری به نیروهای وان دروالس و جاذبه الکترواستاتیک بین ذرات نیز بستگی دارد [19]. مقادیر درصد تراکم پذیری برای سیمان با و بدون 0.015٪ آلکانول آمین های آسیاب شده به مدت 25 دقیقه، در شکل 6 نشان داده شده است. درصد تراکم پذیری سیمان با EDIPA، DEIPA در مقایسه با سیمان خالص بسیار کمتر است (شکل 6 را ببینید). اما THEED تاثیری بر تراکم پذیری ندارد. افزودن EDIPA و DEIPA برای جلوگیری از تجمع ذرات در حین ذخیره سازی سیمان مناسب است. تراوایی یک پودر نسبت به هوا بازتاب دهنده اندازه حفرات و توزیع آن ها بین ذرات است. اندازه حفره کوچکتر منجر به کاهش فشار بیشتر به علت مقاومت حفره و در نتیجه تراوایی کمتر نسبت به هوا می گردد. شکل 7 مقادیر افت فشار درون پودر را با سرعت mm/s^2 در سطوح مختلف تنش نرمال نشان می دهد. در همه نمونه ها مقدار افت فشار با افزایش تنش نرمال افزایش می یابد. زمانیکه افت فشار در محدوده 6-8 کیلو پاسکال باشد، تراوایی سیمان دارای آلکانول آمین ها با تراوایی سیمان خالص برابر است. اما اگر افت فشار بیشتر از 8kpa باشد تراوایی سیمان دارای آلکانول آمین ها کمتر از سیمان است. تراوایی سیمان دارای THEED تفاوت زیادی با سیمان خالص ندارد. جدول 2 عملکرد پودر سیمان با و بدون 0.015٪ آلکانول آمین ها ختلف آسیاب شده و به مدت 25 دقیقه

Kinetics test	Blank	DEIPA	EDIPA	THEED
BFE (mj)	111	87.8	95.3	108.9
SE (MJ/g)	5.74	4.24	5.15	5.65
Compressibility, CPS15 (%)	20.3	17.9	19.0	20.1
Pressure Drop, PD15, 0.5 (mbar)	25.5	22.9	24.4	25.3



شکل 6 درصد تراکم پذیری نمونه های مختلف در تنش های نرمال مختلف

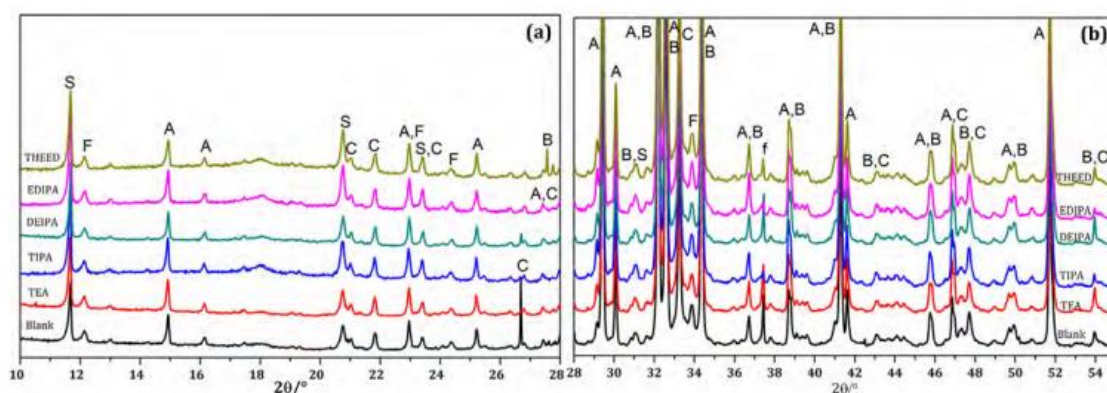


شکل 7 مقادیر افت فشار در بسته پودر با سرعت 2mm/s در تنش های نرمال مختلف

3.5. آنالیز پراش سنخ اشعه x

شکل های 8 و 9 طیف های XRD و الگوهای مشخصه را برای سیمان با و بدون 0.015% آلکانول آمین های آسیب شده به مدت 25 دقیقه را نشان می دهد. ترکیبات فازها تقریباً برای همه انواع سیمان ثابت باقی می ماند. ترکیبات فازی شامل C_3S ، C_2S ، C_3A ، C_4AF و سنگ گچ ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) و $f-CaO$ است. اما پیک افتراقی C_3A در $2\theta = 26.68^\circ$ برای سیمان حاوی آلکانول آمین ها ناپدید و یا ضعیف می شود (شکل 8(a)). پیک افتراقی در $2\theta = 27.55^\circ$ در سیمان حاوی THEED به علت وجود $B-C_2S$ ظاهر می شود (شکل 8(a)). پیک مشخصه سنگ گچ برای سیمان حاوی آلکانول آمین پهن تر شده و شدت می گیرد (شکل 9). پیک تشخیصی $f-CaS$ نیز برای

سیمان حاوی TIPA ، THEED و EDIPA تغییرات چشمگیری می کند. عمل مکانو شیمیایی به معنای تغییرات فیزیکی و شیمیایی نمونه ها تحت یک نیروی مکانیکی است. تغییرات فیزیکی عبارت است از دانسیته ظاهری، دانسیته واقعی و مساحت سطح ویژه و تغییرات شیمیایی شامل نقص های بلوری، درجه کریستالیزاسیون، دگر شکلی و دی هیدراتاسیون است [20.21]. اضافه کردن افزودنی ها نه تنها موجب جلوگیری از تجمع ذرات با استفاده از میزان متعادل نمودن پیوند غیر اشباع ذرات شکسته شده می شود بلکه موجب کاهش انرژی سطحی و درجه شکستگی شبکه بلوری می شود [22].



شکل 8. الگوهای XRD نمونه های با وبدون آلکانول آمین آسیاب شده به مدت 25 دقیقه در پنجره های

(a) $10-28^\circ 2\theta$ (b) $28-55^\circ 2\theta$. پیک های بازتابی اصلی C_3A (C,C)، فریت (F) سنگ گچ (S) ، C_3S (A) و

fcao (f) علامت گذاری شده است.

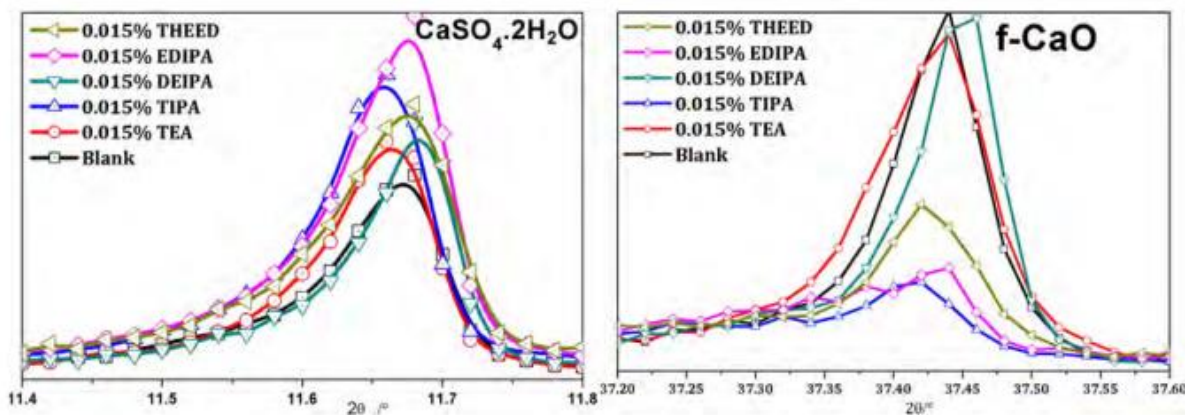
3.6. آنالیز اسپکتروسکوپی انتقال مادون قرمز فوریه

اسپکتروسکوپی FT-IR یکی از کارآمدترین تکنیک ها برای تشخیص ساختار مولکولی است. FT-IR اصولاً برای نظارت هیدراتاسیون سیمان استفاده می شود. شکل 10 طیف FT-IR سیمان با و بدون 0.015٪ آلکانول آمین آسیاب شده و به مدت 25 دقیقه را نشان می دهد. سه باند در گستره $3100-3700\text{cm}^{-1}$ دیده می شود. باند 13639cm^{-1} به انرژی کششی O-H در Ca(OH)_2 نسبت داده می شود و محل باند همان طور که توسط M.M رادوان گزارش شده به 3460cm^{-1} نزدیک می شود [23] و این امر نشان می دهد که بخش های کوچکی از پودر ریز

بر اساس جذب آب و هوا هیدرات می شود. سنگ گچ به علت وجود ملکول های آب دو باند در 3411cm^{-1} و 1624cm^{-1} (3410 و 1623cm^{-1} در مرجع [24] گزارش شده بود). پیک موجود در 1119cm^{-1} (1120cm^{-1}) در [24] گزارش شده است) به علت $\nu_3\text{-[SO}_4\text{]}^{-2}$ سنگ گچ است. باند های موجود در 930cm^{-1} و 519cm^{-1} به ترتیب متناظر با ارزش کششی نامتقارن $(\nu_3)\text{Si-O}$ و ارزش خمشی خارج از صفحه $(\nu_4)\text{Si-O}$ شیلیکات است و مطابق خوبی با امواج دارد [25]. شدت باندهای لرزش ملکولی، ارزش $[\text{SO}_4]^{-2}$ سنگ گچ و باندهای ارزشی $[\text{SiO}_4]^{-}$ سیلیکات برای سیمان دارای افزودنی ها در مقایسه با سیمان خالص کاهش می یابد. نتایج FTIR و XRD نشان می دهد آلکانول آمین ها می تواند تغییر شکل فازهای سنگ گچ و سیلیکات را تسریع نماید.

3.7. خواص فیزیکی و شیمیایی حفره های سیمان

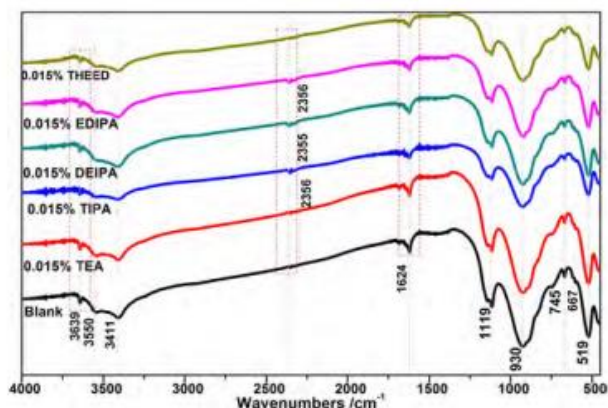
نرمی سیمان یک پارامتر بحرانی برای خواص آن شناخته شده است [26,27]. مقادیر آب مورد نیاز برای یک ثبات نرمال، تنظیمی و مقاومت در شکل 3 نشان داده شده است. در نتیجه افزودن آلکانول آمین ها مقدار آب مورد نیاز برپا دستیابی به یکنواختی نرمال، افزایشی می یابد.



شکل 9 شدت پیک افراقی اشعه X نمونه های حاوی آلکانول آمین ها برای آسیب در مدت زمان 25 دقیقه زمان تنظیم ابتدایی و نهایی تقریباً برای سیمان حاوی افزودنی به ویژه TEA و DEIPA در مقایسه با سیمان خالص کاهش می یابد. TEA از سال های دور به عنوان تسریع دهنده برای تسریع واکنش C_3A به مقدار کم به سیمان پورتلند افزوده می شده است [28]. پس DEIPA را می توان به عنوان تسریع دهنده به جای TEA به سیمان

ورتلند افزوی. در مورد TIPA گزارده شده که زمان تنظیم را به مقدار 15٪ افزایش می دهد [28]. با این وجود مقدار کمی TIPA در این آزمایش کمی زمان تنظیم را کاهش داد.

TEA تاثیر چشمگیری در مقاومت تا کمی خمیر سیمان در 3 روز داشت در حالی که TIPA مقاومت تراکمی 28 روزه را به طور قابل توجهی افزایش داد. TPA در مدت مان چشمگیری در ملول باقی می ماند و هیدراسیون فیت برای تشکیل هیدرات ای سولفو آمسنت را پس از اتمام مصرف سنگ گچ کاتالیز می کد [15،25]. TEA روی سطح پورتلندیت جذب می شود هیدراسیون C₃A را تسریع می کند اما TIPA جذب نمی شود [28،29]. در نتیجه TEA سهم بیشتری در مقاومت تراکمی کوتاه مد دارد در حالی که TIPA اساسا بر موم تراکمی طولانی مدت دارد. آلکانول آمین های جدید (DEIPA و EDIPA) با TIPA، TEA، THEED، اثر چشمگیری بر مقاومت تراکمی طولانی مدت دارد. آلکانول آمین های جدید علاوه بر افزایش مقاومت تراکمی کوتاه مدت، مقاومت تراکمی بلند مدت را نیز افزایش می دهد. اما آلکانول آمین های جدید تنها اثر بسیار کمی بر مقاومت انعطافی سیمان دارد.



شکل 10 طیف انتقالی مادون قرمز فوریه برای نمونه های مختلف

4. نتیجه گیری

آلکانول آمین های جدید DEIPA و EDIPA همانند TEA و THEED در سایش سیمان پورتلند و کاهش بقایای غربالگری (45 میکرومتر) بسیار موثر است. در مقایسه با سیمان خالص آلکانول آمین ها به طور چشمگیری مقدار ذرات بسیار ریز در محدوده 1-5 میکرومتر را کاهش می دهد.

آلکانول آمین ها به جز THEED در مقایسه با سیمان خالص زاویه گذار سیمان آسیاب شده را کاهش می دهد. زمانی که مقدار آلکانول آمین ها 0.015٪ وزنی سیمان خالص باشد کاهش زاویه گذار به ترتیب زیر است: DEIPA>TIPA>TEA>EDIPA>THEED. به منظور بهبود قابلیت جریان پودر آلکانول آمین های جدید مخصوصا DEIPA مقدار SE و BFE را کاهش می دهد. DEIPA میزا BFE و SE را به ترتیب به مقدار 20.9 و 26٪ کاهش می دهد. به علاوه تراکم پذیری و افت فشار با افزایش تش نرمال تا 15 کیلوپاسکال افزایش می یابد. در تنش نرمال ثابت بالاتر از 8 کیلوپاسکال DEIPA و EDIPA میزان تراکم پذیری و افت فشار را برای بهبود تجمع در حین ذخیره سازی سیمان، کاهش می دهد. DEIPA و EDIPA میزان تراکم و افت فشار را برای بهبود 9٪ و 26٪ کاهش می دهد.

ترکیبات معدنی سیمان ها در حین سایش تغییری نمی کند. نتایج XRD و FT-IR نشان می دهد که افزودن مقدار کمی آلکانول آمین، تغییر شکل سنگ گچ را تسریع می کند.

مقادیر آب مورد نیاز برای یکنواختی نرمال به مقدار کمی بیشتر از سیمان حاوی 0.015٪ آلکانول آمین است. به علاوه زمان تنظیم ابتدایی و نهایی کاهش می باید. EDIPA زمان تنظیم ابتدایی و انتهای را به مقدار 20 و 25 درجه کاهش می دهد. DEIPA همانند TEA می تواند به عنوان شتاب دهنده استفاده شود. DEIPA و EDIPA مقاومت تراکمی کوتاه مدت و طولانی مدت را افزایش می دهد در حالی که THEED تنها در مقاومت تراکمی طولانی مدت نقش دارد. آلکانول آمین های موجود تأقیر کمی بر مقاومت انعطافی دارد.

جدول 3 مشخصات فیزیکی و شیمیایی سیمان با و بدون 0.015٪ آلکانول آمین های مختلف آسیاب شده به مدت

25 دقیقه

Kinds of additive	Standard consistency water demand/%	Setting time/min		C/F strength/MPa			
		Initial	Final	3 days		28 days	
Reference	26.5	160	210	38.7	7.2	57.1	8.5
TEA	27.7	140	180	41.7	6.9	57.5	8.4
TIPA	27.2	150	205	39.4	7.3	61.2	8.6
DEIPA	27.3	140	185	41.3	7.3	62.4	8.5
EDIPA	27.6	145	190	40.7	7.6	61.1	8.8
THEED	27.7	155	195	39.9	7.1	61.3	8.6

توجه: C/F - مقاومت فشاری / مقاومت خمشی

References

- [1] H. Dundar, H. Benzer, N.A. Aydogan, O. Altun, N.A. Toprak, O. Ozcan, D. Eksi, A. Sargin, Simulation assisted capacity improvement of cement grinding circuit: case study cement plant, *Miner. Eng.* 24 (2011) 205–210.
- [2] D.A. Jankovic, D.W. Valery, E. Davis, Cement grinding optimisation, *Miner. Eng.* 17 (2004) 1075–1081.
- [3] T.L. Zhang, J.M. Gao, J.C. Hu, Preparation of polymer-based cement grinding aid and their performance on grindability, *Constr. Build. Mater.* 75 (2015) 163–168.
- [4] T. Ion, G. Graziela, Mechanisms and effects of additives from the dihydroxycompound class on Portland cement grinding, *Cem. Concr. Res.* 29 (1999) 9–15.
- [5] X.J. Gao, Y.Z. Yang, H.W. Deng, Utilization of beet molasses as a grinding aid in blended cements, *Constr. Build. Mater.* 25 (2011) 3782–3789.
- [6] A.T. Albayrak, M. Yasar, M.A. Gurkaynak, I. Gurgey, Investigation of the effects of fatty acids on the compressive strength of the concrete and the grindability of the cement, *Cem. Concr. Res.* 35 (2005) 400–404.
- [7] S. Sohoni, R. Sridhar, G. Mandal, Effect of grinding aids on the fine grinding of limestone, quartz and Portland cement clinker, *Powder Technol.* 67 (1991) 277–286.
- [8] P.B. Rajendran Nair, R. Paramasivam, Effect of grinding aids on the time-flow characteristics of the ground product from a batch ball mill, *Powder Technol.* 101 (1999) 31–42.
- [9] A.A. Jeknavorian, E.F. Barry, F. Serafin, Determination of grinding aids in Portland cement by pyrolysis gas chromatography–mass spectrometry, *Cem. Concr. Res.* 28 (1998) 1335–1345.
- [10] K.M. Sureshan, S.C. Ahluwalia, Mechanism of action of grinding aids in comminution, *Powder Technol.* 71 (1992) 229–237.
- [11] D. Heinz, M. Göbel, H. Hilbig, L. Urbonas, G. Bujauskaite, Effect of TEA on fly ash solubility and early age strength of mortar, *Cem. Concr. Res.* 40 (2010) 392–397.
- [12] Z. Heren, H. Olmez, Influence of ethanolamines on the hydration and mechanical properties of Portland cement, *Cem. Concr. Res.* 26 (1996) 701–705.
- [13] V.S. Ramachandran, Action of triethanolamine on the hydration of tricalcium aluminate, *Cem. Concr. Res.* 3 (1973) 41–54.
- [14] J. Cheung, A. Jeknavorian, L. Roberts, D. Silva, Impact of admixtures on the hydration kinetics of Portland cement, *Cem. Concr. Res.* 41 (2011) 1289–1309.
- [15] E. Gartner, D. Myers, Influence of tertiary alkanolamines on Portland cement hydration, *J. Am. Ceram. Soc.* 76 (1993) 1521–1530.
- [16] J.S. Paul, F. Doncaster, On the mechanism of strength enhancement of cement paste and mortar with triisopropanolamine, *Cem. Concr. Res.* 34 (2004) 973–976.
- [17] C.J.Ho-Wah, M.D.Francis, Strength enhanced Portland cement compositions that include DEIPA and EDIPA, Patent No: NZ19980503494, 2001.
- [18] L.A.Jardine, C.K.Leon, Amine-containing cement processing additives, Patent No: US20060086291 (A1), 2006.
- [19] J.J. Assaad, S.E. Asseily, J. Harb, Effect of specific energy consumption on fineness of Portland cement incorporating amine or glycol-based grinding aids, *Mater. Struct.* 42 (2009) 1077–1087.
- [20] N.R. Yang, Processes and effects of mechanochemistry (I) — chemical effects of mechanochemistry, *J. Build. Mater.* 3 (2000) 19–26.
- [21] M. Zhu, S.G. Hu, Q.J. Ding, Chemical effects of mechanochemistry in the process of grinding of based on cement, *Dev. Guid. Build. Mater.* 4 (2004) 45–47.
- [22] G. Giorgio, Investigations of the mechanism of sodium acetate as a grinding aid in the milling of the clinker, *Cem. Technol.* 3 (1972) 97–105.
- [23] M.M. Radwan, M. Heikal, Hydration characteristics of tricalcium aluminate phase in mixes containing β -hemihydrate and phosphogypsum, *Cem. Concr. Res.* 35 (2005) 1601–1608.

- [24] Q. Feng, P.M. Wang, Infra-red spectrum analysis of thermal activation of coal gangue and hydration of cement, *J. Build. Mater.* 8 (2005) 215–221.
- [25] M.Y.A. Mollah, W.H. Yu, R. Schennach, D.L. Cocke, Fourier transform infrared spectroscopic investigation of the early hydration of Portland cement and the influence of sodium lignosulfonate, *Cem. Concr. Res.* 30 (2000) 267–273.
- [26] F. Sajedi, H.A. Razak, Effects of curing regimes and cement fineness on the compressive strength of ordinary Portland cement mortars, *Constr. Build. Mater.* 25 (2011) 2036–2045.
- [27] H. Binici, H. Temiz, M.M. Köse, The effect of fineness on the properties of the blended cements incorporating ground granulated blast furnace slag and ground basaltic pumice, *Constr. Build. Mater.* 21 (2007) 1122–1128.
- [28] M. Katsioti, P.E. Tsakiridis, P. Giannatos, Z. Tsibouki, J. Marinos, Characterization of various cement grinding aids and their impact on grindability and cement performance, *Constr. Build. Mater.* 23 (2009) 1954–1959.
- [29] J. Perez, A. Nonat, S. Garrault-Gauffinet, S. Pourchet, M. Mosquet, Influence of triisopropanolamine on the physico-chemical and mechanical properties of pure cement pastes and mortars, *Proceedings of the 11th International Congress on the Chemistry of Cement, Document Transformation Technologies*, vol. 2, The Cement and Concrete Institute of South Africa, Durban(South Africa) 2003, pp. 454–463.