بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی شیمی

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد در رشته مهندسی شیمی گرایش ترموسینتیک وکاتالیست

موضوع

پیش بینی کشش سطحی مواد با استفاده از روشهای هوشمند

نام دانشجو

افسانه حسین زاده

استاد راهنما:

دکتر کامیار موقر نژاد

استاد مشاور:

دکتر مجید تقی زاده

بهمن ماه ۱۳۹۳

کپی فرم صورت جلسه دفاع دانشگاه صنعتی نوشیروانی که مهمور به تحصیلات تکمیلی است

نام دانشکده: مهندسی شیمی

نام دانشجو: افسانه حسین زاده

عنوان پایان‌نامه یا رساله: پیش بینی کشش سطحی مواد با استفاده از روشهای هوشمند

تاریخ دفاع:۱۳۹۳/۱۱/۲۵

رشته: مهندسی شیمی

گرایش: ترموسینتیک وکاتالیست

ردیف	سمت	نام و نام خانوادگی	مرتبـــــــــه	دانشـــــگاه یـــا	امضا
۱	استاد راهنما	کامیار موقر نژاد			
۲	استاد راهنما				
۳	استاد مشاور	مجید تقی زاده			
۴	استاد مشاور				
۵	استاد مدعو خارجی				
۶	استاد مدعو خارجی				
۷	استاد مدعو داخلی				
۸	استاد مدعو داخلی				

باسمه تعالی

تأییدیه‌ی صحت و اصالت نتایج و مالکیت مادی و معنوی

اینجانب افسانه حسین زاده به شماره دانشجویی۹۰۴۱۵۰۰۲۷ دانشجوی رشته مهندسی شیمی مقطع تحصیلی کارشناسی ارشد تأیید می‌نمایم که کلیه‌ی نتایج این پایان‌نامه ارشد/رساله دکتری تحت عنوان پیش بینی کشش سطحی مواد با استفاده از روشهای هوشمند به استاد راهنمایی دکترکامیار موقر نژاد حاصل کار اینجانب و بدون هرگونه دخل و تصرف است و موارد نسخه برداری‌شده از آثار دیگران را با ذکر کامل مشخصات منبع ذکر کرده‌ام. درصورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخیص دانشگاه مطابق با ضوابط و مقررات حاکم (قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان و قانون ترجمه و تکثیر کتب و نشریات و آثار صوتی، ضوابط و مقررات آموزشی، پژوهشی و انضباطی ...) با اینجانب رفتار خواهد شد و حق هرگونه اعتراض درخصوص احقاق حقوق مکتسب و تشخیص و تعیین تخلف و مجازات را از خویش سلب می‌نمایم. در ضمن، مسؤولیت هرگونه پاسخگویی به اشخاص اعم از حقیقی و حقوقی و مراجع ذی‌صلاح (اعم از اداری و قضایی) به عهده‌ی اینجانب خواهد بود و دانشگاه هیچ‌گونه مسؤولیتی در این خصوص نخواهد داشت. در ضمن تمام دستاوردهای مادی و معنوی حاصله از پایان نامه ارشد/ رساله دکتری متعلق به دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل می باشد و اینجانب هیچ گونه ادعایی در قبال آن ندارم.

نام و نام خانوادگی:

امضا و تاریخ:

مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

بهره‌برداری از این پایان‌نامه در چهارچوب مقررات کتابخانه و با توجه به محدودیتی که توسط استاد راهنما به شرح زیر تعیین می‌شود، بلامانع است:

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله برای همگان بلامانع است.

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله با اخذ مجوز از استاد راهنما، بلامانع است.

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله تا تاریخ ..... ممنوع است.

نام استاد یا اساتید راهنما:

تاریخ:

امضا:

تقدیم به:

پدر و مادرم که نهال ایمان، عشق و امیدرا در دلم کاشتند

و

به همسر عزیزم که استوارترین تکیه گاه زندگی ام است.

تشکر و قدردانی:

سپاس پروردگار جهانیان را که لحظه‌لحظه زندگی‌ام مرهون الطاف بی‌پایان اوست و تدوین این رساله نیز در سایه‌ی الطاف بی‌پایان او میسر گشت.

در اینجا لازم می‌دانم مراتب تقدیر و تشکر خود را از کلیه‌ی کسانی که رشد و تعالی اینجانب مرهون حمایت‌های آنهاست، اعلام دارم. همچنین مراتب تقدیرخود را از استاد گرامی جناب آقای دکتر موقرنژاد و دیگر اساتید محترم که بدون راهنمایی ارزنده‌ی آنها تدوین این پروژه میسر نبود، اعلام می‌دارم و در پایان از مادر و پدر عزیزم که همواره مرهون دعای خیرشان بوده و هستم، سپاسگزارم.

چکیده

در این تحقیق بررسی مقایسه ای بین روش شبکه های عصبی مصنوعی و روش الگوریتم ژنتیک با روش های کلاسیک برای تخمین کشش سطحی مواد مختلف که شامل گروه های هیدروکربن های خالص(۱- آلکان هاو ۱- آلکن ها)، الکل و اسید ها می باشد انجام شده است. در این تحقیق از شبکه عصبی پرسپترون چند لایه با الگوریتم آموزشی پس انتشار خطا با ورودی های مستقل دما، دمای بحرانی، فشار بحرانی، وزن مولکولی و ضریب بی مرکزی استفاده شده است که این پارامترها مشابه با پارامترهای استفاده شده در روش های کلاسیک نظری می باشد. همانند سایر روش‌های بهینه‌سازی، الگوریتم ژنتیک از پارامترهای بهینه‌سازی و یک تابع هدف تشکیل شده است ولی آنچه که این الگوریتم را از سایر روش‌ها جدا می‌کند، روش عملکرد آن است، لازم به ذکر است که هدف از بهینه سازی در این تحقیق پیدا کردن مینیمم مقدار خطای حاصل از روش های ارتقائ یافته با نتایج آزمایشگاهی می باشد.

دراین پژوهش با توجه به نتایج بدست آمده از روش شبکه عصبی و الگوریتم ژنتیک و روش های کلاسیک، شبکه عصبی از دقت خوبی برخوردار بوده و درصد خطای حدود ۰/۲۷ درصد را نتیجه داده است و روش الگوریتم ژنتیک درصد خطای زیر۵ درصد را نتیجه داده است.

واژه‌های کلیدی: کشش سطحی، شبکه عصبی مصنوعی، الگوریتم ژنتیک.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ کشش سطحی تعادلی ۲

۱-۳ روش های اندازه گیری کشش سطحی تعادلی ۳

۱-۳-۱ اندازه گیری با استفاده از یک میکروبالانس ۵

۱-۳-۲ اندازه گیری فشار موئینگی ۵

۱-۳-۳ آنالیز تعادل بین نیروهای گرانش و موئینه ۶

۱-۳-۴ آنالیز قطره های منحرف شده بر اثر گرانش ۷

۱-۳-۵ روش انحراف قطره تقویت شده ۹

۱-۴ کشش سطحی دینامیک ۹

۱-۵ عوامل تاثیر گذار بر کشش سطحی ۱۰

۱-۵-۱ تغییر کشش سطحی مایع خالص با دما ۱۰

۱-۶ تفاوت کشش سطحی و بین سطحی ۱۱

۱-۷ روابط نظری محاسبه کشش سطحی ۱۱

۱-۸ معادلات حالات متناظر ۱۲

۱-۸-۱ رابطه بروک و برد ۱۲

۱-۸-۲ رابطه کرل و پیتزر ۱۳

۱-۸-۳ رابطه زو و استن بای ۱۴

۱-۹ رابطه سستری و رائو ۱۵

فصل ۲: معرفی روش های نوین مدلسازی

۲-۱ مقدمه ۱۷

۲-۲ نرون زیستی ۱۸

۲-۳ شبکه های عصبی مصنوعی ۱۹

۲-۴ مدل های شبکه های عصبی مصنوعی ۲۱

۲-۴-۱ مدل ریاضی وساختمان عملکرد نرون ها ۲۱

۲-۴-۱-۱ مدل نرون تک ورودی ۲۱

۲-۴-۱-۲ توابع انتقال مورد استفاده در شبکه های عصبی ۲۳

۲-۴-۱-۳ مدل نرون چند قطبی ۲۵

۲-۴-۲ ساختار شبکه های عصبی ۲۶

۲-۴-۲-۱ شبکه تک لایه ۲۷

۲-۴-۲-۲ شبکه های چند لایه ۲۷

۲-۴-۲-۳ شبکه عصبی پرسپترون ۲۸

۲-۴-۳ یادگیری شبکه های عصبی مصنوعی ۳۰

۲-۴-۳-۱یادگیری با ناظر ۳۱

۲-۴-۳-۲ یادگیری بدون ناظر یا خود سازمانده ۳۱

۲-۴-۳-۳ الگوریتم یادگیری پس انتشار خطا (BP) ۳۲

۲-۴-۳-۴ محدودیت های الگوریتم یادگیری پس انتشار خطا ۳۶

۲-۵ سلول عصبی بایاس در شبکه ۳۶

۲-۶ توانایی شبکه های عصبی در تقریب توابع غیر خطی ۳۷

۲-۷ مزیت های استفاده از شبکه های عصبی ۳۷

۲-۸ معایب شبکه های عصبی ۳۸

۲-۹ شبکه عصبی پایه شعاعی ۳۹

۲-۱۰ تحقیقات انجام شده در زمینه شبکه های عصبی مصنوعی ۴۰

۲-۱۱ الگوریتم ژنتیک ۴۲

۲-۱۲ ویژگی های روش الگوریتم ژنتیک ۴۲

۲-۱۳ مزایای الگوریتم ژنتیک ۴۳
۲-۱۴ معایب الگوریتم ژنتیک ۴۳
۲-۱۵ بهینه‌سازی زیستی و انتخاب طبیعی ۴۳
۲-۱۶ تعریف تابع هدف و پارامترهای بهینه‌سازی ۴۶
۲-۱۶-۱ تابع هدف ۴۶
۲-۱۶-۲ جمعیت اولیه ۴۶
۲-۱۶-۳ انتخاب طبیعی ۴۷
۲-۱۶-۴ انتخاب والدین ۴۷
۳-۱۶-۵ تولید مثل (تقاطع) ۴۹
۲-۱۶-۶ جهش ژنتیکی ۵۰
۲-۱۶-۷ معیارهای خاتمهٔ الگوریتم ژنتیک ۵۰
۲-۱۷ مروری بر تحقیقات پیشین ۵۴
۲-۱۷-۱ نتایج دیگر روابط نظری در تعیین کشش سطحی مواد مختلف ۵۴
۲-۱۷-۲ روش شبکه عصبی جهت محاسبه کشش سطحی مواد مختلف ۵۵
۲-۱۷-۳ روش الگوریتم ژنتیک جهت محاسبه کشش سطحی مواد مختلف ۵۶

فصل ۳: مدل های ارائه شده، نتایج و تفسیر آنها

۳-۱ مقدمه ۶۰
۳-۲ مدل ها ارائه شده جهت تعیین کشش سطحی مواد مختلف ۶۱
۳-۲-۱ روش شبکه عصبی مصنوعی ۶۱
۳-۲-۲ روش الگوریتم ژنتیک ۷۸
۳-۳ مقایسه روش‌های مورد استفاده در مدلسازی کشش سطحی مواد مختلف ۹۷

فصل ۴: نتیجه گیری و پیشنهادها

۴-۱نتیجه‌گیری ۹۹

۴-۲ پیشنهادها ۱۰۰
مراجع ۱۰۱

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل (۱-۱) تفاوت میان پیوندهای یک مولکول سیال در درون سیال و بر روی سطح آن ۳

شکل (۱-۲) شکل یک فیلم صابونی که روی چارچوبی فلزی کشیده شده است ۴

شکل (۱-۳) استفاده ازروش لوله موئین برای اندازه گیری کشش سطحی ۶

شکل (۱-۴) تعریف ابعاد ومولفه های توصیف در دسته چهارم ۷

شکل (۱-۵) تعریف مولفه های روش قطره معلق ۸

شکل (۱-۶) نمایی از روش پنجم ۹

شکل (۱-۷) تغییر کشش سطحی با دما ۱۱

شکل(۲-۱) سلول عصبی یا نرون ۱۸

شکل (۲-۲) مدل نرون تک ورودی ۲۲

شکل (۲-۳) انواع مختلف توابع انتقال مورد استفاده در مدل سلول عصبی مصنوعی ۲۴

شکل (۲-۴) مدل چند ورودی یک نرون ۲۵

شکل (۲-۵) فرم ساده شده نرون با R ورودی ۲۶

شکل (۲-۶) شبکه تک لایه با S نرون و R ورودی ۲۷

شکل(۲-۷) شماتیکی از شبکه پیشخور سه لایه ۲۸

شکل(۲-۸) شمای کلی الگوریتم یادگیری پس انتشار خطا بر روی یک شبکه عصبی دو لایه ۳۵

شکل(۲-۹) ساختار شبکه عصبی پایه شعاعی ۳۹

شکل (۲-۱۰) نمونه‌ای از الگوریتم ژنتیک ۴۵

شکل (۲-۱۱) تقاطع تک نقطه‌ای ۴۹

شکل (۲-۱۲) تقاطع دو نقطه‌ای ۴۹

شکل (۲-۱۳) برررسی کارآیی الگوریتم ژنتیک ۵۱

شکل (۲-۱۴) نسخه‌های دیگری از الگوریتم ژنتیک ۵۲

شکل(۲-۱۵) نسخه الگوریتم مدل ارائه شده ۵۳

شکل (۳-۱) تغییرات میزان خطای متوسط نسبی گروه هیدروکربن های خالص(۱-آلکان ها،۱-آلکن ها) با افزایش نرون در لایه مخفی ۶۹
شکل (۳-۲) تغییرات میزان خطای متوسط نسبی گروه الکلها با افزایش نرون در لایه مخفی ۶۹
شکل(۳-۳) تغییرات میزان خطای متوسط نسبی گروه اسیدها با افزایش نرون در لایه مخفی ۷۰
شکل(۳-۴) نحوه تغییرات میانگین توان دوم خطا در مرحله آموزش با اپوک برای گروه هیدروکربن ها ... ۷۴
شکل(۳-۵) نحوه تغییرات میانگین توان دوم خطا در مرحله آموزش با اپوک برای گروه الکلها ۷۴
شکل(۳-۶) نحوه تغییرات میانگین توان دوم خطا در مرحله آموزش با اپوک برای گروه اسیدها ۷۵
شکل(۳-۷) مقادیر واقعی کشش سطحی در برابر مقادیر پیش بینی شده با شبکه عصبی مصنوعی برای گروه هیدرو کربن های خالص(۱-آلکان ها،۱-آلکن ها) ۷۶
شکل (۳-۸) مقادیر واقعی کشش سطحی در برابر مقادیر پیش بینی شده با شبکه عصبی مصنوعی برای گروه الکلها ۷۷
شکل(۳-۹) مقادیر واقعی کشش سطحی در برابر مقادیر پیش بینی شده با شبکه عصبی مصنوعی برای گروه اسیدها ۷۷
شکل(۳-۱۰) بررسی کارآرایی الگوریتم ژنتیک برای گروه هیدروکربن های خالص (۱-آلکان ها و ۱-آلکن ها) از رابطه تصحیح شده بروک و برد ۸۳
شکل(۳-۱۱) بررسی کارآرایی الگوریتم ژنتیک برای گروه الکل ها از رابطه تصحیح شده بروک و برد ۸۳
شکل(۳-۱۲) بررسی کارآرایی الگوریتم ژنتیک برای گروه اسیدها از رابطه تصحیح شده بروک و برد ۸۴
شکل(۳-۱۳) بررسی کارآرایی الگوریتم ژنتیک برای گروه هیدروکربن های خالص (۱-آلکان ها و ۱-آلکن ها) از رابطه تصحیح شده کرل و پیتزر ۸۴
شکل (۳-۱۴) بررسی کارآرایی الگوریتم ژنتیک برای گروه الکل ها از رابطه تصحیح شده کرل و پیتزر..... ۸۵
شکل(۳-۱۵) بررسی کارآرایی الگوریتم ژنتیک برای گروه اسیدها از رابطه تصحیح شده کرل و پیتزر..... ۸۵
شکل(۳-۱۶) بررسی کارآرایی الگوریتم ژنتیک برای گروه هیدروکربن های خالص (۱-آلکان ها و ۱-آلکن ها)از رابطه تصحیح شده زو و استن بای ۸۶

شکل (۳-۱۷) بررسی کارآرایی الگوریتم ژنتیک برای گروه الکل ها از رابطه تصحیح شده زو و استن بای... ۸۶
شکل(۳-۱۸) بررسی کارآرایی الگوریتم ژنتیک برای گروه اسیدها از رابطه تصحیح شده زو و استن بای ۸۷
شکل (۳-۱۹) بررسی کارآرایی الگوریتم ژنتیک برای گروه هیدروکربن های خالص (۱-آلکان ها و ۱-آلکن ها) از رابطه تصحیح شده سستری و رائو ۸۸
شکل(۳-۲۰) بررسی کارآرایی الگوریتم ژنتیک برای گروه الکل ها از رابطه تصحیح شده سستری و رائو ۸۸
شکل (۳-۲۱) بررسی کارآرایی الگوریتم ژنتیک برای گروه اسیدها از رابطه تصحیح شده سستری و رائو ۸۹
شکل(۳-۲۲) کشش سطحی تجربی هیدرو کربن ها (۱- آلکان و۱- آلکن) در مقایسه با کشش سطحی محاسبه شده با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک و روش کلاسیک از رابطه بروک وبرد ۹۰
شکل(۳-۲۳) کشش سطحی تجربی هیدرو کربن ها (۱- آلکان و۱- آلکن) در مقایسه با کشش سطحی محاسبه شده با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک و روش کلاسیک از رابطه کرل و پیتزر ۹۰
شکل(۳-۲۴) کشش سطحی تجربی هیدرو کربن ها (۱- آلکان و۱- آلکن) در مقایسه با کشش سطحی محاسبه شده با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک و روش کلاسیک از رابطه زو واستن بای ۹۱
شکل(۳-۲۵) کشش سطحی تجربی هیدرو کربن ها (۱- آلکان و۱- آلکن) در مقایسه با کشش سطحی محاسبه شده با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک و روش کلاسیک از رابطه سستری و رائو ۹۱
شکل(۳-۲۶) کشش سطحی تجربی الکل ها در مقایسه با کشش سطحی محاسبه شده با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک و روش کلاسیک از رابطه بروک وبرد ۹۲
شکل(۳-۲۷) کشش سطحی تجربی الکل ها در مقایسه با کشش سطحی محاسبه شده با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک و روش کلاسیک از رابطه کرل و پیتزر ۹۳
شکل(۳-۲۸) کشش سطحی تجربی الکل ها در مقایسه با کشش سطحی محاسبه شده با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک و روش کلاسیک از رابطه زو واستن بای ۹۳
شکل(۳-۲۹) کشش سطحی تجربی الکل ها در مقایسه با کشش سطحی محاسبه شده با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک و روش کلاسیک از رابطه سستری و رائو ۹۴

شکل (۳-۳۰) کشش سطحی تجربی اسیدها در مقایسه با کشش سطحی محاسبه شده با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک و روش کلاسیک از رابطه بروک وبرد ۹۵
شکل (۳-۳۱) کشش سطحی تجربی اسیدها در مقایسه با کشش سطحی محاسبه شده با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک و روش کلاسیک از رابطه کرل و پیتزر ۹۵
شکل (۳-۳۲) کشش سطحی تجربی اسیدها در مقایسه با کشش سطحی محاسبه شده با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک و روش کلاسیک از رابطه زو واستن بای ۹۶
شکل (۳-۳۳) کشش سطحی تجربی اسیدها در مقایسه با کشش سطحی محاسبه شده با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک و روش کلاسیک از رابطه سسستری و رائو ۹۶
شکل(۳-۳۴) مقایسه خطای متوسط نسبی بین کلیه روش های بررسی شده ۹۷

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول (۱-۱) ثوابت رابطه سستری و رائو ۱۵

جدول(۳-۱) مقایسه خطای نسبی روش های نظری ۶۱

جدول(۳-۲) مقادیرنمایه های آماری (R^2, MSE, AAD%) با اقزایش نرون های لایه پنهان برای هیدروکربن های خالص(۱-آلکان ها،آلکن ها) ۶۳

جدول (۳-۳) شناسایی و یافتن شبکه ی بهینه با توجه به مقادیرنمایه های آماری (R^2, MSE, AAD%) با اقزایش نرون های لایه پنهان برای الکلها ۶۵

جدول (۳-۴) شناسایی و یافتن شبکه ی بهینه با توجه به مقادیرنمایه های آماری (R^2, MSE, AAD%) با اقزایش نرون های لایه پنهان برای اسیدها ۶۷

جدول(۳-۵) وزن و بایاس‌های لایه ورودی به لایه پنهان شبکه ۵,۱۱,۱ برای تخمین کشش سطحی هیدروکربن‌های خالص(۱-آلکان ها،۱-آلکن ها) ۷۱

جدول(۳-۶) وزن و بایاس‌های لایه پنهان به لایه خروجی شبکه ۵,۱۱,۱ برای تخمین کشش سطحی هیدروکربن‌های خالص(۱-آلکان ها،۱-آلکن ها) ۷۱

جدول(۳-۷) وزن و بایاس‌های لایه ورودی به لایه پنهان شبکه ۵,۱۳,۱ برای تخمین کشش سطحی الکل‌ها ۷۲

جدول (۳-۸) وزن و بایاس‌های لایه پنهان به لایه خروجی شبکه ۵,۱۳,۱ برای تخمین کشش سطحی الکلها ۷۲

جدول (۳-۹) وزن و بایاس‌های لایه ورودی به لایه پنهان شبکه ۵,۱۱,۱ برای تخمین کشش سطحی اسیدها ۷۳

جدول (۳-۱۰) وزن و بایاس‌های لایه پنهان به لایه خروجی شبکه ۵,۱۱,۱ برای تخمین کشش سطحی اسیدها ۷۳

جدول(۳-۱۱) پارامترها و خطای حاصل از کاربرد روش شبکه عصبی در مدلسازی کشش سطحی ۳ گروه از مواد مختلف ۷۶
جدول(۳-۱۲) اطلاعات و پارامتر های مشترک برای هر ۴ رابطه نظری در هر ۳ گروه مواد مختلف ۷۹
جدول(۳-۱۳) ضرایب x۱ تا x۵ برای مدل بروک وبرد و مدل به دست آمده از الگوریتم ژنتیک در سه گروه مواد مختلف ۸۰
جدول (۳-۱۴) ضرایب x۱ تا x۱۱ برای مدل کرل و پیتزر و مدل به دست آمده از الگوریتم ژنتیک در سه گروه مواد مختلف ۸۱
جدول(۳-۱۵) ضرایب x۱ تا x۶ برای مدل زو واستن بای و مدل به دست آمده ازالگوریتم ژنتیک در سه گروه مواد مختلف ۸۱
جدول (۳-۱۶) ضرایب x۱ تا x۵ بدست آمده از روش سستری و رائو توسط الگوریتم ژنتیک ۸۲

فصل اول

مقدمه

۱-۱ مقدمه

کشش سطحی[۱] یک خاصیت ترمودینامیکی پایه است که نقش مهمی در بسیاری از فرآیندها دارد [۱]. نقش کشش سطحی را می توان در فرآیندهای جداسازی شامل عملیات انتقال جرم همچون استخراج، تقطیر، جذب یا واکنش های شیمیایی و کاربرد این خاصیت در صنایع رنگ، چسب، شوینده های سنتزی و داروسازی به وضوح مشاهده کرد [۲]. کشش سطحی عموما بیشتر به این صورت تعریف می شود که اثر نیروی جاذبه بین مولکولی بین سیال در سطح بر واحد طول می باشد. معمولا واحد کشش سطحی (σ) به وسیله($dyne/cm$) بیان می شود که به طور مساوی برابر با N/m ۰/۰۰۱ نیز می باشد [۳]. همچنین کشش سطحی با واحدهایی مانند، $1\,mN/m = 1erg/cm^2 = 1mJ/m^2 = 1dyne/cm$ نیز بیان می شوند [۴,۵].

۱-۲ کشش سطحی تعادلی

در درون یک فاز مایع، مولکولها به طور کامل توسط مولکول های دیگر محاط می شوند، به طوری که نیروی جذب در همه جهت ها یکسا ن است. اما در مرز، نیروها ی بین مولکولی از یک جنس نیستند و در نتیجه همدیگر را خنثی نمی کنند. این برهمکنش سبب به وجود آمدن نیرویی به سمت داخل می گردد. این پدیده دقیقا همان عاملی است که سبب می گردد قطرات کوچک، شکل کروی به خود بگیرند [۶]. بنابراین می توان گفت کشش سطحی عبارت است از تمایل سطح به انقباض، برای حداقل کردن مساحت بین سطحی [۶,۷].

از دید انرژی پتانسیل، کشش سطحی را می توان بدین صورت بیان کرد: مولکول هایی ازسیال که در سطح قرار دارند، انرژی پتانسیل بیشتری نسبت به مولکول های مشابه اما در درون سیال، دارا می باشند. دلیل این افزایش و بالا بودن میزان انرژی، وجود نیروهای جاذبه بزرگتر در میان مولکول های سطحی با مولکول های داخلی سیال، نسبت به نیروی جاذبه میان مولکول های سطحی و مولکول های گاز در بالای سطح است.

[۱] - Surface tension