

۱۳۰۷

دانشکاده صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی برق

پروژه ماکسول درس تحلیل ماشین‌های الکتریکی ۲

استاد درس: دکتر طولابی

حل تمرین: مهندس رضا جعفری

نام و نام خانوادگی و شماره دانشجویی:

زهرا ایران‌پور مبارکه ۹۸۱۹۸۹۳

زمستان ۱۴۰۰

فهرست

عنوان	شماره صفحه
شرح پروژه چهارم	۳
ثبت اطلاعات موتور القایی ۳ فاز	۳
طراحی استاتور	۵
طراحی رotor	۹
چک کردن طراحی	۱۲
نتایج شبیه سازی	۱۳
طراحی دو بعدی	۱۸
نتایج ۲ بعدی	۲۲
طراحی ۳ بعدی	۲۸
نتیجه طراحی ۳ بعدی از زوایای مختلف	۲۹

شرح پروژه چهارم

شبیه‌سازی دو بعدی موتور القایی سه فاز با استفاده از ابزار RMxprt نرم‌افزار Ansys Maxwell براساس مشخصات زیر:

توان خروجی نامی: 50hp

ولتاژ نامی: 230V

فرکانس نامی: 50Hz

تعداد قطب: 6

سرعت نامی: 1440rpm

نوع روتور: قفس سنجابی کلاس B

نوع سیم‌بیجی استاتور: توزع شده

جنس هادی‌ها: مس

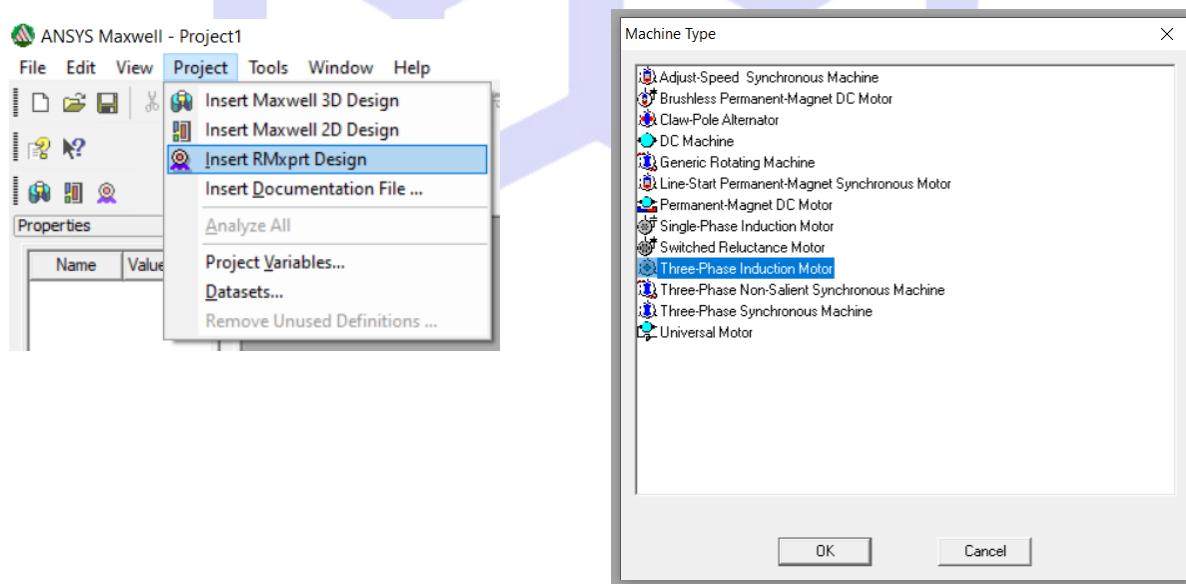
جنس هسته: steel

سایر پارامترها نظیر قطرهای داخلی و خارجی، اندازه ابعاد شیار، فاصله هوایی بین روتور و استاتور و ... برای دست‌یابی به عملکرد مطلوب می‌توانند توسط طراح انتخاب شوند.

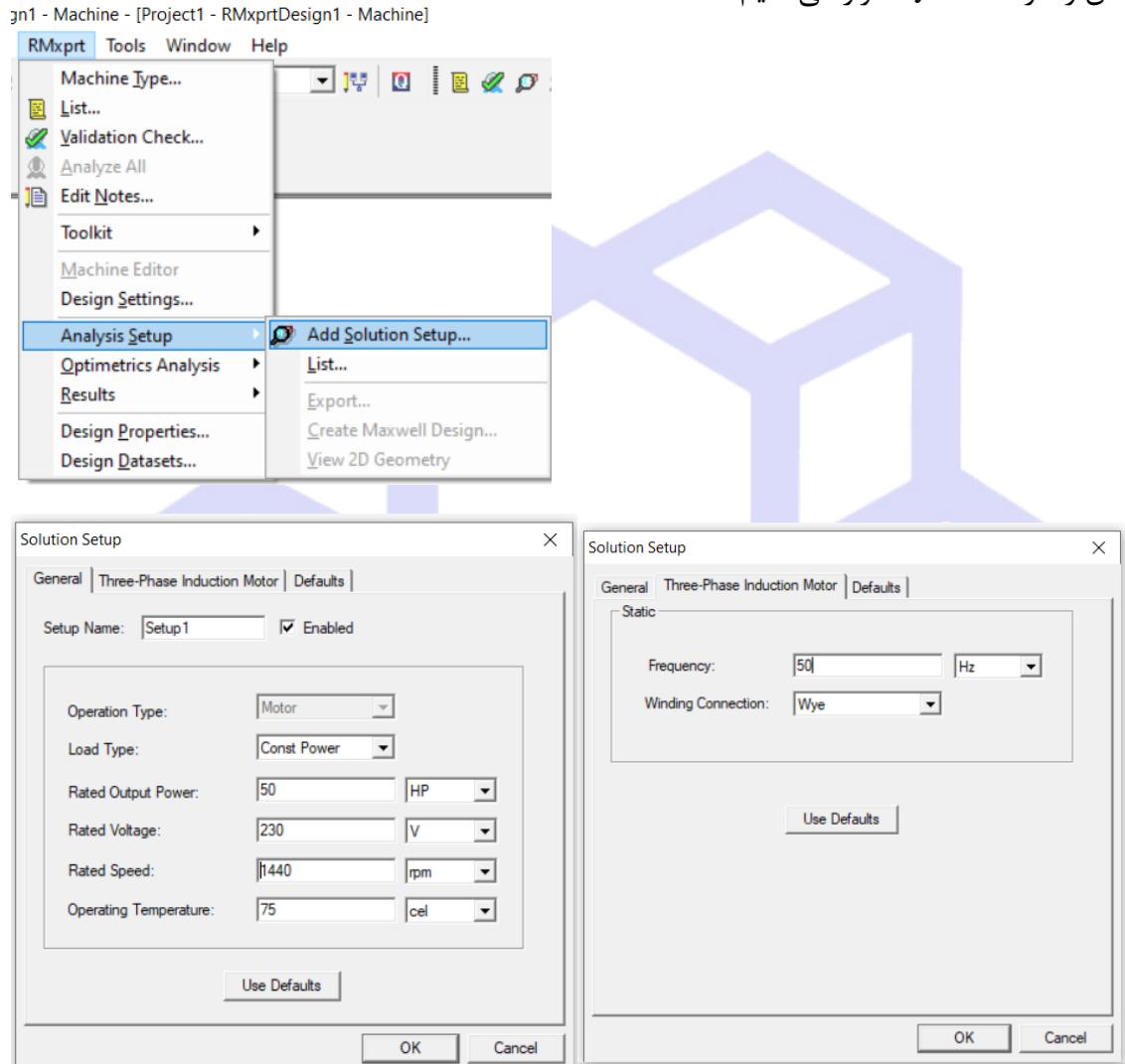
نتایج حاصل اعم از ولتاژها و جریان‌های فازها، گشتاور، چگالی شار هسته‌های روتور و استاتور و ... را به دست آورید.

ثبت اطلاعات موتور القایی ۳ فاز

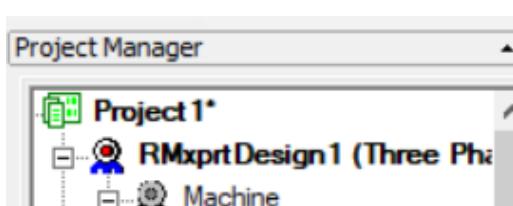
در ابتدا پس از باز کردن پروژه جدید، از قسمت project، گزینه RMxprt را انتخاب می‌کنیم. و از منوی باز شده، موتور القایی سه فاز را انتخاب می‌کنیم.



پس از تایید، از منوی RMxprt به قسمت solution setup می‌رویم. و در این پنجره جدید باز شده، در قسمت مقادیر توان نامی، ولتاژ نامی و سرعت نامی را وارد می‌کنیم. در این پارت operating temperature را همان دیفالت برنامه قرار دادیم. و در قسمت دوم فرکانس نامی را وارد می‌کنیم. و کانکشن را در حالت wye قرار می‌دهیم.



سپس از منوی سمت چپ قسمت machine پروژه را دابل کلیک کرده و منوی باز شده را تکمیل می‌کنیم. طبق صورت سوال تعداد قطب‌ها را ۶ قرار می‌دهیم و رفرس سرعت را ۱۴۴۰ می‌گذاریم و باقی مقادیر در صورت سوال داده نشده بود. لذا با توجه به پروژه‌ها و مقالات دیگر حل شده، اعداد زیر را وارد



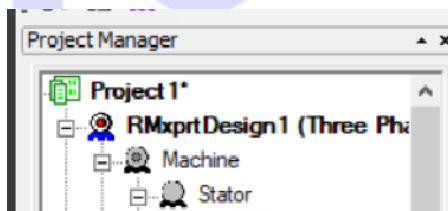
می‌کنیم.

Properties: Project1 - RMxprtDesign1 - Machine

Name	Value	Unit	Evaluated Value	Description	Read-only
Machine Type	Three Phase Induction Motor			Number of poles of the ...	<input checked="" type="checkbox"/>
Number of Poles	6			Stray Loss Factor	<input type="checkbox"/>
Stray Loss Fac...	0.01		0.01	The frictional loss meas...	<input type="checkbox"/>
Frictional Loss	12	W	12W	The windage loss meas...	<input type="checkbox"/>
Windage Loss	11	W	11W	The reference speed at...	<input type="checkbox"/>
Reference Sp...	1440	rpm			<input type="checkbox"/>

طراحی استاتور

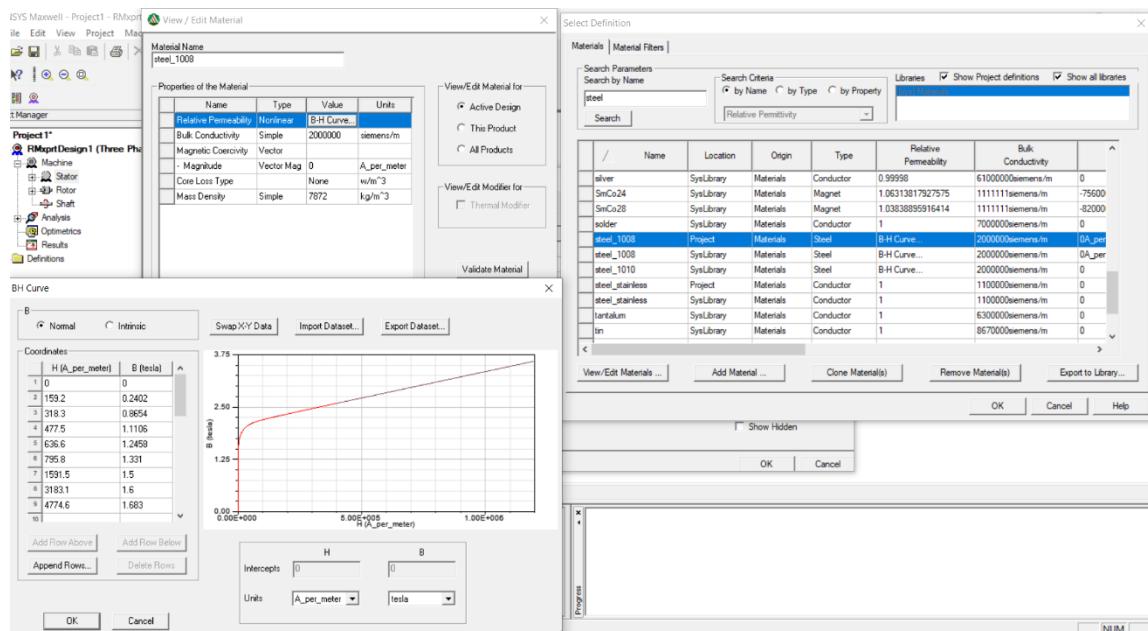
حال از همان منوی سمت چپ منوی ماشین را باز کرده و به بخش استاتور می‌رویم. در منوی جدید باز شده اطلاعات خواسته شده از قبیل اندازه‌هارا وارد می‌کنیم. با توجه به اینکه در صورت سوال اندازه مشخصی داده نشده بود، اندازه‌ها به دلخواه انتخاب شده‌اند. تنها نکته قابل توجه قسمت انتخاب جنس ماده است که آن را استیل انتخاب می‌کنیم. و همچنین slot type را هم طبق صورت سوال شماره ۲ انتخاب می‌کنیم.



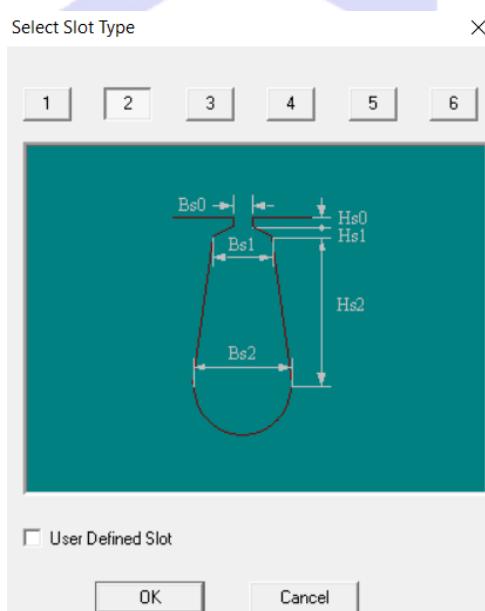
Properties: Project1 - RMxprtDesign1 - Machine

Name	Value	Unit	Evaluated Value	Description	Read-only
Outer Diameter	140	mm	140mm	Outer diameter of the st...	<input type="checkbox"/>
Inner Diameter	78	mm	78mm	Inner diameter of the st...	<input type="checkbox"/>
Length	250	mm	250mm	Length of the stator core	<input type="checkbox"/>
Stacking Factor	0.95			Stacking factor of the s...	<input type="checkbox"/>
Steel Type	steel_1008			Steel type of the stator ...	<input type="checkbox"/>
Number of Slots	36			Number of slots of the s...	<input type="checkbox"/>
Slot Type	2			Slot type of the stator c...	<input type="checkbox"/>
Lamination Se...	3			Number of lamination s...	<input type="checkbox"/>
Press Board T...	0	mm		Magnetic press board t...	<input type="checkbox"/>
Skew Width	0		0	Skew width measured i...	<input type="checkbox"/>

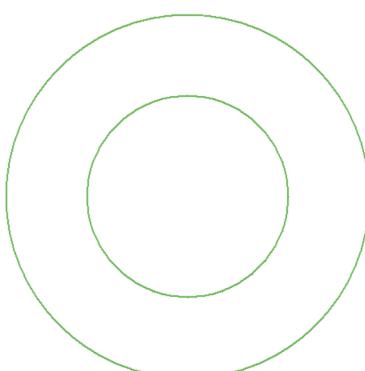
مدل استیل انتخاب شده:



شکل slot type شماره ۲



تا اینجا کار در طراحی به این شکل رسیده‌ایم که طرح کلی استاتور را مشخص می‌کند:



حالی منوی استاتور را باز کرده و به بخش slotها می رویم. و گزینه auto design را بر میداریم. یکبار منو را می بندیم و دوباره باز می کنیم تا به ما اجزه وارد کردن اعداد را بدهد. سپس اندازه هارا به دلخواه وارد می کنیم.

Name	Value	Unit	Evaluated Value	Description	Read-only
Auto Design				Auto design Hs2, Bs1 a...	<input type="checkbox"/>
Hs0	0	mm	0mm	Slot dimension: Hs0	<input type="checkbox"/>
Bs0	0	mm	0mm	Slot dimension: Bs0	<input type="checkbox"/>

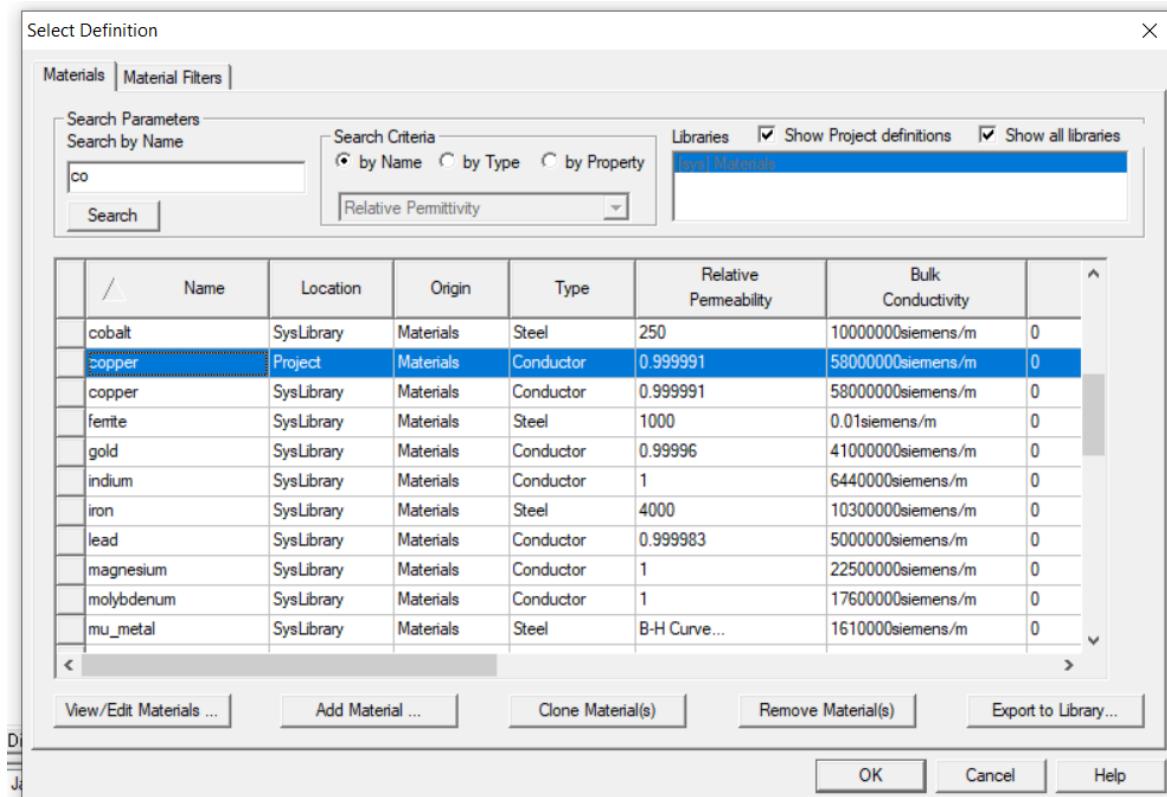
Name	Value	Unit	Evaluated Value	Description	Read-only
Auto Design				Auto design Hs2, Bs1 a...	<input type="checkbox"/>
Parallel Tooth				Design Bs1 and Bs2 ba...	<input type="checkbox"/>
Hs0	2	mm	2mm	Slot dimension: Hs0	<input type="checkbox"/>
Hs1	2	mm	2mm	Slot dimension: Hs1	<input type="checkbox"/>
Hs2	13	mm	13mm	Slot dimension: Hs2	<input type="checkbox"/>
Bs0	1	mm	1mm	Slot dimension: Bs0	<input type="checkbox"/>
Bs1	5	mm	5mm	Slot dimension: Bs1	<input type="checkbox"/>
Bs2	5	mm	5mm	Slot dimension: Bs2	<input type="checkbox"/>

Show Hidden

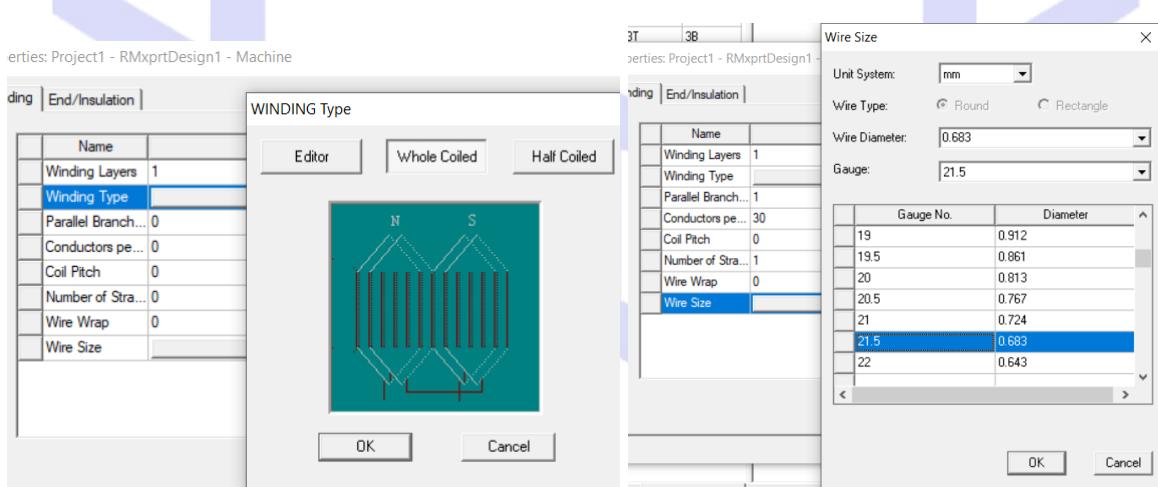
OK Cancel

Name	Value	Unit	Evaluated Value	Description	Read-only
Winding Layers	1			Number of winding layers	<input type="checkbox"/>
Winding Type	Whole-Coiled			Stator winding type	<input type="checkbox"/>
Parallel Branch...	1			Number of parallel bran...	<input type="checkbox"/>
Conductors pe...	30		30	Number of conductors ...	<input type="checkbox"/>
Coil Pitch	0			Coil pitch measured in ...	<input type="checkbox"/>
Number of Stra...	1		1	Number of strands (nu...	<input type="checkbox"/>
Wire Wrap	0	mm		Double-side wire wrap t...	<input type="checkbox"/>
Wire Size	Diameter: 0.683mm			Wire size, 0 for auto-de...	<input type="checkbox"/>

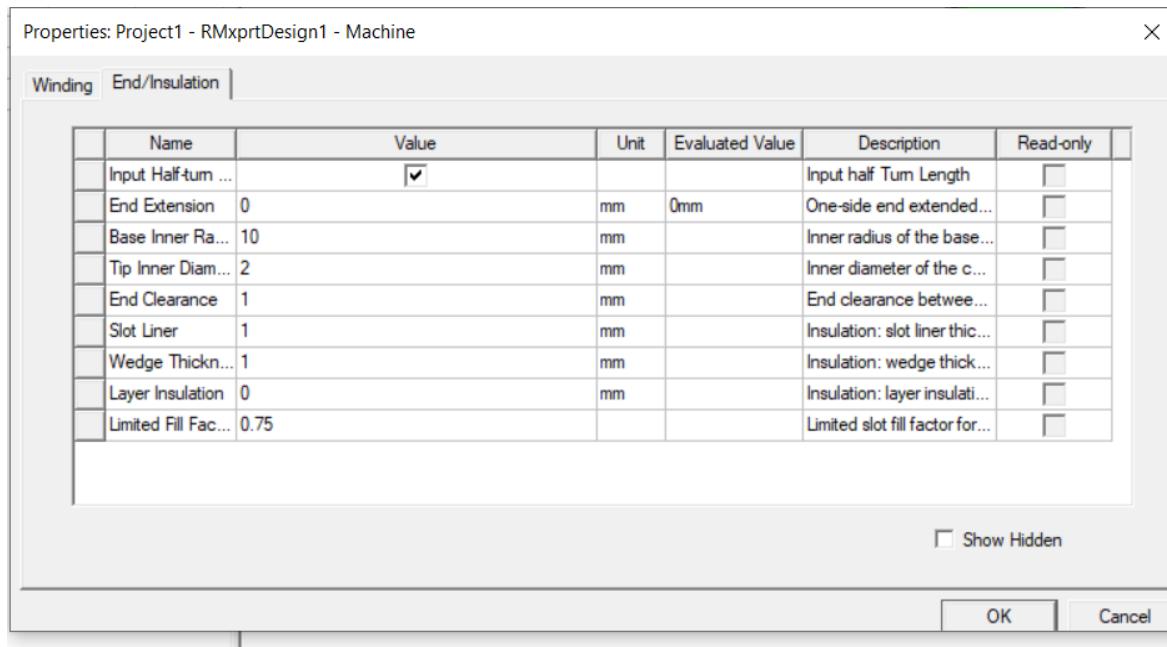
توجه داریم که در اینجا جنس را باید مس انتخاب کنیم:



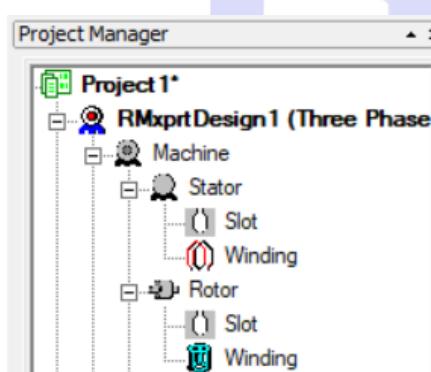
نهایتاً اندازه سیم و مدل سیم‌پیچی را بدین صورت تعریف می‌کنیم:



سپس وارد قسمت دوم این منو می‌شویم و اطلاعات خواسته شده را طبق مقالات و تحقیقات انجام شده
وارد می‌کنیم:



از قسمت مدیریت پروژه با باز کردن منوی machine و نمایان شدن گزینه روتور آن را انتخاب می‌کنیم:



در این قسمت هم اکثر مقادیر به دلخواه وارد شده‌اند به جز جنس آن که همچنان استیل است و slot type که مثل استاتور تایپ دوم می‌باشد.

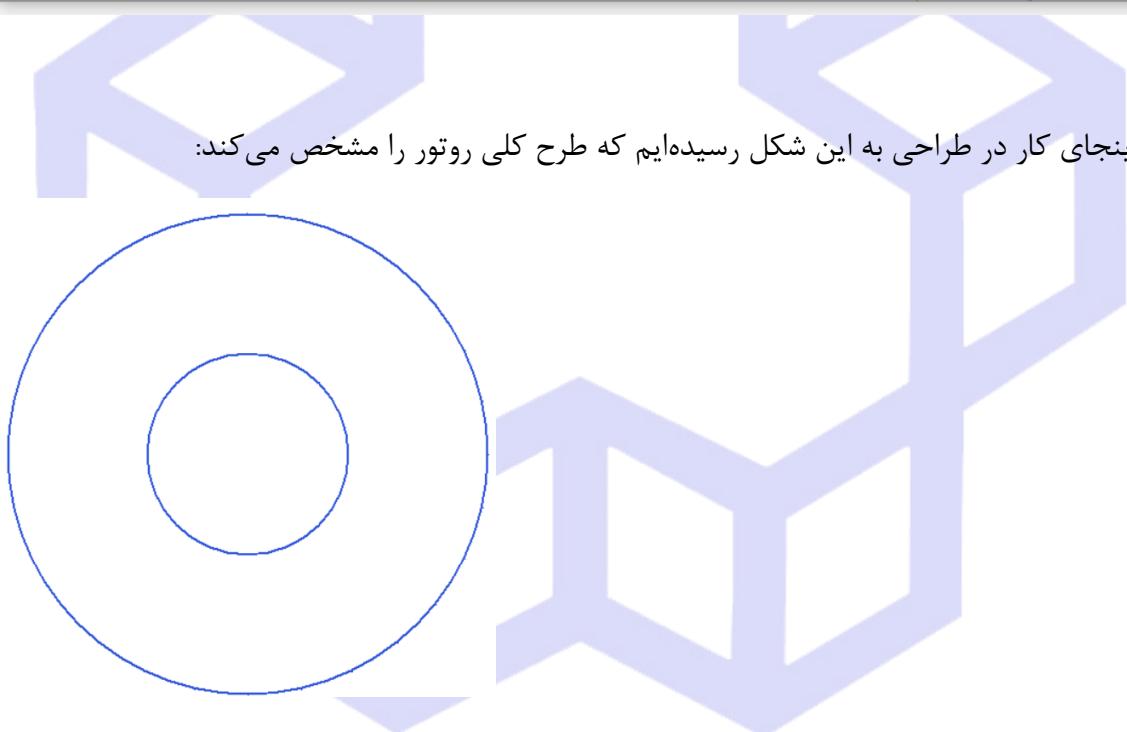
Properties: Project1 - RMxprtDesign1 - Machine

	Name	Value	Unit	Evaluated Value	Description	Read-only
	Stacking Factor	0.95			Stacking factor of the r...	<input type="checkbox"/>
	Number of Slots	28			Number of slots of the r...	<input type="checkbox"/>
	Slot Type	2			Slot type of the rotor core	<input type="checkbox"/>
	Outer Diameter	76	mm	76mm	Outer diameter of the ro...	<input type="checkbox"/>
	Inner Diameter	32	mm	32mm	Inner diameter of the ro ...	<input type="checkbox"/>
	Length	250	mm	250mm	Length of the rotor core	<input type="checkbox"/>
	Steel Type	steel_1008			Steel type of the rotor c...	<input type="checkbox"/>
	Skew Width	1		1	Skew width measured i...	<input type="checkbox"/>
	Cast Rotor	<input checked="" type="checkbox"/>			Rotor squirrel-cage win...	<input type="checkbox"/>
	Half Slot	<input type="checkbox"/>			Half-shaped slot (un-sy ...	<input type="checkbox"/>
	Double Cage	<input type="checkbox"/>			Double-squirrel-cage wi...	<input type="checkbox"/>

Show Hidden

OK Cancel

تا اینجا کار در طراحی به این شکل رسیده‌ایم که طرح کلی رotor را مشخص می‌کند:

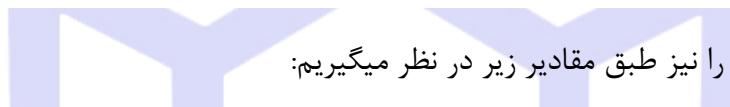


سپس همانند استاتور به بخش winding رotor رفته و اطلاعات را بدین شکل وارد می‌کنیم: دقت داریم که سیم‌ها از جنس مس هستند.

Properties: Project1 - RMxprtDesign1 - Machine

Winding

	Name	Value	Unit	Evaluated Value	Description	Read-only
	Bar Conductor ...	copper			Select bar conductors ...	<input type="checkbox"/>
	End Length	5	mm	5mm	Single-side end extend...	<input type="checkbox"/>
	End Ring Width	5	mm	5mm	One-side width of end ri...	<input type="checkbox"/>
	End Ring Height	5	mm	5mm	Height of end rings (in ...	<input type="checkbox"/>
	End Ring Con...	copper			Select End ring conduc...	<input type="checkbox"/>



اطلاعات قسمت slot را نیز طبق مقادیر زیر در نظر میگیریم:

Properties: Project1 - RMxprtDesign1 - Machine

Slot

	Name	Value	Unit	Evaluated Value	Description	Read-only
	Hs0	2	mm	2mm	Slot dimension: Hs0	<input type="checkbox"/>
	Hs01	2	mm	2mm	Slot dimension: Hs01	<input type="checkbox"/>
	Hs1	2	mm	2mm	Slot dimension: Hs1	<input type="checkbox"/>
	Hs2	6	mm	6mm	Slot dimension: Hs2	<input type="checkbox"/>
	Bs0	3	mm	3mm	Slot dimension: Bs0	<input type="checkbox"/>
	Bs1	4	mm	4mm	Slot dimension: Bs1	<input type="checkbox"/>
	Bs2	5	mm	5mm	Slot dimension: Bs2	<input type="checkbox"/>

Show Hidden

OK Cancel



در قسمت شفت نیز تیک گزینه مگنتینگ شفت را علامت میزنیم:

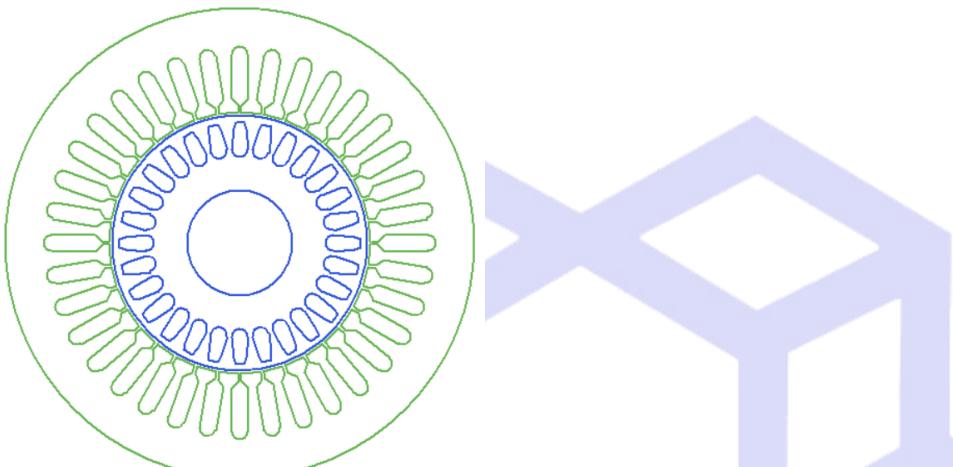
Properties: Project1 - RMxprtDesign1 - Machine

Shaft

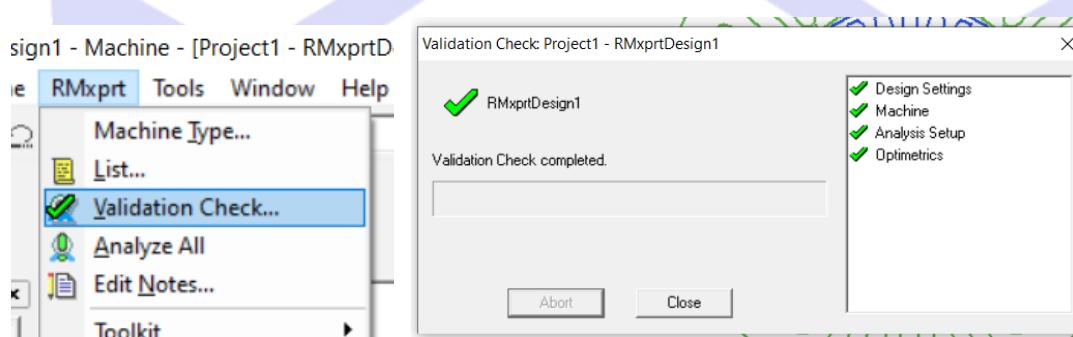
	Name	Value	Unit	Evaluated Value	Description	Read-only
	Magnetic Shaft	<input checked="" type="checkbox"/>			The shaft is made of m...	<input type="checkbox"/>

چک کردن طراحی

نهایتاً شکل ساده طراحی ما بدین صورت درآمد:



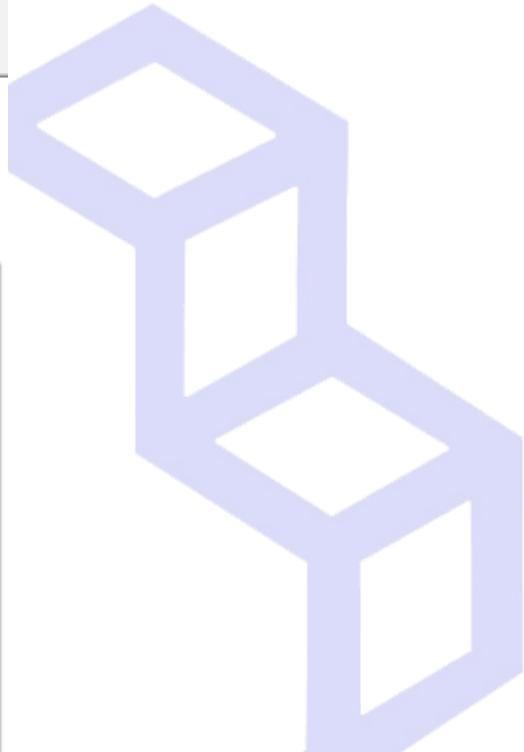
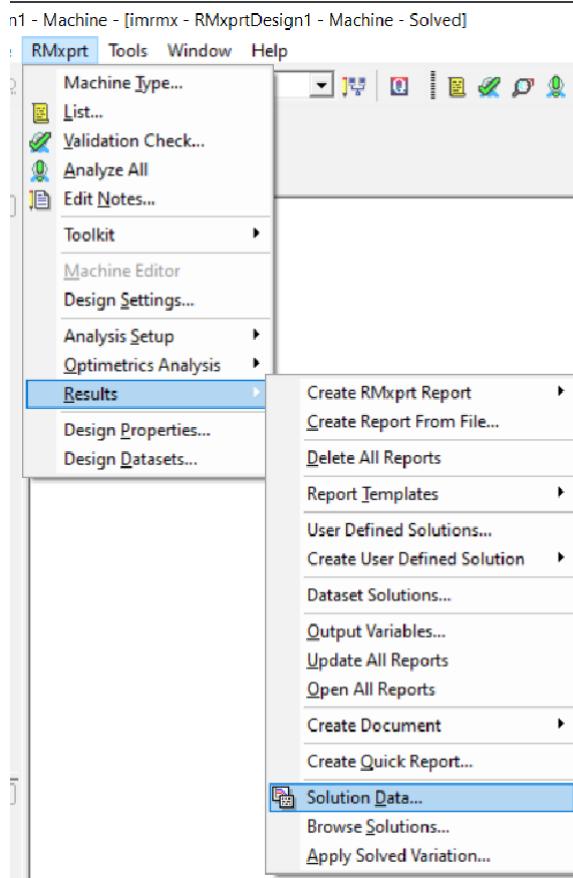
برای آنکه از درستی طراحی مطمئن شویم، طبق مسیر زیر پیش رفته و استعلام می‌گیریم:



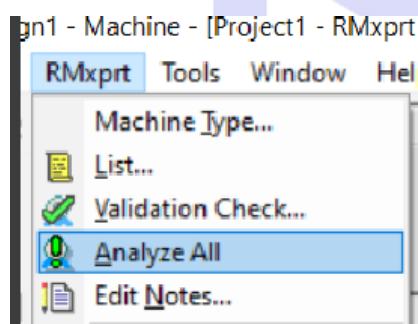
مشاهده می‌شود که تمام موارد تیک دارند و مشکلی ندارند و به درستی کار می‌کنند.

نتایج شبیه سازی

حالا از مسیر زیر وارد قسمت دریافت اطلاعات می‌شویم:



فقط قبل از آن با زدن دکمه analyze all وارد فضای سیو کردن شده و پروژه را سیو می‌کنیم.



در منوی دیتای باز شده، در بخش performance اطلاعات زیادی وجود دارد که تمام آنها در ادامه آورده می‌شود:

Data: Material Consumption				
	Name	Value	Units	Description
1	Armature Copper Density	8900	kg_per_m3	Mass Density
2	Rotor Bar Material Density	8933	kg_per_m3	Mass Density
3	Rotor Ring Material Density	8933	kg_per_m3	Mass Density
4	Armature Core Steel Density	7872	kg_per_m3	Mass Density
5	Rotor Core Steel Density	7872	kg_per_m3	Mass Density
6	Armature Copper Weight	1.16414	kg	
7	Rotor Bar Material Weight	2.65445	kg	
8	Rotor Ring Material Weight	0.0940139	kg	
9	Armature Core Steel Weight	14.2725	kg	
10	Rotor Core Steel Weight	4.841	kg	
11	Total Net Weight	23.0262	kg	
12	Armature Core Steel Consumption	29.2978	kg	
13	Rotor Core Steel Consumption	8.93363	kg	

Data: FEA Input Data				
	Name	Value	Units	Description
1	Armature Parallel Branches	1		
2	Equivalent Model Depth	250	mm	
3	Equivalent Stator Stacking Factor	0.95		
4	Equivalent Rotor Stacking Factor	0.95		
5	Region Depth	330.568	mm	
6	Unit Fractions	2		

Data: Rated Magnetic Data				
	Name	Value	Units	Description
1	Stator-Teeth Flux Density	0.751982	tesla	
2	Rotor-Teeth Flux Density	1.50457	tesla	
3	Stator-Yoke Flux Density	0.416903	tesla	
4	Rotor-Yoke Flux Density	0.195258	tesla	
5	Air-Gap Flux Density	0.370098	tesla	
6	Stator-Teeth Ampere Turns	4.58065	A.T	
7	Rotor-Teeth Ampere Turns	14.1562	A.T	
8	Stator-Yoke Ampere Turns	4.77672	A.T	
9	Rotor-Yoke Ampere Turns	0.624528	A.T	
10	Air-Gap Ampere Turns	304.772	A.T	
11	Stator Yoke Correction Factor	0.7		
12	Rotor Yoke Correction Factor	0.7		
13	Teeth Saturation Factor	1.06148		
14	Total Saturation Factor	1.0792		
15	Back EMF Factor	0.706273		

Data: Rated Electric Data				
	Name	Value	Units	Description
1	Stator Phase Current	6.48122	A	
2	Magnetizing Current	4.18498	A	
3	Iron-Core Loss Current	1.70992e-006	A	
4	Rotor Phase Current	2.30389	A	
5	Armature Thermal Load	505.314	A^2/mm^3	
6	Specific Electric Loading	28565.1	A_per_meter	
7	Armature Current Density	17689900	A_per_m2	
8	Rotor Bar Current Density	2102930	A_per_m2	
9	Rotor Ring Current Density	5197800	A_per_m2	

Data: Rated Performance				
	Name	Value	Units	Description
1	Stator Ohmic Loss	888.233	W	
2	Rotor Ohmic Loss	28.896	W	
3	Iron-Core Loss	0.000481101	W	
4	Frictional and Windage Loss	22.8756	W	
5	Stray Loss	373	W	
6	Total Loss	1313	W	
7	Output Power	-1195.56	W	
8	Input Power	117.444	W	
9	Efficiency	-1017.98	%	
10	Power Factor	-0.318583		
11	Rated Torque	0.778826	NewtonMeter	
12	Rated Speed	1440	rpm	
13	Rated Slip	-0.44		

Data: Rated Parameters				
	Name	Value	Units	Description
1	Stator Resistance	7.04843	ohm	
2	Stator Leakage Reactance	4.95987	ohm	
3	Rotor Resistance	1.81465	ohm	
4	Rotor Leakage Reactance	40.4984	ohm	
5	Iron-Core Loss Resistance	54848500	ohm	
6	Magnetizing Reactance	22.4102	ohm	
7	Stator Slot Leakage Reactance	4.02651	ohm	
8	Stator End Leakage Reactance	0.504807	ohm	
9	Stator Differential Leakage Reactance	0.42855	ohm	
10	Rotor Slot Leakage Reactance	38.4743	ohm	
11	Rotor End Leakage Reactance	0.0283544	ohm	
12	Rotor Differential Leakage Reactance	0.962454	ohm	
13	Skewing Leakage Reactance	0.432288	ohm	

Data: Stator Winding

	Name	Value	Units	Description
1	Number of Conductors per Slot	30		
2	Number of Strands	1		
3	Wire Diameter	0.683	mm	
4	Wire Wrap	0	mm	
5	Slot Fill Factor	44.6866	%	
6	Winding Factor	0.965926		
7	Half-Turn Length	330.568	mm	

Data: Stator Slot

	Name	Value	Units	Description
1	Slot Type	2		
2	hs0	2	mm	
3	hs1	2	mm	
4	hs2	13	mm	
5	bs0	1	mm	
6	bs1	5	mm	
7	bs2	5	mm	
8	Top Tooth Width	2.51386	mm	
9	Bottom Tooth Width	4.77991	mm	

در ادامه قسمت design sheet اطلاعات کلی طراحی مارا به صوت یکجا نشان می‌دهد:

Solutions: Project1 - RMxprtDesign1

Simulation: Setup1 Performance

Design Variation:

Performance Design Sheet Curves

Three-Phase Induction Machine Design

File: Setup1.res

GENERAL DATA

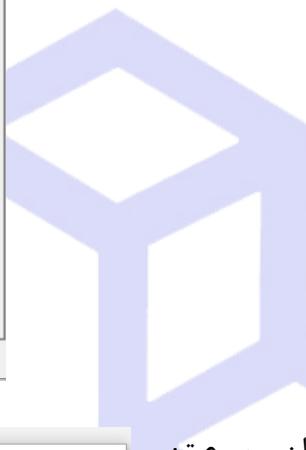
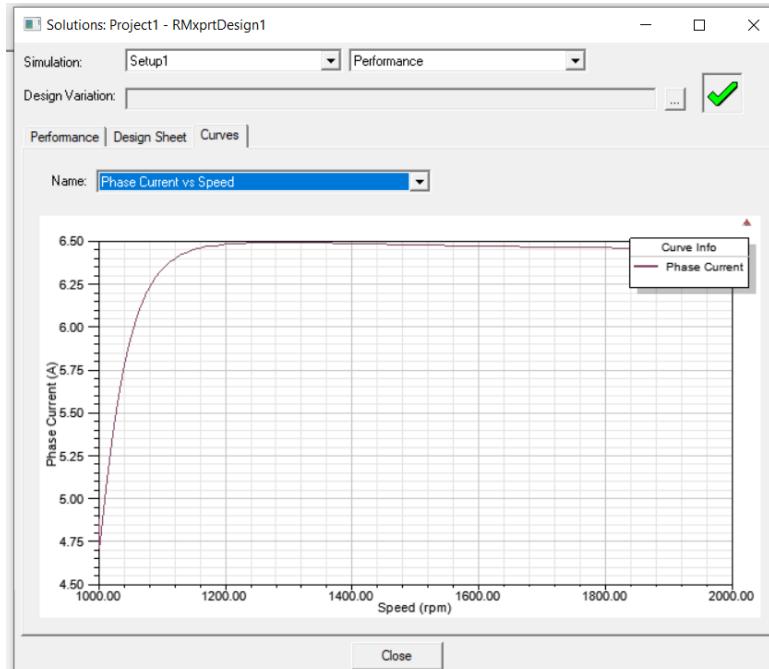
Given Output Power (kW):	37.3
Rated Voltage (V):	230
Winding Connection:	Wye
Number of Poles:	6
Given Speed (rpm):	1440
Frequency (Hz):	50
Stray Loss (W):	373
Frictional Loss (W):	11.9668
Windage Loss (W):	10.9088
Operation Mode:	Generator
Type of Load:	Infinite Bus
Operating Temperature (C):	75

STATOR DATA

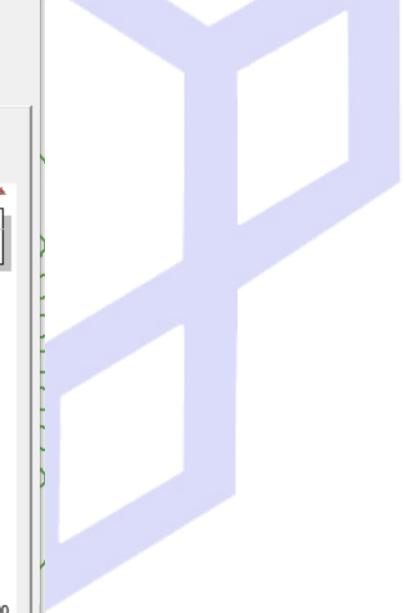
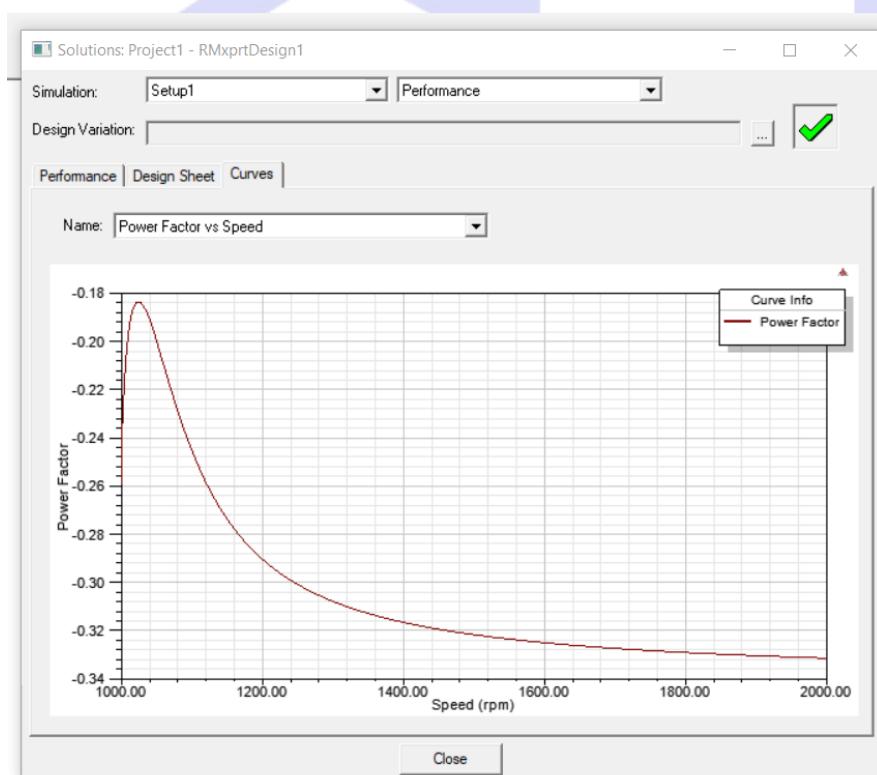
Number of Stator Slots:	36
Outer Diameter of Stator (mm):	140
Inner Diameter of Stator (mm):	78
Type of Stator Slot:	2
Stator Slot	
hs0 (mm):	2
hs1 (mm):	2
hs2 (mm):	13
bs0 (mm):	1
bs1 (mm):	5
bs2 (mm):	5
Top Tooth Width (mm):	2.51386
Bottom Tooth Width (mm):	4.77991
Length of Stator Core (mm):	250
Stacking Factor of Stator Core:	0.95
Type of Steel:	steel_1008
Number of lamination sectors:	3
Press board thickness (mm):	0
Magnetic press board:	No
Number of Parallel Branches:	1
Type of Coils:	11
Coil Pitch:	0
Number of Conductors per Slot:	30

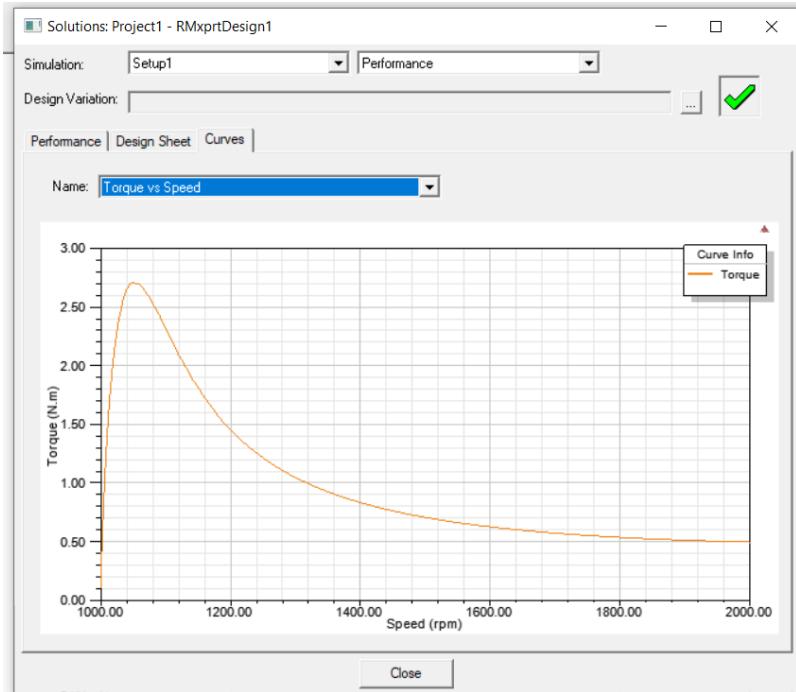
همچنین از قسمت curves می‌توان نمودار بخش‌های مختلف را بدست آورد.

نمودار جریان فاز و سرعت:

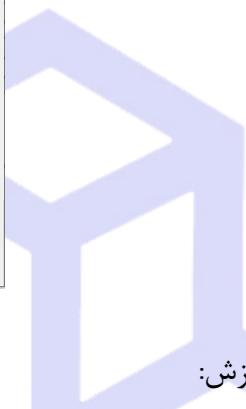


نمودار ضریب توان و سرعت:

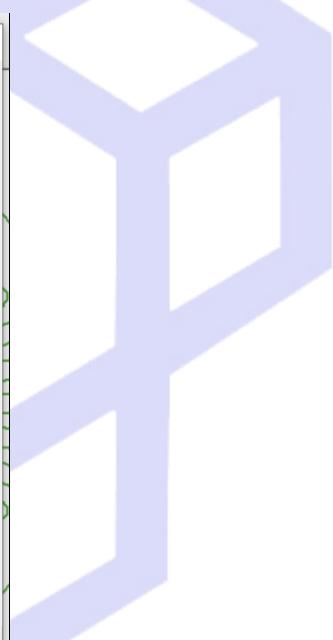
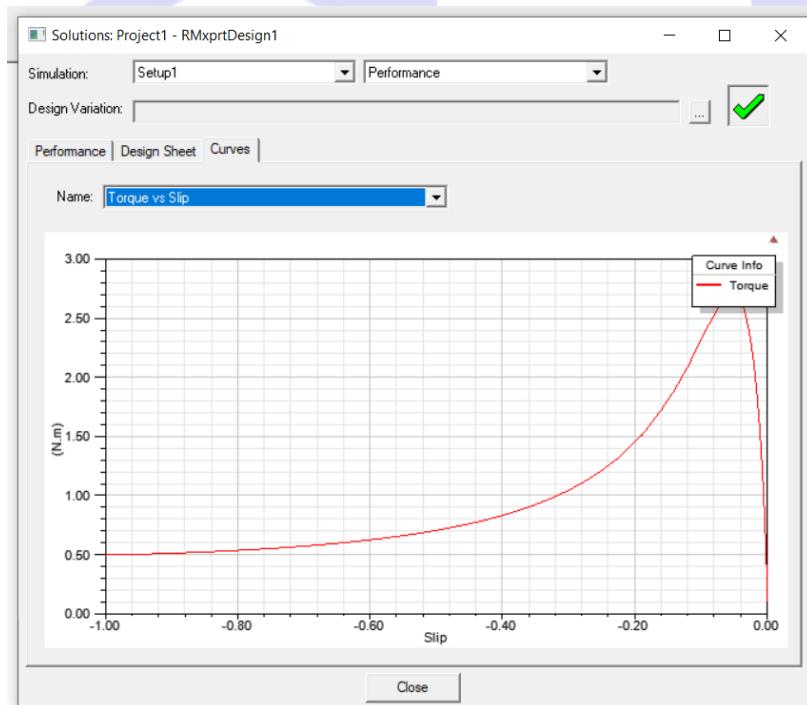




نمودار گشتاور و سرعت:

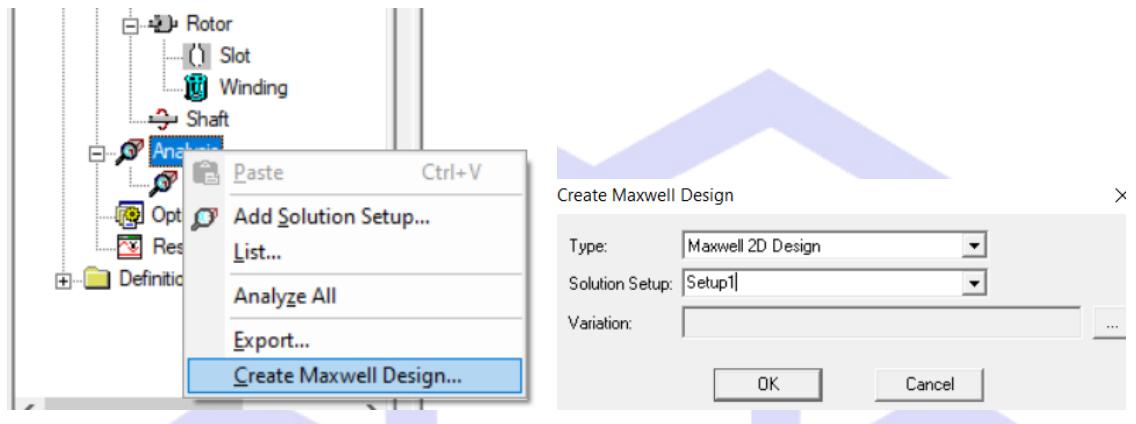


نمودار گشتاور و لغزش:

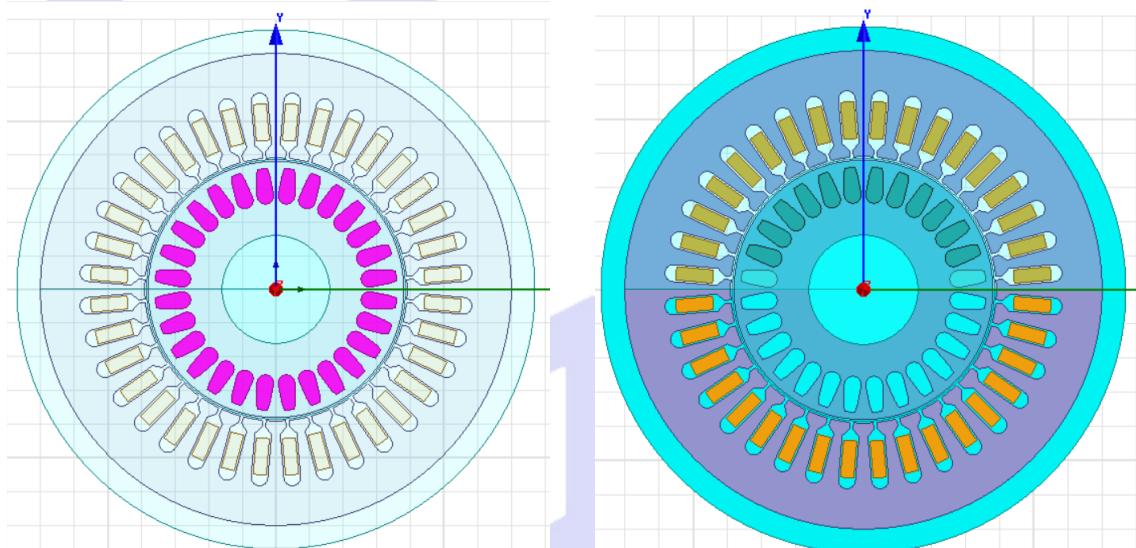


طراحی دو بعدی

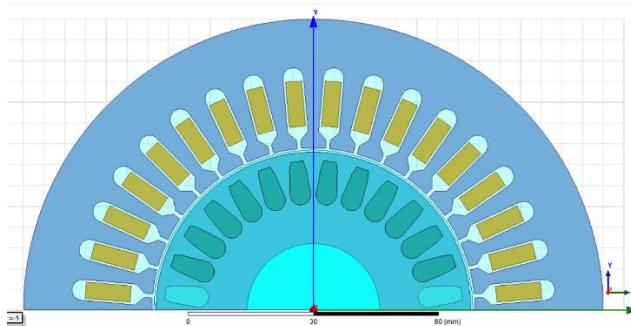
در بخش بعدی با استفاده از منوی سمت چپ برنامه وارد بخش درست کردن طراحی مکسول شده و گزینه دوبعدی را انتخاب می کنیم.



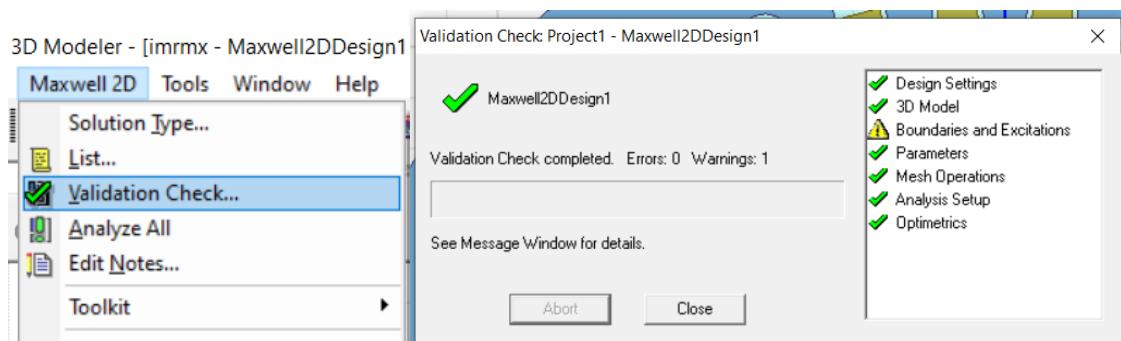
دو عکس در مسیر طراحی تا رسیدن به نتیجه:



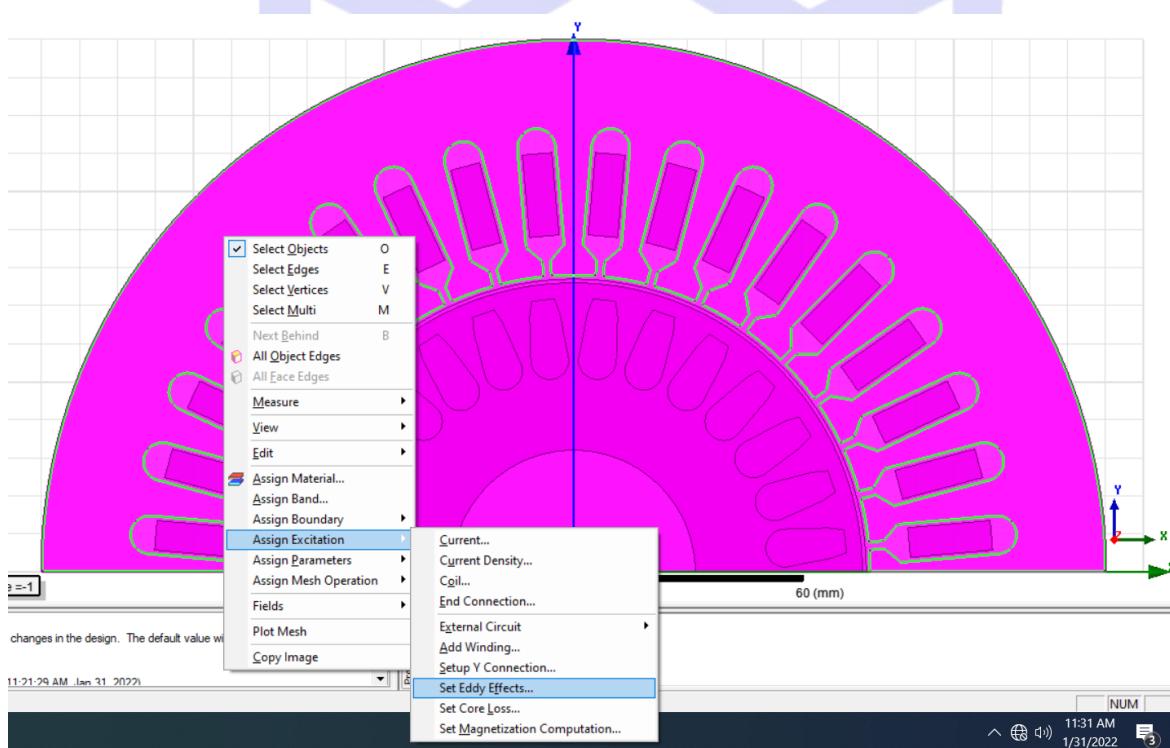
نتیجه:



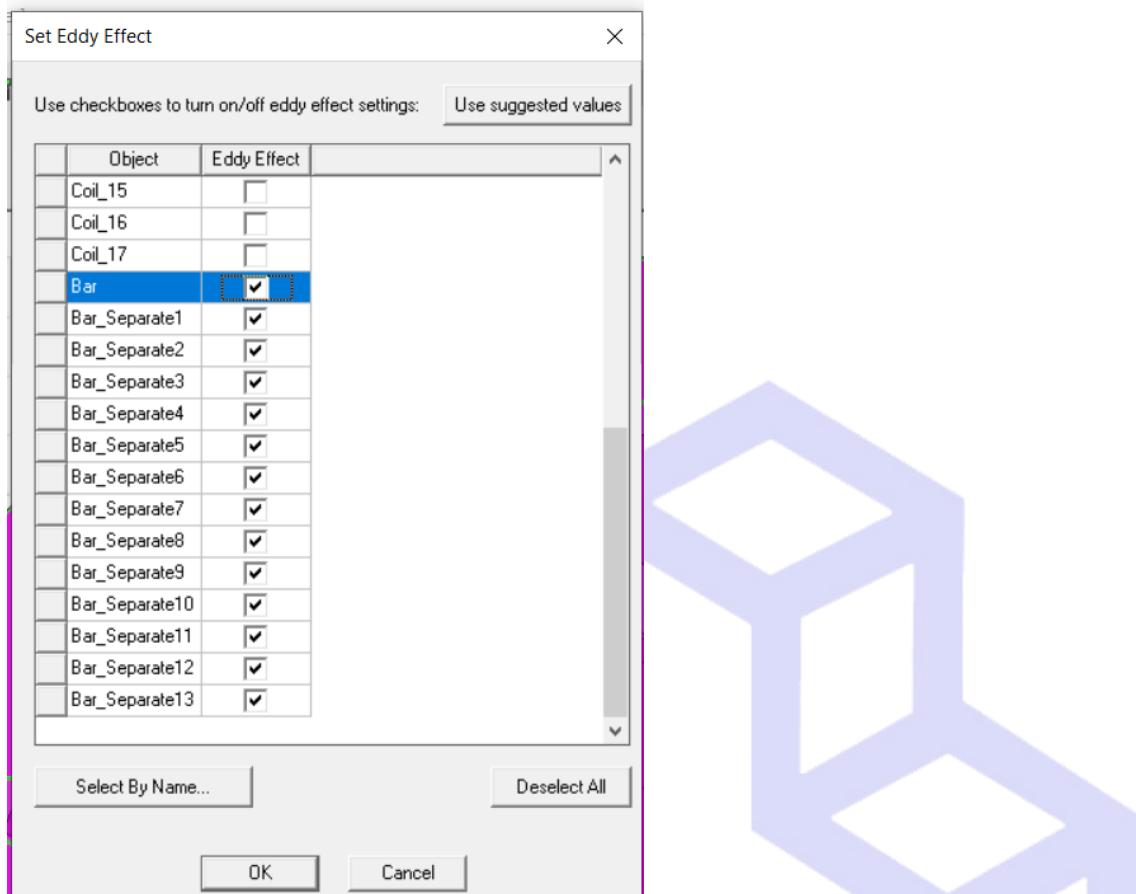
مجدداً درستی طراحی خود را چک می‌کنیم:



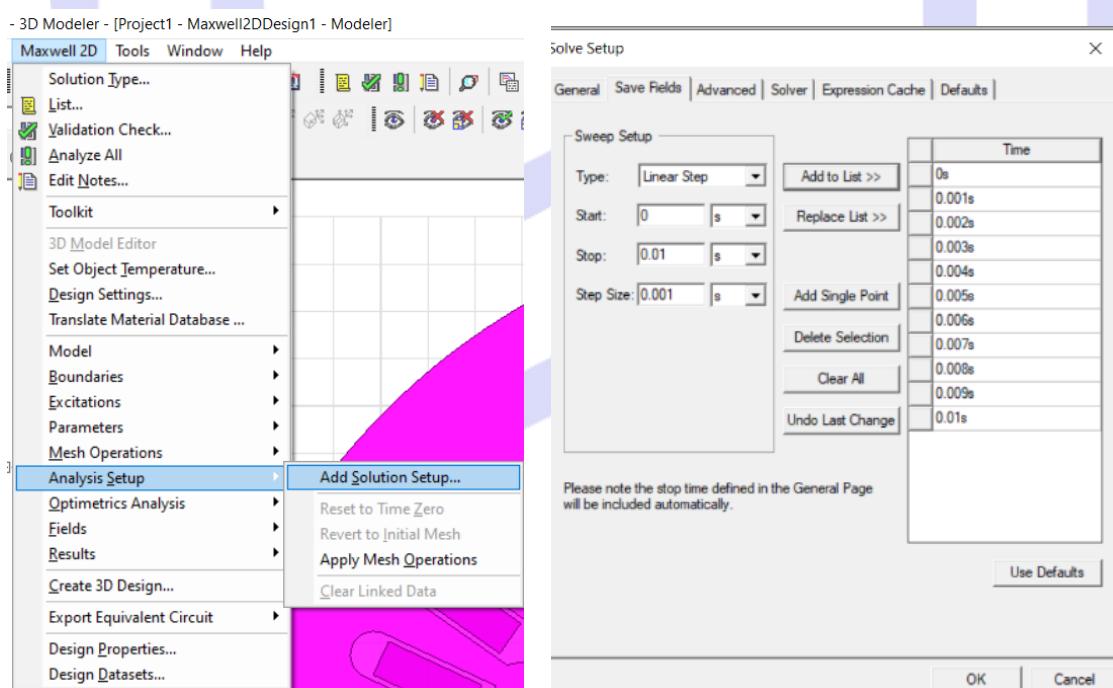
اینبار تمام تیک‌ها سبز نیستند و یک گزینه نیاز به اصلاح دارد. پس در صدد اصلاح آن برمی‌آییم. برای این کار کل شکل دو بعدی را از منوی ادیت و سلکت کنید و انتخاب کرده و طبق مسیر زیر پیش می‌رویم:



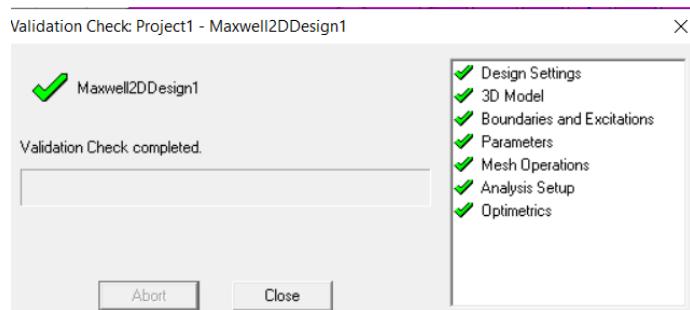
سپس در پنجره eddy effects باز شده، تمام بارهارا تیک میزنیم.



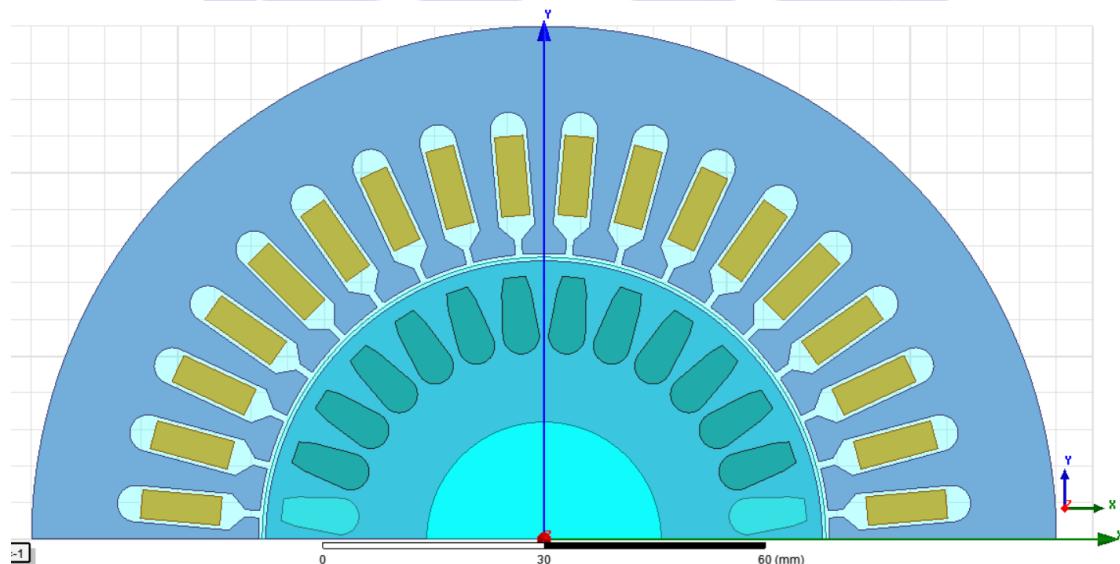
سپس وارد فضای زیر میشویم و اعداد را بدین صورت اصلاح میکنیم و ادد تو لیست را میزنیم



حالا دوباره ولیدیشن چک را میزنیم و بررسی میکنیم که آیا گزینه سوم درست شده یا نه. کماشهده میکنیم تمام گزینه ها تیک سبز خورند و بیدون مشکل هستند و به درستی کار میکنند.



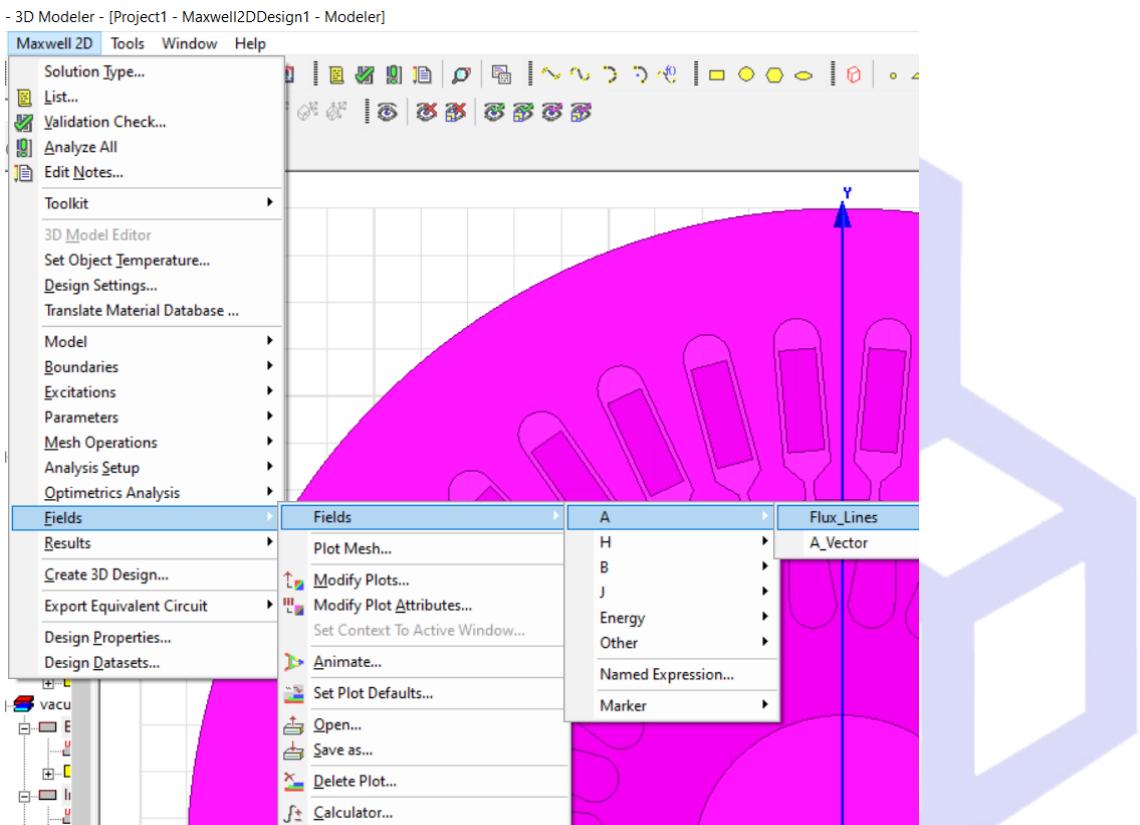
دیدیم که شکل نهایی بدین صورت بود:



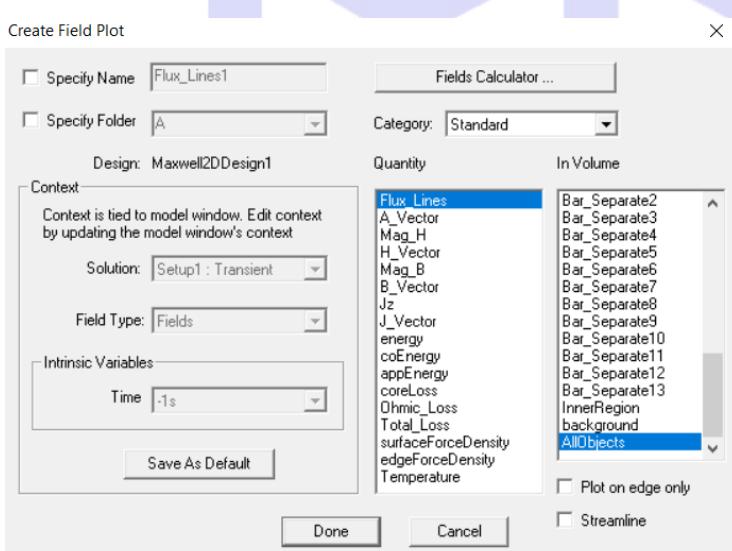
نتایج ۲ بعدی

برای بدست اوردن نتایج ابتدا باید چند پلاس را تعریف کنیم. برای این کار سلکت آل کرده و از مسیر

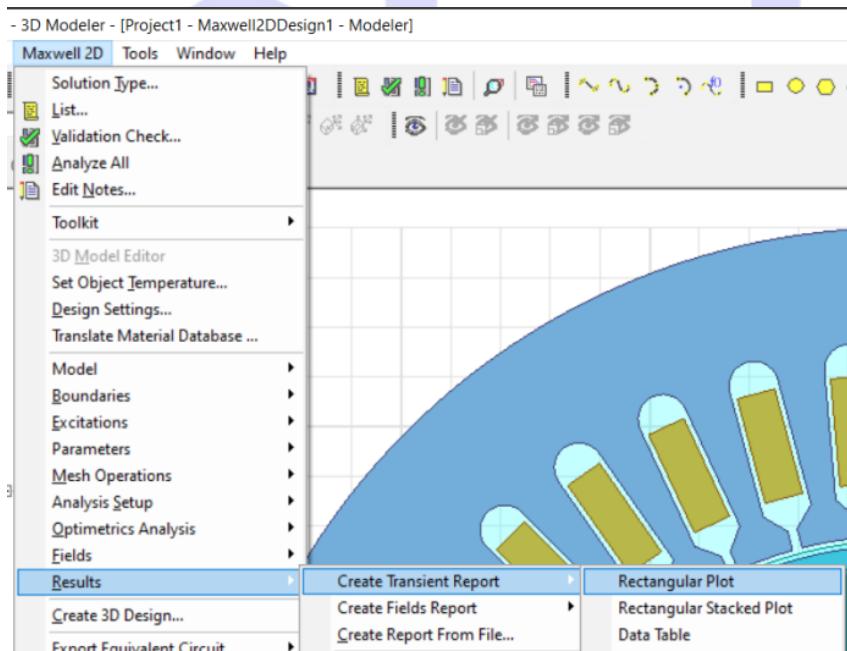
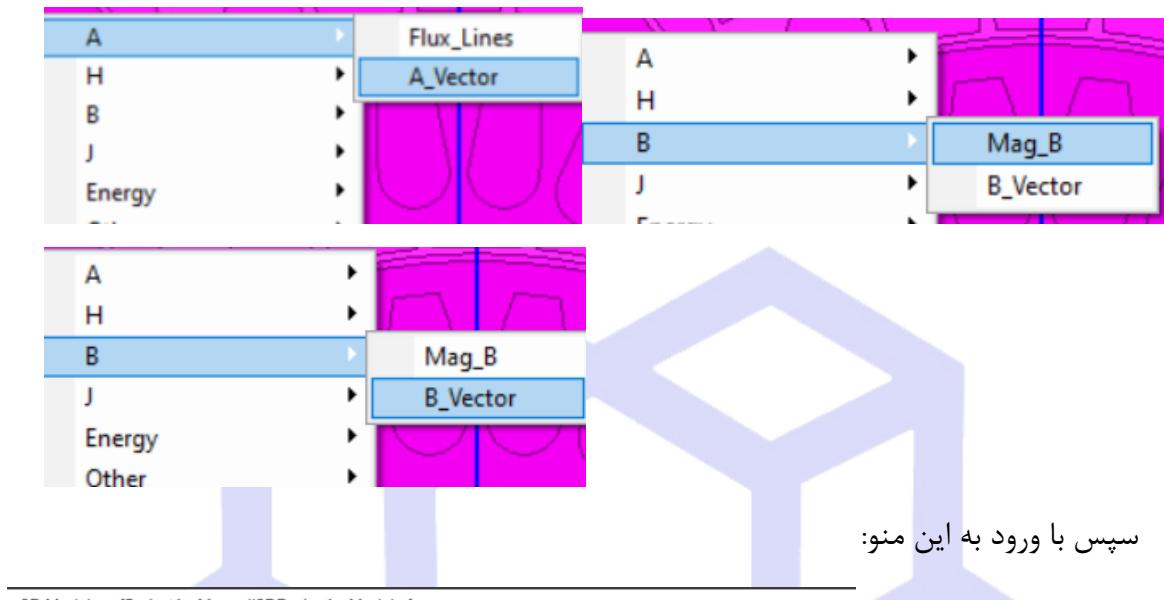
زیر وارد میشویم:



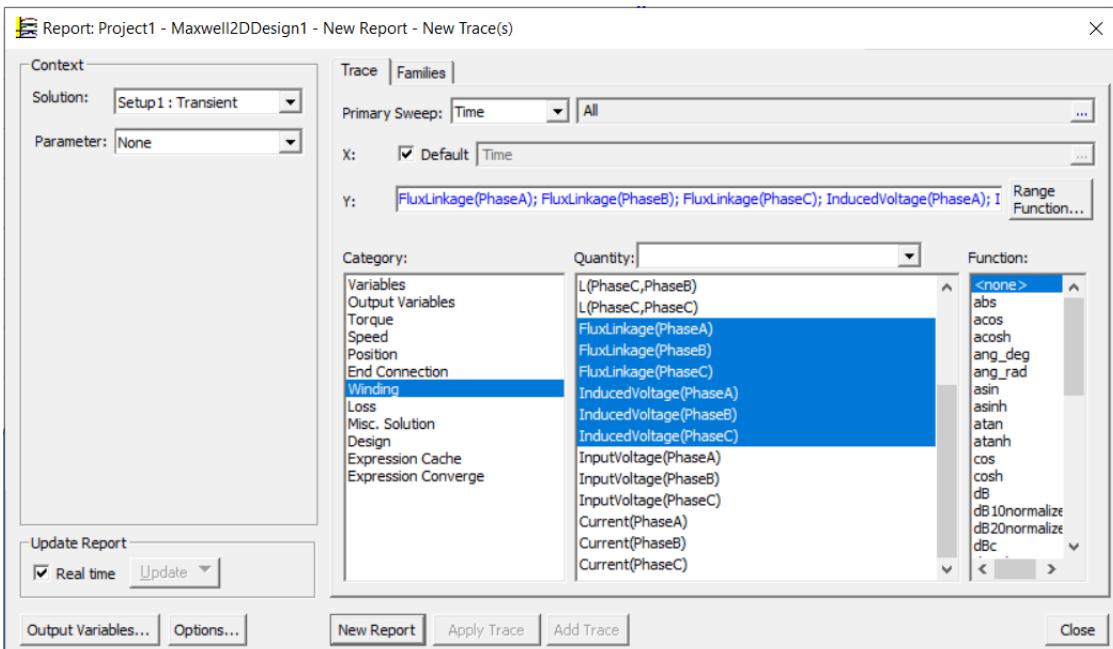
در اینجا از منوی انتخاب راست all را انتخاب کرده و اوکی را میزنیم



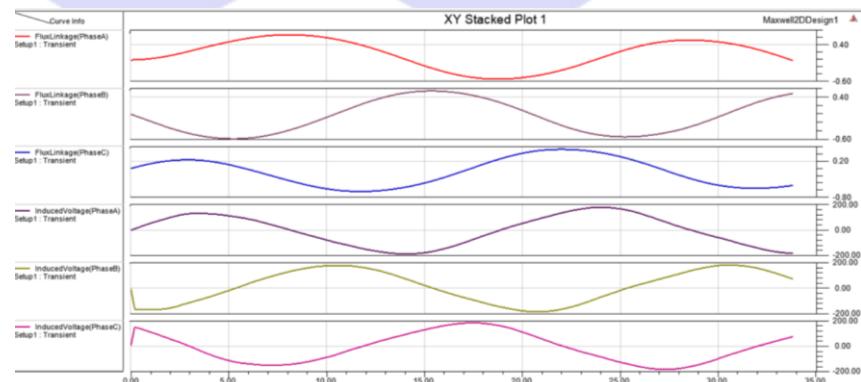
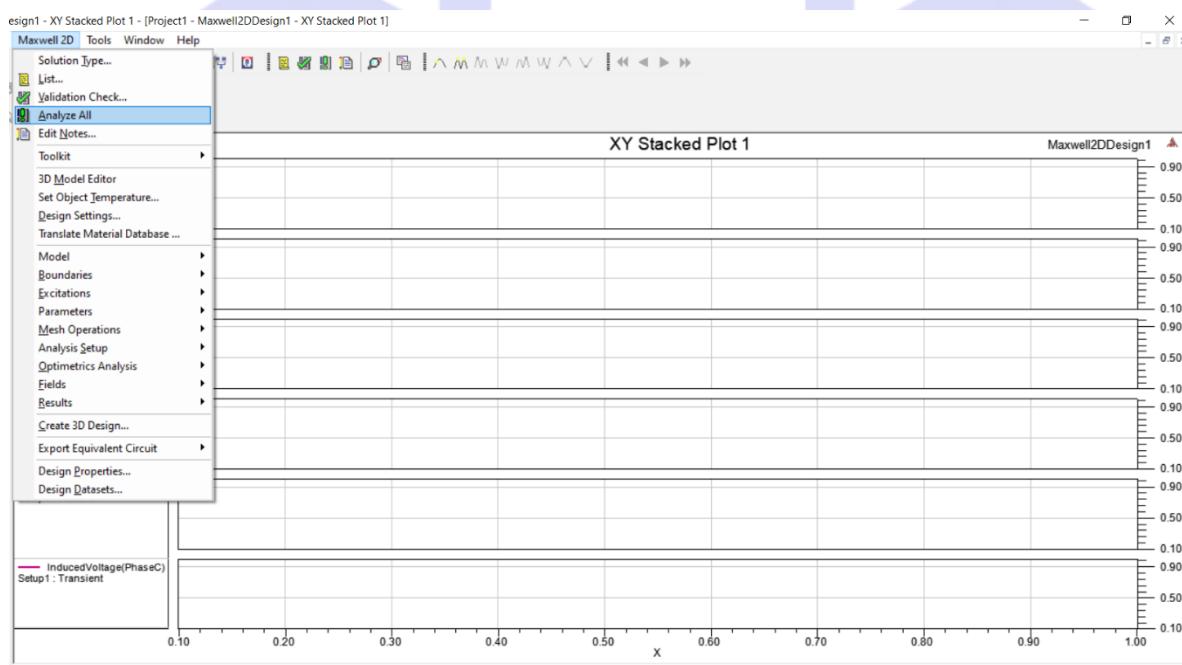
برای ۳ نمودار دیگر هم به همین ترتیب عمل میکنیم و در منوی انها هم گزینه all objects را انتخاب میکنیم



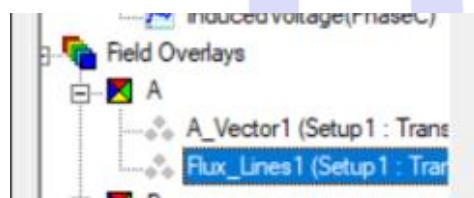
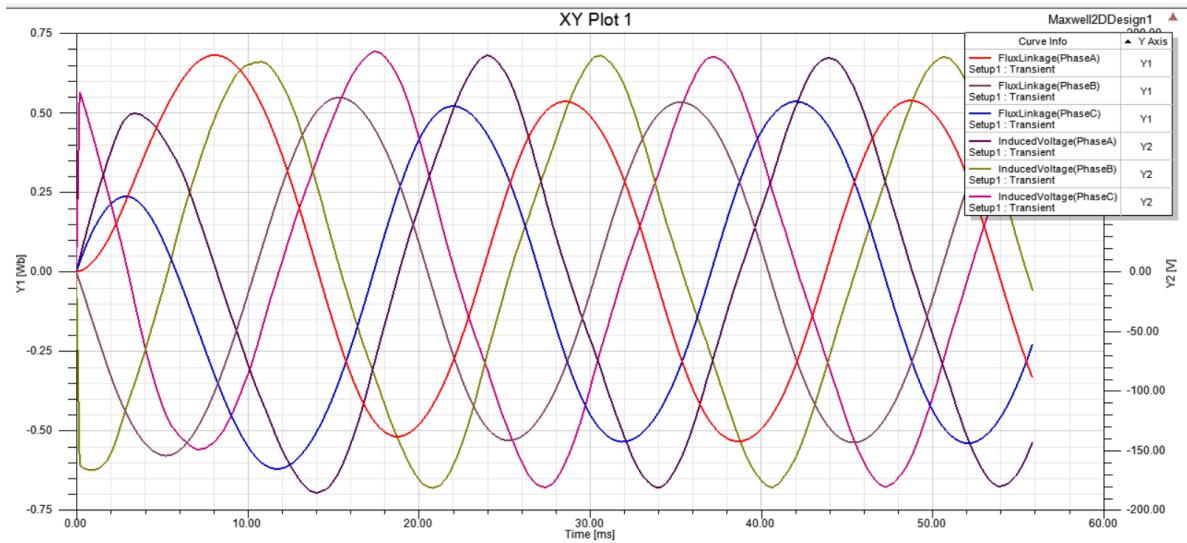
در پنجره جدید باز شده کتگوری را winding انتخاب کرده و موارد را طبق شکل زیر برای هر ۳ فاز انتخاب میکنیم:



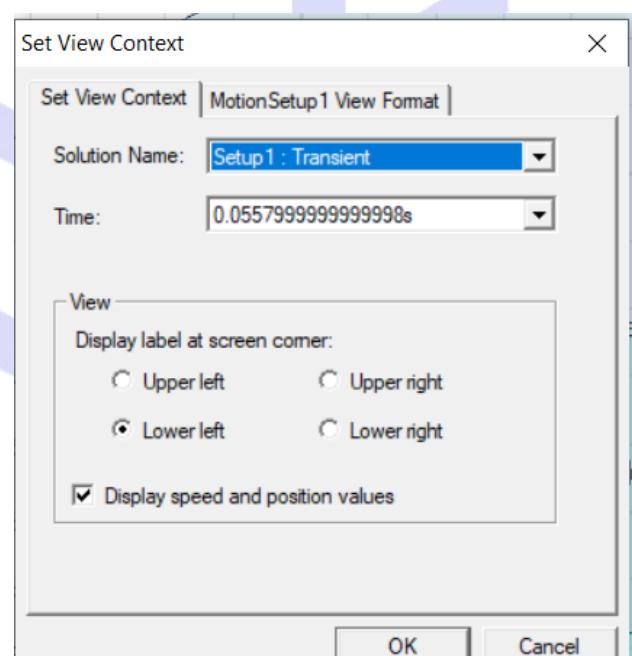
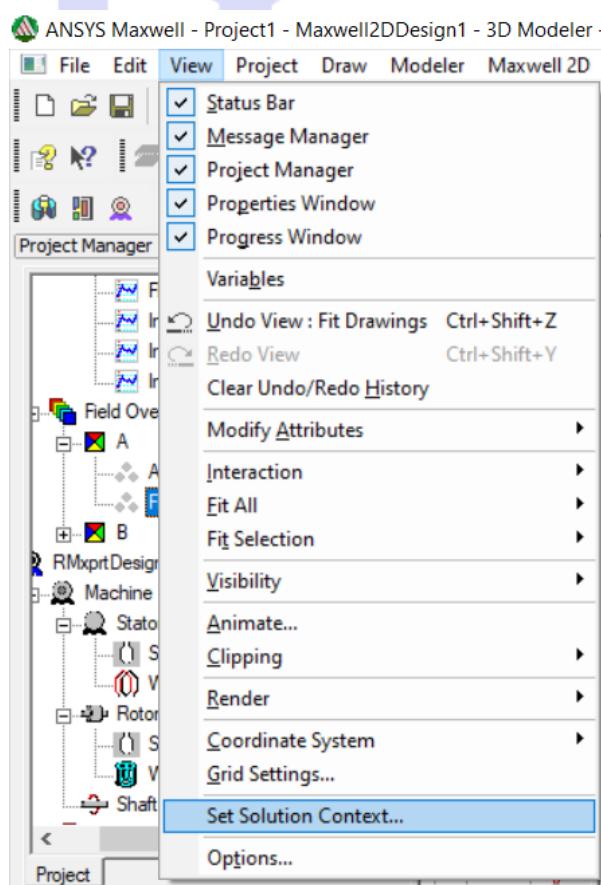
در این مرحله نمودار خالی نمایش داده میشود که با زدن بر روی دکمه آنالایز آل، ران میشود



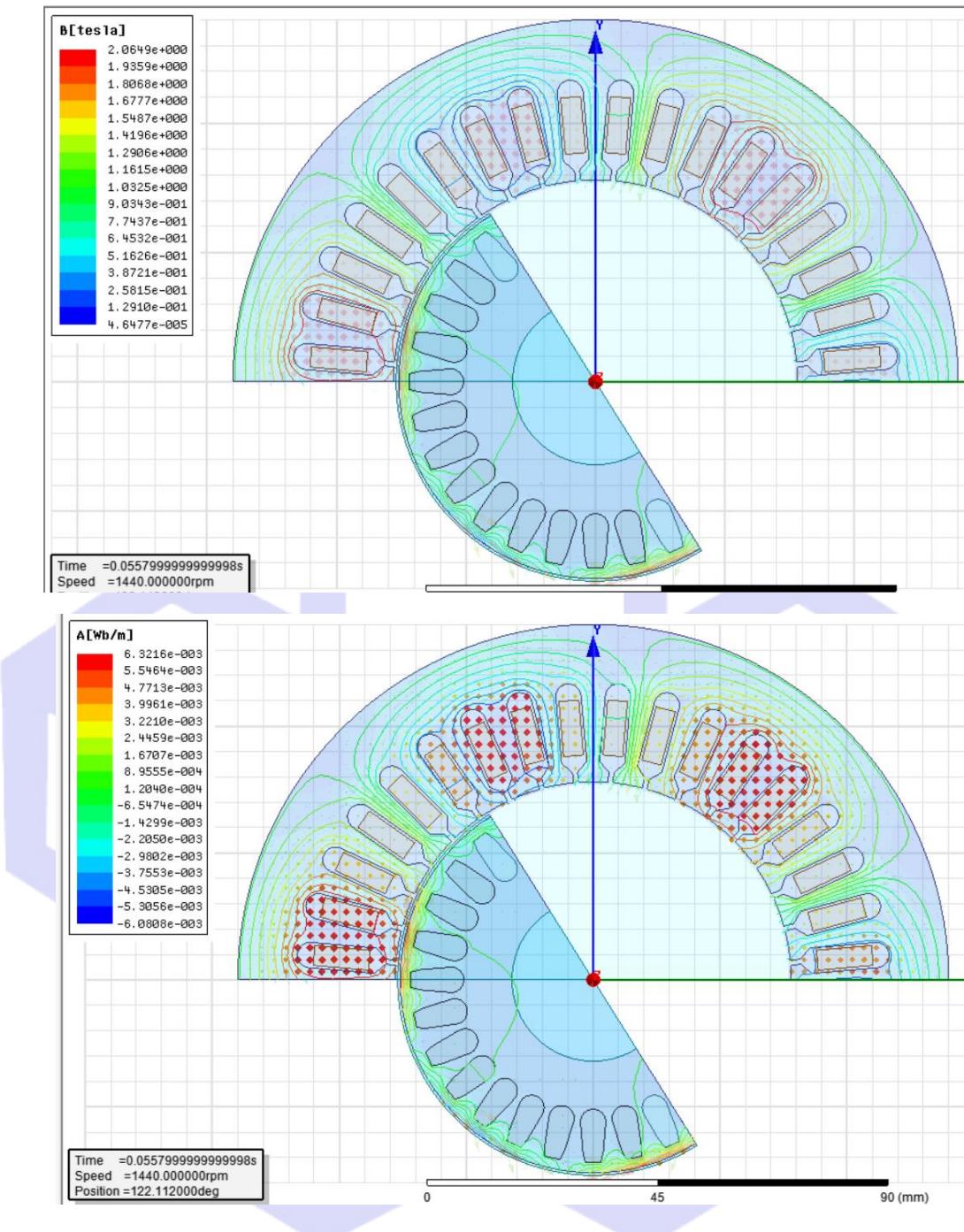
نتیجه نهایی:

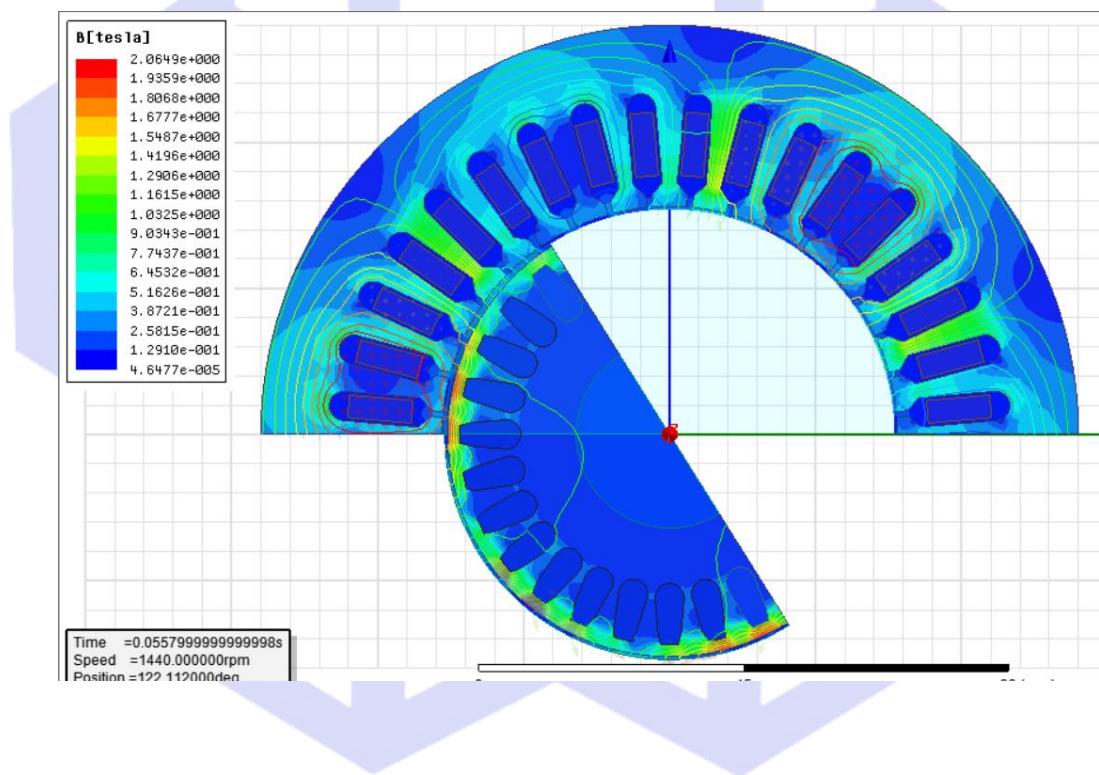
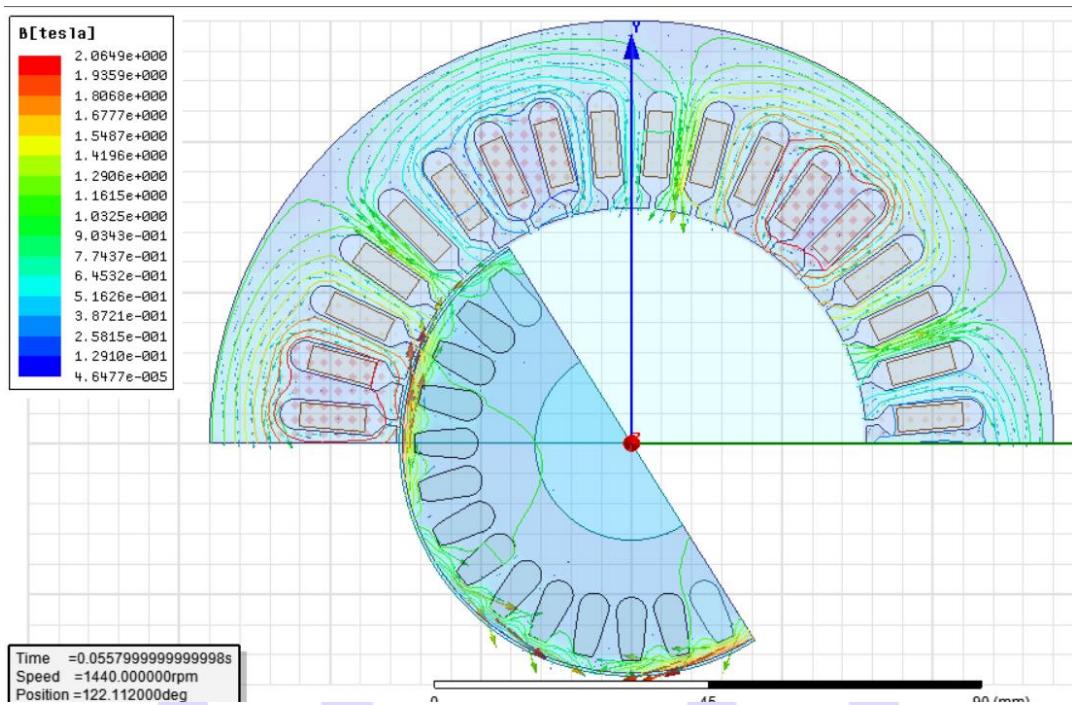


در ادامه در منوی سمت چپ این گزینه را انتخاب کرده و
از منوی ویو set solution context را برمیگزینیم
و اوکی را میزنیم



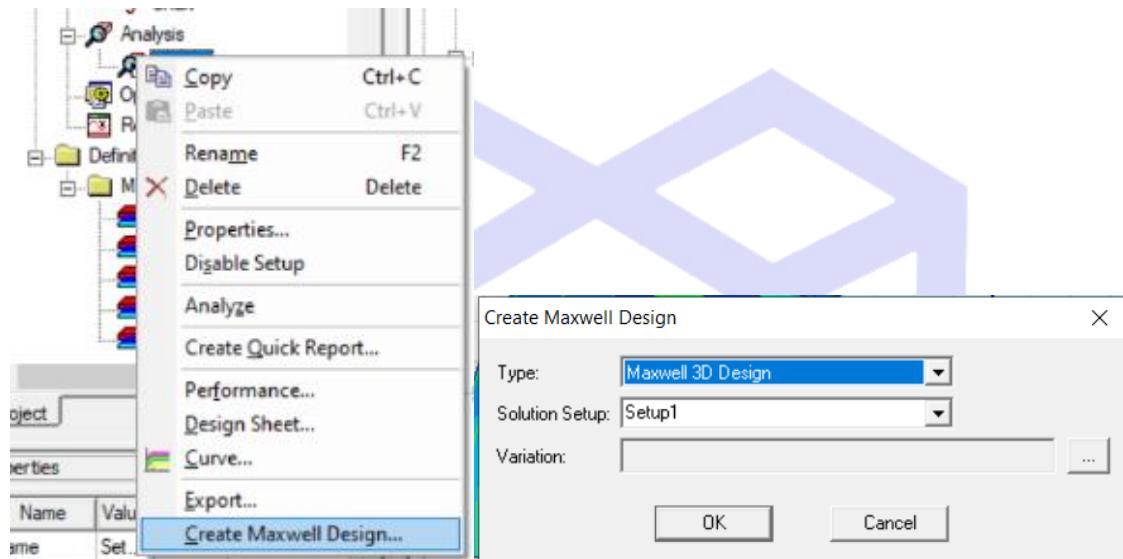
برای پلات های دیگر انتخاب شده هم همین کار را میکنیم و نتایج آنها بدین صورت است:



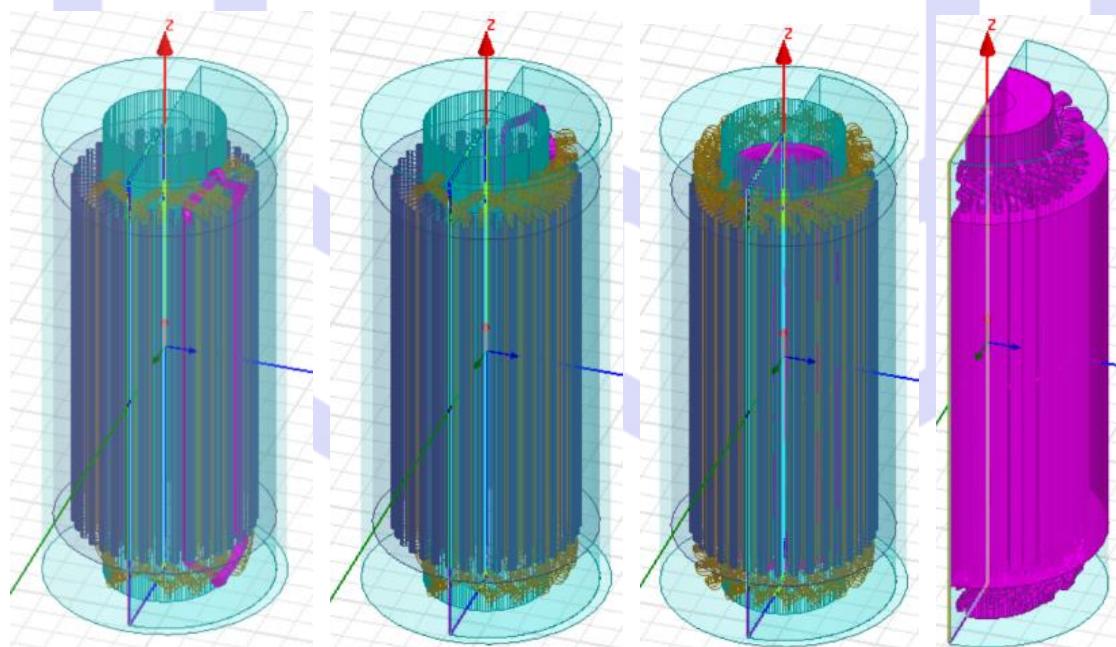


طراحی ۳ بعدی

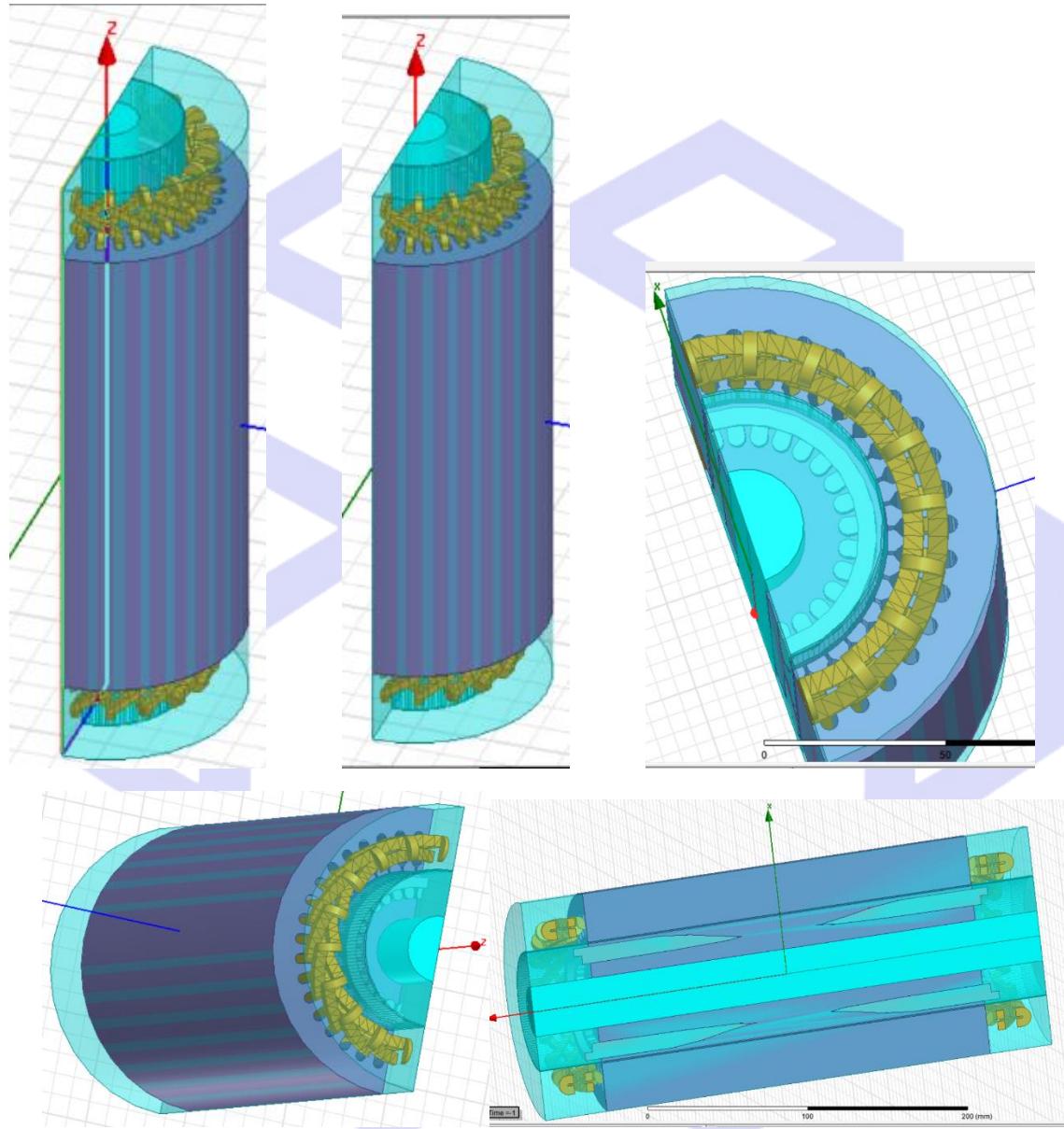
برای رسم ۳ بعدی موتور القایی، در منوی سمت چپ از بخش ست اپ انالیز گزینه تشکیل طراحی ماکسول جدید را انتخاب کرده و در پنجره جدید گزینه ۳ بعدی را انتخاب میکنیم.



چند عکس از مسیر طراحی ۳ بعدی:



نتیجه نهایی طراحی ۳ بعدی از زوایای مختلف





با سپاس فراوان از همراهی شما