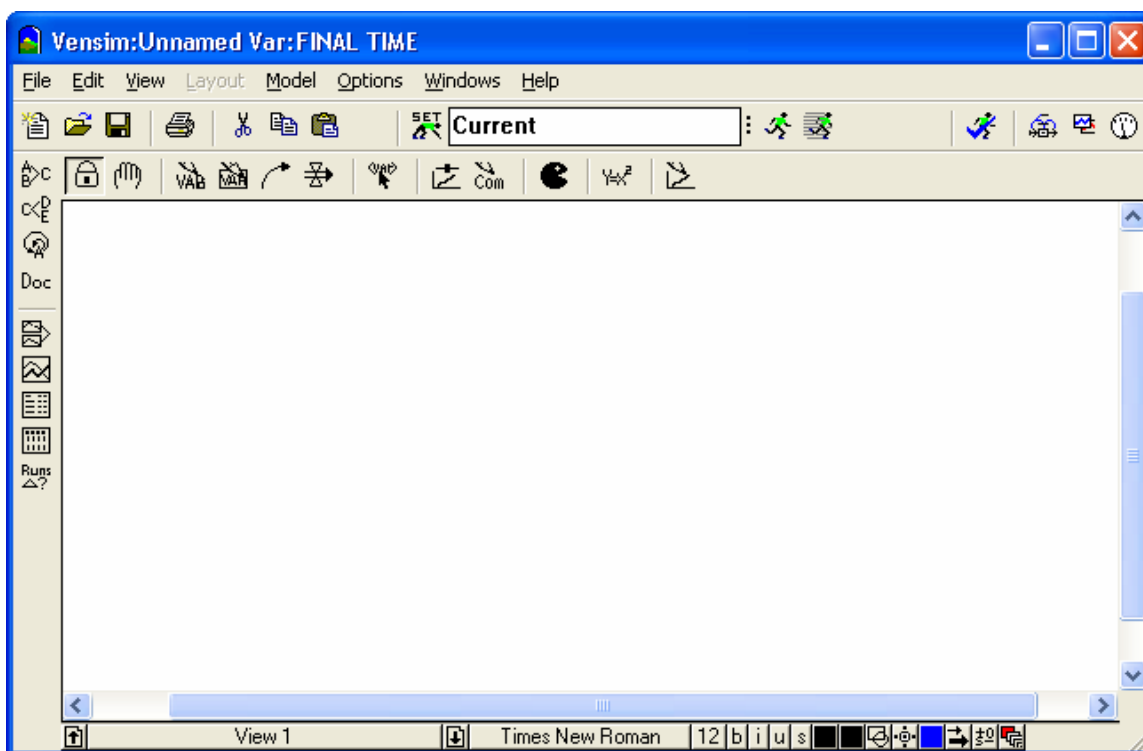


## آموزش Vensim


تهیه کننده: محمد مهدی نصیری خونساری  
دانشجوی دکتری مهندسی صنایع دانشگاه صنعتی شریف

بخش اول - مقدماتی



نوار عنوان، که در بالای شکل قرار دارد و شامل متن Unnamed Var:Final Time است. نوار ابزار اصلی که در زیر منوها قرار دارد و مانند معمول شامل copy, cut, paste, open, save, new است. مهمترین آیکون ها برای ساختن یک مدل ابزارهای طراحی هستند که در سمت چپ زیر منوی اصلی و بالای قسمت سفید قرار دارند. جدول زیر ابزارهای طراحی را معرفی می کند:

| نام ابزار            | آیکون | معنی  |
|----------------------|-------|---|
| متغیر حالت           |       | اسم، چیزی که جمع می شود   |
| نرخ یا جریان         |       | فعل، فعالیتی که اندازه متغیر حالت را تغییر می دهد               |
| متغیر یا تبدیل کننده |       | تبدیل می کند، رابطه یا عدد ثابتی را نگهداری می کند، جمع نمی شود |

|                                     |   |              |
|-------------------------------------|---|--------------|
| ورودی‌ها و اطلاعات را انتقال می‌دهد |  | فلش یا اتصال |
|-------------------------------------|---|--------------|

در Vensim یک متغیر حالت یک اسم است و نشان دهنده چیزی است که جمع می‌شود. مثال‌هایی از متغیر حالت : جمعیت، رادیو اکتیویتی، اعتماد به نفس و پول هستند. در هر لحظه از زمان اندازه‌ی متغیر حالت یک تصویر از وضعیت سیستم را به ما می‌دهد.

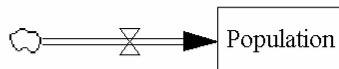
در Vensim روی آیکون متغیر حالت کلیک کنید. بدون پایین نگاه داشتن دکمه ماوس، نشانگر را به وسط صفحه بیاورید، نشانگر چه شکلی پیدا می‌کند؟  
در وسط صفحه کلیک کنید تا یک متغیر حالت را به صفحه اضافه کنید. بدون اینکه دوباره کلیک کنید، نام متغیر حالت را population تایپ نمایید.

سوال: ابزار دست را انتخاب کنید، سپس روی population کلیک کنید و آن را به اطراف صفحه بکشید، چه اتفاقی می‌افتد؟

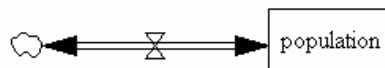
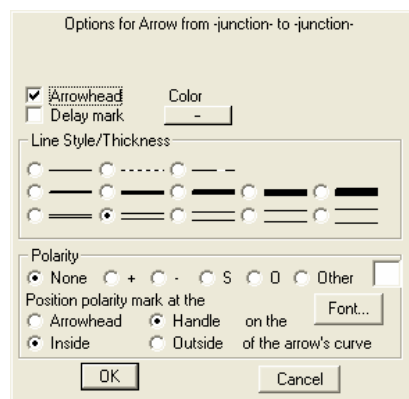
از منوی File گزینه Save را انتخاب کنید یا روی آیکون Save روی نوار ابزار اصلی کلیک کنید. تا فایل ذخیره شود. یک نام با معنا انتخاب نمایید. اگر کار خود را به طور پی در پی ذخیره نمایید، در صورت بروز مشکل قسمت کمی از کار را از دست خواهید داد.

## نرخ یا جریان

در حالی‌که به زبان Vensim یک متغیر حالت اسم است، یک نرخ یا جریان یک فعل است. یک نرخ یک فعالیت است که مقدار متغیر حالت را تغییر می‌دهد. مثال‌هایی از این فعالیت‌ها عبارتند از تولد در جمعیت، واپاشی در پرتوزایی، تقویت اعتماد به نفس یا رشد پول. آیکون نرخ یک لوله به همراه شیر را نمایش می‌دهد. روی آیکون جریان کلیک کنید. چندین سانتیمتر قبل از متغیر حالت کلیک کنید سپس روی متغیر حالت کلیک نمایید. نام جریان را growth بگذارید.



می‌توانیم به جای اینکه تنها در جهت افزایش جمعیت جریان داشته باشیم با دوجهتی کردن نرخ در جهت کاهش نیز جریان داشته باشیم. برای این کار ابتدا روی آیکون دست کلیک کنید. سپس روی دایره کوچکی که در کنار شیر قرار دارد کلیک نمایید و چک باکس Arrowhead و سپس OK را انتخاب کنید. حال امکان کم شدن از جمعیت نیز وجود دارد.



شکل دوجهتی را دوباره به صورت یک جهتی درآورید. جهت اصلاح یک فعالیت می‌توانیم از متغیرهای کمکی یا تبدیل کننده استفاده کنیم که در آن می‌تواند یک رابطه یا عدد ثابت نوشته شود. برای مثال، برای جمعیت می‌توانیم نرخ ثابت رشد ۱۰ درصد را در نظر بگیریم.

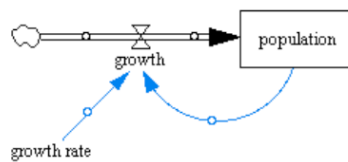
به عنوان مثال برای یک واپاشی پرتوزا، ماده پرتوزای بیسموت ۲۱۰ به ماده پرتوزای پولونیوم ۲۱۰ واپاشی می‌نماید. با نشان دادن مقدار بیسموت ۲۱۰ با  $A$  و پولونیوم ۲۱۰ با  $B$ ، نسبت  $B/A$  در مدل واپاشی اهمیت دارد. یک تبدیل کننده می‌تواند این نسبت را نگه دارد.

آیکون متغیر کمکی را که شامل VAR و یک مداد بدون مستطیل است را انتخاب کنید. پایین و سمت چپ نام جریان کلیک نمایید. نام متغیر کمکی را  $growth\ rate$  بگذارید.


یک اتصال یک ورودی یا یک خروجی را ارسال می کند. برای مثال در یک مدل جمعیت یک اتصال می تواند اندازه نرخ رشد را از متغیر کمکی به جریان رشد منتقل کند.

در یک مدل واپاشی پرتوزا، اتصالها از متغیر حالت بیسموت ۲۱۰ (A) و از متغیر حالت پلونیوم ۲۱۰ (B) به متغیر کمکی برای نسبت B/A که مورد استفاده در آن است متصل می شوند.


در مدل جمعیت، هم نرخ رشد و هم میزان جمعیت موجود بر روی رشد فعلی تاثیر می گذارند. این ارتباط را با اتصال متغیر کمکی نرخ رشد و متغیر حالت جمعیت به جریان رشد ایجاد می کنیم.



## حذف کردن

برای حذف یکی از اجزای نمودار از ابزار حذف  استفاده می کنیم. وقتی یک آیتم را با استفاده از این ابزار از مدل حذف می کنیم، تمام جریانها و اتصالات مربوط به آن نیز حذف می شوند.

## رابطهها و مقادیر اولیه

اکنون برای وارد کردن روابط و مقادیر اولیه آماده ایم. برای شروع یک جمعیت اولیه را با کلیک کردن روی ابزار رابطه  تعریف می کنیم. سه آیتم وارد شده که می توانند مقدار یا رابطه بگیرند، سیاه می شوند. روی متغیر population کلیک نمایید تا پنجره شکل زیر را ببینید. برای یک جمعیت اولیه ۱۰۰ باکتری در محل مکان نما در Initial Value عدد ۱۰۰ را وارد کنید. روی دکمه Check Syntax در گوشه چپ پایین پنجره کلیک

کنید. در مقابل Errors: بلافاصله Vensim پاسخ می دهد Equation OK.

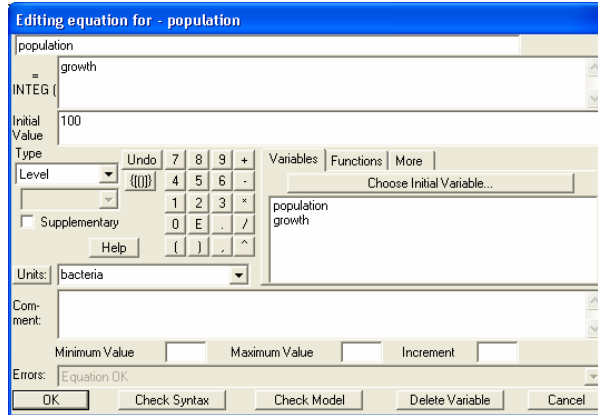
در منوی آبشاری Units: گزینه هایی وجود دارد، چون گزینه مناسب برای جمعیت موجود نیست، کلمه bacteria را تایپ نمایید.

شکل زیر نشان می دهد که جمعیت انتگرال رشد است و مقدار اولیه جمعیت ۱۰۰ باکتری است:

$$P = \int_a^b \text{growth} dt$$

البته برای استفاده از Vensim نیازی به دانستن انتگرال نیست.

$$\begin{aligned}(\text{new population}) &= (\text{old population}) + (\text{change in population}) \\ &= (\text{old population}) + \text{growth} * dt \\ &= (\text{old population}) + (\text{growth over 1 unit}) * (\text{length of time step})\end{aligned}$$



برای کامل شدن کار روی OK کلیک کنید.

روی متغیر کمکی کلیک کنید و مقدار 0.1 را وارد نمایید و در قسمت واحدها 1/Hour را تایپ کنید. OK را

کلیک کنید. توجه کنید که پس از وارد کردن مقدار اولیه و نرخ رشد متغیرهای مربوطه دیگر سیاه نخواهند بود.

حال برای وارد کردن فرمول رشد روی growth کلیک نمایید. در قسمت Choose Initial Variable

متغیرهایی که برای ساختن فرمول لازم است وجود دارند. با کلیک روی آنها و گذاشتن علامت \* بین آنها فرمول

رشد را بسازید. برای واحد عبارت bacteria/Hour را تایپ نمایید و OK را کلیک کنید.

در منوی Model با انتخاب گزینه Units Check می توانید درست بودن واحدها را آزمایش نمایید. در

صورتی که این کار را انجام دهید Vensim پیغام خواهد داد که واحدهای شما درست نیستند. در واقع رابطه بین

Month و Hour را متوجه نمی شود. برای اصلاح این مشکل در منوی Model با انتخاب Settings...

پنجره Model Settings باز می شود. Units for Time را به Hour تغییر دهید و دکمه OK را فشار

دهید. اکنون مشکل واحدها حل شده است.

برای این مثال، اجازه دهید که طول زمان شبیه سازی و زمان بین گام های شبیه سازی را نیز تغییر دهیم. یک بار

دیگر Setting... را انتخاب کنید. بگذارید INITIAL TIME همان 0 باشد و FINAL TIME را به

12 Hours تغییر دهید. همچنین در قسمت TIME STEP، 0.125 را انتخاب کنید. بنابراین محاسبات

برای شبیه سازی به جای هر ساعت هر 0.125 ساعت انجام می شوند. معمولا یک TIME STEP کوچکتر نتایج دقیقتری را تولید می کند، اما باعث می شود که شبیه سازی بیشتر طول بکشد. روی OK کلیک کنید. کلیک کردن روی آیکن پرونده (Doc) باعث آشکار شدن فرمولهای وارد شده می شود.

```

Document
(1) FINAL TIME = 100
    Units: Month
    The final time for the simulation.

(2) growth = A FUNCTION OF( growth rate,population)
    Units: **undefined**

(3) growth rate=
    0.1
    Units: 1/Hour

(4) INITIAL TIME = 0
    Units: Month
    The initial time for the simulation.


(5) population= INTEG (
    growth,
    100)
    Units: bacteria

(6) SAVEPER =
    TIME STEP
    Units: Month [0,?]
    The frequency with which output is stored.

(7) TIME STEP = 1
    Units: Month [0,?]
    The time step for the simulation.
  
```


## یادداشت

مستندسازی کار بسیار مهم است. ما می خواهیم که دیگران بتوانند مدل ما را به سرعت بفهمند. علاوه بر این ممکن است که خودمان نیز به آسانی آنچه که منظورمان بوده را فراموش کنیم. ممکن است که چند نسخه (version) مشابه از یک مدل داشته باشیم که بخواهیم تفاوت آنها را بدانیم.

برای این منظور از comment استفاده می کنیم. روی آیکن  comment کلیک نمایید تا شکل نشانگر ماوس تغییر کند. در نقطه ای از صفحه سفید کلیک کنید و تایپ نمایید

”Unconstraint Growth Population Model“ و تاریخ و نامتان را نیز وارد کنید و OK را کلیک کنید.

## اجرای شبیه سازی

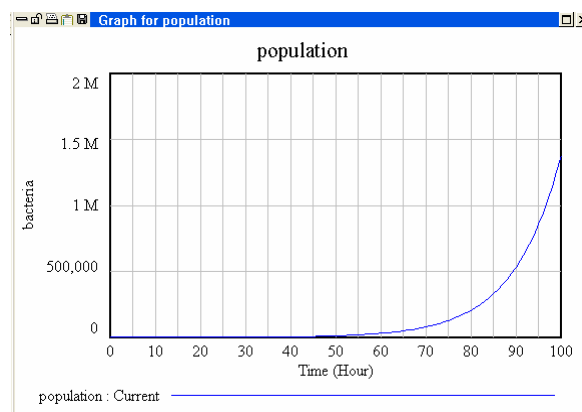
برای اینکه بتوانیم مجموعه داده های شبیه سازی و همچنین نمودارها را به دست آوریم باید شبیه سازی را اجرا کنیم. برای این کار روی آیکن  Run a Simulation کلیک کنید. اکنون نام مجموعه داده های نتیجه

شده **Current** نام دارد که در جعبه متن نوشته شده است. می توانیم تغییراتی مثل تغییر در **TIME STEP** یا طول زمان شبیه سازی را در **Setup** شبیه سازی ایجاد کنیم و سپس دوباره شبیه سازی را با نام دیگری اجرا نماییم.

## نمودارها



ابتدا با یک بار کلیک کردن روی متغیر حالت **population** و سپس با کلیک کردن روی آیکون نمودار بلافاصله یک پنجره جمعیت در مقابل زمان ظاهر می شود.



در قسمت سفید صفحه مدل کلیک کنید تا پنجره نمودار جمعیت ناپدید شود. برای دوباره نمایش دادن خروجی ها از آیکون **Output Windows-show/circulate** که در قسمت راست آیکون ها واقع است کلیک کنید.

اغلب ما می خواهیم کنترل بیشتری روی نمایش گرافیکی داشته باشیم. مثلا شاید بخواهیم چند نمودار را در یک پنجره داشته باشیم. بنابراین روی آیکون **control panel** کلیک کنید. اکنون قسمت **Graphs** را انتخاب نمایید. برای کشیدن یک نمودار جدید روی دکمه **New** کلیک کنید تا پنجره مربوطه باز شود. در قسمت **Title** تایپ نمایید **Growth and Population**. در قسمت **Variable** بر روی دکمه **Sel** کلیک کنید و **growth** را از میان گزینه ها انتخاب نمایید. کار را با انتخاب **population** برای متغیر سطر بعد ادامه دهید. حال **OK** را کلیک کنید. برای دیدن نمودار روی **Display** کلیک نمایید. چون نمودارها شکل یکسانی دارند و مقیاس ها متفاوت هستند، نمودارها روی هم افتاده اند. برای اینکه نمودارها را در یک مقیاس نمایش دهیم، به

control panel برگردید و بر روی Modify کلیک نمایید. اکنون Scale را برای هر دو متغیر علامت بزنید و OK را کلیک کنید. برای نمایش نمودار اصلاح شده بر Display کلیک کنید.


به طور پیش فرض، Vensim از رنگ‌های مختلفی برای نمایش نمودارها استفاده می‌کند. برای چاپ با یک چاپگر سیاه و سفید، گزینه‌های مختلفی از طریق Options.. در منوی Options در اختیار داریم. برای اینکه هر نمودار شماره گذاری شود روی Show Line Markers on Graph Lines کلیک نمایید. گزینه‌های قابل استفاده دیگر در قسمت Color for Display, Print & Clipboard عبارتند از Monochrome برای نمودارهای سیاه و سفید و Only solid lines برای خط‌های کامل به جای خط‌های بریده و نقطه‌چین.

برای جلوگیری از اعمال تغییراتی که بعد از می‌خواهیم بدهیم در نمودار روی آیکون قفل در قسمت بالا و سمت چپ نمودار کلیک نمایید. برای چاپ نمودار روی دکمه بعدی و برای کپی کردن نمودار در clipboard بر روی دکمه بعدی یعنی Export window content کلیک کنید این کار به شما اجازه می‌دهد که نمودار را به نرم افزار دیگری مثل Word انتقال دهید.



## جدول‌ها

ساختن جدول‌ها را مانند نمودارها از آیکون control panel شروع می‌کنیم. از control panel می‌توانیم جداول موجود را تغییر دهیم یا اینکه جدول جدیدی ایجاد کنیم. بر روی نمودار Growth and Population و سپس روی کپی کلیک کنید. بر روی دکمه As Table کلیک کنید تا table panel را مشاهده نمایید. در جعبه متن Name نام را به Growth and Population Table تغییر دهید. Running down را از قسمت Time انتخاب کنید تا مقادیر زمان را در یک ستون پایین صفحه مشاهده کنید. اکنون OK را کلیک کنید.

## ابزارهای ورودی/خروجی


می‌توانیم مقادیر اولیه و ثابت‌ها را با انتخاب ابزار equation و سپس کلیک کردن بر متغیر دلخواه تغییر دهیم. برای نمایش تصویری، بر آیکون Input Output Object  کلیک کنید. در منطقه کار مدل کلیک کنید



تا Object را در آنجا قرار دهید. بلافاصله Input Output Object Setting panel ظاهر می شود. روی Constant کلیک و growth rate را انتخاب کنید. باید مقادیری بین ۰ و ۰/۲ داشته باشد. پس از کلیک کردن بر OK نوار تنظیم growth rate ظاهر می شود. آیکون SET  که در کنار نام مجموعه داده ها قرار دارد نوار تنظیم را فعال می کند. برای آزمایش مقدار ۰/۰۹ را برای مقدار نرخ رشد تنظیم کنید. بر روی آیکون Run a Simulation یک بار دیگر کلیک کنید تا این بار شبیه سازی با مقدار جدید برای نرخ رشد اجرا شود. برای اینکه بدون اجرای شبیه سازی با برگرداندن نرخ رشد به مقدار اولیه کار را تمام کنید، روی آیکون STOP  در سمت چپ نام مجموعه داده کلیک نمایید.

## بخش دوم - پیشرفته

در این بخش مطالبی مانند توابع و ثابت هایی از قبیل `EXP`, `INITIAL`, `ABS`, `IF THEN ELSE`, `TIME`, `PULSE TRAIN`, `TIME STEP`؛ اپراتورهای ارتباطی و منطقی؛ نمودارهای مقایسه‌ای؛ و ورودی گرافیکی را معرفی می‌نماییم.

پس از کلیک کردن بر ابزار رابطه  و یک متغیر حالت، جریان و یا تبدیل کننده می‌توانیم یک رابطه را وارد مدل نماییم. کلیک کردن بر قسمت `Functions` متوجه می‌شویم که لیستی از توابع از پیش تعریف شده وجود دارد. در قسمت `More` اپراتورهای ارتباطی یا منطقی اضافی وجود دارند که ما را قادر می‌سازد که تعداد بیشتری از موقعیت‌ها را مدل‌سازی کنیم.

### برخی از توابع Vensim

$ABS(n)$ : قدر مطلق  $n$

$AND$ : اپراتور منطقی «و»

$EXP(x)$ :  $e$  به توان  $x$

$IF THEN ELSE(l,s1,s2)$ : اگر  $l$  درست باشد،  $s1$  اجرا می‌شود در غیر اینصورت  $s2$

$Initial(x)$ : مقدار اولیه  $x$

$INTEGER(x)$ : جزء صحیح  $x$

$LOG(x,b)$ : لگاریتم  $x$  در مبنای  $b$

$LN(x)$ : لگاریتم طبیعی  $x$

$MAX(x1,x2)$ : ماکزیمم  $x1$  و  $x2$

$MEAN(x1,x2)$ : میانگین  $x1$  و  $x2$

$MIN(x1,x2)$ : مینیمم  $x1$  و  $x2$

$PULSE TRAIN(s,d,i,e)$ : پالس به مقدار ۱ که در زمان  $s$  در هر بازه زمانی  $i$  تا زمان  $e$  می‌رسد و هر

پالس به مدت  $d$  ادامه خواهد داشت.

$SQRT(x)$ : ریشه دوم  $x$

$STEP(h,t)$ : تغییر یکباره به ارتفاع  $h$  در زمان  $t$

### برخی از ثابت‌های Vensim

Final Time: زمان تمام شدن شبیه‌سازی

Initial Time: زمان ابتدایی شبیه‌سازی


Saveper: طول زمان بین ذخیره‌سازی داده‌های شبیه‌سازی شده، که ضربی از Time Step است.

Time: زمان جاری شبیه‌سازی

Time Step: نمو زمان

### Initial, EXP, Time

فایل unconstrained.mdl را باز کنید و یک کپی از آن را با نام unconstrainedError.mdl ذخیره نمایید. نام مجموعه داده را به ErrorDS تغییر دهید.

این فایل یک رشد بدون محدودیت را که در آن نرخ تغییر جمعیت  $P$  برابر  $0.1P$  با جمعیت اولیه 100 است را مدل می‌کند. از طرف دیگر با روش تحلیلی به این رسیدیم که  $P = 100e^{0.1t}$ . فرض کنید که می‌خواهیم مقادیر تحلیلی جمعیت را در نموداری با مقادیر شبیه‌سازی آن مقایسه کنیم. می‌خواهیم که شبیه‌سازی را با مقادیر اولیه مختلف برای جمعیت اجرا کنیم. بنابراین نمی‌خواهیم هر بار مقدار 100 را در رابطه تایپ نماییم. Vensim تابع Initial را برای بازگرداندن مقدار اولیه متغیر حالت، نرخ یا تبدیل کننده مهیا کرده است. بنابراین متغیر (تبدیل کننده) init\_population را تعریف و یک اتصال را از population به آن وصل می‌کنیم. پس از انتخاب Initial به عنوان Type در قسمت Variables متغیر population را انتخاب کنید. پس از کلیک کردن OK درمی‌یابیم که اتصال از population به init\_population حذف شده است. در کنار جمعیت اولیه ما به یک مقدار پویا از زمان احتیاج داریم که در فرمول تحلیلی بیاید. روی ابزار متغیر سایه‌ای  و سپس روی مدل کلیک کنید. از پنجره باز شده Time را انتخاب کنید. یک جزء به صورت خاکستری با نام <Time> ظاهر می‌شود.

یک متغیر با نام analytical\_population برای ذخیره‌سازی مقدار تحلیلی برای جمعیت  $P = 100e^{0.1t}$  در زمان  $t$  بسازید. چون پاسخ به دست آمده به صورت تحلیلی از جمعیت اولیه، نرخ رشد و زمان استفاده می‌کند، از analytical\_population به <Time> و growth rate init\_population متصل کنید.

حال با استفاده از ابزار رابطه روی آن کلیک کنید. پس از انتخاب init\_population و تایپ \* روی قسمت Functions کلیک نمایید. اکنون EXP را انتخاب نمایید و دکمه Add Sel را بزنید. حال روی growth rate کلیک کنید تا آن را داخل پرانتز قرار دهید. حالا \* و <Time> را وارد نمایید.

تمرین ۱: یک متغیر کمکی با نام relative\_error بسازید که خطای نسبی را نشان دهد. یعنی

$$\frac{|correct - result|}{|correct|}$$

. یک نمودار برای آن رسم کنید.

## PULSE TRAIN

برای ادامه کار از فایل اولیه یعنی unconstrained.mdl یک کپی با نام pulse.mdl ذخیره نموده و آن را باز نمایید. نام مجموعه داده را به PulseDS تغییر دهید. همچنین واحد زمانی را به ساعت، زمان نهایی را به ۸ ساعت و واحد جمعیت را به bacteria تغییر دهید.

فرض کنید یک محیط رشد بدون محدودیت برای باکتری‌ها در آزمایشگاه وجود دارد و دانشمند هر ۸ ساعت ۵۰ عدد از آنها را برمی‌دارد. برای مدل کردن این وضعیت از PULSE TRAIN استفاده کنید.

50\*PULSE TRAIN(1,0,8,8)

نرخ removal را به صورت خارج شونده از جمعیت بسازید. سپس متغیرهای کمکی amount removed، init removal time و frequency of removal را ایجاد کنید. هر یک از آنها را به removal وصل نمایید. حال فرمول‌ها را وارد کنید و نموداری برای جمعیت و جداولی برای رشد، خروجی و جمعیت بکشید.

## منطق

برای ادامه کار از فایل unconstrained.mdl یک کپی به نام logicIF.mdl ایجاد کنید. فایل جدید را باز کنید و نام مجموعه داده را به LogicIFDS تغییر دهید.

به عنوان مثال می‌خواهیم نرخ رشد جمعیت باکتری‌ها اگر جمعیت از یک حد آستانه کمتر باشد ۱۰ درصد و در صورتی بیشتر بودن ۵ درصد باشد.

**IF THEN ELSE** (*condition, choice1, choice2*)

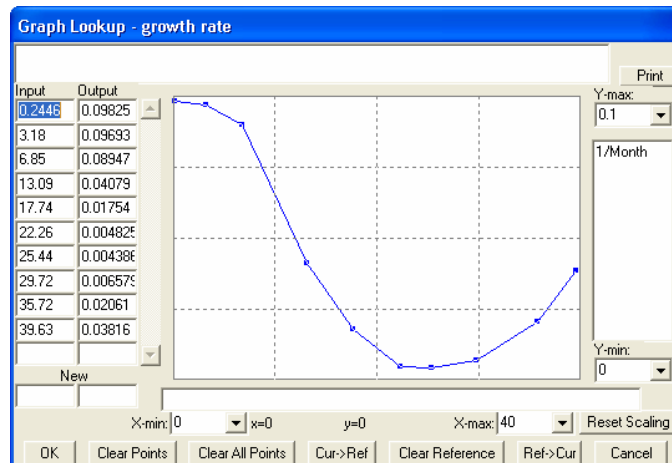
در رابطه **growth rate** عبارت زیر را وارد می‌کنیم.

**IF THEN ELSE** (*population < threshold, 0.1, 0.05*)

یک متغیر کمکی به نام **threshold** به مدل اضافه کنید و از آن و از جمعیت اتصالی به **growth rate** وصل کنید.

## ورودی گرافیکی

همان فایل قبلی را این بار **graphinput.mdl** نامگذاری کنید و آن را باز کنید. گاهی اوقات ما روند تغییر یک متغیر را می‌دانیم بدون اینکه بتوانیم برای آن رابطه‌ای بنویسیم. متغیر سایه‌ای **<Time>** را ایجاد و آن را به **growth rate** متصل کنید. حال پنجره رابطه را برای **growth rate** باز کنید و برای **Type** نوع **Auxiliary** را تعیین نمایید. حال از جعبه پایینی که **Normal** را نشان می‌دهد، گزینه **with Lookup** را انتخاب نمایید. اکنون از قسمت **Variables, Time** را انتخاب کنید. بر روی **As Graph** کلیک نمایید. اینجا هم می‌توانیم مقادیر دارای رابطه زمان و نرخ رشد را تایپ کنیم و هم می‌توانیم به صورت یک نقطه از نمودار انتخاب کنیم. حداکثر زمان را در **X-max** برابر 40 و حداکثر نرخ رشد را در **Y-max** برابر 0.1 قرار دهید. با کلیک کردن روی نمودار، نموداری مانند شکل زیر بسازید. اکنون شبیه‌سازی را اجرا نمایید.



به این ترتیب نمودار زیر برای جمعیت به دست خواهد آمد.

