بازنگری جداول فلش سیم برای شبکه‌های توزیع

رضا جمال
شرکت برق منطقه‌ای غرب

چکیده :

در کتابچه استاندارد تهیه شده از طرف وزارت نیرو ، دیاگرام فلش سیم‌کشی شبکه فشار ضعیف و فشار متوسط بر اساس تنش مجاز سیم تهیه شده و توجهی به قدرت قابل تحمل پایه انتهائی و یا پایه زاویه نشده است و اکثر هم شده با فرض نصب مهار است که آنهم بی‌اشکال نبوده و در عمل برقهای منطقه‌ای از نصب مهار بخصوص در شبکه توزیع داخل شهرها خودداری می نمایند. این امر فقط با کم کردن فاصله پایه‌ها و کاهش تنش مجاز سیم (معمولا" بین ۴۰ تا ۶۰ درصد تنش مجاز سیم) امکان‌پذیرمیباشد. در این مقاله سعی شده که برای سیمهای متعارف شبکه توزیع ، تنش عملی پیشنهاد و بر اساس آن چند نمونه از منحنی سیم‌کشی جدید ارائه گردد.

شرح مقاله :

گرچه در کتابچه استاندارد تهیه شده از طرف وزارت نیرو جداول و دیاگرام فلش سیم‌کشی شبکه فشار ضعیف و فشار متوسط چاپ شده ولی این جداول و منحنی‌ها در عمل قابل استفاده نمی باشد ، چرا که این جداول براساس حد تنش مجاز سیم تهیه شده و کشش قابل تحمل پایه‌ها با فرض نصب مهار برای پایه انتهائی مد نظر قرار گرفته که بلااشکال نمیباشد. فقط برای سیم DOG (باسطح مقطع ۱۱۸/۵

میلیمترمربع) که مورد استفاده در شبکه فشار متوسط (۲۰ کیلوولت) میباشد تنش مجاز سیم در بدترین شرائط ۱۱ کیلوگرم بر میلیمترمربع منظور شده و پایه انتهائی بایستی نیروئی برابر با :

$$F = ۳ \times ۱۱۸/۵ \times ۱۱ = ۳۹۱۰/۵ \text{ kg}$$

را تحمل نماید. این امر فقط با نصب مهار مناسب در پایه انتهائی امکانپذیر است. در حالیکه نصب مهار دارای معایبی به شرح زیر میباشد.

الف ـ دارای هزینه خرید و نصب تجهیزات میباشد.

ب ـ فضای بیشتری را میطلبد.

ج ـ در مواردی (برطبق گزارشات) خطر برق گرفتگی وجود دارد.

د ـ مهار پس از مدتی به علل کوناگون شل شده و از تاثیرگذاری باز میماند.

معایب فوق باعث شده که نصب مهار با استقبال روبرو نشده و اکثر خطوط هوائی فشارضعیف و فشارمتوسط بخصوص در شبکه‌های شهری فاقد مهار باشند. عدم رعایت فلش مناسب سیم به هنگام احداث خطوط هوائی و عدم نصب مهار ، سبب میشود که پایه‌های انتهائی در جهت کشش سیم کج شده و با اولین باد و طوفان شدید و یا برف سنگین پایه شکسته و شبکه دچار فروپاشی شود. برای رفع این مشکل لازم است که جداول فلش سیم بر اساس نیروی قابل تحمل پایه‌ها تهیه گردد.

۱- شبکه فشارضعیف هوائی :

پایه‌های بتونی مورد استفاده در خطوط هوائی فشارضعیف عبارتست از ۲۰۰ ، ۴۰۰ ، ۶۰۰ و ۸۰۰ کیلوگرمی با ارتفاع ۹ متر. با استفاده از پایه بتونی ۸۰۰ کیلوگرمی به عنوان پایه انتهائی میتوان با کمی اغماض نیروی ۱۰۰۰ کیلوگرمی را به آن اعمال نمود. باید دانست که حداقل مقاومت ارتجاعی قابل قبول تیر بتونی ۸۰۰ ، در حدود ۱۲۰۰ کیلوگرم میباشد.

$$\text{مقاومت ارتجاعی} = \text{مقاومت نرمال} \times ۱/۵ = ۱۲۰۰$$

سیمهای مورد استفاده در شبکه‌های فشارضعیف از نوع مسی با سطح مقطع ۱۶ ، ۲۵ ، ۳۵ و ۵۰ میلیمترمربع بوده که مشخصات آنها در جدول (۱) آمده است.

نام سیم	سطح مقطع mm^2	قطر سیم mm	ضریب انبساط $1/oC \times 10^{-6}$	مدول یانگ kg/mm^2	وزن یکمتر kg/m	کشش پارگی kg	تنش مجاز kg/mm^2	تعداد سیم شبکه‌بندی	تنش عملی kg/mm^2
16	16	5.1	17	11500	0.144	649	13.5	3×25+2×16	9.3
25	25	6.3	17	11500	0.225	991	13.2	3×25+2×16	9.3
35	35	7.5	17	11500	0.315	1404	13.4	3×35+2×25	6.5
50	50	9.0	17	11500	0.450	1975	13.2	3×50+2×25	5.0

جدول ۱ ـ مشخصات سیمهای مسی

$$\frac{\text{کشش پارگی}}{\text{سطح مقطع}} \times \frac{1}{3} = \text{تنش مجاز}$$

$$\frac{1000}{\text{مجموع سطح مقطع}} = \text{تنش عملی}$$

محاسبه تنش عملی خطوط فشارضعیف :

- برای سیم 16 و 25 در شبکه 3×25+2×16 kg/mm^2 9.3 = 1000/107 = تنش عملی
- برای سیم 35 در شبکه 3×35+2×25 kg/mm_2 6.5 = 1000/155 = تنش عملی
- برای سیم 50 در شبکه 3×50+2×25 kg/mm^2 5.0 = 1000/200 = تنش عملی

۲- شبکه فشار متوسط هوائی :

برای شبکه فشارمتوسط هوائی سیمهای استاندارد شده وزارت نیرو به شرح مندرج در جدول (۲) می باشد.

$$\frac{\text{کشش پارگی}}{\text{سطح مقطع}} \times \frac{1}{3} = \text{تنش مجاز}$$

$$\text{تنش عملی} = \frac{1500}{\text{مجموع سطح مقطع}}$$

برای تأمین نیروی تحمل ۱۵۰۰ کیلوگرم در خطوط فشارمتوسط بایستی از پایه بتونی با کشش نامی ۱۲۰۰ استفاده کرد. ضمناً" چون تولید پایه بتونی ۱۲ متری ۱۲۰۰ ، به دلیل مشکلات حمل و نصب با استقبال روبرو نشده ، بنابراین میتوان از پایه ۱۲ متری ۶۰۰ به صورت جفتی استفاده کرد.

نام سیم	سطح مقطع mm^2	قطر سیم mm	ضریب انبساط $1/oC \times 10^{-6}$	مدول یانگ kg/m^2	وزن یکمتر kg/m	کشش پارکی kg	تنش مجاز kg/mm^2	تعداد سیم شبکه	تنش عملی kg/mm^2
FOX	42.7	8.73	19.1	8100	0.149	1346	10.5	3×FOX	10.5
MINK	73.6	10.98	19.1	8100	0.255	2223	10.1	3×MINK	6.8
DOG	118.5	14.15	19.8	7700	0.394	3335	9.4	3×DOG	4.2
HYENA	126.4	14.57	18.9	7700	0.450	4171	11.0	3×HYENA	4.0
PART.	156.9	16.30	18.9	7700	0.546	5107	10.8	3×PART	3.2

جدول ۲ - مشخصات سیمهای ACSR

تذکر : منظور از سیم .PART همان سیم PARTRIDGE میباشد.

محاسبه تنش عملی خطوط فشارمتوسط :

- برای سیم FOX تنش عملی = 1500/128.1 = 11.7 ⟶ 10.5
- برای سیم MINK تنش عملی = 1500/220.8 = 6.8
- برای سیم DOG تنش عملی = 1500/355.5 = 4.2
- برای سیم HYENA تنش عملی = 1500/379.2 = 4.0
- برای سیم PART. تنش عملی = 1500/470.7 = 3.2

برای سیم FOX چون تنش عملی بیش از تنش مجاز میباشد بنابراین تنش مجاز در محاسبات منظور شده است.

۳- شرائط بارگذاری :

شرائط بارگذاری برای خطوط هوائی فشارضعیف و فشارمتوسط یکسان فرض شده و دراین جزوه برای تهیه جدول فلش سه نوع شرائط بارگذاری منظور شده است.

۳-۱- شرائط بارگذاری سنگین :

مناطق غرب ، شمال غربی ، خراسان و جنوب البرز :

الف - وضعیت زمستانی :

درجه حرارت محیط	$T_o = -5$ oC
ضخامت یخ دور سیم	$I_o = 10$ mm
سرعت مؤثر باد	$V_o = 16.5$ m/s (17 kg/m²)

ب - وضعیت طوفانی :

درجه حرارت محیط	$T_w = 15$ oC
ضخامت یخ دور سیم	$I_w = 0$ mm
سرعت مؤثر باد	$V_w = 27.7$ m/s (48 kg/m²)

حداقل و حداکثر درجه حرارت بدون باد و یخ بترتیب 25- و 45+ درجه سانتیگراد میباشد.

۳-۲- شرائط بارگذاری متوسط :

مناطق شمال ، فارس ، جنوب شرقی و نواحی مرکزی :

الف - وضعیت زمستانی :

درجه حرارت محیط	$T_o = -5$ oC
ضخامت یخ دور سیم	$I_o = 6.5$ mm
سرعت مؤثر باد	$V_o = 20$ m/s (25 kg/m²)

ب - وضعیت طوفانی :

درجه حرارت محیط	$T_w = 15$ oC
ضخامت یخ دور سیم	$I_w = 0$ mm
سرعت مؤثر باد	$V_w = 31$ m/s (60 kg/m²)

حداقل و حداکثر درجه حرارت بدون باد و یخ بترتیب 20- و 50+ درجه سانتیگراد میباشد.

۲-۳- شرائط بارگذاری سبک :

مناطق حاشیه خلیج فارس و دریای عمان :

الف - وضعیت زمستانی :

درجه حرارت محیط	$T_o = -5$ oC
ضخامت یخ دور سیم	$I_o = 0$ mm
سرعت مؤثر باد	$V_o = 25.3$ m/s (40 kg/m²)

ب - وضعیت طوفانی :

درجه حرارت محیط	$T_w = 15$ oC
ضخامت یخ دور سیم	$I_w = 0$ mm
سرعت مؤثر باد	$V_w = 40$ m/s (100 kg/m²)

حداقل و حداکثر درجه حرارت بدون باد و یخ بترتیب 10- و 55+ درجه سانتیگراد میباشد.

تذکر۱ - وزن یخ در یک متر سیم از رابطه زیر بدست می‌آید.

$P_i = 0.18(d)^{\frac{1}{2}}$ (برف سنگین)

$P_i = 0.11(d)^{\frac{1}{2}}$ (برف متوسط)

که d قطر سیم برحسب میلیمتر و P_i وزن یخ در یک متر سیم است. ضمناً چنانکه ضخامت یخ دور سیم در دست باشد ، وزن یخ یک متر سیم از رابطه زیر قابل محاسبه میباشد.

$$P_i = 0.913 \times 3.1416 \times I(d+I)/1000$$

تذکر۲ - منظور از سرعت مؤثر باد آن است که فشار باد بر روی سیم بدون در نظر

گرفتن فرم سیم میباشد. ضمنا" فشار باد بر تمامی اسپن اثر دارد (یعنی برای قسمت اول ضریب 0.6 و برای قسمت دوم ضریب 2/3 اعمال نمیشود).

۴- حداکثر فلش مجاز سیم :

حداکثر فلش مجاز سیم عبارت است از مقدار فلش در اسپن معادل (RULLING SPAN) در حداکثر درجه حرارت (درایـنجا ۴۵ ، ۵۰ و یـا ۵۵ درجه سانتیگراد) در صورتیکه دو نقطه آویز سیم در یک سطح افقی قرار گیرند.

۵- حداکثر فلش مجاز خطوط هوائی فشارضعیف :

ارتفاع پایه‌های مورد استفاده در شبکه هوائی فشارضعیف معمولا" ۹ متری بوده که ۱/۵ متر آن در زمین ، ۱/۵ متر برای نصب اتریه یا راک بکار می رود. بنابراین پائین ترین مقره ۶ متر از زمین فاصله داشته که چون بایستی فاصله مجاز سیم از زمین ۵/۵ متر باشد پس حداکثر فلش سیم بایستی ۰/۵ متر باشد.

۶- حداکثر فلش مجاز خطوط هوائی فشار متوسط :

ارتفاع پایه‌های مورد استفاده در شبکه هوائی فشار متوسط معمولا" ۱۱ و ۱۲ متری بوده که ۱/۸ متر آن در زمین و ۱/۲ متر برای نصب کنسول ۱/۵ متری بکار میرود. بنابراین پائین ترین مقره ۹ متر از زمین فاصله داشته که چون بایستی فاصله مجاز سیم از زمین ۶/۷ متر باشد ، پس حداکثر فلش سیم بایستی ۲/۳ متر برای پایه‌های ۱۲ متری و ۱/۳ متر برای پایه‌های ۱۱ متری باشد.

تذکر- چون در خطوط هوائی فشارضعیف از دو نوع سیم با نمرات مختلف استفاده می شود. بنابراین جداول فلش تهیه شده فقط برای سیم سه فاز اصلی بوده و فلش سیم نول و سیم روشنائی بایستی به اندازه سیم فاز باشد.

۷- نتایج حاصله از جداول فلش :

۱-۷- برای پایه های ۱۲ متری در مسیرهای خارج شهر و روستائی که از پایه‌ها فقط برای شبکه فشار متوسط استفاده میشود ، حداکثر اسپن برای سیمهای مختلف به شرح مندرج در جدول(۳) میباشد(با کنسول ۱/۵ متر و در فاصله ۱/۲ متر از بالای پایه). حداکثر اسپن با پایه ۱۲ متری و کنسول ۱/۵ متری یا پایه ۱۱ متری و کنسول ۲/۴۴

متری (یا ۲/۲۵) بترتیب برای درجات ۴۵ ، ۵۰ و ۵۵ برحسب مستر در جدول (۳) درج شده است.

شرایط بارگذاری / نام سیم	منطقه بارگذاری سنگین	منطقه بارگذاری متوسط	منطقه بارگذاری سبک
FOX	104	108	112
MINK	87	89	87
DOG	76	78	74
HYENA	75	78	73
PART ·	72	74	69

جدول ۳

۲-۷- حداکثراسپن برای پایه‌های ۱۱ متری ، در مسیرهای خارج از شهر و روستائی و با کنسول ۱/۵ متری در فاصله ۱/۲ متری از بالای پایه در جدول (۴) درج شده است.

شرایط بارگذاری / نام سیم	منطقه بارگذاری سنگین	منطقه بارگذاری متوسط	منطقه بارگذاری سبک
FOX	78	81	85
MINK	65	67	66
DOG	57	59	55
HYENA	57	59	55
PART ·	54	56	52

جدول ۴

۳-۷- برای پایه‌های ۱۲ متری در داخل شهر که یک اصله پایه ۹ متری نیز در وسط نصب میگردد و با احتساب یک متر فاصله بین نوک پایه ۹ متری و سیم فشارمتوسط ، در صورتیکه از کنسول ۲/۴۴ (یا ۲/۲۵) متری در بالاترین قسمت استفاده نمائیم ، حداکثر اسپن برای سیمهای مختلف به شرح مندرج در جدول (۵) میباشد.

شرائط بارگذاری / نام سیم	منطقه بارگذاری سنگین	منطقه بارگذاری متوسط	منطقه بارگذاری سبک
FOX	84	87	91
MINK	70	72	70
DOG	62	63	60
HYENA	61	63	59
PART ·	58	60	56

جدول ۵

بنابراین با انتخاب اسپن ۶۰ متری برای سیمهای فوق میتوانیم در پائین آن شبکه فشارضعیف احداث نمائیم.

۸- حداکثراسپن خطوط هوائی فشارضعیف :

حداکثر اسپن به متر با پایه ۹ متری در جدول (۶) درج شده است.

شرائط بارگذاری / نام سیم	منطقه بارگذاری سنگین	منطقه بارگذاری متوسط	منطقه بارگذاری سبک
3×25+2×16	30	31	32
3×35+2×25	27	28	30
3×50+2×25	26	27	28

جدول ۶

۹- کنترل اسپن الکتریکی :

اسپن و یا فلش زیاد سبب مزاحمت در بهره‌برداری خطوط میگردد چراکه در اثر باد و طوفان و یا تخلیه ناگهانی برف ، احتمال وقوع اتصالی بیشتر خواهد شد. بنابراین بایستی اسپن الکتریکی را کنترل نمائیم .استاندارد VDE فرمول زیر را برای کنترل اسپن الکتریکی پیشنهاد نموده است.

$$PC = Ke(f+Li)^{\frac{1}{2}} + (U/150) \geq Ke$$

که در این فرمول :

U ولتاژ بین دو فاز برحسب کیلوولت

Li طول زنجیره مقره (چون از مقره میخی استفاده میشود Li=0)

f حداکثر فلش سیم (در ۵۰ درجه سانتیگراد)

Pc فاصله بین دو فاز (متر)

Ke ضریبی است که برحسب آرایش و نوع سیم از جداول ۷ و ۸ زیر بدست می آید. مقدار Ke برای سیمهای مسی (سیمها بصورت عمودی) در جدول (۷) و برای سیمهای آلومینیوم ـ فولاد (ACSR) در جدول (۸) درج شده است.

نمره سیم	16	25	35	50	70
ضریب Ke	0.85	0.85	0.75	0.75	0.75

جدول ۸

نام سیم		FOX	MINK	DOG	HYENA	PART.
ضریب Ke	مثلثی	0.75	0.70	0.70	0.70	0.70
	افقی	0.70	0.65	0.65	0.65	0.65

جدول ۸

چون فاصله فازها در فشارضعیف ۳۰ سانتیمتر میباشد بنابراین فرمول فوق

برای فشارضعیف صادق نبوده و برای فشارمتوسط چون حداکثر فلش ۲/۳ متر است خواهیم داشت :

بصورت مثلثی $PC = 0.70(2.3+0)^{\frac{1}{2}} + (20/150) = 1.20\ m$

بصورت افقی $PC = 0.65(2.3+0)^{\frac{1}{2}} + (20/150) = 1.12\ m$

بنابراین در شبکه فشارمتوسط برای اسپن الکتریکی مشکلی نخواهیم داشت.

نتیجه :

جداول ارائه شده نشان میدهد که اگر به میزان ۱/۲۵ برابر کشش نرمال تیربتونی ۸۰۰ و یا ۱/۲۵ برابر کشش نرمال تیر بتونی ۱۲۰۰ ، نیرو بر آن وارد سازیم در آنصورت میتوانیم از نصب مهار خودداری و پایه‌ها را در اسپن‌های ۲۷ الی ۳۳ متری برای خطوط هوائی فشارضعیف ، و در اسپن‌های ۶۰ الی ۸۰ در خطوط هوائی فشارمتوسط نصب نمود. همچنین لازم به تذکراست که :

الف - به جای پایه بتونی ۸۰۰ میتوان از دو پایه بتونی ۴۰۰ بصورت جفتی و به جای پایه بتونی ۱۲۰۰ از دو پایه بتونی ۶۰۰ بصورت جفتی استفاده نمود.

ب - بهتراست فاصله پایه‌ها را از ابتدا برای سیمهای ضخیم انتخاب نمائیم تا در آینده مجبور نشویم آنها را جابجا کنیم.

منابع :

۱- طراحی خطوط انتقال نیرو - مهندس قاضی زاهدی و دکتر رنجبر

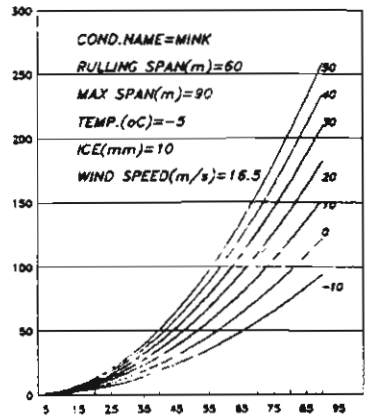
۲- کتابچه استاندارد توزیع دو جلدی - وزارت نیرو

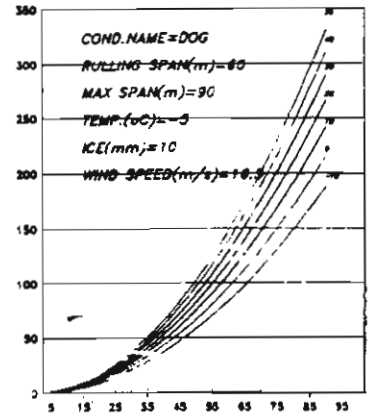
۳- کتابچه پایه‌های بتونی مسلح - وزارت نیرو

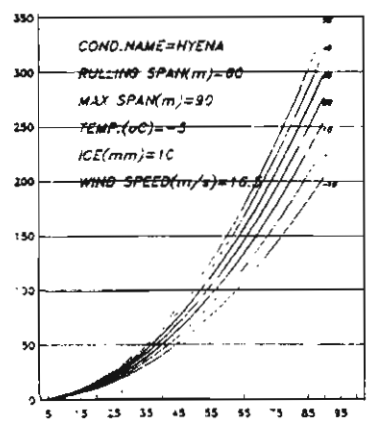
۴- برنامه کامپیوتری محاسبه جداول فلش سیم (DISF.EXE) - مرکز کامپیوتر برق منطقه‌ای غرب

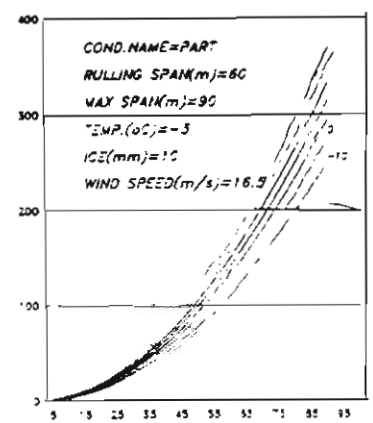
منطقه بارگذاری سنگین

سیمهای ACSR



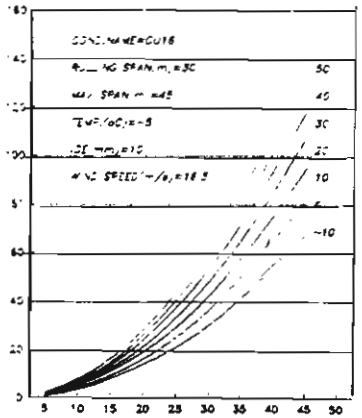


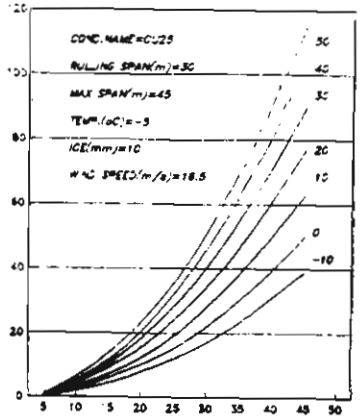


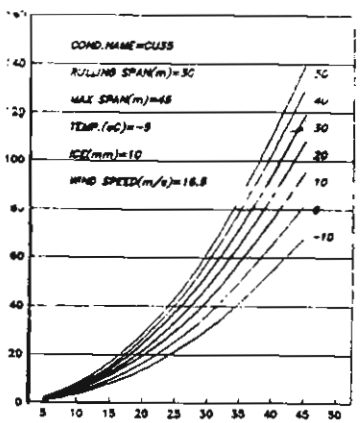


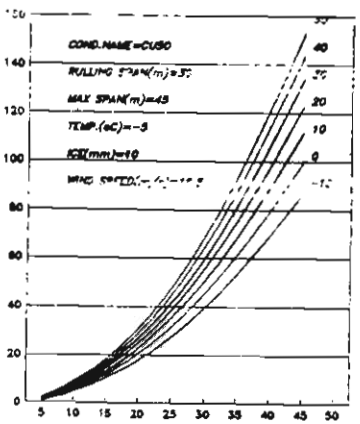
منطقه بارگذاری سنگین

سیمهای مسی



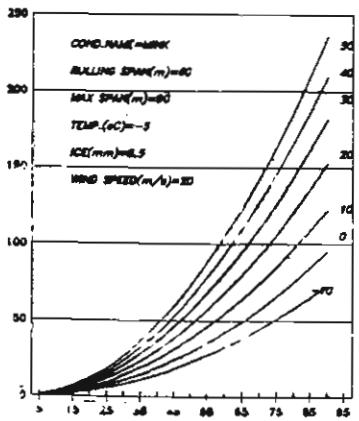


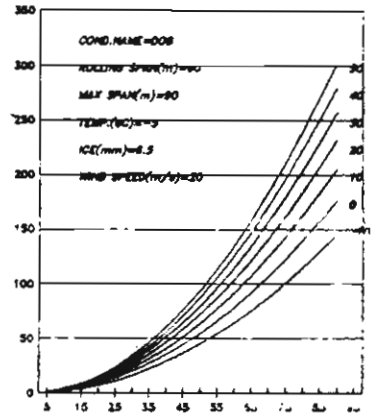


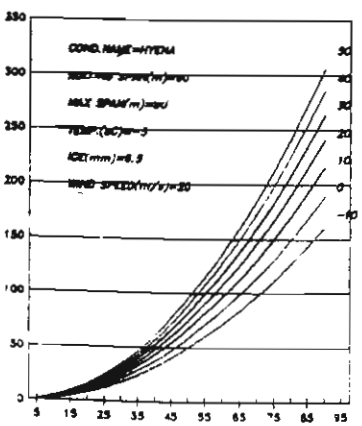


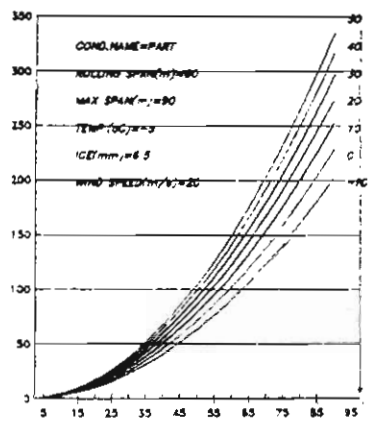
منطقه بارگذاری نیمه سنگین

سیمای 9CSR



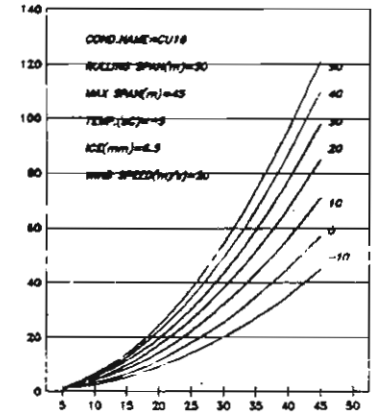


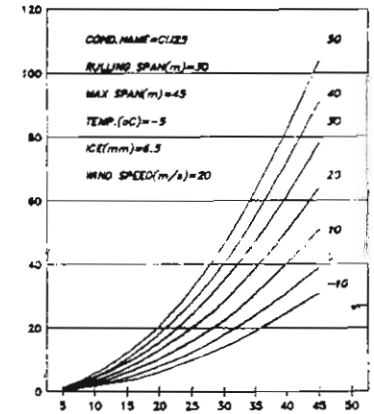


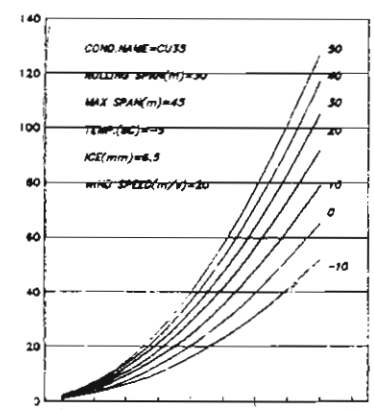


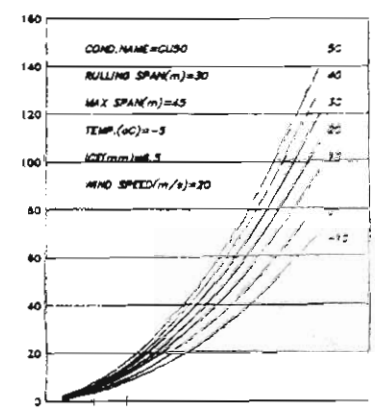
منطقه بارگذاری نیمه سنگین

سیمای مسی

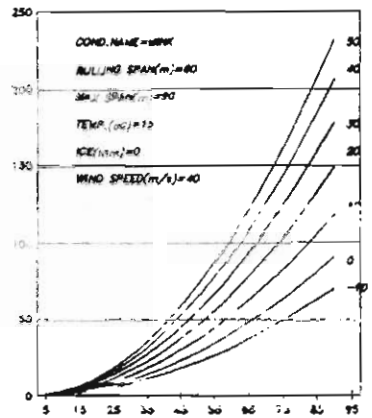


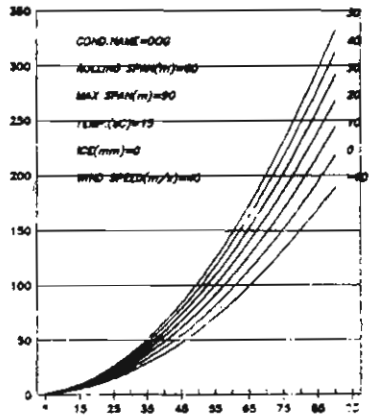


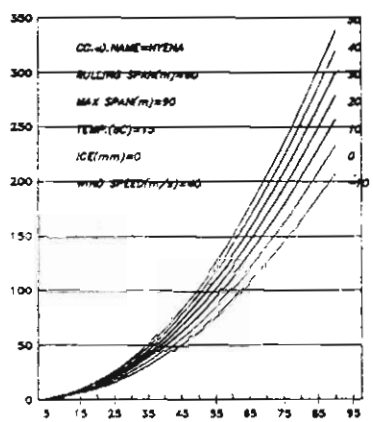


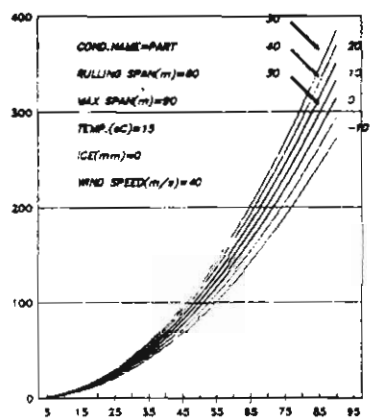


منطقه با برف‌آبی سبک
سیمهای ACSR









منطقه با برف‌آبی سنگین
سیمهای مسی