

مبانی آمیزه کاری لاستیک

f.khodkar@gmail.com

سرفصل:

- ✓ آشنایی با انواع کائوچوها، خواص و نکات فرایندی موردنیاز آنها
- ✓ آشنایی با افزودنی‌های مصرفی در صنعت لاستیک
- ✓ آشنایی با سامانه‌های پخت و خواص آن
- ✓ محاسبه مشخصات پخت
- ✓ فرمول‌نویسی آمیزه‌های لاستیک
- ✓ توصیه‌ها برای آمیزه‌کاری

آشنایی با انواع کائوچوها، خواص و نکات فرایندی موردنیاز آنها

بر اساس ساختار مولکولی

M	rubbers with saturated chains of the polymethylene type
N	rubbers containing nitrogen in the polymer chain
O	rubbers containing oxygen in the polymer chain
R	rubbers with unsaturated carbon chain
Q	rubbers containing the —Si—O— group in the polymer chain
T	rubbers containing sulphur in the polymer chain
U	rubbers containing carbon, oxygen, and nitrogen in the polymer chain (polyurethane rubbers)

گروه M	
ACM	rubber with saturated chain based on acrylate copolymer
ANM	copolymer of acrylate and acrylonitrile
CFM	rubber with saturated chain based on copolymers of trifluoroethylene (Polychlorotrifluorethylene)
CM	chlorinated polyethylene
CSM	chlorosulphonated polyethylene
EPDM	ethylene-propylene-diene terpolymer
EPM	ethylene-propylene copolymer
FKM	copolymer of perfluoropropylene with vinylidene fluoride

دسته بندی کائوچوها

گروه R	
IIR	isobutylene-isoprene rubber, butyl rubber
BIIR	brominated isobutylene-isoprene rubber
CIIR	chlorinated isobutylene-isoprene rubber
BR	butadiene rubber
CR	chloroprene rubber
IR	isoprene rubber, synthetic polyisoprene
NBR	acrylonitrile-butadiene rubber, nitrile rubber
NR	natural isoprene rubber
SBR	styrene-butadiene rubber
XNBR	carboxylic-butadiene-acrylonitrile rubber

گروه Q	
MFQ	methyl fluoro silicone rubber
MPQ	methyl phenyl silicone rubber
MPVQ	methyl phenyl vinyl silicone rubber
MQ	dimethyl silicone rubber
MVQ	methyl vinyl silicone rubber

کائوچوی پلی بوتادی ان (PBR)

❖ صد درصد غیر اشباع (عدم مقاومت ازونی) / سرعت ولکانش زیاد

❖ ساختار بسیار خطی (فرایند پذیری دشوار)

❖ Tg: حدود ۱۱۰- درجه سلسیوس (انعطاف پذیری در دمای کم)

❖ نشان دادن Cold flow در حالت خام

❖ پسماند و گرمای کمی / جهندگی زیاد

❖ مقاومت سایشی، پارگی، خستگی و ترک زایی خمشی عالی

❖ قابل پخت با سیستم های گوگردی، پراکسیدی، تشعشعی، رزینی

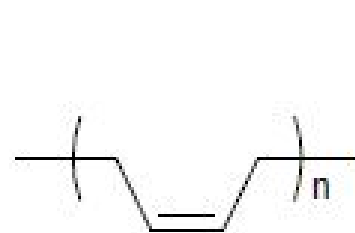


Catalyst	Molar proportion (%)		
	cis	trans	vinyl
Neodymium	98	1	1
Cobalt	96	2	2
Nickel	96	3	1
Titanium	93	3	4
Lithium	10-30	20-60	10-70

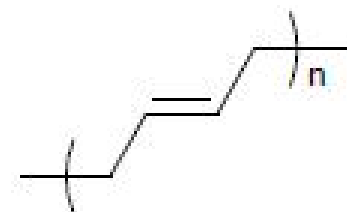
PBR-1220

ML(1+4)@100: 45±5 MU

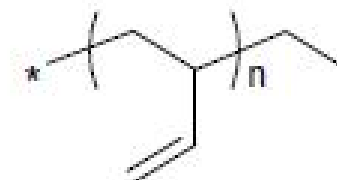
پلی بوتادی ان شرکت صنایع پتروشیمی تخت جمشید / سازند به روش محلولی بر پایه کاتالیست کبالت تولید می شود.



1,4-Cis



1,4-Trans



1,2-Vinyl

کائوچوی طبیعی (Natural Rubber)



❖ کائوچوی غیرقطبی استخراج شده از درخت *Hevea Brasiliensis*

❖ تولید در کشورهای گرمسیر مانند **مالزی**، اندونزی، هند، تایلند و

❖ صد درصد غیراشباع (عدم مقاومت ازونی) / سرعت ولکانش زیاد

❖ Tg: حدود ۶۵- درجه سلسیوس

❖ پسماند و گرمازایی کم / جهندگی خوب

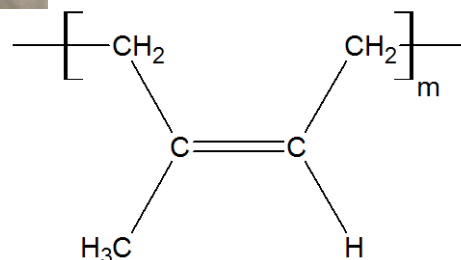
❖ استحکام خام / چسبناکی خوب

❖ مقاومت پیرشدگی ضعیف

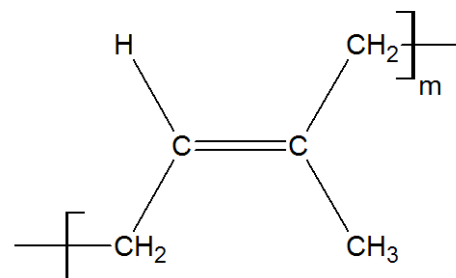
❖ قابل پخت با سیستم‌های گوگردی، پراکسیدی، تشعشعی، رزینی

❖ مقاومت سایشی، پارگی، خستگی و ترک زایی خمشی خوب

❖ نیاز به فرایند فروشکنی (Mastication)



cis-1,4-polyisoprene



trans-1,4-polyisoprene

انواع گونه‌های کائوچوی طبیعی (Natural Rubber)

Technically Classified Rubbers Defined in ISO 2000

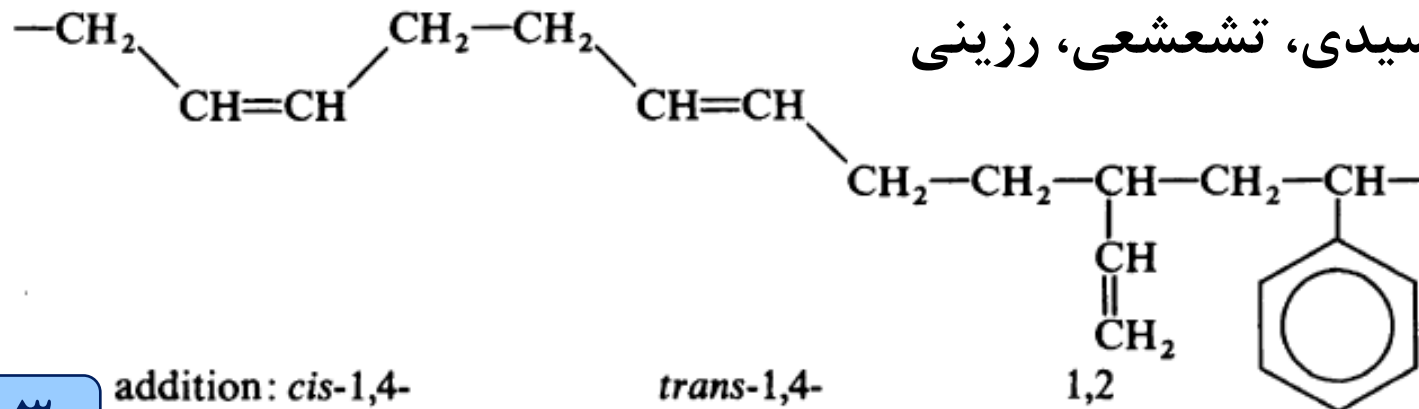
Property	Grade					
	TSR CV	TSR L	TSR5	TSR 10	TSR 20	TSR 50
Dirt content, max, wt%	0.05	0.05	0.05	0.1	0.2	0.5
Ash content, max, wt%	0.6	0.6	0.5	0.75	1	1.5
Nitrogen content, max, wt%	0.6	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6
Volatile matter, max, wt%	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Initial Wallace plasticity P_0 , min		30	30	30	30	30
Plasticity retention index (min)	60	60	60	50	40	30
Color, max, lovibond units		6				
Mooney viscosity	60 ± 5					

کائوچوی استایرن – بوتادیان (SBR)



- ❖ نسبت استایرن به بوتادیان: ۱۵ به ۸۵ تا ۲۵ به ۷۵
- ❖ تولید به روش محلولی و امولسیون
- ❖ عدم مقاومت ازونی
- ❖ فرایندپذیری راحت تر از PBR
- ❖ Tg: حدود ۵۰- درجه سلسیوس

Scheme of the chain structure:



❖ پسماند و گرمایابی بیش از PBR/جهندگی کمتر از PBR

❖ قابل پخت با سیستم‌های گوگردی، پراکسیدی، تشعشعی، رزینی

کائوچوی استایرن – بوتادیان (SBR)

Structure and properties of styrene-butadiene rubbers

Property	Emulsion type		Solution butyllithium type
	hot	cold	
optimum content of styrene for tyres (%)		23 to 25	18 to 23
distribution of styrene in polymer chains	random	random	random, blocks
ash content (%)		0.7	0.1
organic acids content (%)		5 to 7	0 to 0.5
rubber hydrocarbon content (%)		about 92	98 to 99
macrostructure:			
long branches content	considerable	low	very low
gel	considerable amount of microgel	without gel, or only little gel	completely without gel
molecular weight distribution	wide	wide	narrow, but it may be widened if necessary
polydispersity, $\overline{M}_w/\overline{M}_n$		3 to 5	1.5 to 2 or more

ڪاڻوچوي اسٽايرن – بوٽاديان (SBR)

The numbering system of Emulsion SBR and latices

1000-1099	hot nonpigmented rubbers
1100-1199	hot black masterbatch, contains less than 14 phr of oil
1500-1599	cold nonpigmented rubbers
1600-1699	cold black masterbatch, contains less than 14 phr of oil
1700-1799	cold oil masterbatch
1800-1899	cold oil-black masterbatch, oil content higher than 14 phr
1900-1999	styrene-butadiene resin masterbatch
2000-2099	hot latex
2100-2199	cold latex



TJPC 1500/TJPC 1502/TJPC 1507
TJPC 1712/ TJPC 1705/TJPC 1723

شرڪت پيٽروليم بئڊرل مام (ساڳي نام)



SBR1500/SBR1502
SBR1712

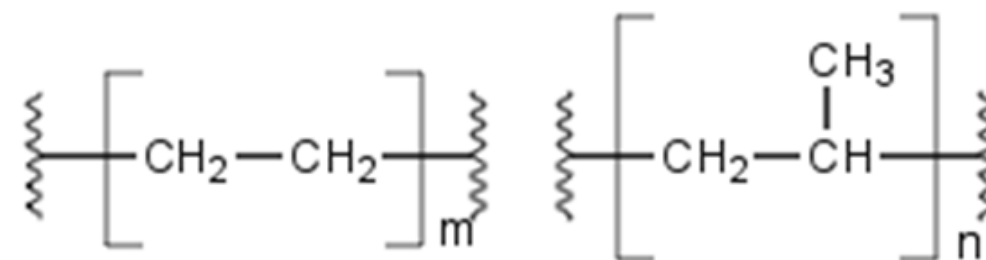
کائوچوی اتیلن-پروپیلن (EPM)

❖ صد درصد اشباع

❖ مقاومت ازونی عالی

❖ غیر قابل پخت با سیستم‌های گوگردی

Type	Mooney Viscosity (ML1+4, 100°C)	ENB Content (Wt.%)	Ethylene Content (Wt.%)	Volatile Content (Wt.%)	Stabilizer	Specific Gravity
KEP020P	25	-	71	0.05	N.S	0.86
KEP070P	69	-	71	0.05	N.S	0.86
KEP110	40	-	52	0.7	N.S	0.86
KEP2060	65 (1)	-	54	0.4	N.S	0.86

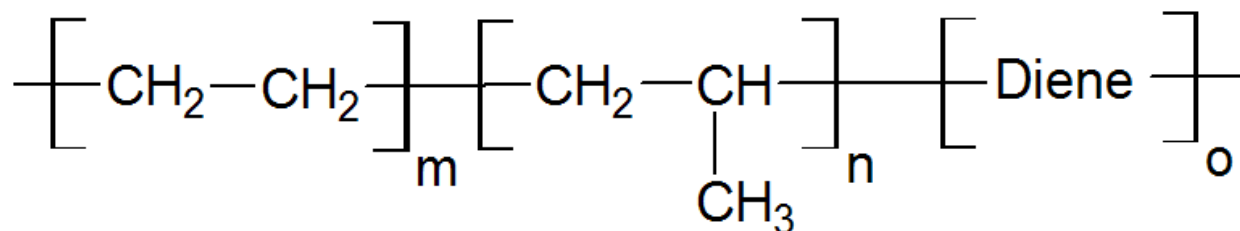


JSR EP11

EPT 0045

کائوچوی اتیلن-پروپیلن - دیان منومر (EPDM)

- ❖ زنجیر اصلی صد درصد اشباع (مقاومت ازونی عالی)
- ❖ تا ۱۵ درصد مولی دارای تکپار دیانی (وابستگی سرعت پخت به مقدار تکپار دیانی)
- ❖ قابل پخت با سیستم‌های گوگردی (توانایی کم برای هم‌پختی با کائوچوهای دیانی)
- ❖ افزایش Tg و کاهش انعطاف‌پذیری با افزایش درصد پروپیلن
- ❖ دشواری فرایندپذیری با افزایش درصد اتیلن
- ❖ مقاومت گرمایی و پیرشدگی بهتر از SBR و NBR
- ❖ چسبندگی کم به پارچه و فلز
- ❖ مقاومت شیمیایی خوب



- ❖ پذیرش مقادیر زیاد پرکننده
- ❖ دارای کمترین چگالی (۰.۸۶)

کائوچوی ایزوبوتیلن ایزوپرن یا بیوتیل (IIR)

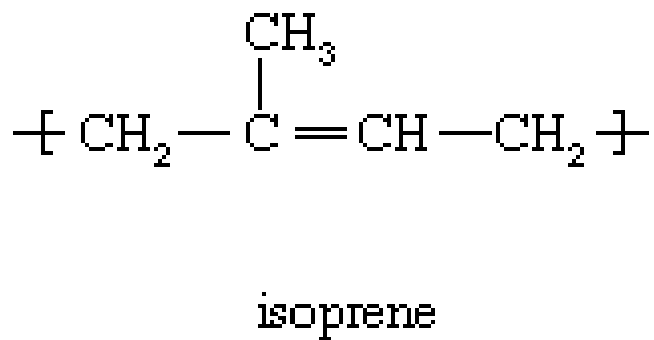
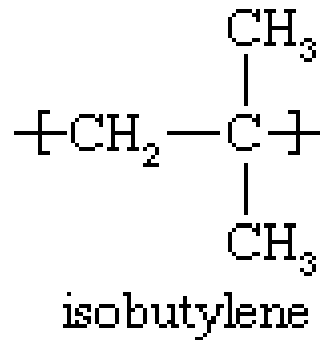
❖ دارای ۰.۵ تا ۳ درصد مولی ایزوپرن.

❖ مقاومت ازونی/مقاومت شیمیایی

❖ قابل پخت گوگردی و رزینی/عدم قابلیت پخت پراکسیدی

❖ عدم هم‌پختی با کائوچوهای غیراشباع به علت پخت آهسته

❖ تراوایی بسیار کم



جهندگی در دمای محیط: **PBR > NR > SBR > EPDM > NBR > Butyl**

Properties / Grades	Butyl 065	Butyl 068	Butyl 268	Butyl 365
ML (1+8) @ 125°C	32 ± 3	51 ± 5	51 ± 5	33 ± 3
Average Molecular Weight	350000	450000	450000	350000
Antioxidants (wt %)	0.03 min	0.03 min	0.03 min	0.03 min
Volatiles (wt %)	0.3 max	0.3 max	0.3 max	0.3 max
Unsaturation (mol%)	1.05 ± 0.20	1.15 ± 0.20	1.7 ± 0.20	2.3 ± 0.30

کائوچوی هالوبوتیل (HIIR)

Grades	Unit	1066	1068
Mooney Viscosity ML 1+8 @ 125°C	MU	38 ± 5	50 ± 5
Antioxidant	wt%	0.02 min	0.02 min
Chlorine	wt%	1.26 ± 0.08	1.26 ± 0.08
Water	wt%	0.3 max	0.3 max

❖ قابلیت هم‌پختی با کائوچوهای دی‌انی

❖ سرعت پخت BIIR بیش از CIIR

❖ خواص آمیزه پخت شده BIIR و CIIR بهتر از IIR

❖ آمیزه BIIR دارای تراوایی کمتر، مقاومت ازونی و جوی بهتر، مقاومت شیمیایی بیشتر، مقاومت گرمایی بهتر

نسبت به آمیزه IIR

Grades	Units	2222	2235	2253	2211	2244
Mooney Viscosity ML 1+8 @ 125°C	MU	32±5	39±5	46±5	32±5	46±5
Antioxidant	wt%	0.02 min	0.02 min	0.02 min	0.02 min	0.02 min
Bromine	wt%	2.0±0.2	2.0±0.2	2.0±0.2	2.1±0.2	2.1±0.2
Stabilizer	wt%	1.3±0.3	1.3±0.3	1.3±0.3	1.3±0.3	1.3±0.3
Water	wt%	0.3 max	0.3 max	0.3 max	0.3 max	0.3 max

کائوچوی آکریلونیتریل بوتادیان یا نیتریل (NBR)

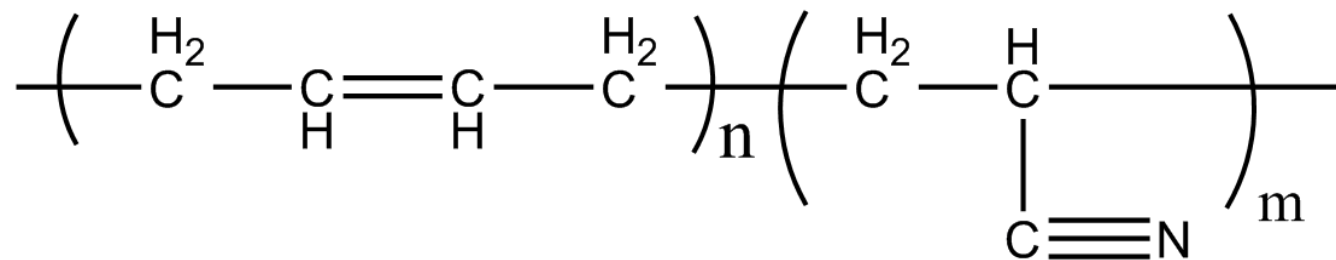
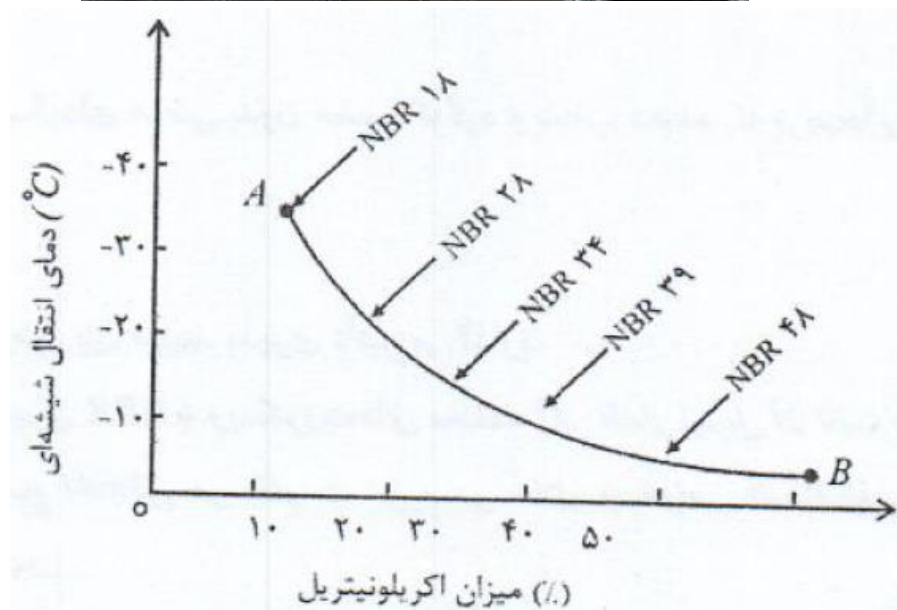


❖ حاوی ۱۸ تا ۵۱ درصد ACN

❖ افزایش Tg، افزایش مقاومت در برابر روغن، افزایش مقاومت ازونی،

کاهش تراوایی، افزایش استحکام کششی با افزایش درصد ACN

❖ مقاومت گرمایی و پیرشدگی بهتر از NR و SBR



پلی ۲-کلرو بوتادیان یا کلروپرن یا نئوپرن (CR)



❖ اصلاح گوگردی، Type-G (با انواع تیورام ها مثل تترا اتیل تیورام دی سولفید)

❖ اصلاح مرکاپتانی، Type-W (انواع مرکاپتان مانند دودسیل مرکاپتان)

❖ مقاومت سایشی، پارگی، خستگی بهتر نوع G

❖ استحکام کششی، مقاومت گرمایی، پسماند بیشتر نوع W

❖ قابل پخت با اکسیدهای فلزی/عدم قابلیت پخت گوگردی

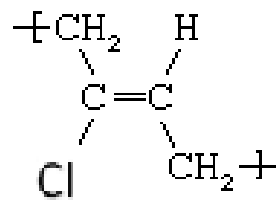
❖ استحکام کششی زیاد به دلیل قدرت خود تقویت کنندگی

❖ مقاومت گرمایی و پیرشدگی/مقاومت ازونی/مقاومت شعله/مقاومت در برابر در روغن ها

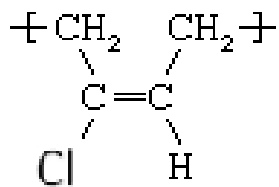
❖ مقاومت شیمیایی در برابر بازها و اسیدهای رقیق

❖ عدم مقاومت شیمیایی در برابر اسیدهای معدنی غلیظ

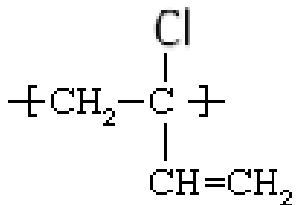
❖ تراوایی گاز کمتر از NR یا SBR، اما بیشتر از IIR و NBR



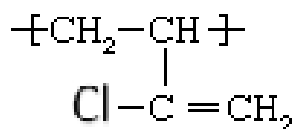
trans-1,4 polymer



cis-1,4 polymer



1,2 polymer



3,4 polymer

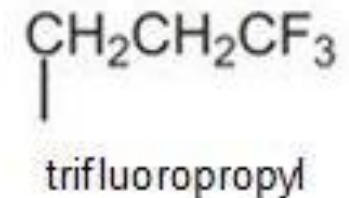
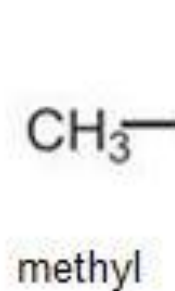
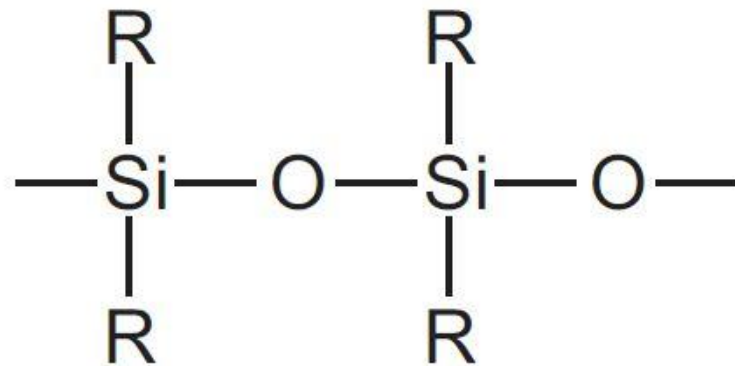
CR 244 (Type-G)

CR 232 (Type-W)

کائوچوی سیلیکون یا پلی سیلوکسان

MFQ	methyl fluoro silicone rubber
MPQ	methyl phenyl silicone rubber
MPVQ	methyl phenyl vinyl silicone rubber
MQ	dimethyl silicone rubber
MVQ	methyl vinyl silicone rubber

Tg : -120 ± 5 °C



❖ مقاومت گرمایی و اکسایشی زیاد

❖ مقاومت ازونی عالی

❖ تراوایی زیاد در برابر گازها

❖ انعطاف پذیری عالی در دمای کم

❖ خواص کششی ضعیف تر نسبت به سایر کائوچوها

❖ پخت پراکسیدی و اعمال پخت تکمیلی به منظور بهبود خواص مانایی فشاری

❖ چسبندگی کم به سطوح

کائوچوهای فلئوئوردار (FKM یا CFM یا FPM)

❖ مقاومت گرمایی و اکسایشی و شیمیایی زیاد

❖ سیستم پخت پراکسیدی و فنلی (بیس فنل A و بیس فنل AF)

❖ مقاومت ازونی عالی

❖ خواص مکانیکی کمتر از کائوچوهای دی‌انی.

❖ تراوایی بسیار کم و حتی کمتر از بیوتیل.

وینیلیدین فلئوراید
(VDF)

تترافلئورواتیلن
(TFE)

هگزا فلئورو پروپیلن
(HFP)

پرفلئورو متیل وینیل اتر
(PMVE)

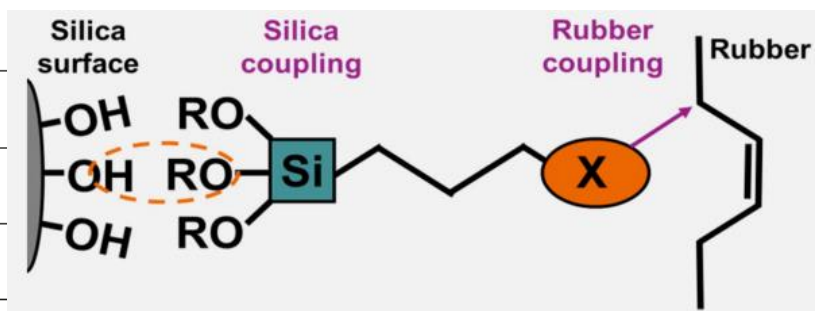
Monomers with Bulky Side Groups	Monomers in Straight Chain Segments			Example
	VDF	TFE	E	
HFP				Viton A
				Viton B
PMVE				Viton GLT
				Viton ETP
				Kalrez Perfluoroelastomer
				Aflas 100
P				Aflas 200

آشنایی با افزودنی‌های مصرفی در صنعت لاستیک

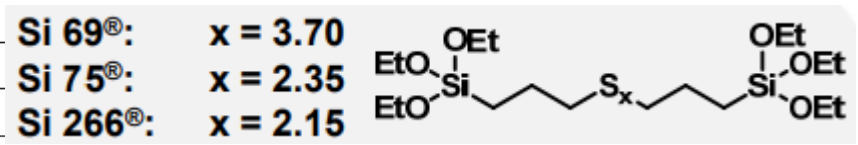
اندازه ذرات (nm)	اندازه ذرات (μm)	تعریف	مثال
1000-10000	1-10	Non-reinforcing fillers	کربنات کلسیم، سولفات باریتم، تالک، خاک رس نرم
100-1000	0.1-1	Semi-reinforcing fillers	کربنات کلسیم رسوبی، خاک رس سخت
10-100	0.01-0.1	Reinforcing fillers	دوده، سیلیکای رسوبی

PRODUCT	SURFACE AREA BET/ (m ² /g)
ULTRASIL® 880* white powder	35
ULTRASIL® 360 white powder	55
ULTRASIL® AS 7** white powder	65
ULTRASIL® 4000 GR white granules	85
ULTRASIL® 5000 GR white granules	115
ULTRASIL® 5500 GR white granules	125
ULTRASIL® VN 2 white powder	130
ULTRASIL® VN 2 GR white granules	130
ULTRASIL® 6100 GR white granules	160
ULTRASIL® 7000 GR white granules	175
ULTRASIL® VN 3 white powder	180
ULTRASIL® VN 3 GR white granules	180
ULTRASIL® 7800 GR white granules	195
ULTRASIL® 7500 GR white granules	205
ULTRASIL® 9500 GR white granules	225
ULTRASIL® 9100 GR white granules	235

PRODUCT	STRUCTURE	TIRES	MRG
Si 69°	(C ₂ H ₅ O) ₃ Si(CH ₂) ₃ S ₄ (CH ₂) ₃ Si(OC ₂ H ₅) ₃ Bis(triethoxysilylpropyl)tetrasulfide	+	+
Si 75°	(C ₂ H ₅ O) ₃ Si(CH ₂) ₃ S ₂ (CH ₂) ₃ Si(OC ₂ H ₅) ₃ Bis(triethoxysilylpropyl)disulfide	+	+
Si 266°	(C ₂ H ₅ O) ₃ Si(CH ₂) ₃ S ₂ (CH ₂) ₃ Si(OC ₂ H ₅) ₃ Bis(triethoxysilylpropyl)disulfide	+	+
Si 264™	(C ₂ H ₅ O) ₃ Si(CH ₂) ₃ SCN 3-Thiocyanatopropyltriethoxysilane		+
Si 363°	Proprietary mercaptosilane	+	+



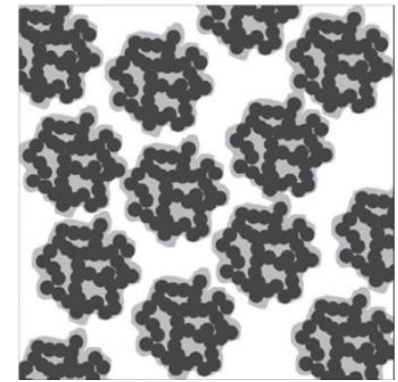
PRODUCT	PRECIP. SILICA/SILANE	TIRES	MRG
COUPSIL® 8113	ULTRASIL® VN 3/Si 69°	+	+
COUPSIL® 8113 GR	ULTRASIL® VN 3/Si 69°	+	+
COUPSIL® 6109	ULTRASIL® VN 2/Si 69°	+	+
COUPSIL® VP 6411	ULTRASIL® VN 2/ Si 264™		+

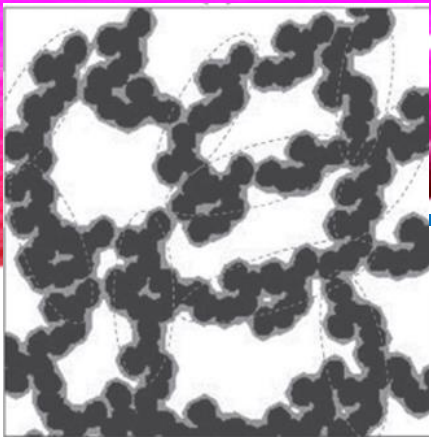


Si69 < 155 °C < Si75, Si266

PRODUCT	SILANE/CARBON BLACK
X 50-S°	Si 69°/ Carbon Black
X 266-S°	Si 266°/ Carbon Black

PRODUCT	COMPONENTS
COFILL® 11	Silica/ Resorcinol





BR > SBR > CR > NBR > NR > EPDM > IIR

دوده

ASTM D 1765	مخفف	Size (nm)
Super abrasion furnace	SAF	11-19
Intermediate super abrasion furnace	ISAF	20-25
High-abrasion furnace	HAF	26-30
Fine furnace	FF	31-39
Fast-extruding furnace	FEF	40-48
General purpose furnace	GPF	49-60
Semi reinforcing furnace	SRF	61-100

Industry Name	ASTM No.	Iodine No.(mg/g)	Nitrogen (mg/g)	CTAB (mg/g)	DBP (cc/100 g)
SAF	N110	145	143	126	113
ISAF LS	N210	118	120	113	78
ISAF	N220	121	119	111	114
ISAF LM	N231	121	117	108	92
ISAF HS	N234	120	126	119	125
HAF LS	N326	82	84	83	72
HAF	N330	82	83	83	102
HAF HS	N339	90	96	95	120
HAF HS	N347	90	90	88	124
FEF	N550	43	42	42	121
GPF HS	N650	36	38	38	122
GPF	N660	36	35	35	90
SRF LS	N762	27	28	27	65
SRF HS	N765	31	31	33	115
SRF HM	N774	29	29	29	72

کمک فرایندها

❖ روغن‌های فرایندی (آروماتیک‌ها، پارافینیک‌ها، نفتنیک)

❖ لخته‌زا (Peptizer) مانند Struktol A 89، Akrochem Peptizer 66، WESTCO P-44

❖ همگن‌ساز (Hemogenizer) مانند Struktol 40 MS، Struktol RP 28

❖ نرم‌کننده (Plasticizer) مانند Struktol WB 16، Struktol WB 42، Struktol WB 212

رزین‌های نوچی‌افزا (Tackifier Resins)

رزین‌های هیدروکربنی آلیفاتیک (C5)

رزین‌های هیدروکربنی آروماتیک (C9)

رزین‌های فنولی (SP1068)

رزین‌هایی تقویت‌کننده (Reinforcing Resins)

مانند HSR

رزین‌های پخت (Curing Resins)

رزین SP1045، SP1055

رزین بیس فنول A یا AF

محافظت کننده‌ها

محافظت کننده شیمیایی					محافظت کننده فیزیکی
مثال	مثال	لکه‌زایی	پاداکسندگی (O2)	پادازونندگی (O3)	ضد ترک‌زایی خمشی
پارافین واکس میکرو کریستالین واکس واکس پلی اتیلن	IPPD, 6PPD, 77PD, DTPD	دارد	دارد	دارد	دارد
	PBN, ODPA, SDPA(styrenated), ADPA(acetonated)	دارد	دارد	ندارد	دارد
	TMQ	دارد	دارد	ندارد	ندارد
	Styrenated phenol (SP)	ندارد	دارد	ندارد	دارد
	BHT, BPH, MBI	ندارد	دارد	ندارد	ندارد
	cyclic acetals, enol ethers	ندارد	دارد	دارد	ندارد

Antidegradant Type	I Autoxidation	II Heat	III Flex Cracking	IV Ozone Cracking
IPPD	2	2-3	1	1-2
6PPD	2	2-3	1-2	2
77PD	3-4	3-4	2	1
DPPD	2	2-3	2	3
ODPA	2-3	2	4	6
TMQ	2	1-2	4-5	6
SP	4	4	4	6
BPH	2-3	3	6	6
BHT	3-4	4-5	6	6
MBI	4	3	6	6
MMBI	4	3	6	6

1= best and 6 = worst;

آشنایی با سامانه‌های پخت و خواص آن

سامانه‌های پخت

نوع سامانه پخت	کائوچوها	مزایا	معایب
گوگردی	کائوچوهای دی‌انی	تنوع	مقاومت گرمایی ضعیف
پراکسیدی	کائوچوهای اشباع و دی‌انی	مقاومت گرمایی	مقاومت خستگی ضعیف
رزینی	مانند کائوچو بیوتیل	مقاومت گرمایی	پخت کند
اکسید فلزی	کائوچوهای هالوژن دار		مقاومت ضعیف در برابر آب

سیستم پخت پراکسیدی

	1 Min Half-Life Temp (°C)	10 Min Half-Life Temp (°C)	1 Hr Half-Life Temp (°C)	Cure Temp (°C)	Max Mixing Temp (°C)	NR or IR	SBR	EPM or EPDM	NBR	HNBR	Q	FKM
DCP	178	157	137	154- 199	130	0.8- 1.6	0.7- 1.5	2.4-5.4	0.9- 1.7	2.2- 4.2	0.4- 0.8	-
BIPB	181	157	139	160- 204	139	0.5- 1.5	0.4- 1	1.6-3.4	0.5- 1.5	-	0.2- 1	0.8- 1.6
DBPH (Liquid)	181	157	140	160- 204	145	0.8- 1.6	0.4- 1.5	1.7-3.4	1.1- 2	2.5- 4.7	0.4- 0.8	0.5- 1.2
DCBP	110	89	72	110- 130	75	-	-	-	-	-	0.6- 1.1	-
TBPB (Liquid)	170.8	144	125	129- 173.8	125	-	-	-	-	-	0.3- 0.6	-

*Bis(tert-butyldioxyisopropyl) benzene (BIPB)

*Di-(2,4 dichlorobenzoyl) peroxide (DCBP)

*2,5-dimethyl-2,5-Di- (t-butylperoxy) hexane (DBPH) *t-butyl Perbenzoate (TBPB)

سیستم پخت گوگردی



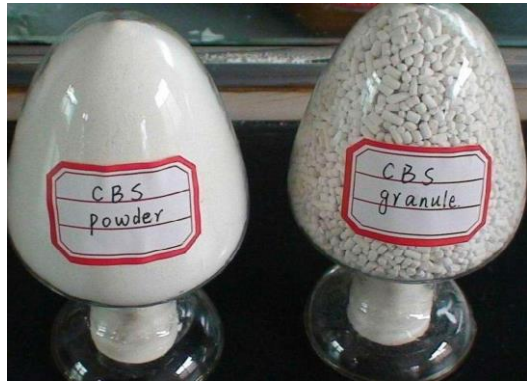
عامل پخت

- گوگرد محلول
- گوگرد نامحلول
- گوگرد اصلاح شده با روغن (OT)
- گوگرد کلوئیدی
- گوگرد دهنده (مانند DTDM, TMTD)

فعال کننده پخت

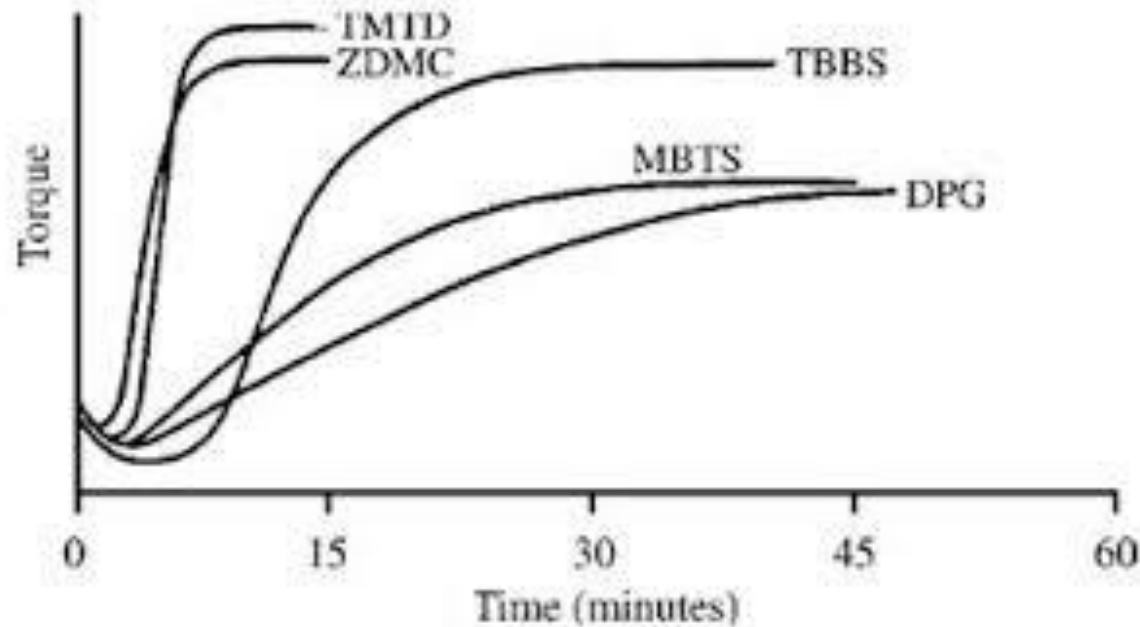
- اکسید روی
- اسید استیاریک

شتاب دهنده



<u>Accelerators</u>	<u>Chemical Group</u>	<u>Vulcanization Speed</u>
BA, HMT	Aldehyde Amine	Slow
DPG, DOTG	Guanidine	Slow
MBT, MBTS, ZMBT	Thiazole	Semi Ultra fast
ZBDP	Thiophosphate	Ultra fast
CBS, TBBS, MBS, DCBS	Sulfenamides	Fast-Delayed action
ETU, DPTU, DBTU	Thiourea	Ultra fast
TMTM, TMTD, DPTT, TBzTD	Thiuram	Ultra fast
ZDMC, ZDEC, ZDBC, ZBEC	Dithiocarbamate	Ultra fast
ZIX	Xanthates	Ultra fast

اثر شتاب دهنده بر مشخصات پخت



Scorch safety	Longer
$ZDMC < ZDEC < ZDBC < ZBEC$ $TMTD < TETD < TMTM < TBzTD$ $MBT < MBTS < ZMBT$ $CBS < TBBS < MBS < DCBS$	
Longer	
Cure Rate	Faster
$ZMBT < MBTS < MBT$ $DCBS \ll MBS < CBS < TBBS$ $TMTM = TETD = TMTD$ $ZBEC \ll ZDBC = ZDBC = ZDMC$	
Faster	
Cross link density	Higher
$ZMBT < MBT < MBTS$ $DCBS \ll MBS < CBS < TBBS$ $ZBEC \ll ZDBC < ZDEC < ZDMC$ $TMTM = TETD = TMTD$	
Higher	

انواع سیستم پخت گوگردی

- Conventional Vulcanization (CV)**

$$\frac{\text{Accelerator}}{\text{Sulfur}} < 1$$

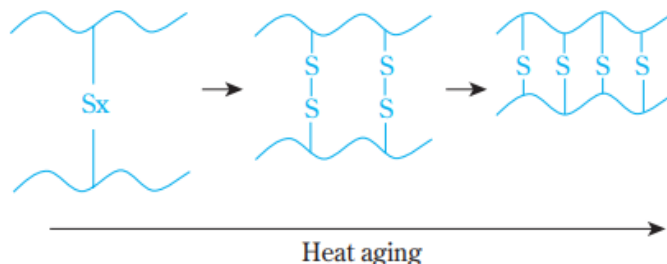
- Semi Efficient Vulcanization (SEV)**

$$\frac{\text{Accelerator}}{\text{Sulfur}} = 1$$

- Efficient Vulcanization (EV)**

$$\frac{\text{Accelerator}}{\text{Sulfur}} > 1$$

Cure System	Conventional	Semi-EV	EV
Poly + Disulfidic cross links, %	95	50	20
Monosulfidic cross links, %	5	50	80



E	Semi-E	C	خواص
زیاد	متوسط	کم	مدول
زیاد	متوسط	کم	جهندگی
کم	متوسط	زیاد	مقاومت پارگی
کم	متوسط	زیاد	مقاومت سایشی
کم	متوسط	زیاد	مقاومت خستگی
کم	متوسط	زیاد	مقاومت ترک زایی خمشی
زیاد	متوسط	کم	مقاومت در برابر برگشت
زیاد	متوسط	کم	مقاومت گرمایی
کم	متوسط	زیاد	پسماند یا گرمزایی
کم	متوسط	زیاد	مانایی فشاری

مقایسه سامانه پخت گوگردی و پراکسیدی

مزایا

- امکان نگهداری آمیزه بدون برشتگی
- بدون بازگشت
- پایداری خوب در دمای زیاد
- عدم مهاجرت به سطح
- فرمول بندی ساده
- مانایی فشاری کم
- لکه‌زا نبودن
- غیر نیتروز آمین‌زا

معایب

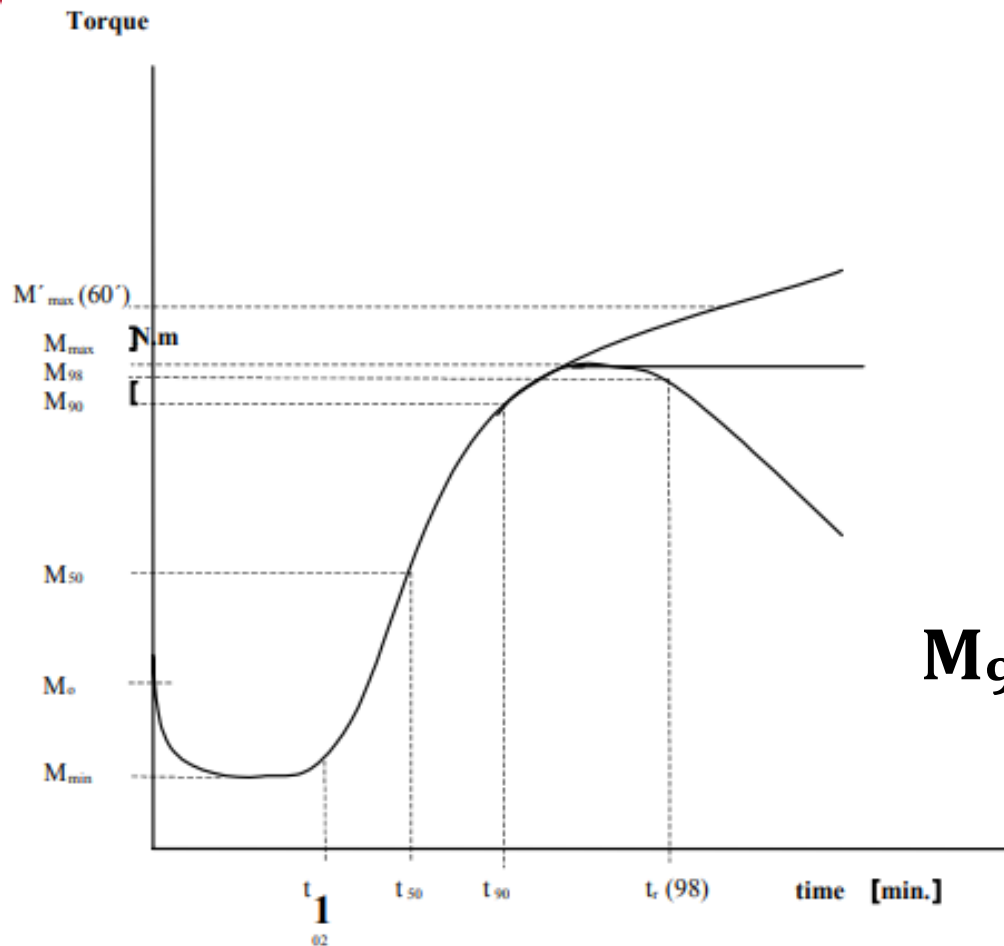
- قیمت بیشتر
- ایجاد بو
- دما و زمان پخت بیشتر در اغلب موارد
- داشتن استحکام کششی و پارگی کم
- مقاومت سایشی کمتر

Properties	Crosslinks	Bond energy [kJ/mol]
	C-C	346
Mono-sulfide	C-S-C	285
Di-sulfide	C-S-S-C	268
Poly-sulfide	C-S _x -C	< 268



محاسبه مشخصات پخت

محاسبه مشخصات پخت



$$M_X = [(M_{max} - M_{min}) \times X] + M_{min}$$



میزان پیشرفت پخت

$$CRI = \frac{100}{t_{90} - t_{s2}}$$

$$M_{98} = [(M_{max} - M_{min}) \times 0.98] + M_{min}$$

Walking modulus or Marching:

$$M'_{90} = [(M_{max}(60') - M_{min}) \times 0.9] + M_{min}$$

فرمول نویسی آمیزه‌های لاستیک

مراحل کار طراحی

- بهبود فرمول فعلی یا طراحی فرمول جدید براساس الزامات کاربرد.
- اگر محصول لاستیکی موجود است خواص آن را آزمایش کنید. بررسی کنید کدام خواص نیاز به بهبود دارند.
- تجزیه و تحلیل کنید که آیا فرمولاسیون خواص مورد نظر را برآورده می‌کند یا خیر. در غیر این صورت، با استفاده از طراحی آزمایش تغییراتی ایجاد کنید و فرمول جایگزینی را پیشنهاد دهید. قیمت را محاسبه کنید.
- یک یا دو مورد از بهترین آمیزه‌ها با خواص بهتر را انتخاب کنید و با مشخصات موجود مطابقت دهید.
- اختلاط، فرایندکاری و پخت محصول را برای یک پیمانانه بررسی کنید.
- خواص آمیزه مخلوط شده در کارگاه را در آزمایشگاه آزمایش کنید.
- محصول واقعی را آزمایش کنید و بررسی کنید که آیا الزامات را برآورده می‌کند یا خیر.
- بهترین آمیزه را انتخاب کنید. قیمت را محاسبه کنید.
- اگر هر یک از مراحل جواب نداد، به مرحله مناسب بروید و از اول شروع کنید.

مراحل طراحی فرمول

۱. با توجه به محیط کاربرد یا مشخصات، نوع کائوچو را انتخاب کنید.
۲. با توجه به مشخصات و مقدار سختی موردنظر مقدار پرکننده را تعیین کنید.
۳. با توجه نوع کائوچو و مقدار پرکننده، نوع روغن و مقدار آن را مشخص کنید.
۴. عامل پخت را تعیین کنید.
۵. مقدار شتاب‌دهنده‌ها و فعال‌کننده‌ها را انتخاب کنید.
۶. بسته به نوع کائوچو نوع و مقدار محافظت‌کننده‌ها را تعیین کنید.
۷. سپس افزودنی‌های خاص برای اهداف دیگر را در نظر بگیرید.

انتخاب کائوچو

CSM – NBR (up to 120 °C) IIR (cured with resins) - EPDM –EPM (up to 150°C) ACM (150-170 °C) FKM – MQ (above 200 °C)	مقاومت گرمایی
FKM – CO – ECO – ACM - CSM – NBR – CR	مقاومت در برابر روغن و هیدروکربن
کائوچوهای گروه M- گروه Q - IIR - HIIR - CR	مقاومت ازونی
CSM – CR - FKM – IIR - EPDM	مقاومت شیمیایی
کائوچوهای گروه Q - BR	مقاومت در دمای کم

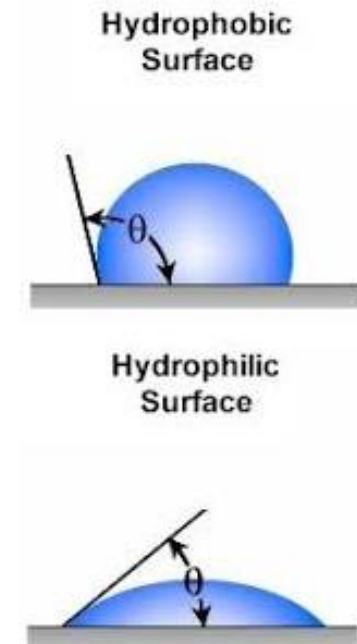
انتخاب کائوچو (حداکثر دمای سرویس)

Elastomer	Highest Service Temperature (°C)
Styrene-butadiene rubber	75
Natural rubber	85
Polychloroprene rubber	100
Nitrile-butadiene rubber	125
Butyl rubber	125
EPDM	125
Chlorosulfonated polyethylene	150
HNBR	150
Polyacrylic rubber	150
Fluoroelastomer	200
Silicone rubber	250
Perfluoroelastomer	300

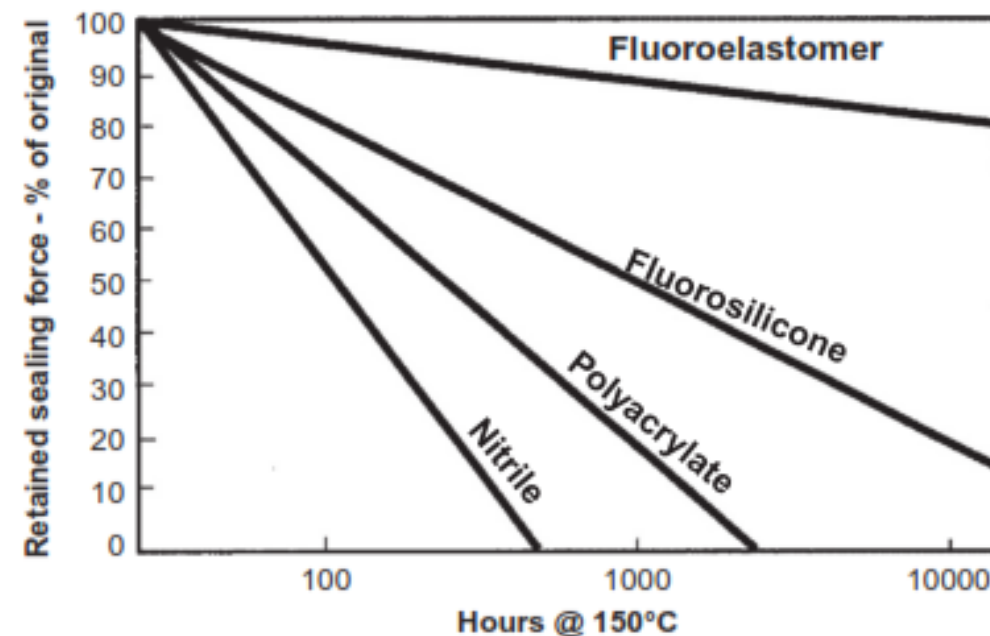
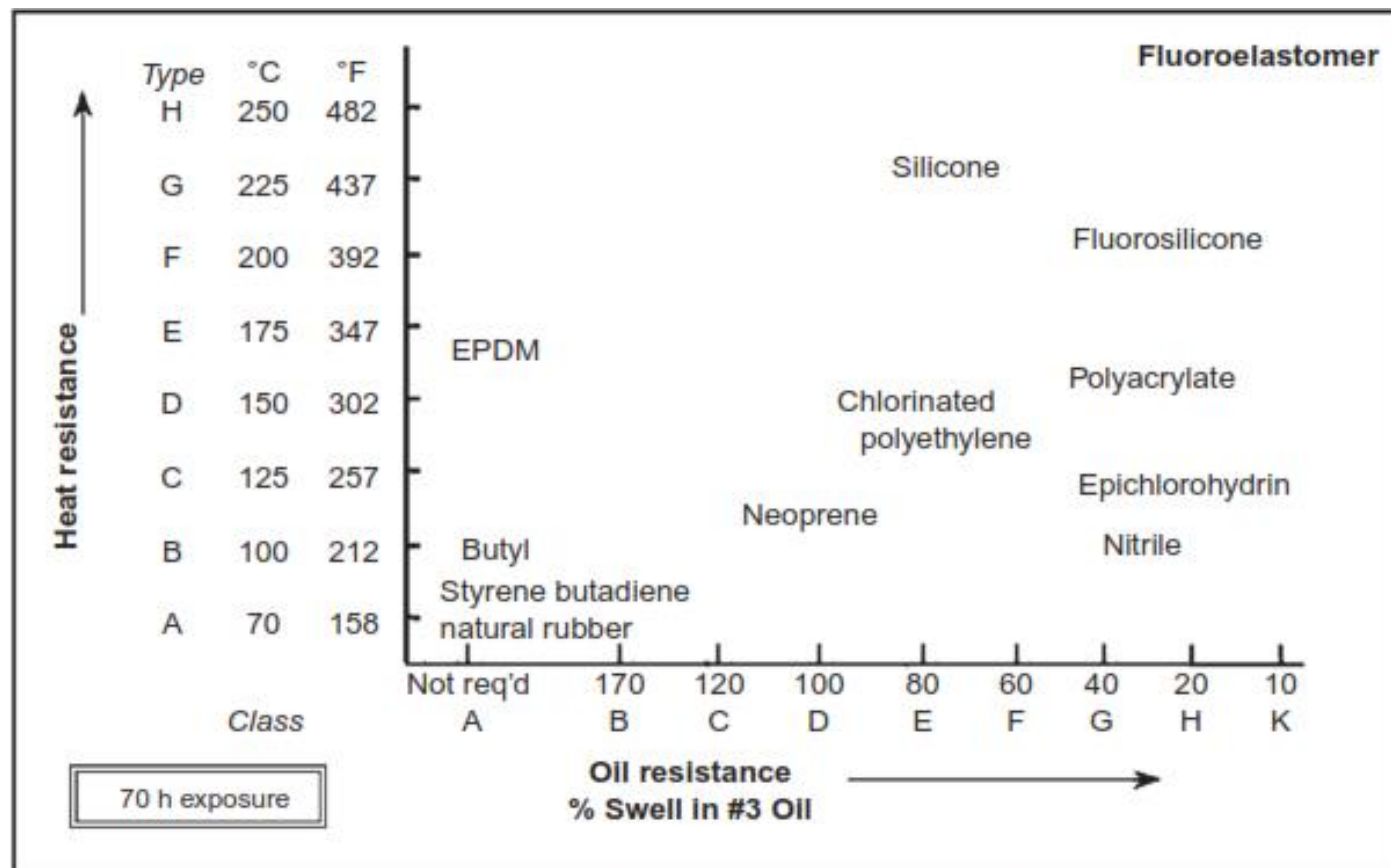
آمیخته کاری (Blending)

- ضریب حلالیت اجزا به هم نزدیک باشد. (Solubility parameter)
 - سازگاری ساختاری داشته باشند یا اختلاف کشش سطحی کم باشد.
 - همپخت (co-cure) باشند. (در یک سیستم پخت با سرعت پخت یکسان پخت شوند)
- surface energy/tension σ_i $\sigma_i = \sigma_i^d + \sigma_i^p$

	(cal/cm ³) ^{1/2}
NR or IR	8.15
PBR	8.2
SBR (15-23%Sty)	8.35-8.42
EPDM	8
IIR	7.6
NBR (18-39%ACN)	8.7-10.3
CR	8.85



مقایسه خواص کائوچوها



محاسبه چگالی آمیزه

Ingredient	Weight (kg)	Specific Gravity	Volume (L)
Rubber	100	0.92	108.696
ZnO	5	5.57	0.898
St. acid	2	0.85	2.253
Carbon black	45	1.85	24.324
TMQ	2	1.1	1.818
TBBS	0.6	1.28	0.469
Sulfur	2.5	2.0	1.250
Total	157.1		139.808

Specific gravity of compound = $157.1 / 139.808 = 1.124$.

For 100 Parts of Polymer	Durometer (Shore A)
CR, NBR	44
NR, SBR	40
IIR	35
37.5 parts oil extended cold SBR	26

Fillers and Softeners	Durometer (Shore A)
N110	+1/2 part of loading + 4
N220, N234	+1/2 part of loading + 2
N330, N326, N347, N339, N550	+1/2 part of loading
N770, N774, N762, N765	+1/3 part of loading
Thermal blacks and hard clay	+1/4 part of loading
Whiting (in natural rubber)	+1/7 part of loading
Most liquid softener	-1/2 part of loading

مقدار پارت دوده مورد نیاز برای افزایش ۱۰ واحد سختی

Industry Type	ASTM No.	NR	SBR	IIR	CR	BR	NBR	EPDM
SAF	N110	15	18	13	12	22	17	24
ISAF	N220	17	20	15	13	25	19	27
HAFLS	N326	21	26	19	17	32	24	34
HAF	N330	19	23	17	15	28	21	30
HAFHS	N347	17	21	16	14	26	20	28
FEF	N550	23	28	21	18	34	26	37
GPF	N660	25	31	23	20	38	29	41
SRF	N774	28	25	25	22	42	32	45

توصیه‌ها برای آمیزه‌کاری

توصیه‌ها برای اختلاط در آسیاب دو غلتکی

- از غلتک تمیز و عاری از آلودگی سایر کائوچوها، روغن‌ها و مواد شیمیایی استفاده کنید.
- وزن بچ باید متناسب با اندازه آسیاب باشد.
- اگر قرار است از ترکیبی از کائوچوها که اختلاف گرانشی آن‌ها بیشتر از ۱۰ واحد است، استفاده شود، ابتدا کائوچو با گرانشی بیشتر و سپس کائوچو با گرانشی کمتر اضافه شود.
- پرکننده‌های تقویت‌کننده را ابتدا بدون نرم‌کننده‌ها اضافه کنید. نرم‌کننده‌ها را می‌توان همراه با پرکننده‌های غیر تقویت‌کننده به تدریج اضافه کرد.
- اکسیدهای فلزی جاذب رطوبت هستند و باید در جای خشک نگهداری شوند. در صورت داشتن رطوبت پراکنش آن‌ها دشوارتر خواهد شد. علاوه بر این، می‌توانند باعث برشتگی و مشکلات پخت شوند.
- مواد پخت را در آخرین مرحله اختلاط اضافه کنید و دمای غلتک‌ها را کمتر از ۱۰۵ درجه سلسیوس حفظ کنید.
- به‌طور کلی، بهتر است حداقل ۱۲ ساعت به آمیزه استراحت دهید تا برهم‌کنش بین پرکننده و کائوچو انجام شود و در نتیجه بهبود قابل توجهی در مشخصات جریان قالب و خواص فیزیکی ایجاد شود.

ضرب پرشدگی در مخلوط کن داخلی

* ضرب پرشدگی خیلی زیاد می تواند منجر به برشتگی آمیزه و پراکنش ضعیف شود.

* ضرب پرشدگی خیلی کم می تواند منجر به افزایش زمان اختلاط و پراکنش ضعیف شود.

* رفتگی محفظه اختلاط و روتورها، اندازه محفظه خالص را افزایش می دهد و بنابراین به ضرب پرشدگی کمی بیشتر نیاز است.

* کائوچوهای که تمایل دارند به سرعت از نظر گرمایی نرم شوند به ضرب پرشدگی بیشتری نیاز دارند.

* آمیزه ها با گرانی بالایی به سرعت گرما تولید می کنند و برای کنترل بهتر دما به ضرب پرشدگی کمی کمتر نیاز دارند.

Batch Size (weight) =

(Net Chamber Volume) × (Fill Factor) × (Compound Specific Gravity)

توصیه‌ها برای اختلاط در مخلوط‌کن داخلی

❑ کائوچوها در هنگام انبارش بیش از حد سرد نشود. زیرا می‌تواند منجر به پراکنش ضعیف شود.

❑ کائوچو قبل از مصرف در دمای اتاق باشد و ترجیحا پیش گرم شود (به عنوان مثال ۲۴ ساعت در 40°C).

❑ برای ایجاد حداکثر برش در ابتدای چرخه اختلاط، نرم‌کننده‌ها دیرتر اضافه شوند.

❑ برای پراکنش بهتر دوده در کائوچو، کائوچوها حداقل ۳۰ ثانیه قبل از افزودن هر گونه ماده‌ای، درون مخلوط‌کن نرم شوند.

❑ دمای تخلیه بیشتر می‌تواند منجر به کاهش زمان زودپختی آمیزه شود.

❑ اگر سرعت موتور، متغیر است؛ سرعت بیشتر را برای پیش‌فروشنی و افزودن دوده انتخاب کنید و سپس سرعت را در انتهای چرخه اختلاط کم کنید تا دمای تخلیه را پایین نگه دارید.

توصیه‌ها برای سرمایش و انبارش

* آمیزه باید پس از اختلاط سریع خنک شود. خنک‌سازی را می‌توان با غوطه‌وری، قرار گرفتن در معرض فن یا اسپری آب انجام داد. بهترین نتیجه خنک‌سازی با استفاده از اسپری آب و فن است. اگر از آب استفاده می‌شود، مهم است که تمام آب قبل از انبارش از سطح آمیزه خارج شود.

* اگر دمای داخل آمیزه بالای ۳۲ درجه سلسیوس باشد، به هیچ وجه نباید آمیزه را برای انبارش روی هم بچینید. آمیزه باید هنگام لمس خنک باشد. برای جلوگیری از چسبیدن آمیزه مخلوط شده به آمیزه دیگر، به ویژه برای آمیزه با گرانی کمی کمتر. تالک استفاده کنید. از مواد حاوی استئارات استفاده نکنید.

* آمیزه باید در مکانی خنک و خشک نگهداری شود و از آلودگی‌ها و رطوبت محافظت شود. هنگامی که اجازه می‌دهید تا دمای اتاق برسند، آن‌ها بپوشانید. هر گونه رطوبتی که روی آمیزه متراکم شود باید به سرعت حذف شود تا از ایجاد تاول و تغییر مشخصات پخت جلوگیری شود.



با سپاسی از توجه شما