

آموزش نرم افزار EES

Engineering Equation solver

تألیف: ۸۷

Pouria.mech@gmail.com

معرفی

نرم افزار EES (مخفف عبارت Engineering Equation Solver) نرم افزاری جهت حل معادلات مهندسی است. توانایی اصلی این نرم افزار، حل دستگاه معادلات جبری می باشد. علاوه بر این نرم افزار قادر به حل معادلات دیفرانسیل، معادلات دارای متغیرهای مختلط، حل مسائل بهینه سازی و بسیاری کاربردهای دیگر نیز می باشد. دو تفاوت عمده بین نرم افزار EES و سایر نرم افزارهای حل معادلات وجود دارد. اول اینکه EES به طور خود کار معادلاتی که باید همزمان حل شوند را شناسایی و دسته بندی می کند. این ویژگی مراحل کار را برای کاربر ساده تر کرده و این اطمینان را به او می دهد که حل در بالاترین بازده انجام می شود. دوم اینکه EES در داخل خود دارای تعداد زیادی توابع ریاضی و خاصیت های ترموفیزیکی مناسب برای محاسبات مهندسی است. برای مثال در جداول بخار آب می توان هر خاصیت ترمودینامیکی آن را به وسیله یک تابع داخلی بر حسب دو خاصیت دیگر فراخواند. چنین قابلیت برای تعداد زیادی از مبردها، هوا (توابع سایکرومتریک) و دیگر مواد نیز وجود دارد.

با اینکه کتابخانه توابع ریاضی و خواص ترموفیزیکی مواد در EES بسیار گسترده است، اما ممکن است نیاز همه افراد را برآورده نکند. بنابراین امکان اضافه کردن توابع دلخواه نیز وجود دارد.

انگیزه ایجاد EES از تجربه در تدریس انتقال حرارت و ترمودینامیک مهندسی مکانیک به وجود آمد. در این درس برای اینکه دانشجو اصول را فرا بگیرد، لازم است که با مسائل کار کند. اما برای رسیدن به جواب مسئله باید زمان و تلاش زیادی را صرف مراجعه به اطلاعات خاصیت ها و حل معادلات کرد. یکبار که دانشجو با استفاده از جداول خواص آشنا شد، دیگر استفاده بیشتر از این جداول کمکی به درک موضوع نمی کند. EES به کاربر کمک می کند که با رهایی از کارهای بیهوده تمرکز بیشتری روی مبحث داشته باشد.

بخش اول

شروع به کار با EES

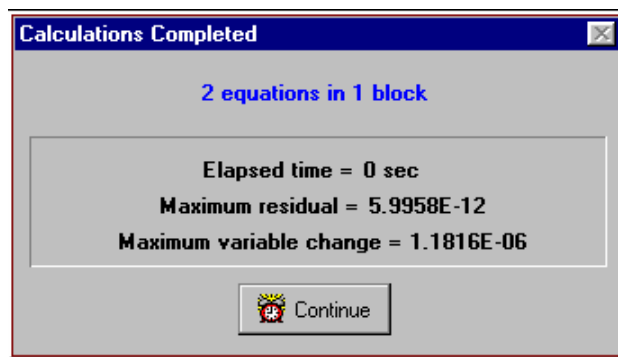
توانایی اولیه EES، حل دستگاه معادلات غیر خطی جبری می باشد. برای دیدن این قابلیت، EES را باز کرده و مثال ساده زیر را در پنجره معادله (Equation Window) بنویسید. توجه کنید که در EES تفاوتی بین حروف بزرگ و کوچک نمی باشد و همچنین علامت $^$ (یا $**$) نشان دهنده توان است.



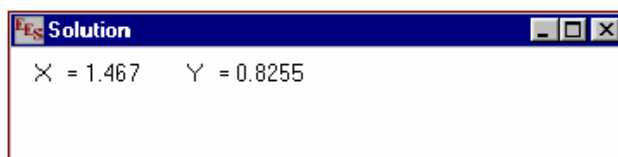
در صورت تمایل می توانید با انتخاب فرمان **Formatted Equation** از منوی **Windows**، معادله را به صورت نمادهای ریاضی آن ببینید.



فرمان **Solve** را از منوی **Calculate** انتخاب کنید (یا کلید **F2** را فشار دهید). پنجره ای باز می شود که مراحل پیشرفت حل را نشان می دهد. وقتی که حل به پایان رسید، دکمه **Abort** تبدیل به **Continue** می شود. (توجه کنید که زمان حل در این مثال احتمالاً خیلی کوتاه است)



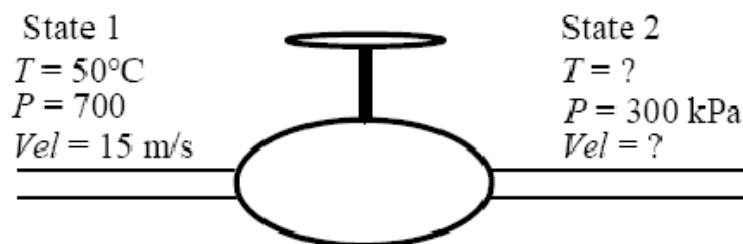
با کلیک بر روی دکمه Continue، جواب این دستگاه معادلات در پنجره Solution نشان داده خواهد شد.



مثالی از یک مسئله ترمودینامیکی:

در ادامه برای نشان دادن توانایی های EES در دسترسی به توابع خاصیت و حل معادله، یک مسئله ساده ترمودینامیکی به صورت قدم به قدم تنظیم و حل خواهد شد.

مبرد *R134-a* در شرایط 700 kPa و 50°C با سرعت 15 m/s وارد یک دریچه می شود. در خروجی دریچه، فشار برابر 300 kPa است. سطوح ورودی و خروجی سیال، هر دو برابر 0.0110 m^2 می باشد. دما، دبی جرمی و سرعت را در خروجی دریچه مشخص کنید.



برای حل این مسئله ابتدا باید یک سیستم انتخاب کرده و سپس موازنه جرم و انرژی را اعمال کنیم. سیستم را درچه می گیریم. جریان جرم پایا (Steady) است بنابراین موازنه جرم به صورت زیر نوشته می شود:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \quad (1)$$

که در آن:

$$\dot{m}_1 = A_1 Vel_1/v_1 \quad (2)$$

$$\dot{m}_2 = A_2 Vel_2/v_2 \quad (3)$$

$\dot{m} = \text{mass flowrate [kg/s]}$

$A = \text{cross_sectional area [m}^2\text{]}$

$Vel = \text{Velocity [m/s]}$

$v = \text{specific volume [m}^3\text{/kg]}$

می دانیم که:

$$A_1 = A_2 \quad (4)$$

فرض بر این است که درچه کاملاً عایق شده، و هیچ قسمت متحرکی ندارد. بنابراین اثرات کار و گرما هر دو صفر می شود. بنابراین موازنه انرژی حالت پایا در این درچه به صورت زیر نوشته می شود:

$$\dot{m}_1 \left(h_1 + \frac{Vel_1^2}{2} \right) = \dot{m}_2 \left(h_2 + \frac{Vel_2^2}{2} \right) \quad (5)$$

که در آن h ، انتالپی مخصوص و $\frac{Vel^2}{2}$ برابر انرژی جنبشی مخصوص می باشد. در آحاد SI، معمولاً واحد انتالپی مخصوص $[kJ/kg]$ می باشد و بنابراین احتمالاً بعضی از تغییر واحدها نیاز خواهد شد. EES قابلیت تغییر واحد ها را با تابع CONVERT فراهم می کند. علاوه بر آن EES می تواند به صورت دستی یا خودکار کنترل کند که تمام تغییر واحد ها صورت گرفته باشند و واحد ها در هر معادله از نظر دیمانسیون همسان باشند. فرمان **Check Units** از منوی **Calculate** عمل بررسی واحد ها را انجام می دهد.

از روابط بین خواص R134a داریم:

$$v_1 = v(T_1, P_1) \quad (6)$$

$$h_1 = h(T_1, P_1) \quad (7)$$

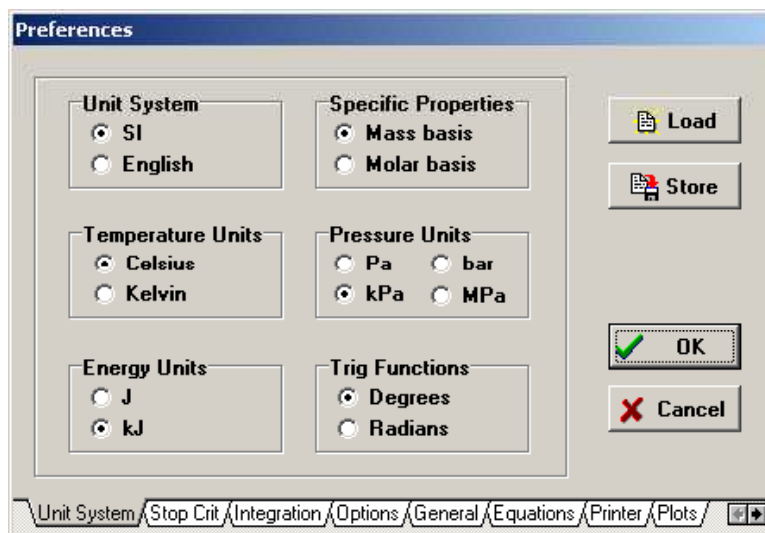
$$v_2 = v(T_2, P_2) \quad (8)$$

$$h_2 = h(T_2, P_2) \quad (9)$$

به طور معمول از جمله شامل سرعت صرف نظر می کنند، چرا که اولاً اثرات انرژی جنبشی معمولاً کوچک بوده و علاوه بر آن، این جمله ها باعث بروز مشکل در حل مسئله می شود. اما با وجود EES، سختی محاسبه عامل مهمی نیست. کاربر می تواند مسئله را با جملات انرژی جنبشی حل کرده و در مورد اهمیت آن قضاوت کند.

مقادیر T_1, P_1, A_1, Vel_1 و P_2 معلوم هستند. 9 مجهول ما عبارتند از: $A_2, \dot{m}_1, \dot{m}_2, Vel_2, h_1, v_1, h_2, v_2, T_2$. از آنجا که 9 معادله وجود دارد، حل مسئله تعریف شده است. حال زمانی است که فقط باید معادله ها حل شوند. اینجا جایی است که EES می تواند کمک کند.

EES را راه اندازی کرده و از منوی **File**، فرمان **New** را انتخاب کنید. یک پنجره معادله خالی (equation window) ظاهر می شود. قبل از وارد کردن معادله ها می خواهیم سیستم آحاد را برای توابع خواص ترموفیزیکی از قبل مشخص می کنیم. برای دیدن یا تغییر سیستم آحاد، از منوی **Options** فرمان **Unit System** را انتخاب کنید.



EES به صورت پیش فرض در آحاد SI، با واحد °C برای دما، kpa برای فشار، kJ به عنوان واحد انرژی و واحد مشخص بر مبنای جرم برای مقادیر خاصیت ویژه، پیکر بندی شده است. این واحدها را می توان بعداً نیز تغییر داد. بر روی Ok کلیک کنید تا تنظیمات سیستم آحاد پذیرفته شود.

حال می توان معادلات را در Equation window وارد کرد. قواعد وارد کردن معادلات در ادامه آورده شده است:

۱. تفاوتی بین حروف بزرگ و کوچک نیست.
۲. خطوط خالی باعث خوانا تر شدن معادلات می شوند. در صورت تمایل می توان از خطوط خالی یا فاصله ها استفاده کرد. این خطوط و فواصل تاثیری در محاسبات نخواهد داشت.
۳. توضیحات (Comments) را باید بین آکولاد { } یا داخل علامت نقل قول " " نوشت. توضیحات را در هر تعداد خطی که لازم است می توان نوشت. توضیحات داخل علامت نقل قول در پنجره Formatted Equation نیز نمایش داده می شود.
۴. نام متغیر ها باید با یک حرف شروع شده و شامل تمام کاراکتر های کیبورد به جز $\times$ / + - ^ () ؛ : { } باشد. متغیر های آرایه ای با علامت براکت در دو طرف آرایه ها شناخته می شود مثل X[5,3]. متغیر های رشته ای با یک علامت \$ به عنوان آخرین کاراکتر شناخته می شود. مانند A\$='carbon dioxide'. حداکثر طول نام یک متغیر باید 30 کاراکتر باشد.
۵. چندین معادله را می توان به وسیله علامت نقطه ویرگول (;) در یک خط نوشت. حداکثر طول یک خط 255 کاراکتر می باشد.
۶. از نماد ^ یا ** برای نشان دادن توان استفاده می شود.
۷. ترتیب وارد کردن معادلات اهمیتی ندارد.
۸. مکان معلومات و مجهولات در معادلات اهمیتی ندارد.
۹. واحد ثابت ها را می توان در داخل براکت نوشت، مانند: $g = 9.82 \text{ [m/s}^2\text{]}$

۱۰. از کاراکتر زیرخط (Underline) برای نوشتن اندیس ها در خروجی استفاده می شود. همچنین

نام نمادهای یونانی با کاراکتر یونانی جایگزین خواهد شد. مثل:

$$A_1 \Rightarrow A_1 \quad ALPHA \Rightarrow \alpha \quad BETA \Rightarrow \beta$$

(لیست تمام کاراکتر های یونانی و علائم خاص در راهنمای نرم افزار موجود می باشد).

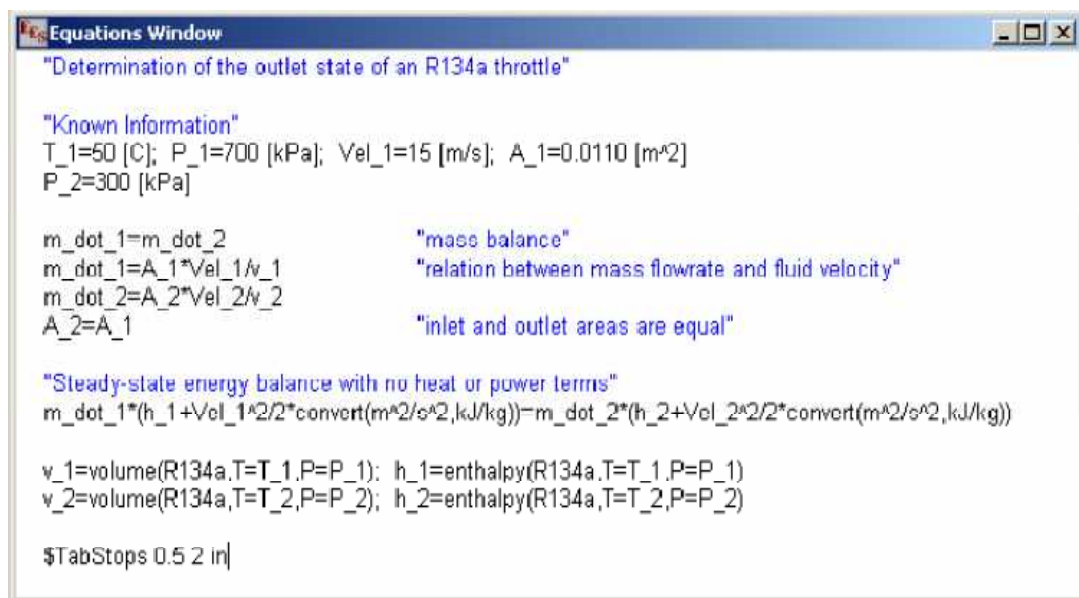
بعد از وارد کردن معادله ها و (در صورت تمایل) کنترل کردن قواعد با استفاده از فرمان **Check/Format**

از منوی **Calculate**، پنجره معادله ای شبیه شکل زیر خواهیم داشت. توجه کنید که ۱_ و ۲_ که در این

مثال استفاده شده است، برای مشخص کردن حالت ۱ و ۲ می باشد. برای این کار از متغیر های آرایه ای نیز

با [1] و [2] می توانستیم استفاده کنیم. توضیحات معمولاً با رنگ آبی نمایش داده می شوند. گزینه های

دیگر به وسیله فرمان **Preferences** در منوی **Options** قابل تنظیم است.



سازگاری واحدها به اندازه درست وارد کردن معادلات اهمیت دارد. زیرا مستقیماً در به دست آوردن جواب

صحیح موثر است. EES می تواند سازگاری واحد ها را به شرط آنکه واحد تمام متغیر ها مشخص شده باشد،

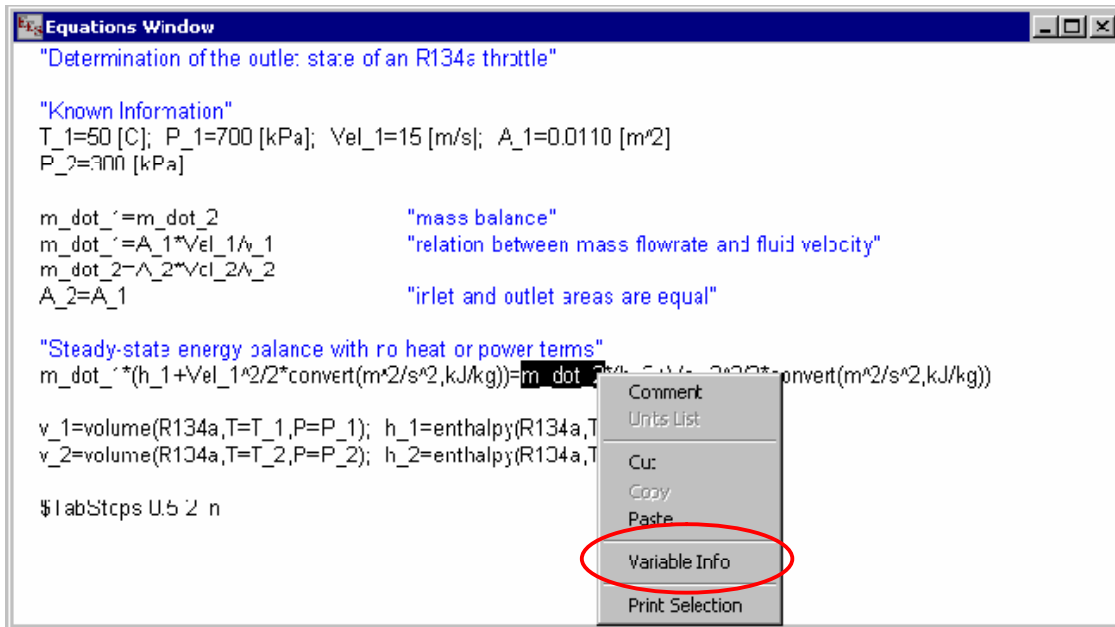
بررسی کند. برای مشخص کردن واحد یک ثابت، مثل T_1، واحد را می توان به دنبال مقدار و در داخل

براکت نوشت. در مورد متغیر ها، مثل m_dot_2، این کار را به چندین روش می توان انجام داد. احتمالاً

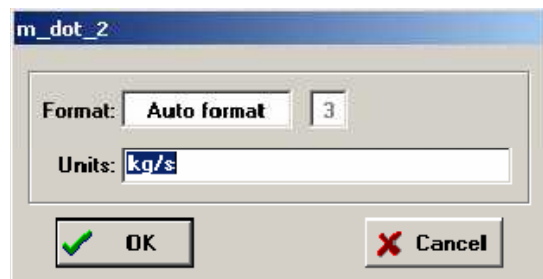
ساده ترین روش انتخاب متغیر در Equation window و سپس کلیک راست بر روی آن می باشد. یک

منوی فرعی با تعدادی آیتم کاربردی ظاهر می شود. در آنجا گزینه Variable Info یک راه ساده برای وارد

کردن واحد یک متغیر فراهم می آورد.



با انتخاب گزینه Variable Info یک پنجره محاوره ای باز می شود که در آن می توان فرمت و واحد متغیر انتخاب شده را (در اینجا m_dot_2) وارد کرد.

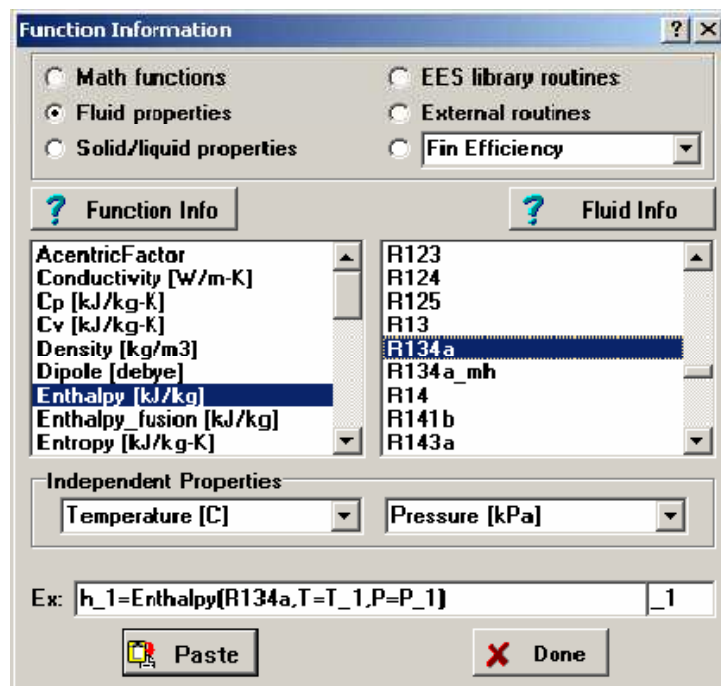


به استفاده تابع **Convert** در موازنه انرژی برای تبدیل واحد انرژی جنبشی مخصوص $[m^2/s^2]$ به واحد استفاده شده برای انتالپی مخصوص $[kJ/kg]$ توجه کنید. تابع **Convert** در این گونه مسائل بسیار پر استفاده می باشد.

(طرز کار تابع **Convert(From, To)**، به این صورت است که یک ضریب تبدیل برای تبدیل واحد From به واحد To می دهد. برای مثال عبارت $FI=Convert(ft^2,in^2)$ مقدار 144 را به متغیر FI بر می گرداند زیرا 1 فوت مربع برابر 144 اینچ مربع می باشد.)

توابع خاصیت ترمودینامیکی مثل **enthalpy** و **volume**، مستلزم استفاده از فرمت ویژه ای هستند. اولین آرگومان تابع نام ماده (در اینجا R134a) است. آرگومان های بعدی متغیرهای مستقل هستند که به دنبال یک حرف شناخته شده و علامت مساوی می آیند (مثلا $T=T_1$). حروف قابل استفاده عبارتند از H, P, T, U, S, V, X که به ترتیب مترادف دما، فشار، انتالپی مخصوص، انرژی داخلی مخصوص، انتروپی مخصوص، حجم مخصوص، و کیفیت می باشند. (برای توابع سایکرومتریک، حروف مجاز اضافی عبارتند از D, R, W و B که به ترتیب مترادف نسبت رطوبت، رطوبت نسبی، دمای نقطه شبنم و دمای مرطوب می باشند).

یک راه ساده برای وارد کردن توابع، بدون اینکه نیازی به یاد آوردن فرمت آن داشته باشیم، استفاده از فرمان **Function Information** در منوی **Options** می باشد. با انتخاب این فرمان پنجره زیر نمایان می شود. گزینه **Fluid Properties** را انتخاب کنید. لیستی از خواص ترمودینامیکی در سمت چپ و لیستی از مواد در سمت راست نشان داده می شود. تابع خاصیت را با کلیک کردن بر روی نام آن در سمت چپ انتخاب کنید. به همین ترتیب ماده مورد نظر را نیز از سمت راست انتخاب کنید. یک مثال که نشان دهنده فرمت تابع است در مستطیل پایین ظاهر می شود. در صورت نیاز می توان این اطلاعات را تغییر دهید. کلیک روی دکمه **Paste**، باعث کپی شدن این مثال در پنجره **Equation** در مکانی که مکان نما (cursor) حضور دارد، می شود. اطلاعات بیشتری را با کلیک بر روی دکمه های **Function Info** و **Fluid Info** می توان بدست می آورد.



معمولاً قبل از اینکه اقدام به حل مسئله کنیم، مشخص کردن حدس اولیه و (در صورت امکان) کران های بالا و پایین برای متغیر ها، کار مفیدی خواهد بود. این کار به وسیله فرمان **Variable Information** در منوی **Options** انجام می شود.

قسمت **Variable Information** شامل یک خط برای هر کدام از متغیر های ظاهر شده در معادلات می باشد. به صورت پیش فرض هر کدام از متغیر ها دارای حدس اولیه ای برابر با 1.0 و کران های بالا و پایین مثبت و منفی بینهایت می باشد.

Variable	Guess	Lower	Upper	Display	Units
A_1	1	-infinity	infinity	A 3 N	m^2
A_2	1	-infinity	infinity	A 3 N	m^2
h_1	1	-infinity	infinity	A 3 N	kJ/kg
h_2	100	0.0000E+00	infinity	A 3 N	
m_dot_1	1	-infinity	infinity	A 3 N	
m_dot_2	1	-infinity	infinity	A 3 N	
P_1	1	-infinity	infinity	A 3 N	kPa
P_2	1	-infinity	infinity	A 3 N	kPa
T_1	1	-infinity	infinity	A 3 N	C
T_2	1	-infinity	infinity	A 3 N	
Vel_1	1	-infinity	infinity	A 3 N	m/s
Vel_2	0	-infinity	infinity	A 3 N	
v_1	1	-infinity	infinity	A 3 N	m^3/kg
v_2	0.2	0.0000E+00	infinity	A 3 N	

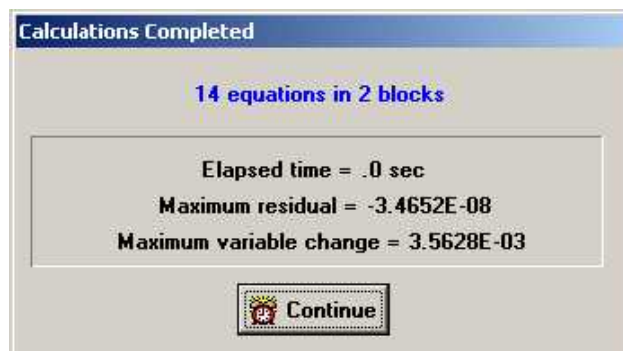
A در گزینه های ستون **Display**، نشان دهنده آن است که EES در پنجره **Solution** (بعد از حل معادلات) به صورت اتوماتیک فرم نمایش مقدار عددی متغیر را تعیین می کند. با انتخاب این گزینه، EES تعداد ارقام مناسب جهت نمایش دادن ارقام را خود انتخاب می کند و بنابراین ستون سمت راست A غیر فعال است. فرمت اتوماتیک گزینه پیش فرض می باشد. روش های دیگر نمایش عبارتند از F (برای تعداد ثابت ارقام بعد از نقطه اعشار) و E (برای فرمت نمایی¹). گزینه های پیش فرض مانند همین نمایش اعداد، به راحتی در فرمان **Default Information** از منوی **Options** قابل تغییر می باشد. ستون سوم گزینه های **Display**، اثرات نمایش گذاشتن متن را مانند **Normal (default)**، **Bold**، **Italic** و **Boxed** کنترل می کند.

¹ Exponential format

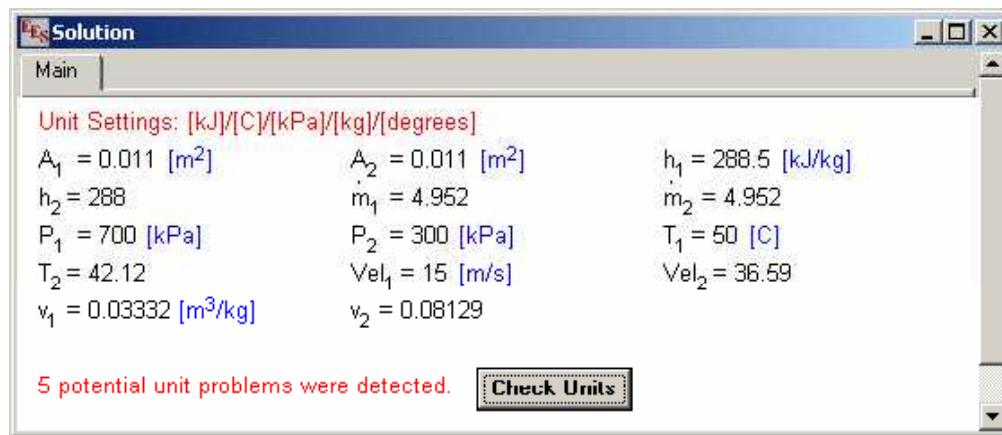
در آخرین ستون Variable Information واحد متغیر ها را می توان مشخص کرد. واحدها به همراه متغیر، در پنجره Solution و یا در جدول پارامتری (Parametric Table) نمایش داده می شوند. EES به صورت خودکار تغییر واحد انجام نمی دهد ولی به صورت پیش فرض، برای بررسی خودکار سازگاری واحد ها در هر معادله پیکر بندی شده است. بررسی خودکار واحد ها را در Preferences می توان غیر فعال کرد. بررسی واحد ها یکی از مهمترین قابلیت های EES می باشد و به ندرت پیش می آید که بخواهید این گزینه غیر فعال باشد ولی اگر این کار را کردید، بررسی واحد ها به صورت دستی نیز با فرمان **Check Units** در منوی **Calculation** در دسترس می باشد. در این مثال ما واحد های بیشتری را در Variable Information وارد نمی کنیم تا اخطار بررسی واحدها را بعد از حل مسئله ببینیم.

در معادله های غیر خطی، بعضی مواقع لازم است که حتماً حدس اولیه و کران های قابل قبولی برای متغیر ها به منظور رسیدن به حل مورد نظر مشخص کنیم (در مثال ما این کار اجباری نیست). کران بعضی از متغیر ها از فیزیک مسئله معلوم است. در این مثال، انتالپی در خروجی، h_2 ، باید نزدیک به مقدار h_1 باشد. مقدار حدس آن را 100 و کران پایین آن را 0 در نظر می گیریم. مقدار حدس حجم مخصوص ویژه خروجی، v_2 ، را 0.1 و کران پایین آن را 0 می گیریم. کران پایین Vel_2 نیز باید صفر باشد.

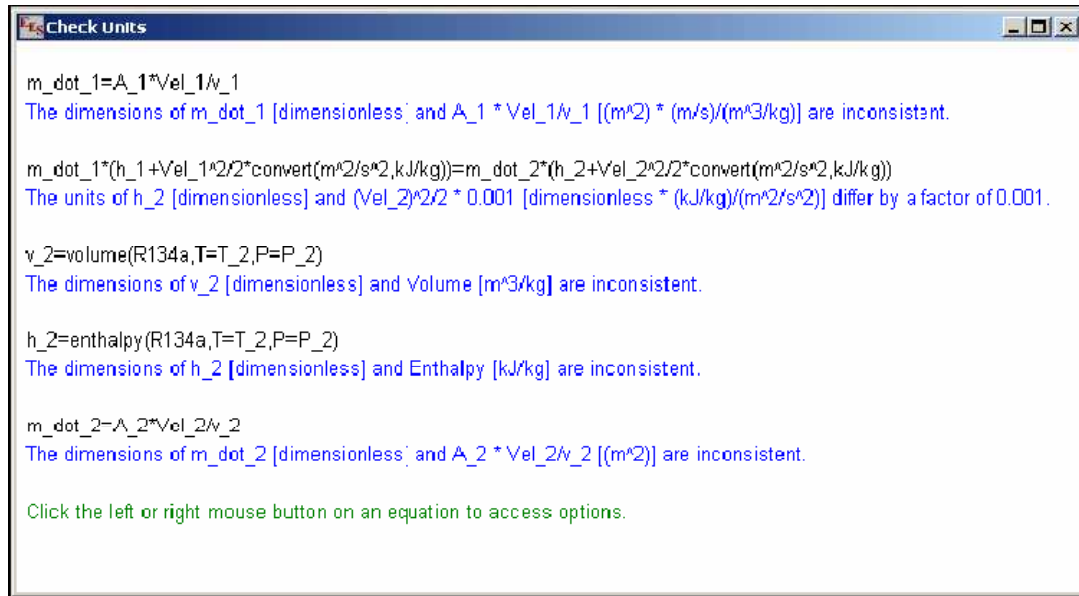
برای حل دستگاه معادلات، فرمان **Solve** را از منوی **Calculate** انتخاب کنید. یک پنجره اطلاعات نمایان می شود که در آن مدت سپری شده (elapsed time)، بیشترین باقیمانده (maximum residual) (یعنی اختلاف بین سمت چپ و سمت راست یک معادله)، و بیشترین تغییر در متغیرها پس از آخرین تکرار (maximum variable change)، نشان داده شده است. وقتی که محاسبات به پایان رسید، تعداد کل معادله در مسئله و تعداد بلوک ها (Blocks) را نشان می دهد. یک بلوک یک زیر مجموعه از دستگاه معادلات است که می تواند به صورت مستقل حل شود. EES به صورت اتوماتیک تا جایی که ممکن باشد، برای افزایش کارایی محاسبات، دستگاه معادلات را به بلوک های مختلف تقسیم می کند. وقتی که محاسبات به پایان رسید، دکمه Abort به Continue تبدیل می شود.



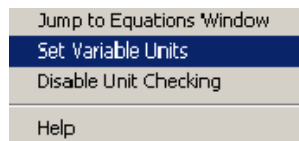
به صورت پیش فرض، محاسبات تا جایی ادامه می یابد که 100 تکرار رخ داده باشد، و یا اینکه زمان طی شده از 60 ثانیه تجاوز کند، و یا بیشترین باقی مانده کمتر از 10^{-6} شود و یا ماکزیمم تغییرات متغیرها کمتر از 10^{-9} شود. این ارقام را می توان در **Stop Criteria** از منوی **Options** تغییر داد. اگر بیشترین باقیمانده بزرگتر از مقدار مشخص شده برای توقف محاسبات باشد، معادله ها به درستی حل نشده اند؛ احتمالاً به این دلیل که کران های یک یا چند متغیر به درستی انتخاب نشده اند. بر روی دکمه **Continue** کلیک کنید تا این پنجره بسته شده و پنجره **Solution** نمایان شود. حال که مقادیر m_{dot_2} ، T_2 و Vel_2 بدست آمده اند، مسئله تمام شده است. اما توجه کنید که EES نشان داده است که مشکلات بالقوه آحاد وجود دارد.



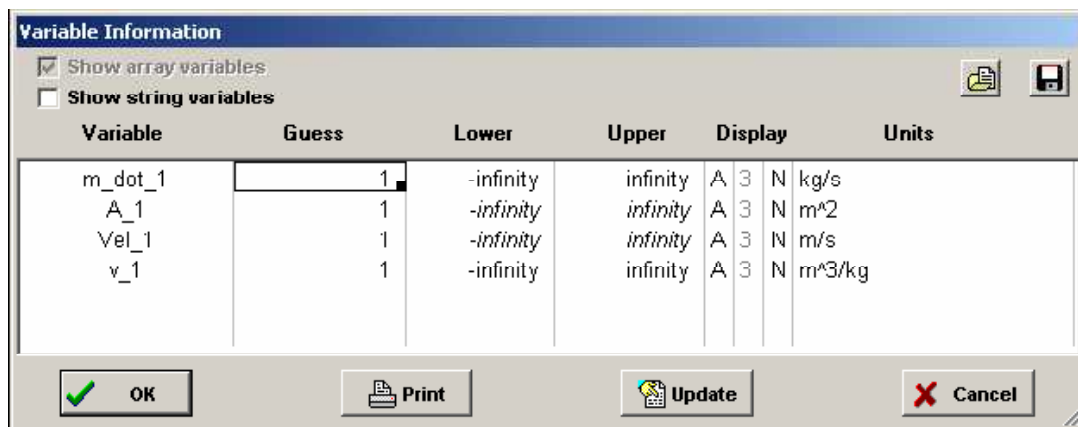
EES این پیغام را زمانی نشان می دهد که گزینه بررسی خودکار واحد ها در قسمت **Options** فعال باشد. معمولاً مشکلات آحاد از آنجا ناشی می شود که واحد بعضی از متغیر ها مشخص نشده باشد. بعضی اوقات یک یا چند تغییر واحد لازم می باشد و در بعضی موارد یک یا چند معادله ممکن است از نظر دیمانسیون نادرست باشند. بر روی دکمه **Check Units** کلیک کنید تا لیستی از خطاهای آحاد در این مثال ببینید.



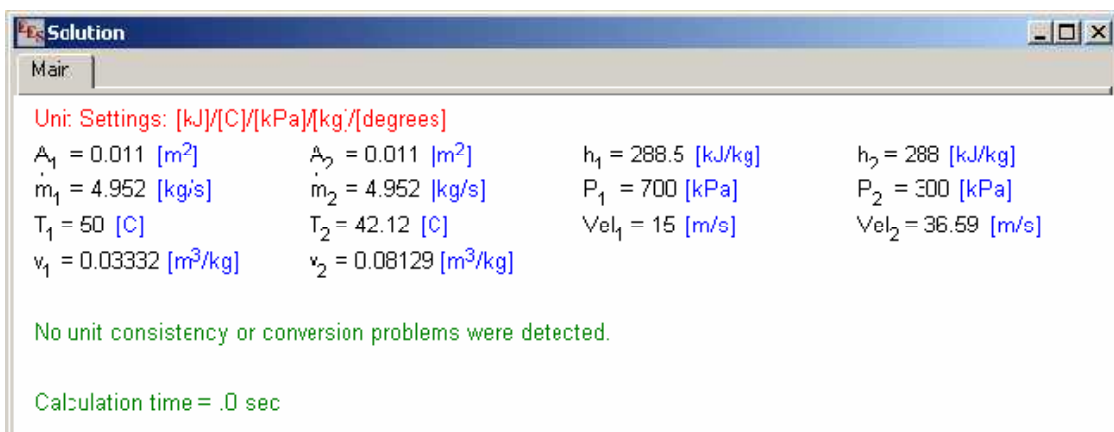
در این مثال، تمام اخطارهای مربوط به واحدها به این علت رخ داده است که ما هنوز واحد چند متغیر را مشخص نکرده ایم. این واحدها را می توان به چند روش مشخص کرد. شاید آسان ترین راه کلیک راست کردن بر روی متغیر در پنجره Solution و وارد کردن واحد در قسمت مشخص شده می باشد. به روش دیگر می توان بر روی معادله در پنجره Check Units کلیک راست کرد. همانطور که در زیر نشان داده شده است، منوی زیر ظاهر می شود.



گزینه Set Variable Units اطلاعات مختلفی از معادله انتخاب شده می دهد. همانطور که در زیر نشان داده شده است واحد تمام متغیرها را وارد کنید تا پیغام خطا از بین برود.



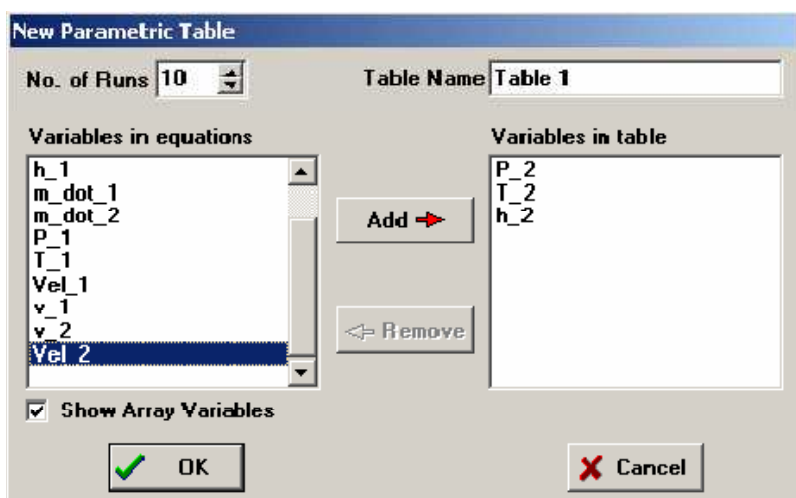
وقتی که تمام واحد ها مشخص شد، پنجره Solution اشاره بر آن دارد که هیچ خطایی در واحد ها وجود ندارد.



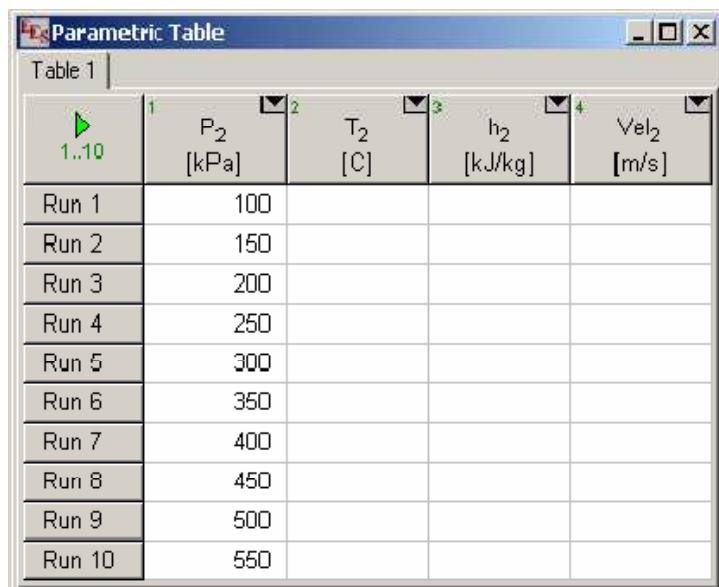
یکی از مفید ترین امکانات EES توانایی آن در ایجاد مطالعه پارامتری می باشد. برای مثال در این مسئله، ممکن است برای ما جالب باشد که دمای خروجی و سرعت خروجی چگونه با فشار خروجی تغییر می کند. با استفاده از فرمانهای موجود در منوی **Tables** می توان یک سری از محاسبات را به صورت خودکار درآورده و به نمودار تبدیل کرد.

فرمان **New Parametric Table** را انتخاب کنید. در این قسمت لیستی از متغیر هایی که در پنجره Equation وجود دارد نمایان می شود. در این مثال ما یک جدول شامل متغیر های Vel_2 , T_2 , P_2 و h_2 ایجاد می کنیم. این متغیر ها را در سمت چپ انتخاب کرده و بر روی **Add** کلیک می کنیم. نام

پیش فرض برای این جدول، Table 1 می باشد. این نام را می توان در اینجا یا در آینده تغییر داد. برای ساخت جدول بر روی دکمه Ok کلیک کنید.

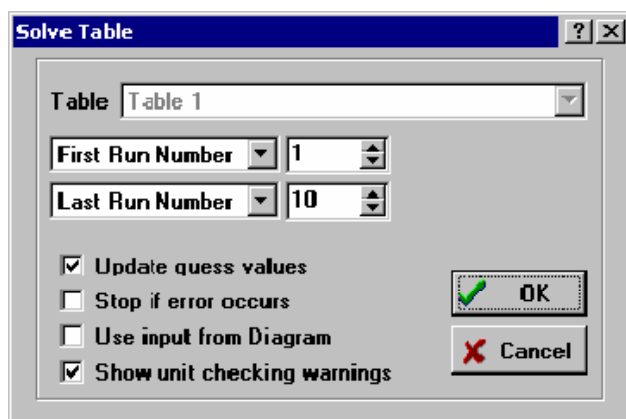


جدول پارامتری مانند یک صفحه گسترده (spread sheet) عمل می کند. شما می توانید مستقیماً در خانه های آن عدد وارد کنید. عدد هایی که شما در اینجا وارد می کنید به رنگ سیاه نشان داده می شوند و درست مثل این است که شما مقدار آن را در یک معادله در پنجره Equation وارد کرده اید. عبارت $P_2=300$ را در پنجره Equation حذف کنید (یا آن عبارت را داخل آکولاد قرار دهید). نیازی به این معادله نیست چرا که مقدار P_2 را در جدول تنظیم خواهیم کرد. حال مقادیر P_2 را تعیین می کنیم. برای این مثال مقادیر 100 تا 550 را انتخاب کرده ایم. (مقادیر را می توان به صورت اتوماتیک با استفاده از Alter Values در منوی Tables، و یا با کلیک راست کردن بر روی یکی از خانه های جدول مربوط به P_2 و انتخاب Alter Values از منوی ظاهر شده، و یا با کلیک بر روی علامت ▼ در بالای هر ستون، وارد کرد.) حال جدول پارامتری مانند شکل زیر نمایان می شود.



1..10	1 P ₂ [kPa]	2 T ₂ [C]	3 h ₂ [kJ/kg]	4 Vel ₂ [m/s]
Run 1	100			
Run 2	150			
Run 3	200			
Run 4	250			
Run 5	300			
Run 6	350			
Run 7	400			
Run 8	450			
Run 9	500			
Run 10	550			

حال، **Solve Table** را از منوی **Calculate** انتخاب کنید. پنجره **Solve Table** نمایان شده و به شما اجازه می دهد انتخاب کنید که اجرا ها و جداول برای کدام محاسبات باید انجام شود.



Solve Table

Table: Table 1

First Run Number: 1

Last Run Number: 10

☒ Update guess values

☐ Stop if error occurs

☐ Use input from Diagram

☒ Show unit checking warnings

OK Cancel

زمانی که گزینه **Update Guess Values** انتخاب شده باشد، همانطور که در شکل فوق می بینید، حل آخرین اجرا مقدار حدس اجرای بعدی را تامین خواهد کرد. بر روی **OK** کلیک کنید. یک پنجره آماری که نشان دهنده پیشرفت حل می باشد، نمایش داده خواهد شد. وقتی که حل به اتمام رسید، مقادیر **T₂**، **h₂** و **Vel₂** وارد جدول می شوند. مقادیری که به وسیله **EES** در جدول محاسبه شده اند می توانند بسته به تنظیماتی که در زبانه **General** در قسمت **Preferences** صورت می گیرد، به صورت های مختلف از جمله آبی رنگ، **Bold**، یا **Italic** نمایش داده شود.

Parametric Table				
Table 1				
1..10	P ₂ [kPa]	T ₂ [C]	h ₂ [kJ/kg]	Vel ₂ [m/s]
Run 1	100	32.23	282.6	109.9
Run 2	150	37.02	285.9	73.85
Run 3	200	39.31	287.1	55.33
Run 4	250	40.86	287.7	44.11
Run 5	300	42.12	288	36.59
Run 6	350	43.24	288.2	31.21
Run 7	400	44.28	288.3	27.16
Run 8	450	45.28	288.4	24.01
Run 9	500	46.25	288.4	21.49
Run 10	550	47.2	288.4	19.43

حال نسبت بین متغیر های P₂ و T₂ نمایان شده است، ولی این امر با نمودار واضح تر به نظر می رسد. برای این کار از منوی **Plots**، گزینه **New Plot Window** را انتخاب کنید. پنجره **New Plot Setup** نظیر شکل زیر نمایان می شود. متغیر P₂ را برای محور x (در زیر X-Axis) و T₂ را برای محور y (در زیر Y-Axis) انتخاب کنید. خطوط شبکه ای (Grid Lines) به بهتر خوانده شدن نمودار کمک می کند. گزینه **Grid Lines** را برای هر دو محور x و y فعال کنید. زمانی که بر روی **OK** کلیک کنید، نمودار ساخته خواهد شد و پنجره **Plot** نظیر آنچه در شکل آورده شده است، ظاهر می شود.

در منوی **Plot** گزینه های کاربردی زیادی وجود دارند که می توان از آنها برای ایجاد تغییر در نمودار (**Modify Plot**)، تنظیم محور ها (**Modify Axes**)، رسم نمودار خاصیت (**Property Plot**) و غیره استفاده کرد.

New Plot Setup [?] [X]

Tab Name: ☐ Print Description with plot

Description:

X-Axis

- P_2
- T_2
- h_2
- Vel_2

Format

Minimum

Maximum

Interval

☒ Linear ☐ Log

☒ Grid lines

Y-Axis

- P_2
- T_2
- h_2
- Vel_2

Format

Minimum

Maximum

Interval

☒ Linear ☐ Log

☒ Grid lines

Table

First Run

Last Run

☐ Spline fit

☐ Automatic update

☐ Add legend item

☐ Show array indices

☐ Show error bars

Line

Symbol

Color

☒ OK ☒ Cancel

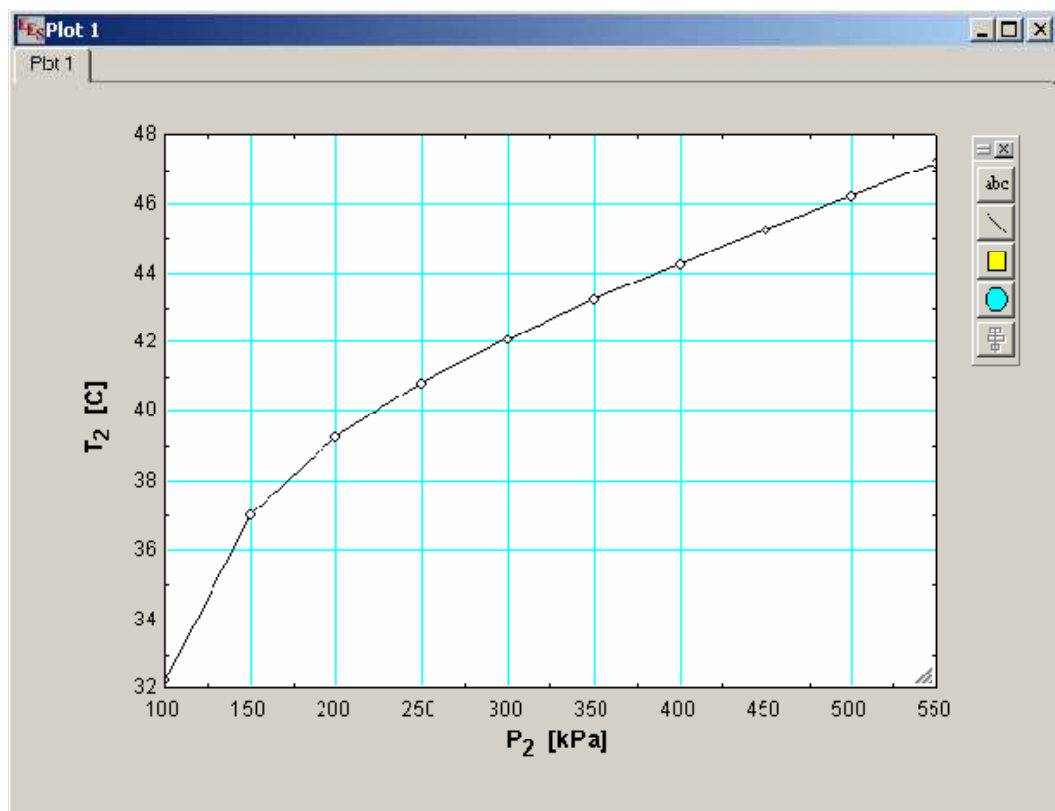
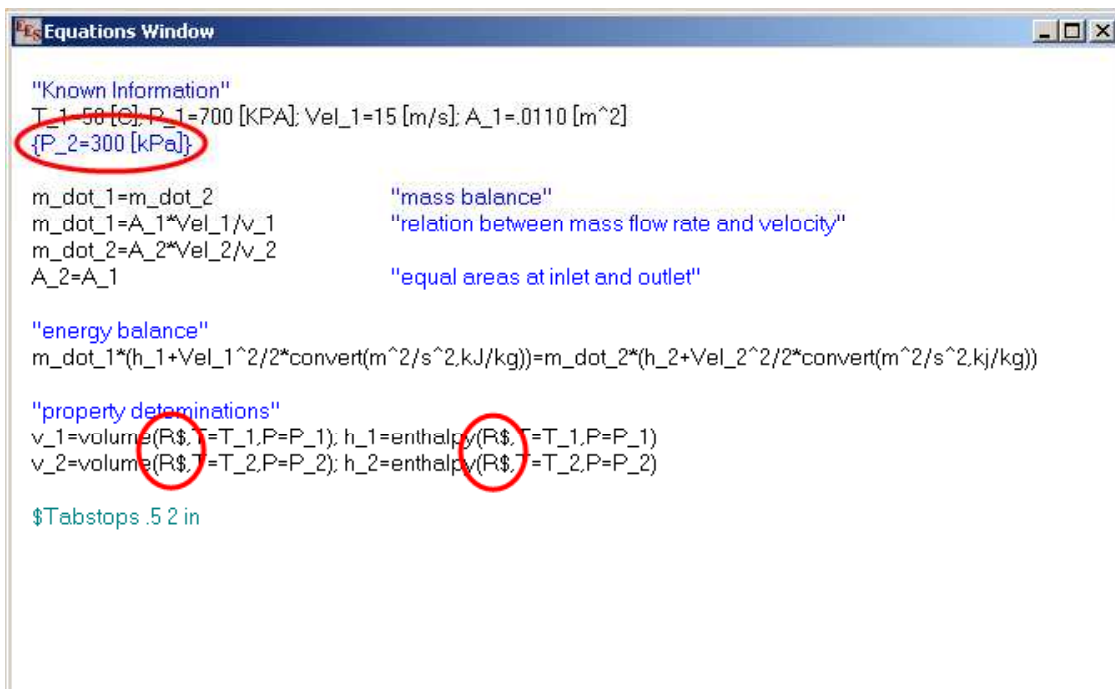


Diagram Window

در Diagram window می توان مکانی برای نمایش یک محیط گرافیکی و متن های مرتبط با آن، برای مسئله ای که قرار است حل شود، فراهم کرد. همچنین در آن می توان از ورودی و خروجی های گرافیکی به راحتی استفاده کرد.

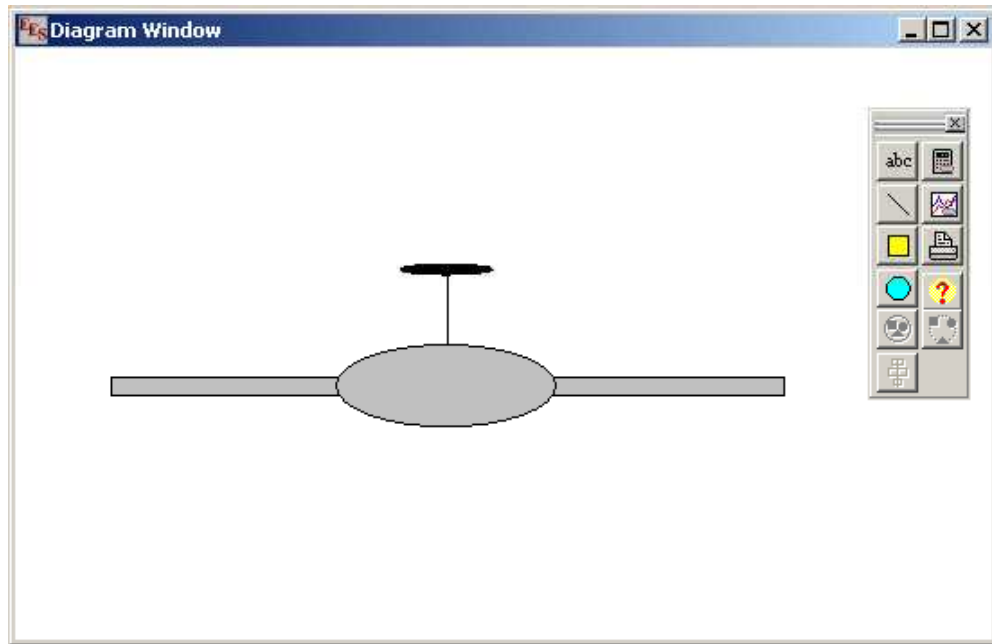
در این قسمت می خواهیم مثال حل شده در قسمت قبل را در یک محیط گرافیکی نمایش دهیم. در این محیط می خواهیم مبرد و فشار خروجی (P_2) را وارد کرده و دما و سرعت در ورودی و خروجی درجه را در دیاگرام مشاهده کنیم.

در ادامه برای نشان دادن تعدادی از قابلیت های diagram window، باید تغییراتی در مسئله ایجاد کنیم. شکل زیر را نگاه کنید

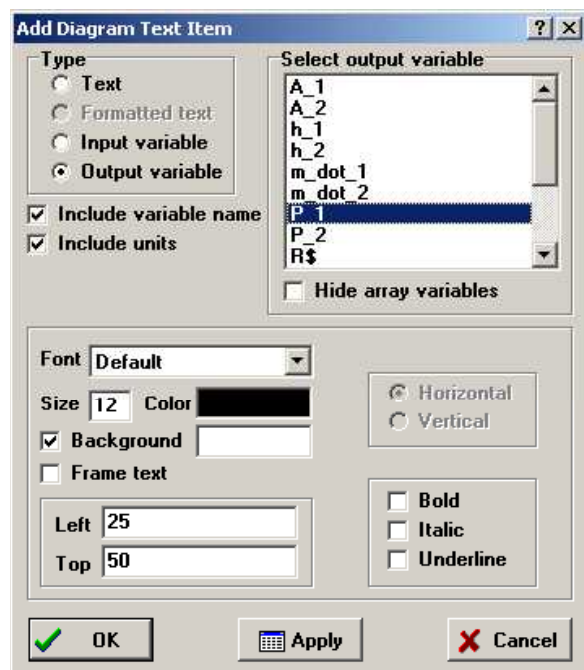


همانطور که در شکل فوق دیده می شود، در معادلات به جای R134a یک متغیر رشته ای به نام R\$ قرار داده و همچنین متغیر P_2 را نیز حذف کرده ایم (زیرا می خواهیم کاربر، مقدار این متغیر ها را در Diagram window وارد کند).

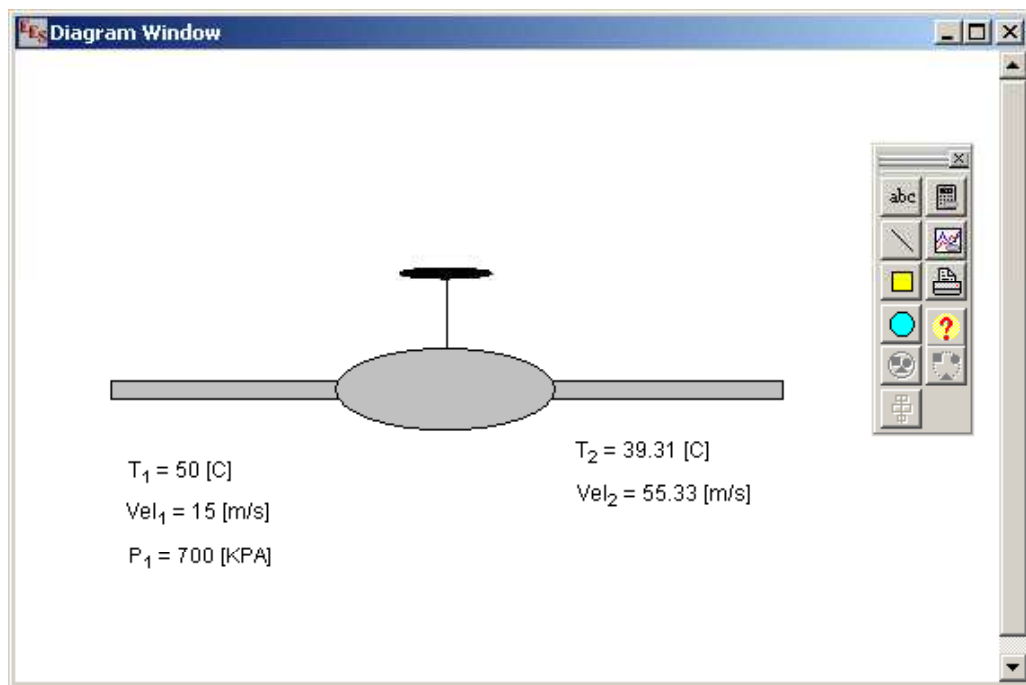
حال از منوی **Windows**، گزینه **Diagram Window** را انتخاب کنید. یک صفحه سفید با یک نوار ابزار نمایان می شود. در ابتدا باید شکل مسئله را در این صفحه قرار دهیم. شکل مسئله را می توان به کمک هر برنامه گرافیکی کشید و آن را به داخل این پنجره کپی کرد (مثلاً با استفاده از کلید های **Ctrl+C** و **Ctrl+V**). بعد از وارد کردن شکل، با گرفتن و کشیدن به وسیله ماوس (**Drag and Drop**) آن را در مکان مناسبی در وسط صفحه قرار دهید.



حال می خواهیم در دیاگرام بدست آمده، متغیر ها را مشخص کنیم. بر روی دکمه  **Add Text** کلیک کنید. پنجره زیر نمایان می شود.



در ابتدا می خواهیم متغیر های خروجی را در دیاگرام به نمایش بگذاریم. برای این کار در قسمت **Type**، گزینه **Output Variable** را انتخاب کنید. در قسمت **Select output variable**، متغیر **P_1** را انتخاب کنید. همچنین توجه کنید که گزینه های **Include variable name** و **Include units** نیز برای نشان دادن نام و واحد متغیر انتخاب شده در جلوی مقدار متغیر، باید فعال باشد. حال روی دکمه **OK** کلیک کنید. با این کار متغیر **P_1** در قسمت **Diagram window** اضافه خواهد شد. همین کار را برای متغیر های **T_1**، **Vel_1** و **T_2** و **Vel_2** انجام دهید. حال نوبت جابجا کردن متغیر ها در مکان مناسب است. متغیر های **T_1**، **Vel_1** و **P_1** را در قسمت ورودی دریچه و زیر شکل قرار دهید و متغیر های **T_2** و **Vel_2** را در قسمت خروجی دریچه و پایین شکل قرار دهید تا شکلی شبیه زیر حاصل شود.

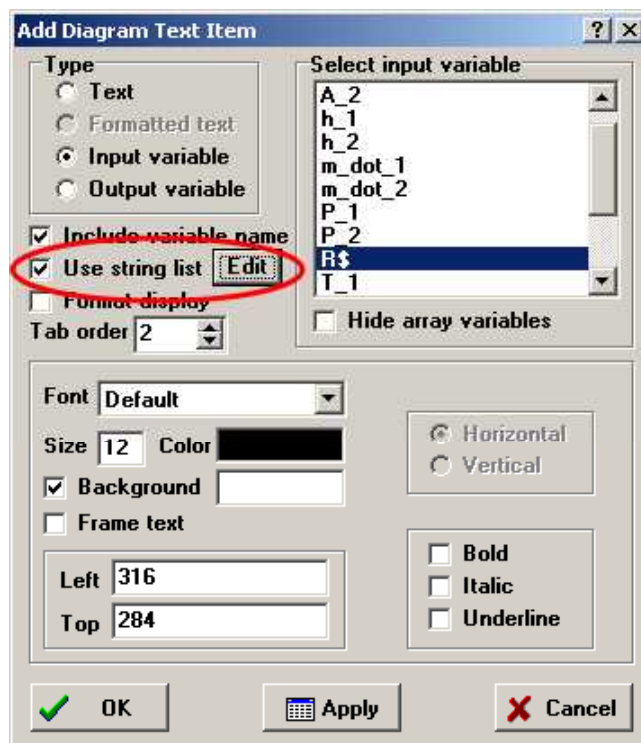


حال در این قسمت می خواهیم متغیر P_2 را طوری قرار دهیم که کاربر بتواند به آن مقدار داده و نتایج را در همین دیاگرام مشاهده کند.

بر روی دکمه  **Add Text** کلیک کنید. این بار در قسمت **Type**، گزینه **Input Variable** را انتخاب کرده و در قسمت مربوط به انتخاب متغیر، متغیر P_2 را انتخاب و بر روی دکمه **OK** کلیک کنید. این متغیر را نیز در مکان مناسب قرار دهید.

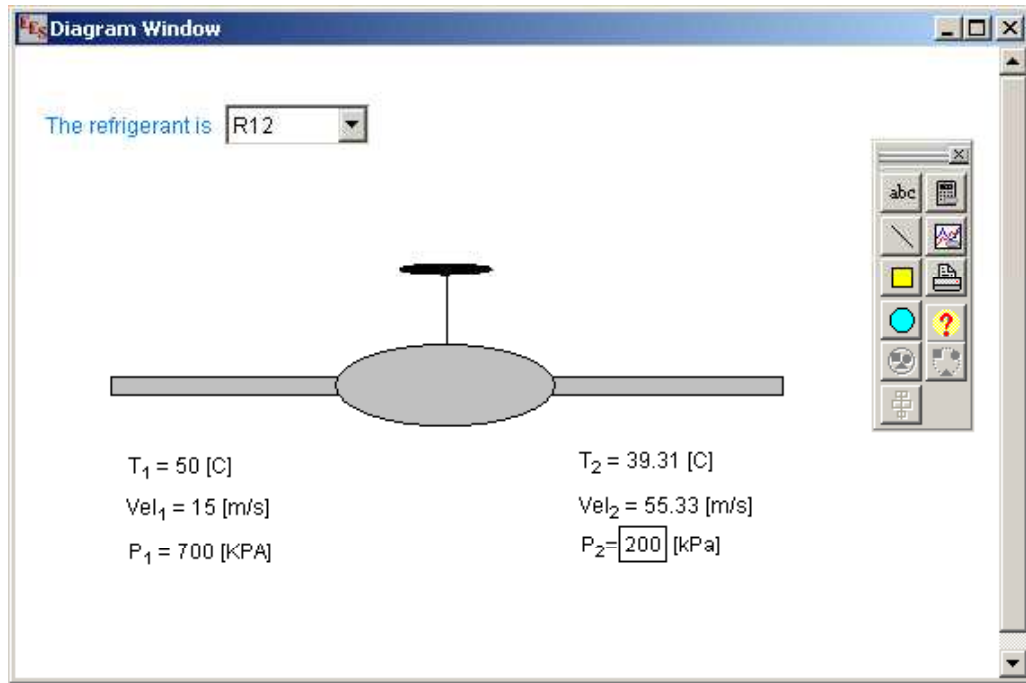
در این مثال می خواهیم کاربر بتواند از بین چند مبرد، یکی را برای حل مسئله انتخاب کند. برای این کار مجدداً روی  **Add Text** کلیک کنید. در قسمت **Type**، گزینه **Input Variable** و از سمت راست، متغیر $R\$$ را انتخاب کنید. همانطور که در شکل زیر دیده می شود، از آنجا که ما یک متغیر رشته ای انتخاب کرده ایم، گزینه **Use String List** به این قسمت اضافه شده است. بر روی دکمه **Edit** در جلوی این گزینه کلیک کرده و در پنجره باز شده، نام مبردهای زیر را وارد کنید.

R12
R134a
R500
Ammonia



در اینجا برای اینکه می خواهیم نام متغیر در دیاگرام نشان داده نشود و به جای آن، خودمان توضیحاتی بنویسیم، گزینه Include Variable Name را غیر فعال می کنیم.

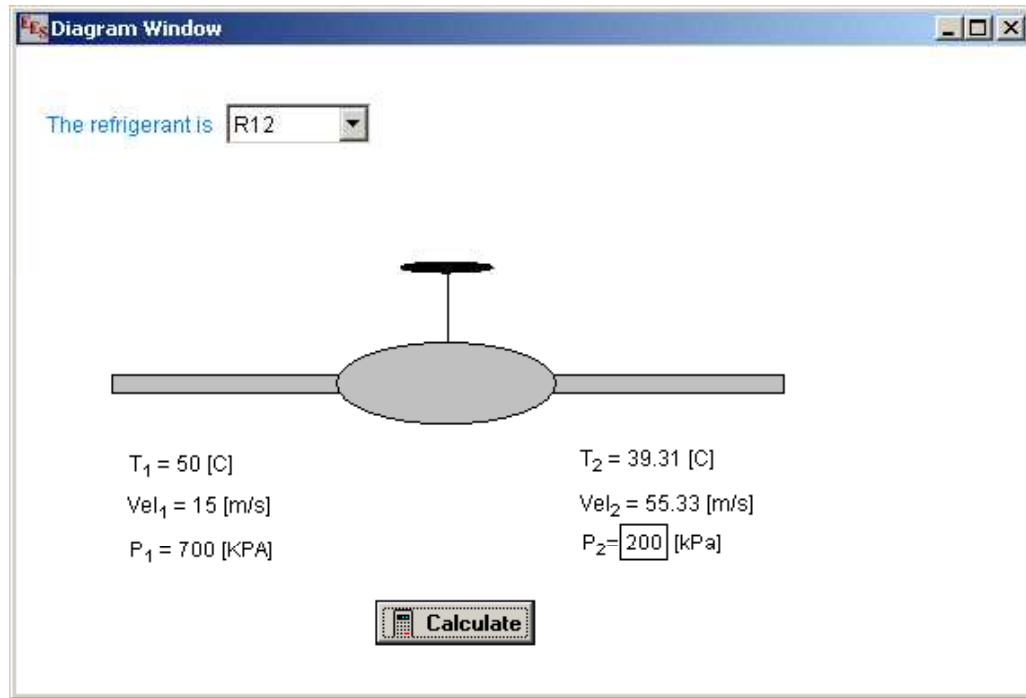
بر روی Ok کلیک کنید تا این پنجره بسته شده و به قسمت Diagram window بر گردیم. فهرستی از نام مبردها R12 در دیاگرام ایجاد شده است. آن را مکان مناسبی در بالای صفحه قرار دهید. برای نوشتن توضیحات نیز فقط لازم است بر روی Add Text  کلیک کرده و در قسمت Type گزینه Text را انتخاب کنیم. در قسمت مربوطه عبارت **the refrigerant is** را تایپ کنید. می توانید رنگ این متن را نیز به دلخواه تغییر دهید. بر روی Ok کلیک کنید و این متن را سمت چپ لیست مبردها قرار دهید. تا اینجا تقریباً کار تمام است و دیاگرام ما شبیه شکل زیر خواهد بود.



تنها کاری که لازم است انجام دهیم، اضافه کردن دکمه **Calculate** می باشد. برای این کار روی دکمه **Add Calculate Button** کلیک کنید. دکمه **Calculate** به دیاگرام اضافه می شود. آن را در مکان مناسبی قرار دهید. برای ایجاد تغییراتی در خصوصیات آن نیز می توانید روی آن کلیک راست کنید و در پنجره باز شده تغییرات دلخواه را انجام دهید.

در اینجا کار تمام است. نوار ابزار را با علامت ضربدر گوشه سمت راست آن ببندید.

حال باید دیاگرامی شبیه شکل زیر داشته باشیم که در آن می توانیم مبرد را از لیست انتخاب و دمای خروجی را نیز وارد کرده و دکمه **Calculate** را برای دیدن نتایج فشار دهیم.



در آخر دستور زیر را در صورت تمایل می توانید در پنجره Equation وارد کنید:

```
$IFNOT DIAGRAMWINDOW
  R$='R134a'
  P_2=200 [kPa]
$ENDIF
```

این دستور می گوید که چنانچه پنجره دیاگرام (Diagram Window) بسته بود، آنگاه R134a را برای متغیر R\$ و مقدار 200 kPa برای P_2 در نظر بگیرد. اگر پنجره دیاگرام باز بود، این دستور نادیده گرفته می شود.

در این مثال با برخی قابلیت های این نرم افزار آشنا . برای جزئیات بیشتر می توانید به راهنمای نرم افزار (منوی Help) و مثال های حل شده این نرم افزار در زمینه های گوناگون (در منوی Examples) مراجعه کنید.

بخش دوم

توابع (Functions) و زیربرنامه ها (Procedures)

استفاده از زیرروال ها (subroutines) در EES مزایای زیادی دارد. اولاً با تقسیم مسئله به قسمت های کوچک تر باعث ساده تر شدن فرمول بندی یک مسئله پیچیده می شود. فهم برنامه هایی که از زیرروال ها استفاده می کنند، راحت تر است. ثانیاً زیرروال ها را می توان در یک فایل کتابخانه ای ذخیره کرده و در برنامه های دیگر EES مجدداً مورد استفاده قرار داد. ثالثاً در توابع و زیر برنامه ها می توان از دستورات Repeat Until If Then Else و Goto استفاده کرد.

EES توابع

EES این قابلیت را به کاربر می دهد که بتواند مستقیماً در پنجره معادله (Equation window)، تابع خود را بنویسد. در ادامه قوانین نوشتن توابع آورده شده است.

۱. توابع باید در ابتدای پنجره معادله، قبل از هر یک از معادله های بدنه اصلی EES نوشته شود.
۲. تابع با واژه FUNCTION شروع می شود. بعد از آن نام تابع و سپس آرگومان ها در داخل پرانتز قرار می گیرند. آرگومان ها به وسیله ویرگول، به دنبال هم و در یک خط از هم جدا می شوند.

مثال: $\text{FUNCTION Test}(x,y)$



۳. تابع با واژه END به پایان می رسد.
۴. معادله هایی که داخل توابع و زیر برنامه ها ظاهر می شوند، اساساً با وقتی که در بدنه اصلی EES نوشته می شوند، فرق می کنند. بهتر است به معادلاتی که در توابع و زیر برنامه ها نوشته می شوند، شبیه آنچه که در Pascal و Fortran داریم، عبارات جایگزینی (assignment statement) بگوییم. یک عبارت جایگزینی، مقدار عددی حاصل از جمله سمت راست عبارت را در متغیر سمت چپ عبارت جایگزین می کند. مثلاً $X:=X+1$ یک عبارت جایگزینی صحیح است ولی بدیهی است که یک تساوی (مانند اغلب معادله هایی که در بدنه اصلی EES می نوشتیم) نیست. علامت $=$ (به جای $=$) دلالت بر جایگزینی دارد. هر چند اگر گزینه Allow = in Function/Procedures در

پنجره Display Option (منوی Option) انتخاب شده باشد، EES علامت تساوی را در عبارات جایگزینی هم قبول می کند.

۵. به طور معمول EES عبارات جایگزینی در توابع و زیربرنامه ها را به ترتیبی که نوشته می شوند، اجرا می کند. ولی می توان از دستورات If Then Else، Repeat Until، Goto برای تغییر در توالی پردازش در توابع و زیربرنامه ها استفاده کرد.

۶. برای فراخوانی توابع، فقط کافی است نام تابع را در یک معادله نوشت. آرگومان ها باید در ادامه نام تابع و در داخل پرانتز آورده شوند. تابع باید با همان تعداد آرگومانی که در دستور Function ظاهر شده است فرا خوانده شوند.

مثلاً:

```
...
A=Test(1,2)
...
```

۷. معادله هایی که داخل توابع نوشته می شوند، می توانند هر کدام از توابع داخلی EES را فرا بخوانند. به علاوه می توانند هر یک از توابع و یا زیر برنامه های دیگر را نیز صدا بزنند. اما توابع بازگشتی که خودش را صدا بزند، امکان پذیر نیست.

۸. تمام متغیر های استفاده شده در بدنه توابع، به جز متغیر هایی که در محدوده دستور \$COMMON تعریف شده باشند، به صورت محلی (local) هستند. تابع مقدار خود را در نامی که برای تابع ذکر شده بود بر می گرداند.

مثال:

```
FUNCTION TestCommon(X)
  $COMMON B,C,D {variables B,C, and D are from the main program}
  TestCommon := X+B+C+D
END
```

```
B=4; C=5; D=6
G=TestCommon(3)
```

۹. توابع همیشه صرف نظر از تنظیمات جبر مختلط در حالت حقیقی (Real Mode) عمل می کنند.

از توابع می توان برای به بدست آوردن رابطه تحلیلی بین دو یا چند متغیر استفاده کرد. به عنوان مثال، قابلیت کاردهی مخصوص (Specific Availability) یک جریان روان، که با ψ نشان داده می شود برابر است با:

$$\psi = (h - h_o) - T_o (s - s_o) + V^2/2 + g z$$

where

h and s are specific enthalpy and entropy, respectively

h_o and s_o are specific enthalpy and entropy at the 'dead' state condition, T_o and P_o

V is the velocity

g is gravitational acceleration

z is elevation, relative to a selected zero point

زمانی که دما و فشار حالت مرگ (dead State) انتخاب شده باشد، h_o و s_o ثابت هستند. یک تابع برای قابلیت کاردهی بخار با $T_o = 530 R$ و $p_o = 1 atm$ را می توان با قرار دادن جملات زیر در بالای پنجره معادله بدست آید. فراخوانی تابع به صورت $\psi(T1, P1, V1, Z1)$ در یک معادله می تواند قابلیت کاردهی مخصوص را برای جریان برای حالت انتخاب شده مرگ بر حسب Btu/lb_m برگرداند.

FUNCTION $\psi(T, P, V, Z)$

$T_o := 530 [R]$

"dead state temperature"

$h_o := 38.05 [Btu/lbm]$

"specific enthalpy at dead state conditions"

$s_o := 0.0745 [Btu/lbm-R]$

"specific entropy at dead state conditions"

$h := \text{enthalpy}(\text{STEAM}, T=T, P=P)$

$s := \text{entropy}(\text{STEAM}, T=T, P=P)$

$g = 32.17 [ft/s^2]$

"gravitational acceleration"

$\psi := (h - h_o) - T_o * (s - s_o) + (V^2 / 2 + g * Z) * \text{Convert}(ft^2/s^2, Btu/lbm)$

END

همچنین می توان از توابع برای تغییر دادن نام هر یک از توابع داخلی و یا مختصر سازی فهرست آرگومان های آن استفاده کرد. برای مثال تابع زیر نام **humrat** (تابع داخلی نسبت رطوبت یا Humidity Ratio) را به **W** تغییر داده، و ماده مشخصه را به عنوان یک آرگومان **AIRH2O** در نظر گرفته، و فشار مطلق را **100 kPa** می گیرد.

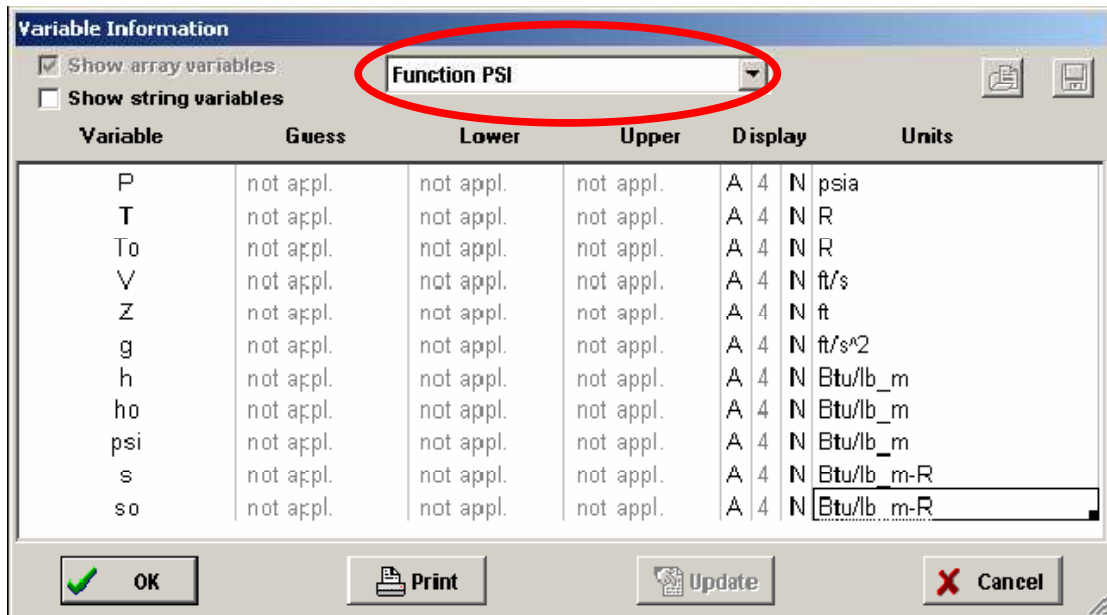
FUNCTION $w(T, RH)$

$w := \text{humrat}(\text{AIRH2O}, T=T, P=100, R=RH)$

END

در هر دو مثال فوق از توابع خاصیت داخلی EES استفاده شده است و در نتیجه به تنظیمات آحاد وابسته خواهند بود. با استفاده از تابع **UnitSystem**^۱ و دستور IF THEN ELSE، این امکان پذیر است که توابع به صورت کلی نوشته شده و با هر واحدی به صورت درست عمل کند.

توجه کنید که می توان واحد ها را برای متغیر های توابع و زیر برنامه ها در پنجره معادله مشخص شود. در شکل زیر پنجره Variable Information برای تابع psi نشان داده شده است. در آنجا حدس اولیه و کران های بالا و پایین در توابع و زیر برنامه ها غیر فعال است زیرا متغیر ها در توابع و زیر برنامه ها با عبارات جایگزینی تنظیم می شود.



Variable	Guess	Lower	Upper	Display	Units
P	not appl.	not appl.	not appl.	A 4 N	psia
T	not appl.	not appl.	not appl.	A 4 N	R
To	not appl.	not appl.	not appl.	A 4 N	R
V	not appl.	not appl.	not appl.	A 4 N	ft/s
Z	not appl.	not appl.	not appl.	A 4 N	ft
g	not appl.	not appl.	not appl.	A 4 N	ft/s^2
h	not appl.	not appl.	not appl.	A 4 N	Btu/lb_m
ho	not appl.	not appl.	not appl.	A 4 N	Btu/lb_m
psi	not appl.	not appl.	not appl.	A 4 N	Btu/lb_m
s	not appl.	not appl.	not appl.	A 4 N	Btu/lb_m-R
so	not appl.	not appl.	not appl.	A 4 N	Btu/lb_m-R

^۱ تابع داخلی **UnitSystem('UnitType')** این تابع در یک برنامه EES، اجازه دانستن تنظیمات آحاد صورت گرفته در فرمان Unit System (منوی Option) را می دهد. این تابع یک آرگومان می گیرد باید داخل علامت نقل قول منفرد (') قرار بگیرد. آرگومان های مجاز عبارتند از 'R'، 'F'، 'K'، 'C'، 'atm'، 'psia'، 'bar'، 'kPa'، 'Rad'، 'Deg'، 'Molar'، 'Mass'، 'Eng'، 'SI'. این تابع در صورت درست بودن عدد یک و در صورت اشتباه بودن عدد صفر را بر می گرداند. به عنوان مثال:

$g = \text{unitsystem}('SI') + 32.2 * \text{unitsystem}('Eng')$

اگر کاربر سیستم آحاد SI را انتخاب کرده باشد، مقدار g را برابر 1 و اگر کاربر سیستم آحاد انگلیسی را انتخاب کرده باشد، مقدار g را برابر 32.2 قرار می دهد.

زیربرنامه های EES

زیر برنامه ها در EES بسیار شبیه توابع هستند، با این تفاوت که اجازه داشتن خروجی های متعدد در آنها فراهم شده است.

فرمت زیربرنامه به صورت زیر است:

```
PROCEDURE test(A,B,C : X,Y)
...
...
X :=...
Y :=...
END
```

زیر برنامه ها باید در ابتدای پنجره معادله، قبل از تمام معادله ها در بدنه اصلی EES نوشته شود. نام زیربرنامه (در اینجا TEST) می تواند هر متغیری با نام معتبر باشد. آرگومان ها شامل یک فهرست از ورودی ها و یک فهرست از خروجی ها می باشد که به وسیله علامت دونقطه (:) از هم جدا می شوند. در مثال فوق A و B و C و ورودی و X و Y خروجی ها هستند. هر زیر برنامه باید حداقل یک ورودی و یک خروجی داشته باشد. هر کدام از متغیر های خروجی باید به وسیله یک معادله با نام متغیر خروجی در سمت چپ عبارت جایگزینی تعریف شود. عبارت END زیر برنامه را به پایان می رساند.

برای فراخواندن یک زیر برنامه باید از عبارت CALL در هر کجای معادله که لازم بود، استفاده کرد. عبارت CALL مانند زیر نوشته می شود:

```
...
CALL test(1,2,3 : X,Y)
...
```

تعداد ورودی ها و خروجی ها در آرگومان های عبارت CALL باید دقیقاً با عبارت تعریف شده در PROCEDURE برابر باشد. آرگومان ها می تواند ثابت، متغیر های رشته ای، متغیر های عددی و یا عبارات جبری باشند. از دستور \$COMMON نیز می توان برای آرگومان های سراسری (Global) استفاده کرد. معادلات داخل زیربرنامه ها نیز مانند توابع، با معادلات در بدنه اصلی EES متفاوت هستند.

در داخل زیر برنامه ها می توان از خاصیت حل معادله EES نیز استفاده کرد. به عنوان مثال دو معادله غیر خطی زیر:

$$X^3 + Y^2 = 66$$

$$X/Y = 1.23456$$

برای حل این معادله برای X و Y داخل یک زیر برنامه، معادلات را به صورت زیر تغییر داده و داخل یک زیر برنامه می نویسیم

```
PROCEDURE Solve(X,Y:R1,R2)
R1:=X^3+Y^2-66
R2:=X/Y-1.23456
END
```

```
CALL Solve(X,Y:0,0)      {X = 3.834, Y = 3.106 when executed}
```

زیربرنامه ها چندین مزیت را به کاربران EES عرضه می کند. زیربرنامه هایی که قرار است بعدها مجدداً استفاده شوند را می توان به صورت جداگانه ذخیره کرده و به وسیله فرمان Merge از منوی File آن را وارد پنجره معادله کرد. همچنین می توان زیربرنامه ها را در یک فایل کتابخانه ای ذخیره کرده تا وقتی که EES را اجرا کردید، به صورت خودکار بارگذاری شود. زیربرنامه ها را می توان به صورت انتخابی با فرمان Load Library از منوی File یا دستور \$INCLUDE بارگذاری کرد. مثلاً می توان معادلاتی که یک توربین را توصیف می کند، یکبار نوشت و ذخیره کرد. هر بار که محاسبات توربین نیاز بود، می توان از عبارت CALL Turbine برای محاسبه کار توربین و متغیرهای حالت (State variable) استفاده کرد.

EES از هر دو نوع زیربرنامه های داخلی و خارجی پشتیبانی می کند. زیربرنامه های داخلی همانطور که در این قسمت توضیح داده شد، مستقیماً در ابتدای پنجره معادله نوشته می شود. زیربرنامه های خارجی با یک زبان برنامه نویسی سطح بالا مانند C، Pascal یا Fortran نوشته شده و به وسیله EES فراخوانده می شود. فرمان CALL برای هر دو نوع زیربرنامه یکسان است.

دستور If Then Else

در توابع و زیربرنامه های EES استفاده از چند نوع دستورات شرطی امکان پذیر است. این دستورات شرطی در بدنه اصلی برنامه نمی توانند استفاده شوند. متعارف ترین آنها دستور شرطی If Then Else می باشد.

در EES از هر دو فرمت تک خطی و چند خطی دستور If Then Else می توان استفاده کرد. فرمت تک خطی این دستور به شکل زیر است:

If (Conditional Test) Then Statement 1 Else Statement 2

فرم استفاده از این دستور بسیار شبیه به این مورد در Pascal می باشد. عملگر های شناخته شده عبارتند از = ، < ، > ، <= ، >= و <>. پرانتز اطراف معیار شرط (Conditional Test) اختیاری است. توجه کنید که می توان از متغیر های رشته ای نیز برای معیار شرط استفاده کرد. واژه Then و Statement 1 حتماً باید وجود داشته باشد. Statement 1 می تواند یک عبارت جایگزینی یا یک دستور Goto باشد. اما واژه Else و Statement 2 اختیاری هستند. مثال زیر تابعی را نشان می دهد که از If Then Else برای برگرداندن مینیمم سه عدد استفاده شده است.^۱

```
Function MIN3(x,y,z)           { returns smallest of the three values}
  If (x<y) Then m:=x Else m:=y
  If (m>z) Then m:=z
  MIN3:=m
End
```

Y = MIN3(5,4,6) { Y will be set to 4 when this statement executes}

از عملگرهای منطقی AND و OR نیز می توان در conditional test استفاده کرد. EES از سمت چپ به راست این عملگر های منطقی را اجرا می کند، به جز وقتی که از پرانتز برای تغییر این مورد استفاده شده باشد. توجه کنید که در مثال زیر پرانتز دور (X>0) و (Y<>3) برای لغو اجرای از چپ به راست و ایجاد اثر مطلوب مورد نیاز است.

If (x>y) or ((x<0) and (y<>3)) Then z:=x/y Else z:=x

^۱ توجه کنید که تابع داخلی Min می تواند این کار را انجام دهد.

فرمت دستور شرطی چند خطی به صورت زیر است:

If (Conditional Test) Then

Statement

Statement

...

Else

Statement

Statement

...

EndIf

همانطور که می بینید، واژه **If** و معیار شرط (conditional test) و **Then** باید در یک خط نوشته شود، واژه **Else** باید در یک خط جداگانه نوشته شود و واژه **EndIf** برای پایان بخشیدن به عبارت شرطی مورد نیاز است. همچنین از عبارات شرطی تو در تو نیز می توان استفاده کرد.

در مثال زیر فرمت استفاده از این دستور نشان داده شده است:

Function IFTest(X, Y)

If (X<Y) and (Y<>0) Then

A:=X/Y

B:=X*Y

If (X<0) Then

{nested If statement}

A:=-A; B:=-B

EndIf

Else

A:=X*Y

B:=X/Y

EndIf

IFTest:=A+B

End

G=IFTest(-3,4) { G will be set to 12.75 when this statement executes}

دستور Goto

همانطور که قبلاً گفته شد، EES به طور معمول عبارات جایگزینی داخل یک تابع یا زیربرنامه را به ترتیبی که ظاهر شده اند، اجرا می کند. دستور **Goto** برای تغییر توالی اجرای برنامه با جهش به دیگر قسمت های برنامه مورد استفاده قرار می گیرد. فرمت این دستور به صورت زیر است:

GoTo #

که در آن **#**، برچسب دستور (statement label) است که باید عددی صحیح بین 1 تا 30000 باشد.

کاربرد این دستور در مثال زیر نشان داده شده است:

Function FACTORIAL(N)

F:=1

i:=1

10: i:=i+1

F:=F*i

If (i<N) Then **GoTo** 10

FACTORIAL:=F

End

Y= FACTORIAL(5) { Y will be set to 120 when this statement executes}

دستور Repeat Until

همانطور که در بالا گفته شد، ایجاد حلقه در یک تابع یا زیربرنامه می تواند با دستورات **If Then Else** و **goto** صورت گیرد. اما معمولاً راحت تر و قابل فهم تر است اگر از ساختار **Repeat Until** استفاده شود. فرمت این دستور در زیر آورده شده است. توجه کنید که این دستور نیز فقط داخل توابع و زیربرنامه ها قابل استفاده است.

Repeat

Statement

Statement

...

Until (Conditional Test)

فرمت این دستور همانطوری است که در **Pascal** استفاده می شود. عبارات **Statement** تا وقتی که معیار شرط درست شود، تکرار می شود. در زیر همان تابع فاکتوریل که در قسمت قبلی با **If Then Else** و **Goto** نشان داده شد، با ساختار **Repeat Until** آورده شده است.

مثال:

```
Function Factorial(N)  
  F:=1  
  Repeat  
    F:=F*N  
    N:=N-1;  
  Until (N=1)  
  Factorial:=F  
End
```

Y= FACTORIAL(5) { Y will be set to 120 when this statement executes}

نکاتی در استفاده از EES

۱. فرمان **Variable Information** در منوی **Options** لیستی از کلیه متغیرهای استفاده شده در پنجره معادله (equation window) را به ترتیب حروف الفبا نشان می دهد. این لیست را بررسی کنید تا مطمئن شوید که نام هیچ متغیری را با املای نادرست وارد نکرده باشید.
۲. پنجره **Residuals** (از منوی **Windows**) مشخص کننده دقت در معادلاتی که در پنجره معادلات حل شده ولی دقیقاً به مقدار صفر نرسیده اند، و ترتیب حل شدن معادلات، و خلاصه ای از نتایج بررسی واحد ها می باشد. وقتی نرم افزار می گوید که راه حل پیدا نشد، بررسی باقی مانده ها (**Residuals**) نشان می دهد که کدام معادله ها حل نشده اند.
۳. اگر **EES** قادر به حل دستگاه معادلات غیر خطی شما نبود، سعی کنید برای بدست آمدن دستگاه معادلاتی که راحت تر حل شود، بعضی از متغیرهای مستقل و وابسته را تعویض کنید. برای مثال نرم افزار ممکن است با کران ها و حدس اولیه پیش فرض، قادر به حل معادلات مبدل حرارتی زیر برای بدست آوردن **NTU** نباشد.

$Eff=0.9$
 $C_{max} = 432$
 $C_{min} = 251$
 $eff = (1 - \exp(-NTU * (1 - (C_{min}/C_{max})))) / (1 - (C_{min}/C_{max}) * \exp(-NTU * (1 - (C_{min}/C_{max}))))$

اما اگر به جای **Eff**، مقدار **NTU** مشخص شود، معادله به راحتی حل خواهد شد.

$NTU = 5$
 $C_{max} = 432$
 $C_{min} = 251$
 $eff = (1 - \exp(-NTU * (1 - (C_{min}/C_{max})))) / (1 - (C_{min}/C_{max}) * \exp(-NTU * (1 - (C_{min}/C_{max}))))$

بعد از چند بار امتحان کردن مشخص می شود که برای $Eff=0.9$ باید **NTU** بین 3 و 5 باشد. با دادن مقدار 4 به عنوان حدس **NTU**، نرم افزار به سرعت مقدار نهایی آن را برابر 3.729 حساب می کند.

۴. یک راه مطمئن برای حل مسائل پیچیده با استفاده از EES، اضافه کردن یک متغیر اضافی به مسئله است. با این کار مسئله یک درجه آزادی بیشتر می گیرد. سپس با استفاده از جدول پارامتری (parametric table) مقدار های متفاوتی به یکی از متغیر های پیچیده داده تا مقدار متغیر اضافه شده برابر صفر شود. برای مثال، در محاسبه تشعشع (radiation) زیر باید مقدار T را بدست آوریم. سه معادله نخست باید در یک زمان حل شوند. این معادلات غیر خطی هستند زیرا T به توان چهار رسیده است. EES ممکن است به زحمت حل این معادلات را مطابق با حدس اولیه بدست آورد.

$$\begin{aligned} QL &= AL * \text{Sigma} * (T^4 - TL^4) \\ QB &= AH * \text{Sigma} * (TH^4 - T^4) \\ QL &= QB \\ \text{Sigma} &= 0.1718E-8; AL=0.5; AH=1; TL=300; TH=1000 \end{aligned}$$

حال یک متغیر Delta به صورت زیر اضافه می کنیم

$$\begin{aligned} QL &= AL * \text{Sigma} * (T^4 - TL^4) \\ QB &= AH * \text{Sigma} * (TH^4 - T^4) + \text{Delta} \\ QL &= QB \\ \text{Sigma} &= 0.1718E-8; AL=0.5; AH=1; TL=300; TH=1000 \end{aligned}$$

سپس یک جدول پارامتری شامل متغیر های T و Delta می سازیم. از فرمان **Alter Values** برای مشخص کردن گستره متغیر T استفاده کرده و برای محاسبه مقادیر نظیر به نظیر Delta جدول را حل می کنیم (گزینه **Solve Table**). مقدار یا مقدار های T که Delta را برابر صفر کند، حلی برای دستگاه معادله می باشد. فرمان **New Plot Window** نیز برای به تصویر درآوردن نسبت بین T و Delta می تواند مفید باشد. اگر Delta مقدار صفر را قطع نکرد، آنگاه برای گستره مقادیر جستجو شده T، دستگاه معادله حل ندارد و باید در گستره دیگری از T جستجو را انجام دهیم. زمانی که یک مقدار قابل قبول برای T پیدا شد، آنگاه می توان آن را به عنوان یک معادله در پنجره معادله وارد کرد و دستگاه را برای Delta حل کرد. (مثلا بعد از جستجو می بینیم که مقدار 900 برای T از نظر ما قابل قبول است، بنابراین معادله **T=900** را در پنجره معادله نوشته و دستگاه را برای بدست آوردن Delta حل می کنیم). سپس از فرمان **Update Guesses** در منوی **Calculate** استفاده می کنیم تا مقادیر حل شده به عنوان حدس اولیه برای حل بعدی در نظر گرفته شوند. در آخر عبارت **Delta=0** را وارد پنجره معادله می کنیم و معادله ای که مقدار T را مشخص می کرد حذف می کنیم و از معادله دوباره اجرا می گیریم. حال EES به راحتی می تواند

حل صحیح را پیدا کند. احتمالاً این روش مفیدترین روش برای حل یک دستگاه معادله غیر خطی پیچیده خواهد بود.

۵. دکمه Store در قسمت **Default Info** (از منوی **Options**) می تواند در زمانی که شما از یک مجموعه مرسوم در نامگذاری متغیر هایتان استفاده می کنید، مفید واقع شود. برای مثال متغیر هایی که با حرف T آغاز می شوند معمولاً تعیین کننده دما هستند. کران ها، فرمت نمایش و واحد ها را برای حرف T تنظیم کنید و سپس اطلاعات پیش فرض را ذخیره (Store) کنید. بعداً شما می توانید با استفاده از دکمه Load برای بازیابی این مجموعه از اطلاعات متغیر های پیش فرض استفاده کنید.

۶. از کلید Tab در پنجره معادله برای هم اندازه کردن طول معادله ها به منظور خوانا تر شدن آنها استفاده کنید.

۷. پنجره **Arrays** (از منوی **Windows**) می تواند برای سازمان دهی اطلاعات خاصیت در یک مسئله ترمودینامیکی دارای حالات متعدد (**multiple states**), بسیار مفید باشد. از متغیر های آرایه ای مانند $P[1]$, $T[1]$ و $h[1]$ (به جای $P1$, $T1$ و $h1$) برای خاصیت های هر حالت استفاده کنید. در این صورت خواص به جای آنکه به صورت نامرتب در پنجره معادله قرار گیرند، در یک جدول مرتب در پنجره **Arrays** نشان داده می شوند. البته مطمئن شوید که گزینه استفاده از پنجره آرایه ها در قسمت **Option** انتخاب شده باشد. یعنی گزینه زیر فعال باشد:

“Place array variables in the arrays window”

۸. در طراحی EES تلاش های زیادی صورت گرفته است که در شرایط گوناگون به صورت ناگهانی برنامه قطع نشود. اگر چه ممکن است این اتفاق بیفتد. در این موارد EES سعی می کند که کار شما را قبل از خراب شدن در یک فایل به اسم **EESERROR** ذخیره کند. اگر شما گزینه **AutoSave** را در **Option** فعال کرده باشید، در این صورت نیز می توانید از این فایل استفاده کنید.

۹. از دستور **\$INCLUDE** برای فراخواندن ثابت ها، تغییر واحد ها، یا دیگر معادلاتی که به صورت مشترک مورد استفاده قرار می گیرد، در پنجره معادلات استفاده کنید. شما آنها را نخواهید دید ولی آنها برای استفاده آنجا خواهند بود. شما همچنین می توانید فایل های کتابخانه ای را با دستور **\$INCLUDE** فراخوانی کنید.

۱۰. اگر شما در حالت مختلط (Complex mode) کار می کنید، از دستور \$COMPLEX ON در بالای پنجره معادله استفاده کنید. این کار راحت تر از آن است که تنظیمات حالت مختلط را در قسمت Preferences تغییر دهید.