بسم الله الرحمن الرحیم

تعهدنامه‌ی اصالت اثر و رعایت حقوق دانشگاه

تمامی حقوق مادّی و معنوی مترتب بر نتایج، ابتکارات، اختراعات و نوآوری‌هایِ ناشی از انجام این پژوهش، متعلق به **دانشگاه محقق اردبیلی** می‌باشد. نقل مطلب از این اثر، با رعایت مقرّرات مربوطه و با ذکر نام دانشگاه محقق اردبیلی، نام استاد راهنما و دانشجو بلامانع است.

اینجانب ماهرخ شکری شکراب دانش‌آموخته‌ی مقطع کارشناسی ارشد رشته‌ی شیمی گرایش تجزیه دانشکده‌ی علوم دانشگاه محقق اردبیلی به شماره‌ی دانشجویی ۹۰۲۲۳۳۳۱۰۹ که در تاریخ ۹۲/۱۲/۱۳ از پایان-نامه‌ی تحصیلی خود تحت عنوان**سنتز نقاط کوانتومی گرافن و بررسی قابلیت آن‌ها برای استفاده به عنوان حسگر رطوبت بسیار حساس** دفاع نموده‌ام، متعهد می‌شوم که:

۱) این پایان‌نامه را قبلاً برای دریافت هیچ‌گونه مدرک تحصیلی یا به عنوان هرگونه فعالیت پژوهشی در سایر دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزشی و پژوهشی داخل و خارج از کشور ارائه ننموده‌ام.

۲) مسئولیت صحّت و سقم تمامی مندرجات پایان‌نامه‌ی تحصیلی خود را بر عهده می‌گیرم.

۳) این پایان‌نامه، حاصل پژوهش انجام شده توسط اینجانب می‌باشد.

۴) در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران استفاده نموده‌ام، مطابق ضوابط و مقرّرات مربوطه و با رعایت اصل امانتداری علمی، نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آن را در متن و فهرست منابع و مآخذ ذکر نموده‌ام.

۵) چنانچه بعد از فراغت از تحصیل، قصد استفاده یا هر گونه بهره‌برداری اعم از نشر کتاب، ثبت اختراع و ... از این پایان-نامه را داشته باشم، از حوزه‌ی معاونت پژوهشی و فنّاوری دانشگاه محقق اردبیلی، مجوزهای لازم را اخذ نمایم.

۶) در صورت ارائه‌ی مقاله‌ی مستخرج از این پایان‌نامه در همایش‌ها، کنفرانس‌ها، سمینارها، گردهمایی‌ها و انواع مجلات، نام دانشگاه محقق اردبیلی را در کنار نام نویسندگان (دانشجو و اساتید راهنما و مشاور) ذکر نمایم.

۷) چنانچه در هر مقطع زمانی، خلاف موارد فوق ثابت شود، عواقب ناشی از آن (منجمله ابطال مدرک تحصیلی، طرح شکایت توسط دانشگاه و ...) را می‌پذیرم و دانشگاه محقق اردبیلی را مجاز می‌دانم با اینجانب مطابق ضوابط و مقرّرات مربوطه رفتار نماید.

نام ونام خانوادگی دانشجو:

امضا

تاریخ

دانشکده‌ی علوم
گروه آموزشی شیمی

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته‌ی شیمی گرایش شیمی تجزیه

عنوان:
سنتز نقاط کوانتومی گرافن و بررسی قابلیت آن‌ها برای استفاده به عنوان حسگر رطوبت بسیار حساس

استاد راهنما:
دکتر طاهر علیزاده

استاد مشاور:
دکتر امیر ناصر شمخالی

پژوهشگر:
ماهرخ شکری شکراب

اسفند ۹۲

دانشکده‌ی علوم
گروه آموزشی شیمی

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته‌ی شیمی گرایش شیمی تجزیه

عنوان:
سنتز نقاط کوانتومی گرافن و بررسی قابلیت آن‌ها برای استفاده به عنوان حسگر رطوبت بسیار حساس

پژوهشگر:

ماهرخ شکری شکراب

ارزیابی و تصویب شده‌ی کمیته‌ی داوران پایان‌نامه با درجه‌ی.....

نام و نام خانوادگی	مرتبه‌ی علمی	سمت	امضاء
دکتر طاهر علیزاده	دانشیار	استاد راهنما	
دکتر امیر ناصر شمخالی	استادیار	استاد مشاور	
دکتر ماندانا امیری	استادیار	داور	

اسفند ۹۲

پروردگارا

نه می توانم موهایشان راکه در راه عزت من سفید شد، سیاه کنم و نه برای دستهای پینه بسته شان که ثمره تلاش برای افتخار من است مرهمی دارم. پس توفیقم ده که هر لحظه شکرگزارشان باشم و ثانیه های عمرم را در عصای دست بودنشان بگذرانم.

تقدیم به بهترین های وجودم

نمونه راستی، ایثار و گذشت

پدرم

نمونه محبت، پاکی و دلسوزی

مادرم

به ایشان که صادقانه زیستن را به من آموختند، وجودم برایشان رنج بوده و وجودشان برایم مهر

باشد که این تلاش مرهم ناچیزی باشد بر زحمات آنان که صمیمانه دوستشان دارم.

سپاسگزاری:

از استاد راهنمای پایان‌نامه جناب آقای دکتر طاهر علیزاده که همواره در طول انجام پایان‌نامه با حمایت و راهنمایی های بی‌دریغ خود مرا یاری نموده‌اند بی‌نهایت سپاسگزارم و برای ایشان و خانواده‌ی محترمشان آرزوی موفقیت و بهروزی روز افزون دارم. از جناب آقای دکتر امیر ناصر شمخالی که زحمت مشاوره این پایان‌نامه را تقبل فرموده‌اند سپاسگزارم.همچنین از خانم دکتر ماندانا امیری که مسئولیت داوری این پایان‌نامه را پذیرفته اند کمال سپاسگزاری و امتنان خود را ابراز می‌نمایم.

نام خانوادگی دانشجو: شکری شکراب **نام :** ماهرخ

عنوان پایان نامه:

سنتز نقاط کوانتومی گرافن و بررسی قابلیت آن‌ها برای استفاده به عنوان حسگر رطوبت بسیار حساس

استاد راهنما: دکتر طاهر علیزاده

استاد مشاور: دکتر امیر ناصر شمخالی

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته:** شیمی **گرایش:** شیمی تجزیه **دانشگاه:** محقق اردبیلی

دانشکده: علوم- گروه شیمی کاربردی **تاریخ فارغ التحصیلی:**۹۲/۱۲/۱۳ **تعداد صفحه:**۷۹

چکیده:

در این پروژه، نقاط کوانتومی گرافن به طور شیمیایی سنتز شد و به صورت حسگر مقاومت شیمیایی برای اندازه‌گیری رطوبت هوا استفاده گردید. برای سنتز نقاط کوانتومی گرافن از اسید سیتریک به عنوان ماده اولیه استفاده شد. در اثر حرارت دادن اسید سیتریک و با کنترل درجه‌ی کربونیزاسیون نقاط کوانتومی گرافن تهیه گردید. مشخص گردید که احیا نقاط کوانتومی گرافن با هیدرازین هیدرات موجب کاهش حساسیت این مواد به رطوبت می‌شود. به منظور آماده سازی حسگر، مقدار کمی از این ماده روی الکترود قرار داده شد. بررسی‌های حسگری این ماده در رطوبت نسبی مختلف انجام گرفت. پاسخ الکتریکی حسگر مربوط به جذب مولکولهای آب در سطح ماده حسگر می‌باشد. مولکولهای آب جذب شده باعث افزایش هدایت نقاط کوانتومی گرافن می‌شوند. در رطوبت نسبی پایین این اثر می‌تواند بر اساس خاصیت دهندگی الکترون مولکولهای آب و در نتیجه افزایش هدایت نقاط کوانتومی گرافن که در اینجا به عنوان نیم رسانای نوع n عمل می‌کند توجیه شود. در رطوبت نسبی بالا و با افزایش تعداد لایه های آبی جذب شده در سطح ماده حسگر، هدایت پروتون بین لایه های آبی نیز منجر به افزایش هدایت نقاط کوانتومی گرافن می‌شود. زمان پاسخ برای این حسگر حدود ۱۰ ثانیه می-باشد. در مقایسه با بیشتر حسگرهای رطوبت، حسگر رطوبت مبنی بر نقاط کوانتومی گرافن زمان پاسخ کوتاه و حساسیت بالایی به تغییرات رطوبت محیط از خود نشان می‌دهد. این حسگر به گستره‌ی رطوبت نسبی۸٪ تا ۹۵٪ پاسخ خطی نشان می‌دهد. بنابراین نقاط کوانتومی گرافن ماده مناسبی جهت ساخت حسگر رطوبت بسیار حساس می‌باشد.

کلید واژه ها: حسگر مقاومت شیمیایی، رطوبت نسبی، سنتز شیمیایی، نقاط کوانتومی گرافن

فهرست مطالب

شماره و عنوان **صفحه**

فصل اول : مقدمه

۱-۱- مقدمه ۲
۱-۲- انواع رطوبت ۲
۱-۲-۱- رطوبت مطلق ۳
۱-۲-۲-رطوبت نسبی ۳
۱-۲-۳- رطوبت ویژه ۴
۱-۳- اندازه گیری رطوبت ۴
۱-۳-۱- اندازه گیری رطوبت با استفاده از تغییرات مقاومت ۴
۱-۳-۲- اندازه گیری رطوبت از طریق دما ۵
۱-۳-۳- استفاده از هیدروگراف ۵
۱-۴- نقش سنجش رطوبت در صنایع گوناگون ۵
۱-۵- حسگر رطوبت ۶
۱-۵-۱- حسگرهای سنجش رطوبت نسبی ۸
۱-۵-۱-۱- حسگرهای سرامیکی ۸
۱-۵-۱-۲- حسگرهای نیمه رسانا ۱۰
۱-۵-۱-۳-حسگرهای رطوبت بر پایه‌ی مواد پلیمری ۱۲
۱-۵-۱-۳-۱- حسگرهای مقاومتی پلی الکترولیت ۱۲
۱-۶- گرافن ۱۵
۱-۶-۱-روشهای سنتز گرافن ۱۶
۱-۶-۱-۱-روشهای سنتز پایین به بالا ۱۶
۱-۶-۱-۱-۱- رسوب بخار شیمیایی ۱۶
۱-۶-۱-۱-۲- رسوب بخار شیمیایی گرمایی ۱۶
۱-۶-۱-۱-۲-۱- رسوب بخار شیمیایی پلاسمای افزایشی ۱۷
۱-۶-۱-۱-۲-۲- رشد گرافن روی کاربید سیلیکون ۱۷
۱-۶-۱-۲-روشهای از بالا به پایین ۱۸
۱-۶-۱-۲-۱- لایه برداری خشک ۱۸
۱-۶-۱-۲-۱-۱- شکاف میکرومکانیکی ۱۸
۱-۶-۱-۲-۱-۲- فرسایش لیزری و لایه برداری نوری ۱۸
۱-۶-۱-۲-۲- لایه برداری فازمایع ۱۸

۱-۶-۱-۲-۲-۱- لایه برداری فاز مایع گرافیت ۱۹
۱-۶-۱-۲-۲-۲- لایه برداری فاز مایع اکسید گرافیت ۱۹
۱-۶-۱-۲-۲-۳- لایه برداری فاز مایع ترکیبات بین لایه ای گرافیتی ۲۰
۱-۶-۱-۲-۳-سنتزگرافن با روش شیمیایی ۲۰
۱-۶-۱-۲-۳-۱-سنتزاکسیدگرافن وکاهش آن ۲۰
۱-۶-۱-۲-۳-۲- عامل دارکردن سطح اکسید گرافن ۲۱
۱-۶-۲- خصوصیات گرافن ۲۲
۱-۶-۲-۱-ویژگی مکانیکی ۲۲
۱-۶-۲-۲-ویژگی گرمایی ۲۲
۱-۶-۲-۳-ویژگی الکتریکی ۲۲
۱-۶-۲-۴-ویژگی اپتیکی ۲۳
۱-۶-۳- کاربردهای گرافن ۲۳
۱-۶-۳-۱-کاتالیزور ۲۳
۱-۶-۳-۲-ترانزیستورگرافنی ۲۴
۱-۶-۳-۳-کاربردگرافن در سنسورها ۲۴
۱-۷- نقاط کوانتومی ۲۴
۱-۷-۱- روشهای سنتز نقاط کوانتومی ۲۶
۱-۷-۱-۱-روش کلوئیدی ۲۶
۱-۷-۱-۲-رشد همبافته ۲۶
۱-۷-۱-۳- کاشت یونی ۲۷
۱-۸- نقاط کوانتومی گرافن ۲۷
۱-۸-۱- خواص نقاط کوانتومی گرافن ۲۸
۱-۸-۱-۱- خواص نوری ۲۸
۱-۸-۱-۲-سمیت نقاط کوانتومی گرافن ۲۹
۱-۸-۲- روشهای سنتز نقاط کوانتومی گرافن ۲۹
۱-۸-۲-۱- روش سنتز بالابه پایین ۲۹
۱-۸-۲-۱-۱-برش هیدروترمال ورقه های گرافنی ۲۹
۱-۸-۲-۱-۲-برش سولووترمال ورقه های گرافنی ۳۰
۱-۸-۲-۱-۳-برش الکتروشیمیایی ورقه های گرافنی ۳۰
۱-۸-۲-۱-۴- اکسیداسیون اسیدی ۳۱
۱-۸-۲-۱-۵- تکنیک پراش پرتو مایکروویو ۳۱
۱-۸-۲-۱-۶- برش ورقه های گرافنی با امواج مافوق صوت ۳۲

۱-۸-۲-۲- روش سنتز پایین به بالا ۳۲
۱-۸-۲-۲-۱- تجزیه برخی ترکیبات آلی دراثرحرارت ۳۲
۱-۸-۲-۲-۲-تجزیه فلورن درسطح کاتالیزور ۳۳
۱-۸-۳- کاربردهای نقاط کوانتومی گرافن ۳۴
۱-۸-۳-۱-سلولهای خورشیدی ۳۴
۱-۸-۳-۲- دیودهای ساطع کننده نور ۳۴
۱-۸-۳-۳- کاتالیزور ۳۵
۱-۸-۳-۴-کاربرد بیولوژیکی نقاط کوانتومی گرافن ۳۵
۱-۸-۳-۴-۱- تصویربرداری سلولی ۳۵
۱-۸-۳-۴-۲- حسگرهای زیستی ۳۵

فصل دوم:پیشینه تحقیق

۲-۱-پیشینه تحقیق ۳۷

فصل سوم:بخش تجربی

۳-۱- مقدمه ۴۲
۳-۲- سنتز نقاط کوانتومی گرافن ۴۲
۳-۲-۱- مواد اولیه موردنیاز ۴۲
۳-۲-۲- تجهیزات آزمایشگاهی مورداستفاده ۴۲
۳-۳- تهیه نقاط کوانتومی گرافن ۴۳
۳-۴- روش آماده سازی حسگر ۴۳
۳-۵- بررسی خواص رطوبتی حسگر ۴۴

فصل چهارم:نتایج و بحث

۴-۱-نتایج و بحث ۴۸
۴-۲- بررسی طیف مادون قرمز نقاط کوانتومی گرافن ۴۹
۴-۳-منحنی رطوبت نسبی-مقاومت ۵۱
۴-۴- بررسی مکانیسم پاسخ حسگر ۵۳
۴-۵-بررسی ساختاری نقاط کوانتومی گرافن ۵۵
۴-۵-۱-تصویرمیکروسکوپ نیروی اتمی ۵۵
۴-۵-۲- طیف ماوراء بنفش نقاط کوانتومی گرافن ۵۶
۴-۵-۳- الگوی پراش پرتوایکس ۵۷
۴-۶- بررسی خواص حسگری رطوبت ۵۹
۴-۶-۱- منحنی کالیبراسیون ۵۹

۴-۶-۲- زمان پاسخ دهی وبازیابی..... ۶۳
۴-۶-۳- پسماند رطوبتی..... ۶۵
۴-۶-۴- بررسی برگشت پذیری و تکرارپذیری حسگر..... ۶۶
۴-۶-۵- بررسی پایداری حسگر..... ۶۷
۴-۷- مقایسه حسگر ساخته شده نسبت به حسگرهای توسعه یافته رطوبت..... ۶۹

نتیجه‌گیری..... ۷۱
پیشنهادات..... ۷۲
منابع و ماخذ..... ۷۳

فهرست جدول

شماره و عنوان جدول **صفحه**

جدول (۲-۱) کارهای انجام شده برای سنجش رطوبت هوا.....۳۹

جدول (۴-۱) مقایسه حسگر رطوبت تهیه شده در این کار با تعدادی از حسگرهای اندازه گیری رطوبت.....۷۰

فهرست شکل‌ها

شماره و عنوان شکل **صفحه**

شکل (۱- ۱) ارتباط بین واحدهای رطوبت..... ۷

شکل (۱- ۲) مکانیزم گراتوس..... ۸

شکل (۱- ۳)چهارمرحله‌ی جذب..... ۹

شکل (۱- ۴) دومکانیزم ممکن برای اثردهندگی (فقط برای نیم رساناهای نوعn)..... ۱۱

شکل (۱- ۵)ساختارچندلایه‌ای آب متراکم شده..... ۱۱

شکل (۱- ۶) دونمونه از پلی الکترولیتهای رایج..... ۱۴

شکل (۱- ۷) اتصالات عرضی همزمان و تشکیل یک آمین چهارتایی از پلی کلرومتیل استایرن توسط دی آمینوآلکان ۱۵

شکل (۱- ۸) طرحی از دستگاه فرآیند کاشت یونی برای تهیه‌ی نقاط کوانتومی..... ۲۷

شکل (۱- ۹) مکانیسم پیشنهادی برای سنتز نقاط کوانتومی گرافن..... ۳۱

شکل (۱- ۱۰) شماتیکی از روش پراش پرتو مایکروویو برای سنتز نقاط کوانتومی گرافن..... ۳۲

شکل (۱- ۱۱) طرحی از سنتز نقاط کوانتومی گرافن و اکسیدگرافن..... ۳۳

شکل (۱- ۱۲) وابستگی دمایی رشد نقاط کوانتومی گرافن دراشکال مختلف..... ۳۴

شکل (۳- ۱) (الف). قبل ازلایه نشانی ماده حسگر بر روی الکترود (ب). بعدازلایه نشانی ماده حسگر برروی الکترود..... ۴۴

شکل (۳- ۲) ژنراتور رطوبت ساز همراه با مشخصات..... ۴۵

شکل (۳- ۳) شماتیکی از سیستم اندازه گیری رطوبت مورد استفاده درآزمایش..... ۴۶

شکل (۴- ۱) شمای کلی از سنتز نقاط کوانتومی گرافن..... ۴۹

شکل (۴- ۲) تصویراسپکتروسکوپی زیرقرمز تبدیل فوریه(FT-IR) مربوط به اسید سیتریک..... ۵۰

شکل (۴- ۳)تصویراسپکتروسکوپی زیر قرمزتبدیل فوریه(FT-IR)مربوط بهGQDs..... ۵۲

شکل (۴- ۴)مقایسه‌ی تغییرات مقاومت در مقابل رطوبت نسبی برای دونمونه مختلف از نقاط کوانتومی گرافن..... ۵۲

شکل (۴- ۵)پاسخ حسگر برای تغییر رطوبت نسبی از ۸٪ به ۹۵٪..... ۵۴

شکل (۴- ۶)مکانیزم گراتوس ۵۵
شکل (۴- ۷)تصویرمیکروسکوپ نیروی اتمی نقاط کوانتومی گرافن ۵۶
شکل (۴- ۸)طیف ماوراء بنفش مربوط به اسیدسیتریک ۵۷
شکل (۴- ۹)طیف ماوراء بنفش مربوط به نقاط کوانتومی گرافن ۵۷
شکل (۴- ۱۰)الگوی پراش پرتو ایکس گرافیت ۵۸
شکل (۴- ۱۱)الگوی پراش پرتو ایکس نقاط کوانتومی گرافن ۵۹
شکل (۴- ۱۲)نمودارکالیبراسیون ۶۰
شکل (۴- ۱۳)نمودارلگاریتم(R_{RH}/R_0) برحسبرطوبت نسبی برای ماده حسگر $GQD_S(1)$ ۶۱
شکل (۴- ۱۴)پاسخ خطی حسگر برای رطوبت نسبی پایین ۶۲
شکل (۴- ۱۵)پاسخ خطی حسگر برای رطوبت نسبی بالا ۶۲
شکل (۴- ۱۶)زمان پاسخ حسگر ۶۴
شکل (۴- ۱۷)پسماند نشانداده شده توسط نقاط کوانتومی گرافن ۶۵
شکل (۴- ۱۸)بررسی تکرار پذیری حسگر ۶۷
شکل (۴- ۱۹)پایداری پاسخ حسگر برای رطوبت ۳۳٪ ۶۸
شکل (۴- ۲۰)پایداری پاسخ حسگر برای رطوبت ۹۵٪ ۶۸
شکل (۴-۲۱) نتایج بررسی پایداری طولانی مدتحسگر ۶۹

فصل اول:

مقدمه

۱-۱- مقدمه

امروزه با پیشرفت علم و تکنولوژی در زمینه های مختلف و همچنین با افزایش حساسیت نسبت به محیط زیست و غیره، اندازه گیری و کنترل میزان رطوبت اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است. میزان رطوبت در گازهامانند مایعات و جامدات، یک پارامتر بسیار مهم می‌باشد و کنترل نادرست آن ممکن است در عملکرد معمول بسیاری از تجهیزات کنترل کیفیت، فرآیندی زیان‌آور باشد. به علاوه میزان رطوبت در جامدات و مایعات از نقطه نظر موازنه جرم در صنایع شیمیایی دارای اهمیت است و همچنین بر روی قیمت تمام شده محصول اثر می‌گذارد. میزان رطوبت در محصولات صنایع مختلف از جمله مواد غذایی، صنایع الکترونیک و هیدروکربوری (گاز،نفت و پتروشیمی،زغال سنگ)در کیفیت محصول بسیار موثر بوده و بایستی میزان آن در حد استاندارد تعیین شده کنترل گردد. در علوم متنوع مانند هواشناسی، پزشکی، علوم تندرستی و همچنین در نیروگاه‌ها، مرطوب سازها، فضاهای مسکونی، گلخانه‌ها (هیدروپونیک)، موزه‌ها، فضاهای صنعتی و... اندازه‌گیری دقیق میزان رطوبت حائز اهمیت فراوانی است.

۱-۲- انواع رطوبت

مفهوم رطوبت با توجه به کاربرد آن با تعاریف مختلفی بیان می‌شود ولی خود واژه‌ی رطوبت در زبان روزمره به رطوبت نسبی اطلاق می‌شود که به عنوان بخار آب در نمونه هوا، در مقایسه با حداکثری از بخار آب که آن هوا می‌تواند نگه دارد تعریف می‌شود. باید در نظر داشت که جامدات و مایعات نیز می‌توانند مقداری آب جذب کنند که زمینه‌ی رطوبتی آن‌ها نامیده می‌شود ولی منظور از رطوبت در اغلب موارد بخار آب موجود در گاز (هوا) می‌باشد. همان گونه که برای همه‌ی گازهای موجود در اتمسفر فشار جزئی در نظر گرفته شده است، از فشار جزئی بخار آب نیز که نشان دهنده‌ی میزان رطوبت اتمسفر می‌باشد به عنوان مقیاسی برای تعیین میزان مطلق رطوب استفاده می-شود (Middelton, 1969).

۱-۲-۱- رطوبت مطلق[1]

رطوبت به میزان بخار آب موجود اطلاق می‌شود و معمولا بر واحد حجم گزارش می‌شود و بر اساس رابطه‌ی زیر محاسبه می‌گردد.

$$AH = m_w / V_{net} \qquad (۱-۱)$$

که در این رابطه m_w جرم بخار آب و V_{net} مجموع حجم بخار آب و هوا می‌باشند(Wyer, 1906).

۱-۲-۲- رطوبت نسبی[2]

بنا به تعریف، رطوبت نسبی نسبت رطوبت دمای مطلق در دمای T به مقدار اشباع در همان دما می‌نامند. به عبارت دیگر نسبت بخار آب موجود در حجم معینی از هوا در دمای T به حداکثر وزن بخار آبی که می‌تواند در همین حجم در دمای T داشته باشد را رطوبت نسبی گویند. رطوبت نسبی در واقع بیانگر میزان بخار آب موجود در یک مخلوط حاوی بخار آب و هوا است که آن را می‌توان به عنوان نسبت فشار جزئی بخار آب در مخلوط آب و هوا به فشار جزئی بخار اشباع در همان دانست. رطوبت نسبی صفر درصد بدین معنی است که هیچ بخار آبی وجود ندارد. رطوبت نسبی معمولا به جای رطوبت مطلق در شرایطی که میزان تبخیر آب مد نظر باشد استفاده می‌گردد. رطوبت نسبی معمولا به صورت درصد بیان شده و با استفاده از رابطه‌ی (۱-۲) محاسبه می‌گردد.

$$\varphi = [e_w / e_w^*] \times 100\% \qquad (۱-۲)$$

ew فشار جزئی آب در مخلوط و *ew فشار جزئی بخار آب اشباع در دمای تعیین شده است. رطوبت نسبی یکی از شاخص‌های مهم در گزارش و پیش‌بینی آب و هوا می‌باشد و به عنوان یک شناساگر جهت تشخیص احتمال بارش آب باران، شبنم و مه بکار می‌رود. در هوای گرم تابستان بالا رفتن رطوبت نسبی دمای ظاهری را افزایش داده و مانع تبخیر عرق بوجود آمده از سطح پوست می‌شود و در این حالت شخص احساس ناراحتی می‌کند. هواحقیقتامشتملازتعدادزیادیمولکول‌هایبخارآباست که مقدار این بخار آب مستقیما متناسب با حرارت محیط است. به هر اندازه که هوا گرم باشد به همان اندازه تعداد زیادتری از مولکولهای آب را می‌تواند درون خودش جای دهد. به طور مثال در ۲۰ درجه‌ی سانتی‌گراد (۶۸درجه فارنهایت) یک متر مکعب هوا می‌تواند مقدار ۱۸گرم آب را در خود

[1]Absolute Humidity
[2]Relative Humidity

جای دهد. در۲۵ درجه‌ی سانتی گراد (۷۷درجه‌ی فارنهایت) می‌تواند ۲۲گرم آب را در خود جای دهد، یعنی اگر در این دما ۲۲ گرم آب درون یک متر مکعب از هوا قرار گیرد گفته می‌شود که رطوبت نسبی صد در صد است و اگر این حجم در همین دما ۱۱ گرم آب در خود جای دهد رطوبت نسبی ۵۰ درصد خواهد بود.

۱-۲-۳- رطوبت ویژه[1]

نسبت جرم بخارآب (m_w) به جرم خشک (m_a) در یک حجم معین را رطوبت ویژه می‌گویند (Boles, 1998 &Ceng).

$$SH = m_w / m_a \qquad (۳-۱)$$

۱-۳- اندازه‌گیری رطوبت[2]

درک کامل ویژگی هوای مرطوب در بحث گرما و رطوبت و همچنین کنترل آن بسیار اساسی است. زیرا میزان آلایندگی گازها و ذرات معلق در هوای مرطوب از محلی به محل دیگر کاملا متفاوت است در حالیکه میزان آلایندگی این ترکیبات درتمام نقاط هوای‌خشک نسبتا ثابت بوده و ممکن است با توجه به زمان، مکان و ارتفاع، به مقدارمختصری تغییر یابد (گلبابایی و امیدوار، ۱۳۸۱).

۱-۳-۱- اندازه گیری رطوبت با استفاده از تغییرات مقاومت

در این نوع اندازه‌گیری، از تغییرات مقاومت الکتریکی یک عنصر حساس به رطوبت استفاده می‌شود. می‌توان دو الکترود هادی درون محفظه‌ی پلاستیکی که با فاصله از یکدیگر قرار گرفته‌اند استفاده نمود و فضای بین آن‌ها از ماده‌ای مثل لیتیم کلراید، که جاذب رطوبت است، پرکرد. در این صورت با افزایش رطوبت محیط، مقاومت الکتریکی کاهش می‌یابد و سنجش کامل می‌گردد. این رطوبت سنج قادر به اندازه‌گیری رطوبت بالای ۹۰درصد است (سبزپوشان، ۱۳۸۶). کاربرد این وسایل که با نام ترموهیدرومتر دیجیتالی شناخته می‌شوند، بیشتر در مقابل دهانه‌ی دمنده سیستم های تهویه است (گلبابایی و امیدوار، ۱۳۸۱).

[1] Specific Humidity
[2] Hygrometere

۱-۳-۲- اندازه گیری رطوبت از طریق دما

در این روش با مقایسه‌ی دمای دو حباب خشک و تر، رطوبت هوای عبوری اندازه‌گیری می‌شود. میزان دمای بالایی، دمای هوای محیط یا همان دمای حباب خشک است و مقدار دمای پایینی، اندازه‌ی دمای حباب‌تر که توسط اسفنج کاملا خیس قرار گرفته است، می‌باشد. این اندازه گیری محدوده‌ای از ۳ تا ۹۷ درصد را شامل می‌شود (سبزپوشان، ۱۳۸۶). این نوع رطوبت سنج در دو نوع رطوبت سنج چرخان و رطوبت سنج آسمن یافت می‌شوند. مقدار رطوبت نسبی به کمک روابط، جداول، خط کش و نمودار سایکرومتری[1] (رطوبت شناسی) تعیین می‌شود.

۱-۳-۳- استفاده از هیدروگراف

یکی از این وسایل که اصطلاحا به آن هیدروگراف می‌گویندو کاربرد زیادی در ایستگاه‌های هوا شناسی دارد بر اساس اندازه گیری تغییر طول جنس موی خاصی از انسان عمل می‌کند. در این وسیله یک رشته موی انسان را۱۰الی ۱۰۰برش طولی داده و توسط وزنه‌ی کوچکی که به اهرمی متصل است، درحال کشش قرار می‌دهند و در اثر تغییر رطوبت هوا، طول مو تغییر می‌نماید. نوع دیگری از این وسایل دستگاه‌هایی هستند که بر اساس تغییر مساحت سطح مشخصی از پوست قورباغه (که درحال کشش میباشد) عمل می‌کند و مشابه دستگاه قبلی است که در صنایع نساجی که اندازه‌گیری و کنترل رطوبت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، کاربرد زیادی دارد (گلبابایی و امیدوار، ۱۳۸۱).

۱-٤- نقش سنجش رطوبت در صنایع گوناگون

میزان رطوبت در گازها مانند مایعات و جامدات، یک متغیر بسیار مهم و مفید است. کنترل نادرست رطوبت ممکن است در عملکرد معمول بسیاری از تجهیزات کنترل فرآیندی زیان آور باشد. در صنایع غذایی اندازه گیری رطوبت جهت ذخیره سازی مواد غذایی حائز اهمیت فراوانی است. در هواشناسی اندازه‌گیری رطوبت هوا در نقاط و مناطق مختلف نقش بسزایی جهت پیش‌بینی هوا در روزهای آتی دارد. در صنایع پزشکی نیز سنسورهای رطوبتکارایی خاص خود را دارند به عنوان مثال در معاینه‌ی عروق پوستی (اندازه‌گیری میزان تعرقات پوستی)، محل نگهداری اطفال زودرس، ساخت قلب مصنوعی، مدیریت بیماران تحت بیهوشی، تشخیص و درمان امراض ریوی و

[1] Psychrometry

همچنین گازهای مورد استفاده در پزشکی کارایی دارد. همچنین در موزه‌ها برای جلوگیری از فرسایش و تخریب مجسمه‌ها و تابلوهای تاریخی می‌بایست رطوبت محیط کنترل شود. برای ارزیابی خشک کننده‌ها نیز از سنسورهای رطوبت کمک می‌گیرند تا نشان دهد که دستگاه مورد نظر بعد از چه زمانی و تا چه حدی می‌تواند رطوبت را کاهش دهد. در صنایع ساخت و استفاده از نیمه‌هادی‌ها از آنجا که دقت و حساسیت این قطعات به رطوبت وابسته است کنترل رطوبت حائز اهمیت است. در داروسازی نیز سنجش رطوبت جایگاه مخصوص خود را دارد. همچنین در تهویه‌گرهای مطبوع و راکتورهای هسته‌ای قدرت و در صنایع الکترونیک اندازه‌گیری و کنترل رطوبت یکی از موارد مهم است. رطوبت اضافی باعث خوردگی در الکترونیک می‌شود. رطوبت پایین باعث الکتریسیته ساکن و شارژ ناگهانی می‌شود و علتی برای قطع خدمات در مراکز داده‌ای محسوب می‌گردد. مدارهای الکتریکی نمی‌توانند ولتاژهای اضافه بر ولتاژهای اعمال شده را تحمل کنند و مورد عملیات قرار دهند. در خطوط تولید منسوجات می-بایست از محیط مرطوب استفاده شود زیرا رطوبت تولید شده تخلیه‌ی بارهای الکترواستاتیکی را کاهش می‌دهند. تخلیه‌ی بار در این موارد می‌تواند باعث آتش‌سوزی و یا چسبیدن پارچه‌ها به هم شود (Barry, 1992). در صنایع دفاعی در همه‌ی مراحل تولید، کوچک‌سازی، بهینه سازی، بسته بندی و انبار داری مواد منفجره کنترل شرایط محیطی بسیار حائز اهمیت است. زیرا با اشتباه کوچکی در کنترل دما و رطوبت، احتمال خسارت جانی و مالی بسیار زیاد می‌شود. در بین شرایط محیطی، رطوبت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. اثر رطوبت بر مواد منفجره بسیار قابل توجه بوده و حس و کنترل رطوبت محیط در مواجهه با مواد منفجره اهمیت بسزایی دارد زیرا در بسیاری از موارد، رطوبت باعث فساد و یا حتی انفجار مواد منفجره می‌شود (دهقانی و همکاران، ۱۳۸۵).

۱-۵- حسگر رطوبت

حسگرهای رطوبت کاربردگسترده‌ای درصنعت وکنترل زیست محیطی دارند (Traversa, 1995). اندازه گیری رطوبت تعیین مقدارآب موجود در یک گاز یا مخلوطی از گازهاست؛ مانند هوا و یا یک گاز خالص مانند آرگون یا نیتروژن. واحدهای معمولی که دراندازه‌گیری رطوبت به کار می‌روند رطوبت نسبی ، نقطه‌ی شبنم[1] و قسمتدرمیلیون[2](ppm) نام دارند. رطوبت نسبی عبارت است از نسبت فشارجزئی بخارآب موجود در یک گاز به فشار

[1] Dew point
[2] Parts per million