طراحی سامانه مناسب برای کنترل بو در کشتارگاه مرغ و ساخت پایلوت آن- مطالعه موردی کشتارگاه آراز مرغ تبریز

محسن زارعی[1]، حمیدرضا قاسم زاده[2]

[1]دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی، دانشگاه تبریز؛ mohsen.zarei@mail.um.ac.ir
[2]استاد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تبریز؛ ghassemzadeh@tabrizu.ac.ir

چکیده

پیشرفت صنعت و مکانیزه شدن فرایندهای مختلف علاوه بر منافع مشخصی که دارند، مشکلاتی را نیز برای بشر امروزی به بار آورده است. یکی از این مشکلات که بخش‌های مختلف صنعت بویژه صنعت مرغداری با آن روبه‌رو است، بوی نامتبوع می‌باشد. روش‌های مختلفی برای کنترل بو وجود دارد که همه تحت تأثیر غلظت و نرخ حجمی بو می‌باشند. تیمارها یا فن‌آوری‌های مختلف کنترل بو را می‌توان به دو گروه عمده بیولوژیکی و شیمیایی تقسیم‌بندی نمود. فن‌آوری‌های بیولوژیکی ارزان و ساده بوده و بازدهی خوبی دارند، اما در نرخ‌های زیاد حجمی و یا غلظت بالا کارایی خوبی ندارند. تیمارهای شیمیایی هم نوعا با اینکه می‌توانند در غلظت و حجم بالا کار کنند، اما دارای هزینه‌های بالایی می‌باشند. در این مطالعه ابتدا پارامترهایی از جریان بخار بودار در یک کشتارگاه مرغ اندازه‌گیری شد. دمای بخار بودار بین ۸۰ تا ۹۰ درجه و دبی آن ۸۹۰ مترمکعب بر ساعت می‌باشد. غلظت ترکیبات بودار هم با توجه به اینکه امکانات اندازه‌گیری آن وجود نداشت از داده‌های منابع شبیه، استفاده شد. سپس بر اساس این پارامترها، سامانه‌ای مرکب از اسکرابر و بایوفیلتر طراحی شد. در اسکرابر، دما و بوی جریان بخار کم شده و ذرات آن نیز گرفته می‌شود. در بایوفیلتر کار اصلی کاهش بو، انجام می‌شود. حجم بستر طراحی شده برای بایوفیلتر ۲۰ مترمکعب می‌باشد. بر اساس طراحی صورت گرفته پایلوت آن در کشتارگاه ساخته‌شد. مایع خروجی از اسکرابر، در دو حالتی که بوی زیاد و کمی داشت با GC-MS دستگاه آنالیز شد. اتانول و n-هگزیل‌آمین در حالت بوی کم مشاهده نشدند.

کلمات کلیدی: کنترل بو، دما، دبی، اسکرابر، بایوفیلتر.

Design an apropirate system for odor control in the poultry slaughterhouse and construction of that pilot - a Case study arazmorgh slaughterhouse

M. zarei[1], H. R. Ghasemzadeh[2]
[1]M.S. Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Faculty of Agricalture, Univ. of Tabriz, Tabriz, Iran.
Mohsen.zarei@mail.um.ac.ir
[2]Professor, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Faculty of Agricalture, Univ. of Tabriz, Tabriz, Iran.
ghassemzadeh@tabrizu.ac.ir

ABSTRACT

Industry dveloping and mechanization of processes in addition to their specific interests, has brought problems as well as various forms for the modern human. One of the problems that specific industry sectors poultry industry is facing difficulties due to the foul odor that sometimes I may be a profit is the remarkable. There are various ways to control odors that all of them, affected by the concentration and volumetric rate. Treatments or odor control technologies can be divided into two main groups, biological and chemical. Biological technologies are simple and cheap and good performance, But haven't good performance in the high volume rate or high concentration; In addition, large land area required for installations. Other methods that can be used together with the type and concentration of the high volume of work, but the costs are high. In this study, the parameters of odor steam flow was measured. odor steam temperatures between 80 and 90 ° C and the flow rate of 890 cubic meters per hour were measured. The concentration of odorus compounds are measured with respect to the possibility that

۱- محسن زارعی، دانشجوی دکتری مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، mohsen.zarei@mail.um.ac.ir، ۰۹۳۵۷۴۰۳۶۵۴

there were similar sources of data were used. Based on these parameters, the system was developed consisting of the Biofilter and Scrubber. In the scrubber,odor and temperature decreasing, and particles in the steam were traped. Amount of the water required in the scrubber is 2000 liters per day. In the biofilter, odor reduction is done. Size bed designed for biofilter 20 cubic meter, height was considered equal with diameter to reduce heat loss, the diameter is 2.9 m. Based on the experimental design or pilot scale has been built in the slaughterhouse. Experimental models allowing the fluid outlet of the condenser with the GC-MS to determine the composition. 94% of the effluent from the condenser is 2-methyl Bvtanal or hexane. Liquid output from the scrubber, in two cases, was analyzed by GC-MS. One in the high odor and other in low odor. Ethanol and n-Hexylamin weren't observed at low odor.

Keywords: Odor control, Temperature, Flow rate, Scrubber, Biofilter.

۱- مقدمه

مدیریت بو یک مسأله برای صنایع فرآوری حیوانات و مخصوصا برای تاسیسات کشتارگاهی که به تولید ترکیبات بودار شهره هستند، می‌باشد. در طی فرآوری، گرمای بافت حیوانات، ترکیبات بودار آلی و غیرآلی مختلفی را آزاد می‌کند. بوهای منتشره بوسیله فراوری ضایعات حیوانات در بین شدیدترین و غیرقابل تحمل‌ترین‌ها، بوسیله همسایگان اطراف هستند. در صنایع غذایی و کشاورزی هیدروژن سولفید، مرکاپتانها، آمونیاک و آلدهیدها و در تیمارهای دفن و فاضلاب هیدروژن سولفید، مرکاپتان‌ها، آمونیاک و آمین‌ها به عنوان ترکیبات بودار شناخته می شوند (Hesketh and Cross 1989). ترکیبات بودار از مواد جامد زیستی بوسیله گرما، هوادهی و هضم آزاد می‌شوند. بوها بسته به نوع ضایعات فرآوری شده و نیز روش فرآوری آن‌ها با هم فرق می‌کنند(Anonymous 2000). حدی از غلظت یک ترکیب بودار که آن را قابل تشخیص کند به عنوان آستانه بو شناخته می‌شود. به عنوان مثال گاز هیدروژن سولفید و آمونیاک به ترتیب دارای آستانه شناسایی ۰/۰۰۲۳ و ۳۵/۵۰ قسمت بر میلیون حجمی (ppm) در هوا هستند(Liu 2012). برای طراحی و ایجاد یک تیمار یا روش کنترل بو در مکان‌های مختلف، ارزیابی بو مورد نیاز است. پارامترهای مؤثر در ارزیابی بو عبارتند از ؛ غلظت بو، بارگزاری (که با شناخت نرخ جریان حجمی بدست می‌آید)، مقدار کربن آلی (در گاز زائد یک پارامتر و یک معیار مهم برای تناسب روش‌های مختلف تیماری به‌شمار می‌رود. در حالی‌که سامانه‌های تیمار حرارتی برای ترکیبات غیرقابل تجزیه مناسب است، تیمار های بیولوژیکی برای ترکیبات تجزیه‌پذیر مناسب می‌باشند)، دما (یک فاکتور محدودکننده در تیمارهای بیولوژیکی است. معمولا دما نباید از ۴۰ درجه سانتی‌گراد تجاوز کند)، رطوبت (نیز انتخاب سامانه تیماری را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در حالی‌که بایوفیلترها در رطوبت اشباع فعالیت خوبی دارند اما رطوبت زیاد ممکن است اثر منفی روی سامانه‌های جذبی داشته‌باشد)(Schlegelmilch, Streese et al. 2005). تیمارها یا فن‌آوری‌های مختلف کنترل بو را می‌توان به دو گروه عمده بیولوژیکی و شیمیایی تقسیم‌بندی نمود. فن‌آوری‌های بیولوژیکی ارزان و ساده بوده و بازدهی خوبی دارند، اما در نرخ‌های زیاد حجمی و یا غلظت بالا کارایی خوبی ندارند؛ علاوه بر آن، فضای زیادی نیز اشغال می‌کنند. روش‌های دیگر هم نوعا با اینکه می‌توانند در غلظت و حجم بالا کار کنند، اما دارای هزینه‌های بالایی می‌باشند(Barbusinski, Kalemba et al. 2017). در ادامه شرح مختصری از طرز کار بایوفیلتر به عنوان تیمار بیولوژیکی و اسکرابر شیمیایی به عنوان تیمار شیمیایی ذکر می‌شود. بایوفیلتر یا صافی‌زیستی بو را از یک جریان هوای آلوده بوسیله جذب ترکیبات عامل بو به یک بستر طبیعی جایی که میکروارگانیسم‌ها ترکیبات را با اکسیدکردن حذف می‌کنند، کنترل می‌کند. بزرگ‌ترین محدودیت بایوفیلترها مساحت زیاد می‌باشد. این سطح زیاد به طور مستقیم با نرخ جریان هوا ارتباط پیدا می‌کند. زمان ماند (نشان‌دهنده زمان واکنش با ترکیبات شیمیایی و یا زمان عبور جریان بودار از بستر) در بایوفیلتر بین ۴۵ تا ۶۰ ثانیه می‌باشد. عملکرد ضعیف بایوفیلترها معمولا به کمبود رطوبت در بستر صافی بر می‌گردد. از دیگر عملکردهای بازدارنده بایوفیلترها می‌توان به میان بر زدن بخار خروجی، افت PH و دمای بالا اشاره‌کرد. توانایی بایوفیلترها در حذف ترکیبات سولفوری آلی کاهش یافته به عمق بستر، زمان ماند خالی (EBRT)، و غلظتی از هیدروژن سولفید که در گام اول باید حذف شود بستگی دارد (Thorsvold 2011, Barbusinski, Kalemba et al. 2017).

واژه زمان ماند خالی (EBRT) در ارتباط با دبی جریان گاز و اندازه راکتور می‌با شد و برابر ا ست با حجم راکتور تق سیم بر دبی جریان گاز (Devinny, Deshusses et al. 2017).

$$EBRT = V_f / Q \quad (۱)$$

$EBRT$: زمان ماند خالی راکتور (ثانیه، دقیقه)

V_f : حجم بستر صافی (متر مکعب و ...)

Q : دبی جریان گاز (m^3/s ، m^3/h و ...)

بستر بایوفیلتر ممکن است ترکیبی از پوست درخت، تراشه‌های چوب، مواد زاید مزرعه یا کمپوست، تورب خزه ، شن و سنگ آتش فشانی ساییده‌شده

باشد. شن، سنگ و پوست درخت برای تامین تخلخل لازم است.

شکل۱ نمای پایلوت یک بایوفیلتر را نشان می‌دهد(Leson and Winer 1991, Devinny, Deshusses et al. 2017):

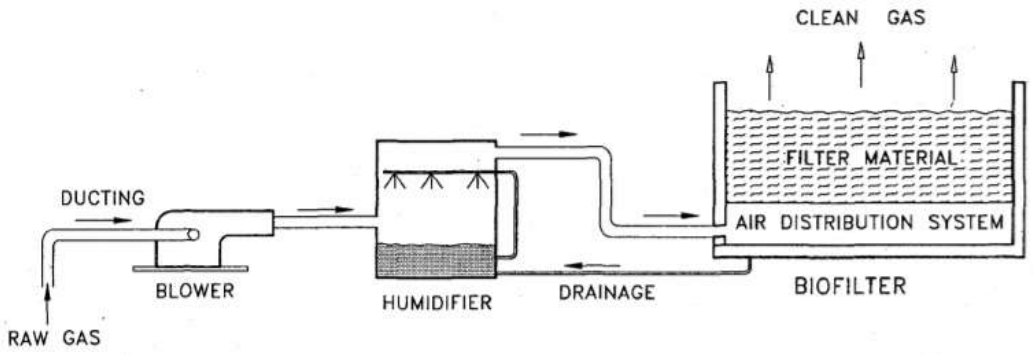

Figure 1. Biological odor control.

شکل ۱. نمای پایلوت یک بایوفیلتر

تخلخل، چگالی مخصوص، سطح ویژه، ظرفیت نگهداری آب، محتوای رطوبت، ph و هزینه خرید از جمله مشخصات مهم در بایوفیلترها هستند(Rahmat 2017). عملکرد بایوفیلتر به فاکتورهایی از قبیل نوع بستر، تخلخل، ph، محتوای رطوبت، نرخ جریان هوا و عمق بستر بستگی دارد(Liu, Dong et al. 2017).

اسکرابر های شیمیایی یا تصفیه کننده‌های شیمیایی بهترین تناسب را با تیمارکردن بوهای با شدت پخش بالا و حجم هوای زیاد دارند. معمولا در تأسیسات پایدارکردن آلکالین، خشک‌کردن جامدهای زیستی و زباله سوزها استفاده می‌شود. اسکرابرهای شیمیایی طوری طراحی می‌شوند که بیشترین تماس بین جریان هوای آلوده و ترکیبات شیمیایی برقرارشود، بدین شکل که ترکیبات ابتدا جذب‌شده و سپس اکسید می‌شوند(Heller and Heller 1999).

این روش کنترل بو با دوام بوده و انعطاف‌پذیری بالایی در سفارشی کار کردن دارد. چون می‌تواند در چند قدم کار حذف را انجام دهد، بازده حذف بالایی دارد. اضافه‌کردن یک گام اسید، می‌تواند بخار آمونیاک را حذف کند. شامل اجزایی از جمله تانک عمودی، لجن گیر و پمپ سیرکوله‌کننده می‌باشد(Thorsvold 2011).

اسکرابرهای شیمیایی بر اساس جذب گازی و اکسید شدن شیمیایی کار می‌کنند. نازل‌های پاششی که روی واحد آب اسکرابر در گردش، قرار گرفته با هیدروکسید و سدیم هیپوکلرید برای حل کردن گازهای بودار به محلول و اکسید کردن آن‌ها دز شده‌اند. نرخ افزایش مواد شیمیایی بر پایه PH و غلطت ترکیبات بودار در جریان هوا می‌با شد. نمایی ساده از ا سکرابر شیمیایی در شکل ۲ نشان داده شده ا ست(Shareefdeen 2005, Devinny, Deshusses et al. 2017):

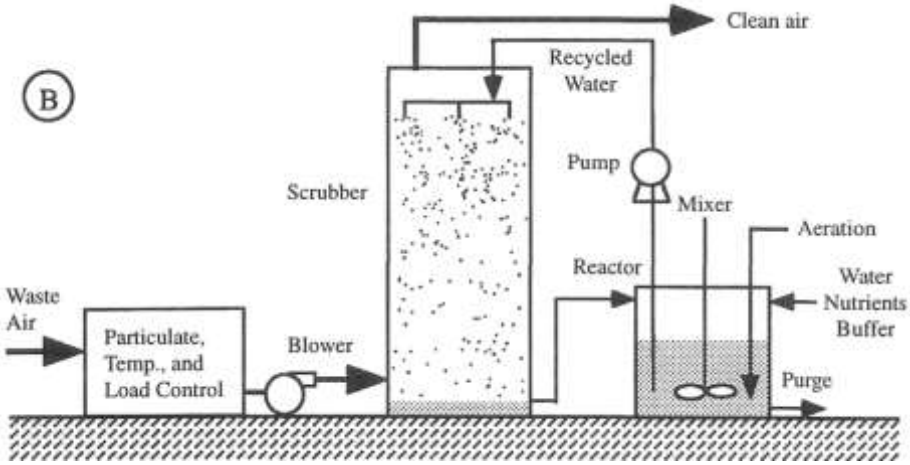

Figure 2. Chemical odor control.

شکل۲. نمایی از اسکرابر شیمیایی.

اسکرابر با آب یا پلی اتیلن گلیکول چون به حجم زیادی (مخصوصا آب) نیاز دارند، گران تمام می شود و علاوه بر آن محصول ثانویه هم دارد که باید مدیریت شود(Makauki, King'ondu et al. 2017). سامانی‌مجد و همکاران جهت کنترل انتشار آمونیاک از مرغداری، به ارزیابی یک روش جدید کاهش آمونیاک با استفاده از محلول غیر اسیدی در تصفیه کننده در مقیاس آزمایشگاهی پرداختند. تصفیه کننده، ۵۱ فوت مکعب بر دقیقه (۰/۰۲۴ متر مکعب برثانیه) هوای آلوده شبیه سازی شده را که از یک فن می‌آید فرایند می‌کند. غلظت آمونیاک 20 ppm، ارتفاع تصفیه کننده ۵ فوت، برای بررسی سه پارامتر زمان تماس موثر، نوع نازل و محلول تصفیه کننده بود. زمان تماس ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ ثانیه، که این زمان‌ها با تغییر ارتفاع نازل بدست می‌آمدند. دو نوع نازل با اندازه قطره مختلف و قالب پاشش مختلف بکاربرده شدند. نازل‌ها، قالب پاشش مخروط کامل، با دو زاویه، زاویه تنگ ، ۲۶ درجه و زاویه استاندارد ۵۲ درجه داشتند. نفوذ وارونه آب (RO) و دو نوع آب الکترولیزشده با مقیاس PH، ۵/۶ و ۹ به عنوان محلول‌های تصفیه کننده آزمون شدند. پارامترها در ۱۸ تیمار و ۳ تکرار ارزیابی شدند. بیشترین بازده مربوط به زاویه تنگ ۲۶ درجه، زمان تماس ۰,۹ ثانیه و آب الکترلیز شده با مقیاس ۶/۵ بود. بنابراین در محدوده مطالعه شده، افزایش زمان تماس، کاهش PH آب الکترولیزشده و نازل نوع تنگ بازده تصفیه را افزایش می‌دهند(Majd, Kalbasi et al. 2013).

بنویت آنت و همکاران خصوصیات گاز بودار خروجی از واحد فرآوری گوشت را بوسیله کروماتوگرافیک گازی (GC) بررسی کرده و آن را بوسیله ترکیب اسکرابر شیمیایی و بایوفیلتر تیمار کردند. گاز ابتدا در یک اسکرابر اسیدی (PH با تزریق اسید سولفوریک برابر ۴ و زمان ماند گاز ۱/۳ ثانیه) برای حذف ترکیبات نیتروژنی (آمونیاک و آمین‌ها) و رساندن رطوبت نسبی گاز به اشباع، بیشتر از ۹۸ درصد، تیمار می‌شود. نتایج GC پیچیدگی گازهای منتشره و وارد شده به بایوفیلتر را نشان می‌دهد. در ورودی بایوفیلتر ۳۶ ترکیب وجود دارد که عبارتند از ۱۲ آلدهید، ۷ اسید چرب، ۷ الکل، ۵ کتون و ۵ ترکیبات سولفور. چون PH=۴ در اسکرابر حفظ شده، آمونیاک و آمین‌ها در ورودی بایوفیلتر مشاهده نشدند. حد تشخیص آلدهیدها، کتونها، اسیدها و الکل‌ها در ورودی به ترتیب ۱,۷، ۰,۵، ۰,۷ و ۰,۳ و در خروجی به ترتیب ۰,۳۳، ۰,۱، ۰,۱۴ و ۰,۰۷ می‌باشد. در بین ۳۶ ترکیب خروجی سه ترکیب متانتیول، ایزوپنتانال و هیدروژن سولفید به علت غلظت بالا، بیشترین بو را تولید می‌کنند(Anet, Lemasle et al. 2013).

تحقیقات مختلف به دنبال افزایش بازدهی و کاهش هزینه‌ها هستند. تحقیق حاضر هم سعی بر بهبود اینها دارد. علاوه بر آن در کشورهای مختلف، تحقیقات زیادی پیرامون مسأله بو انجام گرفته‌است، اما در کشور ما کار زیادی روی این مسأله صورت نگرفته است، که این مسأله اهمیت پژوهش بیشتر در این زمینه در داخل کشور را، نشان می‌دهد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- اندازه گیری در گشتارگاه

برای اندازه‌گیری پارامترهای مورد نیاز برای کنترل و مدیریت بو، یک مطالعه موردی انتخاب شد. کشتارگاه مورد مطالعه جهت کنترل بو، کشتارگاه آراز مرغ تبریز می‌باشد که در جاده کرجان بعد از امام زاده سید محمد کججانی شهرستان تبریز، واقع شده‌است.

فرآیند کشتار و آماده‌سازی مرغ برای عرضه به بازار بدین شرح است: سربری و تخلیه خون، خیساندن و پرکنی، تخلیه شکم، آلایش و بریدن پا، سردکردن و بسته‌بندی. ضایعات مرغ که ۱۸ درصد وزنی آن را هم تشکیل می‌دهند وارد دیگ پخت ضایعات می‌شود تا در آن جا پخته‌شده و تبدیل به پودر شود. پودر تولیدشده، حاوی پروتئین بوده و به عنوان جیره‌ای مناسب در تغذیه طیور استفاده می‌شود.

قسمت‌هایی از کشتارگاه که از آن جا بو منتشر می‌شود به ترتیب میزان انتشار بو، عبارتند از:

بخار خروجی از دیگ پخت، بوی ناشی از خشک کردن پودر خارج شده از دیگ پخت، تصفیه خانه، و بوی خون و مواد زائد داخل سالن‌ها. گاز خروجی از دیگ پخت حرارت بالایی دارد و منشاء اصلی بو همین گاز است که پس از خروج از دیگ پخت وارد برج خنک کن می‌شود.

با بررسی که در منابع مختلف صورت گرفت، سه ویژگی جزء مهم‌ترین پارامترها در توصیف بو و نیز در تعیین نوع تیمار مناسب برای کنترل بو به شمار می‌رود. این سه ویژگی عبارتند از؛ دمای بخار بودار، دبی جریان بخار و غلظت و نوع ترکیبات بودار موجود در بخار خروجی.

از لوله ۴ اینچ خروجی یکی از دیگ‌های پخت، یک مقطع ۲ اینچی انشعاب گرفته تا اندازه‌گیری‌ها در این محل انجام شود. از دماسنج مدل Autonics که از ترموکوپل برای اندازه گیری دما استفاده کرده و با برق ۲۲۰ ولت کار می‌کند برای اندازه گیری دما استفاده شد(شکل۳).

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

Figure 3. measuring of the temperature.

شکل۳. نحوه اندازه گیری دمای جریان بخار بودار.

برای اندازه گیری دبی بخار خروجی، سرعت بخار باید اندازه گرفته شود. بخار خروجی اغتشاشی بود، بنابراین ابتدا یکنواخت شد. وسیله اندازه‌گیری سرعت بخار، سرعت سنج پره‌ای مدل lutron بود که قابلیت اندازه‌گیری سرعت تا 25 m/s را دارا می‌باشد (شکل۴).

Figure 4. measurement of odor flow.

شکل ۴. نحوه اندازه گیری دبی جریان بخار بودار.

برای تعیین غلظت ترکیبات بخار بودار، بایستی از بخار نمونه‌برداری و با دستگاه کروماتوگرافیک گازی (GC) نوع ترکیبات و غلظت آن‌ها مشخص شود. GC، برای تعیین غلظت ترکیب، باید یک غلظت مشخص (غلظت استاندارد) از آن را داشته باشد، تا بتواند غلظت ترکیبات را بدهد. به دلیل وجود ترکیبات مختلف و صعوبت تهیه غلظت استاندارد همه آن‌ها، از داده‌های غلظت ترکیبات، در منابع استفاده‌شد.

۲-۲- ساخت مدل آزمایشی (پایلوت)

با توجه به داده‌هایی که بدست آمد، یک سیستم برای کنترل بوی کشتارگاه طراحی شد (مختصات این طراحی در قسمت نتایج و بحث می‌آید). بر طبق این طراحی صورت گرفته و در ابعاد کوچکتر یک پایلوت از سیستم ساخته شد. محل راه اندازی پایلوت در کشتارگاه مرغ، با گرفتن انشعاب ۱/۲ اینچی بعد از خروج بخار بودار از دیگ‌های پخت و بعد از کندانسور می باشد.

پایلوت از سه قسمت تشکیل شده است: الف؛ تصفیه‌کننده یا اسکرابر ب؛ صافی‌زیستی یا بایوفیلتر ج: لوله‌ها و اتصالات. تانکری به ارتفاع 170cm و قطر مقطع 60cm از جنس آهن به عنوان محفظه اسکرابر انتخاب گردید. در اسکرابر، آب باید از بالا روی بخار بودار پاشیده شود. برای اینکه آب در حد نیاز ریز شده و داخل بخار برود، از نازلی که معمولا در کشاورزی استفاده شده و توانایی ریز کردن آب در فشار پایین هم دارد، استفاده شد. ابعاد لوله‌های ورودی و خروجی آب به ترتیب ۲/۱ و ۴/۳ اینچ و لوله‌های ورود و خروج بخار به ترتیب ۴/۳ و ۱ اینچ می‌باشد (شکل۵).

Figure 5. The pilot system that constructed for odor control system.

شکل۵، سامانه پایلوت ساخته شده برای سامانه کنترل بو.

بایوفیلتر مخزنی از جنس پلی‌اتیلن به قطر ۵۵ و ارتفاع ۱۱۰ سانتی‌متر دارد. در قسمت پایین مخزن، ورودی بخار وجود دارد که قطر آن ۲ اینچ است. بستر بایوفیلتر ترکیبی از کمپوست و قطعات پوست چوب می‌باشد. مقداری هم حدود ۷ کیلو خاک برگ که غنی از مواد مغذی برای حیات میکروارگانیسم¬هاست تهیه و با بقیه مخلوط شد. هدف اصلی استفاده از کمپوست ایجاد بستری مناسب جهت فعالیت میکروارگانیسم ها می‌باشد. چوب هم علاوه بر داشتن این هدف، کمک شایانی به ایجاد تخلخل در بستر برای عبور بخار می‌کند. ارتفاع بستر در مخزن بایوفیلتر 80cm تا 90cm بود (شکل۵).

۳-۲- اندازه‌گیری در پایلوت

دبی آب ورودی اسکرابر را با یک ظرف ۲۰ لیتری و زمان‌سنج اندازه‌گیری شد. دبی بخار ورودی به اسکرابر با اندازه گیری سرعت ورود بخار و با استفاده از سرعت‌سنج پره‌ای اندازه گیری شد. دبی بخار ورودی به بایوفیلتر هم در محل ورود بخار به صافی و با سرعت‌سنج پره‌ای اندازه گیری شد. دمای مناسب برای فعالیت میکروارگانیسم‌ها کمتر از ۴۰ درجه سلسیوس است که با ترموکوپل اندازه‌گیری شد.

پس از راه اندازی باید یک زمان سازگاری تا میکروارگانیسم‌های مناسب با بخار ورودی تولید شوند. به همین دلیل یک زمان ۳ هفته‌ای را سامانه تحت شرایط دما و دبی مناسب کار کرد. در طول این زمان دما و دبی کنترل می‌شد تا در محدوده مجاز باشند.

۳- نتایج و بحث

دمای بخار بودار خروجی دیگ پخت ۸۵ تا ۹۰ درجه سلسیوس اندازه‌گیری شد. پس از کندانسور هم دما را اندازه گرفته که دمای آن بین ۶۵ تا ۷۰ درجه بود. این یعنی، کندانسور دما را، ۲۰ تا ۲۵ درجه کاهش می‌دهد. دبی بخار بودار خروجی از دیگ پخت بدین شکل محاسبه شد: سرعت بخار از مقطعی به قطر 31cm، 5/3 متر بر ثانیه بدست‌آمد.

$$Q = V \times A = 5/3 \times \pi(0.315/2)^2 = 0.247 m^3/s \quad (۲)$$

$$Q = o.247 \times 3600 = 890 m^3/h$$

به دلیل تنوع ترکیبات موجود در بخار بودار، تعیین نوع و کیفیت ترکیبات بودار از منابع مطالعات قبلی در مورد کشتارگاه‌ها استفاده شد.

با اندازه‌گیری‌هایی که انجام شده و شرح آن به عمل آمد، ویژگی‌های بخار بودار به این ترتیب است:

دبی بالا ($Q_{total} = 2 \times 890 = 1780 m^3 / h$؛ چون دو دیگ در محل به طور همزمان کار می‌کنند)، دما و رطوبت بالا، ترکیبات آلی و وجود ذرات در جریان بخار بودار.

سامانه‌ای که انتخاب و طراحی می‌شود باید با شرایط بخار خروجی که در بالا ذکر شد، تطابق داشته باشد. باید بتواند دمای بالا را کنترل کند، از پس دبی بالا برآید و با ترکیبات آلی سازگاری داشته باشد. علاوه بر تمام ویژگی‌های فوق، دو مورد دیگر نیز باید رعایت شود؛ از لحاظ اقتصادی، کم هزینه و کارکرد و اجرایی ساده داشته‌باشد.

با توجه به مطالب فوق، سامانه‌های بیولوژیکی برای کنترل بو مناسب است، اما دو مشکل بر سر راه استفاده از این نوع روش وجود دارد. دمای حدود ۷۰ درجه سلسیوس برای فعالیت میکروارگانیسم‌ها در بایوفیلتر بالاست (دمای مناسب فعالیت میکروارگانیسم‌ها کمتر از ۴۰ درجه سلسیوس می‌باشد) و دیگر اینکه در جریان بودار خروجی از دیگ پخت ذرات ریزی وجود دارد که پس از مدتی می‌تواند منجر به گرفتگی منافذ بستر بایوفیلتر شود. بر همین اساس، استفاده از یک اسکرابر قبل از کنترل بیولوژیکی جهت کاهش دما و کنترل ذرات توصیه می‌شود. بنابراین، سامانه انتخابی برای کنترل بو در کشتارگاه ترکیب اسکرابر و بایوفیلتر است. بخار خروجی ابتدا در اسکرابر، ذرات وآبش گرفته‌شده و نیز سردتر می‌شود. البته مقداری هم کاهش بو در اسکرابر اتفاق می‌افتد. سپس در بایوفیلتر کار اصلی کاهش بو انجام می‌شود. بنویت آنت و همکاران (۲۰۱۳) نیز، ترکیب بایوفیلتر و اسکرابر را برای کنترل بوی تولیدی از کشتارگاه‌ها مناسب ارزیابی کرده‌اند. شله‌گلمیلچ و همکاران (۲۰۰۵) در تحقیقی بیان کرده‌اند به جز چند ترکیب محدود، بقیه ترکیبات بودار قابلیت حذف خوبی در بایواسکرابر و بایوفیلتر دارند.

۱-۳- طراحی سامانه

در کشتارگاه، یک بلوهر، بخار بودار را از دیگ بخار بیرون کشیده و از بین کندانسور رد می‌کند. در این طراحی، بخار بودار پس از عبور از کندانسور وارد سامانه می‌شود. بخار ابتدا وارد اسکرابر و بعد وارد بایوفیلتر می‌شود. در اسکرابر، بخار بودار از پایین و آب از بالا روی آن پاشیده می‌شود (شکل۶). از نازل‌های معمولی که در پاشش سموم در کشاورزی بکاربرده می‌شود برای پاشش آب استفاده می‌شود. مسیری هم در پایین برای خروج آب در نظر گرفته‌شد. در منابع (کتاب Odor Control) نسبت آب به بخار برای جذب حداکثری در اسکرابر بین ۱۰ تا ۸۰ گالن بر ۱۰۰۰ متر مکعب بر ساعت ذکر شده است، در محاسبات میانگین یعنی ۴۰ گالن وارد شد:

$$(\text{دبی بخار خروجی از دیگ پخت} = 1780 m^3 / h) \times 40 gal / 1000 m^3 = 71.20 gal / h \quad (۳)$$

$$71.20 gal / h \times 3.78 lit / 1 gal = 269 lit / h \times 8 h / day = 2153 lit / day \quad (۴)$$

همانطور که محاسبه شد، روزانه حدود ۲۰۰۰ لیتر آب در اسکرابر مصرف می‌شود. البته با توجه به اینکه در کشتارگاه تصفیه خانه آب وجود دارد می‌توان از آب خروجی تصفیه‌خانه برای این مورد استفاده کرد تا هزینه‌ها و مصرف آب کمتر شود. آب خروجی اسکرابر هم وارد تصفیه خانه می‌شود. جنس بدنه اسکرابر آهن مناسب است. پلاستیک اگر باشد در دمای بالای بخار، دوامی ندارد.

ابعاد بایوفیلتر مطابق زیر محاسبه می‌شود؛

زمان ماند خالی: در منابع مختلف زمان ماند مناسب را بین ۴۵ تا ۱۲۰ ثانیه ذکر کرده‌اند. با توجه به غلظت نسبتا کم، عدد بینابین انتخاب شده است.

$$EBRT = 80 \sec$$

$$EBRT = V_f / Q \rightarrow V_f = EBRT \times 0.247 = 19.76 m^3 = 20 m^3 \quad (۴)$$

برای اینکه تبادل حرارت به محیط کمتر شود، مخصوصا در زمستان که دما پایین می‌آید و ممکن است برای میکروارگانیسم‌ها مضر باشد، شکل صافی به صورت استوانه‌ای که قطر آن با ارتفاع برابر است در نظر گرفته می‌شود. بنابراین؛

$$V_f = 20 m^3 = \pi (D/2)^2 \times D \rightarrow D = 9.2 m \quad (۵)$$

در بایوفیلتر، بخار از بین یک بستر متخلخل طبیعی عبور داده می‌شود. جنس بستری که در نظر گرفته‌شده ترکیبی از کمپوست با اندازه ذرات درشت برای تأمین تخلخل و خرده‌های چوب است.

رطوبت بستر از رطوبت بخار تأمین می‌شود. رطوبت بین ۴۰ تا ۶۰ درصد مناسب است. PH بستر باید در محدوده خنثی باشد. جنس دیواره بستر نیز می‌تواند از پلاستیک باشد (شکل۶).

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون کشاورزی ایران

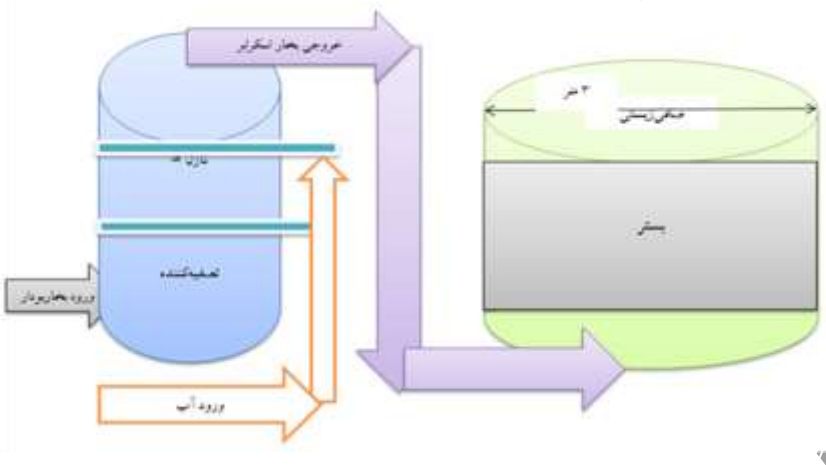

Figure 6. The system that desined for odor control in Slaughterhouse.

شکل ۶. سامانه طراحی شده برای کنترل بو در کشتارگاه مرغ.

۲-۳- نتایج پایلوت

دبی آب ورودی به اسکرابر در پایلوت بین ۰/۳ تا ۰/۵ لیتر بر ثانیه و دبی بخار ورودی به بایوفیلتر ۵۰۶ سانتیمترمکعب بر ثانیه می‌باشد. اسکرابر، دمای بخار بودار را ۱۵ تا ۲۰ درجه سلسیوس کاهش می‌دهد. اگر باز هم دما برای فعالیت میکروارگانیسم‌ها در بایوفیلتر بالا باشد با کمتر کردن بخار ورودی به اسکرابر سعی بر کاهش دما می‌شود. اسکرابر آب بخار ورودی را می‌گیرد. بدین شکل که چون بخار خروجی از دیگ پخت از کندانسور عبور کرده مقداری از آن مایع و یا آب می‌شود. بخار مخلوط با آب وقتی وارد اسکرابر شده آب آن از پایین و بخار آن از بالا خارج می‌شود.

اسکرابر در پایلوت، این امکان را داد تا خواص قسمتی از بخار خروجی دیگ را که در کندانسور بر اثر سرد شدن مایع می‌شود، تعیین کرد. وقتی آب ورودی به اسکرابر بسته شود، مایع خروجی از آن به طور خالص مربوط به کندانسور می‌شود. در جدول ۳ میزان آلودگی و نوع ترکیبات موجود در آب خروجی از کندانسور ذکر شده است:

جدول ۳- نوع ترکیبات موجود در آب خروجی از کندانسور.

Table 2. Type of the compositions existance in the output water from the condensor.

Result of meseurment	
630	COD (mg/l)
150	BOD (mg/l)
2-MetilButanal or Hexane	جزء اصلی ۹۴٪
Metilcyclopantane	جزء دوم ۳/۳۰٪

هم خانواده با ترکیب‌های فوق را راپرت و مولر در سال ۲۰۰۵ و بنویت انت و همکاران در سال ۲۰۱۳، طی تحقیقاتی به عنوان ترکیبات بودار موجود در بوهای خروجی در فرآیندهای حیوانات و گوشت ذکر کرده‌اند.

آب خروجی از اسکرابر را در دو حالت که بخار خروجی از اسکرابر بوی زیادی داشت و در حالتی که بوی کمتری داشت با دستگاه GC-MS آنالیز شد (جدول۴).

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

جدول ۴، تغییر ترکیبات آب خروجی اسکرابر در دو حالت بوی زیاد و بوی کم

Table 4. Difference on the composition of the scrubber output water in the high and low odor.

compositions	Low odor (percent)	High odor (percent)
Hexane	77%	77%
Etanol	-	6.54%
Pentane	2%	4.82%
N- hexylamine	-	2.36%
Heptane	2.17%	2.77%
Cyclopentanethiol	1.77%	1.5%

همانطور که در جدول مشخص است، بعضی ترکیبات مثل اتانول و هگزیل آمین فقط در حالت بوی زیاد وجود دارند. بنویت آنت و همکاران در سال ۲۰۱۳، اتانال و اتانول را جزء ترکیبات بودار خروجی از تأسیسات کشتارگاهی که غلظت بالایی هم در مقایسه با سایر ترکیبات دارد ذکر کرده‌اند.

۴- نتیجه‌گیری

جریان بخار بودار خروجی از دیگ پخت، این ویژگی‌ها را دارد. دمای بالا، دبی زیاد، وجود ذرات در بخار و از ترکیبات ارگانیک بودار، تشکیل شده است. مطابق با این ویژگی‌ها و با توجه به اینکه سیستم طراحی‌شده باید حتی‌الامکان ساده و کم هزینه باشد تا مقبول صاحبان صنایع باشد، ترکیب اسکرابر و بایوفیلتر برای کنترل بو انتخاب شد. در اسکرابر دما، دبی و بو کاهش می‌یابد، ذرات هم گرفته می‌شود. بایوفیلتر کار اصلی کاهش بو را به طور بیولوژیکی انجام می‌دهد. محاسبات نشان می‌دهد که روزانه حدود ۲۰۰۰ لیتر آب در اسکرابر مصرف می‌شود که این آب می‌تواند از آب تمیز خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب که فعلا برای آبیاری باغات استفاده می‌شود تأمین شود. حجم بستر بایوفیلتر ۲۰ مترمکعب می‌شود. برای حداقل رساندن اتلافات حرارتی، قطر با ارتفاع برابر در نظر گرفته شد، که قطر معادل ۲/۹ متر محاسبه شد. مهم‌ترین ترکیبات بستر بایوفیلتر هم کمپوست برای محیط رشد میکروارگانیسم‌ها و چوب جهت ایجاد تخلخل می‌باشد. با توجه به مرطوب بودن بخار خروجی هم، مشکلی در رطوبت بستر نداریم. بر مبنای طراحی صورت گرفته، پایلوت طرح ساخته شد. مواردی که در طراحی مورد انتظار بود به طور نسبی در پایلوت محقق شد. اسکرابر دما را ۱۵ تا ۲۰ درجه کاهش داده، ذرات را گرفته و بو را نیز کاهش می‌دهد. البته بایوفیلتر هم بو را کاهش می‌دهد اما این موارد کیفی بوده و به دلیل کمبود امکانات مخصوصا در تعیین غلظت ترکیبات، کمی نشده‌اند. مایع خروجی از اسکرابر در دو حالت بوی زیاد و کم بو با دستگاه **GC-MS** آنالیز شد که اتانول و **n**-هگزیل‌آمین در حالت کم بو وجود نداشتند.

۵- تقدیر و تشکر

از مجموعه گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم در دانشگاه تبریز و مدیر عامل و پرسنل محترم کشتارگاه آرازمرغ تبریز که امکانات و تجهیزات انجام این تحقیق را فراهم کردند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

۶- مراجع

1- Anet, B., M. Lemasle, C. Couriol, T. Lendormi, A. Amrane, P. Le Cloirec, G. Cogny and R. Fillières (2013). "Characterization of gaseous odorous emissions from a rendering plant by GC/MS and treatment by biofiltration." Journal of environmental management. **981-987:128.**
2- Anonymous (2000). "Biosolids and Residuals Management Fact Sheet: Odor Control in Biosolids Management." United States Environmental Protection Agency, EPA **832-F**: 00-067.
3- Barbusinski, K., K. Kalemba, D. Kasperczyk, K. Urbaniec and V. Kozik (2017) .Biological methods for odor treatment–A review." Journal of Cleaner Production **152**: 223-241.
4- Devinny, J. S., M. A. Deshusses and T. S. Webster (2017). Biofiltration for air pollution control, CRC press.
5- Heller, K. J. and Heller. J. D. (1999). "Odor Control Alternatives for Wastewater Treatment Plants and Collection Systems".
6- Hesketh, H. E. and F. L. Cross (1989). Odor control; including hazardous/toxic odors. Odor control; including hazardous/toxic odors, Technomic Publishing.
7- Leson, G. and A. M. Winer (1991). "Biofiltration: an innovative air pollution control technology for VOC emissions." Journal of the Air & Waste Management Association **41**(8): 1045-1054.
8- Liu, D. (2012). "Application of PTR-MS for optimization of odour removal from intensive pig production with emphasis on biofiltration." Technical Reports Biological and Chemical Engineering **2**(6.(
9- Liu, T., H. Dong, Z. Zhu, B. Shang, F. Yin, W. Zhang and T. Zhou (2017). "Effects of biofilter media depth and

moisture content on removal of gases from a swine barn." Journal of the Air & Waste Management Association **67**(12): 1288-1297.

10- Majd, A. M. S., A. Kalbasi, S. Mukhtar and G. Riskowski (2013). Ammonia scrubbing using electrolyzed water spray scrubber. 2013 Kansas City, Missouri, July 21-July 24 ,۲۰۱۳ ,American Society of Agricultural and Biological Engineers.
11- Makauki, E., C. K. King'ondu and T. E. Kibona (2017). "Hydrogen sulfide and ammonia removal from biogas using water hyacinth-derived carbon nanomaterials." African Journal of Environmental Science and Technology **11**(7): 375-383.
12- Rahmat, A. N. (2017). "Biomass as Packing Material for Biofiltration of Gaseous Streams." clean air **1**(1): 45-48.
13- Schlegelmilch, M., J. Streese and R. Stegmann (2005). "Odour management and treatment technologies: an overview." Waste management **25**(9): 928-939.
14- Shareefdeen, Z. (2005). Biotechnology for odor and air pollution control, Springer Science & Business Media.
15- Thorsvold, B. (2011). Biological odor control systems: a review of current and emerging technologies and their applicability nfo. ncsafewater. org/Shared Documents/Web Site Documents. Annual Conference.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران