به نام خدا

انجمن ایرانی مهندسان محاسب ساختمان

سمینار دو روزه
باد - سازه - پایداری

موضوع:
بررسی علت سقوط دکلهای خط انتقال برق ۴۰۰ کیلوولت دومداره شهیدرجائی - رودشور درباد شدید

تیمور هنربخش
مهندسین مشاور سرزمین
25/دی/1392

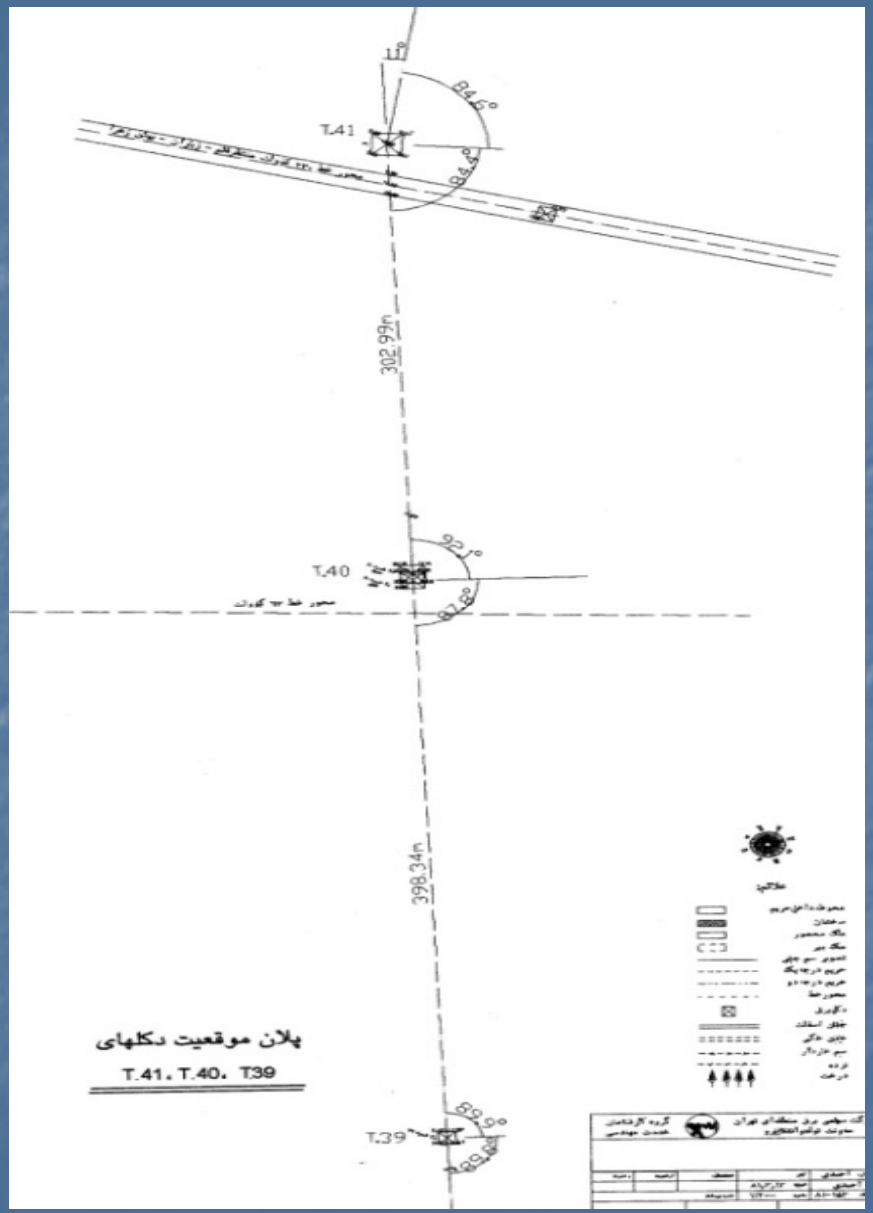
www.sarzamin-eng.com

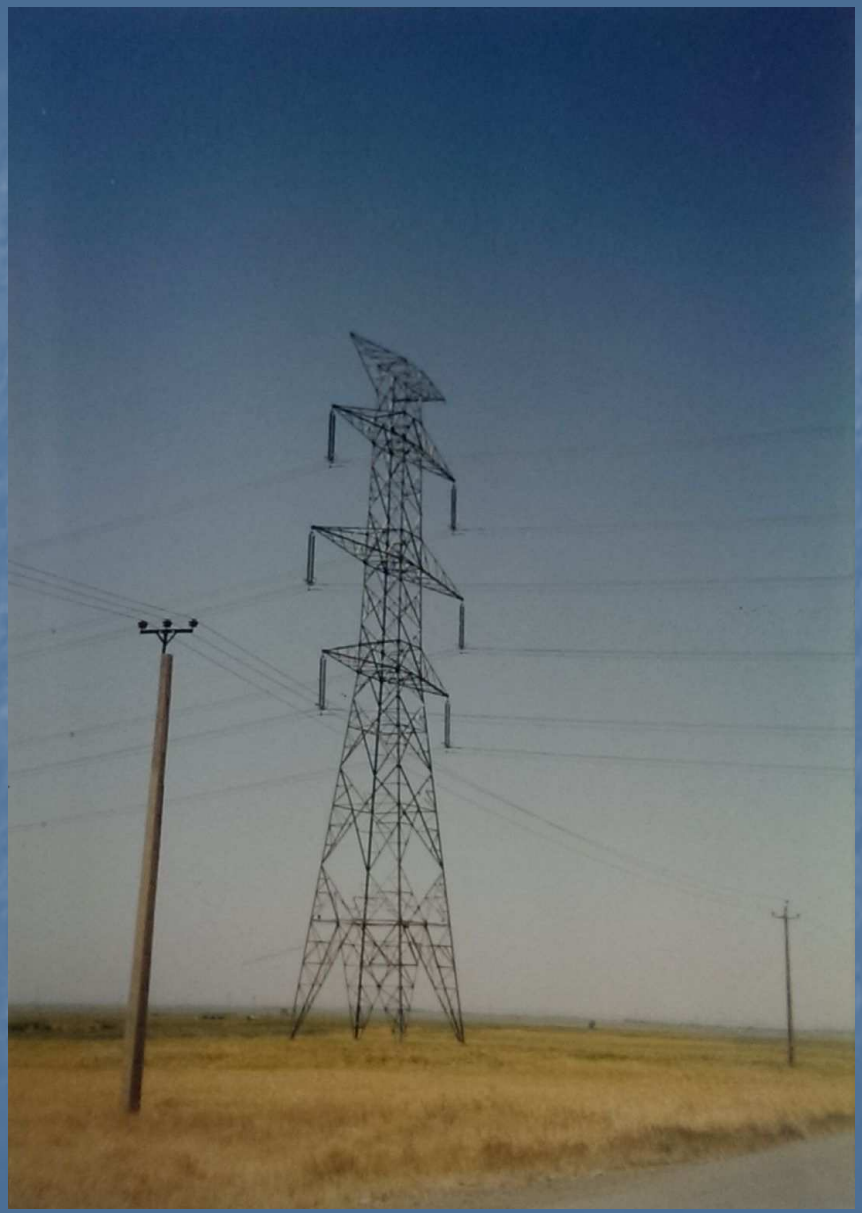
فهرست مندرجات

موضوع

۱- مقدمه
۲- چکیده
۳- روش انجام بررسی
۴- تحلیلهای انجام یافته اولیه
۵- جمع بندی اولیه
۶- تحلیل های مربوط به تعیین مسیر خرابی دکلها
۷- نتیجه گیری

SARZAMIN Consulting eng.

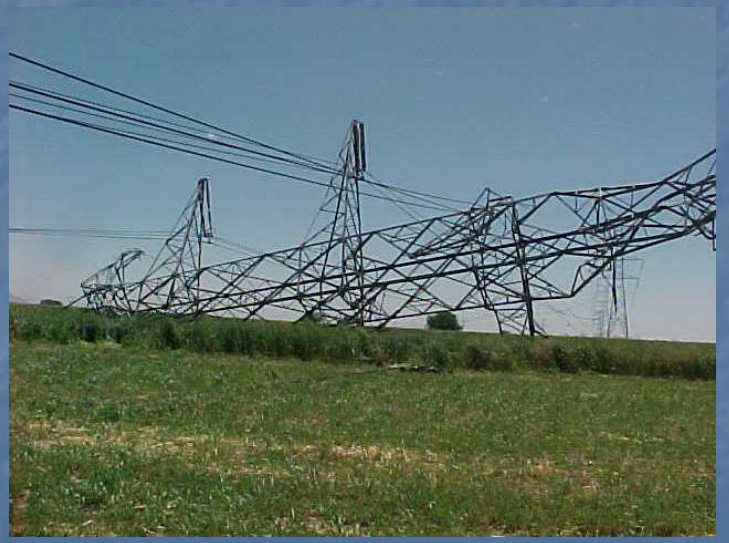




مهندسین مشاور
SARZAMIN Consulting eng.

T.39

L_{S-2}



T.40

L_{S-2}

T.41

T_{30-2}

۱- مقدمه

حدود ساعت ۴ بعد از ظهر روز جمعه مورخ۸۱/۳/۳ در حوالی باغ کوثر حد فاصل نیروگاه شهید رجائی و مزرعه پرورش طیور زیاران در جنوب راه آهن تهران – تبریز در اثر وزش باد شدید در محدوده زیاران، سه دکل خط انتقال برق ۴۰۰ کیلوولت دو مداره شهید رجایی– رودشور به شماره هایT.41,T.40,T.39 دچار سقوط و خرابی شدند و سیم های رابط دکل های ۳۸ تا ۴۲ عمدتاً از بین رفت و گوشواره سیم محافظ دکل شماره ۳۸ نیز آسیب دید. دکلهای شماره ۳۹و۴۰ از نوع آویزی به ترتیب به ارتفاع ۵۰/۰۵ متر و ۶۴/۰۵ متر و دکل شماره ۴۱ از نوع کششی به ارتفاع ۶۵/۷۵ متر می باشند.حادثه در محلی اتفاق افتاد که خط دو مداره ۲۳۰ کیلو ولت کمال آباد – زیاران-بوئین زهرا در حد فاصل برجهای۴۰ -۴۱ و خط تک مداره ۶۳کیلوولت قشلاق-زیاران و خط۲۰ کیلو ولت در حد فاصل دکل های ۳۹و۴۰ از زیر این خط عبور می نمایند ودر اثر افتادن سیم های خط ۴۰۰ کیلو ولت بر روی آنها دچار پاره گی سیم ها و قطعی کلیه خطوط مزبور شد ولی به دکل های ۲۳۰و۶۳ کیلو ولت آسیبی وارد نگردید.

خرابی خط مزبور-که برق بخشی از شهر تهران را تـأمین می‌نماید- موجب گردید که تا راه اندازی مجدد آن مناطقی از تهران با قطعی برق برنامه ریزی شده مواجه شوند و روزانه بیش از سه میلیارد ریال به قیمت آن روز به شرکت برق منطقه ای تهران زیان وارد شود. مدیریت برق تهران با توجه به اهمیت موضوع، بررسی علت سقوط دکلها را به مهندسین مشاور سرزمین واگذار نمود.

۲- چکیده

جهت پی بردن به علت خرابی و سقوط دکلهای شماره T.41,T.40,T.39خط۴۰۰ کیلوولت دو مداره شهید رجائی- رودشور که در خرداد ماه ۸۱ رخ داد، بررسی های جامعی صورت پذیرفت.

بطورکلی طراحی دکلها بصورت یک سازه مستقل تحت بارگذاری های تعیین شده در استاندارد SSPB(Swedish State Power Board)صورت می پذیرد. پایه های مفروض در طراحی دکلهای آویزی (T.40,T.39) شامل بار مرده سازه، وزن سیم هاو تجهیزات متصل به آن، بار یخ به ضخامت ۲۵ میلیمتر و بارباد با سرعت ۴۰m/see می باشد که طبق استاندارد با ترکیبات مختلف به سازه اعمال می شوند و به روش الاستیک خطی طراحی انجام می‌پذیرد.

دکل T.41همانگونه که در کروکی مسیر در شکل شماره (۱) نشان داده شده دارای زاویه ای حدود ۱۱درجه است که موجب می‌شود دکل همواره تحت یک نیروی افقی به سمت داخل زاویه قرار داشته باشد که در طراحی آن در نظر گرفته شده و در شرایط عادی دکل قادر به تحمل آن است. لذا سازه دکل T.41 از دو دکل دیگر قویتر می باشد و ستون های اصلی آن از روی شالوده تا گوشواره اول دوبله نبشی و از آن محل به بالا تک نبشی است که خرابی آن نیز در همین محل رخ داده است.

نحوه خرابی دکلها و موقعیت آنها نسبت به یکدیگر حاکی از آن بود که علی الاصول با ایجاد خرابی در یک دکل، دو دکل دیگر تحت شرایط بارگذاری غیر عادی قرارگرفته و دچار خرابی شده‌اند.

۲- چکیده -ادامه

نظر به اینکه ماهیت رفتاری که رخ داده بود ناشناخته بود، لذا در اولین قدم سه سناریوی زیر مورد بررسی قرار گرفت؛

۱- خرابی ابتدا در دکل شماره T.41بروز نموده و متعاقباً به دکلهای T.39 و T.40تسری یافته است.

۲- خرابی ابتدا در دکل شماره T.40 رخ داده و موجبات خرابی در دکل های مجاور را فراهم نموده است.

۳- خرابی ابتدا در دکل شماره T.39 رخ داده و باعث خرابی در دکلهای T.40وT.41 شده است.

در این مقاله بطور اجمالی مراحل بررسی شامل تحلیلهای انجام یافته اولیه، جمع بندی اولیه و سپس تحلیلهای مربوط به تعیین مسیر خرابی دکلها ارائه شده است.

کلمات کلیدی: خط انتقال، دکل، رفتارغیرخطی هندسی،خرابی(رفتار غیر خطی مصالح، کمانش،جاری شدن در کشش، لهیدگی)، واژگونی، فروافتادن

۳- روش انجام بررسی

پس از ابلاغ کار به مشاور، برای بررسی وضعیت، در تاریخ ۸۱/۳/۹ از محل بازدید بعمل آمد و انجام نقشه برداری از محل برای اطلاع از موقعیت دقیق استقرار دکلها نسبت بیکدیگر و همچنین دریافت اطلاعات هواشناسی در زمان وقوع حادثه و نقشه های اجرائی دکلها جهت تهیه مدلهای ریاضی آنها برای انجام محاسبات فنی در دستور کار قرار گرفت.

نقشه موقعیت استقرار دکلها توسط کارفرما تهیه و همراه با نقشه های ساخت آنها (Shop Drawing) دراختیار این مهندسین مشاور قرار داده شد.

براساس اطلاعات دریافتی مبادرت به تهیه مدل های محاسباتی هر سه دکل گردید. به دلیل خرابی دستگاه اندازه گیری مشخصات باد در محل، متأسفانه دریافت اطلاعات دقیق باد از اداره هواشناسی مقدور نشد.

لذا با توجه به اینکه طراحی دکلها در صنعت برق در ایران عموماً براساس استاندارد SSPB صورت میپذیرد، بارگذاری باد بر طبق آن استاندارد و با سرعت باد مبنا به میزان $V_S = 40^{m/sec}$، که برای منطقه مورد نظر توصیه شده است، انجام یافت.

نیروهای وارد بر دکلها ناشی از سیمها نیز براساس فرمولهای ارائه شده در استاندارد فوق الذکر و با توجه به موقعیت واقعی دکلهای مورد نظر محاسبه شد.

۳- روش انجام بررسی -ادامه

اطلاعات مربوط به مشخصات خط 400 kv، تعداد هادی در هر فاز، نوع هادی، تعداد و نوع شیلد وایر، تعداد زنجیره ها در هر فاز و تعداد مقره در هر زنجیره آویزی و کششی و نوع آنها از دفتر فنی نظارت بر شبکه به شرح زیر دریافت شد؛

- هر مدار خط بصورت سه باندله می باشد. (تعداد ۳ هادی در هر فاز)
- شیلد وایر دو رشته از نوع هادی 7NO8
- نوع هادی Curlew با مقطع ۵۹۱/۲ میلیمتر مربع
- تعداد زنجیره در هر فاز بر روی دکلهای آویزی ۲ زنجیره و بر روی دکلهای کششی ۳ زنجیره می باشد.
- تعداد مقره در هر زنجیره آویزی ۲۳ عدد و در هر زنجیزه کششی ۲۵ عدد از نوع چینی ساخت NGK می باشد.

اطلاعات مربوط به طول دقیق سیم حد فاصل دکلهای مورد مطالعه در دسترس نبود. لذا با استفاده از روابط موجود در استاندارد وزارت نیرو محاسبه گردید.

با توجه به زمان وقوع حادثه بارهای وارد بر دکلها شامل وزن هر دکل، نیروی باد وارد بر هر دکل، نیروهای ناشی از وزن و بار باد وارد بر سیم های رابط بین دکلهای مجاور و درجه حرارت محیط می‌باشد.

۳- روش انجام بررسی -ادامه

نظر به اینکه در یک گزارش وقوع گردباد عامل خرابی مطرح گردیده بود، لذا سعی شد تا نیروهائی بصورت گردباد با سرعت باد به میزان $V=60\ ^{m/sec}$ محاسبه و به دکلها وارد شود و اثر آن مورد بررسی قرار گیرد.

همچنین با توجه به اینکه در شرایط باد شدید احتمال برخورد سیم ها به بدنه دکل ها و یا برخورد فازها بیکدیگر و ایجاد اتصال کوتاه وجود دارد، نیروهای ناشی از اتصال کوتاه نیز محاسبه و به دکل شماره T.41 اعمال گردید.

مشخصات مقاطع و نوع فولاد مصرفی، St-52، براساس اطلاعات موجود در نقشه های مربوطه در محاسبات بکار رفته است.

تحلیل سازه ها با برنامه SAP90 انجام پذیرفته است.

۳- روش انجام بررسی -ادامه

SARZAMIN consulting eng. — CALCULATION SHEET

For:

Subject: محاسبه طول سیم حد فاصل دکلها

Sheet ۹ of ۱۱۱ Sheets

محاسبه طول سیم حد فاصل دکلهای ۳۹-۴۰ و ۴۰-۴۱

طول سیم حد فاصل دکلها برای شرایط موجود، با استفاده از روابط ارائه شده در استاندارد وزارت نیرو به شرح زیر محاسبه شده است:

$$L_h = L_0 + \frac{h^2}{2S}$$

$$L_0 = S + \frac{S^3}{24a^2}$$

$$a = \frac{H}{w}$$

$H = 0.15\,(UTS) = 0.15 \times 16843 = 2526\ Kg$

$w = 1.98\ kg/m$

$a = 1276$

لذا، طول سیم بین دکلهای ۳۹-۴۰ با توجه به فاصله و ارتفاع آنها برابر است با:

$$L_0 = 398.34 + \frac{398.34^3}{24 \times 1276^2} = 399.96\ m$$

$$L_h = 399.96 + \frac{14^2}{2 \times 398.34} = 400.21\ m$$

و فاصله سیم بین دکلهای E۰، E۱ برابر است با:

$$L_0 = 302.99 + \frac{302.99^3}{24 \times 1276^2} = 303.7\ m$$

$$L_h = 303.7 + \frac{1.7^2}{2 \times 302.99} = 303.71\ m$$

۳- روش انجام بررسی -ادامه

SARZAMIN consulting eng. — CALCULATION SHEET

For:

Subject: محاسبه نیروی سیم ناشی از باد

Sheet ۱۶ of ۱۱۱ Sheets

محاسبه نیروی سیم ناشی از باد وارد بر دکل‌ها

نیروهای سیم ناشی از باد وارد بر دکل با استفاده از فرمول‌های آئین‌نامه SSPB برای شرایط مورد بررسی طبق جدول ذیل محاسبه شده است.

شماره دکل	استاد فشار باد	زاویه دکل	استاد آویز	C_1^{kg}	C_2^{kg}	C_3^{kg}	C_4^{kg}	C_5^{kg}	C_6^{kg}	S_1^{kg}	S_2^{kg}
T.39	90°	0°	Vert.	3712	3712	3712	3712	3712	3712	370	370
			Tran.	3797	3797	3797	3797	3797	3797	386	386
			Long	0	0	0	0	0	0	0	0
	45°		Vert.	3712	3712	3712	3712	3712	3712	370	370
			Tran.	1898	1898	1898	1898	1898	1898	193	193
			Long.	74	74	74	74	74	74	3	3
T.40	90°	2°	Vert.	3285	3285	3285	3285	3285	8285	342	342
			Tran.	4433	4433	4433	4433	4433	4433	467	467
			Long.	0	0	0	0	0	0	0	0
	45°		Vert.	3285	3285	3285	3285	3285	3285	342	342
			Tran.	2408	2408	2408	2408	2408	2408	260	260
			Long.	75	75	75	75	75	75	3	3
T.41	90°	11°	Vert.	3965	3965	3965	3965	3965	3965	372	372
			Tran.	7676	7676	7676	7676	7676	7676	874	874
			Long.	1	1	1	1	1	1	0	0
	45°		Vert.	3965	3965	3965	3965	3965	3965	372	372
			Tran.	4887	4887	4887	4887	4887	4887	584	584
			Long.	90	90	90	90	90	90	4	4

درجه حرارت محیط در محاسبات ۱۵° فرض شده است.

۴- تحلیلهای انجام یافته اولیه

همانگونه که در چکیده ذکر شده، سه سناریو مورد بررسی قرار گرفته است. تحلیلهائی که در هر سناریو انجام پذیرفته، بشرح زیر است؛

سناریو۱:

در این سناریو رفتار دکل شماره T.41 تحت بارگذاریهای محتمل مورد بررسی قرار گرفته تا ملاحظه شود که آیا اساساً امکان بروز خرابی در آن تحت شرایط مفروض وجود دارد یا خیر.

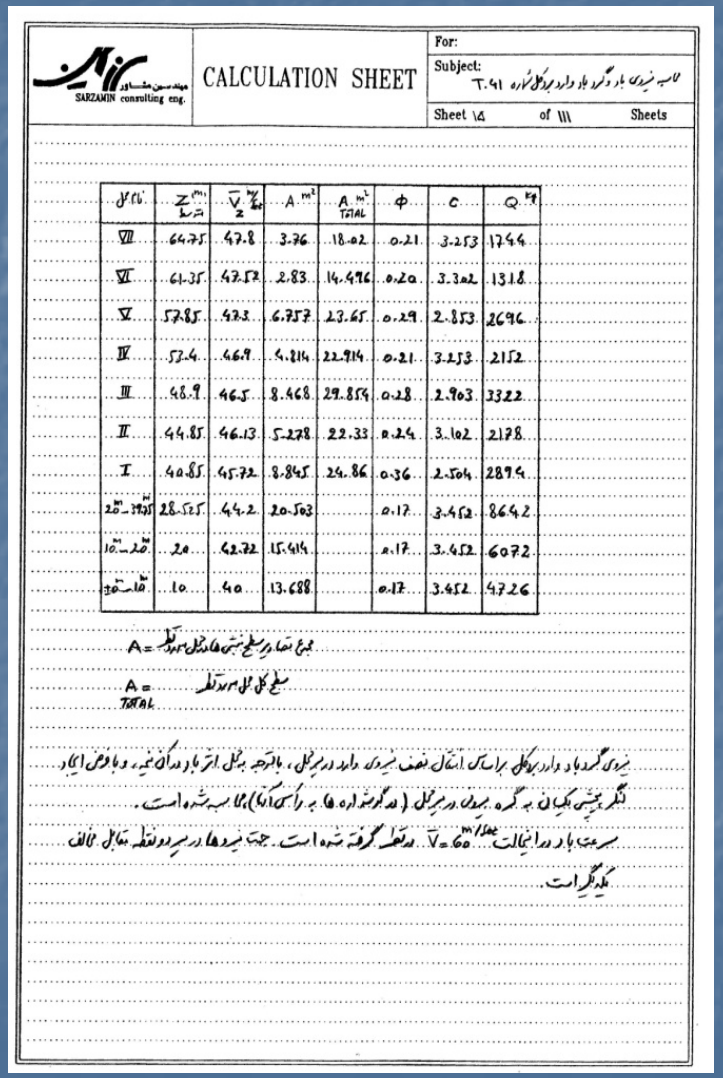
تحلیل های انجام یافته در این بخش مشتمل است بر؛

- بار باد در جهات مختلف+ وزن دکل+ نیروهای ناشی از وزن و بار باد وارد بر سیم های متصل به آن+ درجه حرارت محیط
- بار ضربه ناشی از اتصال کوتاه
- گردباد+ وزن دکل+ نیروهای ناشی از وزن و بار باد وارد بر سیم های متصل به آن+ درجه حرارت محیط
- ترکیب حالات ۱-۱ و ۱-۲
- ترکیب حالات ۱-۳ و ۱-۲

ملاحظه می‌شود که اگر چه احتمال وقوع نیروی اتصال کوتاه بطور همزمان در کلیه فازها بسیار کم است، مع‌الوصف این بارگذاری نمی تواند اثر تعیین کننده‌ای داشته باشد.

۴- تحلیلهای انجام یافته اولیه

سناریو۱- ادامه



SARZAMIN consulting eng. | CALCULATION SHEET | For: | Subject: T.91 محاسبه نیروی باد و گردباد وارد بر پرتکل شماره | Sheet ۱۵ of ۱۱۱ Sheets

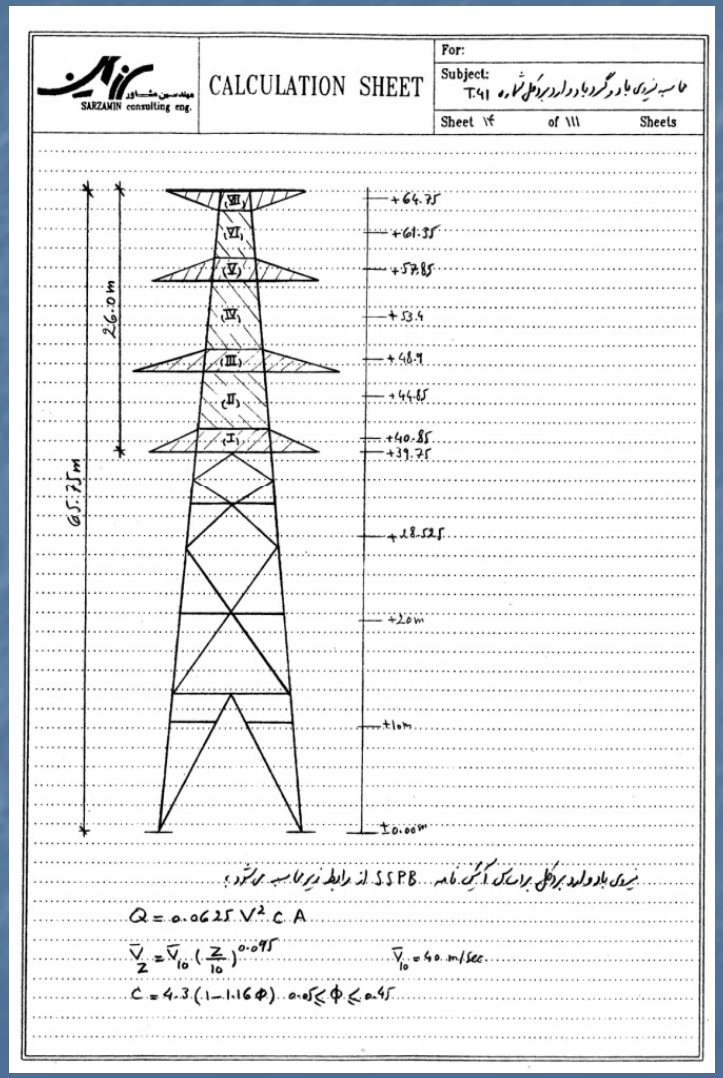
تراز کل	Z^{m}	$\bar{V}_z^{m/sec}$	A^{m^2}	$A^{m^2}_{TOTAL}$	ϕ	C	Q^{kg}
VII	64.75	47.8	3.76	18.02	0.21	3.253	1744
VI	61.35	47.52	2.83	14.496	0.20	3.302	1318
V	57.85	47.3	6.757	23.65	0.29	2.853	2696
IV	53.4	46.9	4.814	22.914	0.21	3.253	2152
III	48.9	46.5	8.468	29.859	0.28	2.903	3322
II	44.85	46.13	5.278	22.33	0.24	3.102	2178
I	40.85	45.72	8.845	24.86	0.36	2.504	2899
$25^{m}-17^{m}$	28.525	44.2	20.503		0.17	3.452	8642
$17^{m}-10^{m}$	20	42.72	15.414		0.17	3.452	6072
$10^{m}-\pm0^{m}$	10	40	13.688		0.17	3.452	4726

A = مجموع تصاویر سطح بیشتر هادر تراز مورد نظر

A_{TOTAL} = سطح کل تل در تراز مورد نظر

نیروی گردباد وارد بر پرتکل برای یک استال نصف نیروی وارد بر پرتکل، با توجه به تکل اثر باد و دامنه نیز، و با فرض ایجاد تنگی پیچش یکسان به گره بیرونی در پرتکل (به گره شماره ۱۰) به راستای (۱۰) محاسبه شده است.

سرعت باد در ارتفاعات $\bar{V}=60^{m/sec}$ در نظر گرفته شده است. جهت نیروها در سر دو نقطه متقابل خلاف یکدیگر است.



SARZAMIN consulting eng. | CALCULATION SHEET | For: | Subject: T.91 محاسبه نیروی باد و گردباد وارد بر پرتکل شماره | Sheet ۱۴ of ۱۱۱ Sheets

نیروی باد وارد بر پرتکل برای یک ارتفاع نامعین از SSPB از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

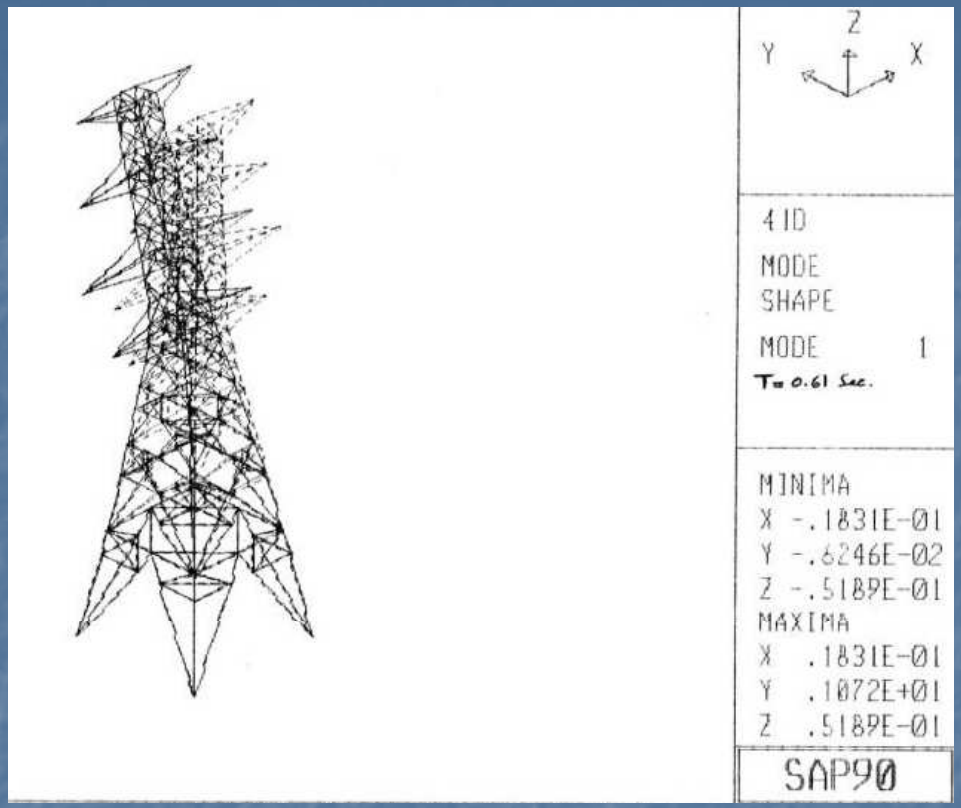
$$Q = 0.0625\, V^2 \cdot C \cdot A$$

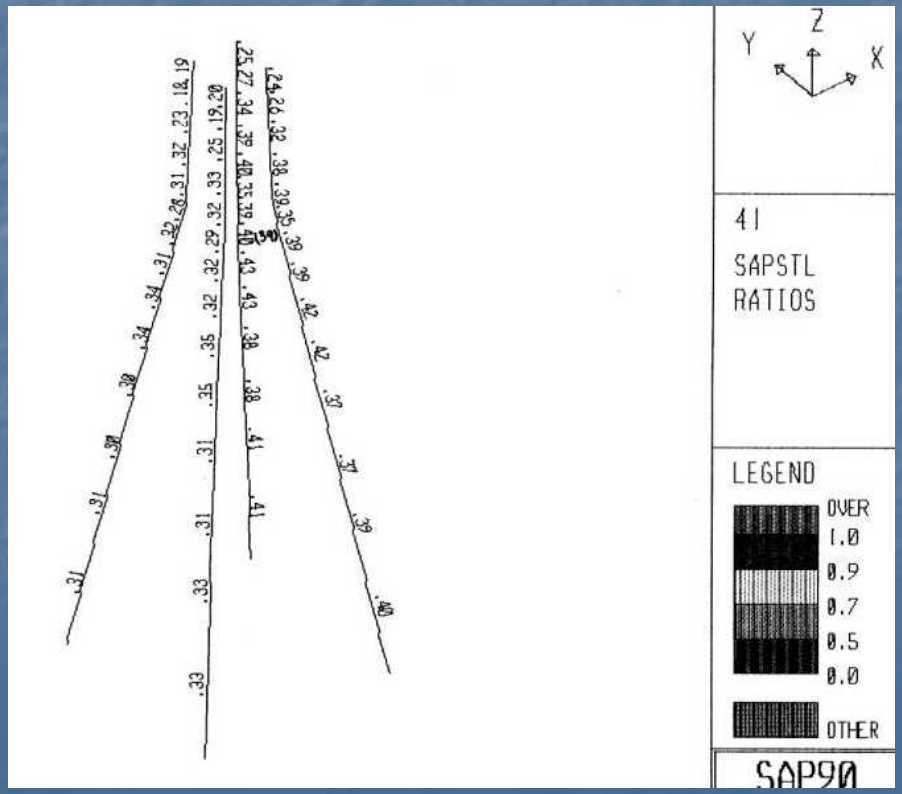
$$\bar{V}_z = \bar{V}_{10}\left(\frac{Z}{10}\right)^{0.095} \qquad \bar{V}_{10} = 40\ m/sec$$

$$C = 4.3(1-1.16\Phi) \quad 0.05 \le \Phi \le 0.45$$

۴- تحلیلهای انجام یافته اولیه

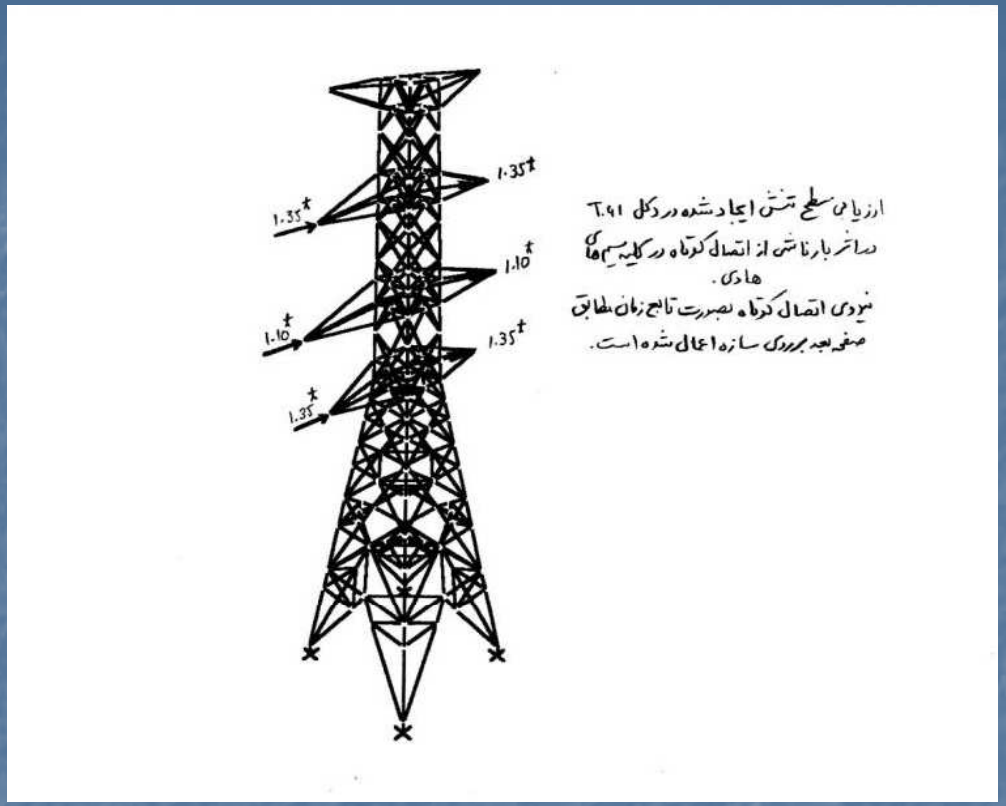
سناریو۱-ادامه



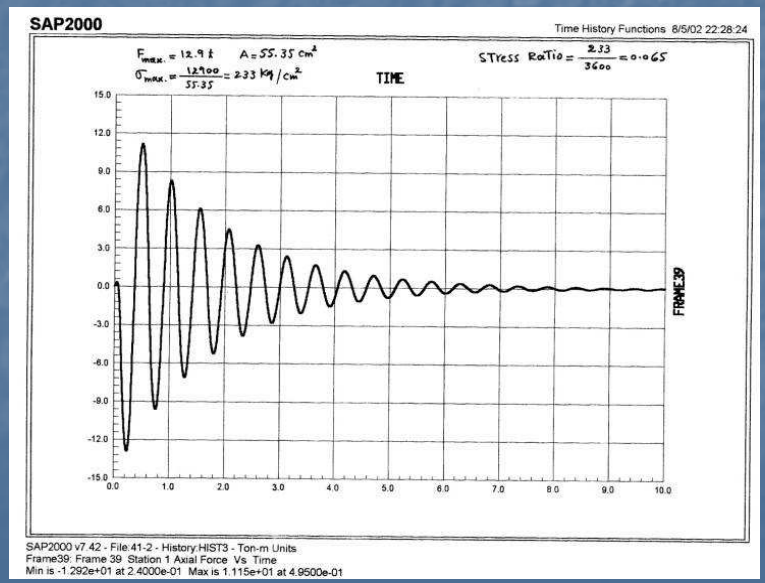


۴- تحلیلهای انجام یافته اولیه

سناریو۱-ادامه



ارزیابی سطح تنش ایجاد شده در کل T.91
در اثر بارهای ناشی از اتصال کوتاه در کلیه سیم های
هادی.
نیروی اتصال کوتاه بصورت توابع زمان مطابق
صفحه بعد بر روی سازه اعمال شده است.



۴- تحلیلهای انجام یافته اولیه

سناریو۲:

در این سناریو رفتار دکل T.39 تحت بارگذاری های زیر مورد بررسی قرار گرفته است.

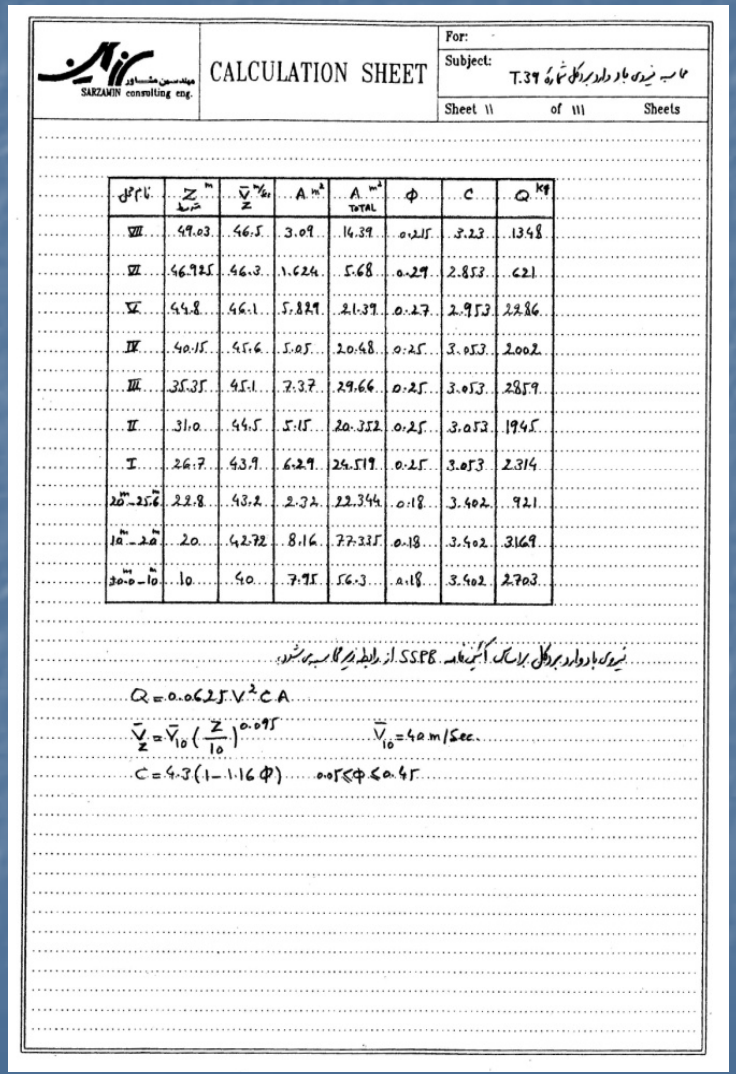
۲-۱- بار باد در جهات مختلف + وزن دکل+نیروهای ناشی از وزن و بار باد وارد بر سیم های متصل به آن + درجه حرارت محیط

سطح تنشهای ایجاد شده در اجزای مختلف و حداکثر آن همراه با پریود مود اول سازه در صفحات بعدی ارائه شده است.

همچنین مشخصات دکل و بار باد وارد بر آن و سختی نسبی سازه در تراز های مختلف در شکل زیر مورد بررسی قرار گرفته است تا در تبیین نحوه خرابی آن مورد استفاده قرار گیرد.

۴- تحلیلهای انجام یافته اولیه

سناریو۲-ادامه



CALCULATION SHEET

SARZAMIN consulting eng.

For:

Subject: T.39 محاسبه نیروی باد وارد بر دکل شماره

Sheet ۱۱ of ۱۱۱ Sheets

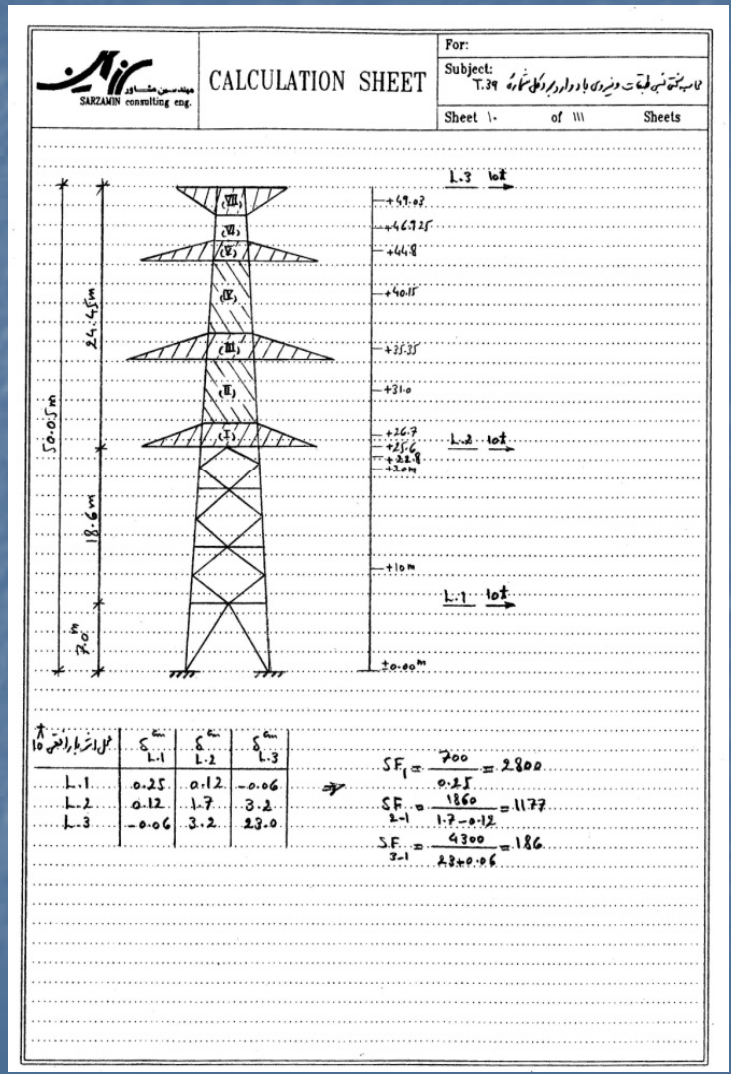
تراز	Z (m)	$\bar{V}_z$ (m/s)	A (m²)	A TOTAL (m²)	Φ	C	Q (kg)
VII	49.03	46.5	3.09	14.39	0.215	3.23	1348
VI	46.925	46.3	1.624	5.68	0.29	2.853	621
V	44.8	46.1	5.829	21.39	0.27	2.953	2286
IV	40.15	45.6	5.05	20.48	0.25	3.053	2002
III	35.35	45.1	7.37	29.66	0.25	3.053	2859
II	31.0	44.5	5.15	20.352	0.25	3.053	1945
I	26.7	43.9	6.29	24.519	0.25	3.053	2314
25-22.8	22.8	43.2	2.32	22.344	0.18	3.402	921
20-10	20	42.72	8.16	77.335	0.18	3.402	3169
10-0	10	40	7.95	56.3	0.18	3.402	2703

نیروی باد وارد بر دکل براساس آئین‌نامه SSPB از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Q = 0.0625 V^2 C A$$

$$\bar{V}_z = \bar{V}_{10} \left(\frac{Z}{10}\right)^{0.095} \qquad \bar{V}_{10} = 40 \text{ m/Sec}$$

$$C = 4.3(1 - 1.16\Phi) \qquad 0.05 \le \Phi \le 0.45$$



CALCULATION SHEET

SARZAMIN consulting eng.

For:

Subject: T.39 محاسبه تغییر طبقات و نیروی باد وارد بر دکل شماره

Sheet ۱۰ of ۱۱۱ Sheets

تراز اثر بار افقی 10t	$\delta_{L.1}$ cm	$\delta_{L.2}$ cm	$\delta_{L.3}$ cm
L.1	0.25	0.12	-0.06
L.2	0.12	1.7	3.2
L.3	-0.06	3.2	23.0

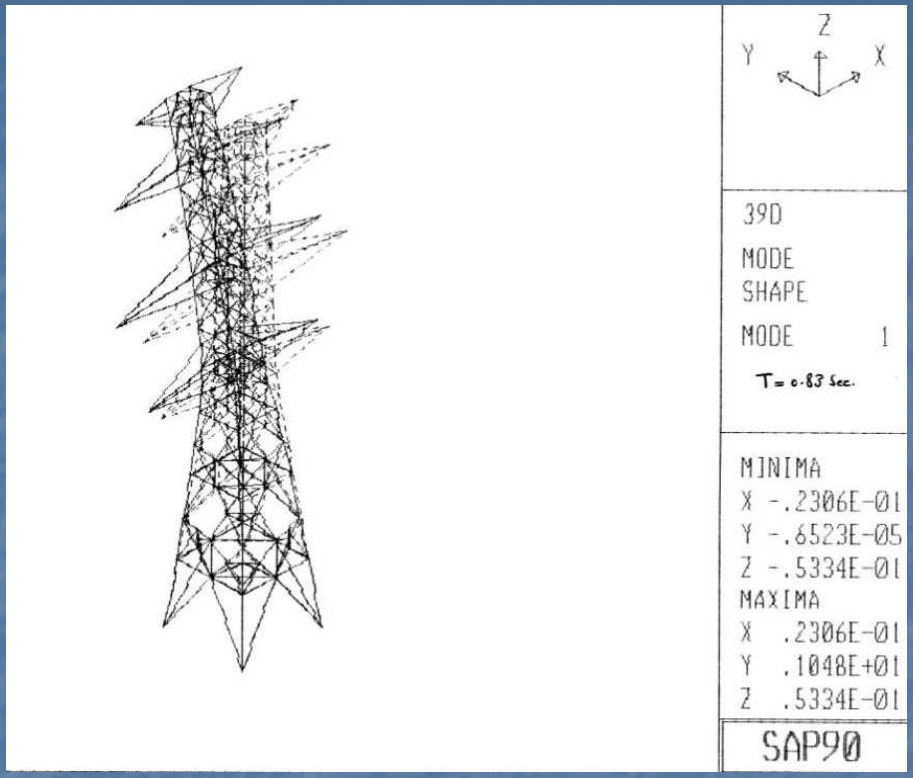
$$SF_1 = \frac{700}{0.25} = 2800$$

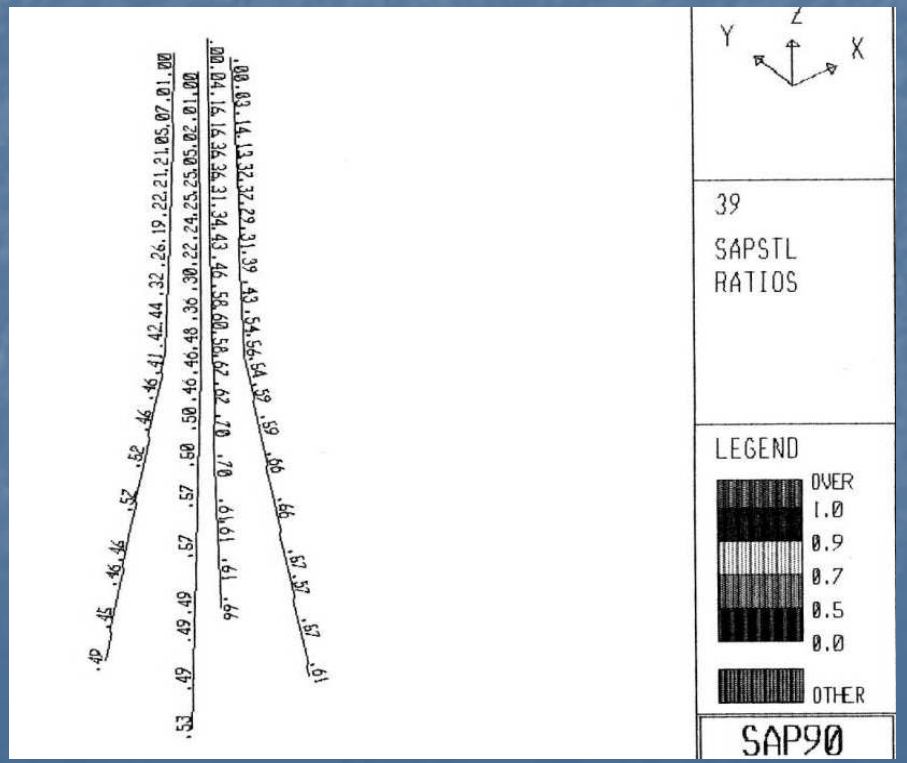
$$SF_{2-1} = \frac{1860}{1.7 - 0.12} = 1177$$

$$SF_{3-1} = \frac{4300}{23 + 0.06} = 186$$

۴- تحلیلهای انجام یافته اولیه

سناریو۲-ادامه





۴- تحلیلهای انجام یافته اولیه

سناریو۳:

در این سناریو رفتار دکل T.40 تحت بار گذاریهای زیر مورد بررسی قرار گرفته است.

۳-۱- بار باد در جهات مختلف+ وزن دکل+ نیروهای ناشی از وزن و بار باد وارد بر سیم های متصل به آن+ درجه حرارت محیط

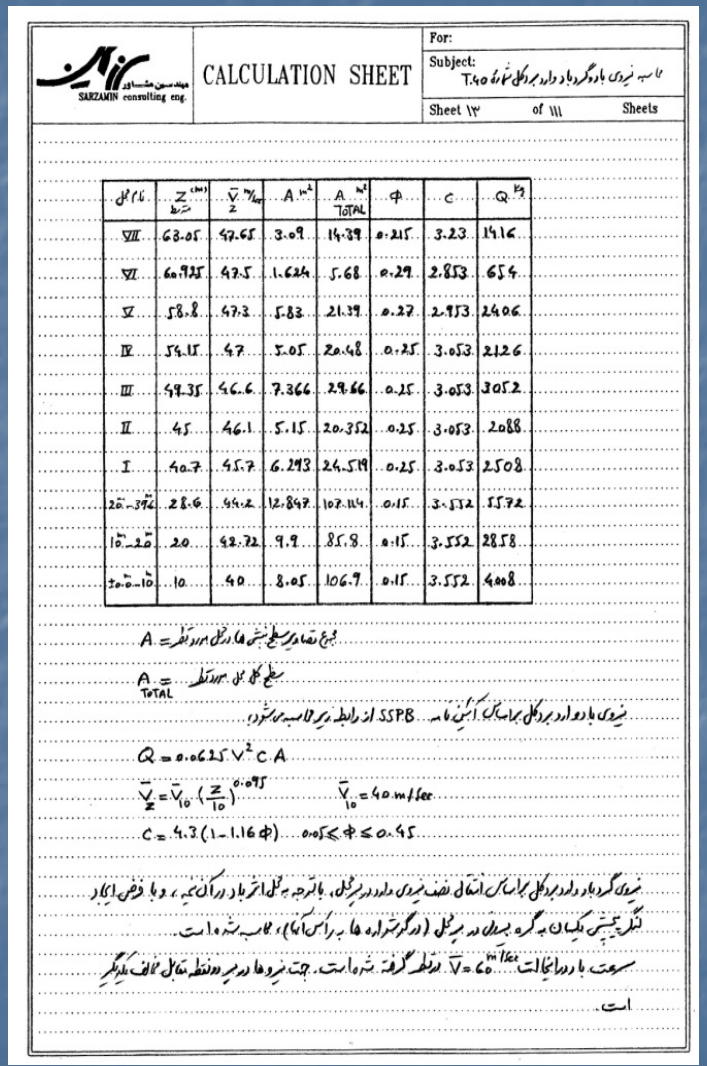
۳-۲- گردباد+ وزن دکل + نیروهای ناشی از وزن و بار باد وارد بر سیم های متصل به آن+ درجه حرارت محیط

مشخصات دکل و بار باد و گردباد وارد بر سازه در زیر همین صفحه و سطح تنشهای ایجاد شده در اجزای مختلف و حداکثر آن همراه با پریود مود اول سازه در صفحات بعدی ارائه شده است.

سختی نسبی سازه در ترازهای مختلف در شکل زیر مورد بررسی قرار گرفته است تا در تبیین نحوه خرابی آن مورد استفاده قرار گیرد.

۴- تحلیلهای انجام یافته اولیه

سناریو۳ -ادامه



SARZAMIN consulting eng.

CALCULATION SHEET

For:

Subject: محاسبه نیروی باد وگردباد وارد بر دکل شماره T.40

Sheet ۱۳ of ۱۱۱ Sheets

تراز کل	Z (m) برحسب	$\bar{V}_z$ m/sec	A m²	A_{TOTAL} m²	ϕ	C	Q kg
VIII	63.05	47.65	3.09	14.39	0.215	3.23	1416
VI	60.925	47.5	1.624	5.68	0.29	2.853	654
V	58.8	47.3	5.83	21.39	0.27	2.953	2406
IV	54.15	47	5.05	20.48	0.25	3.053	2126
III	49.35	46.6	7.366	29.66	0.25	3.053	3052
II	45	46.1	5.15	20.352	0.25	3.053	2088
I	40.7	45.7	6.293	24.519	0.25	3.053	2508
20~39.6	28.6	44.2	12.847	102.114	0.15	3.552	5572
10~20	20	42.72	9.9	85.8	0.15	3.552	2858
±0.00~10	10	40	8.05	106.9	0.15	3.552	4008

A = سطح تصاویر سطح بیشتر های دکل در دو نقطه

$\frac{A}{TOTAL}$ = سطح کل دکل در دو نقطه

نیروی باد وارد بر دکل براساس آئین نامه SSPB از رابطه زیر محاسبه میشود،

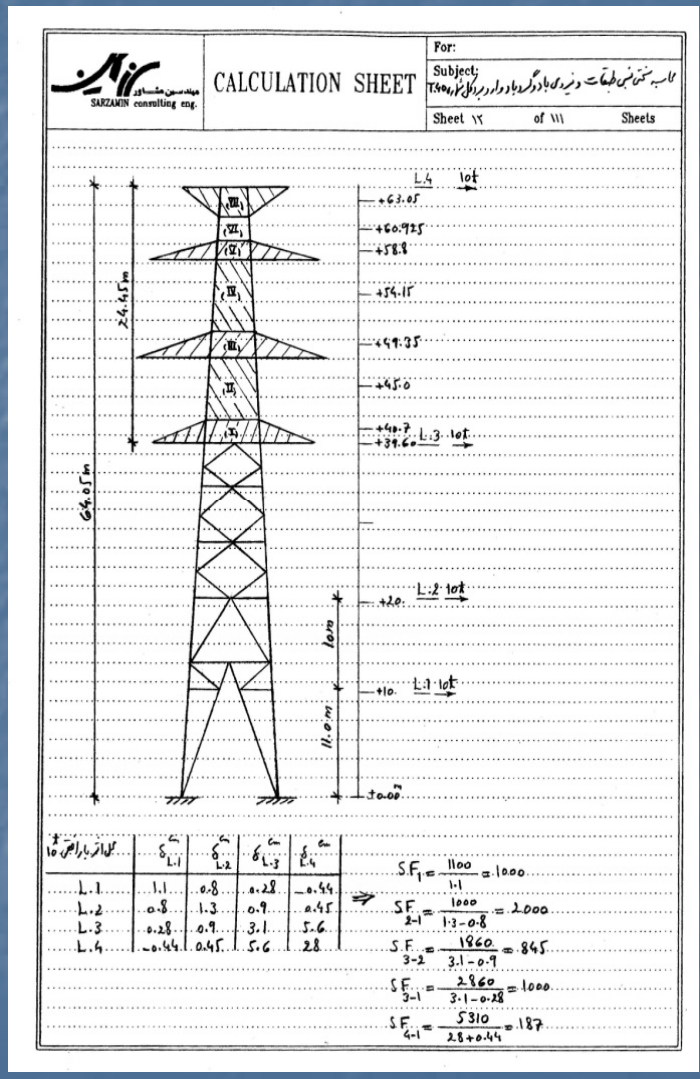
$$Q = 0.0625\, V^2\, C\, A$$

$$\bar{V}_z = \bar{V}_{10}\left(\frac{Z}{10}\right)^{0.095} \qquad \bar{V}_{10} = 40\ m/sec$$

$$C = 4.3(1-1.16\phi) \qquad 0.05 \le \phi \le 0.45$$

نیروی گردباد وارد بر دکل براساس انتهای نصف نیروی وارد بر دکل، با توجه به کل اثر باد در راکتیو، و با فرض ایجاد لنگر پیچشی یکسان به گره بعدی در دکل (در گوشه راه ها به راکس کنار)، محاسبه شده است.

سرعت باد در ارتفاعات $\bar{V} = 60\ km/hr$ در نظر گرفته شده است. جهت نیروها در هر دو نقطه متقابل خلاف یکدیگر است.



SARZAMIN consulting eng.

CALCULATION SHEET

For:

Subject: محاسبه تنش بین طبقات و نیروی باد و گردباد وارد بر دکل شماره T.40

Sheet ۱۲ of ۱۱۱ Sheets

کل اثر بار افقی 10t	$\delta_{L.1}$ cm	$\delta_{L.2}$ cm	$\delta_{L.3}$ cm	$\delta_{L.4}$ cm
L.1	1.1	0.8	0.28	-0.44
L.2	0.8	1.3	0.9	0.45
L.3	0.28	0.9	3.1	5.6
L.4	-0.44	0.45	5.6	28

$$S.F_1 = \frac{1100}{1.1} = 1000$$

$$S.F_{2-1} = \frac{1000}{1.3-0.8} = 2000$$

$$S.F_{3-2} = \frac{1960}{3.1-0.9} = 845$$

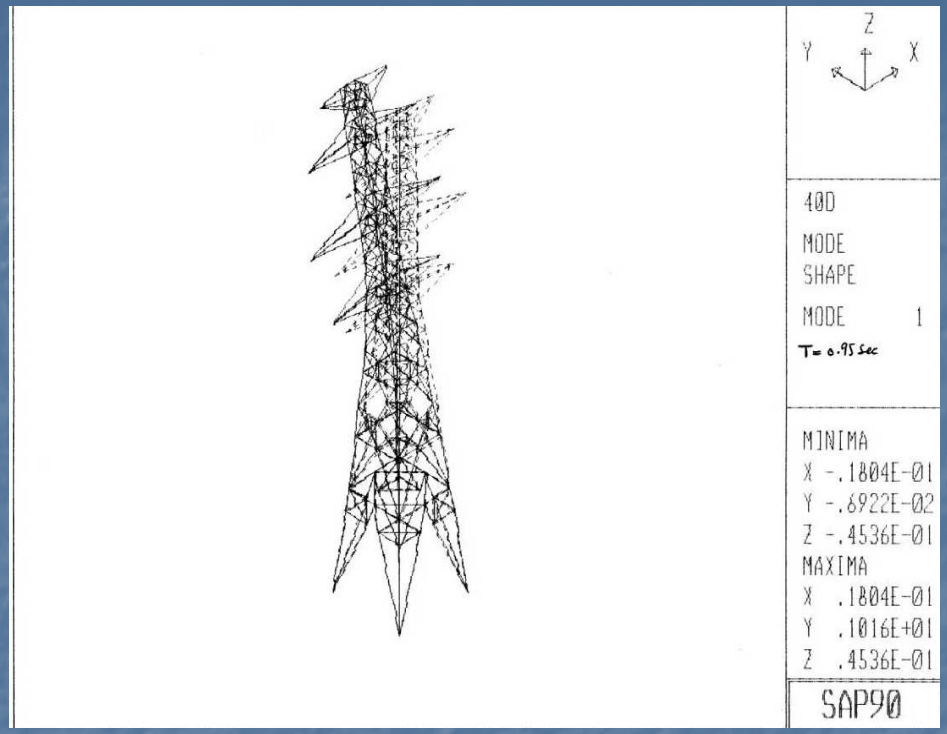
$$S.F_{3-1} = \frac{2960}{3.1-0.28} = 1000$$

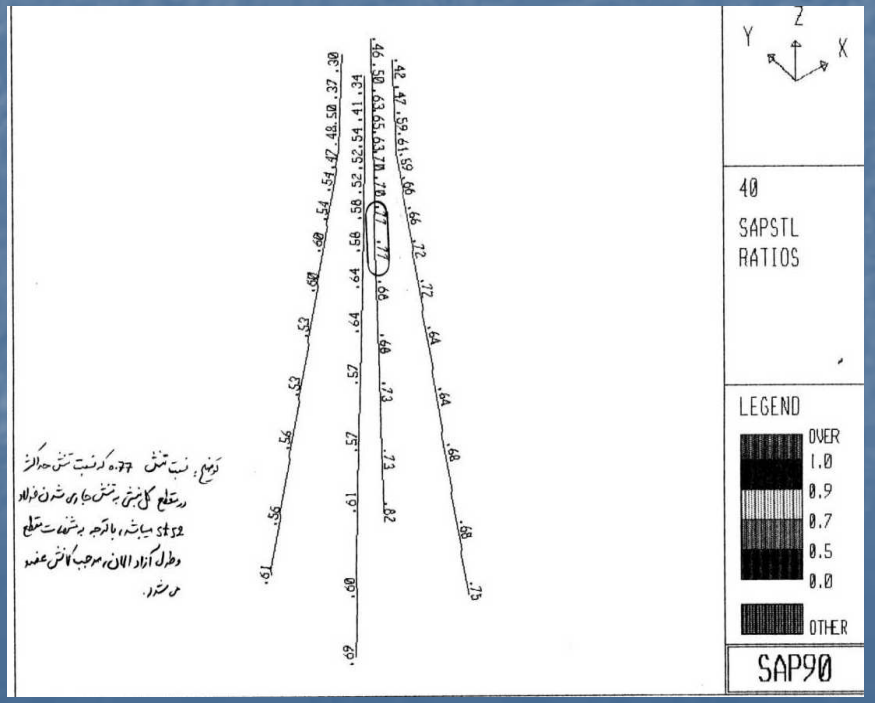
$$S.F_{4-1} = \frac{5310}{28+0.44} = 187$$

SARZAMIN Consulting eng.

۴- تحلیلهای انجام یافته اولیه

سناریو۳ -ادامه





۵- جمع بندی اولیه

با ملاحظه نتایج بدست آمده از تحلیلهای اولیه، مشخص گردید که سناریوهای ۱ و۲ نمیتوانند باعث شروع خرابی در دکلهای مورد نظر شوند.

نتایج بدست آمده از تحلیل رفتار دکل شماره T.40 تحت بار باد ۴۵ درجه در امتداد جنوب غربی- شمال شرقی نشان میدهد که در المانهای ستونی در بین ترازهای ۲۵+ تا ۲۹/۴+ متر شرایط بحرانی بوجود میآید و لذا بررسی دقیقتر این سناریو با ملحوظ نمودن رفتار غیر خطی اعضاء آن میتواند رفتار کلی سازه را مشخص کند و احتمالا نحوه بروز خرابی در دکلها را توضیح دهد.

۶- تحلیل های مربوط به تعیین مسیر خرابی دکلها

همانگونه که قبلاً بیان گردید،تحت بار باد ۴۵ درجهجنوب غربی- شمال شرقی ستون گوشه شمال شرقی دکل شماره T.40در ارتفاع ۲۵ تا ۲۹/۴ متری دچار کمانش شد.

با اصلاح مشخصات مکانیکی اعضاء کمانش یافته در مدل دکل T.40، سازه مجدداً مورد تحلیل قرار گرفت. ملاحظه شد که اعضای جدیدی وارد رفتار غیرخطی می شوند که با تکرار تحلیل با مشخصات مکانیکی اصلاح شده اعضاء مربوطه، خرابی سازه در ناحیه ۲۵ تا ۲۹/۴ متری متوقف می شود و سازه به مرحله ناپایداری کلی- واژگونی و سقوط- نمی رسد و بالطبع خرابی دکلهای T.40.T3.9 نیز قابل توجیه نیست.

لذا این نتیجه گیری بعمل آمد که قاعدتاً اندرکنش رفتار دکل T.40با دکل های T.39 وT.41 از طریق سیم های رابط آنها باید عامل خرابی بوجود آمده باشد. زیرا در برج T.41 که از نوع کششی است- همانگونه که قبلاً توضیح داده شده دارای سازه قویتری است و نقش تکیه گاهی ایفا می نماید- میزان تغییر شکل در اثر باد کمتر از میزان تغییر شکل دردکل T.40 می‌باشد. این تفاوت باعث ایجاد تغییر طول در سیم های رابط بین دو دکل نسبت به حالت اولیه می شود و در نتیجه موجب اعمال نیروهای اضافی به دکلها می گردد. همچنین رفتار غیر متعارف دکل T.40باعث ایجاد نیروهای اضافی در سیم های رابط دکلهای T.39,T.40 و اعمال بارهای اضافی به دکل T.39می شود.

۶- تحلیل های مربوط به تعیین مسیر خرابی دکلها-ادامه

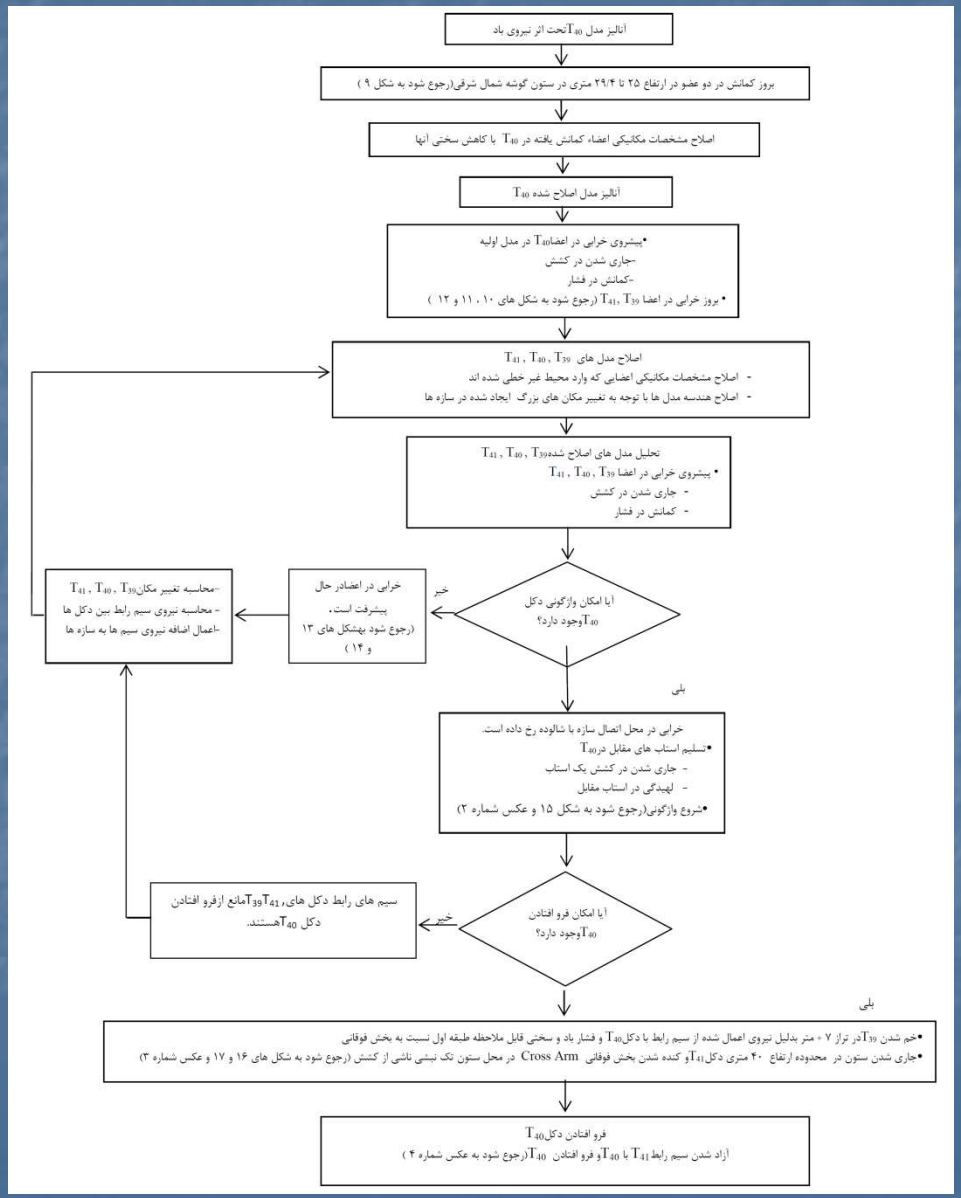
نظر به اینکه نرم افزاری که بتوان توسط آن مدل یکپارچه سیستم مورد نظر را تهیه و رفتار اندر کنشی دکلهای T.40,T.39 و T.41 و سیم های رابط بین آنها را بصورت مرحله به مرحله با ملحوظ نمودن تغییر مکانهای بزرگ(DisplacementLarge)-که مستلزم اصلاح هندسه هر سازه در هر تحلیل است- و همچنین تغییر مشخصات مکانیکی اعضائی که دچار کمانش یا جاری شدن در کشش و یا لهیدگی ناشی از فشار می شوند را در مدلها اعمال ومحاسبه نیروهای اضافی ایجاد شده در سیم های رابط بین دکلها در هر مرحله از تحلیل ناشی از تفاوت در تغییر شکل های ایجاد شده در سازه ها را محاسبه و به آنها اعمال و تحلیل مجدد سازه ها را انجام و نتایج را بررسی نمود وجود ندارد. لذا تحلیل سیستم بصورت یک مجموعه بهم پیوسته بصورت دستی وماشینی با مدل سازی هر دکل بصورت مستقل و تهیه نرم افزاری برای محاسبه نیروهای اضافی تولید شده در سیم ها ناشی از تفاوت در تغییر شکل های دکلهای مجاور و تحلیل مرحله به مرحله هر سازه با اصلاح هندسه آنها و تغییر مشخصات مکانیکی هر عضوی که وارد رفتار غیر خطیمی شوند گام به گام انجام پذیرفت تا ناپایداری در دکلها رخ داد و مسیر خرابی مشخص گردید.

۶- تحلیل های مربوط به تعیین مسیر خرابی دکلها-ادامه

در طی مسیر حلقه (Loop)فوق الذکرملاحظه می‌شود که بتدریج با افزایش تغییر مکان دکل T.40،نیروی سیم نیز زیادتر می گردد. زمانیکه نیروی سیم ها به حدود ۳/۵ تن میرسد، دکل شماره T.40 بدلیل جاری شدن و له شدن استاب ها دچار ناپایداری کلی گردیده و برروی تکیه گاههای خود چرخیده و شروع به واژگون شدن می نماید. در این مرحله سیم ها ی رابط بین T.40 با T.39 و T.41 با تحت کشش قرار گرفتن بیشتر، مانع از افتادن دکل T.40 می شوند و این در حالی است که نیروی کششی در داخل سیم ها رو به تزاید است. زمانیکه مقدار نیرو در سیم های بین T.40 وT.41به حدود ۷ تن میرسد، سطح تنش در اعضاء بالای Cross Arm اول دکلT.41به حدی میرسد که خرابی آن ناحیه بوقوع می‌پیوندد و در همین مرحله نیروی سیم بین T.40 و T.39 نیز افزایش یافته و خرابی T.39را موجب می شود. خرابی T.41 (کنده شدن ناحیه فوقانی آن) باعث آزاد شدن نیرو در سیم ها و افتادن T.40 برروی زمین میگردد. خرابی T.39با نیروی سیم در حدود 0.7 tشروع می شود ونحوه آن مشابه خرابی T.40 می باشد. لیکن با توجه به شرایط سازه از نظر سختی نسبی طبقات و مقاومت اعضاء آن، خرابی بصورت خمشدن ناحیه فوقانی بر روی تراز 7.0m+، بدلیل جاری شدن و له شدن المانهای تکیه گاهی در این ترازرخ میدهد.

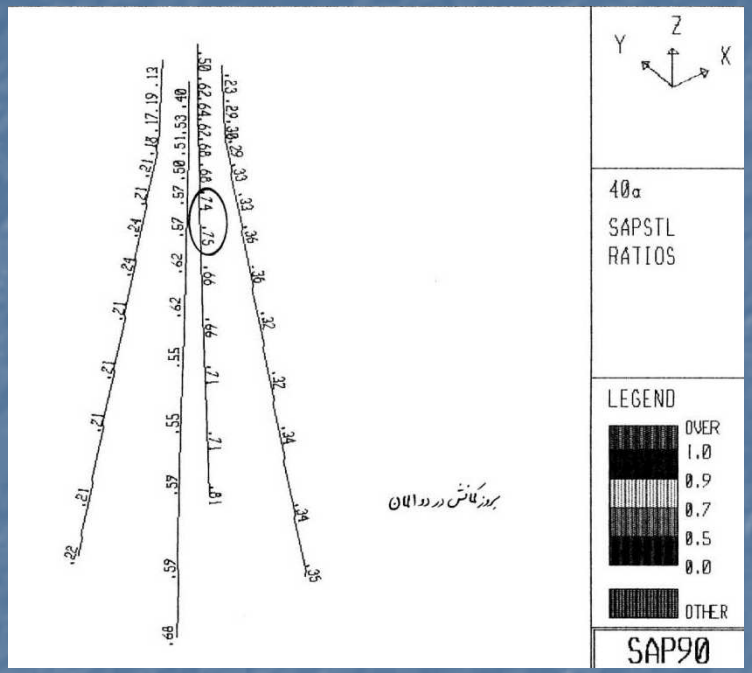
در صفحه بعد مراحل انجام بررسی بصورت یک فلوچارت ارائه گردیده و وضعیت هریک از سازه ها در مراحل مختلف با ارجاع به شکل ها و عکسهای مربوطه نشان داده شده است.

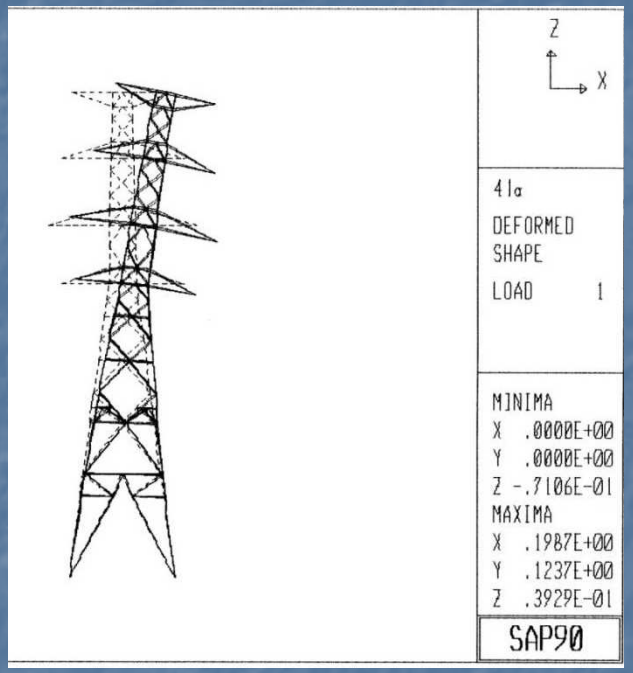
۶- تحلیل های مربوط به تعیین مسیر خرابی دکلها -ادامه



فلوچارت تعیین مسیر خرابی در دکلهای T_{41} , T_{40} , T_{39}

۶- تحلیل های مربوط به تعیین مسیر خرابی دکلها -ادامه





مرحله اول

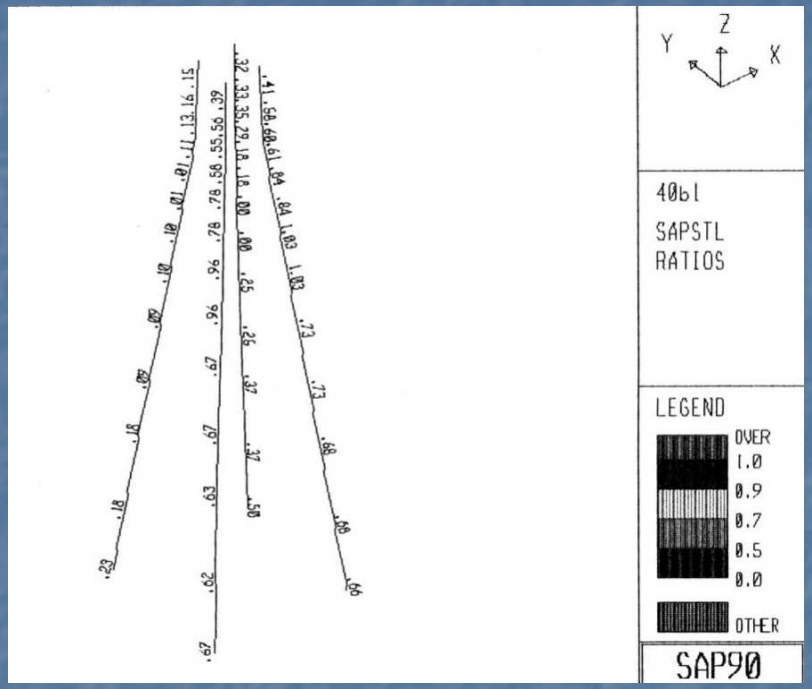
نیروی تعادل سیم رابط T.40 و T.41 :

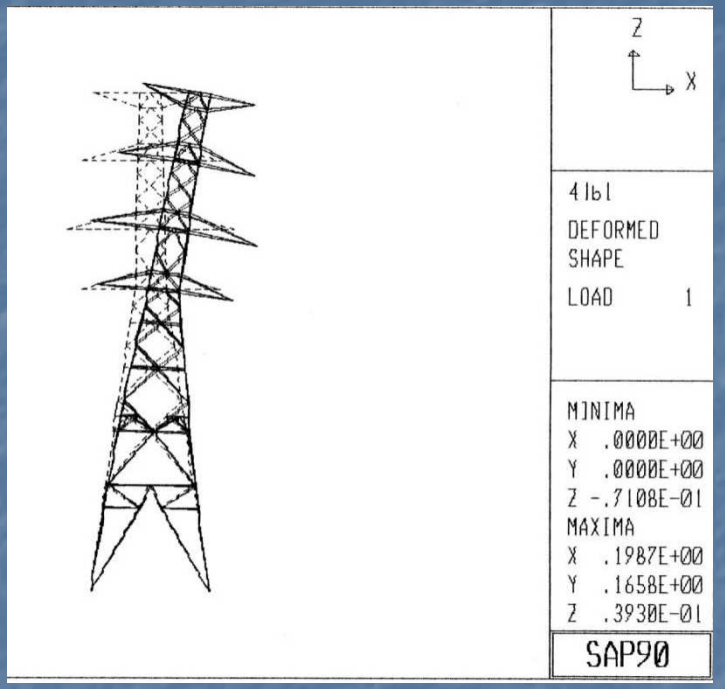
F_y = 1.04 t

F_X = 0.014 t

هندسه سازه : هندسه اولیه

۶- تحلیل های مربوط به تعیین مسیر خرابی دکلها -ادامه





مرحله دوم

(الف)

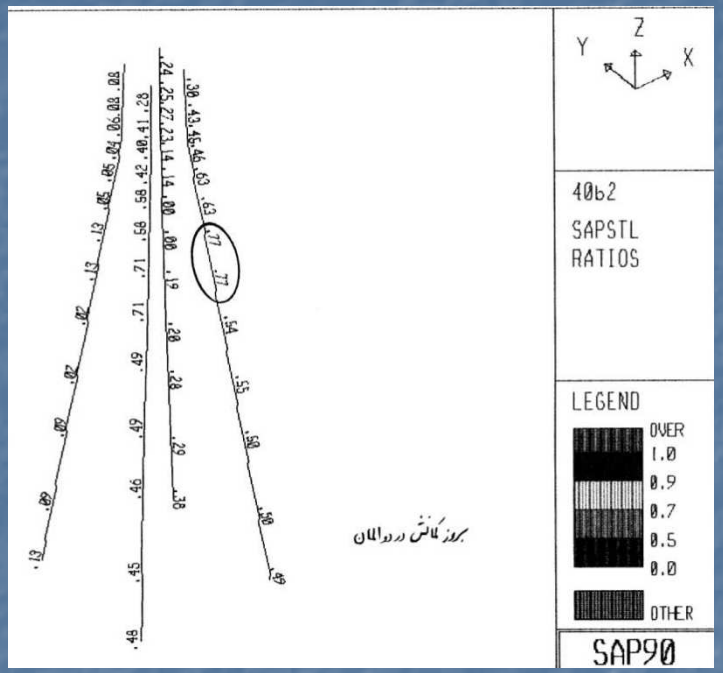
نیروی تعادل سیم رابط T.40 و T.41 :

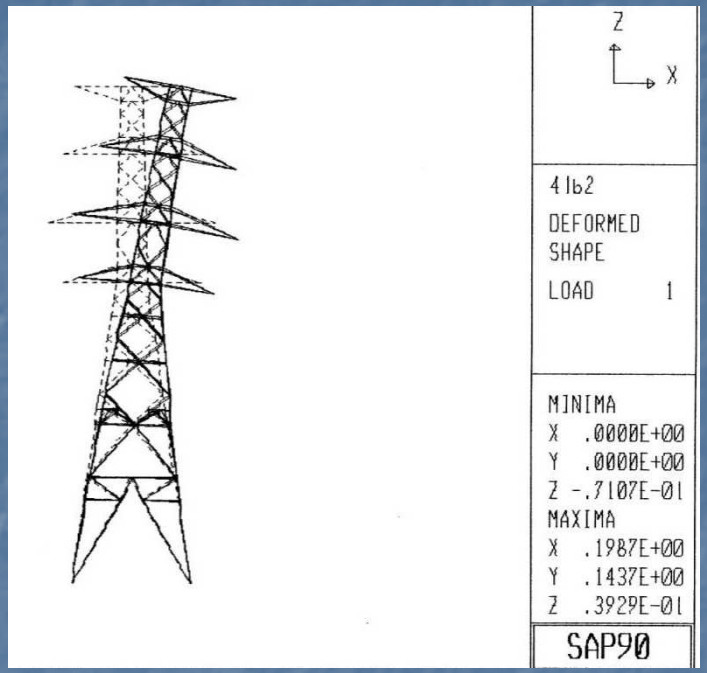
F_y = 2.66 t

F_x = 0.037 t

هندسه سازه : هندسه اولیه

۶- تحلیل های مربوط به تعیین مسیر خرابی دکلها -ادامه





مرحله دوم

(ب)

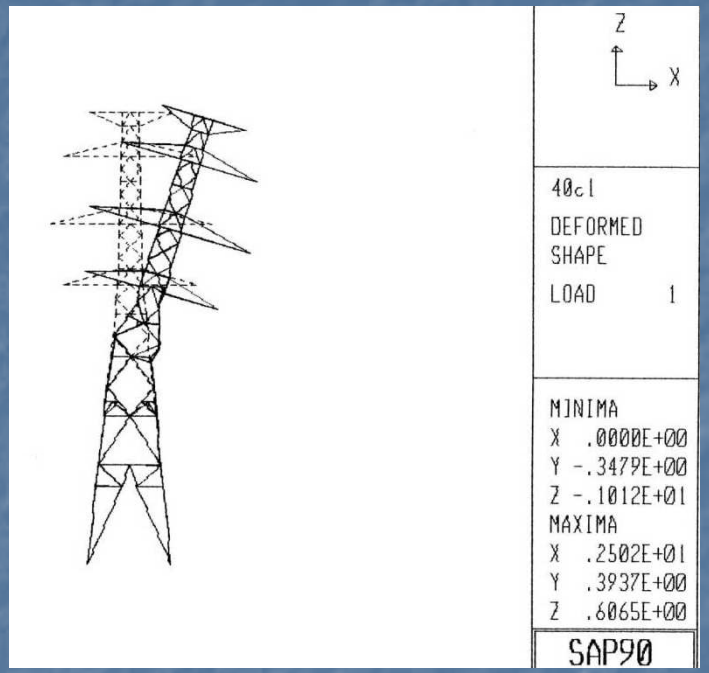
کاهش بار باد روی دکل T.40 بمیزان 0.72

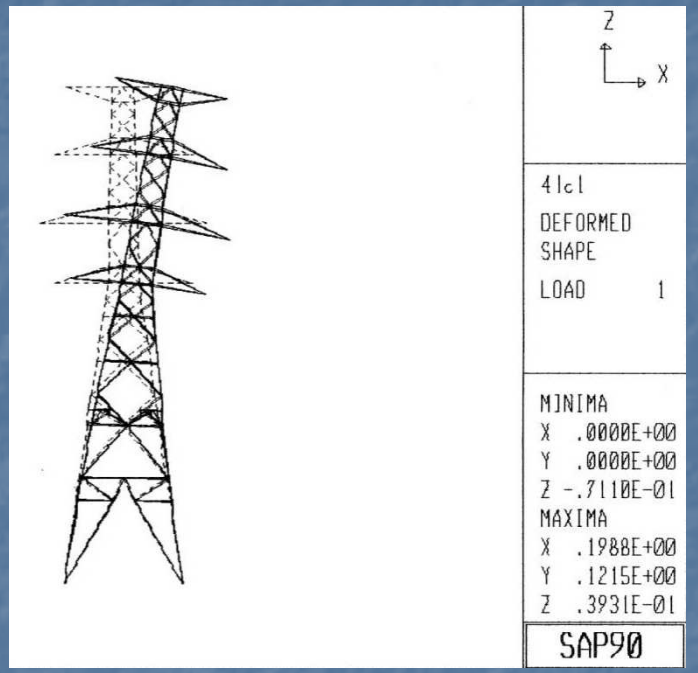
نیروی تعادل سیم رابط T.40 و T.41 : F_y = 1.81 t

F_x = 0.025 t

هندسه سازه : هندسه اولیه

۶- تحلیل های مربوط به تعیین مسیر خرابی دکلها -ادامه





مرحله سوم

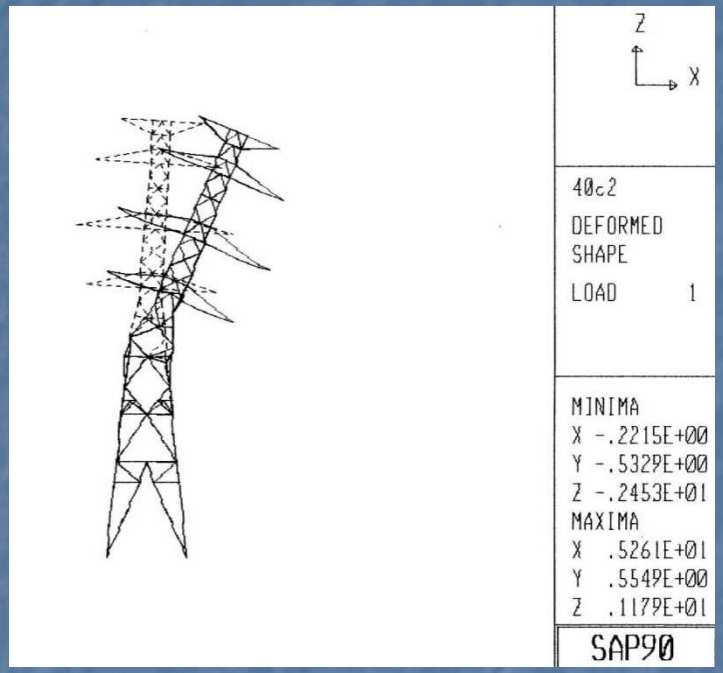
(الف)

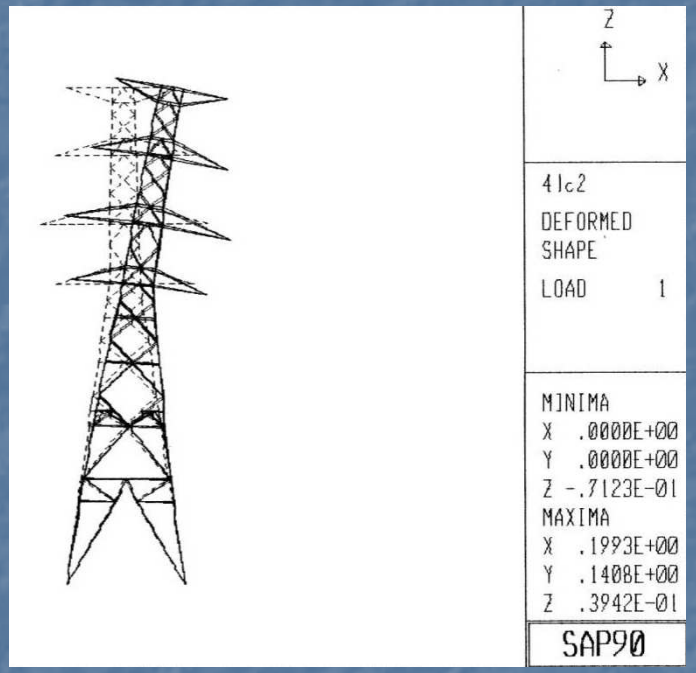
نیروی تعادل سیم رابط T.40 و T.41 : $F_y = 0.97\ t$

$F_x = 0.001\ t$

هندسه سازه : هندسه اولیه

۶- تحلیل های مربوط به تعیین مسیر خرابی دکلها -ادامه





مرحله سوم

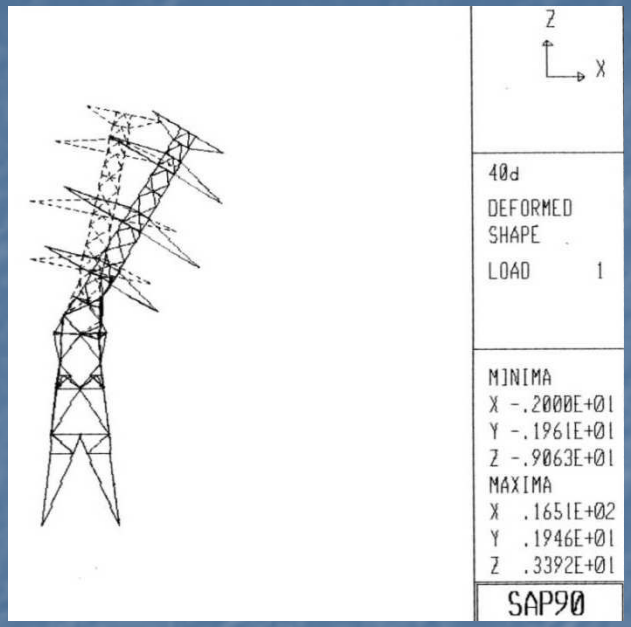
(ب)

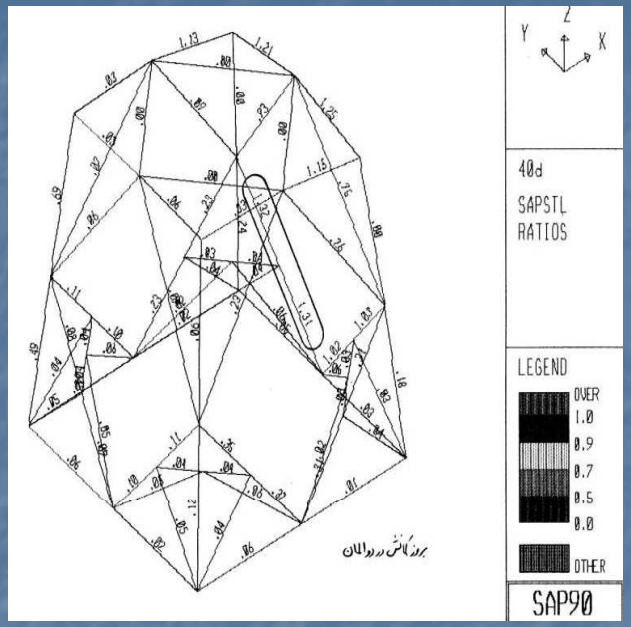
اصلاح هندسه سازه با توجه به تغییر مکانهای بزرگ

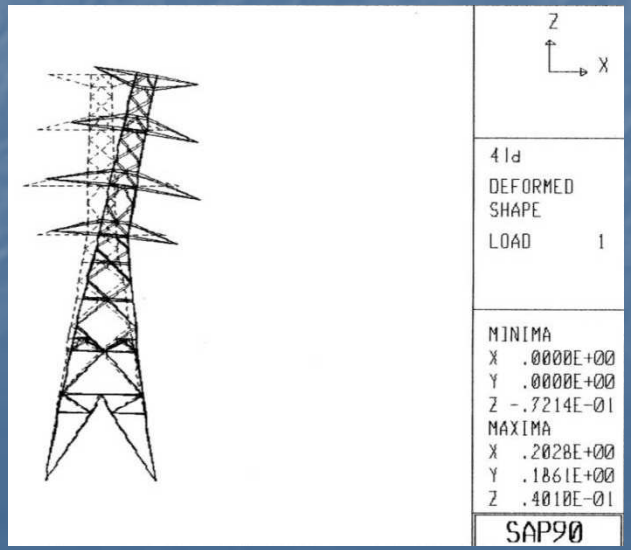
بار تعادل سیم رابط T.40 و T.41 : F_y = 1.7 t

F_X = 0.023 t

۶- تحلیل های مربوط به تعیین مسیر خرابی دکلها -ادامه







مرحله سوم

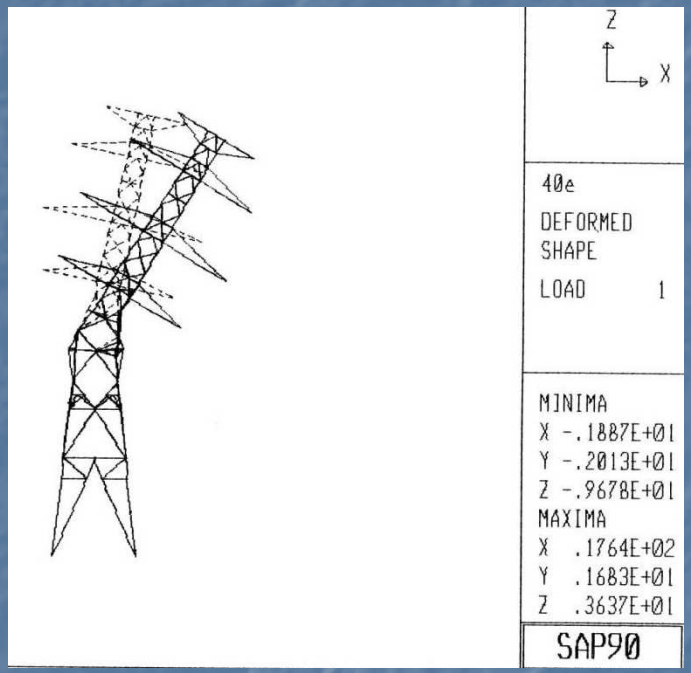
(پ)

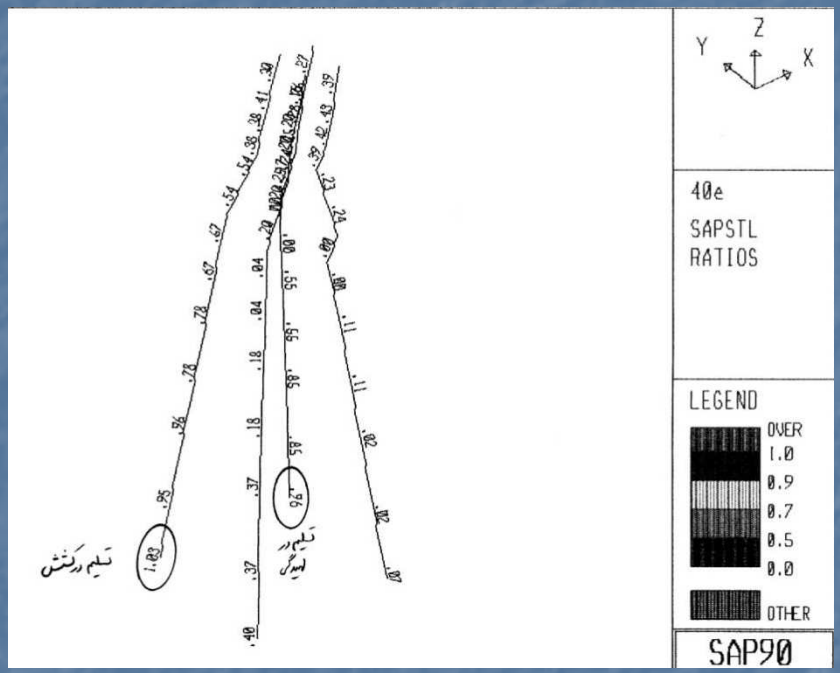
اصلاح هندسه سازه با توجه به تغییر مکانهای بزرگ

نیروی تعادل سیم رابط T.40 و T.41 : F_y = 3. 44 t

F_x = 0.048 t

۶- تحلیل های مربوط به تعیین مسیر خرابی دکلها -ادامه

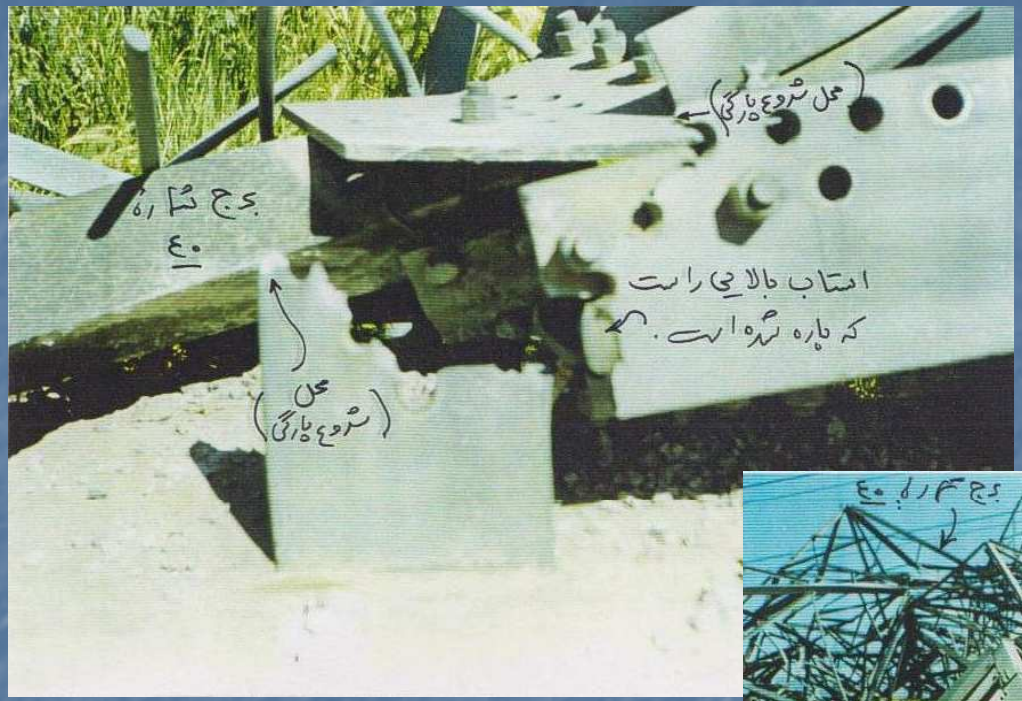




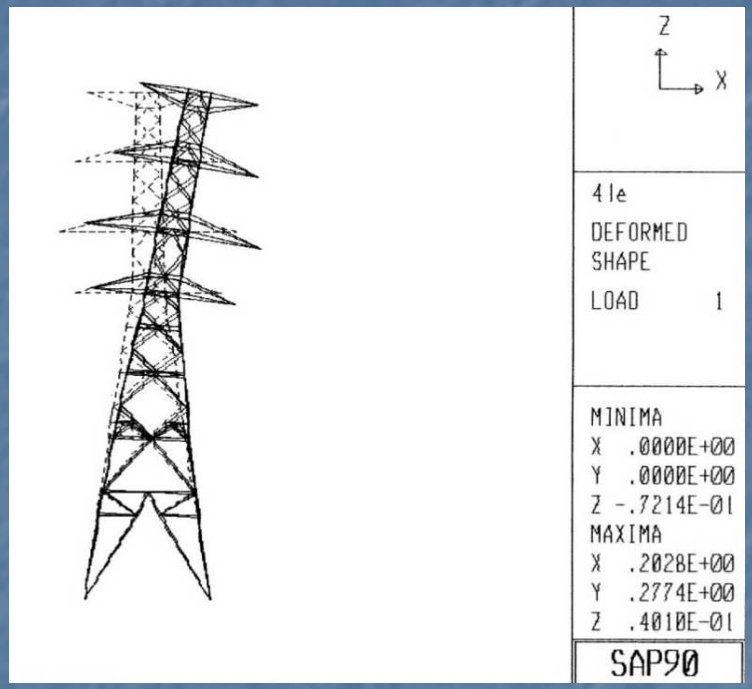
مرحله چهارم

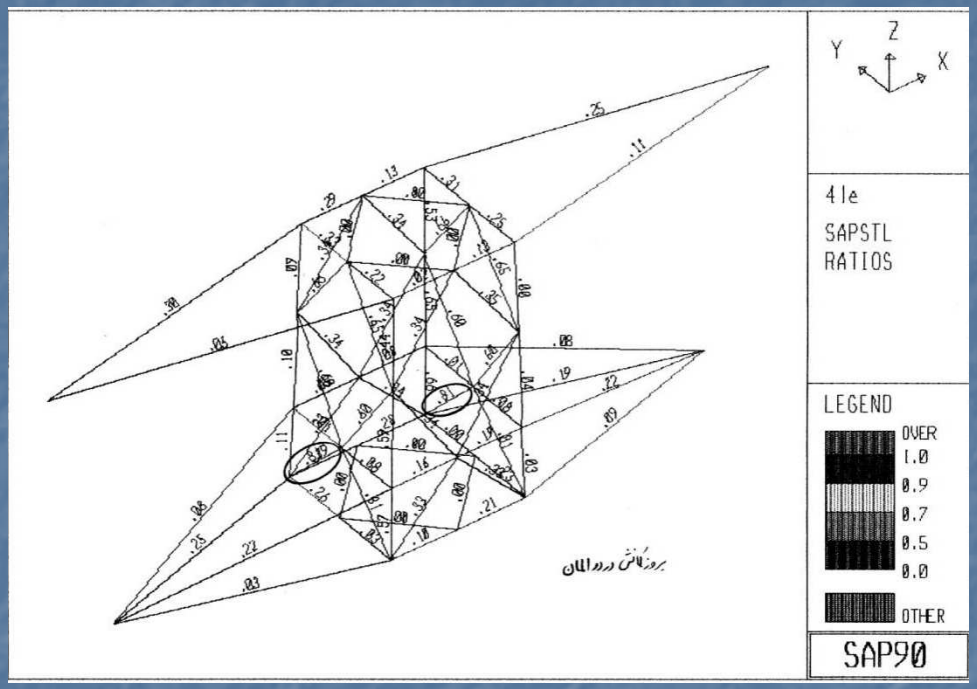
بروز ناپایداری دکل T.40 در روی فونداسیون و واژگونی آن

۶- تحلیل های مربوط به تعیین مسیر خرابی دکلها -ادامه



۶- تحلیل های مربوط به تعیین مسیر خرابی دکلها -ادامه



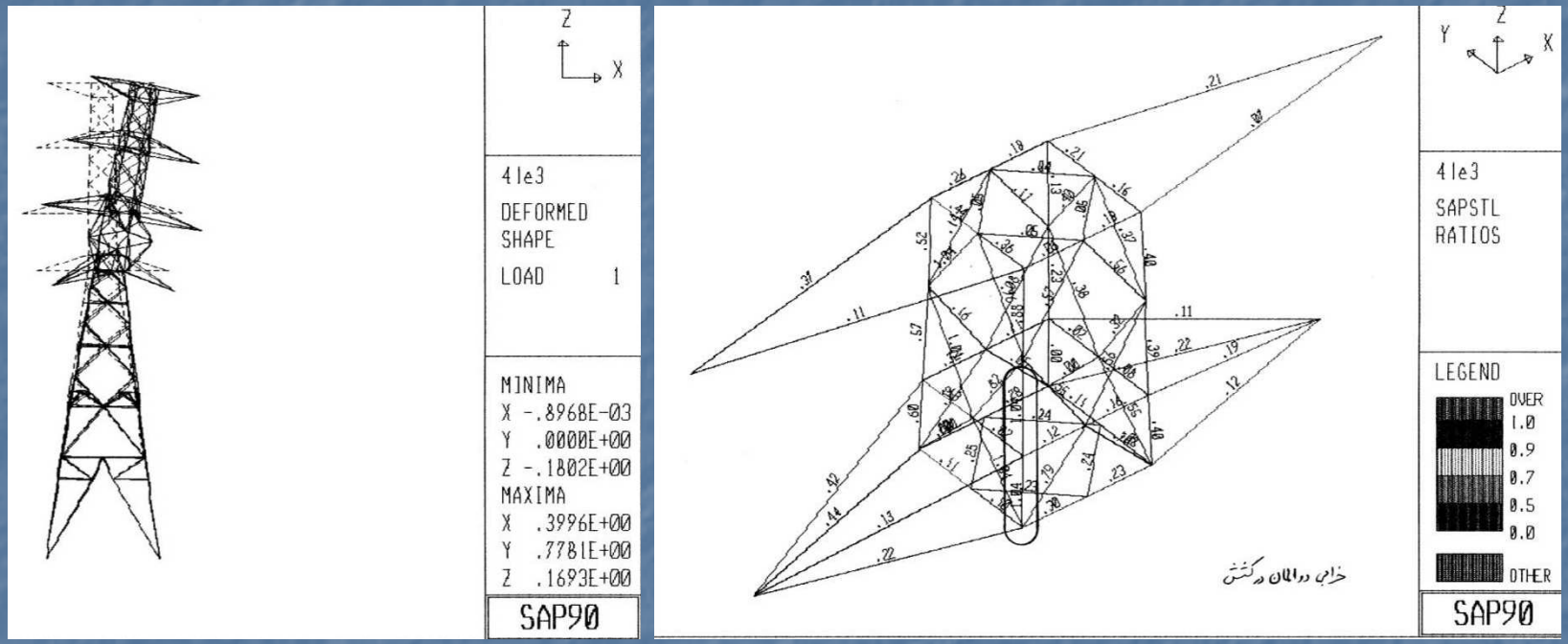


مرحله پنجم

(الف)

شروع خرابی دکل T.41 با نیروی سیم برابر با ۷ تن

۶- تحلیل های مربوط به تعیین مسیر خرابی دکلها -ادامه



مرحله پنجم

(ت)

گسیختگی دکل T.41 در تراز بالای اولین CROSS ARM

۶- تحلیل های مربوط به تعیین مسیر خرابی دکلها -ادامه

کنده شدن بخش فوقاني Cross Arm در محل ستون تك نبشي در محدوده ارتفاع ۴۰ متري دكل T.41

۶- تحلیل های مربوط به تعیین مسیر خرابی دکلها -ادامه

فرو افتادن دکل شماره T.40

۶- نتیجه گیری

ملاحظه مسیر خرابی دکلها ومقایسه آن با آنچه در عمل رخ داده است، تطابق بسیار خوب تحلیل با واقعیت را نشان میدهد.

لذا همانگونه که در تحلیل اولیه T.40 ملاحظه می شود ضعف سازه، بین ترازهای ۲۵+ متر تا ۲۹/۴ + متر ناشی از تغییر مقطع المان های سازه در این ناحیه و کاهش حاشیه اطمینان در آن اعضاء ، میتواند باعث بروز چنین حادثه ای شود.

بررسی نقشه ها و مقایسه محل سوراخها در برخی از اعضاء موجود، نشان میدهد که فاصله مرکز سوراخ ها تا لبه اعضاء طبق نقشه ها رعایت نشده و در مواردی از حداقل آئین نامه ای نیز کمتر است. این امر خود میتواند موجب ایجاد ترکهای موئین در اطراف سوراخها و بالنتیجه کاهش ظرفیت سازه گردد و تمرکز تنش بوجود آمده در اطراف سوراخها به دفعات متعدد ناشی از بار باد، که در طول عمر سازه احتمال تکرار وقوع آن بسیار است، آغازگر شروع خرابی شود. به عبارت دیگر طبیعی است که دکل T.40در طول عمر حدود ۷ ساله خود بارها تحت بادهای شدید و نسبتاً شدید قرار گرفته باشد. لذا جمع شدن ضعف های جزئی بوجود آمده در هر بار در طول زمان، باعث شده است تحت بار باد اخیر فاقد ظرفیت اضافی بوده و با ناپایدار شدن اعضائی از آن، خرابی پیش رونده حادثه اخیر را بوجود آورده باشد.

۶- نتیجه گیری -ادامه

موضوع تنشهای اولیه اضافی ناشی از عملیات نصب، بدلیل اعمال فشار/ کشش جهت انطباق سوراخهای قطعات اتصال، نیز از مواردی است که می تواند ظرفیت اضافی المانها را کاهش دهد و در چنین حالاتی به تسلیم شدن اعضاء با سطح تنش بالا کمک نماید.

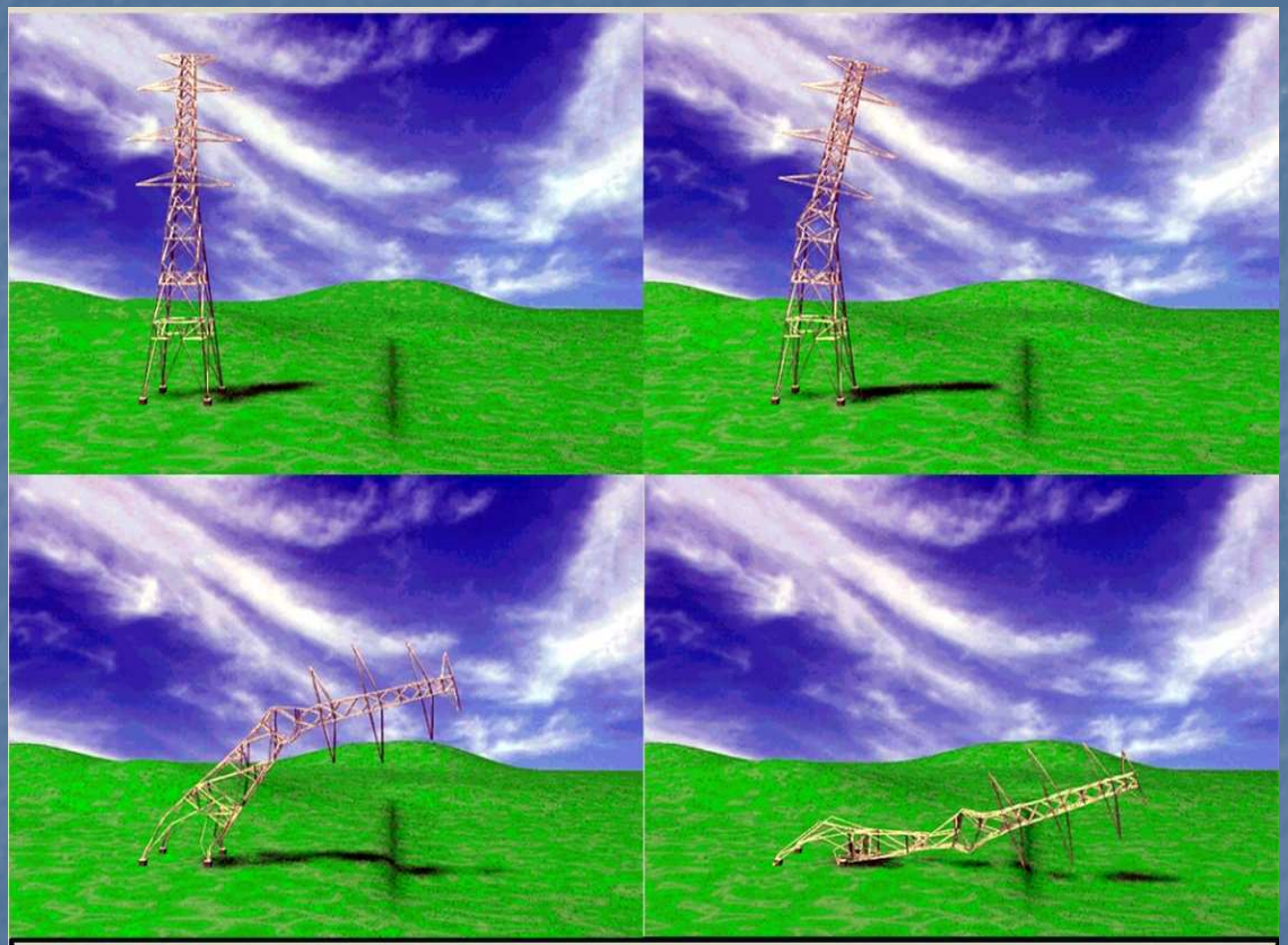
ملحوظ نمودن موارد فوق میتواند از طرق منظور نمودن حاشیه اطیمنان مناسب در طراحی و یا اعمال ضریب مناسبی در بارهای وارد به سازه انجام پذیرد.

توجه به تناسبات هر دکل (ارتفاع به ابعاد قاعده) و پریود طبیعی آن و کنترل لزوم یا عدم لزوم ملحوظ داشتن اثر دینامیکی باد در تحلیل و طراحی از مواردی است که میتواند در طراحی سازه نقش مؤثری ایفاء نماید.

همچنین توصیه می شود اثر همسایگی با دکل کششی در طراحی اولین دکل آویزی مجاور آن مدنظر قرار گیرد.

جزئیات اتصال موجود در پای دکل (اتصال ستون و مهاربندها به استاب) و کاربرد مقطع یکسان برای المان ستون و استاب، در حالتیکه در تحلیل مورد توجه قرار نگیرد و در طراحی حاشیه اطمینان کافی برای مقطع استاب ملحوظ نشود، میتواند مشکل آفرین باشد.

۶- نتیجه گیری -ادامه



تحلیل علل سقوط دکل T.40 خط ۴۰۰KW دو مداره شهید رجایی-رود شور

با تشکر از توجه شما

مهندسین مشاور سرزمین
SARZAMIN Consulting eng.