

به نام خداوند بخشنده

مهربان



# امکان سنجی ساخت لاینر آلومینیومی مخازن CNG نوع سوم

دانشجو:  
مهدی راستی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد  
در رشته مهندسی مکانیک - گرایش ساخت و تولید

استاد راهنما:  
دکتر محمد صدیقی

دی ماه 1384

تقدیم به آن دو ستون استوار زندگی که  
تجربه و ایمانشان فرا راه آینده مبهم ماست

پدر و مادر و مشربانم

## تشکر و قدر دانی :

از تمامی کسانی که مرا در انجام این تحقیق یاری رسانیده اند ، به ویژه استاد گرامی  
جناب آقای دکتر محمد صدیقی ، کمال تشکر را دارم .

## چکیده

---

مخازن CNG به منظور ذخیره سازی گاز طبیعی فشرده شده به کار می روند . هدف اصلی از این تحقیق امکان سنجی ساخت لاینر آلومینیومی مخازن CNG نوع سوم می باشد. در این پایان نامه پارامترهای تولید پوکه یک نمونه لاینر ، توسط نرم افزار شبیه ساز مورد مطالعه قرار گرفته و براساس نتایج آن، قالبهای نهایی طراحی گردیدند . ابتدا فرایند کشش عمیق جهت تولید پوکه اولیه شبیه سازی گردید. به دلیل ضخامت بالای ورق اولیه ، فرایند کشش عمیق مرحله اول ورق، در قالب تراکتریکس انجام می شود که در این پایان نامه ، کشش مرحله اول در سه نوع قالب تخت ، مخروطی و تراکتریکس شبیه سازی و پارامترهای نیرو ، نسبت کشش و تغییرات ضخامت ظرف پس از کشش، مورد مقایسه قرار گرفتند . سپس به منظور دستیابی به قطر نهایی مخزن، فرایند بازکشش در قالب مخروطی، شبیه سازی گردید و تاثیرات زاویه مخروط و شعاع گذر برروی نیروی لازم برای انجام فرایند و تغییرات ضخامت ظرف مورد بررسی قرار گرفت . پس از آن به منظور دستیابی به ضخامت نهایی دیواره ظرف ، فرایند اتوکاری در دو مرحله شبیه سازی و نیروی لازم جهت انجام هر مرحله استخراج گردید . در پایان نیز امکان سنجی ساخت یکصد هزار عدد پوکه در هر سال انجام شد و قیمت تمام شده هر پوکه محاسبه گردید.

## فهرست مطالب

---

1	فصل 1
1	مقدمه و پیشینه پژوهش
2	1-1. مقدمه.....
3	2-1. پیشینه پژوهش.....
4	3-1. ساختار پایان نامه.....
5	فصل 2
5	آشنایی با انواع مخازن CNG ، استانداردها ، آزمونها و روشهای تولید مخازن
6	1-2. مقدمه.....
6	2-2. انواع مخازن CNG.....
8	3-2. استانداردهای مخازن CNG.....
8	4-2. استاندارد ISO/FDIS/11439.....
9	5-2. استانداردهای رایج ایالت متحدهی آمریکا.....
10	6-2. استانداردهای ملی ایران.....
10	7-2. آزمونهای مخازن CNG.....
10	1-7-2. آزمونهای کیفی حین تولید.....
12	8-2. آزمونهای تأیید ایمنی مخازن.....
13	9-2. روشهای تولید مخازن CNG.....
14	1-9-2. روش تولید مخازن CNG نوع اول.....
15	2-9-2. روش تولید لاینر مخازن CNG نوع دوم و سوم.....
15	3-9-2. روشهای مختلف تولید پوکه.....
18	4-9-2. روش تولید مخازن CNG نوع چهارم.....
19	10-2. نتیجه گیری.....
20	فصل 3
20	آشنایی با فرایندهای کشش عمیق و اتوکاری
21	1-3. مقدمه.....
23	2-3. فرایند کشش عمیق ظروف استوانه ای در قالبهای تخت.....

23	1-2-3. مروری بر تحقیقات انجام شده پیرامون کشش عمیق در قالبهای تخت
24	2-2-3. مراحل فرآیند کشش
30	3-2-3. اصول فرآیند کشش عمیق در قالبهای تخت
35	4-2-3. درصد کاهش و نسبت کشش
37	5-2-3. محاسبه نیروی لازم برای شکل دهی در فرآیند کشش عمیق قالبهای تخت
38	6-2-3. لقی قالب
39	7-2-3. شعاع پانچ و قالب
39	3-3. قالبهای تراکتریکس و مخروطی
40	4-3. قالبهای مخروطی
41	1-4-3. سادگی و قابلیت‌های قالبهای مخروطی
42	2-4-3. زاویه قالب
42	3-4-3. شعاع انحناء انتهای قالب مخروطی (شعاع گذر قالب)
43	4-4-3. عوامل موثر در انتخاب ماشین
43	5-3. قالبهای تراکتریکس
45	1-5-3. فاکتورهای محدود کننده در قالبهای تراکتریکس
47	2-5-3. مزایا و معایب قالبهای تراکتریکس
48	3-5-3. الگوهای تغییر شکل در قالبهای تراکتریکس
48	6-3. فرآیند بازکشش
50	1-6-3. محاسبه نیرو در فرآیند بازکشش
51	7-3. فرآیند اتوکاری
52	1-7-3. تحقیقات پیرامون اصول فرآیند اتوکاری
53	2-7-3. تحلیل تئوری فرآیند اتوکاری
58	3-7-3. تاثیر پارامترهای مختلف در فرآیند اتوکاری
59	8-3. نتیجه گیری

## فصل 4

60	شبيه سازى فرآيندهاى توليد پوكه لاینر آلومینیومی مخزن نمونه
61	1-4. مقدمه
61	2-4. مشخصات هندسی لاینر مورد استفاده
62	3-4. خواص مکانیکی و عملیات حرارتی آلیاز آلومینیوم 60610
65	4-4. روشهای شبیه سازی فرآیند های شکل دهی
65	1-4-4. روشهای تجربی یا آزمایشگاهی
65	2-4-4. روشهای تحلیلی
66	3-4-4. روشهای عددی
72	5-4. شبیه سازی فرآیند کشش عمیق جهت تولید پوكه اولیه
72	1-5-4. بررسی اعتبار مدل مورد استفاده در نرم افزار ABAQUS

77	2-5-4. شبیه سازی فرایند کشش عمیق اول در قالب تخت.....
79	3-5-4. بررسی تحلیل حساسیت به اندازه مش.....
80	4-5-4. نتایج حاصل از کشش ورق در قالب تخت.....
84	6-4. شبیه سازی کشش عمیق اول در قالب تراکتریکس.....
89	7-4. شبیه سازی کشش عمیق اول در قالب مخروطی.....
93	8-4. مقایسه قالبهای تخت ، مخروطی و تراکتریکس و انتخاب قالب نهایی برای کشش مرحله اول.....
95	9-4. شبیه سازی فرایند بازکشش.....
95	1-9-4. بررسی تحلیل حساسیت به اندازه مش.....
96	2-9-4. نتایج حاصل از فرایند باز کشش ظرف.....
99	3-9-4. انتخاب قالب نهایی بازکشش در کشش دوم ظرف.....
100	11-4. شبیه سازی فرایند اتوکاری.....
101	1-11-4. بررسی تایید مدل مورد استفاده در شبیه سازی فرایند اتوکاری.....
103	2-11-4. شبیه سازی فرایند اتوکاری مرحله اول.....
108	3-11-4. شبیه سازی فرایند اتوکاری مرحله دوم.....
110	12-4. نتیجه گیری.....

111 فصل 5

111	امکان سنجی ساخت پوکه لاینر مخزن نمونه
112	1-5. مقدمه.....
112	2-5. تجهیزات و مواد اولیه مورد نیاز جهت تولید پوکه لاینر مورد نظر.....
119	3-5. محاسبه قیمت تمام شده هر پوکه.....
123	4-5. نتیجه گیری.....

124 فصل 6

نتیجه گیری و پیشنهادات

125	1-6. مقدمه.....
125	2-6. نتیجه گیری.....
126	3-6. پیشنهادات آتی.....

Error! Bookmark not defined.

مراجع



## فهرست اشکال

1	فصل 1
1	مقدمه و پیشینه پژوهش
5	فصل 2
5	آشنایی با انواع مخازن CNG، استانداردها، آزمونها و روشهای تولید مخازن
7	شکل 1-2، انواع مخازن CNG
20	فصل 3
20	آشنایی با فرایندهای کشش عمیق و اتوکاری
21	شکل 3-1. طرح کلی فرآیند کشش عمیق بنابر DIN8584
22	شکل 3-2. قطعات کشش عمیق با دیواره عمودی a- قطعات کاپ شکل b- قطعات استوانه‌ای c- قطعات چهار گوش
22	شکل 3-3. قطعات کشش عمیق با دیواره شیبدار a- قطعات با دیواره بسته b- قطعات باز c- قطعات نیم استوانه‌ای
24	شکل 3-4. تماس اولیه سنبه با گرده در فرآیند کشش عمیق
25	شکل 3-5. خمش در شروع فرآیند کشش عمیق
26	شکل 3-6. مرحله صافکاری در فرآیند کشش عمیق
27	شکل 3-7. نیروهای غالب بر نیروهای حاصل از اصطکاک
28	شکل 3-8. فشار طی فرآیند کشش عمیق
28	شکل 3-9. مرحله نهایی کشش در فرآیند کشش عمیق
29	شکل 3-10. تنش‌های ایجاد شده در دیواره کاپ
29	شکل 3-11. شکل دهی استرچی در ته کاپ کروی در شروع کشش
30	شکل 3-12. چیدمان ابزار برای اولین مرحله از کشش عمیق
32	شکل 3-13. کشش و تنش‌ها در کشش عمیق (a) مرحله اولیه (b) مرحله میانی (c) کاپ تقریباً کامل
33	شکل 3-14. شرایط اصطکاک در شعاع ماتریس
34	شکل 3-15. توزیع تنش و کرنش در مقطع 1 (ورودی به ماتریس)
41	شکل 3-16. یک قالب مخروطی: I- موقعیت قبل از انجام کشش II- موقعیت بعد از انجام کشش
44	شکل 3-17. یک قالب تراکتریکس I- موقعیت قبل از انجام کشش II- موقعیت بعد از انجام کشش
44	شکل 3-18. پروفیل قالب تراکتریکس
46	شکل 3-19. عکس‌العمل‌های بین لبه و سطح قالب الف- قالب مخروطی ب- قالب تراکتریکس
48	شکل 3-20. تغییر شکل ظرف در مراحل مختلف در قالب تراکتریکس
50	شکل 3-21. روشهای مختلف فرایند باز کشش
51	شکل 3-22. فرایند باز کشش
52	شکل 3-23. فرایند اتوکاری
53	شکل 3-24. اعوجاج داخلی مواد در فرایند اتوکاری

شکل 3-25. جزئیات هندسی منطقه تغییر شکل در فرایند اتوکاری ..... 54

60

## فصل 4

### شبییه سازی فرایندهای تولید پوکه لاینر آلومینیومی مخزن نمونه

60

شکل 4-1. مشخصات هندسی ابعاد لاینر آلومینیومی مورد نظر ..... 61

شکل 4-2. نمودار تنش- کرنش حاصل از تست کشش ..... 63

شکل 4-3. نمودار تنش- کرنش حاصل از تست کشش و تست بالچ ..... 64

شکل 4-4. تغییرات کرنش ضخامت با نسبت کشش (شبییه سازی و تجربی) ..... 74

شکل 4-5. مقادیر تنش در عمق کشش 27,6 میلیمتر ..... 74

شکل 4-6. مقادیر تنش و کرنش موثر در عمق کشش 27,6 میلیمتر ..... 75

شکل 4-7. تغییرات ضخامت در قطعه کشیده شده (تجربی و شبییه سازی) ..... 76

شکل 4-8. تغییرات نیرو در حین کشش قطعه (تجربی و شبییه سازی) ..... 76

شکل 4-9. مدل مورد استفاده در شبییه سازی فرایند کشش عمیق در قالب تخت ..... 79

شکل 4-10. وابستگی نیروی کشش در قالب تخت به تعداد المانها در ضخامت یا اندازه مش ..... 80

شکل 4-11. ورق در تماس با ورقگیراست و لذا چروکیدگی کنترل می شود ..... 81

شکل 4-12. ورق از زیرورقگیر خارج و چروکیدگی آغاز می شود ..... 81

شکل 4-13. مراحل کشش ورق با نسبت کشش 1,7 و شعاع لبه ماتریس 100 میلیمتر ..... 82

شکل 4-14. منحنی تنش وان میزز برای کشش ورق در قالب تخت برحسب شعاع هرگره ..... 83

شکل 4-15. منحنی کرنش معادل برای کشش ورق در قالب تخت برحسب شعاع هرگره ..... 83

شکل 4-16. منحنی تغییرات ضخامت برای کشش ورق در قالب تخت ..... 83

شکل 4-17. منحنی تغییرات نیروی مورد نیاز برای کشش ورق در قالب تخت ..... 84

شکل 4-18. تفاوت مدلهای دو بعدی و سه بعدی قالب تراکتریکس در نرم افزار شبییه ساز ..... 86

شکل 4-19. مقایسه نمودار نیروی مورد نیاز برای کشش ورق در قالب تراکتریکس در تحلیل مقارن محوری و سه بعدی ..... 86

شکل 4-20. مراحل مختلف کشش ورق در قالب تراکتریکس ..... 87

شکل 4-21. منحنی تنش وان میزز برای کشش ورق در قالب تراکتریکس برحسب شعاع هرگره ..... 87

شکل 4-22. منحنی کرنش معادل برای کشش ورق در قالب تراکتریکس برحسب شعاع هرگره ..... 88

شکل 4-23. منحنی تغییرات ضخامت برای کشش ورق در قالب تراکتریکس ..... 88

شکل 4-24. منحنی تغییرات نیروی مورد نیاز برای کشش ورق در قالب تراکتریکس ..... 88

شکل 4-25. مدل شبییه سازی شده در نرم افزار و قطعه کشیده شده در قالب مخروطی ..... 90

شکل 4-26. منحنی تنش وان میزز برای کشش ورق در قالب مخروط برحسب شعاع هرگره ..... 91

شکل 4-27. منحنی کرنش معادل برای کشش ورق در قالب مخروطی برحسب شعاع هرگره ..... 91

شکل 4-28. منحنی تغییرات ضخامت برای کشش ورق در قالب مخروطی برحسب شعاع هرگره ..... 92

شکل 4-29. منحنی تغییرات نیروی مورد نیاز برای کشش ورق در قالب مخروطی ..... 92

شکل 4-30. مراحل مختلف کشش ورق در قالب مخروطی ..... 93

شکل 4-31. منحنی تغییرات ضخامت برای کشش ورق در قالبهای تخت، مخروطی و تراکتریکس ..... 94

شکل 4-32. منحنی تغییرات نیروی مورد نیاز برای کشش ورق در قالبهای تخت، مخروطی و تراکتریکس ..... 94

شکل 4-33. مدل مورد استفاده جهت شبییه سازی فرایند بازکشش ..... 95

شکل 4-34. وابستگی نیروی بازکشش به تعداد المانها در ضخامت یا اندازه مش ..... 96

- شکل 4-35. تغییرات نیروی لازم برای شکلدهی ورق در فرایند بازکشش برحسب شعاع گذر ..... 96
- شکل 4-36. تغییرات ضخامت دیواره ظرف در فرایند بازکشش ( $r_D=60$ ) در زوایای مخروط مختلف ..... 97
- شکل 4-37. تغییرات ضخامت دیواره ظرف در فرایند بازکشش ( $r_D=200$ ) در زوایای مخروط مختلف ..... 97
- شکل 4-38. تغییرات ضخامت دیواره ظرف در فرایند بازکشش ( $r_D=400$ ) در زوایای مخروط مختلف ..... 98
- شکل 4-39. تغییرات ضخامت دیواره ظرف در زاویه مخروط 20 درجه وشعاعهای گذر متفاوت ..... 98
- شکل 4-40. تغییرات ضخامت دیواره ظرف در زاویه مخروط 60 درجه وشعاعهای گذر متفاوت ..... 99
- شکل 4-41. تغییرات ضخامت دیواره ظرف در زاویه مخروط 90 درجه وشعاعهای گذر متفاوت ..... 99
- شکل 4-42. مراحل مختلف تغییر شکل ظرف در فرایند بازکشش ..... 100
- شکل 4-43. مشخصات ابعاد قالب و ظرف اولیه به منظور تایید مدل شبیه سازی شده در فرایند اتوکاری ..... 101
- شکل 4-44. نمودار نیروی حاصل از شبیه سازی اتوکاری : الف) شبیه سازی ب) مقایسه شبیه سازی با نتایج تجربی ..... 102
- شکل 4-45. ظرف اولیه قبل و در حین انجام فرایند اتوکاری ..... 103
- شکل 4-46. مدل استفاده شده جهت شبیه سازی فرایند اتوکاری مرحله اول ..... 104
- شکل 4-47. وابستگی نیروی اتوکاری به تعداد المانها در ضخامت یا اندازه مش ..... 105
- شکل 4-48. تغییرات نیروی مورد نیاز جهت انجام فرایند اتوکاری مرحله اول نسبت به زاویه قالب و نسبت اتوکاری ..... 106
- شکل 4-49. مراحل مختلف انجام فرایند اتوکاری مرحله اول ..... 106
- شکل 4-50. نمودار نیروی مورد نیاز جهت انجام فرایند اتوکاری مرحله اول ..... 107
- شکل 4-51. الف) تغییرات نیروی مورد نیاز جهت انجام فرایند اتوکاری مرحله دوم نسبت به زاویه قالب ب) مدل مورد استفاده شده در نرم افزار شبیه ساز ..... 108
- شکل 4-52. نمودار نیروی مورد نیاز جهت انجام فرایند اتوکاری مرحله دوم ..... 109
- شکل 4-53. مراحل تغییر شکل ظرف در مراحل اول و دوم فرایند اتوکاری ..... 109

## 111 فصل 5

### 111 امکان سنجی ساخت پوکه لاینر مخزن نمونه

- شکل 5-1. شکل شماتیک پرس افقی مورد استفاده در فرایند اتوکاری ..... 115

## 111 فصل 6

### 124 نتیجه گیری و پیشنهادات

## فهرست جداول

1	فصل 1
1	مقدمه و پیشینه پژوهش
5	فصل 2
5	آشنایی با انواع مخازن CNG، استانداردها، آزمونها و روشهای تولید مخازن
9	جدول 2-1. خلاصه‌ی استانداردهای رایج در آمریکا.....
13	جدول 2-2. آزمونهای تأیید ایمنی مخازن.....
20	فصل 3
20	آشنایی با فرایندهای کشش عمیق و اتوکاری
35	جدول 3-1. ماکزیمم درصد کاهش در مرحله اول.....
39	جدول 3-2. محاسبه شعاع قالب طبق نظر رومانوسکی.....
58	جدول 3-3. مقادیر فاکتور کرنش اتوکاری برای مواد مختلف.....
60	فصل 4
60	شبیه سازی فرایندهای تولید پوکه لاینر آلومینیومی مخزن نمونه
63	جدول 4-1. مشخصات مکانیکی آلیاژ 6061O حاصل از تست کشش.....
64	جدول 4-2. ترکیب شیمیایی آلیاژ 6061.....
64	جدول 4-3. مشخصات عملیات حرارتی آلیاژ 6061.....
73	جدول 4-4. مشخصات مدل مورد استفاده جهت تایید نتایج شبیه سازی فرایند کشش عمیق ورقهای ضخیم.....
76	جدول 4-5. مشخصات مدل مورد استفاده جهت تایید نتایج شبیه سازی فرایند کشش عمیق درقالبهای تخت.....
78	جدول 4-6. مقادیر مختلف نسبت کشش و پارامترهای مختلف طراحی درکشش اول درقالب تخت.....
78	جدول 4-7. مقادیر پیشنهادی سوپرفیت برای ضریب اصطکاک.....
85	جدول 4-8. مشخصات مدل‌های استفاده شده در شبیه سازی فرایند کشش عمیق درقالبهای تراکتریکس.....
90	جدول 4-9. مشخصات مدل‌های استفاده شده در شبیه سازی فرایند کشش عمیق درقالبهای مخروطی.....
102	جدول 4-10. مشخصات فیزیکی و منحنی کار سختی ماده به کار رفته در آزمایشات تجربی.....

### امکان سنجی ساخت پوکه لاینر مخزن نمونه

- جدول 5-1. شرایط زمانی فرض شده جهت امکان سنجی ساخت ..... 111
- جدول 5-2. مقادیر و هزینه ورق خام اولیه مورد نیاز ..... 112
- جدول 5-3. دستگاه عیب یاب آلتراسونیک (UT) ..... 112
- جدول 5-4. تجهیزات مورد نیاز برای برش اولیه ورق ..... 112
- جدول 5-5. تجهیزات مورد نیاز برای فرایند کشش عمیق مرحله اول ..... 113
- جدول 5-6. تجهیزات مورد نیاز برای فرایند کشش عمیق مرحله دوم ..... 114
- جدول 5-7. تجهیزات مورد نیاز برای فرایند اتوکاری مرحله اول ..... 114
- جدول 5-8. تجهیزات مورد نیاز برای فرایند اتوکاری مرحله دوم ..... 115
- جدول 5-9. تجهیزات مورد نیاز کوره عملیات حرارتی ..... 116
- جدول 5-10. هزینه های مربوط به ساختمان ..... 117
- جدول 5-11. هزینه های مربوط به تاسیسات ..... 117
- جدول 5-12. هزینه های مربوط به وسایل نقلیه ..... 118
- جدول 5-13. هزینه های وسایل اداری و کارگاهی ..... 118
- جدول 5-14. لیست هزینه های ثابت ..... 118
- جدول 5-15. لیست هزینه های متغیر ..... 119
- جدول 5-16. جزئیات برآورد حقوق و دستمزد کارکنان ..... 120
- جدول 5-17. محاسبه سود حاصل از هزینه های ثابت اجرای طرح ..... 120

### فصل ششم

### نتیجه گیری و پیشنهادات

### ضمیمه

# فصل 1

## مقدمه و پیشینه پژوهش

## 1-1. مقدمه

امروزه به دلیل محدودیت در تأمین منابع سوختهای مایع در جهان و افزایش قیمت نفت، استفاده از سوختهای مایع در جهان در حال کم شدن است. این در حالی است که اکثر کشورهای وارد کننده نفت و کشورهایی که دارای ذخایر گاز طبیعی هستند، اقدامات گسترده‌ای جهت جایگزین کردن گاز طبیعی به عنوان سوخت اصلی به جای سوختهای مایع انجام داده‌اند. استفاده از گاز طبیعی فشرده شده<sup>1</sup> به عنوان سوخت اصلی در کشور ما نیز که یکی از بزرگترین کشورهای دارای ذخایر گازی دنیا است، مورد توجه مسئولین قرار گرفته است.

نکته ای که باید به آن توجه کرد این است که گازسوز کردن خودروهای کشور، مستلزم در اختیار داشتن امکانات فراوان از جمله ایستگاههای سوختگیری، کیت‌های الکترونیکی مخصوص جهت گازسوز کردن خودروها و یا دوگانه سوز کردن آنها، مخازن ذخیره سازی سوخت و ... می باشد. آنچه که در این پایان نامه به آن پرداخته شده است، امکان سنجی ساخت لاینر یکی از انواع مخازن مورد استفاده در صنعت خودروسازی است. اگر چه جزئیات مربوط به این نوع مخزن و علت انتخاب آن در فصل بعدی خواهد آمد، اما در یک جمله کلی می توان علت این انتخاب را بازده پایین استفاده از مخازن نوع اول در صنعت خودروسازی در طی سالهای گذشته به دلیل کمبودهای موجود در طراحی خودروهای حاضر در کشور دانست.

با توجه به نکات بالا، در این پایان نامه با استفاده از نرم افزار شبیه ساز، مراحل ساخت یک نمونه از مخازن مورد نیاز صنعت خودروسازی شبیه سازی گردیده و قالبهای نهایی آن برای تولید تیراژ معینی در سال طراحی گردیده اند. روش تولید این نوع لاینر نیز مطابق روشی است که توسط اکثر شرکتهای بزرگ تولید کننده مخازن در دنیا انجام می گیرد، استفاده از ورق به عنوان ماده خام اولیه که طی سه فرایند کشش عمیق، اتوکاری و اسپینینگ به لاینر مورد نظر تبدیل می شود و آنگاه به کمک پوشش کامپوزیتی که بر روی آن پوشانده می شود، آماده استفاده در خودرو می گردد. البته در این پایان نامه به دلیل کمبود زمان، فرایند اسپینینگ سر مخزن، شبیه سازی نگردیده است.

---

<sup>1</sup> Compress Natural Gas (CNG)

## 2-1. پیشینه پژوهش

تاریخچه‌ی استفاده از گاز طبیعی به عنوان سوخت وسایل نقلیه در مقیاس وسیع به دو دهه‌ی 50 و 60 میلادی برمی‌گردد. مخازن اولیه، مخازن فولادی بودند که وزن سنگینی نیز داشتند. در سال 1997 مخازن سبکتری به بازار ارائه شد که از الیاف شیشه‌ای به عنوان پوشش بر روی لاینر فلزی استفاده می‌شد. در سال 1982 میلادی، مخازن دیگری به بازار ارائه شد که از آلومینیوم به عنوان لاینر و از الیاف شیشه که به صورت محیطی دور آن پیچیده شده بود، تشکیل شده بودند. استفاده از لاینرهای نسبتاً نازک آلومینیوم یا لاینرهای پلاستیکی تقویت شده که به صورت کامل به الیاف شیشه‌ای و الیاف کربنی پیچیده شده بودند، در سال 1992 عملی شد. این تغییر و تحولات در سیر تکاملی تولید مخازن CNG، باعث گردیده است که اکثراً کمپانی‌های دنیا با توجه به شرایط اقتصادی، اقدام به تولید نوع خاصی از مخازن بکنند. در تولید لاینر آلومینیومی مخازن CNG روشی که اکثر کمپانی‌های بزرگ دنیا مانند Faber ، mcs ، Dynetect و ... استفاده میکنند ، استفاده از ورق به عنوان ماده اولیه و انجام فرایندهای کشش عمیق ، اتوکاری و اسپینینگ بر روی آن است .

کشش عمیق فرایندی است که در آن یک گرده که معمولاً بوسیله فشاری کنترل می شود، تحت نیرو قرار گرفته و توسط حرکت سنبه درون ماتریس، ظرف را شکل می دهد . کشش عمیق از جمله مهمترین فرایندهای شکلدهی ورق است که به روشهای مختلف انجام می گیرد . استفاده از قالبهای تخت به عنوان رایجترین نوع انجام این فرایند و یا استفاده از قالبهای تراکتریکس و مخروطی که برای کشش ورقهای ضخیم به کار می روند . تحقیقات زیادی پیرامون این فرایند توسط محققان مختلف انجام گرفته است . اولین تحلیلهای تئوریک درباره فرآیند کشش عمیق توسط هسنبرگ [1] ارائه گردید. از آنجا که از مهمترین اهداف هر تحلیل، پیش بینی حرکت و جریان مواد، ماکزیمم نیروی مورد نیاز برای شکل دهی و تعیین تنشها و کرنش های ایجاد شده در قطعه می باشد و به دلیل ساده سازیها و فرضیاتی که در تحلیلهای عددی و هزینه و دقتی که در آزمایشهای تجربی صرف می شود، استفاده از فرآیند شبیه سازی جایگزین مراحل سعی و خطای تجربی شده است. وو[2]، هیبیت [3]، کوبایاشی [4,5]، سویفت [6]، آرگریس [7]، کینگ ومارگال [8] ، یامادا[9] ، موناگان [10] ، صنیعی[11] و... نیز



محققینی بوده اند که تحقیقات مفصلی در زمینه شبیه سازی پیرامون این فرایند وبه ویژه کشش عمیق در قالبهای تخت و مقایسه نتایج آن با تحلیلهای تئوری و نتایج تجربی انجام داده اند. همچنین، وو [12,13]، شاوکی [14]، بارت و بینر [15]، فگ و باسی [16]، هاوربک [17]، اوهلر [18] و فرزین [19] نیز از جمله محققانی هستند که پیرامون کشش عمیق در قالبهای بدون ورقگیر مانند قالبهای تراکتریکس و مخروطی تحقیقات زیادی انجام داده اند .

از آنجا که برای تولید قطعات عمیق مانند کپسولهای ذخیره سازی گاز، استفاده از فرایند کشش عمیق در طی چند مرحله هم کافی نمی باشد، استفاده از فرایندهای فلوفرمینگ که معمولاً برای مخازن فولادی به کار می رود و یا فرایند اتوکاری، امری ضروری به شمار می رود. اتوکاری یکی از بزرگترین فرآیندهایی است که در صنعت برای تولید ظروفی با ضخامت دیواره یکنواخت به کار می رود. این فرآیند معمولاً به دنبال فرآیندهای کشش و بازکشش انجام می شود. در واقع اتوکاری یک عملیات کلیدی برای تولید ظروفی با ضخامت یکنواخت دیواره و طول بیشتر ظرف است. تحقیقات زیادی پیرامون این فرایند توسط محققان مختلف مانند هیل [20]، فوکی [21]، ادل [22]، کامپیون [23]، کامپوس [24]، هوانگ [25]، چانگ [26] و... انجام گرفته است .

### 3-1. ساختار پایان نامه

آنچه که در این پایان نامه بدان پرداخته شده است، شبیه سازی فرایندهای کشش عمیق، بازکشش و اتوکاری یک نمونه از مخازن مورد نیاز صنعت خودروسازی کشور است. از آنجاییکه در فرایند تولید از ورق به عنوان ماده خام اولیه استفاده گردیده و با توجه به ضخامت بالای ورق اولیه، فرایند کشش عمیق در سه نوع قالب تخت، تراکتریکس و مخروطی شبیه سازی گردیده و نهایتاً قالبهای نهایی پیشنهاد شده است. در پایان نیز قالبهای نهایی پیشنهادی طراحی و امکان سنجی ساخت تیراژ معینی از این مخازن در سال محاسبه گردیده است. به منظور آشنایی بیشتر با مخازن ذخیره سازی گاز، فصل دوم پایان نامه به این موضوع اختصاص یافته است .

## فصل 2

**آشنایی با انواع مخازن CNG ،  
استانداردها ، آزمونها و روشهای  
تولید مخازن**

## 2-1. مقدمه

امروزه به دلیل محدودیت در تأمین منابع سوختهای مایع در جهان و افزایش قیمت نفت، استفاده از سوختهای مایع در جهان در حال کم شدن است. این در حالی است که اکثر کشورهای وارد کننده نفت و کشورهایی که دارای ذخایر گاز طبیعی هستند، اقدامات گسترده‌ای جهت جایگزین کردن گاز طبیعی به عنوان سوخت اصلی به جای سوختهای مایع انجام داده‌اند. تاریخچه‌ی استفاده از گاز طبیعی به عنوان سوخت وسایل نقلیه در مقیاس وسیع به دو دهه‌ی 50 و 60 میلادی برمی‌گردد. کشورهای روسیه و ایتالیا اولین کشورهایی بودند که اقدام به این کار کردند. مخازن اولیه، مخازن فولادی بودند که وزن سنگینی نیز داشتند. در سال 1997 مخازن سبکتری به بازار ارائه گردید که از الیاف شیشه‌ای به عنوان پوشش بر روی لاینر فلزی استفاده می‌شد. در سال 1982 میلادی، مخازن دیگری به بازار ارائه شد که از آلومینیوم به عنوان لاینر و از الیاف شیشه که به صورت محیطی دور آن پیچیده شده بود، تشکیل شده بودند. استفاده از لاینرهای نسبتاً نازک آلومینیوم یا لاینرهای پلاستیکی تقویت شده که به صورت کامل به الیاف شیشه‌ای و الیاف کربنی پیچیده شده بودند، در سال 1992 عملی شد. این تغییر و تحولات در سیر تکاملی تولید مخازن CNG<sup>۲</sup>، باعث گردیده است که اکثر کمپانی‌های دنیا با توجه به شرایط اقتصادی، اقدام به تولید نوع خاصی از مخازن بکنند.

## 2-2. انواع مخازن CNG

مخازن CNG به چهار دسته‌ی کلی تقسیم می‌شوند (شکل 2-1). مخازن CNG نوع اول، اولین گروه از این مخازن می‌باشند. این مخزنها از جنس فولاد بوده و بدون درز ساخته می‌شوند. نوع آلیاژ مورد استفاده و همچنین تنشهای طراحی این گونه مخازن در استانداردهای خاصی مشخص نگردیده است ولی این مخازن باید تستهای لازم را بگذرانند.

در مخازن CNG نوع دوم، از فلز (فولاد یا آلومینیوم) به عنوان لاینر<sup>۳</sup> استفاده می‌شود و قسمت استوانه‌ای آن توسط مواد کامپوزیتی که عمدتاً الیاف شیشه، آرامید، کربن یا مخلوطی از آنها که آغشته به

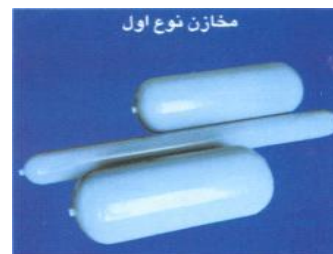
<sup>۲</sup> Compress Natural Gas

<sup>۳</sup> Liner

رزین است به صورت محیطی، پوشیده می‌شود. استفاده از مواد کامپوزیتی دو مزیت عمده دارد: یک آنکه می‌توان از ضخامت لاینر فلزی کاست و مخزن سبکتری تولید کرد و دوم اینکه این گونه مخازن نسبت به مخازن نوع اول، قابلیت تحمل فشار بیشتری را دارند.

مخازن نوع سوم نیز شبیه مخازن نوع دوم هستند، منتها با این تفاوت که هم قسمت استوانه‌ای لاینر و هم دو قسمت ابتدایی و انتهایی آن توسط مواد کامپوزیتی، به صورت محیطی و محوری پوشیده شده است. نتیجه‌ی این کار تولید مخزنی سبکتر نسبت به مخازن نوع دو و سه و همچنین قابلیت تحمل فشار بیشتر نسبت به مخازن یاد شده است. این گونه مخازن از اواسط دهه‌ی 70 میلادی برای ذخیره‌ی گاز اکسیژن در مصارف پزشکی استفاده می‌شوند.

مخازن نوع چهارم که به مخازن کاملاً کامپوزیتی<sup>4</sup> نیز معروف هستند، مشابه مخازن نوع سوم هستند با این تفاوت که لاینر داخلی از جنس پلیمر (پلی اتیلن سنگین)<sup>5</sup> بدون درز است. مزیت‌های اصلی این گونه مخازن نسبت به مخازن قبلی، وزن بسیار کم آن است که حتی با سیستم سوخت بنزینی قابل مقایسه است، همچنین این مخازن قابلیت تولید در ابعاد بزرگتر و با قطر بیشتر را دارند، ضمن آنکه احتمال ترکیدگی مخازن در حوادث کمتر می‌باشد [27].



شکل 2-1. انواع مخازن CNG [28]

<sup>4</sup> Full Composite

<sup>5</sup> HDPE