

به نام خدا

www.cementtechnology.ir

بررسی روشهای اندازه گیری درصد پوزولان در سیمانهای پوزولانی

مجمع صنعتی سیمان تهران

عزیز میببی خامنه قدرت مرادی عمامت میرزازاده

n آزمایشگاه

www.cementtechnology.ir

پوزولان

n پوزولانها حاوی مقادیر زیادی از سیلیس و آلومین بوده و دارای خاصیت اسیدی می باشند که میل ترکیبی زیادی با آب آهک دارند؛ این ترکیبات ذاتاً شیشه ای هستند و از اجزاء بسیار نرم و ریز و عناصر بی شکل تشکیل شده اند و به همین دلیل می توانند از سطح ویژه بالایی برخوردار باشند.

مزایای استفاده از پوزولان

(منبع : مقاله پوزولان: مرکز تحقیق، توسعه و آموزش)

n مزایای کاربردی

- کنترل واکنش آلكالی سنگدانه و بهسازی دوام بتن
- کاهش تخلخل و نفوذپذیری
- افزایش مقاومت در برابر شسته شدن CaO در آبهای جاری



- افزایش مقاومت بتن در برابر پدیده کربناته شدن
- افزایش مقاومت بتن در برابر حملات شیمیایی سولفاتها
- تقویت رفتار مکانیکی بتن
- کاهش انبساط سیمان

www.cementtechnology.ir

n مزایای تولیدی:

- کاهش حرارت آسیای سیمان و جلوگیری از آثار منفی آن
- کاهش مصرف کلینکر
- استفاده از خواص کمک سایشی در آسیای سیمان



n مزایای زیست محیطی

- کاهش نشر دی اکسید کربن
- کاهش آلودگی های ناشی از نشر غبار
- کاهش آلودگی ناشی از نشر گرم شدن شش ظرفیتی

چرا باید درصد پوزولان را در سیمان های پوزولانی اندازه گیری کرد؟

n برای اینکه تولیدکننده به اندازه از مزایای پوزولان استفاده نماید ضمن اینکه افت کیفیت در محصول بوجود نیاید.

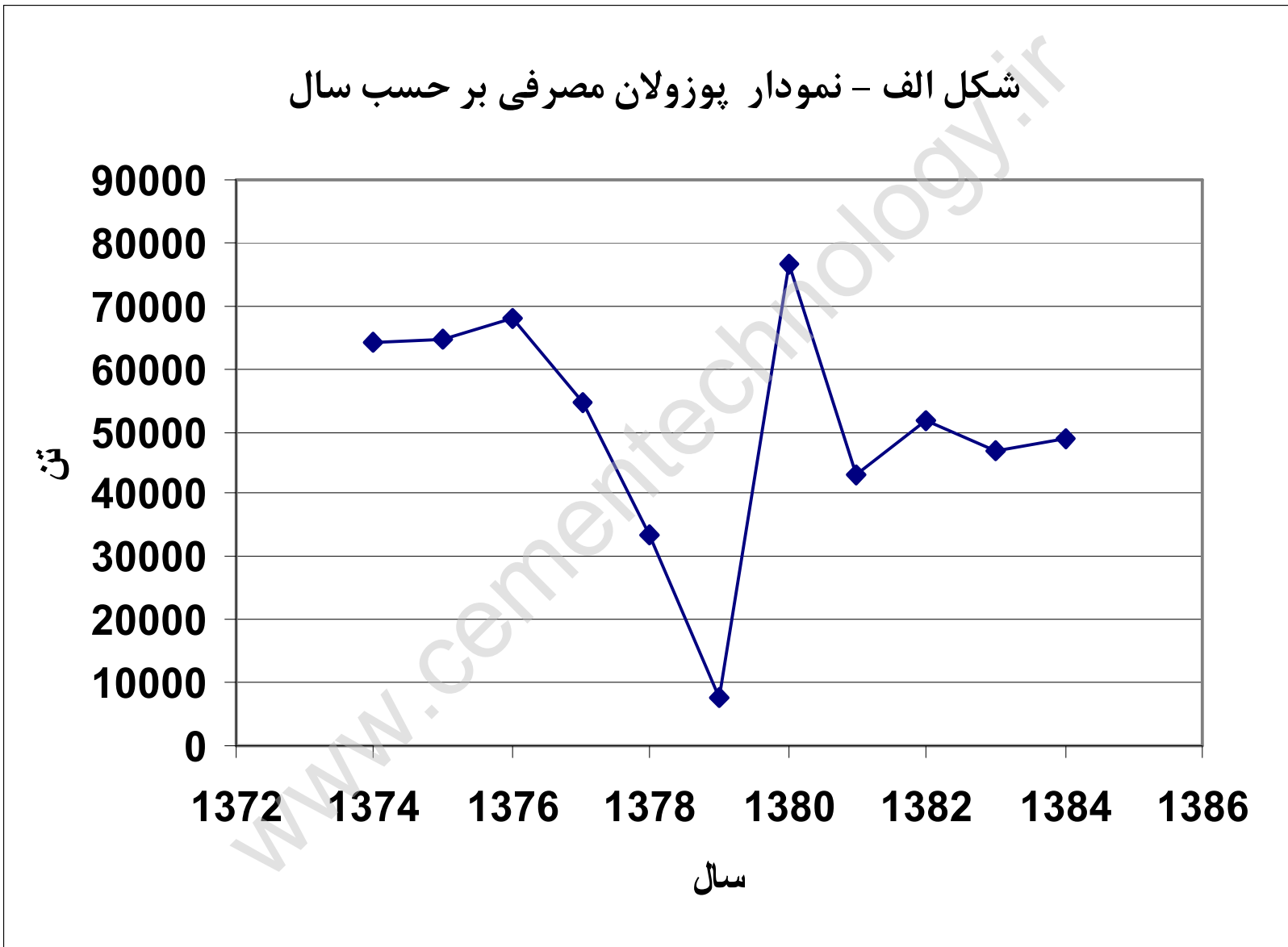
n برای انتخاب صحیح نوع سیمان و مصرف بهینه آن از جانب مصرف کنندگان

• آمار تولید سیمان پوزولانی در کارخانه سیمان تهران از سال 74 تا 84 (مرجع: دفتر فنی)

سال	پوزولان (تن)	سیمان (تن)	درصد پوزولان
1374	64279	480938	13.37
1375	64599	566719	11.40
1376	68041	707577	9.62
1377	54801	456723	12.00
1378	33575	317014	10.59
1379	7865	98330	8.00
1380	76599	543958	14.08
1381	43207	577901	7.48
1382	51701	634124	8.12
1383	46991	671156	7.00
1384	48816	731233	6.68

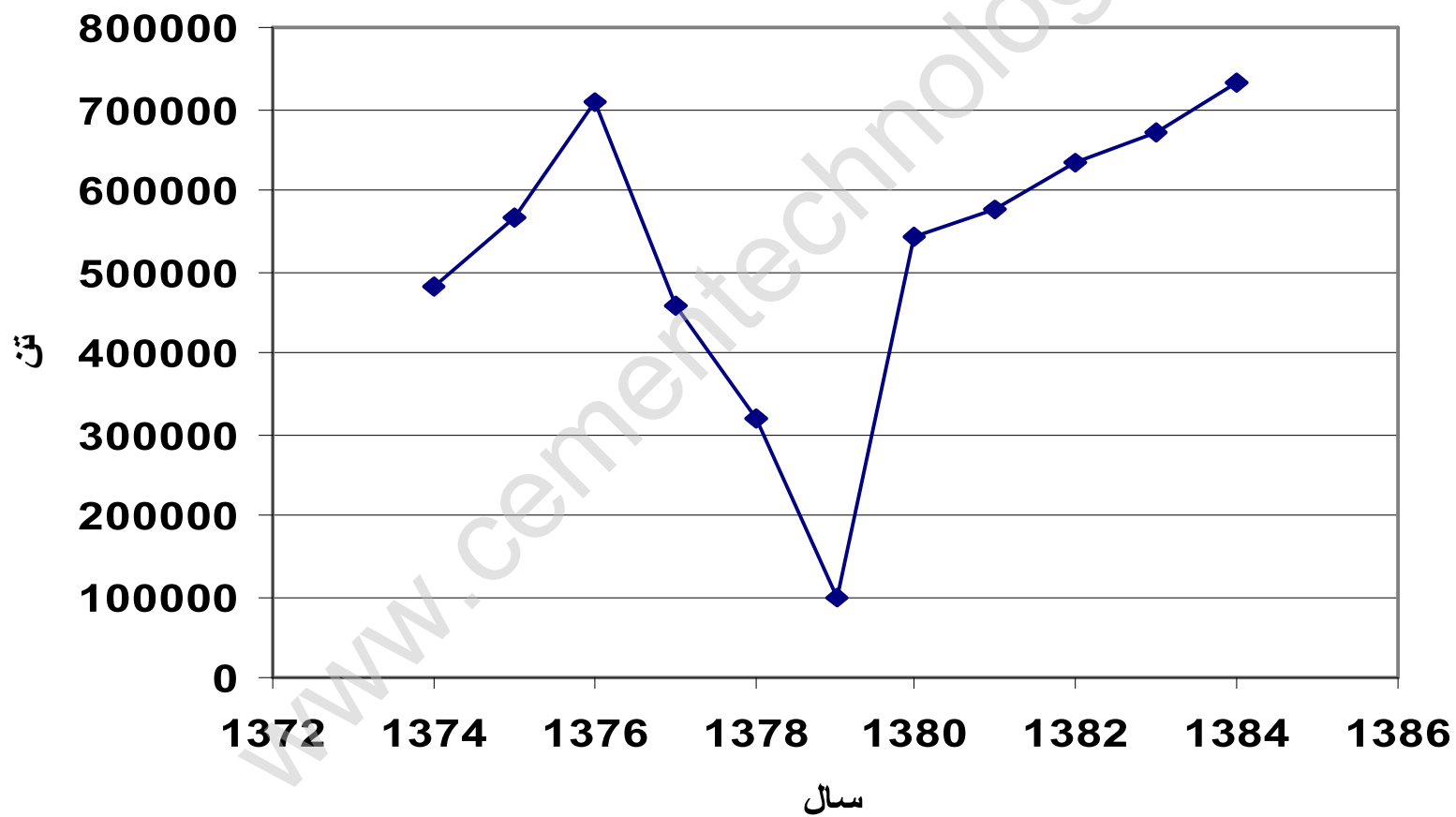


شکل الف - نمودار پوزولان مصرفی بر حسب سال





شکل ب - نمودار تولید سیمان پوزولانی بر حسب سال



حداکثر پوزولان مصرفی در سال کمتر از
۸۰۰۰۰ و بیشترین میزان تولید سیمان
پوزولانی کمتر از ۸۰۰۰۰۰ تن می باشد.



روش اندازه گیری درصد پوزولان قبل از
انجام تحقیق:

n پرت حرارتی سیمان پوزولانی



علت انجام تحقیق:

n مغایرت زیاد نتایج اندازه گیری شده با مقادیر
واقعی درصد پوزولان



کار تجربی

الف: اثبات ناکارآمدی روش اندازه گیری قبلی (پرت حرارتی) با ساخت نمونه های استاندارد متعدد
ب: ساخت استانداردها برای دستیابی به متدهای جدید

- انتخاب سیمانهای پایه برای ساخت استانداردها
- سایش مقدار کافی پوزولان و عبور دادن تمام آن از الک ۲/۰ میلیمتر.

- خشک نمودن پوزولان و سیمان پوزولانی قبل از توزین و اختلاط
- توزین یک کیلوگرم سیمان پایه با X گرم (بسته به درصد پوزولان) پودر پوزولان و اختلاط در آسیای دیسکی

ج: تکنیکهای اندازه گیری:

- ۱- محاسبه درصد پوزولان به عنوان تابعی از درصد اکسیدهای سیمان پوزولانی
- ۲- محاسبه درصد پوزولان به عنوان تابعی از پرت حرارتی سیمان پوزولانی



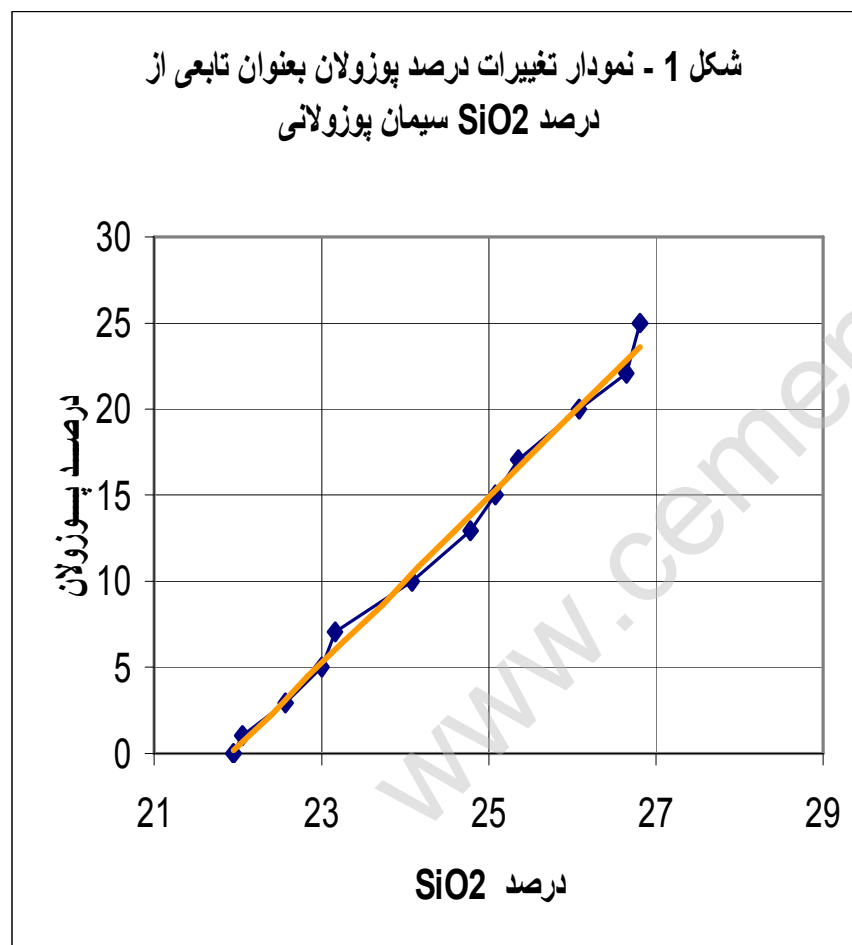
۳- محاسبه درصد پوزولان به عنوان تابعی از فاکتورهای سیمان
پوزولانی

۴- محاسبه درصد پوزولان به عنوان تابعی از فازهای سیمان
پوزولانی

۵- تاثیر رطوبت بر روی پوزولان

۶- محاسبه درصد پوزولان بر مبنای باقیمانده نامحلول در سیمان
پوزولانی

۱- محاسبه درصد پوزولان به عنوان تابعی از درصد اکسیدهای سیمان پوزولانی



درصد SiO_2	درصد پوزولان	درصد محاسبه	اختلاف
21.95	0	0.19	0.19
22.06	1	0.35	-0.65
22.58	3	2.9	-0.1
23.01	5	5.01	0.01
23.17	7	5.79	-1.21
24.07	10	10.2	0.2
24.78	13	13.68	0.68
25.09	15	15.2	0.2
25.36	17	16.52	-0.48
26.07	20	20	0
26.66	22	22.9	0.9
26.82	25	23.68	-1.32

$\%p=4.902 \text{ SiO}_2- 107.79$



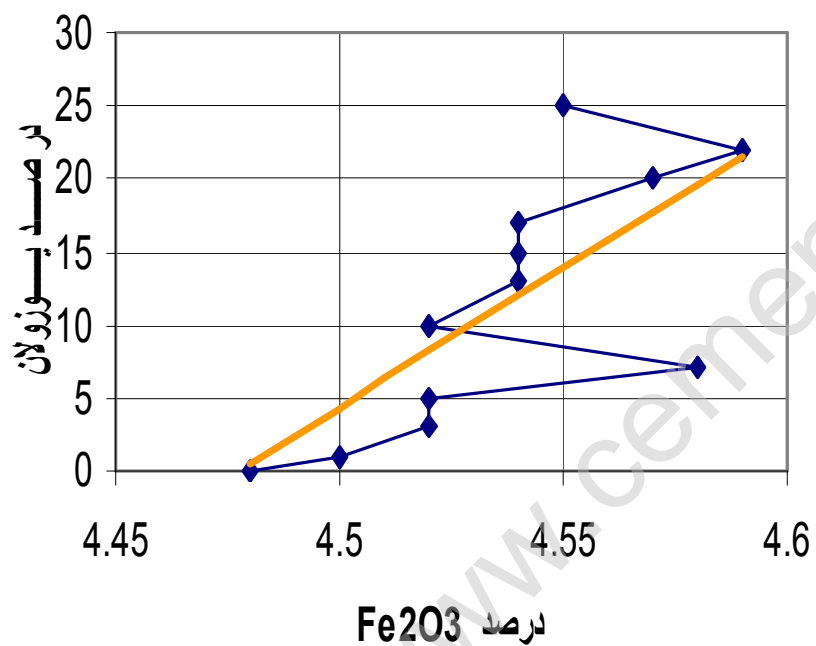
شکل ۲ - نمودار تغییرات درصد پوزولان بعنوان تابعی از

درصد Al_2O_3



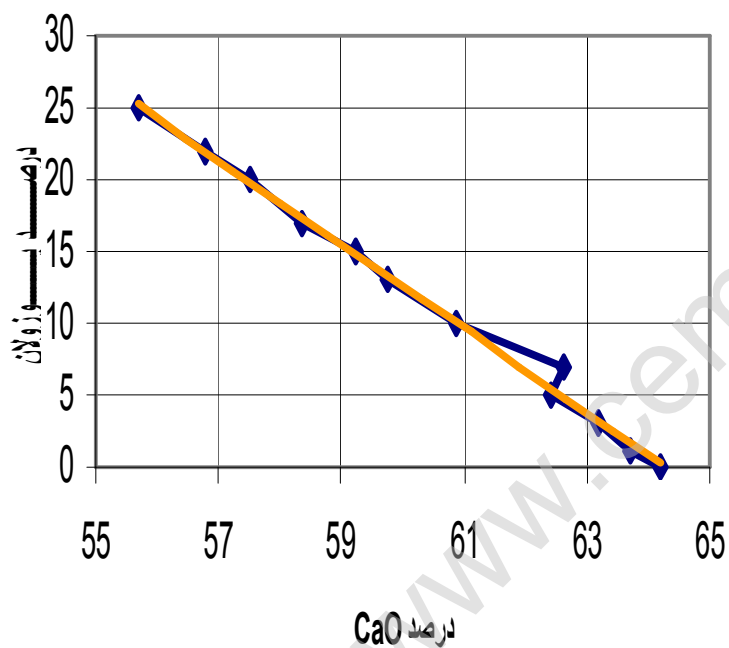
درصد Al_2O_3	درصد واقعی	درصد محاسبه	اختلاف
3.38	0	0.15	0.15
3.46	1	0.55	- 0.45
3.73	3	3.08	0.08
3.97	5	4.99	- 0.01
4.12	7	6.31	- 0.69
4.55	10	10.06	0.06
4.96	13	13.63	0.63
5.1	15	14.85	- 0.15
5.31	17	16.68	- 0.32
5.69	20	20	0
6.06	22	23.22	1.22
6.15	25	24	-1
%P = 8.721 Al_2O_3 - 29.62			

شکل 3 - نمودار تغییرات درصد پوزولان بعنوان تابعی از درصد Fe_2O_3



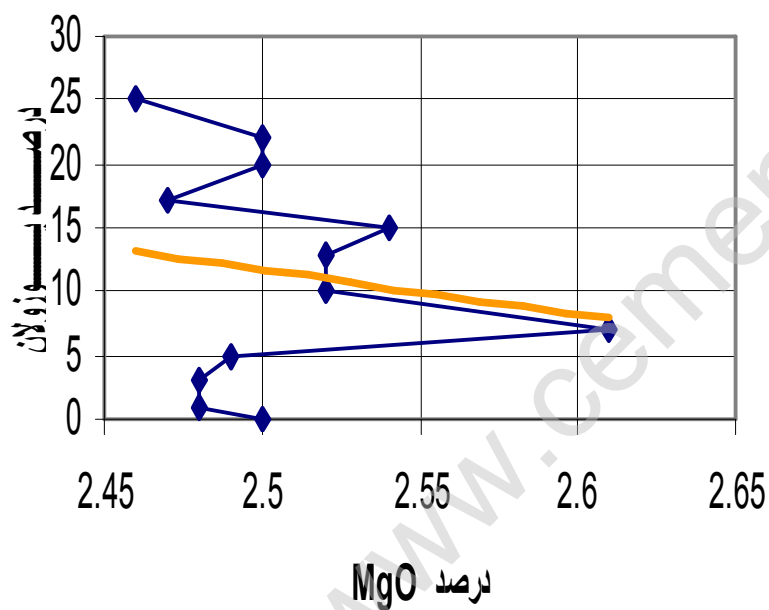
درصد Fe_2O_3	درصد واقعی	درصد محاسبه	اختلاف
4.48	0		
4.50	1		
4.52	3		
4.52	5		
4.58	7		
4.52	10		
4.54	13		
4.54	15		
4.54	17		
4.57	20		
4.59	22		
4.55	25		
%P = ?!			

شکل 4- نمودار تغییرات درصد پوزولان بعنوان تابعی از درصد CaO سیمان پوزولانی



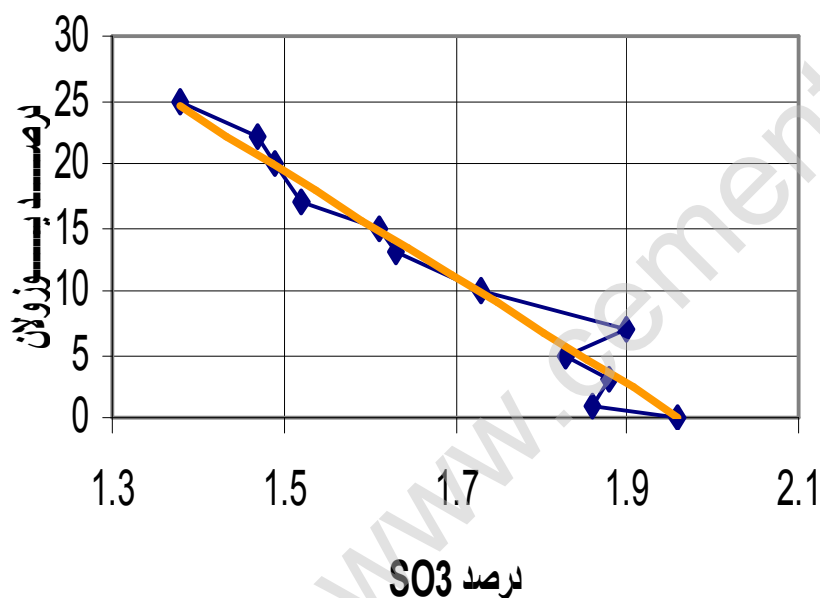
درصد CaO	درصد واقعی	درصد محاسبه	اختلاف
64.2	0	0.06	0.06
63.7	1	1.44	0.44
63.19	3	2.96	-0.04
62.4	5	5.32	0.32
62.61	7	4.7	-2.3
60.88	10	9.87	-0.13
59.76	13	13.22	0.22
59.23	15	14.88	-0.12
58.36	17	17.4	0.4
57.51	20	19.95	-0.05
56.8	22	22.07	0.07
55.69	25	25.39	0.39
$\%p = -2.99 \text{ CaO} + 191.9$			

شکل 5- نمودار تغییرات درصد پوزولان بعنوان تابعی از درصد MgO



درصد MgO	درصد واقعی	درصد محاسبه	اختلاف
2.5	0		
2.48	1		
2.48	3		
2.49	5		
2.61	7		
2.52	10		
2.52	13		
2.54	15		
2.47	17		
2.5	20		
2.5	22		
2.46	25		
%P = ?!			

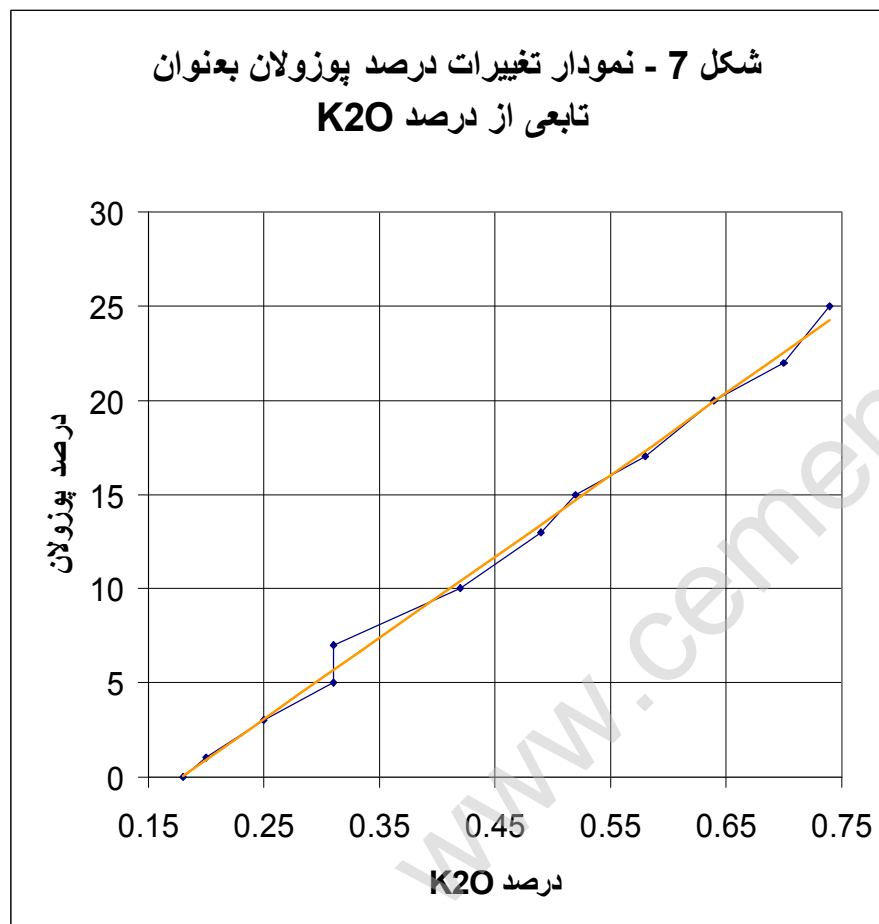
شکل 6 - نمودار تغییرات درصد پوزولان بعنوان تابعی از درصد SO_3



درصد SO_3	درصد واقعی	درصد محاسبه	اختلاف
1.96	0	0	0
1.86	1	3.04	2.04
1.88	3	3.48	0.48
1.83	5	5.65	0.65
1.9	7	2.6	- 4.4
1.73	10	10	0
1.63	13	14.35	1.35
1.61	15	15.22	0.22
1.52	17	19.13	2.13
1.49	20	20.43	0.43
1.47	22	21.3	- 0.7
1.38	25	25.22	0.22
$\%P = - 43.48 SO_3 + 58.22$			



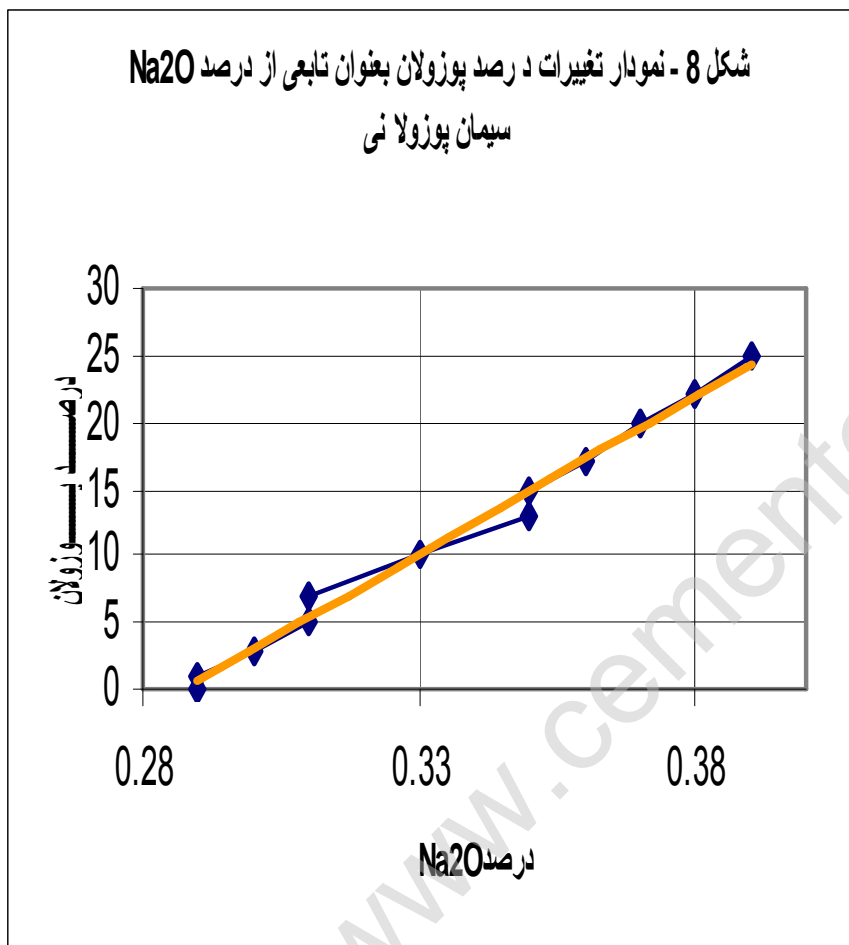
شکل 7 - نمودار تغییرات درصد پوزولان بعنوان تابعی از درصد K₂O



درصد K ₂ O	درصد پوزولان	درصد محاسبه	اختلاف
0.18	0	0	0
0.2	1	0.89	-0.11
0.25	3	3.12	0.12
0.31	5	5.8	0.8
0.31	7	5.8	-1.2
0.42	10	10.71	0.71
0.49	13	13.83	0.83
0.52	15	15.17	0.17
0.58	17	17.85	0.85
0.64	20	20.53	0.53
0.7	22	23.21	1.21
0.74	25	24.99	-0.01

%p = 44.64 K₂O - 8.04

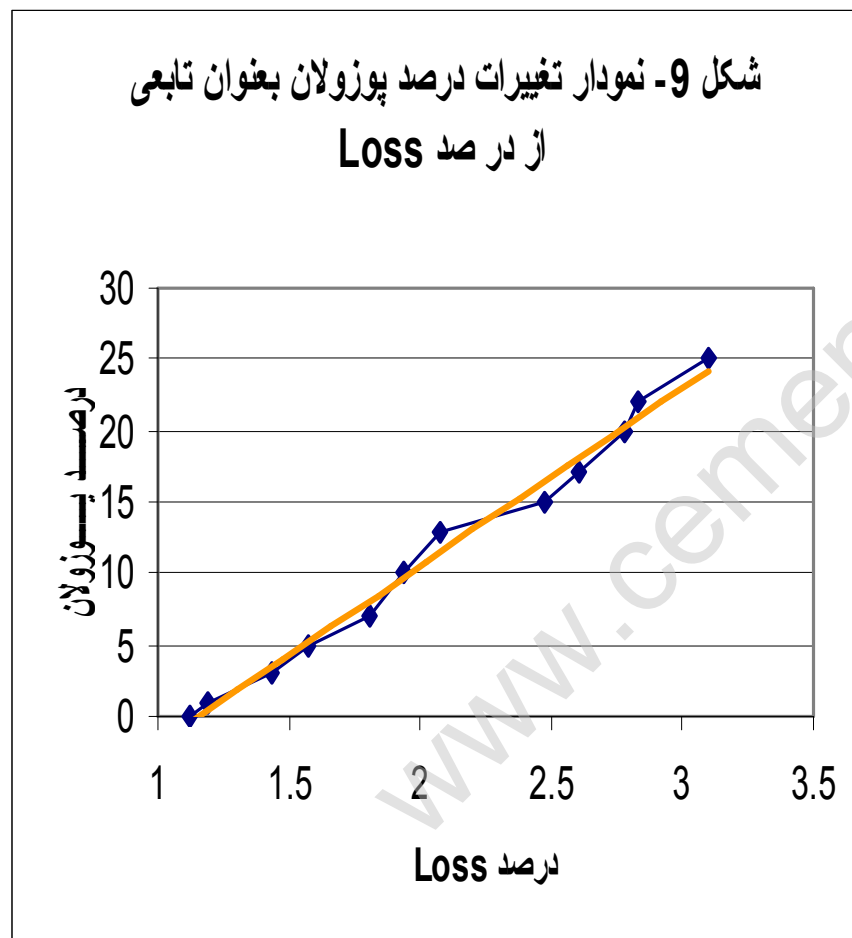
شکل 8 - نمودار تغییرات درصد پوزولان بعنوان تابعی از درصد Na₂O
سیمان پوزولانی



درصد Na ₂ O	درصد واقعی	درصد محاسبه	اختلاف
0.29	0	0	0
0.29	1	0	-1
0.3	3	2.5	-0.5
0.31	5	5	0
0.31	7	5	-2
0.33	10	10	0
0.35	13	15	2
0.35	15	15	0
0.36	17	17.5	0.5
0.37	20	20	0
0.38	22	22.5	0.5
0.39	25	25	0

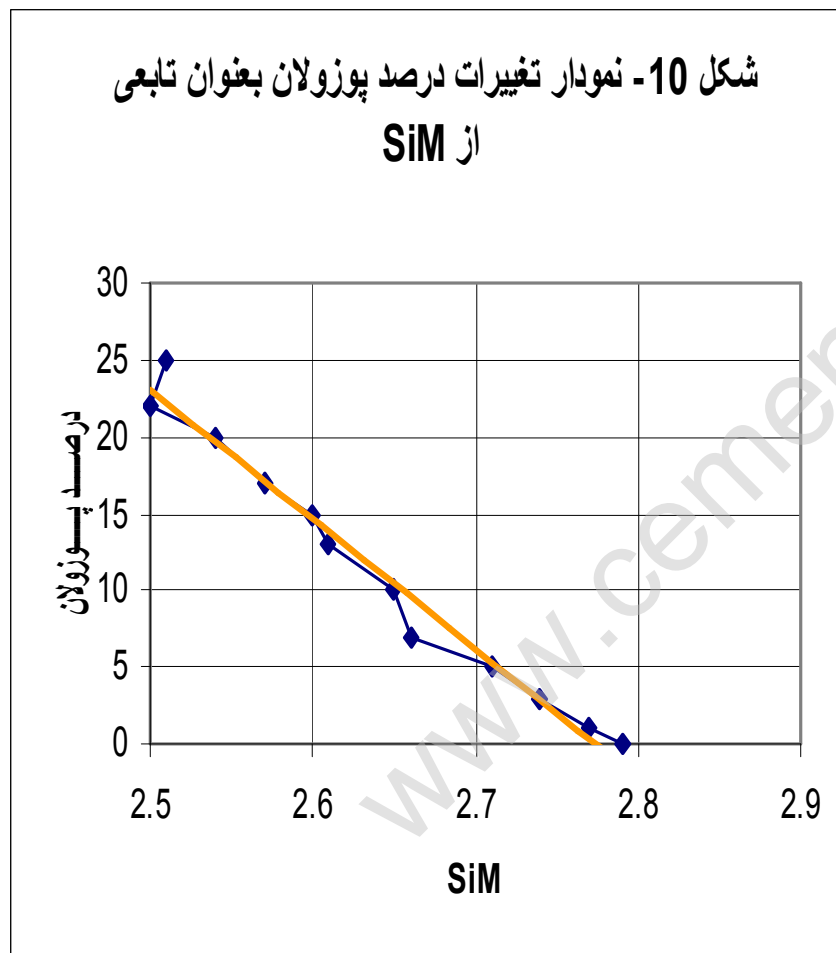
%P = 250 Na₂O – 72.5

۲- محاسبه درصد پوزولان به عنوان تابعی از پرت حرارتی سیمان پوزولانی



درصد Loss	درصد واقعی	درصد محاسبه	اختلاف
1.12	0	0	0
1.19	1	0.89	- 0.11
1.43	3	3.92	0.92
1.57	5	5.69	0.69
1.81	7	8.72	1.72
1.94	10	10.36	0.36
2.08	13	12.13	- 0.87
2.48	15	17.18	2.18
2.61	17	18.82	1.82
2.78	20	20.97	0.97
2.83	22	21.6	- 0.4
3.1	25	25	0
%P = 12.63 Loss - 14.14			

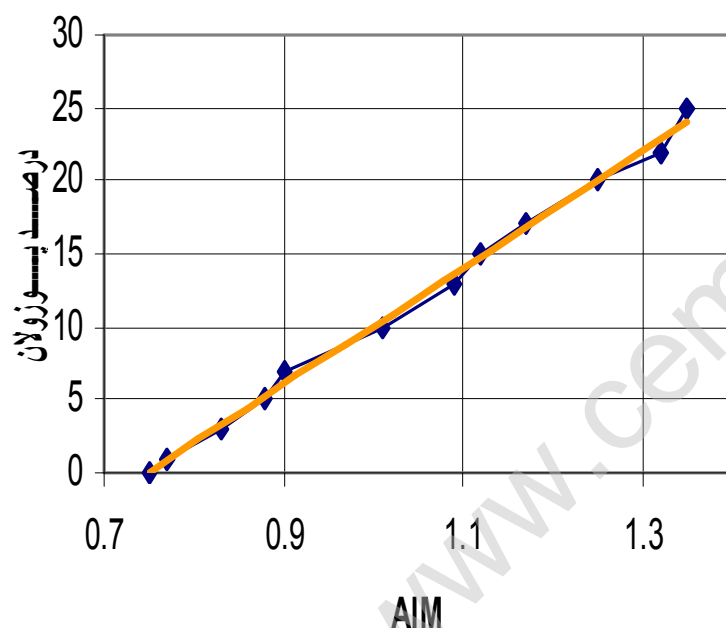
۳- محاسبه درصد پوزولان به عنوان تابعی از فاکتورهای سیمان پوزولانی



SiM	درصد واقعی	درصد محاسبه	اختلاف
2.79	0	0.82	0.82
2.77	1	0.85	- 0.15
2.74	3	3.35	0.35
2.71	5	5.85	0.85
2.66	7	10.01	3.01
2.65	10	10.85	0.85
2.61	13	14.18	1.18
2.6	15	15.01	0.01
2.57	17	17.51	0.51
2.54	20	20.01	0.01
2.5	22	23.35	1.35
2.51	25	22.51	- 2.49

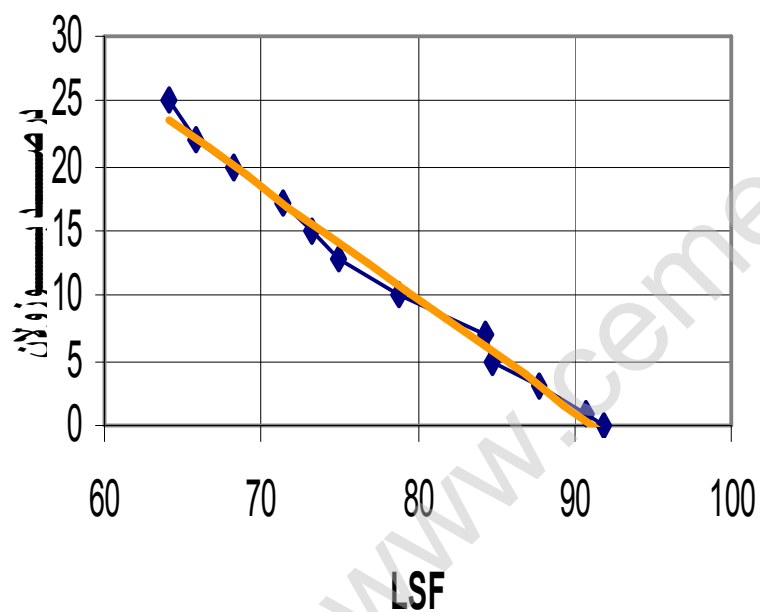
%P = - 83.33 SiM +231.67

شکل 11 - نمودار تغییرات درصد پوزولان بعنوان تابعی از AIM



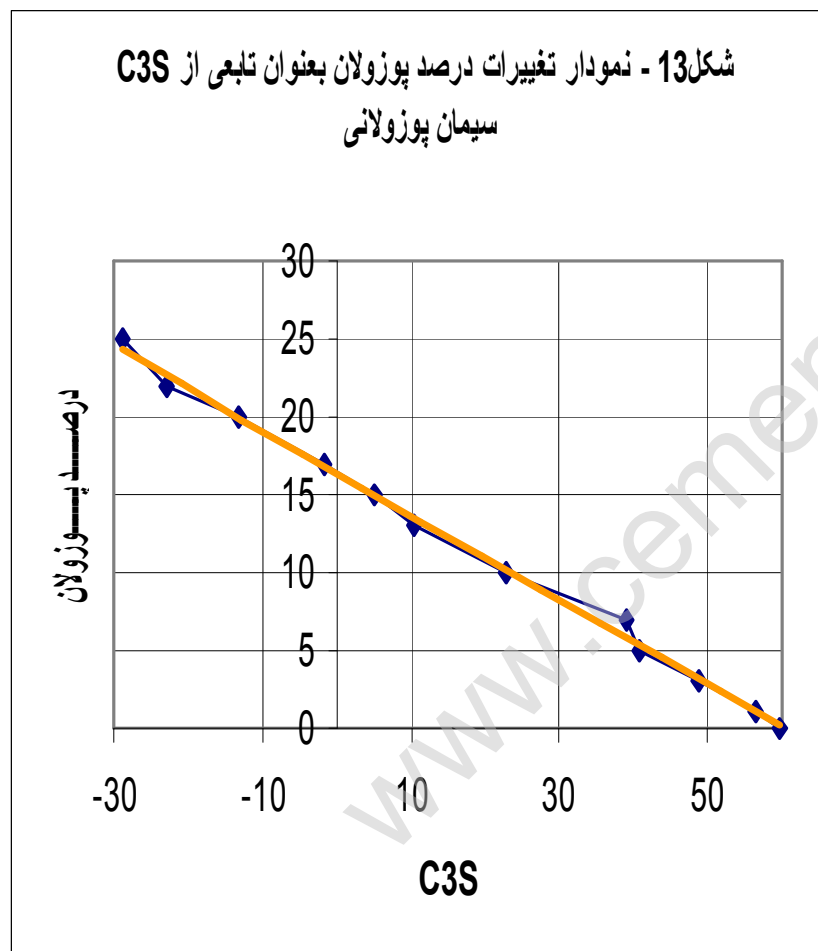
AIM	درصد واقعی	درصد محاسبه	اختلاف
0.75	0	0	0
0.77	1	0.83	- 0.17
0.83	3	3.34	0.43
0.88	5	5.42	0.42
0.9	7	6.25	- 0.75
1.01	10	10.84	0.84
1.09	13	14.17	1.17
1.12	15	15.42	0.42
1.17	17	17.5	0.5
1.25	20	20.84	0.84
1.32	22	23.75	1.75
1.35	25	25	0
$\%P = 41.67AIM - 31.25$			

شکل 16 - نمودار تغییرات درصد پوزولان بعنوان تابعی از LSF

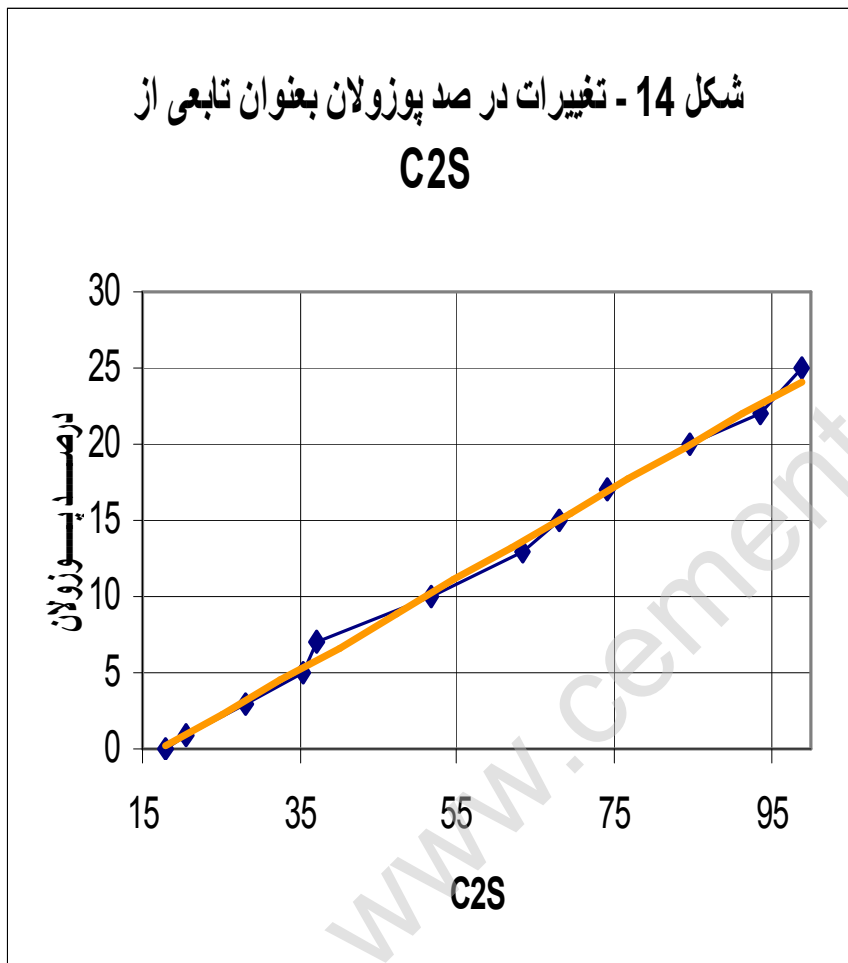


LSF	درصد پوزولان	درصد محاسبه	اختلاف
91.9	0	0.08	0.08
90.7	1	0.94	-0.04
87.7	3	3.5	0.5
84.8	5	5.97	0.97
84.3	7	6.39	-0.61
78.8	10	11.1	1.1
75	13	14.31	1.31
73.3	15	15.75	0.75
71.4	17	17.37	0.37
68.3	20	20.01	0.01
65.8	22	22.13	0.13
64.1	25	23.58	-1.42
$\%p = - 0.851LSF + 78.13$			

۴ - محاسبه درصد پوزولان به عنوان تابعی از فازهای سیمان پوزولانی

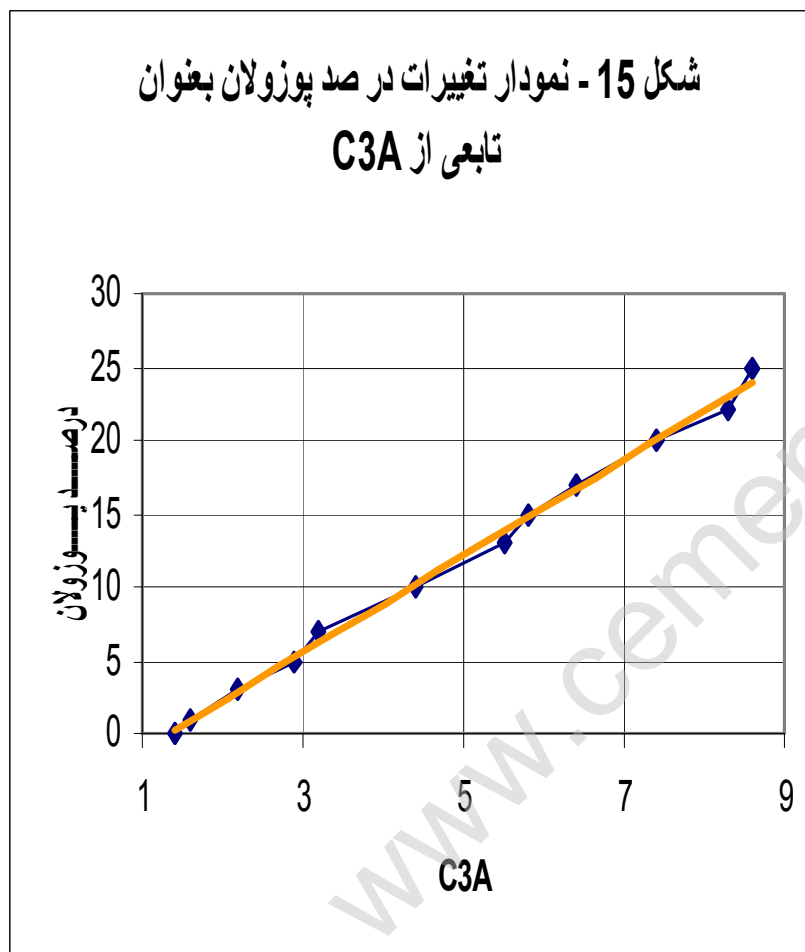


C3S	درصد پوزولان	درصد محاسبه	اختلاف
59.8	0	0.34	0.34
56.5	1	0.58	-0.42
48.7	3	2.76	-0.24
40.7	5	5	0
39.1	7	5.45	1.55
22.9	10	9.99	0.01
10.4	13	13.49	0.49
5	15	15	0
-1.7	17	16.88	-0.02
-13.1	20	17.27	-2.73
-22.9	22	22.81	0.81
-28.9	25	24.49	-0.51
%p = - 0.28 C3S + 16.4			



C2S	درصد واقعی	درصد محاسبه	اختلاف
17.9	0	0.3	0.3
20.6	1	0.52	- 0.48
28	3	2.77	- 0.23
35.3	5	4.99	- 0.01
37	7	5.5	-1.5
51.8	10	10	0
63.2	13	13.5	0.5
68.1	15	14.96	- 0.04
74	17	16.76	- 0.24
84.6	20	19.98	- 0.02
93.7	22	22.74	0.74
98.7	25	24.26	- 0.74
$\%P = 0.304 C2S - 5.74$			

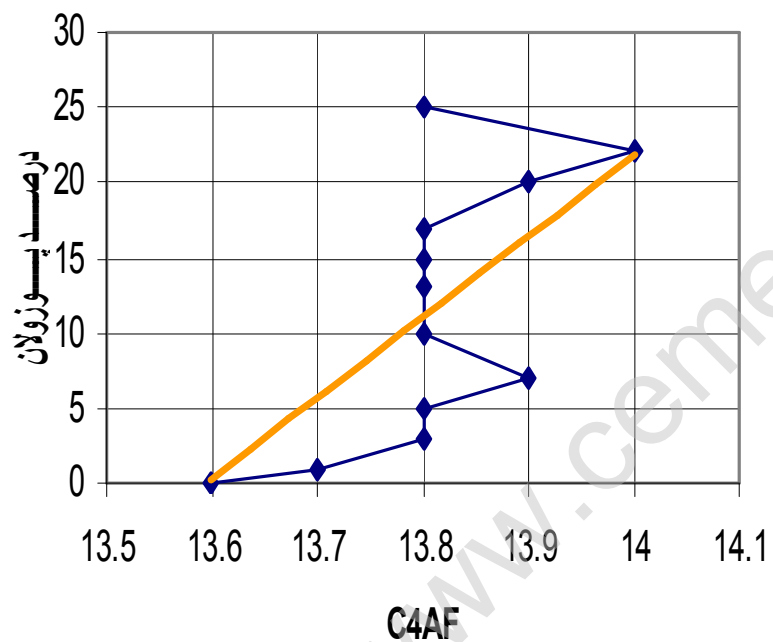
شکل 15 - نمودار تغییرات درصد پوزولان بعنوان تابعی از C3A



C3A	درصد پوزولان	درصد محاسبه	اختلاف
1.4	0	0.01	0.01
1.6	1	0.66	-0.34
2.2	3	2.66	-0.4
2.9	5	4.99	-0.01
3.2	7	5.99	-1.01
4.4	10	9.98	-0.02
5.5	13	13.65	0.65
5.8	15	14.64	-0.36
6.4	17	16.64	-0.36
7.4	20	19.97	-0.03
8.3	22	22.97	0.97
8.6	25	23.97	-1.03
$\%p = 3.33C3A - 4.67$			

شکل 16 - نمودار تغییرات درصد پوزولان بعنوان تابعی

از C4AF



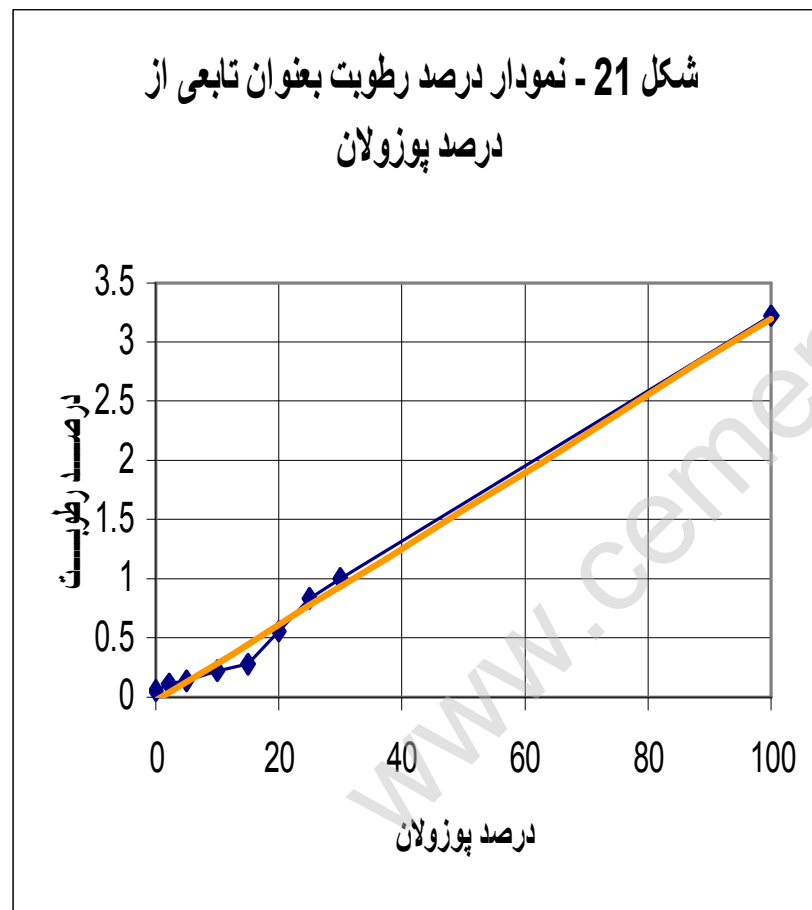
C4AF	درصد پوزولان	درصد محاسبه	اختلاف
13.6	0		
13.7	1		
13.8	3		
13.8	5		
13.9	7		
13.8	10		
13.8	13		
13.8	15		
13.8	17		
13.9	20		
14	22		
13.8	25		
%p = ?			

به جز Fe_2O_3 , MgO , C_4AF که نمیتوان برای آنها رابطه ریاضی مناسبی یافت. بقیه اکسیدها و پارامترها روابط خطی خوبی ارائه می دهند.

بیشترین انحرافات مثبت و منفی در روشهای اندازه گیری

نام متغیر (متد اندازه گیری)	ماکزیمم	مینیمم
SiO ₂	0.9	-1.32
Al ₂ O ₃	1.22	-0.48
CaO	0.44	-2.3
SO ₃	2.13	-4.4
K ₂ O	1.21	-1.2
Na ₂ O	2	-2
Loss	2.18	-0.87
SiM	3.01	-2.49
AlM	1.75	-0.75
LSF	1.31	-0.61
C ₃ S	1.55	-2.73
C ₂ S	0.74	-1.5
C ₃ A	0.97	-1.03

۵- تاثیر رطوبت بر روی پوزولان

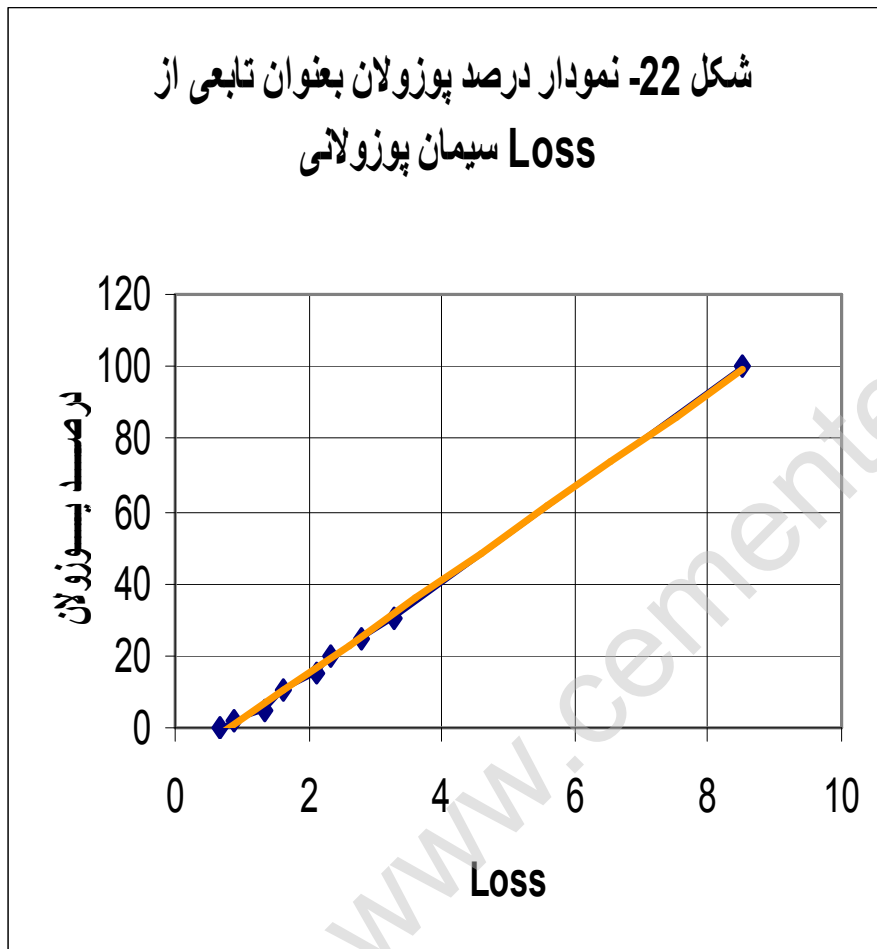


نام نمونه	%H	%P
CeP-0	0.05	0
CeP-2	0.1	2
CeP-5	0.13	5
CeP-10	0.22	10
CeP-15	0.28	15
CeP-20	0.55	20
CeP-25	0.82	25
CeP-30	0.99	30
CeP-100	3.21	100

همانطور که ملاحظه می شود رابطه خطی نسبتاً خوبی بین درصد پوزولان و درصد رطوبت برقرار می باشد اما برای ملاک قراردادن آن جهت محاسبه درصد پوزولان توصیه نمی شود زیرا رطوبت جزء ذاتی پوزولان نیست و میزان رطوبت در پوزولان به شرایط جوی و نگهداری آن بستگی دارد و نمیتواند معیار خوبی برای این منظور باشد.

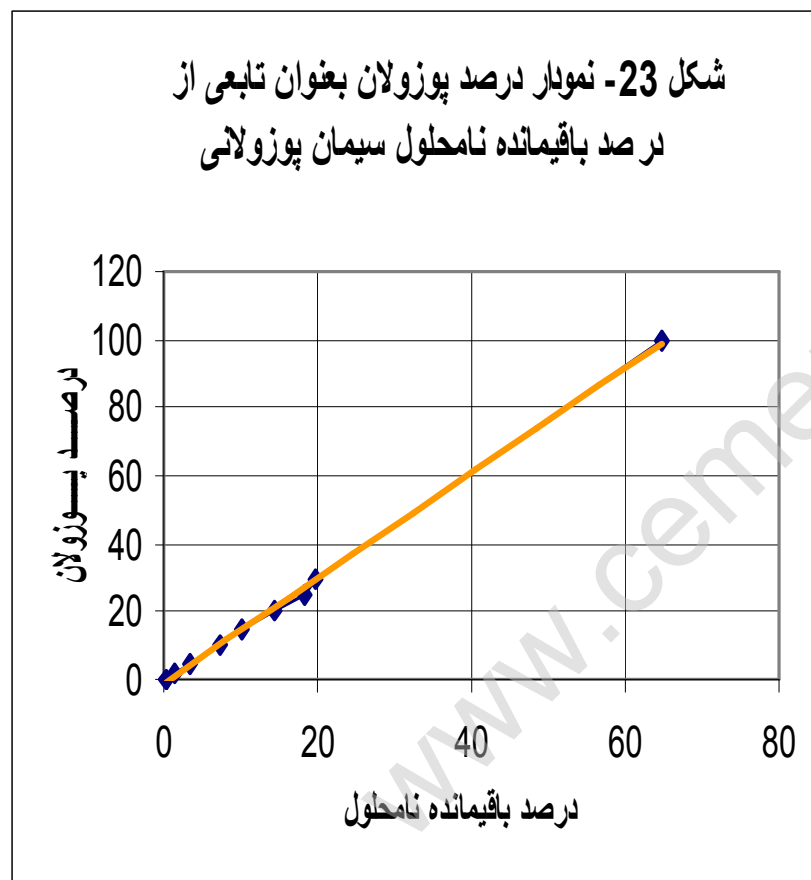
آزمایش مجدد پرت حرارتی:

شکل 22- نمودار درصد پوزولان بعنوان تابعی از
Loss سیمان پوزولانی



%Loss	%P واقعی	%P محاسبه
0.66	0	-0.6
0.88	2	2
1.33	5	7.3
1.61	10	10.5
2.11	15	16.4
2.34	20	19.1
2.8	25	24.5
3.28	30	30.1
8.51	100	91.3
%P= 11.7 Loss - 8.3		

۶- محاسبه درصد پوزولان بر مبنای باقیمانده نامحلول در سیمان پوزولانی



%Ins -R	%P واقعی	%P محاسبه شده
0.2	0	0
1.39	2	1.8
3.5	5	4.95
7.2	10	10.5
10.27	15	15.11
14.48	20	21.42
18.37	25	27.25
19.84	30	29.46
64.69	100	96.74
$\%P = 1.5 \text{ InsR} - 0.3$		

۷- محاسبه درصد پوزولان با استفاده از دو معادله و دو مجهول

$$P * Loss P + c * Loss C = 100 * Loss CEP - 2.15 * SO3 * Loss G$$

$$c+P = 100 - 2.15 * SO3$$

P - درصد پوزولان

C - درصد کلینکر

-LossC - پرت حرارتی کلینکر

-LossG - پرت حرارتی گچ

-LossP - پرت حرارتی پوزولان

-LossCEP - پرت حرارتی سیمان پوزولانی

۸- آزمایش روشهای انتخابی

الف: اندازه گیری با استفاده از پرت حرارتی :

نام نمونه	Loss	%P واقعی	%P محاسبه شده
CE100P0	1.65	0	11.01
CE95P5	1.88	5	13.70
CE90P10	2.19	10	17.32
CE85P15	2.52	15	21.18
CE80P20	2.71	20	23.41
CE75P25	3.11	25	28.09
CE70P30	3.31	30	30.43
CE0P100	7.51	100	79.57

نام نمونه	Loss	% P واقعی	%P محاسبه شده
ce100p0	0.51	0	-2.33
ce95p5	0.93	5	2.58
ce90p10	1.25	10	6.33
ce85p15	1.60	15	10.42
ce80p20	1.95	20	14.52
ce75p25	2.31	25	18.73
ce70p30	2.68	30	23.06
ce0p100	7.51	100	79.57

ب - اندازه گیری با استفاده از باقیمانده نامحلول:

نام نمونه	Ins-R	%P واقعی	%P محاسبه شده
CE100P0	0.56	0	0.54
CE95P5	3.73	5	5.30
CE90P10	6.93	10	10.10
CE85P15	9.63	15	14.15
CE80P20	12.82	20	18.93
CE75P25	16.20	25	24.00
CE70P30	20.38	30	30.27
CE0P100	68.74	100	102.81

نام نمونه	Ins-R	%P واقعی	%P محاسبه شده
ce100p0	0.35	0	0.23
ce95p5	3.80	5	5.40
ce90p10	6.50	10	9.45
ce85p15	9.85	15	14.48
ce80p20	12.74	20	18.81
ce75p25	15.83	25	23.45
ce70p30	19.52	30	28.98
ce0p100	68.74	100	102.81

نتیجه:

n برای محاسبه درصد پوزولان، روشهای مختلفی ارائه گردید. هر کدام از این روشها می توانند مبنای محاسبه قرار گیرند، مشروط بر اینکه شرایط اندازه گیری استانداردها و نمونه های مجهول یکسان باشد. زیرا بهترین روشها هم در شرایط اندازه گیری نامناسب، خطاهای فاحشی همراه خواهند داشت. وجود رابطه خطی مناسب میان درصد پوزولان و فاکتورها، درصد برخی از اکسیدها، فازها، پرت حرارتی و نامحلولی در سیمانهای پوزولانی امکان دستیابی به روابطی برای محاسبه درصد پوزولان را فراهم میسازد.

اندازه گیری درصد پوزولان در کارخانه های سیمان بدلیل در اختیار داشتن ترکیبات سازنده سیمان پوزولانی قابل انجام می باشد اما این محاسبه فقط بر مبنای سیمان پوزولانی دشوار است و می بایست از فرض و تقریب استفاده نمود. هر رابطه، نیاز به شاخصهای قابل اندازه گیری خاص خود دارد. آخرین رابطه (دو معادله و دو مجهول) عمومیت بیشتری دارد و میتوان شاخصهای قابل اندازه گیری مختلفی را در آن قرار داد و درصد پوزولان را محاسبه نمود. چنانچه در استاندارد سازی از پوزولان خشک نشده استفاده شود درصد محاسبه شده برای نمونه های مجهول توام با خطا خواهد بود.

اختلاط افزودنیهای گوناگون با کلینکر، شاخصهای قابل اندازه گیری سیمان پوزولانی را تغییر می دهند بنابراین برای هر نوع افزودنی می بایست اصلاحات لازم را در روابط محاسبه درصد پوزولان اعمال نمود. اگرچه روش نامحلولی نیاز به زمان، کار و مواد شیمیایی بیشتری نسبت به سایر روشها دارد، اما برای اطمینان از صحت نتایج، بهتر است این هزینه را پردازیم.



خسته نباشید