

# بررسی روند افت وزنی توف های سازند کرج در آزمون سلامت سنگ و تعیین کاربری آنها

محمد حسین قبادی\*<sup>۱</sup>، محمدرضا نیکودل<sup>۲</sup>، علیرضا طالب بیدختی<sup>۳</sup>

۱-استاد گروه زمین شناسی مهندسی دانشگاه بوعلی سینا

۲- استادیار گروه زمین شناسی مهندسی دانشگاه تربیت مدرس

۳- دانشجوی دکتری گروه زمین شناسی مهندسی دانشگاه بوعلی سینا

\* مسئول مکاتبات: amirghobadi@yahoo.com

## چکیده

توف ها سنگ های آذر آواری هستند که ضخامت قابل توجهی از سازند کرج را در منطقه البرز به خود اختصاص داده اند و به عنوان یکی از مصالح ساختمانی پرمصرف در سازه های تهران و استان های همجوار آن مورد استفاده قرار می گیرند. آزمون سلامت سنگ یکی از رایج ترین آزمون ها برای ارزیابی کیفیت مصالح سنگی در کاربری های مختلف می باشد. در این پژوهش با نمونه برداری از توف های سازند کرج در محدوده شمال تهران و البرز ویژگی های سنگ شناسی و خصوصیات فیزیکی و مکانیکی نمونه ها مورد بررسی قرار گرفت. همچنین پس از خردایش و دانه بندی نمونه ها، درصد افت وزنی مصالح در گروه هایی با اندازه های مختلف در آزمون سلامت سنگ مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان می دهد که ویژگی های سنگ شناسی، فیزیکی و مکانیکی و درصد افت وزنی نمونه ها در آزمون سلامت سنگ در توف های سازند کرج از تنوع قابل توجهی برخوردار است. لذا لازم است که در کاربری این سنگ ها به عنوان مصالح ساختمانی این ویژگی ها مورد توجه قرار گیرد. همچنین نتایج نشان می دهد که ویژگی های سنگ شناسی و میزان هوازدگی سنگ نقش بیشتری را در میزان افت وزنی نمونه ها در آزمون سلامت سنگ ایفا می نمایند. بطوری که با افزایش مقدار قطعات سنگی در توف های شیشه ای میزان داوم پذیری آنها در آزمون سلامت سنگ کاهش می یابد.

**کلمات کلیدی:** توف، سازند کرج، آزمون سلامت سنگ، کاربری توف

## ۱- مقدمه

مطالعات محققین مختلف نشان می دهد که تبلور نمک در منافذ سنگ یکی از عوامل مهم در تخریب و زوال مصالح سنگی و مصالح موجود در ساختمان ها و بناهای تاریخی است (Goudie and viles, 1997 و Benavente et al, 2004). توف های سازند کرج در دامنه جنوبی البرز و از جمله شهر تهران و البرز به طور وسیعی در ساختمان دیواره ها، پل ها، دیوار های حائل، کانال های آب، پوشش تونل ها و به عنوان سنگ نما و منابع قرضه مورد نیاز برای تهیه بتن و آسفالت به کار می روند. لذا ارزیابی زمین شناسی مهندسی این توف ها و ارزیابی کیفیت آنها امری ضروری است. آزمون سولفات سنگ یکی از مهمترین آزمایش های لازم برای ارزیابی کیفیت این سنگ ها در کاربری های مختلف می باشد. حد مجاز کاهش وزن در پنج سیکل آزمون سولفات سدیم یا منیزیم با توجه به محل و نوع

ساختمان مورد نظر متفاوت است (معماریان ح،، ۱۳۷۴). در جدول ۱ حد مجاز درصد افت آزمون سلامت سنگ برای مصالح در کاربری های مختلف نشان داده شده است.

جدول ۱- حدود مجاز افت وزنی مصالح سنگی در پایان پنج چرخه از آزمون سلامت سنگ در کاربری های متفاوت (معماریان، ۱۳۷۴)

نوع کاربری مصالح سنگی	حداکثر افت وزنی مجاز در پایان پنج سیکل آزمون سولفات منیزیم	حداکثر افت وزنی مجاز در پایان پنج سیکل آزمون سولفات سدیم
بالاست	-	٪۱۰
بتن	شن	٪۱۲
	ماسه	٪۱۰
آسفالت	مصالح درشت	٪۸
	مصالح ریز	<٪۸
موج شکن	<٪۱۸	<٪۱۰
پی و دیوار زیر زمینی	-	<٪۱۲
دیوار	-	<٪۱۰
مهندسی آب (پل و تونل)	-	<٪۱۲
سنگ نما	-	<٪۱۰
پوشش کانال	-	<٪۱۰

## ۲- روش مطالعه

در این پژوهش با انجام مطالعات صحرایی و بازدید از رخنمون های سازند کرج در محدوده شمال تهران تا شمال کرج، محل های نمونه برداری مشخص گردید. سپس با انجام نمونه برداری و انتقال بلوک های سنگی اقدام به مغزه گیری و خردایش نمونه ها مورد نیاز برای آزمون سولفات گردید. مطالعات صحرایی موید این است که تنوع لیتولوژیکی توف های سازند کرج بسیار زیاد می باشد. بطوری که خصوصیات سنگ شناسی واحدهای این سازند در فاصله های کم نیز متغیر می باشد. در جدول ۲ مشخصات محل های نمونه برداری مشخص شده است.

### جدول ۲- مشخصات جغرافیایی و توصیف صحرایی نمونه ها

شماره نمونه برداری	محل نمونه برداری	توصیف نمونه دستی
F.1.2	معدن شماره ۱ فرحزاد	سخت- میکرو کریستالین- ضخیم لایه و دارای کمی ریز شکستگی ها همراه با پرشدگی سیلیس- رنگ سبز
F.3.A	معدن شماره ۳-الف فرحزاد	سخت- میکرو کریستالین- دارای لایه بندی ضخیم و بدون هوازدگی- رنگ سبز
E.D	کیلومتر ۶ جاده امامزاده داوود- بعد از سولقان	نسبتاً سخت- کریستالین- بدون هوازدگی- رنگ قهوه ای
VAR.M	معدن سنگ ورد آورد کرج	سخت- میکرو کریستالین- ماسیو- بدون هوازدگی- دارای ریز شکستگی های جزئی- رنگ سبز
V.B.1	معدن سنگ ورده برغان- شمال کردان کرج	نسبتاً سخت- کریستالین- آثاری از جهت یافتگی در نمونه ها مشاهده می شود- رنگ خاکستری مایل به آبی

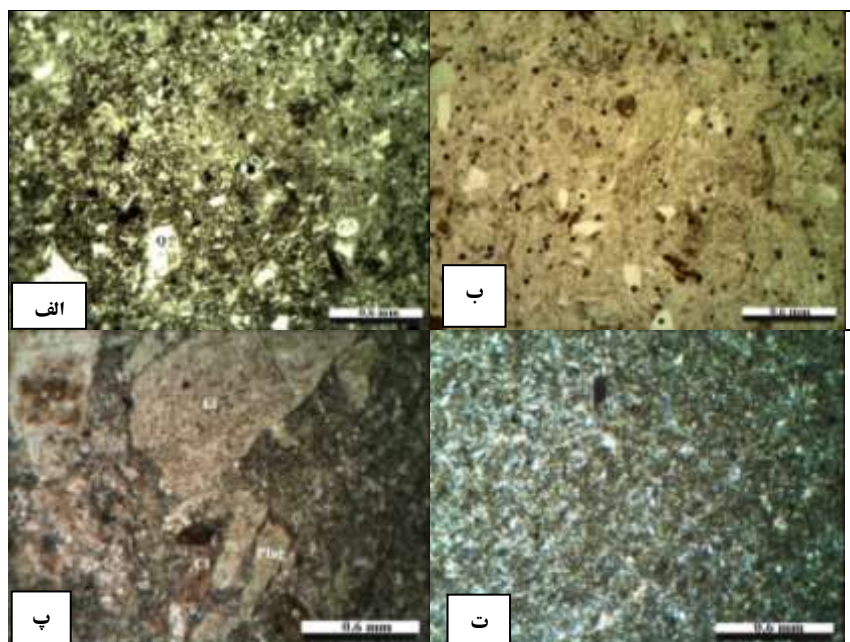
نسبتاً سخت- کریستالین- رنگ قهوه ای	معدن سنگ ورده برغان- شمال کردان کرج	V.B.2
سخت- بسیار تردو شکننده- میکرو کریستالین- دارای شکست صدفی در هنگام خردایش- رنگ سبز تیره	معدن سنگ ورده برغان- شمال کردان کرج	V.B.3
سختی متوسط تا پایین- کریستالین- کمی هوازده- آثاری از سطوح ضعف در نمونه مشاهده می شود.	معدن سنگ ورده برغان- شمال کردان کرج	V.B.4

### ۳- مطالعات سنگ شناسی

توف ها سنگ های آذر آواری می باشند که بیش از ۷۰ درصد ذرات آنها کوچکتر از ۲ میلی متر باشد و بر اساس فراوانی قطعات سنگی، بلورها و شیشه در یک دسته بندی کلی به سه دسته لیتیک توف، کریستالین توف و ویتریک توف طبقه بندی می شوند (Schmid R., 1981). مطالعات سنگ شناسی نمونه های مورد مطالعه با استفاده از مقاطع نازک و با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان به شرح زیر می باشد.

نمونه F.1.2 یک کریستال ویتریک توف می باشد در این نمونه بلورهای کوارتز و فلدسپات تقریباً هم اندازه و خیلی ریز با مجموع فراوانی ۲۰ تا ۲۵ درصد در یک خمیره شیشه ای همراه با قطعات شیشه آتشفشانی (شارد) قرار می گیرد (شکل ۱). نمونه F.3.A یک کریستال ویتریک توف می باشد که بلور های گرد تا نیمه گرد کوارتز با فراوانی در حدود ۲۰ درصد و فلدسپات با فراوانی ۱۵ درصد در یک خمیره شیشه ای قرار دارند. اندازه بلورها در حدود ۱-۲ میلی متر است. نمونه E.D یک کریستال توف می باشد که شامل فنو کلاست ها ریز دانه و متشکل از ذرات کوارتز، فلدسپات و مقدار کمی کانی های مافیک ( پیروکسن- اولیون) می باشند. ذرات خرده سنگ در متن سنگ با فراوانی بسیار کم مشاهده می شوند. نمونه VAR-M یک کریستال ویتریک توف می باشد که در این نمونه بلور های ریز کوارتز و ذرات لیتیک و کمی هم فلدسپات با فراوانی مجموع ۱۵ درصد در خمیره سیلیسی پراکنده شده اند.

نمونه V.B.1 یک لیتیک کریستال توف می باشد که شامل فنو کلاست ها به ترتیب فراوانی شامل فلدسپات ها (۱۵٪)، لیتیک ها (۱۰٪) و کوارتز (۵٪) می باشد. لیتیک ها عمدتاً دارای منشاء آتشفشانی و آندزیتی - بازالتی می باشند. اندازه دانه ها در حد ماسه متوسط است. نمونه V.B.2 یک لیتیک کریستال توف است که شامل فنو کلاست ها فلدسپات، کوارتز و خرده سنگ های آندزیتی می باشد. نمونه V.b.3 یک ویتریک توف می باشد که متن سنگ متشکل از یک خمیر شیشه ای بسیار ریز دانه می باشد که تحت تاثیر دگرسانی قرار گرفته است. در این نمونه کلریتی شدن و پالاگونیتی شدن و کانی های رسی که حاصل آلتره شدن شیشه می باشد، مشاهده می شود. نمونه V.B.4 یک کریستال توف می باشد که دارای فنو کلاست های شامل فلدسپات، کوارتز و خرده سنگ (لیتیک) با نسبت فراوانی یکسان می باشد. میزان فراوانی دانه ها در حدود ۴۰ درصد می باشد. در این نمونه پدید پالاگونیتی شدن و کلریت زایی مشاهده می شود. فلدسپات ها و زمینه شیشه ای سنگ شدیداً هوازده شده است. شکل ۱ تصویر میکروسکوپی تعدادی از این نمونه ها را نشان می دهد.



شکل ۱- تصویر مقطع میکروسکوپی مقاطع تهیه شده از نمونه ها در نور PPL با بزرگنمایی ۴۰ الف- F.1.2 ب- VAR.M پ- V.B.1 ت- V.B.3 (Plag: پلاژیوکلاز، Q: کوارتز، Cl: کلریت، Li: لیتیک، )

#### ۴- خواص فیزیکی و مکانیکی

آزمایش های که در این پژوهش جهت تعیین ویژگی های مهندسی نمونه های مورد مطالعه انجام شده است عبارتند از آزمایشهای تعیین خواصیات فیزیکی که شامل درصد جذب آب، درصد تخلخل، دانسیته خشک، سرعت امواج طولی در حالت خشک و اشباع، مقاومت فشاری تک محوری و مقاومت کششی برزیلین بر اساس استاندارد ISRM, 1979 می باشد. نتایج آزمایش های انجام شده در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- ویژگی های مهندسی سنگ های مورد مطالعه

شماره نمونه	درصد جذب آب	درصد تخلخل	دانسیته خشک (gr/cm <sup>3</sup> )	سرعت موج P در حالت خشک (m/s)	سرعت موج P در حالت اشباع (m/s)	مقاومت کششی برزیلین (MPa)	مقاومت فشاری تک محوری (MPa)
F.1.2	۰/۶۴	۶/۰۱	۲/۲۵	۴۳۷۲	۴۳۸۷	۲۰/۸	۱۵۵
F.3.A	۱/۳۹	۷/۱۴	۲/۴۰	۴۳۲۲	۴۳۲۳	۱۵/۹	۱۹۰
E.D	۰/۷۵	۷/۳۵	۲/۴۴	۴۱۰۱	۴۱۳۹	۱۳/۷	۱۵۰
VAR.M	۰/۸۴	۹/۲۱	۲/۳۵	۴۳۴۸	۴۳۳۵	۱۶/۹	۲۲۶
V.B.1	۰/۷۹	۷/۱۰	۲/۴۶	۴۳۰۶	۴۳۳۴	۱۸/۵	۱۵۹
V.B.2	۰/۸۲	۱۷/۳۹	۲/۴۴	۴۰۴۳	۴۱۵۴	۱۲/۷	۱۴۴
V.B.3	۱/۱۶	۹/۳۰	۲/۳۹	۳۹۶۵	۴۰۲۳	۱۹/۷	۱۴۰
V.B.4	۰/۸۲	۷/۳۰	۲/۴۶	۳۱۳۷	۳۴۵۵	۱۴/۴	۱۳۰

## ۵- آزمایش سلامت سنگ

به منظور بررسی تاثیر سنگ شناسی توف های سازند کرج بر میزان دوام پذیری آنها در آزمایش های سلامت سنگ ( soundness)، از محلول های اشباع سولفات منیزیم و سولفات سدیم مطابق با استاندارد ASTM-C88-90 استفاده شده است. در این استاندارد کلیه آزمایش ها بر روی محدوده خاصی از ذرات انجام می شود که از ۴/۷۵ تا ۶۵ میلی متر متغیر می باشد. جدول شماره ۴ اندازه قطعات سنگی مورد نیاز برای انجام این آزمایش، مقادیر وزنی نمونه های مورد استفاده و سایز الک هایی که برای تعیین میزان افت وزنی نمونه ها در پایان آزمایش مورد نیاز است را نشان می دهد. در این پژوهش پس از دانه بندی مصالح، نمونه ها مطابق با استاندارد در محلول اشباع سولفات منیزیم و سولفات سدیم به مدت ۱۸ ساعت قرار می گیرند و سپس نمونه ها تا رسیدن به وزن ثابت در آون قرار گرفته و خشک می گردند. سپس میزان افت وزنی ذرات مطابق با استاندارد در پایان ۵ سیکل غوطه وری در محلول و خشک شدن بر اساس فرمول (۱) محاسبه می گردد.

(۱)

$$LW(\%) = \frac{W_5 - W_0}{W_0}$$

$LW(\%) =$  درصد افت وزنی در پایان ۵ سیکل  $W_5 =$  وزن خشک نمونه در پایان سیکل پنجم

$W_0 =$  وزن خشک نمونه قبل از انجام آزمون

جدول ۴- اندازه دانه های مورد نیاز برای آزمایش سلامت سنگ بر اساس استاندارد ASTM C88-90

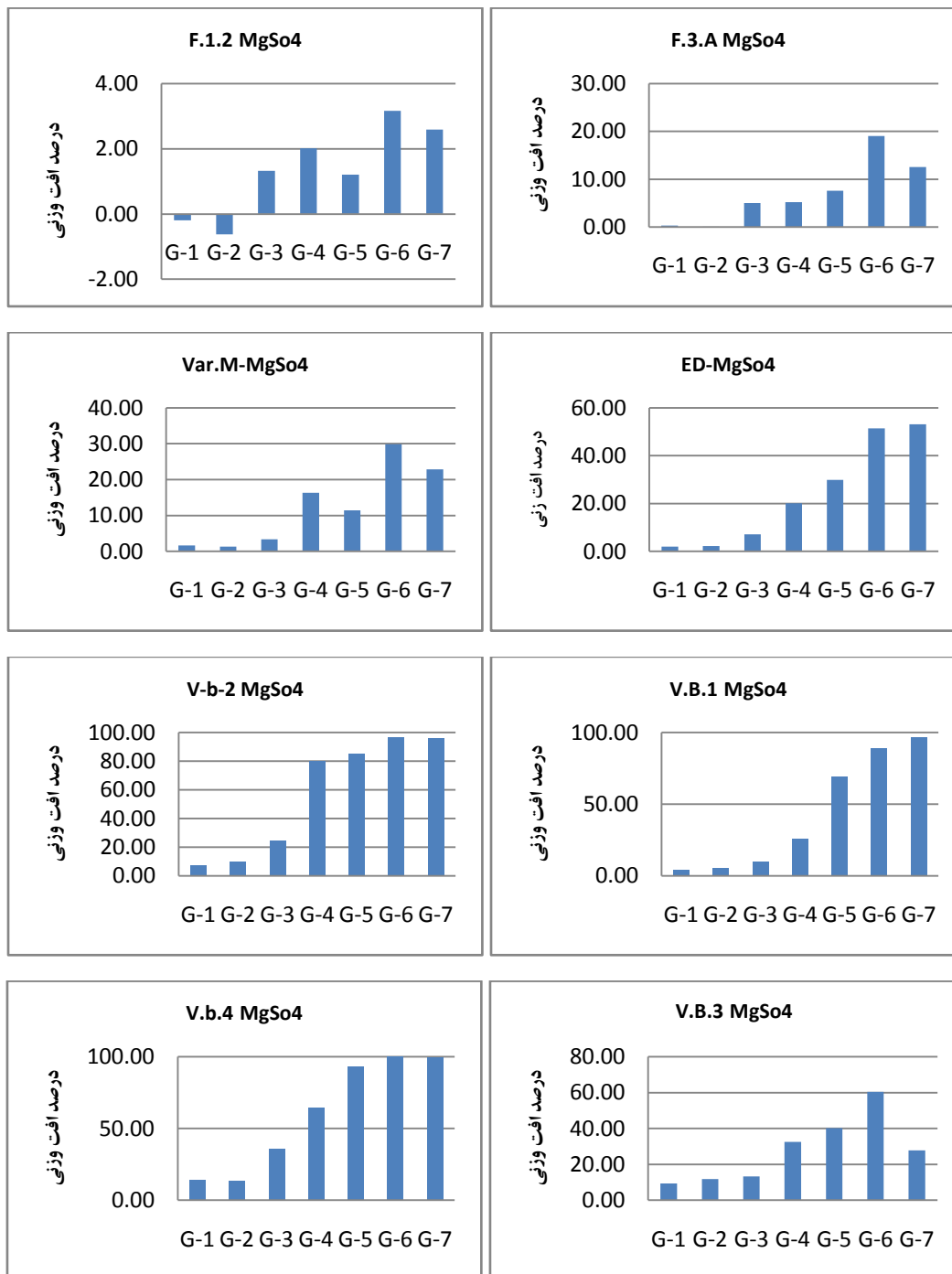
G7	G6	G5	G4	G3	G2	G1	گروه
۴/۷۵-۹/۵	۹/۵-۱۲/۵	۱۲/۵-۱۹	۱۹-۲۵	۲۵-۳۷/۵	۳۷/۵-۵۰	۵۰-۶۳	اندازه دانه ها (mm)
3	3	6	5	1	2	3	وزن مورد نیاز (gf)
۴	۸	۱۶	۳۱/۵				اندازه الک برای تعیین میزان افت وزنی (mm)

### ۵-۱- بررسی روند افت وزنی نمونه در اندازه های مختلف ذرات در آزمون سلامت سنگ

#### ۵-۱-۱- آزمون سولفات منیزیم

در شکل ۲ روند افت وزنی نمونه ها در اندازه دانه های گروه G1 تا G7 برای آزمون سولفات منیزیم نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود افت وزنی ذرات ریز غالباً بیشتر از ذرات درشت می باشد. بطوری که درصد افت وزنی اندازه دانه های گروه G5، G6، G7 با گروه های G1، G2، G3، G4 برای اکثر نمونه ها قابل ملاحظه می باشد. این موضوع به این دلیل می باشد که با کاهش اندازه دانه ها، میزان تماس سطح دانه ها با محلول مورد آزمایش افزایش می یابد در نتیجه اثر تخریبی نمونه های ریز دانه بیشتر است.

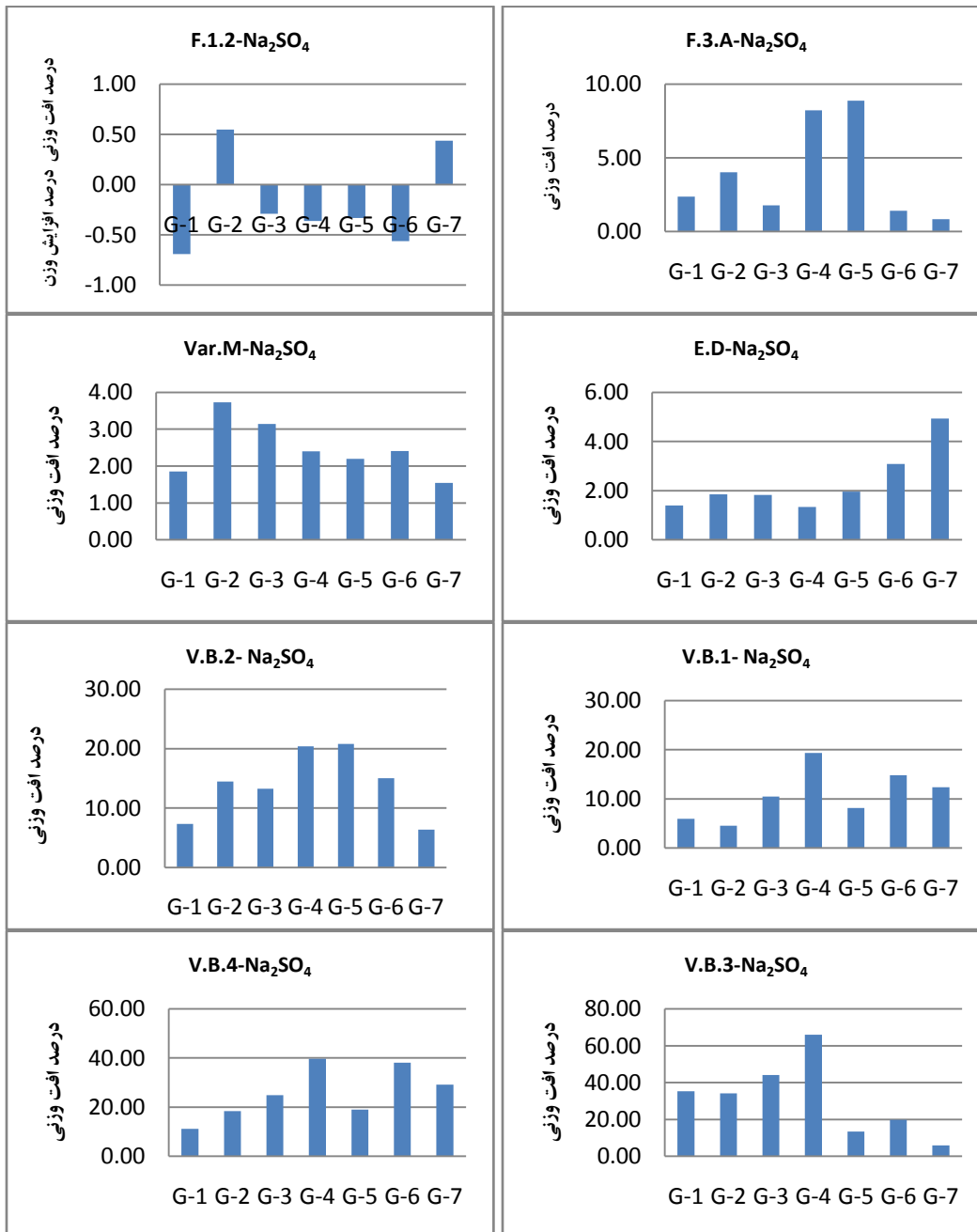
علاوه بر این نتایج آزمون سولفات بر روی نمونه F.1.2 نشان دهنده این است که برای اندازه ذرات گروه G1 و G2 در پایان پنچ سیکل نه تنها افت وزنی وجود ندارد بلکه برای این دو گروه از اندازه ذرات برای نمونه F.1.2 افزایش وزن ناشی از جذب نمک مشاهده می شود.



شکل ۲ - روند افت وزنی در ۷ اندازه مختلف ذرات در نمونه های مختلف در آزمون سولفات منیزیم

### 0-1-2-آزمون سولفات سدیم

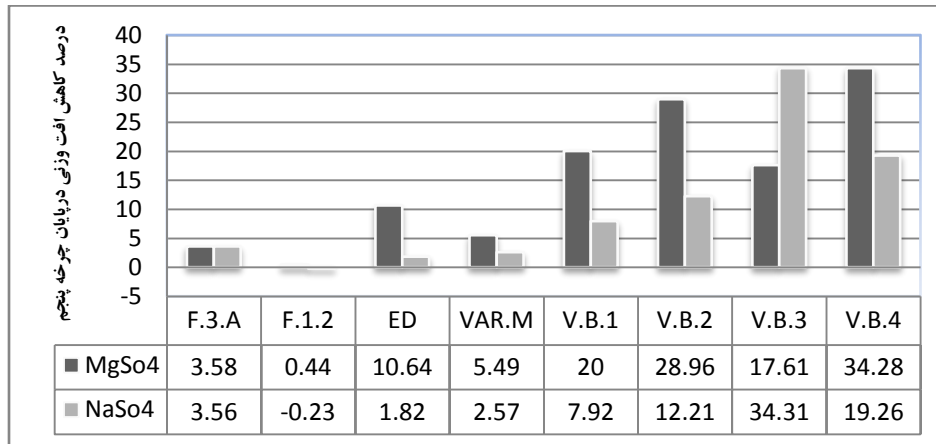
روند افت وزنی نمونه ها در اندازه دانه های گروه G1 تا G7 برای آزمون سولفات سدیم در شکل ۳ نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می شود افت وزنی ذرات در اندازه گروه های G1 تا G7 روند مشخصی ندارد ولی افت وزنی در رده های میانی (G4) در بیشتر نمونه ها قابل ملاحظه است. نمونه F.1.2 در چهار گروه از اندازه ذرات در پایان ۵ سیکل از آزمون سولفات سدیم افزایش وزن نشان می دهد.



شکل ۳ - روند افت وزنی در ۷ اندازه مختلف ذرات در نمونه های مختلف در آزمون سولفات سدیم

### ۵-۱-۳- بررسی افت وزنی کلی نمونه ها در پایان سیکل پنجم

به منظور بررسی نتایج آزمایش های سلامت سنگ انجام شده در این پژوهش، میزان افت وزنی در پایان ۵ سیکل از آزمایش برای نمونه های مختلف در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴- درصد کاهش وزن کلی نمونه ها در پایان سیکل پنجم آزمون سولفات منیزیم و سولفات سدیم

همانطور که در شکل ۴ ملاحظه می شود بیشترین افت وزنی در آزمون سولفات منیزیم مربوط به نمونه V.B.4 و کمترین افت وزنی مربوط به نمونه F.1.2 در پایان سیکل پنجم می باشد. در آزمون سولفات سدیم بیشترین افت وزنی مربوط به نمونه V.B.3 می باشد و نمونه F.1.2 افزایش وزن در پایان سیکل پنجم را نشان می دهد. در اکثر نمونه ها درصد افت وزنی در آزمون سولفات منیزیم به مراتب بیشتر از آزمون سولفات سدیم می باشد و نشان دهنده قدرت تخریبی بالاتر سولفات منیزیم بر روی سنگدانه می باشد. پایین بودن میزان افت وزنی نمونه V.B.3 در آزمون سولفات منیزیم نسبت به آزمون سولفات سدیم به دلیل ریزدانه بودن این سنگ و در نتیجه کوچک بودن منافذ موجود در سنگ می باشد. در نتیجه به دلیل ویسکوزیته بالاتر محلول سولفات منیزیم نسبت به محلول سولفات سدیم عمق نفوذ محلول سولفات سدیم به داخل منافذ موجود در سنگ بیشتر بوده و باعث تخریب بیشتر می گردد. مناسب بودن کاربری این توف ها بر اساس استاندارد های موجود در جدول ۱ و با توجه به نتایج بدست آمده از آزمون های سولفات سدیم و منیزیم در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵- کاربری توف های مورد مطالعه بر اساس نتایج آزمون سولفات

موج شکن	پوشش کانال	سنگ نما	سنگ شکسته برای بتن		بالاست	آسفالت	مهندسی آب	دیوار	پی و دیوار زیر زمینی	کاربری شماره نمونه
			ماسه	شن						
مناسب	مناسب	مناسب	مناسب	مناسب	مناسب	مناسب	مناسب	مناسب	مناسب	F.3.A
مناسب	مناسب	مناسب	مناسب	مناسب	مناسب	مناسب	مناسب	مناسب	مناسب	F.1.2
مناسب	مناسب	مناسب	نامناسب	مناسب	مناسب	نامناسب	مناسب	مناسب	مناسب	E.D
مناسب	مناسب	مناسب	مناسب	مناسب	مناسب	مناسب	مناسب	مناسب	مناسب	VAR.M



V.B.1	مناسب	مناسب	مناسب	نامناسب	نامناسب	مناسب	نامناسب	مناسب	مناسب
V.B.2	نا مناسب	نامناسب	نا مناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب	نا مناسب	نا مناسب
V.B.3	نامناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب
V.B.4	نامناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب	نامناسب

## ۶- نتیجه گیری

۱- نتایج حاصل از مطالعات میکروسکوپی مقاطع نازک و نتایج بدست آمده از آزمون های فیزیکی، مکانیکی و آزمون سلامت سنگ حاکی از اختلاف بین توف ها است. لذا در کاربرد آن به عنوان مصالح ساختمانی باید توجه نمود که وجود این اختلاف می تواند کاربری های این سنگ ها را متمایز و محدودیت هایی ایجاد نماید. نتایج جدول ۵ نشان دهنده مناسب بودن کاربری این سنگ ها برای مقاصد مختلف می باشد.

۲- بطور کلی میزان افت وزنی سنگدانه ها در آزمون سولفات منیزیم به مراتب بیشتر از آزمون سولفات سدیم می باشد.

۳- میزان افت وزنی سنگدانه ها در آزمون سولفات منیزیم در اندازه های گروه های درشت تر (G1,G2,G3,G4) به مراتب کمتر از اندازه گروه های ریزتر (G5,G6,G7) است که این موضوع به دلیل افزایش سطح تماس دانه ها با محلول سولفات با کاهش اندازه ذرات است که در نتیجه منجر به تخریب بیشتری می گردد.

۴- میزان افت وزنی سنگدانه ها در آزمون سولفات سدیم در اندازه های گروه های مختلف روند خاصی را نشان نمی دهد.

۴- سنگ شناسی و میزان هوازدگی توف ها تاثیر بیشتری را بر روی میزان افت وزنی آنها نسبت به دیگر عوامل دارد. به صورتی که در توف های شیشه ای با افزایش بلور ها و ظهور قطعات خرده سنگی (لیتیک) در سنگ میزان افت وزنی سنگ در آزمون سولفات افزایش می یابد. بالا بودن میزان افت وزنی نمونه V.B.3 علیرغم این که از نوع توف شیشه ای است به دلیل هوازدگی آن می باشد.

## منابع

معماریان ح.، (۱۳۷۴). زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیک، انتشارات دانشگاه تهران.

American Society for Testing and Materials, (1996). "Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate", ASTM C88-90. Annual book of ASTM Standards, Vol.14.

Benavente, D., Garcia del curba, M.A., Fort, R., Ordonez, S. ( 2004). "Durability estimation of porous building stone from pore and strength", Engineering Geology, Vol. 74, pp.113-127.

Goudie, A.and Viles, H., (1997). "Salt weathering hazards", Wiley, Chichester, p 241

ISRM, (1979). " Commission on Standardization of Laboratory and Field tests, suggested methods for determining water content, porosity, density, absorption and related properties and swelling and slake durability index properties", International journal rock mechanic mining science, Vol. 16, pp. 48-156.

Schmid, R. (1981). "Descriptive nomenclature and classification of pyroclastic deposits and fragments: Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommittee on the Systematic of Igneous Rocks", The Geological Society of America. Boulder, Vol. 9, pp. 41-43.