تحلیل سیستم های داینامیک با استفاده از نرم افزار VENSIM

دکتر تحسیری

ارائه: حمید محمّدی

WWW.IEUN.IR

www.ieun.ir

مقدّمه:

نرم افزار VENSIM برای مدل سازی یک یا چند کمیت که در طول زمان تغییر می یابند، طراحی شده است. اصول و مکانیزم های پویایی های سیستم ابتدا در دهه های ۱۹۴۰ و ۱۹۵۰ مطرح و بررسی هایی بر روی آن انجام شد . پویایی های سیستم روش درک انواع مشخصی از مسائل پیچیده سیستم است .این رشته در واقع از صنعت و مسائل ناشی از آن نشأت گرفته است.کار نخستین آن ابتدا با برخی مسائل مدیریتی نظیر بی ثباتی در تولید و اشتغال، رشد کم یا ناسازگاری فعالیت های سازمانها و کاهش سهم بازار در ارتباط بوده است. پویایی های سیستم که قبلاً به پویایی های صنعت مرسوم بود در اوان ظهور خود توسط"جی -فارستر " در حل مسائل متنو ع کاربرد گسترده ای یافت . سیستم دینامیک در گستره وسیعی از مسائل مورد استفاده واقع شده است که از جمله می توان به استراتژی برنامه ریزی و طراحی یکپارچه (فارستر ۱۹۶۱ ولینز ۱۹۸۰) ، رفتارهای اقتصادی (استرمن ۱۹۸۳)، مدیریت اجتماعی (هامر و کلایر ۱۹۹۱)، مدلسازی بیولوژیکی و پزشکی (هانسون و بای ۱۹۸۷) ،انرژی و محیط (فورد و لوبر ۱۹۸۹) ، پویایی های ترکیبی غیرخطی (موسکیلد ۱۹۹۱) ، توسعه تئوریهای علوم طبیعی و اجتماعی (دیل ۱۹۹۷) ، تصمیم گیری های پویا (استرمن ۱۹۸۹) ، مهندسی نرم افزار (عبدالحمید۱۹۸۴) ، مدیریت زنجیره تأمین[۱] (تاویل ۱۹۹۰ ،بارلاس و اکسوگان ۱۹۹۷ ،اکرمن ۱۹۹۹) اشاره کرد.

مدل World 3 توسط فارستر (۱۹۷۳)، بنیان گذار سیستم داینامیک، تهیه شده است . این مدل به بررسی تغییرات منابع کانی، آنی و انسانی براساس فعالیت های بشر بر روی زمین می پردازد .این مدل بعداً توسط میدوز و همکاران درسال ۱۹۷۴ و ۱۹۹۲ در مؤسسه تکنولوژی ماساچوست[۲] تکمیل شد.

مراحل مدل سازی در روش تحلیل پویایی سیستم به ترتیب زیر است:

۱ .شناخت و تعریف مسئله

[۱] Supply Chain
[۲] MIT

www.ieun.ir

۲ .رسم نمودارهای مرجع

۳ .تعریف متغیرهای عمده مطرح در مسئله

۴ .تعریف ارتباط بین متغیرها

۵ .رسم نمودار علت و معلولی بین متغیرها

۶ .تعریف مرزهای مدل

۷ .ساخت نمودار جریان برای مدل، در این نمودار متغیرهای نرخ و انباره ای از هم تفکیک شده مبتنی بر نمودار علت و معلولی و ارتباط بین متغیرهـا شـکل کاملی از مدل رسم می گردد . در این نمودار خصوصیات مسأله مانند تأخیررفتارهای غیرخطی، شروط و ... اعمال می شود.

۸ .اجرا و کالیبره کردن مدل.

۹ .بررسی اعتبار مدل، تست های مختلفی مانندتحلیل حساسیت، تحلیل حدی،سازگاری بعد متغیرها و ... .

نمودارهای مرجع

نمودارهای مرجع به عنوان الگوی رفتاری مدل از یک طرف به اعتبار سنجی مدل کمک می کند و از طرف دیگر با شناخت الگوی رفتاری متغیرهای مهم و برخی از انباشت ها در روند مدلسازی و انتخاب متغیرها مؤثر خواهد بود.

www.ieun.ir

مقدمه

شاید بتوان گفت در تاریخ بشریت هیچ ابزاری تاثیر قدرتمندی در فهم و درک فرایندها و مسائل پیچیده نداشته است.در این فایل خلاصه ای از سیستم های داینامیک و حل مسائل آن با ابزار VENSIM را بررسی و تحلیل کرده ایم.آنچنان که در ادامه خواهید دید نرم افزار دارای محیط ساده و یکپارچه است هدف اصلی این آموزش استفاده ی نرم افزار به صورت کاربردی است.به این منظور چند سیستم داینامیک بررسی شده اند و نهایتا با نرم افزار VENSIM تحلیل شده اند.نرم افزار مورد مطالعه ی ما نوع PLE[۳] است و تفاوت چندانی با نسخه ی کاملش ندارد و تنها محدودیت تعداد و اندازه ی متغیرها را برای شبیه سازی مسائل با پیچیدگی بالا را ایجاد می کند.

VENSIM چیست؟

نرم افزار VENSIM یکی از نرم افزار های تجاری مفید و در دسترس است که گسترش مدل های شبیه سازی پیوسته (که بعنوان مدل داینامیک های سیستم شناخته می شوند) را تسهیل کرده است. نرم افزار VENSIM PLE برای مدلسازی یک یا چند کمیت که در طول زمان تغییر میکنند طراحی شده است. نرم افزار VENSIM در مقایسه با نرم افزارهایی که با هم در رقابت هستند به طور فوق العاده ای قدرتمند و در عین حال کم قیمت است.ایجاد کننده و توسعه دهنده ی آن شخصی است به نام Bob Eberlein که اولین بار آنرا بعنوان یک نرم افزار اشتراکی و آزمایشی ارئه و به فروش رساند.این کار فرصتی را برای دانشجویان فراهم میکند که علاوه بر یادگیری این ابزار ، قبل از اینکه آنرا واقعا خریداری کنند ، آنرا به خوبی ارزیابی کنند.

نسخه ی PLE آنرا می توانید از سایت www.VENSIM.com دانلود کرده و نصب نمایید در قسمت بارگذاری سایت فایل قابل نصب متناسب با پلتفرم هایی اعم از میاکروسافت ، لینوکس و مکینتاش قرار داده شده است علاوه بر این نوع ۳۲ بیتی و ۶۴ بیتی نیز تهیه شده است.این نرم افزار با یک تعداد مدل از پیش ساخته شده ی معتبر همراه است که به آسانی می تواند مورد استفاده قرار بگیرد.

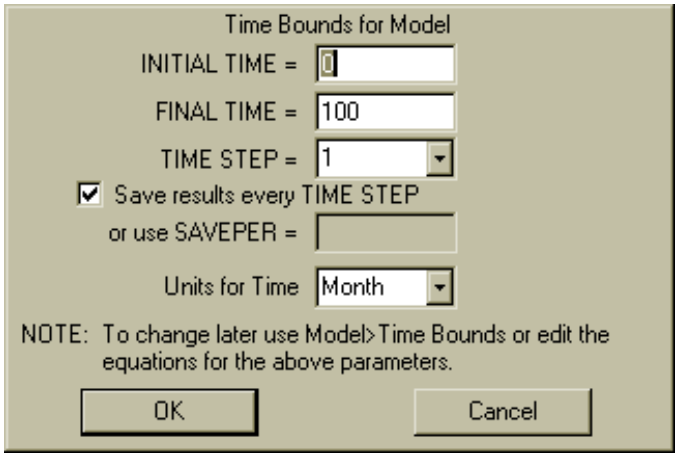
[۳] Personal Learning Edition

www.ieun.ir

محیط کاری VENSIM PLE

نرم افزار VENSIM دارای یک محیط مجموع یا یک پارچه و بسیار ساده و با محتوای است برای افرادی که غالبا با مایکروسافت ویندوز کـار کـرده اند بسیاری از تب ها و منو ها شناخته شده است.

برای ایجاد یک مدل جدید بر روی فایل **File** بر روی منوی اصلی کلیک میکنیم و از منوی کرکره ای گزینـه ی **New** را انتخـاب مـی کنـیم و در ادامه با شکل ۱ روبه رو خواهیم شد.

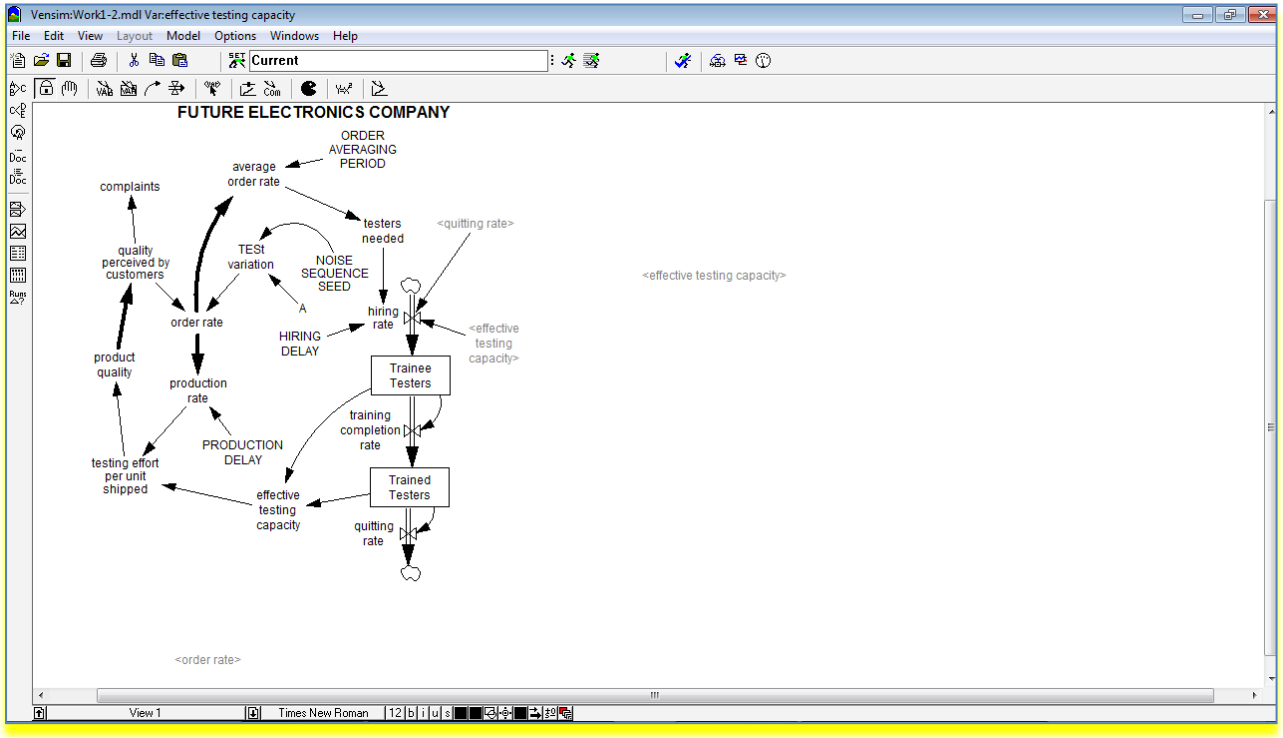


شکل ۱ محدوده های زمانی VENSIM در گوشه بالای سمت راست.

شکل ۱ را جعبه ی محدوده های زمانی می نامند.در این جعبه می توان زمان شروع ، زمان پایان ، گام زمانی و واحد های زمـانی را تعیـین کرد.مقـدار گـام زمانی باید حداقل ۵۰ گام بین زمان شروع و پایان ایجاد کند.به طور مثال اگر زمان شروع را ۱۳۹۰ انتخاب کنیم و زمان پایان را نیز ۱۴۴۰ انتخـاب کنـیم ، باید گام زمانی را که انتخاب می کنیم بیش از یک سال نباشد.واحد ها می توانند کمتر از یک ثانیه و بزرگتر از یک سال باشد.

www.ieun.ir

یکبار که بر روی **OK** کلیک کنیم وارد صفحه ی اصلی شبیه سازی می شویم.برای اینکه محدوده ی زمانی یا همان time bounds را برگردانیم و یا بخواهیم تصحیح کنیم میتوانیم از منوی اصلی **Model** را انتخاب کرده و از زیر منوی **settings** تب **time bounds** را کلیک کنیم.



شکل ۲ صفحه ی اصلی

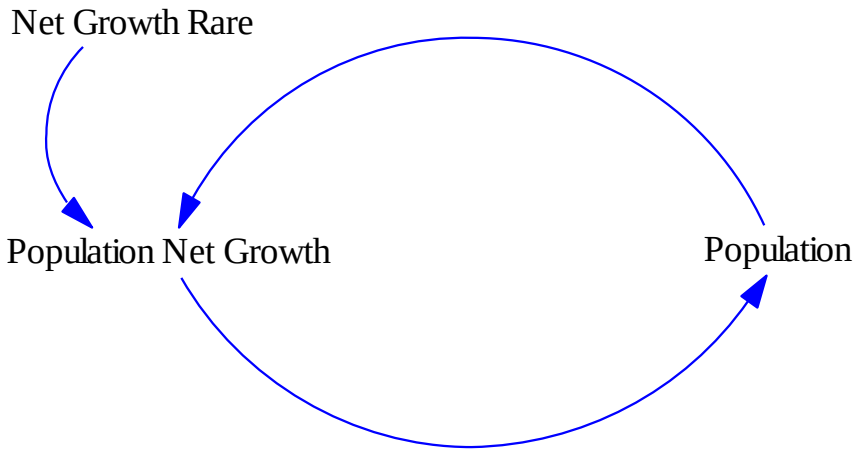
صفحه ی اصلی یک سطح ترسیم و یک جدول رنگ و الگوی اضافه را نشان می دهد.از این سطح و پالت رنگ برای ترسیم دیاگرام های حلقه علّی[۴] و موجودی انبار[۵] و دیاگرام های جریان (فلو)[۶] استفاده می شود.با این حال تنها موجودی انبار و فلودیاگرام ها قابلیت ترجمه و تفسیر شدن را در هنگام اجرای

[۴] causal loop diagrams
[۵] stock
[۶] flow diagrams

www.ieun.ir

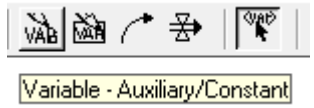
شبیه سازی دارند.نرم افزار VENSIM یک ردیف ۵تایی از ابزار آیکن دار را در زیر نوار ابزار اضافه کرده است.از این آیکن ها برای ترسیم کـردن دیـاگرام هـا استفاده شده است.برای دیاگرام های حلقه ی علّی فقط ابزار متغییر (variable tool) و ابزار اتصال (connector tool) استفاده شده اند.

به عنوان مثال حلقه ی علّی زیر را رسم کرده ایم.شکل ۳



شکل ۳ مدل علّی یک مدل جمعیتی

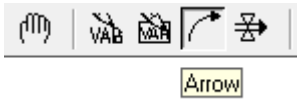
با استفاده از ابزار "متغییر" در ردیف آیکنی می توانیم متغییر های خود را وارد و اسم گذاری کنیم کلمه ی VAR را در کنار دکمه ی این ابـزار مـی تـوانیم ببینیم همچنین می توانیم با قرار دادن ماوس بر روی هر قسمت یک صفحه ی کوچک بـالا رونـده بـاز مـی شـود کـه اسـم آن آیکـن را نشـان مـی دهـد.



برای این مثال بر روی قسمت "Variable – Auxiliary/Constant." کلیک کرده و متغییرهای net growth rate normal, population net growth rate, و population را در صفحه ی اصلی ایجاد می کنیم.

www.ieun.ir

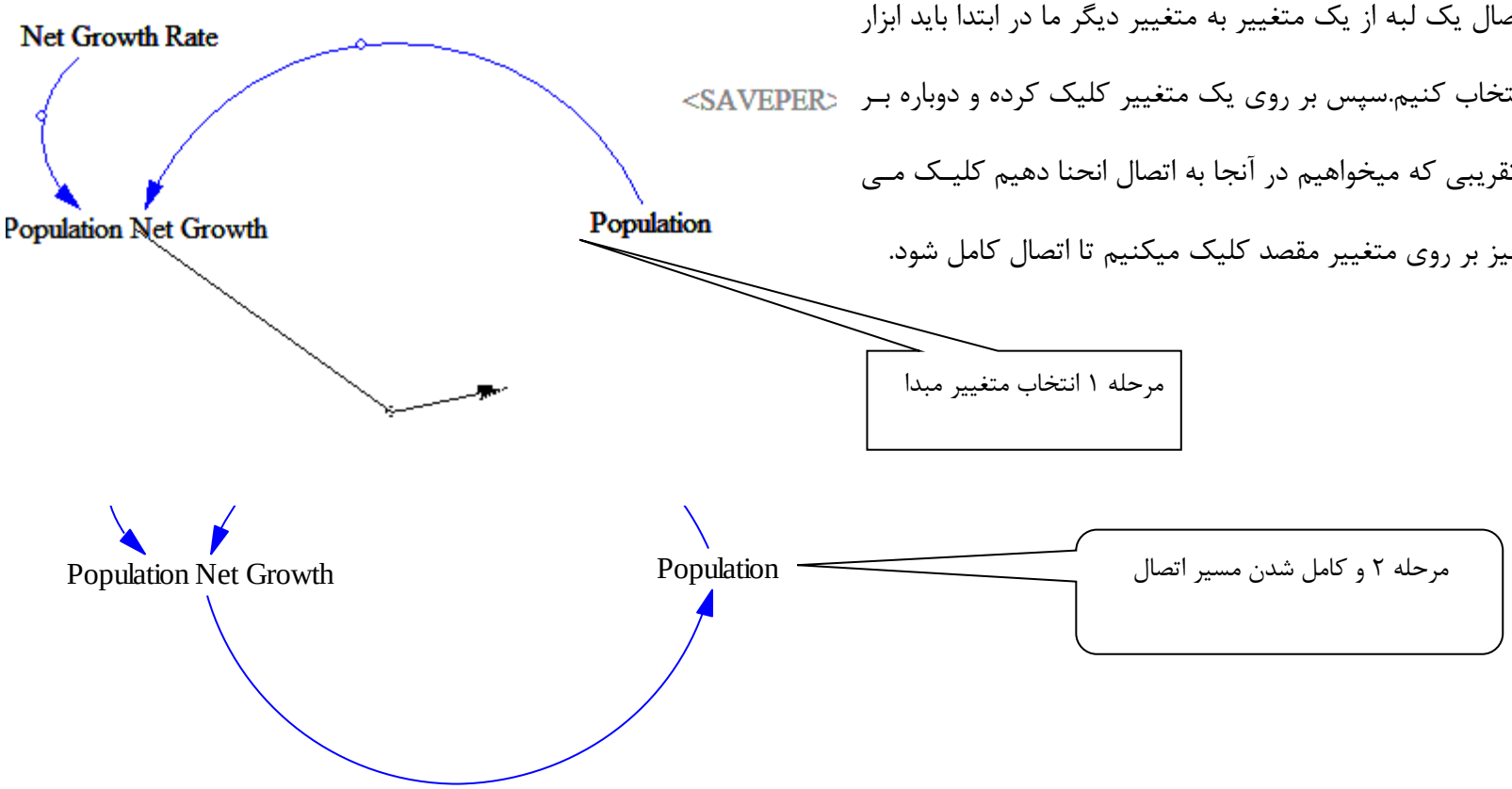
در قدم بعدی اتصالات یا لبه ها را اضافه می کنیم.برای این منظور از ابزار "Arrow" که در چهارمین ردیف از قسمت جعبه ابزار قرار گرفته است ، اسـتفاده



می کنیم.

برای اتصال یک لبه از یک متغییر به متغییر دیگر ما در ابتدا باید ابزار "Arrow" را انتخاب کنیم.سپس بر روی یک متغییر کلیک کرده و دوباره بـر روی یک نقطه تقریبی که میخواهیم در آنجا به اتصال انحنا دهیم کلیـک مـی کنیم و در آخر نیز بر روی متغییر مقصد کلیک میکنیم تا اتصال کامل شود.

<SAVEPER>



در بعضی موارد می توان ابتدا بر روی متغییر مبداء یا اصلی کلیک کرد و سپس بر روی متغییر مقصد نیز کلیک کرد و نرم افزار اتصال را به صورت خودکار ایجاد می کند که بعضا یک خط راست است و گاها نسبت به اتصال یا لبه ی انحنا دار دارای ظرافت کمتری است.

www.ieun.ir

تبدیل دیاگرام حلقه ی علّی به دیاگرام استوک و جریان

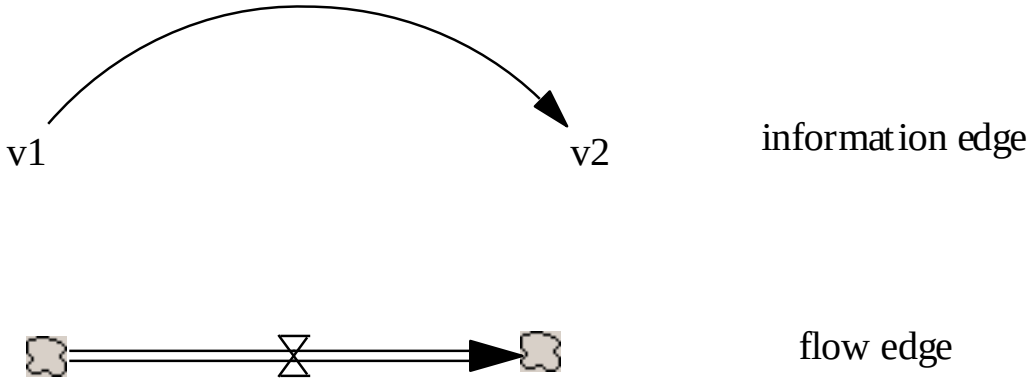
گذار از دیاگرام حلقه ی علّی به دیاگرام استوک و جریان توسط کاربر می بایست انجام شود. تاکنون هیچ نرم افزاری وجود نداشته که این عمل را برای سازندگان مدل انجام دهد وجود ندارد.برای انجام این تبدیل و انتقال هر متغییر و لبه(edge) در دیاگرام حلقه ی علی مربوط به نوع باید مشخص و معین شود.سه نوع متغییر وجود دارد و دو نوع لبه در VENSIM وجود دارد.انواع شکل های متغییر عبارتند از "Auxiliary/Constant" ، "stock" (همچنین به آن box یا level یا state نیز گفته می شود.) و نرخ متغییر یا " rate variable" نوعها و مدلهای لبه(edge) ،از نوع اطلاعات (که بعنوان یک اتصال و رابط برای لبه ی مدل که در دیاگرام حلقه ی علی استفاده شده است، نمایش داده شده است) و فلو هستند.مدل های یک متغییر در زیر نمایش داده شده است.

auxiliary	Auxiliary/constant/input/output
stock	stock (state, box, level)
rate	rate variable

تعریف ها و توصیفهای بالا هیچ چیزی درباره ی ویژگی خود متغییر ها نمی گوید.مثلا یک متغییر stock نقطه ای را که محتوی می تواند روی هم جمع شود یا تقلیل یابد را نمایش می دهد مانند وان حمام یا یک مخزن گاز و.....

مدلها و نوعهای مختلف لبه را در شکل زیر میبینیم.

www.ieun.ir



شکل ۴ مدل لبه ها در VENSIM

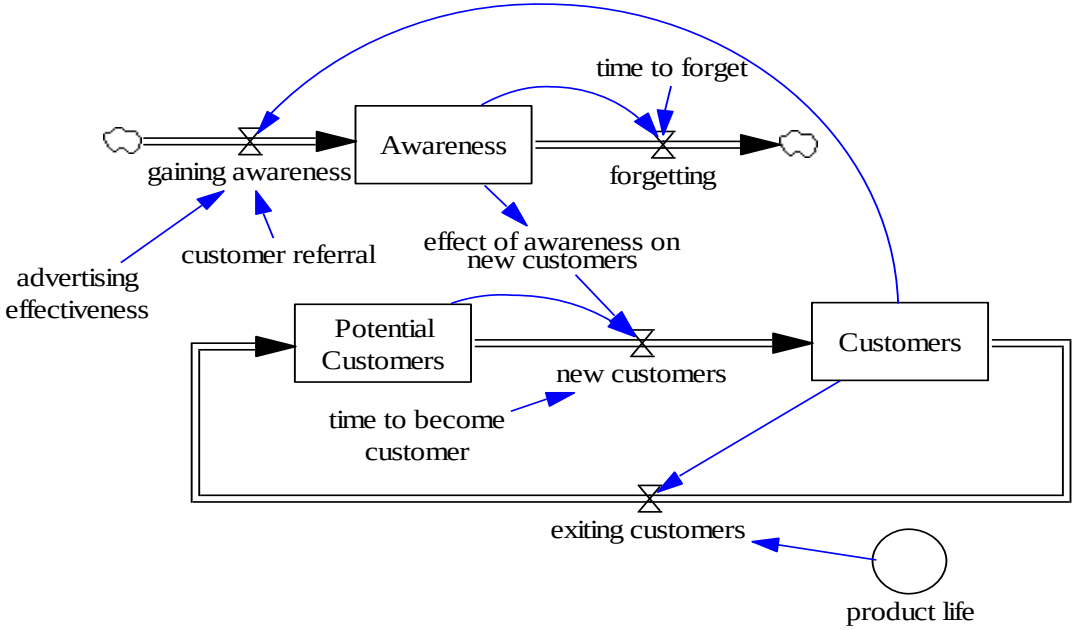
برای ترجمه و تبدیل یک دیاگرام حلقه ی علی به دیاگرام استوک و فلو ابتدا می بایست تمامی متغییر ها و نوع لبه ها را مشخص کنیم.با این حال خیلی وقت ها وقتی ما این کار را می کنیم چیزها (متغییر ها و لبه ها) یی را کشف خواهیم کرد که گم و ناپیدا هستند و از این گذر می بایست خودمان متغییر هایی /لبه هایی را جهت ایجاد یک دیاگرام استوک و فلو مناسب و مربوط به مدل اضافه کنیم.

دلیلش اینست که یک مدل نوعی که به دلایلی دیاگرام حلقه ی علی است ممکن است به علل مختلفی ایجاد شده باشد و لزوما برای تبدیل به دیاگرام استوک و فلو نباشد.اغلب دیاگرام های حلقه ی علی برای معین کردن روابط علّی به شکل موثر، ایجاد شده اند و اینکه چه ساختاری برای تسهیل کردن و سرعت بخشیدن در تبدیل به دیاگرامهای استوک و فلو لازم است ، در نظر گرفته نشده است.بیشتر اوقات وقتی چنین اتفاقی می افتد نرخ متغییر ها حذف می شود.

بنابراین ما می بایست دیاگرام های حلقه ی علّی را دستی به دیاگرامهای استوک و فلو تبدیل کنیم.وقتی که این کار انجام شد آنگاه می توانیم دیاگرامهای استوک و فلو را در صفحه ی اصلی VENSIM نمایش دهیم.به عنوان مثال ما در مثال ساده ی قبل که در مورد رشد جمعیت بود را به دیاگرامهای استوک و فلو تبدیل خواهیم کرد.قبل از اینکه ما بتوانیم این کار را انجام دهیم به تعدادی قواعد و قانون نیاز داریم.مثلا در هر دیاگرام حلقه ی

www.ieun.ir

علّی که شامل یک جفت متغییر در یک حلقه است ، یکی از آن متغییرها می بایست نرخ و آن یکی دیگر هم باید یک استوک باشد.این حلقـه بـا اسـتفاده از یک جفت از لبه ها ایجاد شده است.یکی از این لبه ها باید لبه ی اطلاعات و دیگری نیز باید لبه ی فلو باشد.



شکل ۵ مثالی برای لبه های جریان و اطلاعات

مثال ۱: دینامیک های رشد جمعیت

به عنوان مثالی از این روند سنتز و تبدیل ،یک مدل ساده از یک سیستم جمعیتی را در نظر میگیریم.مانند یک چاله مورچه یا کندوی زنبور عسل که یک مدل واقعی و ساده است.برای سادگی در مدل سازی منبع غذایی را نامحدود و محدوده ی محیط زیست را بی حد و حصر فرض می کنیم ،که منجر به رشد جمعیت می شوند.رشد جمعیت را ممانعت نشده فرض میکنیم و بنابراین مدل نیاز دارد فقط خود جمعیت را در بر داشته باشد و نه محدودیت های دیگر که تحمیل خواهد شد.

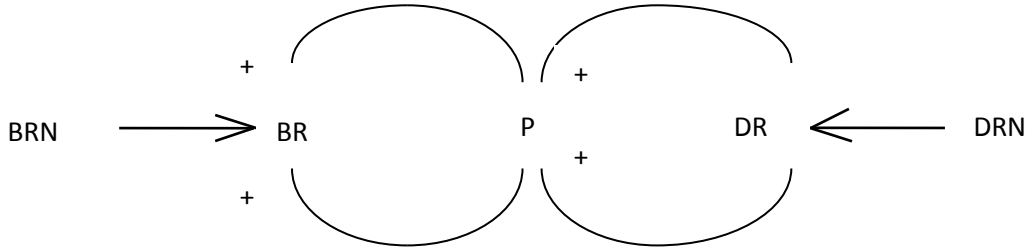
www.ieun.ir

کمیت هایی که باید توسط شرایط مرزی موجود ، رده بندی و استنتاج شوند در جدول ۱ همراه با یکدیگر و واحدهای همراه با آن آمده است.

جدول ۱ لیست کمیت های موجود در مدل رشد جمعیت

Quantity	Name	Units
P	Population	capita
BR	Birth Rate	births/time unit
DR	Death Rate	deaths/time unit
BRN	Birth Rate Normal	births/ (capita-time unit)
DRN	Death Rate Normal	deaths/ (capita-time unit)

بعد از لیست کردن متغییر های مهم در جدول بالا کوپلینگ و ارتباط کمیت های مختلف را با یکدیگر مشخص می کنیم .جزئیات لازم برای انجام این مرحله را در ادامه خواهیم آورد.وقتی که کوپلینگ و ارتباط کمیت ها معین شدند، یک گراف که ارتباط بین کمیّت ها را نشان میدهد می بایست رسم شود.که ما به این گراف، دیاگرام علّی (causal diagram) می گوییم. دیاگرام علّی برای مدل ساده ی رشد جمعیت در شکل زیر نشان داده شده است

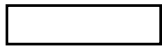


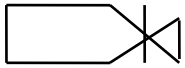
شکل ۶ مثالی برای لبه های جریان و اطلاعات

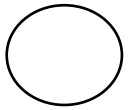
یک فلش از یک کمیت(کمیت اوّل) به کمیت دیگر(کمیت دوّم) وصل شده است که به یک ارتباط یا کوپلینگ اشاره دارد.اگر علامت همراه شده با ارتباط مثبت باشد ، به آن کمیتی(کمیت اوّل) که از آن به کمیت(کمیت دوّم) دیگر هدایت شده است گفته می شود که تاثیر مثبت بر روی کمیت (کمیت دوّم) سمت دیگر فلش دارد.

www.ieun.ir

تحلیل گر با استفاده از مدل دیاگرام علّی برای بسط و گسترش شماتیک یا فلو دیاگرام مدل اقدام می کند.به منظور انجام این کار لازم است که تحلیل گر می بایست ویژگی های متمایز هر کمیّت و انواع ارتباط را به خوبی باید در ذهن داشته باشد.

عموما در ترسیم متغییر های اصلی و یا حالات از مستطیل استفاده می کنند. 

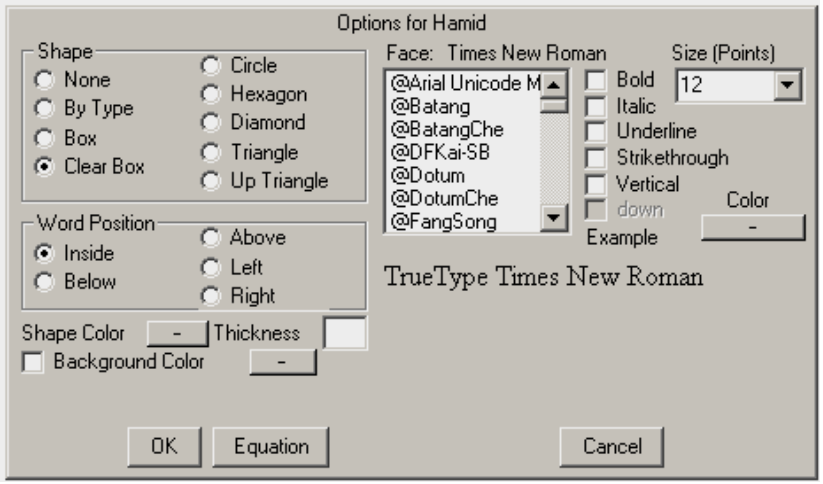
نرخ را با شیرها(valves) نمایش می دهند 

و متغییر های کمکی را نیز با دایره نمایش می دهند. 

و پارامترها را نیز با دایره ی کوچک نمایش می دهند.

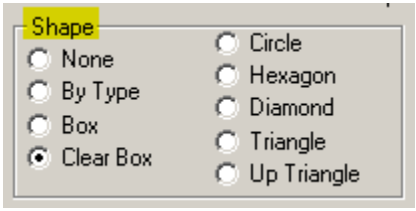
تذکر: در ابتدا ممکن است هیچ یک از اینها نباشند ولی برای ساده سازی کار و کاهش پیچیدگی های شکل می توانیم هر متغییر را که در صفحه قرار دادیم با کلیک بر روی آن شکل مختص به آن را نیز قرار دهیم.

در مرحله ی بعد نیز از قسمتی که در زیر می بینیم می توانیم شکل را تغییر دهیم.



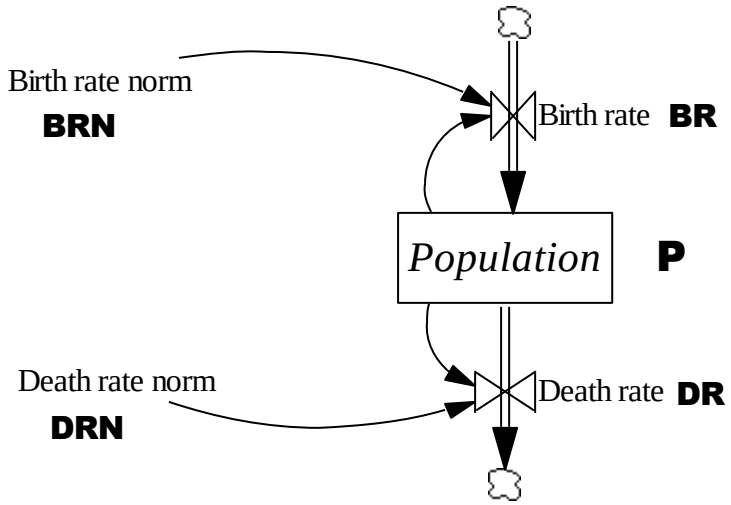
شکل ۷ تمامی گزینه های ممکن برای اصلاح شکل ،فونت و اندازه ی یک متغییر

www.ieun.ir



شکل ۸

در نرم افزار VENSIM دو ارتباط یا کوپلینگ وجود دارد که عبارتند از کوپلینگ فلو و کوپلینگ اطلاعات. کوپلینگ فلو با خط های پر و کوپلینگ اطلاعات را باخط تیره مشخص شده اند.زمانی که همه ی کوپلینگ ها و کمیت ها مشخص شدند می توان شکل مدل را ترسیم کرد.شکل ۹



شکل ۹ ترسیم نهایی مدل جمعیتی

از شماتیک مدل قادر خواهیم بود معادلات را برای هر یک از متغییرها و پارامترهای مدل ، بنویسیم.مقادیر پارامتر از مشاهدات و اندازگیری هایی که مستقیما از سیستم بدست آمده است.برای مثال فرض می کنیم که ۴ تولد در هر ۱۰۰ سرانه در واحد زمان باشد مشاهده شده باشد و به همین شکل نیز ۲,۸ مرگ در ۱۰۰ نفر در واحد زمان مفروض باشد.

داریم:

www.ieun.ir

BRN = .۰٤
DRN = .۰۲۸ .

سه معادله ی دیگر را نیز بدون هیچ توجیهی ایجاد کرده ایم.

P (t+Δt) = P (t) + Δt*(BR-DR)
P (۰) = ۱,٦٥E٩
BR = P*BRN
DR = P*DRN

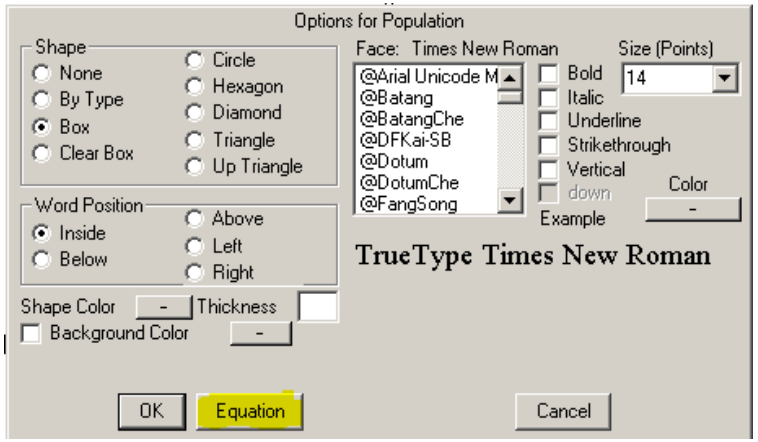
با استفاده از این معادلات می توان شبیه سازی را آغاز نمود شبیه سازی چیزی جز حل این سه معادله با مقادیر اولیه شان نیست.در زیر می توان کد حل این معادله را دید که در هر نرم افزار برنامه نویسی مانند متلب می توان کد آن را زد و حل کرد.در این کد گام زمانی ۲ واحد زمان است و یک محدوده ی زمانی ۵۰ واحدی نیز تعیین شده و یک جمعیت ۱۰۰۰ نفری نیز مفروض است.

```
BRN = .۰٥
DRN = .۰۳
P = ۱۰۰۰.
T = ۰.
DT = .۲
FOR I = ۱،۱۲٥۱
BR = P*BRN
DR = P*DRN
PRINT    T,P,BR,DR
P = P + DT*(BR - DR)
T = T+DT
NEXT
STOP
END
```

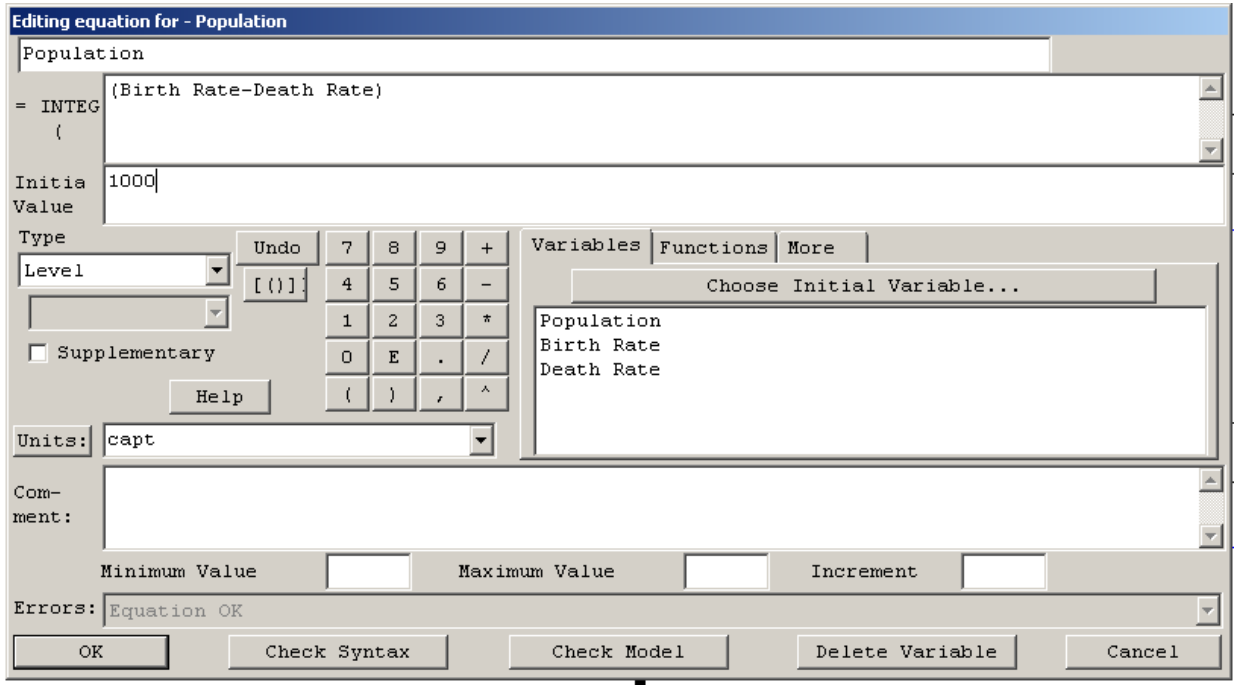
برای حل این معادله در نرم افزار VENSIM می توانیم از ابزار معادله **"equation tool"** که در منتها الیه قسمت راست ابزار اصلی قرار دارد و دارای سمبل $Y=x^{۲}$ است.

www.ieun.ir

نرم افزار VENSIM به صورت خودکار تمامی متغیر هایی که نیاز به معادله ی مربوط دارند برجسته یا های لایت میکند.زمانی که بر روی هریک از این متغییر ها راست کلیک کنیم یک جعبه ی محاوره ای باز می شود که **" equation editor"** یا ویرایشگر معادله نام دارد.

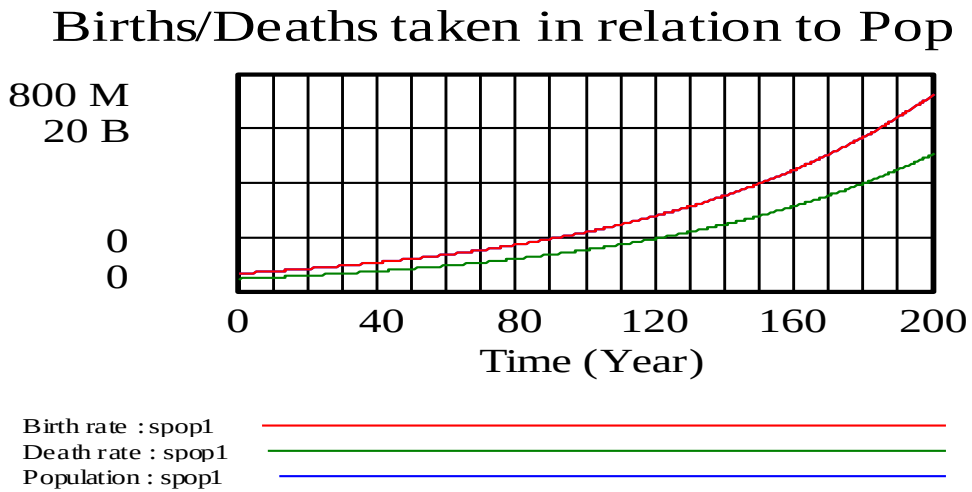


شکل ۱۰ تمامی کار های ویرایشی که می توان بر روی یک متغییر انجام داد در این جعبه نمایش داده می شود ما در این قسمت فقط با Equation سروکار داریم.



شکل ۱۱ ویرایشگر معادله " equation editor" دارای ابزار ها و قسمت های مختلفی برای وارد کردن و تصحیح معادلات است.شاید مهم ترین قسمت VENSIM همین قسمت باشد.

www.ieun.ir



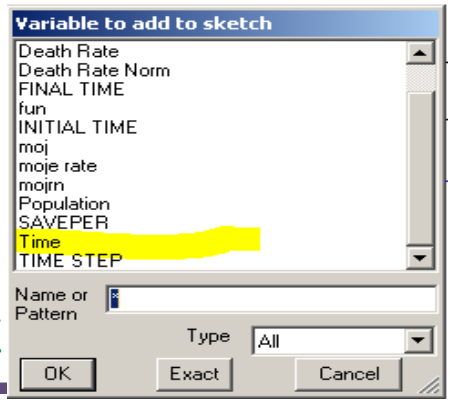
شکل ۱۲ رفتار بروز داده شده در مدل نمایی رشد جمعیت

مثال ۲ رسم یک تابع سینوسی

در این قسمت متغیر های سایه را معرفی می کنیم.به شکل ساده یک تابع سینوسی که تابع زمان است را رسم کرده ایم. Y=SIN(t)

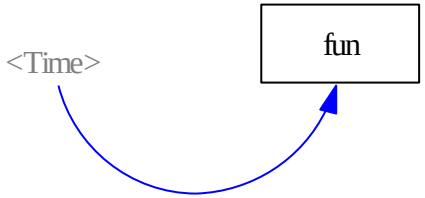
متغیر های سایه یا shadow variables متغیر هایی هستند که در زمان تعیین مدل به طور خودکار در محیط کار وارد شده و در هر قسمت از مدل قابل استفاده هستند.

در ابتدا یک متغیر اصلی را تعریف کرده و fun نامیده ایم که مانند y عمل کرده و <time> نیز مانند t عمل می کند.از منوی ابزار ترسیم را انتخاب کرده ایم.با کلیک در صفحه ی ترسیم شکل زیر ظاهر خواهد شد.و ما Time را انتخاب کرده ایم.

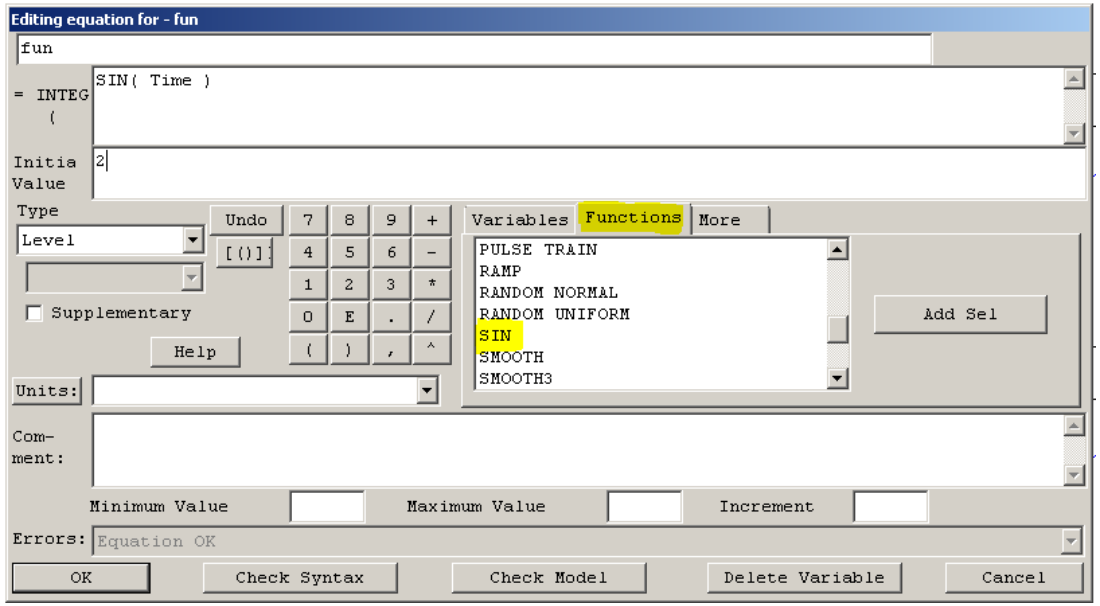


www.ieun.ir

با متصل کردن متغیر ساده به متغیر level یا اصلی شکل زیر به دست می آید.

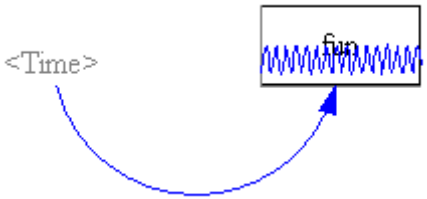


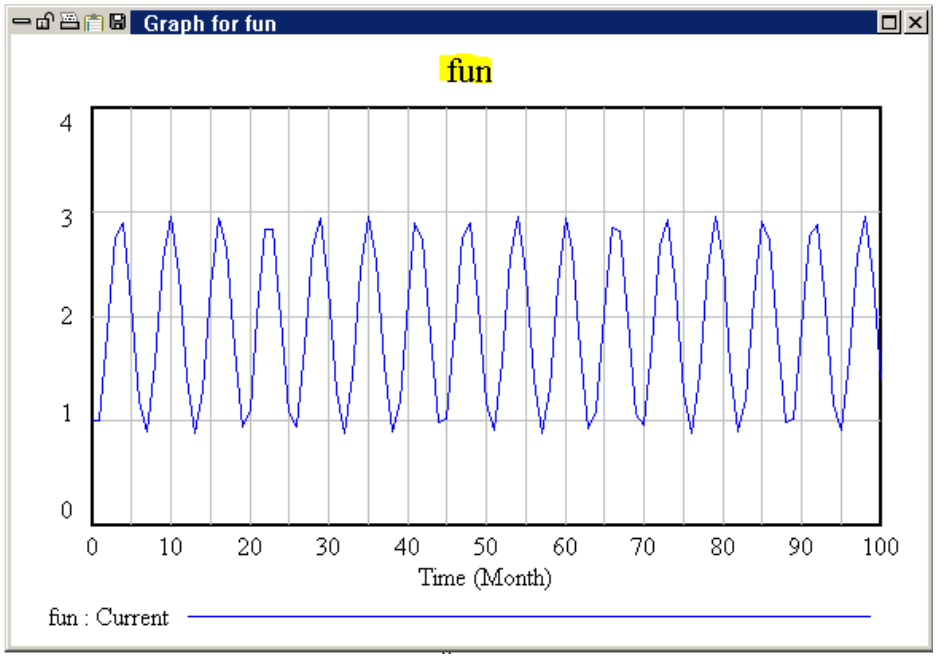
در ادامه معادلات مربوط به متغیر سطح را وارد خواهیم کرد.



در این قسمت به تب Functions می روریم و تابع دلخواه خودمان(در اینجا سینوس) را انتخاب می کنیم و متغیر زمان را به عنوان ورودی تابع قرار می دهیم در ادامه نتایج ترسیم را خواهیم دید.

www.ieun.ir



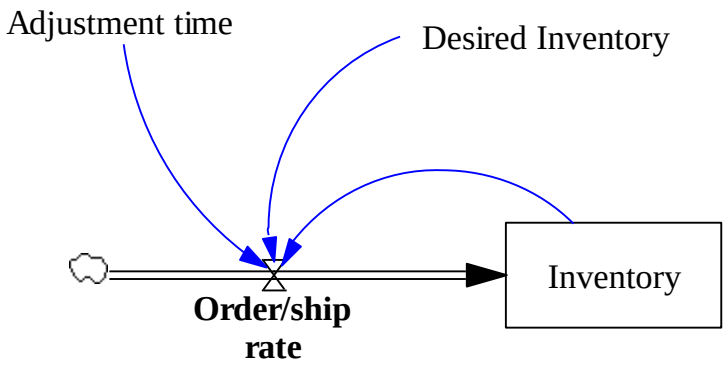


مثال ۳ مدل سازی یک قسمت از موجودی

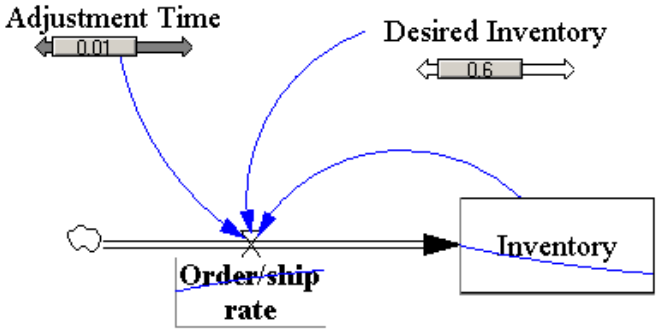
موقعیت زیر از یک شرکت فروشنده ی تلویزیون اقتباس شده است که خواستار نگه داشتن موجودی در مقدار مطلوب DI است.مدل نشان میدهد که دستگاههای تلویزیون فروش خیلی زیادی نداشته است.این شرکت در حال حاضر به شکل محدود و میانه ای تقاضای ثابت D واحد در ماه را تجربه می کند.سیاست و خط مشی سفارش دهی شرکت کاملا ساده است.موجودی واقعی را نزدیک به موجودی مطلوب تنظیم و تغییر می دهند تا به نزدیک ترین

www.ieun.ir

حالت برسند.در حال حاضر موجودی کم است و I واحد باقیمانده است.زمان مورد نیاز برای برگشت موجودی AT در نظر گرفته شده اسـت.که معادلـه ی آن عبارت است از:**OR = (DI - I)*AT**



فلو دیاگرام برای مسئله موجودی

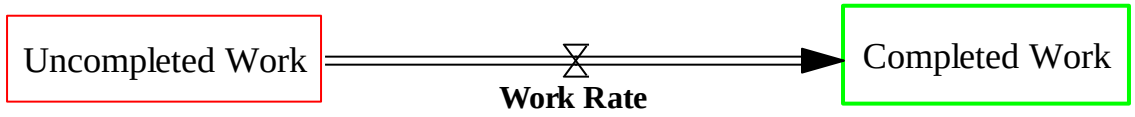


مثال ۴ مدل سازی داینامیک های یک پروژه

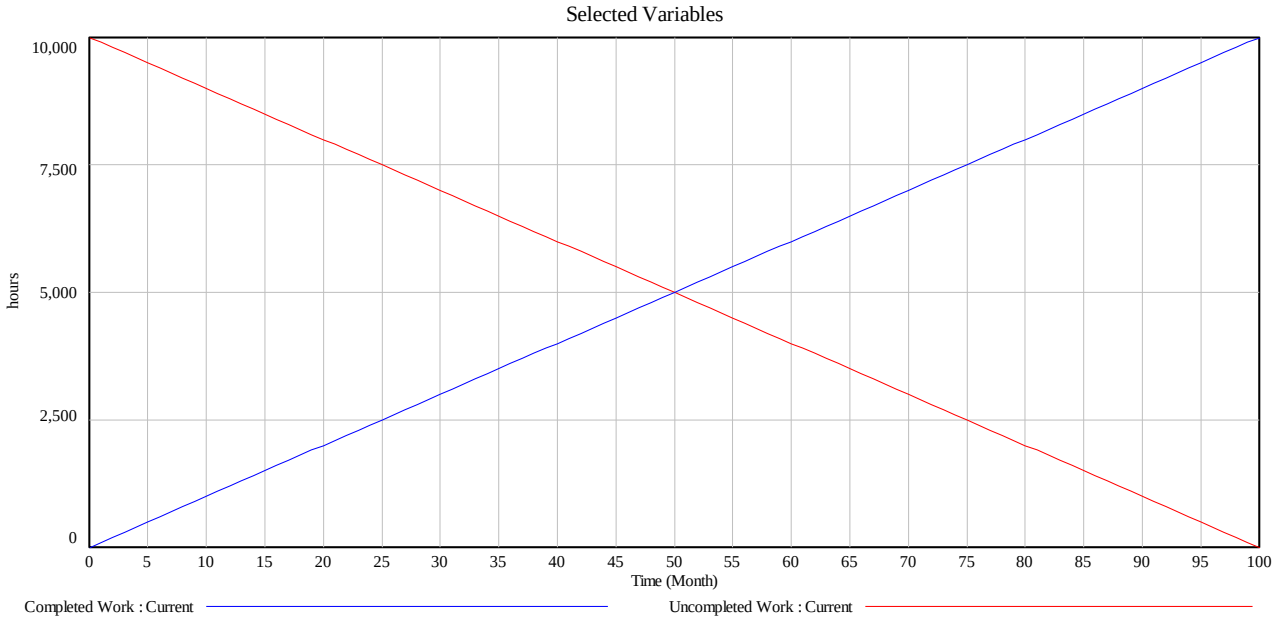
آنچنان که می دانیم پروژه ها با تعداد بسیار زیادی از بلوک های کار های انجام نشده شروع می شوند.نهایتا این بلوک ها باید در یـک پـروژه کامـل شوند.همچنین طبق یک نرخ فلوی خاص کارهای کامل نشده در محدوده ی کارهای انجام قرار می گیرد.بدیهی است که نرخ انجام کارها وابسـته بـه تعـداد کارگران و بازده ی کاری آنها و... است.بر مبنای این سناریوی ساده دو متغیر اصلی یا استوک یا سطح (Level) داریم و که از یکی شروع به تهی شـدن مـی

www.ieun.ir

کند.همچنین یک نرخ انجام کار هم وجود دارد این نرخ سرعت تبدیل کارهای انجام نشده و ناکامل را به کارهای تکمیل شده مشخص می کند.در اینجا مـی توانیم واحد کار را ساعت Hour و نرخ را ساعت بر ماه Hour/Month در نظر بگیریم.



نتیجه ی خروجی را در شکل زیرمی بینیم.



مدل بالا آنچنان که از ظاهر آن معلوم است غیر واقعی است.از این نظر انتظار داریم که برای کار بر روی یک پروژه می بایست چندین نفر به کـار گرفتـه شـوند.مدل بالا فرض می شود که فقط یک نفر را در ۵/۸ زمان در نظر بگیرد.نوعا ۱۶۰ ساعت در یک ماه وجود دارد با فرض ۴۰ ساعت کار در یک هفتـه.اگر فـرض کنـیم یـک

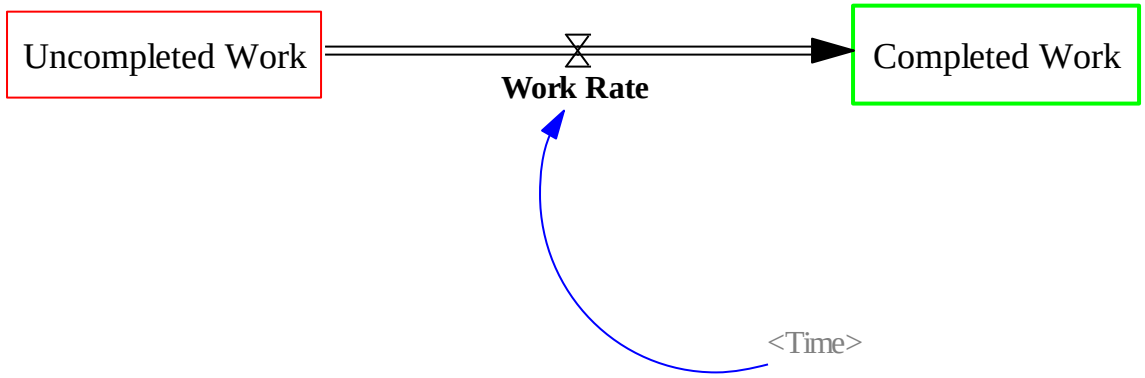
www.ieun.ir

شخص یک ماه برای هر یک از ۵ ماه اول به کار گرفته می شود.با این مفروضات مدت زمانی که طول خواهد شید که پروژه تمام شود تغییر خواهد کرد زیرا نرخ انجام کار تغییر کرده است.مطمئنا کمتر از ۱۰۰ ماه طول خواهد کشید.اگر همه ی ۵ نفر در زمان شروع پروژه آماده و در دسترس باشند سپس ۱۶۰*۵ یا ۸۰۰ ساعت در ماه فراهم خواهد شد و این پروژه در ۱۲,۵ ماه کامل خواهد شد.اگر چه هر شخص بتدریج آمده است و این علتش اینست که مدیر پروژه در یک زمان فقط یک شخص را می تواند آموزش دهد.زمانی که او برای آموزش صرف می کند در همین ۱۰۰۰۰ ساعت تقریبی قرار می گیرد.همچنین فرض کنید زمانی که در ماه اول هر شخص به لحاظ زمانی نصف نرخ نرمال آن دارای بازده است.با این فرضیات می بایست برای WORK RATE یک تابع جدید طرح کنیم که عبارت است از: Work rate = ۱۶۰ * time if time<=۵ and ۸۰۰ if time is greater than ۵

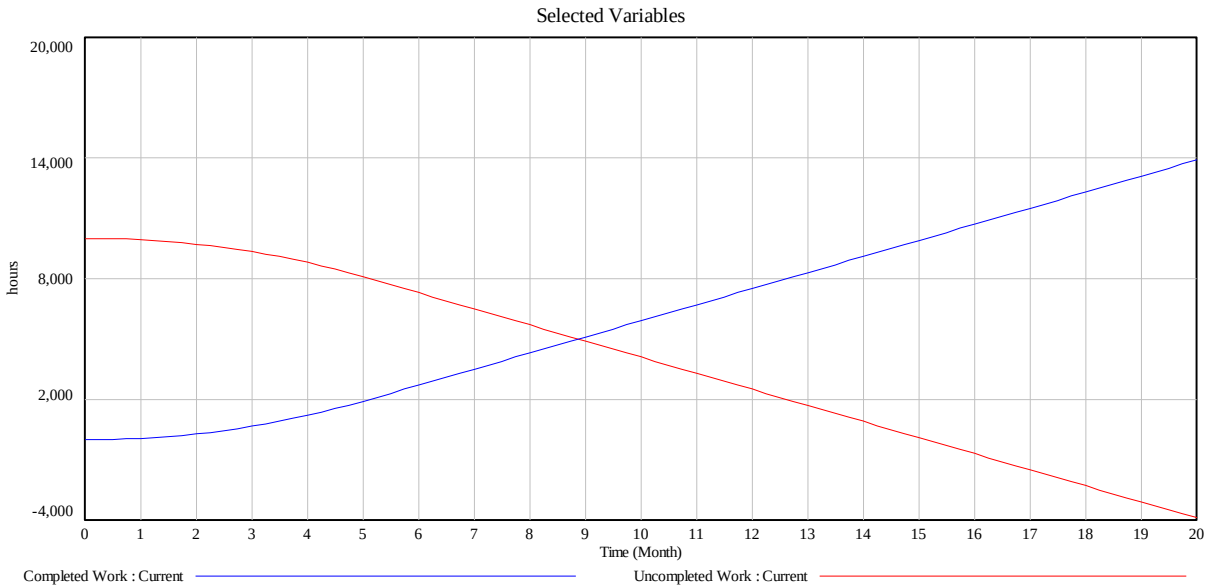
که در VENSIM با تابع :

IF THEN ELSE(time<=۵،۱۶۰*time, ۸۰۰)

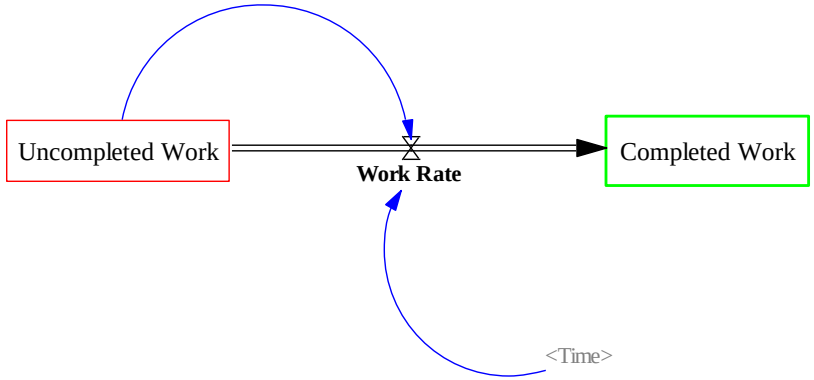
مطرح می شود.در این رابطه اولین عنصر جمله ی شرطی ، جمله ی دوم نتیجه ای است که تابع در صورتی که جمله صحیح باشد بر می گرداند و جمله ی سوم نیز در صورتی عبارت شرطی غلط باشد تابع آنرا بر میگرداند.



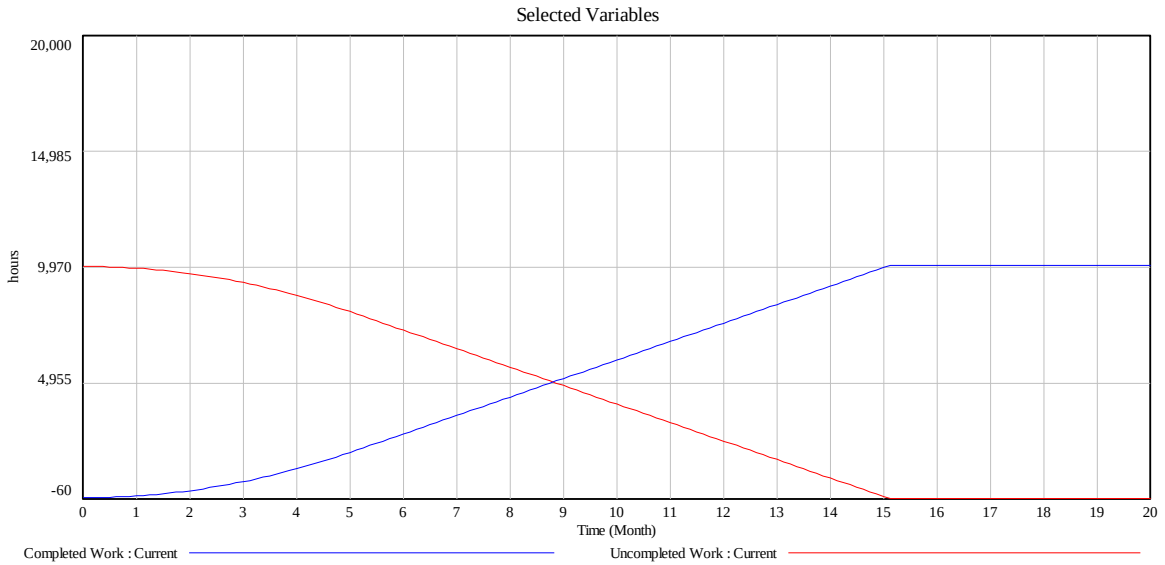
www.ieun.ir



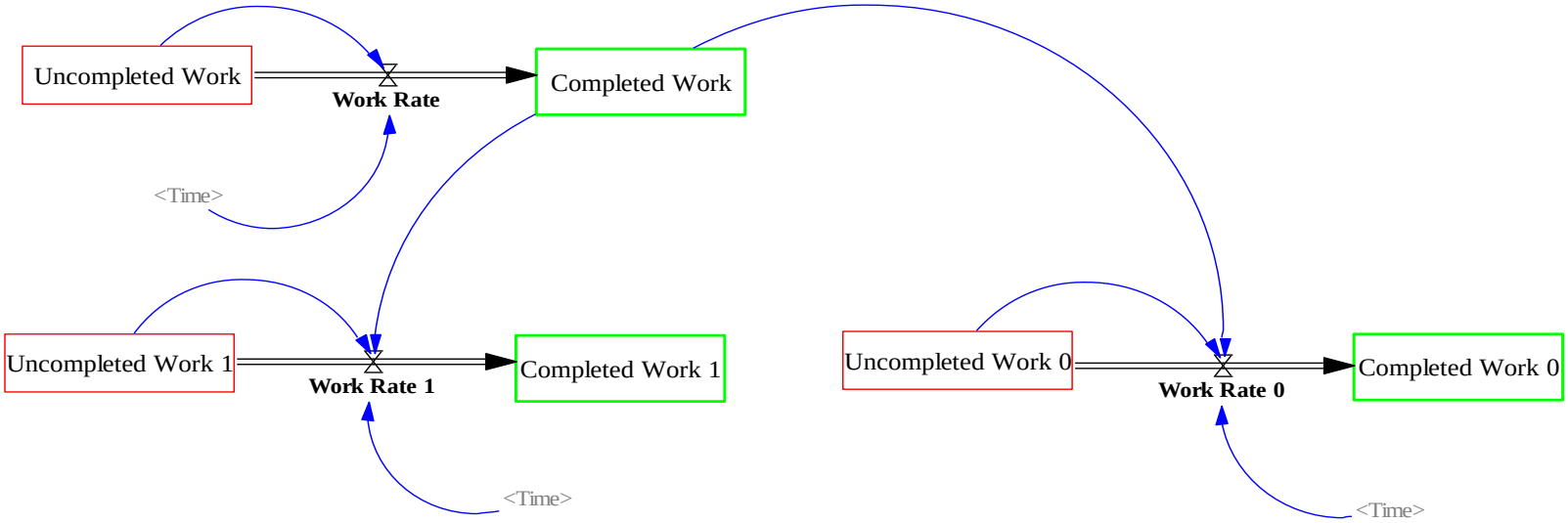
برای واقعی تر کردن شکل بالا یک شرط دیگر نیز به نرخ کار اضافه شده و به تبع آن باعث تاثیر و تاثّر از کار های انجام نشده می شود و دیاگرام نیز به شرح زیر تغییر خواهد کرد.



www.ieun.ir

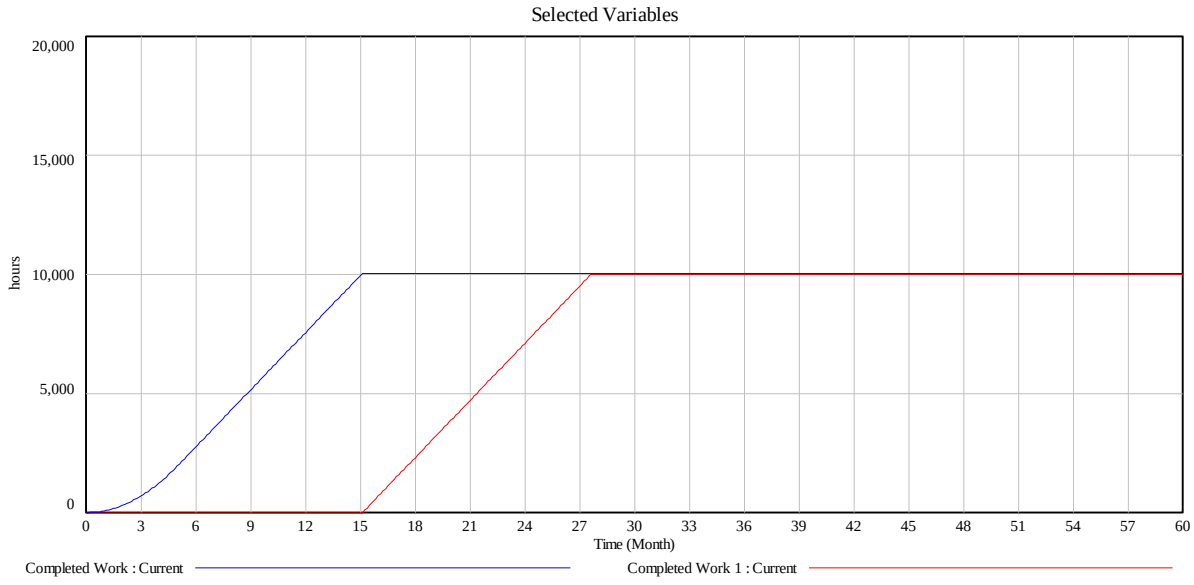


حال اگر فرض کنیم این ۱۰۰۰۰ ساعت کار کامل نشده فقط یک جزء ابتدایی از سه فاز بزرگتر پروژه باشد و تا هر مرحله از این سه فاز کامل نشـود نتـوان وارد فـاز دیگر کار شد.



www.ieun.ir

که دارای خروجی شبیه به زیر است.

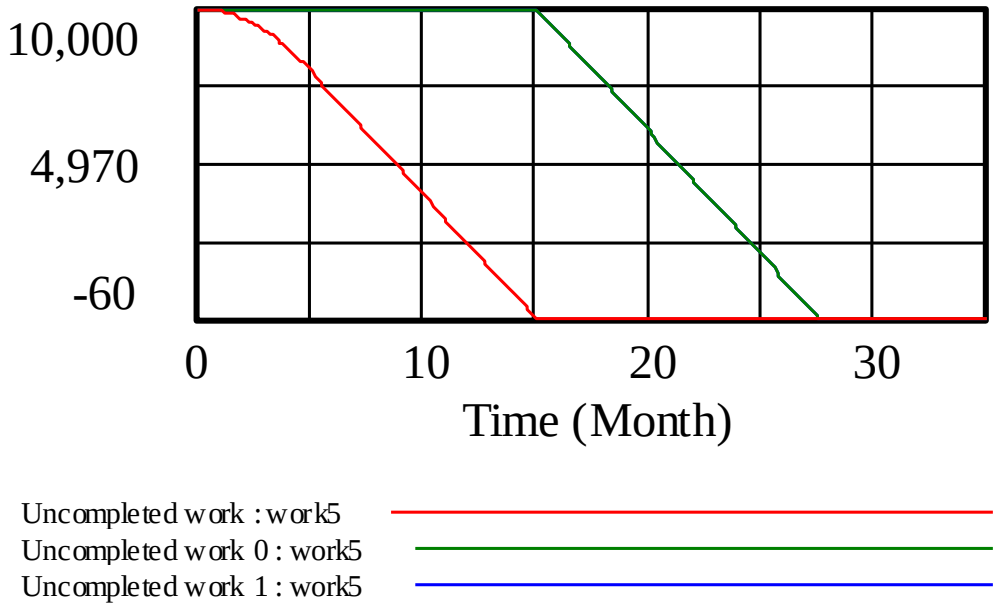


زمانی که ترسیم پایان یافت دوبار بر روی ویرایشگر معادله ی work۰ و work۱ کلیک می کنیم و رابطه ی زیر را به گونه ای ایجاد می کنیم که تحت شرط تکمیل مرحله ی اول کار کند.پس شرط اول را از ورودی به نرخ انتخاب می کنیم و رابطه ی زیر را ایجاد می کنیم.

IF THEN ELSE(Completed work>۹۹۹۹,IF THEN ELSE(Uncompleted work ۰>۰, IF THEN ELSE(Time<=۵،۱۶۰*Time, ۸۰۰), ۰),۰)

در شکل بالا دیده می شود که مرحله بعدی وقتی شروع می شود که مرحله ی قبل تقریبا پایان یافته باشد.

www.ieun.ir

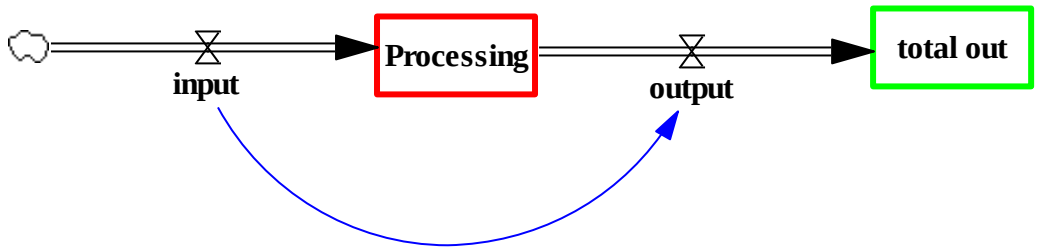


مثال ۵ فرایند تسمه نقاله

گاها در یک مدل نیاز داریم نشان دهیم که هر مقدار از ورودی متریال برای یک مقدار معین و ثابتی از زمان قبل از خروج در متغیر اصلی یا استوک یا سطح می ماند.به طور مثال یک فرایند انتقال مواد را در نظر بگیرید که در آن فرایند تعدادی از دسته های ورودی برای یک مدت معین وارسی می شوند.البته این فرایند انتقال را می توان به گروهی از افراد که توسط یک ویروس آلوده شده اند تعمیم داد.که این دوره رشد نهفته ۳ روزه دارد.برای این مثال در یک دوره ی ۱۲ روزه مدل را شبیه سازی می کنیم که در آن *TIME STEP* = ۰,۲۵ days

فرض کنیم ورودی input برابر ۱۰۰ باشد.حال با استفاده از تابع **DELAY FIXED**(*amount*, *duration*, *start*) خروجی را به ورودی با تاخیر مدل می کنیم.**DELAY FIXED**(input, ۳, ۰) طول تاخیر را سه روز در نظر می گیریم.

www.ieun.ir



www.ieun.ir

نوار ابزار اصلی	
توضیح	شکل Button
New Model: یک مدل VENSIM جدید را ایجاد می کند.	
Open Model :یک مدل VENSIM که قبلا ایجاد شده را باز می کند..	
Save: مدل VENSIM را تحت نام فعلیش ذخیره می کند.(نام را می توان در قسمت منوی "File" با استفاده زا قسمت "Save As" تغییر داد و ذخیره کرد.)	
Print: برای چاپ کردن کل یا یک قسمت از کار می توان از این قسمت استفاده کرد همچنین از شکل پرینت بر نوار استاندارد نیز می توان استفاده کرد.	
Cut: قسمت انتخاب شده را بریده و در حافظه ی موقت ویندوز قرار می دهد.	
Copy: انتخاب فعلی را در حفظه ی موقت ویندوز کپی می کند.	

www.ieun.ir

Paste: محتوی فعلی حافظه ی ویندوز را در صورتی که با فرمت داده های نرم افزار ونسیم مطابقت داشته باشد در محیط آن بر می گرداند.

Set up a Simulation: نکات مهم ثابت ها و مراجعات موجود بر روی صفحه ی ترسیم را مشخص مـی کنـد.کلیک کـردن بـر روی هـر اسـم امکان اصلاح موقتی آنرا به ما میدهد.

Name the Simulation to be Made: مجموعه داده ی انتخاب شده در این جعبه نشان داده می شود.

Run a Simulation : برای اجرای شبیه سازی از این قسمت استفاده می شود و در صورتی که دیتا ست نشان داده شده در جعبـه ی کنـاری موجود باشد پرسیده می شود که آیا می خواهید آنرا را بازنویسی (overwrite) کنید.

Automatically simulate on change (SyntheSim) کلیک کردن بر این آیکن باعث می شود که یک سری اسـلایدر بـار بـه تمـامی ثابت ها و متغییر ها اضافه شود و با تغییر هریک نتایج شبیه سازی نیز همزمان تغییر می کند.

Run Reality Checks: به کاربر این اجازه را می دهد که حکم و نظر درستی را در مورد یک مدل ارئه دهد و به طـور خودکـار یـک مـدل را برای تطبیق با حکم های مورد نظر تست می کند.به عبارت دیگر یک تکنیک برایساخت مدل و تصحیح و پالایش آن است.

Build Windows - show/circulate: صفحه های باز را که گراف ها یا شکل های دیگر را کـه در حـال نشـان دادن اسـت را مـی بنـدد.و صفحه ی مدل را فقط نشان می دهد.

Output Windows - show/circulate: صفحاتی را که با استفاده از ابزار ترسـیم آورده ایـم در صـورتی کـه در صـفحه اصـلی نباشـند را برمیگرداند.و بزرگ یا ماکزیماین می کند.

www.ieun.ir

Control Panel: کنترل پنل را نشان میدهد و می توان با استفاده از این قسمت متغیر های در حال استفاده در میزکار را تصحیح کرد اضافه و کم کرد.همچنین در تب های دیگر می توان مقیاس و بازه ی زمانی نمودار ها را نیز تغییر داد و یا یک متغیر را بر حسب متغییر های دیگر در یک بازه ی خاص ترسیم کرد

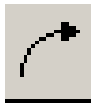
Sketch Tools

Lock Sketch : این علامت در صورت فعال بودن باعث می شو صفحه ی ترسیم قفل شده و نمی توان هیچ تغییری در موقعیت و اندازه ی شکل مدل داد اما می توان آنها را انتخاب کرد.

Move/Size Words and Arrows (Pointer): برای تغییر دادن موقعیت مکانی متغییر ها ، فلش ها و تغییر اندازه ی عناصر موجود در ترسیم از این علامت استفاده می کنیم.

Variable - Auxiliary/constant: این آیکن در صورتی که انتخاب شود متغیرهایی اعم از ثابت ها و متغیر های کمکی را ایجاد می کند.زمانی که آنرا انتخاب کنیم و در صفحه ی ترسیم کلیک کنیم یک جعبه ی بدون حاشیه ایجاد می شود که نام متغیر را درخواست می کند.برای تغییر نام متغییر کافی است ابزار متغییر (variable tools) را انتخاب کنیم و بعد بر روی متغیر راست کلیک کنیم.

Box Variable - Level: متغیرهای اصلی را در یک جعبه ی دارای حاشیه در صفحه ی اصلی ایجاد می کند.با علامت دست می توان اندازه ی این مستطیل را نیز تغیر داد.

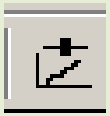


Arrow: یک فلش جهت دار صاف یا منحنی وار را در صفحه ی اصلی ایجاد می کند.و در حکم ارتباط اطلاعاتی است.و به منظور ایجاد یک لینک بین دو قسمت از متغیر/ثابت مبدا کلیک کرده و به متغیر/ثابت مقصد کشیدن (به صورت خودکار هم حرکت می کند) را پایان می دهیم.همچنین می توانیم خط راست ارتباط را با کشیدن دایره ی روی آن به انحنا تبدیل کرد.

Rate : برای ایجا نرخ (فلو) در صفحه ی اصلی باید این آیکن را کلیک کرد.نماد ان در صفحه ترسیم شامل یک شیر،لوله عمودی و در صورت نیاز شامل یک منبع یا سینک(به شکل ابر) است.اگر آنرا انتخاب کنیم باید ابتدا یک مبداء و مقصد را در صفحه ی ترسیم انتخاب کنیم.البته می توانیم مبدا و مقصد نامعلومی داشته باشیم که VENSIM به طور خودکار یک شکل ابر را در ابتدا و انتهای rate قرار می دهد.به طور پیش فرض از منبه به طرف متغیرها می باشد ولی می توان با راست کلیک کردن بر روی دایره های کوچک موجود بر فلش جهت را تغییر داد و دو جهته کردن آنرا یا می توان شکل اتصال را تک خطی و دو خطی و... کرد.

www.ieun.ir

Shadow Variable برای اضافه کردن متغیر مدلی که در صفحه موجود است از این قسمت استفاده می کنیم با انتخاب آن و کلیک در صفحه ی ترسیم به طور خودکار متغیره ایی که در مدل ایجاد شده وجود دارند لیست می شوند.



Input Output Object : این گزینه هم اسلایدر ها و نمودارهای خروجی و جداول را به ترسیم اضافه میکند.بدون اینکه نیاز به باز کردن پنجره ی مخصوص گراف ها باشد.

Sketch Comment : برای اضافه کردن شکل ها، عکس ها و کامنت ها این گزینه را انتخاب کنید.هر جا که بخواهیم کامنت بگذاریم در آنجا کلیک کرده و صفحه ای باز خواهد شد که می توان متن را وارد کرد و در آنجا نوع فونت و حالت متن و اندازه ی قلم را نیز تغییر داد و یا از قسمت پایین آن از فایل های خارج از محیط VENSIM نیز استفاده کرد.

Delete : این شکلک در صورتی که انتخاب شود و بر روی هر متغییر قرار گیرید آنرا حذف می کند البته یک صفحه با چند گزینه باز می شود.که نوع حذف را از ما می خواهد.

Equations : ابزار معادلات با این آیکن نشان داده می شود با استفاده از این می توان معادلات مدل را وارد کرد یا تصحیح کرد.اگر این گزینه انتخاب شود متغیرهایی که بهشان معادله ای نسبت داده نشده بر جسته می شوند (High Light) می شوند

Reference Mode : با استفاده از این قسمت می توان یک سری داده را به صورت دستی به یک مدل داد و حتی یک شکل را با وصل کردن چند نقطه به هم ایجاد کرد.

Analysis Tools

Causes Tree : یک نمایش درختی شکل که علت های متغیر های میزکار را نشان می دهد را ایجاد می کند.

www.ieun.ir

Uses Tree : این قسمت نیز یک نمایش درختی شکل که کاربردها و استفاده های متغیرهای انتخاب شده در میز کار را نشان می دهد.

Causes Strip : اگر این آیکن را کلیک کنیم گرافها در یک نوار واحد همراه با علت های آن رسم می شود و می توان رابطه ی علی را در شکل به طور مستقیم ردیابی کرد و علت های مستقیم متغیرها را در میزکار دید.

Loops : لیست همه ی حلقه های فیدبک که از متغیر کاری می گذرد را نشان می دهد.

Document : برای دیدن کل معادلات تعاریف و واحدهای اندازگیری شده در مدل از این قسمت استفاده می شود هم می توان برای یک متغیر کاری اینها را مشاهده کرد و هم برای تمامی متغییرها

این نماد نیز برای نمایش کل معادلات موجود در صفحه ی اصلی است.

Graph : این آیکن یک گراف را برای متغیر کاری نمایش می دهد البته به صورت بزرگ وکامل.برای تغیر گراف یا سفارشی سازی آن می توان از کنترل پنل استفاده کرد.

Table Time Down : اگر بخواهیم جدولی عمودی از مقادیر متغیر کاری ایجاد کنیم از این آیتم استفاده می کنیم.

Table : این گزینه نیز مانند قبلی است فقط داده های تولید شده از متغیر کاری را سطری ردیف میکند.

www.ieun.ir

Runs Compare : این قسمت تمامی جداول مراجعه و ثابت ها را در اولین مجموعه داده ی بارگذاری شده را بـا دیگـری در دومـین دیتاسـت بارگذاری شده مقایسه می کند.برای مدیریت دیتاست ها از تب دیتاست در کنترل پنـل اسـتفاده مـی شـود.برای تغییـر مرتبـه ی دیتاسـت هـای بارگذاری شده بر روی دیتاستی که در حال حاضر در بالای لیست دیتاست های بارگذاری شده نیست کلیک می کنیم و ایـن دیتـا سـت بـه بـالای لیست حرکت خواهد کرد.