

دانشگاه آزاد اسلامی واحد کازرون

ارزیابی امنیت استاتیکی سیستم قدرت به کمک

SUPPORT VECTOR MACHINES (SVM)

تهیه کنندگان :

علی محمد زارع

امید نصیری

استاد راهنما :

جناب آقای دکتر محمد محمدی

بهار 1386

بسم الله الرحمن الرحيم

با سلام خدمت استاد گرامی جناب آقای دکتر محمد محمدی

احتراما متن پایان نامه دوره کارشناسی برق _ قدرت را به همراه CD نرم افزاری آن به

جنابعالی تقدیم می نمائیم . به استحضار می رسانیم که به سفارش جنابعالی در فصل اول

این متن مقدمه ای در مورد امنیت سیستم قدرت و در فصل دوم مقدمه ای در رابطه با

شبکه های عصبی مصنوعی و در سه فصل آخر به موضوع SVM و نرم افزار SVM که به

زبان MATLAB نوشته شده است ، و روش استفاده از دو نرم افزار PSAT و

POWER WORLD SIMULATOR در بدست آوردن حالت سیستم قدرت و

ارزیابی حالات آتی سیستم به کمک SVM پرداخته ایم .

در پایان از جنابعالی به خاطر حمایت های بی دریغتان در به اتمام رسانیدن این پایان نامه

و هم چنین از کلیه اساتید و سروران گرامی که از محضرشان علم و ادب آموختیم نهایت

تشکر را داریم و از خداوند متعال سلامتی و توفیق روز افزون را برای شما آرزومندیم .

علی محمد زارع

امید نصیری

واژه نامه :

SVM : Support Vector Machine

SVR : Support Vector Regression

SVC : Support Vector Classification

SRM : Structural Risk Minimization

ERM : Emperical Risk Minimization

SSA : Static Security Assessment

DSA : Dynamic Security Assessment

فهرست مطالب

فصل اول :

6	 مفهوم امنیت شبکه
7	 1-1 انرژی رسانی و مفهوم امنیت
8	 1-2 ارزیابی امنیت
9	 1-3 آنالیزهایی برای ارزیابی امنیت
11	 1-4 ارزیابی امنیت استاتیکی
11	 1-4-1 روش وقایع قطعی
13	 1-4-2 روش اتفاقات احتمالی

فصل دوم :

15	 شبکه های عصبی
16	 مقدمه
17	 2-1 تاریخچه شبکه عصبی
20	 2-2 مدل نرون
20	 2-2-1 مدل تک ورودی
22	 2-3 توابع محرک
23	 2-3-1 تابع محرک خطی
23	 2-3-2 تابع محرک آستانه دو مقدار حدی
24	 2-3-3 تابع محرک زیگموئیدی
24	 2-4 مدل چند ورودی
25	 2-5 فرم خلاصه شده
25	 2-6 شبکه تک لایه
26	 2-7 شبکه های چند لایه
28	 2-8 شبکه های پسخور یا برگشتی
29	 2-9 معرفی سه شبکه عصبی
29	 2-9-1 پرسپترون تک لایه

فصل سوم :

32	SVM
33	چکیده
33	3-1 تئوری یادگیری آماری
36	3-2 بعد VC
37	3-3 ابر صفحه جدا ساز
38	3-4 ابر صفحه جدا ساز بهینه
44	3-5 ابر صفحه جدا ساز بهینه تعمیم یافته
47	3-6 تعمیم به فضای دارای ویژگی ابعادی بالا
49	3-7 بررسی اجمالی
50	3-8 توابع کرنل
50	3-8-1 کرنل خطی
50	3-8-2 polynomial
51	3-8-3 rbf
51	3-8-4 erbf
51	3-8-5 MLP
51	3-8-6 سری های فوریه
52	3-8-7 چند جمله ای ها
52	3-8-8 چند جمله ای b
52	3-8-9 کرنل های جمع پذیر
53	3-8-10 کرنل های چند بعدی
54	3-9 سنجش عملکرد
55	3-10 انتخاب کرنل مناسب
55	3-11 مقایسه بین شبکه های عصبی مصنوعی و SVM

فصل چهارم :

57	نرم افزار SVM
58	4-1 نرم افزار SVM
58	4-2 خصوصیات نرم افزار SVM

فصل پنجم :

69	انتخاب حالت مناسب.....
70	5-1 تعریف حالت
70	5-2 استفاده از PSAT (روش اول).....
72	5-3 نرم افزار PSAT
84	5-4 روش دیگر بدست آوردن حالت از به کمک psat (روش دوم)
96	5-5 روش بدست آوردن حالت n بعدی به کمک psat (روش کلی)
105	5-6 بدست آوردن حالت به کمک power world simulator
108	منابع

فصل اول

مفهوم امنیت شبکه

1-1 انرژی رسانی و مفهوم امنیت

هدف نهائی یک سیستم قدرت آن است که مصرف کنندگان را با انرژی الکتریکی تغذیه نماید، انرژی رسانی و مخصوصا در حیطه انرژی الکتریکی _ در طول تاریخ، مفاهیم متعددی به خود گرفته و متضمن برآورده کردن خواسته های گوناگونی شده است. چنانکه در زمان اولین برق رسانی مفاهیمی چون کیفیت توان، پایداری شبکه، ضریب اطمینان سیستم، میزان تعهد شرکت های برق در تداوم برق رسانی به مشترکان و... وجود نداشتند. امروز انرژی مطلوب است که مشخصات زیر را دارا باشد:

- 1- تا جایی که ممکن است ارزان قیمت به دست مصرف کننده برسد.
 - 2- برق دار کردن مصرف کننده ها باید همراه با اطمینان دادن به آنها در مورد پیوستگی برق دار ماندن باشد چون مصرف کنندگان تا یک حد منطقی انتظار تداوم انرژی الکتریکی را دارند.
 - 3- کیفیت توان یکی از مسائل مهمی است که امروزه با ورود عناصر مختلف به شبکه (مهمتر و تاثیر گذارتر از همه، عناصر الکترونیک قدرت هستند) جای بحث و بررسی بیشتری دارد. (چه بسا ممکن است در آینده، معیارهائی برای برق رسانی مطلوب به مصرف کنندگان تعریف شود که امروزه حتی به لزوم وجود آنها فکر هم نمی شود).
- یک شبکه قدرت برای برآورده کردن اهداف فوق باید یک سیستم "ایمن" باشد. امنیت یک شبکه همان طور که اشاره شد متضمن دو مفهوم گسترده "انجام کارهای لازم برای رضایتمندی مصرف کننده از انرژی تحویل گرفته شده" و "قابلیت اطمینان شبکه قدرت است". در توصیف این دو مفهوم از منظر شبکه (نه از دیدگاه مصرف کننده) باید گفت خصوصیات در شبکه برق رسانی باید وجود داشته باشد تا یک سیستم با توجه به پارامترهای فوق، "ایمن" ارزیابی گردد که از جمله این شرایط می توان به نکات زیر اشاره کرد:

- 1- در قسمت تولید، باید امکان تولید انرژی به میزان کل تقاضا فراهم باشد.
 - 2- در قسمت انتقال و توزیع، ابزار و ادوات انتقال انرژی مورد نیاز است تا بتواند تولید شده را نهایتا به مصرف کننده برساند.
 - 3- از یک دید بالا دستی، کل مجموعه تولید، انتقال و توزیع باید بتواند در مقابل خطاهای غیر منتظره، در یک تعامل خوب با همدیگر، پایداری خود را حفظ کرده وبدون وقفه به مصرف کنندگان برق رسانی کند.
- ارزیابی امنیت شبکه ها امروزه یکی از مسائل مهم و مورد توجه در فاز برنامه ریزی، طراحی و بهره برداری از شبکه قدرت می باشد.

اتفاقاتی که در شبکه قدرت رخ می دهند یا نتیجه امور طبیعی هستند (مانند برخورد صاعقه به خط انتقال که نهایتاً به خروج خط منجر می شود) یا توسط عامل انسانی به وجود آمده اند (مثل سوئیچینگ یک خط)

بروز پیشامدها می تواند اغتشاش کوچک (و در یک دامنه زمانی طولانی) و یا بزرگ (وسریع) به همراه داشته باشند مثلاً زمان وقوع و گستردگی عواقب ناشی از دو اتفاق زیر بطور فاحشی متفاوتند:

الف) تغییر رفتار مصرف، مصرف کنندگان بصورت تصادفی بر اثر وقوع حادثه ای غیرمنتظره

ب) خارج شدن یک خط انتقال یا یک نیروگاه از مدار

معمولاً شبیه سازی عددی یک رویداد برای ارزیابی تاثیر آن واقعه روی شبکه قدرت، استفاده می شود ولی طبیعت غیر خطی و غیر قابل پیش بینی پدیده های طبیعی و افزایش پیچیدگی در شبکه های قدرت، ارزیابی امنیت را در شبکه با مشکل مواجه می کند.

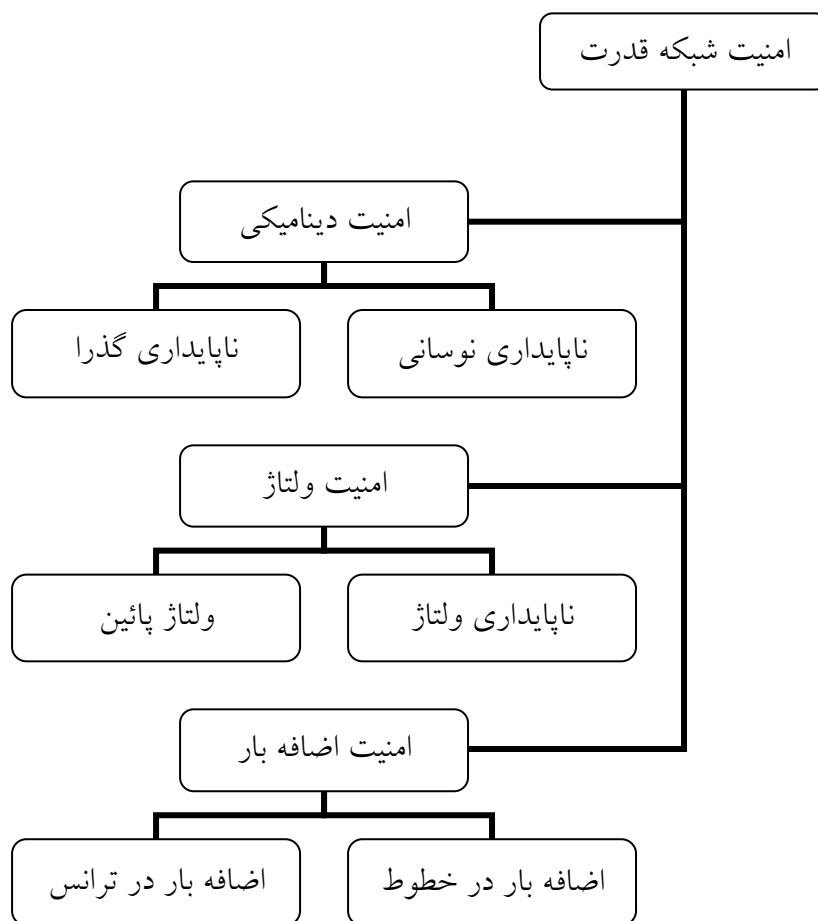
هر تغییر کوچک در هریک از بارهای شبکه، باعث تغییر وضعیت در سیستم شده و مجموعه هر تغییر کوچک (هر چند بسیار اندک) به حاشیه های نا امنی نزدیک کرده یا از آن دور می کند. با این حال امنیت شبکه، فقط برای وقایع بزرگ که منجر به تغییر حالات گسترده در سیستم می شود، ارزیابی می گردد.

توضیح اینکه، عامل تغییر حالات وسیع، وقایع بزرگ هستند مثلاً عملکرد رله ها که اکثراً موجب خروج خطوط و ترانسفورماتورها می شوند، یکی از عوامل مهم در تغییر وضعیت شبکه های قدرت است.

بعد از وقوع هر تغییری در شبکه، جزء به جزء سیستم نسبت به تغییر شرایط کاری ایجاد شده عکس العمل نشان داده و ممکن است به یک وضعیت کاری جدید برسند، بررسی عددی پاسخ به هر جزء به تغییر اعمال شده و بررسی شرایط کاری جدید هر عنصر، "ارزیابی امنیت" نامیده می شود. که از لحاظ نوع ارزیابی دارای سه زیر شاخه است که در بخش 3-1 توضیح داده شده است.

1-3 آنالیزهایی برای ارزیابی امنیت

ارزیابی امنیت یک مفهوم گسترده است و هر روز بر وسعت آن اضافه می گردد چنانکه امروزه برخی از مفاهیمی که قبلا به طور مستقل شناخته می شدند (مثلا مفهوم کیفیت توان) را در بر می گیرد . بنابراین تعیین وضعیت امنیت یک سیستم منوط به انجام ارزیابی های متعددی می باشد. در شکل (1-1) آنالیزهای متفاوتی که در ارزیابی امنیت استفاده می شوند، نشان داده شده است . همچنین در جدول (1-1) تصمیم گیریهای متفاوت براساس بازه زمانی که امنیت در آن بررسی می شود، مرتب شده است .

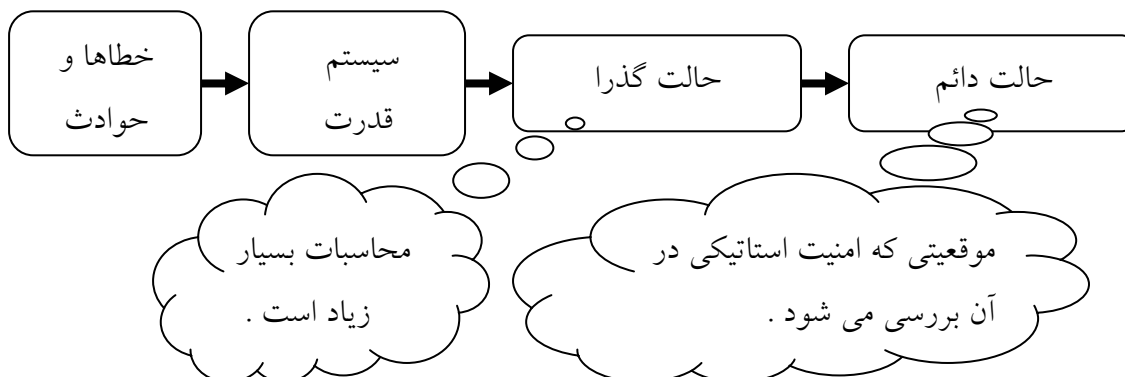


شکل (1-1) : رده بندی عملیات ارزیابی امنیت

جدول (1-1) : ارزیابی امنیت و تصمیم گیری های وابسته به آن

بازه زمانی	تصمیم گیر	تصمیم	مبنای تصمیم گیری
ارزیابی به هنگام (چند دقیقه تا چند ساعت)	اپراتور	در وضعیت کاری فعلی سیستم ، چه اقداماتی باید انجام شود تا مجموع کل هزینه ها کاهش یابد ؟	_ قوانین بهره برداری _ نتایج ارزیابی بلادرنگ _ کمینه کردن کل هزینه
برنامه ریزی برای بهره برداری (چند ساعت تا چند ماه)	تحلیل گر	از شبکه چگونه بهره برداری شود ؟	1- حالت بهره برداری بیشترین فاصله تامرزه های ناامنی داشته باشد. 2- قابلیت اطمینان در نظر گرفته شود .
برنامه ریزی (چند ماه تا چند سال)	تحلیل گر	چگونه می توان سیستم انتقال را در مقابله با ناامنی مقاومتر کرد ؟	حداکثر میزان قابلیت اطمینان با توجه به حداقل کردن هزینه ها

اگر وضعیت امنیت سیستم بعد از وقوع خطا (وقتی که سیستم محدوده زمانی پایداری گذرا را رد کرده و به تعادل رسیده است) ارزیابی شود به این عملیات ، ارزیابی امنیت استاتیکی (SSA) گفته می شود . ارزیابی امنیت استاتیکی یا بررسی وضعیت حالت دائم ، نشان دهنده توانائی سیستم در تغذیه بارهاست بدون این که شرط " بد " ی در مجموعه پیش آید . شکل (1-2)



شکل (1-2) : امنیت استاتیکی در حالت دائم بررسی می شود

ولی اگر ارزیابی امنیت ، بلافاصله بعد از وقوع اغتشاش شروع شود و حالات گذرا در این عملیات لحاظ گردد به آن ارزیابی امنیت دینامیکی (DSA) گفته می شود . مفهوم DSA از نظر انجمن مهندسی برق بصورت زیر بیان می شود :

سیستمی از نظر دینامیکی امن است که :

1- در مقابل یک سری اتفاقات معین بتواند پایدار بماند .

2- بعد از رخداد اغتشاش ، توانائی انتقال حالت به یک وضعیت دائمی قابل قبول را داشته باشد .

امنیت دینامیک ، توانائی یک سیستم را در تغذیه بارها با توجه به مسائل دینامیکی از قبیل ناپایداری گذرا ، ناپایداری نوسانی میرا شونده و... نشان می دهد .

امنیت ولتاژ ، توانائی یک سیستم است در حفظ ولتاژ باس بارها ، یعنی این که شبکه پایدار باشد و بتواند پایدار باقی بماند . صرفاً مفهوم ولتاژ داشتن باس بارها در لحظه ارزیابی امنیت مطرح نیست بلکه این نوع بررسی ، پیش بینی زمانهای بعد از ارزیابی امنیت ولتاژ را نیز انجام می دهد .

در امنیت ولتاژ حالاتی که منجر به فروپاشی ولتاژ (Voltage Collapse) می شوند ، شناسائی می گردند .

هر کدام از ارزیابی های امنیت استاتیک یا دینامیک یا امنیت ولتاژ بصورت موازی و کاملاً مستقل از هم انجام می شود و نتایج هر کدام به طور مستقل می تواند مبنای یک سری از تصمیم گیری ها قرار بگیرد . (که مسلماً دقیق و جامع نخواهد بود)

مثلاً SSA می تواند به سرعت نتیجه امنیت حالت دائم یک شبکه را مشخص کند ، با یک نگاه ساده به خروجی های استاتیکی هر شبکه ، بعد از وقوع هر اتفاق ، می توان امنیت یا عدم امنیت آن را مشخص کرد . ولی برای دانستن اینکه سیستمی کاملاً امن هست یا نه ، DSA باید انجام شود .

1-4 ارزیابی امنیت استاتیکی

1-4-1 روش وقایع قطعی (Deteministic Contingencies)

روش هایی که امروزه در بررسی وضعیت ایمنی شبکه بکار می روند، روش های قطعی ارزیابی امنیت هستند که سعی می کنند تمام حالات ممکن برای ناپایداری و اغتشاش را در آموزش شبکه در نظر بگیرند . در ارزیابی امنیت به روش " وقایع قطعی " ، برای تشکیل یک محدوده برای امنیت ، مراحل زیر باید اجرا شوند :

1- یک مجموعه داده از نتایج عملیات پخش بار روی شبکه باید تهیه شود . عملیات پخش بار

باید به ازای دوره های زمانی خاص (ماه های مختلف سال و یا سال های مختلف) و یا شرایط

مختلف بار گذاری شبکه (زمان پیک بار - زمان نرمال کاری شبکه - زمان هائی که شبکه در کمترین میزان بارگذاری است) اجرا شود .

2- لیست مجموعه ای از اتفاقات و حوادث باید تهیه شود . اتفاقاتی که مورد توجه قرار می گیرند بسته به حساسیت مطالعه و ارزیابی امنیت شبکه ، متفاوت هستند . چنانکه ممکن است در یک بررسی دقیق اثر تفاوت دمای روز گرم تابستان و سرمای زمستان ، روی امنیت شبکه بررسی شود ولی در مطالعه دیگر، حتی از تلفات اهمی در خطوط انتقال چشم پوشی گردد . معمولاً تجربه و دانش فنی افراد راجع به یک سیستم خاص می تواند راهنمای خوبی برای تهیه لیست اتفاقات باشد .

3- پارامترهای مورد مطالعه و محدوده برای هر کدام باید تعیین شود . پارامترهائی باید در این قسمت در نظر گرفته شوند که اگر در محدوده مجاز قرار نگیرند ، سیستم را " ناامن " تلقی می کنیم . معمولاً این پارامترها سطح ولتاژ باس بارها ، توان عبوری از خطوط ، توان تولیدی ژنراتورها ، توان بانک های خازنی و رآکتورهای نصب شده در پست ها هستند . برخی از پارامترها اصولاً در SSA مورد توجه نیستند پس در این مجموعه وارد نمی شوند (مثلاً اندیسی که معرف کیفیت توان عرضه شده به مصرف کنندگان است در SSA بررسی نمی شود) .

4- وقایع، یک به یک روی شبکه اعمال می شوند؛ بعد از انجام عملیات پخش بار، مشخص می شود که پارامترهای مشخص شده در بند 3 همگی در محدوده های خود هستند یا اینکه یکی یا چند تا از آنها خارج از مقدار مجازشان قرار گرفته اند. اگر تمام پارامترها در محدوده قابل قبول بودند، مطالعه آن حالت به اتمام رسیده و حالت بعدی بررسی می شود

5- ممکن است بعد از اعمال حالات مختلف روی شبکه، یک یا چند پارامتر خارج از محدوده خود قرار گیرند. مجموعه این اتفاقات یک مرز برای تفکیک امنیت عدم امنیت می سازند که این مرز ممکن است یک خط (اگر دو متغیر، مورد مطالعه باشد) یا یک صفحه (اگر تعداد متغیرهای مورد نظر، 3 تا باشد) و یا یک مرز جدا کننده از درجات بالاتر باشد.

6- از مجموعه اطلاعات بدست آمده در بخش 5 معمولاً یک سری جدول و نمودار استخراج می شود که اپراتور به راحتی بتواند با آنها کار کند .

1-4-2 روش اتفاقات احتمالی (Probabilistic Contingencie)

سیستم های قدرت به تدریج از حالت تولید، انتقال و توزیع تک قطبی (که در آن مدیریت، اجزا و نظارت بر عهده بخش دولتی است) به شکل اداره شدن در قالب یک بازار برق در می آیند. این امر و عواقب آن مانند بزرگ شدن یک سیستم و چند مدیریتی بودن کل مجموعه می تواند کل سیستم را به سمت ناپایداری برود پس این جهت گیری لازم می دارد تا شبکه در حاشیه امنیت بیشتری کار کند.

از طرفی رعایت حاشیه امنیت بیشتر برای یک سیستم، مستلزم صرف هزینه های هنگفتی است که قیمت تمام شده کالا (انرژی الکتریکی) را افزایش می دهد و در ساختار بازار برق این امر اصلاً مطلوب نیست.

و از طرف دیگر ارزیابی امنیت در صورتی که پیشامدها بصورت قطعی در نظر گرفته شوند. محدوده امنیتی به نسبت کوچکی ایجاد می کند و اجازه بهره برداری شبکه را در بسیاری حالات نمی دهد. به منظور کاهش دادن قیمت انرژی عرضه شده به مصرف کننده ، باید راهی پیدا کرد تا فراتر از مرزهای امنیتی که در روش اتفاقات قطعی بدست می آیند، از سیستم بهره برداری نمود. ولی تا کجا می توان محدوده کوچک تعریف شده امنیتی را گسترش داد؟

یکی از خصوصیات ارزیابی امنیت به روش اتفاقات قطعی که باعث می شود تا محدوده امن بهره برداری، به نسبت کوچک بماند، این است که تمام وقایع را در دو دسته قرار می دهد: یا آن پیشامد در مورد فلان شبکه، اتفاق افتادنی است یا اینکه امکان اتفاق افتادن آن برای سیستم مورد بحث به هیچ وجه وجود ندارد.

با این پیش فرض برای یک شبکه مثلاً "افزایش بار فلان مصرف کننده" و "خروج یک نیروگاه" هر دو "ممکن" ، طبقه بندی می شوند. حال آنکه ممکن است اتفاق اول در طول شبانه روز بارها اتفاق بیفتد در صورتی که احتمال وقوع حالت دوم، هر ده سال یک مورد باشد.

خلاصه اینکه برنامه ریزی برای مقابله با فلان حادثه بدون در نظر گرفتن احتمال آن، کاری غیر منطقی است و باعث سرمایه گذاری بی مورد می شود.

راه حل منطقی اینست که به وقایع، به میزان احتمالی که امکان وقوع می یابند ارزش داده و به جای فکر کردن سیاه و سفید، خاکستری هم فکر کنیم!

بعضی از محققان، روش های تحلیلی برای حل مسئله به روش اتفاقات احتمالی پیشنهاد کرده اند و برخی دیگر شبیه سای مونت - کارلو (Monte - Carlo) را برای این کار برگزیده اند.

روش های تحلیلی که قرار است بر اساس شرایط احتمالی کار کنند. وقتی برای ارزیابی امنیت یک شبکه قدرت بکار می روند، منجر به محاسبات سنگین و وقت گیر می شوند در صورتی که شبیه سازی مونت - کارلو برای سیستم های پیچیده مناسب تر است.

مراحل 1 تا 3 و مرحله 6، در ارزیابی امنیت به روش وقایع احتمالی مشابه روش اتفاقات حتمی است. مراحل دیگر به قرار زیر هستند:

4- برای هر یک از پیشامدها، یک اندیس احتمال تعریف می شود که هر چه میزان این اندیس کمتر باشد احتمال رخداد آن واقعه کمتر است. میزان این اندیس از روی اطلاعات گذشته شبکه و توجه به برنامه ریزی آینده سیستم و استفاده از تجربه بدست می آید.

5- در این روش محدوده یک پارامتر خاص در همه شرایط یکسان نبوده و بستگی به مقدار اندیس احتمال دارد. هر چه اندیس احتمال بیشتر باشد یعنی احتمال وقوع آن پیشامد بیشتر بوده و پارامترها باید با سخت گیری بیشتری لحاظ شوند. ولی هر چه این اندیس کاهش می یابد حد تغییرات پارامترها افزایش می یابد و تغییرات آنها در محدوده وسیع تری قابل قبول است.

فصل دوم

شبکه های عصبی

مقدمه :

در سالیان اخیر شاهد حرکتی مستمر ، از تحقیقات صرفاً تئوری به تحقیقات کاربردی بخصوص در زمینه پردازش اطلاعات ، برای مسائلی که برای آنها راهحلی موجود نیست و یا به راحتی قابل حل نیستند بوده‌ایم. با عنایت به این امر ، علاقه فزاینده‌ای در توسعه تئوریک سیستم‌های دینامیکی هوشمند مدل-آزاد- که مبتنی بر داده‌های تجربی هستند - ایجاد شده است. "شبکه عصبی مصنوعی" جزء این دسته از سیستم‌های دینامیکی قرار دارند ، که با پردازش روی داده‌های تجربی ، دانش یا قانون نهفته در ورای داده‌ها را به ساختار شبکه منتقل می‌کنند. به همین خاطر به این سیستم‌ها هوشمند گویند ، چرا که براساس محاسبات روی داده‌های عددی یا مثال‌ها ، قوانین کلی را فرا می‌گیرند. این سیستم‌ها در مدل‌سازی ساختار نرو-سیناپتیکی مغز بشر می‌کوشند.

پیاده‌سازی ویژگی‌های شگفت‌انگیز مغز در یک سیستم مصنوعی (سیستم دینامیکی ساخته دست بشر) همیشه وسوسه‌انگیز و مطلوب بوده است. محققینی که طی سال‌ها در این زمینه فعالیت کرده‌اند بسیارند ؛ لیکن نتیجه این تلاش‌ها ، صرف‌نظر از یافته‌های ارزشمند ، باور هرچه بیشتر این اصل بوده است که " مغز بشر دست‌نیافتنی است."

شبکه‌های عصبی چه در بعد آنالیز و توسعه ساختاری و چه در بعد پیاده‌سازی سخت‌افزاری ، از نظر کمی ، کیفی و توانایی ، در حال رشد و پیشرفت می‌باشد و تکنیک‌های مختلف محاسبات عصبی از لحاظ تعداد همچنان در حال افزایش است. فعالیت علمی و کاربردی در مسائل فنی - مهندسی از قبیل سیستم‌های کنترلی ، پردازش سیگنال‌ها و شناسایی الگو گسترش یافته است. با اذعان به این مسائل ، در این بخش قصد داریم به معنای شبکه‌های عصبی مصنوعی ، حدود انتظارات ما از این شبکه‌ها و شباهت‌های آنها به شبکه‌های واقعی پردازیم . با امید به آن که در این فصل نمایی کلی از شبکه‌های عصبی در ذهن ما نقش بندد در فصل سوم این گزارش به بیان نوعی جدید از ماشین‌های آموزشی با نام SVM می‌پردازیم و سپس مقایسه‌ای بین این دو مدل (شبکه‌های عصبی و SVM) انجام می‌دهیم . بنابراین در این فصل سعی بر بیان مسائل مقدماتی و کلی شبکه‌های عصبی داریم و از بیان جزئیات مربوط به شبکه‌های عصبی کناره‌گیری می‌کنیم .

1-2 تاریخچه شبکه‌های عصبی

بعضی از پیش‌زمینه‌های شبکه‌های عصبی را می‌توان به اوایل قرن بیستم و اواخر قرن نوزدهم برگرداند. در این دوره، کارهای اساسی در فیزیک، روانشناسی و نرووفیزیولوژی توسط علمایی چون هرمان فون هلمهلتز، ارنست ماخ، و ایوان پاولف صورت پذیرفت. این کارهای اولیه عموماً بر تئوری‌های کلی یادگیری، بینایی و شرطی تاکید داشته‌اند و اصلاً به مدل‌های مشخص ریاضی عملکرد نرون‌ها اشاره‌ای نداشته‌اند.

دیدگاه جدید شبکه‌های عصبی در دهه 40 قرن بیستم آغاز شد زمانی که وارن مک کلوت و والتر پیترز نشان دادند که شبکه‌های عصبی می‌توانند هر تابع حسابی و منطقی را محاسبه نمایند. کار این افراد را می‌توان نقطه شروع حوزه علمی شبکه‌های عصبی مصنوعی نامید و این موضوع با دونالد هب ادامه یافت؛ شخصی که عمل شرط گذاری کلاسیک را که توسط پاولف مطرح شده بود به عنوان خواص نرون‌ها معرفی نمود و سپس مکانیسمی را جهت یادگیری نرون‌های بیولوژیکی ارائه داد.

نخستین کاربرد علمی شبکه‌های عصبی در اواخر دهه 50 قرن بیستم مطرح شد، زمانی که فرانک روزنبلات در سال 1958 شبکه پرسپترون را معرفی نمود. روزنبلات و همکارانش شبکه‌ای ساختند که قادر بود الگوها را از هم شناسایی نماید. در همین زمان بود که برنارد ویدرو در سال 1960 شبکه عصبی تطبیقی خطی آدلاین را با قانون یادگیری جدید مطرح نمود که از لحاظ ساختار، شبیه شبکه پرسپترون بود.

هر دوی این شبکه‌ها، پرسپترون و آدلاین، دارای این محدودیت بودند که توانایی طبقه‌بندی الگوهایی را داشتند، که به طور خطی از هم متمایز می‌شدند. ویدرو و روزنبلات هر دو از این امر آگاه بودند، چون آنها قانون یادگیری را برای شبکه‌های عصبی تک لایه مطرح نموده بودند که توانایی محدودی جهت تخمین توابع داشتند. هر چند آنها توانستند شبکه‌های چند لایه را مطرح نمایند، لکن نتوانستند الگوریتم‌های یادگیری شبکه‌های تک لایه را بهبود بخشند.

با عنایت به این که شبکه‌های عصبی از دو ویژگی اساسی یادگیری یا نگاشت‌پذیری بر اساس ارائه داده‌های تجربی (قدرت و توانایی تعمیم‌پذیری) و ساختارپذیری موازی برخوردار می‌باشند این شبکه‌ها برای مسائل کنترل، علی‌الخصوص سیستم‌های پیچیده که مدل‌سازی این سیستم‌ها یا میسر نیست و یا به سختی انجام می‌شود بسیار مناسب می‌باشند. لازم به توضیح است که آنالیز پایداری و آنالیز همگرایی پارامترهای کنترل‌کننده سیستم‌های حلقه بسته هنوز بحث روز می‌باشد.

نخستین کاربرد شبکه‌های عصبی در کنترل سیستم‌ها توسط ویدرو در سال 1963 ارائه شده است. یک شبکه عصبی ساده خطی آموزش می‌بیند آن گونه که یک پاندول معکوس را کنترل نماید (پایدار سازد). در خلال 1970 تا 1980 شبکه‌های عصبی به نام CMAC توسط آلبوس (Albus) برای کنترل بلادرنگ بازوهای ربات معرفی و مورد استفاده قرار گرفت. در خلال 1980 تا 1990، بسیاری دیگر از شبکه‌های عصبی استاتیکی و دینامیکی و معماری IC آنها پیشنهاد و پیاده‌سازی شدند. از شبکه‌های عصبی در مدل‌سازی و شبیه‌سازی سیستم‌ها علی‌الخصوص سیستم‌های غیرخطی به کرات استفاده شده است. مثلاً در صنایع شیمیایی و مسائل کنترل پروازی که علی‌القاعده سیستم‌ها چند متغیره با تعداد متغیرهای حالت زیاد می‌باشند، شبکه‌های عصبی به خوبی مورد استفاده قرار گرفته است. در این راستا باز می‌توان به شناسایی ژنراتورها در سیستم‌های قدرت اشاره نمود. هر چند که بایستی دوباره اذعان کنیم اگرچه از ساختن چیزی شبیه مغز انسان از دیدگاه مهندسی خیلی دور هستیم، با این حال شبکه‌های عصبی حقیقتاً راه‌حل‌های مناسبی را برای مسائل مختلف در حوزه‌های تحقیقاتی مختلف در دنیای علوم، فنی-مهندسی ارائه نموده است. به طور خلاصه می‌توان جمع‌بندی زیر را از کاربردهای شبکه‌های عصبی ارائه نمود:

1- طبقه‌بندی، شناسایی و تشخیص الگو

انواع و اقسام شبکه‌های عصبی استاتیکی و دینامیکی برای طبقه‌بندی، خوشه‌بندی، شناسایی و تشخیص الگوها مورد استفاده قرار گرفته است. مثلاً برای شناسایی حروف لاتین، عربی، فارسی، چینی، ژاپنی، در سیستم‌های OCR یا به شناسایی سبک نگارش شکسپیر و جداسازی و تمیز آن از دیگران، یا به تشخیص درجه غلظت روغن توسط شبکه‌های عصبی اشاره نمود.

2- پردازش سیگنال

در این راستا می‌توان به کاربرد شبکه‌های عصبی در فیلترهای تطبیقی، پردازش صحبت و تصویر، بینایی ماشین، کدینگ و فشرده‌سازی تصویر اشاره نمود که از هر دو نوع شبکه‌های عصبی استاتیک و دینامیک به کرات استفاده شده است. در شناسایی صحبت می‌توان به فشرده‌سازی صحبت و مصوت‌ها، سنتز متن به صحبت و در ارتباطات راه دور می‌توان به فشرده‌سازی تصویر و داده‌ها، سرویس‌های اطلاع رسانی کاملاً اتوماتیک، ترجمه در حین کار مکالمات و سیستم پردازش پرداخت مشتری‌ها اشاره نمود.

3- پیش‌بینی سری‌های زمانی

از شبکه‌های عصبی برای پیش‌بینی سری‌های زمانی علی‌الخصوص جایی که شرایطی از قبیل ایستایی یا شرایط دیگری که راه را برای بکارگیری تکنیک‌های کلاسیک فراهم می‌سازد، برقرار نیست و سری‌های زمانی پیچیده می‌باشند بسیار استفاده شده است. مثلاً می‌توان به پیش‌بینی بار در سیستم‌های قدرت اشاره نمود.

4- مدل‌سازی و کنترل

در سیستم‌های تطبیقی مخصوصاً در زمانی که پروسه تحت بررسی بسیار پیچیده می‌باشد شبکه‌های عصبی راه‌حل‌های مناسبی ارائه می‌دهند. در اینجا عموماً اول شناسایی و سپس طراحی کنترل‌کننده آن گونه که پاسخ سیستم رفتار خاصی دنبال کند صورت می‌پذیرد. هر دو سیستم شناسایی کننده و کنترل کننده، مبتنی بر شبکه‌های عصبی می‌باشند.

5- بهینه‌سازی

چه در سیستم‌های کنترلی و چه در سیستم‌های مدیریت، تخصیص و تقسیم منابع و چه در سیستم‌های مالی و بانکداری از شبکه‌های عصبی علی‌الخصوص شبکه‌های عصبی دینامیکی برگشتی بسیار استفاده گردیده است. توجه این که از شبکه‌های عصبی از نوع MLP با نوع خاص الگوریتم یادگیری هم جهت بهینه‌سازی استفاده شده است.

6- سیستم‌های خبره و فازی

برای مسائل مالی و مدیریتی، سیستم‌های خبره زیاد مورد استفاده قرار گرفته‌اند. از شبکه‌های عصبی جهت تنظیم بهتر و رفتار مناسب‌تر سیستم‌های خبره استفاده شده است. هم‌چنین در سیستم‌های فازی که خود مولفه بزرگ و مهمی از هوش محاسباتی می‌باشند و به تنهایی کاربردهای بسیار زیادی در دنیای علوم، فنی و مهندسی دارند از شبکه‌های عصبی جهت تنظیم توابع عضویت و قوانین فازی در پایگاه دانش استفاده گردیده است.

7- مسائل مالی، بیمه، امنیتی، بازار بورس و وسایل سرگرم‌کننده

به طور مثال می‌توان از کاربرد شبکه‌های عصبی به عنوان مشاور در امور تخصیص اعتبارات وام، مشاور در امور تخصیص سرمایه در مکان‌های مناسب، آنالیز امور مالی، پیش‌بینی قیمت ارز، پیش‌بینی قیمت سهام در بازار بورس، ارزیابی سیاست‌های مختلف امور بیمه‌ای، پیش‌بینی بازار، سیستم‌های مشاوره‌ای انبارداری کالاهای تجاری و ایجاد انیمیشن برای وسایل سرگرم‌کننده نام برد.

8- ساخت وسایل صنعتی، پزشکی و امور حمل و نقل

مثال‌هایی از کاربردهای شبکه‌های عصبی در این زمینه عبارتند از:

کنترل پروسه‌های ساخت و پیاده‌سازی دستگاه‌ها، آنالیز و طراحی محصولات صنعتی خانگی، ماشین پیش‌بینی خطا و عیب‌یاب، آنالیز کیفیت جوشکاری، پیش‌بینی کیفیت کاغذ، آنالیز کیفیت تراشه‌های کامپیوتری، آنالیز تعمیر و نگهداری، مدیریت و طراحی اتوماتیک، مدل‌سازی دینامیکی سیستم‌های صنعتی و شیمیایی، آنالیز سلول‌های سرطانی سینه، آنالیز سیگنال‌های ECG, EFG، بهبود کیفی امور بیمارستانی، آنالیز در کاهش هزینه‌های امور بیمارستانی، بهینه‌سازی زمان جراحی و عمل پیوند، سیستم‌های اتوماتیک حرکت وسایل نقلیه، سیستم‌های پیش‌بینی و حفاظت سیستم‌های متحرک و اعمال ترمز، جهت‌یابی و تشخیص مسیرها. آنچه که شبکه‌های عصبی را در آینده محبوب‌تر خواهد نمود، سرعت بالای کامپیوترها و الگوریتم‌های یادگیری سریع‌تر می‌باشد که استفاده از شبکه‌های عصبی را در مسائل صنعتی با محاسبات زیاد یاری می‌نماید.

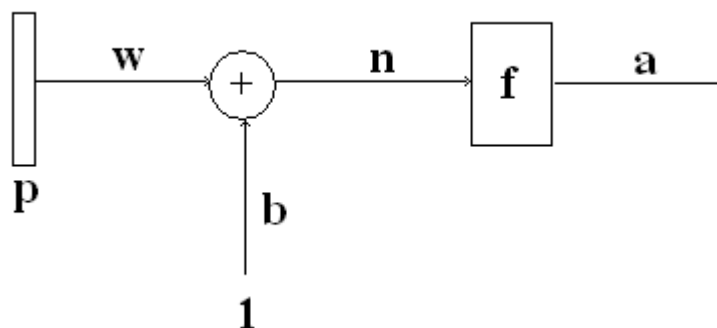
در این فصل مدل ساده‌ای از یک نرون واقعی ارائه خواهد شد و سپس توضیح خواهیم داد که چگونه می‌توان ساختارهای مختلف شبکه‌های عصبی مصنوعی را از ترکیب و کنار هم گذاشتن تعداد زیادی از این نرون‌ها به وجود آورد. قابل ذکر است که در این فصل تمامی ساختارهای شبکه‌های عصبی مورد بررسی قرار نمی‌گیرند، بلکه تنها بلوکهای اصلی ساختاری شبکه‌های عصبی، با ارائه نمونه‌های ساده بلوکهای ریاضی- جهت توضیح و فهم اولیه شبکه‌های عصبی - آن گونه مطرح شود، که انگیزه دنبال نمودن شبکه‌های پیچیده‌تر فراهم آید.

2-2 مدل نرون

نرون کوچکترین واحد پردازشگر اطلاعات است، که اساس عملکرد شبکه‌های عصبی را تشکیل می‌دهد.

2-2-1 مدل تک ورودی

شکل (2-1) ساختار یک نرون تک ورودی را نشان می‌دهد اسکالرهایی p و a به ترتیب ورودی و خروجی می‌باشند.



شکل (2-1): ساختار نرون تک ورودی

میزان تأثیر p روی a به وسیله مقدار اسکالر w تعیین می‌شود. ورودی دیگر که مقدار ثابت 1 است. در جمله بایاس b ضریب شده و سپس با wp جمع می‌شود. این حاصل جمع، ورودی خالص n برای تابع محرک (یا تابع تبدیل) f خواهد بود. بدین ترتیب خروجی نرون با معادله زیر تعریف می‌شود:

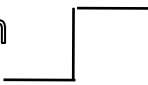
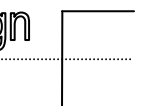
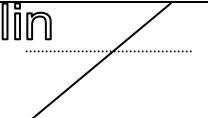
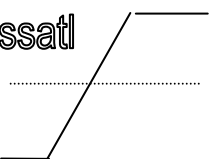
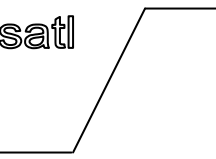
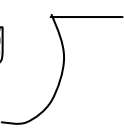
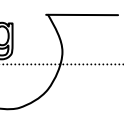
$$a = f(wp + b) \quad (2-1)$$

باید توجه داشت که پارامترهای w و b قابل تنظیم هستند و تابع محرک f نیز توسط طراح انتخاب می‌شود. براساس انتخاب f و نوع الگوریتم یادگیری، پارامترهای w و b تنظیم می‌شوند. یادگیری بدین معنی است که w و b طوری تغییر می‌کنند، که رابطه ورودی و خروجی نرون با هدف خاصی مطابقت نماید.

2-3 توابع محرک

تابع محرک f می‌تواند خطی یا غیرخطی باشد. یک تابع محرک براساس نیاز خاص حل یک مسئله-مسئله‌ای که قرار است به وسیله شبکه عصبی حل شود- انتخاب می‌شود. در عمل تعداد محدودی از توابع محرک مورد استفاده قرار می‌گیرند، که در جدول (2-1) لیست شده است.

جدول (2-1) : توابع تحریک

ردیف	نام	تعریف تابع	علائم قراردادی
1	آستانه ای دو مقداره	$a=0 \Rightarrow n < 0$ $a=1 \Rightarrow n \geq 0$	sign 
2	آستانه ای دو مقداره متقارن	$a = -1 \Rightarrow n < 0$ $a = 1 \Rightarrow n \geq 0$	ssign 
3	خطی	$a = n$	lin 
4	آستانه ای خطی متقارن	$a = -1 \Rightarrow n < -1$ $a = n \Rightarrow \text{else}$ $a = 1 \Rightarrow n > 1$	ssatl 
5	آستانه ای خطی	$a = 0 \Rightarrow n < 0$ $a = n \Rightarrow \text{else}$ $a = 1 \Rightarrow n > 1$	satl 
6	زیگموئیدی	$a = \frac{1}{1 + e^{-n}}$	sig 
7	تانژانت هایپربولیکی	$a = \frac{e^n - e^{-n}}{e^n + e^{-n}}$	ssig 
8	خطی مثبت	$a = 0 \Rightarrow n < 0$ $a = n \Rightarrow n \geq 0$	posl 

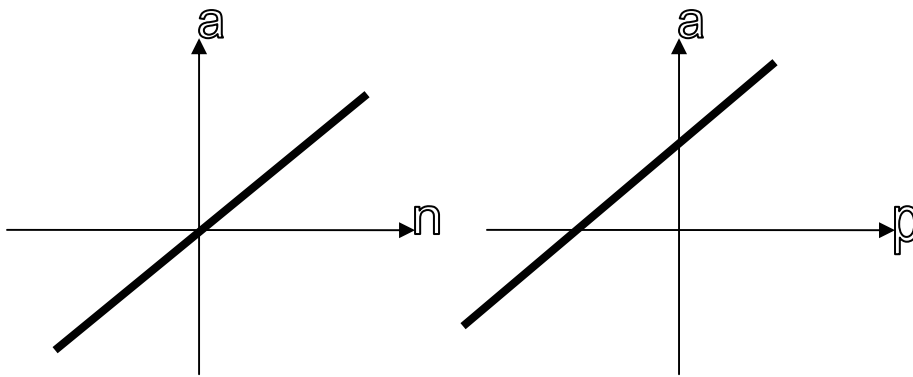
در زیر برخی از توابع را شرح می دهیم .

2-3-1 تابع محرک خطی :

خروجی این تابع برابر ورودی آن است :

$$a = f(n) = n \quad (2-2)$$

تابع خطی در شکل (2-2) نمایش داده شده است. اهمیت جمله بایاس b را در شکل (2-2) می بینیم. اگر پاسخ نرون، a برحسب ورودی p رسم شده باشد، جمله بایاس b موجب جابه جایی منحنی در فضای ورودی می گردد و به عبارتی موجب می گردد که نرون به زیر فضایی از فضای ورودی بایاس گردد، که خود انتخاب کلمه بایاس را برای ترم b توجیه می کند.



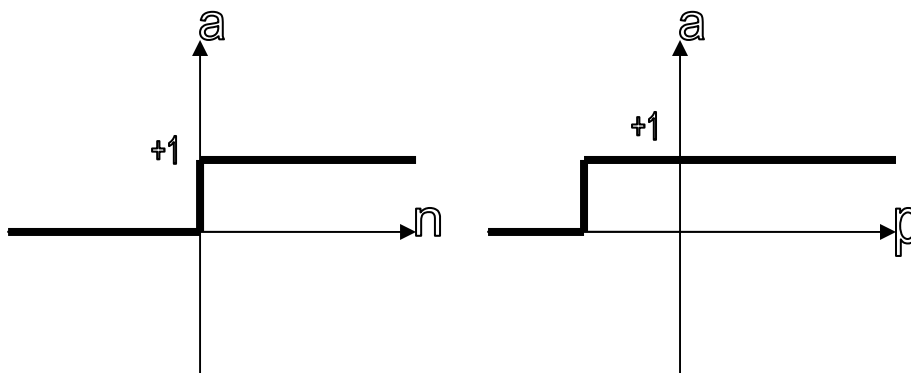
شکل (2-2) : تابع محرک خطی

2-3-2 تابع محرک آستانه ای دو مقداره حدی:

این تابع در شکل (2-3) نشان داده شده است. همان گونه که مشاهده می شود، مقدار خروجی 0 یا 1

است. اگر آرگومان n کوچکتر از 0 باشد و یا به عبارتی ورودی p کوچکتر از $\frac{-b}{w}$ باشد، مقدار تابع 0 است و در غیر اینصورت خروجی نرون برابر 1 خواهد شد.

عموماً تابع محرک، دامنه خروجی نرون را محدود می سازد و به همین علت آن را تابع محدود ساز نیز می نامند. خروجی نرون معمولاً برای این گونه توابع، در بازه متناهی $[0,1]$ یا $[1,1]$ قرار دارد، که در حالت اخیر تابع را تابع محرک آستانه ای دو مقداره حدی گویند.



شکل (2-3) : تابع آستانه دو مقدار حدی

2-3-3 تابع محرک زیگموئید:

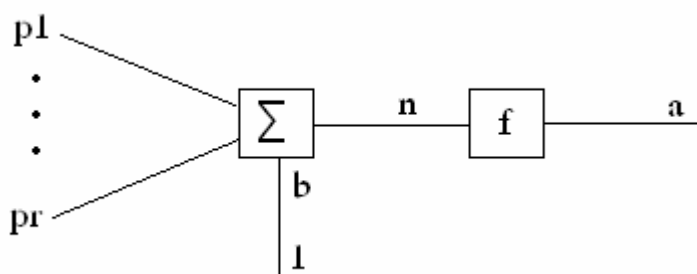
این تابع با فرمول کلی زیر بیان می شود:

$$a = f_s(n) = \frac{1}{1 + e^{-cn}} \Rightarrow c > 0 \quad (3-2)$$

مقدار C وسعت ناحیه خطی بودن تابع را تعیین می کند. مثلاً اگر C خیلی بزرگ باشد، شکل منحنی به تابع محرک آستانه ای دو مقداره حدی نزدیکتر می شود. این تابع در شبکه های عصبی مورد استفاده زیادی دارد که به عنوان مثال، می توان به شبکه های عصبی چند لایه با قانون یادگیری پس انتشار خطا، اشاره کرد.

2-4 مدل چند ورودی

عموماً یک نرون بیش از یک ورودی دارد. شکل (2-4) یک مدل نرون با R ورودی را ارائه می دهد. بردار ورودی با P نمایش داده می شود.



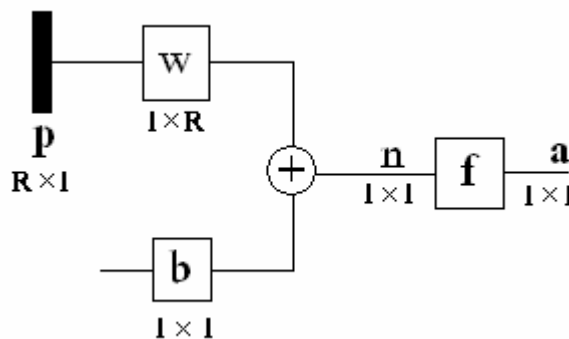
شکل (2-4) : مدل چند ورودی یک نرون

که فرم ساده شده خروجی آن می شود :

$$a = f(wp + b) \quad (2-4)$$

2-5 فرم خلاصه شده

یک مدل خلاصه شده نرون چند ورودی را می توان به شکل زیر نشان داد:



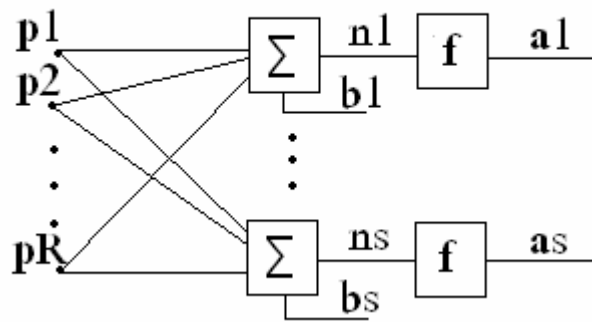
شکل (2-5) : فرم ساده شده نرون با چند ورودی

همان گونه که در شکل فوق مشاهده می شود، بردار ورودی P با یک ستون عمودی در سمت چپ نمایش داده می شود. بردار ورودی P دارای R عنصر است. بردار P در یک ماتریس W با R ستون، ضرب می شود. p دارای R سطر و یک ستون و w دارای یک سطر و R ستون می باشد. مقدار ثابت 1 به عنوان یک ورودی به نرون اعمال شده و در جمله اسکالر بایاس b ضرب می شود. ورودی خالص n ، به تابع تبدیل f اعمال شده و خروجی مربوطه به وجود می آید. a عملاً نشان دهنده خروجی شبکه تک نرونی است و در این حالت یک اسکالر است که در شکل مشخص شده است.

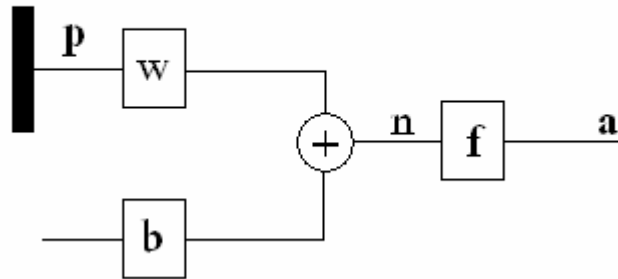
باید توجه داشت که معمولاً نرونی با ورودیهای زیاد نیز، به تنهایی برای حل مسائل فنی - مهندسی کفایت نمی کند. مثلاً برای مدلسازی نگاشتهایی که دارای دو خروجی هستند احتیاج به دو نرون داریم، که بطور موازی عمل کنند. در این حالت یک لایه خواهیم داشت که از اجتماع چند نرون تشکیل شده است.

2-6 شبکه تک لایه

یک شبکه تک لایه با S نرون در شکل (2-6) نشان داده شده است. شکل مذکور را می توان به فرم فشرده تصویر (2-7) هم نمایش داد. ورودی شبکه با بردار P و خروجی آن با بردار a نشان داده شده است. باید توجه داشت که هر یک از ورودیها به همه نرونها متصل شده است. ماتریس W نیز در این حالت دارای S سطر و R ستون می باشد. همان گونه که در شکل مشاهده می شود، لایه ها شامل ماتریس وزن، جمع کننده ها، بردار بایاس b (دارای S عنصر) و تابع تبدیل f هستند.



شکل (2-6): شبکه تک لایه با s نرون



شکل (2-7): فرم فشرده شبکه چند لایه با s نرون

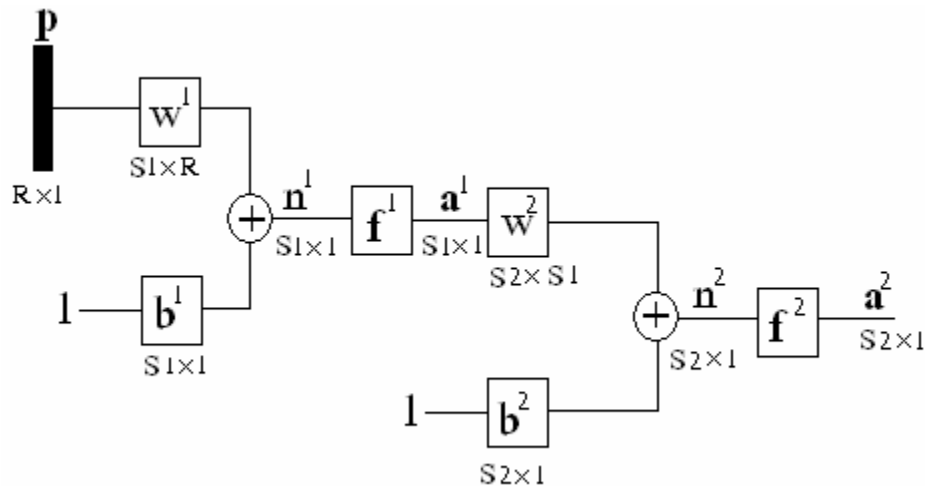
مانند قبل، p دارای R سطر و یک ستون و w دارای یک سطر و R ستون می‌باشد. و f دارای s سطر تک عنصری است.

2-7 شبکه‌های چند لایه

در شبکه‌های تک لایه- آن گونه که در بخشهای قبل ملاحظه شد- بردار ورودی (P) توسط نرونهای لایه (عناصر محاسباتی)، طبق رابطه $a = f(wp + b)$ به بردار خروجی مرتبط می‌شود. این شبکه شکل ساده‌ای از شبکه‌های پیشخور می‌باشد.

در این بخش، ایده شبکه‌های پیشخور را به شبکه‌های چند لایه تعمیم می‌دهیم. هر لایه ماتریس وزن W ، بردار بایاس b ، بردار ورودی خالص n و بردار خروجی مختص خود را دارد. جهت تمایز متغیرهای فوق و این که کدام متغیر به کدام لایه تعلق دارد، نیاز داریم که علامت دیگری را هم به متغیرهای فوق تخصیص دهیم. از این رو از بالانویس برای مشخص نمودن لایه استفاده می‌کنیم. بنابراین ماتریس وزن را برای لایه اول با w^1 مشخص می‌نماییم. با به خاطر سپردن این نماد، یک

شبکه پیشخور دو لایه را می توان به شکل (2-8) ترسیم نمود. همانگونه که از شکل پیداست، تعداد R ورودی و تعداد s^1 نرون در لایه اول و تعداد s^2 نرون در لایه دوم در شبکه چند لایه پیشخور موجود است.



شکل (2-8) : شبکه پیش خور دو لایه

لایه ای که خروجی آن، خروجی نهایی شبکه باشد، به لایه خروجی موسوم است. لایه های دیگر به لایه های میانی موسومند. شبکه موجود در شکل (2-8) دارای یک لایه میانی است. ممکن است تعداد لایه های میانی بیش از یک هم باشد .

شبکه های عصبی چند لایه نسبت به شبکه های عصبی تک لایه دارای توانایی بیشتری هستند. شبکه های عصبی پیشخور دو لایه با توابع زیگموئید در لایه اول، قادرند هر تابعی را با دقت دلخواه تقریب بزنند، در حالی که شبکه های عصبی تک لایه از چنین توانایی برخوردار نیستند.

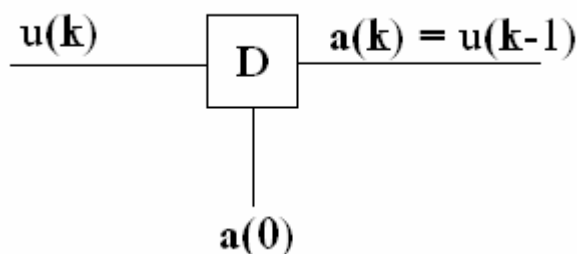
به نظر می رسد که تعداد درجات ازادی (مثلاً تعداد ورودیها، خروجیها و نرونهای هر لایه) برای طراحی یک شبکه چند لایه پیشخور زیاد باشد. ولی باید توجه داشت که تعداد ورودیهای شبکه (R) و تعداد خروجیهای شبکه (S)، براساس مسئله خاص که شبکه قرار است حل کند، به دست می آیند. به عبارت دیگر این دو پارامتر جزء پارامترهای ازاد طرح نیستند، بلکه انتخاب آنها بستگی دارد به مسئله ای که در حال بررسی است. مثلاً اگر می خواهیم سیستمی را که دارای چهار ورودی و سه خروجی است، توسط شبکه های عصبی تقریب بزنیم، باید یک شبکه عصبی انتخاب کنیم که دارای چهار ورودی ($R=4$) و سه خروجی ($S=3$) باشد (به عبارتی تعداد نرونهای لایه خروجی برابر 3 باشد). علاوه بر این، ویژگیهای خروجی مطلوب شبکه نیز، در انتخاب نوع تابع محرک لایه خروجی

تأثیر دارد. مثلاً اگر خروجی شبکه تنها 1 یا 1- باشد، بهتر است تابع محرک لایه خروجی، تابع متقارن آستانه دو مقداری حدی باشد. بنابراین می‌توان گفت که ساختار شبکه‌های عصبی تک لایه پیشخور را کاملاً از روی ویژگیهای مسئله مورد بررسی، می‌توان مشخص نمود.

در مورد شبکه عصبی چند لایه، مطالب فوق صادق نیست. یعنی از روی ویژگیهای مسئله مورد بررسی، نمی‌توان اطلاعاتی در مورد تعداد نرونها لایه میانی کسب نمود. در واقع تعداد اندکی از مسائل وجود دارد که برای آنها با توجه به مسئله خاص، امکان پیش‌بینی تعداد نرونها لایه میانی وجود داشته باشد.

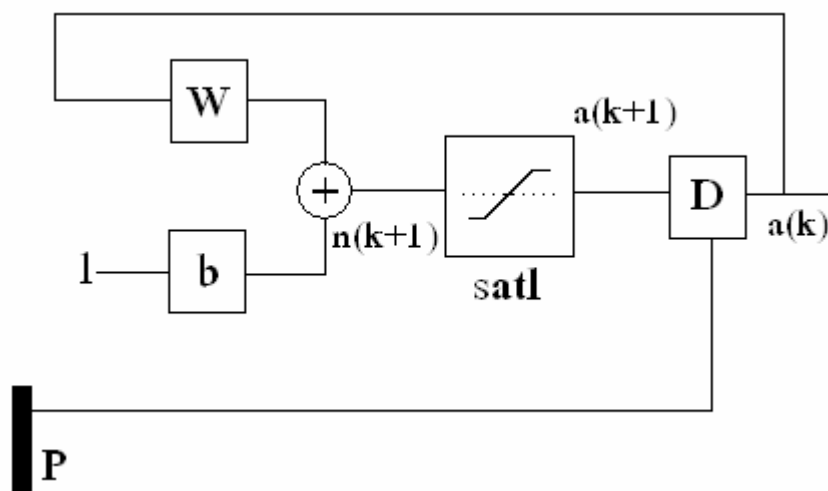
2-8 شبکه‌های پسخور یا برگشتی

تفاوت شبکه‌های پسخور با شبکه‌های پیشخور (که در بخش قبل مورد بررسی قرار گرفت.) این است که در شبکه‌های پسخور، حداقل یک سیگنال برگشتی از یک نرون به همان نرون یا نرونها همان لایه و یا لایه قبل وجود دارد. جهت نمایش این گونه شبکه‌ها، بلوک ساده زیر را تعریف می‌کنیم:



شکل (2-9): بلوک تاخیر زمانی

شکل فوق معرف تأخیر زمانی یک مرحله‌ای است، به عبارت واضحتر خروجی بلوک (a) در لحظه زمانی k، برابر ورودی بلوک در یک واحد زمانی عقبتر (یعنی مقدار a در لحظه k-1) است. واضح است که برای به دست آوردن رابطه ورودی و خروجی بلوک فوق، باید مقدار اولیه خروجی در لحظه نخست (صفر) معلوم باشد. این مقدار اولیه با a(0) در شکل فوق نشان داده شده است. اکنون می‌توانیم شبکه‌های پسخور را معرفی کنیم. یک نوع متداول از شبکه پسخور گسسته در حوزه زمان در شکل (2-10) ترسیم شده است.



شکل (2-10) : شبکه پسخور

برای این شبکه خاص، بردار ورودی p ، نشان دهنده شرایط اولیه شبکه است (به عبارتی $a(0)=p$). رفتار شبکه به وسیله معادله زیر بیان می شود:

$$\begin{aligned} a(k) &= \text{satl}(wa(k-1) + b), k = 1, 2, \dots \\ a(0) &= p \end{aligned} \quad (2-5)$$

شایان ذکر است شبکه های پسخور از توانایی بالقوه بیشتری نسبت به شبکه های پیشخور برخوردارند و بهتر می توانند رفتار مربوط به ویژگی های زمانی سیستمها را نشان دهند.

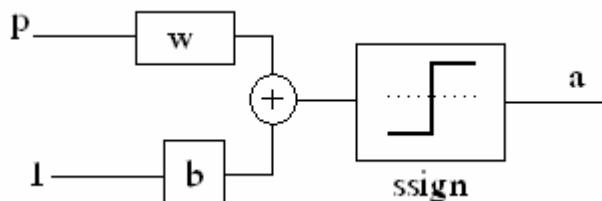
2-9 معرفی سه شبکه عصبی

در ادامه سه شبکه عصبی را معرفی می کنیم: پرسپترون _ همینگ _ هاپفیلد . به دلیل زیادی مطالب در این بخش فقط به معرفی شبکه پرسپترون می پردازیم و دو نوع دیگر را در اندازه شناخت اسم شبکه رها می کنیم .

2-9-1 پرسپترون تک لایه :

شبکه های عصبی پرسپترون ، به ویژه پرسپترون چند لایه ، در زمره کاربردی ترین شبکه های عصبی می باشند . این شبکه ها قادرند با انتخاب مناسب تعداد لایه ها و سلول های عصبی ، که اغلب زیاد هم نیستند یک نگاشت غیر خطی را با دقت دلخواه انجام دهند . این همان چیزی است که در بسیاری

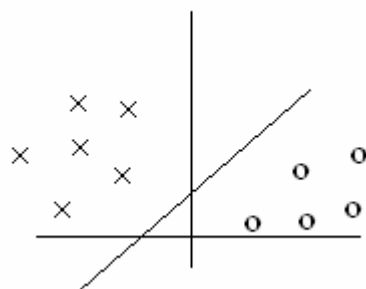
از مسائل فنی مهندسی به عنوان راه حل اصلی مطرح می باشد . در این قسمت به بررسی پرسپترون تک لایه می پردازیم . که ساختار آن در زیر آمده است :



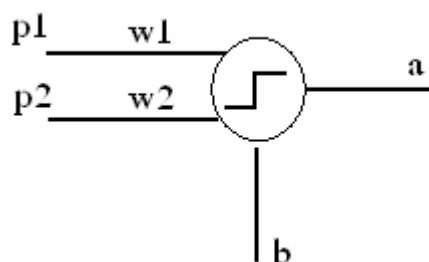
شکل (2-11) : پرسپترون تک لایه

قبل از آن که از شبکه فوق برای هر کاربردی استفاده شود بهتر است در ابتدا در مورد توانایی های آن توضیحاتی داده شود .

فرض کنید که بخواهیم سیستمی داشته باشیم که دو گروه الگوهای 'x' , 'o' را در فضای دو بعدی ، چنان که در شکل (2-12) نشان داده شده است از یکدیگر تفکیک نمائیم . نرون شکل (2-13) می تواند از عهده این کار بر آید ، به طوری که اگر یکی از الگوهای ورودی 'o' به سلول اعمال شود مقدار 'a' (-1) یا (1) و اگر یکی از الگوهای 'x' به نرون اعمال شود مقدار آن (-1) یا (1) شود. این شرایط هنگامی فراهم می شود که آرگومان تابع 'ssign' با انتخاب مناسب w_1, w_2, b مقدار مناسبی کسب کند . اگر آرگومان (n) بزرگتر از 0 باشد a برابر 1 و اگر n کوچکتر از 0 باشد a برابر -1 خواهد شد .



شکل (2-12) : جداسازی الگو



شکل (2-13) : نرون با تابع تبدیل دو مقداره متقارن

بهتر است که شرایط بر قراری این دو وضعیت را تحقیق کنیم . معادله زیر مرز تصمیم گیری را مشخص می کند :

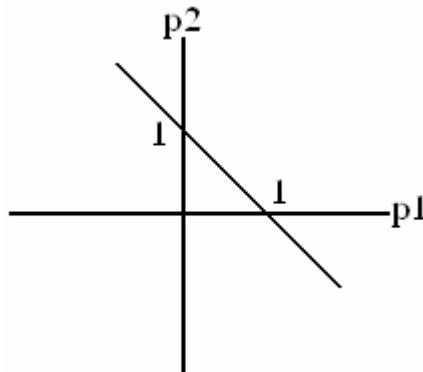
$$n = p_1 w_1 + p_2 w_2 + b = 0 \quad (2-6)$$

مرز جدا سازی نواحی ، یک فوق صفحه و برای حالت دو بعدی ، یک خط راست است . هر نرون در این حالت متناظر است با معادله خطی که در فضای بردار ورودی رسم می شود (منحنی نمایش p_2 نسبت به p_1). طبیعتاً با انتخاب تابع محرک متقارن دو آستانه ای دو مقدار ، ssign ، هر پرسپترون فضای ورودی را به دو ناحیه تقسیم می کند (به عبارتی دیگر بردارهای ورودی را به دو دسته تقسیم می کند) . طبقه اول ناحیه ای است که در آن جا n بزرگتر یا مساوی 0 است و طبقه دیگر ناحیه ای است که در آن مقدار n کوچکتر از 0 است .

برای سهولت فرض می کنیم :

$$b = 1, w_2 = -1, w_1 = -1, R = 2$$

در این حالت معادله $n = -p_1 - p_2 + 1 = 0$ ، مرز تصمیم گیری را مشخص می کند :



شکل (2-14) : خط مرزی در جداسازی الگو

برای آشنائی بیشتر با شبکه های عصبی و نرم افزارهای مربوط به آن می توان در نرم افزار matlab به قسمت Demos _ Toolboxes _ Neural network مراجعه کرد.

فصل سوم

SVM

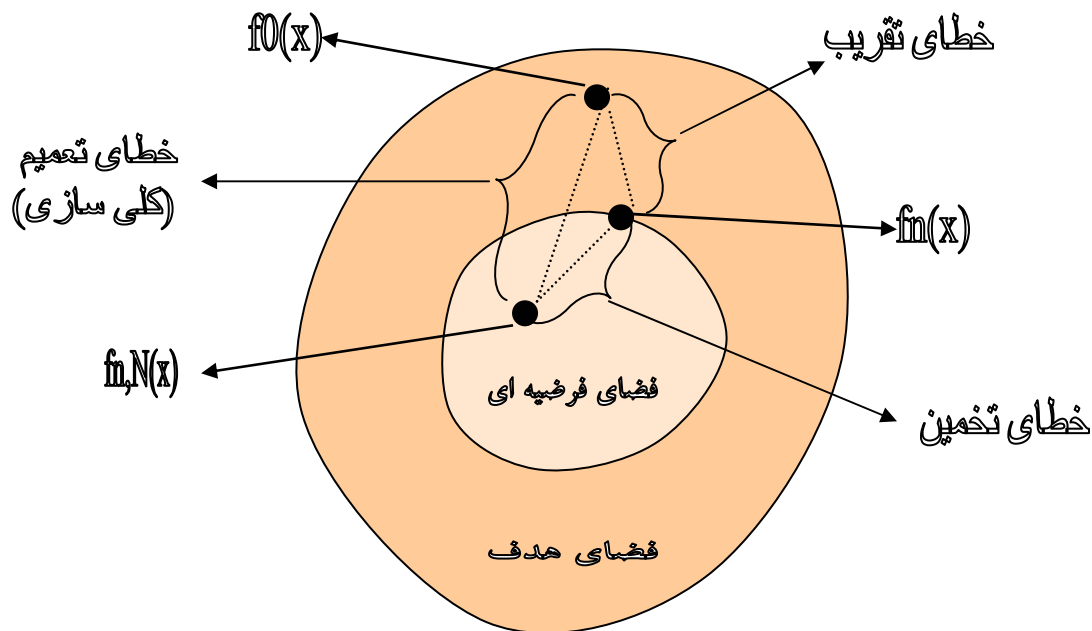
چکیده :

در امور مهندسی گاهی با مسائلی روبرو می شویم که به ناچار با یک سری داده های تجربی پراکنده (داده هائی که از نتایج آزمایشات گوناگون بدست آمده اند) سروکار داریم . در مدل کردن و استفاده از این داده های تجربی ، یک فرآیند مقایسه ای بین داده ها انجام می گیرد و آنها را به نسبت تعداد کلاس هائی که در آنها قرار دارند جدا کرده (که در این پروژه بین دو کلاس داده می باشد نقاط امن و نا امن) سرانجام، کیفیت و کمیت مشاهدات بر اجرای این مدل تجربی نظارت می کنند. تجربه ثابت کرده ، داده های بدست آمده محدود و نمونه وار می باشند و به طور کلی داده های بدست آمده ، دارای الگوئی غیر یکنواخت و تعداد ابعاد بالا می باشند و فقط درون فضای ورودی و با توزیع پراکنده شکل می گیرند. دست یابی شبکه عصبی سنتی به تولید مدل هایی که بتواند روی داده ها منطبق شود مشکلات زیادی را تحمل کرده است.

ماشینهای بردار پشتیبان(SVM) روش مؤثری برای مدلسازی داده ها می باشند آنها با افزایش ابعاد مسئله و با استفاده از نگاشت کرنل یک چهارچوب کاری یکپارچه را برای اکثر مدلها فراهم می کنند و امکان مقایسه را بوجود می آورند .

3-1 تئوری یادگیری آماری :

دراین بخش به صورت اجمالی تئوری یادگیری آماری مورد بحث قرار می گیرد .



شکل (3-1) : خطای مدل سازی

در مدل سازی هدف ما انتخاب صحیح مدلی است که در چارچوب فضای فرضیه ای باشد و رابطه نزدیکی با تابع در بر دارنده فضای هدف داشته باشد . خطاهای موجود ناشی از دو عامل اصلی می باشد .

خطای ناشی از تقریب زدن : که پیامد کوچکتر بودن فضای فرضیه ای نسبت به فضای هدف می باشد به این صورت که تابع مربوطه ممکن است در خارج از فضای فرضیه تعریف شود . انتخاب نامناسب فضای مدل می تواند موجب بروز یک خطای بزرگ تقریب شود و عدم تطابق در مدل را موجب شود . که به این مدل، مدل " نامطابق " گویند .

خطای تخمین : خطایی است که در طول پروسه یادگیری رخ می دهد و در انتخاب تکنیک مناسب ما را دچار اشکال می کند و مدل متوجه از فضای فرضیه را غیر بهینه خواهد کرد . ولی می توان با انتخاب روش های بهینه از میزان این خطا کاست .

این خطاها (خطای ناشی از تقریب و تخمین) در ترکیب با یکدیگر خطای تعمیم (کلی سازی) را به وجود می آورند . که در نهایت قصد ما بدست آوردن تابع f می باشد که میزان خطا را به حداقل برساند .

$$R[f] = \int_{x \times y} L(y, f(x)) P(x, y) dx dy \quad (3-1)$$

در این رابطه $p(x, y)$ برای ما شناخته شده نیست . با توجه به اصل حداقل سازی خطای تجربی ، یک میزان تقریبی را بدست می آوریم .

$$R_{emp}[f] = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l L(y^i, f(x^i)) \quad (3-2)$$

که این رابطه خطای تجربی را به حداقل می رساند و از طرفی :

$$\hat{f}_{n,l}(x) = \arg \min_{f \in H_n} R_{emp}[f] \quad (3-3)$$

حداقل سازی خطای تجربی به حد زیر مرتبط می شود :

$$\lim_{l \rightarrow \infty} R_{emp}[f] = R[f] \quad (3-4)$$

که رابطه مذکور با توجه به قانون اعداد بزرگ معتبر است ، با این حال رابطه زیر نیز باید برقرار باشد .

$$\lim_{l \rightarrow \infty} \min_{f \in H_n} R_{emp}[f] = \min_{f \in H_n} R[f] \quad (3-5)$$

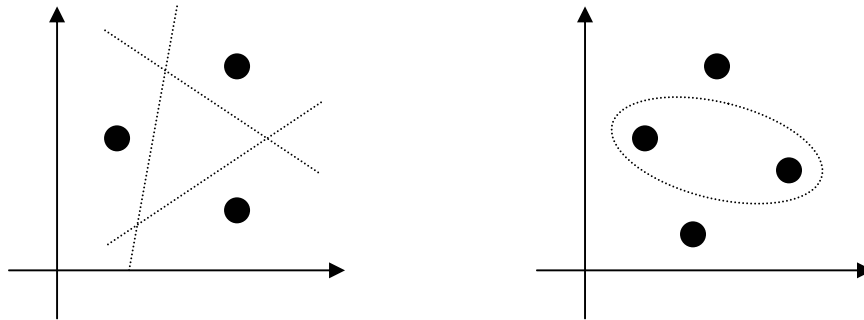
که این رابطه زمانی صحیح و درست می باشد که H_n به قدر کافی کوچک باشد . این شرایط به صورت شهودی و عینی وجود ندارد و نیازمند آن است مقدار مینیمم به صورت همگرا درآید . شرط مرزی زیر با احتمال $1-\delta$ برقرار می باشد .

$$R[f] \leq R_{emp}[f] + \sqrt{\frac{h \ln(\frac{2l}{h} + 1) - \ln(\frac{\delta}{4})}{l}} \quad (3-6)$$

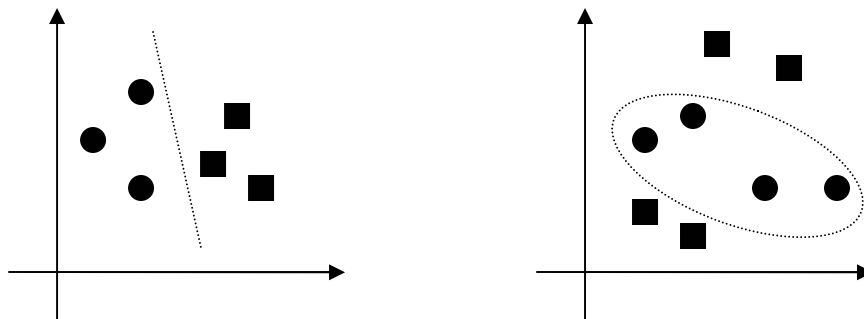
این رابطه برای خطا قابل پیش بینی ، و مستقل از توزیع احتمالی خواهد بود .

3-2 بعد VC :

بعد VC یک کمیت اسکالر است که ظرفیت مجموعه توابع را اندازه گیری می کند .



(الف)



(ب)

شکل (3-2) : بعد VC

تعریف : بعد VC مجموعه نقاط برابر p خواهد بود اگر و فقط اگر مجموعه ای از نقاطی مثل

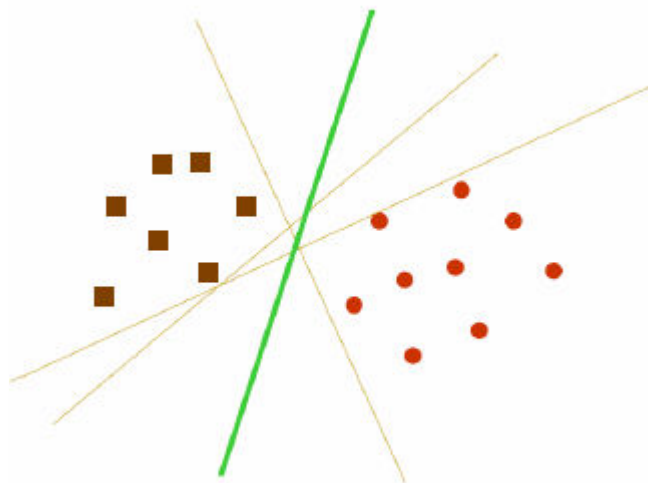
$\{x^i\}_{i=1}^q$ وجود داشته باشد چنان که این نقاط در کل آرایش های ممکن 2^p قابل جداسازی

باشند و در حالتی که $q > p$ می باشد و خاصیت مورد نظر ارضا می گردد مجموعه $\{x^i\}_{i=1}^q$ وجود نداشته باشد.

شکل (3-2) الف نشان می دهد که چگونه سه نقطه در صفحه توسط مجموعه ای از توابع خطی قابل جداسازی می باشند (همواره می توان با یک خط یکی یا دو نقطه را از سایرین جدا کرد) ولی برای چهار نقطه این امکان وجود ندارد و با تابعی غیر خطی جدا شده اند . (دو نقطه ای انتخابی را نمی توان توسط یک خط از سایرین جدا کرد) . و در شکل (3-2) ب نیز مشاهده می کنید که در طرف چپ نقاط توسط یک خط از یکدیگر جدا شده اند ولی در طرف راست این امکان نبوده و جداسازی توسط یک منحنی (تابع غیر خطی) انجام شده است .

3-3 ابر صفحه جدا ساز :

مسئله طبقه بندی (SVC) را می توان به مسئله طبقه بندی داده هائی که در دو کلاس مختلف قرار دارند (two class) ، محدود نماییم (از داده هائی که در سه کلاس یا بیشتر قرار دارند صرف نظر می کنیم) . در این مسئله هدف جداسازی دو کلاس داده از یکدیگر می باشد که برای نیل به این هدف از تابعی استفاده می کنیم که از مثال های موجود بدست آمده است . هدف ما ایجاد یک معیار طبقه بندی می باشد که برای مثال های نا مشهود به خوبی قابل استفاده باشد . و در عین حال به خوبی قابل تعمیم باشد . مثال شکل (3-3) را در نظر بگیرید . در این جا تعداد زیادی معیار طبقه بندی خطی وجود دارد که می تواند داده ها را جدا سازی نماید ولی فقط یکی از آنها حاشیه را ماکزیمم می کند . (فاصله بین آن و نزدیکترین نقطه داده هر رده را ماکزیمم می کند) . این طبقه بندی کننده خطی ابر صفحه (hyperplane) جدا ساز بهینه در نظر گرفته می شود . به صورت شهودی انتظار داریم مرز بدست آمده را بتوانیم به کل محدوده های ممکن تعمیم دهیم .



شکل (3-3) : ابر صفحه جداساز

3-4 ابر صفحه جدا ساز بهینه :

مسئله جدا سازی مجموعه بردارهای آموزش دهنده را که متعلق به دو کلاس جداگانه هستند را در نظر بگیرید .

$$D = \{(x^1, y^1), \dots, (x^l, y^l)\}, x \in R^n, y \in \{-1, 1\} \quad (3-7)$$

که داریم :

$$\langle w, x \rangle + b = 0 \quad (3-8)$$

که در رابطه $\langle \cdot \rangle$ ، نشان دهنده ضرب داخلی است .

مجموعه بردارهایی که به صورت بهینه باید توسط ابر صفحه جداسازی شوند باید دارای کمترین میزان خطا باشند و از سویی فاصله بین نزدیکترین نقطه به ابر صفحه باید ماکزیمم باشد . معادله 3-8 چندان مناسب به نظر نمی رسد ، بدون این که بخواهیم کلیت مسئله را دستخوش تغییر نماییم بهتر است ابر صفحه ای مجاز را به کار ببریم که در آن w و b باید در رابطه زیر صدق کنند .

$$\min_i |\langle w, x^i \rangle + b| = 1 \quad (3-9)$$

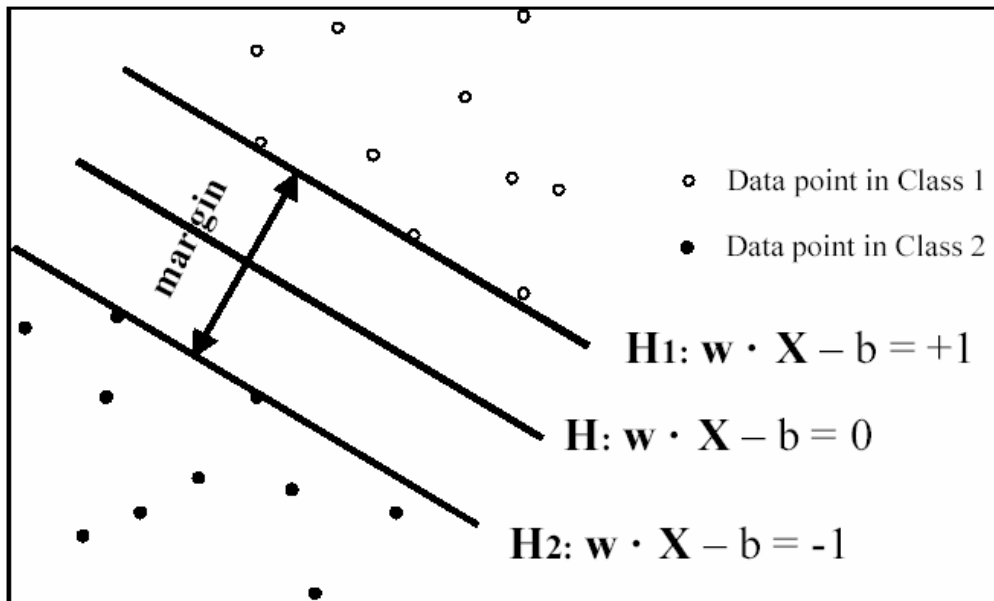
شرط ذکر شده بر روی پارامتر ها برای ساده سازی فرمولاسیون مسئله ضروری می باشد ، در واقع به عبارت دیگر می توان گفت : فرم بردار وزنی باید برابر با معکوس فاصله وزنی بین نزدیکترین نقطه مجموعه داد ها نسبت به ابر صفحه باشد .

زمانی که گفته می شود یک مجموعه از نقاط به صورت بهینه بوسیله یک صفحه جدا کننده ، جداسازی شده اند که :

1- بدون اشتباه در گروههای مربوطه قرار بگیرند .

2- فاصله بین نزدیکترین نقاط تا صفحه جدا کننده بیشینه باشد .

پس پارامتر های b و w را طوری میابیم که شرط 3-9 ارضا شود . در شکل 3-4 مفهوم این رابطه نشان داده شده است .



شکل (3-4): کمترین فاصله نقاط تا خط جدا کننده

که به w بردار وزن و به b بردار بایاس گویند .

یک ابرصفحه جداساز در حالت مجاز خود باید شرط زیر را محقق کند .

$$y^i [\langle w, x^i \rangle + b] \geq 1, \Rightarrow i = 1, \dots, l \quad (3-10)$$

فاصله $d(w, b; x)$ بین نقطه x و (w, b) برابر است با :

$$d(w, b; x) = \frac{|\langle w, x^i \rangle + b|}{\|w\|} \quad (3-11)$$

ابر صفحه بهینه توسط ماکزیمم حاشیه ρ داده می شود و در عین حال شروط معادله 3-10 باید رعایت شود . مرز مذکور توسط رابطه زیر محاسبه می شود :

$$\begin{aligned}
 \rho(w, b) &= \min_{x^i: y^i = -1} d(w, b; x^i) + \min_{x^i: y^i = 1} d(w, b; x^i) \\
 &= \min_{x^i: y^i = -1} \frac{|\langle w, x^i \rangle + b|}{\|w\|} + \min_{x^i: y^i = 1} \frac{|\langle w, x^i \rangle + b|}{\|w\|} \\
 &= \frac{1}{\|w\|} \left(\min_{x^i: y^i = -1} |\langle w, x^i \rangle + b| + \min_{x^i: y^i = 1} |\langle w, x^i \rangle + b| \right) \quad (3-12) \\
 &= \frac{2}{\|w\|}.
 \end{aligned}$$

بنابراین ابر صفحه که به صورت بهینه داده ها را از یکدیگر جدا می سازد باید مینیمم سازی زیر را انجام دهد .

$$\Phi(w) = \frac{1}{2} \|w\|^2 \quad (3-13)$$

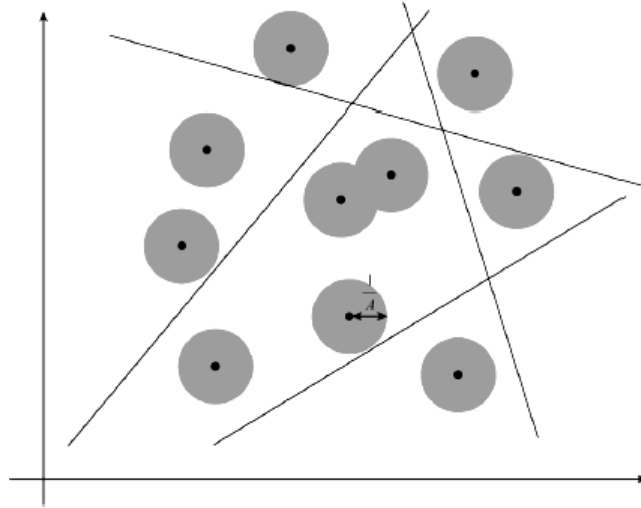
این رابطه مستقل از b است چرا که معادله 3-10 (به صورت یک ابر صفحه جدا ساز) تحقق پیدا می کند و تغییر b باعث حرکت آن در جهت طبیعی به سوی خود می گردد . بنابراین مرز بدون تغییر باقی می ماند ولی ابر صفحه دیگر بهینه نخواهد بود و به یکی از دو رده نزدیکتر از دیگری خواهد بود . برای ملاحظه چگونگی حداقل سازی معادله 3-13 به صورتی که معادل با به کار گیری اصل SRM باشد فرض کنید رابطه کراندار زیر برقرار است:

$$\|w\| < A \quad (3-14)$$

از معادله 3-10 و 3-11 داریم :

$$d(w, b; x) \geq \frac{1}{A} \quad (3-15)$$

بنابراین ابر صفحه ها نمی توانند نزدیکتر از فاصله $1/A$ به هر یک از نقاط داده باشند و در شکل (3-5) نیز می توان مشاهده نمود که در این صورت تعداد ابر صفحه های موجود کاهش میابد و از این رو ظرفیت نیز کمتر خواهد شد .



شکل (3-5) : شرط برای صفحه های جدا کننده

بعد VC برابر با n مجموعه ابر صفحه های مجاز ، در فضای n بعدی به صورت زیر محدود می شود .

$$h \leq \min[R^2 A^2, n] + 1 \quad (3-16)$$

که در این رابطه R شعاع ابر صفحه های شامل کل نقاط داده می باشد . از این رو می توان چنین استنباط نمود که به صورت مینیمم در آوردن معادله 3-13، معادل با مینیمم کردن کران بالای بعد VC می باشد . حل مسئله بهینه سازی معادله 3-13 با توجه به شروط معادله 3-10 با استفاده از نقطه زینی تابع لاگرانژ به دست می آید .

$$\Phi(w, b; \alpha) = \frac{1}{2} \|w\|^2 - \sum_{i=1}^l \alpha_i (y^i [\langle w, x^i \rangle + b] - 1) \quad (3-17)$$

در رابطه فوق α ضرب کننده لاگرانژی می باشد . عامل لاگرانژی باید نسبت به متغیرهای w و b به صورت مینیمم ونسبت به $\alpha \geq 0$ به صورت ماکزیمم در آید . با استفاده از عامل لاگرانژ کلاسیک می توانیم مسئله اولیه مربوط به معادله 3-17 را به مسئله دوگانه آن تبدیل نماییم که حل آن آسان تر خواهد بود .

$$\max_{\alpha} W(\alpha) = \max_{\alpha} (\min_{w, b} \Phi(w, b, \alpha)) \quad (3-18)$$

مینیم نسبت به w و b برای عامل لاگرانژی Φ به صورت روابط زیر خواهد بود .

$$\frac{\partial \Phi}{\partial b} = 0 \Rightarrow \sum_{i=1}^l \alpha_i y_i = 0 \quad (3-19)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial w} = 0 \Rightarrow w = \sum_{i=1}^l \alpha_i y_i x_i \quad (3-20)$$

در این صورت معادلات 3-17 و 3-18 و 3-19 ما را به مسئله دوگانه زیر رهنمون می سازد .

$$\max_{\alpha} W(\alpha) = \max_{\alpha} -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^l \alpha_i \alpha_j y_i y_j \langle x_i, x_j \rangle + \sum_{k=1}^l \alpha_k \quad (3-21)$$

و حل این مسئله به صورت زیر خواهد بود :

$$\alpha^* = \arg \min_{\alpha} \frac{1}{2} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^l \alpha_i \alpha_j y_i y_j \langle x_i, x_j \rangle - \sum_{k=1}^l \alpha_k \quad (3-22)$$

و در این راستا شروط زیر باید در نظر گرفته شود .

$$\begin{aligned} \alpha_i &\geq 0 \Rightarrow i = 1, \dots, l \\ \sum_{j=1}^l \alpha_j y_j &= 0 \end{aligned} \quad (3-23)$$

حل معادله 3-22 با رعایت شروط معادله 3-23 ضرب کننده لاگرانژی را تعیین می کند و ابر صفحه

جدا ساز بهینه توسط رابطه زیر داده می شود :

$$w^* = \sum_{i=1}^l \alpha_i y_i x_i \quad (3-24)$$

$$b^* = -\frac{1}{2} \langle w^*, x_r + x_s \rangle \quad (3-25)$$

در رابطه مذکور X_s و X_r بردارهای پشتیبان (support vector) مربوط به هرکلاس داده می باشند و :

$$\alpha_r, \alpha_s > 0 \Rightarrow y_r = -1, y_s = 1 \quad (3-26)$$

عامل طبقه بندی کننده سخت (hard classifier) به صورت زیر خواهد بود :

$$f(x) = \text{sgn}(\langle w^*, x \rangle + b) \quad (3-27)$$

به طور کلی یک عامل طبقه بندی کننده نرم (soft classifier) میتواند برای درون یابی خطی مرزی مورد استفاده قرار گیرد.

$$f(x) = h(\langle w^*, x \rangle + b) \xrightarrow{\text{where}} h(z) = \begin{cases} -1 & : z < -1 \\ z & : -1 \leq z \leq 1 \\ +1 & : z > 1 \end{cases} \quad (3-28)$$

این روش می تواند مناسب تراز طبقه بندی سخت باشد چرا که خروجی هایی با مقادیر حقیقی بین -1 و 1 ایجاد می کند .

$$\alpha_i (y^i [\langle w, x^i \rangle + b] - 1) = 0 \Rightarrow i = 1, \dots, l \quad (3-29)$$

و در نظر گرفتن این امر که فقط مقادیر x^i می توانند رابطه زیر را تحقق بخشند :

$$y^i [\langle w, x^i \rangle + b] = 1 \quad (3-30)$$

بردارهای پشتیبان (SV ها) به نقاطی اطلاق می شوند که ضرائب لاگرانژ برای آنها غیر صفر است. اگر داده ها به صورت خطی قابل جداسازی باشند کل SV بر مبنای مرز خواهد بود و تعداد SV ها بسیار کم خواهد بود . در نتیجه ابر صفحه توسط یک زیر مجموعه کوچک از مجموعه آموزشی (training set) تعیین می شود . نقاط دیگر را می توان از مجموعه آموزشی خارج نمود و در صورتیکه ابر صفحه ها مجددا محاسبه شوند باز هم جواب های یکسانی بدست خواهد آمد (برای مشاهده این امر به فصل

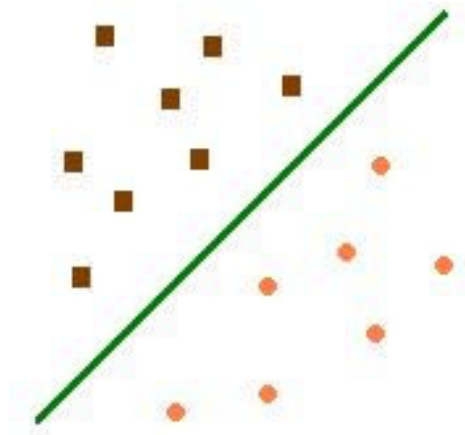
4 (مراجعه نمائید). از این رو می توان از svm برای خلاصه نمودن اطلاعاتی که در یک مجموعه داده وجود دارد و توسط SV تولید شده است استفاده نمود . اگر داده ها به صورتی خطی تفکیک پذیر باشند تساوی زیر برقرار خواهد بود .

$$\|w\|^2 = \sum_{i=1}^l \alpha_i = \sum_{i \in SVs} \alpha_i = \sum_{i \in SVs} \sum_{j \in SVs} \alpha_i \alpha_j y_i y_j \langle x_i, x_j \rangle \quad (3-31)$$

با توجه به معادله 3-16 بعد vc طبقه بندی کننده به صورت زیر کراندار خواهد بود .

$$h \leq \min[R^2 \sum_{i \in SVs}, n] + 1 \quad (3-32)$$

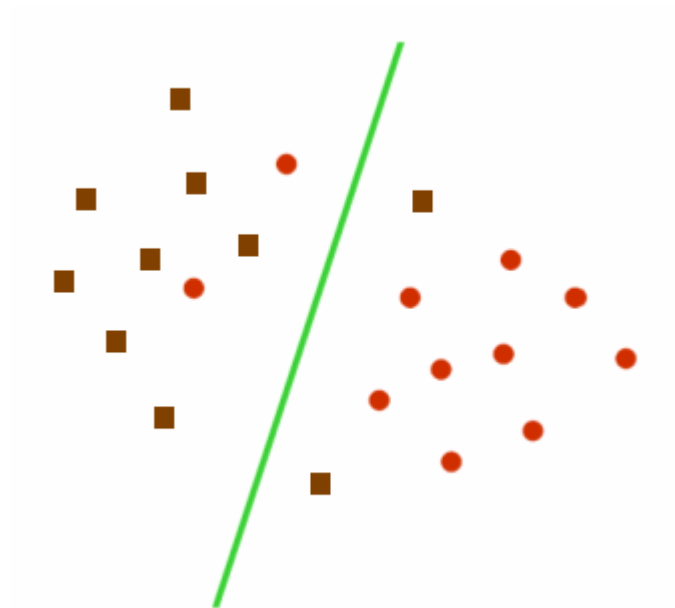
به یک سری نقاط اطلاعات در دو کلاس مختلف که توسط یک خط قابل جداسازی باشند تفکیک پذیر خطی گویند که ساده ترین حالت می باشد . در شکل نمونه ای از این گونه نقاط را مشاهده می نمایید .



شکل (3-6) : مثال تفکیک پذیر خطی

3-5 ابر صفحه جدا ساز بهینه تعمیم یافته :

تا کنون بحث ما به مواردی محدود شده است که داده های آموزشی به صورت خطی تفکیک پذیر و جدا شدنی می باشند ، ولی این مسئله همیشه صادق نیست و ممکن است ما با داده هایی روبرو شویم که به صورت خطی قابل جداسازی نباشند که در مورد عموماً از یک تابع پیچیده تر استفاده می شود تا کران موجود توصیف شود .



شکل (3-7): داده‌های تفکیک نا پذیر خطی

برای این که قادر باشیم از متد ابر صفحه جدا ساز بهینه استفاده کنیم و آنرا تعمیم دهیم متغیرهای غیر

منفی $\xi_i \geq 0$ و تابع جریمه را معرفی می کنیم .

$$F_{\sigma}(\xi) = \sum_i \xi_i^{\sigma} \Rightarrow \sigma > 0 \quad (3-33)$$

در این رابطه ξ_i میزان خطای طبقه بندی را نشان می دهد . مسئله بهینه سازی هم اکنون برای مینیمم سازی خطای طبقه بندی به کار می رود و مینیمم سازی بعد VC معیار طبقه بندی کننده نیز در کنار آن مورد توجه واهمیت قرار دارد . شروط معادله 3-10 برای مورد جدا ناپذیر خطی به صورت زیر اصلاح شده است :

$$y^i [\langle w, x^i \rangle + b] \geq 1 - \xi_i \Rightarrow i = 1, \dots, l \quad (3-34)$$

در رابطه فوق $\xi_i \geq 0$ برقرار می باشد .

ابر صفحه جدا ساز بهینه تعمیم یافته توسط بردار w تعیین می شود که تابع زیر را مینیمم می کند .

$$\Phi(w, \xi) = \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_i \xi_i \quad (3-35)$$

در رابطه فوق C مقدار داده شده و معین می باشد که با توجه به شروط معادله 3-34 تعیین می شود .
حل مسئله بهینه سازی معادله 3-35 تحت شرایط معادله 3-34 توسط نقطه زینی لاگرانژی داده می شود .

$$\Phi(w, b, \alpha, \xi, \beta) = \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_i \xi_i - \sum_{i=1}^l \alpha_i (y^i [w^T x^i + b] - 1 + \xi_i) - \sum_{j=1}^l \beta_j \xi_j \quad (3-36)$$

α و β ضرب کننده های لاگرانژی می باشند . عامل لاگرانژی باید نسبت به w و b و x مینیم شود و از سویی نسبت به متغیرهای α و β باید ماکزیمم شود . لاگرانژ کلاسیک دوگانه قادر است مسئله اولیه مربوط به معادله 3-36 را به مسئله دوگانه آن تبدیل کند . مسئله دوگانه آن توسط رابطه زیر داده می شود .

$$\max_{\alpha} W(\alpha, \beta) = \max_{\alpha, \beta} (\min_{w, b, \xi} \Phi(w, b, \alpha, \xi, \beta)) \quad (3-37)$$

مینیم نسبت به w و b و ξ برای لاگرانژ Φ توسط روابط زیر داده می شود .

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi}{\partial b} = 0 &\Rightarrow \sum_{i=1}^l \alpha_i y_i = 0 \\ \frac{\partial \Phi}{\partial w} = 0 &\Rightarrow w = \sum_{i=1}^l \alpha_i y_i x_i \\ \frac{\partial \Phi}{\partial \xi} = 0 &\Rightarrow \alpha_i + \beta_i = C \end{aligned} \quad (3-38)$$

با استفاده از معادلات 3-36 و 3-37 مسئله دوگانه به صورت زیر خواهد بود .

$$\max_{\alpha} W(\alpha) = \max_{\alpha} -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^l \alpha_i \alpha_j y_i y_j \langle x_i, x_j \rangle + \sum_{k=1}^l \alpha_k \quad (3-39)$$

واز این رو حل مسئله به صورت زیر خواهد بود .

$$\alpha^* = \arg \min_{\alpha} \frac{1}{2} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^l \alpha_i \alpha_j y_i y_j \langle x_i, x_j \rangle - \sum_{k=1}^l \alpha_k \quad (3-40)$$

هم چنین شروط زیر باید در نظر گرفته شود .

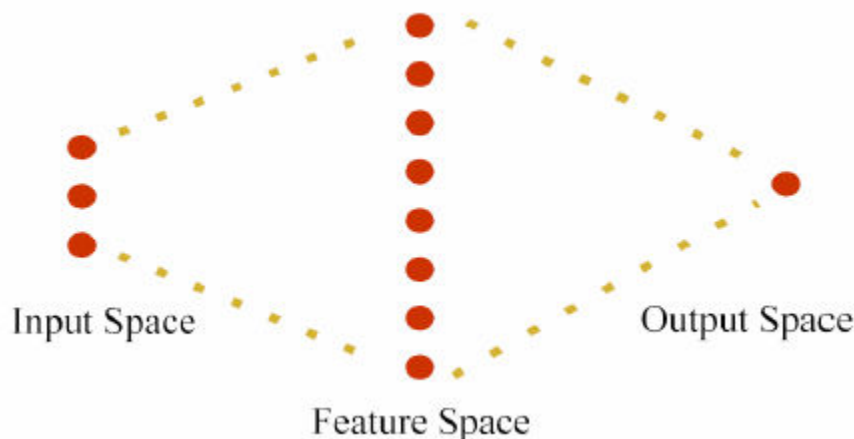
$$0 \leq \alpha_i \leq C \Rightarrow i = 1, \dots, l$$

$$\sum_{j=1}^l \alpha_j y_j = 0 \quad (3-41)$$

حل مسئله مینیمم سازی با مورد تفکیک پذیر کاملاً یکسان خواهد بود و تنها تفاوت این دو در اصلاح کرانهای ضرب کننده لاگرانژی می باشد . پارامتر C باید تعیین شود . این پارامتر قابلیت کنترل ظرفیت اضافی در طبقه بندی کننده را فراهم می کند که می تواند مستقیماً به پارامتر گولاسیون مرتبط گردد .

3-6 تعمیم به فضای دارای ویژگی ابعادی بالا :

در مواردی که کران خطی نامناسب می باشد، SVM می تواند بردار ورودی X را به فضای ویژگی ابعاد بالای Z مرتبط نماید . با انتخاب یک نگاشت غیر خطی اولیه، SVM یک ابر صفحه جدا ساز بهینه را در فضای دارای ابعاد بالاتر ایجاد می کند . (شکل 3-8)



شکل (3-8): نگاشت فضای ورودی به یک فضای مجازی با ابعاد بالاتر

تعدادی محدودیت برای نگاشت غیر خطی وجود دارد ولی خوشبختانه اکثر توابع را می توان مورد استفاده قرار داد.

از میان نگاشت های قابل قبول می توان به چند جمله ای ها ، توابع پایه ای شعاشی و توابع حلقوی اشاره کرد . مسئله مدل سازی معادله 3-40 به صورت زیر در می آید .

$$\alpha^* = \arg \min_{\alpha} \frac{1}{2} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^l \alpha_i \alpha_j y_i y_j K \langle x_i, x_j \rangle - \sum_{k=1}^l \alpha_k \quad (3-42)$$

که در این رابطه $k(x, x')$ تابع کرنل می باشد که نگاشت غیر خطی به فضای ویژگی را انجام می دهد و شروط تغییری نمی کنند . یعنی :

$$\begin{aligned} 0 \leq \alpha_i \leq C &\Rightarrow i = 1, \dots, l \\ \sum_{j=1}^l \alpha_j y_j &= 0 \end{aligned} \quad (3-43)$$

حل معادله 3-42 با استفاده از محدودیت های معادله 3-43 ضرب کننده های لاگرانژی را تعیین می کند و عامل طبقه بندی کننده سخت از ابر صفحه جدا ساز بهینه در فضای ویژگی استفاده می کند که توسط رابطه زیر تحقق پیدا می کند .

$$f(x) = \text{sgn} \left(\sum_{i \in SVs} \alpha_i y_i K(x_i, x) + b \right) \quad (3-44)$$

و داریم :

$$\begin{aligned} \langle w^*, x \rangle &= \sum_{i=1}^l \alpha_i y_i K(x_i, x) \\ b^* &= -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^l \alpha_i y_i [K(x_i, x_r) + K(x_i, x_r)] \end{aligned} \quad (3-45)$$

در این جا بایاس با استفاده از دو بردار پشتیبان انجام می شود ولی می تواند از تمام SV های روی کناره استفاده کند تا پایداری مناسبی را بدست آورد .

اگر کرنل شامل یک عبارت بایاس باشد ، بایاس می تواند با کرنل مطابقت داده شود و عامل طبقه بندی کننده به صورت زیر در می آید :

$$f(x) = \text{sgn}(\sum_{i \in SVs} \alpha_i K(x_i, x)) \quad (3-46)$$

تعدادی از کرنل های به کار رفته شده دارای عبارت بایاس می باشند و هرکرنل محدودی ، می تواند طوری ساخته شود که دارای یک عبارت باشد این امر باعث می شود با حذف شرط معادله 3-43 مسئله بهینه سازی ساده تر شود .

3-7 بررسی اجمالی :

نوعاً داده ها در فضای ویژگی دارای ابعاد بالا ، به صورت تفکیک پذیر خطی می باشند . شاید آزمودن وجدا سازی داده ها چندان معقول نباشد ، خصوصاً در وضعیتی که تعداد محدودی از داده ها در دسترس باشد و احتمال آسیب آنها توسط نویز نیز مصور باشد ، از اینرو در عمل نیاز است تا از روش تفکیک ناپذیری استفاده شود که از کران بالای ضرب کننده های لاگرانژی در آن استفاده می شود . در اینجا این سوال پیش می آید که پارامتر C را چگونه باید تعیین کرد . مشابه با مسئله رگولاسیون که باید ضرب رگولاسیون انجام می شد ، مقدار پارامتر C می تواند مستقیماً برای کرنال های خاصی به پارامتر رگولاسیون مرتبط شود . یک پروسه بررسی اعتبار را می توان برای تعیین این پارامتر مورد استفاده قرار داد . البته متدهای کار آمد تر و بهتری نیز در این راستا ابداع شده است . در رفع الگوهای آموزشی که به صورت بردارهای پشتیبان نمی باشند ، حل بدون تغییر می ماند و متد سریعی برای بررسی حالتی که بردارهای پشتیبان پراکنده می باشند مورد استفاده قرار می گیرد .

3-8 توابع کرنل :

موضوع این قسمت مربوط به روش های نگاشت از فضای اصلی به حوزه ای با ابعاد بالاتر به وسیله توابع کرنل گوناگون می باشد. استفاده از توابع کرنل باعث می شود به جای آن که در حوزه ورودی ها کار کنیم به فضای دیگری منتقل شده و در آن فضای مجازی داده ها را دسته بندی کنیم. استفاده از تابع کرنل در حوزه ورودی معادل با ضرب داخلی در فضای مجازی است .

$$K(x, x') = \langle \phi(x), \phi(x') \rangle \quad (3-47)$$

اگر K تابعی باشد که در شرایط Mercer صادق باشد یعنی شرایط زیر را بر آورده کند :

$$K(x, x') = \sum_m^{\infty} a_m \phi_m(x) \phi_m(x') \Rightarrow a_m \geq 0 \quad (3-48)$$

$$\iint K(x, x') g(x) g(x') dx dx' > 0 \Rightarrow g \in L_2 \quad (3-49)$$

آنگاه کرنل ، یک ضرب داخلی درست را در فضای مجازی نشان می دهد .

توابعی که شرایط mercer را ارضا می کنند در زیر آمده اند.

3-8-1 کرنل خطی (linear) :

ساده ترین نوع تابع کرنل می باشد که به صورت زیر نمایش داده میشود :

$$K(x, x') = \langle x, x' \rangle \quad (3-50)$$

3-8-2 polynomial :

کرنل غیرخطی polynomial یک کرنل مورد توجه برای مدل های غیرخطی می باشد.

$$K(x, x') = \langle x, x' \rangle^d \quad (3-51)$$

$$K(x, x') = (\gamma \langle x, x' \rangle + b)^d \quad (3-52)$$

که کرنل دوم (3-52) پر استفاده تر می باشد .

3-8-3 : (rbf)Gaussian Radial Basis Function

توابع radial basis اکنون اهمیت زیادی پیدا کرده‌اند و بیشتر به صورت گاوسی بکار می‌روند:

$$K(x, x') = \exp\left(-\frac{\|x - x'\|^2}{2\sigma^2}\right) \quad (3-53)$$

3-8-4 :Exponential Radial Basis Function

این تابع را به صورت روبرو در نظر بگیرید:

$$K(x, x') = \exp\left(-\frac{\|x - x'\|}{2\sigma^2}\right) \quad (3-54)$$

این تابع یک حل خطی تکه‌ای را به دست می‌آورد که در زمانی که میزان ناپیوستگی‌ها قابل قبول باشد، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

3-8-5 MULTI – LAYER PERCEPTRON

MLP شناخته شده دارای یک تکه لایه مخفی دارای یک نمایش کرنل معتبر می‌باشد که به صورت زیر می‌باشد:

$$K(x, x') = \tanh(\rho \langle x, x' \rangle + \delta) \quad (3-55)$$

3-8-6 سریهای فوریه :

یک سری فوریه را می‌توان برای بسط فضای ویژگی $2m+1$ بعدی بکار برد. کرنل در بازه

$$\left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right] \text{ تعریف می‌شود}$$

$$K(x, x') = \frac{\sin\left(N + \frac{1}{2}\right)(x - x')}{\sin\left(\frac{1}{2}(x - x')\right)} \quad (3-56)$$

با این وجود کرنل نمی‌تواند انتخاب خوبی باشد چرا که ظرفیت رگولاسیون آن ضعیف است و این مسئله از تبدیل فوریه مربوط به آن نیز قابل تشخیص است.

3-8-7 چند جمله ایها: (SPLINE)

چند جمله ایها بدلیل انعطاف پذیری خاصی که دارند از گزینه های مورد توجه می باشند. یک چند جمله متناهی دارای مرتبه k قرار گرفته در مکان τ_s توسط این رابطه داده می شود:

$$K(x, x') = \sum_{r=0}^k x^r x'^r + \sum_{s=1}^N (x - \tau_s)^k + (x' - \tau_s)^k \quad (3-57)$$

یک چند جمله ای نامتناهی در بازه $[0, 1]$ به صورت زیر تعریف می شود:

$$K(x, x') = \sum_{r=0}^k x^r x'^r + \int_0^1 (x - \tau_s)^k + (x' - \tau_s)^k + d\tau \quad (3-58)$$

در حالتی که $k=1$ کرنل توسط رابطه زیر داده می شود:

$$K(x, x') = 1 + \langle x, x' \rangle + \frac{1}{2} \langle x, x' \rangle \min(x, x') - \frac{1}{6} \min(x, x')^3 \quad (3-59)$$

3-8-8 چند جمله ایهای B (Bsplines):

این نوع از چند جمله ایها نوع دیگری از فرمول بندی چند جمله ایها هستند که مورد استفاده قرار می گیرند کرنل در بازه $[1, -1]$ تعریف می شود و به صورت زیر می باشد:

$$K(x, x') = B_{2N+1}(x - x') \quad (3-60)$$

3-8-9 کرنل های جمع پذیر:

با جمع کرنلها با یکدیگر می توان کرنل های پیچیده تری را به دست آورد. این حقیقت از آنجا ناشی می شود که جمع دو تابع معین مثبت به صورت معین و مثبت خواهد بود.

$$K(x, x') = \sum_i K_i(x, x') \quad (3-61)$$

3-8-10 کرنل های چند بعدی :

کرنل های چند بعدی می توانند با استفاده از حاصل tensor کرنلها به صورت زیر به دست آیند:

$$K(x, x') = \prod_i K_i(x_i, x'_i) \quad (3-62)$$

این روش برای استفاده در ساختار کرنل های کثیرال جمله چند بعدی سودمند می باشد. و از حاصل ضرب کرنل های نامتغیر به دست می آید.

لازم به ذکر است که در نرم افزار این مقاله از ده تابع کرنل استفاده شده است .

3-9 سنجش عملکرد:

عملکرد یک عامل طبقه‌بندی کننده، با استفاده از شاخصه‌های حساسیت، دقت و ویژگی ذکر شده، سنجیده می‌شود.

$$\begin{aligned} sensitivity &= \frac{TP}{TP + FN} \\ specificity &= \frac{TN}{TN + FP} \\ accuracy &= \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \end{aligned} \quad (3-63)$$

در روابط مذکور :

TP تعداد موارد طبقه‌بندی مثبت صحیح (ماشین یادگیری به درستی طبقه‌بندی می‌کند)

TN تعداد موارد طبقه‌بندی شده منفی صحیح (ماشین یادگیری به درستی طبقه‌بندی می‌کند)

FP تعداد موارد طبقه‌بندی شده مثبت نادرست (ماشین یادگیری مورد را تحت عنوان مثبت نامگذاری می‌کند در حالیکه مورد مربوط منفی می‌باشد)

FN تعداد موارد طبقه‌بندی شده منفی نادرست می‌باشد (ماشین یادگیری مورد را تحت عنوان منفی نامگذاری می‌کند در حالیکه مربوطه مثبت می‌باشد)

در ارزیابی حساسیت در صد حالات عملکردی طبقه‌بندی شده صحیح را نشان می‌دهد و میزان ذکر شده از قبل درصد حالات معیوب دارای طبقه‌بندی صحیح را نشان می‌دهد .

برای بدست آوردن مقادیر مذکور می‌توان به شکل دستی و خیلی راحت با توجه به شکل عمل کرد بنابراین از آوردن این محاسبات در نرم افزار صرف نظر شده است .

که گزینه‌ها از بالا به ترتیب حساسیت ، نرخ داده‌های اشتباه ، دقت می‌باشند .

10-3 انتخاب کرنل مناسب ؟

سوالی که در اینجا مطرح می‌شود این است که با وجود ترکیب های گوناگون برای یک مسئله خاص کدامیک از توابع کرنل می‌تواند مناسبتر باشد البته این سوال جدیدی نیست. کران بالای بعد VC در معادله 16-3 می‌تواند ابزار مناسبی برای مقایسه کرنالها باشد. با این وجود این روش نیازمند تخمین شعاع ابرکره‌هایی دارد که شامل داده‌ها در یک فضای ویژگی غیرخطی دارد. در نگاه کلی حتی اگر یک متد تئوری برای انتخاب کرنل به خوبی توسعه داده شود، تا زمانی که بر روی تعداد زیادی از مسائل مورد آزمایش قرار نگیرد نمی‌توان به صحت کامل آن اطمینان داشت. بنابراین انتخاب کرنل به صورت دستی و دلخواه انجام می‌گیرد و اگر نقاطی با یک کرنل قابل جداسازی نبودند می‌بايست این کار را تا زمان جدا سازی درست با سایر کرنل ها انجام داد.

11-3 مقایسه بین شبکه های عصبی مصنوعی و SVM :

اساس شناسایی تجربی یک سیستم بر مبنای مشاهدات محدود و تحلیل هایی روی نمونه های انتخاب شده می باشد. چون تمام اتفاقات ممکن و نتایج آنها را نمی دانیم پس فضای ورودی ها به طور کامل شناخته شده نیست. پس نمونه برداری در فضای ورودی توزیعی نا همگون دارد. و این یکی از ضعف های بزرگ برای مدل های پیشنهادی در پیش بینی واقعیت می باشد. مشکل شبکه های عصبی که سابقا استفاده می شدند این بود که نمی توانستند یک مدل جامع برای سیستم بدست آورند. این مشکل ناشی از الگوریتم بهینه سازی بود که برای انتخاب پارامتر ها استفاده می شد. هم چنین معیارهای آماری که برای مقایسه چند مدل و انتخاب بهترین آنها به کار می رفت در ایجاد مشکل بی تاثیر نبود.

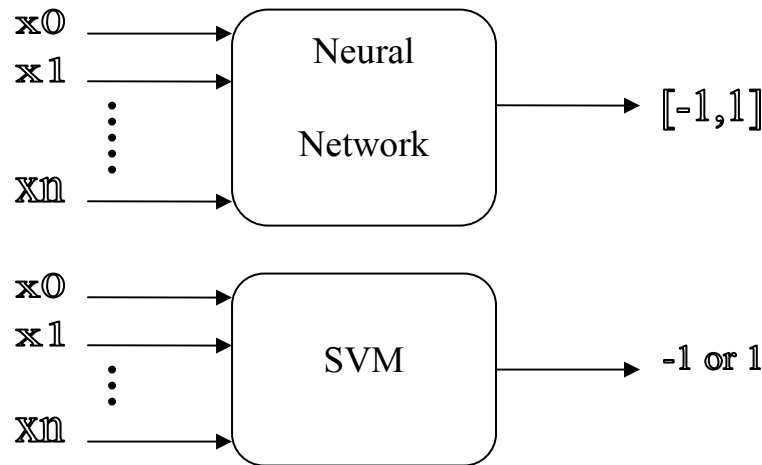
در حقیقت SVM توسیعی از مفهوم شبکه عصبی است که صرفا به کم بودن خطای کل مدل در پیش بینی نتایج توجه دارد نه به این که سعی کند در هر مرحله خطای مربوط به همان مرحله را کمینه کند. SRM حد بالائی برای مجموع این خطا ها می یابد و سپس آن را کمینه می کند برخلاف ERM که تلاش می کند میزان خطاهای جزئی در اطلاعاتی که شبکه را آموزش می دهد در هر مرحله کم کند همین اختلاف باعث می شود که SVM دارای قابلیت های بیشتری باشد.

SVM در ابتدا برای حل مسائل دسته بندی (SVC) کاربرد داشت ولی امروزه برای حل مسائل رگرسیون نیز کاربرد دارد (SVR).

لازم به ذکر است که در پایان خاطر نشان شویم که تفاوت عمده دیگری که بین SVM ها و شبکه های عصبی وجود دارد آن است که در SVM دو حالت بیشتر برای پیش بینی وجود ندارد. به عنوان مثال

در کاربرد SVM در ارزیابی امنیت استاتیکی سیستم قدرت پیش بینی حالت سیستم یا امن است یا نا امن است (عدد 1 موقعیت امن و 1- موقعیت نا امن) بنابراین در پیش بینی های SVM تکلیف ما بهتر روشن می شود که یا شبکه ما در حالت امن کار می کند یا حالت نا امن. ولی در شبکه های عصبی دامنه پیش بینی ها گسترده می باشد و ممکن است حالات مختلفی که سیستم در حال کار می باشد بسته به نوع ورودی متفاوت باشد مثلاً ممکن است با پیشگویی شبکه عصبی موقعیت سیستم 0.75 یا 0.5 یا باشد. پس تصمیم گیری در استفاده از شبکه های عصبی مشکل تر می شود.

در واقع می توان این گونه برداشت کرد که در شبکه های عصبی به ازای یک تابع تبدیل و به ازای ورودی های متفاوت خروجی های پیوسته ای بین 1 و 1- بدست می آید. ولی در SVM ها به ازای ورودی های متفاوت فقط دو حالت برای خروجی ما اتفاق می افتد. (یا امن یا نا امن). در شکل (3-9) تفاوت بین شبکه عصبی و svm به صورت نمادین نشان داده شده است. که در شکل ورودی های ما $\{x_0, x_1, \dots, x_n\}$ می باشند.



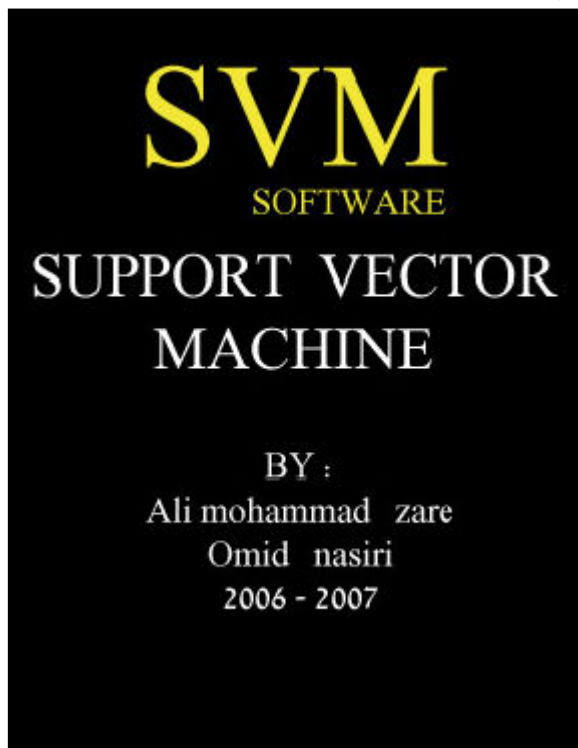
شکل (3-9): تفاوت بین شبکه عصبی و svm

فصل چهارم

نرم افزار svm

4-1 نرم افزار svm :

این نرم افزار به زبان matlab نوشته شده است و لذا برای اجرای آن احتیاج به محیط matlab با ورژن 7 یا بالاتر دارد . برای اجرای این نرم افزار مسیر matlab را به جایی که فایل های این نرم افزار در آنجا قرار دارد تنظیم کرده و کلمه svm را تایپ کرده که با این کار نرم افزار اجرا می شود .



شکل (4-1) : نرم افزار svm

در این مقاله از روش svm جهت ارزیابی امنیت استاتیکی سیستم قدرت استفاده می شود بدان صورت که توسط آزمایشات و تجربیات نقاط اطلاعاتی (نقاط امن و نا امن) از شبکه قدرت بدست می آوریم که در فصل آینده همین کار را توسط نرم افزار psat و power world simulstor انجام می دهیم که مفصلاً بحث خواهد شد .

4-2 خصوصیات نرم افزار svm

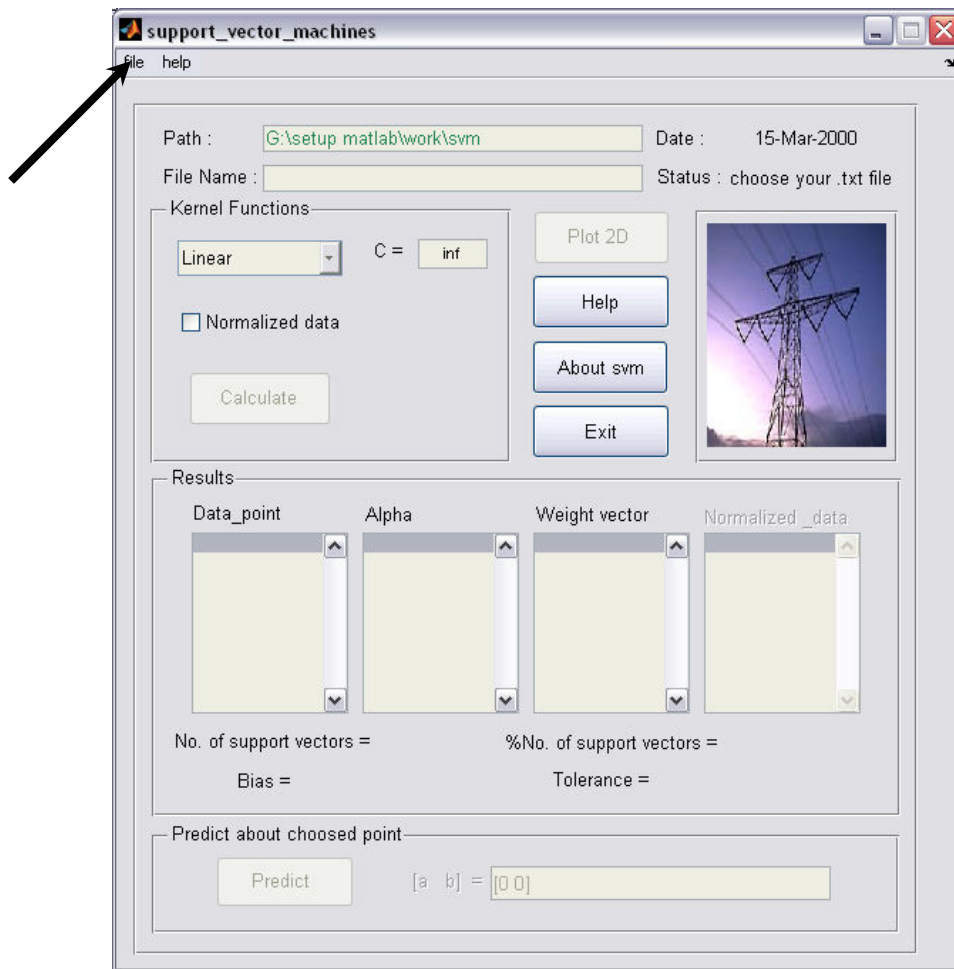
از جمله خصوصیات این نرم افزار در زیر آمده است .

- 1- دارا بودن از محیط گرافیکی و زیبایی ظاهری
- 2- تعریف ده تابع کرنل خطی و غیر خطی
- 3- فراخوانی اطلاعات از یک فایل متنی
- 4- قابلیت نمایش گزارش متنی بعد از هر عملیات
- 5- دارا بودن فایل help در حین انجام کار، به زبان انگلیسی

6- قابلیت ذخیره سازی نمودار ها پس از هر عملیات

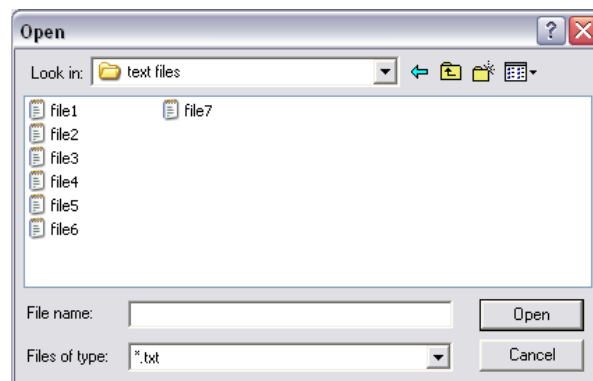
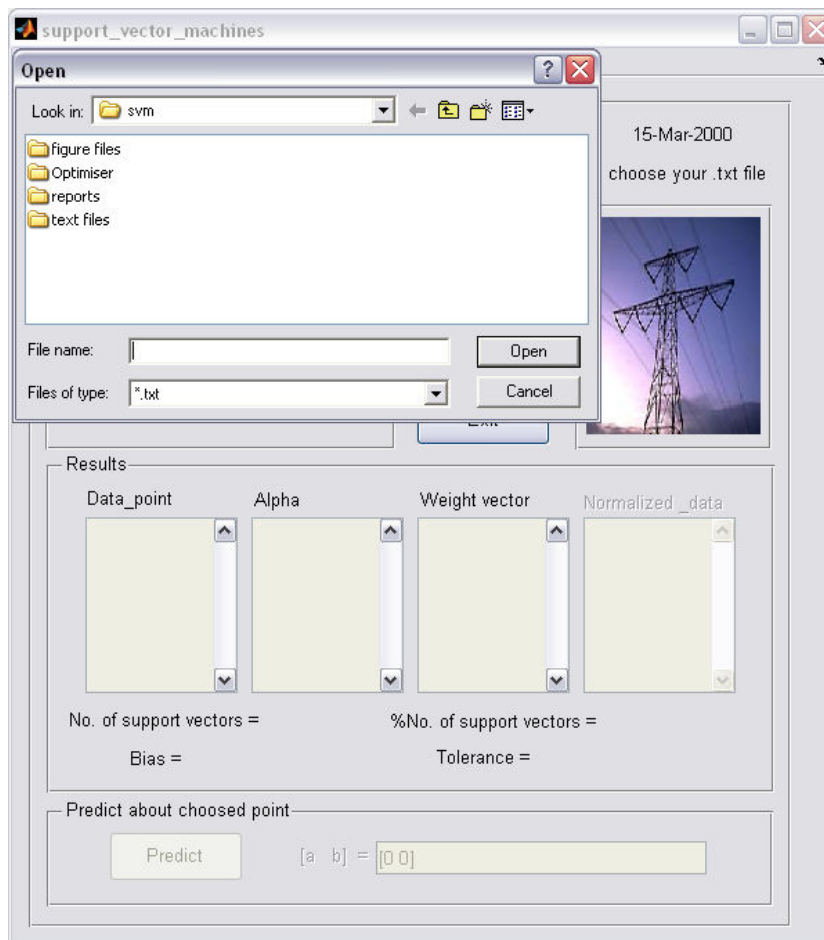
7- قابلیت پیش گوئی درمورد یک نقطه انتخابی

8- نرمالیزه کردن داده ها در صورت لزوم ونمایش داده های نرمال شده .



شکل (2-4) : نمای svm

برای آشنائی با طرز کار این نرم افزار مراحل انجام یک پروسه ساده را شرح می دهیم. ابتدا باید فایل مورد نظرم را که می خواهیم شبکه مان را با آن آموزش دهیم انتخاب کرده ، برای جستجوی فایل متنی مورد نظر به روی file و سپس load text file رفته که با انجام این کار پنجره ی شکل (3-4) ظاهر می شود .



شکل (3-4): جستجو برای فایل متنی

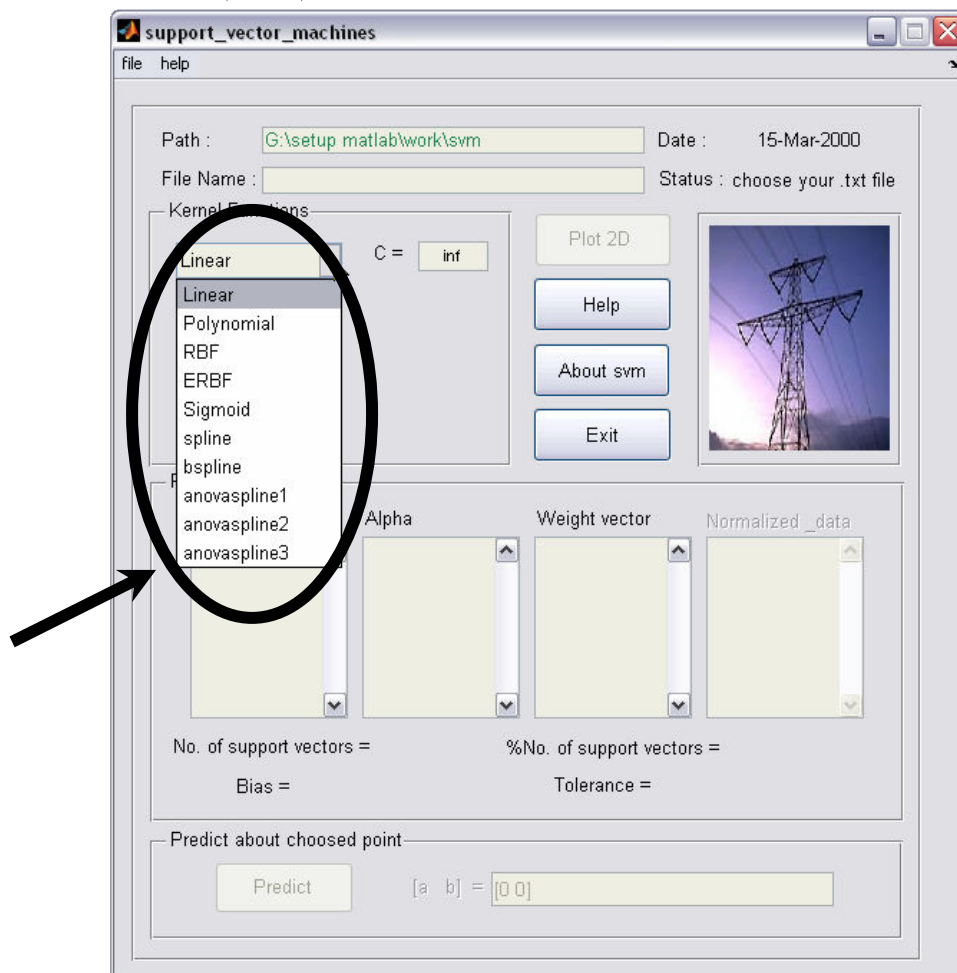
در این قسمت فایل مورد نظرم را انتخاب کرده، همان طور که در فصل بعد خواهید دید این فایل شامل نقاط اطلاعاتی است که در قالب فایل متنی ذخیره سازی شده و باید به ترتیبی که در شکل (4-4) مشاهده می کنید ذخیره شود.

1	4	1
4	1	-1
2	5	1
5	2	-1
3	6	1
6	3	-1

شکل (4-4) : طریقه نوشتن نقاط اطلاعات

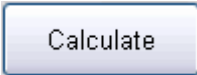
این نقاط در file3 ذخیره شده اند .

در قسمت kernel functions این امکان به ما داده می شود که از بین ده تابع کرنل موجود تابع کرنل مورد نظر را انتخاب کرده و پارامترهای آنها را به مقدار دلخواه تنظیم نماییم .

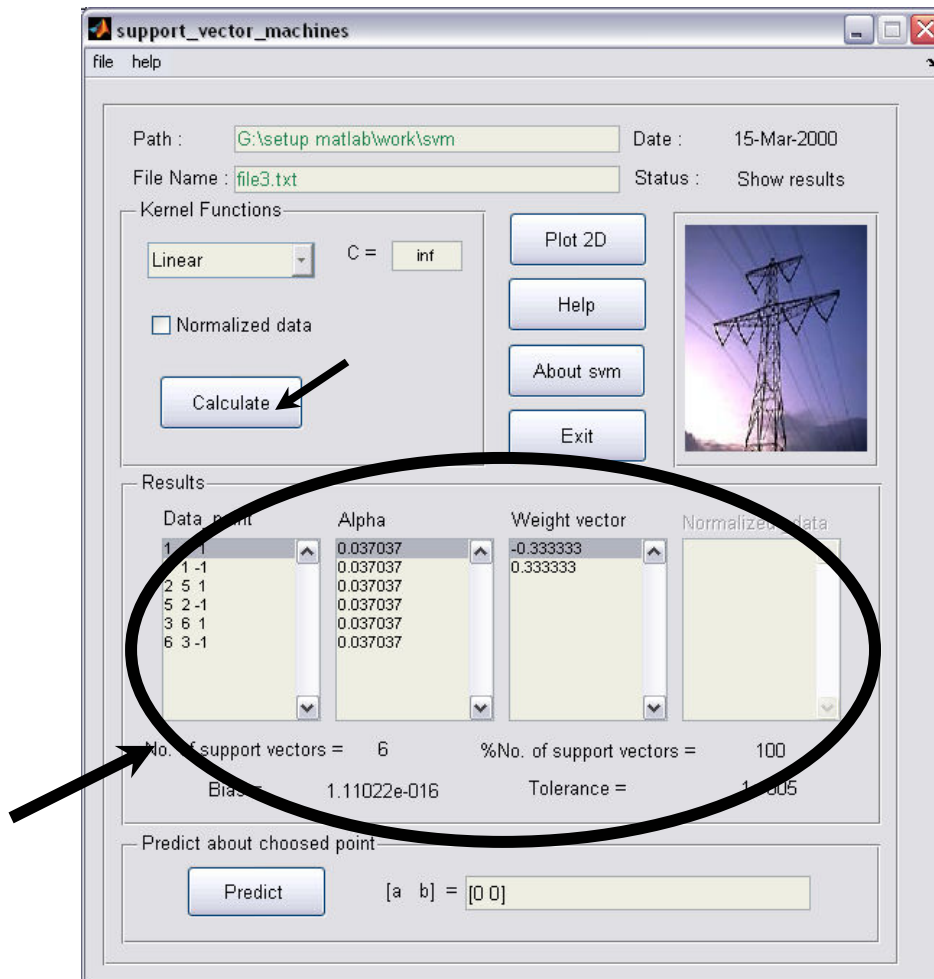


شکل (4-5) : توابع کرنل

برای این مثال ما سه تابع کرنل انتخاب می نماییم و نتایج را مقایسه می کنیم . برای شروع تابع کرنل

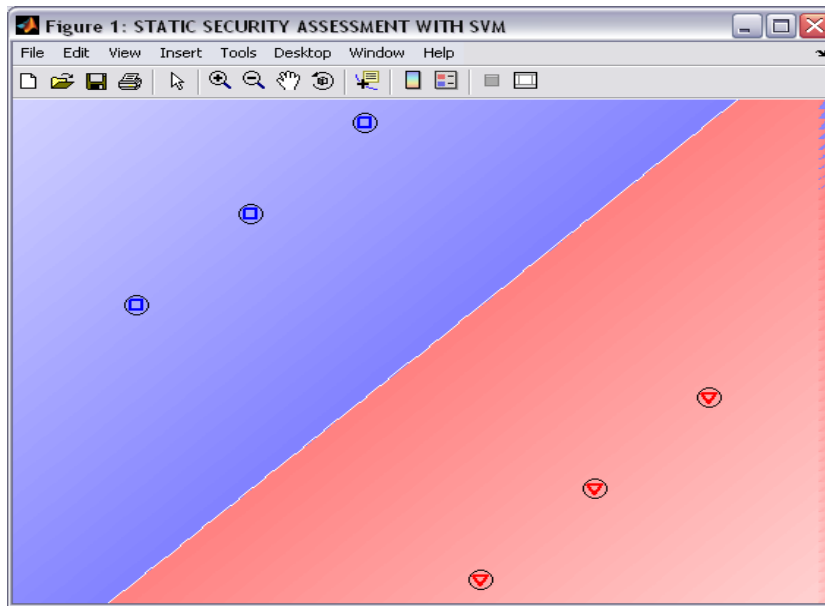
linear را انتخاب می کنیم . با فشردن دکمه  محاسبات براساس تابع کرنل انتخاب شده انجام می شود و مقادیر ، تعداد SV ها و درصد آنها و مقدار خطا و بایاس اولیه و ... روی صفحه

نرم افزار ظاهر می گردند . هم چنین گزارشی از تمام مراحل کار روی پنجره command window ظاهر می شود که می توان از آن کپی گرفته و در یک فایل متنی ذخیره کرد .



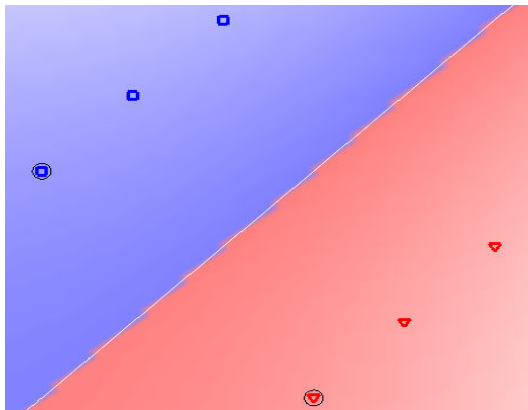
شکل (4-6) : محاسبات در svm

با فشردن دکمه  نمودار دو بعدی ظاهر می شود .

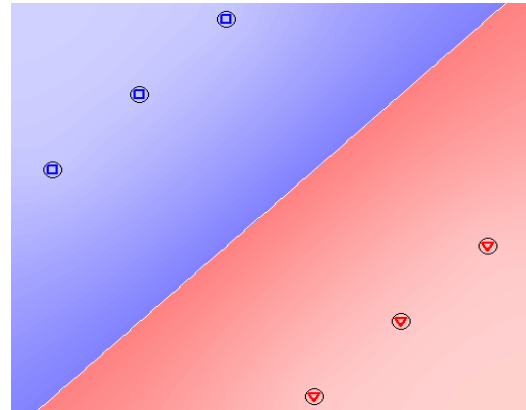


شکل (4-7) : نمودار دو بعدی $c=\inf$, linear

همان طور که مشاهده می کنید عمل جداسازی با موفقیت انجام شده و نقاط اطلاعات در دو کلاس امن و ناامن طبقه بندی شده اند . نقاطی را که به دور آنها دایره های سیاه رنگی قرار دارد SV ها می باشند که در این مثال تمامی نقاط SV می باشند و همان طور که مشاهده شد تعداد SV ها برابر 6 و درصد آن نیز 100٪ می باشد .



Polynomial , $c=\inf$, $y=5, b=1, d=2$

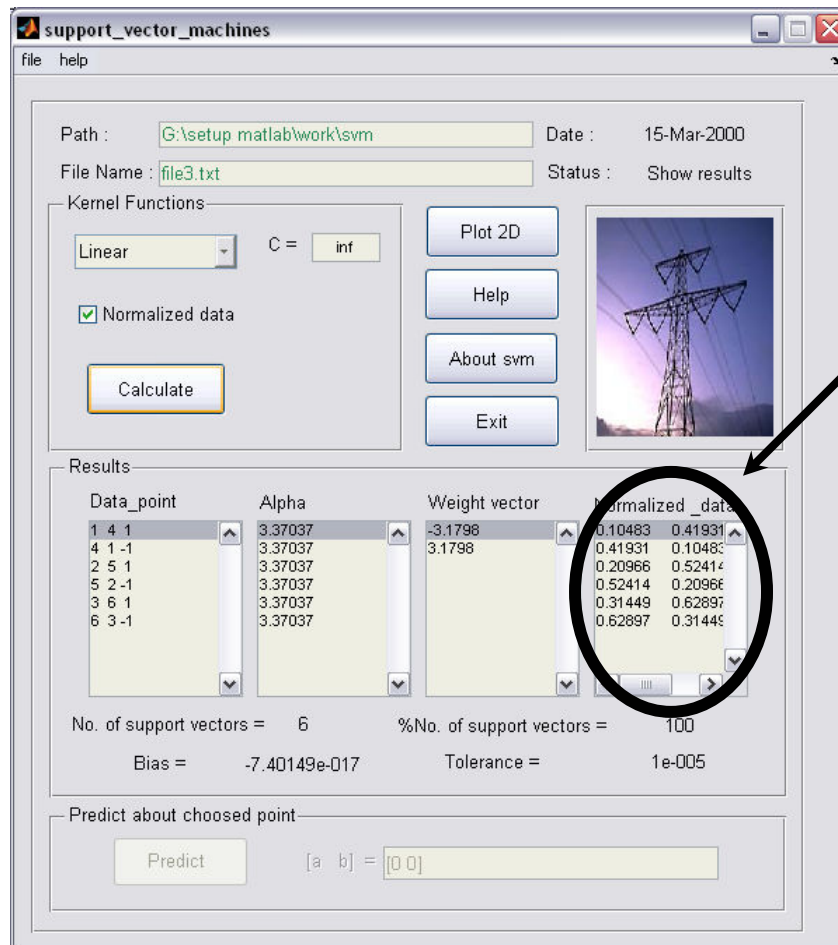


erbf , $c=\inf$

شکل (4-8) : جداسازی توسط توابع کرنل

نرم افزار svm این امکان را برای کاربر فراهم می نماید که در صورت لزوم داده های خود را نرمالیزه کرده ، نرمالیزه کردن داده ها باعث می شود که داده ها در بازه (1 -1) مرتب شوند که این امر مزایایی دارد . برای نرمالیزه کردن داده ها قبل از آموزش باید گزینه ☐ Normalized data تیک بزیم . داده های نرمال شده در کادر Normalized data ظاهر می شوند . در حالتی که ما از روش نرمال کردن داده ها استفاده می نمائیم دیگر در مورد نقطه انتخابی نمی توانیم استفاده کنیم

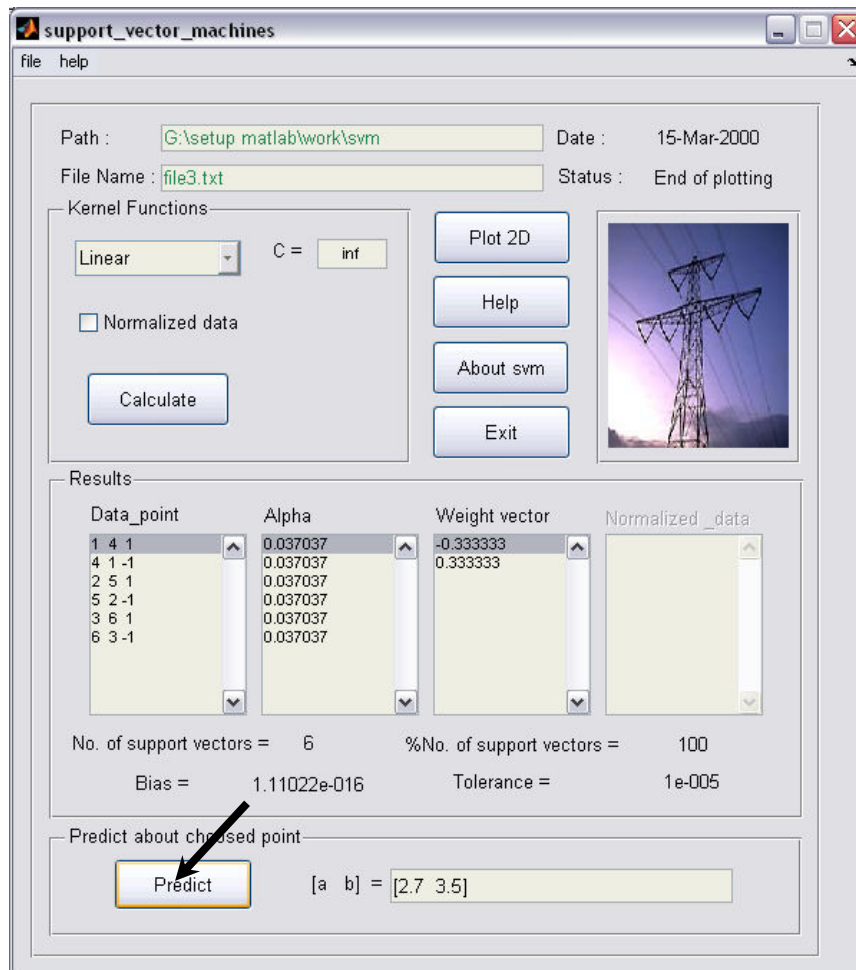
بنابراین قسمت مربوط به پیش گوئی غیر فعال شده است ، زیرا نرمال کردن اطلاعات بر اساس تعداد مشخص سطر وستون ماتریس داده ها انجام می شود و اضافه کردن نقطه جدید باعث به وجود آمدن خطا در کل داده ها می شود وهم چنین اگر تصمیم به نرمال کردن نقطه به تنهایی بگیریم باز چون سایر نقاط در نرمال کردن نقشی ایفا نمی کنند باز هم بی فایده است . در رابطه با این موضوع راهکاری به ذهنمان نرسید و می تواند موضوعی برای تحقیق بیشتر باشد . در شکل (9-4) داده های نرمال شده ی file3 را می بینید .



شکل (9-4) : نرمالیزه کردن داده ها

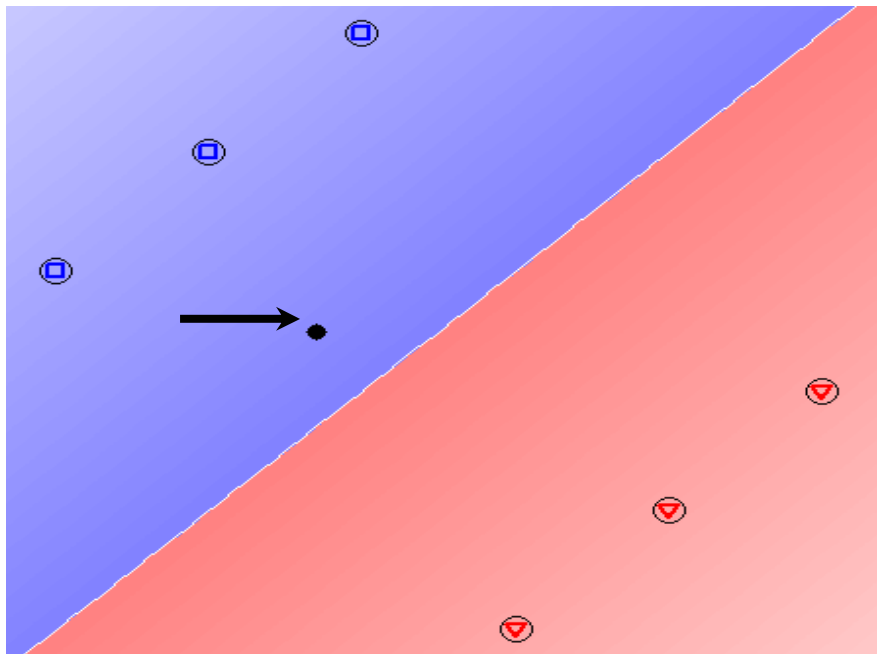
نرمالیزه کردن داده ها برای کرنل هائی که دارای قلمرو محدود می باشند ضروری می باشد و از سوئی می تواند برای کرنل های نا محدود نیز مفید باشد . برای تشخیص ضروری بودن نرمالیزه سازی باید خواص ورودی را مورد بررسی قرار داد . در ضمن نرمالیزه سازی عدد شرطی ماتریس Hessian را در مسئله بهینه سازی بهبود می بخشد . (در مورد ماتریس Hessian در مقاله بحثی نمی کنیم) .

یکی از خصوصیات این نرم افزار آن است که قابلیت پیش گوئی در مورد یک نقطه انتخابی را دارد .



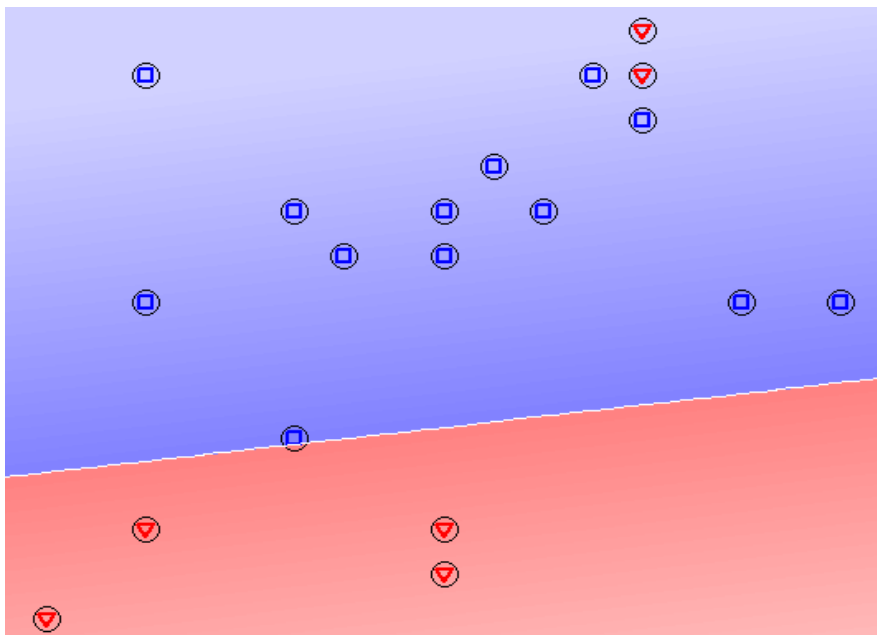
شکل (4-10): حالت پیش گوئی در مورد یک نقطه

فرض می کنیم می خواهیم درمورد نقطه (2.7 3.5) پیش گوئی کنیم برای این کار نقطه را در کادر مربوطه نوشته سپس دکمه **Predict** را می فشاریم . در این روش این امکان برای ما به وجود می آید که در مورد نقاطی که حالت آتی شبکه می باشند پیش گوئی کرده و حالت امن یا نا امن بودن شبکه را بدانیم . نقطه مورد نظر برای مدت سه ثانیه چشمک زن می باشد و سپس به رنگ مشکی در می آید که شکل (4-11) گویای این مطلب است .

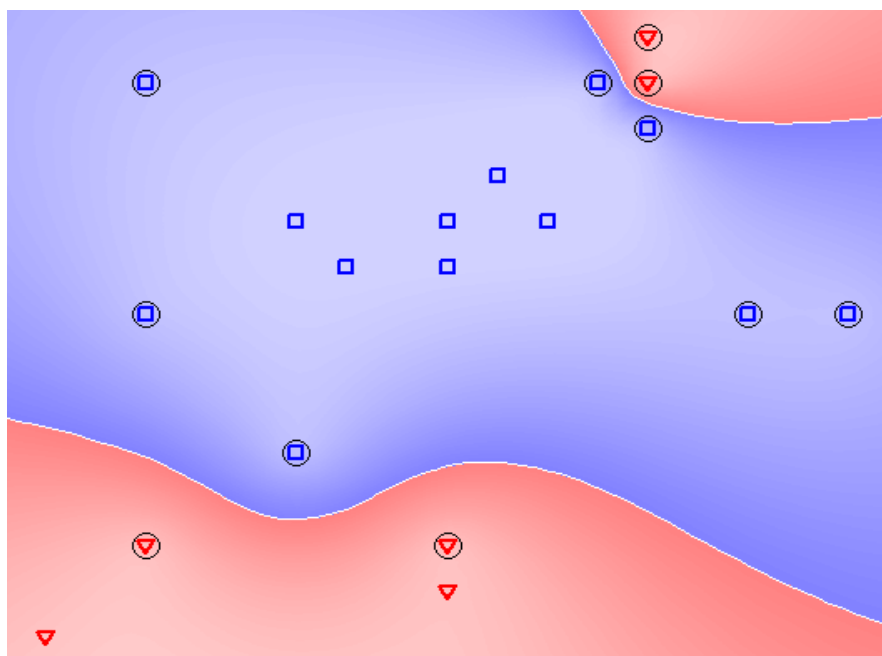


شکل (4-11): rbf , $c = inf$, $y = 5$

همان طور که مشاهده میشود نقطه مورد نظر در منطقه امن قرار دارد .
 گاهی اوقات ممکن است نقاطی را که می خواهیم شبکه را با آن آموزش دهیم توسط یک تابع کرنل
 خطی (linear) قابل جدا سازی نباشند و ما را مجبور به استفاده از یک کرنل غیر خطی کنند . شکل
 (4-12) عدم موفقیت کرنل linear را در جدا سازی نقاط غیر خطی به اثبات می رساند . و شکل (4-13)
 نیز موفقیت کرنل $erbf$ را در انجام این کار نشان می دهد .

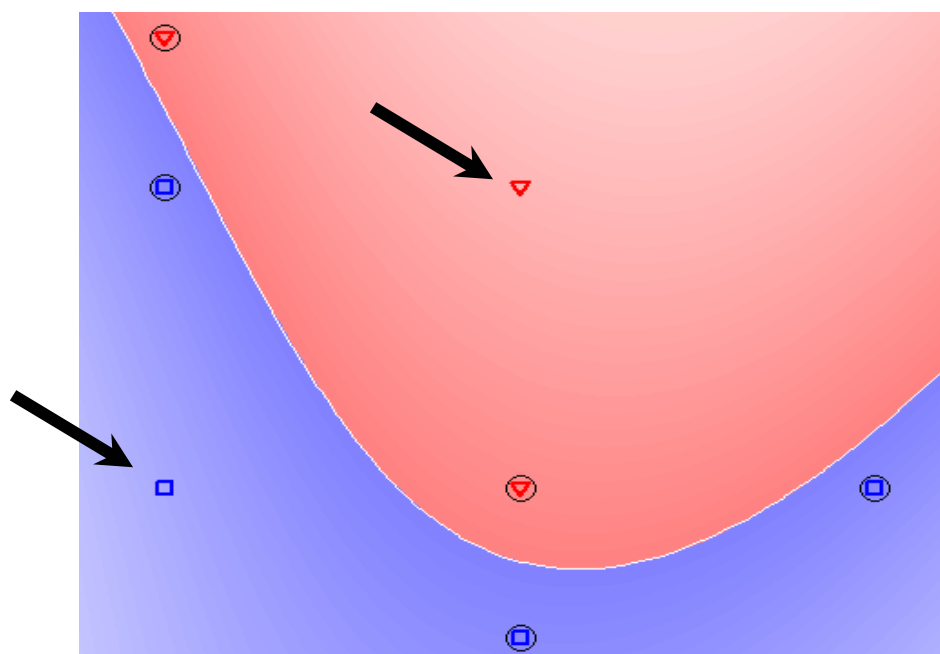


شکل (4-12): عدم موفقیت کرنل linear

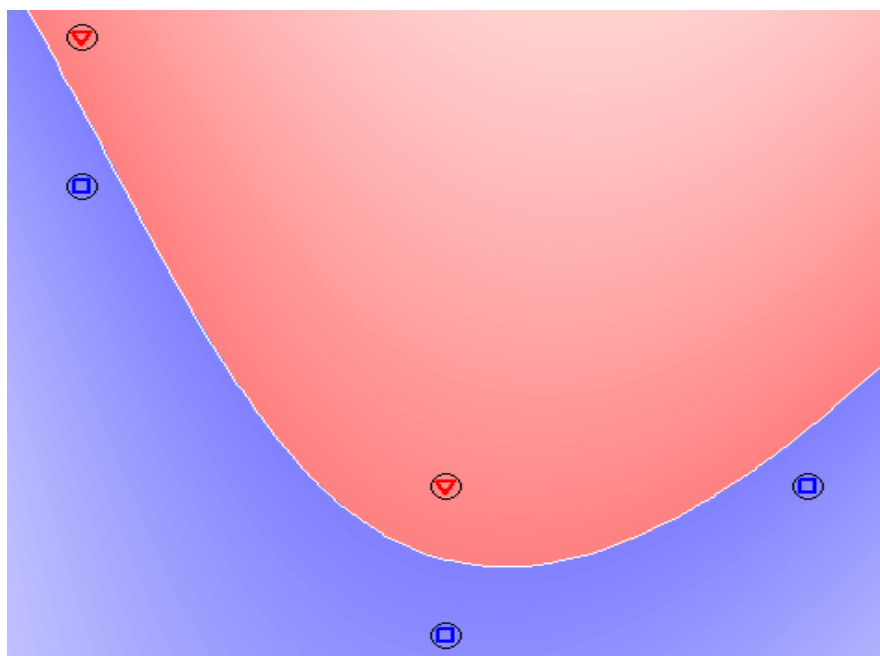


شکل (4-13) : موفقیت کرنل erbf

بعد از دسته بندی مجموعه ای از نقاط به هم ریخته ، ضرایب لاگرانژ برای نقاط روی مرز (SV ها) غیر صفر بوده و برای تمامی نقاط دیگر صفر می باشد . این بدین معنی است که تنها SV ها در تعیین مرز جدا کننده موثر می باشند یعنی اگر نقاط دیگر حذف شده و شبکه صرفاً با SV ها آموزش ببیند ، باز هم همان صفحه جدا کننده بدست می آید . شکل (4-14) و (4-15)



شکل (4-14) : نقش یکتای SV ها در عمل جداسازی



شکل (15-4): حذف نقاط و نقش یکتای SV ها در جداسازی

پس در تصمیم گیری در سیستم های قدرت به روش SVM ، باید به دنبال SV ها بود یعنی نقاطی که روی مرز امنیت و عدم امنیت قرار می گیرند ، مطلوبند . (نکته خیلی مهم)
در حالتی که عدم موفقیت یک تابع کرنل خطی را در جداسازی نقاط غیر خطی مشاهده کردید ، بدون تردید حداقل یکی از ضرایب لاگرانژ برابر با مقدار پنا لتی C شده است .

فصل پنجم

انتخاب حالت مناسب

5-1 تعریف حالت :

از آنجائی که برای استفاده از نرم افزار svm احتیاج به یک سری نقاط اطلاعات داریم که این نقاط از نتایج آزمایشاتی که به روی شبکه ی خاصی انجام داده ایم بدست می آید لذا احتیاج به رفتارهای امن و نا امن یک شبکه داریم که این نقاط را برای آن تعریف نمائیم . از بدست آوردن نقاط اطلاعات توسط آزمایشات مکرر حالت سیستم به دست می آید . که حالت سیستم بنا به تعریف شخصی است و ممکن است تعریف شما از شبکه با تعریف این مقاله و دیگران متفاوت باشد . اما باید سعی شود حالتی در نظر گرفته شود که از نظر کاربرد و آزمایشات مکرر ساده و هم چنین از نظر منطق عقلی به کاربردهائی که دارد نزدیک باشد . در ضمن نقاط اطلاعات بدست آمده توسط آزمایشات را باید طوری بدست آوریم که نزدیک به مرز امن و نا امن باشد. در واقع با این کار تعداد (support vector)sv ها بیشتر شده و پیش بینی در مورد حالات آتی سیستم بهتر انجام می گیرد و پاسخ های بدست آمده منطقی تر می باشند .

5-2 استفاده از نرم افزار psat (روش اول) :

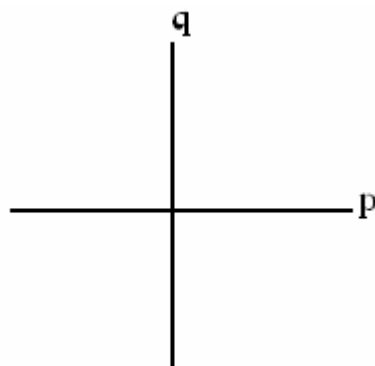
برای بدست آوردن نقاط امن و نا امن یک شبکه می توان از هر نرم افزاری که در این زمینه به ما یاری می رساند استفاده کرد اما چون در این جا سعی شده نرم افزار svm به زبان matlab باشد لذا به دنبال نرم افزاری می گردیم که هم به زبان matlab باشد و هم پاسخ های درستی به سوالات ما بدهد در این مقاله به معرفی نرم افزار psat و استفاده از آن در بدست آوردن حالت مورد نیاز می پردازیم . البته می توان نرم افزار دیگری مثلا power world simulator را نیز انتخاب کرد که هم open source می باشد و هم چنین شکل امن و نا امن شبکه را به شکل نمایشی نشان می دهد ولی چون این نرم افزار به زبان matlab نیست لذا در ابتدا همان psat را انتخاب کرده و استفاده از آن را در بدست آوردن حالت بیان می کنیم . ولی در پایان مقاله مثال هائی از نرم افزار power world simulator را نیز برای بدست آوردن حالت بیان می داریم .

در این مقاله هدف ارزیابی امنیت استاتیکی سیستم قدرت به کمک svm می باشد. ما در بدست آوردن حالت سیستم (روش اول) برای آموزش شبکه از بار گذاری بارهای شبکه برای بدست آوردن حالت امن و نا امن می پردازیم . می دانیم که در امنیت استاتیکی بحثی پیرامون حالت گذرا نمی باشد و تمام حالت ماندگار را مورد بررسی قرار می دهد ، لذا در این جا نیز ما بحثی در مورد آن نمی کنیم ، و مباحث خود را پیرامون حالت دائم سیستم قدرت (STEADY STATE) ادامه می دهیم . شرایط بر قراری امنیت استاتیکی در یک سیستم قدرت آن است که تمامی ولتاژ باسها در محدوده

$0.95 < v < 1.05$ باشد و هیچ خطی نیز به **over load** نرفته باشد که تمامی این حالات در حالت دائم سیستم بررسی می شود .

همان گونه که قبلا گفته شد تعریف حالت دلخواه است و هر شخصی بنا به تعریف خودش نقاط اطلاعات را تعریف می کند ولی در این مقاله (روش اول) تعریف حالت را بنا بر بار گذاری بارهای شبکه قرار دادیم بنابراین ، این گونه تعریف می کنیم :

اگر نقطه (x,y) را به (p,q) تعمیم دهیم ، به گونه ای که p در محور x ها و q در محور y ها باشد پس محور مختصاتی به شکل زیر داریم :

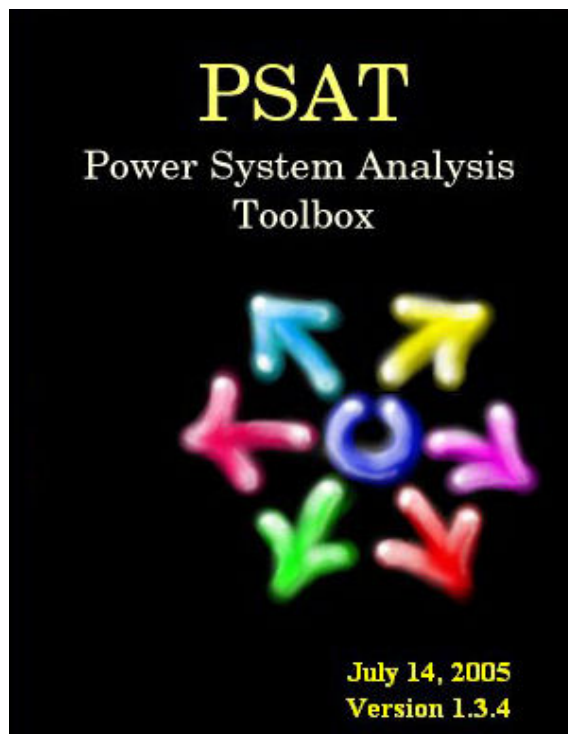


شکل (1-5) : نمایش محور مختصات

که p همان توان اکتیو و q همان توان راکتیو می باشد .

حال اگر نقطه $(1,2)$ را این گونه تعریف نمائیم که 10٪ افزایش در p و 20٪ افزایش در q بار داریم و $(-1,0)$ یعنی فقط 10٪ کاهش در p بار داریم و برای مثالی دیگر $(2,-1)$ که در واقع طبق تعریف می شود 20٪ افزایش در مقدار p و 10٪ کاهش در مقدار q می باشد می توانیم به راحتی نقاط امن و ناامن را تعریف نمائیم و از svm برای پیشگویی استفاده نمائیم .

در این مقاله ابتدا مختصری در مورد نرم افزار psat و کلیات آن می پردازیم و سپس به چگونگی استفاده از psat برای انتخاب حالت مناسب بحث می کنیم .



شکل (5-2) : نرم افزار psat

این نرم افزار یک نرم افزار open source می باشد که به زبان matlab نوشته شده است . دکتر میلانو در سال 2001 میلادی نوشتن این نرم افزار را شروع و در سال 2002 میلادی اولین نسخه آن را ارائه داد . برای download این نرم افزار می توان به سایت اینترنتی زیر مراجعه کرده :

[http:// thunderbox.uwaterloo.ca / fmilano](http://thunderbox.uwaterloo.ca/fmilano)

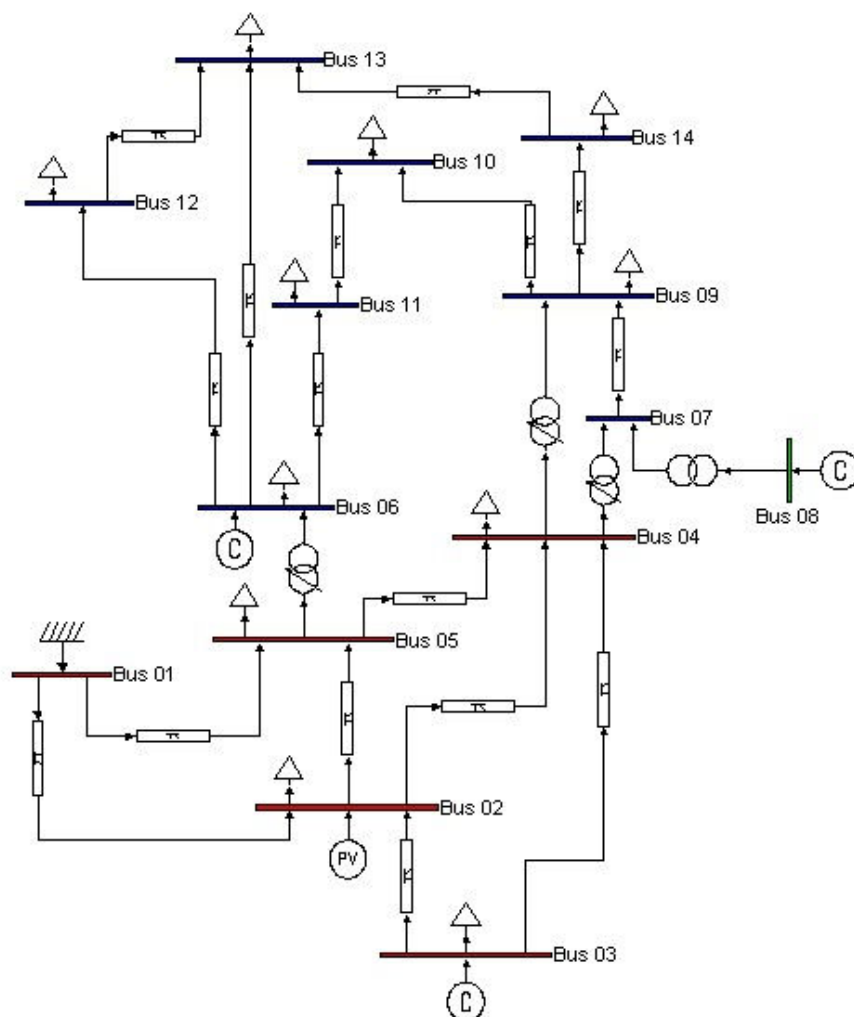
از خصوصیات بارز این نرم افزار که به همراه چند نرم افزار دیگر در جدول (5-1) آمده است، میتوان به موارد زیر اشاره کرد :

- 1- پخش بار (PF : POWER FLOW)
- 2- پخش بار پیوسته یا آنالیز پایداری ولتاژ (CPF / VS)
- 3- پخش بار بهینه (OPF)
- 4- آنالیز پایداری سیگنال کوچک (SSSA)
- 5- شبیه سازی در حوزه زمان (TDS)
- 6- زیبایی ظاهری و دارا بودن محیط گرافیکی (GUI)
- 7- معرفی شبکه ها به نرم افزار با آیکون های گرافیکی (CAD)

جدول (5-1) : خصوصیات چند نرم افزار

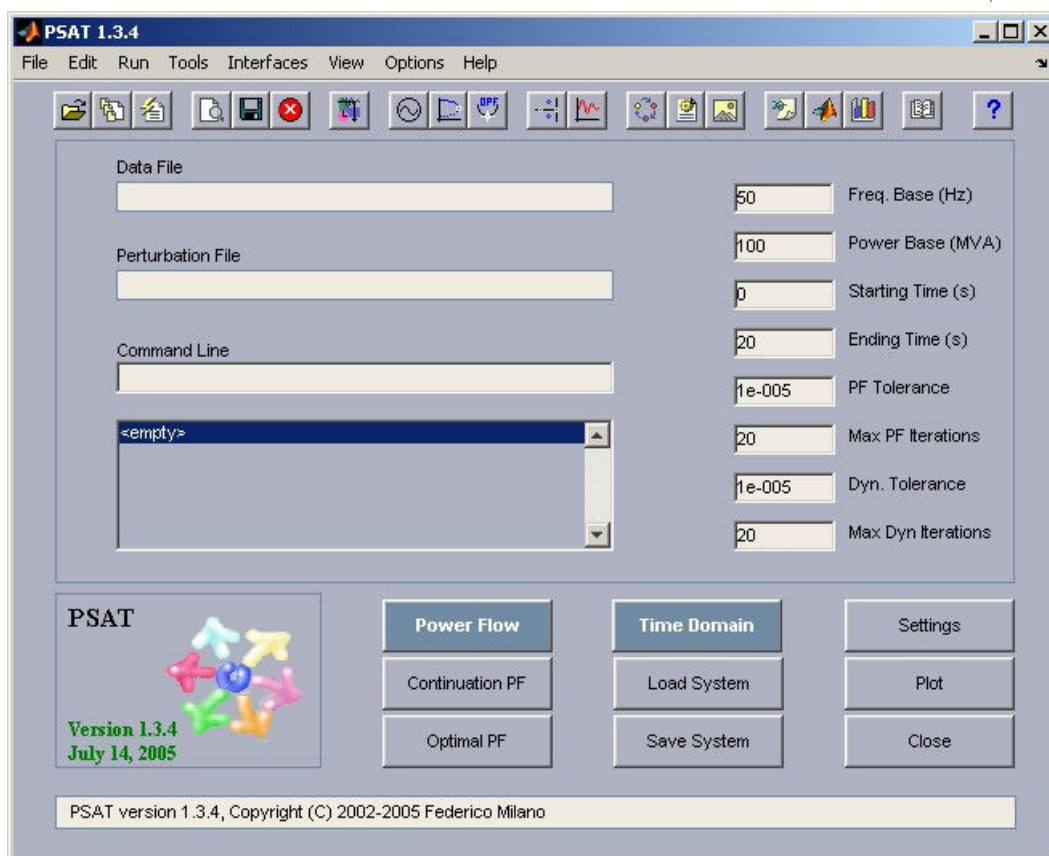
Package	PF	CPF	OPF	SSSA	TDS	EMT	GUI	CAD
EST	✓			✓	✓			✓
MatEMTP					✓	✓	✓	✓
Matpower	✓		✓					
PAT	✓			✓	✓			✓
PSAT	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
PST	✓	✓		✓	✓			
SPS	✓			✓	✓	✓	✓	✓
VST	✓	✓		✓	✓		✓	

در این نرم افزار شبکه های استاندارد IEEE موجود می باشد که از آن جمله می توان به شبکه 24 و 14 و 9 و 6 و 3 باس باره استاندارد اشاره کرد ، که نمای 14 باس باره را مشاهده می کنید :



شکل (5-3) : شبکه 14 باس باره استاندارد

اگر این نرم افزار را در محیط matlab اجرا نمائید شکل (4-5) به روی شما باز می شود .



شکل (4-5) : نمای psat

از خصوصیات بارز این نرم افزار آن است که امکان گرفتن یک گزارش در قالب فایل متنی (.txt) را به کاربر می دهد و این خصوصیت این امکان را به کاربر می دهد که نتایج مختلف را به سادگی با یکدیگر مقایسه نماید در این مقاله به دلیل زیادی مطالب در مورد چگونگی کار با این نرم افزار سخنی به میان نمی آید . و فقط به نتایج نهائی بدست آمده اکتفا می کنیم . در مورد حالت شبیه سازی که برای طراحی شبکه مورد نظر به کمک ما می آید psat تدابیری اندیشیده است و ابزار وامکاناتی را در اختیار ما می گذارد که به کمک آنها می توانیم مدل شبکه را به صورت گرافیکی طراحی نمائیم .

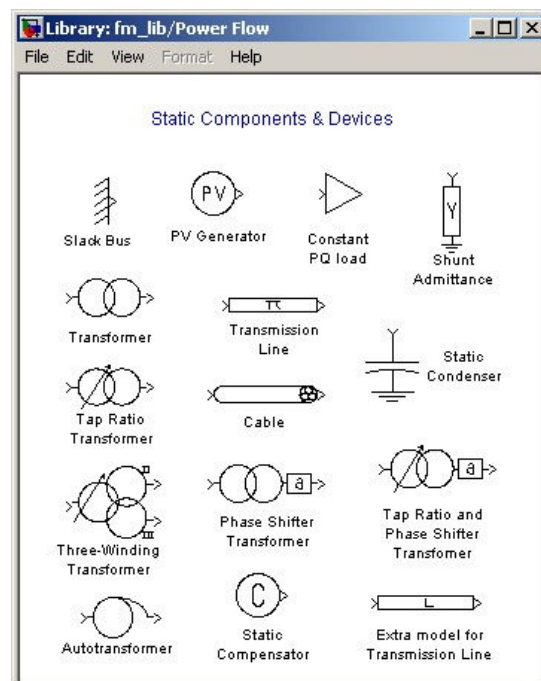
برای ورود به محیط شبیه سازی به روی آیکون  کلیک کرده ، با انجام این کار پنجره صفحه بعد به روی ما باز می شود :



شکل (5-5): محیط شبیه سازی

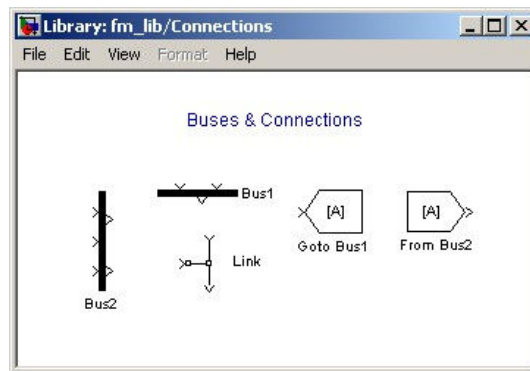
با کلیک کردن به روی هر یک از آیکون ها ادوات مورد نیاز در طراحی شبکه در اختیار ما قرار می گیرد که از جمله می توان به موارد زیر اشاره کرد :

- عناصر اصلی شبکه شامل ترانسفورماتورهای دو و سه سیم پیچه با قابلیت تنظیم tap، انواع خطوط انتقال ، جبران سازهای استاتیک و...



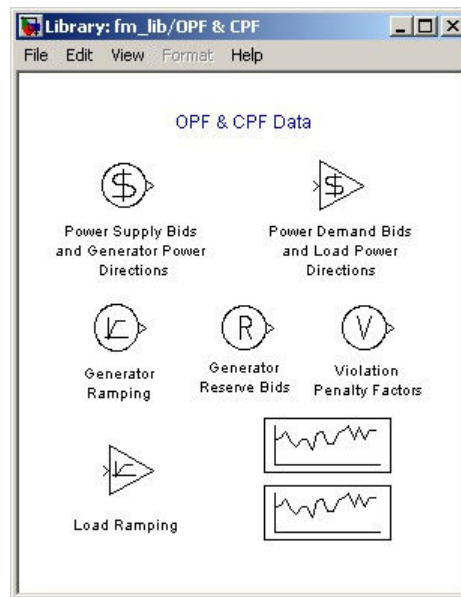
شکل (5-6): عناصر اصلی شبکه شامل ترانسفورماتورها، انواع خطوط و...

-انواع باس بارها و اتصالات



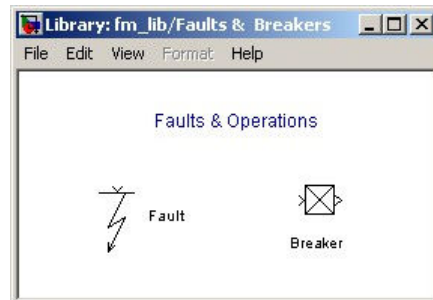
شکل (5-7) : زیر مجموعه باس بارها و اتصالات

- مجموعه ای برای محاسبات OPF و CPF



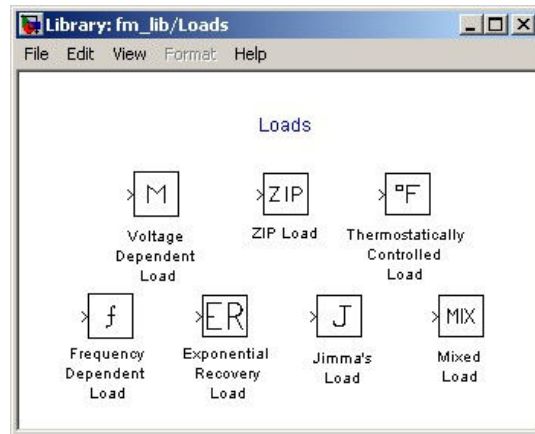
شکل (5-8) : عناصر OPF و CPF

- انواع خطاها و مدار شکن ها



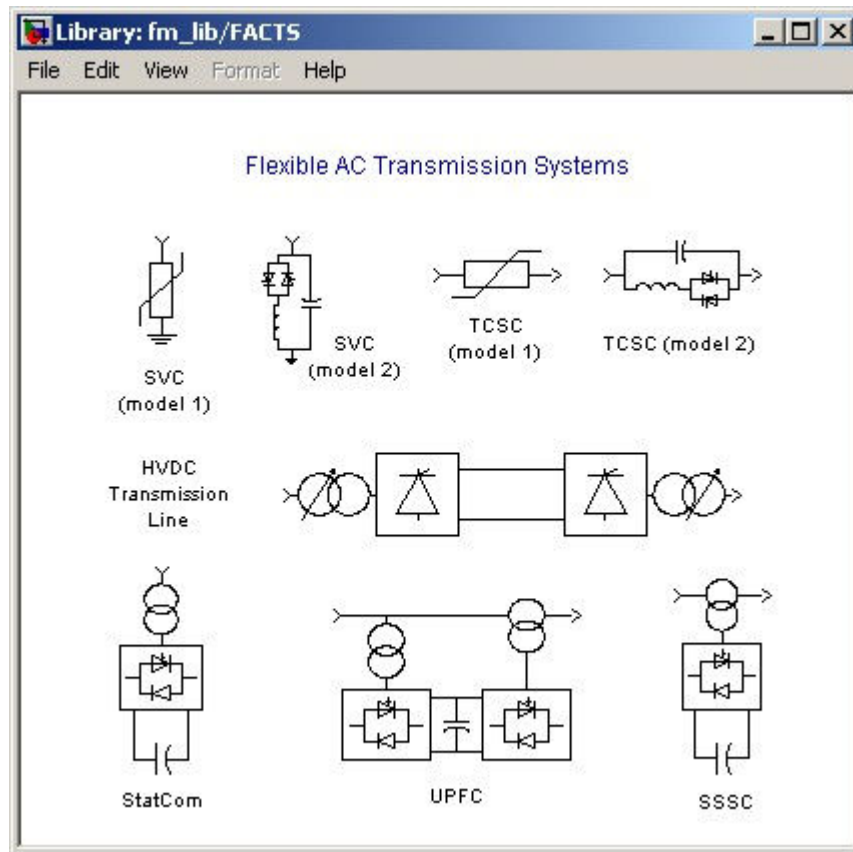
شکل (5-9) : مدل خطاها و مدار شکن ها

- انواع مختلف بار



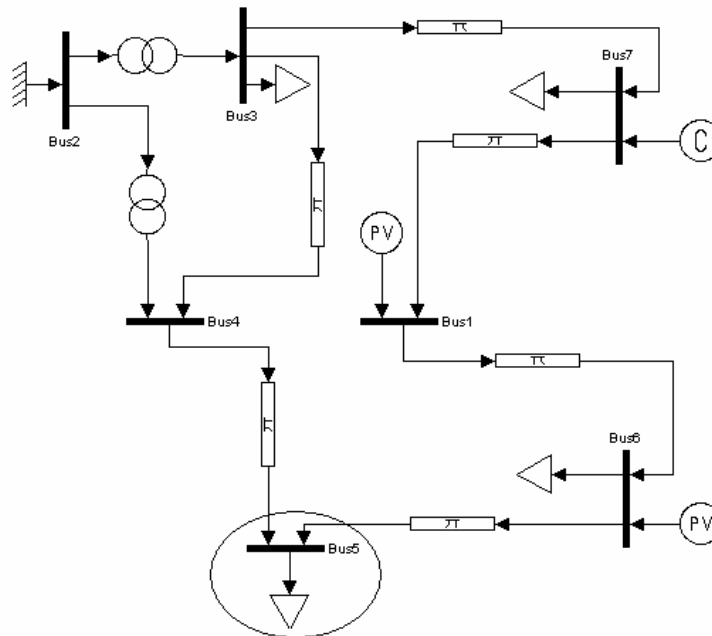
شكل (5-10) : انواع مختلف بار

- عناصر FACTS



شكل (5-11) : عناصر FACTS

برای بدست آوردن حالت ابتدا یک شبکه 7 باس باره را به شکل زیر طراحی می نمائیم .



شکل (5-12) : شبکه 7 باس باره

در این شبکه فرض را بر آن می گذاریم که بار باس 5 آنقدر متغیر است که درکل شبکه نقش اساسی ایفا می کند . بنابراین ما بقی بارها را ثابت فرض کرده و بار باس 5 را بر حسب در صدهای ذکر شده تغییر می دهیم . که البته می توان این موضوع را به کل شبکه تعمیم داد و توان اکتیو و راکتیو کل شبکه را تغییر دهیم اما چون حجم محاسبات زیاد می شود از انجام آن پرهیز می کنیم ، پس ابتدا در حالت کار عادی مقدار 1.3 p.u. را برای توان اکتیو و 0.9 p.u. را برای توان راکتیو بار باس 5 در نظر می گیریم و یک گزارش از این شبکه می گیریم . که مشاهده می نمائید :

POWER FLOW RESULTS

Bus	V [p.u.]	phase [rad]	P gen [p.u.]	Q gen [p.u.]	P load [p.u.]	Q load [p.u.]
Bus1	1	-0.20877	0.8	-0.76374	0	0
Bus2	1	0	2.1396	-0.25956	0	0
Bus3	1.0354	-0.21419	0	0	0.8	0.1
Bus4	1.0403	-0.20369	0	0	0	0
Bus5	1.0015	-0.28843	0	0	1.3	0.9
Bus6	1	-0.24863	0.8	-0.59923	0.8	0.1
Bus7	1	-0.24957	0	-0.85919	0.8	0.1

شکل (5-13) : گزارش پخش بار در حالت کار عادی شبکه 7 باس باره

اساس روش ما این است که ولتاژ باس ها را مشاهده کرده و حالت امن نا امن را از روی آن ها بدست می آوریم . و طبق استاندارد فرض می کنیم که ولتاژ باسها بین محدوده $0.95 < V < 1.05$ باشد . (مقادیر داده شده بر حسب پریونیت می باشد) .

حال اگر ولتاژ باسی بیشتر از 1.05 p.u یا کمتر از 0.95 p.u باشد شبکه را نا امن معرفی میکنیم
و عدد 1- را برای آن انتخاب می کنیم در غیر این صورت شبکه را امن معرفی کرده و عدد 1 را برای
آن انتخاب می نمائیم . در شکل های زیر دو نمونه از حالت های نا امن این شبکه نشان داده شده است
:

POWER FLOW RESULTS

Bus	V [p.u.]	phase [rad]	P gen [p.u.]	Q gen [p.u.]	P load [p.u.]	Q load [p.u.]
Bus1	1	-0.31516	0.8	-0.76074	0	0
Bus2	1	0	2.8267	0.1689	0	0
Bus3	1.0163	-0.28262	0	0	0.8	0.1
Bus4	1.0019	-0.28347	0	0	0	0
Bus5	0.94109	-0.42752	0	0	1.95	1.44
Bus6	1	-0.37283	0.8	0.01977	0.8	0.1
Bus7	1	-0.33812	0	-0.66514	0.8	0.1

(الف)

POWER FLOW RESULTS

Bus	V [p.u.]	phase [rad]	P gen [p.u.]	Q gen [p.u.]	P load [p.u.]	Q load [p.u.]
Bus1	1	-0.22239	0.8	-0.7637	0	0
Bus2	1	0	2.2763	-0.35702	0	0
Bus3	1.0421	-0.22373	0	0	0.8	0.1
Bus4	1.0573	-0.21698	0	0	0	0
Bus5	1.038	-0.3091	0	0	1.43	0.36
Bus6	1	-0.26478	0.8	-0.96103	0.8	0.1
Bus7	1	-0.26066	0	-0.9266	0.8	0.1

(ب)

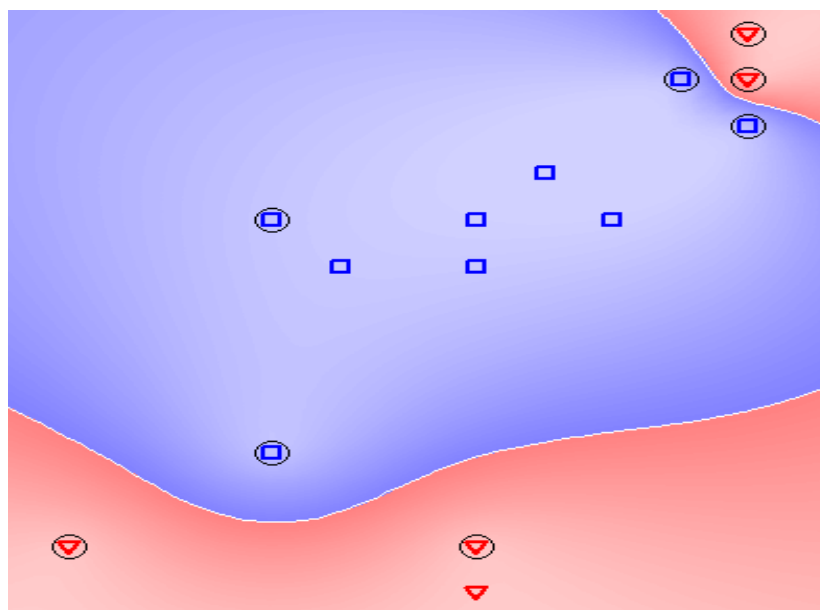
شکل (5-14) : حالات نا امن شبکه

در پایان نقاط اطلاعاتی بدست می آید که در شکل زیر آمده است :

2	3	1
4	5	1
5	4	1
5	5	-1
1	2	1
5	6	-1
-2	2	1
-2	-3	1
-1	1	1
1	-5	-1
1	-6	-1
1	1	1
3	2	1
-5	-5	-1

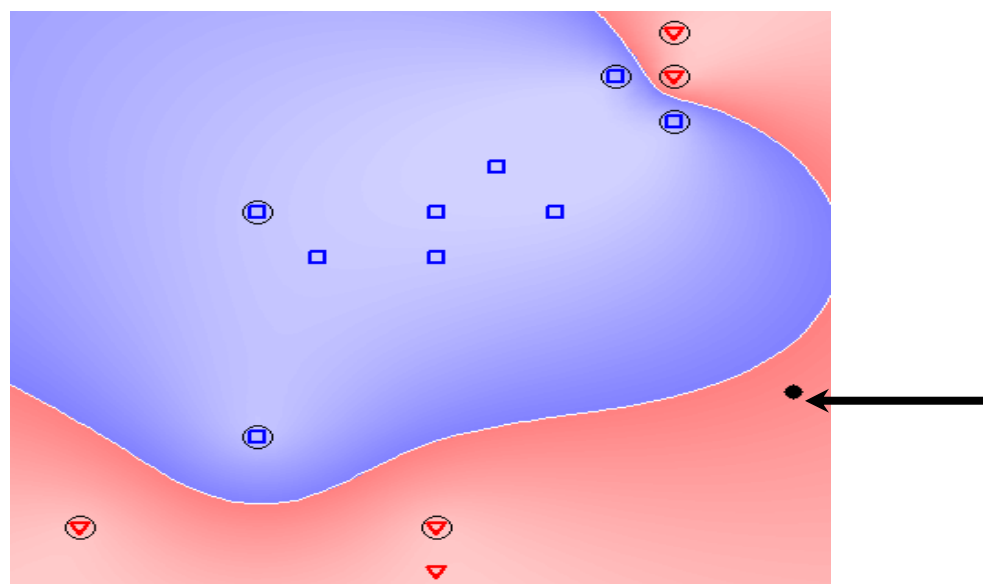
شکل (5-15) : نقاط اطلاعات برای شبکه 7 باس باره

نقاط فوق در file1 نرم افزار svm ذخیره شده اند . این نقاط را فراخوانی کرده و توسط تابع کرنل erbf جداسازی می کنیم که حاصل این عمل در شکل (5-16) آمده است .



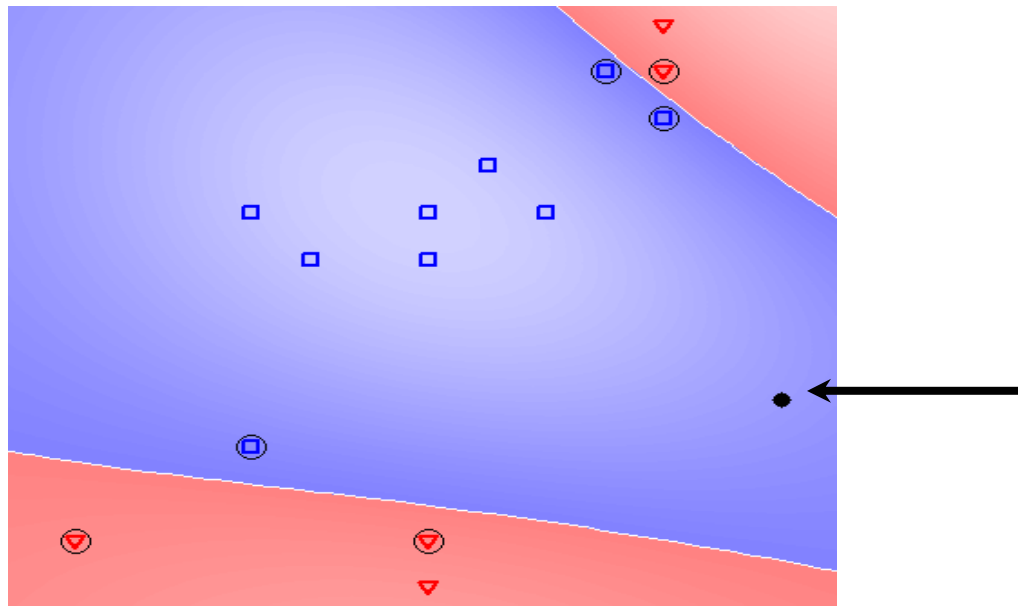
شکل (5-16) : محدوده امن و ناامن شبکه 7 باس باره

به عنوان مثال می‌خواهیم در مورد نقطه (2- 7) پیش گوئی کنیم کرنل erbf این نقطه را نا امن معرفی می کند که در شکل (5-17) مشاهده می کنید .



شکل (5-17) : پیش گوئی در مورد یک نقطه $c = \inf$, erbf

ولی اگر از کرنل rbf استفاده نماییم این نقطه را امن معرفی می کند که در شکل (5-18) ملاحظه می کنید .



شکل (5-18): پیش گوئی در مورد یک نقطه $rbf, c = inf$

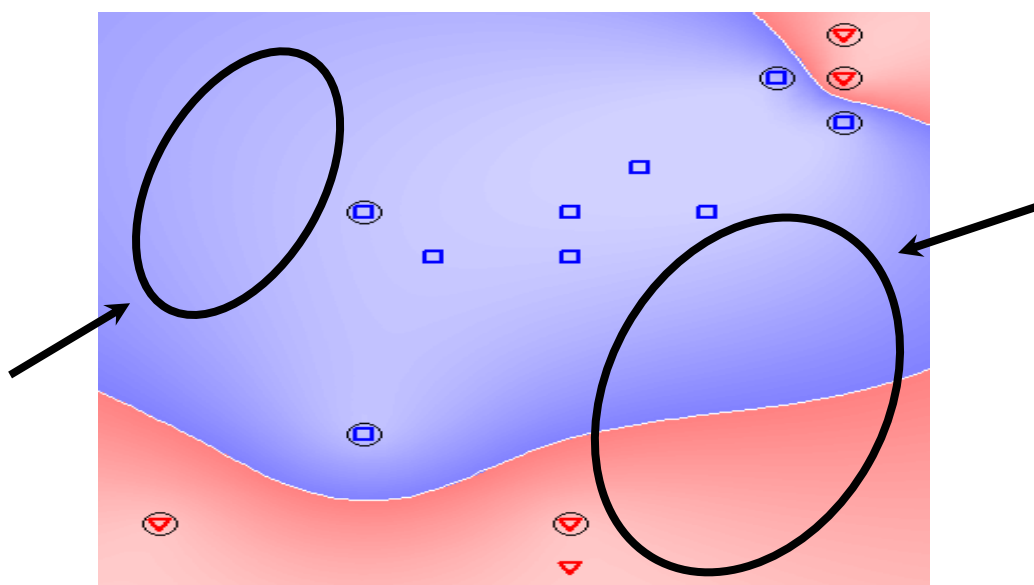
زمانی که ما با استفاده از نرم افزار $psat$ این نقطه را قرار داده و پخش بار می زنیم مشاهده می شود که این نقطه از نقاط امن شبکه قلمداد می شود. (شکل (5-19)).

POWER FLOW RESULTS

Bus	V [p.u.]	phase [rad]	P gen [p.u.]	Q gen [p.u.]	P load [p.u.]	Q load [p.u.]
Bus1	1	-0.34393	0.8	-0.75881	0	0
Bus2	1	0	3.0961	0.08469	0	0
Bus3	1.0242	-0.30292	0	0	0.8	0.1
Bus4	1.0235	-0.31063	0	0	0	0
Bus5	0.99173	-0.46831	0	0	2.21	0.72
Bus6	1	-0.40647	0.8	-0.47879	0.8	0.1
Bus7	1	-0.36201	0	-0.74233	0.8	0.1

شکل (5-19): امن بودن نقطه (2-7)

در این حالت تکلیف چیست؟ آیا می توان SVM را متهم صد در صد در ارزیابی دانست؟ از آن جایی که در روش SVM ورودی های ما را یک سری نقاط اطلاعات محدود، که ناشی از مشاهدات ما از حالات امن و نا امن یک سیستم است، تشکیل می دهند، بنا براین میزان خطای موجود نیز بستگی به تعداد کل ورودی ها دارد (منشا اصلی خطا) پس می توان چنین استنباط کرد که هر چه تعداد ورودی های ما بیشتر و تعداد نقاطی که در اطراف مرز جدا کننده بین محدوده امن و نا امن (SV)ها بیشتر باشد پیش گوئی ما نیز از حالات آتی سیستم با خطای کمتری انجام می شود. همان طور که از شکل ها پیداست در صفحه مقدار زیادی فضای خالی از نقطه یافت می شود که همین امر میزان خطای کل را افزایش می دهد.



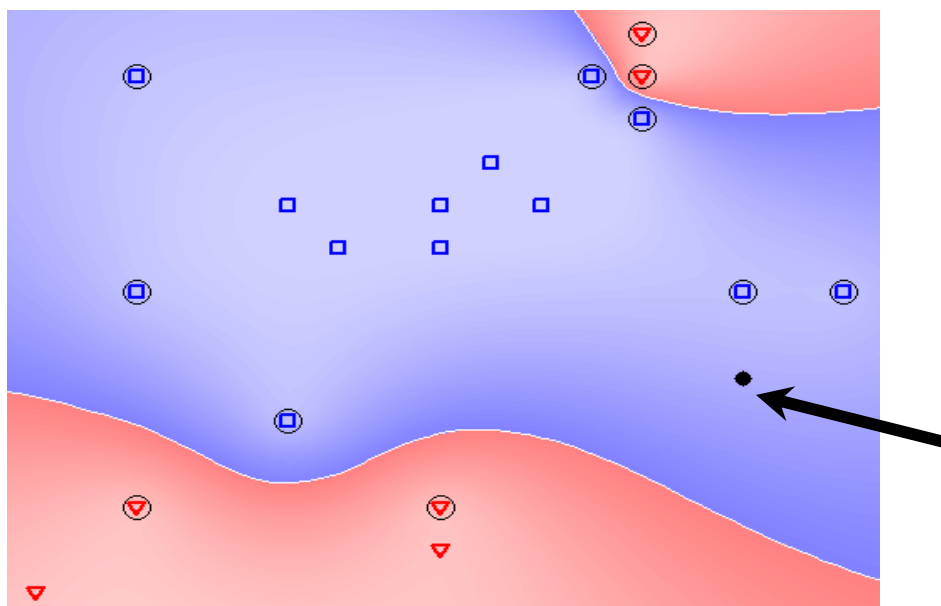
شکل (5-20) : عوامل موثر در خطا

حال اگر تعداد نقاط را بیشتر نمائیم به گونه ای که در فضاهای خالی نیز نقطه وجود داشته باشد نقاطی مطابق زیر داریم که در file5 ذخیره شده اند :

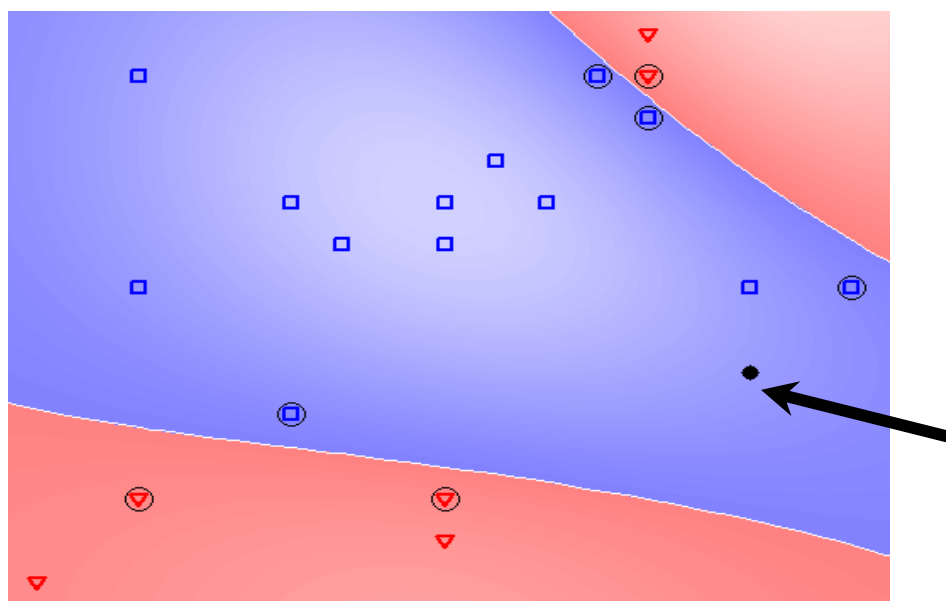
2	3	1
4	5	1
5	4	1
5	5	-1
1	2	1
5	6	-1
-2	2	1
-2	-3	1
-1	1	1
1	-5	-1
1	-6	-1
1	1	1
3	2	1
-5	-5	-1
7	0	1
-5	5	1
-5	0	1
9	0	1
-7	-7	-1

شکل (5-21) : نقاط جدید برای شبکه 7 باس باره

هم اکنون پیش گوئی در مورد نقطه (7 -2) را دوباره با دو کرنل erbf و rbf انجام می دهیم :



شکل (5-22): پیش گوئی توسط $c = \inf$, erbf



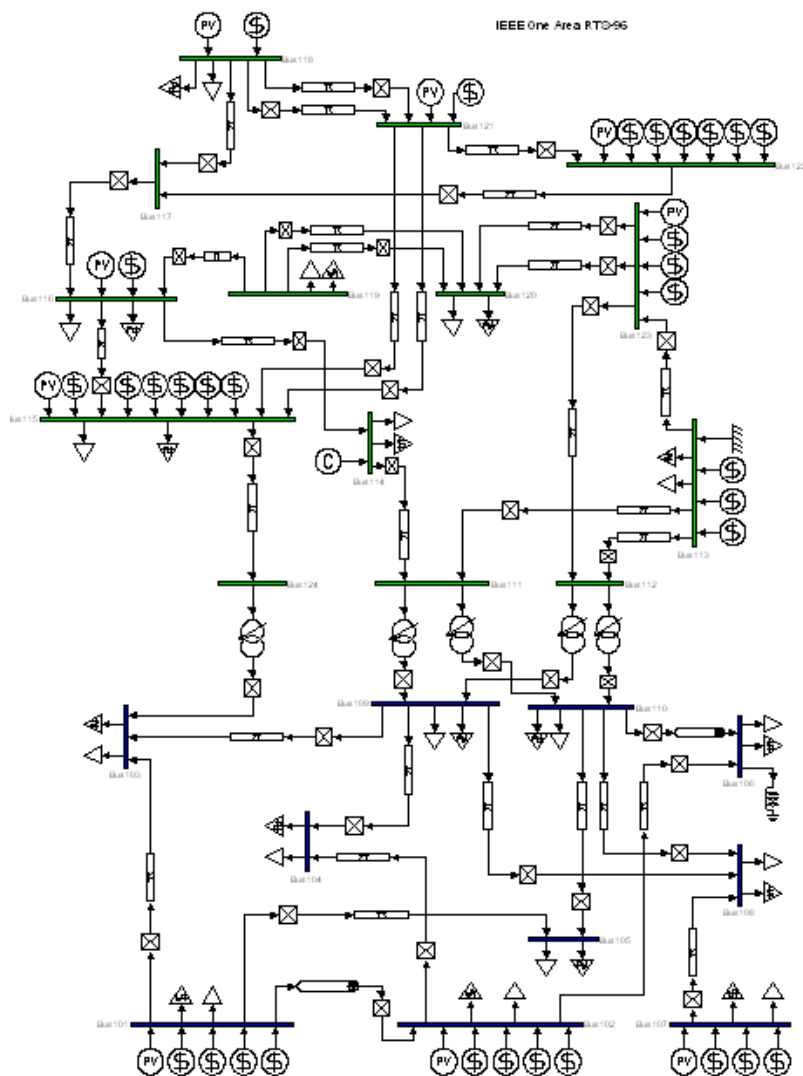
شکل (5-23): پیش گوئی توسط $c = \inf$, rbf

مشاهده می شود هر دو پیش گوئی نقطه مورد نظر را امن معرفی می کنند . که البته هنوز هم می توان با افزایش تعداد SVها پیش بینی های بهتر و دقیق تری از حالات آتی سیستم داشت .

5-4 روش دیگر بدست آوردن حالت توسط PSAT (روش دوم) :

تا کنون حالاتی را که می خواستیم توسط PSAT بدست بیاوریم بر این اساس بود که با افزایش یا کاهش بار عملکرد سیستم را مشاهده و امن و ناامن بودن سیستم را پیدا می کردیم ، در این بخش می خواهیم روشی را پیشنهاد کنیم که بر این اساس نیست .

اساس روش پیشنهادی به این صورت است که ما حالت ماندگار یک سیستم را پس از اتفاق افتادن یک خطا و به موجب آن قطع یک خط (روش دوم) بررسی می نمائیم . در این روش ما شبکه 24 باس باره استاندارد IEEE ، که در PSAT موجود می باشد را برای کار انتخاب می کنیم .



شکل (24-5) : شبکه 24 باس باره استاندارد

در حالت کار عادی به روی شبکه پخش بار می زنیم :

<i>From Bus</i>	<i>To Bus</i>	<i>Line</i>	<i>P Flow</i> <i>[p.u.]</i>	<i>Q Flow</i> <i>[p.u.]</i>
<i>Bus101</i>	<i>Bus102</i>	<i>1</i>	<i>0.12215</i>	<i>-0.26971</i>
<i>Bus101</i>	<i>Bus103</i>	<i>2</i>	<i>-0.12685</i>	<i>0.29338</i>
<i>Bus101</i>	<i>Bus105</i>	<i>3</i>	<i>0.5367</i>	<i>0.14993</i>
<i>Bus102</i>	<i>Bus104</i>	<i>4</i>	<i>0.32408</i>	<i>0.25719</i>
<i>Bus102</i>	<i>Bus106</i>	<i>5</i>	<i>0.45102</i>	<i>0.0621</i>
<i>Bus109</i>	<i>Bus103</i>	<i>6</i>	<i>-0.12834</i>	<i>0.16404</i>
<i>Bus124</i>	<i>Bus103</i>	<i>7</i>	<i>2.255</i>	<i>0.33384</i>
<i>Bus109</i>	<i>Bus104</i>	<i>8</i>	<i>0.50254</i>	<i>-0.1063</i>
<i>Bus110</i>	<i>Bus105</i>	<i>9</i>	<i>0.2521</i>	<i>-0.01425</i>
<i>Bus110</i>	<i>Bus106</i>	<i>10</i>	<i>1.0703</i>	<i>-1.2026</i>
<i>Bus107</i>	<i>Bus108</i>	<i>11</i>	<i>1.025</i>	<i>0.41787</i>
<i>Bus109</i>	<i>Bus108</i>	<i>12</i>	<i>0.54146</i>	<i>-0.08294</i>
<i>Bus110</i>	<i>Bus108</i>	<i>13</i>	<i>0.35165</i>	<i>0.08814</i>
<i>Bus111</i>	<i>Bus109</i>	<i>14</i>	<i>1.2386</i>	<i>0.28738</i>
<i>Bus112</i>	<i>Bus109</i>	<i>15</i>	<i>1.6118</i>	<i>0.43794</i>
<i>Bus111</i>	<i>Bus110</i>	<i>16</i>	<i>1.7286</i>	<i>-0.11495</i>
<i>Bus112</i>	<i>Bus110</i>	<i>17</i>	<i>2.1074</i>	<i>0.04349</i>
<i>Bus113</i>	<i>Bus111</i>	<i>18</i>	<i>2.0972</i>	<i>0.51438</i>
<i>Bus114</i>	<i>Bus111</i>	<i>19</i>	<i>0.90206</i>	<i>-0.27202</i>
<i>Bus113</i>	<i>Bus112</i>	<i>20</i>	<i>1.4703</i>	<i>0.34692</i>
<i>Bus123</i>	<i>Bus112</i>	<i>21</i>	<i>2.3263</i>	<i>0.42739</i>
<i>Bus113</i>	<i>Bus123</i>	<i>22</i>	<i>-1.7651</i>	<i>-0.09538</i>
<i>Bus116</i>	<i>Bus114</i>	<i>23</i>	<i>3.0841</i>	<i>0.60804</i>
<i>Bus116</i>	<i>Bus115</i>	<i>24</i>	<i>-0.62624</i>	<i>0.24082</i>
<i>Bus121</i>	<i>Bus115</i>	<i>25</i>	<i>2.1564</i>	<i>0.53719</i>
<i>Bus121</i>	<i>Bus115</i>	<i>26</i>	<i>2.1564</i>	<i>0.53719</i>
<i>Bus115</i>	<i>Bus124</i>	<i>27</i>	<i>2.2913</i>	<i>0.50671</i>
<i>Bus117</i>	<i>Bus116</i>	<i>28</i>	<i>2.9726</i>	<i>0.59196</i>
<i>Bus119</i>	<i>Bus116</i>	<i>29</i>	<i>-0.93625</i>	<i>0.33673</i>
<i>Bus118</i>	<i>Bus117</i>	<i>30</i>	<i>1.6013</i>	<i>0.63639</i>
<i>Bus122</i>	<i>Bus117</i>	<i>31</i>	<i>1.4003</i>	<i>-0.09227</i>
<i>Bus118</i>	<i>Bus121</i>	<i>32</i>	<i>-0.63213</i>	<i>0.05254</i>
<i>Bus118</i>	<i>Bus121</i>	<i>33</i>	<i>-0.63213</i>	<i>0.05254</i>
<i>Bus119</i>	<i>Bus120</i>	<i>34</i>	<i>-0.52738</i>	<i>-0.37187</i>
<i>Bus119</i>	<i>Bus120</i>	<i>35</i>	<i>-0.52738</i>	<i>-0.37187</i>
<i>Bus123</i>	<i>Bus120</i>	<i>36</i>	<i>1.2377</i>	<i>0.42553</i>
<i>Bus123</i>	<i>Bus120</i>	<i>37</i>	<i>1.2377</i>	<i>0.42553</i>
<i>Bus121</i>	<i>Bus122</i>	<i>38</i>	<i>-1.5794</i>	<i>0.20464</i>

شکل (25-5): توان عبوری از خطوط بر حسب P.U.

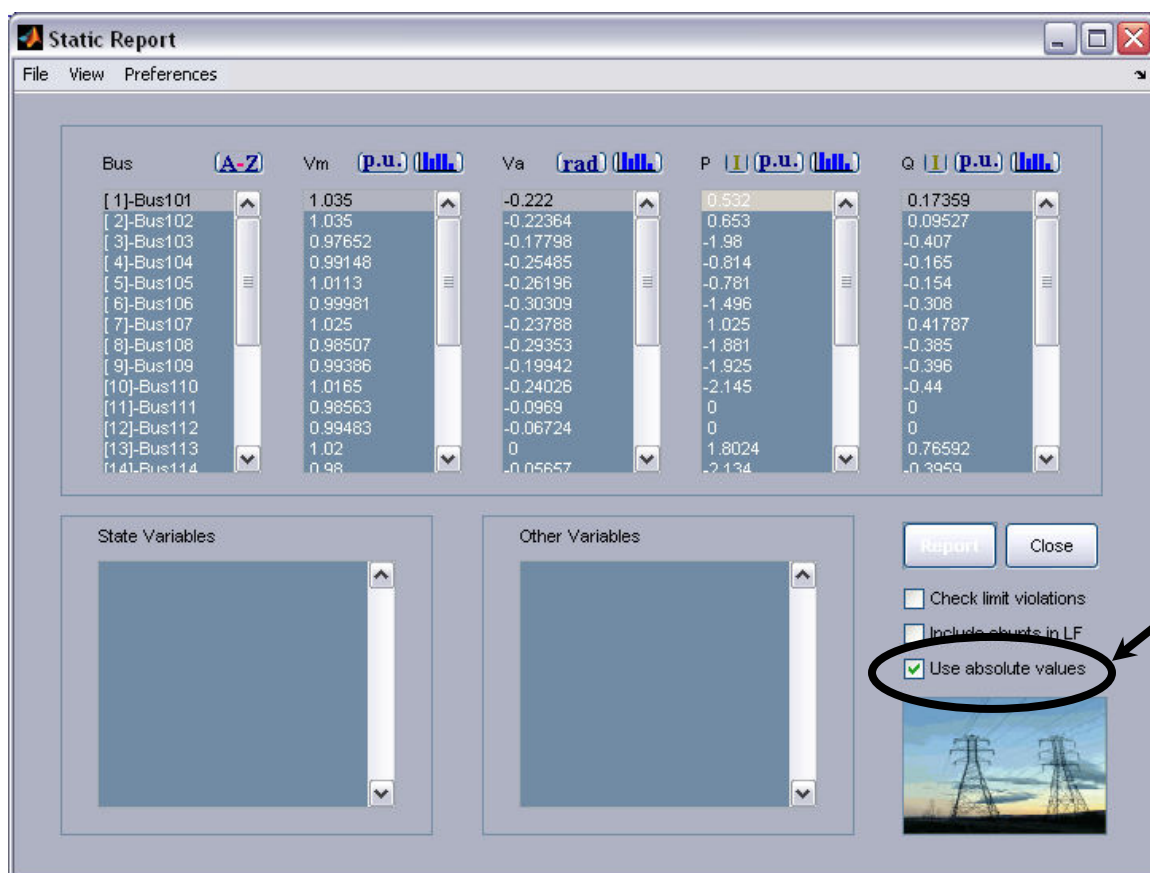
POWER FLOW RESULTS

<i>Bus</i>	<i>V</i> <i>[p.u.]</i>
<i>Bus101</i>	<i>1.035</i>
<i>Bus102</i>	<i>1.035</i>
<i>Bus103</i>	<i>0.97652</i>
<i>Bus104</i>	<i>0.99148</i>
<i>Bus105</i>	<i>1.0113</i>
<i>Bus106</i>	<i>0.99981</i>
<i>Bus107</i>	<i>1.025</i>
<i>Bus108</i>	<i>0.98507</i>
<i>Bus109</i>	<i>0.99386</i>
<i>Bus110</i>	<i>1.0165</i>
<i>Bus111</i>	<i>0.98563</i>
<i>Bus112</i>	<i>0.99483</i>
<i>Bus113</i>	<i>1.02</i>
<i>Bus114</i>	<i>0.98</i>
<i>Bus115</i>	<i>1.014</i>
<i>Bus116</i>	<i>1.017</i>
<i>Bus117</i>	<i>1.0385</i>
<i>Bus118</i>	<i>1.05</i>
<i>Bus119</i>	<i>1.0222</i>
<i>Bus120</i>	<i>1.0377</i>
<i>Bus121</i>	<i>1.05</i>
<i>Bus122</i>	<i>1.05</i>
<i>Bus123</i>	<i>1.05</i>
<i>Bus124</i>	<i>0.97668</i>

شکل (5-26) : ولتاژ باس ها بر حسب P.U.

همان طور که مشاهده می شود تمامی ولتاژ باس ها در محدوده مجاز و امن $0.95 < V < 1.05$ می باشد .

شباهتی که بین این روش و روش اول وجود دارد آن است که نقطه دو بعدی که بدست می آوریم همان $(P \quad Q)$ ، که P توان اکتیو و Q توان راکتیو می باشند. حال برای بدست آوردن P و Q به گزارشی از پخش بار شبکه بر حسب MW میگیریم که برای این کار باید گزینه مربوطه را قبل از گرفتن گزارش علامت گذاری نمائید .



شکل (5-27) : نحوه گرفتن گزارش بر حسب MW
 اگر این قسمت را علامت گذاری نکنید گزارشی از پخش بار بر حسب P.U. به شما می دهد.

<i>From Bus</i>	<i>To Bus</i>	<i>Line</i>	<i>P Flow [MW]</i>	<i>Q Flow [MVar]</i>
<i>Bus101</i>	<i>Bus102</i>	<i>1</i>	<i>12.2145</i>	<i>-26.9715</i>
<i>Bus101</i>	<i>Bus103</i>	<i>2</i>	<i>-12.6849</i>	<i>29.3376</i>
<i>Bus101</i>	<i>Bus105</i>	<i>3</i>	<i>53.6704</i>	<i>14.9931</i>
<i>Bus102</i>	<i>Bus104</i>	<i>4</i>	<i>32.4084</i>	<i>25.7195</i>
<i>Bus102</i>	<i>Bus106</i>	<i>5</i>	<i>45.1024</i>	<i>6.2101</i>
<i>Bus109</i>	<i>Bus103</i>	<i>6</i>	<i>-12.8337</i>	<i>16.4039</i>
<i>Bus124</i>	<i>Bus103</i>	<i>7</i>	<i>225.5043</i>	<i>33.3837</i>
<i>Bus109</i>	<i>Bus104</i>	<i>8</i>	<i>50.2541</i>	<i>-10.6301</i>
<i>Bus110</i>	<i>Bus105</i>	<i>9</i>	<i>25.2096</i>	<i>-1.4246</i>
<i>Bus110</i>	<i>Bus106</i>	<i>10</i>	<i>107.026</i>	<i>-120.2547</i>
<i>Bus107</i>	<i>Bus108</i>	<i>11</i>	<i>102.5</i>	<i>41.7872</i>
<i>Bus109</i>	<i>Bus108</i>	<i>12</i>	<i>54.1456</i>	<i>-8.2943</i>
<i>Bus110</i>	<i>Bus108</i>	<i>13</i>	<i>35.1654</i>	<i>8.8143</i>
<i>Bus111</i>	<i>Bus109</i>	<i>14</i>	<i>123.8625</i>	<i>28.7382</i>
<i>Bus112</i>	<i>Bus109</i>	<i>15</i>	<i>161.1753</i>	<i>43.7938</i>
<i>Bus111</i>	<i>Bus110</i>	<i>16</i>	<i>172.8563</i>	<i>-11.4954</i>
<i>Bus112</i>	<i>Bus110</i>	<i>17</i>	<i>210.7366</i>	<i>4.3486</i>
<i>Bus113</i>	<i>Bus111</i>	<i>18</i>	<i>209.7216</i>	<i>51.4384</i>
<i>Bus114</i>	<i>Bus111</i>	<i>19</i>	<i>90.2059</i>	<i>-27.2019</i>
<i>Bus113</i>	<i>Bus112</i>	<i>20</i>	<i>147.0309</i>	<i>34.6918</i>
<i>Bus123</i>	<i>Bus112</i>	<i>21</i>	<i>232.6335</i>	<i>42.7388</i>
<i>Bus113</i>	<i>Bus123</i>	<i>22</i>	<i>-176.5092</i>	<i>-9.5381</i>
<i>Bus116</i>	<i>Bus114</i>	<i>23</i>	<i>308.4085</i>	<i>60.8043</i>
<i>Bus116</i>	<i>Bus115</i>	<i>24</i>	<i>-62.6241</i>	<i>24.0818</i>
<i>Bus121</i>	<i>Bus115</i>	<i>25</i>	<i>215.6355</i>	<i>53.7188</i>
<i>Bus121</i>	<i>Bus115</i>	<i>26</i>	<i>215.6355</i>	<i>53.7188</i>
<i>Bus115</i>	<i>Bus124</i>	<i>27</i>	<i>229.1318</i>	<i>50.6712</i>
<i>Bus117</i>	<i>Bus116</i>	<i>28</i>	<i>297.2637</i>	<i>59.1964</i>
<i>Bus119</i>	<i>Bus116</i>	<i>29</i>	<i>-93.6246</i>	<i>33.6732</i>
<i>Bus118</i>	<i>Bus117</i>	<i>30</i>	<i>160.1255</i>	<i>63.6393</i>
<i>Bus122</i>	<i>Bus117</i>	<i>31</i>	<i>140.0285</i>	<i>-9.2269</i>
<i>Bus118</i>	<i>Bus121</i>	<i>32</i>	<i>-63.2128</i>	<i>5.2537</i>
<i>Bus118</i>	<i>Bus121</i>	<i>33</i>	<i>-63.2128</i>	<i>5.2537</i>
<i>Bus119</i>	<i>Bus120</i>	<i>34</i>	<i>-52.7377</i>	<i>-37.1866</i>
<i>Bus119</i>	<i>Bus120</i>	<i>35</i>	<i>-52.7377</i>	<i>-37.1866</i>
<i>Bus123</i>	<i>Bus120</i>	<i>36</i>	<i>123.7667</i>	<i>42.5532</i>
<i>Bus123</i>	<i>Bus120</i>	<i>37</i>	<i>123.7667</i>	<i>42.5532</i>
<i>Bus121</i>	<i>Bus122</i>	<i>38</i>	<i>-157.9398</i>	<i>20.4638</i>

شکل (28-5): توان عبوری از خطوط بر حسب MW

همان طور که مشاهده می کنید تعداد خطوط موجود در شبکه 38 عدد می باشد . که ما 10 خط این شبکه را یکی یکی قطع کرده ، که در واقع با این کار 10 نقطه بدست می آید . نحوه گزینش خط مورد نظر کاملاً تصادفی بوده و 10 خط را به صورت تصادفی انتخاب می کنیم . به عنوان مثال خط 1 که حد فاصل بین BUS101 و BUS102 می باشد را انتخاب می کنیم . چنین تعریف می کنیم که با قطع خط 1 که توان های $P=12.2145$ P.U. و $Q=26.9715$ P.U. در حال عبور از آن می باشد (جهت حرکت توان اهمیتی ندارد و فقط مقدار دارای اهمیت است) . آیا ولتاژ باس ها در محدوده امن

$0.95 < V < 1.05$ قرار دارند و آیا خطی یا خطوطی به اضافه بار رفته اند یا نه ؟ که اگر ولتاژها و توان عبوری از خطوط در حد مجاز بودند نقطه (12.2145 26.9715) را امن (1) تعریف کرده و در غیر این صورت نا امن (1-) معرفی می کنیم . برای دانستن آن که خطی به OVER LOAD رفته است یا نه ؟ ما ظرفیت خطوط را این گونه تعریف می کنیم که در حالت کار عادی هیچ خطی به اضافه بار نرفته است ولی اگر توان P عبوری از خطوط پس از قطع یک خط بیش از 1P.U. افزایش داشت می گوئیم آن خط به اضافه بار رفته ، پس ملاک ما برای تشخیص این که بدانیم کدام خط به اضافه بار رفته گزارش پخش بار در حالت کار عادی بر حسب P.U. می باشد . در شکل گزارش پخش بار روی شبکه پس از قطع خط 1 را می بینید .

POWER FLOW RESULTS

<i>Bus</i>	<i>V</i> <i>[p.u.]</i>	<i>phase</i> <i>[rad]</i>
<i>Bus101</i>	<i>1.035</i>	<i>-0.2085</i>
<i>Bus102</i>	<i>1.035</i>	<i>-0.2394</i>
<i>Bus103</i>	<i>0.97664</i>	<i>-0.17493</i>
<i>Bus104</i>	<i>0.9913</i>	<i>-0.26274</i>
<i>Bus105</i>	<i>1.0111</i>	<i>-0.25489</i>
<i>Bus106</i>	<i>0.99977</i>	<i>-0.30671</i>
<i>Bus107</i>	<i>1.025</i>	<i>-0.23838</i>
<i>Bus108</i>	<i>0.98501</i>	<i>-0.29401</i>
<i>Bus109</i>	<i>0.99376</i>	<i>-0.20057</i>
<i>Bus110</i>	<i>1.0163</i>	<i>-0.24002</i>
<i>Bus111</i>	<i>0.98555</i>	<i>-0.09697</i>
<i>Bus112</i>	<i>0.99471</i>	<i>-0.06737</i>
<i>Bus113</i>	<i>1.02</i>	<i>0</i>
<i>Bus114</i>	<i>0.98</i>	<i>-0.05633</i>
<i>Bus115</i>	<i>1.014</i>	<i>0.13534</i>
<i>Bus116</i>	<i>1.017</i>	<i>0.12408</i>
<i>Bus117</i>	<i>1.0385</i>	<i>0.19534</i>
<i>Bus118</i>	<i>1.05</i>	<i>0.21544</i>
<i>Bus119</i>	<i>1.0222</i>	<i>0.10205</i>
<i>Bus120</i>	<i>1.0377</i>	<i>0.12002</i>
<i>Bus121</i>	<i>1.05</i>	<i>0.23115</i>
<i>Bus122</i>	<i>1.05</i>	<i>0.33065</i>
<i>Bus123</i>	<i>1.05</i>	<i>0.14332</i>
<i>Bus124</i>	<i>0.97693</i>	<i>0.01961</i>

شکل (29-5) : ولتاژ باسها پس از قطع خط 1

مشاهده می شود ولتاژ تمامی باس بارها در محدوده مجاز قرار دارند پس از نظر ولتاژ باس ها مشکلی نداریم ، حال به سراغ توان عبوری از خطوط می رویم .

<i>From Bus</i>	<i>To Bus</i>	<i>Line</i>	<i>P Flow [p.u.]</i>	<i>Q Flow [p.u.]</i>
<i>Bus101</i>	<i>Bus102</i>	<i>1</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
<i>Bus101</i>	<i>Bus103</i>	<i>2</i>	<i>-0.08061</i>	<i>0.27888</i>
<i>Bus101</i>	<i>Bus105</i>	<i>3</i>	<i>0.61261</i>	<i>0.136</i>
<i>Bus102</i>	<i>Bus104</i>	<i>4</i>	<i>0.26424</i>	<i>0.27238</i>
<i>Bus102</i>	<i>Bus106</i>	<i>5</i>	<i>0.38876</i>	<i>0.07364</i>
<i>Bus109</i>	<i>Bus103</i>	<i>6</i>	<i>-0.16068</i>	<i>0.17132</i>
<i>Bus124</i>	<i>Bus103</i>	<i>7</i>	<i>2.2404</i>	<i>0.33289</i>
<i>Bus109</i>	<i>Bus104</i>	<i>8</i>	<i>0.56339</i>	<i>-0.11757</i>
<i>Bus110</i>	<i>Bus105</i>	<i>9</i>	<i>0.17717</i>	<i>0.00351</i>
<i>Bus110</i>	<i>Bus106</i>	<i>10</i>	<i>1.132</i>	<i>-1.2147</i>
<i>Bus107</i>	<i>Bus108</i>	<i>11</i>	<i>1.025</i>	<i>0.41885</i>
<i>Bus109</i>	<i>Bus108</i>	<i>12</i>	<i>0.5375</i>	<i>-0.08256</i>
<i>Bus110</i>	<i>Bus108</i>	<i>13</i>	<i>0.35554</i>	<i>0.08652</i>
<i>Bus111</i>	<i>Bus109</i>	<i>14</i>	<i>1.2514</i>	<i>0.28856</i>
<i>Bus112</i>	<i>Bus109</i>	<i>15</i>	<i>1.6237</i>	<i>0.43904</i>
<i>Bus111</i>	<i>Bus110</i>	<i>16</i>	<i>1.7243</i>	<i>-0.11409</i>
<i>Bus112</i>	<i>Bus110</i>	<i>17</i>	<i>2.1022</i>	<i>0.04375</i>
<i>Bus113</i>	<i>Bus111</i>	<i>18</i>	<i>2.0987</i>	<i>0.51607</i>
<i>Bus114</i>	<i>Bus111</i>	<i>19</i>	<i>0.90922</i>	<i>-0.27074</i>
<i>Bus113</i>	<i>Bus112</i>	<i>20</i>	<i>1.4732</i>	<i>0.34911</i>
<i>Bus123</i>	<i>Bus112</i>	<i>21</i>	<i>2.3306</i>	<i>0.42895</i>
<i>Bus113</i>	<i>Bus123</i>	<i>22</i>	<i>-1.7684</i>	<i>-0.09446</i>
<i>Bus116</i>	<i>Bus114</i>	<i>23</i>	<i>3.0915</i>	<i>0.60875</i>
<i>Bus116</i>	<i>Bus115</i>	<i>24</i>	<i>-0.63842</i>	<i>0.24251</i>
<i>Bus121</i>	<i>Bus115</i>	<i>25</i>	<i>2.1549</i>	<i>0.53724</i>
<i>Bus121</i>	<i>Bus115</i>	<i>26</i>	<i>2.1549</i>	<i>0.53724</i>
<i>Bus115</i>	<i>Bus124</i>	<i>27</i>	<i>2.2762</i>	<i>0.50199</i>
<i>Bus117</i>	<i>Bus116</i>	<i>28</i>	<i>2.9756</i>	<i>0.59172</i>
<i>Bus119</i>	<i>Bus116</i>	<i>29</i>	<i>-0.9439</i>	<i>0.33794</i>
<i>Bus118</i>	<i>Bus117</i>	<i>30</i>	<i>1.6038</i>	<i>0.63633</i>
<i>Bus122</i>	<i>Bus117</i>	<i>31</i>	<i>1.4007</i>	<i>-0.09224</i>
<i>Bus118</i>	<i>Bus121</i>	<i>32</i>	<i>-0.63341</i>	<i>0.05271</i>
<i>Bus118</i>	<i>Bus121</i>	<i>33</i>	<i>-0.63341</i>	<i>0.05271</i>
<i>Bus119</i>	<i>Bus120</i>	<i>34</i>	<i>-0.52355</i>	<i>-0.37247</i>
<i>Bus119</i>	<i>Bus120</i>	<i>35</i>	<i>-0.52355</i>	<i>-0.37247</i>
<i>Bus123</i>	<i>Bus120</i>	<i>36</i>	<i>1.2338</i>	<i>0.42582</i>
<i>Bus123</i>	<i>Bus120</i>	<i>37</i>	<i>1.2338</i>	<i>0.42582</i>
<i>Bus121</i>	<i>Bus122</i>	<i>38</i>	<i>-1.579</i>	<i>0.20455</i>

شکل (30-5): توان عبوری از خطوط پس از قطع خط 1

با یک مقایسه ساده بین این گزارش و گزارش کار در حالت عادی به این نتیجه می‌رسیم که افزایش 1P.U. در هیچ یک از خطوط اتفاق نیا افتاده پس نقطه (26.9715 12.2145) یک نقطه امن می‌باشد.

اگر یکی یا هر دو حالت فوق (محدوده غیر مجاز ولتاژها و اضافه بار خطوط) اتفاق افتد ما شبکه را نا امن قلمداد می‌کنیم. حال خط 28 را قطع می‌نمائیم.

POWER FLOW RESULTS

<i>Bus</i>	<i>V</i> <i>[p.u.]</i>
<i>Bus101</i>	<i>1.035</i>
<i>Bus102</i>	<i>1.035</i>
<i>Bus103</i>	<i>0.975</i>
<i>Bus104</i>	<i>0.99123</i>
<i>Bus105</i>	<i>1.0113</i>
<i>Bus106</i>	<i>0.99989</i>
<i>Bus107</i>	<i>1.025</i>
<i>Bus108</i>	<i>0.98499</i>
<i>Bus109</i>	<i>0.99341</i>
<i>Bus110</i>	<i>1.0167</i>
<i>Bus111</i>	<i>0.98584</i>
<i>Bus112</i>	<i>0.9952</i>
<i>Bus113</i>	<i>1.02</i>
<i>Bus114</i>	<i>0.98</i>
<i>Bus115</i>	<i>1.014</i>
<i>Bus116</i>	<i>1.017</i>
 <i>Bus117</i>	<i>1.051</i>
<i>Bus118</i>	<i>1.03</i>
<i>Bus119</i>	<i>1.0222</i>
<i>Bus120</i>	<i>1.0377</i>
<i>Bus121</i>	<i>1.05</i>
<i>Bus122</i>	<i>1.05</i>
<i>Bus123</i>	<i>1.05</i>
<i>Bus124</i>	<i>0.97416</i>

شکل (5-31) : محدوده غیر مجاز ولتاژ باس در اثر قطع خط 28

همان طور که از شکل پیداست ولتاژ باس 117 در محدوده غیر مجاز قرار دارد پس در هر صورت با قطع خط 28 شبکه ما نا امن می باشد ، حال به سراغ توان عبوری از خطوط رفته تا ببینیم خطی به اضافه بار رفته است یا نه برای این موضوع پخش باری از شبکه بر حسب p.u. می گیریم و طبق روند قبلی با گزارش پخش بار در حالت کار عادی مقایسه می کنیم که گزارش پخش بار شبکه در صورت قطع خط 28 در شکل (5-32) آمده است . که مشاهده می شود توان عبوری از خطوط 24 و 25 و 26 بیش از یک p.u. افزایش داشته است .

<i>From Bus</i>	<i>To Bus</i>	<i>Line</i>	<i>P Flow [p.u.]</i>	<i>Q Flow [p.u.]</i>
<i>Bus101</i>	<i>Bus102</i>	<i>1</i>	<i>0.14263</i>	<i>-0.27351</i>
<i>Bus101</i>	<i>Bus103</i>	<i>2</i>	<i>-0.16865</i>	<i>0.31396</i>
<i>Bus101</i>	<i>Bus105</i>	<i>3</i>	<i>0.55802</i>	<i>0.14478</i>
<i>Bus102</i>	<i>Bus104</i>	<i>4</i>	<i>0.33101</i>	<i>0.25766</i>
<i>Bus102</i>	<i>Bus106</i>	<i>5</i>	<i>0.46457</i>	<i>0.05934</i>
<i>Bus109</i>	<i>Bus103</i>	<i>6</i>	<i>-0.21481</i>	<i>0.19785</i>
<i>Bus124</i>	<i>Bus103</i>	<i>7</i>	<i>2.3875</i>	<i>0.34569</i>
<i>Bus109</i>	<i>Bus104</i>	<i>8</i>	<i>0.49558</i>	<i>-0.10686</i>
<i>Bus110</i>	<i>Bus105</i>	<i>9</i>	<i>0.23099</i>	<i>-0.00826</i>
<i>Bus110</i>	<i>Bus106</i>	<i>10</i>	<i>1.0569</i>	<i>-1.1997</i>
<i>Bus107</i>	<i>Bus108</i>	<i>11</i>	<i>1.025</i>	<i>0.41921</i>
<i>Bus109</i>	<i>Bus108</i>	<i>12</i>	<i>0.54658</i>	<i>-0.08596</i>
<i>Bus110</i>	<i>Bus108</i>	<i>13</i>	<i>0.34669</i>	<i>0.09048</i>
<i>Bus111</i>	<i>Bus109</i>	<i>14</i>	<i>1.1879</i>	<i>0.2919</i>
<i>Bus112</i>	<i>Bus109</i>	<i>15</i>	<i>1.5736</i>	<i>0.44438</i>
<i>Bus111</i>	<i>Bus110</i>	<i>16</i>	<i>1.7021</i>	<i>-0.11714</i>
<i>Bus112</i>	<i>Bus110</i>	<i>17</i>	<i>2.094</i>	<i>0.04432</i>
<i>Bus113</i>	<i>Bus111</i>	<i>18</i>	<i>2.1223</i>	<i>0.50925</i>
<i>Bus114</i>	<i>Bus111</i>	<i>19</i>	<i>0.79943</i>	<i>-0.26766</i>
<i>Bus113</i>	<i>Bus112</i>	<i>20</i>	<i>1.4732</i>	<i>0.3389</i>
<i>Bus123</i>	<i>Bus112</i>	<i>21</i>	<i>2.269</i>	<i>0.41877</i>
<i>Bus113</i>	<i>Bus123</i>	<i>22</i>	<i>-1.6994</i>	<i>-0.11343</i>
<i>Bus116</i>	<i>Bus114</i>	<i>23</i>	<i>2.0783</i>	<i>0.59827</i>
 <i>Bus116</i>	<i>Bus115</i>	<i>24</i>	<i>-3.3427</i>	<i>0.68148</i>
 <i>Bus121</i>	<i>Bus115</i>	<i>25</i>	<i>3.6444</i>	<i>0.54096</i>
 <i>Bus121</i>	<i>Bus115</i>	<i>26</i>	<i>3.6444</i>	<i>0.54096</i>
<i>Bus115</i>	<i>Bus124</i>	<i>27</i>	<i>2.4284</i>	<i>0.5543</i>
<i>Bus117</i>	<i>Bus116</i>	<i>28</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
<i>Bus119</i>	<i>Bus116</i>	<i>29</i>	<i>-0.81213</i>	<i>0.31706</i>
<i>Bus118</i>	<i>Bus117</i>	<i>30</i>	<i>-0.97734</i>	<i>0.04026</i>
<i>Bus122</i>	<i>Bus117</i>	<i>31</i>	<i>0.99103</i>	<i>-0.21072</i>
<i>Bus118</i>	<i>Bus121</i>	<i>32</i>	<i>0.65717</i>	<i>-0.10524</i>
<i>Bus118</i>	<i>Bus121</i>	<i>33</i>	<i>0.65717</i>	<i>-0.10524</i>
<i>Bus119</i>	<i>Bus120</i>	<i>34</i>	<i>-0.58943</i>	<i>-0.36203</i>
<i>Bus119</i>	<i>Bus120</i>	<i>35</i>	<i>-0.58943</i>	<i>-0.36203</i>
<i>Bus123</i>	<i>Bus120</i>	<i>36</i>	<i>1.3004</i>	<i>0.42113</i>
<i>Bus123</i>	<i>Bus120</i>	<i>37</i>	<i>1.3004</i>	<i>0.42113</i>
<i>Bus121</i>	<i>Bus122</i>	<i>38</i>	<i>-1.977</i>	<i>0.30187</i>

شکل (32-5): به اضافه بار رفتن برخی از خطوط با قطع خط 28

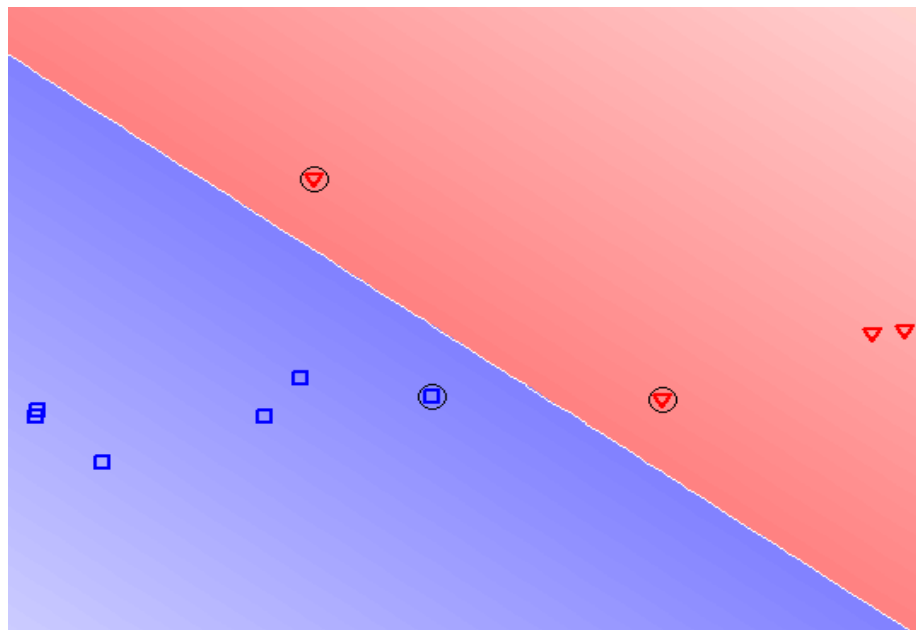
پس نقطه (59.1964 297.2637) یکی از نقاط نا امن (1-) برای آموزش شبکه می باشد .
اگر به همین منوال 10 خط را به طور تصادفی قطع نمایم و گزارش پخش بار شبکه را پس از هر بار قطع خطوط بررسی کنیم نقط اطلاعات بدست می آید که در جدول (2-5) آورده شده است .

جدول (5-2) : نقاط آموزش برای شبکه 24 باس باره

FORM	TO	LINE	P	Q	YTRAIN
BUS 101 TO 102		1	12.2145	26.9715	1
BUS101 TO 103		2	12.6849	29.3376	1
BUS 124 TO 103		7	225.5043	33.3837	-1
BUS 107 TO 108		11	102.5	41.7872	1
BUS 113 TO 112		20	147.0309	34.6918	1
BUS 117 TO 116		28	297.2637	59.1964	-1
BUS 110 TO 108		13	35.1654	8.8143	1
BUS 114 TO 111		19	90.2059	27.2019	1
BUS 116 TO 114		23	308.4085	60.8043	-1
BUS 110 TO 106		10	107.026	120.2547	-1

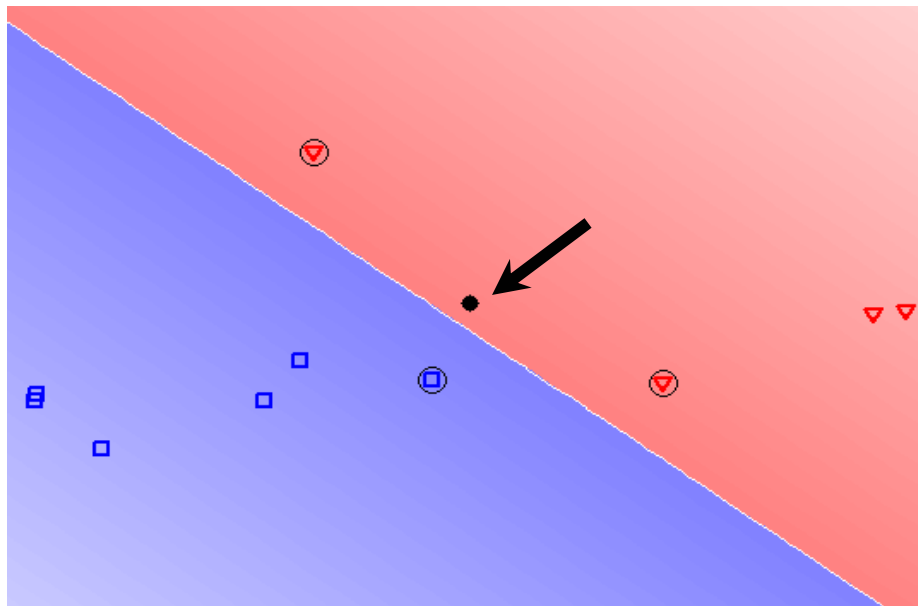
این نقاط در file2.txt نرم افزار ذخیره شده اند .

حال توسط نرم افزار SVM این نقاط را جداسازی می کنیم .



شکل (5-33) : شبکه 24 باس باره _ c=inf , linear

اگر بخواهیم بدانیم که با قطع خط 30 از شبکه 24 باس باره چه اتفاقی برای شبکه خواهد افتاد و آیا شبکه امن خواهد بود یا نه باید در مورد نقطه (63.6393 160.1255) پیش گوئی کنیم پس این نقطه را در کادر مربوطه می نویسیم و روی predict کلیک می کنیم.



شکل (5-34) : پیش گوئی در مورد (63.6393 160.1255) در شبکه 24 باس باره

با پیش گوئی SVM با قطع خط 30 شبکه نا امن خواهد شد . برای آن که صحت کار را ببینیم با استفاده از PSAT این کار را انجام می دهیم .

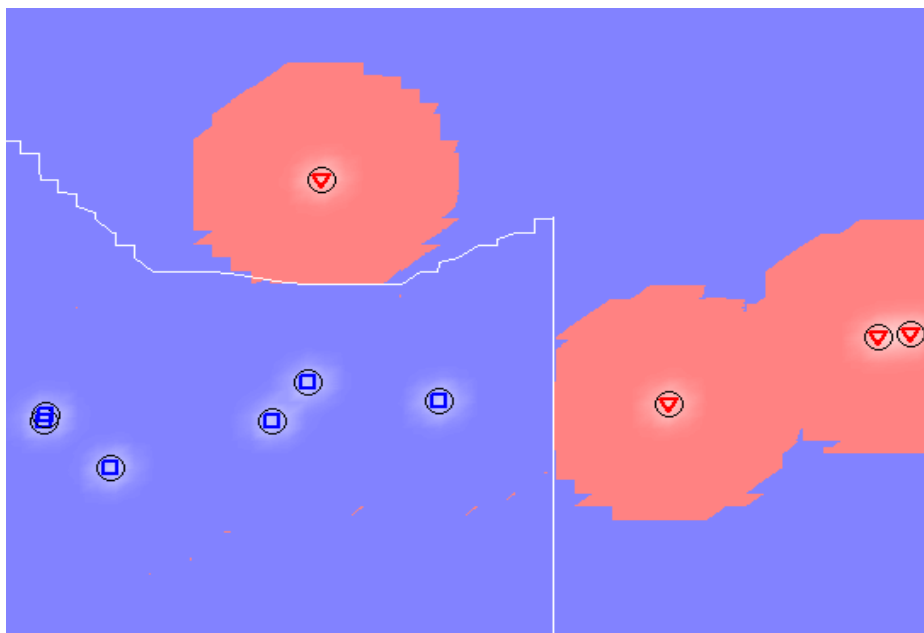
<i>Bus113</i>	<i>Bus111</i>	<i>18</i>	<i>2.102</i>	<i>0.51229</i>
<i>Bus114</i>	<i>Bus111</i>	<i>19</i>	<i>0.86625</i>	<i>-0.271</i>
<i>Bus113</i>	<i>Bus112</i>	<i>20</i>	<i>1.4675</i>	<i>0.34379</i>
<i>Bus123</i>	<i>Bus112</i>	<i>21</i>	<i>2.3059</i>	<i>0.42403</i>
<i>Bus113</i>	<i>Bus123</i>	<i>22</i>	<i>-1.7437</i>	<i>-0.10129</i>
<i>Bus116</i>	<i>Bus114</i>	<i>23</i>	<i>3.0472</i>	<i>0.60455</i>
→ <i>Bus116</i>	<i>Bus115</i>	<i>24</i>	<i>-1.7003</i>	<i>0.39955</i>
<i>Bus121</i>	<i>Bus115</i>	<i>25</i>	<i>2.7405</i>	<i>0.52641</i>
<i>Bus121</i>	<i>Bus115</i>	<i>26</i>	<i>2.7405</i>	<i>0.52641</i>
<i>Bus115</i>	<i>Bus124</i>	<i>27</i>	<i>2.3475</i>	<i>0.52558</i>
<i>Bus117</i>	<i>Bus116</i>	<i>28</i>	<i>1.803</i>	<i>-0.00598</i>
<i>Bus119</i>	<i>Bus116</i>	<i>29</i>	<i>-0.89408</i>	<i>0.33006</i>
<i>Bus118</i>	<i>Bus117</i>	<i>30</i>	<i>0</i>	<i>0</i>

شکل (5-35) : به اضافه بار رفتن خط 24 با قطع شدن خط 30

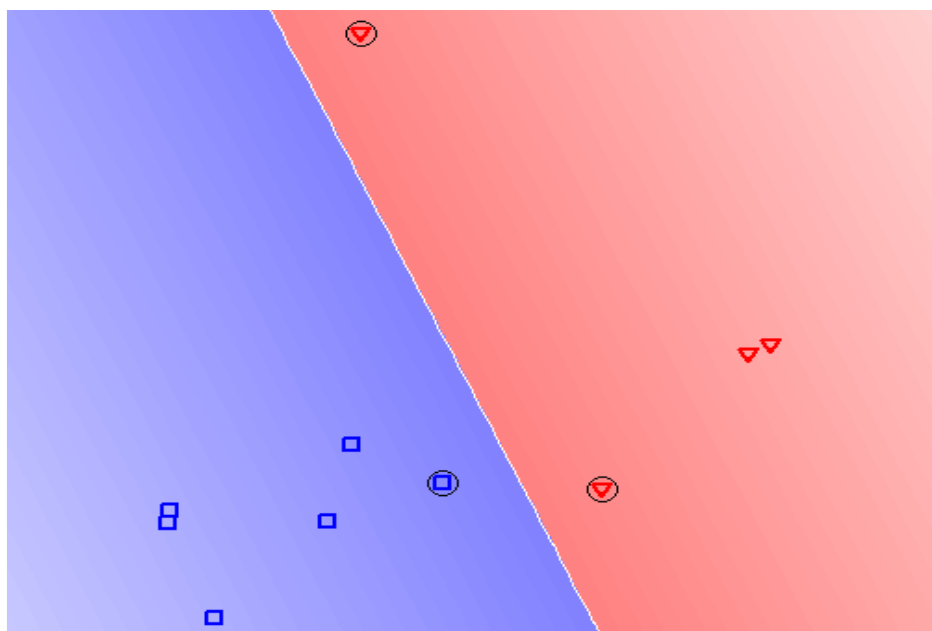
همان طور که می بینید توان عبوری از خط 24 بیش از 1p.u. افزایش داشته و به اضافه بار رفته پس پیش گوئی SVM درست بوده است .

قبل از شروع مبحث بعدی مزیت نرمالیزه کردن داده ها را روی این داده ها بحث می کنیم . همان طور که مشاهده می کنید پراکندگی این داده ها بسیار زیاد است و ممکن برخی از توابع کرنل قادر به جدا سازی آنها نباشند . در شکل (5-36) نا توانی تابع کرنل rbf در جدا سازی این نقاط قبل از نرمال

سازی نمایش داده شده است و در شکل (5-37) پس از نرمالیزه کردن داده ها rbf توانسته آنها را جدا سازی نماید .



شکل (5-36) : ناتوانی کرنل rbf در جدا سازی داده های نرمال نشده



شکل (5-37) : جدا سازی پس از نرمالیزه شدن داده ها توسط rbf

5-5 روش بدست آوردن حالت n بعدی سیستم به کمک psat (روش کلی) :

چنانکه گفته شد حالات مختلفی برای خروج خطوط مختلف از مدار وجود دارند. بعد از اعمال هر حالت روی شبکه، نتیجه عملیات پخش از بار لحاظ سطح ولتاژ در باس بارها و توان عبوری از خطوط، بررسی شده و نهایتاً به دو دسته امن و ناامن تقسیم می شود.

با توجه به مفاهیم بخش امنیت شبکه، چون هدف این پروژه بررسی اثر احتمال پیشامدهای مختلف روی محدوده امنیتی نیست پس محدوده های مجاز برای ولتاژ باس بارها و توان عبوری از خطوط به ازای تمام شرایط ثابت می مانند.

محدوده ولتاژ قابل قبول برای باس بارها، بازه 0.95-1.05 pu در نظر گرفته می شود. به جز باس بارهایی که چون ژنراتور آنها مجهز به AVR است. ولتاژ آنها در حدی ثابت نگه داشته می شود که بعضاً بیش از عدد 1.05 pu است. این باس بارها، بار مستقیم ندارند و به منظور کنترل سطح ولتاژ در باس بارهای شامل بار بکار می روند.

برای ارائه مثال عملی از کاربرد SVM، شبکه 14 باس بار IEEE انتخاب شد.

برای یافتن محدوده های ناامنی مربوط به خطوط، ماکزیمم توان آنها مجهول بود پس روش زیر اجرا گردید:

در شبکه های بزرگ در ابتدای فاز طراحی خط، دانستن اینکه این خط چه توانی قراراست منتقل کند لازم است و چون خط احداث شده برای سالیان طولانی کار می کند ضریب رشد مصرف (حدود 10٪ در سال) هم در میزان ماکزیمم توان عبوری از تاثیر گذار است. چنانکه برای هر خط یک اندیس به شکل زیر تعریف کرده و مقدار آنرا در ابتدای طراحی در محدوده خاصی در نظر میگیرند:

(حداکثر توان مجاز خط)/(توان عبوری از خط) = ضریب بارگذاری خط

(5-1)

که در ابتدای احداث خط، این مقدار را برای خطوط بین 10٪ تا 30٪ در نظر می گیرند. (یعنی در شروع بهره برداری، از 10٪ تا 30٪ ظرفیت یک خط استفاده شده و بقیه ظرفیت آن برای لحاظ کردن رشد مصرف در سالیان بعد خالی می ماند).

در اجرای این پروژه، یک حد منطقی برای ضریب بارگذاری خطوط، 30٪ در نظر گرفته شده است. یعنی با فرض اینکه شبکه الان در ابتدای بهره برداری است و با توجه به نتایج پخش بار در شبکه، حداکثر توان مجازی که می تواند از خطوط بگذرد.

بررسی امنیت استاتیک در یک سیستم قدرت، محدود به این امر است که چک شود آیا بعد از وقوع خطا (در این پروژه منظور، خروج خطوط یا وقوع خطاهایی هستند که در نهایت به خروج خط منتهی می شوند)، سطح ولتاژ باس بارها و میزان توان عبوری از خطوط در محدوده های مجاز قرار دارند یا نه؟ بدین ترتیب به ازای هر حالت سیستم، یک نتیجه داریم که وضعیت امنیت شبکه را بعد از وقوع خطا معین می کند.

در بررسی امنیت استاتیک، چون اغتشاشات گذرا مورد نظر نیست و فقط نتیجه حالت دایم یک وضعیت مورد توجه است؛ پس برای انتخاب حالتها به این امر توجه می شود که حالتی باید انتخاب گردد که اولاً به خوبی وضعیت سیستم را برای شبکه تصمیم گیر توصیف کند یعنی بیانگر توپولوژی شبکه در موقع وقوع خطا باشد.

و ثانیاً اغتشاشات محدوده پایداری گذرا روی آن اثری نداشته باشد یعنی از ابتدای وقوع آن حالت تا رسیدن به حالت دایم، ثابت بماند.

به خاطر دلایل ذکر شده می توان وضعیت ورود و خروج خطوط را به عنوان حالت سیستم معرفی کرد چون با این تعریف، هم توپولوژی مجموعه برای ما و شبکه تصمیم گیر روشن می شود هم اینکه وضعیت ورود و خروج خطوط یک حالت ماندگار بوده و در اثر اغتشاشات گذرای که در شبکه به وجود می آید تا پایداری رخ دهد، ثابت می ماند.

در انجام این پروژه، خطوطی که از مدار خارج شده اند با عدد صفر و خطوطی که در مدار هستند با عدد یک، نشان داده می شود. بدین ترتیب یک سری داده به شکل زیر بدست می آید که هر سطر نشان دهنده حالت سیستم و درجه امنیت شبکه بعد از اعمال آن حالت به سیستم است. بدین معنی که اعداد در هر ستون، نشان دهنده وضعیت خط هم شماره با آن ستون هستند به شکل زیر:

$$a_{i,j} = \begin{cases} +1 & \text{if } j^{\text{th}} \text{ line is in grid} \\ 0 & \text{if } j^{\text{th}} \text{ line isn't in grid} \end{cases} \quad (5-2)$$

که در آن $a_{i,j}$ ، عناصر ماتریس حالت سیستم هستند.

همچنین می توان متغیرهای دیگری در شبکه پیدا کرد که چنین وضعیتی داشته باشند مثلاً توان مصرف شده توسط بارها (البته در جایی مانند این شبکه که بارهای متناسب با ولتاژ وجود ندارد این وضعیت برقرار است و الا با تغییرات ولتاژ، میزان توان مصرفی تغییر می کند و این متغیر نمی تواند بیانگر حالت سیستم در حوزه حالت دائم باشد).

پس متغیرهای حالت برای توصیف شبکه حاوی توان مصرفی بارها و وضعیت ورود و خروج خطوط می باشد که در اجرای این پروژه به ترتیب زیر در نظر گرفته می شود:

P_{Demand} , Q_{Demand} , State of lines

(5-3)

و در فایل حاوی اطلاعات نیز به همین ترتیب وارد می گردد. ستون آخر در فایل حاوی اطلاعات شبکه، نشان دهنده وضعیت امنیت سیستم بعد از اعمال حالت روی شبکه و انجام عملیات پخش بار و مقایسه مقادیر متغیرهای حالت با محدوده های مجاز مربوط می باشد.

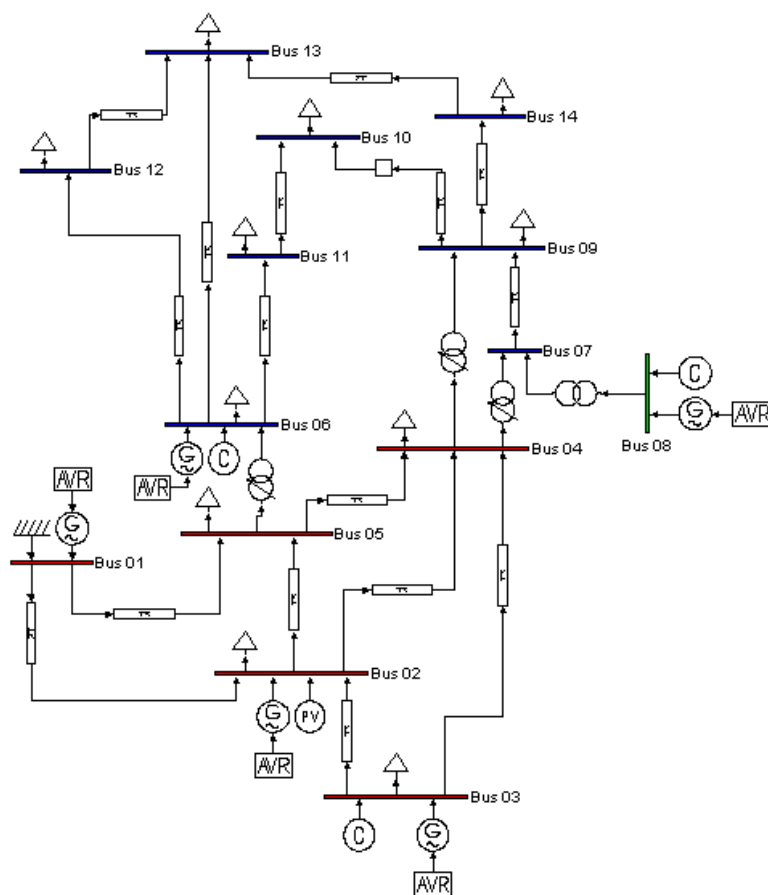
مقادیر توان های اکتیو و راکتیو مصرفی بصورت پریونیت وارد می شود. خازنها و راکتورهایی که در پست عمل جبران سازی را انجام می دهند، در بخش مصرف وارد می شود خازن توان راکتیو منفی مصرف می کند و راکتور توان راکتیو مثبت مصرف می کند. مثالی که در این پروژه به منظور مشاهده نتایج استفاده شده، شبکه 14 باس بار IEEE است که تعداد متغیرهای حالت به صورت زیر محاسبه می شود:

20 خط 14 باس بار را به هم وصل می کنند و هر باس دارای بار، یک توان اکتیو و یک توان راکتیو دارد، پس کلاً $20 + 14 \times 2 = 48$ عدد متغیر حالت وجود دارد که وضعیت کلی شبکه را مشخص می کنند.

اندیسی که ما به کمک آن به اضافه بار رفتن خطوط را می سنجیم به قرار زیر است :

$$\sum_{i=1}^n \frac{1}{4} \left(\frac{S_i}{S_{\max i}} \right)^2 \quad (5-4)$$

که در آن S_i توان عبوری از خط i ام (در حالت بحرانی و قطع خطوط) بر حسب MVA است و $S_{\max i}$ نیز ماکزیمم توان عبوری از خط i ام می باشد. (بر حسب MVA). که n تعداد خطوط است



شکل (5-38): شبکه 14 باس باره

در حالت کار عادی شبکه نتیجه پخش بار به صورت شکل (5-39) خواهد بود:

POWER FLOW RESULTS

Bus	V [p.u.]	phase [rad]	P gen [p.u.]	Q gen [p.u.]	P load [p.u.]	Q load [p.u.]
Bus 01	1.06	0	3.5206	-0.282	0	0
Bus 02	1.045	-0.13569	0.4	0.94868	0.3038	0.1778
Bus 03	1.01	-0.33216	0	0.59746	1.319	0.266
Bus 04	0.99782	-0.26443	0	0	0.6692	0.056
Bus 05	1.0029	-0.22696	0	0	0.1064	0.0224
Bus 06	1.07	-0.36958	0	0.44433	0.1568	0.105
Bus 07	1.036	-0.33939	0	0	0	0
Bus 08	1.09	-0.33939	0	0.33402	0	0
Bus 09	1.0129	-0.37909	0	0	0.413	0.2324
Bus 10	1.0122	-0.38448	0	0	0.126	0.0812
Bus 11	1.0357	-0.37986	0	0	0.049	0.0252
Bus 12	1.0462	-0.3906	0	0	0.0854	0.0224
Bus 13	1.0366	-0.39149	0	0	0.189	0.0812
Bus 14	0.99695	-0.41058	0	0	0.2086	0.07

شکل (5-39): پخش بار روی شبکه 14 باس باره

و مقادیر توان عبوری از خطوط نیز در شکل (5-40) آمده است:

LINE FLOWS

From Bus	To Bus	Line	P Flow [MW]	Q Flow [MVar]	P Loss [MW]	Q Loss [MVar]
Bus 02	Bus 05	1	57.8395	6.9997	1.7856	1.8853
Bus 06	Bus 12	2	11.4067	4.5914	0.16231	0.33782
Bus 12	Bus 13	3	2.7044	2.0136	0.02295	0.02076
Bus 06	Bus 13	4	25.9892	14.4462	0.51083	1.006
Bus 06	Bus 11	5	11.8601	12.8439	0.25355	0.53096
Bus 11	Bus 10	6	6.7065	9.793	0.10777	0.25228
Bus 09	Bus 10	7	6.0131	-1.3893	0.01181	0.03137
Bus 09	Bus 14	8	12.0004	0.51809	0.17875	0.38022
Bus 14	Bus 13	9	-9.0384	-6.8621	0.22147	0.45093
Bus 07	Bus 09	10	37.8572	22.5226	0	1.9888
Bus 01	Bus 02	11	241.7424	-38.0655	10.2922	25.5743
Bus 03	Bus 02	12	-100.2297	13.9568	4.7484	15.3794
Bus 03	Bus 04	13	-31.6703	19.189	0.94729	-1.0695
Bus 01	Bus 05	14	110.3123	9.8657	5.9283	19.2339
Bus 05	Bus 04	15	84.8619	-13.7332	0.97856	1.8057
Bus 02	Bus 04	16	78.2528	5.0256	3.2851	6.0638
Bus 05	Bus 06	17	64.936	7.2394	0	9.2912
Bus 04	Bus 09	18	21.4563	4.3489	0	2.5139
Bus 04	Bus 07	19	37.8572	-6.2676	0	2.9581
Bus 08	Bus 07	20	0	33.4025	0	1.6542

شکل (5-40): توان عبوری از خطوط در شبکه 14 باس باره در حالت کار عادی

بر طبق توان های اکتیو و راکتیو عبوری از خطوط S و S ماکزیمم را با فرض آن که شبکه دارای خطوطی است که 30٪ ظرفیت آنها پر شده از رابطه (5-5) بدست می آوریم . و در جدول (5-3) یادداشت می کنیم .

$$S_{\max i} = S_i \left(\frac{10}{3} \right) \quad (5-5)$$

جدول (3-5): S عبوری و S ماکزیم عبوری از خطوط

FROM BUS	TO BUS	Line	P FLOW [MW]	Q FLOW [MVAR]	S FLOW [MVA]	S MAX [MVA]
bus 2	bus 5	1	57.8395	6.9997	58.2615	200
bus 6	bus 12	2	11.4067	4.5914	12.2960	50
bus 12	bus 13	3	2.7044	2.0136	3.3717	25
Bus 6	bus 13	4	25.9892	14.4462	29.7343	100
Bus 6	Bus 11	5	11.8601	12.8439	17.4822	50
bus 11	bus 10	6	6.7065	9.793	11.8692	50
bus 9	bus 10	7	6.0131	1.3893	6.1715	25
bus 9	bus 14	8	12.0004	0.5180	12.0115	50
bus 14	bus 13	9	9.0384	6.8621	11.3481	50
bus 7	bus 9	10	37.8572	22.5226	44.0503	150
bus 1	bus 2	11	241.742	38.0655	244.720	825
bus 3	bus 2	12	100.229	13.9568	101.196	350
bus 3	bus 4	13	31.6703	19.189	37.0300	125
bus 1	bus 5	14	110.313	9.8657	110.753	375
bus 5	bus 4	15	84.8619	13.7332	85.9659	300
bus 2	bus 4	16	78.2528	5.0256	78.414	250
bus 5	bus 6	17	64.936	7.2394	65.3382	225
bus 4	Bus 9	18	21.4563	4.3489	21.8925	75
bus 4	bus 7	19	37.8572	6.2676	38.3725	125
bus 8	bus 7	20	0	33.4025	33.4025	100

که البته مقادیر S ماکزیم برای سهولت در محاسبات بر حسب 25 گرد شده اند. شرط آن که خطی به over load نرفته باشد آن است که :

$$\left(\frac{S_i}{S_{\max i}}\right) < 1 \quad (5-6)$$

با استفاده از رابطه (4-5) اندیس مبنا در حالت کار عادی شبکه را بدست می آوریم :

$$\sum_{i=1}^n \frac{1}{4} \left(\frac{S_i}{S_{\max i}} \right)^2$$

$$\Rightarrow \frac{1}{4} \left[\left(\frac{58.2}{200} \right)^2 + \left(\frac{12.2}{50} \right)^2 + \left(\frac{3.3}{25} \right)^2 + \left(\frac{29.73}{100} \right)^2 + \left(\frac{17.48}{50} \right)^2 + \left(\frac{11.86}{50} \right)^2 + \left(\frac{6.17}{25} \right)^2 + \right.$$

$$\left. \left(\frac{12}{50} \right)^2 + \left(\frac{11.3}{50} \right)^2 + \left(\frac{44}{150} \right)^2 + \left(\frac{244.72}{825} \right)^2 + \left(\frac{101.19}{350} \right)^2 + \left(\frac{37}{125} \right)^2 + \left(\frac{110.75}{375} \right)^2 \right.$$

$$\left. + \left(\frac{85.96}{300} \right)^2 + \left(\frac{78.414}{250} \right)^2 + \left(\frac{65.33}{225} \right)^2 + \left(\frac{21.89}{75} \right)^2 + \left(\frac{38.37}{125} \right)^2 + \left(\frac{33.4}{100} \right)^2 \right]$$

$$\Rightarrow \frac{1}{4} \left[\begin{array}{l} 0.084 + 0.059 + 0.017 + 0.088 + 0.122 + 0.056 + 0.0609 + 0.0576 + 0.051 \\ + 0.086 + 0.0879 + 0.0835 + 0.0876 + 0.0872 + 0.082 + 0.098 + 0.084 + \\ 0.085 + 0.0942 + 0.111 \end{array} \right]$$

$$\Rightarrow 0.395$$

(5-7)

پس اندیس بدست آمده برابر با 0.395 خواهد بود . حال ممکن است این سوال پیش آید که چرا وقتی که از رابطه (5-6) متوجه می شویم که خطی به اضافه بار رفته است باز هم باید اندیس را بدست آوریم . ضرورت این مطلب از آنجا ناشی می شود که گاهی اوقات ما در شبکه خط یا خطوطی را داریم که به اضافه بار رفتن آنها برایمان مهم نیست و جزء استثناء می باشند ، و با وجود آنکه این خطوط به اضافه بار رفته اند باز هم شبکه را امن معرفی می کنیم . پس در این موقعیت مجبور به تعریف چنین اندیسی می شویم .

POWER FLOW RESULTS

Bus	V [p.u.]	phase [rad]	P gen [p.u.]	Q gen [p.u.]	P load [p.u.]	Q load [p.u.]
Bus 01	1.06	0	0.13278	3.9068	0	0
Bus 02	1.045	231.7954	8.8227	17.1705	0.3038	0.1778
Bus 03	1.01	229.8971	0.05544	13.0203	1.319	0.266
Bus 04	0.01006	-26636.0298	0.57624	0.04337	0.6692	0.056
Bus 05	0.28387	201.7155	3.6021	-0.18983	0.1064	0.0224
Bus 06	1.07	213.6595	1.0412	5.3679	0.1568	0.105
Bus 07	0.5597	213.3961	-0.04875	0.0056	0	0
Bus 08	1.09	213.3961	0	3.2815	0	0
Bus 09	0.52101	213.4247	0.0071	0.00538	0.413	0.2324
Bus 10	0.59493	213.4789	-0.00873	0.01307	0.126	0.0812
Bus 11	0.81613	213.5915	-0.00949	0.00702	0.049	0.0252
Bus 12	1.0085	213.6221	2e-005	-1e-005	0.0854	0.0224
Bus 13	0.95674	213.6191	-0.00309	0.00201	0.189	0.0812
Bus 14	0.66827	213.482	-0.00486	0.0085	0.2086	0.07

شکل (41-5): ولتاژ باس بارها بعد از قطع خط 11

همان طور که مشاهده می شود از نظر ولتاژ باس ها شبکه نا امن می باشد .

حال به سراغ توان عبوری از خطوط می رویم :

LINE FLOWS

From Bus	To Bus	Line	P Flow [MW]	Q Flow [MVar]	P Loss [MW]	Q Loss [MVar]
Bus 02	Bus 05	1	24.1832	578.5718	175.9995	535.3691
Bus 06	Bus 12	2	22.9831	14.973	0.80775	1.6812
Bus 12	Bus 13	3	13.6369	11.051	0.66919	0.60546
Bus 06	Bus 13	4	63.0376	61.6601	4.4926	8.8474
Bus 06	Bus 11	5	77.8021	100.4321	13.3894	28.0391
Bus 11	Bus 10	6	58.5636	70.5753	10.3605	24.2528
Bus 09	Bus 10	7	-32.2435	-32.9031	2.4869	6.6063
Bus 09	Bus 14	8	-16.8794	-20.2301	3.2505	6.9142
Bus 14	Bus 13	9	-41.4762	-33.2947	10.8272	22.0446
Bus 07	Bus 09	10	-7.5747	19.7914	0	1.577
Bus 01	Bus 02	11	7e-005	3e-005	0	5e-005
Bus 03	Bus 02	12	-323.5541	761.3491	316.8043	1330.0785
Bus 03	Bus 04	13	197.1986	514.0774	200.3405	509.5653
Bus 01	Bus 05	14	13.2782	390.6824	74.5228	304.6734
Bus 05	Bus 04	15	61.1183	176.2455	57.6806	181.8907
Bus 02	Bus 04	16	187.3454	551.9697	182.0033	550.2002
Bus 05	Bus 06	17	75.3874	-68.2571	0	280.9652
Bus 04	Bus 09	18	-0.95856	-0.14232	0	48.503
Bus 04	Bus 07	19	-2.6993	-0.48448	0	148.7818
Bus 08	Bus 07	20	-0.00042	328.1445	0	159.6467

شکل (5-42) : توان عبوری از خطوط پس از قطع خط 11

بر طبق نتایج فوق S عبوری از خطوط را بدست آورده و در رابطه جایگذاری کرده ، که محاسبات به صورت زیر انجام می شود :

$$\frac{1}{4} \left[\left(\frac{579}{200} \right)^2 + \left(\frac{27}{50} \right)^2 + \left(\frac{17}{25} \right)^2 + \left(\frac{88}{100} \right)^2 + \left(\frac{127}{50} \right)^2 + \left(\frac{91}{50} \right)^2 + \left(\frac{46}{25} \right)^2 + \left(\frac{26}{50} \right)^2 + \right. \\ \left. \frac{1}{4} \left[\left(\frac{53}{50} \right)^2 + \left(\frac{21}{150} \right)^2 + \left(\frac{0}{825} \right)^2 + \left(\frac{826}{350} \right)^2 + \left(\frac{550}{125} \right)^2 + \left(\frac{390}{375} \right)^2 + \left(\frac{186}{300} \right)^2 + \left(\frac{582}{250} \right)^2 \right. \right. \\ \left. \left. + \left(\frac{102}{225} \right)^2 + \left(\frac{1}{75} \right)^2 + \left(\frac{2.6}{125} \right)^2 + \left(\frac{328}{100} \right)^2 \right] \right. \\ \left. \frac{1}{4} \left[8.38 + 0.298 + 0.46 + 0.774 + 6.451 + 3.3124 + 3.38 + 0.27 + 1.12 + 0.02 + \right. \right. \\ \left. \left. 5.569 + 19.36 + 1.081 + 0.384 + 5.419 + 0.20 + 0.0001 + 0.0004 + 10.75 \right] \right] = 16.807$$

(5-8)

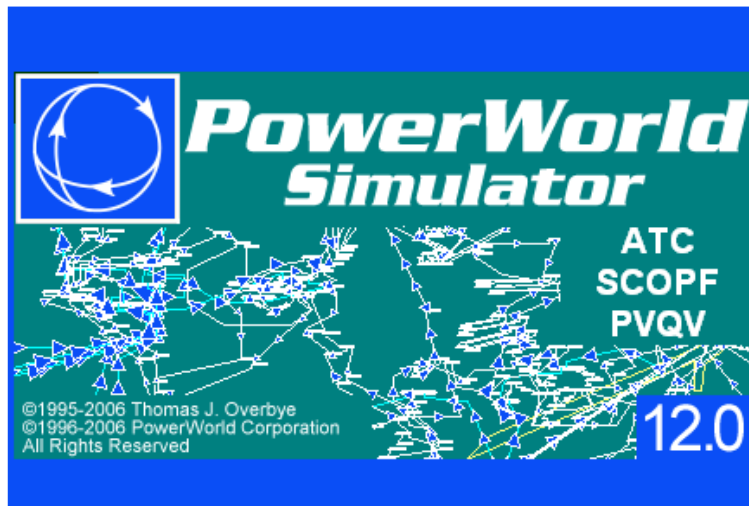
همان طور که مشاهده می شود اندیس بدست آمده خیلی بزرگتر از اندیس مبنا ست پس از نظر توان عبوری از خطوط نیز نا امن می باشد . (منظور از خیلی بزرگتر آن است که شاید اگر اختلاف حدود دهم اعشار بود شبکه را امن معرفی می کردیم که این مقدار هم بستگی به تعریف ما دارد که برای شبکه چه خصوصیتی مد نظر داریم).

نقاط اطلاعات در صفحه بعد آمده است که در فایل 4 نرم افزار نیز وجود دارد .شکل(5-43)

به فایل اکسل مراجعه شود .

5-6 نرم افزار power world simulator :

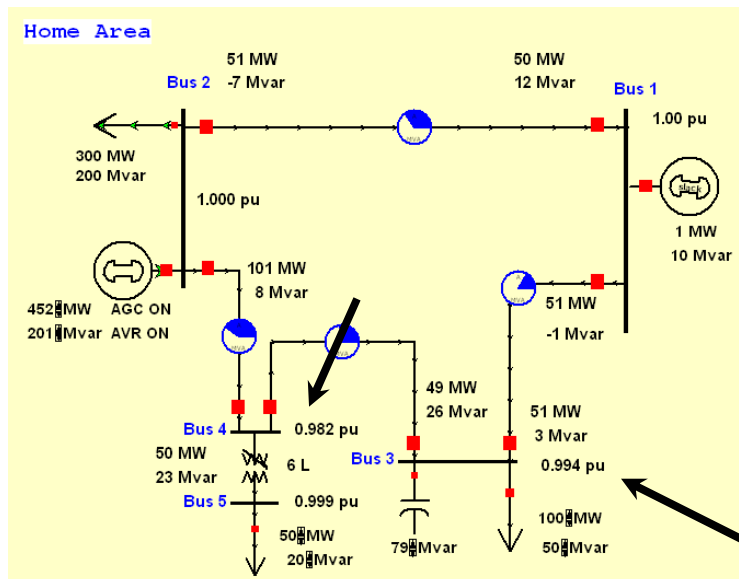
نرم افزار power world نیز مانند psat ، open source بوده و به راحتی قابل دریافت است . در این بخش نیز ما در مورد چگونگی کار با این نرم افزار را نشان نمی دهیم و بدون اتلاف وقت به سراغ یکی از شبکه های پیش فرض می رویم .



شکل (5-44) : نرم افزار power world simulator

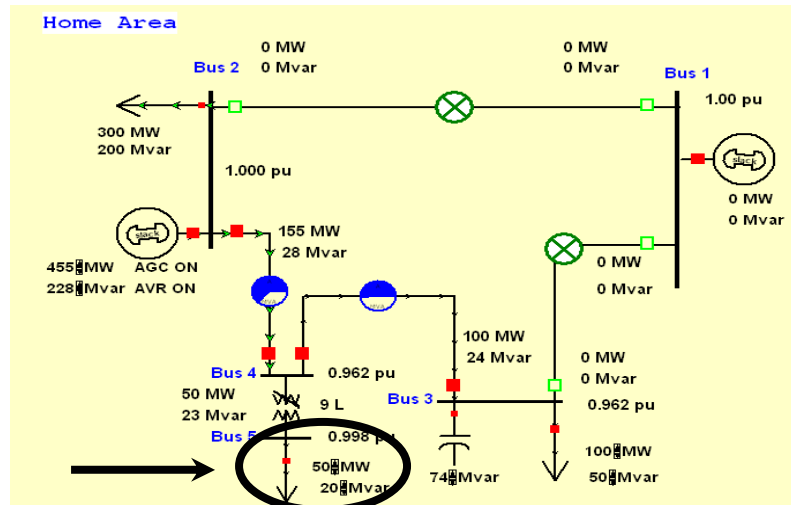
در این قسمت ما محدوده ولتاژ باس بارها را و توان عبوری از خطوط را به منظور آن که خطی به over load نرفته باشد را بررسی می نمائیم .

شبکه زیر را انتخاب می کنیم :



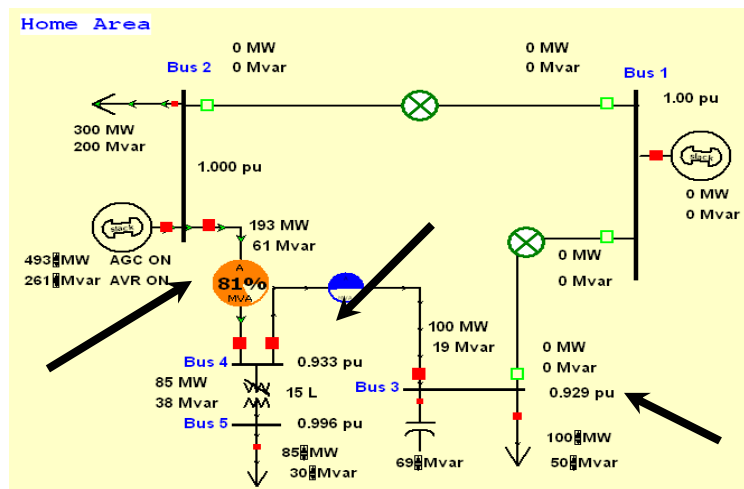
شکل (5-45) : شبکه 5 باس باره در حالت امن

پس خطوط متصل به باس slack را قطع کرده و مقدار اولیه بار 5 را روی 20MVAR , 50MW تنظیم می کنیم :



اگر یکی از دو عامل ذکر شده اتفاق افتد (عدم رعایت محدوده ولتاژ و رفتن خطوط به اضافه بار) ما شبکه را نا امن معرفی میکنیم .

مجاز نیست وهم یکی از خطوط به OVER LOAD رفته است .



106

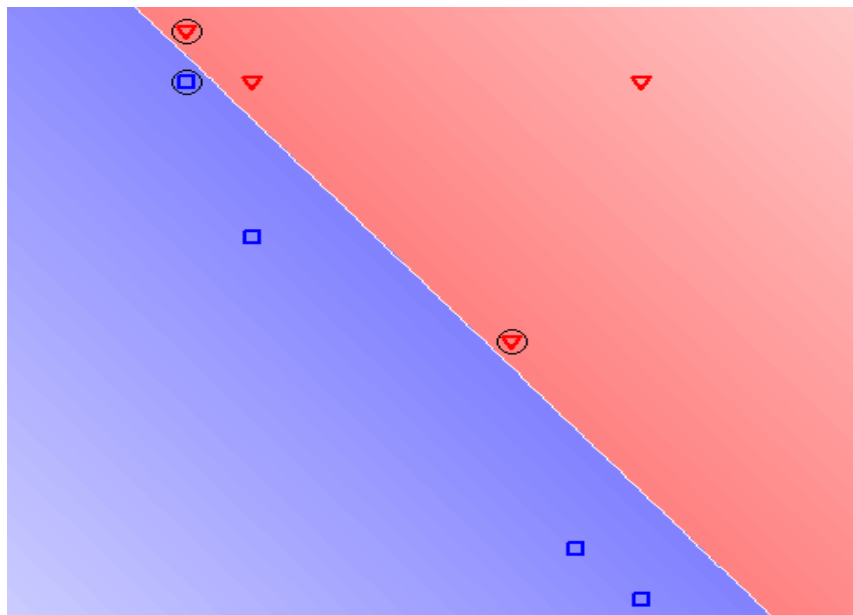
که در پایان نقاطی به صورت شکل (5-48) بدست می آید :

1	2	1
1	5	-1
7	5	-1
7	-5	1
6	-4	1
5	0	-1
0	8	-1
0	5	1

شکل (5-48) : نقاط اطلاعات شبکه 5 باس باره

که این نقاط در file7 قرار دارند .

با استفاده از svm محدوده امن و نا امن شبکه را پیدا می کنیم . شکل (5-49)



شکل (5-49) : محدوده امن و نا امن شبکه $\text{linear}, c = \text{inf}$

منابع :

[1] Support Vector Machines for Classification and Regression “ Steve R. Gunn University of Southampton” 10 MAY 1998

[2] System Reliability Evaluation Using Monte Carlo & Support Vector Mahine “ Claudio M.Roccos & Jose Ali Moreno”

[3] مبانی شبکه های عصبی (هوش محاسباتی) تالیف دکتر محمد باقر منهاج دانشیار دانشگاه صنعتی
امیر کبیر .
