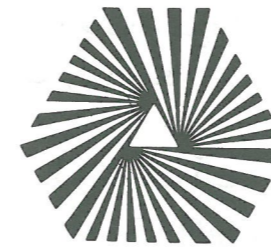


## مدل سازی تجمع لجن

### در برکه‌های بیهوازی تثبیت فاضلاب \*



ترجمه: حمیدرضا مرتهب \*

#### چکیده

تجمع لجن در اولین برکه بیهوازی در یک دوره چند ساله در واحد تصفیه فاضلاب ثمرآ مطالعه شد. توزیع لجن در کف استخر یکنواخت نبوده و بر خلاف انتظار حداکثر مقدار لجن در نزدیک ورودی استخر جمع نگردیده است. علت این امر آن است که مواد ته‌نشین شده نزدیک ورودی و خروجی استخر بوسیله سرعت زیاد جت جریان ورودی شسته می‌شوند. مدلی برای توصیف حجم لجن جمع شده ( $V_{AS}$ ) در اولین برکه بیهوازی ارائه شده که بر اساس مواد غیرقابل تجزیه بیولوژیکی در لجن ته‌نشین شده بدست آمده است.  $V_{AS}$  بر حسب میزان جرمی ( $F$ ) مواد معلق و  $BOD_5$  کل در فاضلاب خام و ضریب تجمع لجن ( $K_{AS}$ ) توصیف گردیده است.

#### لغات کلیدی:

استخرهای تثبیت فاضلاب، برکه بیهوازی، جامدات ته‌نشین شده، تجمع لجن، قابلیت تجزیه بیولوژیکی لجن، مدل سازی

#### مقدمه

تجمع لجن در برکه‌های بیهوازی اولیه معمولاً به طور فرضی با در نظر گرفتن میزان لجن تولیدی به ازای هر نفر در سال بیان می‌شود. با توجه به این حقیقت که تعیین دقیق جمعیت سرویس گیرنده از تصفیه‌خانه همیشه میسر نیست، لجن تجمع یافته به ازای هر نفر به طور قابل ملاحظه‌ای از محلی به محل دیگر متفاوت است. به همین دلیل اعدادی که در مقالات مختلف برای میزان تجمع لجن بیان می‌شود اختلاف چشمگیری با یکدیگر دارند. برای مثال، گلوینا [۱] میزان لجن جمع شده را  $m^3/Cap$   $0.05-0.03$  تخمین زده است در حالی که آرسی‌والا [۲] این مقدار را  $0.08 m^3/Cap.yr$  برای هند گزارش کرده است.

#### بسط مدل

حجم لجن تجمع یافته در برکه بیهوازی اولیه با قسمت غیرقابل تجزیه بیولوژیکی جامدات ته‌نشین شده که به سیستم وارد و یا در نتیجه فعالیت‌های بیولوژیکی میکروارگانیسمها تولید می‌شوند، کنترل می‌گردد. بنابراین بسط مدل بر این مبنا ساده خواهد بود. شکل (۱) اجزایی که حجم لجن ته‌نشین شده را در برکه‌های بیهوازی اولیه کنترل می‌کنند، نشان می‌دهد. بر اساس میزان جرمی  $F$  ( $kg/day$ )، میزان جرم لجن ته‌نشین شده در کف برکه ( $kg/day$ ) به صورت زیر بیان می‌شود:

(۱)

$$= (F_{xss,0} - F_{xss,1}) + \Delta F_x$$

\*- کارشناس ارشد مهندسی مشاور طرح و تحقیقات آب و فاضلاب

که در این رابطه:

$$F_{xss,0} = \text{میزان مواد معلق ورودی به برکه (kg/day)}$$

$$F_{xss,1} = \text{میزان مواد معلق خروجی از برکه (kg/day)}$$

$$\Delta F_x = \text{مقدار خالص جامدات تولید شده توسط فعالیت بیولوژیکی (kg/day)}$$

$$\Delta F_x = Y \Delta F_{CBOD} = Y(F_{CBOD,0} - F_{CBOD,1})$$

$$F_{CBOD,0} = \text{میزان } BOD_5 \text{ کل در ورودی برکه (kg/day)}$$

$$F_{CBOD,1} = \text{میزان } BOD_5 \text{ کل در خروجی برکه (kg/day)}$$

$$Y = \text{ضریب بازدهی} = \Delta F_x / \Delta F_{CBOD}$$

به دلیل اختلاف در قابلیت تجزیه بیولوژیکی جامدات

معلق فرّار ( $X_{vss}$ ) و جامدات معلق ثابت ( $X_{fss}$ ) رابطه (۱)

را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$(2) \quad = (F_{xvss,0} - F_{xvss,1}) + (F_{xfss,0} - F_{xfss,1}) + Y(F_{CBOD,0} - F_{CBOD,1})$$

$F_1$ ،  $F_2$  و  $F_3$  به طور متناظر به عنوان متوسط اجزای

$F_{xvss,0}$ ،  $F_{xfss,0}$ ،  $F_{CBOD,0}$  که توسط برکه حذف

می‌گردند، تعریف می‌شوند.  $Z_1$ ،  $Z_2$  و  $Z_3$  به طور متناظر به

عنوان جزیی از جامداتی که توسط فرایند هضم از  $F_{xvss}$

و  $F_{xfss}$  و جامداتی که توسط فعالیت بیولوژیکی تولید

می‌گردند، تعریف می‌شوند.

میزان حجمی لجن تجمع یافته تر ( $Q_{AS}$ ) بر حسب

$m^3/day$  را می‌توان اکنون به صورت زیر بیان نمود:

$$(3) \quad Q_{AS} = \frac{[(j_1 f_1)(F_{xvss,0}) + (j_2 f_2)(F_{xfss,0}) + (j_3 Y f_3)(F_{CBOD,0})]}{[SG_s Q_w (1 - W_s)]}$$

که در آن:

$$SG_s = \text{چگالی ویژه لجن}$$

$$Q_w = \text{دانسیته آب} \approx 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$W_s = \text{میزان آب لجن}$$

میزان آب لجن ( $W_s$ ) و چگالی ویژه لجن ( $SG_s$ ) در

اولین برکه بیهوازی سیستم ثمرآ اندازه‌گیری شد که مقادیر

آنها به ترتیب  $0.88$  و  $1/0.3$  بوده است. بنابراین مقدار

$[SG_s(1 - W_s)]$  در مخرج رابطه (۳) را می‌توان ثابت در نظر

گرفت و برای آن مقدار متوسط  $0.1236$  را فرض نمود.

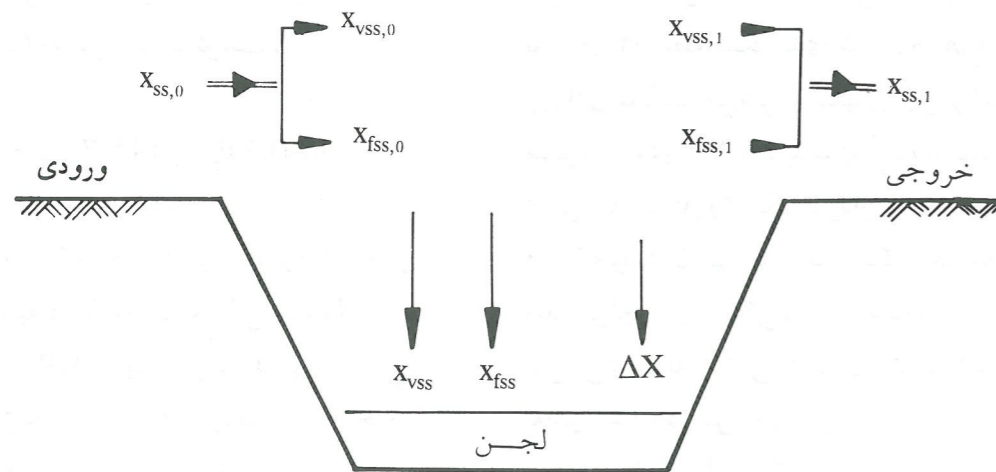
رابطه (۳) را اکنون می‌توان به صورت زیر ساده نمود:

(۴)

$$Q_{AS} = [( \gamma_1 F_{xvss,0} + \gamma_2 F_{xfss,0} + \gamma_3 F_{CBOD,0} ) / (1000)]$$

که در آن:

$$\gamma_1 = (j_1 f_1) / 0.1236, \gamma_2 = (j_2 f_2) / 0.1236, \gamma_3 = (j_3 Y f_3) / 0.1236$$



شکل ۱ - نمای اجزای حجم کنترل تجمع لجن در اولین برکه بیهوازی

اطلاعات قابل استنادی از مقالات مربوط به هاضمهای بیهواری جمع آوری شد تا نشان دهد در حالتی که برکه بیهواری مشابه با یک هاضم بیهواری عمل می کند، کدام یک از این سه مقدار ( $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ ) مساوی هستند. مشخص شده که برای  $\gamma_1$  و  $\gamma_2$  در یک زمان طولانی هضم (به طور مثال ۱۰۰ روز) باعث تخریب ۷۰ درصد  $X_{vss,0}$  و ۲۰ درصد  $X_{fss,0}$  می گردد [۳، ۴، ۵]. نتیجه آنکه مقادیر  $\gamma_1$  و  $\gamma_2$  می تواند برابر  $0/3$  و  $0/8$  تقریب زده شود. فرض می شود  $f_1$  و  $f_2$  که با جزیی از  $X_{ss,0}$  که در اولین برکه حذف شده و بر طبق یافته های ارائه شده توسط پسکاد و ساکر [۶] برابر  $0/74$  می باشند برابر باشد این بدان معناست که  $\gamma_1$  و  $\gamma_2$  را می توان به ترتیب برابر  $1/8$  و  $4/8$  تقریب زد. برای  $\gamma_3$  به خوبی مشخص شده که سلولهای باکتریایی شامل تقریباً ۶۰ درصد جامدات معلق فرار می باشند و ۴۰ درصد باقیمانده جامدات معلق ثابت هستند. بنابراین  $\gamma_3 = 0/5$  خواهد بود. مقدار متوسطی که برای  $f_3$  بوسیله پسکاد و ساکر [۶] بدست آمده،  $0/53$  بوده است و  $Y$  را می توان به طور منطقی برابر  $0/5$  فرض نمود [۸] که نتیجتاً  $\gamma_3$  تقریباً برابر  $1/07$  خواهد شد. تمام مقادیر تخمین زده شده فوق برای  $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$  می تواند به عنوان راهنما برای مقادیری که در هاضمهای هواری در حال بهره برداری وجود دارند در نظر گرفته شوند. رابطه (۴) را اکنون می توان برای تعیین حجم لجن تجمع یافته  $V_{AS}$  بر حسب ترمهای  $F_{xvss}$ ،  $F_{xfss}$  و  $F_{CBOD}$  (با فرض اینکه برکه به صورت هاضم بیهواری عمل می کند) به صورت زیر نوشت:

$$V_{AS} = 1.07 [(1.7 F_{xvss,0} + 4.5 F_{xfss,0} + F_{CBOD,0}) / (1000)] \quad (5)$$

باید به خاطر داشت که تجزیه لجن ته نشین شده در برکه های بیهواری اولیه در یک زمان طولانی (معمولاً بیش از ۵ سال) اتفاق می افتد و این به جامداتی که نرخ تجزیه پذیری بیولوژیکی آهسته ای دارند اجازه تجزیه می دهد و بنابراین حجم لجن کاهش خواهد یافت. در نتیجه رابطه ۵ به صورت زیر در خواهد آمد:

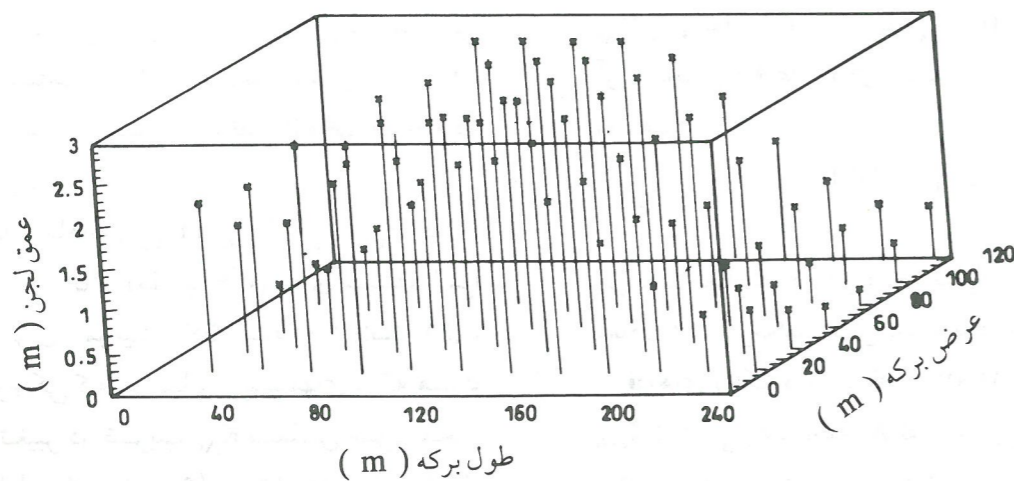
$$V_{AS} = K_{AS} [(1.7 F_{xvss,0} + 4.5 F_{xfss,0} + F_{CBOD,0}) / (1000)] \quad (6)$$

در این رابطه  $K_{AS}$  ضریب تجمع لجن نامیده می شود. اگر فرض گردد که تجزیه لجن ته نشین شده در تناسب با  $(1.7 F_{xvss,0} + 4.5 F_{xfss,0} + F_{CBOD,0})$  در تمام سیستمهای برکه باشد، تداوم تجزیه با کاهشی در مقدار  $K_{AS}$  تا رسیدن به یک مقدار ثابت نهایی متناسب است. برای رسیدن تقریبی به مقدار نهایی  $K_{AS}$  حداقل یک سال زمان ماند برای لجن نیاز است. تغییر محدود مورد انتظار  $V_{AS}$  با مقدار مشابه  $(1.7 F_{xvss,0} + 4.5 F_{xfss,0} + F_{CBOD,0})$  در دو سیستم برکه مختلف از تغییر ناچیزی در ضریب  $K_{AS}$  تأثیر می پذیرد. دانستن مقدار  $K_{AS}$  برای یک سیستم بخصوص می تواند به تخمین در مورد حجم لجن تجمع یافته ( $V_{AS}$ ) با دانستن برخی از ویژگیهای فاضلاب خام بیان شده برای  $F_{xvss,0}$ ،  $F_{xfss,0}$  و  $F_{CBOD,0}$  رهنمون شود. مقدار  $K_{AS}$  را همچنین می توان به عنوان یک مقدار مقایسه ای از تجزیه پذیری بیولوژیک لجن ته نشین شده در دو سیستم برکه با زمان ماند مشابه در نظر گرفت و هر چه مقدار این ضریب کمتر باشد تجزیه پذیری بیولوژیک لجن ته نشین شده بیشتر است.

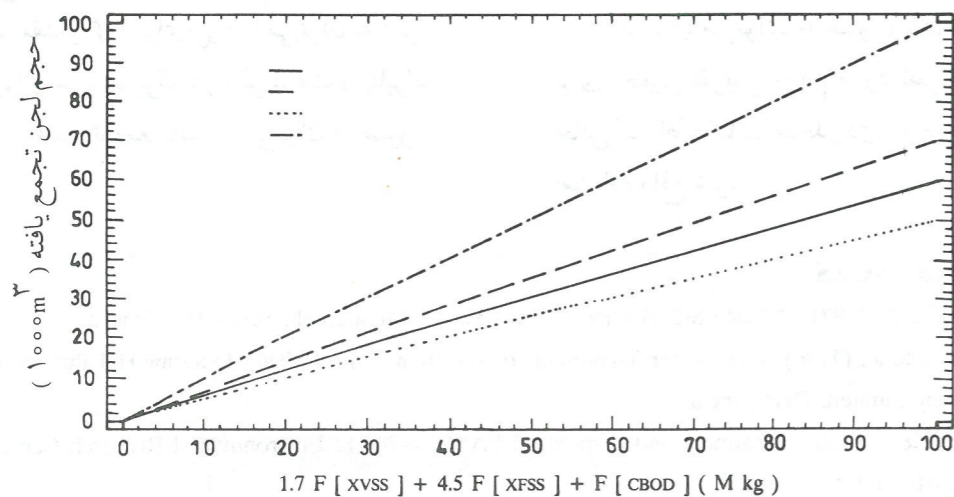
برای بدست آوردن مقدار  $K_{AS}$  برای سیستم ثمرنا به منظور بسط مدل، طرف چپ رابطه (۶) ( $V_{AS}$ ) باید تعیین شود. حجم لجن تجمع یافته ( $V_{AS}$ ) با اندازه گیری عمق لجن در ۷۲ نقطه شبکه بندی شده ( $8 \times 9$ ) در اولین برکه بیهواری محاسبه می شود. عمقهای لجن بر اساس دقت ۱۰ سانتیمتر روی اطلاعات بدست آمده توسط میکدادی [۹] تعیین شد. شکل (۲) یک نمودار سه بعدی از توزیع لجن در برکه را نشان می دهد. این شکل عقیده عمومی که حداکثر لجن در نزدیکی ورودی برکه اولیه تجمع می کند را نفی می کند و به روشنی نشان می دهد که شسته شدن مواد ته نشین شده در نزدیکی نواحی ورودی و خروجی در جهت جریان به علت آنکه سرعت بالاتر جت جریان غالب است، اتفاق می افتد. این امر سرعت برشی زیادتری روی

جامدات ته نشین شده در آن ناحیه ایجاد می کند و بنابراین عمق لجن کمتری در آن ناحیه مشاهده می شود. جامدات ته نشین شده در این ناحیه یا در دو باریکه طولی برکه توزیع می شوند و یا در خلال دوره ای که سرعت جت بالا وجود دارد توسط جریان خروجی از برکه خارج می گردند. به علاوه تلاطم بوجود آمده به علت سرعت زیاد جت شرایط نامطلوبی را برای فرایند ته نشینی ایجاد می کند. این یافته اهمیت کنترل سرعت جت فاضلاب را به منظور به

حداقل رساندن تأثیر معکوس آن و جلوگیری از شسته شدن لجن نشان می دهد. این کنترل را می توان با طراحی صحیح ورودی و انتخاب مناسب شکل ورودی - خروجی بدست آورد. شکل ۲ همچنین نشان می دهد که علیرغم فرض طراحان، توزیع یکنواخت لجن روی کف برکه بدست نمی آید. به علاوه توزیع متقارن لجن نشان می دهد که تأثیری از نظر جهت باد غالب، در این مورد وجود ندارد. عمق لجن تجمع یافته بعد از ۴۴ ماه عملکرد (از ژوئیه



شکل ۲ - توزیع لجن در اولین برکه بیهواری



شکل ۳: تغییرات حجم لجن تجمع یافته (۱۰۰۰ متر مکعب) بر حسب

ترم  $(1.7 F_{xvss,0} + 4.5 F_{xfss,0} + F_{CBOD,0})$  (میلیون کیلوگرم) برای مقادیر مختلف  $K_{AS}$

- Federation, Washington, D. C., USA.
- 6- Saqqar, M. M., and Pescod, M. B., (1993). "Modelling Performance of Anaerobic Wastewater Stabilization Ponds", A paper presented at the IAWQ Waste Stabilization Ponds and the Reuse of Pond Effluents Conference, Berkeley, 30 Nov. -3 Dec.
- 7- Benefield, L. D., and Randall, C. W. (1980). "Biological Process Design for Wastewater Treatment", Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs.
- 8- Metcalf and Eddy, Inc. (1979). "Wastewater Engineering : Treatment, Disposal, Reuse", 2nd ed. McGraw- Hill Book Company, New York.
- 9- Miqdadi, I. M., (1989). Personal communication.
- 10- Binnie and Partners (1983). "Design Documentation of Alsamra Waste Stabilization Ponds", London, England.

\* Mowaffaq, M., Saqqar M.M., and Pescod, M. B., (1993). "Modelling Sludge Accumulation in Anaerobic Wastewater Stabilization Ponds," 2nd IAWQ International Specialist Conference Waste Stabilization Ponds and the Reuse of Pond Effluents.

پاسخهای زیر مربوط به سؤالات صفحه ۴۸ می باشد.

- ۱- احتمالاً وقتی که مقدار زیادی بارگذاری آلی در واحد سطح اعمال می شود (راندمان تصفیه بالا)، بوهای نامطبوع ممکن است تولید شود.
- ۲- محاسن برکه ها شامل هزینه پایین اولیه و راهبری و قابلیت انطباق به نوسانات بارگذاری (مشروط به پایین بودن قیمت زمین) می باشد.
- ۳- تفاوت بین این سیستمها در میزان پیش تصفیه فاضلاب قبل از ورود به برکه می باشد. فاضلاب بدون پیش تصفیه به لاگون تصفیه فاضلاب خام وارد شده، لذا اکسیداسیون از حوضچه ته نشین اولیه پساب دریافت می کند و برکه صیقل دهنده پس از صافی چکنده یا لجن فعال قرار می گیرد.
- ۴- در برکه های هوازی DO در سراسر برکه وجود دارد. در برکه های بیهوازی DO وجود ندارد. اکثر برکه ها اختیاری در سطح هوازی و در کف، بیهوازی هستند.
- ۵- برکه با زمان ماند کمتر از ۳ روز مشابه حوضچه ته نشینی عمل می کند. در برکه با زمان ماند از ۳ تا ۲۰ روز مواد آلی موجود در فاضلاب ورودی به جلبک تبدیل شده و غلظت بالایی از جلبک در خروجی یافت می شود. برکه های با زمان ماند بیشتر زمان کافی برای ته نشینی جلبک و کیفیت خروجی بهتر فراهم می سازند.

(۷)

$$V_{As} = 0.6[(1.7 F_{xvss,0} + 4.5 F_{xfss,0} + F_{CBOD,0})/1000]$$

رابطه (۷) برای تخمین لجن تجمع یافته با دانستن مشخصات فاضلاب خام به صورت  $X_{vss,0}$ ،  $X_{fss,0}$  و  $C_{BOD,0}$  (mg/l) و میزان ورودی به سیستم  $Q_0$  (مترمکعب در واحد زمان) به کار می رود.

قابل توجه است که در رابطه (۲) تمام پارامترهای کنترل لجن ته نشین شده با  $X_{ss}$  حذف شده رابطه بندی شده اند. بنابراین یک رابطه ساده شده اما با دقت کمتر برای تخمین  $V_{As}$  را می توان با دانستن تنها  $F_{xss}$  (kg) حذف شده بدست آورد. تحلیل اطلاعات برای سیستم ثمر نشان می دهد که:

(۸ الف)

$$V_{As} = 2.8[(F_{xss,0} - F_{xss,1})/(1000)]$$

این بدان معناست که هر ۱۰۰۰ کیلوگرم  $X_{ss}$  حذف شده معادل ۲/۸ مترمکعب لجن تجمع یافته است. با استفاده از یافته های پسکاد و ساکر (۱۹۹۳) که بر طبق آن  $X_{ss,1} = 0.26X_{ss,0}$ ، رابطه (۸ الف) را می توان برای سیستم برکه ثمر به صورت زیر نوشت:

(۸ ب)

$$V_{As} = 2.1[(F_{xss,0})/(1000)]$$

رابطه (۸) می تواند به عنوان یک قاعده سرانگشتی برای تخمین تقریبی حجم مورد نظر لجن جمع شده در حالی که اطلاعات محدودی در دسترس است، مورد استفاده واقع شود.

#### REFERENCES

- 1- Gloyna, E. F., (1971). "Waste Stabilization Ponds", WHO, Monograph, Series 60, Geneva.
- 2- Arceivala, S. J., (1986). "Wastewater Treatment for pollution control", Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, Delhi, India.
- 3- EPA, (1978). "Sludge Treatment and Disposal", EPA/625/4-78/012 Environmental Research Center, Cincinnati, OH.
- 4- Vesilind, P. A., (1979). "Treatment and Disposal of Wastewater Sludge", Rev. ed., Ann Arbor Science Publishers.
- 5- WPCF, (1985). "Sludge Stabilization", Manual of Practice FD-9, Water Pollution Control

۱۹۸۵ تا مارس ۱۹۸۹) که در خلال آن  $V_{As}$  اندازه گیری می شد، ۱/۷ متر بود (محدوده ۰/۲ تا ۲/۷ متر). این عمق متناظر با حجم لجن برابر با ۴۵۶۶۰ مترمکعب می باشد. بر اساس این نتایج، بعد از ۵ سال عملکرد، در تابستان سال ۱۹۹۰ عمق لجن در زمانی که قرار به تخلیه برکه بود به ۲ متر می رسید. این یافته نقصان دیگری در انتظارات طراحی را نشان می داد زیرا قبلاً پیش بینی شده بود که این حجم لجن بعد از ۱۲/۵ سال بهره برداری حاصل شود [۱۰]. حجم لجن تجمع یافته معادل ۱/۲۸ مترمکعب به ازای هر ۱۰۰۰ مترمکعب جریان فاضلاب ( $Q_0$ ) بود. اگر چه می توان این عدد را برای سیستم ثمر ثابت فرض نمود ولی برای سایر سیستمهای برکه صادق نخواهد بود. این عدد باید به عنوان متغیر وابسته به مشخصات فاضلاب خام در نظر گرفته شود.

با دانستن مقدار ماهانه  $F_{xvss,0}$ ،  $F_{xfss,0}$  و  $F_{CBOD,0}$  (kg)، مقدار  $K_{As}$  برابر ۰/۵۹ (تقریباً ۰/۶) برای سیستم ثمر بدست آمد. برای عمومیت دادن استفاده از رابطه (۶)، اختلافات کوچکی که در سایر سیستمهای برکه هست می تواند با تغییر در ضریب  $K_{As}$  منعکس شود. محلی گرافیکی معادله برای ۰/۷ و ۰/۶ و ۰/۵  $K_{As}$  در شکل (۳) نشان داده شده است. برای مقایسه، نمایش مربوط به  $K_{As} = 1$  که رابطه (۵) را تقریب می زند و بیشترین ارتفاع محتمل لجن جمع شده در برکه اولیه را نشان می دهد نیز آورده شده است. مقدار ۰/۶ برای  $K_{As}$  را می توان به عنوان میزان متوسطی برای سیستم برکه در نظر گرفت و بنابراین معادله تعیین حجم لجن تجمع یافته را می توان به صورت زیر نوشت: