

# طراحی و ساخت و ارزیابی عملکرد دستگاه استاتور

محمد حسن فولادی<sup>۱</sup> - ابوالفضل گلشن تفتی<sup>۲</sup>

## چکیده

بطور کلی هر ماده ای که دارای هگزوز باشد و یا قابل تبدیل به هگزوز باشد میتواند بعنوان ماده اولیه در تخمیر الکلی استفاده شود. تخمیر الکلی بعنوان تبدیل ضایعات کشاورزی و تولید الکل برای جانشین کردن نفت مورد استفاده است. ولی بهر صورت در حال حاضر تهیه الکل بعنوان سوخت مقرون بصرفه نمیباشد. یکی دیگر از کاربردهای الکل اکسیده کردن آن به اسید استیک یا تولید سرکه میباشد. این فرایند یک تخمیر هوازی است که توسط استوباکترها انجام میگردد. در اکسیداسیون الکل بروش طبیعی و سنتی زمان تخمیر طولانی و راندمان تبدیل کم است. باکتریهای مضر رشد کرده و طعم سرکه را نامطلوب میکنند و بخشی از اسید استیک بر اثر اکسیده شدن به گاز کربنیک و اب تبدیل میشود. نظز باینکه راندمان تولید و کیفیت سرکه بستگی به عواملی نظیر درجه حرارت و میزان هوادهی در حین تخمیر دارد دستگاه استاتوری به ظرفیت مفید ۴۰۰۰ لیتر طراحی و ساخته شد که بتواند عوامل فوق را کنترل نماید. آزمایشات انجام شده نشان داد با استفاده از دستگاه فوق میتوان زمان لازم برای تخمیر را از شش ماه به حد ود هشت روز کاهش داد و راندمان تولید سرکه بیش از نود درصد راندمان تئوری میباشد.

۱- عضو هیئت علمی دانشگاه شهید باهنر کرمان دانشکده کشاورزی

۲- کاشناس ارشد موسسه تحقیقات کشاورزی کرمان

مقدمه:

تخمیر الکلی بعنوان تبدیل ضایعات کشاورزی و تولید الکل برای جانشین کردن نفت در بسیاری از کشورها مورد بررسی قرار گرفته است. سرکه ابغنوان چاشنی، نگهدارنده، داروی طبی، بعنوان عامل تمیز کننده و پاک کننده از دیر باز شناخته شده و مورد استفاده قرار گرفته است. مصارف عمده سرکه در کارخانجات مایونز، انواع سس سالاد سس گوجه فرنگی، تهیه ترشی جات و شوری جات مختلف میباشد (Tesfaye et al., 2002). تولید سرکه در دو مرحله کاملاً مجزا انجام میشود. ۱- تخمیر قندها به الکل اتیلیک یا تخمیر الکلی توسط گونه های ساکارومیسس (*Saccharomyces species*) که در شرایط غیر هوازی انجام میشود. ۲- مرحله اکسیده کردن الکل اتیلیک به اسید استیک. این مرحله هوازی بوده و بغیر از اسید استیک ترکیبات استالد یید، استرها و ترکیبات ستونی نیز تولید میشود. این مرحله بوسیله استوباکترها انجام میشود که ۷ گونه مختلف آن وجود دارد که باکتریهای خالص راندمان کمتری نسبت به مخلوط آنها دارد (Adams 1988). بطور کلی سه طریقه اکسیده کردن الکل وجود دارد. متد اهسته یا کند. متد اورلثان و روش سریع یا جنراتور.

### روش تند یا جنراتور

در این روش جهت افزایش سطح تماس استوباکترها با هوا، فضای میانی ژنراتور از ذرات ریز بعضی مواد مانند زغال و یا تراشه چوب حاصل از چوب ذرت چوب خیزران و یا ساچمه های شیشه ای و سرامیک پر میگردد که با عبور دادن سرکه قوی غیر پاستوریزه از لابلای آنها موجب تثبیت استوباکترها بر روی سطح تراسه ها میشوند. حال اگر مایع الکلی بصورت ملایم روی تراشه ها چکه کند (ژنراتور چکه ای) الکل اتیلیک توسط استوباکترها به اسید استیک اکسیده شده و مایع خروجی از کف ژنراتور، سرکه ضعیفی میباشد که میتوان آن را پس از خنک کردن به قسمت ورودی ژنراتور پمپاژ و مجدداً وارد ژنراتور نمود (Tesfay et al., 2002).

شرائط مطلوب تخمیر استیک:

ایجاد شرایط مطلوب رشد باکتریهای تولید کننده اسید استیک اهمیت زیادی دارد. اکسیژن قابل دسترس باکتریه از عوامل محدود کننده سرعت و راندمان تخمیر میباشد. از نظر تئوری برای اکسیده کردن یک لیتر اتانول حدود ۴۳۰ لیتر اکسیژن در حرارت ۳۰ درجه نیاز است. از انجائیکه هوا ۲۰٪ اکسیژن دارد و راندمان استفاده باکتری از اکسیژن صد در صد نمیباشد، حجم هوای مورد نیاز حد اقل ده برابر حجم اکسیژن مورد نیاز میباشد (Adams 1988). حد اکثر رشد باکتریهای اسید استیک در غلظت ۱ تا ۳ ppm اکسیژن میباشد (Romero et al. 1994). استوباکترها در غلظت ۴٪ تا ۵٪ هوا ppm اکسیژن محلول قادرند الکل را اکسیده کنند ولی در این شرایط قادر به رشد و تکثیر نیستند. هوا

دهی کافی دستگاه تخمیر در فاز سکون رشد باکتریها باعث تکثیر و افزایش تعداد باکتریها شده و متعاقب آن باعث افزایش سرعت اکسیداسیون الکل میگردد. در شرایط کمبود اکسیژن استوباکترها در عرض چند ثانیه میمیرند (Nieto et.al.1993). هوادهی زیاد باعث تبخیر مواد فرار و سوبسترا مخصوصا اتانول شده که باعث کاهش راندمان تولید اسید و کاهش کیفیت محصول نهائی میگردد (Romero et.al.1993). اکسیداسیون الکل یک فرایند حرارت زا بوده و از اکسیده شدن هر لیتر اتانول حد و  $MJ\ 8/4$  حرارت تولید میشود (Adams 1998). در حرارت کمتر از ۸ درجه رشد *Acetobacter aceti* متوقف میگردد. حرارت ماکزیمم استوباکترها که حرارت بیش از آن باعث توقف کامل رشد باکتری میگردد ۳۵ درجه و حرارت اپتیمم برای حد اکثر سرعت رشد ۳۱ درجه گزارش شده است (De ory et.al.1998). غلظت زیاد الکل و اسید استیک اثر سو در رشد استوباکترها دارد (Ebner 1995). درصد الکل و اسید استیک در محلول باید در حد معینی ثابت نگهداشته شود تا مانع رشد استوباکترها نگردد. از طرف دیگر عدم وجود الکل در محلول باعث مرگ برخی از باکتریهای موجود شده (De Ley et.al.1984) و استوباکترها شروع به اکسیده کردن اسید استیک به گاز کربنیک و اب خواهند کرد (Saeki et.al. 1997). بنابراین با یک سیستم نیمه مداوم در پایان هر مرحله تخمیر که غلظت اتانول به ۱٪ رسید با خارج کردن بخشی از محلول تخمیر شده و جایگزین کردن هم حجم آن با محلول الکلی جدید میتوان فرایند تخمیر را فعال نگهداشت (Tesfaye et.al.2000). هدف از این تحقیق طراحی و ساخت استاتوری میباشد که بتوان با کنترل درجه حرارت محلول الکلی کنترل میزان هوا دهی و افزایش سطح تماس باکتریهای مولد اسید استیک با محلول الکلی، سرعت اکسیداسیون الکل را افزایش داده و سرکه ای با کیفیت مطلوب در زمان کوتاه تولید کرد.

#### مواد و روشها:

سیب مورد آزمایش وارپته لبنانی زرد بد لیل فراوانی سطح زیر کشت انتخاب گردید. لازم به ذکر است سیب مورد استفاده هر چند که از درجه ۳ و ۲ است ولی از نظر فساد و خرابی بخصوص کپک زدگی شد مخمر الکلی: از *saccharomyces servisia. Atcc 4126* یدا کنترل گردید. از

سوش خالص مرکز مهندسی بیوشیمی دانشگاه صنعتی شریف تهیه گردید و ۲۴-۴۸ ساعت قبل از تلقیح به پوره سیب یک کشت فعال و تازه آن تهیه گردید.

الکل: الکل اتیلیک طبی ۹۶ درجه دو تقطیره با مجوز دانشگاه علوم پزشکی کرمان از شرکت پارسیان شیراز تهیه گردید و پس از رقیق کردن با اب تا غلظت ۲۰٪ و اضافه نمودن عوامل مغذی مورد نیاز استوباکترها برای اکسیده کردن به اسید استیک استفاده شد.

سرکه خام: سرکه غیر پاستوریزه حاوی مخلوطی از استوباکترها از تولید کننده های محلی که بطور سنتی تولید شده بعنوان آغازگر تخمیر استفاده گردید.

تخمیر الکلی پوره سیب: پس از شستشو سیب ها توسط دستگاه رنده کارخانه بهاور پوره سیب تهیه گردید و در بشکه های ۱۲۰ لیتری که بهمین منظور تهیه شده بود قرار داده شد و با افزودن شکر غلظت قند به ۲۰٪ تنظیم گردید. سپس بوسیله متا بیسولفیت سدیم بمدت ۶ ساعت ضد عفونی

گردید. برای شروع مرحله تخمیر الکلی به میزان ۲٪ از محیط کشت مایع ساکارومیسس سرویژیا تلقیح گردید و توسط پمپ هوا نیم ساعت هوادهی و پس از در بندی بشکه ها جهت طی مرحله تخمیر الکلی

در حرارت ۲۶ درجه سانتیگراد نگهداری شدند. پس از چهار هفته محلول در حال تخمیر بوسیله فیلتر عصاره گیری گردید و عصاره بدست آمده جهت ادامه تخمیر در بشکه های ۱۲۰ لیتری و حرارت ۲۶ درجه نگهداری گردید. جهت پیگیری پیشرفت مرحله الکلی از چگالی سنج الکلی استفاده گردید که بر اساس وزن مخصوص مایع الکلی میزان قند باقیمانده و الکلی تولیدی را تخمین میزند. در مورد سیب کاهش غلظت قند به ۳٪ نشان دهنده پایان مرحله الکلی است.

اندازه گیری الکلی: برای اندازه گیری غلظت الکلی تولیدی و محاسبه رانمان تبدیل قند به الکلی از روش تقطیر مایع الکلی تحت خلا و تعیین وزن مخصوص مایع تقطیر شده با استفاده از پیکنومتر و سپس از جدولهای تبدیل برای بدست آوردن غلظت الکلی استفاده شد.

اندازه گیری اسید استیک: با توجه باینکه مقدار سایر اسیدهای الی در سرکه قابل اغماض است بنابراین اندازه گیری اسید یته کل نشاندهنده غلظت اسید استیک بوده بروش تیتره کردن با سود ۱/۱ نرمال و فنل فتالین بعنوان معرف انجام گردید.

طراحی دستگاه استاتور: مشخصات استاتور طراحی و ساخته شده در شرکت مهندسی پویای مشهد در شمای ۱- نشان داده شده است. این استاتور ترکیبی از نوع چکه ای و غوطه ور نیم مداوم میباشد. این سیستم از استوانه ای از جنس ورق استیل به ضخامت ۵/۱ میلیمتر، بارتفاع ۳/۳ متر و به قطر ۱/۸ متر با ظرفیت مفید ۴۰۰۰ لیتر از سه قسمت قابل تفکیک جهت سهولت در حمل، نگهداری و نظافت طراحی شده هست. حد فاصل استوانه شماره ۳ و ۲ یک صفحه استیل سوراخدار بقطر ۱/۸ متر برای نگهداری تراشه چوب، محل تثبیت استوباکترها منظور شده است. در قسمت بالای سیلندر شماره ۳ لوله استیل سوراخدار است که بعنوان دوش پاشاندن محلول الکلی را از بالای دستگاه بطرف پائین روی تراشه های چوب عمل میکند. دستگاه مجهز به سیستم خنک کننده و گرم کننده بوسیله جریان آب سرد و گرم برای تنظیم درجه حرارت مایع الکلی در حال تخمیر در حد ود ۳۱-۳۰ درجه که مناسب تخمیر استیک است. پمپ استیل با لوله خروجی یک اینچ و میزان ابدهی ۵۰ لیتر در دقیقه و قدرت پمپاژ تا ارتفاع ۱۵ متر جهت پمپاژ مایع الکلی از قسمت پائین استاتور بطرف بالا و دوش تعبیه شده است. هوادهی سیستم با استفاده از پمپ هوایی با قدرت ۱۵۰ لیتر در دقیقه انجام میشود. هوای تصفیه شده از طریق لوله های سوراخدار در مجاورت صفحه حاوی تراشه های چوب و باکتری همچنین در قسمت نزدیک به کف استاتور که حاوی محلول در حال تخمیر است توزیع میگردد. برای تخمیر استیک پر کردن جنراتور در چند مرحله انجام میگردد.

نتایج و بحث:

روند اکسیده شدن محلول الکلی ۲۰٪ در دمای ۳۰ درجه سانتیگراد در نمودار شماره ۱- نشان داده شده است. ابتدا مخلوط ۴۴۰ لیتر الکلی ۲۰٪ با ۷۶۰ لیتر سرکه خام با ۶/۸٪ اسید استیک بعنوان آغازگر وارد دستگاه استاتور گردید. مایع الکلی تلقیح شده با اسید یته ۴/۵٪ با جریان مداوم بوسیله پمپ استیل و پاشیدن آن روی صفحه استیل حاوی تراشه چوب و هوادهی همزمان ۱۵۰ لیتر در دقیقه در حرارت ۳۰-۳۱ درجه فاز تاخیر رشد باکتریها شروع شده بعد از ۸ ساعت ۶۰۰ لیتر مایع الکلی ۲۰٪ به ژنراتور اضافه گردید و در روز دوم ۸۰۰ لیتر و متعاقبا بعد از ۸ ساعت ۱۴۰۰ لیتر محلول الکلی به ژنراتور اضافه شد تا نهایتا حجم مفید ۴۰۰۰ لیتر استاتور پر گردید. اندازه گیری اسید یته محلول در

حال تخمیر نشان میدهد، فاز تاخیر رشد باکتری کمتر از یک روز بوده و تا روز چهارم با سرعت کم تخمیر انجام شده. از روز چهارم تا دوازدهم تخمیر با سرعت زیاد و متناسب با مرحله رشد لگاریتمی باکتریها صورت گرفته است. و نهایتاً محلولی با اسید یته ۱۷٪ اسید استیک تولید شده. بعد از روز دوازدهم اسید یته محلول با سرعت کاهش یافت که نشاندهنده اتمام الکل و شروع اکسیداسیون اسید به گاز کربنیک و اب میباشد. در غلظت های کم الکل برخی از استوباکترها مرده و بقیه اکسیده کردن اسید را انجام میدهند که نشان دهنده اهمیت کنترل هوادهی در پایان مرحله تخمیر میباشد.

محاسبه راندمان تبدیل الکل به اسید استیک

$$4000 \times 170 \text{ gr/lit} = 680000 \text{ gr acetic acid}$$

$$760 \times 68 = 51748 \text{ gr initial acetic acid}$$

$$680000 - 51748 = 628252 \text{ gr acid produced from alcohol}$$

$$628252 : 3239 = 193 \text{ gr acid per lit of alcohol}$$

$$193 : 200 = 96/5 \% \text{ practical yield of converting alcohol to acetic acid}$$

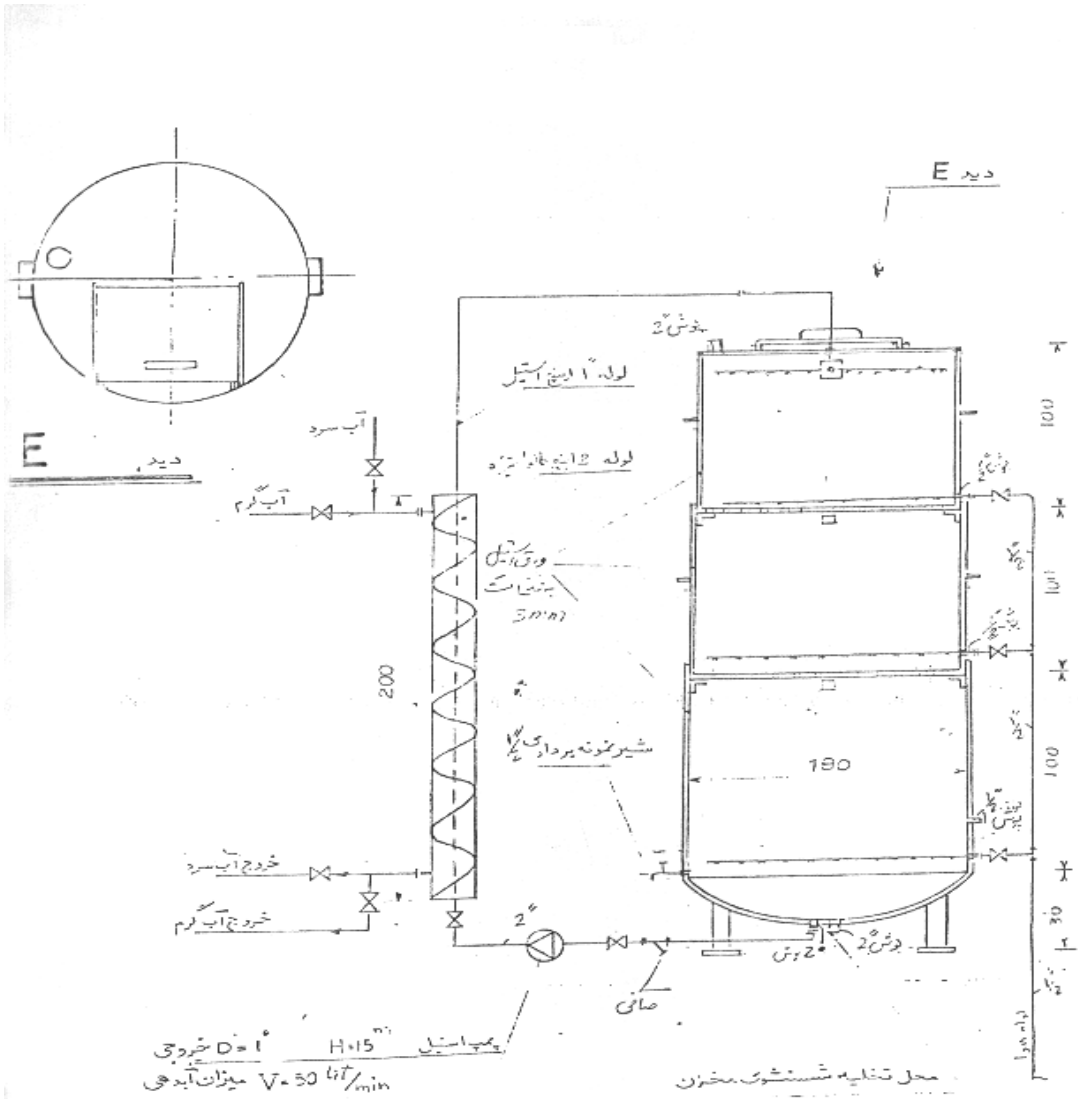
نمودار شماره ۲- روند اکسیداسیون محلول الکلی اب سیب که توسط اتانول ۹۶ درصد غلظت الکل به ۱۲٪ تنظیم شده و مشابه آزمایش شماره ۱- اکسیداسیون در حرارت ۳۰ تا ۳۱ درجه در استاتور انجام شده است. روند اکسیداسیون مشابه محلول الکلی ۲۰٪ بوده ولی با سرعت کمتر و نهایتاً در روز یازدهم تخمیر حد اکثر اسید یته حاصل شده است. بمنظور جلوگیری از اکسیده شدن اسید استیک هوا دهی و تخمیر در روز دوازدهم قطع گردید. راندمان تبدیل الکل به اسید در این آزمایش ۹۱/۶٪ میباشد.

نمودار ۳- روند اکسیده شدن محلول الکلی اب سیب با ۸٪ الکل را نشان میدهد. با توجه به پائین بودن اولیه اسید یته و نسبتاً غلظت بالای الکل فاز تاخیر رشد باکتری طولانی و تا دو روز هیچ تخمیری صورت نگرفته. از روز دوم تا سوم رشد باکتریها به حداکثر رسیده و همزمان تخمیر با سرعت زیاد انجام شده. از روز سوم تا هفتم سرعت تخمیر ثابت بوده که نشان دهنده کاهش غلظت الکل و وارد شدن باکتریها در فاز سکون میباشد که بتدریج بعضی از باکتریها شروع به مردن و بقیه اکسیداسیون اسید استیک را آغاز نموده اند. در روز هشتم هوادهی و تخمیر قطع گردید. نتایج بدست آمده با یافته های *Tesfye et.al. 2004* مطابقت دارد. نتایج آزمایشات نشان میدهد استاتور طراحی شده با راندمان عملی بیش از ۹۰٪ راندمان تئوری قادر به اکسیده کردن محلولهای الکلی در زمان کوتاه ۸ تا ۱۲ روز میباشد. با این دستگاه در مقایسه با روشهای سنتی میتوان سرکه ای با کیفیت خوب و راندمان بالا و بمراتب سریعتر تولید کرد

### References

- Adams, M.R. (1998). Vinegar. In: J.B. Wood, Editor, Microbiology of fermented food, Blackie Academic and professional, London, pp. 1-44*
- De Ley, M. Gillis and J. Swings (1984), Acetobacteraceae. In: N.R. Krieg and J.G. Holt, Editors, Bergey's manual of systematic bacteriology, Williams and Wilkins co, Baltimore pp. 275-284*
- De Ory, I. L.E. Romero and D. Cantero, (1998). Modelling the kinetics of growth of Acetobacter aceti in discontinuous culture. Applied Microbiology and Biotechnology 49 pp. 189-193*

- Ebner, H. H. Follmann and S. Sellemmer, (1995). Vinegar. In: G. Reed and T. W. Nagodawithana, Editor, Biotechnology. Enzymes, biomass, food and feed, VHC, Weinheim. pp. 581-591*
- Nieto, J. M. A. Gonzalez-Vinas, P. Barba (1993). Recent progress in wine vinegar R&D and some indicators for the future. In: G. Charalmbous, Editor, Food flavors, ingredients and composition Elsevier Science, Amsterdam. pp. 469-500*
- Romero L. E. and D. Cantero, (1998). Evaluation of ethanol evaporation losses in acetic acid fermentation. Bioprocess Engineering 18, pp. 289-291*
- Romero, L. E. J. M. Gomez, I. Caro and D. Cantero (1994). A kinetic model for growth of Acetobacter aceti in submerged culture. The Chemical Engineering journal, 54, pp. B15-B24.*
- Saeki A. (1997). Development of thermotolerant acetic acid bacteria useful for vinegar fermentation. Bioscience, Biotechnology and Biochemistry 61, pp. 138-145*
- Tesfaye W., M. C. Garcia-Parrilla and A. M. Troncoso. (2000). Set up and optimization of laboratory scale fermenter for the elaboration of wine vinegar. Journal of the Institute of Brewing. Pp. 215-219*
- Tesfye W. M. C. Garcia-Parrilla and A. M. Troncoso. (2004). Wine vinegar: technology, authenticity and quality evaluation. Trends in Food Science & Technology. 31, Jan. pp. 1-18*



شماره 1 صفحات ارسال