تحليل و طراحــي دكلهاي انتقال نيــرو با استفاده از نظريه قابليت اعتماد

سيد احمد ميرشريفي*[۱]

[۱]دانش آموخته كارشناسي ارشد دانشكدة عمران - دانشگاه صنعتي شاهرود

(تاريخ دريافت ۸۴/۱۱/۱ ، تاريخ تصويب ۸۵/۳/۲۰)

چكيده

درحال حاضر، بارگذاري دكلهاي انتقال نيرو درايران با استفاده از آئين نامة بارگذاري مشانير كه در سال(۱۳۷۷) چاپ و منتشر شده است انجام گرفته و طراحي آنها با توجه به ضوابط و شرايط آئين نامة ASCE52 صورت مي‌پذيرد. در آئين نامة بارگذاري فوق الذكربا متغيرهاي تصادفي بارگذاري دكلها همچون بيشترين ضخامت يخ ساليانه، بيشترين ضخامت ماهيانه آن و يا بيشترين سرعت ساليانه باد و يا سرعت ماهيانة آن بصورت مقادير قطعي و يقين انديشانه برخورد مي‌شود و ضرايب ايمني جزئي بدون توجه به عدم قطعيتهاي موجود براي هر جزء بار تعيين مي‌گردد. در اين مقاله ابتدا با تصادفي انگاشتن پارامترهاي بار و مقاومت، قابليت اعتماد اعضاي دكلهاي 230Kv، در چهار شر انتخابي (بندر عباس، يزد، تهران و شهركرد) كه براساس آئين نامه مشانير طراحي شده اند، در دو حالت حدي فشار(كمانش) و كشش مورد ارزيابي قرار گرفته است. درقدم بعد، با استفاده از نتايج حاصله، شاخص قابليت اعتماد هدف[1] دردوحالت حدي فوق الذكر تعيين شده است. سپس با استفاده از روشهاي كاليبراسيون موجود در ايمني سازه ها ضرايب افزايش بار و كاهش مقاومت جديد بنحوي محاسبه و انتخاب شده اند تا شاخصهاي قابليت اعتماد اعضاي جديد تا حد امكان به شاخصهاي قابليت اعتماد هدف انتخابي نزديك بوده و به اين ترتيب اعضايي با ايمني يكنواخت طراحي شوند. درنهايت همانطوركه در نتايج ملاحظه خواهيد نمود، با استفاده ازضرايب ايمني جزئي حاصله[2] علاوه برايجاد يكنواختي درايمني اعضا طراحي شده مي‌توان به ميزان قابل توجهي از وزن دكلها كاست و آنها را اقتصادي وواقع بينانه تر طراحي نمود.

واژه هاي كليدي: قابليت اعتماد - دكل - خطوط انتقال - ضرايب طراحي

مقدمه

در آئين نامه هايي كه بر اساس نظريه قابليت اعتماد شكل مي گيرند، معمولا"با پارامترهاي بارگذاري و مقاومت بصورت متغيرهاي تصادفي برخورد مي‌شود. در مراحل مختلفي كه در تدوين اينگونه آئين نامه ها طي مي‌شود سعي مي گردد با بررسي هاي دقيق آماري متغيرهاي تصادفي بار و مقاومت، ضرايب افزايش بار براي هر جزء بار و كاهش ظرفيت مقاومتها بنحوي تعيين شوند تا اثرات ناشي از عدم قطعيت ها و تغيير پذيري بارها و مقاومتها در نتايج طراحي لحاظ گردد.

لذا معمولا" بارهايي كه داراي عدم قطعيت بيشتري هستند ضريب افزايش بار بزرگتر و بارهائيكه ضريب پراكندگي كمتري دارند ازضريب افزايش كوچكتري برخوردارخواهند شد. متأسفانه در آئين نامة بارگذاري ارائه شده توسط شركت مشانير[۲] اين موضوع ناديده گرفته شده و از ضرايب يكسان براي جزءبارهاي مختلف استفاده مي‌شود.

جهت تعيين ضرايب افزايش بار و كاهش مقاومت اعضاي سازه اي ابتدا بايد كلية متغيرهاي بارگذاري و مقاومت بصورت آماري مورد ارزيابي قرار گيرند و مقادير اسمي براي هر متغير تعيين گردد[۱] وسپس شاخص قابليت اعتماد اعضا در حالات حدي مختلف محاسبه شود.

در نهايت با توجه به اهميت سازه و هزينه هاي ناشي ازخرابي سازه و... شاخص قابليت اعتماد هدف مشخص مي شود و ضرايب طراحي[3] متناظربا اين شاخص در حالات حدي مختلف قابل محاسبه خواهد بود.

در اين مقاله ابتدا با توجه به نتايج بدست آمده در تحقيقات اوليه[۱] وجدول(۱) كه درآن متغيرهاي تصادفي ضخامت يخ و سرعت باد بصورت آماري موردبررسي قرارگرفته است و همچنين بااستفاده توأم از روشهاي شبيه سـازي مونت –كارلو[4] و روش تحليلي راكويتز–فيسلر[5] در قالب برنامه -اي كامپيوتري تحت عنوان Beta كه در محيط Excel و به زبان Visual Basic نوشته شده، شاخص قابليت اعتماد اعضا در دو حالت حدي بحراني (كشش و فشار) محاسبه و شاخص قابليت اعتماد هدف [٦] با ميانگين گيري از شاخصهاي حاصله براي دكلهاي 230Kv آويزي در حالات حدي فوق تعيين گرديده است.

البته تعيين شاخصهاي قابليت اعتماد هدف با استفاده از ميانگين گيري از شاخصهاي قابليت اعتماد دكلهاي

---

* نويسنده مسئول : تلفن : ۰۹۱۲۲۰۹۳۹۱۹ ، فاكس: __________ , Email: S_ah_Mirsharifi@yahoo.com

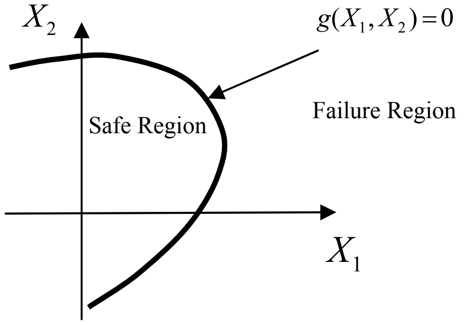
موجود(طبق ضرايب آئين نامه قديم) زماني توجيه پذير است كه در آئين نامه قديم مسائل اقتصادي و بهينه سازي طرح مورد توجه قرار گرفته باشد و ضوابط آئين نامه با توجه به هزينه هاي خرابي و خسارات وارده تهيه و تنظيم شده باشد، [٦]و[١٧]و[١٨].

اما درتحقيقات صورت گرفته با فرض فوق ضرايب افزايش اثرات بار(تنشها) و كاهش ظرفيت بنحوي محاسبه شده است تا شاخص هاي قابليت اعتماد اعضاي جديد تا حد امكان به شاخص قابليت اعتماد هدف انتخابي نزديك باشند.

احتمال خرابي و حالات حدي

در مقولة ايمني سازه ها و تعيين قابليت اعتماد آنها خرابي[٦] سازه يا يك عضو سازه اي به مفهوم انهدام كامل آن نيست، بلكه زماني يك عضو خراب بحساب مي‌آيد كه نتواند عملكرد خاصي را كه ار آن انتظار مي‌رود، ايفا نمايد[٦].

جهت تعيين احتمال خرابي ياقابليت اعتماد پذيري هرعضو سازه اي ممكن است حالات مختلفي از خرابي مورد استفاده قرار گيرند، كه معمولا" اين حالات درقالب توابع حالت حدي[٧] مطرح مي‌شوند. هرتابع حالت حدي درواقع يك رابطة رياضي از متغيرهاي تصادفي بارگذاري و مقاومت است و هنگاميكه مقدار آن برابر صفر باشد، مشخص كنندة مرزي بين ناحية خرابي و ايمن در آن حالت خرابي است، شكل(١).



شكل ۱: تابع حالت حدي و مرز خرابي.

در تعيين شاخص قابليت اعتماد يك عضو سازه اي (مثلا" يك تير دو سرساده)، ممكن است حالات حدي مختلفي مورد ارزيابي قرارگيرند. اما شاخصهاي قابليت اعتماد حاصله براي اين تير در حالات حدي مختلف يكسان نخواهند بود، مثلا" ممكن است اين تير در حالت حدي خمش شاخص قابليت اعتمادي برابر 3.5 داشته باشد ولي مقدار اين شاخص در حالت حدي برش برابر6.5 باشد. لذا درانتخاب حالات حدي و تعيين شاخص قابليت اعتماد اعضاي هر سازه بايد دقت شود كه چه حالت حدي مي‌توانند شرايط بحراني تري را براي سازه بوجود آورد.

در مورد دكلهاي انتقال نيرو به علت آنكه معمولا" سيستم بصورت خرپائي است، لذا اعضا داراي لاغري زيادي بوده و حالت حدي فشار (كمانش) مي تواند براي اعضا بحراني -ترين حالت را بوجود آورد. از طرفي بر اثر نيروهاي محوري كششي فوق العاده ايكه بر اثر وزش باد در اعضا بوجود مي‌آيد، تنشهاي كششي قابل توجهي نيز ايجادمي‌شودكه باعث تسليم شدن مقطع عضو مي‌گردد. بنابر اين در بررسي هاي صورت گرفته جهت تعيين شاخص قابليت اعتماد اعضاي دكلها از دو حالت حدي فوق الذكر(فشار و كشش) استفاده شده است.

تعيين شاخص قابليت اعتماد اعضا

روشهاي رايج در تعيين شاخص قابليت اعتماد يا احتمال خرابي

در تعيين شاخص قابليت اعتماد يا احتمال خرابي هر عضو سازه اي مي‌توان از روشهاي شبيه سازي (عددي) و يا روشهاي تحليلي استفاده نمود، كه در ذيل به توضيح اجمالي هريك از آنها پرداخته شده است. اما در تحقيقات صورت گرفته جهت تعيين شاخص قابليت اعتماد، همانطور كه قبلا" اشاره شد، از روندي تركيبي از دو روش تحليلي و شبيه سازي استفاده شده است.

روش شبيه سازي مونت كارلو در تخمين احتمال خرابي(روشهاي عددي)

در روش شبيه سازي مونت كارلو دريك روند تكراري براي تك تك متغيرهاي تصادفي كه در تابع حالت حدي حضور دارند با توجه به پارامترهاي آماريشان (ميانگين، انحراف معيار و نوع تابع توزيع) N مقدار تصادفي توليد مي‌شود. سپس مقادير توليد شده در هر تكرار در تابع حالت حدي جاگذاري شده و مقدار تابع حالت حدي در اين نقطه تصادفي محاسبه مي‌گردد.

جدول ١: مقادیر اسمي و ضرایب پایه براي بارهاي مختلف در شهرهاي انتخابي[١].

نوع منطقه	Random Variables																			
	Normal Ice thickness					Maximum Ice thickness					Normal wind speed					Maximum wind speed				
	Mean	S.D	E.L	Nominal	Bias Factor	Mean	S.D	E.L	Nominal	Bias Factor	Mean	S.D	E.L	Nominal	Bias Factor	Mean	S.D	E.L	Nominal	Bias Factor
سبك (بندر عباس)	-	-	0.20	3	0.75	-	-	0.20	6	0.83	17.49	5.38	0.10	24.58	0.71	26.00	6.84	0.10	36.17	0.72
متوسط (یزد)	5.43	2.24	0.20	7.27	0.75	7.66	1.85	0.20	9.18	0.83	20.12	6.76	0.10	29.00	0.69	32.63	6.80	0.10	42.71	0.76
سنگین (تهران)	6.96	3.26	0.20	9.64	0.72	9.92	3.31	0.20	12.64	0.78	20.67	5.00	0.10	27.27	0.76	28.61	4.18	0.10	34.98	0.82
فوق سنگین (شهركرد)	8.35	6.22	0.20	12..66	0.66	13.13	7.88	0.20	19.66	0.67	15.18	5.23	0.10	22.05	0.69	22.61	5.34	0.10	30.55	0.74

در نهایت تعداد دفعاتي كه مقدار تابع حالت حدي كمتر از صفر شده است(m) به كل تعداد تكرارها تقسیم شده و مقدار احتمال خرابي تعیین مي‌گردد. درشكل(٢) روند روش فوق در تعیین احتمال خرابي نمایش داده است . جهت مطالعه بیشتر در مورد روشهاي شبیه سازي مونت كارلو و فلسفة آن مطالعة مراجع[٦]،[١٣]و[٤] به خواننده پیشنهاد مي‌شود.

روشهاي اصلاحي مونت كارلو و علت پيدايش آنها

تخمین احتمال خرابي از طریق روش مستقیم مونت كارلو كه در بخش قبل به آن اشاره شد، مستلزم استفاده از تعداد نمونه هاي فراوان مي‌باشد. بعنوان مثال چنانچه فرض كنیم مقدار احتمال خرابي براي یك عضو سازه اي و دریك حالت حدي مشخص درحدود 0.01 باشد، طبق رابطة (١) كه توسط نواك[8] ارائه شده است[٦]، نیاز به تولید9900 نمونه براي هرمتغیر تصادفي است.

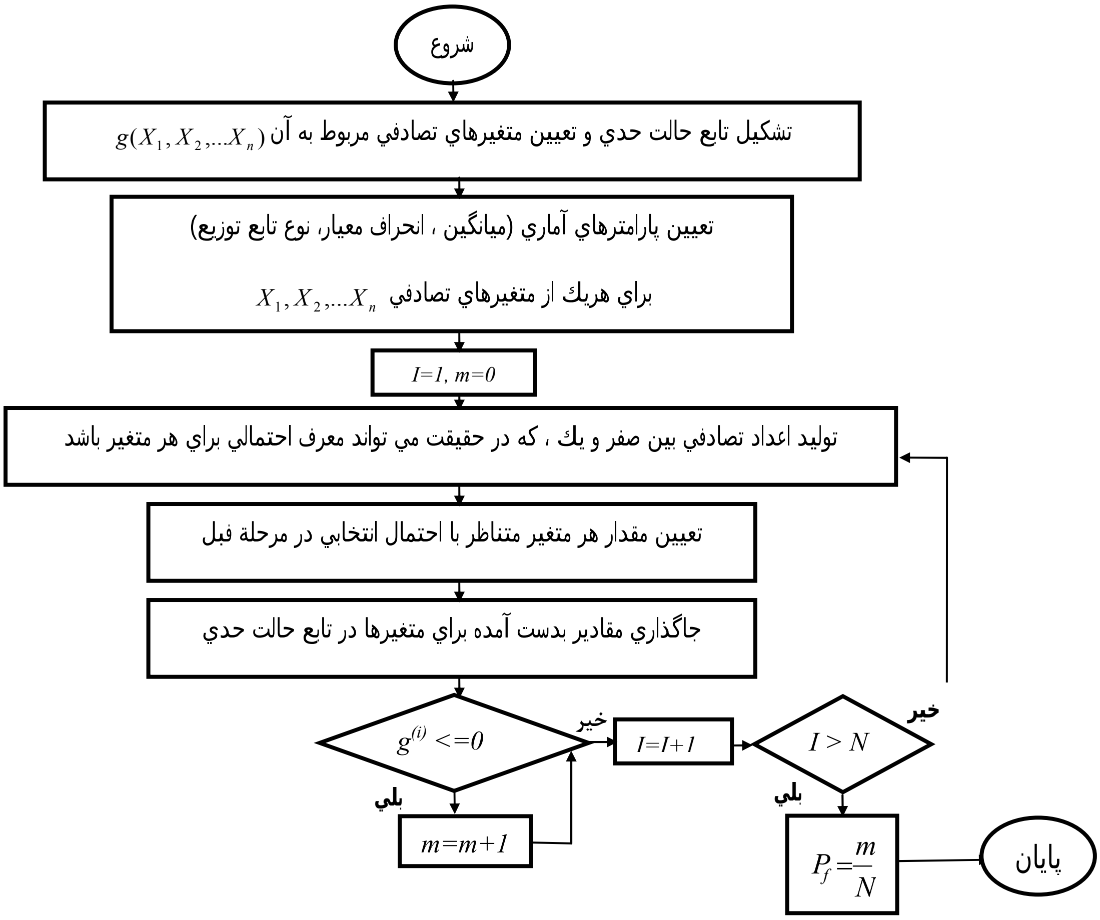
$$N = \frac{1-P_{true}}{V_P^2(P_{true})} = \frac{1-10^{-2}}{(0.1)^2(10^{-2})} = 9900$$

(١)

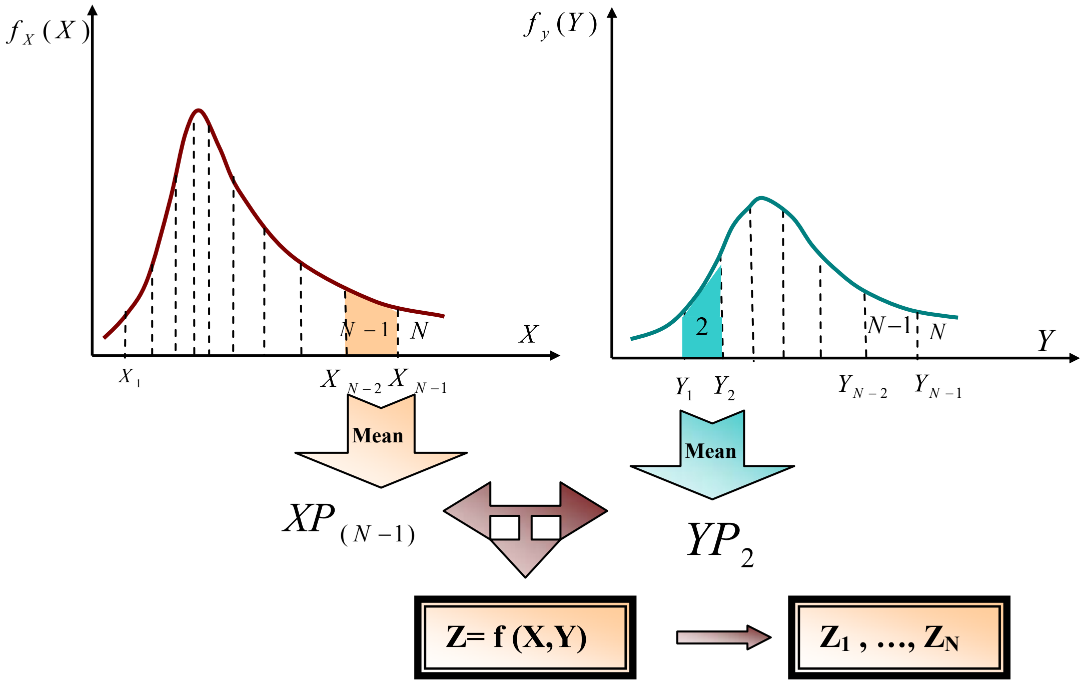
كه درآن ، N تعدا د نمونه هاي مورد نیاز براي رسیدن به احتمال خرابي P_{true}، P_{true}احتمال خرابي موردنظر و V_P^2ضریب تغییرات بكار رفته در تخمین داده ها مي‌باشند.

این درحالیست كه تعداد متغیرهاي تصادفي در توابع حالت حدي معمولا" بیش از دو تا است و از طرفي مقدار احتمال خرابي در حالات حدي مختلف در اعضاي سازه اي در حدود 10^{-4} ویا كمتر مي‌باشد.

لذا براي رسیدن به تخمیني قابل قبول براي این احتمالات خرابي مجبور به تولید تعداد زیادي مقدار تصادفي متغیرهاي تصادفي هستیم، كه این امر باعث افزایش زمان پردازش اطلاعات شده و عملا" استفاده كردن از روشهاي شبیه _سازي زیر سؤال خواهند رفت.


شروع
تشكيل تابع حالت حدي و تعيين متغيرهاي تصادفي مربوط به آن $g(X_1, X_2,...X_n)$
تعيين پارامترهاي آماري (ميانگين ، انحراف معيار، نوع تابع توزيع)
براي هريك از متغيرهاي تصادفي $X_1, X_2,...X_n$
$I=1,\ m=0$
توليد اعداد تصادفي بين صفر و يك ، كه در حقيقت مي تواند معرف احتمالي براي هر متغير باشد
تعيين مقدار هر متغير متناظر با احتمال انتخابي در مرحلة قبل
جاگذاري مقادير بدست آمده براي متغيرها در تابع حالت حدي
$g^{(i)} <=0$
خير
$I=I+1$
$I > N$
خير
بلي
$m=m+1$
بلي
$P_f = \frac{m}{N}$
پايان

شكل ۲: روند تعيين احتمال خرابي با استفاده از روش شبيه سازي مونت كارلو .


$f_X(X)$
X
$N-1$
N
X_1
X_{N-2}
X_{N-1}
$f_y(Y)$
Y
2
$N-1$
N
Y_1
Y_2
Y_{N-2}
Y_{N-1}
Mean
Mean
$XP_{(N-1)}$
YP_2
Z= f (X,Y)
$Z_1, ..., Z_N$

شكل ۳: روند انتخاب نمونه ها در روش مكعب فوق العاده نمونه گيري لاتين .

به همين علت روشهاي متنوع و متفاوتي جهت اصلاح روش مونت كارلو بوجودآمده است، كه تقريبا مي توان با استفاده از آنها با تعداد نمونه هاي كمتري به احتمال خرابي مورد نظر دست يافت.

ازجمله اين روشها مي‌توان به روش نمونه گيري با اهميت تر[٩] اشاره كرد[٤].

در روش ديگري بنام مكعب فوق العاده نمونه گيري لاتين[١٠]كه دربررسي هاي صورت گرفته در اين مقاله از اين روش استفاده شده است، ابتدا تابع توزيع هرمتغيرتصادفي، كه در تابع حالت حدي شركت مي كند به N قسمت طوري تقسيم مي شود كه مساحت هر قسمت برابر $1/N$ گردد، شكل (٣).

سپس نماينده هايي براي هر قسمت با ميانگين گيري از مقادير ابتدا و انتهاي هر نوار بدست مي آيد. درمرحله بعد بصورت تصادفي از هر متغيرتصادفي يك نماينده انتخاب شده و در تابع حالت حدي جاگذاري مي شوند و مقداري براي تابع حالت حدي Z حاصل مي آيد.درتكرابعدي ازبين نماينده - هاي باقي مانده براي هرمتغيرتصادفي نماينده هاي جديدي انتخاب مي گردد و عمليات فوق دوباره تكرار مي شود. به اين ترتيب N مقدار براي تابع حالت حدي حاصل خواهد شد و در نهايت مي توان احتمال خرابي را با استفاده از روابط زير تخمين زد.

$$Z = f(X_1, X_2, \ldots, X_K)$$

(٢)

$$Estimated\ mean\ value\ of\ Z = \overline{Z} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} z_i$$

(٣)

$$Estimated\ m^{th} moment\ of\ Z = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} (z_i)^m$$

(٤)

$$P_{failure} = \frac{number\ \ of\ times\ z_i \le \overline{Z}}{N}$$

(٥)

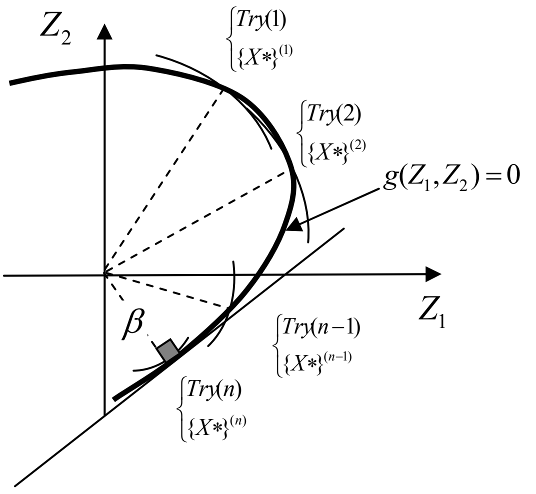
البته روشهاي ابداعي آنقدر متنوع و در برخي موارد پيچيده هستند كه توضيح همة آنها از موضوع اين مقاله خارج است. لذا به خواننده پيشنهاد مي شودجهت مطالعه بيشتر مراجع[۴] و[۶] را مورد مطالعه قرار دهد.

روشهاي تحليلي در تعيين شاخص قابليت اعتماد

به موازات روشهاي عددي، روشهاي تحليلي نيز در تعيين شاخص قابليت اعتماد روز به روز در حال توسعه مي باشند. ازجمله اين روشها مي‌توان به روش شاخص قابليت اعتماد مرتبة اول لنگر دوم مقدار ميانگين، روش هاسوفر – ليند[١١] و يا روش راكويتز- فيسلر اشاره نمود.

در اين روشها برخلاف روشهاي عددي سعي مي شود ابتدا شاخص قابليت اعتماد سازه تعيين شده و سپس مقدار احتمال خرابي متناظر با آن با استفاده از تابع توزيع نرمال استاندارد تعيين گردد (البته مي‌توان مقدار اعتماد پذيري هر سازه را با شاخص قابليت اعتماد نيز نشان داد و مقاديرمختلف آن را در هر حالت حدي براي اعضاي سازه‌اي با هم مقايسه نمود).

اما شاخص قابليت اعتماد[١٢] بصورت كوتاهترين فاصلة بين مركز دستگاه متغيرهاي تعديل يافته تا مرز خرابي $g(X) = 0$ تعريف مي شود(تعريف هاسوفر- ليند). در شكل (٤) ازمرجع [٦] مفهوم اين مقدار براي يك تابع حالت حدي دو متغيره نشان داده شده است.



شكل ٤: روند راكويتز – فيسلر درتعيين شاخص قابليت اعتماد.

جهت تعيين اين فاصله(شاخص قابليت اعتماد) روشهاي متفاوتي وجود دارد. يكي از بهترين اين روشها كه حتي نوع تابع توزيع متغيرهاي تصادفي را وارد محاسبات مي‌نمايد، روش راكويتز – فيسلر است. در اين روش با توجه به حساسيت تابع حالت حدي نسبت به تغيير تك تك متغيرها و با استفاده از يك روند تكراري سعي مي شود كوتاهترين فاصلة فوق الذكر از مرز خرابي تعيين شود.

در تعريف هاسوفر – ليند از شاخص قابليت اعتماد از واژه متغيرهاي تعديل يافته استفاده شده است. هر متغير تعديل يافته را مي توان بصورت رابطة (٦) تعريف

كرد.

$$Z_i^* = \frac{X_i^* - \mu_{X_i}^e}{\sigma_{X_i}^e}$$

(٦)

كه در آن

X_i^* : مقدارمتغيرتصادفي i ام در نقطه طراحي

$\mu_{X_i}^e$: ميانگين معادل توزيع نرمال استاندارد در نقطه طراحي براي متغيرتصادفي i ام

$\sigma_{X_i}^e$: انحراف معيارمعادل توزيع نرمال استاندارد در نقطه طراحي براي متغيرتصادفي i ام

مي باشند.

اماعلت استفاده از دستگاه متغيرهاي تعديل يافته به دو منظورمي باشد، يكي بي بعد ساختن متغيرهاي تصادفي و ديگري به منظور مستقل ساختن محاسبات از نوع توابع توزيع متغيرهاست. در اين راستا پارامترهاي معادل نرمال، مطابق تعاريف بالا در فرمول (۶)، استفاده مي شوند. اين پارامترها كه عبارت ازميانگين و انحراف معيار معادل نرمال $(\mu_{X_i}^e, \sigma_{X_i}^e)$ مي‌باشند، در واقع ارتباطي بين ميانگين و انحراف معيار توزيع واقعي هر متغيرتصادفي و ميانگين و انحراف معيار تابع توزيع نرمال استاندارد بر قرار مي‌كنند و مي توان مقدار آنها را با استفاده از روابط زير در نقطه طراحي انتخابي براي هر متغير تصادفي باتابع توزيع احتمال $f_X(x)$ وتابع توزيع تجمعي $F_X(x)$ تعيين نمود[٦].

$$\mu_X^e = X^* - \sigma_X^e[\Phi^{-1}(F_X(X^*)] \qquad (۷)$$

$$\sigma_X^e = \frac{1}{f_X(X^*)}\phi(\frac{x^* - \mu_X^e}{\sigma_X^e}) = \frac{1}{f_X(X^*)}\phi[(\Phi^{-1}(F_X(X^*))] \qquad (۸)$$

تعيين شاخص قابليت اعتماد اعضاي دكلها در حالات حدي مختلف

در تحقيقات انجام شده جهت تعيين شاخص قابليت اعتماد اعضاي دكلها از روندي تركيبي از روش عددي مكعب فوق العاده نمونه گيري لاتين (L.H.S) و روش تحليلي راكويتز- فيسلر استفاده شده است. در روند انتخابي ابتدا با استفاده از روش(L.H.S) 100 نماينده براي هريك ازمتغيرهاي تصادفي اصلي بارگذاري (سرعت معمولي باد، بيشترين سرعت باد، ضخامت معمولي يخ و بيشترين ضخامت يخ) توليد شده و فايل بارگذاري مربوط به آنها تهيه شده است. سپس بارهاي محاسبه شده به دكلهاي انتخابي (دكل 230Kv آويزي از چهار شهر بندرعباس، يزد، تهران و شهركرد، كه طبق آئين نامه بارگذاري مشانير طراحي شده اند)، اعمال گشته و حداكثر مقدار تنشهاي تركيبي كششي و فشاري ناشي از نيرو هاي محوري و لنگرخمشي براي اعضاي انتخابي درپايه هاي بحراني تعيين شده است، شكل (5).

اين عمليات 100 مرتبه براي هردكل واقع در هر شهرتكرار شده و در نهايت ميانگين، انحراف معيار و نوع توابع توزيع براي متغيرهاي تصادفي تنش، جهت محاسبهٔ شاخص قابليت اعتماد اعضا، تعيين شده اند.

در قدم بعد دو تابع حالت حدي تنش يعني؛ تنش - هاي فشاري و كششي كه هريك تنها از دو متغير تصادفي (تنش وارده و تنش قابل تحمل مقطع) تشكيل شده بودند، مورد ارزيابي قرار گرفته و شاخص قابليت اعتماد در اين حالات براي اعضاي انتخابي درپايه هاي بحراني تعيين شده است. اين توابع حالت حدي را مي توان بصورت خلاصه زير نشان داد.

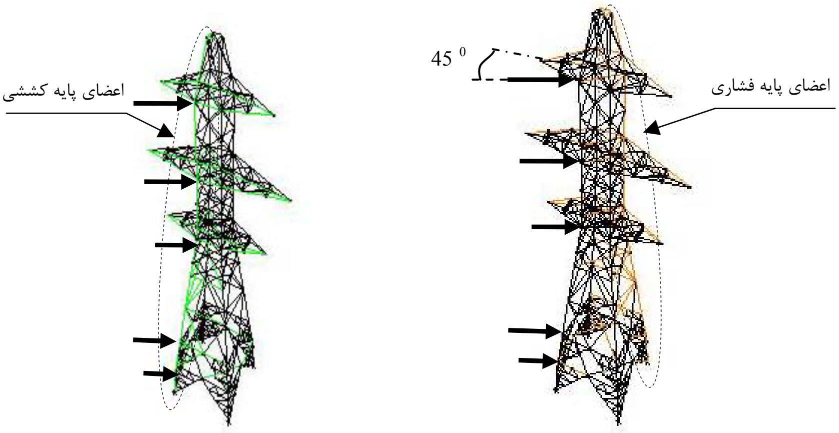
$$F_{Yn} - \sigma_{(Total\ Tension)} \le 0 \qquad (۹)$$

$$F_{Crn} - \sigma_{(Total\ Compression)} \le 0 \qquad (۱۰)$$

كه درآن،

F_{Yn}, F_{Crn} به ترتيب تنشهاي كششي و فشاري اسمي قابل تحمل مقطع و $\sigma_{(Total\ Compression)}, \sigma_{(Total\ Tension)}$ مجموع تنش -هاي ناشي از نيروهاي محوري و لنگرهاي خمشي مي باشند ،كه به مقطع عضو وارد مي گردند.

طبق بررسي ها و محاسبات انجام شده، تابع توزيع تنشهاي قابل تحمل اعضا معمولا“ داراي توزيع نرمال مي باشد، اما تنشهاي وارده به عضو در برخي موارد تابع توزيع نرمال و در بعضي ديگر بصورت لگ- نرمال ظاهر مي شود. از آنجاكه تابع توزيع براي متغير تصادفي تنش وارده داراي توزيعي غير نرمال است، جهت محاسبهٔ شاخص قابليت اعتماد در توابع حالت حدي فوق از روش راكويتز- فيسلر كه علاوه بر ميانگين و انحراف معيارمتغيرها نوع توابع توزيع را نيز در تعيين شاخص قابليت اعتماد وارد محاسبات مي‌نمايد، استفاده شده است.



الف) اعضاي انتخابي درپايه فشاري　　**ب) اعضاي انتخابي درپايه كششي**

شكل ۵ : اعضاي انتخابي در تعيين شاخص قابليت اعتماد اعضاي دكل.
(الف) از نظر حالت حدي فشار (ب) حالت حدي كشش

جدول ۲: ميانگين و انحراف معيار شاخص قابليت اعتماد اعضا درحالات حدي فشار (كمانش) و كشش و تعيين شاخصهاي قابليت اعتماد هدف.

نوع منطقه (شهر انتخابي)	شاخصهاي قابليت اعتماد(β)			
	حالت حدي فشار (كمانش)		حالت حدي كشش	
	ميانگين	انحراف معيار	ميانگين	انحراف معيار
سبك (بندر عباس)	4.09	1.87	6.43	2.13
متوسط(يزد)	3.84	2.03	6.04	2.25
سنگين (تهران)	4.52	1.92	6.96	1.60
فوق سنگين (شهركرد)	4.56	1.69	6.55	1.69
شاخصهاي قابليت اعتماد هدف	4.25		6.5	

اما تعيين شاخص قابليت اعتماد در حالات حدي فوق براي كليه اعضا ضرورتي ندارد و مي توان براي اعضايي كه درپايه بحراني ازنظر كشش قرار دارند (شكل(۵)) تنها شاخص قابليت اعتماد در حالت حدي كشش و براي اعضايي كه در پاية فشاري بحراني واقع هستند، شاخص قابليت اعتماد فشاري را تعيين نمود.

علت چنين فرضي به آن خاطر است كه معمولا" جهت وزش باد براي ما مشخص نيست وحال آنكه ما درهنگام اعمال نيروي باد جهت خاصي را در نظر گرفته ايم، همچنين ممكن است درطول خط جاي دهانه هاي بارگذاري درطرفين دكل، كه دربرخي موارد با هم برابرنيستند، عوض شود. لذا بايد پايه هاي با بارهاي كمتر بنحوي طراحي شوند كه بتوانند درشرايط بحراني نيز تنشهاي وارده را به نحو مطلوبي تحمل نمايند.

خلاصه اي ازنتايج بدست آمده براي شاخصهاي قابليت اعتماد اعضاي دكلهاي230Kv در پايه هاي بحراني دكلهاي شهرهاي انتخابي به صورت جدول (۲) محاسبه شده است. همانطور كه در اين جدول ملاحظه مي‌شود، به منظور يكسان سازي شاخصهاي قابليت اعتماد اعضا در طراحي هاي آينده، ازميانگين شاخصهاي بدست

آمده براي پايه هاي كشش و فشاري درشهرهاي انتخابي بطور جداگانه بعنوان شاخص قابليت اعتماد هدف در حالات حدي فشار و كشش استفاده شده است.

تعيين ضرايب افزايش باروكاهش مقاومت در طراحي دكلهاي 230Kv

جهت محاسبه ضرايب افزايش بار و كاهش مقاومت[۱۳] معمولا" از روندي عكس روش راكويتز- فيسلر استفاده مي شود. در اين روش كه تشابه زيادي با روند مستقيم راكويتز –فيسلر در تعيين شاخصهاي قابليت اعتماد دارد (بخش ۳-۱) نقطه طراحي[۱٤]روي مرزخرابي به نحوي جابجا مي‌شود تا فاصلة بين مرز خرابي و مركز دستگاه متغيرهاي كاهش يافته، برابر شاخص قابليت اعتماد هدف گردد.

تنها تفاوتي كه اين روند عكس با روش مستقيم دارد، اين است كه درروش معمول راكويتز-فيسلربه دنبال تعيين شاخص قابليت اعتماد هستيم و بعد از رسيدن به همگرايي براي اين شاخص تكرارها خاتمه مي پذيرد. ولي در تعيين ضرايب طراحي، شاخص قابليت اعتماد از قبل براي ما معلوم است و مقدار آن برابر شاخص قابليت اعتماد هدف مي باشد و محاسبات هنگامي پايان مي پذيرد كه براي مختصات نقطة طراحي به همگرايي رسيده باشيم. بعداز تعيين نقطة طراحي متناظر با شاخص قابليت اعتماد هدف مي توان با استفاده ازرابطة (۱۱) ضرايب افزايش بار و كاهش مقاومت را براي هر جزء بار يا مقاومت كه در حالت حدي حضور دارند، محاسبه نمود،[۱۳].

$$\gamma_i = \frac{x_i^*}{\bar{X}_i} \qquad (۱۱)$$

معمولا" آئين نامه ها در مخرج رابطة فوق بجاي ميانگين ازمقادير اسمي استفاده مي نمايند، ولي به آساني مي توان با توجه به رابطة بين ميانگين و مقدار اسمي، ضرايب بدست آمده از رابطة (۱۱) را به ضرايب متناظربا مقادير اسمي تبديل نمود[٦]و[۱۳].

پس ازانجام عمليات فوق مشاهده شد، كه براي رسيدن به يك شاخص قابليت اعتماد هدف مشخص ضرايب متفاوتي براي اعضاي در هرحالت حدي حاصل مي شود.

لذا قدم بعدي در تحقيقات صورت گرفته انتخاب بهترين ضرايب افزايش بار و كاهش مقاومت براي هرحالت حدي مي باشد.

انتخاب بهترين ضرايب افزايش بار و كاهش مقاومت از بين ضرايب حاصل شده

در اين مرحله بايد بهترين ضرايب طراحي را از بين ضرايب مختلف حاصله بگونه اي انتخاب نمود تا شاخصها ايكه بعدا" با ضرايب انتخابي براي اعضا بوجود مي‌آيند، كمترين انحراف را از شاخص قابليت اعتماد هدف داشته باشند.

در اين راستا از روشي ساده و در عين حال دقيق كه توسط بيكر(Baker) درسال(۱۹۷۷) ارائه شده، استفاده شده است،[۱۳]. در اين روش ابتدا با استفاده از ضرايب بدست آمده براي يكي از اعضا، شاخص قابليت اعتماد براي كلية اعضا محاسبه مي شود و تفاضل شاخص حاصله با شاخص قابليت اعتماد هدف تعيين مي گردد، سپس ضريبي تحت عنوان ضريب وزن[۱۵] در رابطه بيكر (رابطة(۱۲)) وارد مي شود، اين ضريب در واقع معرف احتمال بوجود آمدن ضرايب افزايش بار و كاهش مقاومت خاصي است و مي توان آن را با توجه به امكان وقوع حالت تنش وارده به تنش قابل تحمل عضوتعيين نمود[۱۳]. در مرحله بعد مقدار $S^{(j)}$ متناظر با j امين ضرايب طبق رابطة (۱۲) تعيين مي گردد و در نهايت ضرايبي كه كوچكترين مقدار S را بوجود آورده باشند ، بعنوان ضرايب طراحي انتخاب مي‌شوند.

$$S^{(j)} = \sum_{i=1}^{N} (\log_{10} P_{fT} - \log_{10} P_{fij})^2 \cdot w_i \qquad (۱۲)$$

كه در آن

$S^{(j)}$: مجموع انحرافات ازشاخص قابليت اعتماد هدف β_T در بررسي ضرايب مربوط به عضو j ام.

P_{fT} : احتمال خرابي متناظر با شاخص قابليت اعتماد هدف β_T .

P_{fij} : احتمال خرابي متناظربا شاخص قابليت اعتمادعضو i ام (β_i)،با توجه به ضرايب انتخابي عضو j ام.

w_i : ضريب وزني i امين حالت از نسبت تنشهاي موجود به تنشهاي قابل تحمل مقطع مي باشند.

جدول ۳ : انتخاب بهترين.ضرايب افزايش بار و كاهش مقاومت با استفاده از روش بيكر.

شهر انتخابي	نوع حالت حدي	S min	Resistance Factor	Load Factor	Normalized Factor	
					Resistance Factor	Load Factor
بندر عباس	فشار	27.08	0.84	1.37	0.86	1.40
	كشش	47.22	0.89	1.32	0.94	1.40
يزد	فشار	31.85	0.80	1.40	0.80	1.40
	كشش	34.98	0.93	1.29	0.98	1.40
تهران	فشار	24.11	0.74	1.38	0.75	1.40
	كشش	37.73	0.82	1.26	0.91	1.40
شهركرد	فشار	26.13	0.77	1.33	0.81	1.40
	كشش	52.62	0.86	1.28	0.94	1.40

عمليات فوق براي دكلهاي 230Kv انجام گرفته و بهترين ضرايب افزايش بار و كاهش مقاومت در حالات حدي مختلف تعيين شده است. اما از آنجا كه استفاده از ضرايب بار متفاوت درطراحي اعضا با حالات حدي مختلف عملا" غير ممكن مي‌باشد، استانداردهاي مختلف سعي مي كنند با ثابت نگه داشتن ضرايب افزايش بار، ضرايب كاهش مقاومت را براي حالات حدي مختلف تعيين نمايند. در اين تحقيقات نيز با يكسان سازي ضرايب افزايش بار در شهرهاي مختلف، ضريب كاهش مقاومت متناظر محاسبه شده است.

براي اين منظور مي‌توان طرفين رابطة حالت حدي را در يك عدد ثابت ضرب و تقسيم نمود، بنحويكه ضرايب يكساني براي افزايش بارها حاصل آيد، روابط (۹)و (۱۰). به اين ترتيب تنها ضرايب مختلفي براي كاهش مقاومت اعضا در هرحالت حدي نتيجه خواهد شد كه براحتي مي‌توان دركنترل طراحي ها از آنها استفاده نمود. در جدول (۳) نتايج روش بيكردر انتخاب بهترين ضرايب افزايش بار و كاهش مقاومت براي هر شهر و در هرحالت حدي با توجه به كمترين مقدار $S^{(i)}$ آورده شده است. همچنين مقادير ضرايب كاهش مقاومت متناظر با ضرايب افزايش بارهاي يكسان شده در اين جدول تعيين شده است.

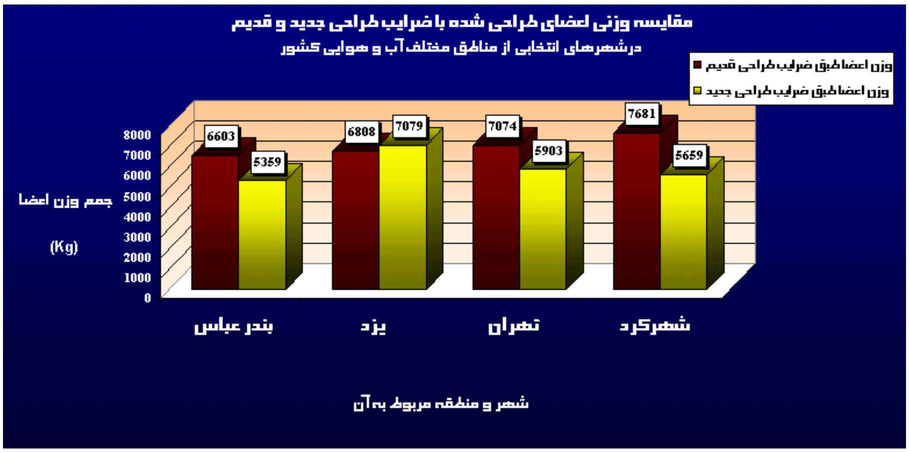
ضرايب افزايش بار ارائه شده در جدول (۳)، در واقع روي اثر بارها (تنشهاي كششي و فشاري) اعمال مي شوند، حال آنكه در طراحي هر سازه مقدار تنش هر عضو بعد از عمليات بارگذاري و تحليل كلي سازه بدست مي‌آيد و از آنجاكه در برنامه هاي كامپيوتري نمي توان تنشهاي بدست آمده از تحليل را در ضرايب افزايش بار ضرب كرد و با تنشهاي قابل تحمل عضو مقايسه كرد، بهتر است ضرايب افزايش بار قبل از آناليز سازه به جزء بارها اثركرده و بعد از آناليز تنشهاي حاصله در اعضا با مقاومتهاي اسمي كاهش يافته مقايسه شوند. اما با فرض خطي بودن رابطة بين تنش ها (اثربارها) با بارهاي ناشي از متغيرهاي اولية بارگذاري و با در نظر گرفتن ضريب افزايش تنش حاصله و تغييرپذيري هر جزء بار مي‌توان مقدار ضريب افزايش هر جزء بار را در تركيبات مختلف بارگذاري تعيين نمود. بنابراين با استفاده از نتايج حاصل شده در مرجع[۱]،كه مطابق جدول(۱) مي‌باشند، ضرايب افزايش بار براي برخي از حالات اوليه بارگذاري در چهار شهر انتخابي مطابق جداول (٤- الف) و (٤- ب) مي‌باشند.

جدول ٤-الف: ضرايب افزايش جزء بارها براي شهرهاي بندر عباس و يزد.

حالت بارگذاري	ضرايب افزايش بار قديم			ضرايب افزايش بار جديد با توجه به تغيير پذيري جز بارها در شهرهاي انتخابي									
				بندر عباس					يزد				
				$S.F_V$		$S.F_T$		$S.F_W$	$S.F_V$		$S.F_T$		$S.F_W$
	$S.F_V$	$S.F_T$	$S.F_W$	D.L.	I.L.	D.L.	I.L.	W.L.	D.L.	I.L.	D.L.	I.L.	W.L.
باد و يخ معمولي	1.50	1.65	2.50	1.1	1.58	1.1	1.73	2.48	1.1	1.58	1.1	1.73	2.48
يخ سنگين	1.10	1.10	1.10	1.1	1.28	1.1	1.28	1.09	1.1	1.28	1.1	1.28	1.06
باد شديد	1.10	1.10	1.10	1.1	1.16	1.1	1.16	1.11	1.1	1.16	1.1	1.16	1.17

جدول ٤- ب: ضرايب افزايش جزء بارها براي شهرهاي تهران و شهركرد.

حالت بارگذاري	ضرايب افزايش بار قديم			ضرايب افزايش بار جديد با توجه به تغيير پذيري جز بارها در شهرهاي انتخابي									
				تهران					شهركرد				
				$S.F_V$		$S.F_T$		$S.F_W$	$S.F_V$		$S.F_T$		$S.F_W$
	$S.F_V$	$S.F_T$	$S.F_W$	D.L.	I.L.	D.L.	I.L.	W.L.	D.L.	I.L.	D.L.	I.L.	W.L.
باد و يخ معمولي	1.50	1.65	2.50	1.1	1.51	1.1	1.66	2.66	1.1	1.30	1.1	1.73	2.42
يخ سنگين	1.10	1.10	1.10	1.1	1.20	1.1	1.20	1.17	1.1	1.03	1.1	1.28	1.06
باد شديد	1.10	1.10	1.10	1.1	1.11	1.1	1.11	1.26	1.1	1.02	1.1	1.16	1.14



شكل ٦: مقايسة وزني بين بعضي از اعضاي دكلهاي طراحي شده در شهرهاي انتخابي.

در اين جداول ضرايب افزايش بار مرده(D.L.)، بار يخ (I.L.) وبار باد (W.L.) بطورجداگانه محاسبه شده است. اين جداسازي به اين صورت بوده است، كه SF_V ضريب افزايش بارهاي قائم (طبق آئين نامه قديم) به دو ضريب جديد تقسيم مي شود، يكباز اين ضرايب بر بارهاي مرده و ديگري به بار ناشي از وزن يخ زدگي اثر مي نمايند. همچنين ضريب SF_T ضريب بارهاي طولي، خود به دو ضريب تبديل مي شود، كه يكي بر بارهاي طولي ناشي از

بار مرده و ديگري بر بار طولي ناشي از يخزدگي اعمال مي گردد. SF_w نيز همچنان ضريب بارهاي جانبي است، كه البته چه در آئين نامه قديم و چه در حالت جديد بر بارهاي جانبي ناشي از وزش باد اعمال مي گردد.

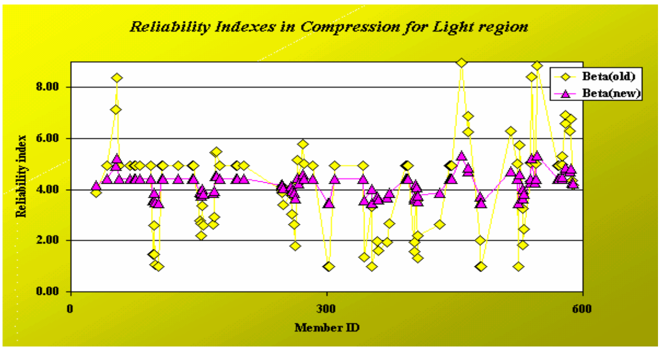
طراحي مجدد اعضاي دكلهاباضرايب جديد و مقايسة وزني آنها با اعضاي قديمي

با استفاده از ضرايب جديد براي بار ديگر دكلهاي 230Kv درچهار شهر انتخابي طراحي شده و اعضاي جديد از نظروزني بااعضاي قديمي(طراحي هاي اوليه براساس بارگذاري شركت مشانير) مقايسه شده اند.

در شكل(٦) براي هر چهار شهر، مجموع وزن اعضاي انتخابي كه دريک چهارم پلان دكل قرار مي گيرند (پلان دكل داراي دو محور تقارن است و احتياجي به مقايسه وزني همه اعضا نيست) با يكديگر مقايسه شده اند. همانطور كه از اين شكل برداشت مي‌شود دكلهاي 230Kv طراحي شده طبق آئين نامه بارگذاري مشانير[٢] در شهرهاي بندر عباس، تهران و شهركرد تا حد زيادي (درحدود ٢٠ تا ٢۶%) محافظه كارانه و تنها در شهر يزد وآن هم درحدود ٣ تا ٤% سبك و غيرمحافظه كارانه طراحي مي‌شوند.

كنترل همگرائي شاخصهاي قابليت اعتماد حاصله به شاخصهاي قابليت اعتماد هدف

پس از طراحي اعضا طبق ضرايب اخير لازم بود جهت كنترل همگرايي شاخصهاي قابليت اعتماد اعضا به شاخصهاي قابليت اعتماد هدف و بررسي عملكرد ضرايب انتخابي براي بار ديگر شاخصهاي قابليت اعتماد اعضاي جديد با استفاده از برنامه Beta مورد ارزيابي قرار مي‌گرفت و شاخص آنها در حالات حدي مطرح شده تعيين مي‌شد.



شكل ٧: مقايسه شاخصهاي قابليت اعتماداعضاي جديد و قديم در حالت حدي فشار (كمانش) در شهر بندرعباس.

جدول ٥: ميانگين و انحراف معيار شاخص قابليت اعتماد اعضا درحالات حدي فشار(كمانش) و كشش طبق ضرايب جديد طراحي.

نوع منطقه (شهر انتخابي)	شاخصهاي قابليت اعتماد(β)			
	حالت حدي فشار (كمانش)		حالت حدي كشش	
	ميانگين	انحراف معيار	ميانگين	انحراف معيار
سبك (بندر عباس)	4.21	0.44	6.49	0.33
متوسط(يزد)	4.15	0.48	6.43	0.35
سنگين (تهران)	4.31	0.45	6.57	0.25
فوق سنگين (شهركرد)	4.32	0.40	6.51	0.26

لذا در اين قسمت براي بار ديگر برنامة Beta با استفاده از فايلهاي جديد بارگذاري راه اندازي شده و شاخصهاي قابليت اعتماد اعضا براي حالات حدي كشش و فشار در شهرهاي انتخابي محاسبه گرديد. خلاصه اي ازنتايج بدست آمده ازاين محاسبات براي مقايسه با شاخصهاي قابليت اعتماد قديم، درقالب شكل (۷) براي شهربندرعباس(درحالت حدي فشار) و براي ساير شهرهاي انتخابي بصورت كلي تردر جدول (۵) آورده شده است. همانطور كه ملاحظه مي شود پراكندگي شاخصهاي قابليت اعتماد نسبت به آنچه كه درجدول (۲) بدست آمد، تاحد زيادي كاهش يافته است.

نتيجه گيري

در اين مقاله ما روش جديدي را در تخمين احتمال خرابي و تعيين شاخص قابليت اعتماد دكلها در حالات حدي فشار و كشش مطرح نموديم كه در واقع تركيبي از دو روش عددي مونت-كارلو و روش تحليلي راكويتز-فيسلر بود. اگرچه تحقيقات حاضر تنها روي دكلهاي 230Kv انجام گرفته است ولي برنامه Beta بگونه اي تهيه شده است كه مي‌توان در تخمين احتمال خرابي دكلهاي مختلف از آن استفاده نمود.

باتوجه به تحقيقات صورت گرفته ملاحظه مي شود كه نگرشي تصادفي به متغيرهاي بارگذاري و مقاومت و در نظر گرفتن خصوصيات آماري اين متغيرها طبق نظرية قابليت اعتماد، مي تواند براي كلية سازه ها و ازجمله دكلهاي انتقال نيرو نتايج واقع بينانه تري را بوجود آورد.از طرفي با اين نگرش ضرايب ايمني جزئي كه درقالب ضرايب افزايش بار بيان مي شوند، بگونه اي قابل تنظيم خواهند بود كه بارهاي با اهميت بيشتر(عدم قطعيت و تغيير پذيري بيشتر) داراي ضرايب بزرگتر و بارهاي با اهميت كمتر از ضرايب كوچكتري برخوردار شوند و به اين ترتيب مساله اقتصاد طرح از ابتداي بارگذاري دكلها وارد محاسبات و طراحي ها مي گردد و در عين حال يكنواختي ايمني را براي اعضا و اجزاي سازه اي به دنبال خواهد داشت. اما نتيجه مهمتري كه مي توان از بررسي ها صورت گرفته داشت آنست كه دكلهاي داخل كشورمان (ايران) در بعضي از شهرها بسيار غير اقتصادي و دربرخي ديگر(يزد)تنها اندكي دست پائين طراحي مي شوند، كه اين امر اهميت انجام تحقيقات بيشتر را روي دكلهاي شهرهاي مختلف كشورمان آشكار تر مي سازد.

مراجع

1 - Mirsharifi, S. A., (1382) *Statistical Analysis of Random Variable for Loading of Tower Transmission lines in Iran,* Technical University of Shahrood.

2 - Moshanir (Electrical Engineering Service Attendance Company), (1377). *Standard for Loading of Tower Transmission Lines,* General Standard Engineering for Designing of Power Transmission lines in Iran-Department of Research and Standards.

3 - Haydari, G. A. (1379) *Electrical Design of Power Transmission Lines,* By Order of Regional Electric Attendance Company of Tehran, Tabesh Propagation.

4 - Mohammad Zadeh, S. (1381). *Reliability analysis of railway's concrete bridges*, Science and Industry University of Iran.

5 - Javadi Dashte Bayaz, M. H. (1368). *Design of Aerial power Transmission Lines,* Propagation of Astane Ghodse Razavi Institute.

6 - Nowak, A. S. and Collins, K. C. (2000). *Reliability Of Structures*, University Of Michigan, McGraw-Hill International Edition.

7 - Guide for Design of Steel Transmission Towers, (1988). *ASCE Manual52,* American Society Of Civil Engineers, New York , N. Y. 19.Second Edition.

8 - SSPB Standard, (1978). *Swedish State Power Board, 400Kv Transmission Line in Iran.*

9 - Pay rot, A. H. and Dagher, H. J. (1984). *Reliability – Based Design of Transmission Lines*, This paper is part of the journal of structural Engineering, Vol .110, No .11.

10 - IEC – 826 Standard, (1998). "Loading and strength of overhead transmission – lines." *International Electro technical Commission*.

11 - Cho, H. N. and Lee, S. J. (1991). *Reliability – Based Design of Transmission Towers Under Wind and Ice Loading.*

12 - Bathon, L., Mueller, W. H. and Kempner, L. (1992). "Ultimate Load Capacity of Single Steel Angles." *this paper is part of the Journal of Structural Engineering*, Vol. 199, No.1, January 1993.

13 - Ranganathan, R. (1990). *Reliability Analysis and Design of Structures*, Tata Mc Graw-Hill Co. Civil Engineering Dept., I.I.T., Bombay.

14 - Dagher, H. J. (1999). *Reliability of Poles in NESC Grade C Construction,* University of Maine, Orono, ME 04469-5793.

15 - Rackwitz, R. and Fiessler, B. (1978). "Structural reliability under combined random load sequences." *Computers & Structures,* PP.489-494.

16 - Hart, G. C. (1982) *Uncertainty Analysis; Load, and Safety in Structural Engineering*, Prentice- Hall, Inc, Englewood Cliffs, N.Y.

17 - Sorensen, J. D. (2001). *Calibration of Partial Safety Factors in Danish Structural Codes*, University of Aalborg (Denmark). JCSS Workshop on Reliability Based Code Calibration.

18 - Sorensen, J. D. and Faber, M. H. (2002). *Reliability Based Code Calibration*, Joint Committee on Structural Safety.

19 - Gulvanessian, H. and Holicky, M. (2001). *Reliability Based Calibration of Eurocodes Considering a Steel Member,* JCSS Workshop on Reliability Based Code -Calibration.

20 - SAKO, (1999). Sako: *Probabilistic Calibration of Partial Safety Factors in the Euro-Codes.*

واژه هاي انگليسي به ترتيب استفاده در متن

1 - Target Reliability Index
2 - Load and Resistance Factors
3 - Design Factors
4 - MONTE - CARLO METHOD
5 - RACKWIT-FIESSLERZ
6 - Failure
7 - Limit State Function
8 - Nowak
9 - Importance Sampling Method
10 - Latin Hypercube Sampling
11 - HASOFER-LIND METHOD
12 - Reliability Index
13 - Load and Resistance Factors
14 - Design Point
15 - Weight factor