مدلسازی پیل‌سوختی پلیمری تک کاناله

مقدمه

هدف از این آموزش فراهم کردن راهنمایی و آشنایی مقدماتی برای استفاده از ماژول پیل‌سوختی پلیمری در فلوئنت می‌باشد.

این آموزش چگونگی انجام موارد زیر را شرح می‌دهد:

- ساخت و تولید شبکه برای یک پیل‌سوختی پلیمری تک کاناله
- تعیین اسامی و انواع نواحی موردنیاز در ماژول پیل‌سوختی پلیمری فلوئنت
- ایمپورت کردن مش به نرم‌افزار فلوئنت، تنظیمات هندسه موردنظر و اجرای محاسبات موردنظر
- پس‌پردازش نتایج

خواص

در این آموزش فرض شده است که شما با گمبیت و فلوئنت آشنا هستید و درک خوبی از تنظیمات اولیه و خروجی حل دارید. جزئیات بیشتر گام‌ها به طور دقیق نشان داده نخواهد شد. اگر قبلاً از فلوئنت استفاده نکرده‌اید، مراجعه به راهنمای کاربر(user's guide) ، راهنمای توتوریال(tutorial guide) فلوئنت۶,۳ و راهنمای مدلسازی گمبیت برای شما مفید خواهد بود.

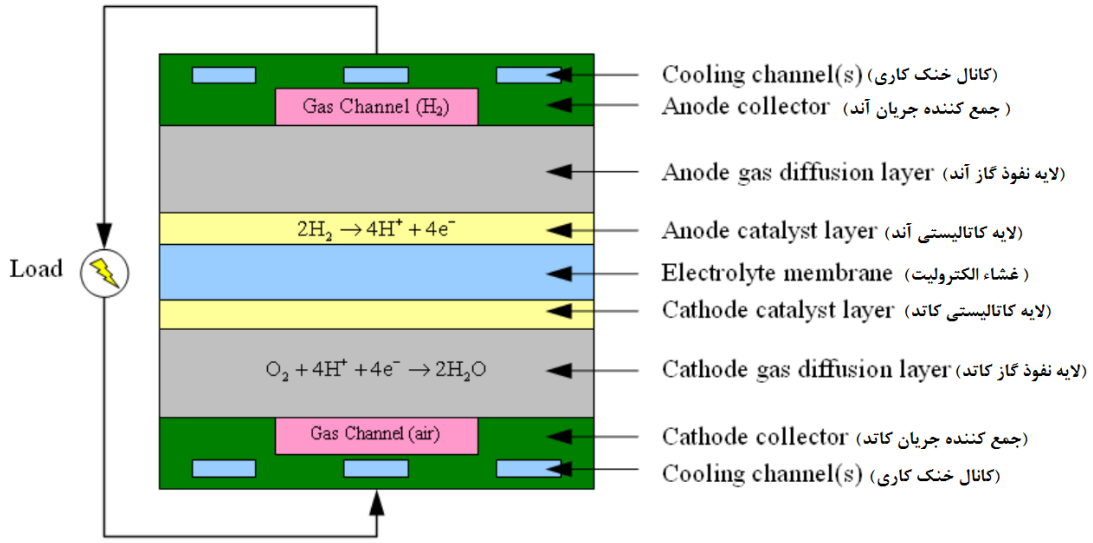
شرح مسئله

شماتیک پیل‌سوختی تک‌کانال- مستقیم و جریان مخالف در شکل ۱ نشان داده شده است. ابعاد پیل‌سوختی mm 2.4*2.88*125 به ترتیب در راستای z, y, x می‌باشد. این مدل در واقع بیانگر یک کانال تکراری از یک پیل‌سوختی جریان مخالف بزرگتر می‌باشد. مساحت مقطع عبوری از مجوعه غشاء الکترولیت (MEA) معادل 2.4*125= 300 mm^2 به دست می‌آید. تمامی نواحی نشان داده شده در شکل ۱ (به جز کانال خنک کاری) باید به صورت نواحی جداگانه در گمبیت تعریف گردند. توجه شود که هر کدام از این نواحی می‌تواند چندلایه باشد. به عنوان مثال لایه نفوذ گازی کاتد می‌تواند چندین لایه و هر لایه با خواص مواد مختلف باشد.

در فلوئنت۶,۳ ، تمام نواحی پیوسته باید از نوع سیال (fluid) باشند به جز جمع کننده‌های جریان که ممکن است هم از نوع سیال و هم از نوع جامد (solid) باشند. برای سادگی، توصیه میشود که جمع‌کننده‌های جریان را به صورت نواحی پیوسته جامد ایجاد کنید.

برای جزئیات بیشتر درباره ماژول پیل‌سوختی فلوئنت به راهنماب ماژول‌های پیل‌سوختی فلوئنت ۶,۳ رجوع شود.

DO NOT COPY(www.novin-eng.ir)



شکل ۱: نواحی مختلف پیل‌سوختی پلیمری

آماده سازی در گمبیت

۱. ابتدا یک پوشه با نام pem-single-channel ایجاد کنید تا فایل‌های ایجاد شده در این آموزش در آن قرار بگیرند.
۲. گمبیت را اجرا کنید و این پوشه را به عنوان پوشه اجرای برنامه تعیین کنید.

برای سادگی بیان ساختار هندسه و گام‌های ایجاد شبکه، یک فایل ژورنال به نام pem-single-channel.jou فراهم شده است. این فایل شامل راهنما و مراحل گمبیت برای ایجاد هندسه و تولید شبکه می‌شود. توصیه می‌شود که هر گام را طبق فایل ژورنال بردارید تا همه گام‌ها را به خوبی بفهمید و انوع شرایط مرزی نواحی مربوط به مسائل پیل‌سوختی را تشخیص دهید.

ایجاد هندسه و تولید شبکه

گام اول: ایجاد هندسه

۱. یک صفحه مستطیلی در سطح xy مطابق مسیر زیر ایجاد کنید

Operation ⟶ Geometry ⟶ Face ⟶ Create Real Rectangular Face

الف) عدد ۲/۴ را برای عرض و ۱/۲ را برای ارتفاع وارد کنید.

ب) مختصات +x+y را انتخاب کنید.

DO NOT COPY(www.novin-eng.ir)

ج) اپلای کنید و پنجره create real rectangular را ببندید.

۲. صفحه دیگری را با سوییپ کردن ضلع بالایی صفحه ایجاد شده در گام قبل به اندازه ۰/۰۱۲ در راستای y ایجاد کنید.

Operation ⟶ Geometry ⟶ Face ⟶ Sweep Edges

۳. صفحه دیگری با سوییپ کردن بالاترین ضلع به اندازه ۰/۰۱۲ در راستای y ایجاد کنید.

۴. صفحه دیگری با سوییپ کردن بالاترین ضلع به اندازه ۰/۰۳۶ در راستای y ایجاد کنید.

۵. صفحه دیگری با سوییپ کردن بالاترین ضلع به اندازه ۰/۰۱۲ در راستای y ایجاد کنید.

۶. صفحه دیگری با سوییپ کردن بالاترین ضلع به اندازه ۰/۲۱ در راستای y ایجاد کنید.

۷. صفحه دیگری با سوییپ کردن بالاترین ضلع به اندازه ۱/۲ در راستای y ایجاد کنید.

۸. یک صفحه مستطیلی با ابعاد (x,y)=(0.8,0.6) ایجاد کنید. از مختصات x+y+ استفاده کنید (بنابراین مختصات کلی ناحیه در گوشه پایین سمت چپ صفحه قرار خواهد گرفت).

۹. صفحه ایجاد شده را با استفاده از برداری به مختصات (0.8, 0.6, 0) انتقال دهید.

Operation ⟶ Geometry ⟶ Face ⟶ Sweep Edges

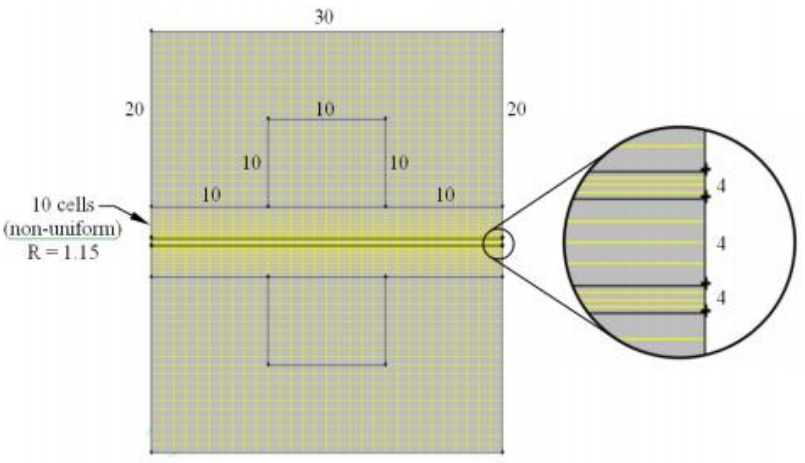
۱۰. صفحه را به اندازه ۱/۰۸ در راستای y کپی کنید.

۱۱. پایین ترین صفحه را با صفحه ای که ایجاد کرده اید، جدا (split) کنید.

Operation ⟶ Geometry ⟶ Face ⟶ Split Face

۱۲. به طور مشابه، بالاترین صفحه را از صفحه‌های میانی جدا کنید. شبکه نهایی باید مطابق شکل ۲ آماده گردد.

DO NOT COPY(www.novin-eng.ir)



شکل ۲: تعداد شبکه ضلع و صفحه

گام دوم: تولید شبکه

۱. مش ضلع‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است. تعداد سلول در راستای هر ضلع نیز در شکل نشان داده شده است. هندسه و مش، حول صفحه میانی افقی متقارن هستند.

Operation ⟶ Mesh ⟶ Edge ⟶ Mesh Edges

۲. مش تمامی صفحات از نوع Quad Submap می‌باشد.

Operation ⟶ Mesh ⟶ Face ⟶ Mesh Faces

۳. یک ضلع به اندازه ۱۲۵ واحد با استفاده از سوییپ کردن یکی از نقاط در راستای مثبت z ایجاد کنید.

Operation ⟶ Geometry ⟶ Edge ⟶ Sweep Vertices

a) Vector را برای تعیین مسیر انتخاب کنید و روی گزینه Define کیلک کنید.
b) Magnitude را فعال و عدد ۱۲۵ را وارد کنید.
c) برای راستای z، Positive را از لیست مختصات انتخاب کنید.
d) اپلای را در vector definition کلیک کنید.
e) اپلای کنید و پنجره sweep vertices را ببندید.

۴. تعداد مش ۶۰ عدد برای این ضلع و به صورت دو طرفه ایجاد کنید.
a) Double sided را فعال کنید.
b) عدد ۱/۱ را برای Ratio1 و Ratio2 وارد کنید.
c) اپلای کنید و پنجره Mesh edges را ببندید.

۵. با سوییپ کردن تمامی صفحات در راستای ضلع ایجاد شده، حجم مورد نظر ایجاد می‌شود.

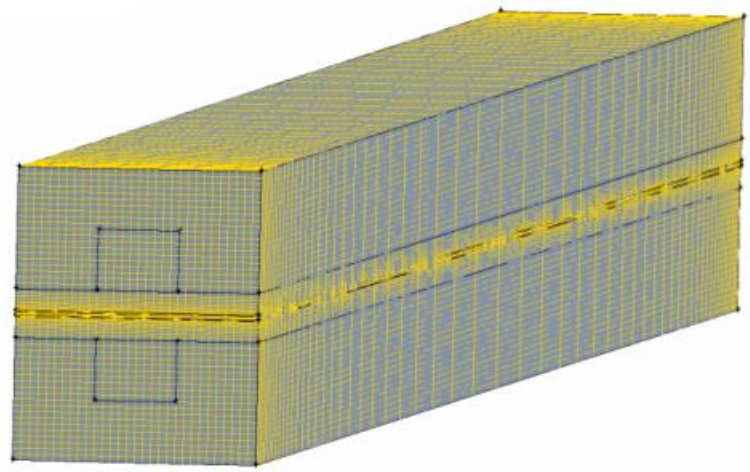
DO NOT COPY (www.novin-eng.ir)

Operation ⟶ Geometry ⟶ Volume ⟶ Sweep Faces

a) With Mesh را فعال کنید تا صفحات با مش در راستای ضلع انقال یابند.

b) اپلای کنید و پنجره Sweep Faces را ببندید.

حجم شبکه بندی شده در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳: شبکه بندی حجم

گام سوم: تعریف نواحی و خروجی مش

ماژول پیل‌سوختی فلوئنت نیازمند تعریف نواحی پیوسته و مرزی می‌باشد. دقت کنید که هر ناحیه طبق شکل ۱ نامگذاری شود.

حداقل نواحی مرزی که مورد نیاز هستند مطابق زیر می‌باشد:

- نواحی ورودی و خروجی کانال گاز آند
- نواحی ورودی و خروجی کانال گاز کاتد
- تعیین سطوح به عنوان ترمینال‌های آند و کاتد

دیگر نواحی مرزی شامل صفحات پرش ولتاژ، صفحات میانی و یا صفحات غیر منطبق در صورت نیاز، می‌توانند تعریف شوند.

نواحی پیوسته‌ای که مورد نیاز مسئله هستند مطابق زیر تعریف می‌شوند.

- کانال‌های جریان سیال آند و کاتد
- جمع کننده جریان آند و کاتد

DO NOT COPY(www.novin-eng.ir)

- لایه‌های نفوذ گاز آند وکاتد
- لایه‌های کاتالیستی آند و کاتد
- غشاء الکترولیتی

ورودی‌ها باید از نوع mass flow inlet و خروجی‌ها از نوع pressure outlet تعیین شوند. ترمینال‌ها جایی هستند که ولتاژ (چگالی جریان) پدیدار می‌شود. معمولاً ولتاژ آند صفر در نظر گرفته می‌شود و ترمینال کاتد دارای یک ولتاژ ثابت و کمتر از ولتاژ مدار باز می‌باشد. هر دو ترمینال در شرایط مرزی از نوع wall تعیین می‌شوند.

نواحی پرش ولتاژ می‌توانند مکان‌هایی در بین اجزا مختلف مثل ناحیه بین لایه نفوذ گاز و جمع کننده جریان باشند. صفحاتی که بین سیال و جامد قرار دارند باید از نوع wall تعریف شوند. همچنین نواحی میانی ممکن است در پس پردازش مهم بوده و ممکن است تعریف شوند. اگر نواحی میانی تعریف شده باشند، نباید تاثیری بر روی حل داشته باشند.

۱) نواحی مرزی براساس لیست تعریف شده در جدول ۱ تعیین شده‌اند.

Operation⟶Zones⟶Specify Boundary Types

Table 1: Boundary Zone Assignments

Anode-side inlet ($z = 125$, upper)	`inlet-a`	`MASS FLOW INLET`
Cathode-side inlet ($z = 0$, lower)	`inlet-c`	`MASS FLOW INLET`
Anode-side outlet ($z = 0$, upper)	`outlet-a`	`PRESSURE OUTLET`
Cathode-side outlet ($z = 125$, lower)	`outlet-c`	`PRESSURE OUTLET`
Anode terminal ($y = 2.88$)	`wall-terminal-a`	`WALL`
Cathode terminal ($y = 0$)	`wall-terminal-c`	`WALL`
Anode-side flow channel walls	`wall-ch-a`	`WALL`
Cathode-side flow channel walls	`wall-ch-c`	`WALL`
Fuel cell ends	`wall-ends`	`WALL`
Anode-side diffusion layer walls	`wall-gdl-a`	`WALL`
Cathode-side diffusion layer boundaries	`wall-gdl-c`	`WALL`
Lateral boundaries of the fuel cell	`wall-sides`	`WALL`

۲) نواحی پیوسته نیز براساس لیست تعریف شده در جدول ۲ تعیین شده اند. برای انتخاب حجم‌ها و تعیین آن به شکل ۱ مراجعه شود.

Operation⟶Zones⟶Specify Continuum Types

Dr (www.novin-eng.ir)

Table 2: Continuum Zone Assignments

Anode-side catalyst layer	`catalyst-a`	`FLUID`
Cathode-side catalyst layer	`catalyst-c`	`FLUID`
Anode-side flow channel	`channel-a`	`FLUID`
Cathode-side flow channel	`channel-c`	`FLUID`
Anode-side gas diffusion layer	`gdl-a`	`FLUID`
Cathode-side gas diffusion layer	`gdl-c`	`FLUID`
Electrolyte membrane	`membrane`	`FLUID`
Anode current collector	`current-a`	`SOLID`
Cathode current collector	`current-c`	`SOLID`

۳) فایل مش را تحت عنوان pem-single-channel.msh خروجی بگیرید.

تنظیمات و حل در فلوئنت

مدل پیل‌سوختی در فلوئنت توسط ماژول add-on مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ماژول به عنوان بخشی از نصب فلوئنت استاندارد در پوشه /addons/fuelcells2.2 در داخل پوشه نصب فلوئنت، نصب شده است. مدل پیل‌سوختی پلیمری شامل یک کتابخانه UDF(User Define Function) و اسکیم کامپایل شده می‌باشد که توسط یک فرمان TUI(Text User Interface) نمایان می‌شود.

مقدمه

- فایل مش pem-single-channel.msh را در پوشه مورد نظرتان کپی کنید.
- فلوئنت را اجرا و 3DDP را انتخاب کنید که نشان دهنده سه بعدی بودن هندسه و دقت دو برابر می‌باشد.

برای استفاده از چندین هسته از سی پی یو کامپیوتر برای اجرای فلوئنت و افزایش سرعت حل با راست کلیک بر روی آیکون نرم‌افزار روی دسکتاپ، properties را انتخاب می‌کنیم. در پنجره باز شده در قسمت Target در انتهای آدرسی که دیده می‌شود مثلاً برای فراخوانی ۴ هسته و دقت مورد نظر مثلاً برای هندسه سه بعدی و دقت دو برابر، عبارت 3ddp –t4 را تایپ و بعد از تایید پنجره را می‌بندیم. با اجرای برنامه، هسته‌ها فراخوانی و نمایش داده می‌شوند.

گام اول: Grid (گره)

۱) فایل مش یعنی pem-single-channel.msh را فرا بخوانید.

File ⟶ Read ⟶ Case...

DO NOT COPY (www.novin-eng.ir)